

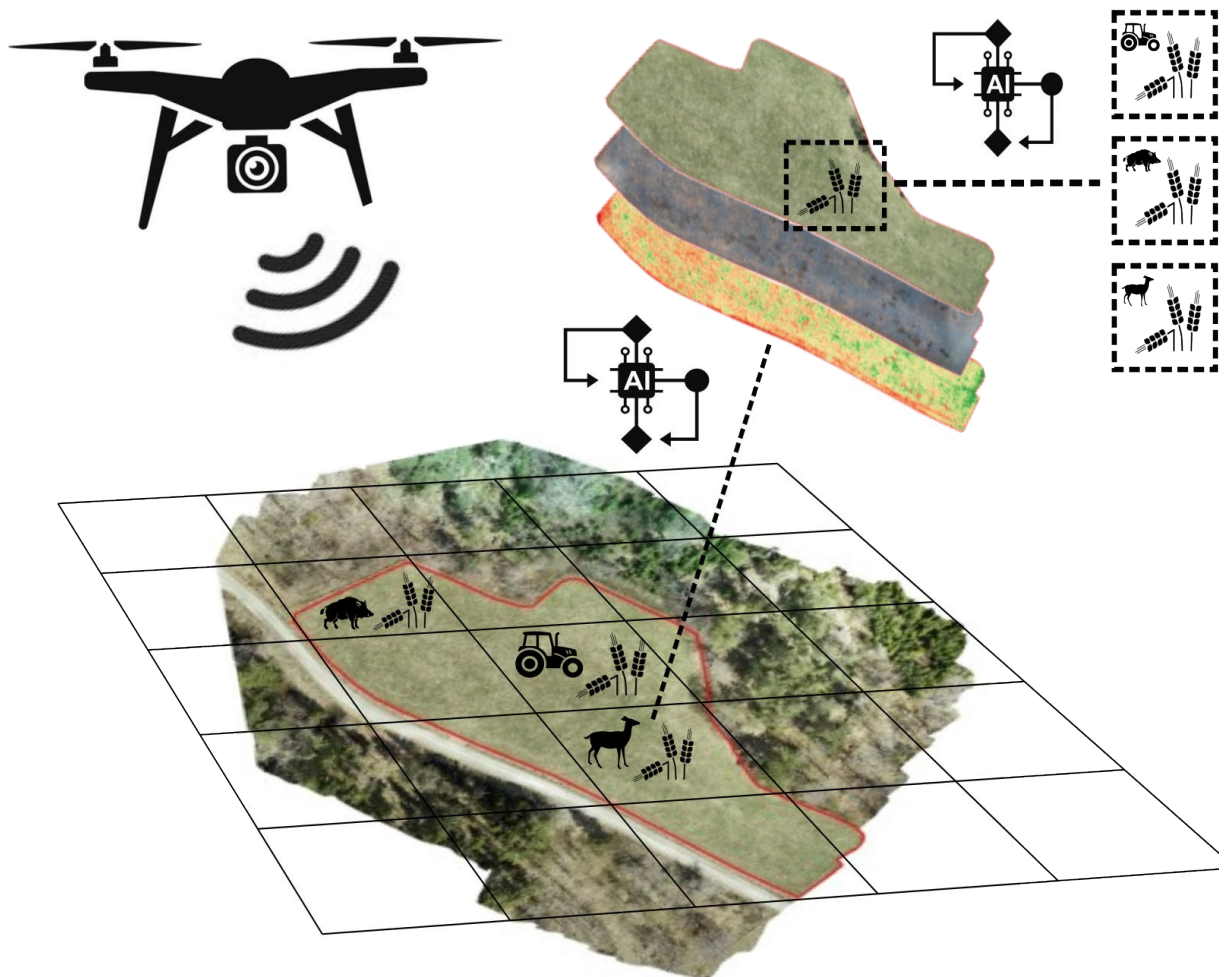
En standardiserad inventeringsmetod för att uppskatta skador på gröda

Med fokus på vilt – och vildsvinsskador

A Standardized Assessment Method for Estimating Crop Damage

- Focusing on Wildlife and Wild Boar Damage

Petter Kjellander, Florent Rumiano, Johan Månsson, Arvid Norström



En standardiserad inventeringsmetod för att uppskatta skador på gröda – Med fokus på vilt- och vildsvinsskador

Petter Kjellander, <https://orcid.org/0000-0002-4272-6737>, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för ekologi, Grimsö forskningsstation,

Florent Rumiano, <https://orcid.org/0000-0001-8615-7161>, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för ekologi, Grimsö forskningsstation,

Johan Månsson, <https://orcid.org/0000-0002-5189-2091>, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för ekologi, Grimsö forskningsstation,

Arvid Norström, <https://orcid.org/0009-0006-7763-3529>, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för ekologi, Grimsö forskningsstation,

Utgivare:	Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för ekologi, Grimsö forskningsstation
Utgivningsår:	2024
Utgivningsort:	Riddarhyttan
Omslagsbild:	Florent Rumiano
Upphovsrätt:	Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
ISBN:	978-91-8046-645-5
DOI:	https://doi.org/10.54612/a.2fjbv2ivoo
Nyckelord:	Drönare, Inventering, Maskininlärning, Viltskador, Jordbruk

© 2024 (Kjellander, Rumiano, Månsson, Norström)

Innehållsförteckning

1. Sammanfattning	5
1.1 English summary	6
2. Bakgrund	7
3. Inledning	8
3.1 Projektets målbild	9
4. Kunskapsinsamling och fältarbete	11
4.1 Artificiell intelligens och vikten av träningsdata med verifierade skador	11
4.2 Metodtester och uppbyggnad av en bildbank	11
4.2.1 Metodutvecklingens (uppdragets) tre faser	11
4.3 Drönarinställningar och tester	12
5. Sammanfattande resultat av drönarflygningarna under fas 1 (2022) och 2 (2023)	14
5.1 Inventering av skador på gräsmark (vall och beten)	14
5.2 Inventering av skador på stråsäd (havre och vete)	14
6. Den föreslagna inventeringsmetodens genomförande i fem steg	16
6.1 Steg 1 - flygmetod, drönarmodell, tekniska specifikationer och inställningar	17
6.2 Steg 2 – Bildhantering - Skapande av ortomosaiker och bildbank	19
6.3 Steg 3 – klassificering av skadad och oskadad gröda	20
6.4 Steg 4 – slutlig klassificering av skadeorsak	22
6.5 Steg 5 – Resultatredovisning	24
7. Bildbankens aktuella storlek och betydelse för systemets nuvarande precision	26
7.1 Bildbankens aktuella storlek och sammansättning	26
7.2 Systemets nuvarande förmåga att klassificera skador	27
7.3 Från skadad areal till förlorad skörd	30
8. Systemets nuvarande begränsningar, utvecklingsbehov och SLU:s bedömning	32
8.1 Nuvarande begränsningar och utvecklingsbehov	32
8.2 SLU:s bedömning av metodens framtida potential	35
9. Involverade parter, kompetenser inom vilt, växtodling, automatiserad	36
10. Referenser	37

1. Sammanfattning

Dagens viltskadeinventeringar i jordbruket är tidskrävande och dyra, ofta utförda till fots och med risk för subjektiva resultat. SLU har fått i uppdrag av Naturvårdsverket (2022-03-23) att utveckla en standardiserad metod för att övervaka viltskador i jordbruket. Den utvecklade metoden bygger på att drönare utrustade med kameror och sensorer (synligt och osynligt ljus) tar högupplösta 2D eller 3D bilder av fält, vilka sedan analyseras med AI för att identifiera, klassificera och mäta skador. Målet är att metoden ska kunna fungera på lokal gårdsnivå men den ska också kunna appliceras på stora områden som ÄFO:n eller större, vilket är viktigt för att ta beslut inom såväl jordbruks- och viltförvaltningen. De av AI tolkade bilderna ligger därefter till grund för en åiterrapportering bestående av information om skadornas ursprung, omfattning och kostnad, vars resultat ska kunna användas både lokalt av jordbrukare och nationellt i ett framtida övervakningssystem. Systemet är förnärvarande semi-automatiserat men kan effektiviseras ytterligare med högpresterande datorer. Hittills har projektet visat lovande resultat, särskilt när det gäller att identifiera vildsvinsskador, som är de mest förekommande skadetyperna i vår insamlade bildbank. För att metoden ska bli fullt tillämplig krävs dock en större och mer balanserad bildbank med fler skador med annat ursprung (torka, vatten, maskinskador m.m.) och för andra viltarter och grödor än vad som hittills kunnat samlas in under en begränsad projekttid. De kvarstående tekniska utmaningarna består således av att i en mer kraftfull datormiljö automatisera samtliga steg från bildanalys till rapportering, samt att träna algoritmen med fler bilder av andra skadetyper än vildsvin. Slutligen, rent organisatoriska frågor kring en eventuell framtida viltskadeinventeringsplattform för skador på gröda, dess huvudmannaskap, juridiska möjligheter, begränsningar och kostnader ligger utanför SLU:s uppdrag. Men, givet att dessa frågor kan lösas, är SLU:s värdering av den utvecklade inventeringsmetoden att det är en fullt realistisk väg framåt, med möjligheter att utvecklas även för flygplan och i framtiden kanske via satellitbilder. Metoden skulle därför kunna bli ett viktigt framtida faktabaserat viltförvaltningsverktyg till nytta för såväl enskilda lantbrukare, jakträttsinnehavare, viltförvaltare och myndigheter.

1.1 English summary

Current damage assessments are time-consuming and costly, often carried out on foot with the risk of subjective results. SLU (Swedish University of Agricultural Sciences) has been tasked by the Swedish Environmental Protection Agency (as of March 23, 2022) to develop a standardized method for monitoring wildlife damage in agriculture.

The developed method is based on drones equipped with cameras and sensors for visible and invisible light, capturing high-resolution 2D or 3D images of fields, which are then analyzed using AI to identify, classify, and measure damage. The goal for the method is to be applicable at a local farm level but also at large areas such as wildlife management units (ÄFO) or larger, which may become important for decision-making in wildlife and agricultural management.

The AI-interpreted images serve as the basis for a report containing information about the origin, extent, and cost of the damage, the results of which can be used both locally by farmers and nationally in a future monitoring system. The system is currently semi-automated but can be further optimized with high-performance computers. So far, the project has shown promising results, particularly in identifying wild boar damage, which is the most common damage type in our image database collected, so far.

However, for the method to become fully applicable, the database needs to be complemented with more images of other damage types (drought, water, machine tracks, etc.) and for other wildlife species and crops is required than what has been gathered during the limited project time. The remaining technical challenges therefore involve automating all steps from image analysis to reporting in a more powerful computing environment, as well as training the algorithm with more images of other types of damage besides wild boar.

Finally, purely organizational issues regarding a potential future wildlife damage assessment platform for crop damage — its governance, legal possibilities, limitations, and costs, are all outside SLU's mandate. Given that they all can be solved, it is SLU's evaluation of the developed assessment method that it represents a fully realistic way forward, with potential to be further developed for use with airplanes and, in the future, perhaps satellite imagery. The method could thus become an important future fact-based wildlife management tool, benefiting individual farmers, hunting rights holders, wildlife managers and authorities.

2. Bakgrund

Naturvårdsverket gav SLU i uppdrag (2022-03-23) att utveckla och kvalitetssäkra en metod för att mäta viltskador på jordbruksmark. Uppdragets ska utveckla och *ge förslag på hur en standardiserad inventeringsmetod för att uppskatta skador på gröda kan implementeras, utföras samt administreras.* Uppdragets slutrapport levereras till Naturvårdsverket senast 2024-10-09. I anslutning till uppdragets uppstart samordnade och ledde Naturvårdsverket en referensgrupp med berörda myndigheter och intressenter (LRF, SJF, Lst, SJV, Jordägarna, Viltmästareförbundet). Gruppen har under uppdragets genomförande agerat stöd för SLU och fått möjlighet att tillföra synpunkter på den föreslagna metoden, dess praktiska utförande, redovisad statistik och administration som ett framtida system ska kunna leverera. Gruppen har mellan möten fått möjlighet att förankra sina synpunkter inom sina respektive myndigheter eller organisationer.

På grund av att det fältarbetet som genomförts under utvecklingsarbetet av nödvändighet är knutet till växtodlingssäsongen, kommer innevarande slutrapport från SLU att åtföljas i ett senare skede (senast 2024-12-31) av en ” bilaga” med en resultatredovisning av 2024 års fältarbete. Därefter är målet att en mer komplett rapport där metoden beskrivs, publiceras i Naturvårdsverkets rapportserie.

3. Inledning

Viltstammarnas utveckling ska vägas mot andra samhällsintressen. En av de avvägningar som måste göras avser samhällets kostnader för de skador som viltet kan orsaka på gröda i förhållande till viltets nyttor, i vid bemärkelse. Avvägningar och eventuella beslut kring ersättningar, förändrad jakt eller andra åtgärder som måste fattas inom förvaltningen, saknar ibland förankrade och kvalitetssäkrade kunskapsunderlag. Det finns idag inga objektiva inventeringsmetoder för att uppskatta skadornas storlek, omfattning eller förändring över tid (år). Behovet av att utveckla en tids- och kostnadseffektiv viltskadeinventeringsmetod i gröda är således stort. Det primära målet bör vara att kunna skatta förlorad skörd och att följa skadornas utveckling mellan år, för att på så sätt kunna följa och utvärdera effekten av viltförvaltningens- och lantbrukets åtgärder, från fält- till nationell skala. Målet med detta uppdrag är därför att utveckla en inventeringsmetod där data objektivt och standardiserat kan samlas in på fält-/gårdsnivå och som kan skalas upp för att följa viltskadornas utveckling över tid (år) på både regional och nationell nivå. Metodiken bör därför kunna vara till nytta både för den enskilda lantbrukaren och viltförvaltaren liksom för den regional/nationella förvaltningen.

Viltskador på jordbruksgrödor kan uppkomma under större delen av året men för många grödor infinner sig de mest attraktiva utvecklingsstadierna under den kortare mognadsfasen fram till skörd och det är därför just före skörd som en skada ska skattas. För vissa skador som vildsvinsbök på gräsmark kan de skador som uppstår fram till första vallskörd på våren/försommaren vara till nytta som ett varningssystem för andra grödor, under den kommande odlingssäsongen. För att uppnå det måste inventeringen vara snabb och resultatredovisningen i det närmaste automatiserad och momentan så att det skadeförebyggande arbetet (t.ex. jakt, stängsling, skrämsel) kan initieras innan skadebegärliga utvecklingsstadier nås, tex. mjölmognad i stråsäd fr.o.m. midsommar eller senare.

De skadeinventeringar som genomförs idag är i allmänhet tidsödande och dyra. De genomförs huvudsakligen till fots och även om det finns standardiserade metoder, riskerar resultaten i stor utsträckning att vara personberoende (Bergvall et al. 2022). Det saknas därför en objektiv och löpande uppföljning av viltskador i jordbruket. De flesta jordbrukare, viltförvaltare och forskare med intresse för vilt och jordbruk är eniga om att viltskador i jordbruket är ekonomiskt mycket kännbara. Sannolikt har och fortsätter viltskadorna att öka i omfattning, åtminstone

baserat på självskattade men överifierade data (Anon 2015, 2021, 2024). P.g.a. de stora arealer som kan drabbas, den ojämna fördelningen av viltet i landskapet, jordbrukets diversifiering och odlingens förhållandevis korta omloppstid behövs ett inventeringssystem som snabbt kan täcka stora ytor, särskilt om inventeringen ska kunna fungera som underlag för nästa års beslut i vilt- och jordbruksförvaltningen. Tidsaspekten leder därför till att vi inom ramen för detta uppdrag valt att utveckla en metod som möjliggör ”automatiserad” bildanalys och som kan komma att fylla jordbrukets och viltförvaltningens behov av en nationell, regional och lokal viltskadeinventering. Detta uppdrag (projekt) har genomförts med hjälp av flera olika kompetenser (se avsnitt 9) och utvecklat en bildbehandlingsmodell som med hjälp av artificiell intelligens (AI) kan tränas att i första hand känna igen och skilja ut olika typer av vilt- och odlingsrelaterade skador på fältnivå, baserat på bilder tagna från drönare, försedda med särskilda kameror (sensorer).

3.1 Projektets målbild

Målbild för en lokal gårdsanvändning är att en enskild brukare med tillgång till rätt utrustning (eller inköpt tjänst) efter inloggning på en hemsida eller app kan ladda upp insamlat bildmaterial från sitt drönarinventerade fält (jordbruksblock) samtidigt som enklare basuppgifter från inventeringen anges. Uppgifter som drönarens specifika egenskaper och inställningar vid flygningen, vilken gröda som inventerats samt det inventerade fältets block-id (enligt Jordbruksverkets blockdatabas), behöver sannolikt anges. Därefter ska, mer eller mindre momentant, ett analysresultat genereras av det inventerade fältet med information om den skadade arealens storlek samt sannolika skadeorsaker för fältets olika delarealer, samt med en redovisning av resultatets statistiska säkerhet. Det kommer därefter förmodligen även vara möjligt att den faktiska kostnaden för de uppskattade skadorna (skördebortfall) kan beräknas, baserat på det aktuella marknadsvärdet för grödan och den förväntade skörden per hektar för ett oskadat fält (se 7.3 och 8.1 - 5). Vid en inventering av större områden, som t.ex. ett län, är denna typ av beräkning sannolikt möjligt först efter växtodlingssäsongens slut, då den beräknade kostnaden måste baseras på det årets normalskörd för den specifika grödan i det området.

En målbild för den regionala-/nationella viltförvaltningen är att utvidga inventeringsinsatsen till ett nationellt viltskadeövervakningssystem. Om regionala/nationella inventeringar ska genomföras, kan utförare i form av företag, organisation eller myndighet använda en egen eller gemensam plattform där bilderna laddas upp för analys. Hela systemet skulle då kunna drivas av en ansvarig myndighet (t.ex. Naturvårdsverket, Jordbruksverket eller Länsstyrelserna) där olika aktörer kan ansvara för olika delar av genomförandet. T.ex. skulle den ansvariga

myndigheten kunna upphandla drönarflygningen (privata företag), ev. markbaserad verifiering av skador (länsstyrelse), datahantering/analys (universitet), för att därefter publicera de slutliga resultaten i en (årlig) rapportserie.

Som ett viltskadeövervakningsverktyg är systemet tänkt att i ett första steg övervaka vissa utvalda grödor och mäta skador konsekvent (standardiserat) och jämförbart, år efter år. På så sätt kan skadornas storlek och omfattning följas över tid på lokal, regional eller nationell skala till grund för politiska beslut och en faktabaserad förvaltning. Den nationella övervakningen skulle på så sätt fylla en funktion som påminner om skogsbrukets redan existerande årliga betesskadeinventering av tallungskog (ÄBIN). Utveckling och utformande av system för viltskadeinventering inom jordbruket och dess automatisering ligger dock utanför SLU:s uppdrag i sin nuvarande form, men torde vara nödvändig, om metoden ska kunna implementeras i en brukarvänlig miljö.

4. Kunskapsinsamling och fältarbete

4.1 Artificiell intelligens och vikten av träningsdata med verifierade skador

Förenklat bygger projektet på att de bilder som tas med drönare tolkas med hjälp av artificiell intelligens (AI) för att kvantifiera och konstatera orsaken till den identifierade skadan. För att kunna göra dessa tolkningar med hög precision behövs en stor mängd bilder där skadeorsaken är känd och verifierad. Sådana bilder i en ”bildbank” (alt. ett bibliotek med träningsbilder) används för att träna en s.k. AI-algoritm att känna igen och klassificera olika typer av skador. Ju fler bilder med kända skador insamlade under olika växtodlingsförhållanden, desto säkrare blir algoritmen på att klassificera och särskilja olika skadeorsaker. En sådan bildbank bör därför bestå av träningsbilder som återspeglar olika grödor, växtstadier, olika typer av skador och skadeorsaker, under olika odlingsförhållanden (tidiga, sena, blöta, torra år m.m.). Sannolikt krävs många tusentals bilder på verifierade skador av respektive skadeklass och för varje unikt odlingsförhållande för att träffsäkerheten i analysverktyget ska vara tillräckligt hög för att inventeringsresultatets ska åtnjuta hög trovärdighet och relevans för vilt- och jordbruksförvaltningen. En bildbank som täcker all variation i jordbrukslandskapet har visat sig vara orealistiskt att åstadkomma under detta uppdrags begränsade projekttid (tre växtodlingssäsonger) utan är något som kommer att behöva byggas upp parallellt med att metoden börjar användas. Vi (SLU) valde tidigt att begränsa utvecklingsarbetet till tre i Sverige vanliga grödor (gräsmark (vall/bete), havre och vete), där möjligheterna att samla in mycket bilder med skador bedömdes som störst. Senare (2024) har vi av resursskäl begränsat metodutvecklingen till endast två grödor (gräsmark (vall/bete) och vete). Inventeringsmetodens princip är dock applicerbar på alla grödor, men för ovanliga grödor kan det ta många år innan en tillräckligt stor bildbank med verifierade skador samlats in för algoritmen att träna på.

4.2 Metodtester och uppbyggnad av en bildbank

4.2.1 Metodutvecklingens (uppdragets) tre faser

Fas 1: Fältarbetet genomfördes under projekttidens första växtodlingssäsong (2022). Då undersöktes vilken eller vilka drönare och sensorer som var lämpligast att använda, vilken flyghöjd och bildupplösning m.m. som var nödvändig för

metodens syften. Data analyserades efter att kompetent personal rekryterades under hösten, 2022. Baserat på analysresultaten som togs fram under vintern 22/23, fastställdes insamlingsmetoden för nästkommande fältsäsong.

Fas 2: Fältarbetet genomfördes under växtodlingssäsongen 2023, på tre olika viltrika gårdar, i tre olika län (Sörmland, Skåne och Örebro län). De tre områdena skiljer sig vad gäller förekomsten av potentiella skadegörare. Vildsvin förekommer i samtliga områden liksom varierande tätheter av älg och rådjur. Därutöver förekommer också kronhjort (framförallt i Skåne) och dovhjort (framförallt i Örebro). Syftet med fas 2 var att bygga en bildbank av verifierade skador på tre fokusgrödor (gräs, havre och vete). Bilderna var högupplösta (låg flyghöjd) och genererade med två utvalda sensorer baserat på det arbete som utfördes under fas 1. De högupplösta bilderna medgav att vi kunde simulera effekten av en lägre upplösning (högre flyghöjd) och på så sätt fastställa effekten av flyghöjd (tidsåtgång) och bildupplösning på slutresultat.

Fas 3: Fältarbetet under den sista växtodlingssäsongen, 2024 hade två syften: (1) att med ett fastställt inventeringsförfarande, med upphandlade och i SLU:s regi utbildade drönarföretag, genomföra en skarp viltskadeinventering på två olika grödor, gräsmark (vall/bete) samt vete, i fyra olika Älgförvaltningsområden (ÄFO:n), i fyra län (Blekinge, Jönköping, Sörmland och Örebro län, se Fig. 3) samt (2) att generera fler bilder på skador av olika ursprung som även kontrollerats i fält till projektets "bildbank" (se avsnitt 6 & 7). Inventeringen genomfördes i direkt anslutning till första vallskörd (gräsmark) eller tröskning (vete). Sammanlagt 200 slumpvis valda fält i respektive ÄFO inventerades så att resultaten objektivt ska kunna beskriva skadornas omfattning för respektive område. Fältarbetet har i skrivande stund (september 2024) precis avslutats. Resultatet av dessa inventeringar kommer därför att rapporteras till Naturvårdsverket senast 2024-12-31.

4.3 Drönarinställningar och tester

Under projektets fas 1 och 2 undersöktes effekten av flyghöjd på såväl inventeringens tidsåtgång per hektar som de färdiga bildernas kvalitet och upplösning. Eftersom flyghöjden starkt påverkar upplösningen negativt ställdes inledningsvis höga krav, vilket innebar att den använda flyghöjden som mest var 40m och då genererade en upplösning motsvarande ca 2 * 2 cm. Eftersom vi på förhand inte kunde veta vilken eller vilka sensorer som skulle visa sig vara tillräckliga för att definiera bökskador på gräsmark användes fyra olika typer av sensorer under fas 1. De sensorer som användes och med angiven prestanda inom parentes var:

- Lidar – reflekterande laser, som genererar höjdskillnader i grödan med mycket hög noggrannhet och täthet (≥ 200 punkter/m²).
- RGB – som fångar upp det synliga ljuset (≥ 24 MP)
- Multispektral (NIR) – som fångar upp fler våglängder av (osynligt)ljus (≥ 5 band)
- IR – som fångar upp värmskillnader (Kalibrerad mätnoggrannhet $\pm 2\%$, FLIR A655 eller bättre).

Baserat på de två första årens tester (fas 1 - 2) begränsades inventeringen under fas tre (2024) till att använda endast två sensorer (RGB och NIR) samtidigt som flyghöjden ökades till 120m, för att korta ner arbetstiden (flygtiden) så mycket som möjligt, utan att göra för stora avkall på bildernas upplösning och metodens noggrannhet. Varje fotograferat fält inventerades samtidigt till fots, där varje upptäckt skada koordinatsattes och en bedömning av den mest sannolika skadeorsaken angavs.

5. Sammanfattande resultat av drönarflygningarna under fas 1 (2022) och 2 (2023)

5.1 Inventering av skador på gräsmark (vall och beten)

På gräsmark är bökskador av vildsvin den primära skadetyp som projektet (uppdraget) fokuserat på. Skadan anses framför allt uppstå efter snösmältning och tjällossning men även i någon mån under hösten, men är mindre vanlig vintertid. Under högsommaren anses denna skadetyp förekomma i mycket liten omfattning. Andra skador som kan förekomma i gräsmark är framför allt vattensork, räva, grävling, körskador, vatten, torka och kanske olika typer av insektsangrepp och sjukdomar. En metod för att mäta och kvantifiera betesskador (orsakade av framför allt dovhjort, gäss och sångsvan) i form av förlorad volym (biomassa), på gräsmark övervägdes. Denna bedömdes dock som mycket svår att utveckla inom ramen för en bildbaserad inventeringsmetod. Volymmätning av vall är förvisso möjlig med drönare om än tidskrävande. Dessutom är skattningen av den förväntade skörden eller betesproduktionen för ett specifikt och skadat fält beroende av många olika faktorer - som av praktiska skäl inte varit möjliga att kontrollera. T.ex. är gödselgiva, fröblandning och vattentillgång av mycket stor betydelse för förväntad skörd, och dessutom är vallens ålder och hur många tidigare skördar som fältet givit (första, andra, tredje skörd o.s.v.) av stor betydelse. Ett alltför omfattande arbete skulle därför krävas, med upprättande av s.k. referenshägn eller uthägnader, för att kunna kvantifiera förlorad volym (biomassa). Avslutningsvis konstaterades att endast en överflygning med en drönare som kan bära två olika sensorer, var tillräckliga för att identifiera bökskador på gräsmark.

5.2 Inventering av skador på stråsäd (havre och vete)

Under fas 1 (2022) baserades insamlingen av drönargenererade bilder på havre- och vetefält (höst- och vårsådd) i ett område med mycket vildsvin, rådjur och kronhjort. Datainsamlingen gjordes vid två perioder per gröda – den första, vid midsommar, när grödorna började nå mjölkmodnad, och en andra senare i direkt anslutning till tröskning. Exakt samma sensorer användes på stråsäd som de som beskrivits ovan för inventeringen på gräsmark. De erfarenheter som gjordes odlingssäsongen 2022 gav vid hand att en 3D genererad bild av stråsäd är att föredra framför 2D eftersom den ger en säkrare skattning av skador och skadeorsak samt

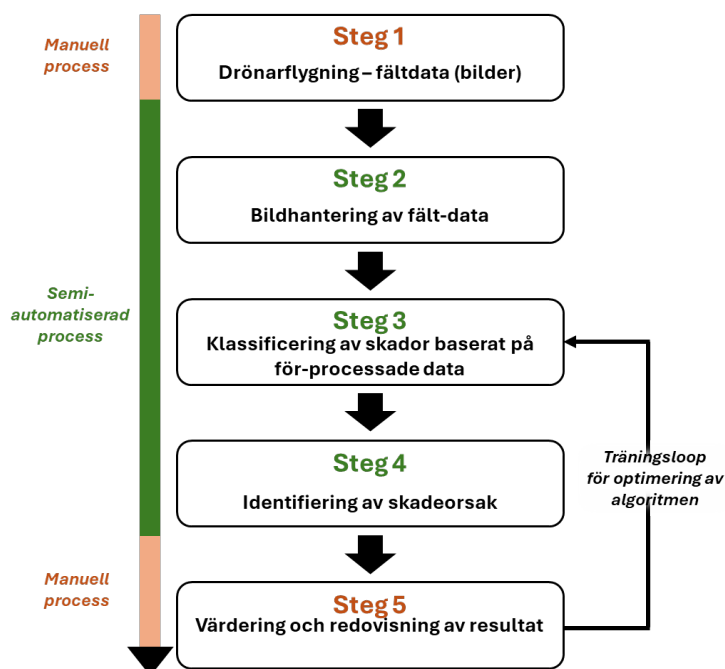
att en tidig inventering vid midsommar är överflödig. En 3D genererad bild måste dock korrigeras för den oskadade grödans ojämnheter i växthöjd samt fältets ondulering (d.v.s. höjdskillnader i markens kontur) för att kunna skatta den oskadade grödans höjd på ett korrekt sätt. Detta gör att en 3D bild på spannmål kräver mer efterarbete än en 2D bild. För att generera en 3D bild, krävs dessutom tre till fem överflygningar av varje enskilt fält jämfört med en överflygning för att få en 2D bild, där flygriktning samt sensorernas vinkel mot marken ändras från att vara riktad rakt ner mot marken (90 grader) vid första flygningen till att vara tildad (60 grader) under de resterande överflygningarna.

6. Den föreslagna inventeringsmetodens genomförande i fem steg

Den föreslagna metoden är i sin nuvarande form, semi-automatiserad. Med detta menas att flera av analysstegen visserligen genomförs med hjälp av färdiga programvaror och egenproducerad programkod, men analyserna laddas och initieras manuellt, fält för fält. Steg 2 - 4 nedan är därför i sin nuvarande form mycket tidskrävande, men fullt möjliga att koppla ihop och automatisera i hela sitt förlopp (se avsnitt 8). Notera, även i ett helautomatiserat system måste respektive steg genomföras, men det kommer göras effektivare och snabbare och utan manuell övervakning. Således beskrivs nedan den föreslagna metodens processer från den inledande datainsamlingen i fält till att skatta och redovisa ett fälts skadade areal samt arealen för de mest sannolika skadeorsakerna, i fem separata steg (Fig. 1):

1. fältarbetet via drönarflygningen och eventuell validering av fältets skador,
2. bildhantering av drönarbilder d.v.s. alla bilder tagna över ett fält slås ihop till en bild en s.k. ortomosaik,
3. klassificering av skadad areal,
4. identifiering av förekommande skadetyper och dess arealer, samt
5. sammanställning och rapportering av resultat.

Om en markkontroll genomförs för identifiering och verifiering av skadeorsaker (för att komplettera bildbanken) i Steg 1, leder det till att dessa skador måste avgränsas manuellt i Steg 2 (se 6.2).



Figur 1. Inventeringsmetodens fem principiella steg. Vilka delar som görs manuellt och vad som kan automatiseras.

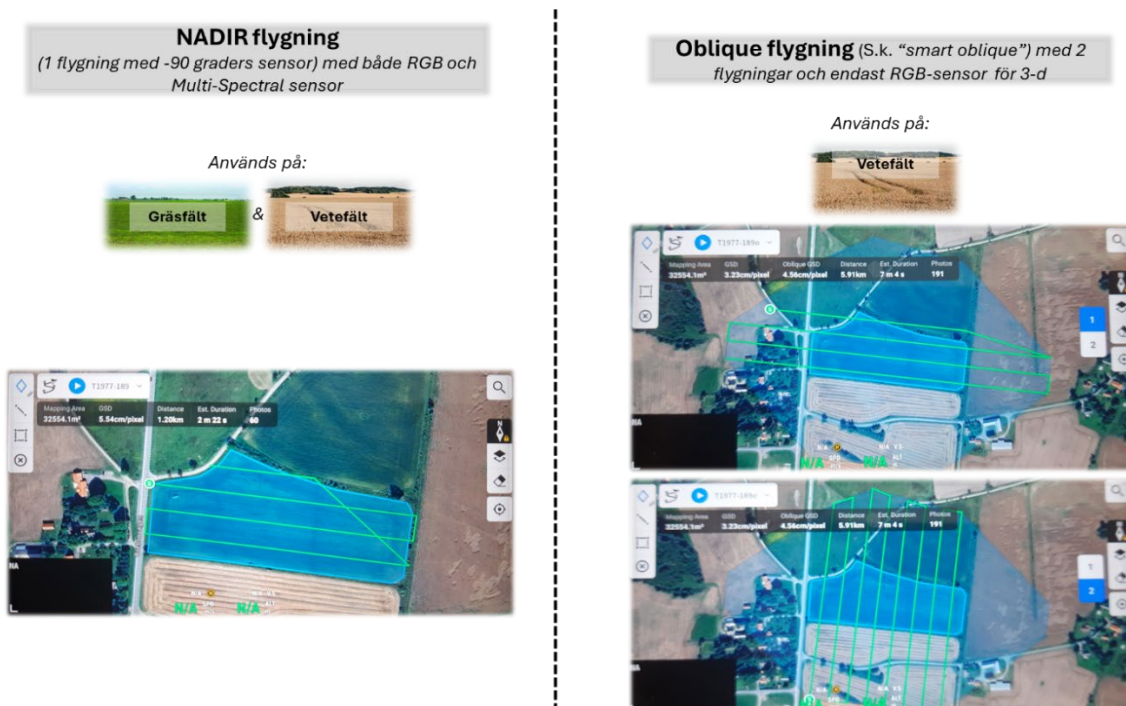
6.1 Steg 1 - flygmetod, drönarmodell, tekniska specifikationer och inställningar

Drönare: I projektet har flera olika drönare testats under fas 1 (2022) men från och med fas 2 (2023) har endast drönare av modell DJI Mavic 3M använts. Vilken drönarmodell som helst med motsvarande prestanda eller bättre kan naturligtvis användas, så länge den kan bära två sensorer samtidigt. Detta är nödvändigt för att RGB- och NIR-bilderna ska kunna genereras samtidigt under flygningen så att bilderna överlappar varandra korrekt när de olika flygstråken ska sammanfogas till s.k. ortomosaiker (Steg 2, Fig 1).

Sensorer: Det måste finnas en RGB sensor med ≥ 20 megapixels upplösning, (4/3 CMOS, mekanisk slutare, 1/2000s), high-speed burst (0.7s) samt en multispektral (NIR) sensor med $\geq 4 \times 5$ megapixels upplösning, NIR (860 nm \pm 26nm), Red-Edge (730 nm \pm 16nm), Red (650 nm \pm 16nm) och Grön (560 nm \pm 16nm) spektrala band. Avvikelser ifrån sensorernas upplösning skall undvikas så långt det går då det påverkar flyghöjden (GSD: Ground Sampling Distance).

Drönarens kompass: Drönarens GPS/GNSS-kompasskvalité och precision är av mycket stor vikt och det är helt enkelt ett krav att drönaren är utrustad med en s.k. RTK-modul (Real Time Kinematic) för att kunna uppnå centimeterprecision för dess positionering. Detta för att en korrekt 3D bild ska kunna genereras. RTK-positioneringen kan uppnås antingen genom ett lokalt nätverk via flera GNSS-mottagare eller via abonnemang till extern leverantör och mobilmaster (t.ex. Swepos).

Arbetets utförande: Fälten inventeras med en flyghöjd på 120m, med en hastighet på 8 – 9 m/s och med ett överlapp mellan flygstråken på 80%. Som tidigare nämnts, flygs fältet systematiskt i stråk, en till fem gånger, beroende på gröda (gräsmark en gång, spannmål tre till fem gånger) och efter särskild instruktion och flygmönster (Fig. 2). I spannmål görs den första flygningen (liksom på gräsmark) med kameran riktad 90 grader mot marken (s.k. Nadir flygning) medan övriga flygningar genomförs med 60 graders tiltade kameror (s.k. Oblique flygning). Med en ”statisk” sensor som endast tar bilder i en riktning åt gången måste stråken flygas i oblique läge, fyra gånger och i korsande riktning. Varannan gång med kameran riktad snett framåt och varannan gång snett bakåt. Detta är en förutsättning för att fältet ska gå att återskapa i 3D-format. Om drönaren däremot har en sensor med s.k. ”smart oblique” funktion som kan fotografera i två riktningar samtidigt (60 grader framåt och bakåt), halveras antalet flygningar, men som fortfarande görs i korsande riktningar.

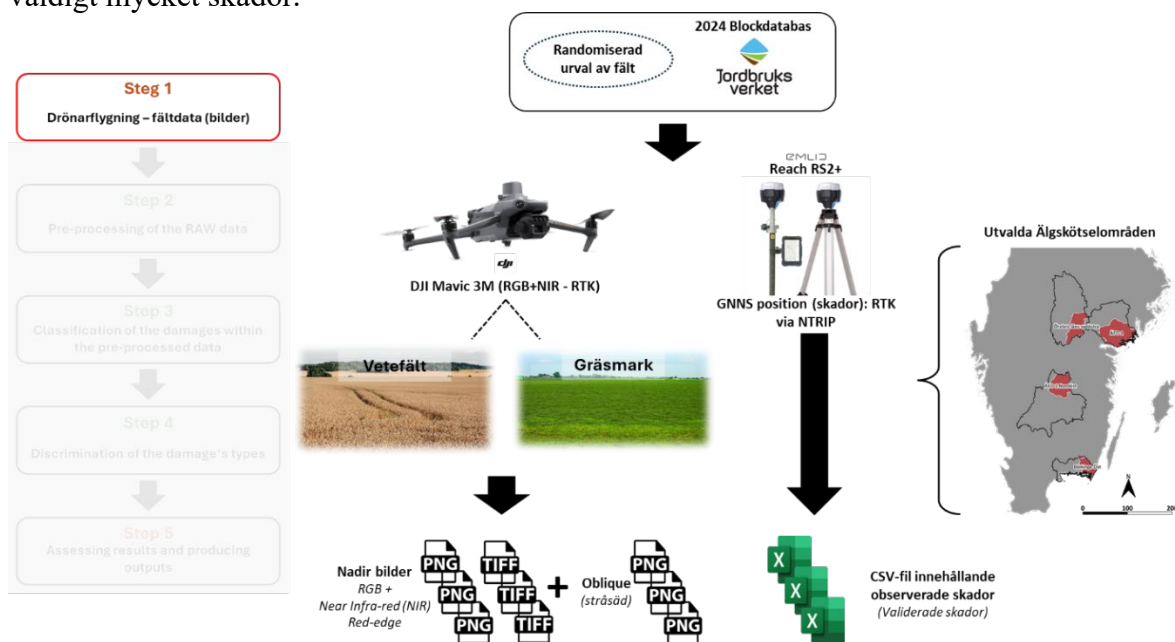


Figur 2. Verkliga bilder från drönarens flygstråk över verkliga fält i Nadir-flygning (sensorn 90 grader mot marken, till vänster) och med bildinsamling med två sensorer aktiva samtidigt, samt de två upprepade och korsande smart oblique-flygningarna till höger där drönaren måste flyga långt utanför fältet p.g.a. den tiltade sensorn.

Inventeringen med drönare kan vara tidskrävande men samlar in omfattande mängder data, med en precision på gräsmark av 3,5*3,5 cm (Nadir flygning, 120m flyghöjd) och om en 3D-bild ska genereras (spannmål) så blir precisionen 5,5*5,5 cm (vid oblique flygning). Vid efterarbetet och om de olika sensorernas olika information ska sammanfogas och kombineras blir de processade ortomosaikernas upplösning endast 8*8cm, trots den höga flyghöjden. En flyghöjd på 120m kortar flygtiden avsevärt men likväl kräver 3D bilder oblique flygning (2 – 4 flygningar). Flygning över stora fält kräver att man har tillräckligt med batterier till drönaren eller möjlighet att ladda dessa i fält. Den totala flygtiden per hektar, påverkas starkt av vind, fältets arrondering och pilotens position. Inventering av ett helt kvadratisk fält (100 x 100m = 1ha), där piloten kan stå direkt i fältkanten och kan flyga i svag vind uppskattas den totala tidsåtgången till ca 5 minuter (spannmål, 3 flygningar) och endast 35 sekunder per hektar på gräsmark (1 flygning). Skälet till den stora skillnaden i flygtid mellan gräsmark och vete, beror på tre faktorer:

1. Vetefälten måste flygas minst tre gånger,
2. Flygsträckan är längre efter första flygningen, eftersom de två sista flygningarna måste göras långt utanför fältets kanter i oblique flygning (Fig. 2).
3. Drönaren måste återvända till startpunkten mellan de tre olika flygningarna, för att nästa inprogrammerade flygrutt ska initieras, och då kan det dessutom vara dags att byta batteri.

Det måste också finnas en tillräcklig kapacitet för att hantera data (bilderna) som samlas in. Det krävs ungefär 1,2 Gb lagringsutrymme för varje hektar vete som inventeras och ca 0,8 Gb på gräsmark. Detta innebär att drönaren måste ha tillräcklig lagringskapacitet under flygningarna av stora fält samt att piloten ska kunna överföra dessa data till en server eller annan lagringsplats. Markkontrollen för verifiering av skador tar ca 10 minuter per hektar, oavsett gröda, om det inte är väldigt mycket skador.



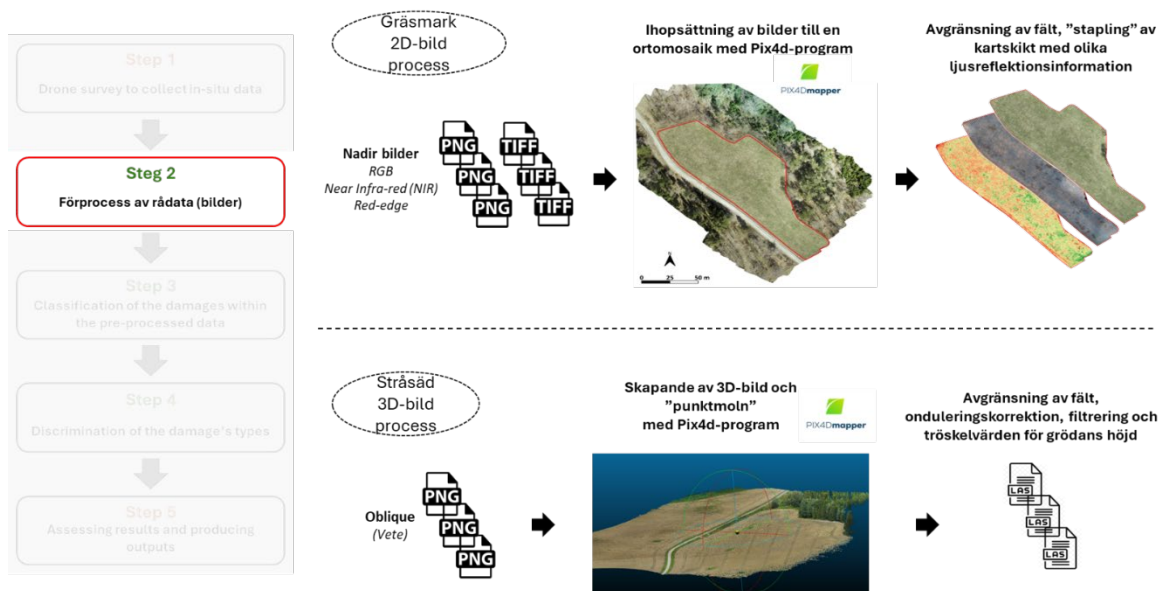
Figur 3. Inventeringsmetodens fältarbete (Steg 1) som består av drönarflygning med två sensorer samt en exakt s.k. RTK-kompass. I de fall skadorna ska verifieras under drönarflygningen för att addera till bildbanken, krävs dessutom en handhållen exakt RTK-kompass som används av markkontrollanten. Flygningen genererar en stor mängd bilder med olika spektralband (RGB, NIR och sk Red-edge) samt för stråsäd 3D-bilder. Verifierade skador sparas ner efter koordinatsättning i särskilda dokument. Kartan till höger visar de 4 älgförvaltningsområden (röd färg) som inventerades växtsäsongen 2024 vars resultat redovisas separat och senast 2024-12-31.

6.2 Steg 2 – Bildhantering - Skapande av ortomosaiker och bildbank

Bilderna från flygstråken över varje enskilt fält sätts ihop med alla skarvar och korrekt överlapp till en till en enda stor, komplett och avgränsad bild, en sk. ”ortomosaik” (Fig. 4). Ortomosaiken innehåller information om allt det reflekterande ljus som sensorerna samlat under flygningen. Varje sådant unikt ljus eller spektralt band (10 st, Fig. 5) lagras i ett eget unikt kartsikt så att t.ex. allt synligt ljus kan filtreras bort medan endast infraröd färg återges. För spannmålsfälten tillkommer dessutom ett kartsikt med 3D information. När varje enskilt fälts ortomosaik sammanfogats, kan gräsmarksfält analyseras för sina skador. Spannmålsfälten som dessutom har ett 3D-skikt måste dock först korrigeras för markplanetens ondulering, så att grödans verkliga höjd kan avgöras. Detta sker

genom flera olika delsteg och processer där det viktigaste är att identifiera marknivån.

Om det inventerade fältet kontrollerats från marken och försetts med verifierade och koordinatsatta skador, måste dessa återfinnas på bilden med en centrumpunkt, som tas vid flygtillfället av den person som gjorde markkontrollen. På kontoret, markeras och avgränsas skadans utbredning i fältet runt centrumpunkten manuellt på ortomosaiken med en polygon direkt på bildskärmen. Skadan blir på så sätt ”taggad” med sin unika skadorsak. Samtidigt skapar man dessutom polygoner i fältet med oskadad gröda. Den s.k. bildbanken utgörs därefter av sådana ”taggade” och verifierade skador av olika ursprung (samt taggade polygoner med oskadad gröda) som algoritmen tränas på och som jämförs med den oskadade grödan.

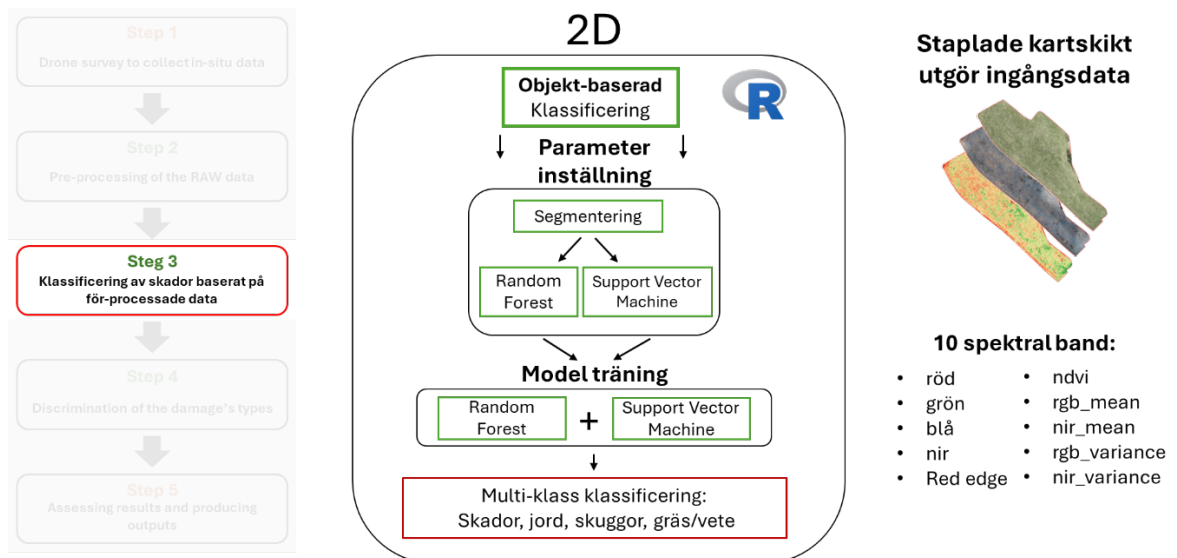


Figur 4. Steg två, d.v.s. när fältarbetet är klart, består av att sammanfoga drönarbilderna m.h.a. olika programvaror till en enda s.k. ortomosaik. Därefter avgränsas det inventerade fältet från omgivningen och de olika kartskikten ”staplas” med sin olika och unika information som består av ljusspektrala band och för stråsåd även sådens höjd.

6.3 Steg 3 – klassificering av skadad och oskadad gröda

När ortomosaikerna skapats, och de olika kartskikten är klara kan själva AI-identifieringen och klassificeringen av skadad och oskadad gröda genomföras. Om det finns nya träningsdata, d.v.s. identifierade, verifierade och koordinatsatta skador från det enskilda fältet hanteras dessa i ett första steg för att addera till den redan insamlade bildbanken. Principiellt identifieras likheter mellan skador av olika ursprung, som därefter kontrasteras mot oskadad gröda och objekt eller delar av

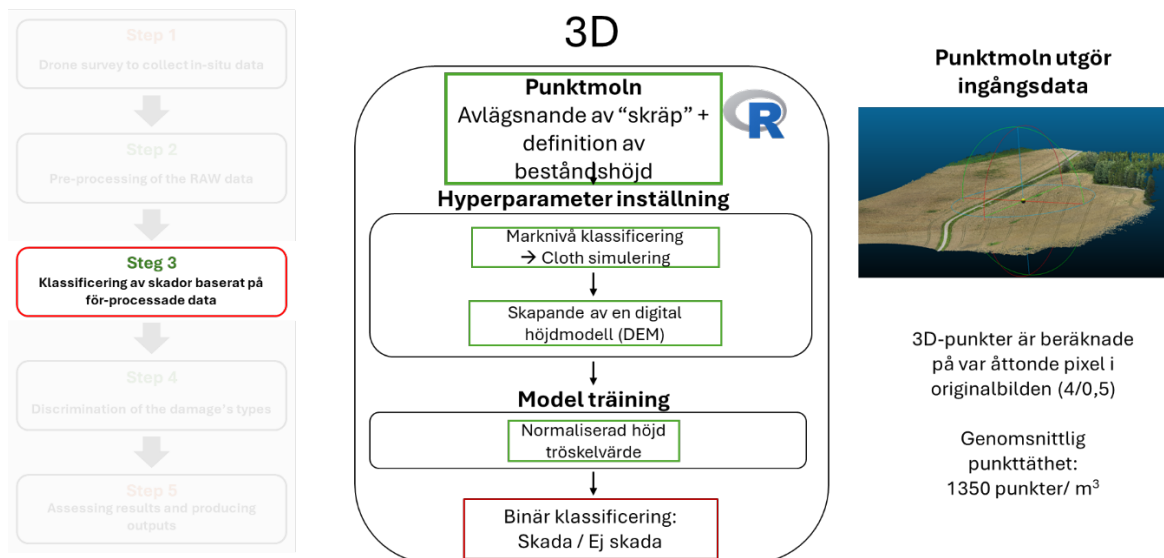
fältet som inte odlats då det består av bar jord, stenar, brunnslock m.m. Vilka parametrar som visat sig vara viktigast för att urskilja dessa, skiljer sig mellan de olika grödorna. För 2D-bilder används två olika maskininläringssystem (Random forest och Support Vector Machine, Fig. 5). Den första (Random forest) kan liknas vid ett beslutsträd där varje pixel först definieras som skadat eller oskadat för att därefter definiera de skadade pixlarna som "viltskadat" eller "annan skada". Det andra maskininläringssystemet (Support Vector Machine) avgränsar och skapar polygoner kring de pixlar som liknar varandra, d.v.s. skadad gröda respektive oskadad gröda.



Figur 5. De olika stegen i AI-processen för att initialt identifiera skadad gröda (här gräsmark eller vete), och avgränsa den från oskadad gröda med hjälp av två maskininlärningsprogram (Random forest och Support Vector Machine). Därefter kan ett antal grövre underklasser urskiljas som t.ex. skador med olika ursprung (inklusive viltskador) men också bar jord/så-mistor och skuggor p.g.a. omgivande skog. Till höger i bilden anges de 10 spektralband som insamlas i 2D via RGB- och NIR-multispektralsensorerna och som senare används i analysen. Det programmeringsverktyg (språk) som använts heter "R".

När en ortomosaik med 3D information (i RGB) skapats, ska grödans höjd definieras. Först bestäms marknivån i två steg med olika digitalt verktyg (Cloth simulation och DEM – Digital Elevation Model) så att fältets ondulering kan rätas ut till en och samma nivå (Fig. 5). Dessutom sker en städning i det moln med mätpunkter (punktmoln) som 3D informationen egentligen består av. Punktmolnet består av 1350 punkter per kubikmeter spannmål och utgör var för sig unika mätpunkter som används vid höjdberäkningen. När beståndets (grödans) höjd ska definieras måste avvikande och felaktiga mätpunkter i punktmolnet identifieras, punkter som har sitt ursprung i rena felaktigheter som bl.a. uppstår p.g.a. skuggor i grödan. Därefter kan fältets beräknade höjd för de oskadade delarna av beståndet definieras och därmed även avvikelser i höjd baserat på ett tröskelvärde. Skillnaderna i beståndets höjd identifieras för var åttonde pixel (vilket motsvarar en

precision på $8 * 8$ cm). Detta resulterar slutligen i en identifiering av de delar av fältet som är skadat eller icke skadat. Därefter tar en skadeklassificering som liknar den som beskrivs för 2D-bilder vid.

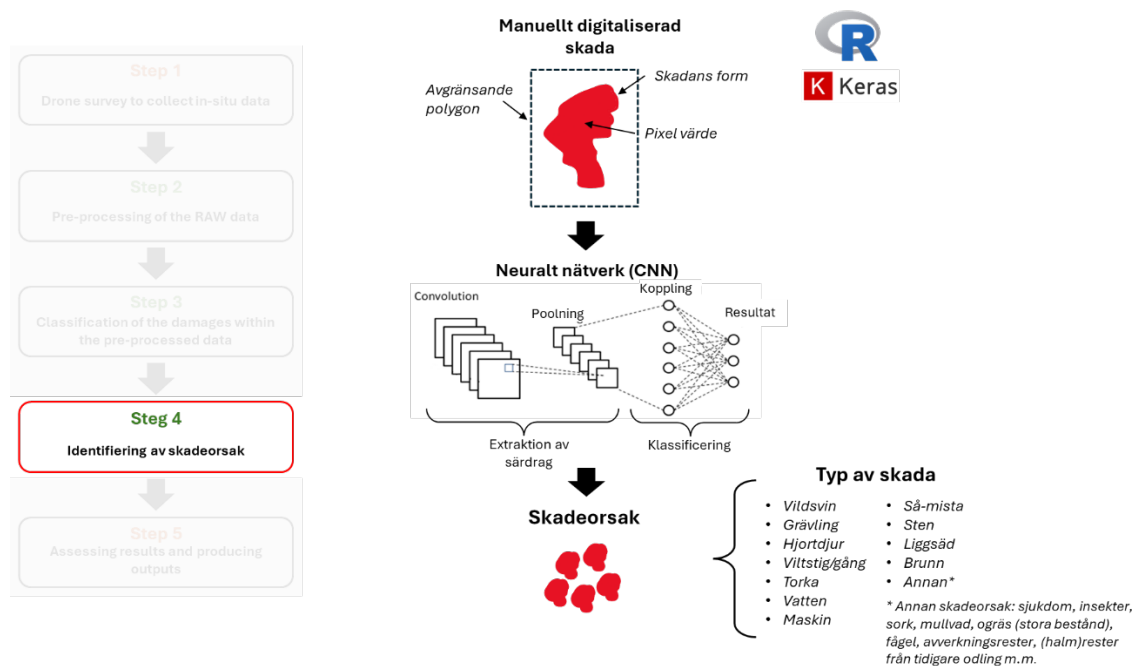


Figur 6. Schematisk beskrivning av steg 3 och hur 3D-bilder av spannmål genereras och hur grödans höjd beräknas. Därefter sker en binär klassificering (skadad gröda vs oskadad gröda) baserad på det höjdröskelvärde som genererats för det aktuella fältet. Höjdmätningen görs för var åttonde pixel i bilden vilket motsvarar 1350 mätpunkter per kubikmeterspannmål. Det programmeringsverktyg (språk) som använts heter "R".

6.4 Steg 4 – slutlig klassificering av skadeorsak

Djupinlärning är en typ av maskininlärningsprocess som använder s.k. neurala nätverk med många lager (ofta kallade "djupa" neurala nätverk) som används för att identifiera komplexa mönster, särskilt i bilder. Djupinlärningsalgoritmer extraherar automatiskt funktioner från data och kan modellera mycket komplex information bl.a. från bilder. För den föreslagna inventeringsmetodens syfte genomförs den slutliga klassificeringen av skadeorsak via en djupinlärningsprocess som kallas "Convolutional Neural Network" (CNN). CNN är generellt en maskininlärningsmetod som används i en mängd olika komplexa sammanhang, från ansiktigenkänning, objektigenkänning m.m. uppgifter som involverar visuella data eftersom det automatiskt och effektivt kan lära sig hierarkiska mönster i bilder. Det som används i detta viltskadeinventeringssystem är en typ av djupinlärningsmodell som används framför allt för mönsterigenkänning, där CNN använder sig av mycket komplexa (konvolutionella) beräkningsoperationer för att analysera och bearbeta indata. CNN-processen påbörjas när en 3D ortomosaik skapats med spektral information samt där ett punktmoln är definierat i höjd, bredd och djup. De olika kartskikten eller lagren undersöks därefter med ett eller flera olika sorts filter som rör i ett kluster av pixlar över bilden. Varje filter extraherar en specifik typ av information från bilden, såsom kanter, hörn eller texturer. Efter flera sådana

upprepade analyser plattas det tredimensionella resultatet ut till en endimensionell vektor, som kopplas till ett eller flera lager med spektrala skikt (i detta fall RGB, NIR och Red edge). Där efter genererar det sista lagret ett slutgiltigt resultat för enskilda eller grupperade pixel med sannolikheter för varje skadeklass (Fig. 6). Vilka parametrar som leder fram till en enskild klassificering är inte alltid uppenbar, men såväl form, skadans storlek, färgspektra, höjd och placering på fältet har sannolikt betydelse för att urskilja viltskador från andra skadeorsaker (torka, vatten, insekter, körskador osv). CNN är på så sätt mycket effektivt för bildklassificering, objektigenkänning och segmentering tack vare dess förmåga att automatiskt extrahera specifika visuella egenskaper från bilder.



Figur 7. Schematisk beskrivning av steg 4 och den slutgiltigt definierade skadeorsaken i inventerade fält. Analysen tar alltid sin utgångspunkt i bildbanken med identifierade, verifierade och avgränsade (taggade) skador. Därefter används den information som är gemensam för varje unik skadeorsak (baserad på bildbanken) för att klassificera de skador som identifierats i steg 3 till den mest sannolika skadegöraren, på fält som det inte genomförts markkontroll på. Det programmeringsverktyg (språk) som använts heter "R".

6.5 Steg 5 – Resultatredovisning

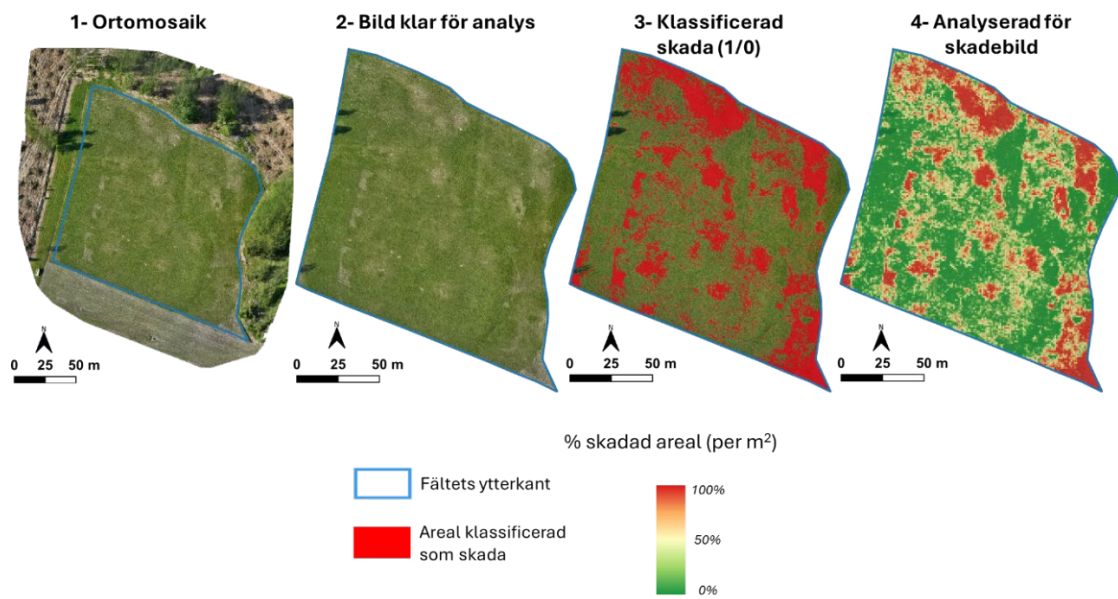
Inventeringens resultatredovisning kan kort beskrivas bestå av åtminstone:

- Totalt inventerad areal
- Totalt skadad areal
- Skadad areal p.g.a. vilt
- Skadad areal p.g.a. olika definierade viltarter (för närvarande hjortdjur och vildsvin)
- Skadad areal p.g.a. andra orsaker än vilt (t.ex. så-mistor, torkskador, vattensskador, körskador, stenar, brunnar mm)

Redovisningen av skadad areal av annan orsak än vilt kan naturligtvis delas upp i undergrupper, i den mån dessa är verifierade i fält och i tillräcklig omfattning för algoritmen att träna på. Samtliga resultat som beskrivs ovan anges dessutom med vilken statistisk säkerhet som uppnås i skattningen av skadans omfattning och i klassificeringen av skadeorsak (Fig. 8 - 9). D.v.s. för varje skada skattas hur stor sannolikhet det är för var och en av de möjliga orsakerna att de faktiskt orsakat skadan som anges. Som t.ex. 90% sannolikhet att det är vildsvin och 10 % maskinskada. Ju fler validerade skador i bildbanken, som maskininlärningsalgoritmerna tränas på, desto högre säkerhet kommer att genereras. Vidare kan skadornas rumsliga fördelning samt skadegrad beskrivas för enskilda fält eller på högre rumslig skala vid inventeringar genomförda i stora regioner, hela eller delar av län (Fig. 10). Först i ett senare skede kan varje fälts förlorade skörd (skördebortfall) och ekonomiska avkastning beräknas. Dessa uppgifter baseras då antingen på den jordbruksstatistik som inkommer där områdets normalskörd redovisas samt årets genomsnittliga värde för den aktuella grödan eller på information från tröskningen av det enskilda fältet (se också 7.3 och 8.1 - 5).



Figur 8. Resultatredovisningens innehåll i steg 5, består av såväl de skadade arealerna, skadeorsak för olika arealer samt skadornas rumsliga utbredning såväl inom fält som på regional nivå.



Figur 9. Schematiskt flödesschema av analysprocessen från skapandet av en ortomosaik och avgränsning till det inventerade fältet (steg 1 & 2) till det steg där skadornas utbredning (steg 3 i rött) och skadegrad (steg 4, andel (%) skada per kvadratmeter) kan visualiseras. Ett exempel från gräsmark.

7. Bildbankens aktuella storlek och betydelse för systemets nuvarande precision

7.1 Bildbankens aktuella storlek och sammansättning

Till dagsdato (18 sept, 2024) finns det endast verifierade ortomosaiker i projektets bildbank från fas 2. Dessa sammaldes in sommaren 2023 i Skåne, Sörmland och Örebro län och består totalt av 7200 verifierade skador (Tabell 1). Bildbanken kommer dock att växa väsentligt när inventeringarna i de fyra länen från fas 3 (sommaren 2024) är sammanställda, vid årets slut.

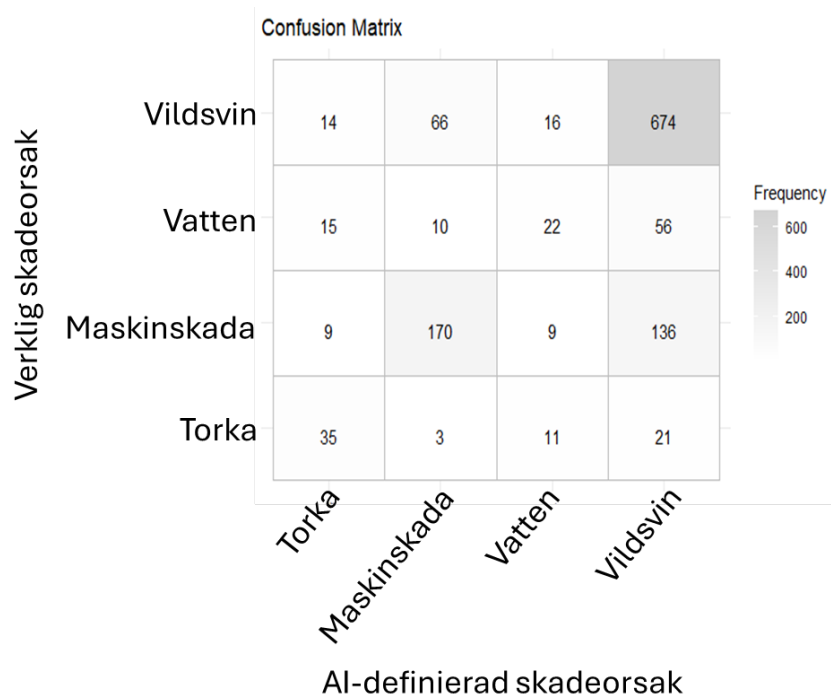
Baserat på de preliminära analyser som genomförts och den ”obalanserade” bildbanken från 2023, lyckades algoritmen överraskande väl med att identifiera skador korrekt. Under fas 2 var fokus att samla in bilder från viltskador och då primärt från vildsvinsskador. Särskilt skadade fält valdes ut, och om det var stora fält begränsades inventeringen till de mest skadade delarna av fälten. Detta har resulterat i en obalanserad bildbank där hela 85% av alla verifierade skador är viltskador. Av viltskadorna utgör vildsvinsskador 98%, som ett resultat av viltsammansättningen i studieområdena 2023 (Tabell 1). Det är därför föga förvånande att AI-algoritmen tenderar att blanda ihop en del skadetyper, som uppenbarligen påminner om varandra på något vis (Fig. 10 & 11). Detta problem kommer med säkerhet att minska dramatiskt med en större och mer balanserad bildbank. Vidare kan fältinsamlingen av verifierade skador styras mot sådana skador som man vill utöka bildbanken med.

Tabell 1. Det totala antalet ”taggade” bilder i bildbanken, samt uppdelat för gräsmark (vall och bete) samt vete (höst- och vårvete). Insamlat 2023, i Örebro, Skåne samt Sörmlands län.

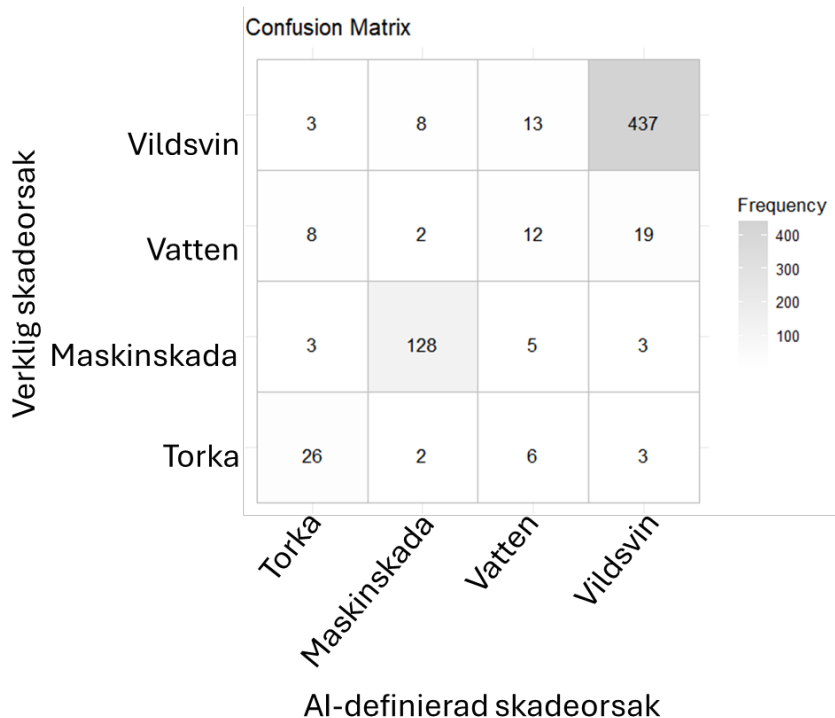
Verifierade skador	Gräsmark	Vete	Totalt taggade bilder
Hjort	16	34	50
Torka	50	31	81
Maskin	293	125	418
Sten	59	3	62
Vatten	93	37	130
Vildsvin	3726	2252	5978
Mullvad/Sork	25	-	25
Räv	4	-	4
Grävling	-	6	6
Klövsvilt	-	55	55
Så-mista	-	3	3
Annan	233	155	388
Totalt	4499	2701	7200

7.2 Systemets nuvarande förmåga att klassificera skador

I enklare statistiska termer definierar AI-algoritmen 72% (674 av 770 st) verkliga böxskador på gräsmark korrekt, medan ca. 28% (213 st) definieras felaktigt som vildsvin d.v.s. skadan har egentligen ett annat ursprung (Fig. 10). Motsvarande siffror på vete är att 95% av de verkliga vildsvinsskadorna (437 av 461 st) klassificeras korrekt medan endast ca 5% (25 st) av de felaktigt klassificerade vildsvinsskadorna har annat ursprung (Fig. 11).



Figur 10. En matris med de verkliga verifierade skadeorsakerna i gräsmark, samt de AI-definierade skadeorsakerna, baserade på bildbanken från 2023.



Figur 11. En matris med de verkliga verifierade skadeorsakerna i vete, samt de AI-definierade skadeorsakerna, baserade på bildbanken från 2023.

Vid en djupare statistisk utvärdering av hur korrekt ett AI-genererat klassificeringsresultat är, används två olika mått; dess "Korrekthet" (Overall Accuracy) och "Kappa". Korrekthetsmättet baseras på det totala antalet korrekt klassificerade bilder (diagonalen från övre högra hörnet mot nedre vänstra hörnet i Fig. 10 & 11) delat med det totala antalet bilder. Korrektheten varierar således mellan 0 och 1 och kan också uttryckas i procent. Det andra måttet "Kappa" (Cohen's Kappa) är ett statistiskt mått som används för att utvärdera överensstämmelsen mellan två "bedömare" när de klassificerar samma uppsättning kända objekt. Skillnaden mot "Korrekthetsmättet" är att Kappa mäter hur AI-algorithmens klassificering presterar i förhållande till vad som kan förväntas av slumpen. De två "bedömarna" är alltså slumpen och AI-algoritmen i detta fall. Kappa-värdet varierar därför mellan -1 och +1 där 0 innebär att överensstämmelsen inte är bättre än slumpen, medan 1 innebär perfekt överensstämmelse. Negativa värden indikerar en överensstämmelse som är sämre än slumpen, vilket innebär att det finns ett allvarligt systematiskt fel i metoden. Ett värde runt +0,5 indikerar måttlig överensstämmelse med verkligheten. Via ett upprepat förfarande där man varierar stickprovsstorleken kan också en varians beräknas för dessa båda mått (Korrekthet och Kappa).

Baserat på bildbanken insamlad under växtodlingssäsongen 2023, har vi utvärderat AI-algorithmens precision med avseende på dess "korrekthet" och Kappa-värde för att klassificera vad som är skadad och oskadad gröda, dvs t.o.m. steg 3 i

arbetsprocessen beskriven ovan (avsnitt 6.2. & 6.3.). I genomsnitt, baserat på de tre studieområdena 2023 och ca 30 gräsmarksfält per studieområde, är algoritmen korrekt i 89% av fallen och med ett Kappavärde på 0,9 (Tab. 2). För vete är motsvarande siffror, baserat på 3 * 30 vetefält, 85% korrekthet och ett Kappavärde på 0,74 (Tab. 3). Sammantaget är detta mycket lovande inför det fortsatta arbetet och den mer balanserade bildbanksinsamling (inventering) som genomfördes under odlings säsongen 2024.

Skälet till att vi inte redovisar måtten för Korrekthet och Kappa för samtliga skadeplasser är att resultaten är irrelevanta och missvisande i nuläget. Den obalanserade bildbanken som domineras kraftigt av vildsvinsskador genererar inte en rättvisande bild av vad algoritmen kommer att prestera med en balanserad bildbank. T.ex. är det för närvarande problematiskt att skilja bökskador från maskinskador (körskador) på gräsmark, medan det är mycket enklare i vete (Fig. 10 & 11). I nuläget är detta ett rimligt resultat med tanke på körskadans utseende med bar jord mot grönt gräs och hur detta kan framstå vid en ytlig betraktelse som en bökskada. I ett vetefält är däremot en körskada starkt avvikande från en vildsvinsskada. Det betyder att fler lager med ytterligare information måste adderas till algoritmen för att klassificeringen ska bli mer exakt för att skilja bökskador från körskador på gräsmark, men sannolikt inte i spannmål. Ur ett statistiskt perspektiv är den enda lösningen att bildbanken med den typen av skada på gräsmark måste bli större.

Tabell 2. AI-algoritmens förmåga att statistiskt bestämma skadad/icke skadad jordbruksmark (gräsmark, vall och bete- Korrekthet samt Kappa) samt skattningarnas precision (variansen kring medelvärdet). Ca 30 gräsmarksfält inventerades på tre olika gårdar 2023, totalt ca 100 fält. Notera att endast de mest skadade fälten eller delarna av fälten på gårdarna inventerades, varför andel skadad areal mm inte representerar det generella skadeläget på gården eller i länet.

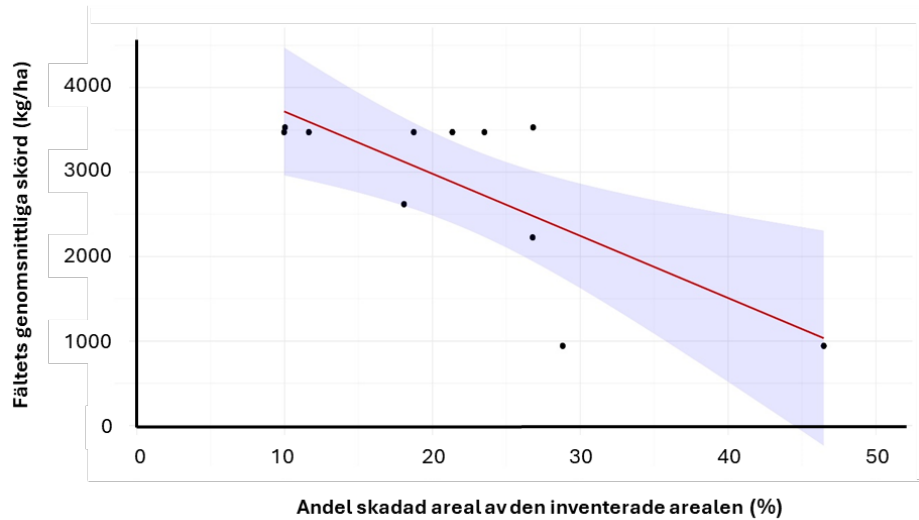
Gårdens placering (län)	AI-korrekthet (%)	Varians (%)	Medel kappa	Varians kappa	Medelskada (ha)	Total skadad areal (ha)	Andel skadad areal (%)
Skåne	92	0,9	0,86	0,024	1,37	16,4	20,4
Örebro	88	0,7	0,83	0,015	0,84	16,1	38,9
Sörmland	87	1,1	0,82	0,02	0,52	10,4	33,5
<i>Medel</i>	<i>89</i>	<i>0,9</i>	<i>0,84</i>	<i>0,02</i>	<i>0,91</i>	<i>14,3</i>	<i>30,9</i>

Tabell 3. AI-algorithmens förmåga att statistiskt bestämma skadad/icke skadad jordbruksmark (höst- och vårvete) (Korrekthet samt Kappa) samt skattningarnas precision (variansen kring medelvärdet). Ca 30 vetefält inventerades på tre olika gårdar 2023, totalt ca 100 fält. Notera att endast de mest skadade delarna av fälten inventerades, varför andel skadad areal mm inte representerar det generella skadeläget på gården eller i länet.

Gårdens placering (län)	AI-korrekthet (%)	Varians (%)	Medel kappa	Varians kappa	Medelskada (ha)	Total skadad areal (ha)	Andel skadad areal (%)
Skåne	91	0,2	0,83	0,006	0,41	3,67	16,0
Örebro	87	0,2	0,81	0,003	0,42	5,5	17,6
Sörmland	76	2,1	0,58	0,034	0,56	7,78	19,0
<i>Medel</i>	85	0,8	0,74	0,01	0,46	5,65	17,5

7.3 Från skadad areal till förlorad skörd

En första och mycket preliminär analys har genomförts av hur väl arealen AI-mätta skador korresponderar med den skörden (kg/ha) på 13 inventerade vetefält i Örebro län (Fig. 12). Analysen lider dock av ett par problem, som vi inte lyckats lösa och som sannolikt är ett generellt problem. De flesta moderna skördetröskor mäter skörden momentant under tröskningen och loggar dessutom sin position på fältet. Mätning och positionering görs med några meters mellanrum och kan användas i jordbruket för att få information om variationen i skörd såväl inom enskilda fält som mellan olika fält. Genom att använda denna information kan man teoretiskt inom ramen för denna skadeinventering kategorisera den momentana skörden för oskadade- respektive skadade delar av fälten och på så sätt uppskatta hur stor skörden skulle ha varit om det inte varit viltskadat och följaktligen, hur mycket viltskadan kostat i förlorad skörd. Av olika skäl har denna detaljinformation inte kunnat göras tillgängliga för oss. Det tycks vara olika licenspliktiga mjukvaror för varje enskild tillverkare (av tröskor) som det har varit svårt att dela med sig av för lantbrukarna. Vi har därför endast tillgång till hela fältets tröskade vikt, fältets areal och därmed skörd mätt i kg per hektar. Med detta sagt, så har vi alltså enbart data på de olika fältens totala skörd, medan vi med drönarna endast inventerat skador på några få procent av de delar av fälten som varit mest skadedrabbade. Trots denna uppenbara brist, och överskattning av förlorad skörd beskriver vår skattade skadade areal ca 57% av skördeutfallet, vilket vi bedömer som ett bra resultat (Fig. 12).



Figur 12. Korrelationen mellan andelen skadad areal (%) och hela fältens mätta genomsnittliga skörd per hektar (kg/ha). Det skuggade området anger 95% konfidensintervall. Den skadade arealen är inventerad med drönare och skadan identifierad och mätt med hjälp av en AI-algoritm. De redovisade skadorna representerar inte skadesituationen på hela fälten, eftersom endast de 5 - 10% mest skadade delarna av fältens totala areal är inventerad. Data från 13 vetefält i Örebro län, 2023.

8. Systemets nuvarande begränsningar, utvecklingsbehov och SLU:s bedömning

8.1 Nuvarande begränsningar och utvecklingsbehov

Under detta projekts genomförande och vid denna rapports tillkomst har ett antal erfarenheter gjorts som pekar på metodens nuvarande begränsningar och utvecklingspotential i relation till målbilden (se avsnitt 3.1). Vissa erfarenheter har nämnts tidigare i rapporten medan andra kanske inte framgått helt tydligt på grund av rapportens redovisningsform. Nedan sammanfattats detta i punktform. Flera steg i systemet är för närvarande endast semi-automatiserade och tidskrävande. Punkt 1 - 4 nedan, beskriver nuläget men också hur en automatisering skulle kunna utvecklas i framtiden. Vidare anges de av oss identifierade och viktigaste utvecklingsbehoven fram till punkt 5, medan resterande punktade erfarenheter och framtidsspaningar anges utan någon särskild inbördes ordning.

1. Av förklarliga skäl måste steg 1 (drönarflygningen) samt i förekommande fall, markkontrollen av skador (d.v.s. insamlingen av identifierade, verifierade och koordinatsatta skador) genomföras manuellt, i fält. I framtiden kan drönarflygningen över större arealer sannolikt kompletteras med flyginventering, på högre höjd men då med betydligt större och känsligare sensorer, och med bättre prestanda än de som kan bäras av mindre drönare. Detta skulle potentiellt förkorta tidsåtgången dramatiskt för en skadeinventering av större arealer och hela län.
2. I anslutning till punkt 1 saknas dessutom en direkt automatiserad process som kan koppla informationen från Jordbruksverkets blockdatabas till inventeringsmetoden. Detta är nödvändigt av flera skäl, dels för att databasen består av information om vilken gröda som odlas på de enskilda fälten (block och skiften), samt för att erhålla det enskilda fältets rumsliga avgränsning. Det är oklart för oss hur juridiskt komplext detta kan komma att vara, men blockdatabasen är sannolikt skyddad av vissa GDPR-restriktioner.
3. Steg 2, skapandet av ortomosaiker görs för närvarande delvis manuellt, där endast ett fält i taget kan bearbetas. På liknande vis är heller inte steg 3 och 4 direkt ihopkopplade. D.v.s. steget från den automatiserade identifieringen och avgränsningen av skadad eller oskadad gröda kräver i dagsläget att någon manuellt stänger och öppnar varje enskild ortomosaik, men i ett annat program för att initieraprocessen att klassificera skadeorsak. Detta medför att arbetet (inkl. hela inventeringsprocessen) under rådande utvecklingsfas blivit relativt tidskrävande. Exempelvis tar det i nuläget totalt ca. 40 - 60 manarbetsdagar (beroende på gröda) att genomföra, bearbeta och redovisa en inventering av 100 genomsnittsfält, givet vår begränsade datormiljö (ca 5 dagar med drönarflygning på gräsmark, 10 på spannmål, ca 14 dagar med skapande av ortomosaiker och 15 - 20 dagar för identifiering av skador,

beroende på gröda). Till detta tillkommer tid för ev. markkontroll och validering av skador. Om metoden ska användas i framtiden bör arbetet med ortomosaiker ske i en mer kraftfull datormiljö eventuellt med tillgång till s.k. "High performance computing" (HPC) d.v.s. de stora superdatorer som finns vid de större universiteten i Sverige. Oavsett datormiljö, kommer det att krävas att en programmerare, med färdigheter att översätta den utvecklade programkoden till ett mer maskinnära och effektivare språk (t.ex. C++) för att knyta ihop och effektivisera alla analyssteg (s.k. Optimization programming). När alla datorberoende steg är kopplade och fullt automatiserade uppskattas steg 2 - 4 ta mindre än 5 minuter, för >>100 fält. För ett enskilt fält torde resultaten komma i det närmaste momentant. I en normal men kraftfull PC-miljö och med ett fullt automatiserat system, kommer 100 fält kunna analyseras från rå-bilder (från drönaren) till ett färdigt resultat på mindre än 10 timmar. Men notera att dessa beräkningar är mycket osäkra. Det är osannolikt att det skulle gå långsammare, men det kan komma att gå betydligt fortare och detta är då helt beroende på datorns kapacitet att arbeta med parallella processer samt mjukvaruprogrammerarens färdigheter m.m.

4. Vi har till dags dato samlat in tusentals s.k. taggade (identifierade, verifierade och koordinatsatta) bilder på bökskador i gräsmark och betesskador i vete. Men för att nå en tillräcklig säkerhet för algoritmen att klassificera övriga skadetyper korrekt behöver bildbanken generellt bli större och mer balanserad, d.v.s. antalet bilder på andra skador än vildsvinsskador bör utökas. Sannolikt med tusentalet bilder per skadetyper. Under hösten och till den kompletterande rapporten (senast 2024-12-31) kan en grov uppskattning (simulering) göras av hur många ytterligare bilder som behöver kompletteras med för de olika skadetyperna.
5. Det föreslagna systemet kan i dagsläget endast skatta den skadade arealen och har ingen möjlighet att enbart baserat på bildunderlaget beräkna den faktiska förlorade skörden i form av biomassa eller kg/ha. En sådan skattning kan dock göras i efterhand, baserad på den redovisade normalskörden/ha i området. Det är dock väl känt att det kan vara stora skillnader i produktion mellan fält, beroende på en mängd olika faktorer. Vid en skadeinventering av ett mindre område eller av enskilda fält kan därför förhållandet mellan skadad areal och förlorad skörd bli missvisande. Här finns åtminstone två realistiska vägar framåt. Den enklaste torde vara att i ett framtida flygplansbaserat system med fler och känsligare sensorer kunna göra biomassaberäkningar med relativt god precision. Det skulle förvisso kräva en enorm datorkapacitet, men det är teoretiskt möjligt. Den andra vägen bygger på att lantbrukaren använder en tröska som momentant registrerar skörden över hela sitt fält och därefter delar med sig av den datafil (resultatet) som genereras. I bägge dessa fall skulle det därefter krävas att den skadade arealen och dess mätta biomassa på det enskilda fältet först identifieras och räknas bort, för att därefter skatta hur stor skörden skulle vara givet att hela fältet hade varit oskadat.

6. Det kommer att finnas begränsningar i hur små skador som metoden kan lära sig att urskilja. Det är dock för tidigt att säga var denna storleksgräns går, men skador mindre än den pixelupplösning $8 * 8$ cm) som denna metod baseras på (120m flyghöjd) kan omöjligt komma att definieras. Detta betyder att enstaka räv, grävling och sorkgropar, sannolikt är utom räckhåll i de flesta fall, även om även dessa ingår i vår insamlade bildbank. Därför kommer endast skador över en viss storlek ($> 0,64 \text{ dm}^2$) att redovisas med känd statistisk säkerhet. Vidare pekar våra resultat från spannmål på att det bete av ax som görs av hjortdjur i anslutning till tydligt upptrampade gångar i grödan (klassad som skadeklass "viltstig") inte fångas upp som en egen betesskada, utan kategoriseras som en del av "viltstogens" attribut, och som inte nödvändigtvis är skapad av hjortdjur, eftersom stigar kan skapas av många olika djur (ridning, människor, grävling, vildsvin m.m.).
7. En kontinuerlig kalibrering av metoden via fältkontroller där skador av olika ursprung valideras är nödvändig tills en tillräcklig säkerhet för klassificering av de viktigaste skadeorsakerna uppnåts. Hur stor andel som kommer behöva kontrolleras manuellt beror på totala mängden fält som inventeras med drönare. Givet att endast några hundra fält inventeras behöver gissningsvis ca 50% av de inventerade fälten kontrolleras till fots så att skadorna kan identifieras, verifieras och koordinatsättas, för att kunna ingå i bildbanken som träningsdata, även efter detta projekts slutredovisning. Med en ökad mängd fält som inventeras minskar andelen fält som behöver kontrolleras. Skulle inventeringssystemet appliceras på hela län eller nationell skala med tusentals - tiotusentals fotograferade fält räcker det sannolikt med att totalt ett hundratal fält (med skador) besöks för en markkontroll, då med fördel utspridda i olika delar av länet eller landet. Generellt kommer alltså behovet av att inventera skador till fots succesivt att minska i takt med att bildbanken växer. Men, för att tilltron till metodens resultat ska vidmakthållas över tid bör dock sannolikt ett mindre antal av alla inventerade fält besökas trots en fullt utvecklad bildbank. Detta har då mindre statistisk betydelse, men framför allt är det till nytta för att vidmakthålla metodens trovärdighet och förankring hos avnämarna. Notera dock att taggningen av skador i ortomosaikerna inte kan automatiseras utan är en manuell process (se 6.2).
8. Så vitt vi har tolkat lagstiftningen, krävs i dagsläget markägarens tillstånd för att genomföra markkontroll till fots i växande gröda (identifiering och verifiering av skadeorsak), medan drönarflygning av jordbruksmark inte gör det, så länge ev. människor och byggnader inte kan identifieras. Om ett stort antal fält ska kontrolleras från marken måste det därför avsättas tid för att ta dessa kontakter och få tillstånd att fysiskt gå ut i varje enskilt fält. Under 2024 år odlingsårsong, när totalt 800 olika fält inventerades, avböjde endast ett fåtal lantbrukare ($< 3\%$) en sådan markkontroll.
9. En spaning in i framtiden anger att höjd- och biomassamätning av spannmål och gräsmark via lasermätning från drönare eller flygplan (Lidar-sensor), kan komma att få ökande betydelse, då kostnaderna för sensorer och genomförande kontinuerligt sjunker. Lasersensorer av tillräcklig kvalitet till mindre drönare är dock i skrivande stund mycket kostsamma, långsamma och

kräver dessutom mycket stort datalagringsutrymme. För detta uppdrags syfte övergavs därför lasermätning av resursskäl. En för inventeringsmetoden tillräckligt bra 3D-bild genereras genom att flyga fälten 3 - 5 gånger med billiga RGB och NIR-sensorer riktade i olika vinkel mot marken vid varje flygriktning.

10. En väl fungerande koordination mellan drönarpilot och markkontrollant är avgörande för datainsamlingen, så att rätt och samma fält identifieras och inventeras under samma dag.
11. Väderleksförhållanden kan påverka inventeringens genomförande. T.ex. kan man inte flyga drönaren vid regn eftersom bildmaterialet håller för låg kvalitet då regndropparna stör både bildupplösningen och den spektrala (färg) återgivningen. Drönarnas vindtålighet är relativt god och de kan flyga i en vindstyrka på 13 - 14m/s – men med en högre batteriförbrukning.

8.2 SLU:s bedömning av metodens framtida potential

I förhållande till uppdragets målsättning att utveckla en metod för att mäta skador i gröda m.m., så har vi redan kommit i mål. Men viktigast är sannolikt att eftersom systemet för närvarande endast är semi-automatiserat (se ovan), behöver det effektiviseras ytterligare för att bli användbart. Dessutom, för att metoden ska bli fullt pålitlig krävs dessutom en större och mer balanserad bildbank med fler skador med annat ursprung än vildsvinsskador (andra viltarter, torka, vatten, maskinskador m.m.) och andra grödor än gräs och vete. De kvarstående tekniska utmaningarna består således av att i en mer kraftfull datormiljö automatisera samtliga steg i bildanalysen och rapporteringen samt att träna algoritmen med fler bilder av andra skadetyper. Det sistnämnda kommer att redovisas i nästa rapport till Naturvårdsverket, senast 2024-12-31. Slutligen, bortsett från rent organisatoriska frågor kring en eventuell framtida viltskadeinventeringsplattform för skador på gröda, dess huvudmannaskap, juridiska möjligheter, begränsningar och kostnader (samtliga dessa frågor ligger utanför SLU:s uppdrag) är SLU:s värdering av den utvecklade inventeringsmetoden att det är en fullt realistisk väg framåt, med möjligheter att utvecklas även för flygplan och i framtiden kanske via satellitbilder. Metoden skulle därför kunna bidra som ytterligare ett viltförvaltningsverktyg till nytta för såväl enskilda lantbrukare, jakträttsinnehavare och myndigheter.

9. Involverade parter, kompetenser inom vilt, växtodling, automatiserad bildanalys

- **Petter Kjellander**, SLU, Institutionen för ekologi, Grimsö – Projektledare med kompetens inom ekologi och klövviltsskador. Huvudansvarig för rapportskrivning och resultatredovisning.
- **Johan Månsson**, SLU, Viltskadecenter, Grimsö – Projektdeltagare med kompetens inom ekologi, klövvilts- och fågelskador.
- **David Parson**, SLU, Inst för NJV, avd för växtodling. Projektdeltagare. Agronom med kompetens inom modellering och 3D-analys av drönarbilder i växande gröda. Bidrog under metodutvecklingen.
- **Julien Morel**, Forskare (Research Officer) European Commission, Ispra, Italien. Projektdeltagare. GIS-specialist med kompetens inom fjärranalys av gröders tillväxt, precisionsjordbruk och 3D-analys av drönarbilder i växande gröda samt modellering och maskininlärningsalgoritmer. Bidrog under metodutvecklingen.
- **Florent Rumiano** – (100% i projektet). Postdoc-tjänst vid SLU-inst för ekologi. Disputerad geograf. Anställd from 2022-10-16 – 2024-12-31. Projektdeltagare. Disputerad forskare med kompetens inom bildanalys och maskininlärnings-algoritmer. Huvudansvarig för metodutveckling samt maskininlärningsutvecklingen.
- **Arvid Norström** – (100% i projektet) Jägmästare och Viltmästare med god fältvana och drönarkompetens. Anställd 2023-08-01 – 2024-09-30. Projektdeltagare och fältarbetskoordinator.
- **Yrsa Kleijkers** – (100% i projektet). Konsult. AI – programmerare. 2024-09-15 – 2024-12-31
- **Robert Briland**, Konsult, besiktningsman för viltskador i gröda.
- **Gustav Gerdes**, Konsult, drönarpilot.

10. Referenser

- Anon. 2015. Viltskador i lantbruksgrödor 2014. <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2020-06-22-viltskador-i-lantbruksgrödor-2014>
- Anon. 2021. Viltskador i lantbruksgrödor 2020. <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2021-07-06-viltskador-i-lantbruksgrödor-2020>
- Anon. 2024. Viltskador i lantbruksgrödor 2023. <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2024-06-18-viltskador-i-lantbruksgrödor-2023>
- Bergvall, UA. & Kjellander, P. 2022. Nationella och internationella erfarenheter av inventeringsmetoder för vildsvinsskador: En kunskapssammanställning. Naturvårdsverket 7024.

