



Forord

Denne masteroppgaven avslutter fem flotte år på et studie i Industriell Økonomi ved NMBU. Masteroppgaven er utført av Johan Sebastian Hytten Bang, student ved IMT på NMBU.

Problemstillingen i oppgaven er å se på mulighetene for å bruke landbruksroboten ved IMT til presisjonskalking. Det har vært en lang prosess å prøve å komme til en løsning på problemstillingen. Det har vært mange blindveier og negative konklusjoner. Det har også gått med en del tid i forbindelse med prøvetaking og prøvebearbeiding, men jeg synes jeg etter hvert har klart å få til en konklusjon.

Jeg vil takke alle som har hjulpet meg med oppgaven. Først og fremst vil jeg takke min veileder, Pål Johan From. Jeg har særlig hatt god nytte av hans konstruktive innspill når jeg har kommet fram til svar som er negative i forhold til den opprinnelige framdriftsplanen for masteroppgaven.

Jeg vil også takke Tore Krogstad ved Jordfag for opplæring i jordprøver, for å få låne utstyr til å ta jordprøver og for å få bruke laboratoriet deres til jordprøvene mine. Jeg vil også takke Peter Dörsch fra jordfag for info om pH målinger i samtid og om overflatekalking. Jeg vil takke Åge Petter Steinsett for informasjon om GPS kalking, og jeg vil takke Henrik Huseby for informasjon om Tidsbruk ved pløying og harving.

Tilslutt vil jeg takke Pål Johan From og hans kone, Carla, for gjestfriheten under turen til Brasil, samt alle de andre studentene som har From som veileder for at de gjorde det til en hyggelig tur.

Johan Sebastian Hytten Bang

Ås, den 14/05 - 2015

Sammendrag

Denne masteroppgaven tar for seg mulighetene for robotisert kalking i landbruket. Jeg har funnet ut at dagens teknologi for pH måling i samtid ikke er god nok til å brukes til å måle pH på jorder. Jeg har også funnet ut at det ikke vil være særlig lønnsomt, og i tillegg ganske tungvint, å bruke roboten til å ta konvensjonelle jordprøver.

Det å bare kalke med roboten etter dagens kalkningsplaner er mulig. Det er imidlertid ikke særlig effektivt. I dag kalkes det bare hvert femte år, og derfor vil roboten måtte fylle på ny kalk alt for ofte. På grunn av dette har jeg basert oppgaven på en forutsetning om at teknologien for å måle pH i samtid eksisterer.

For å prøve finne ut hvor ofte roboten trenger å ta målinger, og dermed også hvor presist den kan kalke, har jeg gjort et forsøk med jordprøver. Dette forsøket ga dessverre ikke noe klart svar på det spørsmålet, så jeg har kommet opp med et alternativt forsøk for å prøve å finne ut av det. Jeg har også foreslått et forsøk for å finne mer eksakt data enn det som brukes i dag på hvilken pH-verdi som gir mest vekst for planten.

Basert på to mulige utfall av de forsøkene, har jeg kommet opp med to løsninger på utformingen til kalkerverktøyet som skal sitte på roboten. De baserer seg i stor grad på en vanlig kalkspreder for hagebruk, og det er beskrevet en del tester som må til for å finne ut hvordan åpningen må reguleres.

Til slutt har jeg funnet ut at det er store økonomiske fordeler ved å bruke roboten til å kalke. Disse fordelene er hovedsakelig på grunn av den økte avlingen som følger med når vi har optimal pH-verdi, men det er også fordi vi slipper jordkompresjon. Uten jordkompresjonen vil avlingene bli bedre, og vi slipper å drive med unødvendig arbeid på åkeren.

Abstract

This thesis deals with the opportunities of robotized agricultural liming. I have discovered that the technology for real-time pH-measurements that exists today is too inaccurate for measuring pH values in a field. I have also figured out that it would not be profitable, also quite inconvenient, using the robot to take conventional soil-samples.

Just using the robot for liming by today's liming-plans is possible. However, it would not be very effective at it. Today, we only lime every five years. That means the robot have to restock with limestone excessively often. Therefore, I have based my thesis on an assumption that the technology for measuring pH-values in real-time exists.

I have done a test with soil-samples to try to figure out how often the robot needs to measure pH-values, and therefore how precisely it can distribute lime. Unfortunately, the experiment gave us inconclusive results, so I thought of an alternative experiment. I also thought of an experiment to try to figure out precisely what pH-value is the best for a given plant, because, as far as I know, we have very inaccurate data on this.

I have come up with two solutions for the development of the liming-tool for the robot, depended on two possible outcomes of these experiments. Both of them are based on the design of a regular lime-distributor for home use, and I have described some test that needs to be done to find out how the opening needs to be regulated.

I have calculated that there are huge economic advantages related to using the robot for liming. Mainly because we have an increase in crops due to perfect pH-values, but also because we do not have any compression of the soil. Without this, we will get an even higher increase in crops, and we won't have to work that much with roughing up the soil.

Liste over tabeller

Tabell 1: Ønsket standardavvik for små intervaller	21
Tabell 2: Standardavvik 1-meters intervaller	22
Tabell 3: Standardavvik 10-meters intervaller	23
Tabell 4: Standardavvik 50-meters intervaller	24
Tabell 5: Variasjonsbredde.....	24
Tabell 6: Kovarians	25
Tabell 7: Kalkpriser.....	34
Tabell 8: Innsparing ved å unngå pløying og harving.....	35

Liste over figurer

Figur 1: Jordkompresjon	8
Figur 2: pH-skala.....	10
Figur 3: Kalking i dag	13
Figur 4: Jordprøve-bil:	14
Figur 5: Eksempel på kalkningsplan	15
Figur 6: Oversikt over jordprøver	20
Figur 7: Ønsket resultat for små intervaller.....	21
Figur 8: Resultat 1-meters intervaller.....	22
Figur 9: Resultat 10-meters intervaller.....	23
Figur 10: Resultat 50-meters intervaller.....	24
Figur 11: Nyquists samplingsteorem.....	27
Figur 12: Nyquists samplingsteorem sammensatt frekvens	28
Figur 13: Eksempel på forsøk med optimal pH	30
Figur 14: Kalkspreder for hagebruk	31

Innholdsfortegnelse

Innledning.....	Error! Bookmark not defined.
Sammendrag.....	2
Abstract	3
Liste over tabeller.....	4
Liste over figurer.....	4
Innholdsfortegnelse	5
1. Bakgrunn.....	8
1.1 Landbruksrobot	8
1.2 Hvorfor kalker vi?	9
1.3 Kalktyper.....	11
1.3.1 Grovkalk	11
1.3.2 Brent Kalk.....	11
1.3.3 Halvbrent Dolomitt	12
1.3.4 Alternative mineraler	12
1.4 Kalking i dag	13
1.4.1 Holdninger til kalking i Norge.....	13
1.4.1 Kalking med GPS	14
2. Robotens muligheter	16
2.1 Måle pH-verdier med roboten	16
2.2 Ta jordprøver med roboten.....	17
2.3 Kalke med roboten	18
2.4 Kalking med roboten forutsatt at den også kan måle pH	19
3. Jordprøver	20

3.1	Introduksjon	20
3.2	Motivasjon.....	21
3.3	Jordprøveresultatene.....	22
3.3.1	1 meters intervaller	22
3.3.2	10 meters intervaller	23
3.3.3	50 meters intervaller	24
3.3.5	Variasjonsbredde.....	24
3.3.6	Kovarians	25
3.4	Sammenlikning.....	25
4.	Alternativt forsøk.....	27
4.1	Teori for alternativt forsøk	27
4.2	Alternativt forsøk, pH-måling	28
4.3	Nytt forsøk, optimal pH	29
5.	Kalksprederens utforming.....	31
5.1	Vi måler pH hver femte meter eller sjeldnere	31
5.2	Vi måler pH hver meter eller oftere.	32
6.	Økonomisk Analyse.....	34
6.1	Kostnad for kalkspredning	34
6.2	Innsparing ved å unngå jordpakking	34
6.3	Inntekter fra avlingsøkning ved perfekt kalking	36
6.4	Samlet økonomisk fordel	36
6.5	Estimerte produksjonskostnader	37
6.6	Oppsummering	37
7.	Konklusjon.....	38
7.1	Videre arbeid.....	39
7.1.1	Jordprøver	39
7.1.2	Eventuelle pH-prøver.....	39

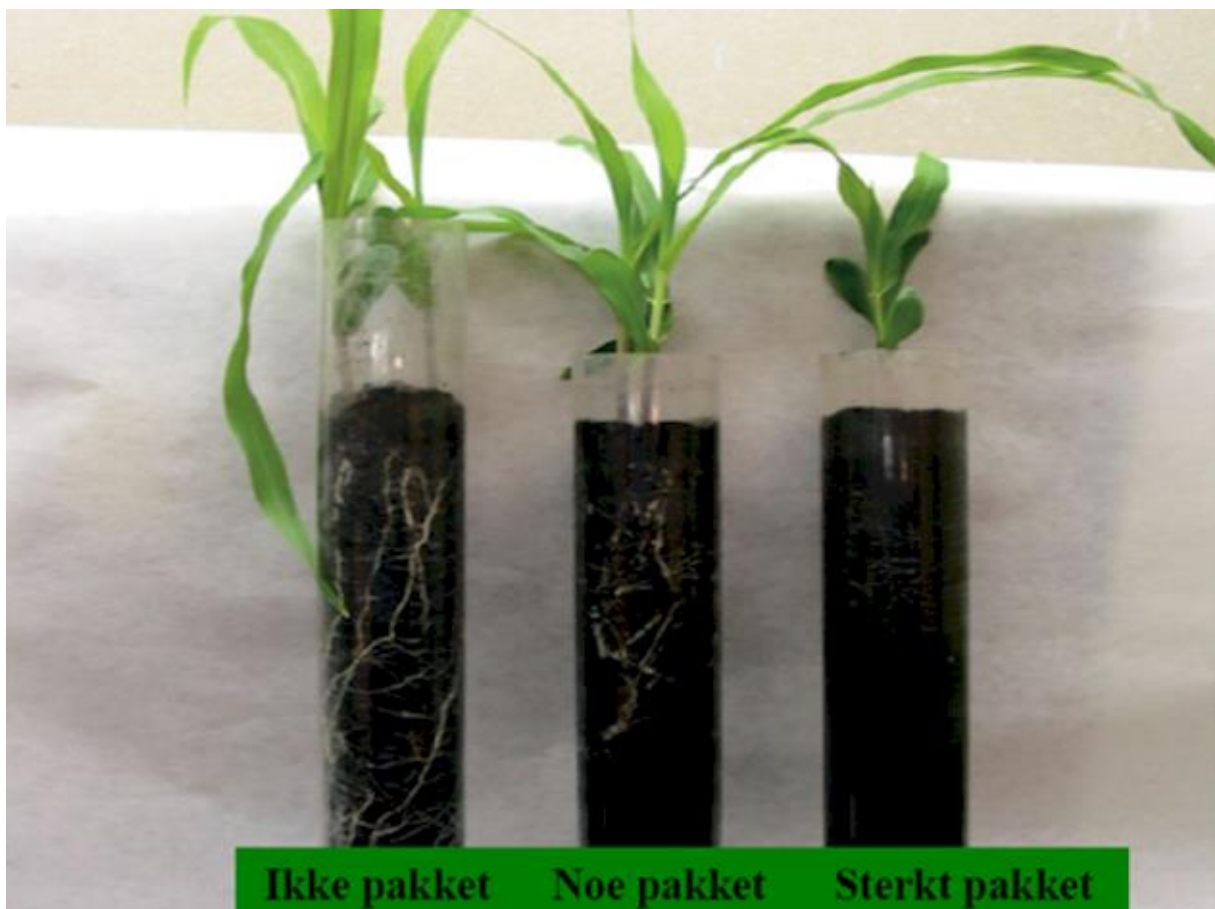
7.1.3	Bygge kalkerverktøyet	39
8.	Kilder:	40
9.	Vedlegg	42
9.1	Vedlegg 1, Mail Fra Peter Dörsch.....	42

1. Bakgrunn

1.1 Landbruksrobot

Denne masteroppgaven er en del av et prosjekt som går over flere år, der målet er å lage en landbruksrobot som skal kunne overta deler av traktorens og bondens rolle i jordbruket. Hovedargumentet for å gjøre dette er at dagens landbruksmaskiner er veldig tunge, så de bidrar til å komprimere landbruksjorda.

For at plantene skal få optimale vekstvilkår, er det viktig at jorda er litt porøs, sånn at røtene har plass til å vokse og plantene kan ta opp vann fra jorda, som vist på Figur 1. I dag pløyes jorda opp flere ganger for å motvirke kompresjonen fra de tunge landbrukskjøretøyene. Men pløyinga klarer ikke å motvirke jordpakkingen i de dype jordlagene (Sloreby, 2009).



Figur 1: Jordkompresjon

Fra: <http://haugaland.nlr.no/fagartikler/18764/>

Den vanligste metoden for å prøve å forhindre jordpakking i dag, er å utstyre traktorene med bredere dekk, flere akslinger eller tvillinghjul, for å fordele vekten over en større kontaktflate. Problemet er at dette ikke er like effektivt for å forhindre jordpakking i de dype jordlagene. Når vi kommer ned på dybder på over 30 cm, er det uansett traktorens totale vekt som har størst betydning (Serikstad, 2009).

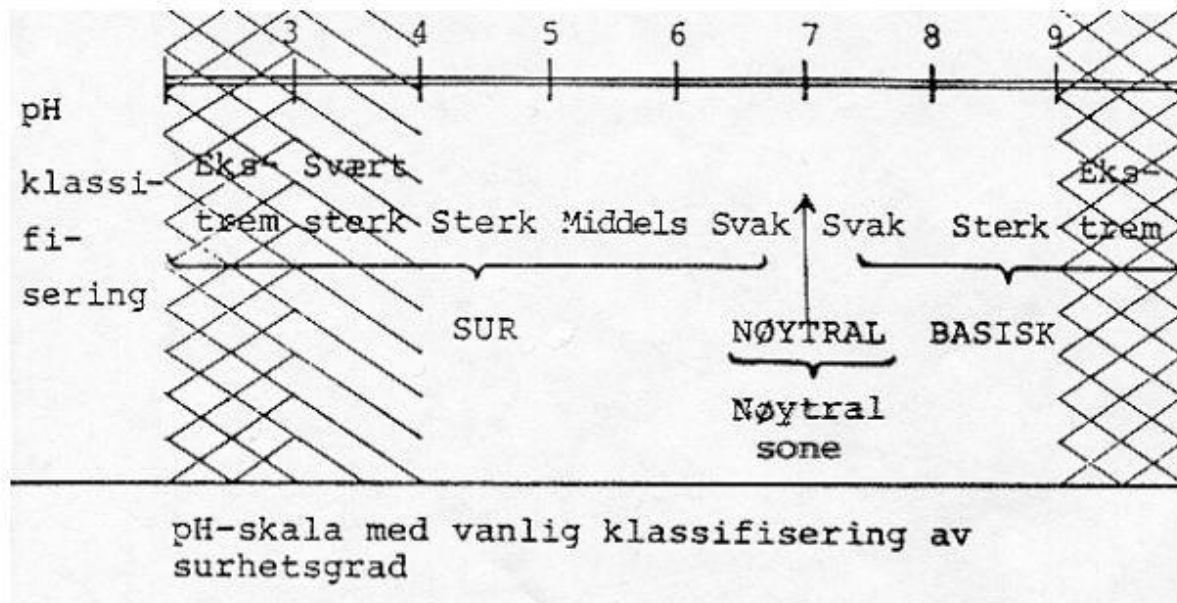
Dersom vi hadde brukt lettere kjøretøyer ute på jordene, kunne mye av tiden, ressursene og energien som blir brukt til pløying, utnyttes til andre formål, og vi hadde unngått kompresjonen i de dype jordlagene, som ikke kan behandles med pløying. Landbruksroboten skal bare veie 150 kg, og den dimensjoneres med en maksimal lastekapasitet på 150 kg. Den totale vekten på maks 300 kg, vil være en betydelig forbedring i forhold til dagens traktorer, som kan veie over 7 tonn, og det er uten alle verktøyene (New Holland, 2007).

Landbruksroboten skal være ganske autonom, slik at den også vil frigjøre arbeidskraft hos bonden, so sikkert vil bli fornøyd med å kunne bruke tiden på mer utfordrende arbeidsoppgaver enn å kjøre fram og tilbake i parallelle linjer med traktoren sin.

Mitt bidrag til dette prosjektet er at jeg skal se på mulighetene for å bruke landbruksroboten til kalking.

1.2 Hvorfor kalker vi?

Det korte svaret på hvorfor vi kalker i jordbruket, er at vi kalker for å øke pH-verdien i jorda slik at vi når det nivået der de aktuelle plantene har best vekstvilkår. pH står for power of hydrogen, og det er en logaritmisk skala som tar for seg konsentrasjonen av Hydrogenioner(H^+) i jorda. Skalaen går fra 1 til 14. En syver på skalaen er nøytral pH, under syv er surt og over syv er basisk. Selv om syv er nøytralt på skalaen, er det ikke nødvendigvis der vi vil at pH-verdien i jorda skal ligge (Franzefoss Miljøkalk, 2007).



Figur 2: pH-skala

Fra: http://www.kalk.no/files/PDF/Kunnskapsbibliotek/Rapport_Kalkningm%C3%A5l_Korn_Gras_Nov2012.pdf

Ønsket pH- verdi varierer med hvilke vekster som skal dyrkes. Det virker som om det finnes lite eksakt data på perfekt pH for de forskjellige vekstene. Jeg har bare funnet ett eksempel på dette (Erstad, 2012), mens alle de andre kildene jeg har funnet om emnet oppgir kun i hvilket intervall plantene trives best (Franzefoss Miljøkalk, 2007).

Det er også andre grunner til at vi kalker. Vi kan kalke for å regulere mengden av forskjellige mineraler som plantene trenger, men som de ikke må få for mye av, som for eksempel Fosfor (P), Mangan (Mn), molybden (Mo) og Jern (Fe). (Erstad, 2012) Kalk kan også bidra til å ødelegge levekårene til sopp som kan etablere seg på for eksempel poteter. Isteden bidrar kalken til å bedre levekårene til bakterier som er med på å bryte ned organisk materiale til nyttige næringsstoffer i jorda (Franzefoss Miljøkalk, 2007).

Kalking forbedrer jordstrukturen, og gjør jorda mer porøs. Dette har flere fordeler. Det er lettere for plantenes røtter å vokse når de ikke må kjempe seg igjennom hardpakka jord. Et større nettverk av røtter gjør at plantene kan utnytte større deler av jorda til å ta opp vann og

næring. Vannledningsevnen i jorda vil også bli bedre, og jorda blir lettere å bearbeide (Franzefoss Miljøkalk, 2007).

I tillegg til dette kan kalk være med å binde opp dinitrogenoksid (N_2O) i jorda. N_2O er en drivhusgass, og det å binde opp denne gassen i jorda istedenfor å slippe den ut i atmosfæren, vil være et godt klimatiltak. (Erstad, 2012) Nå skal det sies at kalken også frigir en del CO_2 når det løses opp i jorda, så det er egentlig ikke noe særlig å hente på dette området hvis man bruker den vanligste typen kalk (Setså, 2013).

1.3 Kalktyper

Det finnes flere forskjellige typer kalk som varierer i pris og i kalkverdi. Kalkverdien sier oss hvor mye effekt i kalsiumoksid (CaO), vi får av kalken på ett år. Den regnes ut ved at man ganger det totale kalkinnholdet i ekvivalent CaO med løseligheten til kalken. De to virkestoffene som bidrar til det totale kalkinnholdet er CaO og magnesiumoksid (MgO). For å finne totalt kalkinnhold omregnet til ekvivalent CaO innhold, må man gange MgO mengden med 1,4 og legge den til CaO mengden, siden magnesiumoksid har en 1,4 ganger så stor syrenøytraliserende virkning som kalsiumoksid (Franzefoss Miljøkalk, 2007).

1.3.1 Grovkalk

Grovkalk er betegnelsen på den vanligste typen kalk. Den har en kalkverdi på rundt 50 og den er relativt billig. (Franzefoss Miljøkalk, 2007) Men siden den er lite konsentrert, frigir den en del CO_2 når den løses opp. Den kan brukes til å dekke stort sett alle kalkingsbehov (Setså, 2013).

1.3.2 Brent Kalk

Brent kalk har en kalkverdi på 95. Her har CO_2 -en allerede blitt spaltet ut under brenneprosessen. Hvis denne prosessen også innebærer en form for oppsamling av CO_2 -en som utløses, vil denne type kalk bidra positivt til drivhusregnskapet. Denne konsentrerte kalken er også den som er best egnet for bruk på roboten, siden den gir mest utbytte pr. kg.

Problemet er at denne kalken er veldig dyr, og den blir nok ikke akkurat billigere dersom den produseres med CO₂-lagringsteknologi heller (Franzefoss Miljøkalk, 2007).

1.3.3 Halvbrent Dolomitt

Halvbrent Dolomitt kan være et godt kompromiss mellom pris og effekt. Denne har blitt varmet opp på samme måte som Brent kalk, men har bare en kalkverdi på 80. Til gjengjeld koster den omtrent det samme pr kg som vanlig grovkalk, hvis man vektet prisen i forhold til kalkverdien. For å høste klimafordelene ved den konsentrerte kalken, må vi forutsette at oppvarmingsprosessen innebærer en oppsamling og lagring av CO₂ (Franzefoss Miljøkalk, 2007).

1.3.4 Alternative mineraler

Det forskes også på kalking med andre mineraler som ikke er karbonater, for å slippe CO₂ utslippene som følger med kalking. De mineralene det er snakk om, er biprodukter fra gruvedrift, så de er relativt billige. De er imidlertid mindre effektive enn grovkalk, så det er ikke særlig aktuelt å bruke disse på roboten, med tanke på vektbegrensningene den har. Det er heller ikke klart hvordan disse mineralene påvirker innholdet av for eksempel P, Mn og Mo (Setså, 2013).

1.4 Kalking i dag

I dag kalker man vanligvis med en traktor som trekker en stor henger full av kalk. Kalken spres ut bak på hengeren. Bonden bestiller som oftest kalken ferdig spredd av kalkleverandøren, som vist på figur 3.



Figur 3: Kalking i dag

Fra: <http://myweb.ecomplanet.com/ROLI8727/servercontent/mycustomimages/ROLI8727CustomImage0088987.jpg>

1.4.1 Holdninger til kalking i Norge

Mange av bøndene i Norge er ikke bønder på heltid, men de har også andre inntektskilder på si. Lønnsutviklingen har i det siste vært sånn at disse inntektskildene ofte kaster mere av seg enn gårdsarbeidet. Derfor gjøres ofte gårdsarbeidet unna fort og gæli, og de sløyfer det de synes er mindre viktig. Kalking er ofte noe av det som sløyfes, fordi resultatene fra kalkingen først synes etter at det har gått litt tid. I følge en rapport fra 2012, går det med ca. 200000 tonn kalk pr år i Norge, men det burde vært kalket over dobbelt så mye (Erstad, 2012).

1.4.1 Kalking med GPS

Torsdag 12. mars hadde jeg et møte med Åge Petter Steinsett på gården hans i Sandefjord, for å lære om hvordan GPS-basert kalking foregår i dag. Han var den første som startet med GPS-baserte jordprøver i Norge, og han var en av de som hadde ideen bak databasen Jordplan.no, som er en database der man legger informasjon fra jordprøver inn på et kart (Steinsett, 2015).

Han fortalte at han hadde en liten Suzuki Jimny (Figur 4) som var ombygd så den kunne ta opp en liten mengde med jord og slippe det ned i en eske. Sjåføren merker esken med et prøvenummer og lagrer den bak i bilen, før han setter en ny eske der den må stå for å ta imot jord. Så merker sjåføren GPS-koordinatene der han befinner seg direkte inn i databasen til Jordplan og merker punktet med prøvenummeret (Steinsett, 2015).



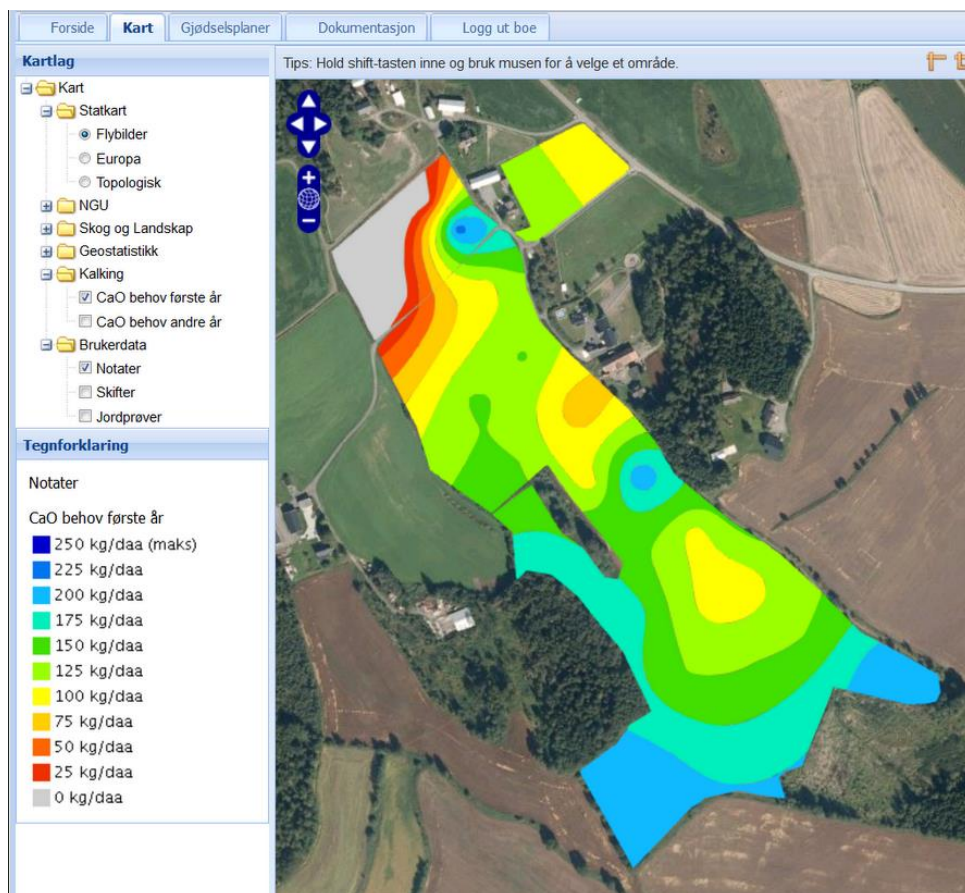
Figur 4: Jordprøve-bil:

Fra: http://2.bp.blogspot.com/-y2uGlk9r85U/T0JfX-nxNUI/AAAAAAAAAFs/NPd_LZxZHk0/s1600/100_2930_60.JPG

Steinsett sier at prøveintervallet hans vanligvis er en prøve for hvert mål, men at han ser an terrenget og justerer seg etter det. Han kan også komme tilbake og ta nye prøver etter at de første er analysert, hvis han får noen spesielle utslag i prøveresultatene (Steinsett, 2015).

Han sender prøvene av gårde til et jordanalysefirma, som tørker og siler jorda for å finne jordtype og moldinnhold. De tar prøver av den silte jorda for å finne pH, magnesiuminnhold, fosforinnhold, og alt annet som bonden ønsker å ha med (Steinsett, 2015).

I jordplan kan man legge in ønsket pH-verdi, så genereres det en automatisk kalkningsplan etter disse dataene (eksempel i Figur 5). Kalkningsplanen kan eksporteres til en traktor som har programvare til å bruke planen, eller til kalkdistributøren Franzefoss, dersom man ønsker at de skal kalke for seg. Kalken blir spredd ut etter kalkningsplanen automatisk, og bonden trenger bare å være sikker på at han har kjørt over hele jordet (Steinsett, 2015).



Figur 5: Eksempel på kalkningsplan

Fra: <http://jordplan.blogspot.no/2012/03/en-god-dag-pa-jordet.html>

2. Robotens muligheter

2.1 Måle pH-verdier med roboten

Jeg skal se på mulighetene for å bruke landbruksroboten til kalking. For å utnytte fordelene til denne roboten i forhold til konvensjonelle landbruksmaskiner, vil jeg prøve å få den til å kalke med større presisjon. For at dette skal fungere, må man også foreta pH-målinger med større presisjon og kalke etter disse resultatene.

Etter å ha undersøkt litt i markedet for utstyr for rask og enkel pH-måling i jord, fant jeg ut at produktet «Soil pH Meter» fra den New Zeelandske produsenten Bluelab, virket som det mest lovende til bruk på roboten, selv om det var et par ting som ikke er helt optimalt (Bluelab, 2014).

For det første, må probene renses mellom hver prøve. Dette blir en relativt avansert oppgave for en mobil robot ute på et jorde. For det andre må man fjerne det øverste jordlaget før man tar prøvene. Dette er i seg selv ikke en veldig vanskelig oppgave, men når man må ha en funksjon for dette, i tillegg til en for rensing av prober, blir det en ganske innviklet prosess å få tatt prøvene (Bluelab, 2011).

Det er også et par andre, litt mindre hindre, som at det kan ta opptil 4 minutter før prøveresultatet har stabilisert seg, og at apparatene ikke kan logge resultater direkte til et format som kan leses av en datamaskin, så det må i så fall utvikles en løsning for det (Bluelab, 2011).

Det blir etter hvert et veldig innviklet system som må til for å få dette til å fungere. Jeg tok kontakt med Peter Dörsch, som er forsker ved jordfag, for å høre om han trodde det ville fungere. Han sa at teknologien for pH-målinger i samtid ikke eksisterer ennå, og at de metodene som brukes til å regne seg fram til pH verdiene sånn som Bluelab-produktet gjør, ikke er nøyaktige nok til å brukes som grunnlag for jordbearbeiding (Dörsch, 2015).

Peter sier imidlertid at det drives mye forskning på området. Det er blant annet et prosjekt ved Universitetet i Osnabrück, Tyskland som heter Veris MSP, som virker lovende (Dörsch, 2015).

I dag er den vanlige praksisen at man tar jordprøver med GPS-merking for hvert mål, for så å kalke etter dette. Jeg skal også se på hvorvidt dette er oppgaver som roboten kan utføre.

2.2 Ta jordprøver med roboten

Den største utfordringen ved å ta jordprøver er å håndtere prøvene etterpå. Boret som brukes på jordprøvebilen kan overføres til roboten uten noen store modifikasjoner. Oppgavene som roboten må utføre hvis den skal erstatte sjåføren av jordprøvebilen er; å finne en tom eske, plassere den der boret slipper ned jord, fylle den med jord, merke den, og legge den på en dedikert plass for fulle esker. Verktøyet vil da bli veldig avansert og det vil ha mange bevegelige mekaniske deler. Man kan eventuelt også få roboten til å plassere de fulle eskene i et depot, samt å hente nye, tomme esker.

Den beste løsningen jeg kan tenke meg for merking av prøvene, er at alle eskene er merket med strekkoder, roboten leser av strekkoden på den esken den tar opp, for så å logge koordinatene sammen med strekkoden. Prøvene må også sendes til analyse, så det blir uansett ikke en 100 % automatisk operasjon med det første.

Åge Petter Steinsett fra Sandefjord, som er den første som startet med GPS-baserte jordprøver i Norge, tar 700 kr i timen for jordprøvetakningen, og at han sier at han kan ta for seg ca. 1000 mål på en 8 timers arbeidsdag. Den totale utgiften for bonden blir da 5600 kr for 1000 mål (Steinsett, 2015).

Det må kjøres 100 meter mellom hver prøve. Bilen har en snittfart på 20 km/t mellom prøvene. Da er 5 av de 8 timene Steinsett bruker ren kjøretid. Hvis roboten kjører i 1 m/s, vil den ha over 27 timer i kjøretid for å klare å ta 1000 prøver (Steinsett, 2015).

Roboten kan ennå ikke arbeide døgnet rundt uten tilsyn. I tillegg er det begrensninger på batterikapasitet, og det må beregnes noe tid til prøvetaking så i praksis tar det sannsynligvis mer enn tre ganger så lang tid hvis man skal bruke roboten til å ta jordprøver. Hvis vi regner at det tar tre ganger så lang tid (som er et rimelig konservativt anslag), må prisen pr dag ligge under 1867 kr for at det skal lønne seg å bruke roboten.

Jordprøver er noe man vanligvis tar hvert 5. år, så det kommer aldri til å lønne seg å kjøpe jordprøveverktøyet bare for å ta prøver på sin egen gård, selv om man allerede eier landbruksroboten. Det er mer realistisk å se for seg at noen har kjøpt jordprøveverktøyet og leier det ut. Men jeg tror uansett ikke at noen vil være villige til å leie ut et så avansert verktøy for under 1900 kr pr døgn.

I tillegg veier ikke den bilen som tar jordprøver mer enn 1 tonn, og den kjører ikke over hele jordet, så det er ikke så mye jordkompresjon at man bør vurdere å bruke roboten ut fra det hensynet heller. Derfor mener jeg at det ikke vil lønne seg å bruke landbruksroboten til å ta jordprøver før den kan kjøre fortere mellom prøvestedene.

2.3 Kalke med roboten

Dersom roboten skal brukes til kalking, må vi bare praktisere overflatekalking, det vil si at vi ikke blander kalken ned i jorda, men bare sprer den ut på overflaten. Roboten har ikke krefter nok til å ploge og harve opp jorda. Overflatekalking blir blant annet praktisert ved kalking av beitemark og eng, og det skal ikke fungere noe dårligere, det tar bare litt lengere tid å endre pH-nivået (Vedlegg 1, 2015).

Den største utfordringen ved å kalke med roboten er tyngden til kalken som skal fraktes. Steinseth sier at det ofte kan være stor variasjon i den typiske mengden CaO som må tilføres pr dekar både innad på ett jorde, og fra jorde til jorde. Dersom det måles og kalkes hvert femte år, som er det mest vanlige, er den gjennomsnittlige mengden CaO som må tilføres pr daa ca. 180 kg (Steinseth, 2015).

Roboten veier 150 kg, og maksimal total vekt er 300 kg. Hvis vi ser for oss at kalksprederen vil veie 25 kg, vil vi ha en kapasitet på 125 kg kalk. Roboten vil da kunne kalke i gjennomsnitt 0,66 dekar pr ladning med kalk, hvis vi bruker den mest konsentrerte formen for kalk, som er brent kalk.

Vi sier at roboten kalker med en bredde på 2 m. Da må den kjøre i 500 m for å dekke et dekar med kalk. I gjennomsnitt, kan den kjøre 333 meter for hver gang den må fylle på kalk. Det virker svært upraktisk.

2.4 Kalking med roboten forutsatt at den også kan måle pH

Slik situasjonen er i dag, virker det som det egentlig ikke er aktuelt å bruke roboten hverken til pH-målinger, jordprøver eller kalking. Derfor velger jeg å ta utgangspunkt i at teknologien for å foreta pH-målinger i samtid eksisterer, og at vi kan kjøre en runde over jordet med roboten for å måle pH, for så å kjøre en runde til for å kalke etterpå.

Siden vi da ikke trenger å samle inn og analysere jordprøver, kan vi måle pH hyppigere. Hvis vi måler pH hvert år istedenfor hvert femte, vil roboten i gjennomsnitt kunne kalke 3,17 dekar før den må fylle på mer kalk, dersom vi bruker den mest konsentrerte kalktypen. Først da begynner det å bli praktisk gjennomførbart å bruke roboten til kalking.

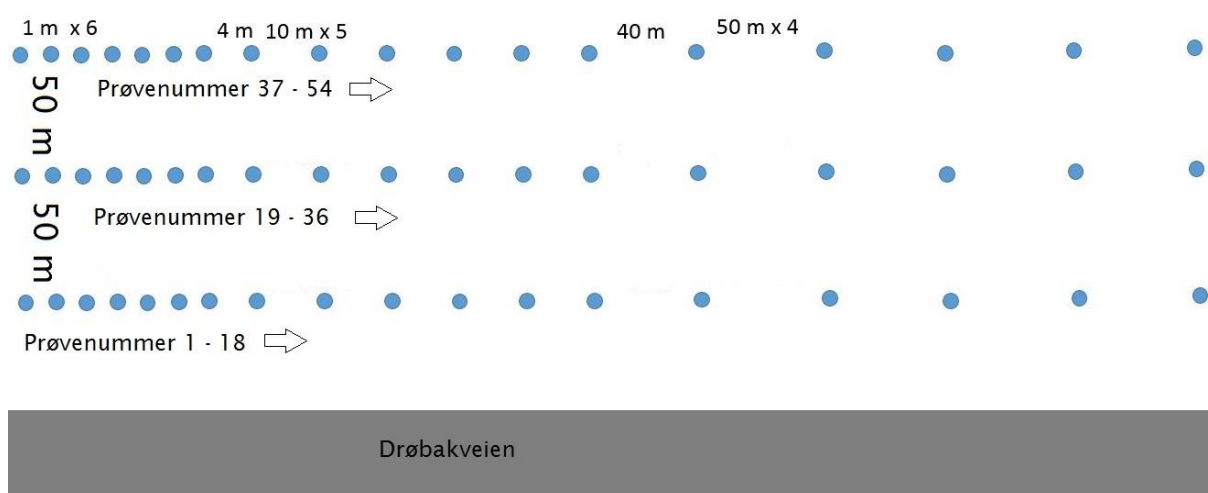
Man må også få på plass datasystemene. Det enkleste er å få roboten til å logge pH-resultatene i Jordplan, slik at det kan genereres en kalkningsplan der. Hvis det ikke lar seg gjennomføre, må det utvikles programvare som kan gjøre dette for roboten. Jeg frykter at det kan bli for dyrt til at det vil lønne seg, så derfor forutsetter jeg at systemet som måler pH i samtid også kan logge dette rett in i Jordplan og generere en kalkningsplan der.

3. Jordprøver

3.1 Introduksjon

For å finne ut hvor store intervaller det er nødvendig å ha mellom pH-målingene med roboten, har jeg tatt jordprøver med forskjellige mellomrom på Kjerringjordet i Ås. Etter å ha pratet med Tore Krogstad på Jordfag om hvordan de tar prøvene sine, bestemte jeg meg for å ta syv prøver med 1 meters mellomrom, syv med 10 meters mellomrom og syv med 50 meters mellomrom (Krogstad, 2015).

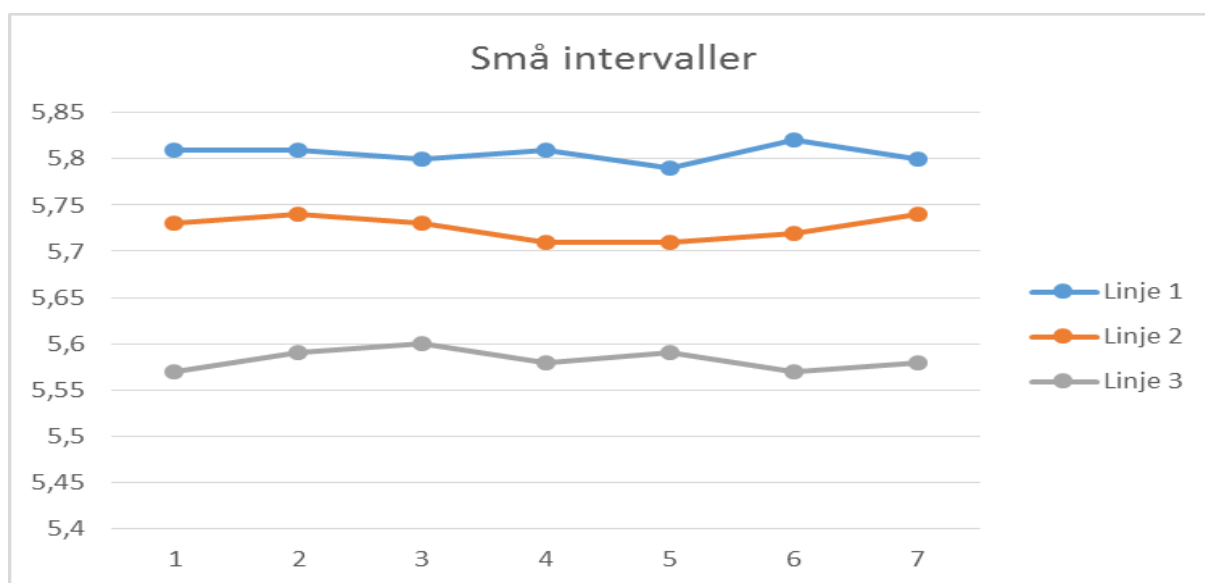
For å få en god måling, er det nødvendig å ta flere stikk med jord pr prøve (Krogstad, 2015). Derfor er det ikke noe poeng i å ta prøver med særlig mindre intervaller enn dette. Jeg har tatt tre stikk pr jordprøve. For å få nok data til å kunne sammenlikne resultater, har jeg tatt tre slike serier, som vist på figur 6:



Figur 6: Oversikt over jordprøver

3.2 Motivasjon

Dette skal ikke være et statistisk korrekt eksperiment, men hensikten er at det skal være nok til å kunne gi en liten indikasjon på hvor hyppig man bør måle pH. For å finne ut dette, ser jeg på variansen til de forskjellige seriene med prøver, for å se hvordan den utvikler seg når intervallet mellom målingene minker. Poenget med eksperimentet er at når prøvene er tatt nærme nok hverandre, vil de få så å si den samme verdien, og standardavviket vil gå mot null, som vist på Figur 7 og Tabell 1:



Figur 7: Ønsket resultat for små intervaller

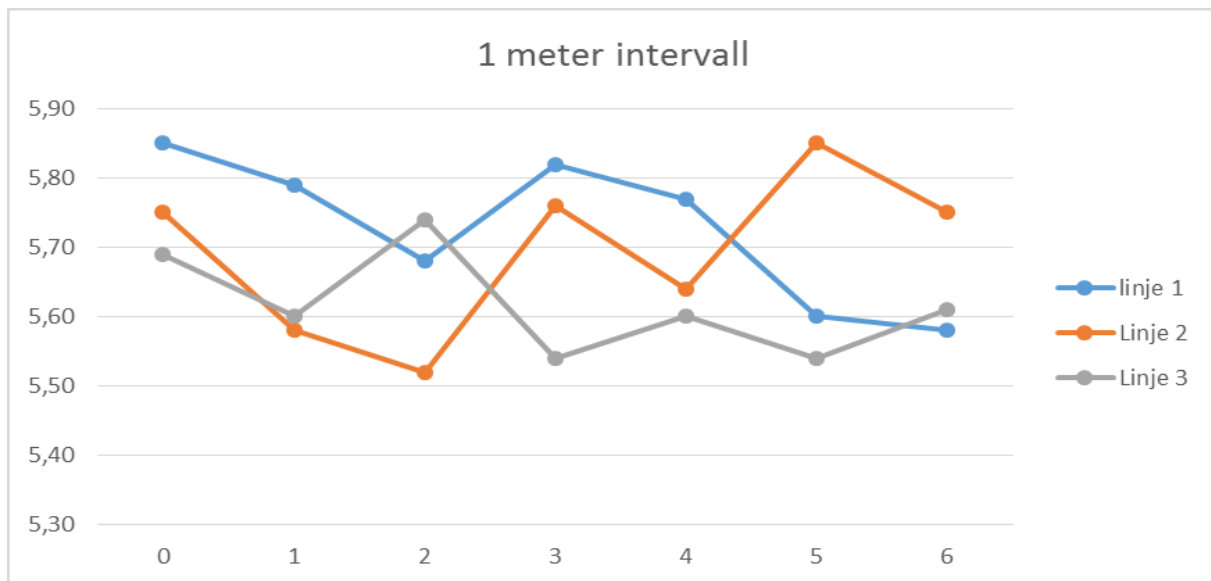
Tabell 1: Ønsket standardavvik for små intervaller

	L1	L2	L3	
	5,81	5,73	5,57	
	5,81	5,74	5,59	
	5,80	5,73	5,60	
	5,81	5,71	5,58	
	5,79	5,71	5,59	
	5,82	5,72	5,57	
Standard	5,80	5,74	5,58	Snitt:
Avvik	<u>0,0090</u>	<u>0,0118</u>	<u>0,0103</u>	0,0104

3.3 Jordprøveresultatene

Det er egentlig vanskelig å si om jeg har nok data, siden seriene er tatt på forskjellige steder og egentlig skal være forskjellige, men jeg prøver i hvert fall å kommentere det jeg har funnet. Her er i alle fall målinger, standardavvik og grafer for henholdsvis en-, ti- og 50 meters intervaller:

3.3.1 1 meters intervaller

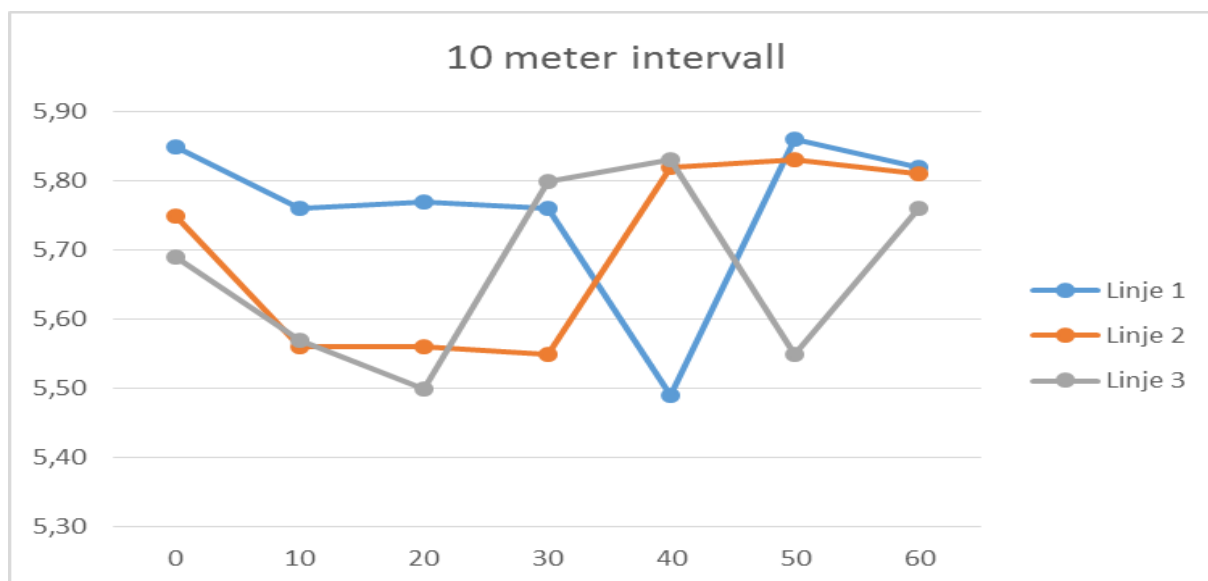


Figur 8: Resultat 1-meters intervaller

Tabell 2: Standardavvik 1-meters intervaller

	L1 1m	L2 1m	L3 1m	
	5,85	5,75	5,69	
	5,79	5,58	5,60	
	5,68	5,52	5,74	
	5,82	5,76	5,54	
	5,77	5,64	5,60	
	5,60	5,85	5,54	
Standard	5,58	5,75	5,61	Snitt:
Avvik	0,1077	0,1163	0,0741	0,0993

3.3.2 10 meters intervaller

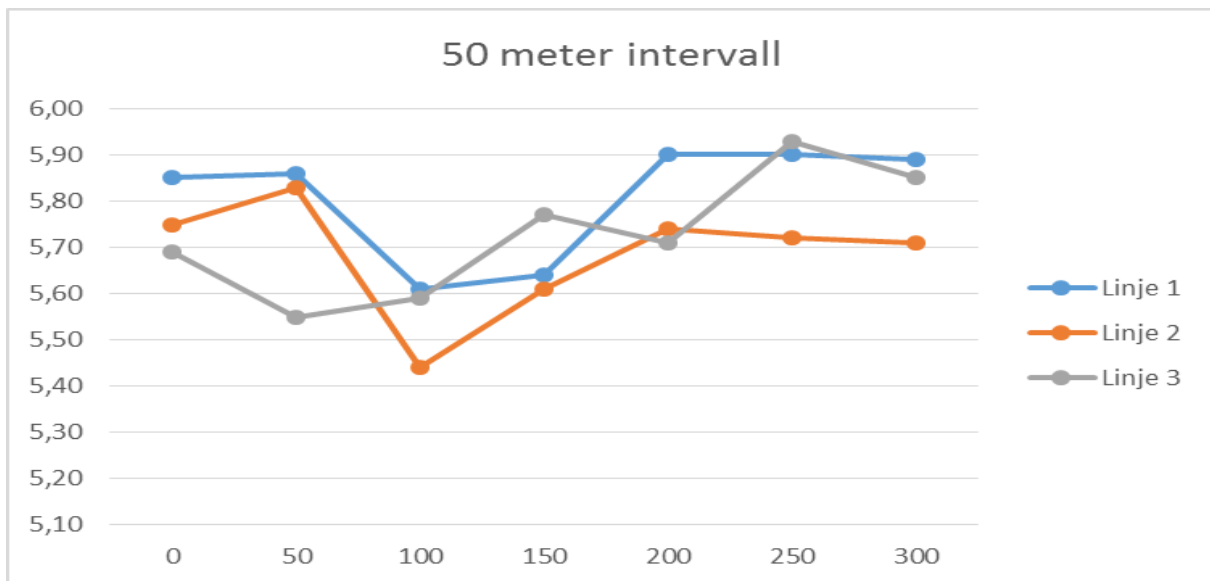


Figur 9: Resultat 10-meters intervaller

Tabell 3: Standardavvik 10-meters intervaller

	L1 10m	L2 10m	L3 10m	
	5,85	5,75	5,69	
	5,76	5,56	5,57	
	5,77	5,56	5,50	
	5,76	5,55	5,80	
	5,49	5,82	5,83	
	5,86	5,83	5,55	
Standard	5,82	5,81	5,76	Snitt:
Avvik	0,1256	0,1339	0,1318	0,1304

3.3.3 50 meters intervaller



Figur 10: Resultat 50-meters intervaller

Tabell 4: Standardavvik 50-meters intervaller

	L1 50m	L2 50m	L3 50m	
	5,85	5,75	5,69	
	5,86	5,83	5,55	
	5,61	5,44	5,59	
	5,64	5,61	5,77	
	5,90	5,74	5,71	
	5,90	5,72	5,93	
Standard	5,89	5,71	5,85	Snitt:
Avvik	0,1262	0,1263	0,1354	0,1293

3.3.5 Variasjonsbredde

Det kan også være interessant å se på variasjonsbredden, dvs. differansen mellom største og minste måling, i de forskjellige intervallene.

Tabell 5: Variasjonsbredde

Variasjonsbredde	L1	L2	L3	snitt
1 m	0,27	0,33	0,20	0,27
10 m	0,37	0,28	0,33	0,33
50 m	0,29	0,39	0,38	0,35

3.3.6 Kovarians

Tabell 6: Kovarians

Kovarianstabell			
	Linje 1,2	Linje 1,3	Linje 2,3
1 m	-0,0027	0,0008	-0,0053
10 m	-0,0016	-0,0083	0,0055
50 m	0,0136	0,0061	0,0019

Her er kovariansen omtrent 0 for alle tilfellene og det betyr at de ikke er avhengige av hverandre. Dette er som forventet, siden målingene er tatt forskjellige steder og dataene skal være forskjellige.

3.4 Sammenlikning

Ved å studere grafene, ser vi at vi ikke er i nærheten av de rette linjene vi ønsker for å kunne si at pH-verdiene er den samme innenfor den avstanden. Selv om gjennomsnitts standardavvikene er litt mindre ved en-meters intervallene enn ved de to lengre intervallene, kan vi ikke trekke noen konklusjon ut i fra dette forsøket. Ved ti meter og 50 meter er de praktisk talt identiske. Dette viser oss at det er litt mindre variasjon på én-meters intervallene enn på de større intervallene, men at denne trenden ikke fortsetter når vi øker fra ti-meters intervaller til 50-meters intervaller, men ikke nok til at det er noe poeng i å måle pH hver meter i forhold til hver femtiende.

Når vi ser på variasjonsbredden, har vi også den samme tendensen med at én-meters intervallene har litt mindre spredning enn ti- og 50 meters intervallene, men spredningen er fortsatt veldig stor her også. Disse dataene bekrefter akkurat det samme som de forrige; at det ikke er noe poeng i å måle så nøyaktig som én-meters intervaller når dataene varierer nesten like mye som ved 50-meters intervallene.

Vi ser også indikasjoner på at de kartene som brukes til kalking med GPS i dag kanskje ikke har noe for seg. Vi har store endringer i pH helt ned på meternivå, og disse kartene baserer seg på målinger hver 100. meter. Dersom to målinger etter hverandre med 100 meters mellomrom har lik pH, er det plass til utallige variasjoner i pH på strekningen mellom disse, selv om det kalkeslikt over alt på strekningen.

Standardavviket er ikke nærme null selv på det minste intervallet vi har sett på. Det betyr ikke nødvendigvis at det er mye usikkerhet i målingene, som det kan gjøre på andre typer eksperimenter. Det kan også bety at det er sånn pH-en varierer, men det kan vi ikke si noe om, ettersom vi ikke vet noe om utviklingen mellom målingspunktene.

Poenget med disse målingene var å se om vi kunne måle såpass tett at det er mulig å se en sammenheng, og å kunne se et mønster i hvordan utviklingen må være også mellom målingene. Det er ikke mulig å se noe sånt ut fra disse dataene.

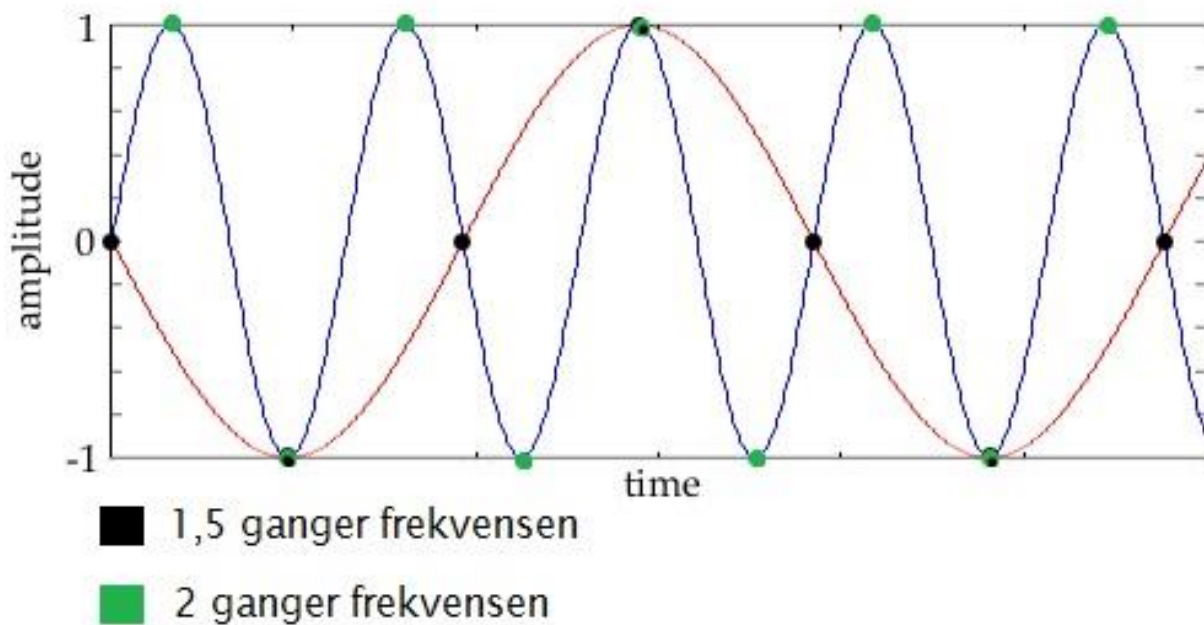
Hvis vi skal prøve å trekke noen som helst konklusjon av dette forsøket, må den bli at hvis man skal drive med presisjonskalking, så holder det nok ikke å måle pH hver meter en gang. Vi ser også at hvis du ønsker å måle hver tiende meter, så kan du like godt måle hver 50-ende, for det er like stor variasjon mellom 50- og ti meter. Dette stemmer bra med resultater fra tidligere forsøk, som sier også at det ofte er veldig stor variasjon i pH på liten skala i jord (Erstad, 2012).

Det kunne vært interessant å tatt de samme prøvene med fem-meterers intervaller og 0,5-meters intervaller, for å se hvordan utviklingen er mellom en og ti meter og under en meter. Men det beste hadde nok vært å prøve med et annet type forsøk.

4. Alternativt forsøk

4.1 Teori for alternativt forsøk

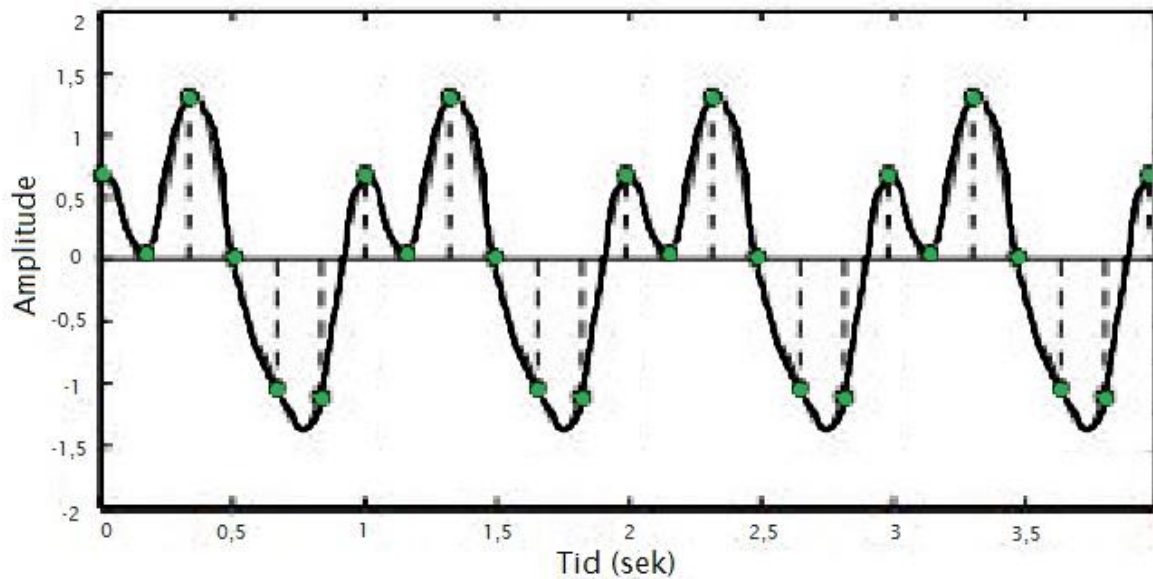
Hvis vi skal beskrive variasjonen i pH-verdier på et jorde perfekt, må vi måle kontinuerlig og ta uendelig mange målinger. Dette er ikke mulig, så vi må ta et visst antall målinger og prøve å estimere hvordan utviklingen er mellom disse. Hvis vi ser for oss at pH-verdien varierer med en slags rytme, sier Nyquists samplingsteorem oss at den laveste frekvensen vi kan ta målinger med er to ganger den høyeste frekvensen som inngår i den rytmen. Tar vi færre målinger enn dette, vil målingene også beskrive rytmer med lavere frekvens enn den vi ønsker å beskrive, som vist på figur 11 (Olshausen, 2010).



Figur 11: Nyquists samplingsteorem

Fra: <http://music.columbia.edu/cmcmusicandcomputers/images/chapter2/aliasing.jpg>

Vi kan se at dette også gjelder for mer komplekse rytmer. I figur 12 ser vi et eksempel som har en rytme som er sammensatt av frekvenser på 1 Hz, 2 Hz og 3 Hz. Vi ser at målefrekvens på 6 Hz, kan brukes til å beskrive denne rytmen.



Figur 12: Nyquists samplingsteorem sammensatt frekvens

Fra: <http://redwood.berkeley.edu/bruno/npb261/aliasing.pdf>

pH-verdien på et jorde vil sannsynligvis ikke variere med en jevn rytme, så dersom vi vil ha en eksakt beskrivelse av pH-en, må vi fortsatt ta ekstremt mange målinger. Derfor må vi prøve å finne et kompromiss mellom uendelig mange målinger med perfekt beskrivelse av pH og få målinger med dårlig beskrivelse. Det er veldig vanskelig å si hvor ofte vi må måle ut fra dette, eller ut fra noe annen teori, så man må egentlig bare gjøre et forsøk der man måler så ofte som det er praktisk gjennomførbart. Forhåpentligvis vil resultatene fra et slikt eksperiment gi oss de svarene vi er ute etter.

4.2 Alternativt forsøk, pH-måling

For å få gode data på pH-utvikling bør det eksperimentet jeg har utført modifieres litt og oppskaleres veldig mye. Jeg foreslår at vi bør ha et rutenett med ruter på en ganger en meter over et stort område på et jorde, og ta en prøve pr rute. Dette må gjentas på flere forskjellige jorder for å justere for de individuelle egenskapene vi har ved forskjellige jorder. Så må utviklingen i pH-verdi på forskjellige arealstørrelser sammenliknes.

Dette blir ekstremt mange jordprøver, så det vil ta lang tid og kreve mye ressurser, i alle fall hvis prøvene skal tas og behandles like manuelt som de prøvene fra det eksperimentet jeg gjennomførte. Sannsynligvis går det an å få til en større grad av automatisering når det er snakk om så mange prøver.

Jeg mener uansett at det er så omfattende arbeid som må til for å finne ut hvor ofte vi må måle pH på et jorde. Her er det så store forskjeller og så mange variabler at det bare er en stor mengde data som kan gi oss en oversikt over hvordan pH-en endrer seg i en liten skala. Basert på dataene om hvordan pH utvikler seg i liten skala på et jorde, kan vi finne ut hvor ofte det er nødvendig å måle pH med roboten.

4.3 Nytt forsøk, optimal pH

Jeg har funnet veldig lite data på eksakt hvilken pH-verdi som gir optimal vekst for forskjellige planter. Jeg har funnet ut at det har blitt gjort et slikt forsøk med bygg, men jeg har ikke funnet noe forsøk for andre vekster. Uansett var det vanskelig å finne resultatene fra dette forsøket og jeg fant det bare som en bitte liten del av en større kalkningsrapport. Hvis det er gjort slike forsøk for flere vekster bør disse resultatene gjøres lettere tilgjengelig, og kalkdistributørene bør begynne å operere med disse verdiene istedenfor de intervallene de opererer med i dag. Resultatene fra dette forsøket er at vi hadde høyest avling ved pH-verdier på 6,55 uten et vanningsystem, og på 7,09 med vanningsystem(Erstad, 2012).



Figur 13: Eksempel på forsøk med optimal pH

Fra:

http://www.kalk.no/files/PDF/Kunnskapsbibliotek/Rapport_Kalkningm%C3%A5l_Korn_Gras_Nov2012.pdf

Et slikt forsøk bør gjennomføres ved at man har samme antall frø av en vekst i like potter med like mye jord, innendørs, sånn at alle andre parametere enn pH-verdien i jorda er den samme. I figur 13 ser vi et liknende eksperiment som det jeg foreslår. De har sammenliknet pH-er på 6,7 og 5,2, og funnet at røttenes vekt ble 230 gram når de hadde 6,7 i pH og 130 gram for den med 5,2 i pH. Jeg vil ha et eksperiment som likner på dette, men jeg vil at pH-verdiene bare skal variere med 0,1. Det kan også være lurt å ha flere potter av hver pH-verdi, for å veie opp for unøyaktigheter. Til slutt må vi sammenlikne og finne den pH-verdien som gir best gjennomsnittlig avling (Erstad, 2012).

5. Kalkspreders utforming

Hvor stor presisjon vi trenger i kalkingen avhenger av hvor ofte vi måler pH. Siden vi ikke har gjennomført forsøk der vi kan konkludere med hvor ofte vi må måle pH, kan vi heller ikke vite helt hvordan kalksprederen må være utformet. Hvis vi ikke trenger å kalke så presist, kan vi gå for en enkel løsning, men hvis forsøkene viser at vi trenger stor presisjon, må vi nok ha en relativt avansert kalkspreder.

5.1 Vi måler pH hver femte meter eller sjeldnere

Dersom vi måler pH sjeldnere enn for hver femte meter, ser jeg for meg at kalksprederen kan ha samme utforming som en vanlig spredermaskin med justerbar åpning for hagebruk, bare litt modifisert. En sånn spreder er rett og slett bare en beholder som har et hull med regulerbar åpning i bunnen. Under hullet er det en roterende skive med noen forhøyninger som sprer ut det som detter ut av beholderen. Skiven drives vanligvis av hjulene via en girkasse når sprederen dyttes framover, men siden hjulene på roboten kan rotere uavhengig av hverandre, er det ikke mulig å drive denne skiven med hjulene, så vi må ha en liten motor til å drive den.



Figur 14: Kalkspreder for hagebruk

Fra: <http://www.agri-fab.com/Portals/0/Images/AgriFabAdmin/Products/85lb-push-spreder-lrg.jpg>

En spreder med kapasitet på 60 liter veier ca. 16 kg (Agri-Fab, 2015). Hvis vi ser for oss at den kommer til å veie 25 når den er modifisert og ferdig montert på roboten, har vi kapasitet

til å ta med 125 kg kalk. Massetettheten til kalk er $2,6 \text{ kg/dm}^3$ (Franzefoss Miljøkalk, 2015). Da har vi kapasitet til å ta med 48 liter med kalk, og 60-liters modellen vil holde.

Åpningen i bunn av beholderen reguleres med en tannstang som drives av en liten motor. Åpningsstørrelsen som trengs må regnes kontinuerlig mens roboten kjører over områder med forskjellig pH. Det er flere faktorer som må tas med for å regulere åpningsstørrelsen, og flere av disse kan ikke beregnes uten grundig testing.

Vi må finne ut hvor mange kilo kalk som kommer ut av sprederen pr sekund, og hvor mange meter ut på sidene den kan spre kalken som en funksjon av åpningsstørrelsen. Dette må deles på hastigheten til roboten, og sammenliknes med antall kg kalk pr m^2 som trengs der, for å finne riktig åpningsstørrelse. Kanskje må også hastigheten på skiven som står for spredningen reguleres, og legges inn i likningen.

5.2 Vi måler pH hver meter eller oftere.

Dersom vi trenger å måle pH såpass ofte, må vi også spre ut kalk mye mer presist for å kunne utnytte de målingene. Hvis vi skal prøve å ta utgangspunkt i samme design som for de mindre hyppige målingene, må vi i hvert fall sløyfe sprederskiva, siden den ødelegger for presisjonen på jordet. Hvis «flyten» av kalk ut av åpningen er konstant går det an å se for seg den samme kalkbeholderen, med litt mindre åpning, men uten sprederskiva. Aller helst bør den også kunne beveges fra side til side på roboten, så roboten ikke må kjøre unødvendig mange striper fram og tilbake.

Dersom vi ikke har en konstant «flyt» av kalk ut av åpningen, må vi legge til noe for å få en jevn mengde ut. En måte å få til dette kan være å legge til et ristebrett et sted i prosessen, men da må det gjøres på en sånn måte at det ikke går ut over presisjonen. Det må derfor testes grundig før det blir implementert på kalksprederen.

Her må vi også teste noe av det samme som på den store varianten for å finne ut hvor stor åpningen må være i forhold til antall kg som trengs pr m². Selv om vi slipper å tenke på sprederskiven, må vi teste med hensyn på et eventuelt ristebrett, eller et hva blir er som eventuelt skal brukes for å få til en jevn flyt av kalk.

Det kan godt hende testene viser at det ikke er mulig å kalke presist med en konstruksjon som likner en vanlig hagespreder. Da må vi finne på noe mer avansert som har mye høyere presisjon. Men jeg velger å ikke bruke tid på det nå, siden det ville være svært tidkrevende, og uansett bortkastet dersom testene viser at dette designet fungerer.

6. Økonomisk Analyse

Før vi bestemmer oss for om vi skal bruke tid på å lage et kalkeverktøy til roboten, må vi finne ut om det i det hele tatt vil lønne seg å bruke roboten til å kalke.

6.1 Kostnad for kalkspredning

Dette er en oversikt over prisene for forskjellige typer kalk:

Tabell 7: Kalkpriser

Kalktype (Kalkverdi)	Pris ferdig spredd ut (kr/tonn)	Pris ikke spredd ut (kr/tonn)	Pris ferdig spredd ut (kr/tonn CaO)	Pris ikke spredd ut (kr/tonn CaO)
Brent Kalk (95)	Ikke oppgitt	2475 (Franzefoss, 2015)	Ikke oppgitt	2605,26
Halvbrent Dolomitt (80)	670 (Franzefoss, 2015)	590 (Franzefoss, 2015)	837,50	737,50
Grovkalk (53)	610 (Råde Mølle, 2015)	Ikke oppgitt	1150,94	Ikke oppgitt

Vi ser at uansett om vi sprer ut kalk med roboten eller ikke, er Halvbrent Dolomitt det billigste alternativet pr kg CaO. Prisforskjellen mellom kalking med robot og å bestille kalk ferdig spredd ut er 100 kr pr tonn CaO. Med en gjennomsnittstilførsel av kalk på 187,5 kg CaO pr daa hvert femte år tilsvarer denne prisforskjellen 3,75 kr pr dekar pr år.

6.2 Innsparing ved å unngå jordpakking

Dette er ikke den eneste økonomiske fordelene ved å kalke med roboten. Jo flere av oppgavene på jordet som roboten kan ta fra traktorene, jo mindre blir jordkompresjonen, og jo mindre blir behovet for pløying og harving.

Gjennomsnittlig drivstofforbruk ved pløying er 1,3 l/daa, mens det ved harving er 0,6 l/daa (Julseth, 2010). Dersom prisen på «avgiftsfri» diesel er 11 kr (Uno X, 2015), utgjør dette til sammen 20,90 kr pr dekar. I tillegg kommer kostnaden for arbeidstiden som brukes på å pløye

og harve. Når man pløyer med en treskjærsplog, klarer man å dekke ca. 18 daa i timen i gjennomsnitt, mens når man harver, som er en mye grunnere operasjon, kan man ta ca. 50 daa i timen (Huseby, 2015). Snittlønn for en bonde var 310 000 kr i året i 2014, og gjennomsnittlig årsverk var 1845 timer. Ut fra disse tallene blir gjennomsnittlig timelønn for en bonde 168 kr. Innsparingen på arbeidskraft blir da 12,69 kr. Totalt kan man spare inn 33,59 kr/daa ved å unngå pløying og harving, dersom det ikke har noen negative effekter på avlinga (Børve, 2014).

Tabell 8: Innsparing ved å unngå pløying og harving

Operasjon	Innsparing på drivstoff	Innsparing på arbeid	Total innsparing
Pløying	14,30 kr/daa	9,33 kr/daa	23,63 kr/daa
Harving	6,60 kr/daa	3,36 kr/daa	9,96 kr/daa
Totalt	20,90 kr/daa	12,69 kr/daa	33,59 kr/daa

I tillegg til dette vil bonden nyte godt av at det blir mindre jordpakking i de dype jordlagene. Jordskader nede på 50 cm dybde regnes som varige, siden hverken mekaniske tiltak, røtter eller klimaprosessene virker der nede. Det er vanskelig å beregne kostnadene dette medfører, men det medfører definitivt noen ekstra kostnader (Sloreby, 2009).

Jordpakkingen vil ikke bare gi dårligere vekstvilkår for de plantene man ønsker å dyrke, men det er også flere ugressplanter som trives bedre i hardt pakket jord. Da må tid og ressurser brukes på å bekjempe dette i stedet for annet produktivt arbeid. Jordpakking kan føre til avlingsnedgang på opptil 25%, men dette tallet kan variere veldig mye, så jeg velger å se bort fra det i den økonomiske modellen. Jeg vil heller påpeke at dette er en ekstra fordel ved å bruke lettere arbeidsmaskiner ute på jordet (Sloreby, 2009).

Denne innsparinga kan bare regnes med dersom pløying og harving sløyfes helt. For at dette skal kunne gjennomføres uten store negative effekter på avlingene, må roboten også utføre alle andre oppgaver på jordet, slik at vi ikke har noe jordkompresjon.

6.3 Inntekter fra avlingsøkning ved perfekt kalking

I følge en rapport fra 2012, gir perfekt kalking et avlingsøkning på ca. 10% (Erstad, 2012). Ved å kalke hvert år, og måle akkurat hvor mye kalk som trengs hver gang, vil man konstant ligge mye nærmere den ideelle pH-en, enn man ville hvis man kalket og målte hvert femte år. Gjennomsnittlig produksjonsinntekt pr bonde var 640 000 kr i året i 2014, og gjennomsnittlig antall daa pr gårdsbruk var 231 i samme år. En økning på 10 % i avlingen tilsvarer ca. 277 kr i inntekt pr daa pr år, dersom vi forutsetter at inntekten øker proporsjonalt med avlingen. Dette er ikke noe eksakt tall, og det er basert på veldig grove forenklinger, men siden det er en såpass stor sum, indikerer det allikevel at det kan være mye å tjene på denne type kalking (Børve, 2014).

Det er selvfølgelig mulig å få til denne typen avlingsøkning med konvensjonell kalking, men det vil bli veldig dyrt, siden vi må basere oss på jordprøver. Dersom vi kan bruke roboten til å måle pH, kan vi ta prøver så ofte vi vil, så å si uten ekstra kostnader for hver ekstra prøve. Derfor velger jeg å tilskrive roboten denne økonomiske gevinsten.

6.4 Samlet økonomisk fordel

Uansett om inntjeningen man får fra økt avling med bedre kalking ikke er helt nøyaktig kalkulert, vil det sannsynligvis være her man er den største økonomiske fordelene ved å kalke med roboten. Innsparingen ved å slippe pløying og harving avhenger av at vi ikke har noen tunge kjøretøyer ute på åkeren og at alle oppgaver der ute må utføres av roboten. Det gjør også fordelene ved å unngå den dype jordpakningen. Derfor bør ikke hele denne summen krediteres kalking med robot, men heller en liten andel av den. Innsparingen på 3,75 kr pr daa pr år ved å utføre kalkingen selv er også minimal.

For å få et tall å regne videre med, sier jeg at 10% av innsparingen fra å slippe harving og pløying kan tilskrives robotkalking. Den totale økonomiske gevinsten ved å kalke med robot blir da 284 kr pr daa pr år. Hvis vi regner med at pH-målings- og kalkingsutstyret har en levetid på 25 år, blir den totale økonomiske gevinsten over disse årene 7101 kr pr daa.

Gjennomsnittlig antall daa pr gårdsbruk var 231 i 2014, gjennomsnittsgården vil ut fra disse tallene tjene over 1 640 000 kr på 25 år ved å gå over til å kalke med roboten. Dersom utstyret som må til for å kalke med roboten er billigere enn dette, vil det lønne seg for gjennomsnittsgården å investere i robotisert kalking (Børve, 2014).

6.5 Estimerte produksjonskostnader

Jeg går ut i fra at bonden allerede har en landbruksrobot, og velger derfor bare å se på kostnadene for å bruke denne til kalking.

En vanlig spreder for hagebruk koster 2700 kr på Felleskjøpet, så det bør være mulig å få modifisert den og automatisert den for godt under 10000 kr. Roboten trenger også et depot der den kan hente kalk når den går tom. Depotets materiale trenger ingen spesielle egenskaper, så jeg regner med at det kommer til å koste omtrent 5000 å få laget et sånt depot i helt vanlig stål (Felleskjøpet, 2015).

Hva sensorene som skal måle pH vil komme til å koste, blir foreløpig bare gjetning, men liknende sensorer med dagens teknologi koster 2400 kr. For å være på den sikre sida, setter jeg kostnaden for sensorene til 25000 kr. Den totale kostnaden for hele systemet, blir da 40000 (Gartenerbutikken, 2015).

6.6 Oppsummering

Hvis den totale kostnaden blir 40000, vil det lønne seg å investere i kalkingsutstyret dersom du har en gård på over 6 daa, og det skal godt gjøres å finne en gård som er mindre enn det. I tillegg til dette vil man høste fordelene av at det ikke blir noe jordpakning dersom alle oppgavene utføres av roboten i stedet for tunge traktorer.

7. Konklusjon

Når den teknologiske utviklingen kommer så langt at vi har muligheten til å måle pH-verdier i samtid, uten å måtte ta den lange veien om jordprøver, vil det helt klart lønne seg å bruke roboten til kalking.

Det er to forskjellige utfordringer ved å bruke roboten til kalking fram til vi kan måle pH i samtid. Enten vil vi ikke ha like god avlingsøkning dersom vi tar jordprøver og kalker hvert femte år. Roboten vil også kalke mer ineffektivt i dette scenariet, fordi vi må bruke så mye kalk hver gang. Eller så vil vi få en ekstra kostnad dersom vi skal ta jordprøver hvert år isteden for hvert femte. Vi vil heller ikke få målt pH like ofte som vi kunne gjort med roboten på grunn av kostnadene ved å ta jordprøver.

Det kan være aktuelt å bruke roboten til kalking allerede nå, til tross for disse problemene, fordi vi unngår jordpakking. Det er imidlertid ikke noe poeng i å begynne å kalke med roboten etter dagens kalkningsplaner før den også har tatt over de andre oppgavene på jordet, for først da kan vi nyte godt av å unngå jordpakking.

Ut fra de forsøkene som er blitt gjort i forbindelse med denne masteroppgaven, har jeg sett indikasjoner på at de kartene som brukes til kalking med GPS i dag kanskje ikke har noe for seg. Forsøkene viser at det er ekstremt store endringer i pH-verdi helt ned på meternivå, og det å måle pH hver 100. meter og kalke etter dette vil bare gi perfekt resultat hver 100. meter. Mellom de 100 meterne kan hva som helst skje.

Før vi skal begynne å måle pH i samtid med roboten, må det gjøres noen forsøk. Vi må finne ut hvor ofte roboten trenger å ta målinger, og vi må finne mer eksakt data på hva som er optimal pH-verdi for forskjellige planter og jordsmonn. Dagens data på dette er kun oppgitt som relativt store intervaller, og for å kunne øke avlingen mest mulig, må pH-en være så perfekt som mulig.

7.1 Videre arbeid

Denne masteroppgaven har kommet fram til mange negative konklusjoner og ubesvarte spørsmål. Derfor er det viktig å stake ut en vei for det videre arbeidet dersom vi skal ha noe særlig nytte av denne oppgaven.

7.1.1 Jordprøver

Det første som bør gjøres er å gjennomføre det foreslåtte forsøket med jordprøver som er beskrevet i Kapittel 4.2 i denne oppgaven. Det er et veldig omfattende forsøk, men dersom det gjennomføres, kan vi kanskje få et svar på hvor ofte det er nødvendig å måle pH.

7.1.2 Eventuelle pH-prøver

Det bør også gjøres grundig etterforskningsarbeid for å finne ut om det er gjort flere slike eksperimenter som er beskrevet i Kapittel 4.3 i denne oppgaven, eller om eksperimentet bare er gjort for bygg. Dersom det er gjort flere forsøk, bør resultatene fra disse bli publisert via kalkdistributørene, som er bøndernes kilder til kalk. Dersom det ikke er gjennomført flere slike forsøk, bør selvfølgelig også dette eksperimentet gjennomføres for alle aktuelle vekster.

7.1.3 Bygge kalkerverktøyet

Kalkerverktøyet bør bygges som beskrevet i Kapittel 5 i denne oppgaven, basert på de jordprøveforsøkene som er gjort

8. Kilder:

- Agri-Fab. (2015). *agri-fab.com*. Hentet den 21. april 2015 fra <http://www.agri-fab.com/Products/Spreaders/130-lb-push-spreader.aspx>
- Bergli, E. (2013, februar 7). *kalk.no*. Hentet den 22. januar 2015 fra <http://www.kalk.no/files/PDF/Kunnskapsbibliotek/Kalking%20i%20norsk%20landbruk.pdf>
- Bluelab. (2011). *bluelab.com*. Hentet den 22. januar 2015 fra <https://www.bluelab.com/getdoc/b0cf9f28-8706-4f10-9ec0-dba9e245bf29/File>
- Bluelab. (2014). *bluelab.com*. Hentet den 22. januar 2015 fra <https://www.bluelab.com/products/type/meters/soil-ph-meter>
- Børve, K. (2014, juni). *nilf.no*. Hentet den 26. april 2015 fra http://www.nilf.no/budsjettnemnda_for_jordbruket/Utreddinger_og_publicasjoner/2014/totalkalkylen_for_jordbruket-jordbrukets_totalregnskap_2012_og_2013_og_budsjett_2014._totale_inntekter_kostnader_og_vederlag_til_arbeid_og_egenkapital_i_jordbruket
- Dörsch, P. (2015, februar 10). pH-måling. (J. Bang, Intervjuer)
- Erstad, K.-J. (2012, april). *kalk.no*. Hentet den 22. januar 2015 fra http://www.kalk.no/files/PDF/Kunnskapsbibliotek/Rapport_Kalkingm%C3%A5l_Korn_Gras_Nov2012.pdf
- Felleskjøpet. (2015). *felleskjopet.no*. Hentet den 26. april 2015 fra <https://www.felleskjopet.no/produkter/spreder-manuell-60l-agrifab-50217553>
- Franzefoss. (2015). *kalk.no*. Hentet den 8. april 2015 fra www.kalk.no/Buskerud1
- Franzefoss Miljøkalk. (2007, juli 21). *kalk.no*. Hentet den 22. januar 2015 fra http://www.kalk.no/Files/PDF/Kunnskapsbibliotek/Kalkhaandbok_rev.pdf
- Franzefoss Miljøkalk. (2015). *kalk.no*. Hentet den 8. april 2015 fra http://www.kalk.no/files/PDF/Produktdokumenter/PDB/FMK/Landbruk/Agri%20Halvbrent%20Steetly_L-21.pdf
- Gartnerbutikken. (2015). *gartnerbutikken.no*. Hentet den 26. april 2015 fra <http://www.gartnerbutikken.no/products/bluelab-ph-meter-for-jord>

- Huseby, H. (2015, mars 14). Tidsbruk på jordet. (J. Bang, Intervjuer)
- Julseth, L. M. (2010). *nmbu.no*. Hentet den 16. mars 2015 fra http://www.nmbu.no/sites/default/files/pdfattachments/15_Julseth_Lars_Martin_Lave_nergilandbruke.pdf
- Krogstad, T. (2015, mars 23). Jordprøver. (J. Bang, Intervjuer)
- New Holland. (2007, oktober). *a-k.no*. Hentet den 18. februar 2015 fra <http://www.a-k.no/ikbViewer/Content/33680/T7000>
- Olshausen, B. (2010, oktober 10). *redwood.berkely.edu*. Hentet den 29. april 2015 fra <http://redwood.berkeley.edu/bruno/npb261/aliasing.pdf>
- Råde Mølle. (2015). *norgesfor.no*. Hentet den 8. april 2015 fra <http://www.norgesfor.no/nf/medlem/rade/Om-oss/Lokale-produkter-og-skjema/Kalk/>
- Serikstad, G. L. (2009, mai 12). *agropub.no*. Hentet den 10. mars 2015 fra <http://www.agropub.no/id/8257>
- Setså, R. (2013, juli 9). *geoforskning.no*. Hentet den 15. februar 2015 fra <http://www.geoforskning.no/nyheter/klima-og-co2/495-mineralavfall-kan-redusere-klimagassutslipp>
- Sloreby, B. (2009, mai 19). *norsklandbruk.no*. Hentet den 17. april 2015 fra - <http://www.norsklandbruk.no/article/reduser-dieselkostnadene-og-unnga-samtidig-jordpakking/>
- Steinsett, H. P. (2015, mars 12). Kalking i dag. (J. Bang, Intervjuer)
- Uno X. (2015, april 21). *unox.no*. Hentet den 2. april 2015 fra <http://www.unox.no/web/motorist/listepriser.nsf?opendatabase&bedrift>
- Vedlegg 1, M. f. (2015, januar 1). Mail fra Peter Dörsch.

9. Vedlegg

9.1 Vedlegg 1, Mail Fra Peter Dörsch

 **Peter Dörsch** <peter.doersch@nmbu.no> Jan 21 ☆ ↩ ▾
to me ▾

 Norwegian ▾ > English ▾ Translate message Turn off for: Norwegian x

Hei Johan

Det er lite kjent om småskalavariasjon av pH på kvadratmeterskala. For tilgjengelige data burde du ta kontakt med Skog og Landskap eller jordplan.no.

Presisjonskalking har absolutt noe for seg men er ikke nytt i og for seg. Det henger nok på presisjonsmålinger. Hvordan vil du får det til?

Vanlig landbrukskalk må ikke blandes inn fordi den løser seg ganske fort opp. Virkningen er selvfølgelig raskere når den blandes in og det også gjøres ofte i praksis, e.g. ved fornying av eng.

Er lit opptatt ttom 3. februar. Kan vi snakkes deretter?

Peter

From: Johan Bang [mailto:johansbang@gmail.com]
Sent: 20. januar 2015 15:22
To: Peter Dörsch
Subject: pH-verdier på jorder



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no