

Slutrapport

Bedömning av klöverandel i vallgödslingsförsök L3-2311 med hjälp av spektrala data och bildbehandling

Sammanfattning

Denna rapport omfattar resultat från 4 olika delundersökningar varav de tre första har haft som mål att bedöma klöverandel i blandvallar, medan den fjärde studien fokuserat på att göra bedömningar av proteinhalter och avkastning i vallarna.

- 1) Spektrala data insamlade med handburen Yara-sensor
- 2) Bilder tagna med digital kamera från marken som bearbetats med programvaran Cloversense.
- 3) Spektral data från torkade och malda prover som analyseras med NIR-utrustning på lab.
- 4) Spektrala data insamlade med hjälp av drönare utvärderats. Med dessa data har det inte varit möjligt att bedöma klöverandel utan istället har ts-halt, ts-skörd och råproteinhalter i grödan bedömts.

SLU i Umeå har utvecklat en kalibrering baserad på data från handhållen Yara-sensor som samlats in från försöksserien L3-2311 under åren 2017-2019. Totalt har data från 574 försöksrutor bearbetats. Resultaten av denna delundersökning visar på goda möjligheter att bedöma klöverandelen med ett genomsnittligt medelfel, Residual Mean Squared Errors (RMSE) på ca. 9 % klöver och en regressionskoefficient, R^2 , mellan uppmätta och prognosticerade klöverandelar på som bäst 0,68. Vid klassificering av olika vallar kunde man med 70% säkerhet bedöma om vallen ligger inom intervallen 0-10%, 10-20%, 20-40% eller över 40% klöver.

Vad gäller de övriga metoderna som användes för att bedöma klöverandelen, programvaran Cloversense och NIR analys av malda prover, togs prover ut från tre försöksserier 2020, nämligen *Vallfröblandningar 2-4 skördar, försök 111/18*, (Vallfrö, 2-4 skördar), *Skörde- och proteinhaltsmätning i vall – en jämförelse mellan olika tekniker hos Fröstorps mjölk* (Fröstorp) samt olika ekologiska vallar på Rådde gård, (EkoRådde).

På www.cloversense.net laddas bilder tagna med digital systemkamera eller mobilkamera upp och andelen gräs, klöver och ogräs beräknas. Totalt ingick 107 bilder. Undersökningen har visat att metoden generellt visar på en ganska hög korrelation mot uppmätta klöverandelar, men att andelen klöver ofta underskattas. Sambanden mellan Cloversense-uppskattade klöverandelar och det som uppmätts varierade mycket mellan de olika dataseten, från R^2 0,30 för Vallfrö, 2-4 skördar till 0,66 för EkoRådde. RMSE vid bedömningarna varierade från ca. 3% för Fröstorp till 8% för Vallfrö, 2-4 skördar och så mycket som 34% för EkoRådde. Skillnaderna var kopplade till nivån på klöverandelarna i de olika seten: I EkoRådde-setet var den genomsnittliga klöverhalten 58%, i Fröstorp-setet 7% och i Vallfrö, 2-4 skördar 17%, liknande medel som L3-2311 som låg på 15 %.

SLU Skara har tidigare tagit fram en modell för att med spektral mätning (NIR-teknik) på torkade malda grönmassaprover fastställa klöverandelen. Inom ramen för detta projekt har möjligheterna att använda befintlig kalibrering för att bedöma klöverandelen på de nya proverna studerats, samt möjligheterna att kombinera alla data och att ta fram en ny kalibrering baserat på det nya materialet. Totalt ingick 114 prover. Resultaten visar att modeller baserade enbart på det nya datasetet inte fungerade så bra och att en kombination av data från det gamla och det nya materialet knappast förbättrade den gamla kalibreringens prestanda. En kalibrering baserad på det gamla materialet fungerade bättre för att prediktera klöverandelen i det nya dataseten än en kalibrering enbart bestående av nya data. Orsaken kan vara att de nya försöken sinsemellan är så pass olika så att en gemensam kalibrering baserad på dessa inte fungerade bra. En annan orsak kan vara att malningsteknikerna inte

varit identiska i det gamla och det nya dataseten samt att en omfattande service på instrumentet genomförts mellan de båda studierna. Som bäst kunde en modell med ett RMSEP på 8,5% klöver tas fram för setet Vallfrö 2-4 skördar, och som bäst ett R^2 på 0,86 för setet EkoRådde, alltså liknande resultat som med Cloversense och handhållen Yara-sensor.

Slutsatserna från projektet är att N-sensor, Cloversense och NIR-analysen ger någorlunda likartade bedömningar av klöverandelen. Med samtliga metoder kan man oftast räkna med att kunna göra åtminstone en klassindelning av vallar med avseende på klöverandelen. Ett problem med denna undersökning är förstås att alla metoder inte jämförts på samma material och att de dataset som provtogs 2020 dels var ganska små och varierade sinsemellan väldigt kraftigt.

Yara-N-sensor kan vara ett intressant alternativ i de fall man ändå använder sensorn vid gödsling av vallar och ev. om man ändå bedömer kväveupptag i nollrutor på gården med handhållen sensor. En utökad användning av handhållna sensorer är på gång, t.ex. för mätning av nollrutor i stråsäd, och då kan bedömningar av klöverandel i vallar ev. vara aktuellt också.

Cloversense är ett intressant alternativ eftersom man här är oberoende av annan teknik än mobilkamera, men metoden i nuvarande form ger väl stora avvikelser från uppmätta klöverandelar. Särskilt underskattas höga klöverandelar kraftigt och metoden tillför inte mycket jämfört med en manuell bedömning av klöverandelen. Detta gäller dock då manuella bedömningen utförts av en erfaren bedömare. Möjligen kan det vara till nytta för att ”kalibrera” den egna bedömningen. Mer intressant kan det möjligen vara att ha en kamera på drönare som övervakar fälten, vilket testas i ett projekt på SLU Umeå.

NIR-analysen på torkat material ger likartad precision som Yara-N-sensor, förutsatt att man standardiserar malningen. I de fall man ändå tar ut prov för andra analyser, kan detta alternativ vara intressant.

Som ett separat inslag i projektet, gjordes även en behandling av data som samlats in från drönare med multispektral sensor. Lovande resultat erhöles vad gäller att bedöma ts-halt, ts-skörd och proteinhalt i vallgrödor om flygningarna genomfördes i nära anslutning till skörden. Som bäst uppnåddes ett R^2 värde på 0,94 för prediktion av ts-halt och R^2 värden uppemot 0,90 uppnåddes för prediktion av proteinhalt medan prediktion av ts-skörd fungerade något sämre. Att kombinera data från flera olika platser fungerade bra och även att kombinera data från strax före skörd 1 och strax före skörd 3. De bilder som tagits med drönaren var dock inte användbara för bedömning av klöverandel, då de var ganska oskarpa på grund av att drönaren var i rörelse då bilderna togs.

Inledning

Att uppnå hållbar och klimatmässig odling av blandvall med klöver och gräs, kräver att man har god kännedom om klöverns andel i blandvallen, och hur variationerna är inom fältet. Vet man andel klöver i vallen samt variationer i fält finns möjligheter att mer precisionsgödsla vallen, uppnå önskad proteinhalt i grönmassan och utnyttja klöverns förfruktsvärde i blandvallen.

Målsättning med projektet har varit att utvärdera olika metoder för att bedöma klöverandel i blandvallar. Metoderna som har undersökts har antingen byggts på insamling av data i fält innan slåtter av vallen (Handhållen Yara-sensor och bildanalys med programvaran Cloversense) eller på labb på torkade grönmassaprover (NIR-analyser). De olika metoderna har jämförts med botanisk analys av grönmassa (klippta prover har sorterats och torrvikten bestämts för klöver respektive gräs). Utvärderingen med Cloversense har även jämförts med okulär bedömning av klöverandel.

Ursprungligen var tanken att jämföra de olika metoderna i försöksserien *Kvävegödsling och strategi i blandvallar, L3-2311* som legat under 3 år 2017-2019 och på 6 olika platser där olika gödslingsgivor

har utvärderats. Tyvärr samlades data endast in med handhållen Yara-sensor från denna försöksserie. För att utvärdera programvaran Cloversense och NIR analys av malda prover, togs prover ut från tre försöksserier 2020, nämligen *Vallfröblandningar 2-4 skördar, försök 111/18*, (Vallfrö, 2-4 skördar), *Skörde- och proteinhaltsmätning i vall – en jämförelse mellan olika tekniker hos Fröstorps mjölk* (Fröstorp) samt olika ekologiska vallar på Rådde gård, (EkoRådde).

Som ett separat inslag i projektet, gjordes även en behandling av data som samlats in från drönare med multispektral sensor från ett urval av försöken ur serien L3-2311. Tanken var ursprungligen att dessa data också skulle kunna användas för bedömning av klöverandel. Då det tidigt stod klart att detta inte var möjligt, testades istället om dessa data skulle kunna användas för bedömning av proteinhalt och ts-skörd.

Material och Metoder

Metoder

Projektet har omfattat utvärdering/utveckling av följande redskap för att bedöma klöverandel i vallar, delprojekt 1-3:

- 1) Spektrala data insamlade med handburen Yara-sensor
 - 2) Bilder tagna med digital kamera från marken som bearbetats med programvaran Cloversense.
 - 3) Spektral data från torkade och malda prover som analyseras med NIR-utrustning på lab.
- 4) Dessutom har spektrala data insamlade med hjälp av drönare utvärderats, men med dessa data har det inte varit möjligt att bedöma klöverandel utan istället har ts-halt, ts-skörd och råproteinhalter i grödan bedömts.

1) Användning av handburen Yara-N-sensor för att prognosticera klöverandelen

Modeller för bedömning av klöverandel med hjälp av N-sensordata har tidigare tagits fram av SLU Umeå för ett mindre material. Algoritmen verkade lovande med ett R^2 på ca. 0,7 mellan uppmätt och predikterad klöverandel. Yara N-sensor är multispektralt instrument som samlar in data inom våglängdsområdet 400-1000 nm, med 10 nm upplösning och där man får ut 61 våglängdsband. Fyra spektra från olika vinklar samlades in och innan bearbetning av data beräknades ett medelvärde för dessa fyra spektra.

2) Cloversense

Cloversense har utvecklats av Aarhus Universitet under en följd av år och algoritmen som uppdateras kontinuerligt på web-platsen www.cloversense.net bygger på s.k. CNN (Convolutional Neural Networks). Den senaste versionen av produkten har visat sig ge en god överensstämmelse mellan bildanalysens bedömning av klöverandelen och uppmätt andel ($R^2 = 0,91$, Skovsen m.fl., 2021). Detta grundar sig på ett danskt material om 915 prover där referensmätningen gjordes på exakt samma ruta som bildanalysen och härrör från en något uppdaterad version av programvaran än den vi använt.

I vissa fall gjordes jämförelser mellan att använda en digital systemkamera, Nikon 5300, och olika mobilkameror. Eftersom det initialt inte verkade vara viktigt för resultaten med kameratyp, användes vanliga mobilkameror i de flesta fall.

Programvaran är enkel och att använda och går till så att man laddar upp bilderna i programvaran och låter algoritmen bedöma vad som är klöver, gräs och ogräs i bilderna. Resultatet redovisas som en originalbild och en bild där klöver markerats i rött, eller snarare orange-brunt, ogräs i ljusare orange medan gräset inte färgas (Figur 1) samt procentsatser för klöver, gräs och ogräs. Flera bilder kan bearbetas samtidigt. Bilder togs normalt samma dag som rutorna skördades för referensmätningar.



Figur 1. Bilder erhållna som resultat från programvaran Cloversense. Till vänster originalbild och till höger bild där klöver och ogräs markerats i orangebrunt respektive ljusare orange.

3) Analysen av torkade och malda prover med NIR

Tidigare studier har visat på bra överensstämmelse mellan uppskattad och uppmätt klöverandel. Med ett dataset på ca. 300 prover uppnåddes en mycket god överensstämmelse mellan uppmätt och predikterad klöverandel på $R^2 = 0,88$ (Nyberg och Stenberg, 2013). Men då var allt material från två enskilda år så det finns anledning att validera med data från 2020 för att kunna bedöma värdet av kalibreringen. I vår undersökning var de malda med hammarkvarn och sållade med ett 1 mm såll, medan ett såll på 0,7 mm användes i Nyberg och Stenberg, (2013). Provmängden var minst 20 ml. De malda proverna scannades i det synliga våglängdsområdet (400-700 nm) och det nära infraröda (700-2500 nm) varvid spektrum med mätintervall på 1 nm erhöles. Till detta användes NIR-instrumentet FieldSpec Pro FR (ASDI, Boulder Colorado; www.asdi.com) utrustat med fiberoptik och en extern ljuskälla. Varje spektrum bestod av medelvärdet av 100 spektrum som mättes under 10 sekunder på prov i en långsamt roterande petriskål med en diameter på 7 cm. Mätområdets diameter var 5 cm och på så vis undveks skuggor och andra kanteffekter. Detta förfarande var identiskt med det som användes på 304 prov från 9 olika försök med skördeår 2009 och 2010 (Nyberg & Stenberg, 2013). Emellan dessa båda mätningar genomgick emellertid NIR-instrumentet en genomgripande service vilket medfört märkbara förändringar. Spektrumen var därför inte helt jämförbara med varandra. Detta kunde delvis, men troligen inte helt, åtgärdas genom att baserat på medelspektrum av respektive batch korrigera de nya spektrumen med algoritmen Piecewise Direct Standardization (PDS; Wang & Kowalski, 1992).

4) Spektrala data registrerade med hjälp av drönare, (Unmanned Aerial Vehicle) UAV.

En UAV av typen DJI Phantom och en multispektral sensor av typen Parrot Sequoia har använts som samlar data från 4 separata band, grönt (550), rött (660) rededge (735) och NIR (790). Försöksparcellerna har mätts på en höjd av 3-5 m. Med Parrot Sequoia togs också RGB-bilder med en tillhörande kamera, men dessa hade för dålig kvalitet för att kunna användas i undersökningen. Därför redovisas endast data från den multispektra sensorn där spektrala data för enskilda parceller har separerats med hjälp av programvaran Pix4D.

Provmaterial

För delprojekt 1 användes 574 prover från försöksserien L3-2311. För att tas med i undersökningen, fick det inte ha gått mer än 3 dagar mellan det att spektrala data med Yara N-sensor samlats in och det att försöken skördades för bestämning av klöverandel. Vid valet av försöksfält har man haft som kriterium att arterna timotej, rörsvingel eller rörsvingelhybrid, rödklöver och vitklöver bör ingå, och att engelskt rajgräs inte får utgöra mer än 15 % av vallfröutsädesmängden.

Kvävegödslingsnivåer från 0 upp till 270 kg N/ha ingick i försöksmaterialet. Provmaterialet kommer från 3 olika år, 2017-2019, och från 6 olika försöksplatser (Figur 2).



Figur 2. Placering av de försök inom serien L3-2311 som ingått i studien.

För delprojekt 2 och 3 har prover från följande försök samlats in under 2020:

- *Vallfröblandningar 2-4 skördar, försök 111/18, Råde försöksgård, Västergötland.* Vallförsöket anlades 2017 i vårkorn. Försöksupplägget var vallfröblandningar i kombination med 2, 3 eller 4 delskördar per vallår. Vallfröblandningar som ingick bestod av i led A; timotej 80% + rödklöver 15% + vitklöver 5%, i led B; timotej 45% + ängssvingel 20% + engelskt rajgräs 15% + rödklöver 15% + vitklöver 5% och i led C; timotej 45% + rörsvingel 35% + rödklöver 15% + vitklöver 5%. Kvävegödsling till vallen var följande: 4 skördar: 90+60+50+30 kg N/ha, 3 skördar: 90+60+40 kg N/ha och 2 skördar: 90+60 kg N/ha. Parcellstorleken var 13 m² (bredd 1,30 m* längd 10 m)
- Totalt 62 rutor ingår i det material som utvärderats med Cloversense och 57 som torkade prover för NIR-analys. Dessa kommer från fyra olika skördar under vallår tre 2020.
- Vid gradering av botanisk sammansättning (artvis) bedömdes hela parcellen och vid provtagning för botanisk analys togs delprov från hela parcellen. Fotografier togs på 2 platser i rutan och ett medelvärde för dessa bilder användes för utvärdering med Cloversense.

- 2) *Skörde- och proteinhaltsmätning i vall – en jämförelse mellan olika tekniker* som utförts hos Fröstorp Mjolk AB i Ljung 2020. Projektet undersökte fyra olika fält i första- och andraskörd varav tre av dessa fotograferades för tester med Cloversense. Fält 1 var förstaårsvall, fält 2 tredjeårsvall samt fält 3 och 4 var andraårsvallar. Fält 1, 2 och 4 bestod av vallfröblandningar med timotej, ängssvingel, engelskt rajgräs, rödklöver och vitklöver. I fält 3 togs inga bilder eftersom det var en ren gräsvall på mulljord, men däremot ingick proverna i det set som analyserades med NIR. Gödsling: Vår 20 ton/ha nötflytgödsel + 250 kg/ha Axan samt till 2:a skörden 20 ton/ha nötflytgödsel + 200 kg/ha Axan.
 - Tre till fem provytor (3*3 meter) lades ut i varje fält och som skördades i samband med första skörden och andraskörden. Inom varje provyta klipptes tre mindre ytor 0,25 m², för att fastställa fältets grönmassaavkastning och botaniska sammansättningen (botanisk analys, gräs, klöver, ogräs). Inom varje mindre yta graderades klöverandelen och ett medelvärde beräknades fram för provytan.
 - Prover från 37 rutor torkades, maldes och ingick i det set som analyserades med NIR varav 25 har fotograferats och bearbetats med Cloversense.
 - Fotografier togs på 2 platser i rutan och ett medelvärde för dessa bilder användes för utvärdering med Cloversense.
- 3) För att få fler prover med högre andel klöver i blandvallen, provtogs i andraskörden 20 prover i ekologiska vallar på Råde gård, Långhem. Vallår 1, 2 och 3 med vallfröblandning timotej, ängssvingel, engelskt rajgräs, rödklöver och vitklöver ingick i undersökningen. Den 22 juli 2020 togs foton, skördades 0,25 m²/ruta och klöverandel bestämdes.
 - I detta fall togs en bild exakt på den ruta som sedan klipptes och där botanisk sammansättning (gräs, klöver, ogräs) bestämdes.

I delprojekt 4 genomfördes flygningarna i försöksserien Kvävegödsling och strategi till blandvall L3-2311. Mätningar utfördes på tre platser, Laholm, Grästorp och Långhem och vid 2-3 tillfällen per plats 2018. I försöken i Grästorp och Laholm flögs vid tre tillfällen, senare delen av april, runt 20/5 samt runt 25/9. I Långhem, flögs endast vid två tillfällen, i slutet av april och runt 20/5. Flygningarna i maj skedde strax innan skörd 1, som utfördes i slutet av maj eller början av juni och flygningarna i september utfördes strax före skörd 3, som utfördes i slutet av september eller början av oktober. Man valde att inte använda skörd 2, som detta år blev väldigt liten p.g.a. torkan och inte alls representativ.

Referensmätningar

I samtliga fall delades klöver, gräs och ogräs upp och vägdes innan torkning för att bedöma andelen av de olika fraktionerna för att sedan läggas samman och torkas.

Torkning och malning gjordes också på samma sätt för samtliga prover. Torkning gjordes vid 60° i minst 24 timmar och proverna maldes sedan på hammarkvarn och sållades med 1 mm såll.

Bedömningar av klöverandel

Förutom referensmätningar gjordes även i samtliga fall en okulär bedömning av klöverandelen i samband med fotografering av försöksrutorna.

Utvärderingsmetoder

För delprojekt 1 har följande metoder använts:

Partial least squares (PLS), support vector machine (SVM) och random forest (RF) algoritmer implementerades i R-programvaran R core Team (2020).

Data analyserades med två regressionsmetoder, en korsvalideringsmetod, där ett objekt i taget tas bort ur kalibreringssetet och som modellen valideras mot (Leave-one-out) och en metod med kalibreringsset om 2/3 av materialet och ett valideringsset bestående av 1/3 av observationerna.

Ett annat tillvägagångssätt var att testa om det gick att dela in datamaterialet i olika klasser avseende klöverandel, 0-10%, 10-20%, 20-40% och över 40% klöver. Samma algoritmer som ovan användes

(SVM och RF) och datasetet delades upp i ett kalibreringsset om 2/3 av proverna och ett valideringsset om 1/3 av observationerna.

Som mått på hur väl man lyckades bedöma klöverandelen användes dels RMSE (Residual Mean Squared Error), medelfelet för prediktionen där man först kvadrerar felen innan man räknar ut medelvärdet för observationerna och drar kvadratroten.

Dessutom användes R^2 värden, regressionskoefficienten som anger i hur hög grad uppmätta klöverandelar och uppskattade andelar ansluter till en rät linje. Vid ett R^2 värde på 1,0 är det en perfekt överensstämmelse, medan vid $R^2 = 0$ finns inget samband alls, se exempel $R^2 = 0,68$ i Figur 3.

Vad gäller Delprojekt 2, Cloversense, hänvisas till (Skovsen m.fl., 2021) för utvärderingsmetoderna. Förutom att jämföra med referensmetoden jämfördes även med en okulär bedömning. För att kunna jämföra med andra metoder användes även här samma jämförelsemått, RMSE och R^2 . Man kan säga att vi testade modellen som tagits fram baserade på danska prover på vårt svenska provmaterial.

I delprojekt 3 har kalibreringar för att bestämma klöverandel gjorts utifrån NIR-spektrum på kalibreringsproven med partial least square (PLS) regression. PLS anpassar empiriskt våglängderna till, i detta fall, klöverandel med en linjär modell. Kalibreringarna liksom PDS utfördes i programvaran Unscrambler 10.5 (Camo A/S, Oslo; www.camo.com).

I Delprojekt 4 användes också multivariata modeller (Partial Least Squares, PLS) och programvaran Unscrambler 11 (Camo A/S, Oslo; www.camo.com).

Resultat och diskussion

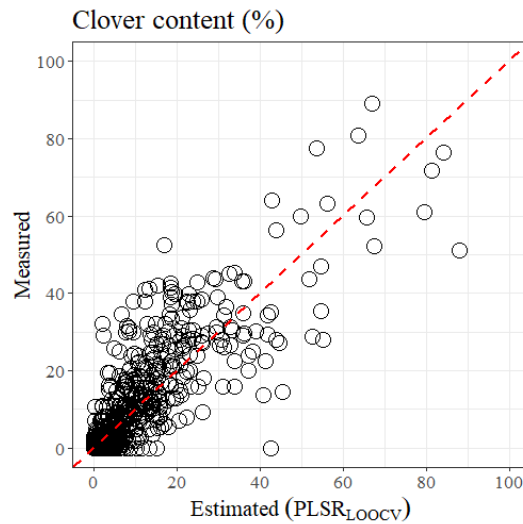
Delprojekt 1 Yara N-sensor

Vid utvärdering av de olika multivariata modellerna för regression visade det sig att PLS och SVM fungerade ungefär lika bra (Tabell 1), medan RF inte gav riktigt så bra resultat.

Tabell 1. Resultat av olika multivariata modellens förmåga att bedöma klöverandel i okända prover, dels vid korsvalidering (LOOCV) och dels med test-set (Cal-Val). Dels jämförs medelfelet (RMSE) i procent klöver, och dels R^2 .

Multivariat modell	Valideringsmetod	Kalibrering		Validering	
		RMSE (%)	R^2	RMSE (%)	R^2
PLS	LOOCV	8,9	0,68	-	-
	Cal-Val	9,1	0,67	9,31	0,66
SVM	LOOCV	9,1	0,65	-	-
	Cal-Val	9,4	0,63	9,32	0,64
RF	LOOCV	12,1	0,37	-	-
	Cal-Val	13,1	0,30	17,4	0,32

Bäst resultat uppnåddes med korsvaliderad modell baserad på PLS (Figur 3).



Figur 3. Uppmätt klöverandel jämfört med predikterad med hjälp av PLS och korsvalidering, $R^2 = 0,68$.

För indelning i de fyra klasserna låg, medel, hög och mycket hög klöverandel, fungerade RF-modellen bäst (Figur 4).

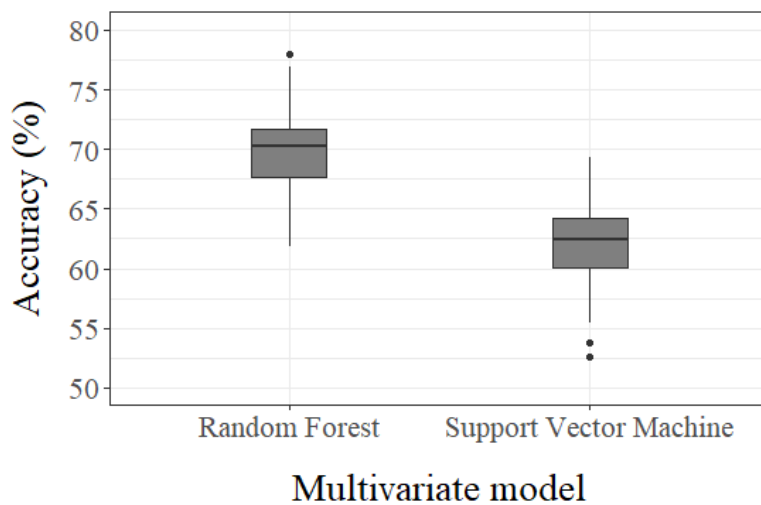


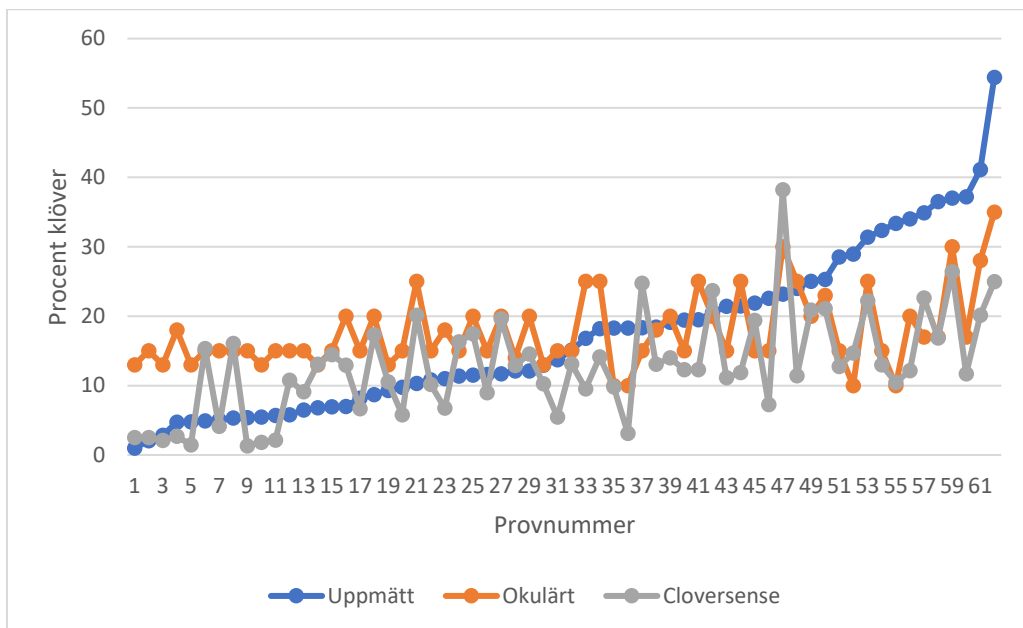
Figure 4. Precision hos multivariata modeller för att prediktera klöver-andel baserat på Yara-N-sensor data för att klassificera vallar i klasserna låg, medel, hög och mycket hög klöverandel. Boxplotten representerar variationen i modellernas precision, då de kördes 100 gånger med slumpvis utvalda kalibrerings- och validerings-set.

Delprojekt 2 Cloversense

Här har de olika dataseten utvärderats enskilt eftersom de har ganska olika egenskaper, både vad gäller provtagningsmetodik, skördetider och klöverandelar.

Dataset 1, Vallfrö, 2-4 skördar

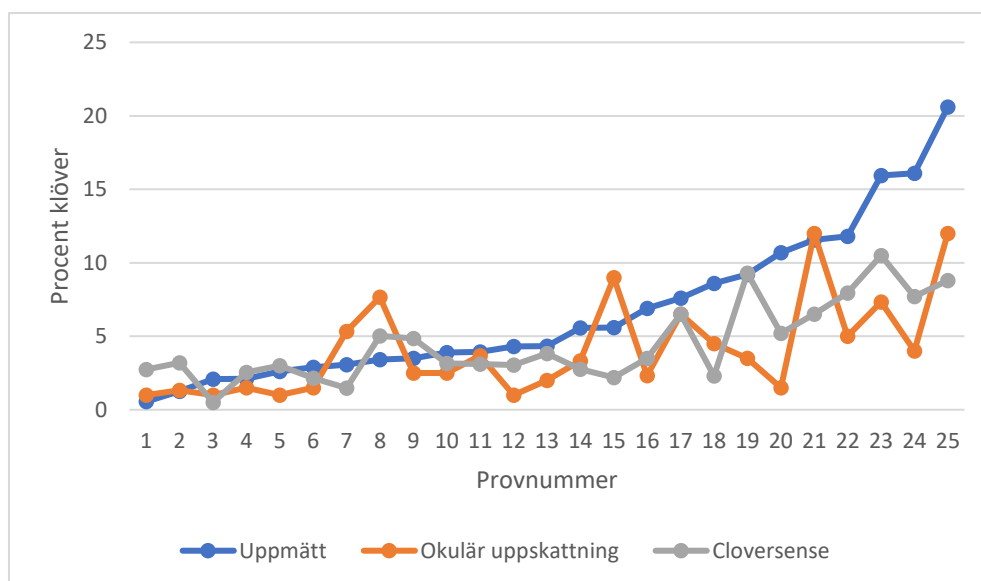
Detta utgör det största datasetet om 62 prover från 4 delskördar. Klöverandelen var mestadels ganska låg, men ökade vid de senare skördarna och varierade från nära noll till ca. 55% med ett genomsnitt på 17% (Figur 5). Sambandet mellan Cloversense-bedömda klöverandelar och uppmätta var generellt inte så bra, med ett R^2 på 0,30, RMSE = 10,5 %. Sambandet mellan okulärt bedömd klöverandel och uppmätt var likartat $R^2 = 0,23$, RMSE = 10,0 %, medan överensstämmelsen mellan okulär bedömning och Cloversense var något bättre $R^2 = 0,37$. Cloversense-mätningarna gav ett medelvärde på 12% klöver, medan de okulära uppskattningarna var på samma nivå som referensmätningarna, 17%. Okulära bedömningarna övervärderade de låga klöverandelarna medan de höga undervärderades. Med Cloversense undervärderades prover med höga klöverandelar (Figur 5).



Figur 5. Jämförelse av klöverandelar som mätts upp genom vägning av de olika fraktionerna, bedömts okulärt, samt bedömts med Cloversense-verktyget för 62 prover från försöket Vallfröblandningar 2-4 skördar.

Dataset 2 Fröstor

Medelvärdet för de uppmätta klöverandelarna var i detta set lågt, 6,7 för referensmätningar, 4,5 för Cloversense och 4,1 för de okulära uppskattningarna. Höga klöverandelarna undervärderades både med Cloversensemetsoden och den okulära uppskattningen, däremot bedömdes låga klöverandelar relativt korrekt (Figur 6).

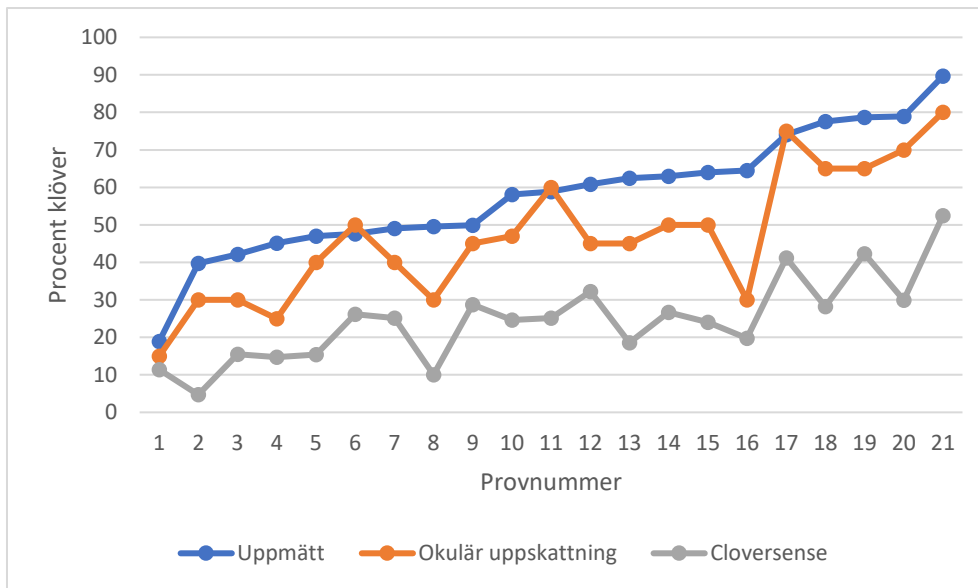


Figur 6. Frörstorp skörd 1 och 2.

Cloversense korrelerade relativt väl mot uppmätta klöverandelar, $R^2 = 0,66$, $RMSE = 4,0\%$ medan den okulära bedömningen inte uppvisade lika bra samband mot uppmätt klöverandel, $R^2 = 0,40$, $RMSE = 4,7\%$. Sambandet mellan Cloversense och okulära bedömningar var inte så bra, $R^2 = 0,26$.

Dataset 3, EkoRådde

I detta dataset varierade klöverandelen i proverna mellan knappt 19% upp till knappt 90% med ett genomsnitt för de 20 rutorna på 58%. Både med okulära bedömning och bildanalysen med Cloversense undervärderades klöverhalten i proverna, i synnerhet gällde detta Cloversense (Figur 7). Genomsnittet för okulära uppskattningen låg på 47% och för Cloversense på 25%. Sambandet mellan Cloversense och uppmätta klöverandelar var relativt bra, $R^2 = 0,64$, men med ett stort RMSE, 34,9%. Sambandet mellan okulärt bedömd klöverandel och uppmätt var ännu något bättre, $R^2 = 0,77$ med betydligt lägre RMSE på 13,8%. Överensstämmelsen mellan okulär bedömning och Cloversense låg på $R^2 = 0,74$. Eftersom R^2 -värdet är högt, skulle en uppjustering av Cloversense-värdena ge en ganska bra uppskattning av klöverandelen.



Figur 7. Jämförelse av klöverandelar som mätts upp genom vägning av de olika fraktionerna, bedömts okulärt, samt bedömts med Cloversense-verktyget på 20 olika platser från Ekologiska blandvallar på Rådde 2020.

Sammanfattande resultat Cloversense

Cloversense korrelerade hyfsat mot uppmätta klöverandelar och något bättre än okulär bedömning. Både Cloversense och okulär bedömning blir bättre om man mäter på samma yta som man sedan skördar och om så inte kan ske, bör man ta flera delmätningar för att få ett så korrekt samband som möjligt mot referensmetoden. Detta avspeglar sig i att sambanden var bäst i EkoRådde-setet där man i princip skördade den yta som fotograferades.

Tidigare studier ha visat att lågvuxen gröda ger metoden en någorlunda tillförlitlig bedömning av klöverandelen, medan avvikelserna kan bli stora i mer högvuxen gröda. Detta har vi inte kunnat visa i denna undersökning, men kan också vara en förklaring till att resultaten avviker från uppmätta resultat.

Mobilkamera gav lika hög prestanda som en mer avancerad systemkamera och metoden gav ungefär samma avvikelser mot uppmätta värden som manuella uppskattningar av klöverandelen.

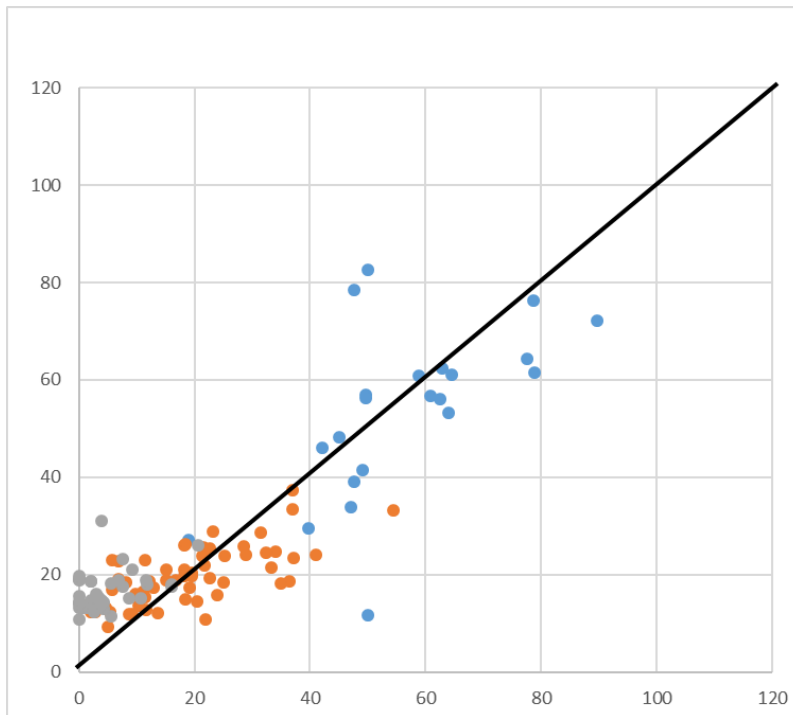
Delprojekt 3, NIR-analys

Eftersom proven analyserade i detta projekt kommer från tre olika försök inom vilka beroenden mellan proven föreligger går det inte att slumpmässigt välja ut kalibrerings- och valideringsprov. Istället användes två av försöken för kalibrering och det tredje för prediktion i tur och ordning för alla tre försöken. Detta är en mycket hård validering eftersom det bara är tre försök och resultaten blev inte heller särskilt goda (Tabell 2). Trots skillnaden undersöktes därför även om samtliga försök från det tidigare projektet kunde förbättra situationen. Eftersom det gamla datasetet innehöll ungefär tre gånger så många prov viktades proven i detta projekt upp tre gånger i det gemensamma kalibreringssetet. Prediktionerna förbättrades då avsevärt (Tabell 2). I Figur 8 framgår tydligt att ett fåtal avvikande prover försämrar modellen vad gäller EkoRådde, samt att modellen övervärderar klöverhalten i prover med mycket låga klöverandelar i Fröstorp-setet.

Tabell 2. R² (variens förklarad av modellen) och RMSEP (Residual Mean Squared Error of Predictions) av modeller kalibrerade på enbart de andra två försöken respektive de andra två försöken plus 304 prov från Nyberg och Stenberg (2013).

	Enbart nya prov		Gamla plus nya prov	
	R ²	RMSEP	R ²	RMSEP
Fröstorps	0,42	18,5	0,67	13,1
Vallfrö, 2-4 skörd	0,27	10,6	0,54	8,47
EkoRådde	0,73	19,4	0,86	15,2
Alla*	0,67	12,0	0,73	10,8

* Statistik för de tre separata prediktionerna sammanslaget.



Figur 8. Nya och gamla i kalibreringen. Uppmätta värden på x-axeln och predikterade på Y-axeln. Grå = Fröstorps, Orange = Vallfrö 2-4 skördar och Blå = EkoRådde.

Delprojekt 4: Spektrala data registrerade med hjälp av drönare, (Unmanned Aerial Vehicle) UAV.

Det var möjligt att bedöma ts-halt, ts-skörd eller proteinhalter baserade på data från samtliga mättillfällen tämligen väl (Tabell 3). Dock blev modellen baserad på data från slutet av april för prognos av proteinhalter en månad längre fram inte så bra. Att kombinera data från flera olika platser fungerade bra och även att kombinera data från strax före skörd 1 och strax före skörd 3.

Tabell 3.

Prediktion av ts, ts-skörd samt proteinhalt med hjälp av Parrot Sequoia data detekterade från drönare med olika dataset. Jämförelsemått är R^2 mellan uppmätta värden vid skörd i slutet av maj/början av juni respektive slutet av september/början av oktober. Data från tre platser, där inget annat anges.

Mätdata från månad	ts-halt	ts-skörd	Råproteinhalt
April	0,77	0,74	0,45
Maj	0,75	0,73	0,89
September*	0,94	0,88	0,88
Maj och september*	0,89	0,51	0,87

*Endast Grästorp och Laholm

Orsaken till att det inte gick att modellera proteinhalter om skörden ligger för långt fram i tiden bör vara att proteinhalter helt enkelt kan förändras under denna tid, vilket är en aktiv tillväxtfas. Förhållandet mellan mätningar en månad tidigare och ts-halt respektive ts-skörd tycks dock vara mer konstanta.

Ts-halten kunde bestämmas med rätt hög precision och det verkar som de spektrala data som används av drönaren fungerar ganska bra för detta ändamål. Det verkar som NIR, som ju även används för beröringsfri analys av vattenhalt i lab-instrument även i detta fall fungerar tämligen väl. Proteinhalter fungerade också bra och det är även här lite längre våglängder som passar bäst att använda, ofta ger grönt och NIR de bästa resultaten.

Slutsatser

Slutsatserna blir att N-sensor, Cloversense och NIR-analysen ger någorlunda likartade bedömningar av klöverandelen. Med samtliga metoder kan man oftast räkna med att kunna göra åtminstone en klassindelning av vallar med avseende på klöverandelen. Ett problem med denna undersökning är att alla metoder inte jämförts på samma material och att de dataset som provtogs 2020 dels var ganska små och varierade sinsemellan väldigt kraftigt.

Yara-N-sensor kan vara ett intressant alternativ i de fall man ändå använder sensorn vid gödning av vallar och ev. om man ändå bedömer kväveupptag i nollrutor på gården vad gäller handhållen sensor. En utökad användning av handhållna sensorer är på gång och då kan bedömningar av klöverandel i vallar ev. vara aktuellt också.

Cloversense är ett intressant alternativ eftersom man här är oberoende av annan teknik än mobilkamera, men metoden i nuvarande form ger väl stora avvikelser från uppmätta klöverandelar. Särskilt underskattas höga klöverandelar kraftigt. Det behöver studeras ytterligare om man på något sätt kan kompensera för detta. Metoden tillför inte mycket jämfört med en manuell bedömning av klöverandelen. Möjligen kan det vara till nytta för att "kalibrera" den egna bedömningen. Mer intressant kan det möjligen vara att ha en kamera på drönare som övervakar fälten, vilket testas i ett projekt på SLU Umeå.

NIR-analysen på torkat material ger likartad precision som Yara-N-sensor, förutsatt att man standardiserar malningen. I de fall man ändå tar ut prov för andra analyser, kan detta alternativ vara intressant.

Som ett separat inslag i projektet, gjordes även en behandling av data som samlats in från drönare med multispektral sensor. Lovande resultat erhöles vad gäller att bedöma ts-halt, ts-skörd och proteinhalt i vallgrödor om avläsningen gjordes i nära anslutning till skörden. De bilder som tagits med drönaren, var dock inte användbara för bedömning av klöverandel, då de var ganska oskarpa på grund av att drönaren var i rörelse då bilderna togs.

Referenser

Nyberg, A Stenberg, B. 2013. Billig och enkel bestämning av klöverhalt i vallförsök med hjälp av NIR-analys. Slutrapport SLF-projekt H0860028. 10 s.

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Skovsen, S., Laursen, M.S., Kristensen, R.K., Rasmussen, J., Dyrmann, M., Eriksen, J., Gislum, R., Jorgensen, R.N. & Karstoft, H. 2021. Robust Species Distribution Mapping of Crop Mixtures Using Color Images and Convolutional Neural Networks. *Sensors* 21 (1) 175; <https://doi.org/10.3390/s21010175>.

Y. Wang, B. R. Kowalski, Calibration Transfer and Measurement Stability of Near-Infrared Spectrometers, *Appl. Spec.*, **46**(5), 764-771 (1992)

Ekonomisk redovisning

Härmed redovisas stöd som utgått dels från Nötkreatursstiftelsen Skaraborg och Växtnäringsstiftelsen. Förbrukade medel redovisas i form av utdrag från bokföring.

Ekonomisk redovisning, uppdaterad

Projektstöd	
Anslagsgivare	Belopp
Nötkreatursstiftelsen	200000
Växtnäringsstiftelsen	85000
Totalt	285000
Kostnader, partner	
	Belopp
Agroväst	99580
Tobias Hallström	23904
SLU Umeå	83500
HS Södra Älvsborg	45000
SLU Skara	37800
Totala kostnader	289784