



CHALMERS



Design och utveckling av en ergonomisk lagervagn för hantering av restflaskor i butiksmiljö

Genomfört i samarbete med Systembolaget AB

Kandidatarbete inom produktutveckling

MARKUS JOHANSSON

LEA MLADAN

HAMPUS NORIN

FABIAN RUDMO

MAJA THRYBOM

DAN WESTER

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2026

www.chalmers.se

Design och utveckling av en ergonomisk lagervagn för hantering av restflaskor i butiksmiljö

Genomfört i samarbete med Systembolaget AB

MARKUS JOHANSSON

LEA MLADAN

HAMPUS NORIN

FABIAN RUDMO

MAJA THRYBOM

DAN WESTER

Institutionen för Industri- och materialvetenskap

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2026

Design och utveckling av en ergonomisk lagervagn för hantering av restflaskor i butiksmiljö
Genomfört i samarbete med Systembolaget AB

MARKUS JOHANSSON

LEA MLADAN

HAMPUS NORIN

FABIAN RUDMO

MAJA THRYBOM

DAN WESTER

© MARKUS JOHANSSON, LEA MLADAN, HAMPUS NORIN,
FABIAN RUDMO, MAJA THRYBOM, DAN WESTER, 2026.

Institutionen för Industri- och materialvetenskap
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Tryck: Chalmers Digitaltryck
Göteborg, Sverige 2026

Erkännanden, dedikationer och liknande personliga uttalanden återspeglar författarens egna åsikter.

Förord

Detta kandidatarbete har genomförts vid Chalmers tekniska högskola, inom institutionen Industri- och materialvetenskap, i samarbete med Systembolaget AB under våren 2026. Syftet med projektet har varit att konstruera och tillverka en vagn för hantering av överblivna flaskor med målet att underlätta arbetet för butikspersonalen.

Till att börja med vill vi rikta ett tack till vår handledare Johan Heinerud för vägledning och stöd under arbetets gång. Vi vill även tacka personalen i Prototyplabbet för deras expertis och stora engagemang vid tillverkningen av prototypen. Därutöver vill vi tacka butikschefen och personalen vid Systembolaget för deras bidrag med värdefulla synpunkter samt återkoppling under konceptutveckling och tillverkning av prototypen. Slutligen vill vi tacka vår examinator Lars-Ola Bilgård samt vår programansvariga Andreas Dagman för möjliggörande av projektet.

Design and Development of an Ergonomic Warehouse Cart for Handling Leftover Bottles in a Retail Environment

Conducted in collaboration with Systembolaget AB

MARKUS JOHANSSON, LEA MLADAN, HAMPUS NORIN, FABIAN RUDMO, MAJA THRYBOM, DAN WESTER

Department of Industrial and Materials Science

Chalmers University of Technology

Abstract

The shelves at Systembolaget are fronted to create a uniform and brand-neutral impression every day. This results in cardboard boxes containing wine bottles being opened and stocked on shelves, even when not all bottles fit, leading to leftover items, so-called *slattar*. Today, there is a lack of a standardized solution to handle the leftover bottles in an efficient and ergonomic way.

Today, shopping carts are used, but they are not adapted for this purpose. This involves high physical strain, a poor overview of the leftover bottles, and inefficient workflows. The purpose of this bachelor's thesis was to develop, design, and construct a working prototype that solved the problems the staff at Systembolaget experienced today.

The project was carried out through an iterative design process where the user was the focus. Initial observations and data from a previous work formed the basis for a requirement specification. Through concept generation, various evaluation methods, ergonomic analyzes, structural strength calculations, and CAD, a final concept was developed and manufactured in full scale.

The result is a cart specifically designed for the handling of leftover bottles. It offers a good overview of the bottles and is adapted for good ergonomics during use, as well as a larger capacity than current carts. The construction of the cart consists primarily of steel.

Even though more time is required to fully evaluate the cart, the conclusion has been drawn that the prototype offers a good overview of the leftover bottles. The cart can be rolled and maneuvered at full load. Thus, the solution fulfills the main requirements.

The report is written in Swedish.

Keywords: Ergonomics, Product Development, Material Handling, Retail Environment, Prototype, Warehouse.

Design och utveckling av en ergonomisk lagervagn för hantering av restflaskor i butiksmiljö
Genomförd i samarbete med Systembolaget AB
MARKUS JOHANSSON, LEA MLADAN, HAMPUS NORIN, FABIAN RUDMO, MAJA
THRYBOM, DAN WESTER
Institutionen för Industri- och materialvetenskap
Chalmers tekniska högskola

Sammanfattning

Varje dag frontas hyllorna på Systembolaget för att skapa ett enhetligt och märkesneutralt intryck. Detta resulterar i att kartonger med vinflaskor öppnas och placeras på hyllor, trots att alla flaskor inte får plats, vilket skapar överblivna flaskor, så kallade *slattar*. I dag saknas en standardiserad lösning för att hantera dessa slattar på ett effektivt och ergonomiskt sätt.

Butiksvagnar används idag, men de är inte anpassade för detta syfte. Det innebär hög fysisk belastning, dålig överblick över slattarna och ineffektiva arbetsflöden. Syftet med detta kandidatarbete var att utveckla, designa och konstruera en fungerande prototyp som löste de problem Systembolagets personal upplevde i dagsläget.

Projektet utfördes genom en iterativ designprocess där användaren var i fokus. Initiala observationer och data från ett tidigare arbete låg till grund för en kravspecifikation. Genom konceptgenerering, olika utvärderingsmetoder, ergonomiska analyser, hållfasthetsberäkningar samt CAD togs ett slutgiltigt koncept fram som tillverkades i full skala.

Resultatet är en vagn specifikt utformad för hanteringen av slattar. Den erbjuder bra överblick av flaskorna och är anpassad för god ergonomi vid användning, samt större kapacitet än nuvarande vagnar. Vagnens konstruktion består främst av stål.

Även om längre tid krävs för att helt utvärdera vagnen har slutsatsen dragits att prototypen erbjuder god överblick över slattarna. Vagnen klarar av att rullas och manövreras vid full last. Därmed uppfyller lösningen de huvudsakliga kraven.

Nyckelord: Ergonomi, Produktutveckling, Materialhantering, Detaljhandel, Prototyp, Lagervagn

Executive Summary

Systembolaget handles large quantities of goods daily, continuously transporting bottles from storage rooms to the shop floor to maintain a highly structured retail environment. When the shelves in the store are full, leftover bottles (slattar) are frequently accumulated during unpacking and restocking. The company currently lacks a standard solution for handling these remaining products, leading employees to use standard customer shopping carts for temporary, unsorted storage. This practice significantly reduces the visual overview of the inventory, as bottles of different types are packed tightly together. Furthermore, utilizing deep shopping carts forces staff to perform repetitive, heavy lifting in ergonomically unfavorable and difficult positions. This exposes the staff to significant ergonomic risks and creates an inefficient workflow when the bottles are eventually transported back into the store for restocking.

This bachelor thesis aimed to remedy these logistical and physical issues by designing, building, and evaluating a full-scale ergonomic prototype cart (Slattvagn) specifically optimized for handling leftover wine bottles, which initial observations showed make up the vast majority of leftover items. To deeply understand the store environment and the staff's actual needs, the team conducted a comprehensive pre-study. This phase included extensive market research of existing warehouse carts as well as on-site observations at the Systembolaget store located at Kapellplatsen in Gothenburg. The group successfully mapped out the daily workflow, identified specific physical bottlenecks, and created detailed use-case scenarios. The pre-study established several key requirements for the new cart: eliminating heavy lifts from floor level, ensuring easily visible bottle labels without moving other items, maintaining a high storage capacity, and ensuring a robust, easily maneuverable design for narrow store aisles.

In the subsequent ideation phase, the cart was conceptually divided into an upper and a lower section to evaluate a broader range of solutions. Various concepts were systematically weighed against user needs using structured selection tools like Pugh and Kesselring matrices. Ultimately, a staircase structure called Trappan emerged as the optimal option for the upper section, primarily because it provided an excellent visual overview of the bottles. For the lower section, Tilted slots were chosen to maximize storage capacity while offering an angled, ergonomically sound access point. The resulting physical prototype comfortably accommodates a total capacity of 86 bottles, built around a robust steel frame and running on polyurethane wheels—fixed in the front and swiveling in the back—for high maneuverability in tight spaces. The upper section holds 54 bottles across three levels, featuring a metal grid compartment division that prevents labels from being obscured. The lower section contains angled slots holding 32 bottles, giving direct access to bottle necks without forcing users to bend down, complemented by a plywood bottom shelf for heavier boxes.

Evaluation results indicate that Trappan successfully maximizes bottle capacity while significantly improving visibility and identification for efficient sorting. However, the higher levels introduce a minor risk of non-ergonomic lifts for shorter users. The lower section with Tilted slots effectively utilizes the otherwise unused lower space, representing a conscious and practical trade-off between ergonomics and storage capacity. Furthermore, a specialized surface treatment successfully dampens noise from glass-to-metal contact, enhancing both the workplace environment and the customer experience. Due to limited on-site testing and feedback from Systembolaget, the full potential of the cart remains to be fully assessed through more extensive user testing across varying store sizes and user demographics. In conclusion, the Slattvagn prototype successfully fulfills the project's purpose, offering a robust, user-friendly, and significantly more ergonomic alternative to the current shopping cart solution prior to final implementation.



Final prototype of the Slattvagn, featuring the upper staircase structure (Trappan) and lower tilted slots.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Problembeskrivning	2
1.3	Syfte	2
1.4	Frågeställning	3
1.5	Avgränsningar	3
1.6	Metod	3
2	Slutresultat	5
3	Teori	7
3.1	Idégenereringsmetoder	7
3.2	Konceptsållningsmetoder	8
3.3	Ergonomi	9
3.4	Analysmetoder	10
3.5	Visualiseringsmetoder	11
4	Genomförande	13
4.1	Tidslinje	13
4.2	Förstudie	14
4.3	Idégenerering	19
4.4	Konceptgenerering & Konceptutveckling	23
5	Konstruktion och prototypbygge	29
5.1	CAD och konstruktion	29
5.2	Prototypbygge	36
5.3	Testupplägg och utvärderingsmetod	44
6	Resultat: slutkoncept, dimensionering och utvärdering	45
6.1	Genererade koncept	45
6.2	Identifierade behov och krav	48
6.3	Slutkoncept och utformning	50
6.4	Konstruktion och dimensionering	52
6.5	Hållfasthetsanalys	54
6.6	Kostnad för prototyp	58

6.7	Utvärdering	58
6.8	Sammanfattning av resultat	58
7	Diskussion	61
7.1	Uppfyllande av behov och krav	61
7.2	Ergonomi och arbetsbelastning	62
7.3	Effektivitet och arbetsflöde	63
7.4	Konstruktionsval och hållfasthet	63
7.5	Metoddiskussion	63
7.6	Samhälleliga och etiska aspekter	64
7.7	Begränsningar	65
7.8	Ekonomiska aspekter	66
7.9	Vidare arbete	66
8	Slutsatser	69
	Referenser	71

Bilagor	i
A GANTT schema	ii
B Bilaga – Behov- och kravlista	iii
C Persona & användarscenario	ix
D Bilaga – Elimineringsmatris	xiii
E Pughmatriser för Överdelarna	xiv
F Pughmatriser för Underdelarna	xv
G Parvis jämförelse av viktiningskriterier	xvi
H Kesselringmatris	xvii
I REBA-analys	xviii
J PEPA-analys	xix
K FMEA-analys	xx
L Ritning-Fyrkantör (hörn)	xxi
M Ritning-Fyrkantör (kortsida)	xxii
N Ritning-Fyrkantör (långsida)	xxiii
O Ritning-Fyrkantör (stöd)	xxiv
P Ritning-Handtag	xxv
Q Ritning-Hjulinfästning (Fästplatta)	xxvi
R Ritning-Sprängskiss slattvagn	xxvii
S Ritning-Ramverk	xxviii
T Ritning-Trappa	xxix
U Ritning-Tilted slots	xxx
V Material lista	xxxi

1

Inledning

Systembolagets personal hanterar dagligen stora mängder varor som transporteras från lager till butikshylla. I samband med varuuppackning och påfyllning uppstår överblivna flaskor i kartongen som inte får plats på hyllan. Dessa även kallade slattar placeras sedan i en slattvagn, ofta bestående av en butikskundvagn, avsedd att fungera som ett transporterande mellanlager mellan lager och butik.

Systembolaget har för närvarande ingen standardiserad lösning för denna hantering, där provisoriska lösningar brister i användbarhet då överblivna flaskor placeras osorterat intill varandra, vilket ger en försämrad överblick över inventariet. Vidare bidrar en icke anpassad kundvagn till ergonomiska risker för butikspersonalen, och arbetet blir både tidskrävande och ineffektivt vid påfyllning av varor från slattvagnen. Detta indikerar ett tydligt behov av en strukturerad och användaranpassad produktlösning som kan implementeras i samtliga butiker. Arbetet avser därför att utveckla en ergonomisk och standardiserad lösning som möjliggör en tydlig överblick av vagnens innehåll och som underlättar samt säkerställer arbetet för butikspersonalen.

1.1 Bakgrund

Systembolaget har sedan 1955 haft ensamrätt att bedriva detaljhandel av starkare alkoholhaltiga drycker och är därför en viktig aktör inom den svenska handeln (Sveriges riksdag, 2010). I kombination med företagets monopolställning och uppdrag att värna folkhälsan ställs höga krav på effektiv varuhantering och en hållbar arbetsmiljö för de anställda. Bakom flaskans plats på hyllan finns ett logiskt och standardiserat arbetssätt där varor transporteras från lager till försäljningsyta, packas upp och placeras på rätt hylla.

En central del av Systembolagets uppdrag är att uppvisa märkesneutralitet i butiksmiljön. Sortimentet exponeras med ett bestämt antal så kallade “ansikten” per artikel, där varje produkt tilldelas en plats och ett definierat utrymme i hyllan, vilket dessutom kontinuerligt förändras under året. Butikernas utformning, hyllornas djup och måttsättning är standardiserade och syftar till att inte främja specifika varumärken eller uppmuntra till ökad konsumtion. För att upprätthålla

ett neutralt utbud frontas hyllor dagligen och fylls på enligt fastställda riktlinjer och behov. Detta innebär att varje hylla har en tydligt begränsad kapacitet.

1.2 Problembeskrivning

För att tydliggöra hur hanteringen av slattar uppstår i praktiken kan det dagliga arbetsflödet i butik beskrivas som en sekventiell process. Arbetsdagen för de anställda börjar med att leveransen anländer till butikslagret, varefter varor transporteras ut i butiken och placeras intill respektive hylla för uppackning. Produkterna packas därefter upp och frontas på respektive hylla.

När hyllan når sin maximala kapacitet kan kartonger inte tömmas helt. De överblivna flaskorna, så kallade slattar, kan bestå av olika typer av drycker såsom öl, vin, champagne, sprit och cider, och placeras då i en sortsorterad kundvagn eller på en mindre pall, vilka fungerar som temporära mellanlager. Slattvagnen förvaras därefter på lagret för att senare under dagen åter köras ut i butiken, där flaskorna hanteras på nytt och fylls på i hyllorna.

De överblivna flaskorna av en viss sort, till exempel rött vin eller sprit, placeras i regel osorterat i det temporära mellanlagret. Trots att hanteringen är frekvent och dagligt förekommande saknas i dagsläget en standardiserad och användaranpassad lösning. Detta leder till variation i arbetssätt mellan butiker, vilket i sin tur bidrar till ineffektiva arbetsflöden och ökad fysisk belastning för personalen.

Tidigare observationer av arbetsmoment i butiksmiljö visar att personalen dagligen utför ett stort antal repetitiva och tunga lyft vid uppackning, frontning och förflyttning av varor. Hanteringen av slattar utgör i detta sammanhang ett moment där tillfälliga lösningar inte är anpassade för arbetsuppgiften, vilket ger upphov till ergonomiska risker och användarovänliga arbetsflöden. Avsaknaden av en standardiserad lösning innebär även att varje butik utvecklar egna rutiner, vilket försvårar ett hållbart arbetssätt. Samtidigt finns det ett behov av ett hjälpmedel som kan integreras i befintliga butiksmiljöer utan att påverka eller förändra arbetsflödet negativt.

1.3 Syfte

Syftet med projektet är att utveckla och konstruera en ergonomisk prototyp för hantering av överblivna flaskor i Systembolagets butiker. Genom att analysera nuvarande arbetssätt, identifiera kritiska moment och formulera mätbara krav ska en funktionell prototyp i full skala tas fram som minskar den ergonomiska belastningen och effektiviserar hanteringen av slattar. Prototypen utvärderas därefter i verklig butiksmiljö för att verifiera att lösningen uppfyller de identifierade behoven.

1.4 Frågeställning

Hur kan en lösning utformas för att minska den ergonomiska belastningen och effektivisera hanteringen av överblivna flaskor i Systembolagets butiker?

1.5 Avgränsningar

Projektet innefattar framtagning och byggande av en prototyp i verklig skala, avsedd att utvärderas i en autentisk butiksmiljö. Fokus ligger på att genom en användarcentrerad designprocess utveckla en prototyp som uppfyller anställdas krav på ergonomisk, effektiv och användarvänlig hantering av slattar.

Arbetet begränsas till prototypframtagning, vilket innebär att detaljerade tillverkningsprocesser, produktionsritningar och industrialiseringsaspekter inte behandlas. Vid utvecklingen tas dock hänsyn till rimliga tillverkningsmetoder och tekniska förutsättningar för att säkerställa att lösningen är realiserbar. Några djupgående analyser av produktionsoptimering eller materialval ur ett industriellt perspektiv genomförs däremot inte.

Projektet avgränsas även till att ta fram en lösning som är ekonomiskt rimlig för en Systembolagsbutik att investera i. Konceptet utvecklas därmed med hänsyn till kostnadseffektivitet, utan att inkludera detaljerade ekonomiska kalkyler, upphandlingsstrategier eller affärsmodeller. Arbetet omfattar således inte vidare kommersialisering, försäljningsstrategier eller affärsplanering.

Arbetet avgränsas även främst men inte uteslutande till behandling av vinflaskor, då dessa utgör majoriteten av slattar som uppstår i arbetsflödet. Observationer visar att det är vinflaskor som samlas i osorterade kundvagnar, vilket skapar ineffektiv hantering för personalen. Andra dryckesorter som champagne, öl och cider, skapar inte lika många slattar eftersom de sällan packas upp om det inte finns plats på hyllan. Champagneslattar placeras direkt på lagerhyllor, vilket möjliggör en mer strukturerad sortering. I kombination med den låga förekomsten av dessa slattar ger de inte upphov till samma hanteringsproblem som vinflaskor. Därmed har fokuset lagts på att optimera lösningen för överblivna vinflaskor, vilket bedöms ge den största förbättringen för nuvarande arbetssätt.

1.6 Metod

Projektet genomfördes enligt en iterativ och användarcentrerad designprocess, där arbetet strukturerades i flera steg från behovsanalys till färdig prototyp och kan sammanfattas i 6 steg; Förstudie/datainsamling, Idegenerering och konceptutveckling, Konceptval och litteraturstudier, Konstruktion och CAD, Prototypbyggande, och Test och utvärdering.

Inledningsvis genomfördes en studie baserad på tidigare arbete inom kursen Behov och krav (MMT016 Produktutveckling: behov och krav), genomförd på flertalet butiker hos Systembolaget i Göteborg, med syfte att hitta förbättringsområden inom koncernen, vilken kompletterades med färsk observation i Systembolagsbutiken på Landala. Syftet var för projektgruppen att skapa en djupare och tydligare förståelse för arbetsflödet och de utmaningar som uppstår vid hantering av slattar.

Därefter genomfördes en idégenereringsfas där en stor mängd och lösningar togs fram baserat på identifierade behov och krav, sammanställda från en tidigare studie i Behov och Krav samt nyligen genomförda besök. Idégenereringen skedde både på individuell nivå och i grupp, och inkluderade metoder som systematisk uppdelning i delfunktioner samt gemensamma diskussioner.

Koncepten vidareutvecklades genom att kombinera lösningar och förtydligande skisser samt snabba prototyper. I denna fas konkretiserades funktion, form och användning. För att välja ett slutgiltigt koncept användes matriser där lösningarna utvärderades utifrån kriterier såsom ergonomi, stabilitet, kapacitet och realiserbarhet.

Tillsammans med konceptutveckling och inför vidare konceptsällning genomfördes en riktad litteraturstudie. Syftet var att ta fram ett underlag för gemensamma konstruktionslösningar med fokus på hjulens egenskaper, ergonomi vid förflyttning av en vagn samt dimensionering av lastbärande konstruktioner. Resultaten från litteraturstudien användes för att motivera designval såsom hjulstorlek, handtagshöjd och andra dimensioner.

Det valda konceptet vidareutvecklades genom detaljerad CAD-modellering, där dimensionering, materialval och tekniska lösningar fastställdes, vilket låg till grund för konstruktionen och byggandet av en prototyp i full skala. Prototypen byggdes i full skala med CAD-modeller och ritningar som utgångspunkt.

Slutligen genomfördes tester på Kapellplatsen 4, Landala, och utvärderingar av prototypen i en relevant användningsmiljö. Utvärderingen fokuserade på funktionalitet, ergonomi och användarvänlighet, och syftade till att bedöma hur väl lösningen uppfyllde de identifierade behoven samt att identifiera eventuella förbättringsområden.

2

Slutresultat

Projektets slutresultat utgörs av en prototyp för hantering av överblivna flaskor, primärt avsedd för vinflaskor, se Figur 2.1 och 2.2. Vagnen har en total kapacitet på 86 flaskor, bortsett från extra förvaring på bottenplanet. Av dessa placeras 54 flaskor på den övre delen, som är utformad som en trappstegsstruktur. Den nedre delen består av lutande fack, så kallade *Tilted slots*.

Konstruktionen är huvudsakligen utförd i stål, där ramen är uppbyggd av fyrkantsrör. Vagnen är utrustad med fyra hjul, där bakhjulen är länkhjul och framhjulen är fasta. Den övre delen är försedd med ett avskiljande rutnät som separerar flaskorna i individuella fack. Den nedre delen består av lutande fack för förvaring av flaskor. Vagnen är även utrustad med ett bottenplan i plywood avsett för tillfällig förvaring av exempelvis ölflak.



Figur 2.1: Prototypen i butiksmiljö.



Figur 2.2: Färdigställ prototyp i verkstaden.

Slattvagnen är designad för att fungera som ett standardiserat, rullande mellanlager som integreras sömlöst i Systembolagets existerande arbetsflöden. Den bärande ramen är konstruerad av fyrkantsrör i stål, vilket ger en mycket vridstyv och robust stomme som klarar av den dynamiska belastningen från en fullastad vagn. Ytermåtten är medvetet anpassade för att vagnen ska vara enkel att navigera i butikens ibland trånga gångar, utan att kompromissa med lagringskapaciteten.

Längst ner i konstruktionen finns bottenplan försett med en plywoodskiva. Detta utrymme utnyttjar den annars tomma ytan närmast golvet och erbjuder en flexibel förvaringsyta för det som inte ryms i de dedikerade flaskfacken, såsom ölflak eller bag-in-box-viner. Hela stålkonstruktionen är ytbehandlad med en hammerlack vars textur inte bara skyddar mot slitage, utan även bidrar med vibrationsdämpande egenskaper som minimerar skrammel från glasflaskorna.

Vagnens övre sektion fungerar som personalens primära sorterings- och arbetsyta och är utformad som en dubbelsidig trappa med tre nivåer per sida. Denna design är en direkt lösning på det identifierade problemet med bristande överblick i de konventionella kundvagnarna. Genom en vertikal nivåskillnad på 100 mm mellan varje steg exponeras flaskornas etiketter och varuinformation tydligt, vilket förhindrar att framförvarande flaskor skymmer de bakomvarande. För att garantera en säker och stabil transport är trappstegen försedda med ett rutnät i stål som skapar individuella fack dimensionerade till 100×100 mm. Rutnätet är fixerat på två höjder över varje trappsteg. Denna placering säkerställer att flaskorna får mekaniskt stöd nära sin tyngdpunkt, vilket effektivt förhindrar att de välter eller slår emot varandra vid skarpa svängar eller plötsliga inbromsningar.

För att maximera vagnens totala kapacitet, utan att tvinga användaren att arbeta i obekväma arbetsställningar, finns en sekundär förvaring under trappstrukturen så kallad *Tilted slots*. Denna sektion utgörs av bockade plåtar med fastsvetsade pinnstöd, utformade som en W-profil centrerad över vagnens längdaxel. I denna modul kan upp till 32 flaskor förvaras i en liggande och lutande position. Lutningen är en avgörande ergonomisk funktion eftersom den gör att flaskornas halsar riktas snett uppåt och utåt. Detta medför att personalen kan greppa flaskorna med en naturlig, rak handledsrörelse, samtidigt som behovet av att böja ryggen och sträcka sig djupt in under vagnen reduceras kraftigt. Tyngdkraften ser dessutom till att flaskorna vilar stabilt mot fackens bakkant, vilket eliminerar behovet av komplicerade och tidskrävande spärrmekanismer.

Utöver själva förvaringslösningarna är vagnen utrustad med komponenter specifikt utvalda för att minska den fysiska belastningen på personalen vid förflyttning. Handtaget är tillverkat av ett stålrör med en diameter på 30 mm, vilket ger ett greppvänligt och ergonomiskt stöd. Det är placerat på en höjd som tillåter användaren att skjuta vagnen med rak rygg och generera kraft från benen. Hjulkonfigurationen, bestående av två fasta framhjul och två svängbara länkhjul baktill, är optimerad för att maximera styrkontrollen. Då länkhjulen är placerade direkt under handtaget kan vagnen styras med stor precision och svängas snävt runt hyllhörn. Samtliga hjul har en diameter på 160 mm med slitbanor i polyuretan, vilket säkerställer ett lågt rullmotstånd och en mycket tyst gång på butiksgolvet även vid maximal last. Sammantaget utgör prototypen ett genomtänkt människa-maskin-system som framgångsrikt adresserar och löser de ergonomiska samt logistiska brister som identifierades i projektets inledning.

3

Teori

I detta kapitel presenteras de modeller, teorier och analyser som ligger till grund för arbetet. Dessa används under utvecklingsprocessens gång då idéer utvecklas till koncept och vidare till färdiga lösningar.

3.1 Idégenereringsmetoder

Moodboard

Moodboards är en metod som används för att skapa inspiration och kommunicera budskap genom att kombinera bilder och visuella uttryck. Det är även ett sätt att kommunicera visioner till andra i designprocessen (McDonagh & Storer, 2004).

Brainstorming

Vid brainstorming genererar en grupp en mängd olika idéer och förslag utan att de kritiserar. Metoden kan ske både muntligt eller skriftligt och används i syfte att lösa problem (Nationalencyklopedin, u.å.). Det finns inga begränsningar för vilka idéer som tas, detta för att främja kreativt tänkande. Slutligen sker förbättring och kombination av idéer (Rizi m. fl., 2013).

Flödesschema

Ett flödesschema används för att visualisera en process med hjälp av symboler. Dessa är sammankopplade med riktade pilar för att tydliggöra processens riktning och ordning. En illustration av flödet gör det enklare att få en förståelse för arbetsprocessen (Winkelmann & Weiß, 2011).

Black box-modell

En black box-modell används som första steget när ett problem ska brytas ned funktionellt. Black box-modellen utgörs av indata och motsvarande utdata som representeras av pilar. Mellan indatan och motsvarande utdata placeras ett system, exempelvis en produkt, som representeras

av en black box. I black boxen omvandlas indata till utdata och visar systemets övergripande funktion (Ulrich & Eppinger, 2021).

Funktionsträd

Ett funktionsträd är en metod som används för att systematiskt och hierarkiskt bryta ned en produkt i funktioner. Funktionen vars placering är överst utgör produktens syfte. De underliggande nivåerna bryts ner successivt i mindre funktioner (Robotham, 2002).

Konceptkombinationstabell

En konceptkombinationstabell används för att generera en mängd olika lösningskombinationer systematiskt. Först görs en indelning av produkten i ett antal delproblem. Varje delproblem ska sedan ha ett antal dellösningar. Genom att sedan kombinera en dellösning för varje delproblem genereras en avsevärd mängd kompletta lösningskombinationer. Dessa kan sedan elimineras om de ej är genomförbara (Ulrich & Eppinger, 2021).

Persona och användningsscenario

Persona innebär att man tar fram en fiktiv person som representerar en användare av en produkt eller tjänst. Det ger en bild av hur användaren kommer i kontakt med produkten samtidigt som viktiga funktioner kan fastställas. För att skapa en verklighetstrogen karaktär tilldelas personen ofta porträtt och bakgrund (Sundt & Davis, 2017). Ett användarscenario beskriver hur en person använder en produkt givet en situation. Det består huvudsakligen av tre delar; vem användaren är, miljön runtomkring och hur användaren använder produkten (Wang m. fl., 2018).

Kostnadsanalys

En kostnadsanalys görs fördelaktigen i ett tidigt skede i designprocessen. Detta för att identifiera kostnadsdrivande faktorer och därmed minska dessa för att reducera den totala kostnaden (Asiedu & Gu, 1998).

3.2 Konceptsållningsmetoder

Elimineringsmatris

En elimineringsmatris används som ett första steg i sållningen av koncept. Där upprättas grundläggande kriterier som ett koncept ska uppfylla för att lösa ett problem. Om ett koncept ej uppfyller ett kriterium elimineras den. De koncept som ej elimineras vidareutvecklas (Johannesson m. fl., 2004).

Pugh konceptvalsmatris

Pughs konceptvalsmatris används för snabb konceptsällning samt förbättring av dem. I konceptsällningsmatrisen ställs koncepten mot ett referenskoncept. Ett antal urvalskriterier upprättas som koncepten bedöms utifrån i förhållande till referenskonceptet. Varje urvalskriterium tilldelas ett relativt betyg. Ett (+) motsvarar *bättre än*, (0) motsvarar *likvärdig* och (-) motsvarar *sämre än*. Därefter summeras samtliga relativa betyg för respektive koncept och ett slutbetyg kan beräknas. Slutbetyget beräknas genom subtraktion av antalet (-) från (+). Sedan rangordnas konceptet utifrån det beräknade slutbetyget. Således erhålls en uppfattning om vilka koncept som bäst uppfyller urvalskriterierna. Denna process upprepas tills resultaten är tillfredställande (Ulrich & Eppinger, 2021).

Viktbestämningsmatris

I en viktbestämningsmatris viktas kriterierna mot varandra. Detta görs genom parvis jämförelse av varje kriterium med ett par åt gången. Om ett kriterium är viktigare än ett annat, tilldelas ett poäng till det viktigaste och noll till det som är mindre viktigt. Om båda kriterierna är lika viktiga, tilldelas de ett halvt poäng vardera. När samtliga kriterier parvis jämförts, divideras varje kriteriums totala poäng med summan av samtliga kriteriers totala poäng. På detta sätt erhålls därigenom ett viktningstal för varje kriterium (Johannesson m. fl., 2004).

Kesselrings metod

I en Kesselringmatris jämförs de kvarvarande koncepten från Pugh-matrisen gentemot de viktade kriterierna från den parvisa jämförelsen i viktbestämningsmatrisen. Viktningen sker genom betygsättning av hur väl varje koncept uppfyller kriterierna. Detta görs genom tilldelning av ett poäng mellan exempelvis 1 (*dåligt*) och 5 (*mycket bra*). Denna poäng multipliceras sedan med viktningstal för respektive kriterium och erhåller värdet T. Detta värdet jämförs med ett idealt värde T_{ideal} som beräknas på samma sätt som T, med skillnaden att samtliga tilldelade poäng exempelvis är 5:or. Genom att dividera T med T_{ideal} , T / T_{ideal} , erhålls det slutgiltiga jämförelsetalet. Detta görs för varje koncept och sedan väljs det koncept med högst jämförelsetal (Johannesson m. fl., 2004).

3.3 Ergonomi

REBA

REBA (Rapid Entire Body Assessment) är en ergonomisk analysmetod för att utvärdera arbetsställningar. Utvärdering utförs med avseende på rörelser och belastningar, där kroppen delas in i segment: nacke, över- och underarm, handled, ben och bål. Dessa poängsätts sedan utifrån

risknivå. Därefter kan arbetsställningarna jämföras med varandra, varvid potentiella åtgärder kan vidtas (Hignett & McAtamney, 2000).

PEPA

PEPA (Physical Ergonomics Product Assessment) är en ergonomisk analysmetod som används för kartläggning av fysisk belastning. Den fysiska belastningen kartläggs med en specifik produkt när en specifik uppgift utförs. Fokus ligger på hur uppgiften utförs i steg och tar även hänsyn till yttre omständigheter. Med hjälp analysmetoden kan designförbättringar belysas för en specifik uppgift (Berlin & Bligård, 2023).

3.4 Analysmetoder

FMEA

FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) är den strukturerad metod för att identifiera och förebygga potentiella felsätt under tidiga designutvecklingsfaser för exempelvis en produkt, process eller komponent. Initialt identifieras potentiella felsätt samt dess feleffekter och felorsaker. Därefter bedöms felsätten utifrån tre kriterier: *allvarlighet (S)*, *förekomst (O)* och *upptäckbarhet (D)*. Samtliga kriterier tilldelas ett värde på en skala 1 till 10. Det första kriteriet *allvarlighet (S)* beskriver allvarligheten av feleffekten. På den ovannämnda skalan motsvarar 1 låg allvarlighet medan 10 motsvarar hög allvarlighet. Det andra kriteriet *förekomst (O)* beskriver sannolikheten att felorsaken inträffar, där 1 motsvarar låg sannolikhet medan 10 motsvarar hög sannolikhet. Det tredje kriteriet *upptäckbarhet (D)* beskriver sannolikheten att felsättet upptäcks, där 1 motsvarar hög sannolikhet medan 10 motsvara låg sannolikhet. Med hjälp av dessa tre kriterier kan ett riskprioritetstal (RPN) beräknas genom att multiplicera dem: $RPN = S \times O \times D$. De felsätten med högst RPN bör tilldelas rekommenderade åtgärder (Institute for Manufacturing, u.å.).

FEM/FEA

FEM (Finite Element Method) är en matematisk metod för att lösa komplexa problem. Med FEM kan problemet brytas ned i små element, där varje element approximeras med hjälp av partiella differentialekvationer. Således löses komplexa problem matematiskt med hjälp av FEM (Ansys, u.å.).

FEA (Finite Element Analysis) är tillämpningen av FEM för att lösa komplexa ingenjörsmässiga problem. Problem vars geometri och storlek kan simuleras och analyseras med FEA. Med FEA löses ett problem först genom att skapa en geometrisk modell. Modellen diskretiseras sedan till mindre element som tillsammans bildar ett nät (mesh). Därefter tilldelas randvillkor och laster på modellen. Med dessa kan ekvationssystem upprättas till problemet som sedan löses med

FEA-program. Därefter kan resultaten för det givna problemet analyseras och tolkas (Ansys, u.å.).

3.5 Visualiseringsmetoder

CAD

CAD (Computer-Aided Design) är ett datorprogram som används för att skapa detaljerade och exakta 3D-modeller samt 2D-ritningar. Med hjälp av CAD kan koncept visualiseras och utvärderas, då idéer snabbt kan översättas till en 3D-modell (Dassault Systèmes, u.å.).

4

Genomförande

Följande kapitel beskriver hur arbetet har genomförts. Inledningsvis skapades en tidslinje, vidare gjordes en förstudie, idégenereringsprocess, konceptgenerering och konceptutveckling, prototypbygge och avslutningsvis testupplägg samt utvärdering.

4.1 Tidslinje

Projektet genomfördes under en period på 20 veckor. Tidigt i projektet upprättades ett GANTT-schema i syfte att definiera en tydlig tidslinje och strukturera arbetet, se Bilaga A. I detta skede framställdes även en planeringsrapport för att strukturera projektet och tydliggöra dess syfte, tidsplan, omfattning och metodval. Idégenereringsprocessen pågick under en längre period i syfte att möjliggöra framtagandet av innovativa lösningar samt att utforska olika alternativ och kombinationer. Parallellt genomfördes kortare förstudier, vilka utgjorde underlag för utveckling och framtagande av koncept och det senare konceptvalet. I likhet med idégenereringen avsattes även en betydande tid till konstruktionen av prototypen. På rekommendation från personalen i prototyplabbet påbörjades prototypbygget i ett tidigt skede, då processen ofta är mer tidskrävande än initialt planerat. Parallellt med byggprocessen inleddes även rapportskrivandet. Efter att prototypbygget avslutades ägnades den återstående tiden åt att utvärdera prototypen i butiksmiljö samt att färdigställa rapporten. För att visualisera projektet gjordes en tidslinje, vilket visas i Figur 4.1.



Figur 4.1: Tidslinje över projektet.

4.2 Förstudie

I den inledande delen av projektet genomfördes en förstudie med fokus på lagerhantering inom Systembolaget. Datainsamlingen omfattade både informationssökning kring lagerhantering samt en undersökning av hur olika butiker skiljer sig åt vad gäller varuflöde och storlek. Som komplement till detta genomfördes även observationer i Systembolagets butik vid Kapellplatsen i Landala. Syftet med observationerna var att studera hur arbetsmoment utförs i praktiken samt att skapa en fördjupad förståelse för problemområdet.

Under studiebesöket analyserades personalens rörelsemönster, arbetsmoment samt interaktion med befintliga hjälpmedel i både lager- och butiksmiljö. Genom observationerna identifierades flera riskmoment, däribland förflyttning av varor, hantering av överblivna flaskor samt ergonomiskt belastande arbetsställningar. Studien gav även insikt i butikens fysiska förutsättningar, som begränsade arbetsytor och trånga gångar. Förstudien bidrog därmed till en mer verklighetsförankrad förståelse av problemet och utgjorde ett viktigt underlag för det fortsatta behovs- och kravarbetet.

Marknadsundersökning

En marknadsundersökning genomfördes i syfte att kartlägga befintliga lösningar på marknaden samt identifiera förbättringsområden och eventuella brister. Sammanlagt analyserades åtta olika lagervagnar utifrån pris, lastyta, lastkapacitet och höjd (AJ Produkter, 2026a, 2026b, 2026c; Gerdmans, 2026a, 2026b, 2026c; Vectur AB, 2026; Witre, 2026). Undersökningen begränsades därmed till lagervagn, då det utgör Systembolagets nuvarande lösning.

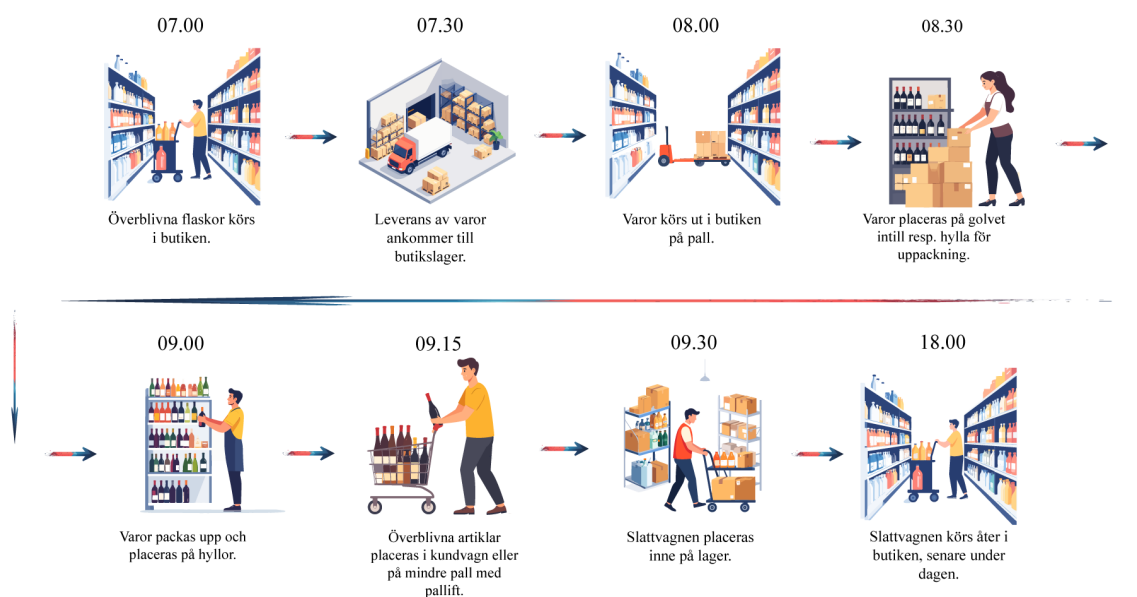
Lagervagnarna användes vidare som underlag till den kommande konceptutvecklingen och generering av lösningsförslag. Målet var att förbättra funktionaliteten och användarvänligheten i förhållande till Systembolagets nuvarande lösning.

Nulägesanalys

För att skapa en djupare förståelse för kontexten och användarnas behov utfördes en nulägesanalys. Syftet med analysen var att kartlägga det dagliga arbetsflödet och varuhanteringen på Systembolaget, från morgonens leveranser till kvällens rutiner.

Kartläggningen genomfördes genom observationer i butiksmiljön och samtal med personalen. Genom att systematiskt följa processen kunde information samlas in kring hur varor förflyttas, packas upp och hanteras. Ett särskilt fokus lades på att studera hur personalen hanterar överblivna artiklar och så kallade slattar efter den initiala uppackningen.

Den insamlade datan sammanfattades för att skapa en visuell representation av arbetsgången i form av ett flödesschema, se Figur 4.2.



Figur 4.2: Kartläggning av butikspersonalens arbetsflöde på Systembolaget i Landala, från inkommande morgonleverans till dagens sista hantering av överblivna artiklar

Flödesschemat visar att hanteringen av överblivna flaskor uppstår som ett återkommande moment efter uppackning av varor. Dessa flaskor placeras tillfälligt i en kundvagn eller på pall och förflyttas därefter till lagret, för att senare köras ut till butiken för påfyllning av hyllor. Detta innebär att samma produkter hanteras i flera oergonomiska steg, vilket skapar både onödiga förflyttningar och ett ineffektivt arbetsflöde.

Vidare framgår att hanteringen ofta sker i varierande arbetshöjder och i trånga utrymmen, vilket kan medföra ergonomiska belastningar. Flödesschemat tydliggör därmed både ergonomiska och logistiska utmaningar kopplade till hantering av slattar.

Nulägesanalysen fungerade som ett centralt steg i processen, då den säkerställde att den fortsatta produktutvecklingen baserades på verkliga behov och utgjorde grunden för arbetets kravspecifikation.

Behov- och kravlista

En behovs- och kravlista framställdes i syfte att säkerställa att produktutvecklingen överensstämmer med de identifierade behoven, se Bilaga B. För att skapa struktur delades behoven in i användarbehov, verksamhetsbehov samt ergonomiska behov.

Kraven delades vidare in i funktionskrav, ergonomiska krav, användarvänlighetskrav samt tekniska och fysiska krav. För varje urskilt behov och krav formulerades en beskrivning, tillhörande problembild samt en uppskattad prioriteringsnivå. Underlaget för behov- och kravlistan baserades på observationer i Systembolagets butik samt en tidigare studie (Wester m. fl., 2024).

Användarbehov

Ett centralt användarbehov som identifierades var att lösningen ska vara enkel att använda, oberoende av personalens erfarenhetsnivå. Samtidigt beaktades att mer erfaren personal redan anpassat sig till befintliga arbetssätt, vilket innebär att den nya lösningen inte får försämra arbetsflödet utan ska integreras smidigt i det nuvarande arbetssättet.

Vidare identifierades behovet av att hanteringen av överblivna flaskor inte ska störa kundflödet. Lösningen bör därför vara designad så att den inte hindrar kunders rörelse i butiken, särskilt i trånga gångar.

Ett ytterligare behov rör synligheten av flaskorna. Den nuvarande lösningen medför begränsad överblick, då flaskor placeras på samma nivå tätt intill varandra. Detta försvårar identifiering av både antal och flasktyp. Därför fastställdes ett behov av att maximera synligheten av flaskornas etiketter.

Det framkom även ett behov av att lösningen inte ska medföra extra arbetsmoment eller ökad fysisk belastning jämfört med det nuvarande arbetsflödet, då hantering av flaskor redan innebär tunga lyft.

Vidare framkom behovet att minimera risken för vältande flaskor under förflyttning. Detta förutsätter en lösning som ser till att flaskorna hålls stabilt på plats även om vagnen inte är fullt lastad. Den nuvarande användningen av kundvagnar innebär en större risk för rörelse och instabilitet vid transport speciellt när vagnen inte är full och flaskor inte stabiliseras av varandra.

Ett ytterligare behov var att lösningen ska innebära en tydlig förbättring av den befintliga hanteringen. Den bör därmed vara integrerad i nuvarande arbetet och inte utgöra ett separat system.

Slutligen identifierades ett behov att varken kunden eller användaren på något sätt ska skadas vid hantering och förvaring av flaskor. Vassa kanter eller utstickande delar utgör potentiella riskfaktorer för skador. Den nuvarande kundvagnen maximerar lastkapaciteten genom att stapla flaskor upp och ner när de inte får plats på kundvagnens botten, vilket medför instabilitet och risk för ras.

Verksamhetsbehov

Ett viktigt verksamhetsbehov som framkom var att lösningen effektivt ska möjliggöra transport av överblivna flaskor mellan lager och butik. Vidare identifierades behovet av att konstruktionen ska vara robust samt tåla stötar och slitage, då den kommer användas i snitt två gånger per dag.

Ett annat behov var att lösningen ska vara användbar i butiker av varierande storlek, vilket ställer krav på en standardiserad produkt. I samband med detta identifierades behovet av god manövrerbarhet i butikens gångar som på vissa ställen kan upplevas trånga. Det är därmed väsentligt att tänka på storleken samt möjligheten att kunna svänga i snäva hörn.

Vidare framkom behovet av att konstruktionen skulle vara stabil vid både full och ojämn last, såväl i stillastående som rullande läge. För att minska den fysiska belastningen togs behovet om smidighet vid styrning och svängning fram. Lösningen behöver därmed med lätthet kunna röra sig på både lagrets och butikens golv.

Det sista verksamhetsbehovet var att lösningen ska vara prisvärd vid inköp, där priset ska motsvara värdet av att förbättra systemet för hantering av slattar.

Ergonomiska behov

Vidare formulerades ergonomiska behov varav det första innebar minskat behov av lyft från golvnivå. Lösningen ska därmed möjliggöra lyft från en mer ergonomisk höjd för att minska fysisk ansträngning vid repetitiva och tunga lyft.

Ett annat behov var att förbättra ergonomin genom att möjliggöra variation i arbetsställning, vilket minskar repetitiva och enformiga rörelser. Ett ytterligare behov var möjligheten att ställa av och in flaskor i en bekväm arbetshöjd. Den nuvarande kundvagnens undre hyllplan används för flaskor som inte ryms i korgen, vilket medför oergonomiska lyft vid hantering av flaskor på det nedre planet.

Nästkommande behov som identifierades var att minimera antalet sträckningar samt säkerställa att de som förekommer kan utföras på ett säkert sätt. Den nuvarande lösningen kräver att användaren sträcker sig när flaskor placerats på det undre planet.

Ett ytterligare behov identifierades kopplat till att användaren ska kunna använda lösningen oberoende av kroppslängd. Slutligen fastställdes behovet av att lösningen ska kunna användas oavsett användarens tidigare erfarenhet eller fysiska förutsättningar.

Funktionskrav

I nästa steg konkretiserades kraven, där ett grundläggande krav var att lasten ska kunna transporteras, vilket utgör en av lösningens huvudfunktioner. En ytterligare huvudfunktion, baserad på identifierade behov, var att möjliggöra sortering av slattar enligt ett givet system.

Nästkommande funktionskrav var att säkerställa att lösningen med enkelhet ska kunna styras oberoende av lastens storlek. Relaterat till det tidigare kravet identifierades även ett krav om att deformation inte ska uppstå av upprepad användning på grund av tung last. Lösningen kräver därmed en stabil konstruktion.

Det sista funktionskravet som identifierades var att säkerställa att flaskor inte skadas eller går sönder vid förvaring eller under rörelse.

Ergonomiska krav

Det första ergonomiska kravet var att flaskorna ska vara åtkomliga i arbetshöjd där kroppen inte ska utsättas för oergonomiska böjningar eller sträckningar. Därmed valdes intervallet på total maxhöjd till 900-1050 mm, vilket är baserat på rekommenderad axelhöjd enligt Hanson m. fl. (2009).

Vidare ställdes krav på att minska belastningen som användarens axlar, rygg och armar utsätts för vid lyft och förflyttning av flaskor. Ytterligare ett krav som definierades var att lösningen med enkelhet ska kunna förflyttas.

Ett annat krav formulerades för att effektivisera påfyllnaden av flaskor under rutter. Därmed ska användaren inte behöva röra sig flera gånger fram och tillbaka i onödan.

För att handtaget skulle vara placerat i ergonomisk höjd fastställdes det inom intervallet 975-1175 mm i enlighet med Hanson m. fl. (2009). Vidare valdes en greppdiameter på 36–44 mm för att säkerställa ett ergonomiskt grepp enligt Hanson m. fl. (2009).

Användarvänliga krav

Vidare ställdes krav på att lösningen ska vara standardiserad, samt intuitiv och enkel att använda i det dagliga arbetet. För ett smidigt arbete ska användaren kunna överblicka flaskorna utan att behöva lyfta eller förflytta flaskor som skymmer sikten.

Ett ytterligare krav var att samtliga flaskor ska vara lättåtkomliga oavsett deras placering. För att underlätta användarens arbete formulerades ett krav på att systemet ska ge användaren en överblick av antalet flaskor av varje sort. Slutligen identifierades ett krav om att lösningen ska kunna användas och transporteras av en person.

Tekniska krav

Ett centralt tekniskt krav är att lösningen ska vara tillverkad av slitstarka material anpassade för daglig användning i butiksmiljö. Handtaget ska utformas med avseende på ytfinish och geometri för att garantera ett säkert grepp. Vidare ställs krav på att konstruktionen ska utformas utan vassa kanter för att minimera risken för skador på kunder, personal och flaskor.

Eftersom produkten ska användas i inomhusmiljö formulerades ett krav på att hjulen ska vara anpassade efter butiks- och lagergolv. Materialvalet ansågs också viktigt för att möjliggöra enkel rengöring och underhåll.

Den totala maxlasten uppskattades till 200 kg, baserat på Systembolagets nuvarande vagnar. För att effektivisera arbetsflödet ska lösningen rymma minst 70 flaskor.

Lösningen ska vara stabil både vid rörelse och stillastående, oberoende av ojämn lastfördelning. Variationer av flaskornas längd och diameter ska inte begränsa möjligheten till sortering. Vid rörelse ska lösningen ha låg ljudnivå för att undvika irritation och störningar för användare och kunder.

Fysiska krav

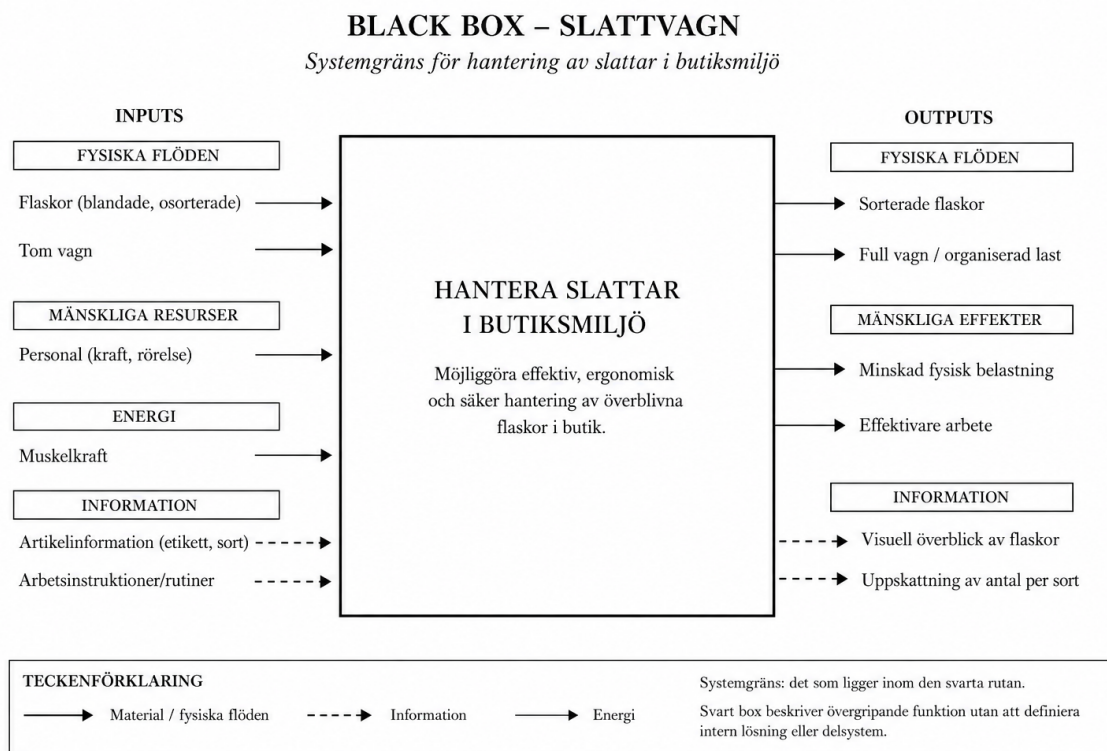
Samtliga fysiska krav omfattar lösningens längd, höjd, bredd och vikt. Längden begränsas för att undvika kollision med hyllor samt för att möjliggöra framkomlighet i butikens gångar och kring hörn. Höjden ska inte överstiga användarens siktlinje, vilket motsvarar cirka 1500 mm enligt Hanson m. fl. (2009). Bredden ska begränsas för att inte störa kundflödet eller hindra framkomlighet i gångar, vilket måste vara mindre än den smalaste uppmätta gångbredden på 1200 mm. Avslutningsvis ska lösningen inte vara för tung då den ska kunna manövreras enkelt i butiksmiljö.

4.3 Idégenerering

Detta kapitel redogör idégenereringsfasen, där initialt fokus låg på att definiera och förstå problemet innan konkreta lösningar togs fram. Arbetet inleddes med en funktionsanalys för att bryta ned systemets övergripande uppgift i hanterbara delproblem, följt av skapandet av personas och användarscenarier för att säkerställa ett djupt användarfokus. Med denna teoretiska grund genererades därefter en bred mångfald av lösningsförslag genom strukturerad brainstorming. Dessa teoretiska koncept konkretiserades och visualiserades slutligen genom iterativ skissning samt framtagandet av en moodboard, vilket möjliggjorde en tidig utforskning av både form, funktion och estetik inför den fortsatta konceptutvecklingen.

Funktionsanalys

För att konkretisera vad produkten ska åstadkomma, utan att för tidigt låsa sig vid specifika tekniska lösningar, genomfördes en funktionsanalys. Inledningsvis formulerades systemets huvudfunktion som visualiserades i en så kallad Black box, se Figur 4.3. Denna modell syftar till att beskriva lösningens övergripande uppgift genom att definiera vilka flöden, exempelvis material, energi och signaler, som går in i och ut ur systemet.



Figur 4.3: Black box-diagram som illustrerar systemets huvudfunktion, *Förvara flaskor*, samt dess in- och utgående flöden

Därefter bröts huvudfunktionen ned i mindre, hanterbara delfunktioner, vilket strukturerades upp i ett funktionsträd, se Figur 4.4. Syftet med denna systematiska nedbrytning var att kartlägga och definiera alla de delproblem som lösningen måste hantera. Genom att isolera dessa funktioner skapades optimala förutsättningar inför den efterföljande idégenereringen, där koncept och lösningar på de enskilda delproblemen togs fram för att slutligen kombineras till kompletta helhetslösningar.



Figur 4.4: Funktionsträd som visar nedbrytningen av systemets huvudfunktion, *Förvara flaskor*, i underordnade delfunktioner.

Persona & Användningsscenario

För att skapa en djupare förståelse för slutanvändaren togs en persona fram baserad på slutsatserna från nulägesanalysen och observationer i butiksmiljö. Den framtagna personen, *Anna - butikssäljare på Systembolaget*, representerar en genomsnittlig användare med flera års erfarenhet, se Bilaga C.

Personan beskriver centrala aspekter av användarens mål, arbetsmiljö, behov och frustrationer. Exempelvis lyfts behovet av bra överblick över flaskorna, ergonomisk arbetshöjd samt en lättmanövrerad och stabil lösning. Samtidigt identifierades problem i det nuvarande arbetssättet, såsom bristande struktur vid hantering av slattar, oergonomiska lyft och svårigheter att snabbt identifiera innehåll.

Utifrån personan togs ett användarscenario fram som skildrar en typisk arbetsdag för Anna med fokus på hantering av överblivna flaskor. Scenariot följer arbetsflödet från morgonens hantering av leveranser och uppackning till senare påfyllning av butikshyllor.

Genom scenariot klargörs hur överblivna flaskor uppstår som en naturlig del av arbetsprocessen och hur dessa hanteras i flera steg, utan en standardiserad struktur. Detta leder till ineffektivitet i form av upprepande arbetsmoment, onödiga förflyttningar och bristande överblick. Vidare framgår det att arbetet innebär flera ergonomiska utmaningar, såsom tunga lyft, frekventa

böjningar och arbete i trånga utrymmen. Arbetet med persona och användarscenario bidrog därmed till att konkretisera problemen i praktiken och användarens behov, vilket utgjorde ett viktigt underlag i det fortsatta konceptarbetet.

Brainstorming och iterativ idégenerering

För att tydligare formulera lösningar till olika delproblem användes bland annat metoden brainstorming, och gruppen kombinerade detta med frekventa, både korta och längre sessioner med ett öppet forum för diskussion och idéer. Genom att utgå från ett specifikt problemområde eller ett definierat behov togs flera lösningsförslag fram iterativt under flera sessioner. De framtagna lösningsförslagen diskuterades och utvecklades sedan genom att bygga vidare på idéer samt kombinera olika lösningsförslag. Brainstorming-sessionerna genererade en mängd olika lösningskoncept som sedan användes senare i projektet.

Metoden valdes eftersom den främjar kreativitet och möjliggör oväntade lösningar, vilket är viktigt i en öppen designfas. Nackdelen med metoden är att den kan leda till många orealistiska förslag, vilket ställer krav på en strukturerad urvalsprocess i nästa steg.

Fasen avslutades när gruppen bedömde att ytterligare idéer i huvudsak utgjorde variationer av redan framtagna koncept, snarare än nya lösningar. Samtidigt ansågs den framtagna mängden idéer ge en tillräcklig bredd för att möjliggöra en relevant jämförelse och vidareutveckling.

Skiss

Som ett nästa steg i idégenereringen övergick processen till skissning för att ge de teoretiska lösningsförslagen en fysisk representation. Genom snabba idéskisser utforskades konceptens proportioner, ergonomi och placering av komponenter. Metoden gjorde det möjligt att tidigt identifiera potentiella problem i designen och att iterativt bygga vidare på varandras idéer. De resulterande skisserna användes därefter som ett underlag för att välja ut de mest lovande koncepten inför vidare modellering.

Moodboard

För att visualisera den estetiska riktningen hos de framtagna koncepten skapades en moodboard. Denna baserades främst på Systembolagets visuella identitet och de material som bedömdes relevanta för lösningen, framför allt stål och plåt.

4.4 Konceptgenerering & Konzeptutveckling

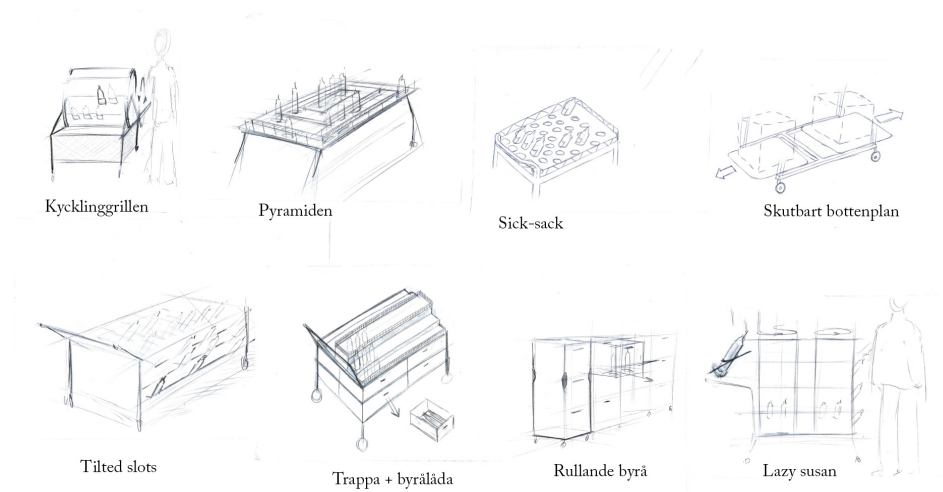
Detta kapitel redogör processen från inledande idéställning till färdig detaljkonstruktion. Genom systematiska utvärderingsmetoder, såsom Pugh- och Kesselringmatriser, utvärderades och kombinerades lösningsförslag för vagnens över- och underdel till ett optimalt helhetskoncept. Slutkonceptet genomgick därefter en fördjupad analys och detaljkonstruerades med hjälp av CAD och hållfasthetsberäkningar (FEA).

Skapa koncept

De framtagna koncepten baserades på en kombination av de mest relevanta dellösningarna från idégenereringsfasen. Ett nästa steg i konceptgenereringsprocessen var därför användningen av en konceptkombinationstabell. Detta gjordes med hjälp av programvaran *Morpheus* för att systematiskt generera lösningskombinationer med de tidigare genererade koncepten. Således kunde en mängd olika lösningskombinationer genereras. De lösningskombinationer som var inkompatibla och ej realiserbara sållades effektivt bort, och de kombinationer som var kompatibla och som ansågs realiserbara behölls i nästa runda av konceptställningen.

De framtagna koncepten baserades på olika principlösningar från idégenereringsprocessen. Dessa omfattade bland annat *Pyramiden*, *Kycklinggrillen*, *Lazy Susan*, *Sick-sack* samt *Vending Machine*. Därtill identifierades kompletterande lösningar såsom *Skjutbart bottenplan*, *Tilted slots* och *Byrålådan*.

Koncepten skiljde sig åt i hur flaskor exponeras, hanteras och förvaras, exempelvis genom roterande lösningar, lutade fack eller stegvis uppbyggnad. En översikt av de framtagna koncepten presenteras i Figur 4.5.



Figur 4.5: Idégenerering av olika koncept för slattvagnen, inklusive lösningar såsom *Tilted slots*, trappstruktur och roterande förvaring.

Kontroll mot krav

För att sälla bland de kvarstående konceptkombinationerna i konceptkombinationstabellen användes en elimineringsmatris, se Bilaga D. I elimineringsmatrisen listades en uppsättning krav som motsvarade elimineringskriterier. De koncept som inte uppfyllde samtliga kriterier eliminerades. För att möjliggöra samtliga kombinationer kombinerades samtliga över- och underdelar med varandra.

De tre första koncepten, som kombinerar *Kycklinggrillen* med *Byrålåda*, *Tilted slots* respektive *Skjutbart bottenplan*, eliminerades utifrån kravet på enkel styrning. Den roterande överdelen bedömdes försämra manövrerbarheten och bidra till instabilitet vid förflyttning.

Kombinationer med *Pyramiden* togs vidare då de uppfyllde samtliga listade kriterier. *Pyramiden* bedömdes vara stabil samtidigt som förvaring och synlighet av etiketter uppfylldes. De tre underdelarna ansågs fungera väl i kombination med överdelen.

Även *Trappans* samtliga kombinationer valdes för vidare sällning. Konceptet underlättar för användaren genom stabilitet och god möjlighet till förvaring. Precis som med *Pyramiden* bedömdes underdelarna fungera väl tillsammans med *Trappan*.

De koncept som baserades på principen *Vending Machine* eliminerades på grund av otillräcklig kapacitet samt en onödigt komplex konstruktion.

Sick-sack-konceptet valdes vidare i samtliga kombinationer då det uppfyllde samtliga krav. Genom att placera flaskorna i ett sicksackmönster möjliggörs god synlighet av etiketter utan att manövrerbarhet eller tillverkningskomplexitet påverkas negativt. Samtliga underdelar bedömdes vara kompatibla med överdelen.

Samtliga kombinationer baserade på *Lazy Susan*-principen valdes vidare för fortsatt utveckling då de uppfyllde alla krav. Den roterande överdelen möjliggjorde god överblick med enkel åtkomst till flaskorna. Samtliga tre underdelar bedömdes vara väl kompatibla med överdelen.

Konceptet där *Lazy Susan* utgör både över- och underdel eliminerades utifrån kravet på enkel styrning. Kombinationen av hög konstruktion samt risk för rotation vid förflyttning bedömdes försämra manövrerbarheten.

Även konceptet där *Byrålådan* utgör både över- och underdel eliminerades, detta utifrån kravet på synliggörande av etiketter. Förvaringen i slutna lådor begränsar synligheten och försvårar överblicken av innehållet.

Uppdelning av över- och underdel

Under konceptutvecklingen togs ett strategiskt beslut att dela upp den fortsatta utvecklingen och utvärderingen i två separata delsystem: en överdel och en underdel. Detta val grundade sig i insikten att de tekniska lösningarna för respektive del fungerade oberoende av varandra och därmed inte påverkade varandras funktion.

Genom att separera systemet i två moduler eliminerades ett onödigt och komplext kombinationsmoment. Om kompletta helhetskoncept hade utvärderats direkt hade mängden möjliga kombinationer blivit ohanterlig, vilket hade resulterat i utvärderingsmatriser med för många variabler och otydliga resultat. Uppdelningen minskade denna kombinatoriska komplexitet avsevärt och skapade en mer systematisk urvalsprocess.

Arbetsättet möjliggjorde fullt fokus mot att objektivt utvärdera och välja ut det mest lämpliga konceptet för överdelen, respektive underdelen. När dessa två optimerade delsystem hade identifierats via matriserna, kunde de slutligen slås samman för att generera den mest optimala och välfungerande helhetslösningen.

Grovsällning

De lösningskoncept för över- respektive underdel som passerade den inledande elimineringsmatrisen utvärderades därefter mer ingående med hjälp av Pugh-matriser. För att öka objektiviteten och tillförlitligheten genomfördes totalt fyra matriser, två för överdelar och två för underdelar.

Varje delsystem analyserades i två iterationer, där referenskonceptet skiftades mellan omgångarna. Det koncept som presterade bäst i den första jämförelsen användes sedan som referens i den andra, vilket möjliggjorde en mer nyanserad jämförelse och ett robustare beslutsunderlag för rangordning och slutgiltig selektion av koncept.

Utvärdering av överdelar

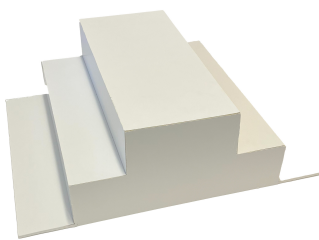
Utvärderingen av överdelarna inleddes med konceptet *Trappa* som referenslösning. I denna första Pugh-matrisen presterade konceptet *Sick-sack* bäst, varpå detta koncept flyttades över som ny referens i den andra matrisen. Konceptet *Lazy Susan* erhöll lägst poäng i den första jämförelsen, men inget koncept eliminerades direkt i detta skede då projektgruppen eftersträvade ett starkare beslutsunderlag innan slutgiltiga elimineringar. I den andra iterationen presterade *Trappa* och *Pyramid* likvärdigt, medan *Lazy Susan* återigen presterade tydligt sämst. Baserat på detta konsekventa resultat togs beslutet att eliminera *Lazy Susan*. De tre koncept för överdelen som därmed gick vidare i processen var *Trappa*, *Pyramid* och *Sick-sack*. För fullständiga Pugh-matriser med avseende på överdelarna, se Bilaga E.

Utvärdering av underdelar

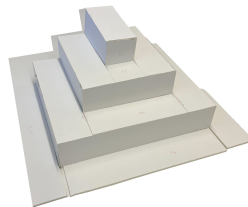
Ett motsvarande upplägg tillämpades därefter för underdelarna, där konceptet *Tilted slots* valdes som initial referens. Resultatet från den första matrisen visade att samtliga tre koncept presterade jämnt, vilket resulterade i att alla valdes vidare till nästa runda. Även i den andra Pugh-matrisen, med en ny referens satt, visade utvärderingen på en fortsatt jämn prestationsnivå. Eftersom inget av koncepten utmärkte sig som bristfälligt i förhållande till de andra, fattades beslutet att inte eliminera något i detta skede. Samtliga tre koncept för underdelen togs därmed vidare för fortsatt arbete: *Tilted slots*, *Skjutbart bottenplan* och *Byrålåda*. Se Bilaga F för redovisning av matriserna i sin helhet.

Prototyper i kapaboard

För att visualisera överdelerna *Pyramiden*, *Sick-sack* och *Trappan* gjordes prototyper i kapaboard. Delars skars ut och sattes ihop med limpistol. Det möjliggjorde utvärdering av koncepten då flaskor kunde placeras ut för att undersöka åtkomlighet, stabilitet och skala.



(a) Trappstruktur



(b) Pyramidstruktur



(c) Sick-sack-koncept

Figur 4.6: Kapaboard-prototyper framtagna för att utvärdera olika utformningar av vagnens övre flaskförvaring.

Viktning av kriterier och konceptval

I det avslutande steget viktades bedömningskriterierna för att fastställa deras relativa betydelse i konceptutvärderingen. Detta genomfördes med hjälp av en viktbestämningsmatris, se Bilaga G.

De framräknade viktningstalen kombinerades därefter med hur väl varje koncept uppfyllde respektive kriterium i en Kesselringmatris, se Bilaga H. I likhet med tidigare utvärderingar analyserades över- och underdelar separat.

Baserat på resultaten från Kesselringmatrisen valdes *Trappan* som överdel och *Tilted slots* som underdel, då dessa presterade bäst. Överdelen valdes främst på grund av god ergonomi och synlighet, medan underdelen valdes utifrån effektiv och stabil förvaring. Dessa kombinerades till en helhetslösning, vilken därefter togs vidare för fortsatt analys och detaljutveckling.

Vidare analys av konceptval

För att analysera konceptvalet utifrån ett ergonomiskt perspektiv tillämpades olika risk- och ergonomianalyser, däribland REBA, PEBA samt FMEA. Således kunde riskmoment och brister identifieras och motverkas i ett tidigt skede av utvecklingsprocessen.

REBA

En analys av de ergonomiska belastningar kroppen utsätts för vid hantering av lagervagnar genomfördes med hjälp av REBA (Rapid Entire Body Assessment), se Bilaga I. Analysen utfördes på både den befintliga kundvagnen samt det nya konceptet för att möjliggöra jämförelse av risknivåerna. Kroppen delades upp i två grupper där nacke, bål och ben utgjorde grupp A och överarm, underarm och handled grupp B. Vidare uppskattades huruvida olika vinklar och positioner påverkar de olika kroppsdelarna, vilket låg till grund för poängsättningen som utfärdades enligt REBA:s poängsystem.

Resultaten från REBA-analysen visade en stor skillnad mellan det befintliga systemet och det nya konceptet. Den nuvarande lösningen, där lådor lyfts ur kundvagnar, resulterade i ett REBA-värde på 11, vilket motsvarar en hög risknivå och indikerar krav på omedelbara åtgärder.

Det framtagna konceptet med *Trappan* och *Tilted slots* resulterade i ett REBA-värde på 3, vilket anses vara låg risk. Denna förbättring kan främst kopplas till minskade böjningar i ben och bål samt förbättrade arbetsställningar vid hantering av flaskor.

Analysen indikerar således att det nya konceptet märkbart reducerar den ergonomiska belastningen jämfört med den befintliga lösningen.

PEPA

Vidare tillämpades en PEPA-analys (Physical Ergonomics Product Assessment) i syfte att utvärdera hela arbetsprocessen vid hantering av lagervagnar, se Bilaga J. Arbetsprocessen delades upp i olika delmoment, såsom att lasta på, köra vagnen samt lasta av. För att möjliggöra en jämförelse bedömdes både den befintliga kundvagnen och det framtagna konceptet. Delmomenten bedömdes sedan med en skala på låg, medel eller hög belastning utifrån olika ergonomiska aspekter, däribland styrka och precision. Det var därefter möjligt att jämföra resultaten utifrån de ergonomiska belastningarna.

Slutsatsen från PEPA-analysen indikerade att den nuvarande kundvagnslösningen medför hög belastning i flera moment, speciellt vid hantering av lådor i den nedre delen. Dessa steg bedömdes ha hög belastning avseende grepp, axlar, styrka och rygg, vilket indikerar en ökad fysisk ansträngning för användaren.

Konceptet med *Trappan* och *Tilted slots* uppvisade genomgående lägre ergonomiska belastningsnivåer. Vardera moment bedömdes i huvudsak som låg eller medel belastning, där särskild optimering noterades vid lastning och avlastning av flaskor. Den reducerade belastningen kan kopplas till förbättrade arbetshöjder samt att tunga lyft från golv elimineras.

Analysen indikerar att det nya konceptet ger en mer ergonomisk arbetsprocess jämfört med den nuvarande lösningen.

FMEA

För att utvärdera systemets tillförlitlighet och identifiera potentiella svagheter i konstruktionen tillämpades metoden FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), se Bilaga K. Arbetet inleddes med att slattvagnen bröts ned i sina huvudsakliga komponenter, däribland hjul, vagnram, handtag och trappa. För varje specifik del kartlades därefter tänkbara felsätt, deras bakomliggande orsaker samt vilka konsekvenser ett eventuellt fel skulle medföra för helhetens funktion.

Bedömningen kvantifierades genom att poängsätta allvarlighetsgrad, sannolikheten för att felet inträffar samt möjligheten att upptäcka det. Genom att multiplicera dessa tre parametrar genererades ett riskprioritetstal (RPN) för varje enskild risk. Detta resultat fungerade sedan som ett konkret underlag för att formulera rekommenderade åtgärder – såsom anvisningar kring maxlast, regelbunden smörjning och underhåll, i syfte att säkerställa vagnens hållfasthet och minimera risken för framtida materialbrott och slitage.

Resultaten från FMEA-analysen indikerade att de mest kritiska riskerna återfinns i hjulen och vagnramen, där materialbrott uppnådde det högsta riskprioritetstalen, $RPN = 100$. Dessa fel anses ha hög allvarlighetsgrad då de kan leda till att hela konstruktionen förlorar sin funktion.

Även sprickbildning och deformation i flera komponenter, såsom *Trappa*, ram och *Tilted slots* uppvisade höga RPN-värden, vilket indikerar risk för sämre stabilitet vid belastning. Vidare identifierades korrosion som en upprepad riskfaktor, särskilt i fuktiga miljöer.

Analysen visar därmed att konstruktionens materialval och hållfasthet är avgörande för att säkerställa god användning över tid. De rekommenderade åtgärderna fokuserar på att säkerställa korrekt montering, begränsa belastning samt förebygga slitage genom underhåll.

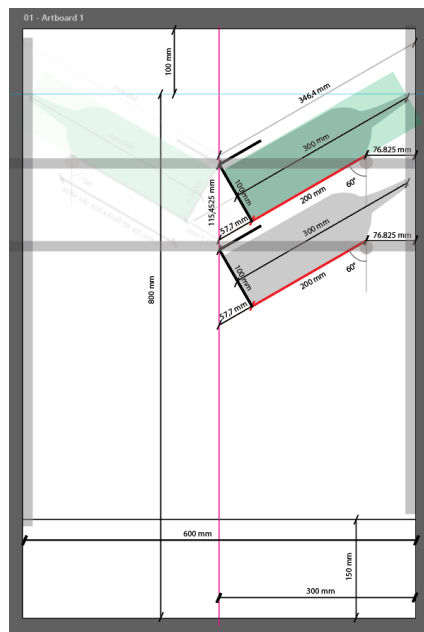
5

Konstruktion och prototypbygge

I detta kapitel beskrivs hur konstruktionsarbetet, prototypbygget samt hur test och utvärdering genomförts. Inledningsvis skapades CAD-modeller med hjälp av det slutgiltiga konceptet och förenklade ritningar som konstruktionsunderlag. När CAD-modellerna var färdigställda kunde prototypbygget påbörjas med hjälp av upprättade 2D-ritningar för den fysiska prototypens komponenter. Slutligen utfördes tester och utvärderingar av den fysiska prototypen på Systembolaget.

5.1 CAD och konstruktion

Med skisserna på det slutgiltiga konceptet som underlag upprättades förenklade ritningar med angivna mått, se Figur 5.1. Dessa användes som design- och konstruktionsunderlag i CAD. Vidare användes även relevant information från den framställda behov- och kravlistan som design- och konstruktionsunderlag.



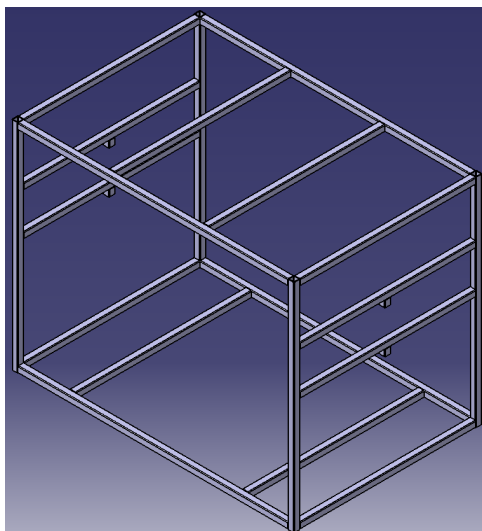
Figur 5.1: Geometrisk dimensionering av *Tilted slots*, använd som underlag för CAD-modellering.

Vagnram

I CAD-miljön modellerades vagnramen med utgångspunkt i fyra olika fyrkantströr som grundkomponenter, se Bilaga L, M, N & O. För att effektivt bygga upp ramstrukturen användes mönsterfunktionen (*pattern*), vilket tillät en systematisk upprepning av geometrin.

Detta arbetssätt valdes för att underlätta framtida ändringar av modellen, exempelvis godstjocklek, radier eller dimensioner. Genom att utgå från en parametrisk uppbyggnad kunde justeringar genomföras centralt och snabbt appliceras på alla relaterade komponenter.

Den färdiga modellen av ramen integrerades därefter i den övergripande sammanställningsmodellen, se Figur 5.2. Valet av fyrkantströr motiverades av kraven på att vagnramen skulle vara en lastbärande och stabil konstruktion.



Figur 5.2: Vagnramen i CAD-programmet CATIA V5.

När vagnramen och tillhörande modellerade komponenter var färdigställda, upprättades detaljerade 2D-ritningar för samtliga delar med hjälp av CAD.

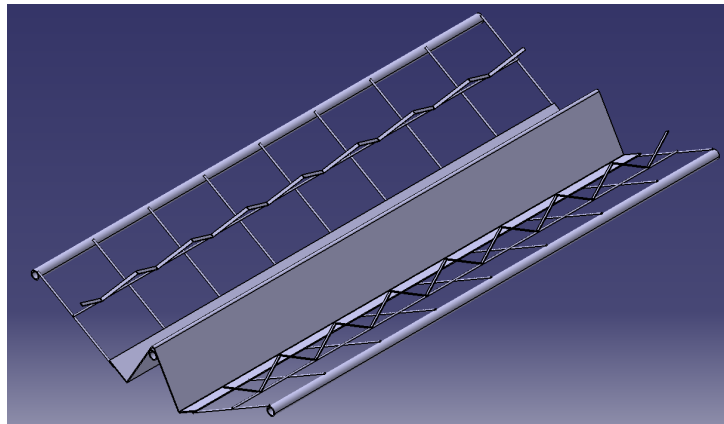
Tilted slots

Vagnens underdel *Tilted slots* konstruerades i CAD som en integrerad konstruktion bestående av bockad plåt, metalpinnar, samt stödjande rör. Den bockade plåten modellerades från en skiss av en W-liknande profil som extruderades och erhöll en tjocklek, vilket skapade stöden för flaskorna.

Metallpinnarna modellerades som en komponent och återskapades med hjälp av mönsterfunktionen (*pattern*), vilket förenklade modellering och säkerställde jämn fördelning längs med plåten. De stödjande rören positionerades symmetriskt i konstruktionen, där två rör stabiliserar pinnarnas infästning i ändarna. Ett centralt rör fungerar som ett bärande stöd för plåten, se Figur 5.3.

Vinkeln på de lutande facken bestämdes för att balansera funktionalitet och ergonomi. Lutningen möjliggör att flaskorna förvaras stabilt med hjälp av gravitationen samtidigt som de är lättillgängliga för användaren.

Plåten och metallpinnarna modellerades för att vila på de större metallrören, vilket definierar konstruktionens lastvägar och geometri i modellen. De olika komponenterna positionerades med avseende på stabilitet och symmetri.



Figur 5.3: Tilted slots i CAD-programmet CATIA V5.

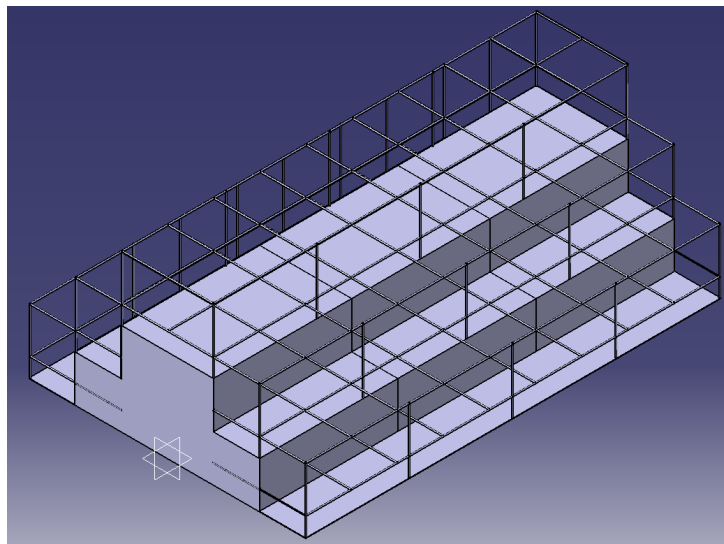
Vidare modellerades separata flaskhållare i bockad plåt med kapacitet att stabilisera åtta vinflaskor per sida. Dessa placerades på tvärgående metallpinnar för att skapa stabil förvaring samt uppdelning av flaskor.

När *Tilted slots*-modellen var färdigställd kunde en detaljerad 2D-ritning upprättas med hjälp av CAD, vilken användes som underlag under tillverkningen.

Trappan

Vagnens överdel, *Trappan*, konstruerades i CAD som en parametriskt uppbyggd modell bestående av en bockad plåtprofil, stödväggar samt ett rutnät av pinnar. Den grundläggande trappformen skapades utifrån en skiss som extruderades och erhöll en tjocklek. Alltså skapades hela trappgeometrin med en skiss med specifik måttsättning. Stödväggarna konstruerades också med en skiss som sedan extruderades. För att skapa fyra stödväggar med jämnt avstånd mellan dem användes mönsterfunktionen (*pattern*). Funktionen av dessa väggar är att stabilisera strukturen och reducera belastningen av flaskorna på vagnramen.

Rutnätet modellerades genom att skapa ett få antal metallpinnar som därefter återskapades med hjälp av mönsterfunktionen och spegling, vilket skapade separata fack för varje flaska. Detta arbetssätt möjliggjorde enkel justering av dimensionering och avstånd i efterhand. Den färdigställda modellen integrerades därefter i den övergripande sammanställningen, se Figur 5.4.

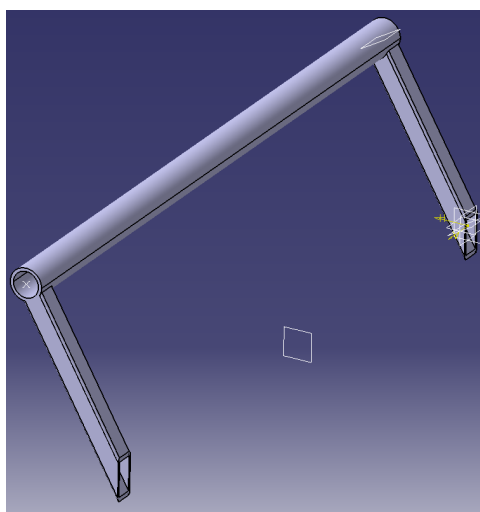


Figur 5.4: Trappan i CAD-programmet *CATIA V5*.

När *Trappan* var färdigställd upprättades en detaljerad 2D-ritning i CAD-programmet.

Handtag

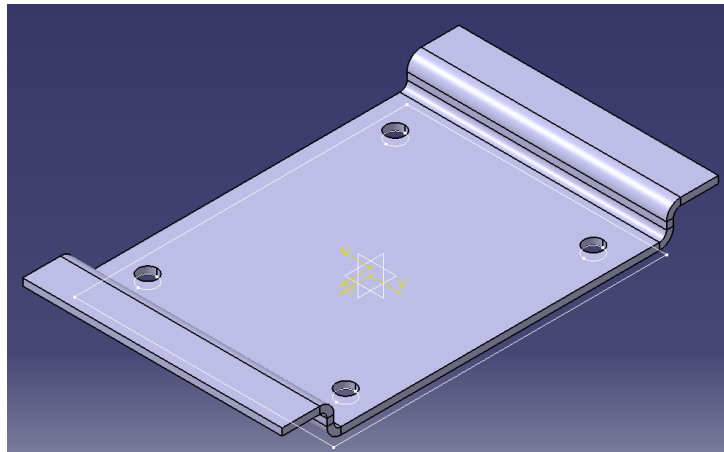
Handtaget konstruerades i CAD som en enhetlig modell bestående av två fyrkantströr och ett metallrör. Detta gjordes inledningsvis med skisser och vinklade plan. Skisser på fyrkantströren konstruerades med vinklade nedre ändar för enkel montering på vagnramen genom svetsning. Därefter extruderades skissen på fyrkantströren och speglingsfunktionen användes för att symmetriskt spegla den. Vidare konstruerades metallröret med en skiss på fyrkantströrens övre ändar, vilken sedan extruderades. Detta gjordes för att förenkla den övergripande sammansättningsmodellen av slattvagnen, se Figur 5.5. Därefter upprättades en detaljerad 2D-ritning i CAD-programmet, se Bilaga P.



Figur 5.5: Handtaget i CAD-programmet *CATIA V5*.

Hjulinfästning

Hjulinfästningen konstruerades med hjälp av CAD som en separat komponent bestående av en skiss och extrudering av skissen. Den konstruerades med dimensioner för att uppnå tillräcklig styvhet. Detta gjordes för att minimera risken för deformation under belastning. Vidare dimensionerades hjulinfästningen för att säkerställa kompatibilitet med hjulen vid montering med standardiserade fästelement som skruvar, muttrar och brickor. Hjulinfästningen försågs även med bökade flänsar för att möjliggöra enkel sammanfogning med vagnramen genom svetsning, se Figur 5.6. De bökade flänsarna gjordes med en böckningsfunktion i CAD.



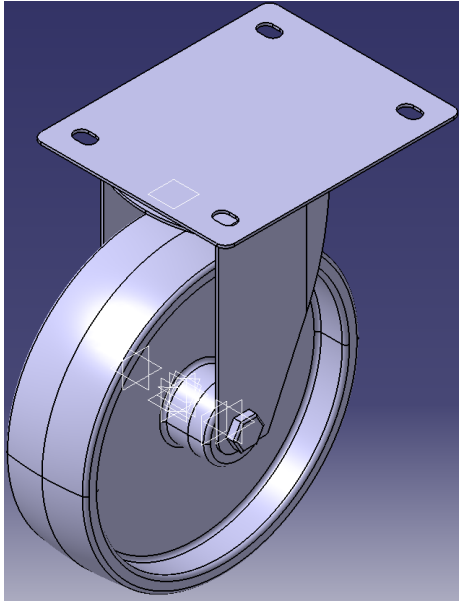
Figur 5.6: Hjulinfästning i CAD-programmet CATIA V5.

Därefter upprättades en detaljerad 2D-ritning på hjulinfästningen, se Bilaga Q.

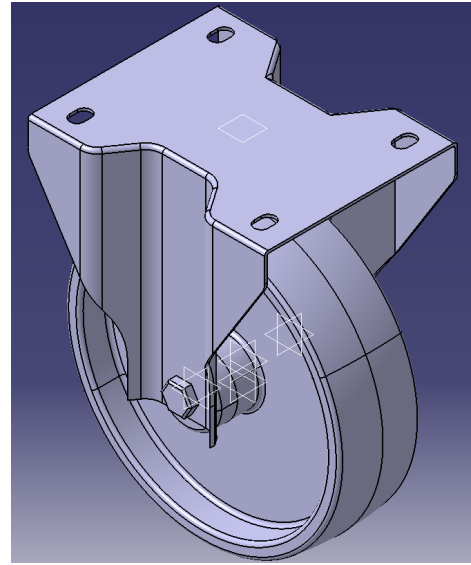
Hjul

Hjulen till slattvagnen modellerades i CAD-programmet med separata komponenter för att efterlikna de valda hjulen som beställdes till vagnen, se Figur 5.7. Hjulens komponenter modellerades med hjälp av flera skisser, extruderingar, speglingar och avlägsnande av material, för att återskapa hjulens komplexa geometrier. De valda hjulen var svängbara och fasta.

De svängbara avsågs monteras på vagnensramens bakre del för förbättrad manövrerbarhet medan de fasta avsågs monteras på vagnramens främre del. Med hjulen i CAD-miljön kunde slattvagnens höjd kontrolleras och ge en visuell uppfattning av slattvagnen. Inga ritningar på hjulen upprättades med hjälp av CAD eftersom det ej ansågs vara nödvändigt.



(a) Svängbart hjul i CAD-programmet *CATIA V5*.



(b) Fast hjul i CAD-programmet *CATIA V5*.

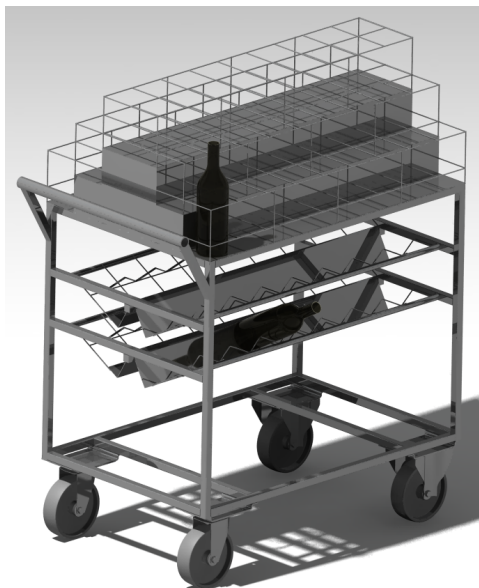
Figur 5.7: Slattvagnens svängbara och fasta hjul modellerade med hjälp av CAD.

Övergripande sammanställningsmodell

När slattvagnens samtliga komponenter och delar var konstruerade och modellerade i CAD-miljön kunde de sammansättas till en fullständig modell i form av en övergripande sammanställningsmodell (*assembly*). I CAD-miljön kunde slattvagnen visualiseras och utvärderas för potentiella brister i dess konstruktion och design. Vidare kunde även *Trappans* och *Tilted slots* testas med hjälp av en modellerad vinflaska i CAD. Vinflaskans syfte var att verifiera om en vinflaska med dimensioner baserade på mätningar av vinflaskor på Systembolaget kunde placeras i *Trappans* fack och *Tilted slots* flaskhållare. Med hjälp av sammanställningsmodellen i CAD-miljön kunde en god förståelse för slattvagnens konstruktion och potentiella brister erhållas, se Figur 5.8.

Vidare kunde material appliceras på slattvagnens individuella komponenter och delar i CAD-miljön, vilket gav en approximativ vikt av slattvagnen. I CAD-programmet valdes stål på grund av dess goda materialegenskaper vid konstruktion och tillverkning. Med hjälp av den approximativa vikten kunde rimligheten av vagnens dimensioner bedömas.

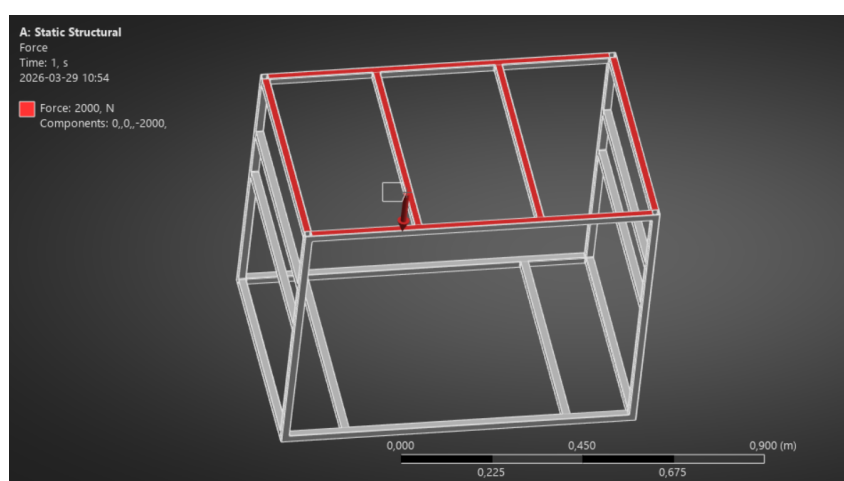
När den övergripande sammanställningsmodellen av slattvagnen var färdigställd upprättades en detaljerad sprängskiss med tillhörande materialförteckning, BOM (Bill of Material). Syftet var att ge en övergripande bild av slattvagnens ingående komponenter och delar, se Bilaga R.



Figur 5.8: Den övergripande sammanställningsmodellen av slattvagnen med vinflaskor i CAD-programmet *CATIA V5*.

FEA

När den övergripande sammanställningsmodellen av slattvagnen var färdigställd kunde vagnramens CAD-modell konverteras till en STEP-fil. Med den konverterade CAD-modellen kunde den importeras till FEA-programmet *Ansys*, varefter CAD-modellen diskretiserades. I *Ansys* tilldelades modellen randvillkor och yttre belastningar för att simulera vagnramens konstruktion under verklig användning. Med resultat som maximala spänningar och deformationer från simuleringar på vagnramen, kunde relevant information erhållas för att bedöma om vagnramens konstruktion var adekvat, se Figur 5.9.



Figur 5.9: Lastfall applicerat i FEM-analys med en kraft om 2000 N i z-led

Vidare utfördes även hållfasthetsanalyser i syfte att hitta de optimala dimensionerna på fyrkantsrören. Detta utfördes med hjälp av fem olika dimensioner på ramen. Hållfasthetsanalyser utfördes även med egenutvecklade FEA-modeller i programmeringsspråket *Python*. Syftet med detta var att jämföra resultaten från respektive FEA-program.

Rendering

Renderingsverktyget *Vred* användes slutligen för att generera fotorealistiska bilder av den färdiga modellen. I renderingsprocessen tilldelades färger, materialegenskaper och ljussättning för att skapa en realistisk representation av produkten. Syftet med renderingarna var att förtydliga designens utformning samt underlätta kommunikation av koncept i presentation och rapport.

5.2 Prototypbygge

Rambygge

Innan tillverkningen påbörjades skrevs detaljerade ritningar ut baserade på CAD-modellen i *CATIA V5*. Ritningar för samtliga delar användes som underlag under hela byggprocessen. Dessa innehöll måttsättning och komponentindelning, vilket möjliggjorde noggrann kapning, positionering och montering av samtliga delar. Genom att kontinuerligt återkoppla till ritningarna säkerställdes att bygget överensstämde med den planerade designen.

Tillverkningen av vagnens huvudsakligt bärande ram påbörjades med kapning av fyrkantsrör, 20×20×2 mm. För att minimera materialspill planerades kapningen genom att samtliga längder först mättes upp och optimerades utifrån standardlängder på tre meter. Rören kapades därefter i kallsåg med skärvätska för att säkerställa god snittkvalitet och hög precision.



Figur 5.10: Kapning av fyrkantsrör i bandsåg under tillverkningsprocessen.

Efter kapning avlägsnades grader och ojämnheter genom filning. Detta förbättrade passformen inför svetsning och minskade även risken för skärsår vid hantering. Ramens konstruktion delades upp i separata delmoment där kortsidor, botten och överdel först sammanfogades individuellt innan de monterades ihop till en komplett struktur.



Figur 5.11: Ramkonstruktion i stål under tillverkningsprocessen. Tvärgående balkar är punktade för att skapa en stabil struktur.

För att säkerställa geometrisk noggrannhet lades stor vikt vid uppmätning och fixturering. Fyrkantsrören fixerades i svetsbord och kontrollerades med längdmätningar, diagonalmätningar och vinkelmätningar för att verifiera att konstruktionen var vinkelrät och symmetrisk innan slutlig sammanfogning.



(a) Montering av ramens sidostruktur.



(b) Färdigsvetsad ramkonstruktion.

Figur 5.12: Tillverkningsprocess av slattvagnens ram, från montering till färdig struktur.

Sammanfogningen utfördes med MIG/MAG-svetsning. Inledningsvis punktades komponenterna samman för att fixera geometrin, varefter kontinuerliga svetssträngar applicerades. Detta arbetssätt var nödvändigt för att minimera deformationer i materialet, såsom skevhet och böjning, vilka kan uppstå vid hög värmetillförsel under längre svetstider. Vid svetsningen anpassades parametrar såsom trådmatningshastighet och spänning efter materialets tjocklek för att säkerställa tillräcklig inträngning och hållfasthet i fogarna. Synliga svetsfogar på ramens utsida slipades även ned med vinkelslip för förbättrad ytjämnhet och estetik.

Tillverkning av trappstruktur

Trappstrukturen tillverkades i 1 mm stålplåt och utgör en viktig del av vagnens funktionella utformning. Plåten klipptes initialt till rätt dimensioner med hjälp av gradsax, vilket möjliggjorde raka snitt med hög precision. Därefter bockades plåten i en kantbockningsmaskin för att skapa trappgeometrin.



(a) Bockning av plåt för *Trappan*.



(b) *Trappan* ovanpå ramen.

Figur 5.13: Tillverkning av underdelens lutade flaskfack (*Tilted slots*).

För att stödja trappstrukturen konstruerades fyra separata stödelement som står ovanpå ramen. Dessa tillverkades i 1 mm stålplåt och sågades ut med bandsåg, vilket möjliggjorde mer komplex geometri än vad gradsaxen tillåter. Efter kapning bearbetades kanterna genom filning och slipning för att säkerställa god passform mot den bockade trappstrukturen.



Figur 5.14: Plåtfläns för trappstrukturen på överdelen.

Stödelementen utformades med flänsar för infästning. Dessa bockades manuellt genom fastspänning i städ och plastisk deformation med försiktiga hammarslag. Detta möjliggjorde anpassning till önskad vinkel trots avsaknad av dedikerad kantpress för denna geometri.

Slutligen positionerades stöden på undersidan av trappstrukturen och sammanfogades genom punktsvetsning med MIG/MAG, vilket resulterade i en styv och självbärande konstruktion.

Tillverkning av Tilted slots

Innan tillverkningen påbörjades genomfördes en designändring av flaskhållarna baserat på återkoppling från verkstadspersonalen i Prototyplabbet. Den ursprungliga utformningen med halvcirkelformade hållare ersattes med en V-formad geometri, då denna bedömdes ge bättre stabilitet för flaskor i olika storlekar.

De lutade facken, så kallade *Tilted slots*, designades med en bärande struktur bestående av cirkulära stålrör. Dessa fungerar som primärt stöd för den ovanliggande W-formade plåtdelen och de lagrade flaskorna. Rören kapades till rätt längd med kallsåg för att uppnå precision och repeterbarhet i tillverkningen. Därefter positionerades och fixerades rören i ramen enligt ritning, varefter de sammanfogades genom svetsning.

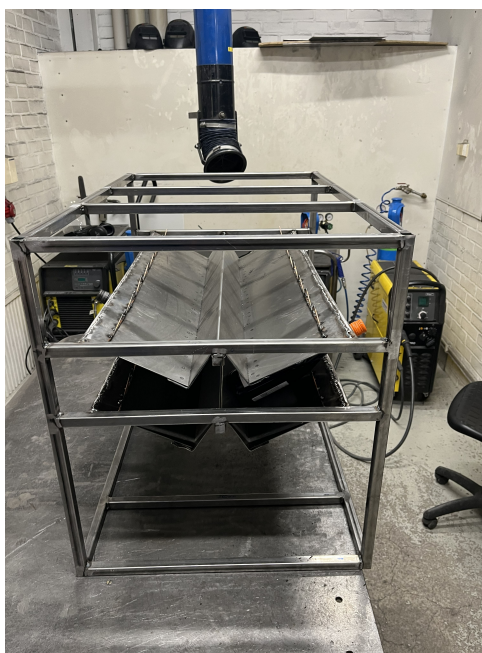
Ovanpå rören monterades en bärande plåt med W-formad profil, vilken utgör den centrala stödytan för flaskorna i konstruktionen. Plåten kapades i gradsax och bockades till önskad geometri med korrekt vinkel för att möjliggöra stöd av flaskor på båda sidor om centrumlinjen. Den bockade plåten svetsades därefter fast i rörstrukturen.

Enligt de ursprungliga ritningarna utformades stöden mellan den bockade plåten och cirkelrören som separata pinnar i kopparbelagd ståltråd med en diameter på 3 mm. Pinnarna sågades till rätt längd och svetsades fast i den bockade plåten samt i de yttre rören för att stödja flaskorna. Efter sammanfogning identifierades dock brister i lösningen, då pinnarna uppvisade svag infästningsstyrka och skapade oönskat hög ljudnivå vid skakning av ramen.

Därför ersattes de stödjande pinnarna med en sammanhängande plåt i 1,5 mm stål, vilket gav en mer robust och ljuddämpad konstruktion. Plåten svetsades fast i anslutning till den W-formade plåten med en bärbar punktsvets och sammanfogades därefter med cirkelrören med MIG/MAG-svetsning för säker infästning.



Figur 5.15: Montering av flaskhållare och interna stödstrukturer i ramkonstruktionen.



Figur 5.16: Integrering av plåtkonstruktion med lutande flaskspår i den svetsade ramen.

Parallellt tillverkades även flaskstöd avsedda att stabilisera flaskorna i de lutade facken. Dessa tillverkades av 3 mm stålpinnar som bockades till önskad geometri för att skapa ett stöd anpassat efter flaskans form. Pinnarna sammanfogades därefter med en längsgående stång, vilket resulterade i en stabil enhet för varje fack. Sammanfogningen utfördes med TIG-svetsning och stöden fästes slutligen ovanpå den 1,5 mm tjocka plåten. Den exakta placeringen bestämdes genom test med referensvinflaskor. Totalt tillverkades fyra flaskstöd, ett för varje fack i konstruktionen.



Figur 5.17: Test med vinflaska

Tillverkning av handtag

Handtaget tillverkades av ett cirkulärt stålrör som kapades till önskad längd med kallsåg. För att förbättra ytfinishen och säkerställa jämna och avgradade ändtor bearbetades rörändarna genom svarvning. Detta möjliggjorde en mer ergonomisk och användarvänlig utformning, samtidigt som vassa kanter reducerades.

Infästningen av handtaget i ramen tillverkades av fyrkantsrör som kapades till rätt längd och vinkel med kallsåg. Dessa fungerade som bärande anslutning mellan handtaget och ramen. Komponenterna positionerades enligt ritning och sammanfogades med handtaget innan slutlig infästning i ramkonstruktionen.

Tillverkning av hjulinfästningar

Hjulinfästningarna designades först enligt ritningarna med dubbla bockningar av plåt för att skapa en styv och självbärande geometri. Efter praktiska bockningstester i verkstaden med 3 mm plåt identifierades dock att denna geometri var svår att uppnå på grund av materialets tjocklek och tillgängliga verktyg. Ett designbeslut fattades därför att i stället använda en enkel bockning, vilket möjliggjorde en mer effektiv infästning genom svetsning direkt i anslutning till ramen.

I samband med detta genomfördes även en mindre dimensionsändring jämfört med ritningarna. Två av fyrkantsrören i botten av ramen upptäcktes vara dimensionerade efter felaktiga mått, vilket krävde en justering av hjulinfästningarnas längd med 20 mm.

Efter bockning bearbetades infästningarna genom håltagning i pelarborrmaskin, där hålbilden

anpassades efter hjulens standardiserade infästningar. För att säkerställa korrekt passform genomfördes även gradning av hållkanter. Plåtarna fästes därefter på undersidan av ramen genom svetsning. Infästningen mellan hjul och plåt realiserades med skruvförband bestående av bult, mutter och bricka.

Montering av prototyp

Det avslutande steget i prototypbygget var montering och sammanfogning av ramen, trappstrukturen, handtaget och hjulinfästningarna. Arbetet inleddes med tillverkning av det nät som utgör flaskornas individuella fack ovanpå trappstrukturen. Ett färdigt nät av zinkgalvaniserade stålpinnar kapades till rätt dimensioner med hjälp av tänger och bandsåg. På grund av materialets zinkbeläggning genomfördes slipning för att avlägsna zink i svetszonerna, vilket minskar risken för exponering av zinkångor vid svetsning. Detta moment var tidskrävande. De kapade pinnarna fixerades därefter i position och punktsvetsades mot trappstrukturen med MIG/MAG-svetsning.

Vidare placerades ramkonstruktionen på ett plant riktbord för att säkerställa planhet vid montering av hjulen. Hjulinfästningarna positionerades med en mindre justering från ritningarna, cirka 10 mm in från ramen, för att möjliggöra plats för skruvförbanden. Infästningarna svetsades därefter fast mot ramen. Där det krävdes användes distanser för att säkerställa parallellitet mot underlaget.

Efter detta svetsades den färdigställda trappstrukturen fast i ramen, följt av montering av handtaget. Avslutningsvis genomfördes efterbearbetning av konstruktionen genom slipning av vassa kanter och svetsfogar med vinkelslip. Detta gjordes både ur säkerhetssynpunkt och för att uppfylla krav på användarvänlighet.

Bottenplanet tillverkades separat i träverkstad av en träskiva som kapades till rätt dimensioner med bordsåg och handsåg. Detta ingick inte i de ursprungliga ritningarna, utan tillkom som lösning under byggprocessen. Ett första försök gjordes att fästa skivan med metallepxi, vilket visade sig vara otillräckligt för applikationen. Som följd valdes i stället en mekanisk infästning där skivan skruvades fast direkt i ramen med självborrande skruv.

Efter att samtliga huvudkomponenter sammanfogats målades konstruktionen med hammarlack, vilket valdes för att ge en slitstark yta anpassad för användning i butiksmiljö. Konstruktionen lämnades därefter att torka innan hjulen monterades med skruvförband bestående av bult och mutter, vilket möjliggör demontering vid behov av underhåll eller utbyte.

5.3 Testupplägg och utvärderingsmetod

När prototypen av slattvagnen var byggd beslutades att genomföra praktiska användartester på Systembolaget i Landala för utvärdering. Prototypen transporterades till Systembolaget och testerna påbörjades omgående. De initiala användartesterna testade huruvida prototypen kunde hantera fullastning med vinflaskor på dess över- och underdel. Vidare testades om prototypen kunde lastas med en låda fylld med små vinflaskor på dess bottenplatta. Därefter utfördes även tester med avseende på vagnens manövrerbarhet och hjulens rullmotstånd vid full last. Dessutom observerades om skrammel uppstod när vagnen transporterade vinflaskorna i butiksmiljön.

Efter de initiala användartesterna var utförda av arbetsgruppen överlämnades prototypen till personalen på Systembolaget. Detta gjordes för att personalen skulle ges möjligheten att testa prototypen under verkliga arbetsförhållanden i butiksmiljön. Dessutom gavs personalen även möjlighet att utvärdera huruvida prototypen var tillräckligt ergonomisk samt om den underlättade hanteringen av överblivna flaskor, så kallade *slattar*.

6

Resultat: slutkoncept, dimensionering och utvärdering

Detta kapitel redovisar projektets huvudsakliga resultat: identifierade behov och krav, genererade koncept, valt slutkoncept, konstruktionens dimensionering, hållfasthetsanalys samt prototypens kostnad och preliminära testresultat. Resultaten presenteras i relation till projektets syfte och frågeställning, med fokus på hur lösningen bidrar till förbättrad ergonomi, ökad överblick och effektivare hantering av överblivna flaskor.

6.1 Genererade koncept

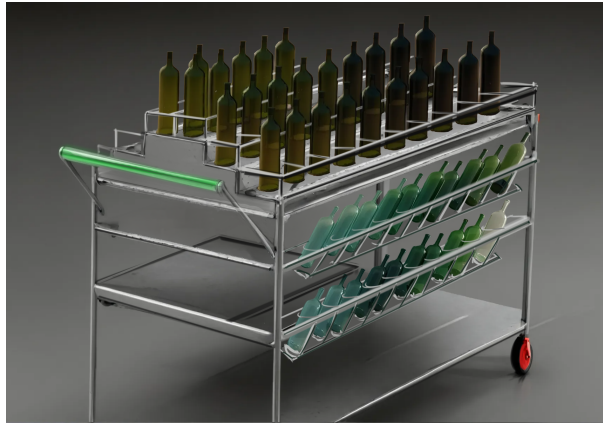
Utifrån de ställda behoven och kraven genererades en rad lösningskoncept. Många koncept blev olika varianter av en vagn. Utifrån dessa valdes några ut som ansågs uppfylla de krav som ställdes. Det blev tre lösningar för överdelen av vagnen, och tre för underdelen. Med andra ord fanns det nio olika kombinationer.

Ett koncept för överdelen som togs fram var *Pyramiden*, se Figur 6.1.



Figur 6.1: Koncept med pyramidstruktur för ökad överblick från flera riktningar.

Den består av tre nivåer av plan i form av en pyramid. Tanken var att ge bra överblick över alla flaskor och deras etiketter. Formen av en pyramid ger bra överblick från alla sidor av vagnen. Flaskorna skulle även vara avskilda med fack av pinnar. Pinnarna skulle förhindra flaskorna från att falla ut samt från att slå mot varandra. Vidare gjordes en variant av *Pyramiden* som kom att kallas *Trappan*, se Figur 6.2.



Figur 6.2: Konceptet *Trappan* med tre nivåer för förbättrad synlighet av flaskor.

Trappan likt *Pyramiden* har tre nivåer där flaskorna står, avskilda i fack av pinnar. Skillnaden är att *Trappan* har formen av en trappa på vardera sida av vagnen. Fördelen med denna, till skillnad från *Pyramiden*, är att antalet synliga flaskor maximeras från båda sidor av vagnen. *Pyramiden* är mer anpassad till alla sidor av vagnen, men skymmer därför lite fler flaskor.

Det sista konceptet för överdelen maximerar överblicken av flaskor för den som kör vagnen, den kallades *Sick-sack*, se Figur 6.3.

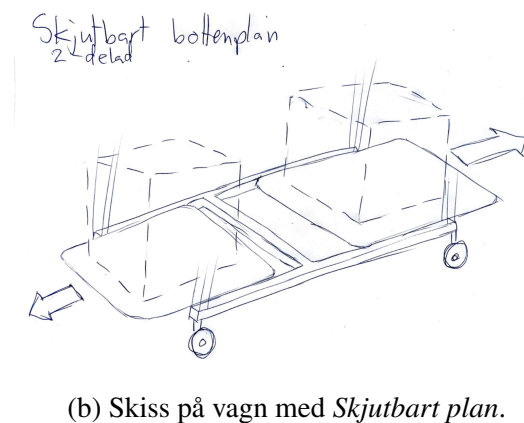
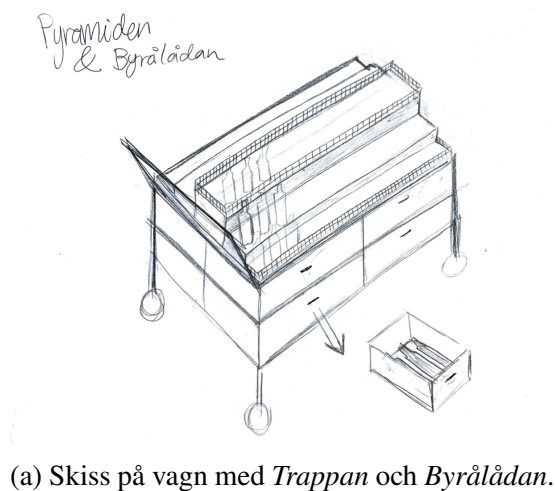


Figur 6.3: Koncept med lutad flaskplacering i sick-sackmönster för maximal synlighet från en sida.

Här är flaskorna i ett sick-sackmönster för att samtliga etiketter ska vara synliga för föraren. De är även lutade för ytterligare synlighet av etiketter. Nackdelen med detta koncept är att det

bara finns en optimal sida att se flaskorna från. Mellanrummen mellan flaskorna minskar även vagnens kapacitet. Eftersom alla koncept var av samma ytmått betydde detta att *Sick-sack* skulle få plats med minst antal flaskor.

I underdelen av vagnen ansågs kravet för synlighet mindre viktigt. Här prioriterades effektiv förvaring men framförallt ergonomisk och smidig lastning och avlastning av flaskor. Det första konceptet, *Byrålådan*, hade helt enkelt fyra utdragbara lådor på varje sida av vagnen, se Figur 6.4a. I dessa lådor skulle det få plats cirka fyra flaskor i vardera. Att lådorna var utdragbara skulle förhindra att personalen behövde böja sig och sträcka sig under vagnen för att nå en flaska. Dock skulle det också tillföra ett extra moment för att nå en flaska. Det andra konceptet består av ett bottenplan som är uppdelat i två skjutbara plan, se Figur 6.4b. Tanken var att det skulle få plats två eller fler lådor med flaskor i. Nackdelen med detta konceptet kan vara att balansen i vagnen blir skev, med ett utdragbart plan med tunga lådor. Det sista konceptet, *Tilted slots*, består av några lutade hyllor under vagnen med fack för flaskor, se Figur 6.4c. Här elimineras momentet där man måste dra ut något och sedan greppa flaskan. Hyllorna är lutade för att möjliggöra en lätt rörelse för av- och pålastning.



Figur 6.4: Skisser på de genererade koncepten för slattvagnens utformning.

Vid jämförelse mellan koncepten för överdelen bedömdes *Trappan* ge den bästa helhetslösningen i relation till de uppställda kraven. *Pyramiden* som är väldigt snarlik erbjöd god överblick från flera riktningar men utnyttjade volymen sämre och skymde fler flaskor. *Sick-sack*-konceptet gav mycket god synlighet från en riktning, men hade lägre kapacitet och var mer beroende av överblick från en enda riktning.

Trappan valdes eftersom den gav en god överblick över flaskorna i praktiska arbetssituationer, särskilt när vagnen placeras intill exempelvis en vägg eller i en gång. Samtidigt möjliggör trappstrukturen en tydlig och strukturerad sortering av flaskor, vilket var ett av de viktigaste kraven.

Utöver detta bedömdes *Trappan* vara fördelaktig ur ett tillverkningsperspektiv, då konstruktionen kan tillverkas genom böckning av plåt i en sammanhängande del. Sammantaget gav detta en lösning som kombinerar hög kapacitet, god överblick, användbar sortering och relativt enkel tillverkning.

6.2 Identifierade behov och krav

Det valda slutkonceptet *Trappan* som överdel kombinerat med *Tilted slots* som underdel är ett direkt svar på de behov och krav som identifierades i förstudien och behovsanalysen. Det tydligaste användarproblemet som identifierades var bristen på överblick och sortering med flaskor som förvarades blandade i lådor och kundvagnar utan möjlighet att snabbt urskilja sort eller antal. Detta behov omsattes till kravet på god synlighet av etiketter och möjlighet till sortering. Trappans nivåskillnader på 100 mm adresserar detta direkt genom att flaskorna placeras på olika höjder utan att flaskor skymmer varandra, vilket inte är möjligt i en traditionell kundvagn.

Det andra centrala behovet är gällde ergonomi. Nulägesanalysen visade att det befintliga arbetssättet genererade ett REBA-värde på 11, vilket klassas som hög risk och kräver omedelbara åtgärder. Kravet på ergonomisk arbetshöjd ledde till att trappstegen dimensionerades till 900, 1000 respektive 1100 mm. *Tilted slots* valdes som underdel framför *Byrålådan* och *Skjutbart bottenplan* eftersom det eliminerar behovet av att böja sig ned och sträcka sig under vagnen samtidigt som dessa kräver fler arbetsmoment än *Tilted slots*.

Kravet på kapacitet om minst 70 flaskor som sattes utifrån de befintliga kundvagnarnas kapacitet som miniminivå uppfylls av slutkonceptet med 86 flaskor, vilket möjliggör att flera kundvagnar kan ersättas och därmed minskar antalet transporter mellan lager och butik. Sammantaget är slutkonceptet inte resultatet av en enskild designpreferens, utan en konsekvens av identifierade behov omsatta till mätbara krav och utvärderade systematiskt genom elimineringsmatris, Pugh-matriser och Kesselringmatris.

De mest styrande kraven sammanfattas i Tabell 6.1 nedan. Dessa behov omvandlades till krav som låg till grund för konceptgenerering och dimensionering av vagnen. De mest styrande kraven var sortering, överblick, kapacitet, ergonomisk åtkomst, säker transport av flaskor samt att lösningen inte skulle skapa fler arbetsmoment än dagens arbetssätt.

Tabell 6.1: Sammanställning av hur slutkonceptet uppfyller centrala krav.

Krav	Uppfyllnad	Kommentar
Möjliggöra sortering av flaskor	Uppfyllt	Trappstruktur och separata fack möjliggör flexibel sortering efter butikens behov. Personalen kan exempelvis separera röda och vita viner på varsin sida, eller sortera efter sort på olika trappsteg.
Ge god överblick över flaskor	Uppfyllt	Nivåskillnaderna på 100 mm gör att etiketterna exponeras utan att flaskor skymmer varandra, vilket är en direkt förbättring jämfört med den traditionella kundvagnen där flaskor läggs intill varandra.
Kapacitet minst 70 flaskor	Uppfyllt	Slutkonceptet rymmer 86 flaskor, varav 54 i överdelen och 32 i underdelen, och överstiger därmed kravet.
Minska extra arbetsmoment	Delvis uppfyllt	Vagnen integreras i befintligt arbetsflöde utan att kräva nya rutiner. Däremot kräver flaskor i underdelens nedre fack fortfarande en viss framåtböjning vid lastning, vilket innebär att kravet inte är fullt uppfyllt.
Säker transport av flaskor	Uppfyllt	Individuella fack och lutade hyllor hindrar flaskor från att röra sig fritt vid förflyttning. Vid butikstest uppstod inget skrammel eller fall av flaskor vid normal körning.
God manövrerbarhet	Uppfyllt preliminärt	Butikstest visade att vagnen gick att rulla och svänga även vid full last. Resultatet baseras dock på kortvariga tester och saknar kvantitativa mått såsom uppmätt dragkraft, varför uppfyllnaden betraktas som preliminär.

I ett människa-maskin-system interagerar användaren direkt med produkten, vilket gör ergonomiska krav centrala för vagnens utformning. Vid dimensioneringen användes befintliga lagervagnar som referens, tillsammans med antropometriska data från *antropometri.se* baserade på Hanson m. fl. (2009). De ergonomiska kraven påverkade framför allt handtagets placering, greppets utformning och höjden på vagnens lastytor.

Handtaget utformades med en diameter på 30 mm. Valet baserades på en avvägning mellan greppkomfort, tillverkningsbarhet och anpassning till vagnens övriga konstruktion. Även om ett större grepp kan vara fördelaktigt vid långvarig hantering bedömdes 30 mm ge ett tillräckligt stabilt och kontrollerbart grepp för den aktuella användningen. Handtagets höjd anpassades för att ligga nära en ergonomiskt gynnsam arbetshöjd och minska belastningen vid skjutning och manövrering av vagnen.

Även lastytornas höjd påverkades av ergonomiska överväganden. En arbetshöjd omkring 900 mm bedömdes vara lämplig för återkommande hantering av flaskor. Samtidigt behövde höjden vägas mot kravet på hög flaskkapacitet, vilket innebar att vissa förvaringsnivåer placerades lägre än den optimala arbetshöjden. Detta utgör en medveten kompromiss mellan ergonomi och kapacitet.

Ett ytterligare krav var att lösningen ska vara tyst att arbeta med. Detta kräver god kontakt med golvet, exempelvis genom lämpliga hjul, samt god kontakt mellan vagn och flaskor, exempelvis genom användning av gummilister.

6.3 Slutkoncept och utformning

Slutkonceptet består av en trappformad överdel och en underdel med lutade flaskfack, se Figur 6.5. Den totala kapaciteten uppgår till 86 flaskor, vilket överstiger det ursprungliga kapacitetskravet på minst 70 flaskor. Överdelen rymmer 54 flaskor och fungerar som primär sorteringsyta medan underdelen kompletterar med ytterligare förvaring. Slutkonceptet kombinerar *Trappan* som överdel och *Tilted slots* som underdel. Kombinationen av över- och underdel valdes eftersom de uppfyllde projektets viktigaste krav på bästa sätt; möjliggöra sortering, ge en god överblick över flaskorna, rymma många flaskor och vara enkel att använda i butiksmiljön och det nuvarande arbetsflödet.



(a) Isometrisk vy bakifrån



(b) Isometrisk vy framifrån



(c) Baksidesvy



(d) Sidovy

Figur 6.5: CAD-renderingar av slutkonceptet som visar vagnens utformning och funktion i olika vyer.

Överdelen av vagnen är utformad som en trappa med tre nivåer på vardera sida. Flaskorna placeras på trappstegen i en stående position och hålls stabila med ett avskiljande stålnät. Nivåskillnaden av trappstegen gör att flaskorna och etiketterna blir synliga för användaren, till skillnad från det nuvarande systemet med den traditionella kundvagnen. Höjdskillnaden förbättrar även överblicken och gör det lättare för personalen att hitta rätt artikel. *Trappan* fungerar som vagnens primära sorterings- och arbetsyta och är huvudsakligen avsedd för de flaskor som personalen behöver ha tydlig och snabb åtkomst till.

Underdelen utgörs av lutade fack placerade under trappan och har som syfte att öka vagnens totala kapacitet utan att flaskor ska döljas i lådor eller placeras helt osorterat. Genom lutningen av dessa fack synliggörs flaskornas korkar bättre än vid horisontell förvaring, samtidigt som det tillåter för en lättare hantering av flaskorna. Personalen kan nå flaskans hals utan att behöva böja sig och lutningen tillåter ett smidigt och naturligt utdrag av flaskan. Alltså fungerar *Tilted slots* som en kompletterande förvaringsyta för ytterligare sortering av slattar.

Vagnen är uppbyggd av en bärande ram i stål vilket skapar stabilitet och gör det möjligt för vagnen att bära hög last. Handtag och hjul är monterade för att vagnen enkelt skall kunna manövreras av personalen i både butiks- och lagermiljö. Storleken av vagnen har anpassats för att kunna integreras i Systembolagets befintliga arbetssätt och fungera i butikens trånga gångar utan att skapa helt nya arbetsmoment för personalen.

Utformningen av vagnen fokuserar på att personalen ska kunna använda den på ett intuitivt sätt. Personalen har möjlighet att sortera flaskorna hur de själva vill för att skapa ett så effektivt arbetssätt som möjligt enligt sina egna rutiner. Ett exempel på ett sorteringssystem kan vara att röda viner placeras på en sida av vagnen och vita på andra. Inom respektive kategori kan flaskor av samma sort placeras bakom varandra på olika nivåer, alternativt bredvid varandra på samma trappsteg beroende på personalens arbetssätt. Detta skapar ett mer strukturerat mellanlager än dagens blandade kartonger och kundvagnar, samtidigt som det ändå ger flexibilitet för butikens olika behov.

Slutkonceptet utgör en lösning som kombinerar kapacitet, ergonomisk åtkomst och överblick. *Trappan* bidrar främst med att skapa helhetsbild av flaskorna och tillåta sortering, medan *Tilted slots* bidrar med utökad förvaringskapacitet som ändå är ergonomiskt anpassad. Kombinationen gör att slattvagnen fungerar som ett användaranpassat och standardiserat hjälpmedel för hantering av överblivna flaskor.

6.4 Konstruktion och dimensionering

Slattvagnen är uppbyggd kring en bärande ramkonstruktion i stål, med en trappformad överdel, lutade flaskfack, hjul samt handtag. Konstruktionen har dimensionerats med avseende på stabilitet, ergonomi, hållfasthet och tillverkningsbarhet.

Ramkonstruktionen är uppbyggd av fyrkantsrör i stål med dimensionerna 20×20 mm och en tjocklek på 2 mm. Ramen består av längsgående balkar med en längd på 860 mm, vertikala hörnstolpar med en höjd på 690 mm samt tvärgående balkar på 560 mm, se Bilaga S. Ramen är uppbyggd som en sluten konstruktion med flera tvärgående förstärkningar som möjliggör en effektiv lastfördelning och ger god vridstyvhet. Lasten från flaskor och komponenter överförs genom balkarna till hjulen för att skapa stabilitet även när vagnen inte är jämt lastad. Dimensionering av ramen är baserad på kravet att vagnen ska klara att bära minst 200 kg. Konstruktionen har utformats för att klara både dynamiska och statiska laster som uppstår vid användning, till exempel ojämn belastning och förflyttning.

Överdelen av vagnen består av en trappformad struktur med tre nivåer på vardera sida som möjliggör överblick och sortering av flaskor. Trappans utformning är ergonomiskt anpassad så att trappstegen ska vara i en bekväm arbetshöjd för personalen och minimera onödiga böjningar. Höjdavståndet mellan nivåerna är 100 mm vilket skapar en tillräcklig höjdskillnad så att flaskorna inte skymmer varandra. Varje flaska har även stöd på var sida som skapar ett individuellt fack på 100×100 mm, se Bilaga T. Denna måttsättning baserades på mätning av en stor mängd vinflaskor under besöket hos Systembolaget där majoriteten av flaskorna har en bottendiameter på cirka 75-80 mm. Vissa mindre flaskor har en diameter på cirka 65 mm och de största flaskorna ligger runt cirka 95 mm, sedan finns det även fåtal stora flaskor som har diameter på 105 mm men

dessas valdes att exkluderas då det hade skapat för stora fack och för få antal fack på vagnen. Dessa 100×100 mm rutnät är placerade på två höjder för att bäst stödja upp flaskorna: en vid 50 mm och en vid 140 mm ovanför trappsteget. Den övre höjden baserades på en analys av flaskans tyngdpunkt som uppskattades till cirka 130 mm. Den lägre nivån placeras vid 50 mm för att förhindra flaskor från att glida ut när de placeras i facken.

Underdelen består av lutande flaskfack med en längd på 850 mm, där varje sida av vagnen har två lutade fack som håller åtta flaskor styck. Lutningen valdes för att möjliggöra en integrerad och enkel konstruktion där fack från båda sidor skapas i en gemensam komponent, som samtidigt stöds upp av ett centralt bärande rör. Detta resulterar i en plåt som vilar på ett centralt placerat rör och bär flaskor på både höger och vänster sida av centrumlinjen, vilket ger konstruktionen en W-form. Från denna formen sträcker sig plåt upp mot ytterligare ett bärande stålrör placerat vid kanten av ramen.

På plåtens övre sida är bockade pinnstöd fastsvetsade som är utformade för att hålla åtta vinflaskor på plats, se Bilaga U. Den första raden av *Tilted slots* är placerad 115 mm under ramens överkant, medan nästa rad är placerad ytterligare 115 mm ned, se Bilaga S. Dessa mått är optimerade för att personalen enkelt och ergonomiskt ska kunna placera och avläsa flaskor, utan att arbetshöjden blir för låg och kräver onödig böjning.

Vagnen är utrustad med fyra hjul monterade på stålplattor som i sin tur är svetsade på ramen. Fästplattorna är dimensionerade för att säkerställa en stabil infästning och för att fördela lasten jämnt från ramen till alla fyra hjul. Det valda hjulen har en diameter på 160 mm, en hårdhet på 95 Shore A (ett standardiserat mått på materialets motstånd mot deformation) och är gjorda av polyuretan. Valet av dessa hjul baseras på etablerade principer om vilken påverkan materialets hårdhet och hjuldiameter har på rullmotståndet. En större diameter minskar kraften som krävs av användaren för att sätta vagnen i rullning samt att hålla den i rörelse, alltså bidrar större hjul till en mer ergonomisk hantering. Samtidigt innebär högre hårdhet på hjulen att deformationen minskar vid kontakt med golvet, vilket reducerar rullmotståndet ytterligare (Lippert & Spektor, n.d.). Materialet på hjulen valdes till polyuretan eftersom det har ett lågt rullmotstånd men ändå skyddar underlaget i butiken och förhindrar skrapor. Kombinationen av hög materialhårdheten och den stora hjuldiametern bidrar till att minska kraften användaren behöver tillföra för att få vagnen i rullning samtidigt som materialet håller ljudnivån till en låg volym.

För att få en uppskattning av kraften som behöver tillföras för att sätta vagnen i rörelse när den är fullastad användes sambandet $F = f \times (W / R)$, där F är rullmotståndskraft, f är rullmotståndskoefficient, W är last per hjul och R är hjulradie. Rullmotståndskoefficient varierar beroende på hjulmaterial och underlag, för polyuretanhjul anges intervallet 0,00076-0,00145 m. Det valda hjulen har hög hårdhet samt ska användas på ett slätt golv alltså antas ett värde på $f = 0,0010$ m. Lasten per hjul kan estimeras till vagnens vikt (40 kg) plus 86 flaskor delat på

fyra hjul multiplicerat med gravitationskonstanten, vilket blir ungefär 373 N per hjul. Radien av hjulen i meter är 0,08 m. Då blir kraften $F = 0,0010 \times (3730 / 0,08) = 4,66$ N per hjul för att hålla vagnen i rörelse. För att räkna ut totala kraften för att sätta vagnen i rullning tas $4,66 \times 4 \times 2 = 37,3$ N, alltså kraften per hjul gången fyra hjul gånger två som estimerar hur mycket större startkraften är jämfört med kraften som krävs för att hålla vagnen i rullning. Detta är en relativt låg startkraft och indikerar en bra manövrerbarhet.

Ett centralt beslut kring hjulen var att placera två fasta hjul fram och två länkhjul bak. Detta beslutet gjordes efter att flera vagnar både på Systembolaget och Chalmers verkstäder testades för att se vilken hjulkonfiguration som var lättast att köra när vagnen var tungt lastad. Efter många tester framgick det att fasta hjul fram och länkhjul bak gjorde körningen smidig både vid skarpa svängar och raka sträckor, precis det som behövs i Systembolagets butiker. Denna konfiguration stöds dessutom av studier inom materialhantering och ergonomi. Forskning visar att vagnar med länkhjul bak är fördelaktiga vid push-uppgifter, då det förbättrar stabiliteten i färdriktningen och även manövreringen (Otieno & Wein, 2017). I experimentella situationer av industriella vagnar används konfigurationen med fasta hjul fram och länkhjul bak vilket ytterligare stärker resultaten från de egna testerna.

Handtaget är dimensionerad med en bredd på 600 mm och en ytterdiameter på 30 mm, vilket ger ett ergonomiskt grepp och passar även med resten av vagnen. Höjden av handtaget är 975 mm från golvet, vilket skapar en ergonomiskt fördelaktig höjd nära personalens armbågsnivå. Studier visar att handtagshöjden inom 910-1120 mm är optimal för förflyttning av tyngre vagnar då belastningen på ländryggen minimeras (Kumar m. fl., 2017). Den valda höjden på 975 mm ger en bra kompromiss mellan praktisk användning i butiksmiljö och god ergonomi.

Avslutningsvis har konstruktionen av slattvagnen dimensionerats för att uppnå en balans mellan användbarhet, vikt och hållfasthet, där överdimensionering har undvikits för att skapa en materialeffektiv lösning.

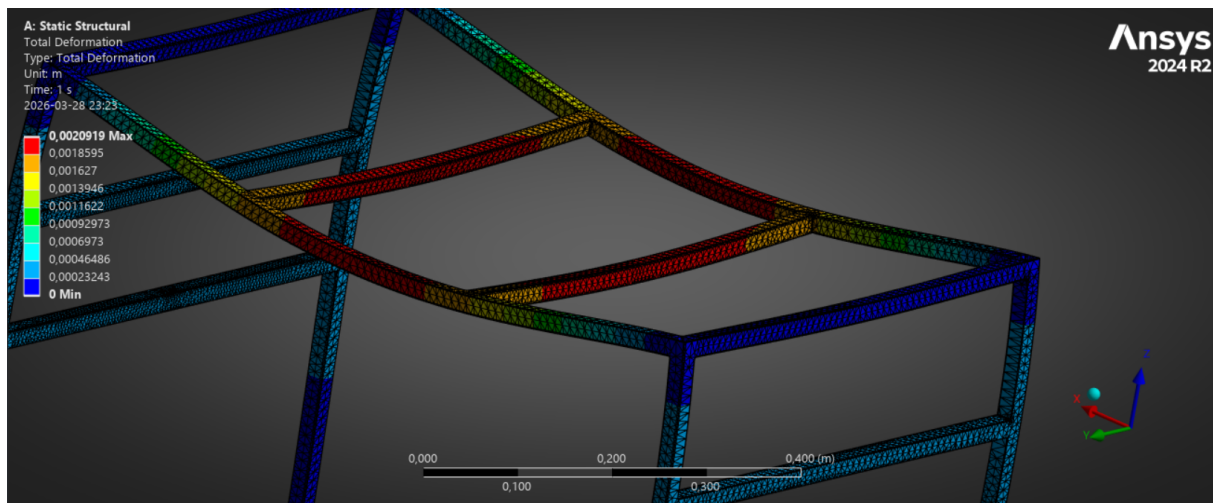
6.5 Hållfasthetsanalys

För att bekräfta konstruktionens hållfasthet utfördes simuleringar i både *Ansys* och egenutvecklade *Python*-modeller baserat på förenklade antaganden. Syftet med dessa var att analysera deformationer och spänningsfördelningar men även att jämföra olika dimensioneringsalternativ till fyrkantströen för ramen.

Analysen baserades på en last motsvarande ungefär 200 kg, vilket blir en kraft på cirka 2000 N applicerad i negativ z-riktning. Konstruktionen modellerades som en sammanfogad ram där lasten antas vara jämnt fördelad över de övre längsgående balkarna, vilket representerar en verklig lastfördelning från flaskor och komponenter. Både total deformation och Von Mises

ekvivalentspänning studerades i analyserna för att identifiera kritiska punkter i konstruktionen. *Python*-modellen tillämpades för en snabb iteration och dimensioneringsjämförelser, medan *Ansys*-modellen tillät en mer detaljerad analys av både lokala spänningskoncentrationer och allmänna spänningsfördelningen.

Modellen i *Python* visade en maximal deformation på 2,56 mm för konstruktionen med 20×20×2 mm fyrkantströr. Deformationen är tydligast i de övre längsgående balkarna, där ramen belastas i böjning. Resultaten i *Ansys*-simuleringen visade ett liknande resultat med en maximal deformation på 2,09 mm, se Figur 6.6.

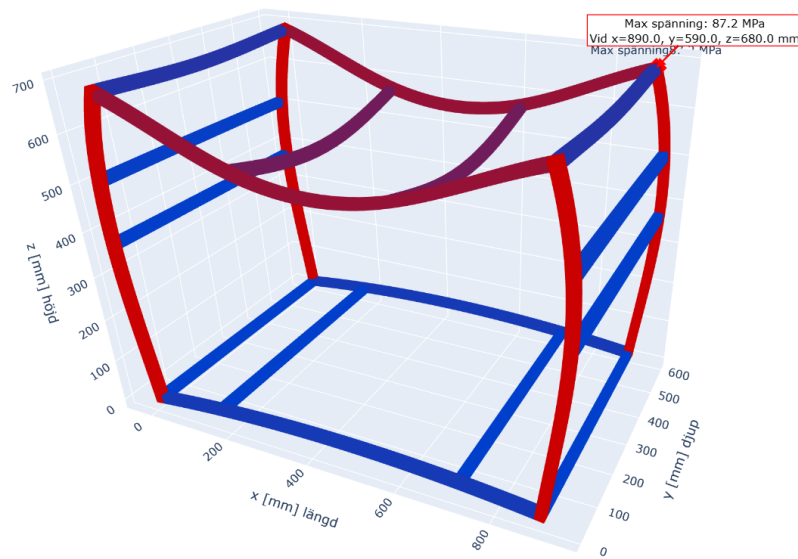


Figur 6.6: Total deformation av konstruktionen vid belastning om 2000 N i z-led.

Plotten visar att majoriteten av deformationen koncentrerar sig på mitten av de övre balkarna, medan resten av ramen får relativt små deformationer. Detta visar att konstruktionen har en bra global styvhet och att dimensionering huvudsakligen styrs av böjstyvheten i övre delen av ramen.

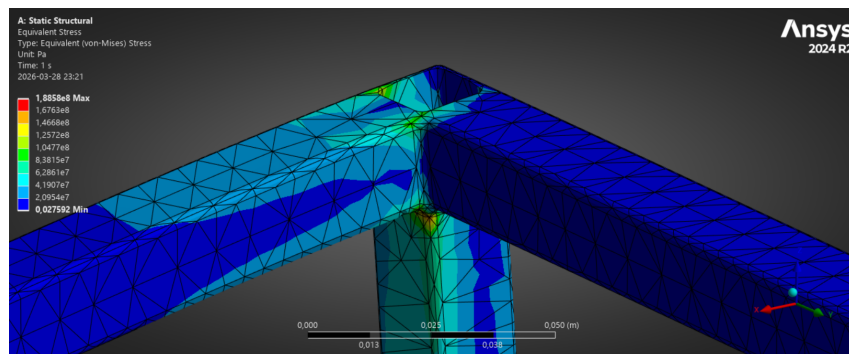
För ramen med måtten 20×20×2 mm visar modellen i *Python* att den maximala spänningen blir cirka 87,2 MPa. Detta är ekvivalent med en utnyttjandegrad på cirka 39,5 % av sträckgränsen för E220-stål som är 220 MPa, vilket betyder att konstruktionen jobbar med god marginal inom det elastiska området.

Deformerad struktur, sammanhängande rör per medlem | last = -2000 N i -z | max $|\sigma| \approx 87.2$ MPa



Figur 6.7: Deformerad struktur vid belastning om -2000 N i z-led. Maximal spänning uppgår till cirka 87.2 MPa.

Analysen i *Ansys* visar en maximal spänning på cirka 188,6 MPa, detta specifikt i knutpunkter och övergångar mellan balkar, se Figur 6.7. Dessa betydligt högre spänningarna bedöms bero på lokala spänningskoncentrationer, vilket är vanligt vid infästningar och geometriändringar i FEA-analyser.



Figur 6.8: Ekvivalentspänning enligt von Mises i svetsfog vid belastning om 2000 N i z-led.

För att undersöka materialeffektiviteten av konstruktionen jämfördes flera dimensioner på fyrkantströr i *Python*-modellen: 30×30×3 mm, 20×20×2 mm, 15×15×2 mm, 10×10×2 mm och 10×10×1 mm.

Tabell 6.2: Jämförelse av olika dimensioner av fyrkantsrör baserat på deformation och maximal spänning.

Rör	Deform.	$\sigma_{\max}$	Bedömning
30×30×3	0.52 mm	27 MPa	Overkill för 2000 N, SF $\approx$ 8.7 – för tungt
20×20×2	2.57 mm	87 MPa	Rimligt val. SF $\approx$ 2.7, deform. under L/300
15×15×2	6.66 mm	168 MPa	Tveksamt. $\sigma > 0.7 f_y$, deform. hög
10×10×2	27.3 mm	452 MPa	Inte rimligt. $\sigma > 2 f_y$, kräver plasticitet
10×10×1	40.2 mm	671 MPa	Inte rimligt

Analysen visade att 30×30×3 mm gav lägsta spänningen och deformationen, med cirka 26,6 MPa maximal spänning och 0,52 mm deformation. Denna dimensionering innebär dock en mycket större tvärsnittsarea och därmed mer materialåtgång och högre vikt.

För 20×20×2 mm erhöles 87 MPa maximal spänning och 2,57 mm deformation, vilket fortfarande ligger under materialets sträckgräns med god marginal. Ramen 15×15×2 mm gav cirka 168 MPa maximal spänning och 6,66 mm deformation, vilket också är under sträckgränsen men med väldigt mycket mindre säkerhetsmarginal och större deformation.

Både 10×10×2 mm och 10×10×1 mm visar sig vara för små och otillräckliga för den specificerade lasten. För 10×10×2 mm blev den maximala spänningen 452 MPa och för 10×10×1 mm blev den 671 MPa. Båda dessa spänningar överstiger sträckgränsen för E220-stål vilket innebär att dessa dimensioner inte klarar av tyngden av alla flaskor. Dimensionen 10×10×1 mm gav även en stor deformation på cirka 40,2 mm, vilket också visar att den är för svag och deformeras för mycket under lasten.

Hållfasthetsanalysen visar att fyrkantsrör med dimension 20×20×2 mm är ett lämpligt val för konstruktionen av ramen. Dimensionen undviker överdimensionering såsom 30×30×3 mm hade gjort men ger ändå tillräcklig styvhet och hållfasthet. Analysen visar att mindre dimensioner, särskilt 10×10×1 mm, inte uppfyller kraven eftersom deformationerna blir för stora och spänningarna överskrider materialets sträckgräns. Valet av 20×20×2 mm baserades på en avvägning mellan materialeffektivitet, vikt, hållfasthet och deformation. Kombinationen av finita elementanalyser och förenklade beräkningsmodeller har möjliggjort en mer välgrundad dimensionering av fyrkantsrören till ramen, där både lokala spänningskoncentrationer och global styvhet har beaktats.

Sammanfattningsvis visar hållfasthetsanalysen att dimensionen 20×20×2 mm ger en rimlig säkerhetsmarginal utan att konstruktionen blir onödigt tung. Valet innebär därför en kompromiss mellan låg vikt, god hållfasthet och tillverkningsbarhet. Samtidigt bör resultaten tolkas med hänsyn till modellernas förenklingar, exempelvis antagandet om jämnt fördelad last och idealiserade infästningar.

6.6 Kostnad för prototyp

De materiella kostnaderna är främst stål i olika former, plåt, rör rundstänger samt hjul. I Prototypplabbet där prototypen byggdes fanns det mesta av materialet tillgängligt. Hade materialet köpts in på egen hand hade kostnaderna för stålet gått upp till cirka 3500 kr, enligt listan över material, se Bilaga V. Bottenplattan hade lagt till ytterligare 300 kr. Hjulen kostade cirka 350 kr styck. Övrigt som köptes in var målarfärg och kantlister för cirka 300 kr. Grovt räknat kostade alltså materialet för vagnen cirka 5500 kr.

6.7 Utvärdering

I enlighet med beräkningarna höll konstruktionen bra och hjulen rullade smidigt. Trots den tunga lasten gick vagnen att manövrera och rulla. En annan observation var att målarfärgen dämpade skrammel mellan vagn och flaska. Först var avsikten att placera gummilister på trappan och dess pinnar för att dämpa oljud. Men vid test var vagnen relativt tyst i Systembolagets miljöer utan dessa lister. Även vissa större flaskor, av 1,5 l storlek, fick plats i det övre planet av *Tilted slots*.

Den initiala feedbacken från butiken var dock att vagnen upplevdes som för stor för butiksmiljön. Särskilt bredden och den totala storleken gjorde den mindre smidig i trånga gångar. Även *Trappan* bedömdes vara för hög, vilket försvårade hanteringen av flaskor och gjorde användningen mindre ergonomisk. Detta pekar på att framtida iterationer bör fokusera på en mer kompakt design.

6.8 Sammanfattning av resultat

Resultaten visar att prototypen uppfyller flera av de centrala kraven, med särskilt avseende på kapacitet, sortering, överblick och stabilitet. Däremot har ergonomiska förbättringar ännu inte kvantifierats genom exempelvis REBA-analys före och efter införandet av vagnen. Inte heller har tidsbesparing jämförts med nuvarande arbetssätt. Dessa delar bör därför behandlas som indikationer snarare än slutgiltigt verifierade resultat.



Figur 6.9: Prototypen under test i Systembolagets butiksmiljö.

7

Diskussion

Kapitlet diskuterar och utvärderar beslut kring koncept, metoder och konstruktion. Samt diskuterar ekonomiska, samhälleliga och etiska aspekter. Slutligen reflekteras det över förbättringar kring ett eventuellt vidarearbete.

7.1 Uppfyllande av behov och krav

Ett omdiskuterat och essentiellt mål för den framtagna prototypen var att kombinera hög kapacitet med god manövrerbarhet och ergonomi. Resultatet visar att dessa egenskaper i vissa fall står i konflikt med varandra.

Prototypen har en totalvikt på cirka 40 kg, vilket är relativt högt jämfört med andra lagervagnar på marknaden. Tillsammans med full last, motsvarande ungefär 100 flaskor inklusive bottenplanet, uppgår den totala vikten till cirka 170 kg. Den höga vikten kan delvis förklaras av materialvalet, där stål användes för att möjliggöra en robust konstruktion och framförallt en tillverkningsprocess som är anpassad till den förkunskap gruppens medlemmar besatt på vid starten av projektet.

Trots den höga vikten upplevdes vagnen som förvånansvärt lätt att manövrera vid test i butik. Den kunde styras och svängas med relativt låg ansträngning även vid fullas, vilket pekar på att kraven på stabilitet och styrbarhet i stor utsträckning har uppfyllts. Emellertid kvarstår faktum att den totala massan är hög, särskilt vid den första igångsättningen, vilket på sikt kan påverka användarens fysiska belastning vid längre eller upprepade förflyttningar. Detta resultat baseras dock främst på subjektiva observationer vid testtillfällen och saknar kvantitativa mått på exempelvis dragkraft eller tidsåtgång. Det är därför svårt att avgöra i vilken utsträckning den upplevda manövrerbarheten är generaliserbar till längre arbetspass eller mer belastade arbetssituationer.

Den avgörande parametern kapacitet, det vill säga hur många flaskor den kan hantera, innebär att vagnen potentiellt kan ersätta flera kundvagnar med lådor, vilket tros kunna bidra till ett mer effektivt arbetsflöde, men samtidigt påverkar denna kapacitet både vagnens storlek och vikt negativt. Detta resulterar i en central avvägning mellan kapacitet och mobilitet som under

projektet troligtvis inte övervägdes och utreddes tillräckligt noga. En vagn med hög kapacitet men begränsad smidighet riskerar att användas mer stationärt, exempelvis genom att placeras i butiken under påfyllnad, snarare än att kontinuerligt förflyttas till varje sektion, vitt, rött och så vidare. I mindre butiker kan detta troligtvis vara acceptabelt medan större butiker med längre avstånd, fler gånger och sektioner sannolikt prioriterar högre manövrerbarhet. Denna typ av målkonflikt är central inom produktutveckling och indikerar att optimering inte kan ske mot en enskild parameter, utan måste balansera flera motstridiga krav. I detta fall hade en mer systematisk analys av sambandet mellan kapacitet, vikt och rörelsemönster i butik kunnat ge ett bättre beslutsunderlag i konceptvalet.

Vidare uppfyller prototypen kravet på visuell överblick av flaskor genom den trappformade strukturen vilket möjliggör tydlig exponering av etiketter. I kombination med skyddande galler medför denna lösning dock en ergonomisk nackdel, då den effektiva lyfthöjden ökar avsevärt jämfört med en konventionell kundvagn, vilket särskilt påverkar kortare användare negativt.

Vagnens dimensioner, höjd, bredd och längd, har visat sig vara rimliga inom butikens fysiska begränsningar och möjliggör full manövrerbarhet. Däremot upplevdes vagnen visuellt och rumsligt som relativt stor i butiksmiljö och indikerar att en mer kompakt utformning hade varit fördelaktig.

Sammanfattningsvis uppfyller prototypen flera viktiga behov, såsom stabilitet, överblick av flaskor och funktionell kapacitet, men gör det på bekostnad av vikt, ergonomi samt upplevd storlek. Detta belyser vikten av att balansera kapacitet och användarvänlighet i vidare utveckling.

7.2 Ergonomi och arbetsbelastning

Vagnen och användaren utgör ett människa-maskin system. Ergonomi har därför varit en central del av utformningen av vagnen. Genom data och analyser med hjälp av REBA och PEPA har vagnen utformats för att inte belasta personalen vid längre och upprepande arbete. Huvudfokus har bland annat varit av- och pålastning av flaskor på vagnen där dessa även ska vara lättåtkomliga. Därför sattes grundhöjden på det lägsta trappsteget på *Trappan* till 900 mm, där de andra trappstegen är dimensionerade till 1000 respektive 1100 mm. Vid test av prototypvagnen observerades dock att flaskbarriärerna av pinnarna ökar lyfthöjden av en flaska med 150 mm. Detta leder i praktiken till att en flaska lyfts på cirka 135-145 cm när den hålls i halsen ($1100 + 150 + 200 = 1450$ mm), en lyfthöjd som inte kan anses vara ergonomisk. Anledningen till att detta inte märktes på kapaboard prototyperna var för att barriärerna inte lades till.

Samtidigt visade tester att de lutande facken (*Tilted slots*) fungerade väl för en bred variation av flasktyper. Förutom vinflaskor kunde även exempelvis ölflaskor hanteras stabilt och med god åtkomlighet.

Nämnvärt är även att det lägsta planet på prototypvagnen fortfarande befinner sig på marknivå. Planet är dock inte ämnat för upprepad lastning till och från hylla eller för frekvent förflyttning, utan har som mål att vara avlastning för diverse lådor vid hög volym. Själva planets befintlighet kan dock orsaka risker där användare, till följd av brist på tid eller felaktig hantering, istället väljer att använda planet utan hänsyn till resterande utrymmes kvarvarande kapacitet.

7.3 Effektivitet och arbetsflöde

Att effektivisera hanteringen av slattar genom att minska antalet moment och transporter mellan lager och butik har varit ett tydligt mål. Den höga kapaciteten, upp till cirka 100 inklusive bottenplattan, möjliggör att flera befintliga lösningar kan ersättas, vilket i teorin minskar behovet av upprepade turer.

Samtidigt innebär den höga kapaciteten att vagnen blir större och tyngre, vilket påverkar dess smidighet vid körning. En större vagn riskerar att användas mer stationärt under påfyllnad, medan en mer lättmanövrerad vagn möjliggör ett mer kontinuerligt arbetsflöde. Vilket arbetssätt som är mest effektivt beror sannolikt på butikens storlek och förutsättningar, och skulle kräva systematiska och välutvecklade tester för att förstå hur optimal storlek och kapacitet på vagnen hade kunnat bestämmas.

7.4 Konstruktionsval och hållfasthet

Valet av stål som huvudmaterial möjliggör en styv och tålig struktur som klarar hög belastning utan att deformeras, vilket är särskilt viktigt då vagnen är avsedd att hantera cirka 100 flaskor, där säkerhetsfaktorer måste vara inkluderade.

Samtidigt har konstruktionen i viss mån överdimensionerats vilket dess cirka 40 kg vikt uppenbarar om. Även geometrin och strukturen i sig är inte optimerad för att vara en slutprodukt, vilket indikerar att det finns potential att reducera materialåtgång utan att väsentligt påverka hållfastheten. En mer optimerad konstruktion hade kunnat uppnå liknande strukturell prestanda med lägre materialanvändning.

7.5 Metoddiskussion

Den planering och de metoder som använts i projektet har varit väl lämpade för att strukturera utvecklingsarbetet och möjliggöra en framtagning av en fungerande prototyp. Samtidigt finns begränsningar, särskilt kopplade till hur vissa beslut verifierats.

Ett tydligt exempel är höjdsättning och måttsättning, där enklare och mer iterativa prototyper hade kunnat användas i ett tidigare skede i större utsträckning. Detta gjordes delvis, men uppenbarligen

inte i tillräckligt stor detalj, vilket även visar på den precision som krävs vid ergonomisk måttsättning, även i fall som kan tyckas anses simpla vid första ögonkastet. Detta hade sannolikt lett till bättre optimerade dimensioner, särskilt ur ett ergonomiskt perspektiv. Istället har dock dessa aspekter först kunnat utvärderas fullt ut i den färdiga prototypen.

Samtidigt visar den framtagna prototypen tydligt och med högre upplösning hur en förbättrad lösning kan utformas i praktiken. Att ha en fysisk referens innebär en stor fördel för all vidare utveckling, då framtida justeringar kan baseras på konkreta observationer snarare än antaganden. Även om en mer noggrann och iterativ process i vissa delar hade kunnat förbättra resultatet, har målet att realisera en fullskalig prototyp uppnåtts inom tidsramen.

7.6 Samhälleliga och etiska aspekter

Samhälleliga aspekter

Projektet berör främst samhälleliga aspekter kopplade till arbetsmiljö och effektivitet inom statlig detaljhandel. Hantering av slattar innebär idag upprepade lyft och ineffektiva arbetssätt, vilket långsiktigt leder till belastningsskador för personalen. Den framtagna vagnen har därför potential att förbättra arbetsmiljön genom att minska fysisk belastning och skapa en strukturerad hantering av överblivna flaskor.

Etiska aspekter

Projektet har även tagit hänsyn till hantering av personuppgifter genom GDPR och observationer där interaktioner med personal har genomförts utan att identifierbara och dokumentera, vilket säkerställer anonymitet. Inget urval av personer utifrån kön, ålder och arbetserfarenhet har gjorts under samarbetet med butiken.

Hållbarhetsperspektiv

Ur ett hållbarhetsperspektiv har materialval och konstruktion i möjligaste mån anpassats för att undvika onödigt materialspill. Även om stål är ett klimatpåfrestande material där geometri och åtgång kan optimeras ytterligare utgör prototypen en resurs för vidare utveckling och förväntas inte kasseras, utan användas som referens eller testplattform i framtida arbete. En mindre hållfast konstruktion hade sannolikt haft en mer begränsad användning i detta avseende.

Vagnens konstruktion är överdimensionerad, vilket innebär att materialmängden skulle kunna reduceras för att minska dess klimatpåverkan. Vid eventuell tillverkning i större skala blir materialvalet extra relevant, då även små designbeslut kan vara avgörande och ge konsekvenser. Klimatpåverkan uppstår vid tillverkning samt vid transport, där produktens vikt påverkar mängden energi som går åt.

Alternativet att välja ett lättare material än stål hade kunnat reducera klimatpåverkan vid utvinning av material samt transport. Samtidigt hade detta kunnat innebära begränsningar i hållfasthet och livslängd. Det innebär en avvägning mellan minskad klimatpåverkan och krav på säkerhet och robusthet, där stål bedömdes vara det mest lämpliga materialet.

Flaskornas stabilitet stärks av gallret som placerats på *Trappan* samt gummilisten på *Tilted slots*. Detta minskar risken för att flaskorna skadas eller går sönder. Ur ett hållbarhetsperspektiv innebär det att produktspill reduceras. En minskad andel skadade flaskor leder till ett minskat behov att ersätta dessa, vilket i sin tur minskar användning av resurser kopplad till produktion, transport och avfallshantering av nya flaskor.

En annan aspekt ur ett hållbarhetsperspektiv är vagnens möjlighet till reparation. Vid montering av vagnen har sammanfogningen främst skett genom svetsning. Det möjliggör att delar som utsatts för slitage eller skada kan svetsas om, alternativt ersättas med nya och därefter svetsas fast. Reparerbarheten förlänger vagnens livslängd då enskilda delar kan ersättas istället för hela vagnen, vilket i sin tur bidrar till en mer resurseffektiv användning av material.

Vagnen är tillverkad och anpassad till att integreras i den befintliga arbetsmiljön på Systembolaget. Därmed krävs inga förändringar kopplat till utformning eller arbetssätt för personalen vid användning och hantering av slattvagnen. Detta bidrar till att den indirekta miljöpåverkan reduceras då yttre faktorer eller resurser inte behöver tas i behandling.

7.7 Begränsningar

Projektet har haft flera begränsningar som påverkar resultatets generaliserbarhet. Den mest betydande är att utvärderingen av vagnen har varit begränsad i tid och omfattning. Användartester, vilka sker under naturliga förhållanden i butiken har inte kunnat genomföras över en längre period (veckor till månader) eller under tillräckligt varierande arbetsförhållanden, såsom olika omsättningsvolymmer och framför allt för olika butikstyper.

Som följd av detta saknas kvantitativa mätningar av exempelvis tidsbesparing och minskad fysisk belastning, vilket innebär att de identifierade förbättringarna främst kan styrkas kvalitativt. För att ytterligare stärka resultatets validitet hade mer omfattande tester, som upprepade REBA-analyser eller användarstudier i flera butiker, kunnat genomföras. Det bör även noteras att konstruktionens relativt höga vikt, trots dess positiva inverkan på stabilitet, potentiellt kan påverka manövrerbarheten negativt i vissa situationer.

Det är därför svårt att konkretisera exakta resultat av huruvida prototypen uppfyller behoven och kraven. Detta innebär att vissa slutsatser, särskilt kopplade till ergonomi och arbetsflöde, bör betraktas som preliminära. Projektets fokus har dock legat på att utveckla och realisera en

fungerande prototyp snarare än att optimera konstruktionen och utvärdera den i detalj.

Slutligen har vissa designbeslut baserats på begränsad datainsamling och har i hög grad utgått från butiksomständigheter som är specifika för mindre butiker, vilket innebär att resultatet i viss mån speglar de specifika situationer som studerats snarare än ett fullständigt underlag av alla möjliga användningsfall. Vidare bör resultaten tolkas med viss försiktighet då testerna genomfördes under begränsad tid och utan jämförande mätningar mot nuvarande arbetssätt.

7.8 Ekonomiska aspekter

De materiella kostnaderna är främst stål i olika former. Allt från plåt, rör, rundstänger och fyrkantsrör. Utöver detta tillkom kostnader för fyra stycken hjul av polyuretan. I verkstaden, där prototypen byggdes, fanns det mesta av materialet tillgängligt, och därför kunde kostnaderna hållas ner. Om materialet hade köpts in på egen hand skulle kostnaderna för stålet gått upp till cirka 3500 kr, enligt listan över material, se Bilaga V. Bottenplattan hade lagt till ytterligare 300 kr. På grund av vagnens tunga vikt vid full last prioriterades bra och stora hjul. De hjulen kostade cirka 350 kr styck. Övriga komponenter som köptes in var målarfärg och kantlist för cirka 300 kr. Grovt räknat kostade alltså materialet för vagnen 5500 kr.

Vid större produktionsvolymmer kan materialkostnader reduceras genom inköp i större kvantiteter. Vidare finns potential att optimera materialanvändningen utan att kompromissa med konstruktionens hållfasthet. Kostnaden för prototypen speglar alltså inte vad en vagn hade kostat vid storskalig produktion. Vid en större produktion hade målet varit att konkurrera med befintliga vagnar på marknaden. Där enklare lastvagnar kan kosta runt 2000 kr (AJ Produkter, 2026c), och mer avancerade kostar upp emot 8000 kr (Vectur AB, 2026). Eftersom det framtagna slutkonceptet i projektet är av den mer avancerade klassen kan man sikta på att lägga priset i det övre spannet, mellan 2000 och 8000 kr.

7.9 Vidare arbete

Vidare arbete bör fokusera på att genomföra mer omfattande och långsiktiga användartester i verkliga och olika butiksmiljöer. Genom att studera prototypen under varierande arbetsförhållanden och i olika butiksmiljöer, både större och mindre, kan vidare slutsatser dras som involverar en optimerad och verksamhetsanpassad standard för kapacitet och dimensionering av vagnen.

Utifrån systematisk testning och slutsatser gällande dessa dimensioner, och genom att behålla prototypen som referens, finns en tydlig potential att vidareutveckla konstruktionen. Detta inkluderar optimering av geometri samt reducering av materialåtgång för att förbättra vikt och hanterbarhet utan att kompromissa med hållfastheten. En mer iterativ prototypprocess, med enklare och simulerade modeller i tidigare skeden, kan bidra till en bättre anpassning av dessa

parametrar. Vidare kan olika varianter av vagnen utvecklas beroende på användningsområde, exempelvis med fokus på hög kapacitet eller ökad smidighet, vilket skulle möjliggöra bättre anpassning till butiker av olika storlek och behov vid efterfrågan.

Den framtagna prototypen utgör en viktig grund för detta arbete, då den möjliggör vidare tester och justeringar baserade på en fungerande helhetslösning.

8

Slutsatser

Resultaten visar att *Trappans* utformning maximerar antalet flaskor och överblicken förbättras då de olika höjdnivåerna underlättar vid identifiering av flaskor och skapar en mer effektiv hantering. Vidare möjliggör fackindelningen ett strukturerat sorteringssystem som effektiviserar arbetsprocessen. Samtidigt utgör *Trappans* högre nivåer en risk för icke-ergonomiska lyft.

Utformningen av vagnens nedre del, *Tilted slots* tillsammans med bottenplanet, möjliggör ett effektivt utnyttjande av ett annars outnyttjat utrymme. Det innebär därmed en avvägning mellan ergonomi och lagringskapacitet, där aspekter som icke-ergonomiska lyft och böjningar har beaktats. En högre lagringskapacitet valdes för att maximera utrymmet, samtidigt som användaren själv ges möjligheten att skapa ett system för hur flaskor placeras. Förslagsvis kan flaskor som inte fylls på lika frekvent placeras på lägre nivåer.

Ytbehandlingen på vagnens övre och undre del dämpar ljud som uppstår vid kontakt mellan glas och metall. Det förbättrar därmed arbetsmiljön för användaren och upplevelsen för kunden. Hjulens dimensioner underlättar vid manövrering av vagnen, då den kan manövreras även vid full last på cirka 100 flaskor, baserat på testkörning under en kortare period i butik.

Under utvecklingen har flera designbeslut ställts mot varandra för att uppnå en stabil konstruktion som uppfyller projektets krav. En avvägning har gjorts mellan kapacitet och synlighet där den övre främjar synlighet genom nivåskillnader och den undre optimerar lagringsutrymme, vilket begränsar överblicken. Vidare har stabilitet prioriterats framför låg vikt, där en robust konstruktion i stål valdes för att säkerställa säker hantering vid hög belastning, trots en högre totalvikt. Dessutom vägdes enkelhet och funktionalitet mot varandra, där vagnen är utformad för att vara enkel vid användning samt uppfyller ställda krav.

Utvärderingen av vagnen kan inte fullt ut fastställas, då detta kräver användartester under en längre period i butiker av varierande storlek, där sortiment och utrymmen i butiken kan vara avgörande faktorer. Kvantitativa mätningar hade varit väsentliga, då de presenterande resultaten till stor del baseras på kvalitativa bedömningar. Vidare bör handtagets diameter utvärderas, då en större diameter kan vara nödvändig för att uppfylla de ergonomiska kraven.

Den initiala återkopplingen från Systembolagets butik i Landala visade dock att vagnen upplevdes vara för stor för vissa butiksmiljöer samt att *Trappans* höjd försvårade hanteringen och påverkade ergonomin negativt. Detta indikerar att framtida iterationer bör fokusera på en mer kompakt konstruktion och en lägre höjd på överdelen för att förbättra användarvänlighet, ergonomi och framkomlighet i butiksmiljöer.

Den begränsade återkopplingen från Systembolaget grundar sig i tidsbrist då vagnen endast testades under en veckas tid i en enstaka butik. Med fördel hade vagnen kunnat testats i butiker av olika storlekar för att få en uppfattning av hur deras behov skiljer sig. Det hade varit möjligt att utvärdera hur faktorer såsom längd, kön och funktionsnedsättningar påverkar ergonomiska aspekter och fysiskt krävande moment.

Vidare finns förbättringspotential gällande optimering av konstruktionen, då val av material har en direkt påverkan på vagnens vikt. Dessutom skulle ytterligare förbättringar gällande ergonomi minska den fysiska belastningen samt skapa en mer effektiv arbetsprocess. Med anledning av bristande utvärdering har eventuella funktioner som saknas inte kunnat fastställas, vilket innebär att vagnens fulla potential ännu inte kan bedömas.

Avslutningsvis resulterar arbetet i en fungerande slattvagn som uppfyller projektets syfte och bidrar till effektivisering vid hantering av slattar; samtidigt krävs fortsatt utvärdering för implementering i praktiken.

Referenser

- AJ Produkter. (2026a). *Kundvagn / Plockvagn RALLY, stackningsbar*. Hämtad 3 februari 2026, från <https://www.ajprodukter.se/p/kundvagn-plockvagn-5770-5768>
- AJ Produkter. (2026b). *Lagervagn med fjädrad överhylla*. Hämtad 3 februari 2026, från <https://www.ajprodukter.se/p/lagervagn-med-fjadrad-overhylla-18319-18317>
- AJ Produkter. (2026c). *Lagervagn TARGA*. Hämtad 3 februari 2026, från <https://www.ajprodukter.se/p/lagervagn-835064-835062>
- Ansys. (u.å.). *What is Finite Element Analysis (FEA)?* [[Online.]]. Hämtad 24 april 2026, från <https://www.ansys.com/simulation-topics/what-is-finite-element-analysis>
- Asiedu, Y., & Gu, P. (1998). Product life cycle cost analysis: State of the art review. *International Journal of Production Research*, 36(4), 883–908. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/002075498193444>
- Berlin, C., & Bligård, L.-O. (2023). *PEPA: Ny metod för produktrelaterad uppgiftsanalys m.a.p. fysisk ergonomi (v. 1.2)* [Opublicerat manuskript], Institutionen för Mechanical Engineering. Chalmers Tekniska Högskola.
- Dassault Systèmes. (u.å.). *CAD Software* [[Online.]]. Hämtad 27 april 2026, från <https://www.3ds.com/technologies/cad-software>
- Germans. (2026a). *Lagervagn med korg*. Hämtad 3 februari 2026, från <https://www.germans.se/lager-och-industri/transport-materialhantering/lagervagnar-butiksvagnar/lagervagn-med-korg>
- Germans. (2026b). *Ministaplare Gellert*. Hämtad 3 februari 2026, från <https://www.germans.se/lager-och-industri/truck-lyft/ledstaplare-staplare/butiksstaplare?srsId=AfmBOoru sZ7R2MTuIIIfUz2cBnysyFWp8FTs1zjs6Qz1STfo-2zxnUX6>
- Germans. (2026c). *Rullvagn Kent*. Hämtad 3 februari 2026, från <https://www.germans.se/lager-och-industri/transport-materialhantering/rullvagnar-bordsvagnar-hyllvagnar/rullvagn-kent>
- Hanson, L., Sperling, L., Gard, G., Ipsen, S., & Olivares Vergara, C. (2009). Swedish anthropometrics for product and workplace design. *Applied Ergonomics*, 40, 797–806. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apergo.2008.08.007>

- Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2), 201–205. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00039-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3)
- Institute for Manufacturing. (u.å.). *FMEA (Failure Modes and Effects Analysis* [[Online.]]. Hämtad 13 april 2026, från <https://www.ifm.eng.cam.ac.uk/research/dmg/tools-and-techniques/fmea-failure-modes-and-effects-analysis/>
- Johannesson, H., Persson, J.-G., & Pettersson, D. (2004). *Produktutveckling - effektiva metoder för konstruktion och design*. Liber.
- Kumar, M. W., Vijay, S. J., Vasudev, K. L., & Gnanaraj, S. D. (2017). Reduction of Discomfort in Pushing an Industrial Trolley Using Ergonomics. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 263, 062042. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/263/6/062042>
- Lippert, D., & Spektor, J. (n.d.). *Rolling Resistance and Industrial Wheels* (White Paper Nr 11). Hamilton Caster.
- Mcdonagh, D., & Storer, I. (2004). Mood Boards as a Design Catalyst and Resource: Researching an Under-Researched Area. *The Design Journal*, 7(3), 16–31. <https://doi.org/https://doi.org/10.2752/146069204789338424>
- Nationalencyklopedin. (u.å.). *Brainstorming*. Hämtad 23 april 2026, från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/brainstormning?isSearchResult=true>
- Otieno, W., & Wein, D. S. (2017). Effects of Selected Wheel and Caster Fixture Design on the Push Force: The Case of Four-Wheeled Industrial Carts.
- Rizi, C. E., Najafipour, M., Haghani, F., & Dehghan, S. (2013). The effect of using the brainstorming method on the academic achievement of students in grade five in Tehran elementary schools. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 83, 230–233. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/002075498193444>
- Robotham, A. (2002). The use of function/means trees for modelling technical, semantic and business functions. *Journal of Engineering Design*, 13(3), 243–251. <https://doi.org/http://doi.org/10.1080/09544820110108944>
- Sundt, A., & Davis, E. (2017). User Personas as a Shared Lens for Library UX. *Weave: Journal of Library User Experience*, 1(6). <https://doi.org/https://doi.org/10.3998/weave.12535642.0001.601>
- Sveriges riksdag. (2010). Alkohollag (2010:1622) [Hämtad: 2026-05-06]. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/alkohollag-20101622_sfs-2010-1622
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2021). *Produktutveckling Konstruktion och design (1:2. uppl.)*. Studentlitteratur.
- Wang, Y., Yu, S., & Ma, N. (2018). A requirement-scenario-experience framework for evaluating wearable and fashionable design: Presenting underlying factors of user loss. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 68, 137–148. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ergon.2018.07.006>

- Vectur AB. (2026). *Lagervagn STABIL ERGO*. Hämtad 3 februari 2026, från <https://vectur.se/p/produkt/lagervagn-stabil/>
- Wester, D., Thörsman, I., Lundquist, L., & Betsgren, A. (2024). *En runda till: Vinets väg från lager till hylla* (Opublicerad studentrapport). Chalmers Tekniska Högskola.
- Winkelmann, A., & Weiß, B. (2011). Automatic identification of structural process weaknesses in flow chart diagrams. *Business Process Management Journal*, 17(5), 787–807. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/14637151111166187>
- Witre. (2026). *Kundvagn 150 liter/100 kg*. Hämtad 3 februari 2026, från <https://www.witre.se/sv/wse/kundvagn-150-liter-100-kg>

Bilagor

B Bilaga – Behov- och kravlista

Bilaga B innehåller dokumentet ”Behov- och kravlista” som användes som underlag vid identifierande av behov och krav.

Behov- och kravlista

Behov för slatthantering:

Behov-ID	Behov	Förklaring	Problem idag	Prioritet (hög/medel/låg)
Användarbehov				
A1	Enkel att använda för personal med olika erfarenhet	Lösningen ska vara lätt att använda oavsett tidigare erfarenhet och ska inte hindra eller sakta ner erfarna användare.	Erfarna användare har lärt sig systemet som finns idag och har anpassat sitt arbetssätt. Nyare användare är mindre vana.	Hög
A2	Kunna arbeta med slattar utan att störa kundflödet	Gång ska ej blockeras för kunder vid användning	Utrymmen i butiken är trånga.	Medel
A3	Kunna se vilka artiklar som finns som slattar	Flaskor behöver vara synliga och inte gömda bakom varandra, eller stå på varandra.	Överblivna flaskor förvaras i lådor, på pallar eller i kundvagnar, vilket gör det svårt att få en tydlig överblick över vilka artiklar som finns.	Hög
A4	Kunna se ungefär antalet flaskor per sort	Användaren ska se så mycket av etiketten som möjligt.	Eftersom flaskor är blandade i lådor eller kundvagnar saknas möjlighet att snabbt se ungefärligt antal flaskor per sort.	Hög
A5	Inte skapar extra moment jämfört med dagens arbetssätt	Lösningen ska inte innebära extra lyft eller mer arbete.		Hög
A6	Minska risken att flaskor välter	Artiklar ska inte ändra position vid användning.	När flaskor förvaras löst i kundvagnar finns det risk att de välter vid förflyttning.	Hög
A7	Naturligt stöd i arbetet, inte ett extra system	Lösningen ska kännas enkel och som en tydlig förbättring, inte endast en ändring av arbetssättet.		Hög
A8	Behöver säker hantering och förvaring av glasflaskor	Ska inte finnas någon risk för personalens eller kunders säkerhet	När slattvagnen är full staplas flaskor upp och ner mellan flaskor.	Hög
Verksamhetsbehov				

V1	Transportera slattar från lager till butikshylla	Grundbehov. Lösningen skall möjliggöra transport av överblivna flaskor från lager till butikshylla på ett effektivt sätt.	Finns inget entydigt system, olika butiker/personal använder sig av olika system. Inget är standardiserat.	Hög
V2	Klara av slitage, stötar, daglig användning.	Kommer användas dagligen, ca 2ggr per dag		Medel
V3	Lösningen ska fungera i både små och stora butiker	Lösningen ska vara standardiserad för alla butiker.		Hög
V4	Kunna manövrera lösningen i trånga gångar	Lösningen får inte vara för stor, ska kunna svänga lätt	Utrymmen i butiken är trånga, stora klumpiga vagnar	Medel
V5	Står och rullar stabilt även när lösningen är fullastad.	Ska kunna vara ojämnt lastad och ändå stå stabilt.	När flera lådor är lastade på en pall blir rullningen skakig och ostadig. Flaskor på kundvagn står också ostadigt när den rullas.	Hög
V6	Styra och svänga vagnen på både lagergolv och butiks golvyta.	Måste vara smidig att köra för att minska fysisk belastning.		Hög
V7	Vara billig nog att köpa in	Måste vara värt att lösa problematiken med slattar.		Hög

Ergonomiska behov

E1	Minska behovet av att lyfta från golvnivå	Lösningen ska underlätta lyft från en mer ergonomisk höjd	Dagens arbetssätt kräver lyft från låga höjder såsom från pallar.	Medel
E2	Möjliggöra variation i arbetsställning	Variation i arbetsställning → bättre ergonomi		Hög
E3	Behöver kunna ställa in/av flaskor i bekväm arbetshöjd	Förutsättning för ergonomisk hantering.	Flaskor som inte får plats på den nuvarande slattvagnens övre hyllplan placeras på den undre vilket medför oergonomisk arbetshöjd	Hög
E4	Behöver kunna arbeta med minimalt antal sträckningar	Arbetet ska ske utan att personalen behöver sträcka sig på ett osäkert sätt. Inga sträckningar ska leda till skador.	I dagens arbetssätt behöver personalen böja sig ner och sträcka sig för att lyfta bort lådor från pall/kundvagn.	Medel

E5	Behöver fungera för personal med olika kroppslängd	Arbetshöjden ska vara anpassas till större delen av befolkningen		Medel
E6	Behöver fungera oavsett styrka eller erfarenhet	Användaren ska kunna använda lösningen oberoende av styrka och tidigare erfarenhet		Hög

Krav för slatthantering:

Krav-ID	Krav	Förklaring	Mått	Prioritet (hög/medel/låg)
Funktionskrav				
F1	Möjliggöra transport av last	Lasten ska kunna transporteras		Hög
F2	Möjliggöra sortering av slattar	Slattarna ska sorteras enligt ett system		Hög
F3	Lösningen ska lätt kunna styras, även vid maxlast	Oavsett pålastad vikt ska styrning ske med lätthet		Hög
F4	Stabil konstruktion för att bära tunga last	Lösningen ska inte deformeras vid upprepad användning		Hög
F5	Flaskor ska inte skadas under förvaring eller transport	Under förvaring eller transport ska flaskorna inte skadas eller gå sönder		Hög
Ergonomiska krav				
E1	Flaskor ska vara tillgängliga i arbetshöjd	Användaren ska kunna arbeta i arbetshöjd utan icke-ergonomiska sträckningar och böjningar för kroppen	900-1050 mm (Baserad på axelhöjd och lite lägre)	Hög
E2	Minska belastning på axlar, rygg, armar och handleder	Lyft och förflyttning ska ske med minskad belastning på axlar, rygg, armar och handleder (med avseende på antal flaskor och dess motsvarande tyngd)		Hög
E3	Lösningen ska vara lätt att förflytta	Lösningen ska kunna rulla smidigt vid användning		Hög

E4	Effektivisera rutt vid påfyllning	Vagnen ska möjliggöra att personalen rör sig kontinuerligt genom butiken vid påfyllnad, utan att behöva gå många korta sträckor fram och tillbaka.		Hög
E5	Handtag ska placeras i ergonomisk höjd	Placeringen på handtagen ska placeras i en höjd som är anpassad för personalens varierande längd	975-1175 mm (Axelhöjd för 80% av befolkningen, kan ev. vilja ha lite lägre)	Medel
E6	Handtag ska ha ergonomisk grepp	Vid förflyttning ska handtagets utformning vara ergonomisk och därmed möjliggöra ett ergonomisk grepp	36-44 mm diameter för 80% av befolkningen, kan mycket väl ha större	Medel

Användarvänliga krav

A1	Innebära ett standardiserat system som är lätt att följa och hålla efter	Användaren ska med enkelhet följa och hålla efter det standardiserade systemet.		Hög
A2	Lösningen ska ge en visuell överblick av flaskor	Användaren ska få en visuell överblick av slattarna utan att behöva förflytta/lyfta bort andra flaskor/lådor		Hög
A3	Varje flaska ska vara åtkomlig	Samtliga flaskorna placering ska vara lättåtkomliga		Hög
A4	Möjlighet att uppskatta antalet flaskor per artikel	Det tänkta systemet ska möjliggöra en uppskattning av antalet artiklar för varje sort		Medel
A5	Ska kunna köras/användas av endast en person	En person ska kunna transportera lösningen självständigt.		Hög

Tekniska krav

T1	Material: Lösningen ska vara tillverkad i material som tål daglig användning i butiksmiljö samt möjliggör bra grepp.	De valda materialen för lösningen ska tåla daglig användning i butiksmiljö. Handtagets material ska möjliggöra bra grepp.		Hög
T2	Lösningen ska inte ha vassa kanter	Lösningen ska inte ha vassa kanter som kan skada användaren, kunder eller		Hög

		omgivningen.		
T3	Hjul ska vara anpassade för inomhusbruk på hårda butiksgolv.	Hjulen ska klara inomhusbruk där golven är av hårt material.		Hög
T4	Materialval ska möjliggöra enkel rengöring.	Valet av material ska vara enkel att rengöra och hålla ren		Medel
T6	Ska klara bära en maximal last	Lösningen ska ha en maximal last som inte kan överskridas.	< 200kg	Hög
T7	Ska rymma många glasflaskor	Ska rymma X antal normalstora glasflaskor, 75cl vinflaskor, varierande höjd och diameter	Minst 70 flaskor	Hög
T8	Vagnen ska vara stabil även vid ojämn lastfördelning.	Om lasten fördelas ojämnt ska lösningen vara stabil i stillastående (?) och i rörelse.		Hög
T9	Ska tillåta sortering av olika storlekar av flaskor	Lösningen ska skapa en sortering av flaskor som är anpassade för olika diametrar.		Hög
T10	Ska ge låg ljudnivå vid användning	Vid användning ska lösningen inte ge ifrån sig höga ljud som kan skapa irritation hos kund och användare.	Får vara väldigt högt för att vara ett problem, sätter inget mått i nuläget	Låg

Fysiska krav

Fy1	Längd	Lösningen ska kunna manövreras utan att slå i andra hyllor eller inte komma runt i gångar för att den är för lång.		Hög
Fy2	Höjd	Lösningens höjd ska inte överstiga användarens siktlinje vid förflyttning.	<1500 mm, anpassad för 80% befolkningen	Medel
Fy3	Bredd	Lösningen ska kunna användas i den smalaste passagen utan att det stör kundflödet	<1200 mm	Medel
Fy4	Vagnens vikt	Lösningen ska enkelt kunna manövreras i butiken		Hög

C Persona & användarscenario

Bilaga C innehåller dokumentet "Persona & användarscenario" som användes för att skapa en djupare förståelse för hur en fiktiv person skulle agera och hantera olika problem baserat på slutsatser från nulägesanalysen.

Persona: “Anna – butikssäljare på Systembolaget”



Namn: Anna Karlsson

Ålder: 34 år

Yrke: Butikssäljare på Systembolaget

Erfarenhet: 6 år i butik

Arbetsmiljö: Medelstor butik med trånga gångar

Mål

- Arbeta effektivt utan att behöva springa fram och tillbaka
- Ha bra överblick över vilka flaskor som finns
- Undvika tunga och oergonomiska lyft

Frustrationer

- Måste böja sig ner och lyfta flaskor från golvnivå
- Slattar ligger osorterade i lådor eller kundvagnar
- Svårt att snabbt se vad som behöver fyllas på
- Vagnen är ofta instabil eller svår att manövrera

Behov

- Enkel och intuitiv användning
- Tydlig överblick av flaskor
- Ergonomisk arbetshöjd
- Stabil och lättmanövrerad vagn
- Möjlighet att sortera flaskor

Användarscenario

Scenario: En arbetsdag med slatthantering

07.00 – Morgon i butiken

Anna börjar dagen med att köra ut överblivna flaskor (slattar) i butiken från gårdagen.

- Flaskorna är blandade och osorterade
- Ingen tydlig struktur finns

07.30 – Leverans anländer

En ny leverans kommer till butikslagret.

- Kartonger staplas och organiseras tillfälligt
- Fokus ligger på att snabbt få ut varorna

08.00 – Varor ut i butik

Pallar med varor körs ut i butiksgångarna.

- Tunga lyft och transport sker
- Begränsat utrymme i gångarna

08.30 – Uppackning börjar

Kartonger placeras på golvet vid hyllorna.

- Arbetsytan blir rörig
- Kunden måste ibland gå runt personal och varor

09.00 – Påfyllning av hyllor

Anna packar upp och fyller på hyllor.

- Upprepade böjningar och sträckningar
- Flaskor hanteras en och en

09.15 – Slattar uppstår

Överblivna flaskor läggs i kundvagn eller på pall.

- Flaskor blandas utan sortering
- Dålig överblick över innehållet

Detta skapar ineffektivitet och gör det svårt att se vilka artiklar som finns

09.30 – Tillbaka till lager

Slattvagnen/kundvagnen ställs in i lagret.

- Flaskor står kvar osorterade
- Ingen tydlig struktur inför nästa användning

16.00 – Senare under dagen

Slattarna körs ut i butiken igen för påfyllning.

- Samma problem upprepas
- Extra steg och onödiga förflyttningar uppstår

Arbetssättet blir tidskrävande och innebär onödiga lyft och belastning

E Pughmatriser för Överdelarna

Bilaga E innehåller dokumentet ”Pugh matris för överdelarna” som användes för att grovsålla bort de överdelar som inte presterade tillräckligt bra i en individuella jämförelser.

Chalmers	Pughmatris 1: Överdelar			
Utfärdad av: Dan, Maja, Fabian, Lea, Markus, Hampus		Skapad: 2026-02-12		
		Modifierad: 2026-02-12		
Kriterier	Alternativ			
	Trappa	Pyramid	Sicksack	Lazy Susan
Sortera flaskor	R	0	0	0
Synliga flaskor (körtåg)	E	plus	plus	plus
Synliga flaskor (packlåda)	F	minus	minus	minus
Enkel för alla att använda	E	0	0	minus
Ergonomi	R	0	0	0
Kapacitet	E	0	minus	0
Tillverkningskomplexitet	N	minus	minus	minus
Enkel att styra	S	0	0	minus
Vagn vikt	!	0	plus	0
Effektivt arbetsflöde	!	0	0	plus
Stabilitet	!	minus	plus	minus
Σ+		1	3	2
Σ 0		7	5	4
Σ -		3	3	5
Nettovärde		-2	0	-3
Rangordning		2	1	3
Vidareutveckling		ja	ja	ja
Beslut		BEHÅLL	BEHÅLL	BEHÅLL

Chalmers	Pughmatris 2: Överdelar			
Utfärdad av: Dan, Maja, Fabian, Lea, Markus, Hampus		Skapad: 2026-02-12		
		Modifierad: 2026-02-12		
Kriterier	Alternativ			
	Sicksack	Trappa	Pyramid	Lazy Susan
Sortera flaskor	R	0	0	0
Synliga flaskor (körtåg)	E	minus	minus	minus
Synliga flaskor (packlåda)	F	plus	plus	plus
Enkel för alla att använda	E	0	0	minus
Ergonomi	R	0	0	0
Kapacitet	E	plus	plus	0
Tillverkningskomplexitet	N	plus	plus	minus
Enkel att styra	S	0	0	minus
Vagn vikt	!	minus	minus	minus
Effektivt arbetsflöde	!	0	0	plus
Stabilitet	!	minus	minus	minus
Σ+		3	3	2
Σ 0		5	5	3
Σ -		3	3	6
Nettovärde		0	0	-4
Rangordning		1	1	2
Vidareutveckling		ja	ja	nej
Beslut		BEHÅLL	BEHÅLL	ELIMINERA

F Pughmatriser för Underdelarna

Bilaga F innehåller dokumentet ”Pugh matris för överdelarna” som användes för att grovsålla bort de underdelar som inte presterade tillräckligt bra i en individuella jämförelser.

Chalmers	Pughmatris 1: Underdelar				Chalmers	Pughmatris 2: Underdelar		
Utfärdad av: Dan, Maja, Fabian, Lea, Markus, Hampus			Skapad: 2026-02-12		Utfärdad av: Dan, Maja, Fabian, Lea, Markus, Hampus			Skapad: 2026-02-12
			Modifierad: 2026-02-12					Modifierad: 2026-02-12
Kriterier	Alternativ				Kriterier	Alternativ		
	Tilted slots	Byrålådan	Skjutbart bottenplan			Skjutbart bottenplan	Tilted slots	Byrålåda
Sortera flaskor	R	minus	minus		Sortera flaskor	R	plus	0
Synliga flaskor (körslag)	E	minus	minus		Synliga flaskor (körslag)	E	plus	0
Synliga flaskor (packlag)	F	minus	minus		Synliga flaskor (packlag)	F	plus	0
Enkel för alla att använda	E	minus	plus		Enkel för alla att använda	E	minus	0
Ergonomi	R	plus	minus		Ergonomi	R	plus	plus
Kapacitet	E	minus	0		Kapacitet	E	0	0
Tillverkningskomplexitet	N	minus	0		Tillverkningskomplexitet	N	0	0
Enkel att styra	S	0	0		Enkel att styra	S	0	0
Vikt	I	minus	plus		Vikt	I	minus	minus
Effektivt arbetsflöde	I	minus	0		Effektivt arbetsflöde	I	0	minus
Stabilitet	I	minus	0		Stabilitet	I	0	minus
Σ+		1	2		Σ+		4	1
Σ 0		2	5		Σ 0		5	7
Σ -		9	4		Σ -		2	3
Nettovärde		-8	-2		Nettovärde		2	-2
Rangordning		2	1		Rangordning		1	2
Vidareutveckling		ja	ja		Vidareutveckling		Ja	Ja
Beslut		BEHÅLL	BEHÅLL		Beslut		BEHÅLL	BEHÅLL

G Parvis jämförelse av viktiningskriterier

Bilaga G innehåller en viktbestämningsmatris som användes för att vikta kriterierna mot varandra.

Parvis jämförelse																	
Kriterium	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	Σ	Zrel
A	X	1	1	1	1	1	1	1	0	0,5	0	1	1	0,5	1	11	0,10
B	0	X	0	0,5	0	0	1	0	0	0	0	0,5	0,5	0	1	3,5	0,03
C	0	1	X	1	0	1	1	0,5	0	0	0	1	1	0,5	1	8	0,08
D	0	0,5	0	X	0	1	1	0,5	0	0	0	0,5	1	0,5	1	6	0,06
E	0	1	1	1	X	1	1	0,5	0	0,5	0	1	1	1	1	10	0,10
F	0	1	0	0	0	X	1	0	0	0	0	0,5	0,5	0	1	4	0,04
G	0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0,01
H	0	1	0,5	0,5	0,5	1	1	X	0	0	0	1	1	0,5	1	8	0,08
I	1	1	1	1	1	1	1	1	X	1	1	1	1	1	1	14	0,13
J	0,5	1	1	1	0,5	1	1	1	0	X	0	1	1	1	1	11	0,10
K	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	X	1	1	1	1	13	0,12
L	0	0,5	0	0,5	0	0,5	1	0	0	0	0	X	1	0,5	1	5	0,05
M	0	0,5	0	0	0	0,5	1	0	0	0	0	0	X	0	1	3	0,03
N	0,5	1	0,5	0,5	0	1	1	0,5	0	0	0	0,5	1	X	1	7,5	0,07
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X	0	0,00
																105	1,00

H Kesselringmatris

Bilaga H innehåller en Kesselringmatris som användes för att välja ut en slutgiltigt koncept för både över-och underdelarna.

A - Trappa

B - Pyramid

C - Sick-sack

D - Tilted slots

E - Byrålåda

F - Skjutbart bottenplan

Chalmers Kesselringmatris: Överdelar & underdelar																
Utfärdare: Utfärdad av: Dan, Maja, Fabian, Lea, Mark				Skapad: 2026-02-13				Modifierad: 2026-02-17				Sid 1				
Kriterier		Alternativ														
		Ideal	Överdel						Underdel							
			A		B		C		D		E		F			
Namn	w	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	
Sortera flaskor	0,10	5	0,5	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4	3	0,3	3	0,3	
Synliga flaskor (körläge)	0,03	5	0,15	3	0,09	4	0,12	5	0,15	2	0,06	1	0,03	1	0,03	
Synliga flaskor (packläge)	0,08	5	0,4	4	0,32	3	0,24	2	0,16	3	0,24	4	0,32	2	0,16	
Användarvänlig	0,06	5	0,3	5	0,3	5	0,3	5	0,3	5	0,3	5	0,3	4	0,24	
Ergonomi	0,10	5	0,5	4	0,4	4	0,4	4	0,4	3	0,3	3	0,3	2	0,2	
Kapacitet	0,04	5	0,2	4	0,16	4	0,16	3	0,12	4	0,16	2	0,08	4	0,16	
Tillverkningskomplexitet	0,01	5	0,05	4	0,04	4	0,04	2	0,02	3	0,03	3	0,03	3	0,03	
Enkel att styra	0,08	5	0,4	4	0,32	4	0,32	5	0,4	5	0,4	5	0,4	5	0,4	
Säkerhet	0,13	5	0,65	4	0,52	4	0,52	4	0,52	4	0,52	4	0,52	4	0,52	
Effektivt arbetsflöde	0,10	5	0,5	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4	3	0,3	3	0,3	
Stabilitet	0,12	5	0,6	4	0,48	4	0,48	5	0,6	4	0,48	3	0,36	3	0,36	
Livslängd	0,05	5	0,25	4	0,2	4	0,2	4	0,2	4	0,2	2	0,1	2	0,1	
Underhåll	0,03	5	0,15	4	0,12	4	0,12	3	0,09	4	0,12	3	0,09	3	0,09	
Platseffektivitet	0,07	5	0,35	4	0,28	4	0,28	3	0,21	4	0,28	3	0,21	2	0,14	
T (Totalt viktat värde)		70	5	56	4,03	56	3,98	53	3,97	53	3,89	44	3,34	41	3,03	
T / Ideal		1	1	0,80	0,81	0,80	0,80	0,76	0,79	0,76	0,78	0,63	0,67	0,59	0,61	
Medel		5	0,36	4	0,29	4	0,28	3,79	0,28	3,79	0,28	3,14	0,24	2,93	0,22	
Std-avvikelse		0	0,18	0,39	0,15	0,39	0,15	1,05	0,17	0,80	0,15	1,10	0,15	1,07	0,14	
Median		5	0,38	4	0,31	4	0,29	4	0,26	4	0,29	3	0,3	3	0,18	
Antal svaga punkter		0		0		0		0		0		0		0		
Rangordning				1		2		3		1		2		3		
Beslut	Gruppen väljer att gå vidare med trappan som överdel och Tilted slots som underdel då den presterar bäst i matrisen															

I REBA-analys

Bilaga I innehåller dokumentet ”REBA-analys” som användes för att utvärdera ergonomiska belastningar i specifika arbetsställningar vid hantering av lagervagnar.

REBA analys på trappan med tilted slots							
	Nuvarande lösning: lyfta lådor ur kundvagn			Trappa + tilted slots: ta flaska från lägsta hylla tilted slots			
Neck score:	1			1			
Trunk score:	5			3			
Leg score:	2			1			
Posture score A:	6			2			
Force/ load score	2			0			
Score A:	8			2			
Upper arm score	3			3			
Lower arm score	1			1			
Wrist score:	1			1			
Posture score B:	3			3			
Coupling score:	3			0			
Score B:	6			3			
Table C score:	10			2			
Activity score:	1			1			
REBA score:	11	Very high risk!		3	Low risk!		

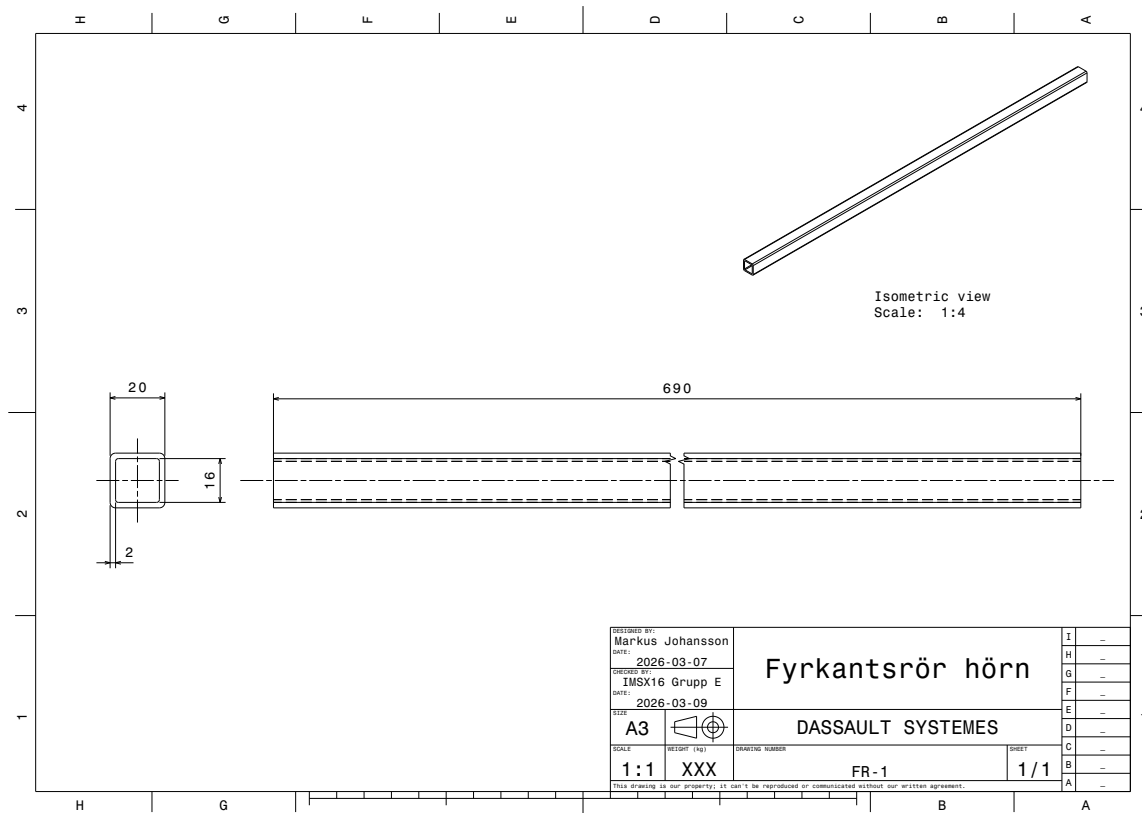
K FMEA-analysis

Bilaga K innehåller en FMEA-tabell som används för att utvärdera eventuella risker med ett koncept.

Projekt ID	Produkt, Startagn		Utförd av: Marcus, Hampus, Dan, Fabian, Maja, Lea			Datum: 2026-02-17	FMEA nr. 1		
System/ komponent	Möjligt felstätt (S)	Möjlig felorsak (A)	Möjlig felorsak (U)	Nuvarande kontroll/ test	Sannolik het för händelse	Sannolik het för upptäckt	Riskal RPV	Rekommenderade åtgärder	
Hjul	Vibrationer	Ojuld	Ojäm yta	-	9	1	54	Ingen åtgärd	
	Slitage	Tvål	Friction	-	9	3	2	54	Sjorol i hjulen regelbundet
	Löstnande förband	Förlovar sin funktion	Belastning/vibrationer	-	2	10	2	40	Drä åt förbandet vid montering
	Materialbrott	Förlovar sin funktion	Belastning	Hjälfsanhetstest	1	10	10	100	El lasta över maxlastgräns
	Deformation	Minstas stabilitet	Belastning	Hjälfsanhetstest	6	6	2	72	Ingen åtgärd
	Ojbalanser	Minstas stabilitet	Femtonering	-	5	7	1	35	Ingen åtgärd
Vagnram	Korrosion	Tvål	Fuking miljö	-	2	8	5	80	Torka vagnen vid djyll/fukt
	Deformation	Minstas stabilitet	Belastning	Hjälfsanhetstest	9	3	3	81	Ingen åtgärd
	Korrosion	Förlovar materialens hållfasthet	Fuking miljö	-	4	7	3	84	Torka vagnen vid djyll/fukt
	Materialbrott	Förlovar sin funktion	Belastning	Hjälfsanhetstest	1	10	10	100	El lasta över maxlastgräns
	Krockning	Förlovar sin funktion	Belastning	[Hjälfsanhetstest]	3	10	1	30	El lasta över maxlastgräns
	Ojbalanser	Minstas stabilitet	Femtonering	-	3	7	3	63	Ingen åtgärd
Handtag	Sprickor	Minstas stabilitet	Belastning	[Hjälfsanhetstest]	3	9	2	90	Ingen åtgärd
	Deformation	Minore ergonomisk	Belastning	-	7	3	2	42	Ingen åtgärd
	Löstnande förband	Förlovar sin funktion	Belastning/vibrationer	-	2	8	4	64	Drä åt förbandet vid montering
	Fästanfästet	Minstas stabilitet	Femtonering	-	5	6	1	30	Ingen åtgärd
	Deformation	Minstas stabilitet	Belastning	Hjälfsanhetstest	6	5	3	90	Ingen åtgärd
	Korrosion	Förlovar materialens hållfasthet	Fuking miljö	-	5	9	2	90	Torka vagnen vid djyll/fukt
Trappa	Sprickor	Minstas stabilitet	Belastning	[Hjälfsanhetstest]	4	7	3	84	Ingen åtgärd
	Ojbalanser	Förlovar materialens hållfasthet	Femtonering	-	6	7	1	42	Ingen åtgärd
	Deformation	Minstas stabilitet	Belastning	Hjälfsanhetstest	5	9	3	90	Ingen åtgärd
	Korrosion	Förlovar sin funktion	Fuking miljö	-	2	9	2	36	Torka vagnen vid djyll/fukt
	Löstnande förband	Minstas stabilitet	Belastning/vibrationer	-	6	7	2	84	Ingen åtgärd
	Sprickor	Minstas stabilitet	Belastning	[Hjälfsanhetstest]	2	9	3	54	Drä åt förbandet vid montering
Tillred slots	Deformation	Minstas stabilitet	Belastning	-	6	5	3	90	Ingen åtgärd
	Vibrationer	Ojuld	Ojäm yta	-	8	4	3	96	Ingen åtgärd

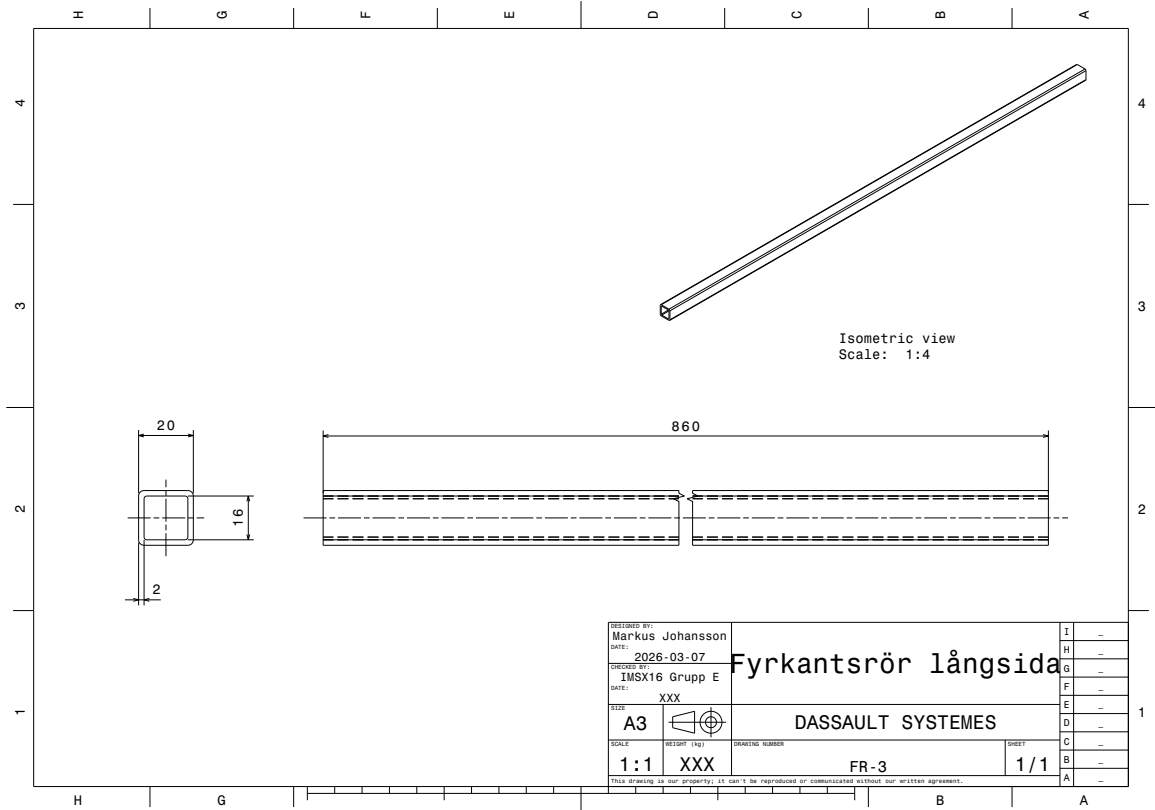
L Ritning-Fyrkantströr (hörn)

Bilaga L innehåller en ritning på fyrkantströr (hörn).



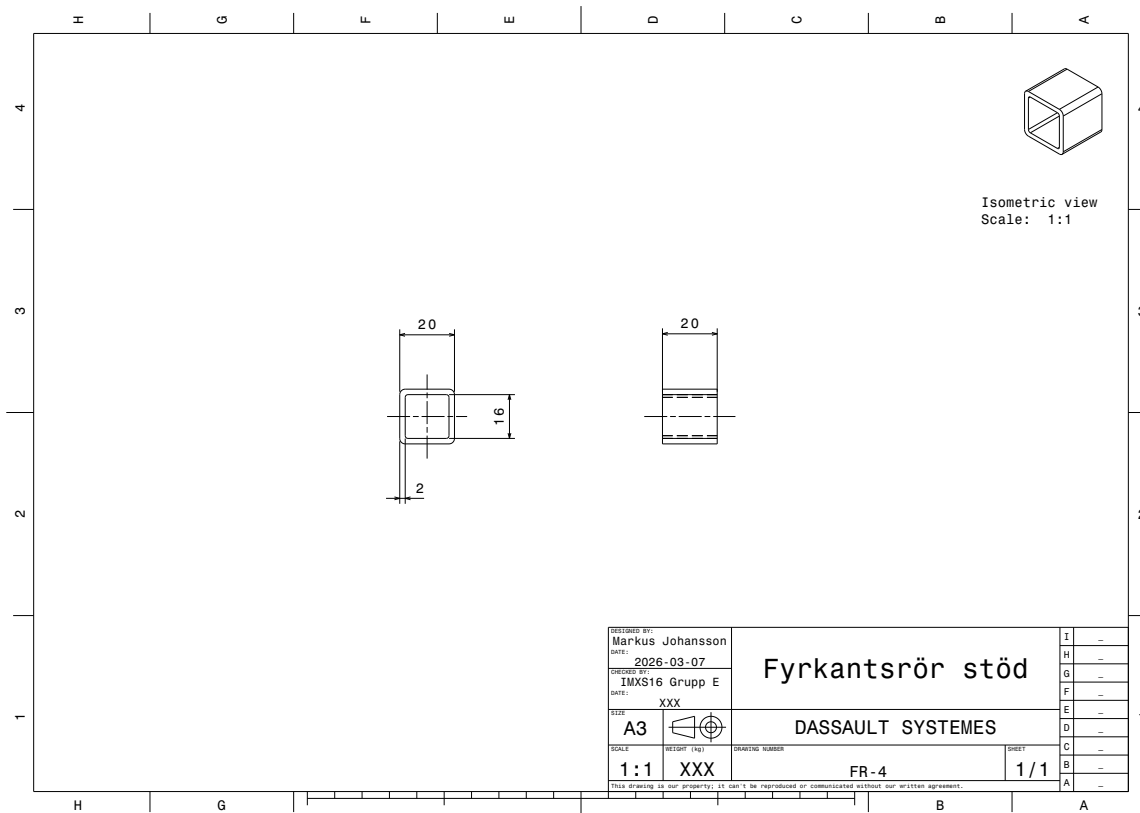
N Ritning-Fyrkantsrör (långsida)

Bilaga N innehåller en ritning på fyrkantsrör (långsida).



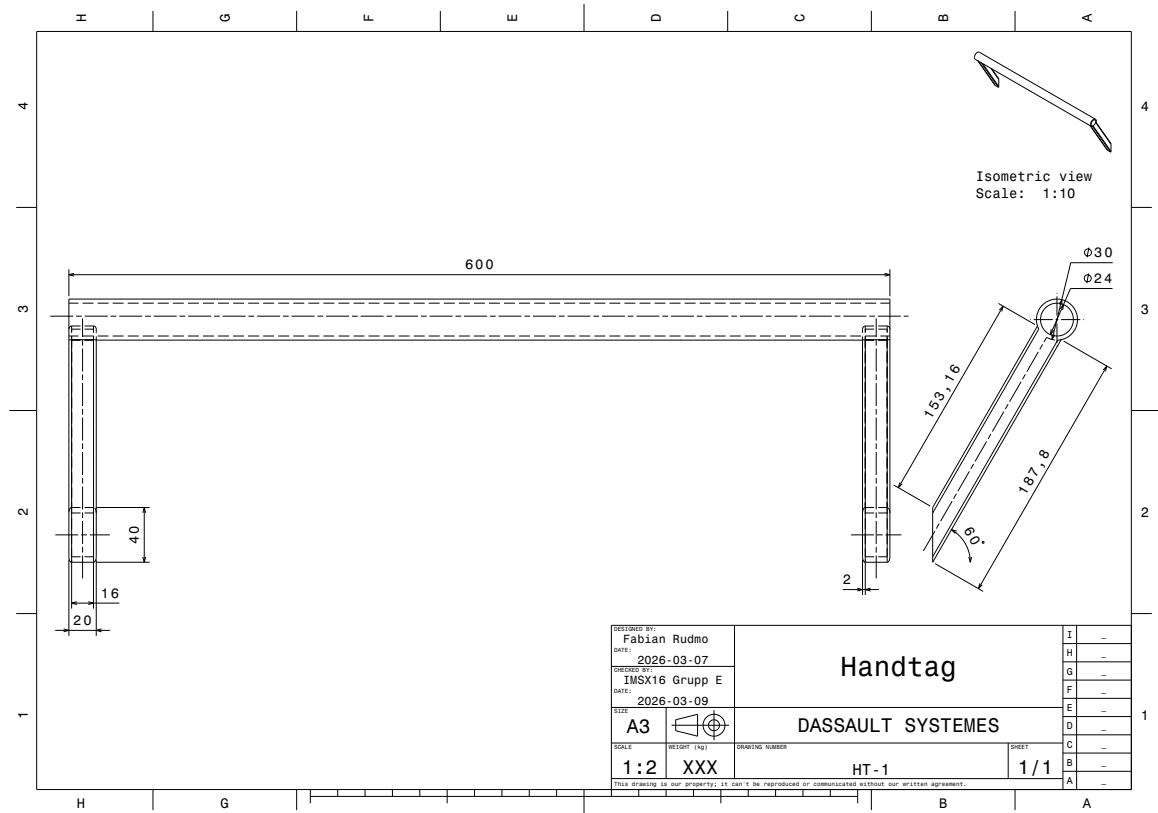
O Ritning-Fyrkantsrör (stöd)

Bilaga O innehåller en ritning på fyrkantsrör (stöd).



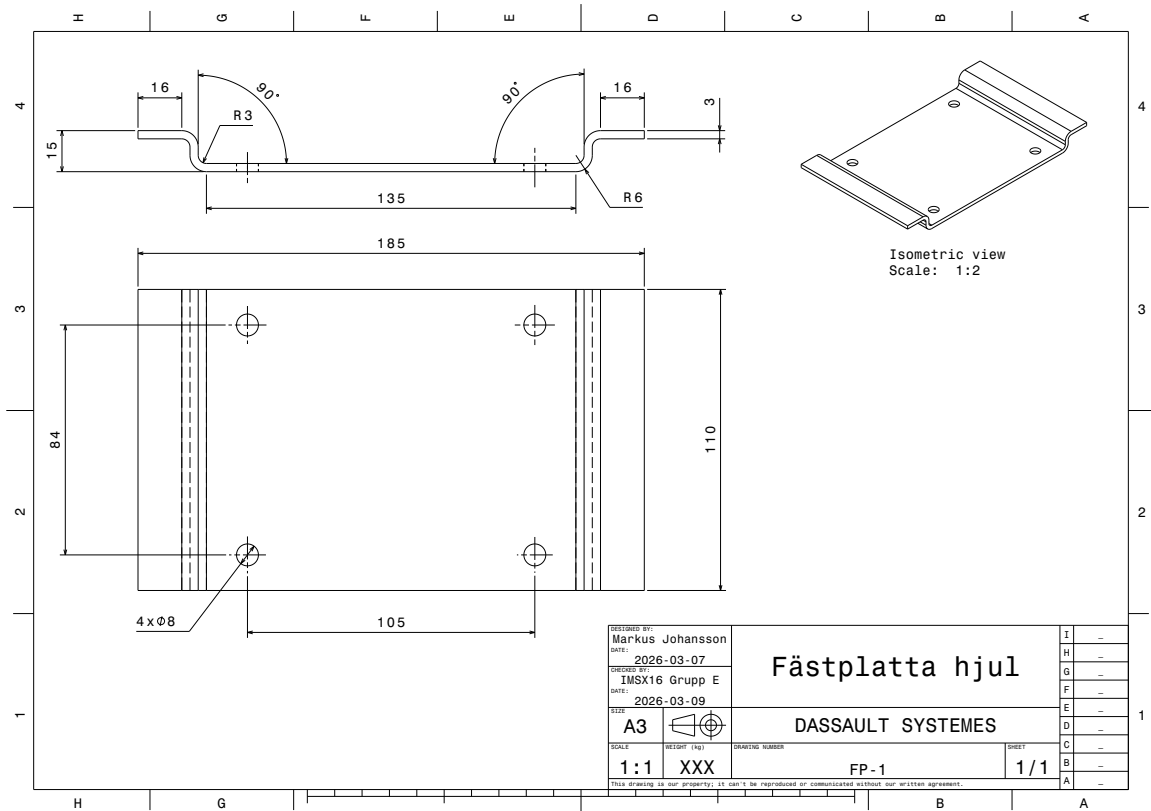
P Ritning-Handtag

Bilaga P innehåller en ritning på vagnens handtag.



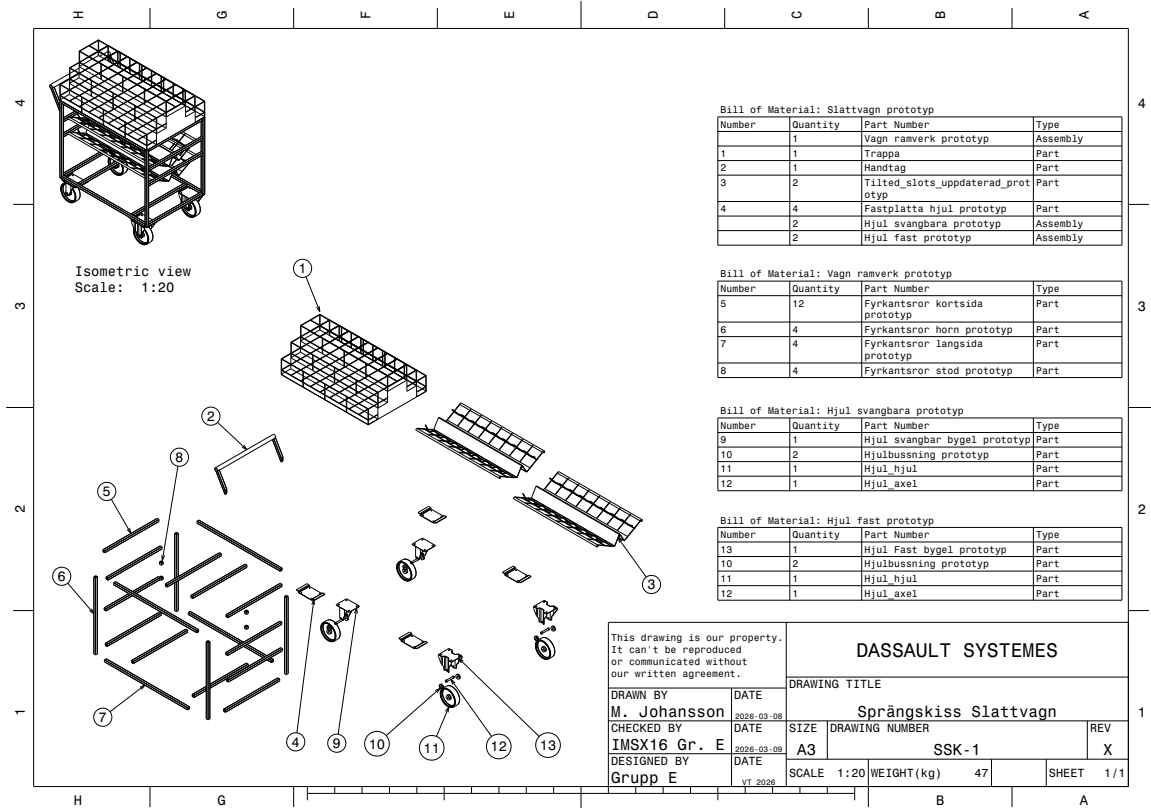
Q Ritning-Hjulinfästning (Fästplatta)

Bilaga Q innehåller en ritning på hjulens fästplattor.



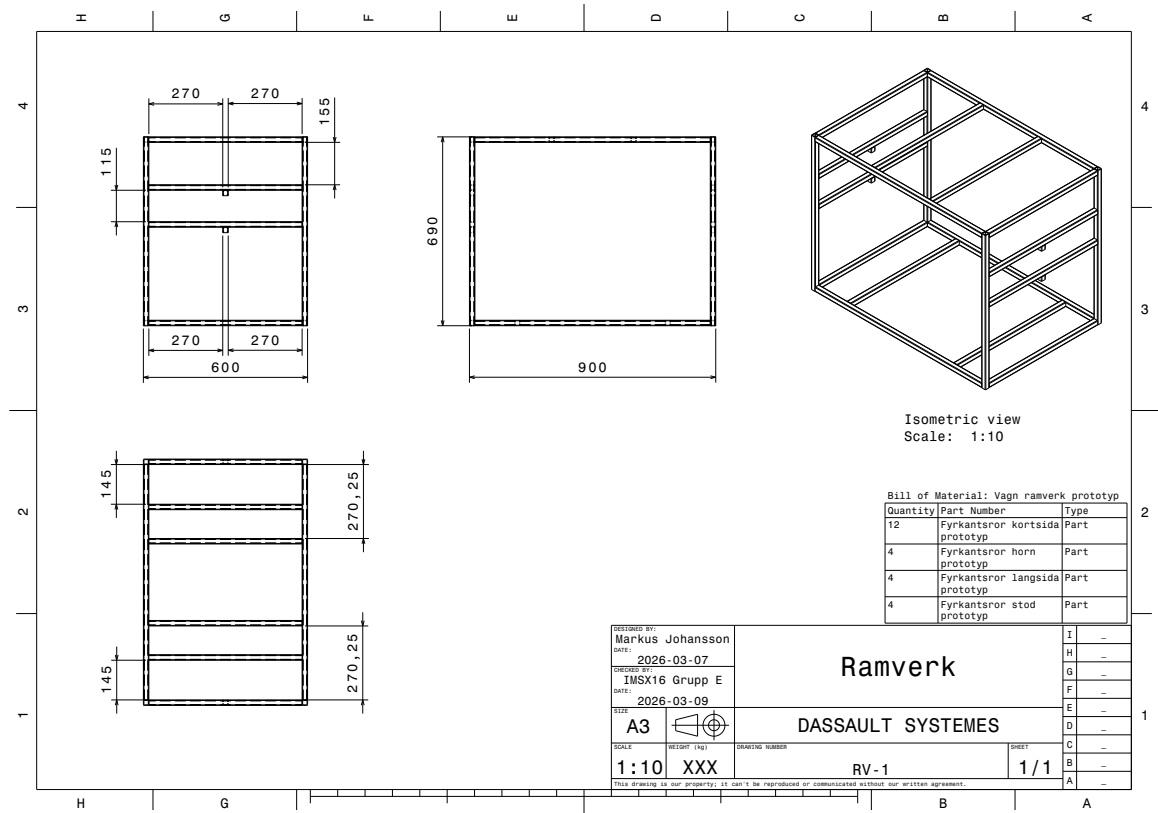
R Ritning-Sprängskiss slattvagn

Bilaga R innehåller en ritning på slattvagnens sprängskiss med BOM (Bill of Material).



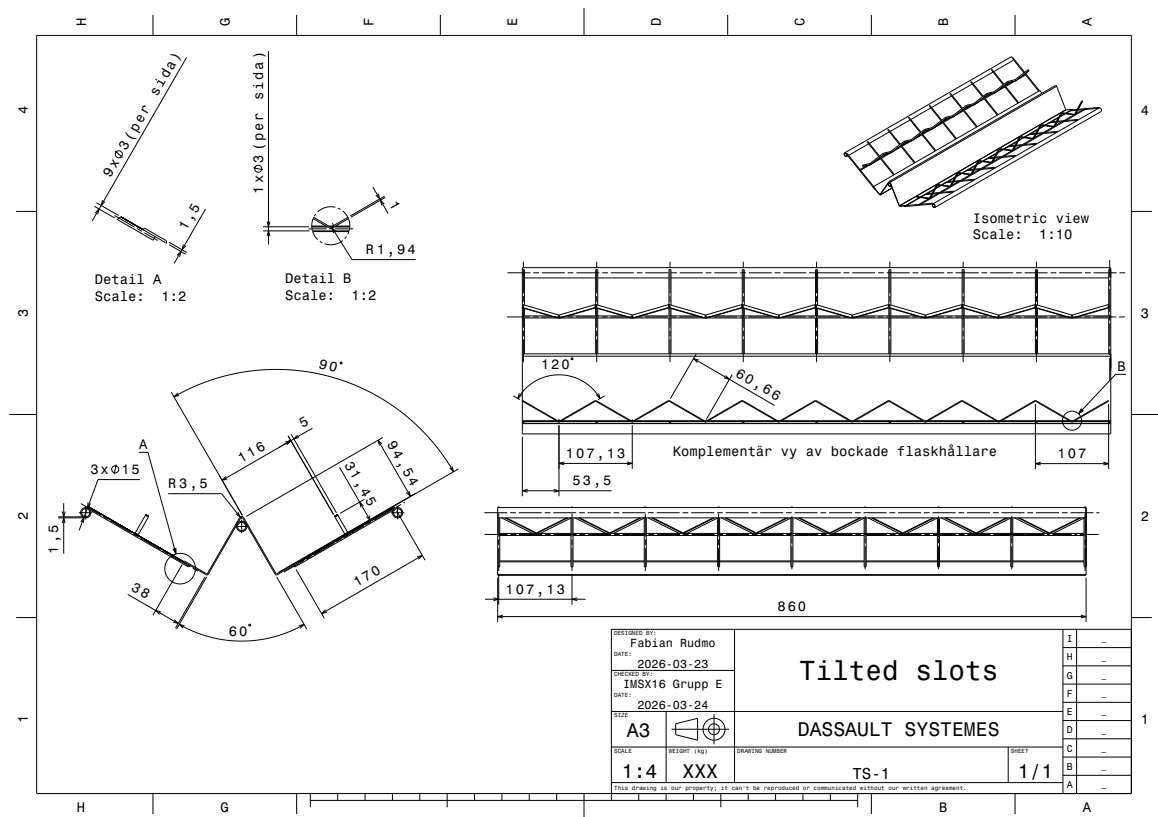
S Ritning-Ramverk

Bilaga S innehåller en ritning på vagnens ramverk.



U Ritning-Tilted slots

Bilaga U innehåller en ritning på *Tilted slots*.



V Material lista

Bilaga V innehåller en materiallista.

Materiallista:

Fyrkantsrör (20x20 mm x 2 mm):
stående: 692 mm x 4 st +
liggande (långsida): 860 mm x 4 st +
liggande (kortsida): 560 mm x 12 st +
handtags support: 200 mm x 2 st +
total fyrkantsrör = 13,328 m

Runda rör(15 mm, < 1 mm tjocklek):
tilted slots: 860 mm x 6 st
total runda rör = 5,16 m

Plåt (1 mm tjocklek):
trappan: (1000 mm x 900 mm) + (400 mm x 200 mm x 4 st)
tilted slots: (860 mm x 450 mm) x 2 st
total 1 mm plåt = 1,994 m²

Plåt (2-3 mm tjocklek):
flänsar till hjulen: (240 mm x 110 mm x 4 st)
total 2-3 mm plåt = 0,1056 m²

Pinnar (2 mm):
trappan: (900 mm x 13 st) + (2000 mm) + (140 mm x 32 st) + (200 mm x 30 st) + (400 mm x 10 st)
total 2 mm pinne = 28,18 m

Pinnar (3 mm):
tilted slots: (180 x 36) + (860 x 4)
total 3 mm pinne = 9,92 m

Sammanställning till beställning:

- Fyrkantsrör (20 x 20 x 2 mm): 14 m
- Runda rör (15 x 1 mm): 5,5 m
- 1 mm plåt: 2 m²
- 2–3 mm plåt: 0,11 m²
- 2 mm pinnar: 30 m
- 3 mm pinnar: 10 m

Utifrån beräkningar landar vi på en ungefärlig vikt på:

35,6–36,8 kg

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2026

www.chalmers.se



CHALMERS