



UMEÅ UNIVERSITET

Konceptutveckling av instegshandtag på Komatsu Forests skördare

Concept development of entry handles on Komatsu Forest harvesters

Oskar Ögren

Examensarbete, 15 hp

Högskoleingenjörsprogrammet i maskinteknik, 180 hp

Vt 2023

Förord

Projektet har genomförts som examensarbete (15 hp) inom Höskoleingenjörprogrammet i maskinteknik på Umeå Universitet på beställning av Komatsu Forest AB.

Ett stort tack riktas till handledarna Nicklas Lockner och Niklas Ask på Komatsu Forest för det stöd och hjälp de bidragit med under projektet gång. Vidare riktas ett tack till Komatsu Forest med samtlig berörd personal för möjligheten genomföra examensarbetet hos dem.

Sammanfattning

På Komatsu Forests skördare finns det två handtag som fälls fram då föraren ska ta sig in i eller ut ur förarhytten. Dessa kan fastna på grund av att snö, is och trädrester ackumuleras kring handtagen och då kan gå sönder om de utsätts för våld i form av en förare som trampar på dem eller en stock som dras över dem. Projektet genomförs i syftet att ta fram ett nytt koncept för instegshandtag på Komatsu Forests skördare för att bidra till en eventuell fortsatt produktutveckling.

Projektet genomfördes genom att först ta fram en produktkravspecifikation, följt av geometriska krav och en uppsättning antaganden för instegshandtagen. Därefter togs flera enkla koncept fram för att slutligen välja ett koncept för fortsatt utveckling. Det valda konceptet utvecklades med hjälp av datorstödd konstruktion på Komatsu Forest AB i Umeå.

Det resulterade i ett nytt konceptuellt instegshandtag baserat runt en hydraulcylinder som fälls in i ett skyddande hus under körning och fälls fram då maskinen parkeras. Det nya instegshandtaget uppfyller inte de krav som ställts gällande kollisioner med andra komponenter samt hållfasthet och därför uppfylls inte projektets målsättning. En studie av den lägsta höjd som instegshandtaget bör vara, följt av en omkonstruktion, prototyp tillverkning och hållfasthetstester krävs för måluppfyllnad.

Abstract

On Komatsu Forest's harvesters, there are two handles that fold out when the driver is entering or exiting the cabin. The handles can get stuck due to the accumulation of snow, ice, and tree debris around the handles, and they can break if subjected to force, such as the driver stepping on them or a log being dragged over them. The project is conducted with the purpose of developing a new concept for entry handles on Komatsu Forest's harvesters to contribute to potential further product development.

The project was carried out by first developing a product requirement specification, followed by geometric requirements and a set of assumptions for the entry handles. Then, a couple of simple concepts were generated, and finally, one concept was chosen for further development. The chosen concept was developed using computer-aided design (CAD) at Komatsu Forest AB in Umeå.

The result was a novel conceptual entry handle system based on a hydraulic cylinder that folds into a protective housing during operation and unfolds when the machine is parked. However, the new entry handle does not meet the requirements regarding collisions with other components and material strength, thus not achieving the project's objectives. A study of the minimum height the entry handle should be, followed by redesign, prototyping, and strength testing, is required to achieve the project's goals.

Innehållsförteckning

Förord.....	i
Sammanfattning.....	ii
Abstract	iii
1. Inledning.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och problemställning	3
1.3 Mål	3
1.4 Avgränsningar.....	3
2. Teori/bakgrund	4
2.1 Mekaniska egenskaper hos is och snö	4
2.2 Krafter i ett räckvidd vid fall.....	4
2.3 Hållfasthetsanalys	4
3. Genomförande.....	5
3.1 Programvaror.....	5
3.2 Framtagning av krav och antaganden för koncept.....	5
3.3 Konceptframtagning med beslut.....	7
3.4 Konstruktion av valt koncept	10
3.5 Montage av sammanställningar	19
3.6 Hydraulledningar	20
3.7 Modifikation av verktygslåda	21
3.8 Positionering av instegshandtag på verktygslåda	21
3.9 Kontroll av kravuppfyllnad	21
4. Resultat.....	22
5. Diskussion och slutsatser	26
5.1 Diskussion av resultat	26
5.2 Samhälleliga och etiska aspekter.....	29
5.3 Påverkan på de globala målen	29
5.4 Slutsats	30
Referenser	31

1. Inledning

I detta avsnitt presenteras bakgrunden, problemformuleringen, syftet, mål och delmål och slutligen avgränsningar för projektet.

1.1 Bakgrund

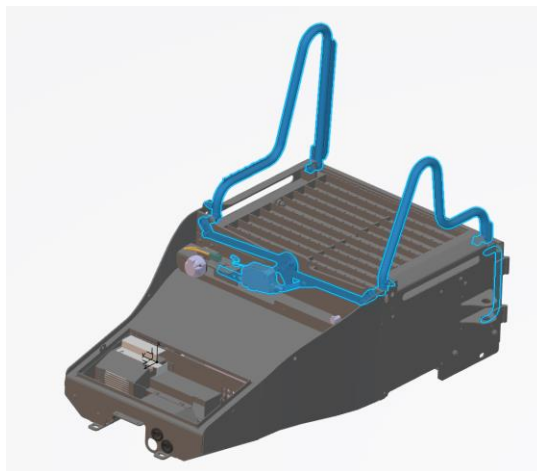
Komatsu Forest är en världsledande skogsmaskinstillverkare som konstruerar och monterar skotare, skördare och skördaraggregat i fabriken i Umeå. Komatsu Forest grundades som Umeå Mekaniska 1961 som, efter en historia av ägar- och namnbyten, ingår i Komatsu-koncernen sedan 2004.

Komatsu Forests skördarmodeller benämns enligt Komatsu 901, Komatsu 901XC, Komatsu 911, Komatsu 931, Komatsu 931XC och Komatsu 951 där 901 är den minsta och 951 är den största skördaren. Modeller med benämning XC är åttahjuliga medan övriga är sexhjuliga.

En skördare från Komatsu Forest består av en bak- och en framram med en ledande midja mellan ramarna. På framramen ovanför midjan sitter förarhytten med kranen vid sidan om hytten. Framför hytten på framramen är en verktyglåda monterad. På verktyglådan är instegshandtag med framdrivningsmekanism monterade enligt figur 1 och figur 2.



Figur 1. Skördare från Komatsu Forest [1].



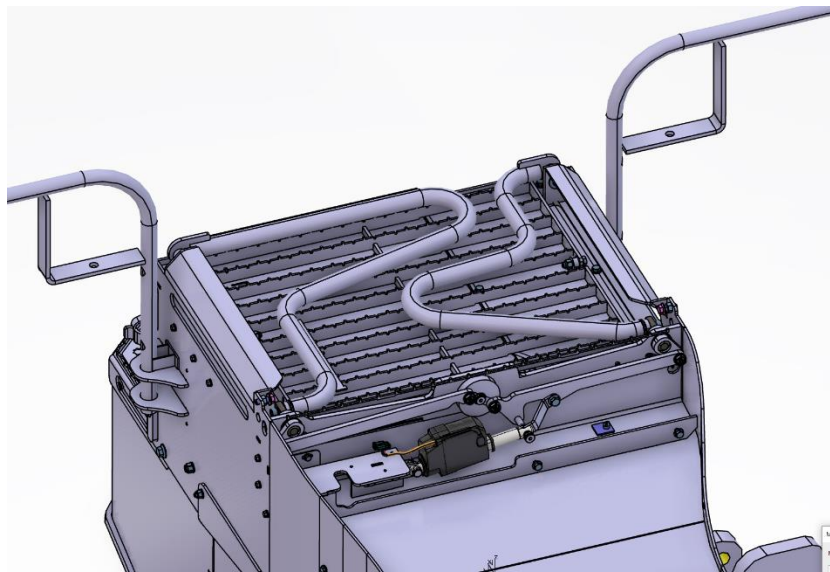
Figur 2. Verktyglåda med instegshandtag och framdrivningsmekanism (blått område).

För att föraren ska ta sig in i hytten kliver hen upp på framramen och därefter verktyglådan med hjälp av fotsteget mellan de främsta däcken och instegshandtagen på verktyglådan. Instegshandtagen fälldes ut tidigare då föraren applicerat parkeringsbromsen efter tidigare avslutad körning. Därefter kliver hen in i hytten.

De problem som kan uppstå att snö, is och trädrester kan samlas ovanpå verktyglådan där instegshandtagen ska ligga nedfällda vid körning enligt figur 3, vilket gör att instegshandtagen inte kan fällas ned helt. Fastnar de då i ett något uppfällt läge går framdrivningsmekanismen sönder om någon trampar på handtagen. Vidare kan instegshandtagen slitas sönder då trädstammar och grenar ibland passerar över verktyglådan om handtagen inte ligger helt nere i sin mest skyddade position [2]. Slutligen finns det även en risk att det hamnar snö på verktyglådan under körning på grund av att det rasar snö från träden eller på grund av snöfall. Detta kan leda till att instegshandtagen fryser fast i nedfällt läge och går inte att fälla upp.

Tidigare var Komatsu Forests skördare försedda med fast monterade instegshandtag, men på grund av att de inte var skyddade under körning var det vanligt att dessa gick sönder under körning med skördaren.

En lösning som genomförts när instegshandtagen gått sönder är att montera hydraulslangar som en båge på vardera sida om verktyglådan. Den lösningen är bra då man ska ta sig upp på verktyglådan och de går inte heller sönder under körning då de är flexibla. Ur ett säkerhetsperspektiv är de dock livsfarliga. Står man på verktyglådan och ramlar tror hjärnan att det finns ett styvt räcke att greppa tag i, men eftersom hydraulslangarna är flexibla ger de inget stöd och det slutar med att man ramlar [2].



Figur 3. Instegshandtagen i nedfällt läge ovanpå verktyglådan.

1.2 Syfte och problemställning

Syftet med projektet är att ta fram ett nytt koncept för instegshandtag med tillhörande framdrivningsmekanism på Komatsu Forests skördare för att bidra till eventuell fortsatt produktutveckling.

1.3 Mål

I detta avsnitt beskrivs målsättningarna med projektet.

1.3.1 Övergripande mål

Projektet ska leverera en Computer-aided design (CAD)-modell, samt eventuell övrig dokumentation, av ett nytt koncept för instegshandtag med tillhörande framdrivningsmekanism på Komatsu Forests skördare enligt den kravspecifikation som utvecklas under projektet.

1.3.2 Delmål

Delmålen är enligt följande:

1. Ta fram enkla konceptförslag för instegshandtag med tillhörande framdrivningssystem, presentera för handledare och välj koncept för fortsatt utveckling.
2. Utveckla CAD-modell, samt eventuell övrig dokumentation, för det valda konceptet för instegshandtag med tillhörande framdrivningssystem enligt den kravspecifikation som utvecklas under projektet.

1.4 Avgränsningar

På grund av examensarbetets omfattning på 10 veckor avgränsas projektet till att enbart utveckla ett konceptuellt instegshandtag med tillhörande framdrivningssystem. Konceptet ska dock vara tillräckligt detaljerat att en prototyp ska gå att tillverka efter kontroll av toleranser, kollisionsanalys mellan komponenter som rör sig relativt varandra och framtagning av tillverkningsunderlag, exempelvis tvådimensionella ritningar. Slutligen begränsas det konceptuella instegshandtagets infästning i den befintliga verktygslådan till att infästningen enbart ska beskrivas i ord och figurer som visar det konceptuella instegshandtagets position i förhållande till verktygslådan. Viss modifikation av verktygslådan tillåts men ska till omfattning i förhållande till framtagningen av det konceptuella instegshandtaget hållas litet.

Information från standarder inköpta av Komatsu Forest för internt bruk delges ej i denna rapport.

2. Teori/bakgrund

I detta avsnitt presenteras den bakomliggande teorin för projektet.

2.1 Mekaniska egenskaper hos is och snö

Då det sker en minskning i temperatur ökar både drag- och kompressionshållfastheten hos is. Vid en temperaturminskning från 0°C till -40°C ökar hållfastheten i kompression med en faktor fyra, medan draghållfastheten ökar med en faktor 1,3 [3].

2.2 Krafter i ett räcke vid fall

I en studie har man, genom att simulera de biomekaniska händelserna som uppstår då en person tappar balansen på väg nedför en trappa, undersökt hur personerna använt handtagen längs med trappan [4]. Maki, et al. [4] beskriver de huvudsakliga krafterna som kan uppstå i räcket enligt:

”The handrail forces generated by the arm reactions were substantial. On average, the resultant force peaks were 250 N (60 lb) and 300 N (70 lb), for the medium and large perturbations, respectively, and the resultant force in individual trials ranged as high as 540 N (120 lb).”

Den största uppmätta kraften i trappens räcke är 540 N. För att säkerställa att det konceptuella instegshandtaget håller för kraften 540 N vid eventuella hållfasthetsanalyser bör instegshandtaget dimensioneras med en säkerhetsfaktor 2 eller 3. Det vill säga 1080 N eller 1620 N.

2.3 Hållfasthetsanalys

Det finns tre huvudsakliga sätt analysera hållfastheten i en konstruktion. Analytisk metod i form av balkteori, datorstödd beräkning med Finita elementmetoden (FEM) och genom att tillverka en prototyp att utföra tester på.

2.3.1 Balkteori

Balkteori grundar sig i den ”elastiska linjen” som togs fram Euler och Bernoulli. [5]. Den elastiska linjens utböjning beräknas med differentialekvationer som förenklats [6]. Med hjälp av tabellverk med formler för balkar i olika former och uppspänningar kan man beräkna balkens utböjning och därefter de spänningar som bildas i balken vid den beräknade utböjningen.

2.3.2 FEM

FEM är en metod, för att i detta tekniska sammanhang, beräkna hållfastheten hos geometrier genom partiella differentialekvationer som löses numeriskt. FEM för mekanisk konstruktion ingår ofta i CAD-program [7]. Genom att indela en geometri i finita element som kan beräknas individuellt, applicera randvillkor, laster och materialdata, kan de inneboende spänningarna i en komponent beräknas. Detta kan göras manuellt eller med datorstöd, vilket är vanligast på grund av beräkningarnas omfattning.

2.3.3 Prototyp med test

En prototyp är inte framtagen med samma tillverkningsmetoder som den serietillverkade produkten är tänkt att göra. Prototypen är dock framtagen med samma konstruktion och funktioner som produkten, för att agera som en försöksmodell [8]. Försöksmodellen kan då utsättas för exempelvis belastningstester inom hållfasthetsanalyser eller funktionsduglighet i sin tänkta applikation.

3. Genomförande

I detta avsnitt beskrivs de programvaror som användes för att genomföra konceptframtagningen samt det kronologiska tillvägagångsättet för att uppnå resultatet. Inledningsvis tas krav, regler och antaganden fram för att möjliggöra en framtagning av flera enkla koncept. Därefter väljs ett koncept att konstruera och slutligen konstruktionen av det valda konceptet.

3.1 Programvaror

Den programvara som användes för att konstruera det slutliga konceptet var CATIA V6 som tillhandahålls av Komatsu Forest. Den specifika version och modifikation av programmet som användes delges ej i denna rapport.

För att rita och simulera konceptets kinematik användes programvaran Algodoo v2.1.0 av Algoryx.

3.2 Framtagning av krav och antaganden för koncept

Under projektets uppstart hölls ett möte med handledarna på Komatsu Forest. Under mötet presenterades uppgiften att ta fram ett nytt koncept på instegshandtag på samtliga skördarmodeller hos Komatsu Forest. De problem som finns med den nuvarande lösningen, samt de förbättringsförsök som gjorts redogjordes. Det fastslogs även att instegshandtagen måste uppfylla vissa lagar och regler på grund av arbets säkerhet. Slutligen sammanställdes en produktkravspecifikation på de nya konceptuella instegshandtagen i samråd med handledarna. Se tabell 1.

Tabell 1. Produktkravspecifikation framtagen i samråd med handledare.

Produktkrav
Instegshandtagen ska följa lagar och regler enligt SS-EN ISO 2867:2011
Konceptet ska gå att applicera på samtliga av Komatsu Forests skördarmodeller.
Instegshandtagen ska fällas undan till en skyddad position under körning, där de inte kan slitas sönder eller frysa fast.

Enligt produktkravspecifikationen skulle de nya konceptuella instegshandtagen följa lagar och regler enligt ISO-standarden ISO 2867:2011 [9]. Standarden berör tillträdesleder på eller i anläggningsmaskiner, vilket innebar att den berörde mer än vad som var relevant för framtagningen av de nya konceptuella instegshandtagen. För att klargöra vad som är relevant för instegshandtagen på skördare togs ett möte med Compliance and regulations managern på Komatsu Forest. Efter genomgång av standarden gick det att sammanställa en Lag- och regelspecifikation för instegshandtagen. Sammanställningen presenteras inte i denna rapport, hänvisning sker till ISO-standarden.

Efter mötet genomfördes en studie av en persons önskvärda instegssekvens. Studien gjordes i syftet att avgöra om det krävs två instegshandtag enligt den nuvarande lösningen eller om det räcker med ett instegshandtag. Studien genomfördes i en maskinhall på Komatsu Forest med en skördare som stod utan hjul på ett plant betonggol. Genomförandet bestod av att en person klev upp på maskinen och in i hytten på det sätt som kändes naturligast medan varje förändring i hand eller fotgrepp fotograferades. Från studien konstaterades det att två instegshandtag likt de ordinarie handtagens position behövs för att föraren ska bibehålla trepunktsfattningen då hen kliver upp på verktyglådan.

Slutligen genomfördes en analys av de ordinarie handtagen, verktyglådan de sitter monterad på, tillgången på utrymme mot hyttens svepvolym och utrymmet mot respektive boggi. Analysen genomfördes i CATIA V6 och resulterade i krav och antaganden enligt tabell 2.

Tabell 2. Geometriska krav och antaganden framtaget efter analys av de ordinarie instegshandtagen och övrig skördare.

Geometriska Krav
<p>Instegshandtagen med framdrivningssystem och skydd får ej sticka ut mer än 80 mm från höger och vänster sida av verktyglådan i körriktningen.</p> <p>Instegshandtagen får ej kollidera med hyttens svepvolym i uppfällt läge.</p> <p>Instegshandtagen med framdrivningssystem och skydd får ej kollidera med boggierna i deras yttersta pendelpositioner.</p>
Antaganden
<p>Eftersom verktyglådan till exteriör är likadan på samtliga skördarmodeller antas det att, om de nya instegshandtagens konstruktion baseras på verktyglådan kommer det ej att krävas flera versioner av de nya instegshandtagen för att de ska gå att applicera på samtliga skördarmodeller.</p> <p>Eftersom den största utrymmesbegränsningen råder på den minsta skördarmodellen Komatsu 901, kan det antas att om det nya instegshandtagen ryms på den skördarmodellen kommer det rymmas på samtliga skördarmodeller.</p> <p>Eftersom draghållfastheten för is är relativt oförändrad med en minskande temperatur [3], antas det att ingen hänsyn till variation i temperatur under fryspunkten för vatten behöver tas.</p> <p>På grund av utrymmesbristen för instegshandtagen ska dimensioneringen av ingående komponenter regleras. Krafterna i ett handräcke i vissa fall uppnå 540 N vid ett okontrollerat fall [4]. Det kan därför antas tillräckligt att dimensionera instegshandtagen för att tåla 1080 N utan permanent deformation, högst upp på handtaget, både längs med och tvärs skördarens färdriktning. Detta ger en säkerhetsfaktor 2 och är mer än minimumkravet enligt ISO 2867:2011 [9].</p>

3.3 Konceptframtagning med beslut

Det togs fram fem olika koncept som testades mot kravuppställningarna från avsnitt 3.2. Oavsett kravuppfyllnad presenterades samtliga koncept för handledarna på Komatsu Forest för att få deras synpunkt på de olika koncepten. Beslutsfattningen för respektive koncept presenteras i samband med respektive konceptbeskrivning.

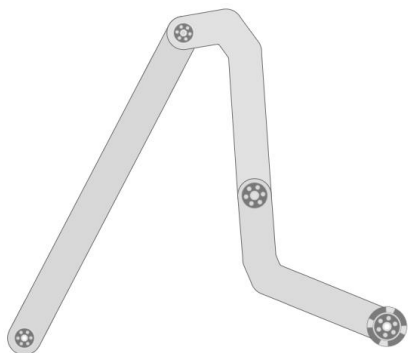
3.3.1 Koncept 1 - Avisning med vibration

Avisning med vibration grundade sig i en studie där man såg att vibrationer bidrar till kortare avfrostningstid av hala ytor [10]. Detta bidrog till idén att montera en kraftfullt vibrerande enhet på eller vid de ordinarie instegshandtagen, exempelvis en betongvibrator som drivs av skördarens elsystem. Idén var att vibrationerna skulle bryta sönder isen så att de ordinarie instegshandtagen inte fastnar i nedfällt läge, men också att förenkla arbetet för föraren att skrapa bort isen som samlas på verktygslådan kring de ordinarie instegshandtagen i nedfällt läge.

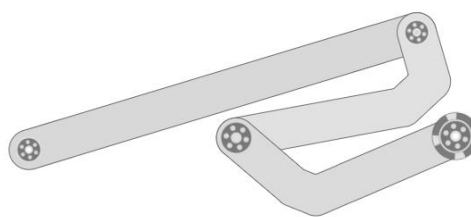
Detta koncept valdes inte då det inte är lämpligt att tillföra starka vibrationer på grund av utrustning som kan vara i verktygslådan samt på grund av risken att skruvförband kan lossas.

3.3.2 Koncept 2 - Trelänkssystem

Trelänkssystem, var ett koncept där ett nytt instegshandtag skulle tas fram med ett nytt eller modifierat framdrivningssystem. En version för hur trelänkssystemet hade kunnat se ut presenteras i figur 4 för uppfällt läge och figur 5 för nedfällt läge. Instegshandtagen skulle monteras på respektive sida om verktygslådan. Framdrivningssystemet hade kunnat bestå av en elmotor som driver en snäckväxel med självlåsande egenskaper som i sin tur vrider en axel som en av trelänkssystemets ändpunkter är kopplad till. Alternativt kunde ett elektriskt linjärställdon trycka eller dra i en hävarm kopplad med en axel till någon av trelänkssystemets ändpunkter. Trelänkssystemet hade gjorts mer kompakt i nedfällt läge än det som visas i figur 5.



Figur 4. Koncept 2 – Trelänkssystem i uppfällt läge.



Figur 5. Koncept 2 - Trelänkssystem i nedfällt läge.

Detta koncept valdes inte för fortsatt utveckling då det är komplext med flera rörliga komponenter, har risk för att bli glappt i lederna mellan länkarna och skulle kollidera med förarhytten om den var framåtlutad då handtagen fälls upp.

3.3.3 Koncept 3 - Teleskopcylinder

Teleskopcylinder, var ett koncept där en två-steps, teleskopisk hydraulcylinder monterats längs fram på vardera sida om verktyglådan, riktade rakt upp. Den teleskopiska hydraulcylinderns kolstång skulle utgöra det vertikala handtaget som föraren använder då hen är på väg upp på verktyglådan. Ett horisontellt handtag hade monterats längst ut på änden av kolstången för att ge föraren ett greppbart handtag då hen står ovanpå verktyglådan. Under körning med skördaren hade den teleskopiska hydraulcylindern varit i indraget läge och vid i- och urstigning hade den varit utdraget läge.

Detta koncept valdes inte på grund av att kolstångens rotation runt sin axel inte är fixerad, vilket hade medfört att det horisontella handtaget hade varit fritt att rotera med kolstången. Dessutom är utbudet av teleskopiska hydraulcylindrar mycket begränsat i de dimensioner som hade varit lämpligt för detta koncept.

3.3.4 Koncept 4 – Skyddsplåtar

Skyddsplåtar, var ett koncept där en skyddande plåt monterats på respektive ordinarie instegshandtag med en länk som gör att skyddsplåtens avstånd från instegshandtaget ökar då det fälls upp enligt figur 6 i nedfällt läge och figur 7 i uppfällt läge. I nedfällt läge skulle den skyddande plåten förhindra att grenar och stockar kan slita sönder instegshandtagen samt förhindra att snö och skräp kan samlas ovanpå verktyglådan runt instegshandtagen



Figur 6. Koncept 4 - Skyddsplåtar monterade på ordinarie instegshandtag i nedfällt läge.

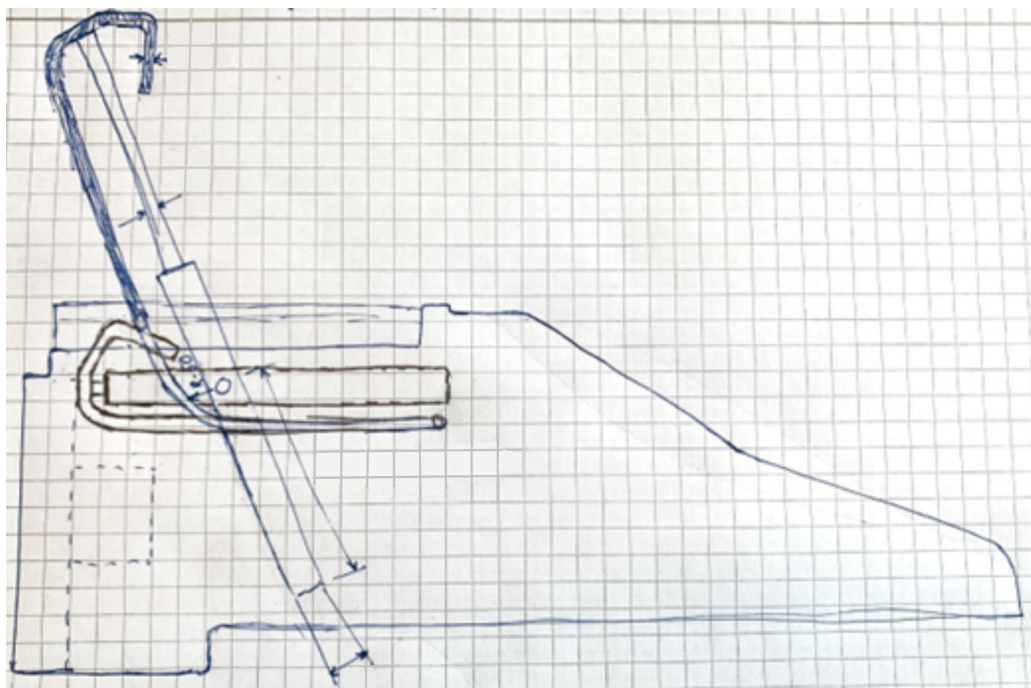


Figur 7. Koncept 4 - Skyddsplåtar monterade på ordinarie instegshandtag i uppfällt läge.

Detta koncept valdes inte eftersom instegshandtagen lämnas i uppfällt läge då skördaren inte används, vilket innebär att snö samlas på verktyglådan om det snöar. Ligger det snö och is på verktyglådan då instegshandtagen fälls ned kan inte handtagen gå ner i sitt nedersta läge. Sker detta finns det risk att den ordinarie framdrivningsmekanismen går sönder om en förare trampar på handtagen eller om en trädstam förs över dem.

3.3.5 Koncept 5 – Uppfällande hydraulcylindersystem

Uppfällande hydraulcylindersystem är ett koncept enligt figur 8 där en hydraulcylinder fäst på vardera sida om verktygslådan med en tapp ungefär på mitten av hydraulcylinderns stationära del. Rotation runt tappen tillåts. I änden av kolstången fästs ett handtag i form av ett stålrör som delvis löper längs med hydraulcylindern. I änden på stålröret fäst en styrning som följer ett spår. Geometrin på spåret karakteriserar instegshandtagets rörelse då det fälls upp när hydraulcylindern förlängs.

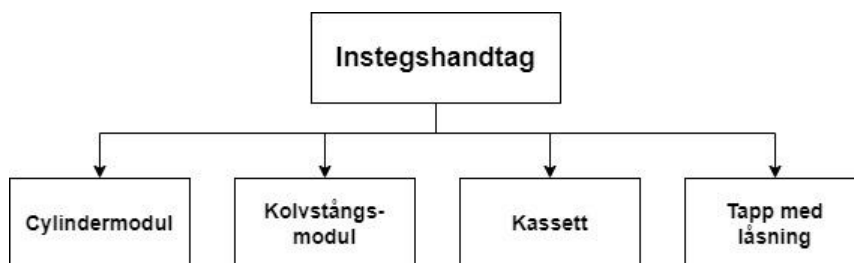


Figur 8. Koncept 5 - Uppfällande hydraulcylindersystem i skissat på papper i både upp- och nedfällt läge.

Detta koncept valdes för fortsatt utveckling då det ansågs uppfylla kravställningarna som ställts tidigare.

3.4 Konstruktion av valt koncept

Konstruktionen av instegshandtaget inleddes med att bryta ned det i fyra sammanställningar enligt figur 9. Indelningen baserades på hur komponenterna är rörliga i förhållande till varandra. På grund av detta ansågs hydraulcylinderns kolvstång och kolv tillhöra de komponenterna som relativt var stationära. Lika ansågs hydraulcylinderns cylinder tillhöra de komponenter som var stationära relativt cylindern.



Figur 9. Sammanställningsuppdelning i modulnivåer.

Därefter valdes hydraulcylinder då dimensioneringen av samtliga sammanställningar beror på hydraulcylinderns storlek. Valet av hydraulcylinder baserades på kravet att instegshandtaget inte får sticka ut mer än 80 mm i sidled från verktygslådan, samt att instegshandtagen enligt ISO 2867:2011 [9] bör vara högre än de ordinarie instegshandtagen mätt från den plattform man kan stå på och hålla i handtagets högsta punkt. Det valdes en hydraulcylinder utan fästen som hade specifikationer enligt tabell 3.

Tabell 3. Vald hydraulcylinders huvudsakliga måttspecifikationer.

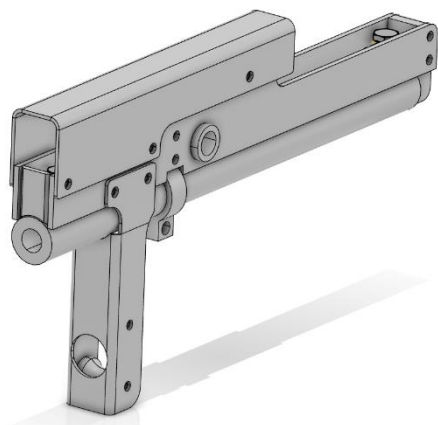
Slaglängd	400 mm
Kolvstångsdiameter	20 mm
kolvdiameter	32 mm
Yttre cylinderdiameter	40 mm

Hydraulcylinderns övergripande geometri ritades i CATIA V6, därefter baserades övrig konstruktion på hydraulcylinderns geometri.

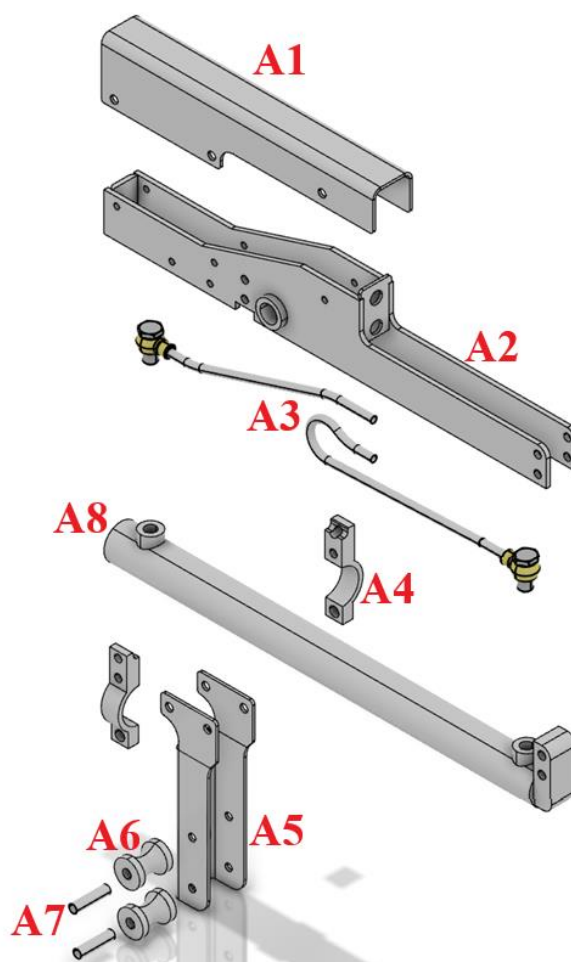
3.4.1 Cylindermodul

Det som först konstruerades var den så kallade cylindermodulen enligt figur 10 och figur 11 för en sprängd presentation. Man får endast svetsa i hydraulcylinderns ände, annars riskerar man att deformera cylindern. På grund av detta konstruerades cylinderns infästning i övriga komponenter så att det svetsas en 20 mm tjock vattenskuren plåt i cylinderns ände (se komponent A8 i figur 11) för att möjliggöra infästning med skruvförband. Vidare konstruerades två vattenskurna plåtar i 20 mm tjock plåt som skruvas fast i övriga komponenter och håller fast cylindern på dess mantelyta som ett klämförband (se komponent A4 i figur 11).

Därefter konstruerades komponent A2, i 5 mm tjock plåt och en hylsa för en tapp med 20 mm diameter, som en hopsvetsad konstruktion vilken övriga komponenter kan skruvas fast i. För att skydda handtaget, monterat i kolvstången kolvstångsmodulen, i nedfällt läge och den främre hydraulledningen A3, konstruerades skyddsplåt A1 i 3 mm tjock, laserskuren och bockad plåt. Slutligen, för att ge ett ökat stöd för handtaget i kolvstångsmodulen konstruerades beslaget A5 med stödrullarna A6 i svarvad konstruktionsplast som lagras i beslaget med axlarna A7. Beslaget A5 konstruerades av 3 mm laserskuren och bockad plåt.



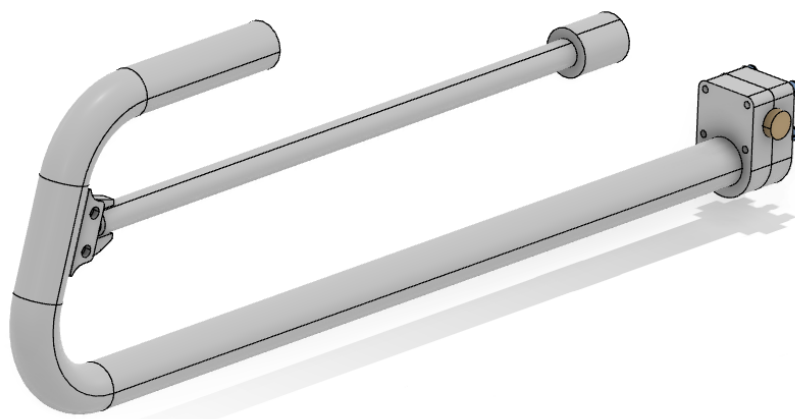
Figur 10. Cylindermodul.



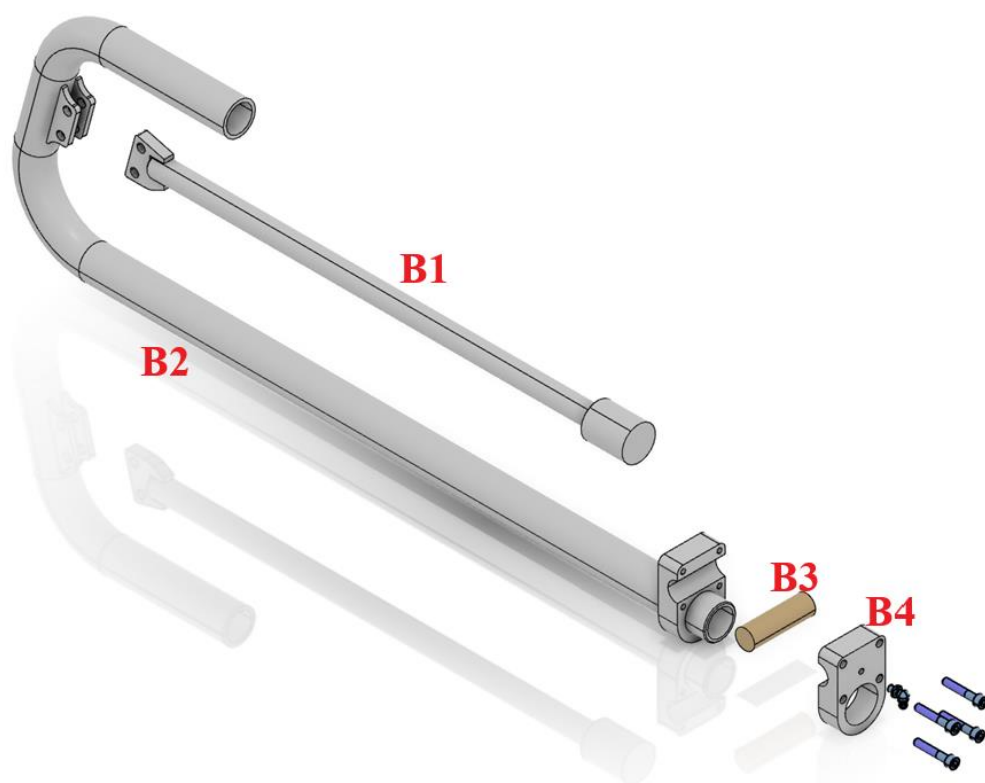
Figur 11. Cylindermodul i sprängd presentation med komponentnumrering.

3.4.2 Kolvstångsmodul

Kolvstångsmodulen konstruerades enligt figur 12 och figur 13 för en sprängd presentation. För att fästa handtagsröret B2 i kolvstången B1 konstruerades en 10 mm tjock stålplåt som svetsas i änden på kolvstången och två motsvarande 5 mm tjocka plåtar som svetsas i handtagsröret. I änden på handtagsröret B2 konstruerades en vattenskuren 20 mm tjock stålplåt som svetsas fast i röret. Därefter konstruerades en styrtapp B3 i lagerbrons som med spelpassning hålls mellan den tidigare fastsvetsade plåten i änden på handtagsröret och den 20 mm tjocka vattenskurna plåten B4. För att styrtappen inte ska gå trögt i sitt lagerläge konstruerades plåten B4 med ett gängat hål för en smörjnippel för att kunna pressa in smörjfett mellan styrtappen och dess lagerläge. Handtagsröret konstruerades enligt dimensionskrav från ISO 2867:2011 [9].



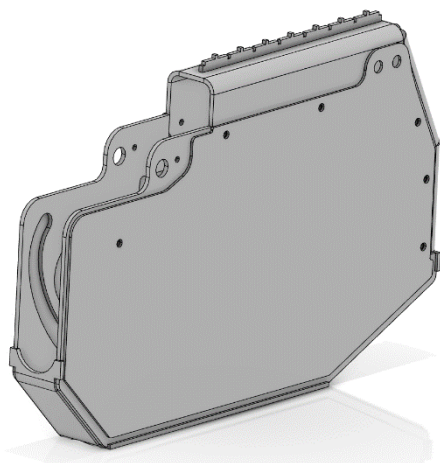
Figur 12. Kolvstångsmodul.



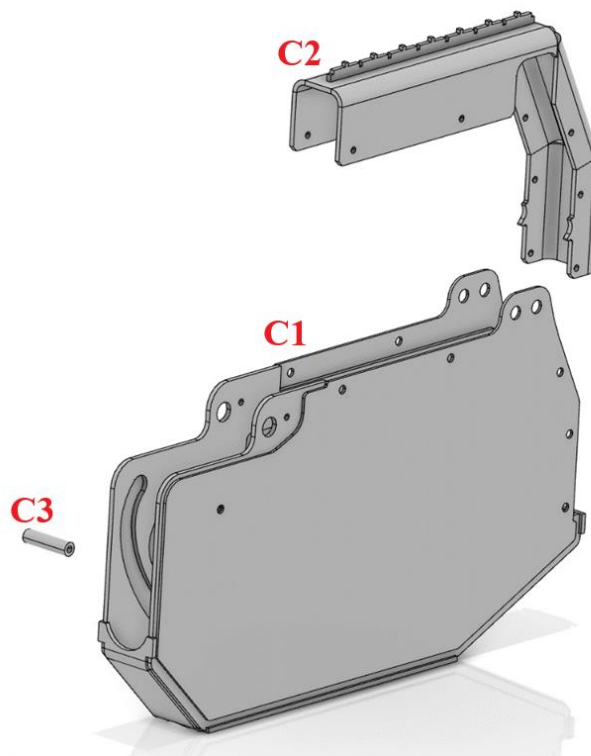
Figur 13. Kolvstångsmodul i sprängd presentation med komponentnumrering.

3.4.3 Kasset

Kassetten i vilken cylinder- och kolvstångsmodulen monteras i, konstruerades enligt figur 14 och figur 15 för en sprängd presentation. För att skydda komponenter inne i kassetten, låsa inne styrtappen B3 från figur 13 i dess spår i huset C1 och öka styvheten i huset C1 konstruerades skyddskåpan C2 av 5 mm tjock, laserskuren och bockad plåt. För att ge föraren ett fotsteg med grepp konstruerades en plåt av samma geometri som andra fotsteg med grepp på verktygslådan, för att svetsas fast på skyddskåpan. För att öka styvheten i huset C1 konstruerades distansen C3 för att monteras i huset mellan sidoplåtarna.

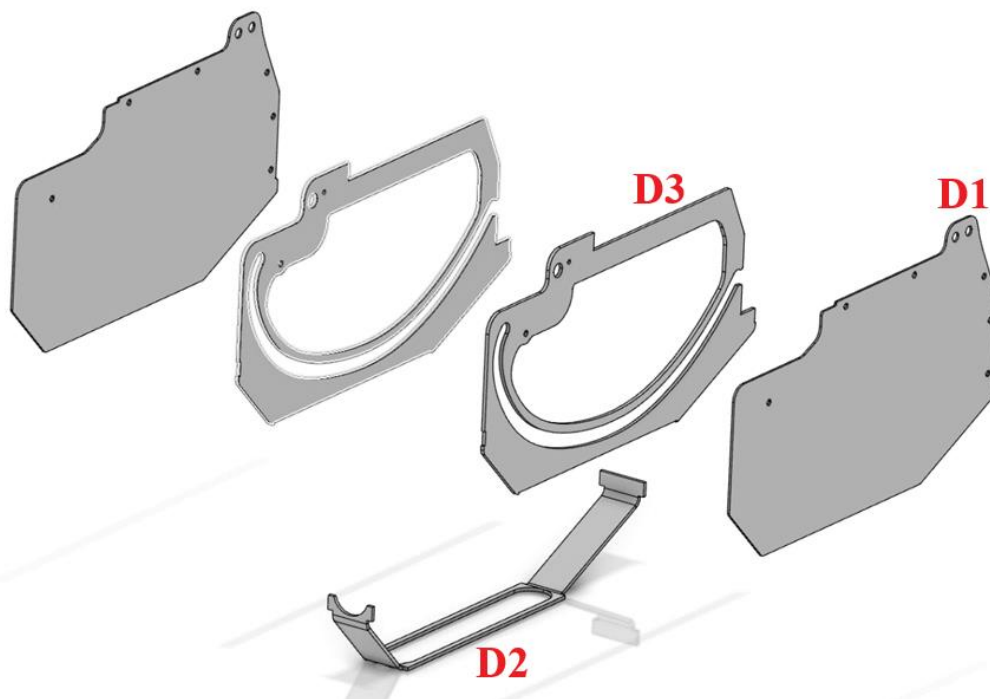


Figur 14. Kasset.



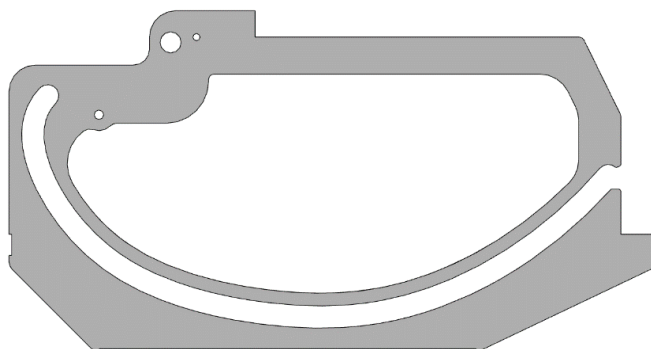
Figur 15. Kasset i en sprängd presentation med komponentnumrering.

Kassetten konstruerades symmetrisk för att samma instegshandtag ska gå att montera på båda sidor av verktygslådan. Huset C1 konstruerades som en svetsad konstruktion av plåtarna D1, D2 och D3 enligt figur 16. Plåten D1 konstruerades av 3 mm laserskuren plåt med två stora hål i överkanten för hydrauliska skottgenomföringar så att instegshandtaget inte behöver demonteras för att ansluta hydraulslangar vid montage på verktygslådan. Plåten D2 konstruerades med en stor öppning för att möjliggöra för skräp och snö som kan samlas i kassetten kan falla ut, men även för att öka styvheten i huset C1.



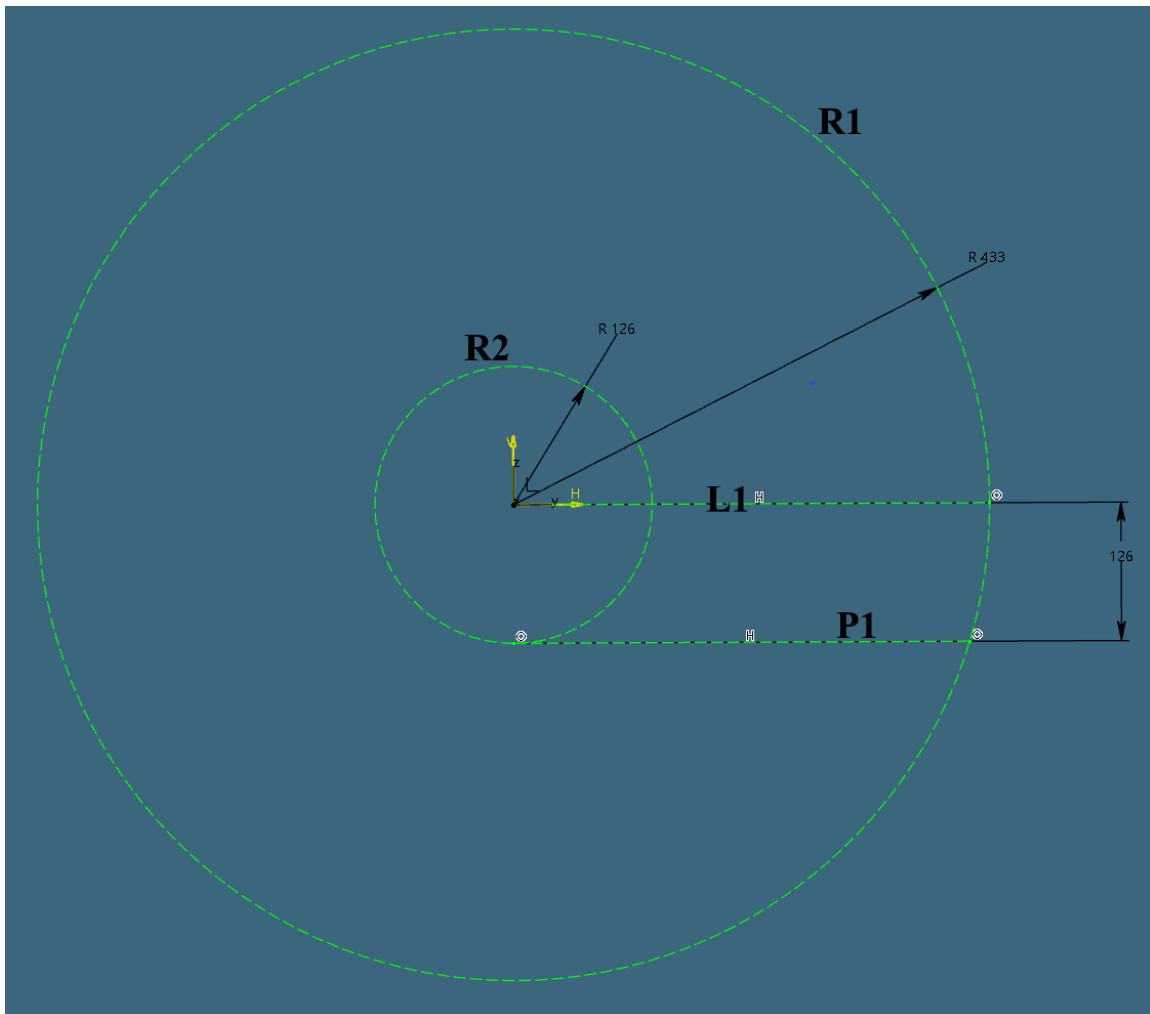
Figur 16. Huset C1 i en sprängd presentation med komponentnumrering.

Plåten D3 konstruerades av 5 mm laserskuren plåt enligt figur 17. Högst upp på plåten konstruerades ett hål med 20 mm diameter där tappen som går igenom cylindermodulen monteras. Till höger om hålet placerades ett mindre gängat hål så att tappen kan låsas fast i kassetten. Slutligen utformades ett spår i plåten där styrtappen B3 kan löpa så att handtaget fälls upp då hydraulcilindern förlängs. I ena änden av spåret lämnades en öppning så att styrtappen B3 ska gå att föra in i spåret vid montage eller vid reparationer. Öppningen stängs då skyddskåpan C3 monteras på huset C1 och förhindrar att styrtappen kan åka ut under normal operation av instegshandtagen.



Figur 17. Plåt D3 med hål för rotationstapp och spår för styrtappen B3.

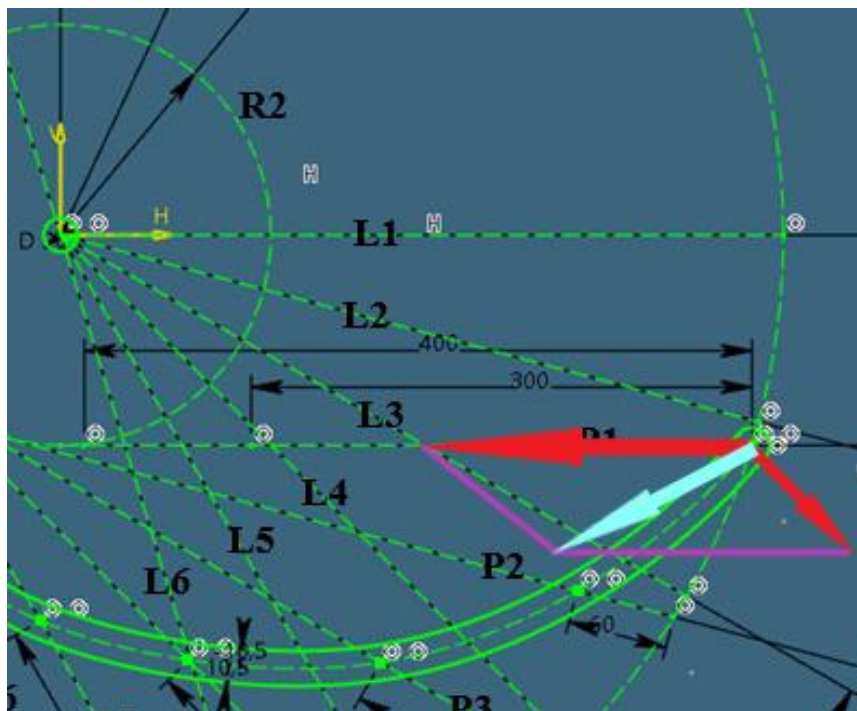
Spårets geometri utvecklades genom att montera ihop cylindermodulen med kolvstångsmodulen i CATIA V6 och mäta avståndet från centrum av hålet för tappens på cylindermodulen till styrtappens centrum då hydraulcilindern är helt indragen. Från detta mätvärde ritades cirkeln R1 med samma radie som mätvärdet i CATIA V6, se figur 18. Därefter genomfördes samma mätning men med hydraulcilindern helt utskjuten. Från det mätvärdet ritades cirkeln R2. En horisontell linje L1 ritades från cirkelarnas centrum och motsvarar hydraulcilinderns longitudinella centrumaxel. Från denna centrumaxel mättes det vinkelräta avståndet till styrtappens longitudinella centrumaxel, därefter ritades linjen P1 parallellt med L1 och med samma avstånd till varandra som det uppmätta värdet (126 mm). Linjen P1 motsvarade styrtappens linjära förflyttning parallellt med hydraulcilinderns longitudinella axel.



Figur 18. Sketch ritad i CATIA V6 med grundgeometri för framtagning av geometri för styrning av styrtappen.

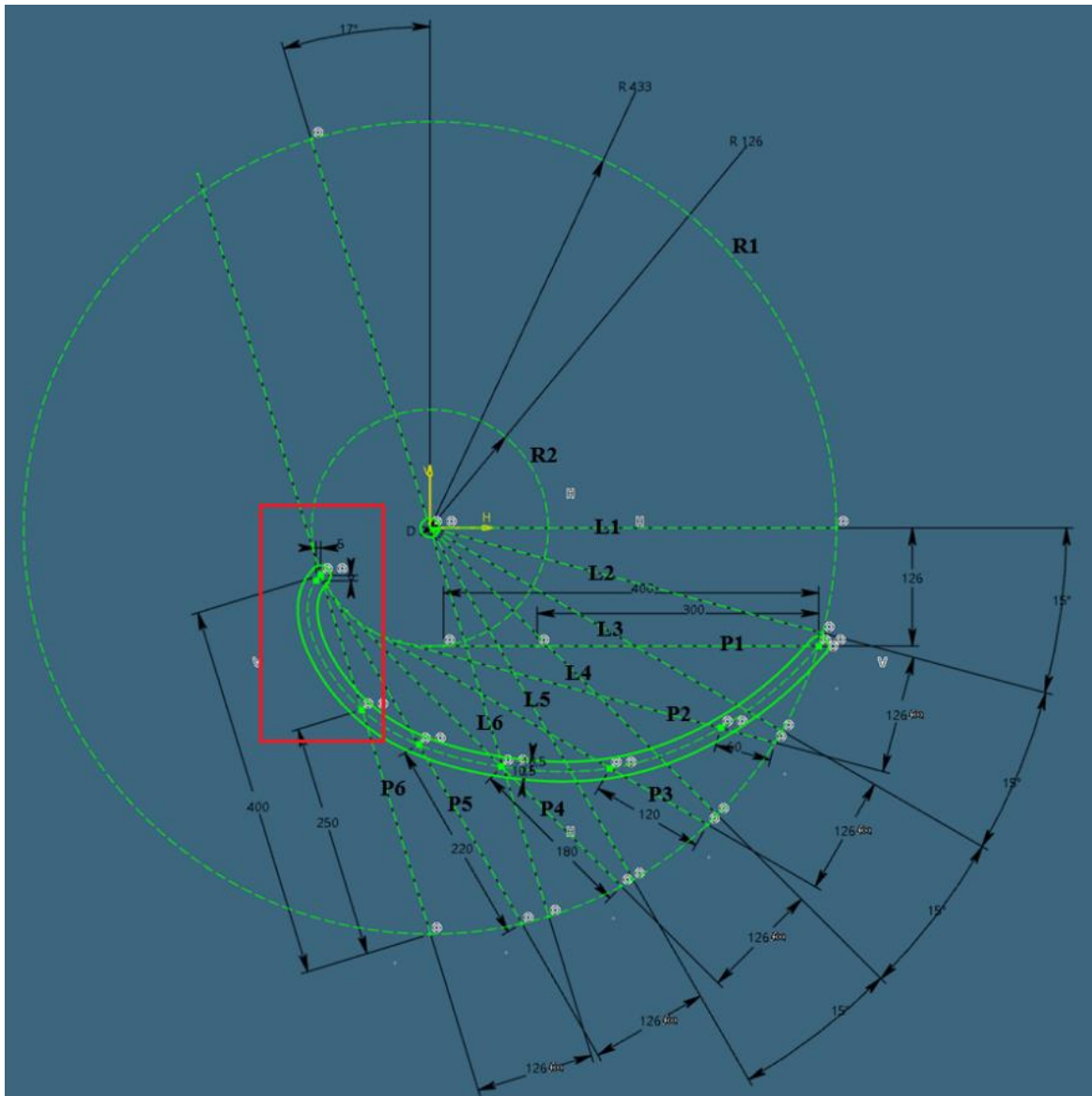
Då detta var genomfört ställdes följande villkor:

- Styr tappens centrumaxel får och kan inte vara utanför området mellan R1 och R2.
- Spårets riktning får aldrig sammanfalla med rotationsriktningen runt origo.
- Vinkelhastigheten runt origo får variera.
- Resultanten av hydraulcylinderns dragkraft i styrtappen och normalkraften från kontakten mellan styrtappen och spåret ska vara riktad från linjen L1 och enligt ljusblå pil i figur 19 för att få ett uppvriddande moment i hydraulcylindern.
- För att låsa handtaget i uppfällt läge så att det inte roterar runt origo om någon drar i handtaget ska spåret vara riktat mot origo, det vill säga vinkelrätt mot en tangent på R2.
- I uppfällt läge ska handtaget vara framåtlutat ungefär $15^\circ - 20^\circ$.



Figur 19. Kraftvillkor. Horisontal röd pil: Hydraulcylinderns dragkraft i styrtappen. Röd pil vinklad snett ner åt höger: Normalkraft från kontakt mellan styrtapp och spår. Ljusblå pil: Kraftresultant.

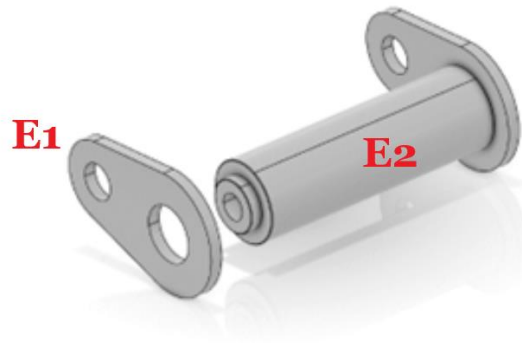
För att uppfylla villkoren ritades först linjen L6, -17° från vertikala axeln från origo. P6 ritades därefter parallellt med L6 och med ett avstånd på 126 mm. Därefter ritades linjerna L2 – L5 och P2 – P5 enligt figur 20. En punkt sattes ut på respektive P-linje med avstånd från R1 enligt figur 20. Punkterna motsvarade styrtappens önskade positioner under hydraulcylinderns förlängning. Genom att rita en "spline" genom punkterna i CATIA utformades ett spår som resulterade i kraftriktningar på styrtappen enligt villkoren. Punkternas placeringar inom den röda rektangeln i figur 20 togs fram genom en iterativ process där punkter lades till, togs bort och flyttades till dess att villkoret att spåret ska vara riktat mot origo möttes godtyckligt.



Figur 20. Sketch ritad i CATIA V6 med geometri för styrning av styrtappen för instegshandtagets kinematik.

3.4.4 Tapp med låsning

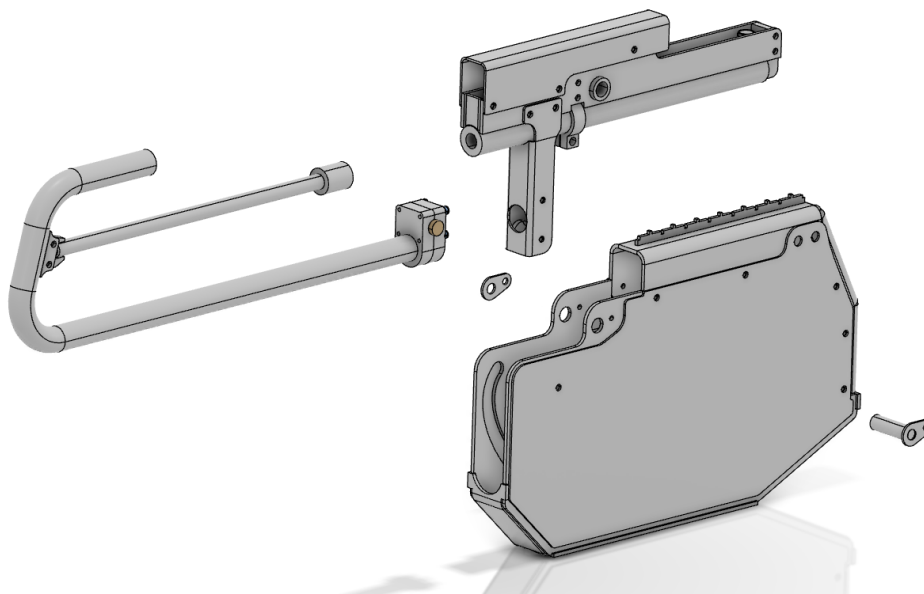
Tappen som håller samman cylinder- och kolvstångsmodulen med kassetten konstruerades enligt figur 21 där en 3 mm tjock laserskuren plåt, samma som E1, svetsas fast i ena änden av en tapp E2 med 20 mm ytterdiameter. Plåten skruvas fast i kassetten och låser tappens radiella och axiella rörelser i förhållande till kassetten. För att öka kassetten styvhet konstruerades plåten E1 för att skruvas fast i kassetten och i tappens.



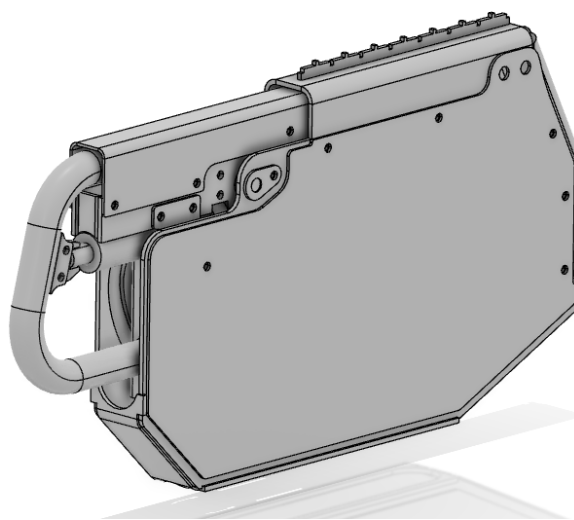
Figur 21. Tapp med låsningsplåtar.

3.5 Montage av sammanställningar

Då samtliga sammanställningar var konstruerade samlades de i en och samma sammanställning enligt figur 22, monterades ihop och utgjorde tillsammans instegshandtaget enligt figur 23.



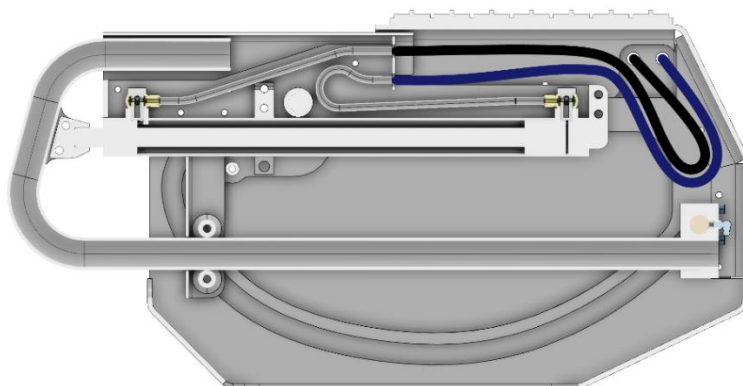
Figur 22. Samling av sammanställningar för hopmontering.



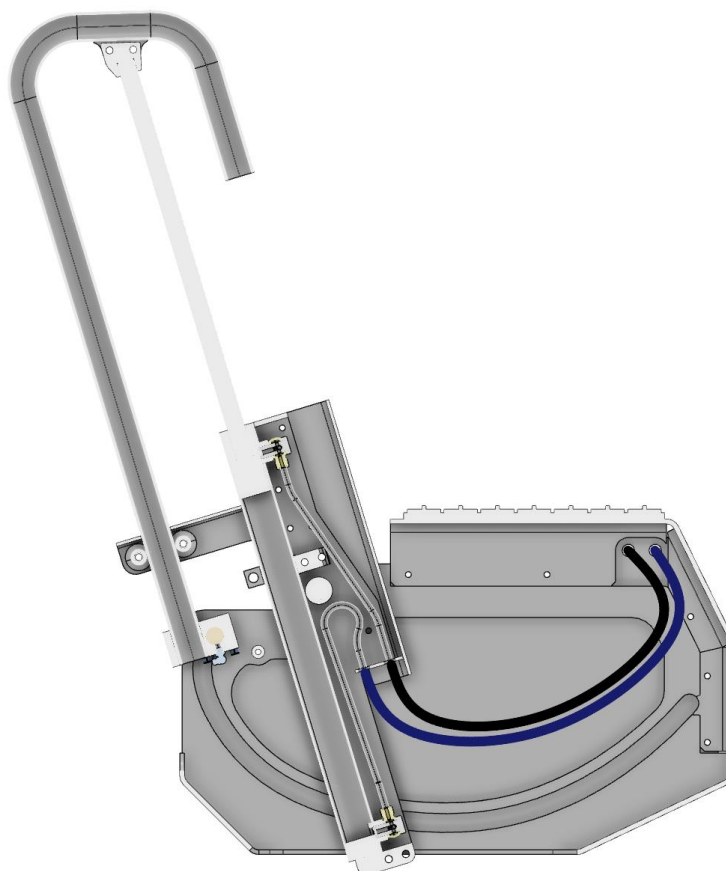
Figur 23. Hopmonterat konceptuellt instegshandtag.

3.6 Hydraulledningar

För att förse hydraulcylindern med hydraulolja anslöts en banjokoppling till respektive anslutning på hydraulcylindern enligt figur 24 som visar instegshandtaget i genomskärning. Det konstruerades rör som gick från banjokopplingarna upp till en plåt med två hål i för skottgenomföringar, som inte ritades. I de tänkta skottgenomföringarna ansluts hydraulslangar och dras enligt den blå och svarta linjen i figur 24. Hydraulslangarna ansluter därefter i kassetten i hålen för skottgenomföringarna. Se figur 25 för hydraulslangarnas positioner då instegshandtaget är uppfällt. På utsidan av kassetten kan därefter hydraulslangar från skördaren anslutas.



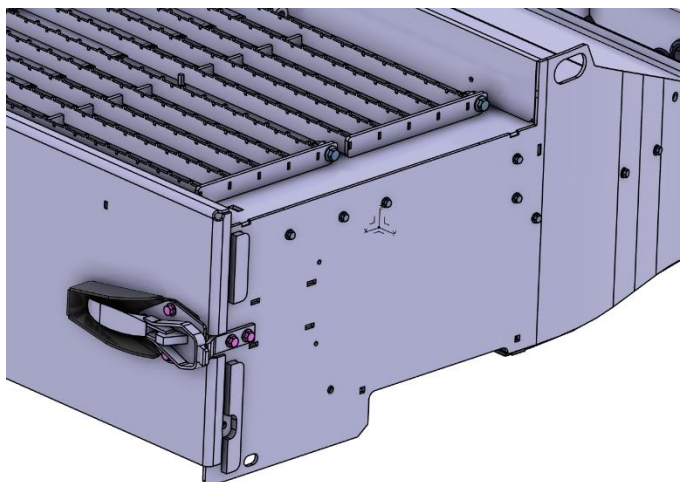
Figur 24. Konceptuellt instegshandtag i genomskärning i nedfällt läge med inritad hydraulslangdragning.



Figur 25. Konceptuellt instegshandtag i genomskärning i uppfällt läge med inritad hydraulslangdragning.

3.7 Modifikation av verktyglåda

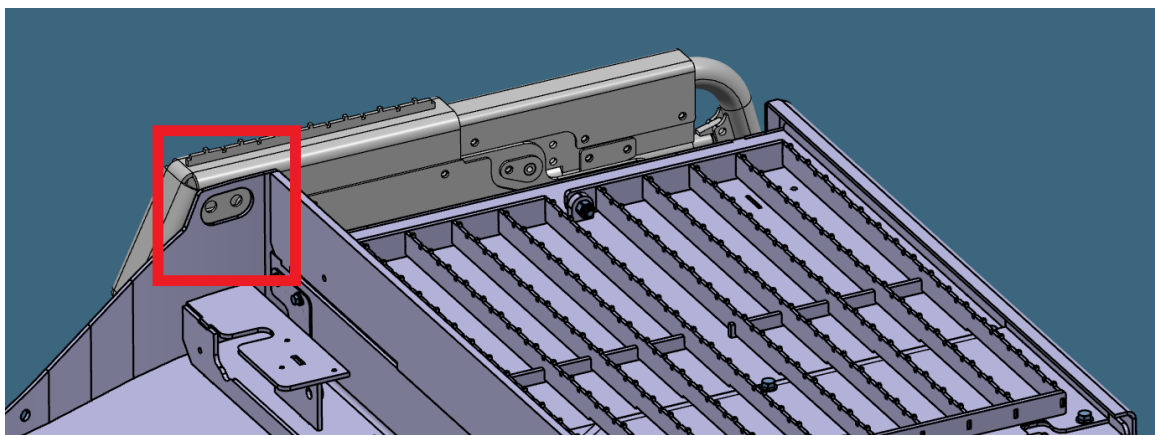
Verktyglådan modifierades genom att ta bort det gamla instegshandtaget med dess framdrivningsmekanism. Därefter modifierades verktyglådans exteriör enligt figur 26 på både höger och vänster sida.



Figur 26. Modifierad verktyglåda.

3.8 Positionering av instegshandtag på verktyglåda

Instegshandtaget monteras på båda sidor om verktyglådan så att skottgenomföringarna på kassetten centreras i det ovala hålet på verktyglådan, vilket visas i den röda rektangeln i figur 27.



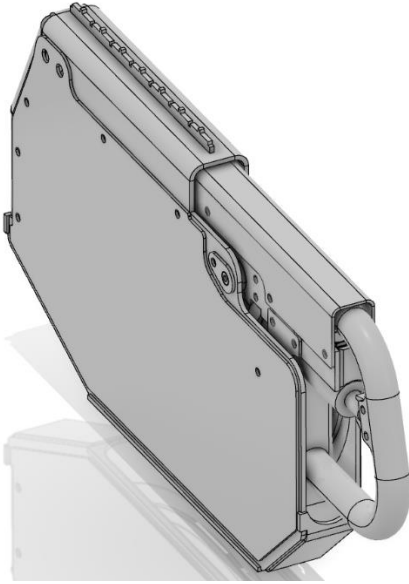
Figur 27. Det konceptuella instegshandtaget monterat på den modifierade verktyglådan med positionering utmärkt i röd rektangel.

3.9 Kontroll av kravuppfyllnad

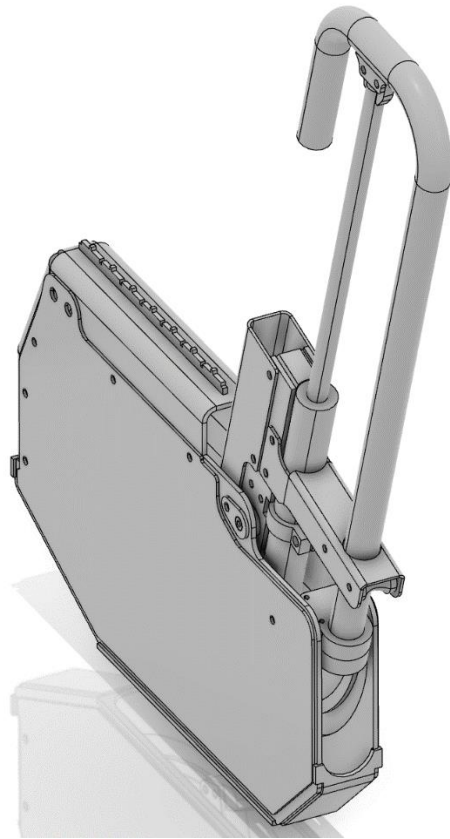
För att möjliggöra en kontroll av instegshandtagets kravuppfyllnad sammanställdes ett kontrolldokument bestående av de produktkrav, geometriska krav, undersökta behov och antaganden som togs fram i avsnitt 3.2. Kontrolldokumentet presenteras som tabell 4 i resultatet.

4. Resultat

Projektet resulterade i ett konceptuellt instegshandtag enligt figur 28. Instegshandtaget kan fällas upp enligt figur 29. Det är symmetriskt och kan därför monteras på båda sidor om verktyglådan.

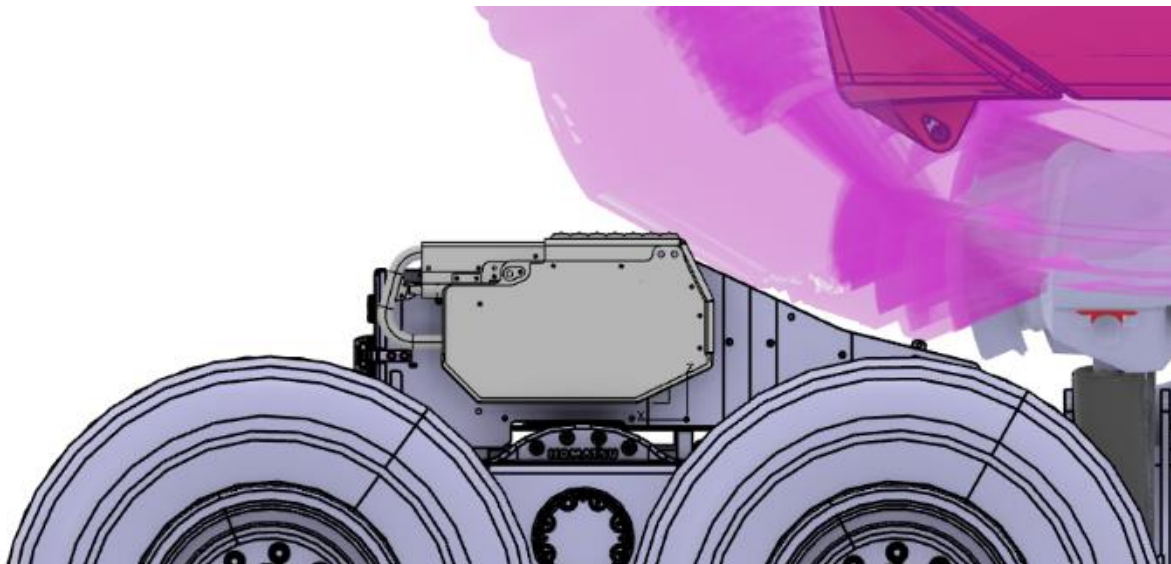


Figur 28. Konceptuellt instegshandtag i nedfällt läge.

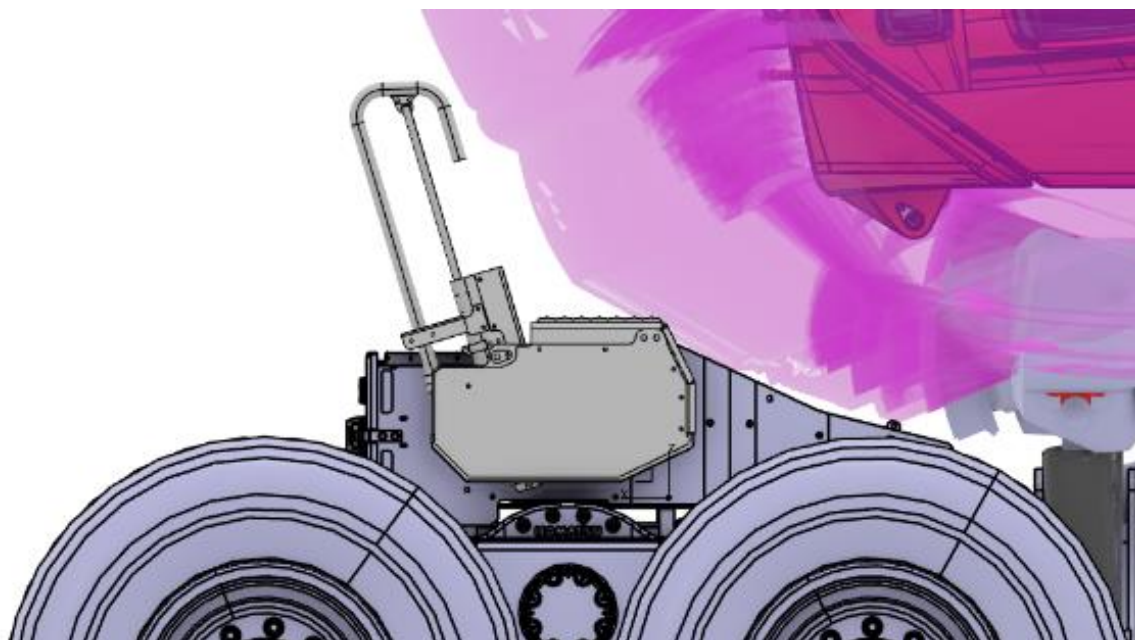


Figur 29. Konceptuellt instegshandtag i uppfällt läge.

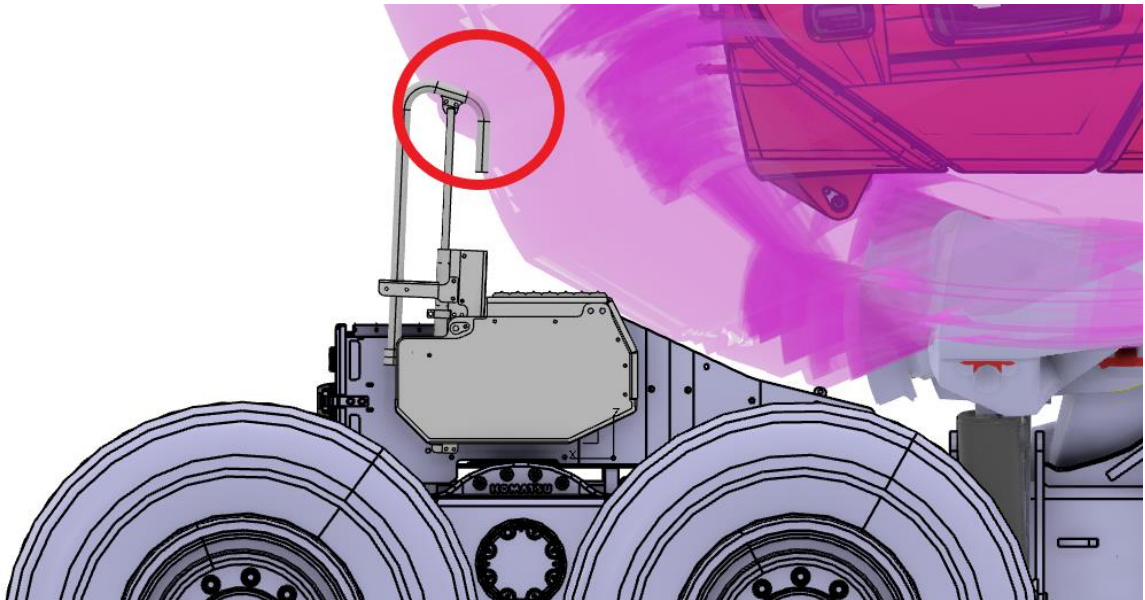
Det konceptuella instegshandtaget presenteras, monterad på den modifierade verktyglådan på en Komatsu 901, i figur 30 i nedfällt läge och i figur 31 i uppfällt läge. Figur 32 visar instegshandtaget i ett läge då det har sin största rotation medsols. Instegshandtaget går upp i detta läge just innan hydraulcylindern når sin maximala förlängning, för att sedan rotera några grader motsols då hydraulcylindern går mot sin maximala förlängning. I denna position kolliderar instegshandtaget med hyttens svepvolum.



Figur 30. Konceptuellt instegshandtag i nedfällt läge, monterat på den modifierade verktyglådan på en Komatsu 901 Hyttens svepvolum motsvaras av det lila området.



Figur 31. Konceptuellt instegshandtag i uppfällt läge, monterat på den modifierade verktyglådan på en Komatsu 901. Hyttens svepvolum motsvaras av det lila området.



Figur 32. Konceptuellt instegshandtag i sitt översta läge under uppfällning, monterat på den modifierade verktyglådan på en Komatsu 901. Kollision med hyttens lila svepvolym.

Det konceptuella instegshandtaget sticker ut 70 mm i sidled från verktyglådan, skruvskallar ej modellerade eller medräknade. Höjden på instegshandtaget från ytan där föraren kan stå på verktyglådan är ungefär 630 mm i uppfällt läge. Vidare presenteras instegshandtagets kravuppfyllnad i tabell 4.

Tabell 4. Kontrolldokument.

Kontrolldokument	Kontrollerat	Godkänt
Produktkrav		
Instegshandtagen ska följa lagar och regler enligt ISO 2867:2011 [9].	Ja	Nej
Konceptet ska gå att applicera på samtliga av Komatsu Forests skördarmodeller.	Ja	Nej*
Instegshandtagen ska fällas undan till en skyddad position under körning, där de inte kan slitas sönder eller frysa fast.	Ja	nej**
Geometriska Krav		
Instegshandtagen med framdrivningssystem och skydd får ej sticka ut mer än 80 mm från höger och vänster sida av verktygslådan i körriktningen.	Ja	Ja
Instegshandtagen i uppfällt läge får ej kollidera med hyttens svepvolym.	Ja	Nej*
Instegshandtagen med framdrivningssystem och skydd får ej kollidera med boggierna i deras yttersta pendelpositioner.	Ja	Ja
Antaganden		
Instegshandtagets konstruktion har utgått från verktygslådans geometrier.	Ja	Ja
Instegshandtaget ryms på minsta skördaren och därför även på de större.	Ja	Nej*
Hänsyn har inte tagits till variation i temperaturförändringar under vattens fryspunkt.	Ja	Ja
Instegshandtagets hållfasthet har undersökt och det håller för en last på 1080 N i alla riktningar högst upp på handtaget i uppfällt läge.	Nej	-
Undersökta behov		
Två instegshandtag. Ett på vardera sida om verktygslådan.	Ja	Ja
* Ej godkända på grund av kollision med hyttens svepvolym.		
** Kan fällas undan till en skyddad position. Prototyp krävs för att testa om det kan slitas sönder eller frysa fast.		

5. Diskussion och slutsatser

I detta avsnitt diskuteras resultatet, projektet i helhet, projektets samhälleliga och etiska aspekter, påverkan på de globala målen och slutligen förs slutsatser.

5.1 Diskussion av resultat

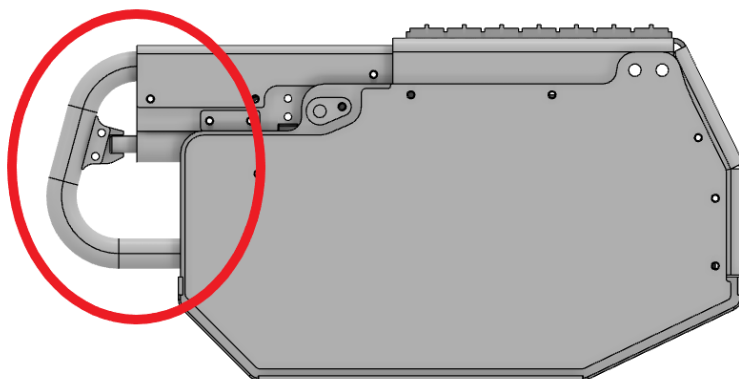
Det konceptuella instegshandtaget som utvecklats uppfyller delvis det huvudsakliga målet med projektet. Ett konceptuellt instegshandtag till Komatsu Forests skördare har tagits fram men det uppfyller inte produktkravsspecifikationen som togs fram i samråd med handledarna på Komatsu Forest. Vad detta inledningsvis beror på är att det inte uppfyller samtliga punkter som efterfrågas i ISO 2867:2011 [9]. Det konceptuella instegshandtags höjd från plattformen som föraren kan stå på uppfyller inte minsta höjdkravet enligt ISO 2867:2011 [9]. Detta är dock inte direkt nedslående på det konceptuella instegshandtags produktkravsuppfyllnad då det är högre än det ordinarie instegshandtaget som redan är i serie på skördarna. Efter mötet med förare av Komatsu Forests skördare i skogen framgick det också att höjden på de ordinarie instegshandtagen är tillräcklig.

Vidare uppfyller det konceptuella instegshandtaget inte de krav på hållfasthet som ställs då de inte har analyserats på grund av projektets avgränsning gällande tid. Det finns tre metoder att analysera hållfastheten. Det första är genom att idealisera instegshandtaget och beräkna hållfastheten analytiskt med balkteori. Denna metod är inte att föredra då flera geometriska faktorer i instegshandtaget inte går att ställa upp med enkel balkteori. Analytiska beräkningar med balkteori skulle dock fungera som ett komplement till den andra metoden; FEM-beräkningar av instegshandtagens hållfasthet i någon lämplig simuleringsprogramvara. Men ingen av dessa två metoder kan dock anses som lämpliga för hållfasthetsanalyser av det konceptuella instegshandtaget. Den tredje analysmetoden är att tillverka en prototyp av det konceptuella instegshandtaget, montera det på en verktygslåda och fixera verktygslådan i exempelvis ett förstärkt, orubbligt golv, med samma fästpunkter som används på verktygslådan då den monteras på en skördare. Därefter appliceras en last på 1080 N över en yta på instegshandtaget. Denna procedur upprepas på flera ställen på handtaget med flera olika kraftriktningar. Vid varje test av handtaget dokumenteras dess utböjning. Varför denna metod kan vara lämpligast beror på det konceptuella instegshandtags geometri och självlåsandefunktion i sitt översta läge som kan anses komplex och svår att idealisera för en FEM-analys. Ur Komatsu Forests perspektiv kan det också ha ett högre värde att låta beräkningsingenjörer fortsätta med högre prioriterad verksamhet än att göra FEM-analyser på instegshandtaget. Då är det bättre att låta konstruktörer beställa en tillverkad prototyp och genomföra tester själva.

Det konceptuella instegshandtaget ska gå att montera på samtliga skördarmodeller. Det går också att anta att om det passar på den minsta skördarmodellen så passar det på samtliga. På grund av att instegshandtaget kolliderar med förarhyttens svepvolum då det är monterat på den minsta skördarmodellen går det inte att godkänna det kravet. Det är möjligt att instegshandtaget inte kolliderar med förarhyttan på de större modellerna men det kontrollerades ej. Ryms inte handtaget på en skördarmodell så ryms det per definition inte på samtliga skördarmodeller.

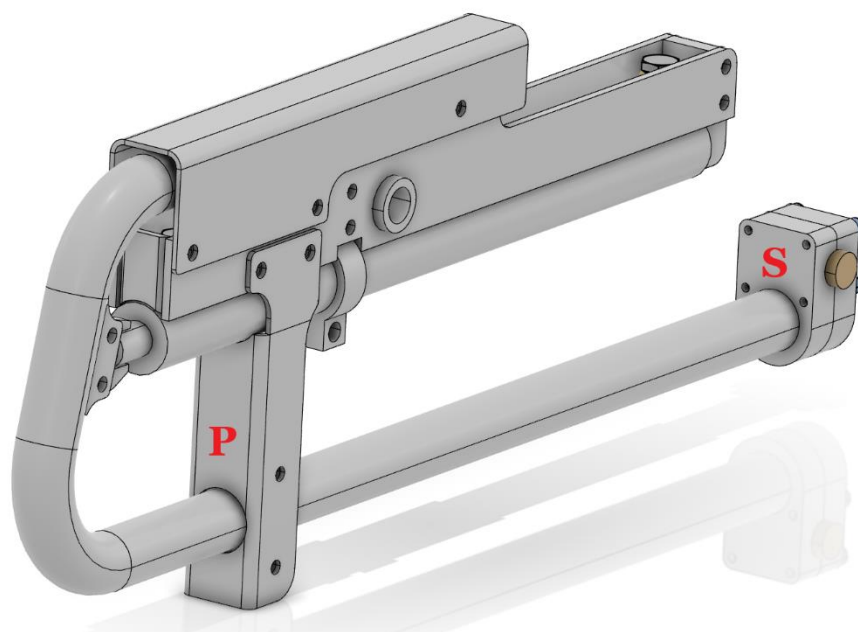
Ovanstående problem kan lösas genom att göra en studie för hur högt instegshandtaget faktiskt behöver vara och därefter konstruera utan hänsyn till den kravställda höjden enligt ISO 2867:2011 [9]. Genomför man då en omfattande minskning av instegshandtagets höjd kommer det inte kollidera med förarhyttens svepvolum och därmed gå att montera på samtliga skördarmodeller. Vidare skulle hållfastheten öka eftersom en pålagd krafts största möjliga hävarm på instegshandtaget minskar med en minskande höjd på handtaget. Ett exempel skulle vara att utgå från en hydraulcylinder med 300 mm slaglängd. Då skulle hela instegshandtaget gå att göra mindre, vilket minskar materialåtgången och resulterar i att instegshandtaget blir billigare och får en lägre påverkan på miljön.

Huruvida instegshandtaget är skyddat i sitt nedfällda läge går enbart att kontrollera genom att tillverka en prototyp, montera den på en skördare ute i fält och utvärdera skador på instegshandtaget efter en tids körning. Det går därför inte att dra en slutsats hur det konceptuella instegshandtaget uppfyller kravet att det ska vara skyddat i ett nedfällt läge och inte gå sönder eller frysa fast i detta tidiga konceptstadium. Riskerna som föreligger med det konceptuella instegshandtaget är för det första att styrtappen som glider i spåret i kassetten går trögt eller fastnar helt om kassetten har utsatts för yttre våld och genomgått en plastisk deformation. För det andra finns det en risk att grenar och stammar fastnar i handtaget i det inringade området i figur 33 och sliter sönder handtaget då det är nedfällt under körning.



Figur 33. Konceptuellt instegshandtag i nedfällt läge med riskområde inringat med röd oval.

Slutligen finns det ett problem med konstruktionen som uppdagades efter konstruktionsarbetet var slutfört. Problemet är att det inte går att montera kolstångsmodulen i cylindermodulen då komponenten märkt med ett "S" i figur 34 är konstruerad för att vara fastsvetsad i handtagsröret och i andra änden är röret krökt och har fler fastsvetsade detaljer. På grund av detta går det inte att montera handtagsröret genom hålet i beslaget märkt med ett "P" enligt figur 34. För att åtgärda detta hade beslaget "P" som handtagsröret går igenom kunnat konstrueras i två delar med delningslinje över hålet.



Figur 34. Cylinder- och kolstångsmodul hopmonterade med komponentmärkning.

5.2 Samhälleliga och etiska aspekter

De samhälleliga och etiska aspekterna som var relevanta för projektet var ur ett direkt perspektiv arbetsbelastningen för personalen på Komatsu Forest. Ur ett större perspektiv var det att projektets resultat kan bidra till skogsavverkning som kan vara både positivt och negativt. Det kan dock även bidra till en säkrare arbetsmiljö för förarna av skogsmaskinerna.

Vilka var för och nackdelar med projektet utifrån de ovan nämnda samhälleliga och etiska aspekterna? På grund av projektets genomförande på Komatsu Forest påverkades personalen genom att kontakt med handledarna, tillika nyttjades exempelvis IT-support. Detta tog tid från deras ordinarie verksamhet, tid som hade kunnat utnyttjas till mer nyttiga aktiviteter än att understödja projektet. Detta kan medföra en större arbetsbelastning för de berörda personerna, vilket i sin tur skulle kunna påverkat deras personliga hälsa. Den potentiella nyttan med projektet kan dock övervägt den negativa påverkan på personalen. Låt säga att resultatet från projektet håller tillräcklig kvalitet och funktionsduglighet att det lämpar sig för fortsatt utveckling, då har projektet bidragit till en minskad arbetsbelastning för personalen. Alltså personalen kan åstadkomma en större produktutveckling på kortare tid.

Resultatet av projektet har både positiva och negativa aspekter. Ur det stora perspektivet bidrar det till utvecklingen av skogsmaskiner som avverkar skog. Skogsavverkningen kan vara positiv för samhällsekonomi, men också negativ för miljön. Det direkta värdet i projektets resultat är att arbetsmiljön kan bli säkrare för förarna av skogsmaskinerna då målet med projektet är att utveckla nya instegshandtag enligt kravspecifikationen, vilket ska medföra att de alltid ska finnas tillgängliga för föraren då hen ska kliva ut och in ur maskinen.

De samhälleliga och etiska aspekterna behövde inte beaktas i arbetet då dessa hade en mycket låg relevans och inverkan, samt att de inte går att undvika.

5.3 Påverkan på de globala målen

I detta avsnitt diskuteras projektets påverkan på de tre av de globala målen.

5.3.1 Hållbar konsumtion och produktion (12)

Denna konceptframtagning bidrar till en eventuell fortsatt utveckling av nya instegshandtag till Komatsu Forests skördare. Kan de problem som beskrivs i bakgrunden lösas med de konceptuella instegshandtag som utvecklats kommer det medföra att instegshandtagen handtagen inte går sönder och behöver ersättas med nya eller alternativa lösningar. Då blir produktionen hållbar [11], det vill säga att produktionen är rätt från början och bidrar inte till en försämring av andra globala mål.

5.3.2 Bekämpa klimatförändringarna (13)

Genom att konstruera konceptet med enkla, robusta lösningar som kräver lite material och begränsat antal tillverkningsoperationer kan klimatavtrycket hållas lägre om detta koncept sätts i produktion. Vidare får konceptet ett mindre avtryck på klimatet [12] om de rörliga delarna kan röra sig med lågt motstånd, vilket gör att skördarens hydraulsystem belastas mindre, så att maskinens bränsleförbrukning blir mindre. Låt säga att 1000 st maskiner faller ut sina instegshandtag 5 gånger per dag. Det är 5000 st ut- och infällningar per dag. Kan detta göras mer effektivt än det redan görs, så minskas klimatavtrycket.

5.3.3 Hur kan arbetet anpassas för att bidra mer till de globala målen?

Den största anpassningen för att detta projekt ska bidra mer till de globala målen kan vara materialvalen av konstruktionen. Exempelvis skulle det vara möjligt att anta att konceptet ska tillverkas av fossilfritt stål från SSAB när det blir lanserat. Detta skulle bidra till att uppnå mål nummer 13: Bekämpa klimatförändringarna.

5.4 Slutsats

Den slutsats som går att dra efter diskussion av resultatet är att projektet uppfyller målet att ta fram flera konceptidéer för att sedan välja ett att utveckla vidare. Att det vidareutvecklade konceptet inte fullt ut uppfyller produktkravspecifikationen är av mindre betydelse då det konceptuella instegshandtaget oavsett kravuppfyllnad måste konstrueras om efter mer ingående studier av vilken handtagshöjd som verkligen behövs. Projektet har tagit fram ett nytt koncept för instegshandtag på Komatsu Forests skördare och har byggt upp en grund för att bidra till fortsatt produktutveckling och därför uppfyllt syftet.

Referenser

- [1] Komatsu Forest, <https://www.komatsuforest.se/skogsmaskiner/v%C3%A5ra-sk%C3%B6rdare> (Hämtad 2023-06-01).
- [2] J. Henningsson, Problemformulering från erfarenheter som testförare, (Muntlig information).
- [3] J. J. Petrovic, “Mechanical properties of ice and snow,” *Journal of Materials Science*, vol. 38, no. 1, pp. 1–6, 2003, doi: 10.1023/A:1021134128038.
- [4] B. E. Maki, S. D. Perry, and W. E. McIlroy, “Efficiency of handrails in preventing stairway falls: a new experimental approach,” *Safety Science*, vol. 28, no. 3, pp. 189–206, 1998, doi: 10.1016/S0925-7535(98)80008-8.
- [5] Nationalencyklopedin, balkböjning.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/balkböjning> (hämtad 2023-05-20)
- [6] Nationalencyklopedin, elastiska linjen.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/elastiska-linjen> (hämtad 2023-05-20)
- [7] Nationalencyklopedin, finita elementmetoden.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/finita-elementmetoden> (hämtad 2023-05-20)
- [8] Nationalencyklopedin, prototyp.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/prototyp> (hämtad 2023-05-20)
- [9] Earth-moving machinery – Access systems, ISO 2867:2011, Svenska institutet för standarder, Stockholm, Sverige, 2011-07-06. Tillgänglig:
<https://www.sis.se/produkter/utrustning-for-materialhantering-a494a79b/anlaggningsmaskiner/iso28672011/>
- [10] C. S. Heu, S. W. Kim, J. Kim, S. Lee, J. M. Kim, K-S. Lee, D. R. Kim, “Frosting and defrosting behavior of slippery surfaces and utilization of mechanical vibration to enhance defrosting performance,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 125, pp. 858–865, 2018, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.04.146.
- [11] Mål 12: Hållbar konsumtion och produktion, UNDP i Sverige, 2022,
<https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-12-hallbar-konsumtion-och-produktion/> (Hämtad 2023-05-21).
- [12] Mål 13: Bekämpa klimatförändringarna, UNDP i Sverige, 2022,
<https://www.globalamalen.se/om-globala-malen/mal-12-hallbar-konsumtion-och-produktion/> (Hämtad 2023-05-21).