

CHALMERS



Viktreducering av cykelhållare

för dragkroksmontering på bil

Kandidatarbete i Teknisk design

ELLEN HULTMAN
LINNEA JADING
ERICA LINDGREN
RASMUS LINDSTRÖM
ALEXANDER LITTORIN

Institutionen för Produkt och Produktionsutveckling
Avdelningen Design & Human Factors
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2010

KANDIDATARBETE PPUX03

Viktreducering av cykelhållare

för dragkroksmontering på bil

Kandidatarbete i Teknisk design

ELLEN HULTMAN, LINNEA JADING, ERICA LINDGREN,
RASMUS LINDSTRÖM, ALEXANDER LITTORIN

Institutionen för Produkt och Produktionsutveckling
Avdelningen för Design & Human Factors
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2010

Viktreducering av cykelhållare
för dragkroksmontering på bil
Kandidatarbete i Teknisk design

ELLEN HULTMAN, LINNEA JADING, ERICA LINDGREN,
RASMUS LINDSTRÖM, ALEXANDER LITTORIN

© ELLEN HULTMAN, LINNEA JADING, ERICA LINDGREN,
RASMUS LINDSTRÖM, ALEXANDER LITTORIN, 2010

Kandidatarbete PPUX03
Institutionen för Produkt och Produktionsutveckling
Avdelningen Design & Human Factors
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Sverige
Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Omslag:
Renderad bild på slutprodukt

Tryckeri / Institutionen för Produkt och Produktionsutveckling
Göteborg, Sverige 2010

Förord

Denna rapport är en dokumentation av produktutvecklingsprojektet "Viktreducering av cykelhållare för dragkroksmontering på bil". Projektet har genomförts under vårterminen 2010 i samarbete med Thule AB och ingår i kursen Kandidatarbete som ges av Institutionen för produkt- och produktionsutveckling på Chalmers i Göteborg. Studenterna som utfört projektet går i tredje årskursen på civilingenjörsprogrammet Teknisk design.

Flera personer har bidragit till att projektet kunnat genomföras väl med ett lyckat slutresultat. Först och främst vill vi tacka Anders Lundgren och Henrik Eriksson på Thule AB för deras stora engagemang och stöd under projektet.

Ett stort tack även till kontaktpersoner på Chalmers institutioner Material- och tillverkningsteknik samt Produkt- och produktionsutveckling, Rodney Rychwalski, Mats Norell och Göran Brännare för att de har ställt upp med konsultation under arbetets gång.

Vi vill också tacka våra akademiska handledare Oskar Rexfelt, Alexandra Rånge samt mastersstudenterna i vår mentorgrupp på Teknisk design.

Göteborg, 18 maj 2010

Ellen Hultman, Linnéa Jading, Erica Lindgren, Rasmus Lindström och Alexander Littorin

Sammanfattning

Kandidatprojektet har genomförts på uppdrag av Thule AB, vilka tillverkar olika typer av lasthållarsystem för bilar. Fokus under arbetet har varit att genom viktreduktion underlätta hanteringen på de ofta stora och tunga dragkroksmonterade cykelhållarna. Projektet har syftat till att genom undersökning av material och konstruktion visa på ett innovativt koncept som möjliggör en viktreduktion av dragkroksmonterade cykelhållare i premiumklass.

Till grund för utvecklingsarbetet användes Thules cykelhållare *Thule EuroClassic G5 909* som referensprodukt. Den väger 19kg och medger säker transport av upp till tre cyklar med maximal total lastvikt på 51kg.

Projektet inleddes med insamling och analys av data kring problemet, något som låg till grund för idégenerering kring lätta konstruktioner. Parallellt med utveckling av idéspår skedde en studie kring lättviktsmaterial. Efter utvärdering gentemot de krav som sammanställts valdes ett av idéspåren, en plattformslösning, för vidare utveckling. I denna fas av projektet uppkom ett krav på minskad förvaringsvolym. I samband med vidareutvecklingen och specificering av konstruktion valdes även lämpliga material och tillverkningstekniker.

Projektet har resulterat i ett visionärt cykelhållarkoncept med en vikt motsvarande hälften av referensproduktens. Det består av en ramkonstruktion i aluminium samt två utfällbara vingar i kolfiberarmerad epoxiplast. Konceptets utformning medför önskad förvaringsvolym, avsevärt förbättrad hantering samt ett uttryck i linje med Thules premiumklass.

Abstract

This project has been developed in collaboration with Thule AB, a company that develops different kinds of load carrying systems for cars. The focus of the assignment has been to reduce the weight in favor of easing the usage of the often heavy and large bike carrier for tow bar mounting. The purpose of the project has been to investigate the potential of applying different materials and design into a visionary concept that reduces the weight of tow bar mounted bike carriers of Thule's premium line.

As a reference product in the development project, Thule's bike carrier *Thule EuroClassic G5 909* has been used. It weighs 19 kg and allows safe transportation of up to three bikes of total maximum weight of 51 kg.

The project started with a collection and an analysis of data concerning the problem, being the basis used for brainstorming of new ideas regarding light weight design. Along with development of the different tracks of ideas a study about light weight materials was made. The work proceeded with an evaluation of the idea tracks with consideration to specifications of requirements. One of the idea tracks, consisting of a platform solution, was chosen for further development. In this phase of the project a requirement regarding more efficient storage was added. Next to further development and specifications of the design, appropriate materials were chosen along with suitable manufacturing processes.

The project resulted in a visionary bike carrier concept with half of the reference product's weight. The design consists of a frame work in aluminum and two foldable wings in carbon fiber reinforced epoxy. The formation of the concept allows the desired storage volume, considerably improved usage and has an expression that makes the concept a good fit in Thule's premium product line.

Innehåll

INNEHÅLL	5
1. INLEDNING	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Problembeskrivning	7
1.3 Syfte och mål	8
1.4 Frågeställningar	8
1.5 Avgränsningar	9
2. TEORI: METODER OCH VERKTYG	10
2.1 Databesamling	10
2.2 Analysmetoder	10
2.3 Idégenerering	14
2.4 Utvärdering	14
3. GENOMFÖRANDE	16
3.1 Problemidentifiering	17
3.2 Kravlistning	18
3.3 Idégenerering	19
3.4 Framtagning av idéspår	19
3.6 Utvärdering och val av idéspår	20
3.7 Vidareutveckling och specificering	20
3.8 Materialval	22
3.9 Slutresultat	23
4. DELRESULTAT KONSTRUKTION	24
4.1 Databesamling och analys	24
4.2 Kravspecifikation	34
4.3 Idéer	39
4.4 Idéspår för delredovisning	40
4.5 Utvärdering och val av idéspår	46

4.6. Utveckling av valt idéspår	46
5. DELRESULTAT MATERIAL	49
5.1 Kompositmaterial	49
5.2 Metallegeringar	60
6. SLUTRESULTAT	63
6.1 Konzeptutformning	63
6.2 Teknisk funktion	66
6.3 Hantering	71
6.4 Uttryck och gestaltning	74
6.5 Material och tillverkning	77
6.6 Hållfasthet	79
6.7 Livscykelanalys	80
7. DISKUSSION	83
7.1 Resultat	83
7.2 Metoder	88
7.3 Genomförande	89
7.4 Vidareutveckling	91
8. SLUTSATS	92
KÄLLFÖRTECKNING	93

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Många friluftssintresserade har ett behov av att transportera olika typer av sportutrustning med bil. Istället för att alltid behöva använda en stor bil, kan de låta bilen växa med behoven att ta med sig mer och större saker än de som ryms inuti bilen genom att sätta på en separat lasthållare. På denna affärsidé bygger företaget Thule sin verksamhet.

Idag finns i sortimentet många olika typer av lasthållarsystem för bilar för att möta den friluftssintresserades behov av att säkert, enkelt och stilfullt kunna transportera olika typer av last med hjälp av bil. Företaget är störst i världen på denna produktgrupp och producerar bland annat skidhållare, takboxar, hållare för vattensportutrustning och cyklar. (Thule 2010)

Produktgruppen bakmonterade cykelhållare (Rear Mounted Systems, RMS) svarar för en stor del av företagets omsättning. Den största delen av dessa cykelhållare monteras på bilens dragkrok. Hos dragkroksmonterade cykelhållare är det av största vikt att cyklarna står stabilt och att de varken rör vid varandra eller vid bilen. Det är också standard att bilens baklucka kan göras tillgänglig utan att användaren behöver montera av cykelhållaren.

1.2 Problembeskrivning

Många dragkroksmonterade cykelhållare är tunga och därmed besvärliga att hantera. Thule vill underlätta användningen av produkten genom att minska dess vikt. Genom att studera alternativa material- och produktutformningslösningar skall den fysiska vikten på cykelhållare därför reduceras och konstruktionen optimeras för att minska dess upplevda vikt. Detta utan att göra avkall på praktisk användning, säkerhet eller ett stilfullt uttryck.

En av Thules befintliga cykelhållare används i utvecklingsarbetet som referensprodukt. Den heter *Thule EuroClassic G5 909* (hädanefter endast benämnd "referensprodukten") och är en av företagets cykelhållare i premiumklassen för tre cyklar som monteras på dragkrok (se kapitel 4.1.5).

1.3 Syfte och mål

Syftet med projektet är att genom undersökning av material och konstruktion visa på ett innovativt koncept som möjliggör en viktreduktion av dragkroksmonterade cykelhållare i premiumklass.

Mål:

- Konceptet ska innebära en viktreducering i jämförelse med referensprodukten.
- Konceptet ska lösa minst samma huvuduppgifter som referensprodukten gör.
- Möjligheter till förbättrad användning ska tas i akt vid framtagning av konceptet.
- Projektet ska resultera i ett visionärt koncept som ska vara realiserbart inom en fem- till tioårsperiod.
- Resultatet ska redovisas genom presentationsbilder i form av CAD-renderingar, förslag på materialval och tillverkningstekniker samt överslagsberäkningar på dimensionering för konstruktionen.

1.4 Frågeställningar

- Hur kan produktutformning och material ändras från referensprodukten så att det föreslagna konceptet har en lägre vikt och ändå uppfyller samma huvuduppgifter?
- Hur kan utformningen se ut om säkerhets, premium- och miljöaspekter beaktas?
- Hur kan det föreslagna konceptet utformas så att hanteringen underlättas jämfört med hur referensprodukten hanteras?

1.5 Avgränsningar

Den inspänningsmekanism som används på referensproduktens koppling kring dragkroken behålls även på konceptförslaget, enligt Thules specificering. Dock kan handtagets utformning eventuellt varieras.

Den miljömässiga aspekten på den tänkta produkten skall finnas med i utvecklingsarbetet. Dock prioriteras viktraspekten framför miljöaspekten när beslut kring utformning tas.

Utvecklingsarbetet kommer att fokusera på att ta fram innovativa och visionära lösningar, och därför kommer aspekter som ekonomiskt lönsam tillverkning av den tänkta produkten endast att behandlas översiktligt.

2. Teori: Metoder och verktyg

2.1 Datainsamling

2.1.1 Materialdatabassökning

Cambridge Engineering Selector (CES Selector Version 5.1.0) är en databas som innehåller information om materials egenskaper och processer för tillverkning. Databasen är menad att användas till hjälp för processen att välja material till en produkt eller applikation. Upphovsmakarna är professorerna Mike Ashby och David Cebon vid Cambridge universitet, och mjukvaruprogrammet marknadsförs av deras företag Granta Design. Upplagan CES EduPack riktar sig till studenter och lärare för ingenjörsk-, material- och designrelaterade ämnen. Med hjälp av databasen kan sökningar göras baserade på eftersökta egenskaper, tillämpningar, processer eller på specifika materialnamn. Vidare kan jämförelser göras efter valda parametrar som till exempel mekaniska egenskaper och pris. CES kan således användas både för att samla in data om material, samt för att utvärdera och analysera applikationsmöjligheter. (Granta Design Limited 2010)

2.2 Analysmetoder

2.2.1 KJ-analys

Syftet med en KJ-analys är att strukturera och sammanställa stora datamängder för att få en helhetsbild över insamlad information. Analysmetoden används exempelvis för att gruppera information som sedan kan formuleras till krav, eller för att sortera idéer uppkomna ur en idégenerering (se 2.4 Idégenerering). Metoden går till så att insamlad eller genererad data skrivs upp på "post it"-lappar som sedan placeras ut på en stor yta efter önskad struktur. Om data på en lapp kan relateras till en annan så placeras dessa ihop. Resultatet blir att all data är grupperad i tematiska grupper och undergrupper som kan ges rubriker efter innehåll. (Karlsson 2008)

2.2.2 Funktionsanalys

Med hjälp av en funktionsanalys åskådliggörs en produkts huvudsyfte och hur det kan uppfyllas. Först definieras produktens huvuduppgift och vilka funktioner som krävs för att uppfylla den. Dessa delas sedan in i delfunktioner som krävs för att uppfylla huvuduppgiften, samt stödfunktioner som inte är direkt nödvändiga men som ändå bidrar till produktens funktion. Dessa del- och stödfunktioner kan sedan tillskrivas olika delar i produkten. Genom att göra en funktionsanalys får man en hierarki som kan illustreras i en trädstruktur. Rör man sig uppåt mot huvudfunktionen får man reda på *varför* funktionerna finns, medan en rörelse nedåt bland delfunktionerna talar om *hur* funktionen kan uppfyllas.

Man kan både använda en funktionsanalys på en befintlig produkt för att analysera dennes funktioner, eller som en hjälp för att utveckla en produkt som ska lösa en tänkt uppgift. I det förstnämnda fallet används en funktionsanalys för att förstå hur en produkt är konstruerad, men ger också en utvärdering av vilka komponenter som gör vilken nytta och vilka som eventuellt är överflödiga eller uppfyller sin uppgift på ett bristfälligt sätt. Metoden fungerar också som hjälp för att abstrahera en produkts huvud- och delfunktioner vilket öppnar upp för nya sätt att lösa uppgifterna. (Österlin 2010)

2.2.3 Hierarchic Task Analysis (HTA)

Hierarchic task analys (HTA) är en metod för att dela upp en uppgift i mindre delar, där uppgiften kan kopplas till en produkt och därmed också deluppgifterna till produktens olika funktioner. På så sätt fås en överblick över hur uppgiften utförs, och därmed produktens hantering, steg för steg. Resultatet kan sedan användas som underlag för vidare analys. (Jordan 1998; Bohgard et al. 2008)

2.2.4 Cognitive Walkthrough (CW)

Cognitive Walkthrough (CW) är en teoretisk utvärderingsmetod över hur hanteringen går till och vilka problem som kan tänkas uppkomma under den. Som underlag för metoden kan uppdelningen av hanteringsstegen genom en HTA användas. I en CW besvaras följande fyra frågor: *"Kommer användaren försöka uppnå rätt effekt?"*, *"Kommer användaren att notera att rätt handling finns tillgänglig?"*, *"Kommer användaren att associera korrekt*

handling med rätt effekt?", samt "Om rätt handling är utförd, kommer användaren att förstå att handlingen har fört uppgiften närmare målet?". Genom att besvara dessa frågor kan utvärderaren bedöma hur användaren troligtvis upplever hanteringen och hur användarvänlig produkten är. Om någon av frågorna besvaras med ett nej utreds den troliga orsaken och problemet bakom, vilket ger ett underlag till förslag på vad som bör vidareutvecklas hos produkten. (Jordan 1998)

2.2.5 Preventive Human Error Analysis (PHEA)

Preventive Human Error Analysis (PHEA) är en metod för att undersöka vilka potentiella användningsfel som kan uppkomma under hanteringen av en produkt samt vilka konsekvenser dessa kan få. Metoden syftar till att svara på frågorna: *"Vad kan användaren göra för fel?"* samt *"Vad händer om användaren gör fel?"*, för att på så sätt utreda vad som händer om användaren utför en korrekt handling vid fel tillfälle, utför en inkorrekt handling vid rätt tillfälle eller inte för något alls. Vid varje möjlig felhandling som kan tänkas uppkomma analyseras orsaken, konsekvenserna, möjlighet till upptäckt samt återhämtning av felet. Tillsammans med CW är PHEA en tids- och resurseffektivt sätt att bedöma problematiken med hanteringen av en viss produkt. (Bohgard et al. 2008)

2.2.6 Rapid Entire Body Assessment (REBA)

Rapid Entire Body Assessment (REBA) är en metod för att analysera skaderisken som uppstår vid arbete i olika kroppsställningar. Vilka arbetsställningar som analyseras väljs med fördel ur den heuristiska utvärderingen (HTA). Genom studera ställningarna och poängsätta dessa utifrån hur de belastar kroppen erhålls snabbt ett värde på hur pass skadlig ställningen är. REBA-metoden tar även hänsyn till hur pass väl användaren kan greppa om lasten och om tyngdkraften påverkar positionen av övre extremiteter. Resultatet (ett värde från 1-15) ger en fingervisning kring huruvida arbetsställningen är skadlig och hur akut den i så fall måste åtgärdas. (Bohgard et al. 2008; Cornell University Ergonomics Web 2010)

2.2.8 Benchmarking

Benchmarking är ett sätt för företag eller organisationer att genom studier av goda förebilder, inom en viss bransch eller produktområde, utvärdera en verksamhet eller produkt i förhållande till de som man uppfattar som bäst. Det finns intern och konkurrentbaserad benchmarking, där man i den förstnämnda varianten fokuserar på att jämföra egna enheter och produkter med andra divisioner och produktsegment. Ett företag kan också fokusera på konkurrenterna inom samma bransch för att efter valda riktlinjer analysera likheter och skillnader med den egna verksamheten eller produktprestandan.

2.2.8 Livscykelanalys (LCA)

LCA är en metod för att utvärdera miljöpåverkan. Metoden ger en helhetssyn från vaggan till grav hos en produkts liv och den kan appliceras på olika områden från strategisk planering och utveckling av miljöpolicy till produktutveckling och marknadsföring. Med hjälp av LCA kan de faktorer som har störst miljöpåverkan uppmärksammas. I produktutvecklingsarbetet medför detta att det miljömässiga förändringsarbetet kan läggas på de viktigaste aspekterna snarare än endast på de mest uppenbara. (Carlsson & Pålsson 2008)

2.2.9 Expression board

En expression board är ett bildkollage som definierar det uttryck som eftersträvas hos produkten som skall utformas. Den har något eller några ord som beskriver känslan produkten skall ge en användare samt bilder på till exempel inspirerande former, konstruktion, andra inspirerande produkter och möjliga material. En expression board används som inspirationskälla, bland annat för att säkerställa att uttrycket blir det önskade, samt för att inom en grupp kommunicera en gemensam inställning om ett eftersträvat uttryck. Detta för att gruppen ska arbeta mot ett och samma mål gällande produktens gestaltning. (Österlin 2010)

2.3 Idégenerering

2.3.3 Brainstorming

Brainstorming är en metod för att på kort tid generera en stor mängd idéer. Det finns flera olika varianter och appliceringar av *brainstorming*. Vanligast och mest effektivt är att samla en mindre grupp under ledning av en moderator. Deltagarna presenteras därefter för ett problem, exempelvis "hur kan vi lösa X?". För att stimulera idéflödet kan slumpordlistor användas. Under sessionen är ingen kritik tillåten och deltagarna uppmanas att tänka fritt och komma med kreativa idéer. För att generera så många och så nyskapande idéer som möjligt uppmuntras deltagarna att spinna vidare på varandras uppslag. Idéerna kan antingen presenteras muntligt och föras ned på ett väl synligt ställe (för att underlätta för deltagarna att plocka upp och vidareutveckla en tanke), skissas eller modelleras. Metoden bedöms framgångsrik om det under sessionen framkommit nya idéer eller lösningsförslag. (Karlsson, 2008)

2.3.2 Morfologisk matris

En morfologisk matris är ett rutnät som innehåller ett antal olika faktorer som har betydelse för hur produkten utformas, samt flera olika idéer på hur respektive faktor kan tas hänsyn till. Då de olika idéerna kombineras med varandra på olika sätt, kan många olika helhetslösningar fås. Metoden är användbar då man har ett större antal dellösningar på flera olika problem och vill sätta samman dessa till produktidéer som uppfyller alla de krav de ska uppfylla. (Österlin, 2010)

2.4 Utvärdering

2.4.1 Kravspecifikation

För att utvärdera om en produkt uppfyller de krav som den bör uppfylla, kan en kravspecifikation sammanställas. Det är en checklista som innehåller alla de uppgifter och randvillkor som man vill att produkten skall klara av. En kravlista kan användas dels som bas för produktutvecklingen, och dels som utvärderingsmetod för en produkt eller en produktidé. Kravlistan kan också innehålla önskemål, vilka klassas som att de inte nödvändigtvis måste uppfyllas, men att det är önskvärt att de uppfylls. Önskemålen i en kravlista kan graderas utifrån hur viktigt det är att de uppfylls. (Johannesson et al. 2004)

2.4.2 Manikin

Jack är ett ergonomiutvärderingsprogram utvecklat av University of Pennsylvania och numera distribuerat av Siemens PLM. Programmet möjliggör virtuell interaktion mellan en biomekaniskt anpassningsbar människa, manikin och produkter i en önskad miljö. Genom att studera den digitala människans grepp och kroppsställningar kan slutsatser dras om risker för belastningsskador, storlek på produkt, arbetsställningar med mera. Jack möjliggör ett snabbt test av datormodellerade produkter och på så sätt kan betydande ergonomiska brister lokaliseras innan en fullskalsmodell skapas. (Simulation Solutions 2010)

2.4.3 Dimensioneringsberäkningar

Dimensioneringsberäkningar är en metod för att säkerställa att de uppsatta dimensionerna på en produkt är tillräckliga för att uppfylla de belastningskrav som ställs på denna. Genom dimensioneringsberäkningar kan det avgöras om en pålagd yttre last eller ett tryck leder till att materialet i produkten plasticeras och därigenom medför en permanent deformation eller ett brott. En förutsättning för en korrekt uppskattning av vilka dimensioner som är lämpliga för en produkt är tillgång till data kring vilket material som produkten är tillverkad i. Dimensioneringsberäkningar kan antingen göras för hand eller med hjälp av datorverktyg. Gemensamt för båda metoder är att de kan ge en uppskattning av hållfastheten i konstruktionen innan prototypframställning. Metoden visar även var i konstruktionen det blir spänningskoncentrationer och därmed var produkten eventuellt behöver förstärkas. (Johannesson et al. 2004)

3. Genomförande

Projektet inleddes med att uppdraget och projektets mål formulerades. I samband med detta gjordes vissa avgränsningar, samt en översiktlig tidsplanering, i vilken projektets olika delar och hålltider fastlades.

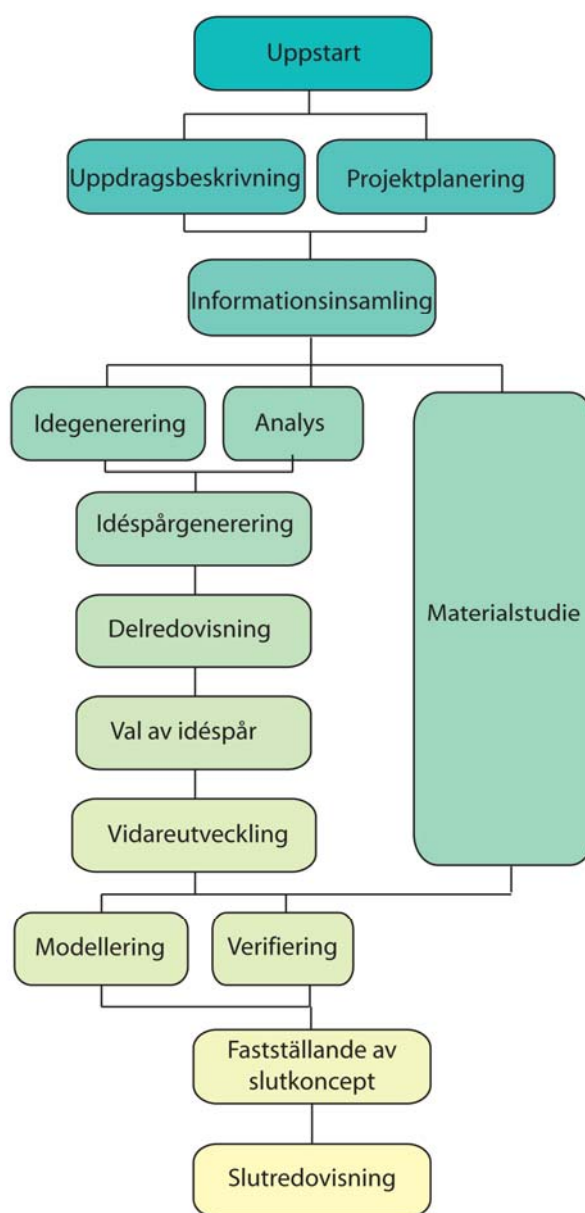
Därefter påbörjades en intensiv period av informationsinsamling, vilken delvis pågick fortlöpande under projektet. Under datainsamlingen togs beslut om att inledningsvis fokusera på lättviktskonstruktion, för att successivt låta fokus övergå i lättviktsmaterial.

Analys av referensprodukten gjordes, varefter idégenerering, analys av idéer och framtagning av idéspår utfördes i en iterativ process. Samtidigt undersöktes olika material i en omfattande materialstudie, som pågick parallellt med övriga projektsteg. Processerna ledde till att fem idéspår växte fram.

Idéspåren presenterades under två delredovisningar, varefter ett idéspår valdes. I samband med detta tillkom också ett nytt krav vilket medförde att det krävdes stort fortsatt utvecklingsarbete av det valda idéspåret.

Efter verifiering och modellering fastlades slutkonstruktionen, vilken prövades genom analys av ergonomi och hållfasthetsberäkningar. Samtidigt summerades materialstudien. Slutligen sammanställdes och presenterades resultatet.

Under processen varierades de olika gruppmedlemmarnas uppgifter. Totalt sett stod samtliga gruppmedlemmar för lika stor del i slutresultatet. Rapportskrivning bedrevs periodvis av alla gruppens medlemmar och sköttes löpande under hela processen, dock med en intensifiering under arbetets slutskede.



3.1 Problemidentifiering

3.1.1 Datainsamling

Bakgrunden till projektets problembeskrivning var delvis specificerad av företaget, men undersöktes vidare av projektgruppen under projektets inledning.

Ett studiebesök i företagets testhall genomfördes och en semistrukturerad intervju med de anställda gjordes. Frågor rörande belastning, miljö med mera togs upp och besvarades.

Thule bidrog med material i form av ritningar samt ISO-standard för referensprodukten. Materialet gick igenom och grundläggande krav identifierades. Utöver detta fick projektgruppen tillgång till företagets designmanual. Ur den kunde krav med avseende på design, brukare och miljöpolicy identifieras. Vidare fick projektgruppen tillgång till referensprodukten.

Parallellt med studien av det från företaget sända materialet inleddes en informationsinsamling om lättviktsmaterial. Studien utformades för att ge ett gediget underlag för cykelhållarens materialval. För utförligare beskrivning se kapitel 3.8 Materialval.

Vidare samlades övergripande information om befintligt utbud inom produktsegmentet in. Här undersöktes Thule samt deras konkurrenters utbud genom informationshämtning från respektive företags hemsida.

3.1.2 Analys av insamlad data

Informationen från företagets designmanual fick ligga till grund för en tolkning gällande produktuttryck, användare och användningssituation. Med detta underlag sammanställdes en *Expression Board* (se kapitel 4.1.4) för konceptet samt bildkollage för användare och användningssituation (se kapitel 4.1.1). Även en rad andra inspirationskollage sammanställdes för att underlätta för den kommande *Idégenereringen* (se kapitel 3.3). Dessa kollage bestod av bilder på lätta men starka konstruktioner inom både industri och infrastruktur, samt exempel på naturens egna lösningar inom djur- och växtriket.

Med hjälp av referensprodukten genomfördes en funktionsanalys (se Bilaga 1). Förutom att befästa produktens huvudfunktion, identifierades

också olika delfunktioner som produkten löser. Genom analysen framkom fler krav som projektets slutkoncept ämnade uppfylla.

För att identifiera eventuella problem hos referensprodukten, gjordes en teoretisk utvärdering av densamma. Utvärderingen genomfördes i form av en *HTA* (se Bilaga 2), följt av *REBA* (se Bilaga 4) samt *CW* och *PHEA* (se Bilaga 3). Metoderna belyste möjliga användningsrelaterade problem hos produkten. Således framkom också möjliga förbättringsområden, samt önskemål, vilka det senare framtagna slutkonceptet ska försöka uppfylla.

3.1.3 Livscykelanalys (LCA)

För att ta reda på referensproduktens miljöpåverkan gjordes en LCA (se kapitel 4.1.9). Under besök hos företaget samlades information in om de olika materialen i produkten och i mesta möjliga utsträckning söktes också information om tillverkning och transporter. Denna information kombinerades sedan med materialinformation från materialdatabasen CES. Genom livscykelanalysen undersöktes referensproduktens miljöpåverkan inom olika områden. En översiktlig livscykelanalys genomfördes på såväl referensprodukt som på koncept som senare togs fram, varefter en jämförelse gjordes och slutsatser kring förändring i miljöpåverkan drogs (se kapitel 6.7).

3.2 Kravlistning

Utifrån de från företaget fördefinierade kraven, samt från materialet sprunget ur datainsamlingen skapades en kriterie- samt problemlistning. De gjorda listningarna låg till grund för en kravspecifikation (se kapitel 4.2) indelad i krav respektive önskemål. Specifikationen kompletterades sedan parallellt med utvecklingsarbetet. Vissa krav tillkom, andra omdefinierades från krav till önskemål och tvärtom. Ett tidigt formulerat önskemål rörde konceptets målvikt, vilken specificerades i samråd med Thule.

Då kravlistan avser en tillverkningsfärdig produkt och projektet resulterar i en produkt på konceptnivå, genomfördes inte slutgiltiga test av produkten mot alla kravlistans krav. Under projektets gång dokumenterades dock utvärderingsmetoder samt resultat i den utsträckning som tilläts inom ramen för projektets omfattning.

3.3 Idégenerering

Då projektet till stor del handlade om att ta fram innovativa lösningar lades stora resurser på idégenereringssessioner för att få fram många idéer. Olika metoder användes för att med största effektivitet trigga kreativiteten och öppna upp för nya revolutionära idéer. Som hjälp vid alla idégenereringstillfällen användes de boards som skapades i samband med analys av datainsamlingen.

Inledningsvis skedde idégenerering fritt genom *brainstorming*, både i grupp och på egen hand. Under några av dessa mindre sessioner användes slumpordlistor för att vidga tankebanorna och inspirera för nya lösningsmöjligheter. Senare idégenererade gruppen genom att bygga små modeller med stickor, ståltråd, lera och papp för att underlätta uppfattningen av volym och proportioner. Här fick gruppen tänka fritt kring hur man kan transportera tre cyklar i anslutning till en bils dragkrok. Utöver detta genomfördes även en längre och mer strukturerad idégenerering där en gruppmedlem agerade moderator.

Under alla idégenereringar dokumenterades resultatet noggrant. Dokumentationen skedde genom skisser, i text eller i form av små modeller. Dessa modeller och skisser sparades eller fotograferades, för att sedan omarbetas till ytterligare idéer.

3.4 Framtagning av idéspår

Ur de olika idégenereringssessionerna kom det fram ett stort antal olika idéer med olika realiserbarhet och innovationshöjder. För att strukturera upp alla delösningsidéer gjordes en *KJ-analys*.

Vidare genomfördes en *Morfologisk matris* där delösningsarna kombinerades på olika sätt. Genom diskussion, samt komplettering med ytterligare idéer och kontroll mot kravlistning, framträdde ett antal idéspår. Dessa särskiljdes till sin karaktär för att tydligt beskriva de olika riktningarna som produkten kunde komma att utvecklas i. Gemensamt för alla idéspår var att de skulle kunna generera en viktminskning av produkten. Vidare delades spåren in efter grad av realiserbarhet, från de realiserbara inom en snar framtid, till de med mycket visionär framtoning.

3.6 Utvärdering och val av idéspår

För att utvärdera de olika idéspåren listades för- och nackdelar med dessa gentemot kravbilden. Som ytterligare hjälp användes den återkoppling som gavs i samband med delredovisningarna på Chalmers och för Thule. Efter den senare beslutades i samråd med företaget att ett koncept skulle vidareutvecklas. Under diskussionen framförde företaget även några nya önskemål beträffande produktens funktion och utformning.

3.7 Vidareutveckling och specificering

3.7.1 Konstruktion och uttryck

Primärt under vidareutvecklingen var att lösa det nyuppkomna kravet beträffande en adderad grundfunktion hos konceptet. En stor del under det fortsatta arbetet bestod därigenom av ytterligare idégenerering för att utveckla konstruktionslösningar för denna funktion. Möten med en universitetslektor inom konstruktionsteknik på Chalmers hölls, varpå konstruktionsbeslut för minimerad vikt togs och onödiga detaljer plockades bort.

Det valda idéspåret bidrog med många dellösningar, men också andra idéer från den morfologiska matrisen användes. Olösta problem bearbetades genom *Brainstorming* och skissning, samt genom tillverkning av små modeller för enkel visualisering och kommunikering inom gruppen.

Konkurrentanalysen utvidgades genom en *benchmarking*. Detta för att mer ingående se hur konkurrenter löst liknande frågeställningar, samt för att se vilka lösningsformer som fungerar tillfredställande, både uttrycksmässigt, funktionsmässigt och ergonomiskt. Denna utförde projektgruppen hos Thule enligt en mall som tillhandahölls av företaget (se Bilaga 7).

För att säkerställa att konceptet skulle komma att kännas premium analyserades under vidareutvecklingen dessutom referensprodukten mer ingående utifrån dess premiumuttryck (för definition se kapitel 4.1.5).

3.7.2 Hantering

För att få en uppfattning om vilka mått som borde användas och hur de olika komponenterna förhåller sig till varandra gjordes tidigt en schematisk CAD-modell (se Bilaga 8). Modellen exporterades därefter till ergonomiutvärderingsverktyget *Jack*, där de mest kritiska, tillika mest förändrade operationerna visualiserades, studerades och utvärderades teoretiskt med en *REBA-analys*. Vidare jämfördes den teoretiska REBA-utvärderingen på konceptet med resultatet för motsvarande operation på referensprodukten. Vissa brister upptäcktes och åtgärdades för att passa en genomsnittlig användare. Modellen byggdes om och gjordes mer detaljerad, ytterligare test i *Jack* genomfördes och generella slutsatser drogs (se kapitel 6.3).

Utöver det ovan beskrivet behandlades, visualiserades och kommunicerades olika detaljlösningar som underlättar hanteringen. Beslut togs tillsammans med uppdragsgivaren om att använda en lägre "lösningsgrad" på dessa, eftersom mer djupgående verifiering av lösningarna ej rymdes inom ramen för projektet.

3.7.3 Hållfasthetsberäkningar

Under vidareutvecklingen undersöktes också på vilka sätt produktens hållfasthet kunde beräknas. Olika programvaror undersöktes och några testades. För att kontrollera hållfastheten gjordes en modell i solidmodelleringsprogrammet *Catia v5* som därefter exporterades till beräkningsprogrammet för hållfasthet *Enmesh*. Då *Enmesh* visade sig ha allvarliga brister vid beräkningar av komplexa former med förhållandevis tunn godstjocklek bestämdes att fortsatta tester skulle utföras direkt i *Catia v5*.

I beräkningarna belastades modellens ingående komponenter statistiskt med radiella laster. Resultaten i beräkningarna jämfördes med respektive materials värden för sträckgräns och utmattning, varpå en bedömning av hållfastheten kunde göras (se kapitel 6.6). Viktuppskattningen på de olika komponenterna genomfördes också den i *Catia v5* (se kapitel 6.1)

3.8 Materialval

Processen att söka rätt material för cykelhållaren var omfattande och bedrevs över hela projekttiden genom olika metoder. Efter konsultation med expertis från Chalmers institution för Material- och tillverkningsteknik lades strategin att först fastställa cykelhållarens konstruktion, för att sedan identifiera de olika komponenternas egenskaper, och med avseende på dem därefter välja lämpligt material. För att ändå skapa en grund att fatta beslut på vad gäller materialegenskaper, tillverkningsmetoder och dess applikationer påbörjades den iterativa utvärderingsprocessen av materialalternativ redan under projektets uppstartande. Materialstudien kom sedan att intensifieras i samband med vidareutvecklingen av valt idéspår.

Efter val av intressanta materialgrupper för cykelhållaren fortsatte en vidare studie av dess specifika egenskaper. De viktigaste kriterierna för materialvalet listades och utgjorde grund för utgallringen. Längs med projektets övriga etapper uppkom nya förslag inom de valda materialgrupperna, medan andra föll bort. Mycket inspiration hämtades från fordonsindustrin där stor utveckling inom lättviktskonstruktion sker idag.

I och med att Thule var intresserade av att skaffa sig kunskaper om möjliga material som de inte redan använder sig av i sitt produktsortiment, blev nytänkande kring material en viktig del i bedömningsprocessen. Följande arbetsgång användes för materialstudien.

3.8.1 Litteraturstudie

Under projektets uppstartande samlade projektgruppen information om de valda materialgrupperna främst genom litteraturstudie. Den omfattade litteratur inom ämnena materialteknik, tillverkningsteknik, materialval för lätta konstruktioner och vetenskapliga artiklar som berörde de valda materialgrupperna. På så sätt skapades en grund för vidare utvärderingsprocesser. Under projektets fortskridande utökades litteraturstudien ytterligare med framför allt vetenskapliga artiklar som berörde specifika materialegenskaper och tillverkningstekniker.

3.8.2 Databassökningar i CES

Databasen CES användes i stor omfattning under hela materialvalprocessen. Inledningsvis gjordes sökningar efter material

genom listande av viktiga materialegenskaper för cykelhållarens olika komponenter. Vidare användes CES till stor del för att finna specifik data om materialsorter som upptäckts genom övrig datainsamling. I CES jämfördes och undersöktes materialparametrarna vad gäller till exempel mekaniska egenskaper och pris. Därmed kom den information som CES ger till stor del att utgöra projektgruppens underlag för dessa materialparametrar och därmed ligga till grund för beslut i materialvalsprocessen.

3.8.3 Personliga kontakter

Projektgruppen tog till stor del hjälp av personer kunniga inom områdena för materialteknik och tillverkning. Vid ett flertal tillfällen under projektet konsulterades expertis på Chalmers institution Material- och tillverkningsteknik. De bistod med vägledning och konsultation vid olika val av material och tillverkningstekniker för cykelhållaren.

För att komplettera den information som inhämtades från den akademiska sfären tog projektgruppen även kontakt med företagen Elitkomposit och Oxeon som tillverkar och utvecklar produkter i kompositmaterial. Dessa konsulterades vad gäller för- och nackdelar med olika tillverkningstekniker och materialsammansättningar.

3.9 Slutresultat

För att redovisa det slutgiltiga konceptförslaget på utformning av cykelhållaren framställdes presentationsmaterial. Detta utgjordes främst av CAD-renderingar, bilder på simulering av hanteringen, materialhänvisningar samt viktuppskattning i tabellform (se kapitel 6).

4. Delresultat konstruktion

I kapitlet redovisas resultatet från datainsamlingen, analysen och idégenereringen. Vidare presenteras projektgruppens idéförslag samt en utvärdering av dessa. Avslutningsvis redogörs vidareutvecklingsarbetet av valt idéspår fram till slutkoncept.

4.1 Datainsamling och analys

Nedan följer resultaten från datainsamlingen och den efterföljande analysen. Informationen som ligger till grund för resultaten har erhållits från Thule samt den teoretiska utvärderingen av referensproduktens funktion och hanteringsaspekter.

4.1.1 Miljö och Användningssituation

Cykelhållaren skall likt referensprodukten kunna användas i de flesta klimat. Detta ställer stora krav på att produkten ska tåla ett stort spann i temperatur, fuktighet, UV-strålning med mera. Miljön bak på en bil är på grund av turbulens rik på partiklar från avgaser och vägunderlag. Utöver dessa miljömässiga omständigheter utsätts delar av produkten också för den värme som kommer från bilens avgassystem.

Till skillnad från referensprodukten som är tänkt att användas främst på semester eller enstaka helger ska det nya konceptet vara anpassat för att användas flera gånger i veckan. Detta ställer högre krav på det nya konceptet att vara enkelt och smidigt att hantera eftersom användningsfrekvensen är högre än den för referensprodukten.



Fig 4.1 Användningssituation

4.1.2 Användare

Den typiska användaren definieras av Thule själva genom fem olika brukartyper. Dessa utgörs av stadsbon som lever för utforskningar, friluftsmänniskan som längtar efter äventyr, familjen som vill umgås och vara social, det äldre paret som vill återupptäcka och slutligen den professionella användaren som strävar efter effektivitet. Projektet arbetar mot samtliga Thules brukartyper.

4.1.3 Thules produktidentitet

Thule har en designmanual som ligger till grund för utvecklingsarbetet av deras produkter. En viktig del i designmanualen är deras beskrivna kärnvärden vilka är: *Smarta lösningar*, *Delad passion* och *Aktiv livsstil*. Utöver dessa arbetar Thule med fem kärnattribut:

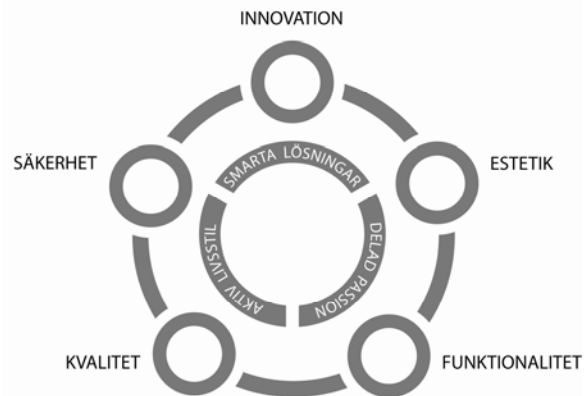


Fig 4.2 Thules kärnvärden och kärnattribut

Innovation - En viktig del av Thules verksamhet syftar till att ta fram nya eller vidareutveckla befintliga patent för att ständigt förbättra företagets produktsortiment och ligga i framkant på marknaden.

Estetik- Produkterna ska karakteriseras av skandinavisk tidlös formgivning som adderar ett mervärde till produkten.

Funktionalitet - En utomordentlig funktionalitet med smarta lösningar ska utmärka Thules produkter gentemot deras konkurrenter. Hanteringen ska vara enkel och medge god ergonomi för användaren.

Kvalité – Användningen av bra material och optimerad konstruktion ska ge produkterna en känsla av god kvalité.

Säkerhet – Att skydda användaren från skaderisker är en central aspekt som prioriteras högt vid produktframtagning och testas noggrant. Användaren ska alltid känna sig säker med Thules produkter.

4.1.4 Uttryck för koncept

Thule beskriver riktlinjerna för sin design med nio olika aspekter. Ett antal av dem innefattar att formen ska uttrycka funktionalitet och beskrivas genom aerodynamiska linjer. Vidare ska uttrycket vara visuellt starkt men också lätt, samt i harmoni med senaste bildesignen. Färger som karakteriserar produkterna är svart, silver, grå och vit.

Genom tolkning av dessa riktlinjer samt med hänsyn till konceptets karaktär har följande *Expression board* utformats (Fig. 4.3). Boarden syftar till att beskriva vad konceptet ska uttrycka genom sin konstruktion, form, färgsättning och typ av material. Exakta material som ska användas symboliseras inte här, utan redovisas senare i projektet.

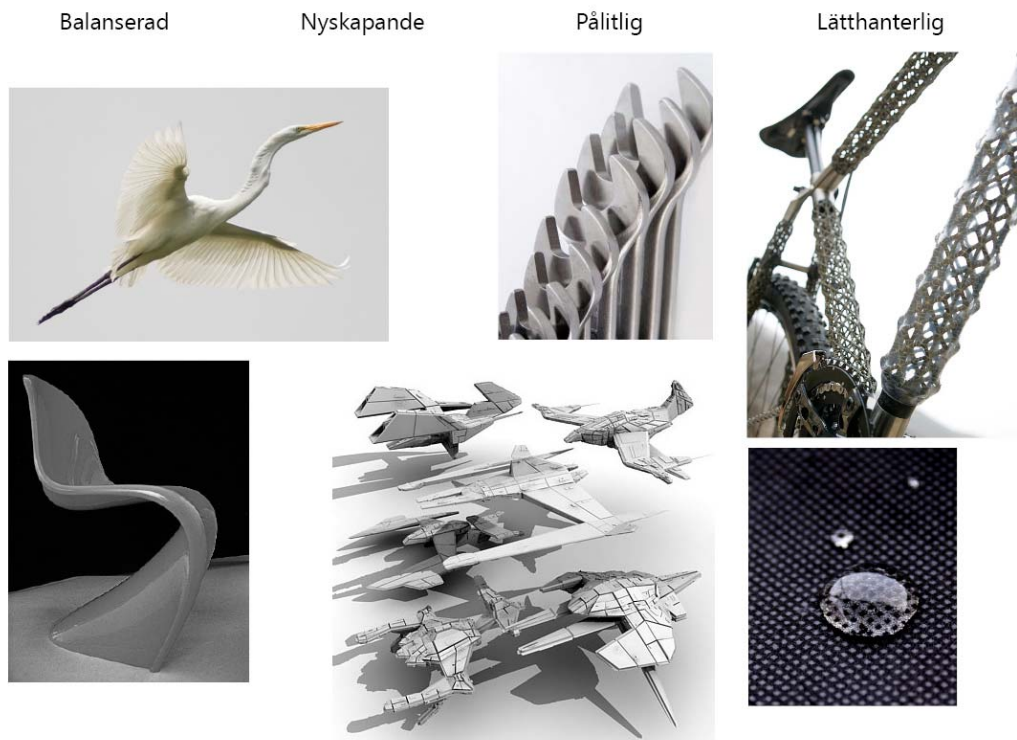


Fig. 4.3 *Expression board*

4.1.4 Produkter på marknaden

Inom området bakmonterade cykelhållare finns ett relativt stort antal aktörer utöver Thule. Bortsett från den klassiska saxen; en hållare som fästs på dragkroken och där cyklarna sedan hängs på två utstickande armar, är i stort sett alla cykelhållarlösningar på marknaden någon typ av plattform. Denna är normalt utrustad med band som spänner fast cykelhjulen vid själva basen av hållaren. Cyklarna stabiliseras sedan normalt upp av någon slags båge med utstickande armar. Armarna griper som en klo runt cykelramen eller så är de utrustade med ett band som spänner runt den samma.

Denna typ av cykelhållare används i större utsträckning i länder så som Tyskland, England och Beneluxländerna än i Sverige då lagkraven kring biltransport av cyklar i dessa länder kontrolleras hårdare än i Sverige. Cykelhållare av saxtyp uppfyller inte dessa lagkrav (se kapitel 4.2), vilket plattformslösningar likt referensprodukten gör. Exempelvis medför cykelhållare av saxtyp att bilens lampor skymms utan att erbjuda annan ljussignalering. Användning av produkttypen ger i dagsläget inga böter i Sverige, vilket det gör i ovan nämnda länder. Därför har cykelhållare likt referensprodukten sin huvudmarknad utanför Sverige i dagsläget.

Mellan de olika konkurrenterna finns stora skillnader vad gäller estetik och kvalitetskänsla. Utbudet på marknaden varierar från produkter som ser mer eller mindre hemmasvetsade ut till sådana som håller en hög designmässig nivå och där helhetsintrycket som ges är väldigt välarbetat. Några konkurrenter har också valt att satsa på lösningar som är mer eller mindre hopfällbara. Några av dessa är i hopfällt läge väldigt kompakta och även mindre än de produkter Thule erbjuder i dagsläget. Trots varierande vikt mellan olika hållare, så är alla generellt sett väldigt tunga.

4.1.5 Referensprodukten

Referensprodukten *Thule EuroClassic G5 909* väger 19 kg och har yttermåttarna 137x65x92 cm. (Fig. 4.2) Den säljs årligen i 30 000 exemplar främst i Tyskland, England, Holland och Belgien.



Fig. 4.2 Referensprodukten

Thule har tre olika segment för sina produkter som riktar sig till olika marknader. Referensprodukten befinner sig i Thules premiumklass för dragkroksmonterade cykelhållare. Detta innebär att produkten ligger i framkant vad gäller utseende och funktion. Specifikt för cykelhållare i premiumklassen är att dessa ska utmärka sig med extra varsam hantering av cyklar, inga lösa delar, med god bekväm åtkomst av cyklar och enklaste möjliga hantering av produkten i stort. Formgivningen kännetecknas av svepande, slutna former och högklassiga material med god ytkvalité.

4.1.6 Referensproduktens funktion

Vilket framgår av funktionslistningen (se Bilaga 1) samverkar de ingående komponenterna i referensprodukten till att medge en säker dragkroksmonterad förvaring av upp till tre cyklar. Montering på dragkroken underlättas genom det handtag som användaren trycker ned och därigenom säkerställer att kopplingslådan är korrekt fäst kring dragkroken. En kraftig koppling mellan bilens dragkrok och cykelhållaren är en förutsättning för att minimera risken att cykelhållaren ramlar av under färd.

Cyklarna fästs på cykelhållaren i tre punkter: en spännrem genom vartdera hjulet och en justerbar klämman kring ramen. Tillsammans medverkar spännremmarna och klämman till att låsa cyklarnas position gentemot cykelhållaren och bilen. Gummibeläggnings på klämmorna bidrar till att minska slitaget på komponenterna som annars uppstått på grund av friktionen och kontaktrycket mellan klämman och ramen. Den bakre ramen fyller två funktioner: dels medger ramen en anpassningsmöjlighet för olika höjder/storlekar på cykelramar då stängerna kan fästas runt hela konstruktionen, dels skyddar den bakre stängerna bilen från att komma i kontakt med cyklarna och därigenom riskera kostsamma lackskador.

Genom att stängerna som fästs i cykelramarna är möjliga att lossa från den bakre ramen får användaren större frihet att placera om såväl cyklarna som stängerna utan att, som är fallet i flera av konkurrenternas produkter, ta bort samtliga cyklar från cykelhållaren och börja om. Den dubbla ramkonstruktionen, tilthandtaget, tiltstängerna och gångjärnen medger tiltning av den yttre ramen och på så sätt tillgängliggörs bagageutrymmet.

Låset på den längsta stängerna förhindrar stöld av cyklarna då de är monterade på cykelhållaren. Låset är en viktig säkerhetsaspekt då användaren stannar till på rastplatser och dylikt och önskar lämna cyklarna obevakade på dragkroken. Lamporna längst bak på cykelhållaren får strömförsörjning via bilbatteriet och ersätter bilens ljussignalering då denna täcks av cyklarna.

Två skruvar möjliggör fastspänning av bakre ram, men även hopvikning då cykelhållaren inte är i bruk. Ytermåtten på produkten blir i hopviktningsläge 137x92x27 cm. Då produkten inte används kan skruvarna även medge löstagning av bakre ram.

4.1.7 Referensproduktens hantering

Hantering av referensprodukten innefattar framför allt tre huvudmoment, vilka i sin tur involverar ett antal olika delsteg, se HTA, bilaga 2. Ett huvudmoment är montering av hållare på dragkrok, i vilket användaren sätter fast hållaren på, eller lösgör hållaren från dragkroken. De övriga huvudmomenten är festsättning av cyklar på hållare, samt tillgängliggöring av bilens bagageutrymme.



Fig. 4.3 Hantering av referensprodukt

Under hanteringen av cykelhållaren är det viktigt att handlingarna alltid slutförs på ett korrekt sätt. Detta då en felaktigt fastspänd hållare eller cykel under bilkörning kan ramla av och således orsaka fara för andra trafikanter. Felaktigheter i hanteringen kan även medföra skada på hållaren i sig eller på cyklarna som ska transporteras med hållaren.

Den teoretiska utvärderingen (se Bilaga 2 och Bilaga 3) visar att användaren på egen hand kan sätta fast referensprodukten på dragkroken. Dock sker detta med vissa svårigheter då produkten, vid fixering på dragkrok, upplevs som tung, otymplig och instabil. Hanteringen försvåras också av att användaren har svårt att identifiera naturliga greppytter och ofta successivt tvingas korrigera grepp, vilket ofta leder till obekväma positioner. Att produkten inte fixeras i något led förrän handtaget har tryckts ned gör att användaren måste balansera och delvis lyfta produkten, samtidigt som en relativt stor kraft måste uppbringas för att trycka ned handtaget och fixera hållaren. Produktens utformning och greppmöjligheter gör även att användaren har svårt att se hur hållarens olika delar förhåller sig till bil, dragkrok och mark.

Under den teoretiska utvärderingen framkom även att felhandlingar begås, dock att dessa korrigeras och att användaren i slutändan lämnar

produkten på ett tillförlitligt sätt. Emellertid upplevdes symbolen för låst respektive upplåst handtag som förvirrande.

I den ergonomiska utvärderingen framkom att produkten har förbättringsmöjligheter gällande de olika hanteringsfaserna. REBA-analysen visade att det för en flitig användare av produkten föreligger stor risk för belastningsskador i framför allt rygg och axlar, samt tryckskador i handflata (se Bilaga 4).

4.1.8 Problemanalys

Stora delar av problemen hos den befintliga referensprodukten kan härledas till vikten och vad den för med sig gällande hanteringen av produkten. Delvis beror detta på att produkten i sig är tung och således kräver en hel del av användaren. Eftersom en användare av en tung produkt direkt kan känna huruvida en ställning eller ett grepp är ansträngande eller ej, ställer produktens stora egenvikt höga krav på utformning av exempelvis handtag och greppytor.

Hur väl hanteringen fungerar påverkar i sin tur hur produktens egenvikt uppfattas. I hanteringen av dagens referensprodukt identifierades en rad olika brister, vilka till stor del grundar sig i otillräcklig kommunikation. Produkten kommunicerar exempelvis inte tydligt var de tänkta greppytorna är placerade, exakt var den specifika fästpunkten för inspänning kring dragkrok är belägen, eller vad en specifik handling har medfört för funktion. Tydliggjord kommunikation gällande dessa områden skulle medföra att handlingarna utförs med större säkerhet och upplevs som mindre ansträngande, svåra och tunga. Tydliggjord kommunikation kan även medföra att färre felhandlingar begås och att produkten därav är smidigare att hantera.

I dagsläget korrigeras de flesta felhandlingar vid användning av referensprodukten. Med samma utformning men i form av en lättare produkt hade felhandlingarna troligtvis fortfarande begåtts, dock med förbättrad upplevelse av hanteringen då handlingarna ej uppfattats som lika ansträngande. Således kan en minskning av den reella vikten, samt tydliggjord kommunikation medföra en stor förbättring av produkten. Ytterligare förbättringspotential finns i att minska antal moment som krävs för att montera fast och av cyklarna på hållaren (se HTA bilaga 2).

4.1.9 Livscykelanalys

Referensproduktens livscykel är uppdelad i sex skeden. Dessa är: hur råmaterialet tillverkas, hur råmaterialet transporteras, hur slutprodukten tillverkas, hur den transporteras till kund, hur produkten påverkar miljön under användning och hur produkten resthanteras.

Framställning råmaterial

En stor del av produktens vikt utgörs av olika ståldelar. Dessa tillsammans med aluminiumdelarna kräver mycket energi vid tillverkningen från malm. Materialet går dock att återvinna och vid tillverkning från återvunnet material är energiåtgången betydligt lägre. De material som bygger upp merparten av resterande produkt är olika typer av polymerer. Dessa är tillverkade från olja som är fossilt och därmed har en omfattande negativ påverkan på miljön. Processen att raffinera olja och tillverka plast är energikrävande och det förekommer mycket kemikalier som är giftiga. Material som används för referensprodukten redovisas i bilaga 5 – Material och materialegenskaper referensprodukt.

Transport råmaterial

Framställningen av de material som bygger upp referensprodukten är spridd runt om i världen. Information om detta och hur materialet sedan transporteras är begränsad och inte helt exakt. Av den information som Thule lämnat framgår att de viktigaste transportlinjerna sker mellan Sverige, Finland och Polen. Generellt sett sker transporter från dessa länder med lastbil, men det förekommer även tågtransporter. Ur hållbarhetsperspektiv är det normalt bäst att hålla tillverkning av komponenter så nära slutmonteringsplats som möjligt.

Tillverkning

Formning av stål och tillverkning av bakstycke och plastband sker i Sverige, medan rör produceras i Finland. Tillverkning av aluminiumdetaljer, hjulhållare samt svetsning av ståldetaljer sker i Polen. Här sker även slutmonteringen och består i att de olika delarna skruvas eller nitas ihop. Detta är den del av produktionen som i minst omfattning påverkar miljön.

Transport till kund

Från slutmonteringen i Polen transporteras sedan cykelhållarna till ett huvudlager i Tyskland. Därifrån distribueras de sedan till olika återförsäljare i Europa. Till sist körs de hem av slutkunden.

Användningsfas

Det är svårt att veta exakt hur länge en produkt av denna typ används innan den resthanteras. Den ekonomiska livslängden kan anses vara ungefär fem år men troligt är att den utan vidare kan ha en faktisk livslängd på femton år. Under denna tid används den för att transportera cyklar med bil och har alltså egentligen ingen egen specifik miljöpåverkan. Miljöpåverkan handlar snarare här om hur mycket bilen påverkar och i sin tur hur mycket cykelhållaren påverkar bilens bränsleförbrukning. Detta är information är också svår att få tag i och det kan skilja sig mycket från bil till bil.

Resthantering

Referensprodukten består av många olika material och detta betyder att det krävs omfattande demontering innan de olika delarna kan resthanteras. De metaller som används kan utan större problem smältas ner och återanvändas. Polymererna är däremot svårare att ta till vara på vid resthanteringen. Vissa av plastdetaljerna är armerade med glas och i bästa fall kan dessa malas ner och återanvändas uppblandat med någon ny matris. Detta ger dock ett material med kraftigt försämrade egenskaper. Vissa av de övriga termoplasterna kan återvinnas till nya produkter, men detta sker också på bekostnad av kvaliteten. Hårdplasterna däremot går till förbränning, och som det ser ut idag hamnar de flesta termoplasterna också i förbränning. Detta beror främst på att det är för kostsamt att sortera olika plaster eftersom det är svårt att hitta köpare till en så pass kvalitetsförsämrad råvara.

4.2 Kravspecifikation

Produkten har framförallt tre grundläggande krav. Den skall transportera tre cyklar bak på bilar, den skall fästas i dragkrokar, samt medge säker och fullgod hantering av en brukare på egen hand. För att uppfylla dessa krav och samtidigt uppfylla det i projektet mest primära kravet om reducerad vikt skall produkten uppfylla kravspecifikationen som följer. En utvidgad version av kravspecifikationen med utvärderingsmetoder bifogas i bilaga 6 - Kravspecifikation.

Kravlistan har under projektets gång reviderats på grund av förändrade förutsättningar. Vissa krav har tillkommit, önskemål har ändrats till krav och vice versa. Det har medfört att delresultatet inte behandlar samtliga krav nedan, dock fångades dessa upp i det efterföljande vidareutvecklingsarbetet.

Kravspecifikation - Bakmonterad cykelhållare

1	Teknisk Funktion	K/Ö
1.1	Produkten skall medge säker transport av 0-3 cyklar.	K
1.2	Produkten ska medge transport av last upp till 51kg.	K
1.2	Produkten skall monteras på bil genom fastspänning kring dragkrok.	K
1.3	Produktens montering skall följa ISO-standard 1103:1996(E) för dragkrok.	K
1.4	Produkten skall medge att varken produkt, cyklar eller bil skadas vid montering eller transport.	K
1.5	Produkten eller last skall ej skymma bilens lampor i monterat läge. Alternativt skall produkten ha lampor som är placerade <40cm innanför lastens yttersta punkt i bilens breddriktning.	K
1.6	Produkten eller last skall ej skymma bilens registreringsskylt i monterat läge. Alternativt skall produkten medge synlig plats för registreringsskylt av EU-modell med måtten LxH [520x110]mm. (Transportstyrelsen 2010)	K
1.7	Produktens infästning skall klara av en last som motsvaras av nominell lyftkraft och nominell longitudinell kraft med en säkerhetsfaktor på 3,75 av cyklarnas vikt	K
1.8	Produktens infästning skall klara av en last som motsvaras av nominell glidkraft med en säkerhetsfaktor på 2,7 av cyklarnas vikt (antal cyklar à maxvikt 20 kg).	K
1.9	Produkten skall ha en livslängd > 5 år.	K
1.10	Produkten skall ha en vikt < 19 kg.	K
1.11	Produkten skall ha en vikt < 10 kg.	Ö1
1.12	Produkten skall klara Thule Test Plan, RMS med godkänt resultat.	K

1.13	Produkten skall vid körning med påmonterade cyklar medge sikt bakåt.	Ö2
2	Hantering	
2.1	Produkt skall möjliggöra fullgod och säker hantering av en brukare på egen hand, i vuxen ålder.	K
2.2	Produkten skall medge förståelse hos brukaren vad gäller hanteringssteg (greppytor, var dragkroken befinner sig i förhållande till produktens påkopplingsdosa).	K
2.3	Produkten skall medge på- och avmontering av cyklar i max tre huvudmoment.	K
2.4	Produkten skall medge montering på dragkrok på en tid < 10 s.	Ö1
2.5	Produkten skall ha en upplevd vikt som är lättare än referensproduktens upplevda vikt.	K
2.6	Produkten skall medge ergonomisk belastning som ger ett värde < 7 på en REBA-analys.	K
2.7	Produkt skall i fastmonterat läge, utan kraftansträngning, medge öppning och åtkomst av innehåll från bilens baklucka (både uppåt- och nedåtöppnade luckor).	K
2.8	Produkten skall möjliggöra stödsäkerhet i monterat läge.	K
2.9	Produkten skall medge kompakt förvaringsvolym [Max 600x600x300]mm	K
3	Anpassningsbarhet	
3.1	Produkten skall medge transport av cyklar med öppna hjulsidor, där måttet mellan fram- och baknav varierar mellan 1050-1150 mm.	K
3.2	Produkten skall medge montering på bilar med dragkrok som täcker 90% av dagens utbud.	K

3.3	Produkten skall medge varsam hantering av cyklar (enligt referensram i kolfiber).	Ö3
4	Material	
4.1	Material skall tåla att utsättas för saltspray med 5 % natriumklorid under 192 timmar (Neutral Salt Spray, NSS, test) utan att korrodera.	K
4.2	Material skall tillåta att produkten uppfyller krav gällande kraftpåverkan i ett temperaturintervall på -30 till 90 grader Celsius.	K
4.3	Material närmast avgasrör ska tillåta att produkten uppfyller krav gällande kraftpåverkan i ett temperaturintervall på -30 till 120 grader Celsius.	K
4.4	Material skall tåla luftfuktighet på 90 % under en livslängd på minst 5 år utan att tappa karaktäristiska egenskaper.	K
4.5	Material skall tåla UV-strålning under en livslängd på minst 5 år utan att tappa karaktäristiska egenskaper.	K
4.6	Materialet skall efter utmattning i 10^7 cykler kunna motstå en radiell last på 1,5 gånger lastens vikt.	K
5	Uttryck och gestaltning	
5.1	Produktens uttryck skall relateras till Thules varumärke.	K
5.2	Produkten skall passa in i Thules produktgrupp Premium.	K
5.3	Produkten skall ge uttryck av att vara säker, funktionell och professionell.	K
6	Tillverkning	
6.1	Produkten ska medge lönsam tillverkning inom 5-10 år.	Ö2

7 Hållbar utveckling

7.1 Produkten ska i fastmonterat läge ej öka bilens bränsleförbrukning jämfört med den som referensprodukten ger upphov till. K

8 Marknad och ekonomi

8.1 Produkten skall gå att sälja i Tyskland, England och Beneluxländerna i produktsegmentet dragkroksmonterade cykelhållare i premiumklass. K

K = Krav

Ö = Önskemål

Där

Ö1 = mycket viktigt

Ö2 = viktigt

Ö3 = inte viktigt

4.3 Idéer

De idéer som kom upp vid idégenereringarna var i KJ-analysen kategoriserade efter Fasthållande av last, Fästteknik, Bärförmåga last, Handhavande minimera kroppslig respektive kognitiv belastning, Bilkontext, Minska produktens fysiska storlek, samt Estetik och visuell kommunikation. Som tidigare nämnt så uppkom vissa förändringar i kravspecifikationen efter idégenereringsfasen (se kapitel 4.6). Därför täcker dess resultat inte hela den slutgiltiga kravbilden.

Kategorin "fasthållande av last" var störst och innehöll bland annat idéer om att cyklarna kan hängas upp på ett renhornslignande fäste, hängas vertikalt i framhjulen, spännas fast på samma sätt som årgångstallrikar med fjädrar på baksidan, och ställas i spår som i ett diskställ. "Fästteknik-kategorin" innehöll några olika idéer på hur fästelement kan se ut, bland annat kardborrband, spindelfötter, tejp och elastiska spännband. I kategorin "bärförmåga last" fanns idéer relaterade till hur något kan bäras upp på ett smidigt och lätt sätt, både på mikro- och makronivå. Till exempel nämndes här origamivikning av papper, teleskopfunktion, armering av material och tyg/väv som material.

Kategorin "Handhavande – minimera kroppslig belastning" innehöll många idéer om hur man kan underlätta handhavandet. Några av dessa förslag var att placera produktens tyngdpunkt nära användarens tyngdpunkt, att cyklarna kan rullas upp på cykelhållaren med hjälp av en ramp, att produkten har ett utfällbart stödhjul så användaren aldrig behöver lyfta den, samt att cykelhållaren kan bestå av flera delar så användaren endast behöver lyfta en del i taget. Den andra handhavande-kategorin, "Handhavande – minimera kognitiv belastning" innehöll ett par idéer om hur det kan bli lättare för användaren att förstå produktens funktion som att den exempelvis har tydliga greppytor.

I kategorin "bilkontext" finns idéer som har att göra med att produkten placeras på en bil. Idéerna handlar i huvudsak om hur bagageluckan kan vara eller göras tillgänglig utan att cykelhållaren monteras av dragkroken. Att produkten skjuts åt sidan, eller att cyklarna placeras så de inte alls behöver flyttas vid åtkomst av bagageluckan är ett par av dem. Här finns också en tilt-idé med. I "minska produktens fysiska storlek" finns bland annat en idé om att cyklarna kan staplas diagonalt mot varandra för att de skall ta mindre plats. Kategorin "Estetik och visuell kommunikation" innehåller idéer om hur lampor och registreringsskylt kan reproduceras på ett tydligt sätt. Exempelvis kan produkten ha speglar som speglar bilens registreringsskylt och lampor, eller ha ledlampor. En annan idé är

att lampor och registreringsskylt på bilen inte skymms alls av cyklarna då de höjs upp ovanför lamporna, och att de därmed inte behöver finnas extra lampor på cykelhållaren.

4.4 Idéspår för delredovisning

De fem idéspåren har olika grad av innovationshöjd och kan realiseras inom en varierande tidsperiod. De representerar därav de olika inriktningsmöjligheterna för projektet. Idéspåren är graderade från det snarast realiserbara (4.4.1 Plattform) till det mest visionära (4.4.5 Kraftfält).

4.4.1 Plattform

Detta idéspår är det som liknar referensprodukten mest eftersom det löser placering och inspänning av cyklar på ett liknande sätt, samt har en liknande yttre form. Genom att eliminera överflödiga komponenter och utforma produkten i färre enheter minskas materialmängden. Fördelen med detta idéspår är att det är beprövat, enkelt handhavande vid på- och avmontering av cyklarna samt skonsam hantering av dem, vilket ger en premiumkänsla. En utmaning kan dock vara att få denna lösning att bli mycket lättare än referensprodukten eftersom idéspåret bygger på samma slags konstruktion, och därför ungefär samma materialmängd.

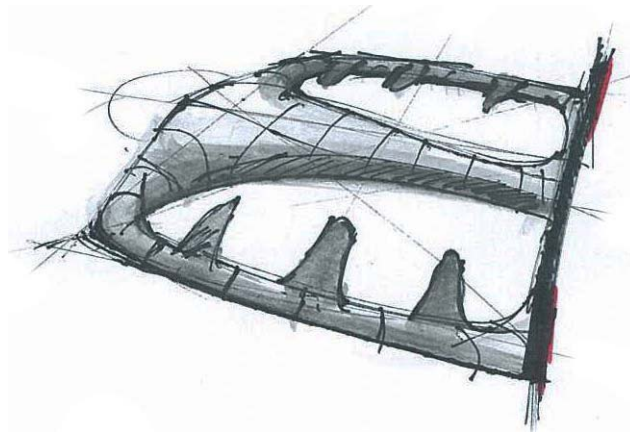


Fig. 4.4 Idéspår Plattform

4.4.2 Häng

Idéspåret innebär en upphängning av cyklarna enligt samma princip som finns hos bakmonterade cykelhållarna av sax-modell. Här placeras cyklarna på samma sätt som hos koncept ett i förhållande till bilen, men hängs istället upp i ramen med hjälp av klipps, som i sin tur sitter på en horisontell ställning. Eftersom klippsen är vridbara kan cyklarna fästas både ovan- och underifrån, och i både ramar och hjul. Några idéer om nummerplåten och lampornas utformning är exempelvis att dessa sitter på en panel som kan vikas in innan cyklarna träs på produkten, eller att den rullas ihop. Detta idéspår har potential att bli en liten och därmed materialsnål produkt, men det kan vara svårare att få användaren att lita på att produkten är varsam mot cyklarna. Vidare utformning av hur cyklarna undviks att skada varandra och bilen under färd krävs.

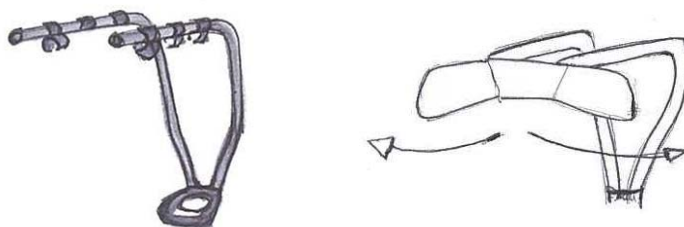


Fig. 4.5 Idéspår Häng

4.4.3 Textil

Idéspåret Textil har en yttre ram som hålls ihop av en stark väv i textilmaterial, till exempel kevlar. I väven finns spår för cykelhjulen som trycks i och hålls fast i väven i horisontellt läge. Mellan cyklarna finns ribbor i plast eller skum som skyddar cyklarna från att nöta mot varandra. Ett kapell i textilmaterial dras över cyklarna efter att de monterats, dels för att skydda cyklarna från regn och smuts och dels för att hålla dem på plats. Något som ligger i tiden är designersamarbeten mellan olika företag, och en idé var därför att textilkapellet kan formges av ett designervaruhus och att Thule därmed kan öppna upp för ett sådant samarbete. Registreringsskylten och lamporna fästes på ramen, och det finns möjlighet att vika ihop ramen när produkten inte används. Fördelar med detta idéspår är att de bärande strukturerna till stor del utgörs av textil vilket medför lättvikt jämfört med traditionella konstruktionsmaterial. Vidare fås en extrafunktion i och med skyddet mot regn och smuts samt hopfällbarhet. Utmaningarna här ligger att hitta en tillräckligt stabil konstruktion som håller cyklarna på plats.

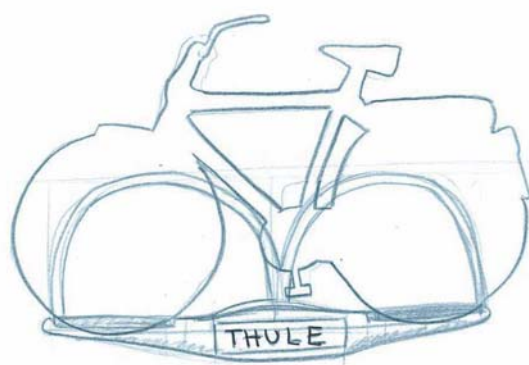
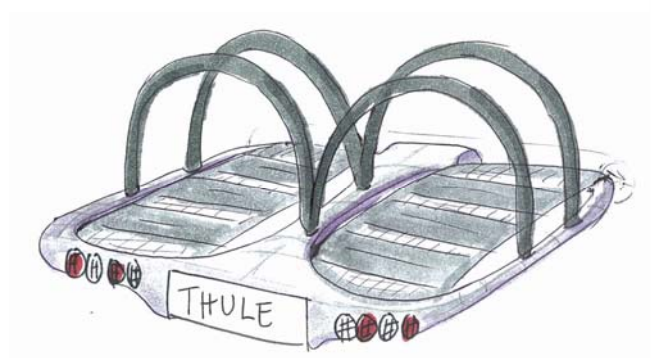


Fig. 4.6 Idéspår Textil

4.4.4 Modul

Idén med detta idéspår är att produkten skall bestå av flera mindre moduler, och att den därför skall vara lättare att både förvara och montera. Det skall också gå att anpassa produkten till antalet cyklar man har med sig inför varje bilfärd. På dragkroken monteraras en baskonstruktion på vilken modulerna sätts fast en efter en, utanpå varandra. Modulerna monteras först på respektive cykelram med hjälp av tre punktspännen kring cykelramen, och sätts därefter på bilen. Denna lösning minskar den upplevda vikten för användaren eftersom produkten monteras i steg. Den kan också bli mycket liten och därmed lätt. Dock kan det också vara ett problem att den består av flera delar, dels för att man lätt tappar bort mindre bitar, och dels för att det blir många monteringssteg. Att användaren skall känna sig trygg med att cyklarna sitter säkert och stadigt på cykelhållaren är också det en utmaning med idéspåret.



Fig. 4.7 Idéspår Modul

4.4.5 Kraftfält

Det mest visionära idéspåret symboliserar det ur lättviktssynpunkt mest optimala sättet att transportera cyklar med hjälp av bil, nämligen att inte använda något material alls. Idéspåret figurerar som inspiration för att tänka utanför ramarna och reflektera kring hur man kan använda sig av andra konstruktioner än de som bygger på mekanik, till exempel magnetism eller vakuumtryck.

Här utgörs produkten av en dragkroksmonterad sändare, klippspännen som fästs på cykelramarna och ett kodat kraftfält som genereras av sändaren. Klippspännena har på- och avknappar, och när de är monterade på cyklarna och slås på genereras kraftfältet varpå cyklarna kan placeras bakom bilen. Kraftfältet verkar endast på just de klippspännen som hör till den specifika produkten, och alltså varken på cyklarna i sig, objekt runt om kring eller klippas som hör till andra produkter. När klippspännena stängs av avtar kraftfältets styrka gradvis och användaren kan då ta ner cyklarna. Registreringsskylten visas i luften utanför cyklarna med hjälp av hologram, och cyklarna hålls isär på grund av repulsion, likt effekten som uppstår då två magneter trycks ihop mot varandra. Då tekniken som skulle möjliggöra idéspåret är svårdefinierad bedöms idéspåret ha en väldigt låg grad av realiserbarhet.



Fig. 4.8 Idéspår Kraftfält

4.5 Utvärdering och val av idéspår

Vid jämförelse med kravlistningen har idéspåren olika fördelar och utmaningar. (Se "Idéspår för delredovisning" ovan). Eftersom idéspåren uppvisar väldigt olika grad av innovationshöjd samt realiserbarhet, grundades val av idéspår främst på en diskussion med uppdragsgivaren Thule.

Beslut att gå vidare med idéspår 4.4.1 Plattform togs med hänsyn till Thules önskemål om att lösningen skulle vara av samma typ som referensprodukten. Fördelar med idéspår Plattform är enkel åtkomst av cyklar, att inga lösa delar förekommer, samt att idéspåret har en hög grad av realiserbarhet. Tre av de övriga idéspåren ansågs sakna kvalitéer som krävs för att passa in i Thules premiumklass, och då framför allt med avseende på upplevd varsam hantering av cyklar. Idéspår 4.4.5 Kraftfält uppskattades för sin innovationshöjd, men på grund av dess låga realiserbarhet ansågs det inte vara ett alternativ. Valet att vidareutveckla 4.4.1 Plattform innebar att de visionära inslagen fortsättningsvis framför allt ses i val av material för plattformslösningen.

4.6 Utveckling av valt idéspår

Eftersom projektet fram till val av idéspår till störst del bestått av bred idégenerering på uppslag om olika sätt att transportera cyklar, saknades detaljerade konstruktionslösningar för det valda idéspåret. Dessutom tillkom i detta skede ett nytt, viktigt krav från Thule gällande förvaringsmöjligheter av cykelhållaren. Därför utfördes en vidare utveckling av konstruktionen för det valda idéspåret. De olika delresultaten från vidareutvecklingen redovisas nedan.

4.6.1 Förvaringsmöjligheter

Eftersom produkten skall ha en storlek vid förvaring som är mindre än vid användning, behöver den vara hopfällbar vilket kan göras på olika sätt. Produkten kan fällas ihop på bredden genom att de två yttersta fjärdedelarna av dess bredd viks 180 grader in mot mittlinjen (Fig. 4.10). Detta gör att produkten blir hälften så bred, men kan medföra en ökning i höjded istället i hopfällt läge. Om den ena "vingen" förskjuts i djupled vid hopfällning i förhållande till den andra vingen, kan de möjligen ligga omlott och därmed kan istället den yttersta tredjedelen av produktens hela bredd vikas mot (och över) mittlinjen. På så sätt blir den mer kompakt än om den viks som hos idén ovan. Dock medför en sådan hoppfällning komplikationer i andra avseenden för konstruktionen för bland annat lättvikt kontra hållfasthet. Om "vingarna" istället viks bara 90 grader uppåt, mot varandra (Fig. 4.11), blir produkten smal och hög i hopfällt läge. Basramen kan göras smalare än den är hos referensprodukten, och eftersom produkten då blir så smal i hopfällt läge, blir den enklare att hantera för en användare. Denna konstruktionslösning för hopfällning valdes att arbeta vidare med.

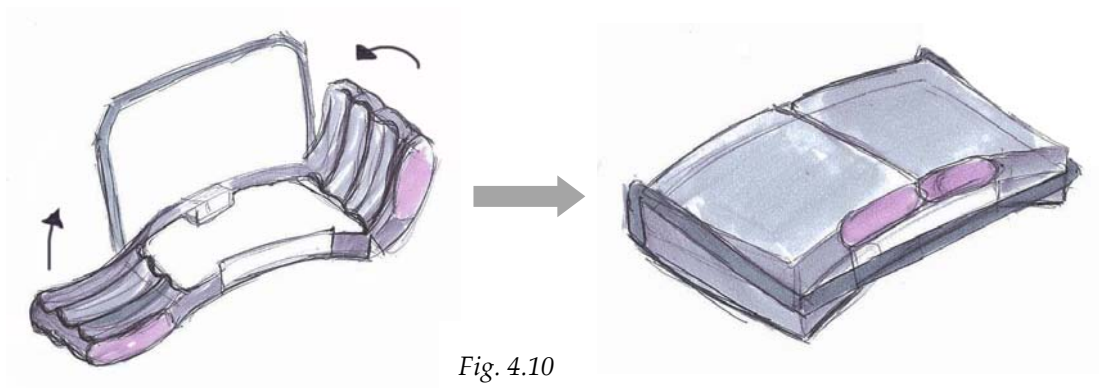


Fig. 4.10

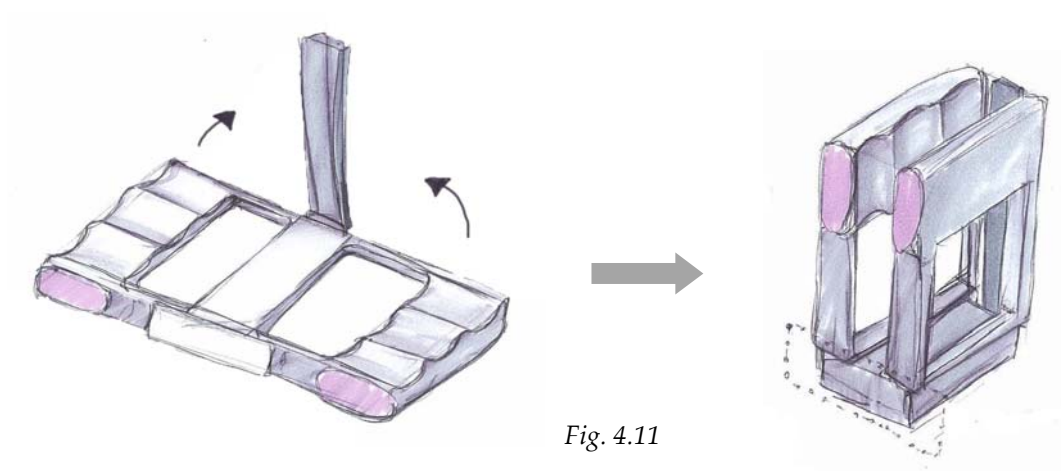


Fig. 4.11

4.6.2 Benchmarking

Benchmarkingen baserades på en mall som Thule tillhandahållit samt kommentarer som uppkom i samband med benchmarkingen. Denna ifyllda mall med medelvärden bifogas i Bilaga 7 – Benchmarking medelvärden. Viktiga resultat från benchmarkingen är följande.

Det finns i dagsläget ett antal produkter som erbjuder möjlighet till att förvara produkten kompakt. Gemensamt för dem är att produkterna fälls ut efter montering på dragkrok, och ihop innan avtagning. Många av de testade produkterna upplevdes som plastiga och ostadiga. Vissa dellösningar är dock mycket intressanta att arbeta vidare med. Exempelvis framkom under benchmarkingen att en fördelaktig lösning på hopfällbarheten är att rotera delar av produkten kring tilramen.

Att spänna fast cykelhållaren från sidan gör att användaren tydligt ser var cykelhållaren befinner sig i förhållande till dragkrok, marknivå, samt bilens baklucka, vilket i sin tur medför att användaren får en känsla av kontroll och upplever fastspänningen som enkel och varsam gentemot såväl cykelhållaren som mot bilen. Vid fastspänning från sidan kan dock produktens tyngdpunkt leda till problem för användaren vid eventuella greppbyten. Det är därför viktigt att minimera antalet handlingar under fixering av cykelhållaren. Det vill säga att förbereda hållaren helt för fixering innan användaren lyfter upp produkten på dragkroken.

Under benchmarkingen framkom även att det finns produkter som använder sig av en betydligt smalare basram än referensproduktens. Reducerad bredd på ramen kan bidra till reducerad volym i hopfällt läge. Ramreduceringen kan i sin tur bidra till ett fördelaktigt produktuttryck utan att påverka vare sig stabilitet eller känsla av stabilitet hos cykelhållaren.

5. Delresultat material

Materialvalet för cykelhållaren baseras på kravlistningen för produkten. Kravsättningen för produktens olika komponenter skiljer sig åt, men de övergripande urvalsfaktorerna för samtliga delar är lättvikt, god hållfasthet, utmattningshållfasthet samt styvhet. Vidare måste materialen tåla UV-strålning, ett temperaturintervall på -30 °C till 90°C samt en smutsig och korrosiv miljö. Mot denna bakgrund valdes materialgrupperna metallegeringar samt polymera kompositmaterial för en vidare urvalsprocess. Följande studie har fokuserat på material och tillverkningstekniker som kan vara lämpliga för utformning av projektets koncept.

5.1 Kompositmaterial

Syftet med kompositmaterial är att kombinera olika material för att framhäva deras gemensamma önskade egenskaper och att hämma de oönskade. På så sätt fås ett nytt material med unika egenskaper. Ett kompositmaterial består av ett så kallat matrismaterial och ett förstärkningsmaterial. De kommersiellt sett mest använda kompositmaterialen är fiberförstärkta kompositer med polymera matrismaterial, eftersom dessa kan ersätta traditionella konstruktionsmaterial men med en lägre vikt och i vissa fall ett lägre pris. (Åström 1997)

5.1.1 Matrismaterial

Matrismaterialet har till uppgift att binda och skydda förstärkningsmaterialet samt transportera externa laster till fibrerna. Vidare distribuerar även matrismaterialet belastningar från en skadad fiber till kringliggande och på så sätt hindrar det materialet från att brista. (Åström 1997) Matrismaterialet är den svagaste delen av kompositmaterialet. (Soutis 2009)

Det vanligaste matrismaterialet i kompositer är plaster av olika slag. Det finns även kompositer med matrismaterial av metall och keramer, men de har nackdelar som högre densitet respektive sprödhet än de med plast.

Plaster kan delas in i två huvudgrupper vilka är termoplaster och hårdplaster. De övergripande skillnaderna mellan grupperna är att

termoplaster mjuknar vid smältning utan att den kemiska strukturen bryts ned, till skillnad från hårdplaster som inte kan smältas utan att strukturen i polymerkedjorna förstörs. Därför kan termoplaster, och spill från tillverkning, återanvändas genom att smältas ned och sedan ges ny form som efter stelning förblir fast. Denna process kan i princip ske oändligt antal gånger, men i verkligheten slits polymerkedjorna efter upprepad omformning vilket ger detaljer av hårt återvunnen termoplast sämre egenskaper. Hårdplast tillverkas genom tillsats av ett härdande ämne som under upphettning skapar tvärbindingar mellan polymerkedjorna. Dessa tvärbindingar degraderas om hårdplasten värms upp, varför hårdplaster inte kan återvinnas. (Smith & Hashemi 2006)

Plast i ren form används mest i ickestrukturella applikationer, som till exempel förpackningar och leksaker. Det finns även konstruktionsplaster som används för att ersätta mer traditionella konstruktionsmaterial, så som metall och trä, då de har egenskaper som klarar kraftbärande applikationer även utan armering. Termoplaster används mestadels i applikationer där armering inte krävs, även om de börjar bli allt vanligare som matrismaterial. I dagsläget är hårdplaster fortfarande det överlägset vanligaste matrismaterialet för kompositmaterial. Anledningen är att hårdplaster har bättre mekaniska egenskaper, så som högre hållfasthet och styvhet än termoplaster. Vidare lämpar sig hårdplaster bättre som matrismaterial på grund av lägre viskositet än många termoplaster, vilket underlättar vid impregneringen av förstärkningsmaterialet. Ytterligare en fördel är att den härdningstemperatur och tryck som krävs för tillverkning med hårdplaster ofta är lägre än de för termoplaster, vilket medför lägre slitage på formverktyg. Nackdelar med hårdplaster är dock att cykeltiden vid tillverkning ofta är lång, jämfört med termoplaster, på grund av tiden för härdning. Hårdplaster har även ett generellt högre kilopris. Dessutom bidrar härdtillsatserna, som består av lösningsmedel, till en giftig arbetsmiljö. (Åström 1997)

Den generellt vanligaste hårdplasten för matrismaterial är omättad polyester (*Unsaturated Polyester, UP*), men i de applikationer där det krävs högre mekaniska och termiska egenskaper än vad UP klarar, är det olika slag av epoxyplaster (EP) som dominerar. Andra anledningar som gör epoxyplaster lämpliga som matrismaterial är låg viskositet, liten krympning vid härdning vilket ger bra ytkvalité samt bra fästbenägenhet till förstärkningsmaterialet. De överlägsna egenskaperna inom de områdena medför dock ett högre pris och därför används epoxy inom områden där prestandan är som störst, så som rymd- och flygindustrin, försvar och sportutrustning. (Åström 1997, Smith & Hashemi 2006)

Nedan följer mekaniska egenskaper och pris för olika plaster som är vanliga som matrismaterial. Värdena är ungefärliga eftersom egenskaperna inom varje plastsort varierar stort.

	E-modul [GPa]	Sträckgräns [MPa]	Densitet [Kg/ m ³]	Pris [SEK/kg]
Härdplast				
Polyester, UP	2,07- 4,41	40-90	1040-1400	32-36
Epoxy	3,0- 6,0	30-90	1110-1400	20-80
Vinylester	3,1- 3,3	70-81	1120-1130	-
Termoplast				
Polypropylen, PP	0,90- 1,55	20,7-37,2	860-910	9-19,8
Polyamid, (PA6)	2,62- 3,2	50-94,8	1120- 1140	20-37
PEEK	3,5- 4,2	65-95	1300- 1320	836-961

Tabell 5.1 Matrismaterial. Källa: (CES Selector 2009) samt (Åström 1997)

5.1.2 Förstärkning

Förstärkningsmaterialet i kompositmaterialet är den beståndsdel som primärt bär upp de strukturella laster vilka kompositen utsätts för. Därför är det förstärkningsmaterialet som till stor del bestämmer styvheten och hållfastheten samt en rad andra egenskaper hos kompositmaterialet (Åström 1997). Styvheten hos ett material betecknas med hjälp av E-modulen, och hållfastheten oftast med sträckgränsen vilket är vid den spänning ett material börjar plasticera. (Lundh 2000) Vilket material man använder för förstärkning, formen på det samt hur det är strukturerat avgör egenskaperna för kompositen.

Form

Förstärkningen i ett kompositmaterial kan vara i tre olika former vilka är fibrer, partiklar eller så kallade morrhår. En fiber har ett längd-diameterförhållande där kvoten närmar sig oändligheten, och där diametern är av storleksordningen 10 μm . Fibrerna tillverkas i en dragprocess från ett råmaterial i vätskeform, och denna process gör att fibrerna blir hållfasta och styva i längdriktningen, men svaga tvärmässigt. Det ska även tilläggas att fibrerna är avsevärt starkare i kompressionsriktningen än dragriktning. Partiklars längd och diameter är i stort sett lika, och storleken sträcker sig från ett tiotal μm upp till flera millimeter. Partiklars egenskaper är desamma oavsett riktning på kraftpåkänning, och är ett billigare alternativ än fibrer, men de klarar inte heller av lika höga laster. Slutligen så är morrhårs kvot mellan längd och diameter inte lika stor som fibrers, men diametern är mindre och brukar ligga på 0,1 μm . Morrhår är rena enstaka kristaller som också är starkare i längdriktningen än tvärriktning. På grund av svårstyrd tillverkningsprocess är morrhår för dyra för många applikationer (Åström 1997).

Med tanke på att fibrer kan klara större laster än partiklar, samt är billigare att tillverka än morrhår, så lämpar sig fibrer för många applikationer där hög hållfasthet och styvhet krävs. Därför fokuseras materialstudien för kompositers förstärkningsmaterial- och struktur på fiberformen.

Material

Det finns ett stort antal material som används för armering i kompositmaterial, men de som oftast används till polymera matrismaterial är fibrer av glas, kol, aramid och polyetylenplast (PE). Armering med glasfiber är vanligast på grund av fördelarna med relativ hög hållfasthet, god förmåga att tåla höga temperaturer och korrosiva miljöer, samt lågt pris. Nackdelarna är att glasfibrer inte gör kompositmaterialet särskilt styvt samt att kompositen blir känslig för fukt och ytan skrovlig. Glasfibrer används därför i applikationer som inte ställer de högsta kraven på mekaniska egenskaper, exempelvis används de i vissa komponenter på bilar, båtar och flyg, elektronisk utrustning och badrumsmiljöer.

För applikationer där hög hållfasthet och styvhet krävs används istället kolfiber. Fibrerna består av hexagonala lager med kovalenta bindningar och mellan lagren finns svagare van der Waals- krafter. De olika

bindningstyperna medför att materialets egenskaper varierar beroende på vilken riktning som undersöks (Soutis 2009). Det finns tre olika grader av kolfibrer som med ökad styvhet även stiger i pris (se i tabell 2 nedan). Förutom goda mekaniska egenskaper är kolfiber också tåliga mot höga temperaturer, korrosiva och fuktiga miljöer och de har även låg densitet. Den största nackdelen är kolfibers höga pris, plus att det gör kompositmaterialet sprött och elektriskt ledande. Det senare ger upphov till en galvanisk reaktion vid kontakt med metall vilket kan medföra problem vid konstruktion med de båda materialen. På grund av de överlägset bästa mekaniska egenskaperna i kombination med lätt vikt dominerar kompositmaterial med kolfiber i applikationer inom rymd- och flygindustrin, tävlingsfordon samt sportutrustning av olika slag.

Aramid är en förkortning av aromatiska polyamider där några av varianterna går under det kommersiella namnet kevlar. De stora fördelarna med aramidfibrer är den höga segheten och skadetoleransen vilket gör den särskilt användbara i till exempel skyddsvästar. Nackdelar är att aramidfibrer tenderar att suga åt sig vatten, högt pris samt att den höga segheten medför svårigheter vid skärande tillverkning. Fibrer av PE-plast har liknande mekaniska egenskaper som aramid, men har lägre densitet. Brister är dock att PE-fibrer inte tål höga temperaturer samt att de har låg matriskompabilitet, alltså att de är svåra att binda samma med matrismaterialet. Därför används PE-fibrer ganska sällan som förstärkning, men det förekommer i skydds- och sportutrustning. (Åström 1997)

MATERIAL	E-modul [GPa]	Densitet [Kg/m ³]	Kostnad [SEK/kg]
Glasfiber	74	2580	25
Kolfiber HS <i>(High strength)</i>	230	1800	150
Kolfiber IM <i>(Intermediate-modulus)</i>	285	1800	550
Kolfiber HM <i>(High-modulus)</i>	400	1800	1750
Kevlar™	130	1450	650

Tabell 5.2 Förstärkningsmaterial. Källa: (Rychwalski 2010)

Strukturer

Fibrerna i kompositmaterialiet kan vara ordnade på olika sätt, vilket påverkar egenskaperna hos kompositen (Fig 5.1). Antingen kan hackade och därmed korta fibrer användas, eller kontinuerliga och långa fibrer. Korta fibrer är billigare att använda än kontinuerliga långa fibrer (se bild 1 nedan), men en komposit med korta fibrer är inte lika hållfast som en med långa. De bästa mekaniska egenskaperna fås om fibrerna ordnas i en riktning, till skillnad från slumpvis ordnade. Långa fibrer orienterade i en riktning, kallas *unidirectional (UD)*. En sådan komposit får följaktligen starka egenskaper i den riktning som fibrerna är orienterade i, men blir däremot svagt i de övriga riktningarna. Ett sådant material som har olika egenskaper i olika riktningar kallas anisotropt, vilket är motsatsen till ett isotropt material som har samma egenskaper i alla riktningar. Det går även att bygga upp en fiberförstärkt komposit med olika skikt som kallas laminat. Genom att låta dessa ha olika riktningar i förhållande till varandra kan man göra kompositen starkare i flera riktningar. Detta material blir således kvasi- isotropt (Smith 2006).

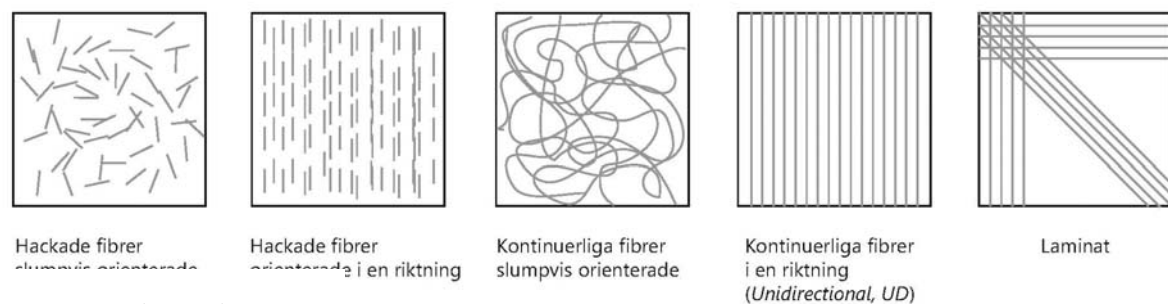


Fig. 5.1 Fiberstrukturer

Under tillverkning av fibrer tvinnas dessa ofta till form av trådar som lindas till garnnystan. Dessa används sedan för olika varianter av orientering i kompositen (Fig. 5.2), eftersom det är svårt att hantera enstaka trådar. (Åström 1997)

Ett sätt att orientera trådarna är att väva dem och sedan använda väven för att tillverka kompositen genom att draperera olika former. Vävarna kan ha olika grad av tjocklek och täthet, där en högre grad medför högre styrka men också sämre draperbarhet vid tillverkning av komplexa former. Fiberriktningen i vävarna kan varieras efter önskemål vad gäller materialegenskaper, exempelvis $0/90^\circ$, $\pm 45^\circ$ eller tre fiber som möts under 60° . (Se bild 2 nedan) Genom att placera två lager fiberförstärkt väv vinkelrät mot varandra blir den sammanlagda hållfastheten avsevärt mycket högre än summan av de båda lagren, en så kallad synergieffekt (Van Vuure, Ko & Beevers 2003). Datorkontrollerade vävmaskiner har även möjliggjort tredimensionella väver. Med dessa får man förstärkningar och således förbättrade egenskaper både mellan

fiberlagren och tvärs genom hela väven. Ytterligare fördelar är att man slipper de manuella momenten med att bygga upp lager av laminat. Nackdelen med tredimensionella fibervävar är att de är svårare att impregnera med matrismaterial på grund av dess täthet. (Lee, Leong & Herszberg 2001)

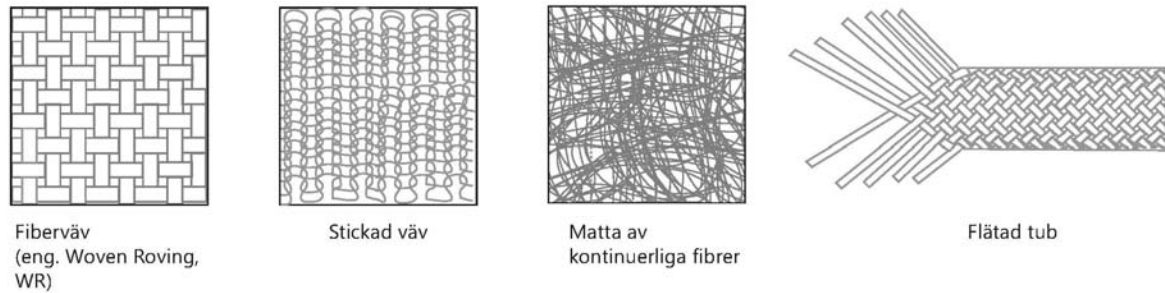


Fig. 5.2 Fiberorienteringar

Ett alternativ till vävning är att sticka kolfibertrådarna vilket ger ett mer löst och flexibelt tyg (Åström 1997). För att få en tunnare väv än den med trådar, kan band av kolfiber användas. På så sätt minskas arealvikten för väven, vilket är en fördel ur lättviktssynpunkt. (Oxeon 2010)

Ett sätt att få hög vridstyvhet är att fläta fibertrådarna till tuber. Det flätade tyget har hög draperbarhet, men tekniken kan enbart användas till att tillverka band och tubformade komponenter. Det vanligaste sättet att strukturera fibertrådarna är emellertid att forma en matta av hackade eller kontinuerliga fibrer som binds samman på ett löst sätt av en termoplast. Mattorna är oftast av glasfiber, medan så kallade icke-vävar görs av övriga fibertyper. Icke-vävar är ett samlingsnamn på tvådimensionella orienteringar som får sin form med hjälp av ett bindemedel. De används då man vill ha en komposit rik på matrismaterial och få en snygg ytfinish på komponenten. (Åström 1997)

5.1.4 Kompositmaterials brottrisker

Materialbrott beror på sprickbildning och -spridning. I fiberförstärkta material kan uppkomsten av sprickor bero på tillverkningsdefekter som exempelvis mikrokaviteter och matrissprickor. Materialets brottsseghet är av största vikt för motståndet mot sprickbildning vid en yttre belastning. (Toygar, Toparli & Uyulgan 2006)

Fiberförstärkningen måste bindas hårt till matrismaterialet för att fibrernas förstärkande egenskaper ska överföras till det slutgiltiga kompositmaterialet. Typen av brott som uppkommer vid överbelastning beror på styrkan i bindningen mellan fiberarmeringen och matrismaterialet. En svagare inbindning resulterar i lägre styvhet och styrka men en ett större motstånd mot brott. En starkare inbindning ger en högre styrka och styvhet men ett sprött brott. Anledningen till skillnaden i brottsseghet är att om fibrerna är starkt bundna till matrisen kan en spricka propagera genom såväl fibrerna som matrisen och resultatet blir en låg brottsseghet och ett sprött brott. Om inbindningen är mindre stark blir sprickspridningen komplex och ett flertal olika sprickor kan samverka, vilket ger ett segare brott. (Soutis 2009).

5.1.4 Tillverkningstekniker

Gemensamt för många tillverkningstekniker med polymera kompositmaterial är att råmaterial och slutkomponent görs i ett enda steg. Alternativet är att använda formsammansättningar, så kallade *moulding compounds*, som är färdigblandade av matrismaterial och fibrer och används för att spara tid vid tillverkning. (Åström 1997)

Vad man ska ha i åtanke när man väljer tillverkningsteknik för en komponent i kompositmaterial, är att möjligheterna att kombinera olika tekniker är oändliga. I princip finns det lika många tillverkningstekniker för kompositmaterial som det finns antal olika sorts komponenter att tillverka. Enligt både tillverkande företag och den akademiska värden måste det i samtliga fall praktiskt utvärderas vilken metod som fungerar bäst. Bortsett från pris så är seriestorlek, cykeltid och prestanda tre viktiga faktorer för vilken tillverkningsteknik som lämpar sig bäst. Nedan följer förslag på olika tekniker som projektgruppen bedömer lämpa sig bäst för cykelhållaren. I tabell 3 följer egenskaper och pris för olika kompositmaterial uppkomna ur teknikerna.

Pressformning

Pressformning är den vanligaste tillverkningstekniken på grund av att den är kostnadseffektiv för långa och väldigt långa serier för relativt komplexa detaljer. Därför har den varit framgångsrik i bilindustrin för att tillverka framför allt bilpaneler (Åström 1997). Verktygen är dyra, men den korta cykeltiden gör att produktionstakten kan hållas hög. Tillsammans med låg grad av krävs efterbearbetning utgör dessa faktorer fördelarna med pressformning. Den vanligaste formen av pressformning är *Sheet moulding compound* (SMC) där en deg av flytande härdplastmaterial, vanligtvis UP men även epoxi förekommer, innehållande hackade fibrer av kol, glas eller en blandning placeras maskinellt mellan två pressverktyg. Under tryck och värme härddas kompositen. Beroende på matris- och förstärkningsmaterial samt fiberstrukturen ges komponenten olika egenskaper, och kan på så sätt styras till de önskade. (Ashby 2005).

Resin Transfer Moulding (RTM)

RTM är den vanligaste av formteknikerna där fibrerna väts ned med matrismaterial inne i verktygen, så kallad *Liquid Moulding*. RTM har fördelar när stora komplexa komponenter ska tillverkas med fin ytstruktur i mellanlånga serier. Fibrer i form av exempelvis vävar skärs ut efter den önskade formen och placeras manuellt mellan två formverktyg och efter stängning fylls hålrummet med matrismaterial som under ett relativt lågt tryck och låg värme får härda. Tack vare små påfrestningar på verktygen blir kostnaderna för dessa låga, men på grund av långa härdtider som kan bli upp till flera timmar så krävs en väldigt stor uppsättning verktyg för att hålla en högre produktionstakt. Enligt ett tillverkande företag så innebär RTM många manuella moment och ger spill på upp till 25 %, varför det finns en del svårigheter med att få en lönsam tillverkning med RTM för långa serier. Fördelar med RTM är möjligheten till att lokalt förstärka en komponent med extra väver samt att man kan kontrollera väven och på så sätt ge materialet önskade egenskaper i olika riktningar. Genom användning av vakuum- assisterad RTM kan atmosfärtrycket användas för att styrka upp materialet under härdningen och därigenom reducera behovet av en hydraulisk press eller ett tryckkärl. RTM- processen är idag en av de härdprocesser som utvecklas flitigast och finns i flertalet olika varianter. Det finns även förespråkare för vakuum- assisterad RTM som framtidens lågkostnadsproduktionsprocess för kompositmaterial. (Soutis 2009)

Konsolideringstryck med förformar

En variant av formsammansättningar är förformar (på engelska *prepregs*), vilket är fiberformar som har förimpregnerats med matrismaterial innan de placeras i formverktyg och slutformas med till exempel konsolideringstryck. Förformar används för att undvika problemet med att få högviskösa matrismaterial att dränka igenom fibermaterialet i formverktygen. Ytterligare en fördel är att förformarna lätt hamnar rätt på plats i formverktygen samt att tekniken ger upphov till lite spill. Typiska applikationer är dyra komponenter med höga prestandakrav. En nackdel med förformar jämfört med torra fibervävar är att de inte är lika draperbara, och således inte kan användas för lika komplexa former. (Åström 1997).

Flätning med matrisfiberblandning (Co-mingled braiding)

En teknik som med fördel används med termoplaster så kallad *Co-mingled braiding*. Då förblandas fibertrådar av till exempel kol eller glas med en termoplast, som sedan flätas runt en silikonblåsa. Denna hettas sedan upp, plasten smälter och får sedan stelna varpå blåsan avlägsnas. (Eurocarbon 2010) Denna teknik är dock begränsat till att endast forma tubkomponenter. Dessa får god vridstyvhet på grund av flätstrukturen, men termoplasten medför att komponenten inte får lika goda mekaniska egenskaper som komponenter med hårdplast.

Nedan följer en tabell där det kan utläsas hur olika kombinationer av material, fiberstrukturer och tillverkningstekniker påverkar kompositens egenskaper.

EP: Epoxy, KF: Kolfiber, GF: Glasfiber, UP: (Unsaturated) Polyester, PA: Polyamid (Nylon)

Komposit [Tillverkad med]	Epoxy+KF [SMC]	EP + KF- väv 0/90° [ex RTM]	Epoxy + GF [SMC]	UP + GF [SMC]	PA6+ KF [Flätning]
Pris [SEK/ kg]	170	460	42	50	100
Densitet [kg/ m ³]	1400-1700	1540-1610	1500-1800	1100-1500	1280
E-modul [GPa]	70-150	62-68	14-28	10-17	20
Sträckgräns [MPa]	220-270	627-910	110-193	50-110	166-198
Brottgräns [MPa]	270-345	627-910	138-241	60-138	207-248
Utmattningshållfasthet vid 10 ⁷ cykler [MPa]	109-140	345-592	55-69	25-55	79,8-104
Poissons tal	0.23	0.058	0.32	0.33	0,35
Brottseghet [MPa√m]	10-28	43-47	7-23	3,5-10,6	7-8,4
Max/Min- användningstemp [°C]	180/ -70	220/-123	190/-123	180/-47	150/-54
UV-strålningsresistens	God	God	Acceptabel	God	God
Resistens mot saltvatten	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt	Utmärkt

Tabell 5.3 Komposit. Källa: (CES Selector 2009) Värdena är ungefärliga eftersom egenskaperna inom varje komposit varierar stort, beroende på sammansättning och tillverkare.

5.2 Metallegeringar

En legering skapas genom en sammanslagning av två eller flera material varav minst ett är en metall. Syftet med legering av olika material är att, liksom som med kompositmaterial, förstärka grundämnenas önskade egenskaper och reducera de oönskade. Legeringar används mer eller mindre inom samtliga tillverkningsbranscher, från medicinska produkter till rymdfärjor och radioapparater. Strävan efter nya material med högre styrka, bättre utmattningsmotstånd, brottsseghet med mera går hela tiden framåt. Exempelvis önskar både bil- och flygindustrin minska vikten på deras respektive produkter genom att skapa legeringar med förbättrade egenskaper och därigenom minska den erforderliga materialmängden (Smith & Hashemi 2006; Cantor et al 2008). Nedan följer en listning av några vanliga basmaterial för legeringar lämpliga för lättviktskonstruktioner.

5.2.1 Aluminium

Aluminium är den vanligaste metallen i jordskorpan och är ett mycket användbart industrimaterial tack vare dess låga densitet och korrosionsresistans. Ren aluminium är emellertid svag och av denna anledning är i princip all aluminium som används legerad med något annat ämne. Traditionellt sett delas aluminiumlegeringarna in i åtta klasser efter det europeiska klassificeringssystemet EN AW. De olika klasserna representerar vilket material och vilka egenskaper legeringarna har. 1000, 3000, 4000 och 5000-serien går ej att värmebehandla, det gör däremot 2000, 6000 och 7000-serien. 8000-serien består av speciallegeringar. Aluminium har en FCC-kristallstruktur vilket gör materialet lättbearbetat. (Aluminium matter 2001) De klasser som lämpar sig för applikationer i projektet är 6000- och 7000-serien.

6000-serien är en höghållfasthetslegering speciellt anpassad för extrudering. Tillsatsen av magnesium och kisel medför utöver den förbättrade formbarheten även god korrosionsresistans och svetsmöjligheter. Legeringen används för olika aluminiumprofiler inom allt från fordons- till byggindustrin. 6060-legeringen är särskilt lämplig för extrudering. (Aluminium matter 2001)

7000-serien är väldigt starka legeringar innehållande zink och magnesium. Tillsatsen av zink och magnesium ger legeringar i 7000-serien goda tillverkningsegenskaper men minskar korrosionsbeständigheten. Legeringar i serien används inom områden med höga

krav på styrka. Vissa legeringar lämpar sig dock mindre väl för sammanfogning genom svetsning. 7020-legeringen kan sammanfogas genom båg-, elektronstråle- och punktsvetsning, 7010 och 7075-legeringarna kan med gott resultat förbindas genom elektronstråle- eller punktsvetsning. (Aluminium matter 2001)

De olika legeringarna lämpar sig till olika applikationer och valet av vilken legering som bör användas beror på situationen. Aluminiumlegeringar lämpar sig utmärkt för återvinning, förutsatt att de olika legeringsserierna inte är för blandade. (Cantor et al 2008; Smith & Hashemi 2006; Aluminium matter 2009)

5.2.2 Magnesium

Då magnesium är en tredjedel lättare än aluminium utgör det ett intressant basämne för legeringar. Magnesium har emellertid nackdelar som medför att dess användning är avsevärt mycket mindre än aluminium. Nackdelarna består i att magnesium dels är dyrare än aluminium, dels att dess styrka och utmattningsvärde är lägre än motsvarande för aluminium. Utvecklingen av magnesiumlegeringar strävar framförallt efter att öka materialets styrka och duktilitet. Då magnesium har HCP-kristallstruktur är det svårbehandlat i rumstemperatur. Få glidplan medför även att materialet är mindre duktilt än aluminium. Bland andra nackdelar med magnesium märks dess låga korrosionsmotstånd och att det i smält form reagerar med syre. Det senare medför viss problematik gällande explosionsrisken under tillverkning.

Magnesium legeras vanligtvis genom lösningshärdning aluminium och zink. Då magnesiumlegeringar är olämpliga för kallvalsning kan produkter istället formas genom exempelvis extrudering, smidning eller varmvalsning. Vid extrudering av magnesiumlegeringar erfordras generellt en högre tryckkraft än för aluminium 6000-serien. (Smith & Hashemi 2006; Cantor et al 2008; magnesium.com 2010)

En av de kommersiellt mer vanliga legeringarna är Mg ZK60. Tillsatsen av runt 6% zink och 0.5% zirkonium minskar legeringens kornstorlek och ökar dess motståndskraft mot mekaniska påfrestningar. Legeringen går att extrudera och nyttjas när låg vikt och hög sträckgräns är nödvändigt. Mg ZK60 används till allt från flygplanskomponenter till tältpinnar. Dock lämpar sig Mg ZK60 ej för sammanfogning genom svetsning. (magnesium.com 2010)

5.2.3 Titan

Titan är både tyngre och dyrare än både aluminium och magnesium. Materialets höga styrka och korrosionsresistens leder dock till att titan är ett högaktuellt legeringsmaterial för områden som ställer höga krav på lätta strukturer som ska motstå stora mekaniska påfrestningar. Vid höga temperaturer reagerar titan med bland annat syre och kväve vilket ställer krav på specialutvecklade tillverkningstekniker. Titanlegeringar används idag inom såväl medicin- som flygindustrin. Den mest frekvent använda legeringen är Ti-6Al-4V kombinerar en hög styrka med god formbarhet. (Smith & Hashemi 2006)

5.2.4 Höghållfasta stål

För att öka de mekaniska egenskaperna i stålet legeras det med mangan, nickel, krom, volfram eller molybden. Legeringarna ger förutom en högre hållfasthet, bättre duktilitet och seghet. Då legerade höghållfasta stål kostar mer än vanligt stål används de endast när det är nödvändigt, exempelvis används höghållfasta stål fortfarande flitigt inom fordonsindustrin. De goda mekaniska egenskaperna för höghållfast stål innebär att godstjockleken och därigenom vikten på komponenter kan reduceras. En tunnare godstjocklek innebär dock att styvheten i konstruktionen blir lidande. Även om en förhöjd sträckgräns innebär att godstjockleken kan minimeras har stallegeringarna likväl en densitet som är tre gånger högre än aluminiumlegeringarna (Cantor et al. 2008; Smith & Hashemi 2006).

Egenskaper	Al 6060-T6	Al 7075-T6	Mg ZK60A-T5	Ti-6Al-4V	AISI 8650
Densitet (kg/m ³)	2730	2830	1840	4430	7900
E-modul (GPa)	73	76	46	119	216
Sträckgräns (MPa)	226	530	304	1080	910
Utmattningsstyrka (MPa)	87.2	168	175	638	448
Brottsseghet (MPa*m ^{1/2})	35	33	18	100	76
Pris (SEK/kg)	13.6	14.9	46.2	491	7.72

Tabell 5.4 Metallegeringar. Källa: CES

6. Slutresultat

Slutresultatet är det produktkoncept som redovisas nedan. Här redogörs för konceptets utformning, tekniska funktion, hantering, uttryck, materialval samt miljöpåverkan. Konceptets utförande i form av konstruktion och material medför såväl en viktreduktion som en förbättrad användning.



Fig 6. 1 Konceptprodukten

6.1 Konzeptutformning

Produkten väger 9,8 kg och är 1150 mm bred, 610 mm hög och 560 mm djup i utfällt läge (se Fig 6.1). Grundkonstruktionen består av en u-formad basram som sitter fast på kopplingen vilken utgör inspänningen kring bilens dragkrok. På kopplingen finns ett handtag med vilket användaren spänner fast produkten runt dragkroken vid montering. Ovanpå basramen sitter tiltramen som löper vågrätt utmed basramen och upp lodrätt längs bilens baklucka. På tiltramen sitter dels två likadana vingar som cyklarna står på, och dels tre stänger som fästs kring cykelramarna. Stängerna har likt referensproduktens tre olika längder för att passa till de tre cyklarnas positioner. Produkten kan fällas ihop genom att vingarna roteras kring tiltramen, upp mot varandra. Måtten på den hopfällda produkten är 300 mm bred, 610 mm hög och 560 mm djup. Den är alltså avsevärt mindre än referensprodukten, vilket bidrar till att den både har en lägre vikt och är enklare för användaren att hantera (se kapitel 6.3).



Fig 6. 2 Konzeptproduktens måttsättning

Materialet i basramen är Aluminium 7075-T6 och i tiltramen Aluminium 6060-T6. För vingdelarna har kompositmaterialet epoxy med kolfiberförstärkning av typen *High Strength (HS)* valts. För information om materialvalet se nedan kap. 6.5 Material och tillverkning.



Fig 6.3 Komponenter och material

Den nya utformningen har inneburit en stor viktreduktion jämfört med vikten hos referensprodukten. I tabell 6.1 visas en jämförelse mellan vikten på referensproduktens olika delar jämfört med konceptproduktens vikter.

	Referensprodukt (kg)	Produktkoncept (kg)	Viktreduktion (%)
Komponent			
Koppling	3,3	3,3	0
Basram	3,0	0,7	77
Tiltram och vingparti	8,9	4,1	54
Spännstänger	2,5	0,9	64
Lamp-parti	1,3	0,8	38
Totalvikt	19,0	9,8	48,4

Tabell 6.1 Viktreduktion

6.2 Teknisk funktion

Produkten medger säker transport av upp till tre cyklar (se figur 6.4). Primärt bärs cyklarnas vikt upp av de båda vingpartierna, och stabiliseras med hjälp av de tre spännstängerna. Lasten förs därefter vidare genom tiltramen, ned i basramen och till dragkroken. Konstruktionen har anpassats för att vara både så lätt och så stark som möjligt.



Fig 6. 4 Konceptprodukten lastad med tre cyklar

6.2.1 Inspänning kring dragkrok

Kopplingen mellan cykelhållaren och dragkroken har ej behandlats under projektet och således används referensproduktens lösning existerande lösning. Inspänningsfunktionen är oförändrad med undantag för handtaget som används för fastspänning av konstruktionen vilket har vridits 90 grader moturs sett uppifrån, och således inte längre är placerat i bilens färdriktning. Att handtaget är placerat till höger om centrumlinjen har två viktiga fördelar. Dels utnyttjas det att majoriteten av alla människor är högerhänta, och dels beaktas trafiksituationen i Tyskland och Beneluxländerna där det är högertrafik. Genom högerplacering av handtaget befinner sig



Fig 6.5 Fastspänning

cykelhållaren mellan användaren och trafiken vid montering vid väggren, och denne behöver därför inte arbeta med ryggen mot trafiken. Längden på handtaget är tillräcklig för att effektivt utnyttja hävstångsprincipen och minimera den erforderliga kraften vid fastspänning.



Fig 6.6 Konceptprodukten i användning

6.2.2 Basram

Basramen är fastmonterad kring kopplingen och tjänar till att stabilisera och överföra kraften som läggs på vingpartierna till dragkroken. För att motstå de mekaniska påkänningarna har basramen ett cirkulärt tvärsnitt och en godstjocklek på 2 mm. Ungefär 40 cm in på basramen från registreringskylten sett finns ett utskuret hål i överkant på ramen. I hålet löper en cirkulär stång kring vilken kroken för fastlåsning av tiltramen fästs. I framkant på basramen stiger formen och bildar ett gångjärn. Gångjärnet sammanbinder tiltramen med basramen och utgör därigenom rotationsaxel för tiltfunktionen.



Fig 6.7 Tiltfunktionen

6.2.3 Tiltram

Tiltramen består av ett cirkulärt rör med en godstjocklek på 2 mm. Tiltramen löper över hela konstruktionen och bidrar till att överföra kraften från vingpartierna till basramen, utgöra rotationsaxel för vingpartiet, fungera som fästpunkt för spännstängerna och tiltfunktionen, samt att vara ett skydd mellan bilens bakparti och cyklarna. Det cirkulära tvärsnittet medför att vingpartierna kan rotera kring ramen och på så sätt möjliggöra hopfällning av cykelhållaren. Mellan tiltramen och vingpartierna finns det en bussningskonstruktion som kan låsa vingarna i två lägen, ett horisontellt och ett vertikalt. Tiltramen är fäst i basramen genom gångjärn i framkant (närmast registreringsskylten) och krokarna i bakkant. I främre änden på tiltramen är tiltfunktionen fäst vilken löper i tiltramen till fästet för tiltkrokarna.

Fotpedalen som kontrollerar tiltfunktionen är placerad i änden på tiltramen och frigör vid aktivering tiltramen från basramen och möjliggör på så sätt åtkomst av bilens bagageutrymme.

Tiltfunktionen består av en fotpedal förbunden med två krokarna genom en vajer vardera. Då användaren trycker på fotpedalen spänns vajrarna vilket medför att krokarna roterar i färdriktningen och frikopplar tiltramen från basramen.

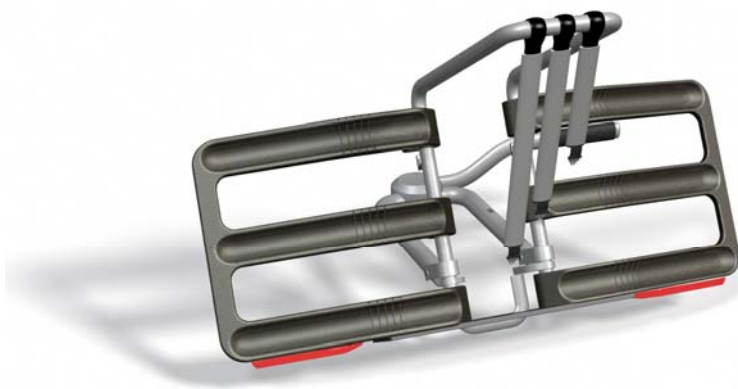


Fig 6.8 Konceptprodukten i tiltat läge



Fig 6.9 Fotpedal

6.2.4 Vingar

Vingpartierna tjänar till att bära upp cyklarnas last. Varje parti består av tre mindre vingar, en för varje hjul. För att minska belastningen och hålla samman formen är de tre mindre vingarna sammanbundna i änden. Tiltramen löper genom vingpartierna och fungerar därigenom som rotationsaxel för dessa. Vid uppfällning av de båda vingpartierna urkopplas den horisontella låsfunktionen och vingarna kan höjas mot centrum, drygt 90 grader uppåt från det horisontella läget. I uppfällt läge låses vingarna automatiskt med hjälp av samma stoppfunktion som låser dem i horisontellt läge. Varje vinge har en 20 mm djup försänkning som tjänar som hjulspår, är halvcirkelformad och bidrar till att hålla cyklarna på plats under färd och montering. I hjulspåren finns ett spänne som sluts kring hjulet då det placeras i centrum av spännet. Spännet låser cykelhjulet till hjulspåret och förhindrar därmed rörelse.



Fig 6.10 Utfällning av konceptprodukten

6.2.5 Spännstänger

Spännstängerna monteras på tiltramen och tillsammans med hjulspännena motverkar de cyklarnas rörelse. Mot cyklarnas ramar har stängerna ett remspänne som träs runt ramen och därefter fästs åter i stängerna. Remmen sluter då tätt kring ramen och pressar denna mot stängens yttre gummerade yta. Att spännet är i remform gör att trycket kring cykelramen fördelas jämt på hela ytan. I händelse av snabba inbromsningar fungerar spännet precis som ett säkerhetsbälte och förhindrar på så sätt att cykeln försätts i rörelse. Spännstängerna är även låsbara för att förhindra stöld av cyklarna samt är möjliga att lossa från dess infästning kring tiltramen i upplåst läge. Därigenom kan stängerna placeras på valfri plats utmed tiltramen vilket underlättar vid montering och demontering av cyklarna på hållaren. Stängerna kan roteras kring sin egen axel för att även medge en eventuell infästning av en spännstång i utrymmet mellan två hjulspår. Remspännet är anpassat för att skona känsliga ramar genom att sprida ut kraften över en större area än referensproduktens klämlösning.



Fig 6.11 Spännarmarnas placeringsmöjligheter

6.2.6 Lampor och registreringskylt

Längst ut på cykelhållaren sitter en lamppanel av LED-lampor som förmedlar information till bakomliggande fordon. På de yttre vingpartierna sitter fyra små klämfästen. På dessa fästes den avtagbara registreringskyltshållaren. Lamppartierna närmast registreringsskylten är utformade så att de även lyser upp skylten.

6.3 Hantering

Det nya konceptet är gjort för att medge en enkel och säker hantering. Hanteringen av framtaget koncept innefattar, liksom för referensprodukt, tre stycken huvudmoment (se Bilaga 9). Montering på dragkrok, fastsättning av cyklar, samt tillgängliggöring av bagageutrymme. Hanteringen under dessa huvudmoment har dock förenklats och effektiviserats.

Betydande för hanteringen av produkten är att den har betydligt lägre egenvikt än exempelvis referensprodukten, vilket gör den lättare att hantera både då den ska monteras och förflyttas.

Tack vare väl utformade greppytor på vingpartierna, lämplig placering av fastspänningsspak och det faktum att brukaren under montering befinner sig nära cykelhållarens tyngdpunkt, förbättras monteringen på dragkroken ytterligare jämfört med referensprodukten. Den sidoplacerade fastspänningen medför också att dragkroken lätt lokaliserar i förhållande till hållaren, vilket ökar brukarens kontroll över cykelhållarens position i förhållande till bilens baklucka. Därmed minskar risken för att användaren slinter med hållare och råkar skada bilen eller sig själv.



Fig 6.12 Greppytor på vingpartierna

När cykelhållaren är monterad på dragkroken fälls vingarna ut med ett enkelt handgrepp. När vingpartierna sedan är nedfällda monteras registreringsskyltshållaren genom fastknäppning. Eftersom cyklarna i konceptet fixeras med hjälp av en automatisk spännfunktion kan användaren behålla en upprätt position under fastsättning av cyklarna.

För att medge säker montering av cyklar, används, liksom för referensprodukten, ytterligare en fastspänning för fixering i bilens färdriktning. Fixeringen sker i konceptet med hjälp av en stång som monteras mellan tiltramens vertikala båge och cykelramen. Stången placeras på önskad del av bågen varefter den fästs vid cykelramen, genom att en rem dras ut ur stången, läggs runt ramen och knäpps fast i stången igen.

När cykelhållaren inte används, förvaras den i hopfällt läge. Den håller då en kompakt volym (300x610x560 mm) och kan enkelt stuvas in i en garderob, ett garage eller liknande.



*Fig 6.13 Storleksjämförelse vid förvaring.
Till höger konceptprodukten, till vänster referensprodukten*

Utvärdering i Jack visar att det vidareutvecklade konceptet förbättrar produkten ergonomiskt. Framförallt har belastningen under lyft reducerats. Enligt REBA-analys på utvecklat koncept, visualiserat i Jack, har lyftet gått från att medföra väldigt stor risk för skada vid upprepad hantering, till att endast medföra medelhög risk för skada (se tabell 6.2). Anledningen till att operationen fortfarande är relativt belastande är att produkten alltjämt medför ett relativt tungt lyft med något böjd rygg.



Fig 6.14 Visualisering i Jack

REBA-analys

- 4-6 poäng=** Medelhög risk för skada vid upprepad hantering, utvärdera och förändra snart.
- 7-10 poäng=** Hög risk för skada vid upprepad hantering. Utvärdera och inför förändring.
- 11-15 poäng=** Väldigt hög risk för skada vid upprepad hantering. Förändra genast.

Moment	Lyfta hållare från marken	Placera hållare på dragkrok
Referensprodukt	10	11
Produktkoncept	5	5

Tabell 6.2 REBA-analys

6.4 Uttryck och gestaltning

I enlighet med Expressionboarden uttrycker slutkonceptet balans, nyskapande, lätthanterlighet samt pålitlighet. Konceptet stämmer genom sin utformning och färgsättning väl in i Thules produktsortiment för bakmonterade cykelhållare. Den svepande, slutna formen i kombination med dess funktion, gör konceptet till ett i klassen premium.

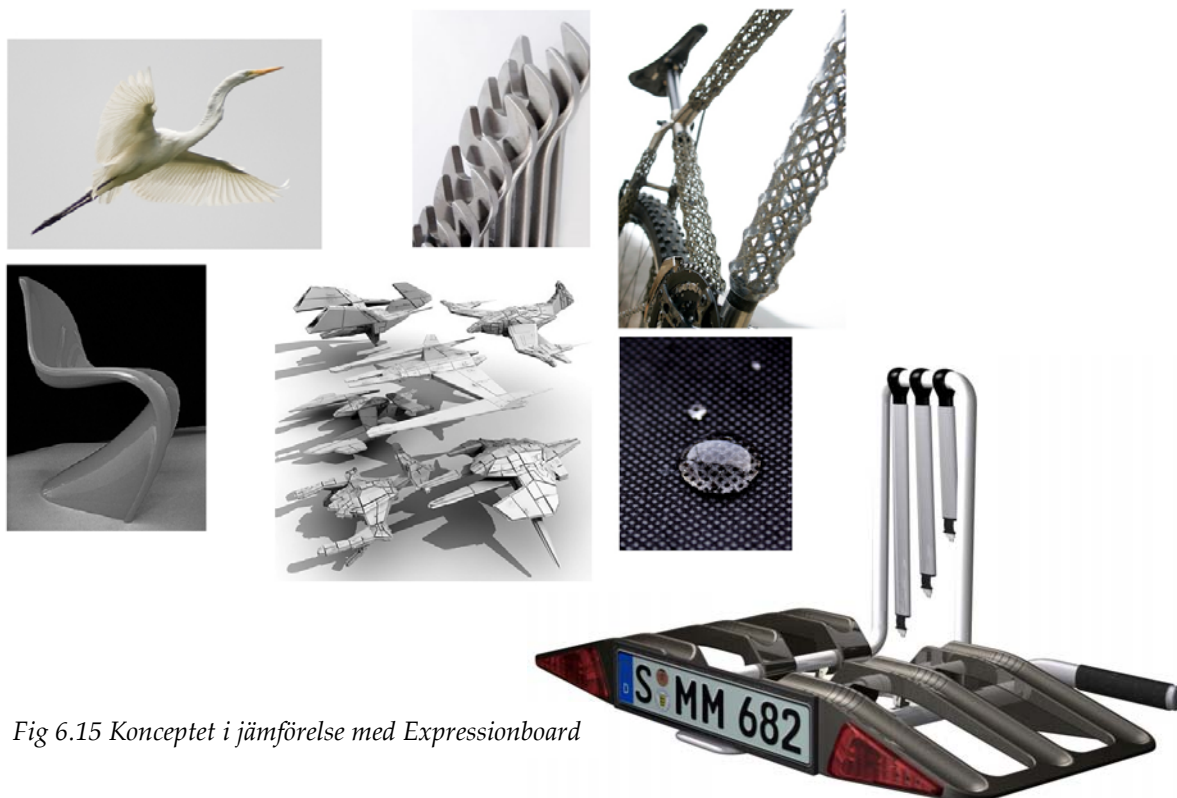


Fig 6.15 Konceptet i jämförelse med Expressionboard

Valet av kolfiberkomposit för vingdelarna ger produkten en visionär touch, vilket förstärker konceptets premiumkänsla. Känslan höjs ytterligare av att lamporna på hållaren har ersatts av modern ledbelysning, vilken fångar upp den samhällsgenomsyrande trenden att spara på resurser. Genom lösningen styrks också konceptets kompakta och balanserade känsla, vilket i kombination med ovan nämnda utformningsaspekter gör konceptets till ett i klassen premium, såväl nu som inom en fem till tioårsperiod.

Konceptets gestalt ges karaktär genom de två vingliknande partierna som både delar och sammanbinder formen. Genom mellanrumsformen, som skapas mellan vingpartierna, genereras en känsla av lätthet och rymd. Samtidigt skapar de horisontella linjerna genom sin förening i mellanrumsformen, en sammanhängande och harmonisk gestalt. Den samlade formens uttryck smälter också väl ihop med det nu rådande

uttrycket inom bilindustrin vilket gör att konceptet snarare upplevs som en förlängning av bilen än en tillbyggnad på den.

Vidare för vingpartiet tankarna till fåglar och flygplan och bildar därigenom ett tecken för lätthet, i linje med framtagna Expressionboard. De aerodynamiska influenserna ligger också väl i linje med Thules riktlinjer för produktuttryck.



Fig 6.16 Konceptets uttryck

Vingpartiets svällande form förstärker känslan av konstruktionens uppbyggande förmåga. Den växande formen ger även konstruktionen och konceptet ett uttryck av stabilitet och säkerhet. På grund av att konceptet maximerar sin tjocklek där krafterna blir som störst, det vill säga i konstruktionens mittparti, ges en känsla av balans, samtidigt som utformningen uttrycker pålitlighet.

Genom att avlägsna överflödigt material och komponenter skapas en enkelhet och ärlighet i konstruktionen, vilket överrensstämmer med Thules värderingar för estetisk produktidentitet, se kap 4.1.3. I konceptet märks samspelet mellan estetik och funktionalitet i utformning av tiltram, vilken inte bara fungerar som fäste för spännstängerna utan även bidrar till att sammanbinda det lastbärande vingpartiet med basram och bil.

Vid jämförelse av slutkoncept och referensprodukt kan en tydlig samhörighet urskiljas. Det nya konceptets betydligt mindre storlek i hopfällt läge uttrycker tydligt en ökad mobilitet. I förhållande till konkurrenternas betydligt tyngre hopfällbara cykelhållare, innebär konceptets lätta vikt att den semantiska betydelsen i cykelhållarens uttryck av lätthet också bekräftas i dess handhavande. En ärlighet som är viktig för att uppfylla den uttrycksmässiga ambitionen av premium.



Fig 6.17 Konceptet i utomhusmiljö

6.5 Material och tillverkning

Nedan följer ett förslag för materialval för konceptets olika komponenter, samt hur dessa kan tillverkas, för att uppnå den ovan angivna vikten för cykelhållaren. Valet baseras resultatet på en teoretisk utvärdering från resultatet i materialstudie samt hållfasthetsberäkningar.

6.5.1 Vingdelar, kolfiberarmerad epoxiplast

Vingdelarna bär upp cyklarna och måste därför stå emot ett stort moment från lasten. Därför krävs ett material med hög styvhet, hållfasthet och utmattningshållfasthet. För vingdelarna har kompositmaterialet epoxy med kolfiberförstärkning av typen *High*



Fig 6.18 Vingdel

Strength (HS) valts. Anledningen är att detta material har bäst värden vad gäller samtliga mekaniska egenskaper av de kompositer som utgör kandidaterna i materialstudien. Övriga kompositer angivna i materialstudien har för låga värden på framför allt styvhet, sträckgräns och utmattningshållfasthet. Vidare styrks beslutet med att både litteratur, akademisk expertis samt tillverkande företag rekommenderar epoxy och kolfiber som komposit för denna applikation.

Vad gäller tillverkningsteknik finns två förslag beroende på vilken serievolym som cykelhållaren är avsedd för. Stora fördelar finns med Resin Transfer Moulding, RTM, (se kapitel 5.1.4) för mellanlånga serier då man relativt kostnadseffektivt kan forma komplexa delar med kolfibervävar och styra egenskaperna i komponenten så att materialet klarar av påfrestningar i flera riktningar. Man kan även styrka upp lokalt med fiberväv där spänningskoncentrationerna blir som högst. Epoxykompositen med kolfiberväv har överlägset bäst mekaniska egenskaper, varför inga tvivel om huruvida materialet tål lastförhållandena råder. Vidare ger RTM en ytkvalité av hög klass, vilket är av stor vikt för produktens premiumuttryck. Vingdelarna är tänkta att tillverkas i två halvor som sedan fogas samman genom till exempel limning. Hur delningslinjen ska placeras är något som får preciseras i vidareutvecklingen av konceptet. Eftersom vingdelarna är symmetriska kan samma vingdel användas för båda sidor och på så sätt undviks dubbel uppsättning verktyg.

Om serievolymen för cykelhållaren beräknas bli stor är sannolikt Sheet Moulding Compound, SMC, (se kapitel 5.1.4) ett mer kostnadseffektivt alternativ. Kilopriset för SMC Epoxy med hackade kolfiber är mindre än hälften än för epoxy med kolfiberväv, men då är också de mekaniska egenskaperna sämre på grund av fiberstrukturen. Även med SMC får vingdelarna tillverkas i två delar som sammanfogas.

För att bestämma vilken av fiberstruktur kompositmaterialet och därmed tillverkningsmetod som lämpar sig bäst för vingdelen krävs praktiska utvärderingar av applikationen.

6.5.2 Basram, Aluminium 7075 T6

För att reducera vikten på basramen har stålet i referensprodukten ersatts med aluminium som har en tredjedel i densitet jämfört med stål. Magnesium har ännu lägre densitet, men har valts bort som alternativ eftersom de mekaniska egenskaperna är mycket sämre än aluminiums samt att kilopriset är tre gånger högre.

Basramen är den som bär upp mest last. Av alla aluminiumlegeringar har de i 7000-serien högst hållfasthet både vad gäller sträckgräns och utmattning. Typiska användningsområden för dessa är svetsade konstruktioner, utsatta för stora mekaniska påfrestningar. Därför valdes legeringen Al 7075 T6 i denna serie, som visar på de högsta mekaniska egenskaperna i serien. Beteckningen T6 innebär att legeringen är upplösningsbehandlad och artificiellt åldrad. Legeringen är dessutom lämplig för elektronstråle- och punktsvetsning. Eftersom kopplingen på referensprodukten har ett hölje i stål, får detta bytas ut mot aluminium för att kunna sammanfogas med basramen.

För att minska spänningskoncentrationer i basramen byts referensproduktens kantiga u-form ut mot en rundad motsvarighet med cirkulärt tvärsnitt. Denna kan bland annat extruderas, men möjligheter för andra tillverkningsmetoder finns.

6.5.2 Tiltram, Aluminium 6060-T6

Tiltramen är tänkt att extruderas, varför en aluminiumlegering i 6000-serien har valts, eftersom dessa innehåller höghållfasthetslegeringar speciellt anpassade för extrudering. Legeringen Al 6060-T6 valdes för att den uppvisar högst värden på de önskvärda mekaniska egenskaperna och är bäst lämpad för extrudering inom serien.

6.6 Hållfasthet

Hållfasthetsberäkningarna i Catia V5 visade att ingen av de ingående komponenterna plastiskt deformerades under en radiell statisk last om 900N, motsvarande last på 60 kg samt en säkerhetsfaktor på 1,5 (se tabell 6.3). Vid pålagd kraft konstaterades att von Mises-spänningen ej översteg varken materialens sträckgräns eller utmattningsvärde efter 10^7 cykler. Resultatet av hållfasthetsberäkningen visade att konstruktionen alltjämt var aningen överdimensionerad samt att ytterligare viktreduktion är möjlig utan att riskera brott. Alternativt kan andra material med något lägre mekaniska egenskaper användas med samma

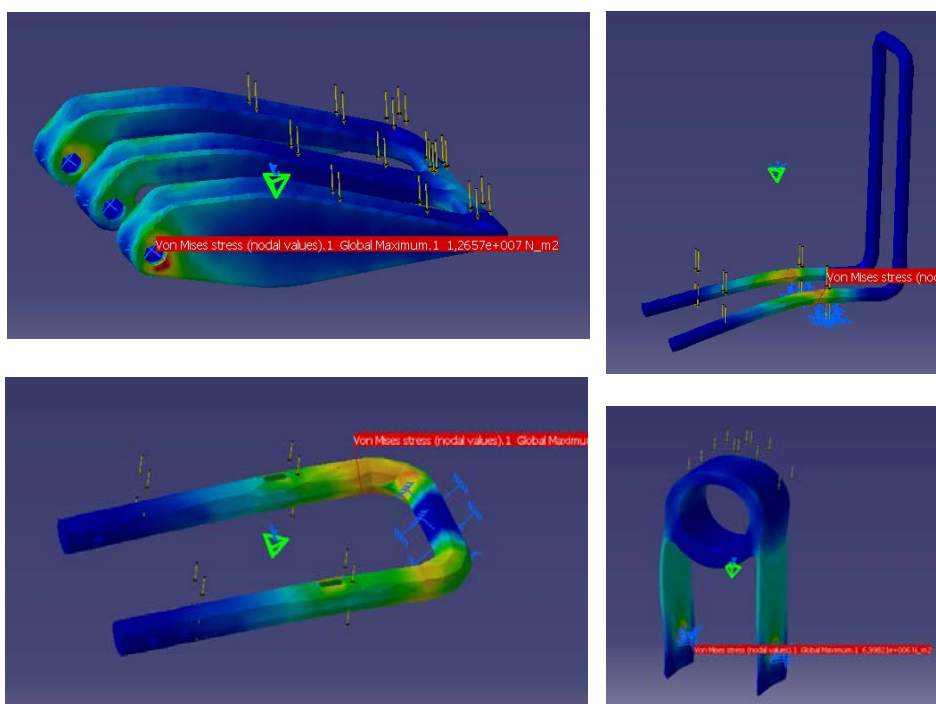


Fig 6.19 Spänningsfördelning

Under statisk belastning uppmättes en maximal spänning i basramen om 20.6 MPa, att jämföra med utmattningsvärdet för Al 7075-T6 på 168 MPa. I tiltramen av Al 6060-T6 uppmättes en spänning om 4.4 MPa, jämfört med materialets utmattningshållfasthet på 87.2 MPa. Spänningen i de båda vingpartierna uppgick till respektive 13.8 MPa, långt ifrån utmattningshållfastheten för kolfiberväven på 592 MPa.

Det bör understrykas att hållfasthetsberäkningen endast utfördes statiskt och av den anledningen inte fullt ut speglar den faktiska användningen. Ytterligare tester hade syftat till att undersöka hur materialen påverkas av en dynamisk last, exempelvis simulera vad som sker då cykelhållaren passerar ett farthinder.

Komponent	Uppmätt spänning [MPa]	Sträckgräns [MPa]	Utmattningshållfasthet [MPa]
Basram (Al 7075-T6)	21.9	530	168
Tiltram (Al 6060-T6)	8.8	226	87.2
Vingparti (Epoxy/KF-väv)	12.6	900	592
Gångjärn (Al 7075)	6.9	530	168

Tabell 6.3 Uppmätta värden från FEM-analys

6.7 Livscykelanalys

Det nya konceptet har på många sätt liknande miljöpåverkan som referensprodukten. Inom området materialtillverkning kan en ganska stor skillnad utläsas, då den nya produkten till stor del består av andra material än referensprodukten. Se bilaga 5. – Materialegenskaper för referensprodukt, för material hos referensprodukten respektive ovan för material i det nya produktkonceptet.

Då produkten befinner sig på konceptstadiet saknas definitiva uppgifter gällande många av livscykelfaserna, varför analysen baseras på uppskattningar.

Framställning råmaterial

Skillnaden i råmaterial mellan produktkonceptet och referensprodukten utgörs främst av kompositmaterialen samt utbytet av stål mot aluminium.

Kolfiber av hög kvalitet framställs vanligen av polyakrylonitril (PAN), vilket är en oljebaserad plast. (Åström 1997) Framställningen av fibrerna sker under höga temperaturer, kring 800-1000° C, vilket är likt de för stål. Även matrismaterialet i kompositen, epoxin, är oljebaserad vilken har en negativ miljöpåverkan i och med användandet av fossila bränslen. Dock är mängden material mindre i produktkonceptet jämfört med materialmängden i referensprodukten, vilket leder till en positiv förändring i miljöpåverkan av produkten.

Transport råmaterial

Antalet material och antalet komponenter minskats i det nya konceptet jämfört med referensen. Detta innebär sannolikt en minskning i transporter från tillverkning av komponent till montering av hållare. Leverantörer av materialen finns troligtvis fortfarande i Europa vilket innebär att transportsträckorna ej borde öka.

Tillverkning av produkt

Själva monteringen av det nya konceptet skiljer sig i och med att många material har ändrats. Främst bidrar minskning av komponenter och minskning av material till en positiv förändring. De nya materialens miljöpåverkan vid montering, avgörs av hur själva arbetet organiseras och vilka miljömässiga åtgärder som görs under produktionen, vilket är svårt att bedöma under konceptstadiet.

Transport till kund

Vid transport till lager och försäljning, samt kund antas transportmetod och sträcka vara samma som tidigare. I dagsläget är det miljövänligaste alternativet tåg. I och med att det nya konceptet är mindre och lättare än referensen, kommer eventuellt en viss minskning av miljöpåverkan ske i denna fas. Att det nya konceptet har en kompaktare utformning medför också en minskning i miljöpåverkan vid transport, då produkterna under transport kan packas tätare.

Användningsfas

Vid användning har det nya konceptet ungefär samma miljöpåverkan som referensen. Viktminskningen på produkten kan dock eventuellt bidra till att minska avgasutsläppet, då bilens last minskas något. Det som i denna fas skulle kunna göra störst skillnad är om cykelhållaren används mer eller mindre än referensen och därmed bidrar till större eller mindre avgasutsläpp. Eftersom lamporna är utbytta från referensens glödlampor till led, så minskar förbrukningen av el under användningen av det nya konceptet.

Resthantering

Det nya konceptet är utformat med minskning av komponenter och optimering av materialmängd. Detta förenklar sannolikt resthanteringen. Metallerna som används är främst aluminium, som enkelt återvinns till nya produkter. Den omfattande användningen av kolfiber, innebär att stora delar av produkten är svår att återvinna. Här får fördelarna med minskad vikt under användning vägas mot svårigheterna att återvinna.

7. Diskussion

7.1 Resultat

Projektet har haft ett antal mål att uppfylla, bland annat med avseende på lättvikt, prestanda, förbättrad hantering, samt realiserbarhet. Nedan diskuteras bland annat huruvida de uppsatta målen har infriats, hur säkert det kan antas, samt eventuella utmaningar under förverkligande av målen.

7.1.1 Viktreduktion

Projektets huvudmål var att minska vikten på dragkroksmonterade cykelhållare jämfört med en av Thules existerande produkter, den så kallade referensprodukten. Huvudmålet har uppnåtts genom materialbyte, ändrad utformning på och minimering av antalet komponenter. Till vilken grad viktreduceringen åstadkoms påverkades av det konceptval som gjordes, närmare bestämt av valet att utveckla en plattformsbaserad, kompakt och hopfällbar lösning.

Eftersom hopfällbarhet generellt sett medför en viktökning, beroende på ökat antal rörliga delar och komponenter, kan konceptvalet tyckas underligt. De hanteringsmässiga fördelarna, framförallt avseende på förvaring anses dock överväga nackdelarna och valet känns av denna anledning befogat. Troligtvis skulle dock ett minskat antal funktioner hos produkten säkerligen medföra ytterligare viktreducering. Denna viktreduktion kan eventuellt göras genom att grundligare undersöka de huvudsakliga behoven hos användaren.

Konceptets uppskattade vikt anses vara relativt exakt för de komponenter som uppskattningen gjorts på. Dock bör noteras att konceptet i dagläget ej är produktionsfärdigt. Vid en sådan förberedelse kan ett visst viktpålägg tillkomma. Viktpålägget kan härledas till att olika komponenter har tagits fram på skiljda detaljnivåer, vilket medför att vissa komponenters vikt kan komma att öka och andra eventuellt minska, vid en förberedelse för produktion.

7.1.2 Material

De materialval som har föreslagits för konceptet har bidragit till att projektets syfte med viktreducering hos cykelhållaren. Besluten kring materialvalet har baserats på en teoretisk utvärdering av möjliga material, vilket har varit ett effektivt sätt att utvärdera olika materialtyper i detta projekt som ligger på ett konceptstadium.

Att välja typ av kolfiberkompositmaterial för vingdelarna var något som projektgruppen valde att lägga mer resurser på än typ av lättviktsmetall för de olika ramkonstruktionerna. Anledningen till detta var att de tidigare kunskaperna inom kompositmaterialens innehåll, struktur, mekaniska egenskaper och tillverkningsmetoder var mindre än de för metaller, varför det ansågs befogat att mer tid fick läggas på att undersöka kompositer. Projektgruppen ansåg även att det var inom denna materialgrupp som störst potential fanns till att reducera vikten hos cykelhållaren.

Svårigheter med att välja typ av kompositmaterial bestod till stor del av motsättande information ifrån den akademiska världen och tillverkande företag, samt att det visade sig att beslut kring val av kompositmaterial för en given applikation var svårt att göras utan praktisk utvärdering. Då möjlighet till sådan inte fanns inom ramen för kandidatprojektet, är det därför svårt att utsäga sig om lämpligheten av det föreslagna kompositmaterialet och dess tillverkningsmetod. Således måste även en praktisk utvärdering av kompositort och tillverkningsteknik utföras för att få bästa möjliga beslutsunderlag för materialval. Utöver det krävs utförliga praktiska tester av statiska som dynamiska laster samt klimatpåverkan på produkten för att ett slutgiltigt val gällande bäst lämpade materialval ska kunna fattas.

Fördelarna med RTM i form stor frihet vad gäller form och möjligheten att styra de mekaniska egenskaperna får vägas mot nackdelarna, vilka främst är priset på kolfibervävarna. Priset för epoxy och kolfiberväv som uppges i projektet baseras på uppgifter i CES är uppskattningar som är starkt beroende på vävstrukturen och varierar därför stort. Möjligheter finns därför till kompositmaterial med epoxy och kolfiberväv till lägre pris. Här måste mekaniska egenskaper vägas mot pris genom en vidare praktisk utvärdering. Då många olika industrier är intresserade av kolfibermaterial sker stor utveckling både inom prestanda och pris, varför det finns anledning att anta att kolfibervävars kommersiella gångbarhet kommer att öka i framtiden. Detta talar till fördel för en satsning på

tillverkning med kolfibervävar och RTM, varför projektgruppen valde att föreslå dessa som alternativ för vingdelarna.

Vilken av metoderna RTM och SMC som är bäst lämpad för cykelhållaren kostnadsmissigt sätt är starkt beroende av serievolymen. Huruvida vilken av metoderna som tillverkar den bästa produkten avseende övriga egenskaper och måste utvärderas praktiskt.

Vad gäller valet av aluminium som metallegering för ramkonstruktionerna så kan det tyckas vara en aningen traditionellt. Dock uppvisar aluminium de bästa mekaniska egenskaperna i relation till sin låga densitet jämfört med de andra studerade legeringarna, varför det inte ansågs finnas anledning till att välja ett mer okonventionellt materialval bara för sakens skull.

7.1.3 Funktion

Konceptet uppfyller samma huvuduppgifter som referensen vad gäller att transportera tre cyklar på ett säkert sätt. Huvudmålet att reducera vikten medförde att samtliga funktioner hos cykelhållaren fick analyseras och lösningar utarbetades med avsikt att bidra till såväl viktreducering som ökad prestanda. Detta var problematiskt då dessa aspekter i viss mån motsäger varandra.

Den kanske främsta tekniska utmaningen som dök upp under arbetets gång var att cykelhållaren skulle göras hopfällbar. Detta komplicerade arbetsgången i stor utsträckning eftersom en sådan funktion med många rörliga delar kräver en ökad mängd material, vilket motverkar projektets huvudsyfte att eliminera vikt på cykelhållaren. Troligen hade konceptet kunnat göras ännu lättare utan hopfällbarhet, men denna funktion prioriterades enligt Thules önskemål.

Även funktionen att möjliggöra åtkomst av bagagelucka var svår att uppfylla samtidigt som materialreduktion önskades. I det stora hela var avvägningen mellan hållfasthet kontra lättvikt och estetik en svår balansgång. Projektgruppen valde här att vara djärv när det gäller viktreducering och estetik, eftersom produkten är på konceptstadiet och därför ändå kommer att utvärderas med ytterligare hållfasthetsberäkningar i nästa utvecklingsstadium.

Beslutet om att ha en lägre lösningsgrad på detaljlösningar som förbättrar andra hanteringsaspekter än viktreducering (exempelvis varsam fastspänning runt cykelram, och förenklad fastspänning av cykelhjul) var

positivt för projektets helhet. På så sätt lades resurser framför allt på huvudkonstruktion och materialval och på grund av detta kunde en större viktreducering uppnås, jämfört med om detaljlösningarna hade prioriterats högre.

7.1.4 Hantering

Ett av målen med projektet var att beakta möjligheter till förbättrad användning. Detta mål har uppnåtts genom minskad vikt, mindre påfrestande arbetsställningar, bättre greppytor, samt eliminerade moment under handhavande, samtidigt som säkerhetsaspekten finns kvar. Dock innebär funktionen hopfällbarhet ett adderat hanteringssteg för brukaren vid på- respektive avmontering av cykelhållaren på dragkroken, men detta vägs upp av förbättrad arbetsställning samt mycket förbättrade förvaringsmöjligheter.

Eftersom detta projekt var begränsat till att underlätta hanteringen primärt genom viktminskning låg undersökningar av brukare och deras behov i användningssituationen utanför ramen för projektet. Dock skulle möjligheterna till att förbättra användningen av cykelhållaren ökas med tillgång till resultaten från en förstudie inom det området. Vidare skulle ytterligare förbättring kunna ske genom en mer detaljerad ergonomisk studie med hjälp av en fysisk modell.

7.1.5 Miljö

Hållbarhetsperspektivet har varit en del av projektet, men har prioriterats lägre än viktreducering av cykelhållaren. Den största miljöpåverkan det nya konceptet har jämfört med referensprodukten beror på kompositmaterialet i vingdelarna, i både positiv och negativ mening. Resthanteringen av materialet är i nuläget problematiskt, men samtidigt innebär den medförda viktminskningen en reduktion i bilens bränsleförbrukning vilket påverkar användningsfasen positivt. Fördelarna med minskad vikt under användning får här vägas mot svårigheterna att återvinna. Kanske kan även resthanteringen av kompositmaterial, med hjälp av ny separeringsteknik, bli bättre i framtiden och därmed göra de använda materialerna mer återvinningsbara om tio år.

7.1.6 Uttryck

Ett mål i projektet var att ta fram ett visionärt koncept. Valet att vidareutveckla idéspåret plattform innebar att delar av det visionära kom att handla om att förnya produkten i dess uttryck. Att ta fram ett koncept som i sitt uttryck väl passar in i Thules sortiment, tillhör klassen premium och samtidigt känns visionärt, var en utmaning. För att åstadkomma detta har många olika aspekter vägts in så som färg, form och materia. Tillsammans har de sedan fått samverka för att skapa en visionär helhet som uttrycker balans, pålitlighet, lätthanterlighet och funktionalitet.

Bedömningen av vad konceptet uttrycker bygger på kandidatgruppsmedlemmarnas personliga tolkning av de fakta och det inspirationsunderlag som insamlats. Vidare skulle dessa kunna verifieras genom enklare undersökningar där utomstående personer får gradera, efter förvalda benämningar, vad produkten uttrycker. Efter en sådan undersökning skulle konceptets uttryck kanske kunna förstärkas ytterligare.

7.1.7 Realiserbarhet

Ett av målen med projektet var att ta fram ett koncept som ska vara realiserbart inom fem till tio år, vilket det också med största sannolikhet är. I dagsläget är inte konceptet produktionsfärdigt, eftersom detaljer måste specificeras och beräkningar, samt noggranna verklighetsbaserade prototyp tester måste genomföras. Förutsatt att kompetens inom området för kompositmaterial och dess tillverkningstekniker finns, är kanske den största frågan istället huruvida en realisering är ekonomiskt lönsam eller inte. Inledningsvis skulle produktion av framtaget koncept medföra kostnadsökningar för Thule på grund av stora investeringar för utbildning och nya verktygsuppsättningar, då företaget i dagsläget inte har resurser för tillverkning av komponenter i de valda materialen. På längre sikt kommer materialpriserna med stor sannolikhet gå ned, vilket i kombination med växande erfarenheter inom området ger starka skäl att anta att konceptet, inom fem till tio år, är ekonomiskt lönsamt för Thule att tillverka och sälja.

7.2 Metoder

Att välja rätt metod är av största vikt för att säkerställa ett bra slutresultat och en effektiv arbetsgång. Under arbetet har därav dessa valts med omsorg och såväl utbildningsbaserade som projektspecifika metoder och verktyg har använts.

På grund av att utbildningen gett gruppen goda kunskaper om metoder och verktyg för utveckling av nya produkter upplevde gruppen det enkelt att välja lämpliga metoder inom områden för problemidentifiering, kravlistning, idégenerering, konceptframtagning, samt utvärdering av koncept. Samtliga metoder för de ovan nämnda delarna ansågs bidra, tillföra och påverka projektets utgång positivt.

Vad gäller datainsamlingen var läget annorlunda. Gruppens kunskaper gällande material och tillverkningsteknik var inledningsvis i projektet allmänna och grundades på översiktskurser inom ramen för kandidatprogrammet. För att skaffa mer specifika kunskaper om lättviktsmaterial och uppnå ett gott slutresultat krävde projektet en betydligt mer omfattande informationssökning än gruppen hittills utfört i utbildningen. Under datainsamlingsprocessen var det mycket viktigt att källkritiskt granska det insamlade materialet, vilket gruppen också gjorde med stor noggrannhet. Bland annat försökte gruppen hitta flera källor som påvisade samma sak. Vad gäller personliga kontakter, användes såväl Chalmersexpertis som företagskontakter, vilket gruppen ansåg var bra för att få en vidare syn på vad respektive beslut skulle medföra. Sökningen ansågs vara mycket relevant för projektets utgång och samtliga metoder ansågs nödvändiga för att generera en översiktlig bild av konsekvenser för och möjligheter med respektive val. Dock blev omfattningen på sökningen större än projektgruppen förväntat sig inledningsvis. Detta ledde visserligen till att projektgruppen fick utvecklas inom kunskapsområdet samt att underlaget för materialvalet blev stort. Emellertid hade mer resurser kunnat läggas på exempelvis vidare utformning av detaljlösningar om informationssökningen hade varit mindre. Projektgruppen anser dock att satsningen på informationssökningen var befogad.

Gruppens kunskaper inom konstruktion och beräkning på hållfasthet var innan projektets början endast teoretiska. Metodik för hur man praktisk

tillämpar denna teori saknades, varför det var en utmaning att ta sig an en så pass praktisk uppgift som att dimensionera cykelhållaren. Valet att utvärdera hållfastheten med en CAD-modell medförde såväl problem som positiva aspekter. Det var en fördel att kunna använda CAD-modellen för beräkning, då det gav möjlighet till att visualisera spänningskoncentrationerna. Svårigheter uppkom dock då det plötsligt visade sig att beräkningsprogrammet *Enmesh* inte fungerade för vår konstruktion. Vid användning av det programmet hade gruppen haft tillgång till en handledare med god kunskap om hur beräkningar genomfördes. Sådan hjälp uteblev då gruppen istället tvingades använda *Catia v5*. Detta eftersom kunskaper om det programmets beräkningsmöjligheter inte fanns att tillgå på Chalmers, trots gediget sökande från projektgruppens sida. Gruppen lyckades dock genomföra översiktliga beräkningar. Eventuella brister kring hållfastheten skulle kunna härledas till att problem uppstod med att göra FEM- analys på hela produkten, varför beräkningar fick göras på separata delar. Detta gör det svårt att bedöma rimligheten i resultatet.

Då verktyg för tester med dynamiska laster var svårt att finna har konceptet enbart utvärderats med statisk last, vilket inte ger en fullständig bild av hur väl konstruktion och materialval uppfyller kraven för cykelhållaren. Resultaten från hållfasthetsberäkningarna hade sannolikt blivit ännu mer tillfredsställande om gruppen i ett sent skede inte tvingats byta beräkningsprogram, samt ifall arbetet i *Catia v5* skett med bättre tillgång till handledning.

7.3 Genomförande

Den planering som låg till grund för projektets genomförande var till stor hjälp för att uppnå syfte och mål med projektet. Arbetsfördelningen mellan gruppmedlemmarna fungerade väl, och i stor utsträckning varierades ansvarsområden och uppgifter.

Något som präglat projektets genomförande i stor utsträckning var den inriktningsändring som projektet tog efter delredovisningen. Fram till dess karakteriserades projektet av en omfattande idégenereringsprocess med syfte att finna en stor mängd nya och alternativa lösningar för dragkroksmonterade cykelhållare. Den avsevärt mycket snävare inriktningen som projektet tog efter beslut om utveckling av en hopfällbar plattformsbaserad cykelhållare innebar att den första planeringen fick revideras något. Även om en bred idégenerering var givande då den genererade stora mängder dellösningar som kunde användas till

plattformslösningen, kan de väldigt stora resurserna som lades på idéarbetet för konstruktionen tyckas aningen obehövliga. Det kunde därför ha varit positivt med snävare avgränsningar i projektets uppstartsfas. Till exempel hade en form av konstruktion eller en typ av materialgrupp kunnat bestämmas från början, och på så sätt hade konceptet kunnat nå längre i lösningsgrad. Hade ett beslut om vidareutveckla just en plattformslösning tagits från början hade projektets arbetsgång sett annorlunda ut, och till exempel vidare undersökningar om referensproduktens hantering hade kunnat göras.

Tillgång till referensprodukten har varit till stor hjälp och nytta under hela projektet. Genom att studera den existerande lösningen har gruppen kunnat bilda en uppfattning om hur mekaniken bakom cykelhållaren fungerar samt vilka funktioner och komponenter som kan flyttas och omformas utan att slutresultatet försämras. Det hade dock underlättat om gruppen fått tillgång till denna tidigare i projektet.

För konstruktions- såväl som för materialfrågor har tillgång till expertis varit hjälpsam i utvecklingsarbetet. Rådet från företrädare för Chalmers materialinstitutionen att fastställa konceptets konstruktion och därefter utvärdera materialval påverkade arbetsgången positivt.

Att i processen successivt utvärdera lösningsförslag och lösningar, i exempelvis *Catia v5* och *Jack*, har varit positivt för genomförandet. Små förändringar i konstruktionen kunde enkelt genomföras och avstämning i programmen gav på ett snabbt och enkelt sätt gruppen information om hur förändringen påverkade vikten på, samt hanteringen av produkten.

Initialt under projektet oroade sig gruppen över hur materialstudien skulle genomföras och en viss osäkerhet kring materialdatabasen CES omfång spreds. Denna oro visade sig dock vara ogrundad och CES var under hela projektet en oumbärlig startpunkt för materialundersökningen.

Att placera en benchmarking i Thules testlaboratorium så pass sent i projektet medförde att eventuella förändringar i det utarbetade konceptet skulle bli väldigt tidskrävande, alternativt mycket begränsade. En fördel med den sena placeringen var dock att gruppen undkom att bli inlåst i existerande lösningar. Benchmarkingens genomförande ansågs i efterhand mycket lägligt tidsmässigt då den kunde verifiera gruppens konstruktionsförslag, samt visa på mindre fördelaktiga förslag. Genom placeringen kunde gruppen bibehålla en mindre färgad hållning gentemot produktsegmentet, utan att för den delen ignorera smarta lösningar hos produkter på den befintliga marknaden.

7.4 Vidareutveckling

I och med att projektet resulterat i ett konceptförslag snarare än en färdig produkt, innebär det krävs omfattande vidareutveckling för att kunna verifiera alla lösningar och liknande. På materialområdet har många förslag tagits fram och de som visat sig mest lämpliga har valts till konceptet. Nästa steg är att på ett mer praktiskt sätt utvärdera den lämpligaste tillverkningsmetoden.

Konceptets form och funktion måste också utvärderas med någon form av prototyp. Under projektet har många småmodeller och enklare mockuper använts främst för att avgöra lämpliga mått. För att gå vidare krävs någon form av mer verklighetstrogen utvärderingsprototyp som kan ligga till grund för att säkerställa att allt stämmer. Från den information som framkommer av en sådan analys kan sedan en plan för fortsatt arbete tas fram. Parallellt kan även de olika mindre genomarbetade tekniska lösningarna undersökas och de som anses genomförbara kan sedan utvecklas och appliceras antingen på det fortsatta konceptet eller på andra RMS-lösningar.

8. Slutsats

Syftet med projektet, som har varit att genom innovativa förslag vad gäller materialval och konstruktion visa på möjlighet till viktreducering för dragkroksmonterade cykelhållare i premiumklass, har uppfyllts genom framtagning av ett visionärt koncept som uppfyller de uppsatta målen. Genom en stark konstruktion med integrerade funktioner har antalet komponenter reducerats. De ingående komponenterna är tillverkade i lättviktsmaterialen aluminium och kolfiberarmerad epoxy. Sammantaget ger konstruktionslösningarna och materialvalen en vikt för konceptet motsvarande hälften av referensproduktens. Utformningen, viktreduceringen samt den minskade förvaringsvolymen bidrar till förbättrad hantering av produkten. Konceptet uppfyller samma krav som referensprodukten att transportera 0-3 cyklar på ett säkert sätt, den har ett uttryck i linje med Thules premiumklass och har goda förutsättningar att vara realiserbart för lönsam produktion inom en fem- till tioårsperiod. Detta kräver dock vidareutveckling av konceptet vad gäller detaljlösningar i konstruktion, praktisk utvärdering av tillverkningsmetoder samt tester för klimatpåverkan och dynamiska laster.

Källförteckning

Böcker:

Ashby, Michael F. (2005) *Materials Selection in Mechanical Design*. Third edition, Oxford: Elsevier

Bohgard, M. et al. (2008) *Arbete och teknik på människan villkor*. Stockholm: Prevent

Cantor et al (2008) *Automotive engineering Lightweight, functional, and novel materials*. Boca Raton FL: Taylor & Francis Group

Carlsson, Raul och Pålsson, Ann-Christin (2008) *Livscykelanalys Ringar på vattnet*. Första utgåvan, Stockholm: SIS Förlag

Hågeryd et al. (2002) *Modern produktionsteknik, Del 1*. Liber

Jordan, Patrick W (1998) *An Introduction to Usability*. Tredje upplagan, London: Taylor & Francis Ltd

Johannesson, H. et al (2004) *Produktutveckling- effektiva metoder för konstruktion och design*. Stockholm: Liber AB

Lundh, Hans (2000) *Hållfasthetslära*. Tredje upplagan, Stockholm: KTH

Smith, William F. och Hashemi, Javad (2006) *Foundations of Materials Science and Engineering*. Forth edition, New York: McGraw-Hill

Åström, B.T. (1997) *Manufacturing of Polymer Composites*. Department of Aeronautics, Royal Institute of Technology, Stockholm: Chapman and Hall

Österlin, Kenneth (2010) *Design i fokus för produktutveckling*. Första upplagan, Malmö: Liber AB

Vetenskapliga artiklar:

Lee, B., Leong, K. H. and Herszberg, I. (2001) Effect of Weaving on the Tensile Properties of Carbon Fibre Tows and Woven Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 2001; 20; 652

Soutis, C. (2009) Recent advantages in building with composites, *Plastics, Rubber and Composites*, Vol. 38, Nr. 9-10, ss. 359-366(8)

Toygar, M. Evren, Toparli, Mustafa and Uyulgan, Bahadir (2006) An investigation of fracture toughness of carbon/epoxy composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2006; 25; 1887

Van Vuure, Ko and Beevers (2003) Net-shape knitting for complex composite performs. *Textile Research Journal*, vol. 73, Jan 2003, ss. 1-10.

Kompendium:

Karlsson, MariAnne (2008) *Lyssna till kundens Röst- Kurskompendium*. Chalmers Tekniska Högskola, inst. för Produkt- och produktionsutveckling

Rodney Rychwalski (2010) *Hand outs Department of Materials and Manufacturing Technology*, Chalmers tekniska högskola

Webbkällor:

Granta Design Limited (2010) <http://www.grantadesign.com/company> (2010-04-27)

Cornell University Ergonomics Web (2010) <http://ergo.human.cornell.edu/ahREBA.html> (2010-05-06)

Simulation Solutions (2010) http://www.simsol.co.uk/ergonomic_analysis_jack.php (2010-05-08)

Transportstyrelsen (2010) <http://www.transportstyrelsen.se/sv/Vag/Fordon/Registrerings skylt-och-bevis> (2010-05-06)

Aluminium matter (2001) http://aluminium.matter.org.uk/aluselect/05_fabrication_browse.asp (2010-05-08)

Aluminium matter (2009) <http://aluminium.matter.org.uk> (2010-05-06)

magnesium.com (2010) <http://magnesium.com/w3/data-bank> (2010-05-12)

Eurocarbon (2010) <http://www.eurocarbon.com/index.php/overraiding> (2010-04-30)

Thule (2010) www.thule.com (2010-01-22)

Oxeon (2010) www.oxeon.se (2010-05-20)

Mjukvara:

CES Selector (2009) Granta design limited,
<http://www.grantadesign.com/products/ces/index.htm>

Bilagor

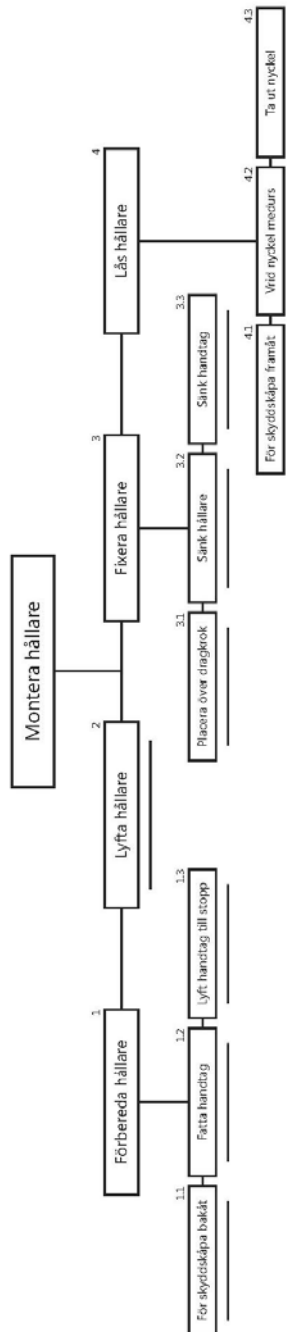
1. Funktionslistning
2. HTA referensprodukt
3. CV/PHEA referensprodukt
4. REBA Referensprodukt
5. Materialegenskaper referensprodukt
6. Kravspecifikation
7. Benchmarking medelvärden
8. HTA Konceptet
9. REBA Konceptet

Bilaga 1 - Funktionslistning

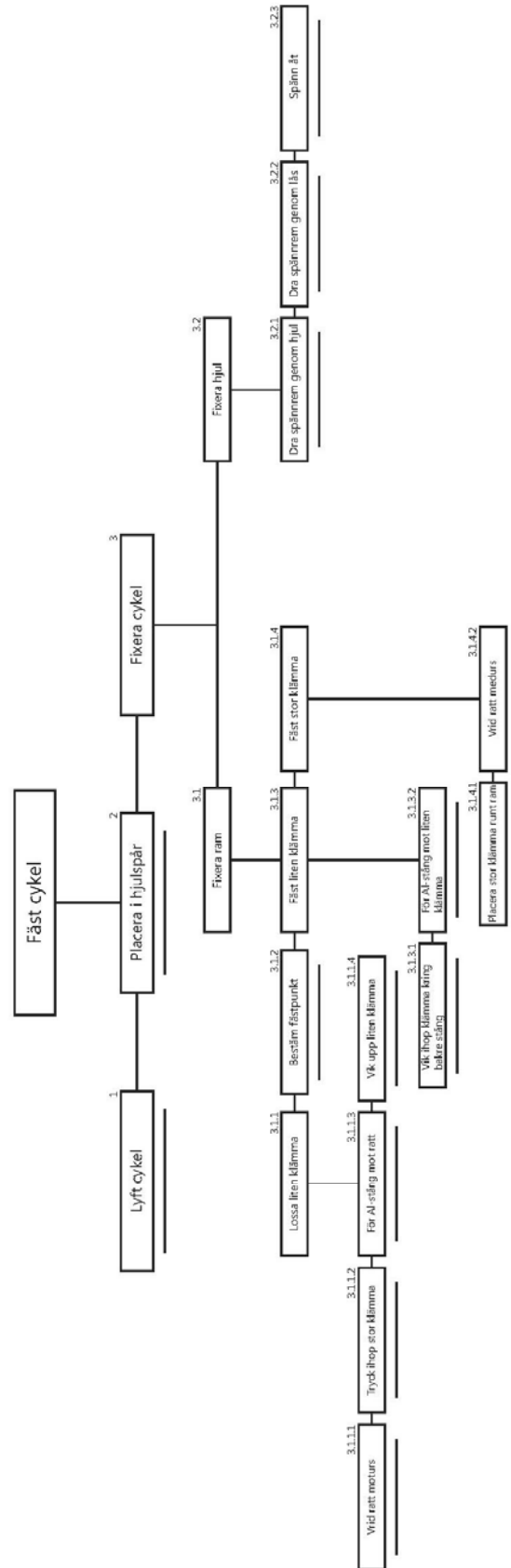
Del	Funktion	Delfunktion(er)
Koppling	Koppla produkt till fordon	
Handtag	Underlätta koppling till fordon	Förhindra olyckor
Spännband	Motverka rörelse	Förhindra slitage
Hjulspår	Motverka rörelse	Förhindra slitage
Stång med knäppe	Motverka rörelse	Förhindra slitage, medge ramanpassning, medge fri placeringsordning
Stånglås	Förhindra stöld	
Gummibeläggning	Förhindra slitage	
Bakre ram	Medge ramanpassning	Förhindra slitage
Fällbar bakre stång	Medge enkel förvaring	
Tiltram	Tillgängligöra bagageutrymme	Tiltstopp förhindrar slitage
Baklyktor	Delge information	Förhindra olyckor
Hållare för registreringsskylt	Delge information	

Bilaga 2 - HTA referensprodukt

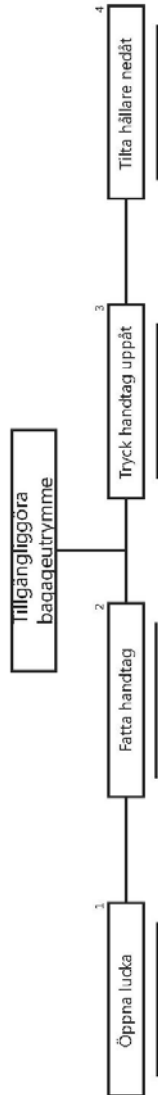
Montering på bil



Fastsättning av cykel



Tillgängliggörande av bagageutrymme



Bilaga 3 - CW/PHEA Referensprodukt

Handling	Problem
Fixera hjul	<ul style="list-style-type: none">– Svårt att se klickspännen vid hjulen– Klämrisk– Svåra vinklar på grund av platsbrist vid klickspännen– Smuts kan inverka och påverka synbarheten vid fastspänning– Risk för att klickspännena är inspända vid pålastning av cykel vilket försvårar handhavandet
Fixera ram	<ul style="list-style-type: none">– Ratt noteras men kopplas inte till liten klämma– Bristande kommunikation vad gäller kopplingen mellan handling och slutmål– Bristande kommunikation vad gäller koppling mellan handling och funktion– Märkning är svår att se– Följer inte designprincipen om närhet– Dålig återkoppling – ser ej om handling har fört användaren närmare målet– Stången är väderkänslig, kan bli kall, varm eller glatt– Platsbrist– Låg synbarhet – svårt att se och vinkla
Förbereda hållare	<ul style="list-style-type: none">– Svårt att hitta naturliga greppytor– Produkten upplevs tung– Svårt att se hur högt över marken produktens botten befinner sig– Skyddskåpens utformning stämmer inte överrens med den mentala modellen av densamma– Klämrisk – kåpan kärvar– Röd symbol tolkas korrekt vid ett skede men i en annan interaktion med produkten ger den upphov till förvirring– Ser inte när hållarens infästningspunkt är öppen eller stängd
Fixera hållare på dragkrok	<ul style="list-style-type: none">– Svårt att se dragkroken– Framgår inte tydligt var fästpunkten är– Bristande återkoppling då hållare är placerad i fästpunkt - instabilitet– Fastspänning kräver både mycket kraft och balansering
Tillgängliggöra bagageutrymme	<ul style="list-style-type: none">– Greppyta saknas på lucka– Trög lucka– Lucka kan vara skymd av last– Smuts kan bidra till dold lucka samt försvåra öppnande– Viktbalans tiltning

Bilaga 4 – REBA Referensprodukt

Lyfta hållare från marken - Referensprodukt

REBA Employee Assessment Worksheet

based on Technical note: Rapid Entire Body Assessment (REBA), Hignett, McAtamney, Applied Ergonomics 31 (2000) 201-205

A. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 1: Locate Neck Position

Step 1a: Adjust...
If neck is twisted: +1
If neck is side bending: +1

1
Neck Score

Step 2: Locate Trunk Position

Step 2a: Adjust...
If trunk is twisted: +1
If trunk is side bending: +1

4
Trunk Score

Step 3: Legs

Adjust: 30-60° Add +1, >60° Add +2

3
Leg Score

Step 4: Look-up Posture Score in Table A

Using values from steps 1-3 above, locate score in Table A

Table A			
Neck			
Legs	1	2	3
Trunk Posture Score	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4
1	1 2 3 4	1 2 3 4	3 3 5 6
2	2 3 4 5	3 4 5 6	4 5 6 7
3	2 4 5 6	4 5 6 7	5 6 7 8
4	3 5 6 7	5 6 7 8	6 7 8 9
5	4 6 7 8	6 7 8 9	7 8 9 9

6
Posture Score A

Step 5: Add Force/Load Score

If load < 11 lbs: +0
If load 11 to 22 lbs: +1
If load > 22 lbs: +2
Adjust: If shock or rapid build up of force: add +1

2
Force/Load Score

Step 6: Score A, Find Row in Table C

Add values from steps 4 & 5 to obtain Score A. Find Row in Table C.

Table C												
Score B, (table B value + coupling score)												
Score A (score from table A + load/force score)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1 1 1	1 2 3	3 4 5	6 7 8	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7
2	1 2 2	2 3 4	4 5 6	6 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8
3	2 3 3	3 4 5	5 6 7	7 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8
4	3 4 4	4 5 6	6 7 8	8 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
5	4 4 4	5 6 7	7 8 8	8 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
6	6 6 6	7 8 8	8 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
7	7 7 7	8 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
8	8 8 8	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10
11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11
12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12

10
Table C Score

Step 7: Locate Upper Arm Position

Step 7a: Adjust...
If shoulder is raised: +1
If upper arm is abducted: +1
If arm is supported or person is leaning: -1

4
Upper Arm Score

Step 8: Locate Lower Arm Position

2
Lower Arm Score

Step 9: Locate Wrist Position

Step 9a: Adjust...
If wrist is bent from midline or twisted: Add +1

2
Wrist Score

Step 10: Look-up Posture Score in Table B

Using values from steps 7-9 above, locate score in Table B

Table B		
Lower Arm		
Wrist	1	2
Upper Arm Score	1 2 3	1 2 3
1	1 2 2	1 2 3
2	1 2 3	2 3 4
3	3 4 5	4 5 5
4	4 5 5	5 6 7
5	6 7 8	7 8 8
6	7 8 8	8 9 9

6
Posture Score B

Step 11: Add Coupling Score

Well fitting Handle and mid rang power grip. *good*: +0
Acceptable but not ideal hand hold or coupling acceptable with another body part. *fair*: +1
Hand hold not acceptable but possible. *poor*: +2
No handles, awkward, unsafe with any body part. *Unacceptable*: +3

1
Coupling Score

Step 12: Score B, Find Column in Table C

Add values from steps 10 & 11 to obtain Score B. Find column in Table C and match with Score A in row from step 6 to obtain Table C Score.

Table C												
Score B, (table B value + coupling score)												
Score A (score from table A + load/force score)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1 1 1	1 2 3	3 4 5	6 7 8	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7
2	1 2 2	2 3 4	4 5 6	6 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8
3	2 3 3	3 4 5	5 6 7	7 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8
4	3 4 4	4 5 6	6 7 8	8 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
5	4 4 4	5 6 7	7 8 8	8 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
6	6 6 6	7 8 8	8 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
7	7 7 7	8 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
8	8 8 8	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10
11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11
12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12

11
Table C Score

Step 13: Activity Score

+1 1 or more body parts are held for longer than 1 minute (static)
+1 Repeated small range actions (more than 4x per minute)
+1 Action causes rapid large range changes in postures or unstable base

10
Activity Score

10
Final REBA Score

B. Arm and Wrist Analysis

Step 7: Locate Upper Arm Position:

Step 7a: Adjust...
If shoulder is raised: +1
If upper arm is abducted: +1
If arm is supported or person is leaning: -1

4
Upper Arm Score

Step 8: Locate Lower Arm Position:

2
Lower Arm Score

Step 9: Locate Wrist Position:

Step 9a: Adjust...
If wrist is bent from midline or twisted: Add +1

2
Wrist Score

Step 10: Look-up Posture Score in Table B

Using values from steps 7-9 above, locate score in Table B

Table B		
Lower Arm		
Wrist	1	2
Upper Arm Score	1 2 3	1 2 3
1	1 2 2	1 2 3
2	1 2 3	2 3 4
3	3 4 5	4 5 5
4	4 5 5	5 6 7
5	6 7 8	7 8 8
6	7 8 8	8 9 9

5
Posture Score B

Step 11: Add Coupling Score

Well fitting Handle and mid rang power grip. *good*: +0
Acceptable but not ideal hand hold or coupling acceptable with another body part. *fair*: +1
Hand hold not acceptable but possible. *poor*: +2
No handles, awkward, unsafe with any body part. *Unacceptable*: +3

2
Coupling Score

Step 12: Score B, Find Column in Table C

Add values from steps 10 & 11 to obtain Score B. Find column in Table C and match with Score A in row from step 6 to obtain Table C Score.

Table C												
Score B, (table B value + coupling score)												
Score A (score from table A + load/force score)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1 1 1	1 2 3	3 4 5	6 7 8	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7
2	1 2 2	2 3 4	4 5 6	6 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8
3	2 3 3	3 4 5	5 6 7	7 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8
4	3 4 4	4 5 6	6 7 8	8 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
5	4 4 4	5 6 7	7 8 8	8 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
6	6 6 6	7 8 8	8 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
7	7 7 7	8 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
8	8 8 8	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10
11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11
12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12

11
Table C Score

Step 13: Activity Score

+1 1 or more body parts are held for longer than 1 minute (static)
+1 Repeated small range actions (more than 4x per minute)
+1 Action causes rapid large range changes in postures or unstable base

11
Activity Score

11
Final REBA Score

REBA Employee Assessment Worksheet

based on Technical note: Rapid Entire Body Assessment (REBA), Hignett, McAtamney, Applied Ergonomics 31 (2000) 201-205

A. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 1: Locate Neck Position

Step 1a: Adjust...
If neck is twisted: +1
If neck is side bending: +1

2
Neck Score

Step 2: Locate Trunk Position

Step 2a: Adjust...
If trunk is twisted: +1
If trunk is side bending: +1

4
Trunk Score

Step 3: Legs

Adjust: 30-60° Add +1, >60° Add +2

3
Leg Score

Step 4: Look-up Posture Score in Table A

Using values from steps 1-3 above, locate score in Table A

Table A			
Neck			
Legs	1	2	3
Trunk Posture Score	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4
1	1 2 3 4	1 2 3 4	3 3 5 6
2	2 3 4 5	3 4 5 6	4 5 6 7
3	2 4 5 6	4 5 6 7	5 6 7 8
4	3 5 6 7	5 6 7 8	6 7 8 9
5	4 6 7 8	6 7 8 9	7 8 9 9

7
Posture Score A

Step 5: Add Force/Load Score

If load < 11 lbs: +0
If load 11 to 22 lbs: +1
If load > 22 lbs: +2
Adjust: If shock or rapid build up of force: add +1

2
Force/Load Score

Step 6: Score A, Find Row in Table C

Add values from steps 4 & 5 to obtain Score A. Find Row in Table C.

Table C												
Score B, (table B value + coupling score)												
Score A (score from table A + load/force score)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1 1 1	1 2 3	3 4 5	6 7 8	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7	7 7 7
2	1 2 2	2 3 4	4 5 6	6 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8	7 7 8
3	2 3 3	3 4 5	5 6 7	7 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8	8 8 8
4	3 4 4	4 5 6	6 7 8	8 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
5	4 4 4	5 6 7	7 8 8	8 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
6	6 6 6	7 8 8	8 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
7	7 7 7	8 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
8	8 8 8	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9	9 9 9
10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10	10 10 10
11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11	11 11 11
12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12	12 12 12

11
Table C Score

Step 7: Locate Upper Arm Position:

Step 7a: Adjust...
If shoulder is raised: +1
If upper arm is abducted: +1
If arm is supported or person is leaning: -1

3
Upper Arm Score

Step 8: Locate Lower Arm Position:

2
Lower Arm Score

Step 9: Locate Wrist Position:

Step 9a: Adjust...
If wrist is bent from midline or twisted: Add +1

2
Wrist Score

Step 10: Look-up Posture Score in Table B

Using values from steps 7-9 above, locate score in Table B

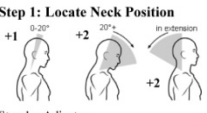
Table B		
Lower Arm		
Wrist	1	2
Upper Arm Score	1 2 3	1 2 3
1	1 2 2	1 2 3
2	1 2 3	2 3 4
3	3 4 5	4

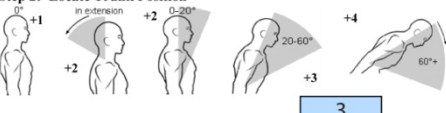
REBA Employee Assessment Worksheet

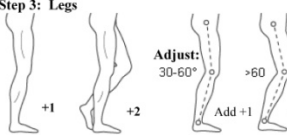
Trycka fast hållare på dragkrok - Referensprodukt

based on Technical note: Rapid Entire Body Assessment (REBA), Hignett, McAtamney, Applied Ergonomics 31 (2000) 201-205

A. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 1: Locate Neck Position

 +1 (0-20°), +2 (20+), +2 (in extension)
 Step 1a: Adjust...
 If neck is twisted: +1
 If neck is side bending: +1
1 Neck Score

Step 2: Locate Trunk Position

 +1 (0), +2 (0-20°), +3 (20-60°), +4 (60+)
 Step 2a: Adjust...
 If trunk is twisted: +1
 If trunk is side bending: +1
3 Trunk Score

Step 3: Legs

 +1, +2, Adjust: 30-60°, >60°
 Add +1, Add +2
2 Leg Score

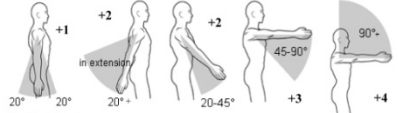
Step 4: Look-up Posture Score in Table A
 Using values from steps 1-3 above, locate score in Table A

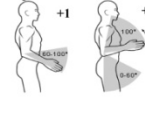
		Neck		
		1	2	3
Trunk Posture Score	Legs	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4
	1	1 2 3 4	1 2 3 4	3 3 5 6
	2	2 3 4 5	3 4 5 6	4 5 6 7
	3	2 4 5 6	4 5 6 7	5 6 7 8
4	3 5 6 7	5 6 7 8	6 7 8 9	
5	4 6 7 8	6 7 8 9	7 8 9 9	

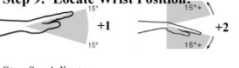
Step 5: Add Force/Load Score
 If load < 11 lbs: +0
 If load 11 to 22 lbs: +1
 If load > 22 lbs: +2
 Adjust: If shock or rapid build up of force: add +1
3 Force/Load Score

Step 6: Score A, Find Row in Table C
 Add values from steps 4 & 5 to obtain Score A.
 Find Row in Table C.

		Score B, (table B value + coupling score)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score A (score from table A + load/force score)	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
	2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
	3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
	4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
	5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
	6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
	7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
	8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	11	12	12
	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Step 7: Locate Upper Arm Position

 +1 (20°), +2 (20+), +2 (20+), +3 (20-45°), +4 (90+)
 Step 7a: Adjust...
 If shoulder is raised: +1
 If upper arm is abducted: +1
 If arm is supported or person is leaning: -1
4 Upper Arm Score

Step 8: Locate Lower Arm Position

 +1 (100°), +2 (160°)
2 Lower Arm Score

Step 9: Locate Wrist Position

 +1 (15°), +2 (15+)
 Step 9a: Adjust...
 If wrist is bent from midline or twisted: Add +1
3 Wrist Score

Step 10: Look-up Posture Score in Table B
 Using values from steps 7-9 above, locate score in Table B

		Lower Arm		
		1	2	
Upper Arm Score	Wrist	1 2 3	1 2 3	
	1	1 2 2	1 2 3	
	2	1 2 3	2 3 4	
	3	3 4 5	4 5 5	
	4	4 5 5	5 6 7	
	5	5 6 7	8 8 9	
6	7 8 8	8 9 9		

Step 11: Add Coupling Score
 Well fitting Handle and mid range power grip, *good*: +0
 Acceptable but not ideal hand hold or coupling acceptable with another body part, *fair*: +1
 Hand hold not acceptable but possible, *poor*: +2
 No handles, awkward, unsafe with any body part, *Unacceptable*: +3
2 Coupling Score

Step 12: Score B, Find Column in Table C
 Add values from steps 10 & 11 to obtain Score B. Find column in Table C and match with Score A in row from step 6 to obtain Table C Score.

		Score B, (table B value + coupling score)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score A (score from table A + load/force score)	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
	2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
	3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
	4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
	5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
	6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
	7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
	8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	11	12	12
	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Step 13: Activity Score
 +1 1 or more body parts are held for longer than 1 minute (static)
 +1 Repeated small range actions (more than 4x per minute)
 +1 Action causes rapid large range changes in postures or unstable base
8 Activity Score

Final REBA Score
 Table C Score (10) + Activity Score (8) = **18**

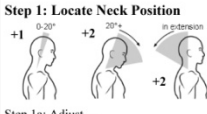
Scoring:
 1 = negligible risk
 2 or 3 = low risk, change may be needed
 4 to 7 = medium risk, further investigation, change soon
 8 to 10 = high risk, investigate and implement change
 11+ = very high risk, implement change


REBA Employee Assessment Worksheet

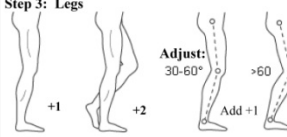
Spänna fast ram - Referensprodukt

based on Technical note: Rapid Entire Body Assessment (REBA), Hignett, McAtamney, Applied Ergonomics 31 (2000) 201-205

A. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 1: Locate Neck Position

 +1 (0-20°), +2 (20+), +2 (in extension)
 Step 1a: Adjust...
 If neck is twisted: +1
 If neck is side bending: +1
1 Neck Score

Step 2: Locate Trunk Position

 +1 (0), +2 (0-20°), +3 (20-60°), +4 (60+)
 Step 2a: Adjust...
 If trunk is twisted: +1
 If trunk is side bending: +1
2 Trunk Score

Step 3: Legs

 +1, +2, Adjust: 30-60°, >60°
 Add +1, Add +2
1 Leg Score

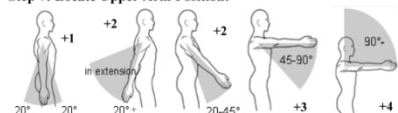
Step 4: Look-up Posture Score in Table A
 Using values from steps 1-3 above, locate score in Table A


		Neck		
		1	2	3
Trunk Posture Score	Legs	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4
	1	1 2 3 4	1 2 3 4	3 3 5 6
	2	2 3 4 5	3 4 5 6	4 5 6 7
	3	2 4 5 6	4 5 6 7	5 6 7 8
4	3 5 6 7	5 6 7 8	6 7 8 9	
5	4 6 7 8	6 7 8 9	7 8 9 9	

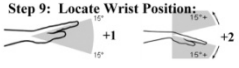
Step 5: Add Force/Load Score
 If load < 11 lbs: +0
 If load 11 to 22 lbs: +1
 If load > 22 lbs: +2
 Adjust: If shock or rapid build up of force: add +1
0 Force/Load Score

Step 6: Score A, Find Row in Table C
 Add values from steps 4 & 5 to obtain Score A.
 Find Row in Table C.

		Score B, (table B value + coupling score)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score A (score from table A + load/force score)	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
	2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
	3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
	4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
	5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
	6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
	7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
	8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	11	12	12
	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Step 7: Locate Upper Arm Position

 +1 (20°), +2 (20+), +2 (20+), +3 (20-45°), +4 (90+)
 Step 7a: Adjust...
 If shoulder is raised: +1
 If upper arm is abducted: +1
 If arm is supported or person is leaning: -1
3 Upper Arm Score

Step 8: Locate Lower Arm Position

 +1 (100°), +2 (160°)
2 Lower Arm Score

Step 9: Locate Wrist Position

 +1 (15°), +2 (15+)
 Step 9a: Adjust...
 If wrist is bent from midline or twisted: Add +1
1 Wrist Score

Step 10: Look-up Posture Score in Table B
 Using values from steps 7-9 above, locate score in Table B

		Lower Arm		
		1	2	
Upper Arm Score	Wrist	1 2 3	1 2 3	
	1	1 2 2	1 2 3	
	2	1 2 3	2 3 4	
	3	3 4 5	4 5 5	
	4	4 5 5	5 6 7	
	5	5 6 7	8 8 9	
6	7 8 8	8 9 9		

Step 11: Add Coupling Score
 Well fitting Handle and mid range power grip, *good*: +0
 Acceptable but not ideal hand hold or coupling acceptable with another body part, *fair*: +1
 Hand hold not acceptable but possible, *poor*: +2
 No handles, awkward, unsafe with any body part, *Unacceptable*: +3
0 Coupling Score

Step 12: Score B, Find Column in Table C
 Add values from steps 10 & 11 to obtain Score B. Find column in Table C and match with Score A in row from step 6 to obtain Table C Score.

		Score B, (table B value + coupling score)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Score A (score from table A + load/force score)	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
	2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
	3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
	4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
	5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
	6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
	7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
	8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	11	12	12
	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Step 13: Activity Score
 +1 1 or more body parts are held for longer than 1 minute (static)
 +1 Repeated small range actions (more than 4x per minute)
 +1 Action causes rapid large range changes in postures or unstable base
1 Activity Score

Final REBA Score
 Table C Score (3) + Activity Score (1) = **4**

Scoring:
 1 = negligible risk
 2 or 3 = low risk, change may be needed
 4 to 7 = medium risk, further investigation, change soon
 8 to 10 = high risk, investigate and implement change
 11+ = very high risk, implement change

REBA Employee Assessment Worksheet

based on Technical note: Rapid Entire Body Assessment (REBA), Hignett, McAtamney, Applied Ergonomics 31 (2000) 201-205

A. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 1: Locate Neck Position
 +1 0-20° +2 20°+ in extension
 Step 1a: Adjust...
 If neck is twisted: +1
 If neck is side bending: +1
 Neck Score: **2**

Step 2: Locate Trunk Position
 0° +1 in extension +2 0-20° +3 20-60° +4 60°+
 Step 2a: Adjust...
 If trunk is twisted: +1
 If trunk is side bending: +1
 Trunk Score: **5**

Step 3: Legs
 +1 +2 Adjust: 30-60° >60° Add +1 Add +2
 Leg Score: **2**

Step 4: Look-up Posture Score in Table A
 Using values from steps 1-3 above, locate score in Table A
 Posture Score A: **5**

Step 5: Add Force/Load Score
 If load < 11 lbs: +0
 If load 11 to 22 lbs: +1
 If load > 22 lbs: +2
 Adjust: If shock or rapid build up of force: add +1
 Force/Load Score: **0**

Step 6: Score A, Find Row in Table C
 Add values from steps 4 & 5 to obtain Score A.
 Find Row in Table C.
 Score A: **5**

Scoring:
 1 = negligible risk
 2 or 3 = low risk, change may be needed
 4 to 7 = medium risk, further investigation, change soon
 8 to 10 = high risk, investigate and implement change
 11+ = very high risk, implement change

SCORES

Table A

		1			2			3					
Legs	1	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
Trunk Posture Score	1	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9

Table B

		1		2			
Wrist	1	1	2	3	1	2	3
	2	1	2	2	1	2	3
Upper Arm Score	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7
	5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	8	9	9

Table C

Score A (score from table A + load/force score)	Score B, (table B value + coupling score)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	1	1	1	1	2	3	3	4	4	5	6	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	10	10	10	11	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Score A + Activity Score = **6**
 Table C Score: **5** + Activity Score: **1**
 Final REBA Score: **6**

B. Arm and Wrist Analysis

Step 7: Locate Upper Arm Position:
 +1 20° +2 20°+ in extension +2 20-45° +3 45-90° +4 90°+
 Step 7a: Adjust...
 If shoulder is raised: +1
 If upper arm is abducted: +1
 If arm is supported or person is leaning: -1
 Upper Arm Score: **4**

Step 8: Locate Lower Arm Position:
 +1 60-100° +2 0-60°
 Lower Arm Score: **1**

Step 9: Locate Wrist Position:
 +1 15° +2 15°+
 Step 9a: Adjust...
 If wrist is bent from midline or twisted: Add +1
 Wrist Score: **1**

Step 10: Look-up Posture Score in Table B
 Using values from steps 7-9 above, locate score in Table B
 Posture Score B: **4**

Step 11: Add Coupling Score
 Well fitting Handle and mid rang power grip, good: +0
 Acceptable but not ideal hand hold or coupling acceptable with another body part, fair: +1
 Hand hold not acceptable but possible, poor: +2
 No handles, awkward, unsafe with any body part, Unacceptable: +3
 Coupling Score: **0**

Step 12: Score B, Find Column in Table C
 Add values from steps 10 & 11 to obtain Score B. Find column in Table C and match with Score A in row from step 6 to obtain Table C Score.
 Score B: **4**

Step 13: Activity Score
 +1 1 or more body parts are held for longer than 1 minute (static)
 +1 Repeated small range actions (more than 4x per minute)
 +1 Action causes rapid large range changes in postures or unstable base

REBA Employee Assessment Worksheet

based on Technical note: Rapid Entire Body Assessment (REBA), Hignett, McAtamney, Applied Ergonomics 31 (2000) 201-205

A. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 1: Locate Neck Position
 +1 0-20° +2 20°+ in extension
 Step 1a: Adjust...
 If neck is twisted: +1
 If neck is side bending: +1
 Neck Score: **2**

Step 2: Locate Trunk Position
 0° +1 in extension +2 0-20° +3 20-60° +4 60°+
 Step 2a: Adjust...
 If trunk is twisted: +1
 If trunk is side bending: +1
 Trunk Score: **4**

Step 3: Legs
 +1 +2 Adjust: 30-60° >60° Add +1 Add +2
 Leg Score: **3**

Step 4: Look-up Posture Score in Table A
 Using values from steps 1-3 above, locate score in Table A
 Posture Score A: **7**

Step 5: Add Force/Load Score
 If load < 11 lbs: +0
 If load 11 to 22 lbs: +1
 If load > 22 lbs: +2
 Adjust: If shock or rapid build up of force: add +1
 Force/Load Score: **3**

Step 6: Score A, Find Row in Table C
 Add values from steps 4 & 5 to obtain Score A.
 Find Row in Table C.
 Score A: **10**

Scoring:
 1 = negligible risk
 2 or 3 = low risk, change may be needed
 4 to 7 = medium risk, further investigation, change soon
 8 to 10 = high risk, investigate and implement change
 11+ = very high risk, implement change

SCORES

Table A

		1			2			3					
Legs	1	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
Trunk Posture Score	1	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9

Table B

		1		2			
Wrist	1	1	2	3	1	2	3
	2	1	2	2	1	2	3
Upper Arm Score	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7
	5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	8	9	9

Table C

Score A (score from table A + load/force score)	Score B, (table B value + coupling score)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	1	1	1	1	2	3	3	4	4	5	6	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	10	10	10	11	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	11	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Score A + Activity Score = **12**
 Table C Score: **11** + Activity Score: **1**
 Final REBA Score: **12**

B. Arm and Wrist Analysis

Step 7: Locate Upper Arm Position:
 +1 20° +2 20°+ in extension +2 20-45° +3 45-90° +4 90°+
 Step 7a: Adjust...
 If shoulder is raised: +1
 If upper arm is abducted: +1
 If arm is supported or person is leaning: -1
 Upper Arm Score: **3**

Step 8: Locate Lower Arm Position:
 +1 60-100° +2 0-60°
 Lower Arm Score: **2**

Step 9: Locate Wrist Position:
 +1 15° +2 15°+
 Step 9a: Adjust...
 If wrist is bent from midline or twisted: Add +1
 Wrist Score: **2**

Step 10: Look-up Posture Score in Table B
 Using values from steps 7-9 above, locate score in Table B
 Posture Score B: **5**

Step 11: Add Coupling Score
 Well fitting Handle and mid rang power grip, good: +0
 Acceptable but not ideal hand hold or coupling acceptable with another body part, fair: +1
 Hand hold not acceptable but possible, poor: +2
 No handles, awkward, unsafe with any body part, Unacceptable: +3
 Coupling Score: **2**

Step 12: Score B, Find Column in Table C
 Add values from steps 10 & 11 to obtain Score B. Find column in Table C and match with Score A in row from step 6 to obtain Table C Score.
 Score B: **7**

Step 13: Activity Score
 +1 1 or more body parts are held for longer than 1 minute (static)
 +1 Repeated small range actions (more than 4x per minute)
 +1 Action causes rapid large range changes in postures or unstable base

Bilaga 5 – Material och materialegenskaper referensprodukt

Material	Stål AISI 1010	Al 6063-T6	ABS <i>termoplast</i>	PA6(30%GF) <i>termoplast</i>	PUR <i>termoplast</i>	PE <i>termoplast</i>
Pris [SEK/ kg]	5	13	23.9-36.6	33.9-37.3	33-45.5	9.64-10.6
Densitet [kg/ m ³]	7800-7900	2660-2720	1040-1070	1350-1420	1120-1240	918-940
E-modul [GPa]	205-215	69.5-73	2.21-2.62	8.62-11	1.31-2.07	0.262-0.517
Sträckgräns [MPa]	172-315	200-221	42-46	132-152	40-53.8	9.65-19.3
Brottgräns [MPa]	310-430	233-257	42-46	165-190	31-62	13.1-27.6
Utmattningshållfasthet vid 10 ⁷ cykler [MPa]	203-238	83-85.8	14-18.2	62.3-81	16-20	5.24-11
Poissons tal	0.29	0.33	0.391-0.407	0.34-0.36	0.4-0.416	0.43-0.448
Brottseghet [MPa√m]	43-69	33-35	1.9-2.1	5.72-8.03	1.84-4.97	1.26-3.79
Max/Min-användningstemp [°C]	357/ -68	170/-273	77/-45	130/-64	78/-54	97/-79
UV-strålningsresistens	Utmärkt	Utmärkt	Undermålig	Acceptabel	Acceptabel	Undermålig
Resistens mot saltvatten	Acceptabel	Acceptabel	Utmärkt	Acceptabel	Utmärkt	Utmärkt

Bilaga 6 – Kravspecifikation

Kravspecifikation - Bakmonterad cykelhållare

1	Teknisk Funktion	K/Ö	Kontrollmetod
1.1	Produkten skall medge säker transport per bil av 0-3 cyklar.	K	Kvalitetstest
1.2	Produkten ska medge transport av last upp till 51kg.	K	
1.3	Produkten skall monteras på bil genom fastspänning kring dragkrok.	K	Befintlig lösning
1.4	Produktens montering skall följa ISO-standard 1103:1996(E) för dragkrok.	K	Befintlig lösning
1.5	Produkten skall medge att varken produkt, cyklar eller bil skadas vid montering eller transport.	K	Kvalitetstest
1.6	Produkten eller last skall ej skymma bilens lampor i monterat läge. Alternativt skall produkten ha lampor som är placerade <40cm innanför lastens yttersta punkt i bilens breddriktning.	K	Kvalitetstest
1.7	Produkten eller last skall ej skymma bilens registreringsskylt i monterat läge. Alternativt skall produkten medge synlig plats för registreringsskylt av EU-modell med måtten LxH 520x110 mm. (Transportstyrelsen 2010)	K	Kvalitetstest
1.8	Produktens infästning skall klara av en last som motsvaras av nominell lyftkraft och nominell longitudinell kraft med en säkerhetsfaktor på 3,75 av cyklarnas vikt	K	Befintlig lösning
1.9	Produktens infästning skall klara av en last som motsvaras av nominell glidkraft med en säkerhetsfaktor på 2,7 av cyklarnas vikt (antal cyklar à maxvikt 20 kg).	K	Befintlig lösning
1.10	Produkten skall ha en livslängd > 5 år.	K	
1.11	Produkten skall ha en vikt < 19 kg.	K	Beräkning i Catia

1.12	Produkten skall ha en vikt < 10 kg.	Ö1	Beräkning i Catia
1.13	Produkten skall klara Thule Test Plan, RMS med godkänt resultat.	K	
1.14	Produkten skall vid körning med påmonterade cyklar medge sikt bakåt.	Ö2	Befintlig måttsättning

2 Hantering

2.1	Produkt skall möjliggöra fullgod och säker hantering av en brukare på egen hand, i vuxen ålder.	K	REBA
2.2	Produkten skall medge förståelse hos brukaren vad gäller hanteringssteg (greppytor, var dragkroken befinner sig i förhållande till produktens påkopplingsdosa).	K	Kvalitetstest
2.3	Produkten skall medge på- och avmontering av cyklar i max tre huvudmoment.	K	HTA
2.4	Produkten skall medge montering på dragkrok på en tid < 10 s.	Ö1	
2.5	Produkten skall ha en upplevd vikt som är lättare än referensproduktens upplevda vikt.	K	Kvalitetstest
2.6	Produkten skall medge ergonomisk belastning som ger ett värde < 7 på en REBA-analys.	K	Jack, REBA
2.7	Produkt skall i fastmonterat läge, utan kraftansträngning, medge öppning och åtkomst av innehåll från bilens baklucka (både uppåt- och nedåtöppnade luckor).	K	Kvalitetstest
2.8	Produkten skall möjliggöra stöldsäkerhet i monterat läge.	K	Befintlig måttsättning
2.9	Produkten skall medge kompakt förvaringsvolym [Max 600x600x300]mm	K	Kvalitetstest

3 Anpassningsbarhet

3.1	Produkten skall medge transport av cyklar med öppna hjulsidor, där måttet mellan fram- och baknav varierar	K	Kvalitetstest
-----	--	---	---------------

mellan 105-115 cm.

3.2 Produkten skall medge montering på bilar med dragkrok som täcker 90% av dagens utbud. K Befintlig lösning

3.3 Produkten skall medge varsam hantering av cyklar (enligt referensram i kolfiber). Ö3

4 Material

4.1 Material skall tåla att utsättas för saltspray med 5 % natriumklorid under 192 timmar (Neutral Salt Spray, NSS, test) utan att korrodera. K Materialdata

4.2 Material skall tillåta att produkten uppfyller krav gällande kraftpåverkan i ett temperaturintervall på -30 till 90 grader Celsius. K Materialdata

4.3 Material närmast avgasrör ska tillåta att produkten uppfyller krav gällande kraftpåverkan i ett temperaturintervall på -30 till 120 grader Celsius. K Materialdata

4.4 Material skall tåla luftfuktighet på 90 % under en livslängd på minst 5 år utan att tappa karaktäristiska egenskaper. K

4.5 Material skall tåla UV-strålning under en livslängd på minst 5 år utan att tappa karaktäristiska egenskaper. K Materialdata

4.6 Materialet skall efter utmattning i 10^7 cykler kunna motstå en radiell last på 1,5 gånger lastens vikt. K Analys Catia, Materialdata

5 Uttryck och gestaltning

5.1 Produktens uttryck skall relateras till Thules varumärke. K Designriktlinjer

5.2 Produkten skall passa in i Thules produktgrupp Premium. K Analys befintligt produktsortiment,

			designriktlinjer
5.3	Produkten skall ge uttryck av att vara säker, funktionell och professionell.	K	Expressionboard

6 Tillverkning

6.1 Produkten ska medge lönsam tillverkning inom 5-10 år. Ö2

7 Hållbar utveckling

7.1 Produkten ska i fastmonterat läge ej öka bilens bränsleförbrukning jämfört med den som referensprodukten ger upphov till. K

8 Marknad och ekonomi

8.1 Produkten skall gå att sälja i Tyskland, England och Beneluxländerna i produktsegmentet dragkroksmonterade cykelhållare i premiumklass. K Designriktlinjer

K = Krav

Ö = Önskemål

Där

1 = mycket viktigt

2 = viktigt

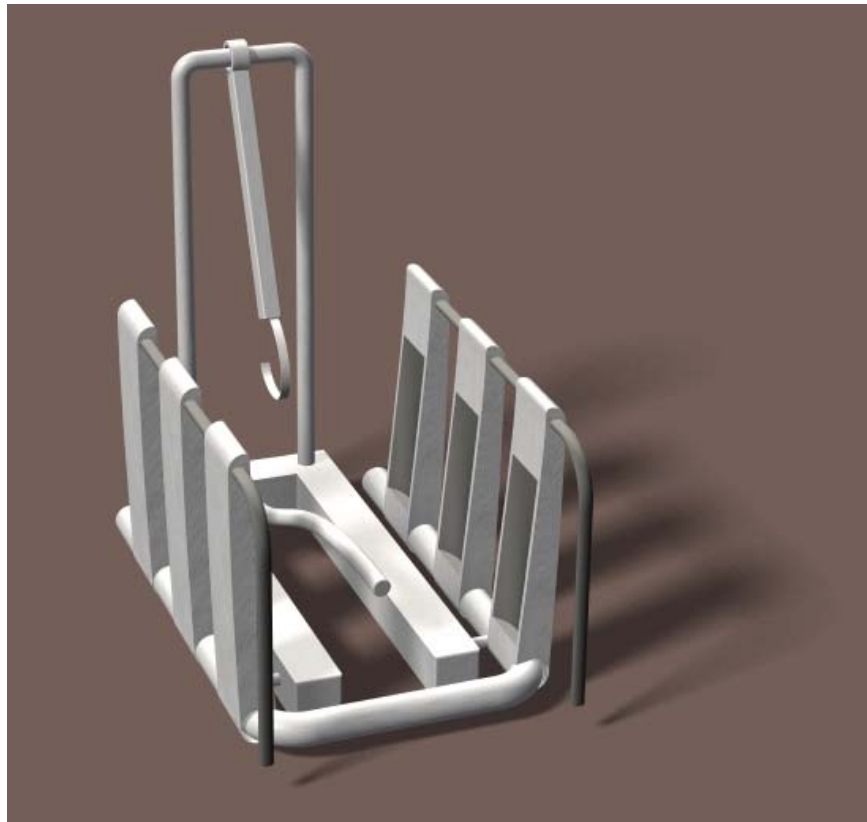
3 = inte viktigt

Kontrollmetod – Här avses den metod som i projektet används för att kontrollera att kravet har uppfyllts

Kvalitetstest - Att processens utformning kontrollerar och säkerställer att identifierade krav har uppfyllts

Befintlig måttsättning - Att kravet har kontrollerats genom överensstämmelse med referensproduktens måttsättning

Bilaga 8 – Schematisk CAD-modell



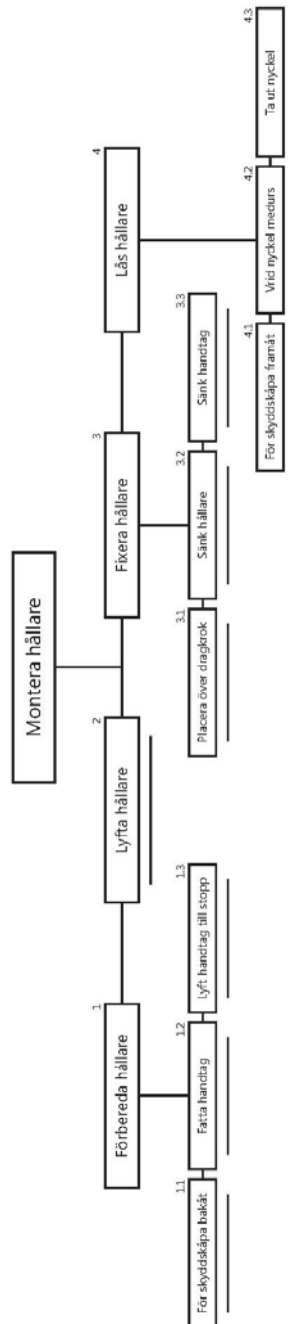
Schematisk CAD-modell över koncept för cykelhållare. Bilden illustrerar en tänkt hopfällningsmöjlighet. I detta läge medger konceptet en reducerad förvaringsvolym.



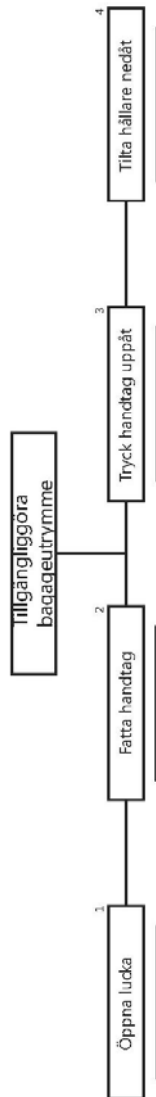
Schematisk CAD-modell över koncept för cykelhållare. Illustrerar konceptet i nedfällt läge. I detta läge medger konceptet transport av 0-3 cyklar.

Bilaga 9 - HTA Konceptet

Montering på bil



Tillgängliggörande av bagageutrymme



Bilaga 10 –REBA Koncept

REBA Employee Assessment Worksheet

based on Technical note: Rapid Entire Body Assessment (REBA), Hignett, McAtamney, Applied Ergonomics 31 (2000) 201-205

Lyfta hållare från marken - Koncept

A. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 1: Locate Neck Position

Step 1a: Adjust...
If neck is twisted: +1
If neck is side bending: +1

2
Neck Score

Step 2: Locate Trunk Position

Step 2a: Adjust...
If trunk is twisted: +1
If trunk is side bending: +1

3
Trunk Score

Step 3: Legs

Adjust: 30-60° +1, >60° +2

1
Leg Score

Step 4: Look-up Posture Score in Table A

Using values from steps 1-3 above, locate score in Table A

4
Posture Score A

Step 5: Add Force/Load Score

If load < 11 lbs: +0
If load 11 to 22 lbs: +1
If load > 22 lbs: +2
Adjust: If shock or rapid build up of force: add +1

1
Force/Load Score

Step 6: Score A, Find Row in Table C

Add values from steps 4 & 5 to obtain Score A. Find Row in Table C.

5
Score A

Scoring:
1 = negligible risk
2 or 3 = low risk, change may be needed
4 to 7 = medium risk, further investigation, change soon
8 to 10 = high risk, investigate and implement change
11+ = very high risk, implement change

SCORES

Table A		Neck											
		1			2			3					
Legs	1	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	2	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	3	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Table B		Lower Arm					
		1			2		
Upper Arm Score	Wrist	1	2	3	1	2	3
	1	1	2	2	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	4
	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7
	5	6	7	8	7	8	8

Score A (score from table A +load/force score)	Table C												
	Score B _i (table B value + coupling score)												
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	10	10	10	11	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Step 7: Locate Upper Arm Position:

Step 7a: Adjust...
If shoulder is raised: +1
If upper arm is abducted: +1
If arm is supported or person is leaning: -1

2
Upper Arm Score

Step 8: Locate Lower Arm Position:

2
Lower Arm Score

Step 9: Locate Wrist Position:

Step 9a: Adjust...
If wrist is bent from midline or twisted: Add +1

2
Wrist Score

Step 10: Look-up Posture Score in Table B

Using values from steps 7-9 above, locate score in Table B

3
Posture Score B

Step 11: Add Coupling Score

Well fitting Handle and mid rang power grip, *good*: +0
Acceptable but not ideal hand hold or coupling acceptable with another body part, *fair*: +1
Hand hold not acceptable but possible, *poor*: +2
No handles, awkward, unsafe with any body part, *Unacceptable*: +3

1
Coupling Score

Step 12: Score B, Find Column in Table C

Add values from steps 10 & 11 to obtain Score B. Find column in Table C and match with Score A in row from step 6 to obtain Table C Score.

4
Score B

Step 13: Activity Score

+1 1 or more body parts are held for longer than 1 minute (static)
+1 Repeated small range actions (more than 4x per minute)
+1 Action causes rapid large range changes in postures or unstable base

5
Activity Score

5
Final REBA Score

REBA Employee Assessment Worksheet

based on Technical note: Rapid Entire Body Assessment (REBA), Hignett, McAtamney, Applied Ergonomics 31 (2000) 201-205

Placera hållare på dragkrok - Koncept

A. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 1: Locate Neck Position

Step 1a: Adjust...
If neck is twisted: +1
If neck is side bending: +1

2
Neck Score

Step 2: Locate Trunk Position

Step 2a: Adjust...
If trunk is twisted: +1
If trunk is side bending: +1

3
Trunk Score

Step 3: Legs

Adjust: 30-60° +1, >60° +2

1
Leg Score

Step 4: Look-up Posture Score in Table A

Using values from steps 1-3 above, locate score in Table A

4
Posture Score A

Step 5: Add Force/Load Score

If load < 11 lbs: +0
If load 11 to 22 lbs: +1
If load > 22 lbs: +2
Adjust: If shock or rapid build up of force: add +1

1
Force/Load Score

Step 6: Score A, Find Row in Table C

Add values from steps 4 & 5 to obtain Score A. Find Row in Table C.

5
Score A

Scoring:
1 = negligible risk
2 or 3 = low risk, change may be needed
4 to 7 = medium risk, further investigation, change soon
8 to 10 = high risk, investigate and implement change
11+ = very high risk, implement change

SCORES

Table A		Neck											
		1			2			3					
Legs	1	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	2	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	3	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Table B		Lower Arm					
		1			2		
Upper Arm Score	Wrist	1	2	3	1	2	3
	1	1	2	2	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	4
	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7
	5	6	7	8	7	8	8

Score A (score from table A +load/force score)	Table C												
	Score B _i (table B value + coupling score)												
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	10	10	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Step 7: Locate Upper Arm Position:

Step 7a: Adjust...
If shoulder is raised: +1
If upper arm is abducted: +1
If arm is supported or person is leaning: -1

2
Upper Arm Score

Step 8: Locate Lower Arm Position:

2
Lower Arm Score

Step 9: Locate Wrist Position:

Step 9a: Adjust...
If wrist is bent from midline or twisted: Add +1

2
Wrist Score

Step 10: Look-up Posture Score in Table B

Using values from steps 7-9 above, locate score in Table B

3
Posture Score B

Step 11: Add Coupling Score

Well fitting Handle and mid rang power grip, *good*: +0
Acceptable but not ideal hand hold or coupling acceptable with another body part, *fair*: +1
Hand hold not acceptable but possible, *poor*: +2
No handles, awkward, unsafe with any body part, *Unacceptable*: +3

1
Coupling Score

Step 12: Score B, Find Column in Table C

Add values from steps 10 & 11 to obtain Score B. Find column in Table C and match with Score A in row from step 6 to obtain Table C Score.

4
Score B

Step 13: Activity Score

+1 1 or more body parts are held for longer than 1 minute (static)
+1 Repeated small range actions (more than 4x per minute)
+1 Action causes rapid large range changes in postures or unstable base

5
Activity Score

5
Final REBA Score