



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Fremtidens tanktrailer

Udvikling af vægtreduceret tanktrailer

Miljøprojekt nr. 1624, 2014

Titel:

Fremtidens tanktrailer – Udvikling af
vægtreduceret tanktrailer

Redaktion:

Thomas Markussen, VM Tarm A/S
Torben Bank Agger, TBA Teknik
Brian M. Andersen, VM Tarm A/S

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

År:

2014

ISBN nr.

978-87-93283-36-7

Ansvarsfraskrivelse:

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	5
Konklusion og sammenfatning	6
Summary and Conclusion	7
1. Indledende betragtninger	8
1.1 Baggrundsviden om VM Tarm A/S	8
1.2 Facts om tankvogns transport.....	8
2. Udgangspunkt for optimering.....	10
3. Realiserede optimeringer	13
3.1 Undervognsramme	13
3.2 Valg af undervognskomponenter	18
3.2.1 Aksler	18
3.2.2 Følge.....	21
3.2.3 Dæk.....	22
3.2.4 Lygtebjælke	22
3.2.5 Lufttanke	22
3.2.6 Støtteben.....	23
3.3 Tanksvøb	23
3.4 Mellembunde	27
3.5 Skvulpeskot	30
3.6 Konsoller	33
3.7 Kongetaps konstruktion	35
3.8 Sidemandedæksler.....	37
3.9 Isolering og inddækning.....	37
3.10 Komposit låger	41
3.11 Ophæng for vareskab.....	43
3.12 Diverse mindre komponenter	45
3.12.1 Skråstivere til støtteben	45
3.12.2 Rørholdere til skærme	46
3.12.3 Holdere til slangerør	47
3.12.4 Ledningsrør i plast	49
4. Fravalgte optimeringer	50
4.1 Komposit undervogn	50
4.2 Undervogn uden ramme.....	50
4.3 Forbedring af aerodynamik.....	50
4.4 Endebunde og skvulpeskot i højstyrkestål.....	52
4.5 ADR tank i reduceret godstykkelse	52
5. Resultat af optimeringer	54
5.1 Prototypen.....	54
5.2 Oversigt over vægtbesparelser.....	58
6. Rentabilitet	61

7. Testkørsel.....	64
7.1 Gennemførte testkørsler.....	64
7.2 Fremtidige testkørsler	65
8. Konklusion.....	66

Forord

Denne rapport indeholder resultaterne af udviklingsprojektet ”Fremtidens tanktrailer”. Projektet undersøger og tester mulighederne for at reducere vægten af tanktrailereren ved at introducere brugen af nye materialer og re-design af en række centrale dele af trailereren.

Formålet med projektet er at finde og efterprøve nye metoder til at reducere miljøbelastningen fra tanktransport. Dette søges opfyldt ved at reducere egenvægten for derved at kunne fylde mere i tankene og derved reducere miljøbelastningen per kg/km. På baggrund af de fundne optimeringer er der konstrueret en prototype trailer, som har til formål at verificere de fundne vægtoptimeringer samt teste disses praktiske brugbarhed og levetid.

Projektet er gennemført af VM Tarm, med økonomisk støtte fra Miljøstyrelsen, og har yderligere involveret en række underleverandører, som hver især har bidraget med deres kompetenceområder. Blandt de primære bidragsydere er SSAB, som har bidraget med viden inden for konstruktion i højstyrkestål og SAF-Holland, som har bidraget med viden og produkter inden for aksler, bremses og fælge.

Projektet er gennemført af:

Thomas Markussen, VM Tarm A/S

Torben Bank Agger, TBA Teknik

Brian M. Andersen, VM Tarm A/S

Projektets styregruppe består af:

Brian M. Andersen, VM Tarm A/S

Thomas Markussen, VM Tarm A/S

Mariane T. Hounum, Miljøstyrelsen

Dorte Kubel, Miljøstyrelsen

Martin Hellung-Larsen, Trafikstyrelsen

Konklusion og sammenfatning

Projektets formål

Formålet med projektet er at udvikle løsninger til at reducere egenvægten af tanktrailere. Ved at reducere egenvægten forøges nyttelasten, hvilket forbedrer driftsøkonomien for brugeren og reducerer miljøbelastningen fra transporten. Målet for projektet er at reducere vægten af en semitrailer med 1500 kg svarende til en reduktion af egenvægten på 16%.

Projektets resultater

Gennem projektet er der identificeret en mængde delområder af tanktraileren, hvor det vil være muligt at foretage vægtreduktioner. På baggrund af dette er der til hvert område udviklet den lettest mulige løsning baseret på tilgængelig teknologi. På størstedelen af de identificerede delområder er der opnået vægtbesparelser, men der er dog enkelte områder, hvor det ikke har været muligt at realisere vægtbesparelser. Dette har skyldtes enten, at det ikke har været muligt at identificere en lettere løsning end den, der allerede benyttes, eller at det har vist sig umuligt at producere den løsning, der er fundet.

Til at udvikle løsningerne er der primært benyttet følgende metoder:

- Re-design i stål med højere styrke.
- Re-design af komponenter ved hjælp af simuleringer med FEA.
- Introduktion af komposit materialer til erstatning for stål.
- Øget fokus på vægt ved valg af indkøbte komponenter.

På baggrund af udviklingsforløbet er der produceret en prototype, som indeholder alle de udviklede løsninger. Prototypen er testet til at kunne holde til de maksimale belastninger, den vil blive udsat for, under normal drift, og er ved projektets afslutning ved at blive klargjort til levetidstest ved en vognmand.

Samlet har de realiserede vægtbesparelser reduceret vægten af prototypen med 2673,3 kg svarende til en vægtreduktion på 28%.

Konklusion

På baggrund af det gennemførte projekt kan det konkluderes, at der er et stort potentiale for at reducere vægten af tanktrailere og dermed også den miljøbelastning, brugen af dem medfører. I rapporten beskrives, hvor disse vægtreduktioner er realiseret. Ligeledes er der vurderet på rentabiliteten af de opnåede besparelser. Her er det generelle billede, at størstedelen af vægtreduktionerne vil være rentable. Dog er der enkelte optimeringer, hvor prisen per kilo sparet er for høj til, at det vil kunne svare sig at implementere.

Det største potentiale er fundet i introduktionen af nye materialer i produktionen, hvor store vægtbesparelser kombineret med en relativt lav meromkostninger gør optimeringerne rentable. Fælles for alle optimeringerne er, at deres introduktion i almindelig produktion pt. afventer resultatet af levetidstesten af prototypen.

Summary and Conclusion

Purpose

The purpose of the project is to develop solutions to reduce the unladen weight of tank trailers. Reducing the unladen weight increases the payload and thereby reduces the operating costs as well as the environmental impact, of the transportation. The project goal is to reduce the unladen weight of the semitrailer by 1500 kg, a reduction of 16 %.

Results

Initiating the project, we identified a number of focus areas, where weight reductions were expected to be possible. For each of these focus areas, we developed the lightest possible alternative, based on the accessible technology. For most of the focus areas, we identified lighter solutions, but for some of the focus areas, it has not been possible to identify lighter solutions. In the areas where we have not been able to reduce the weight, the reason has been either that we could not identify a lighter solution than the current one, or that it has not been possible to manufacture the identified solution.

For the development of the solutions, four methods were used:

- Redesign utilizing high tensile steel.
- Redesign of components based on FEA simulation.
- Introduction of composite materials replacing steel.
- Increased awareness of weight while selecting purchased components.

A prototype has been built based on the development process, implementing all of the solutions developed. The prototype has successfully undergone tests ensuring that it can cope with the maximum loads permissible. Currently the prototype is being prepared for endurance testing in cooperation with a hauler.

On the prototype, the total weight savings, compared to a normal semitrailer, reached 2673.3 kg, equal to a reduction of 28%.

Conclusion

It is found based on the project, that there is a great potential for reducing the weight of tank trailers, and thereby reducing the environmental impact caused by the transportation. In the report the solutions are described as well as how the weight reductions were achieved and the methods used. Furthermore, we have evaluated the feasibility of the weight reductions, concluding that most of the developed solutions are feasible. Some of the weight reductions are, however, too expensive per kg reduced to be feasible.

We found that the greatest potential to reduce the weight of tankers feasibly is introduction of new materials, as it combines large weight savings with limited increases in manufacturing costs. Currently the introduction of the solutions into the ordinary production is awaiting the results of the endurance testing of the prototype.

1. Indledende betragtninger

1.1 Baggrundsviden om VM Tarm A/S

VM Tarm A/S er en familieejet virksomhed, der producerer og servicerer tankvogne til vejtransport. Virksomheden hjemhører i Tarm, hvor alt administration og produktion er samlet. Virksomheden har eksisteret siden 1962 og har, siden de første tankvogne blev bygget i begyndelsen af 80'erne, primært levet af at producere tankvogne. VM Tarm A/S skiller sig ud fra mange andre metalvirksomheder ved, at al produktion foregår på fabrikken i Tarm, hvilket sikrer en høj grad af fleksibilitet i produktionen.

Oprindeligt blev der produceret mælketanke til indsamling og transport af mælk, men med årene er der gennem naturlig vækst og opkøb tilstødt en række andre produktgrupper. I dag producerer VM Tarm A/S tankvogne inden for hovedsegmenterne: mælk, kemi, gylle, foder og slam samt specialopbygninger til mere specialiserede transportbehov som f.eks. øl, minkfoder, sprængstoffer og levende fisk. Fælles for hele produktprogrammet er, at produkterne fremstilles i rustfast stål, syrefast stål eller aluminium og i høj grad tilpasses til kundernes særlige behov.

Bredden i produktprogrammet skaber et behov for en fleksibel produktion. Dette har medført, at produktionsmetoderne, der benyttes i VM Tarm A/S, er valgt efter, at flest mulig processer og metoder kan benyttes på tværs af produkttyperne. Derfor er der undervejs i udviklingsarbejdet fokus på at de nye processer og metoder, der afprøves, kan tilpasses bredden i produktprogrammet. Dette giver sig udslag i, at metoder, der kræver store investeringer i værktøjer/fiksturer/maskiner, der kun kan benyttes til en produkttype, prioriteres lavere end en metode, der er mere fleksibel og derfor kan implementeres bredere.

1.2 Facts om tankvogns transport

På en række områder adskiller tanktransport sig fra andre typer landevejstransport og i det følgende beskrives derfor, på hvilke områder tanktransport adskiller sig.

Transport med lastbiler er, som mange andre erhverv, reguleret af en række lovkrav til branchen og det materiel, der benyttes. For transport med lastbiler er det i denne forbindelse særligt vigtigt at have fokus på kravene til mål og vægt, som er reguleret gennem "Detailforskrifter for køretøjer" udgivet af Trafikstyrelsen.

Ved design af transportudstyr er fokus som udgangspunkt at kunne transportere mest muligt per læs. Dette betyder, ved almindelige fragtbiler, at man ønsker at få mest mulig volumen. Dette skyldes, at man ofte, selv med en fyldt lastbil, ikke når op på den maksimalt tilladte vægt og at det derfor er volumen, der er den begrænsende faktor. Det er derfor detailforskriftens begrænsninger for køretøjets længde, bredde og højde, der er begrænsningerne, når der designes for størst mulig volumen. Dette ses f.eks. tydeligt ved lastbiler tilpasset transport af mineraluld, som har en lav vægtfylde.



BILLEDE 1

LASTBIL TIL TRANSPORT AF ISOLERINGSMATERIALE. BEMÆRK, AT MAKS. HØJDE UDNYTTES OG AT DER ER VALGT SMÅ DÆK FOR AT MAKSIMERE VOLUMENEN I LASTRUMMET. © SAF-HOLLAND

I modsætning hertil er der ved transport med tankvogne primært fokus på vægten. Dette skyldes, at det altid er muligt at placere en tank med en volumen, der er stor nok til, at maksimal tilladt totalvægt kan udnyttes. Da totalvægten udgøres af køretøjets egenvægt plus vægten af lasten, har vægten af køretøjet direkte indflydelse på, hvor meget der kan transporteres. Et kilo sparet på køretøjet kan derfor omsættes til et kilo ekstra nyttelast. Dette står i modsætning til fragtbiler, hvor et kilo sparet, i mange tilfælde, udelukkende kan omsættes til en begrænset brændstofbesparelse.



BILLEDE 2

SEMITRAILER TIL TRANSPORT AF FARLIGT GODS, ISOLERET.

På nuværende tidspunkt er den maks. tilladte totalvægt for et køretøj med 7 aksler 56 ton, hvoraf ca. 18,5 ton udgøres af køretøjets egenvægt. Dette resulterer i en nyttelast på 37,5 ton. En reduktion på 1,5 ton, svarende til målsætningen for projektet, vil derfor svare til en forøgelse af nyttelasten på 4%.

Denne forøgelse af nyttelasten kan i de fleste tilfælde omsættes til en tilsvarende reduktion i miljøbelastningen, idet kørselsbehovet reduceres tilsvarende. Yderligere giver det et økonomisk incitament til vognmænd for at implementere løsningerne, da den forøgede nyttelast vil slå igennem på deres betaling for at gennemføre en given transportopgave.

2. Udgangspunkt for optimering

Som tidligere beskrevet produceres der på VM Tarm tankvogne til en række forskellige formål, som derfor også varierer, hvad angår størrelse, materialevalg og udrustning i form af rørføring, pumper, skabe mm.

Det har derfor været en vigtig del af processen at finde den meste optimale tankvogn som udgangspunkt for projektets optimeringer. Da alle tankvogne, der produceres på VM Tarm, er tilpasset til kundens ønsker på en lang række områder og derfor ikke afspejler, hvad der må betragtes som en generelt anvendelig tankvogn, har det fra starten stået klart, at det ikke var en mulighed at tage udgangspunkt i en specifik tankvogn produceret på VM Tarm. Et yderligere argument for ikke at tage udgangspunkt i en specifik tankvogn er, at vi derved ville blive afskåret fra at vægtoptimere på komponenter og funktioner, som denne valgte tankvogn ikke indeholder. Hvis vi f.eks. vælger en tank, der ikke er isoleret, vil det afholde os fra at optimere på valg af isoleringsmateriale og inddækningen. Ved at undlade at tage udgangspunkt i en specifik tank, får vi mulighed for at sikre, at tanken indeholder alle de komponenter, som vi forventer at kunne vægtoptimere.

Det har derfor været en udfordring at finde frem til, hvilken type tankvogn der skulle benyttes som udgangspunkt for optimeringerne.

Den største enkeltstående afvejning har været, om tanken skulle kunne godkendes som ADR tank, PED tank eller som en trykløs tank.



BILLEDE 3
ADR SEMITRAILER TIL TRANSPORT AF BITUMEN.

En ADR (European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road) tank er en tank, der er godkendt til at transportere farligt godt på europæiske veje. Kravene til en ADR tankvogn er specificeret i ADR konventionen, som stiller en række krav til køretøjets opbygning og udstyr. ADR tankvogne udgør en betydelig del af de tankvogne, der produceres. Dette skyldes, at der er mange typer gods, der transporteres i tanke, som er klassificeret som farlige og derfor kun må transporteres i godkendte køretøjer. Andelen af ADR godkendte køretøjer er dog

større end andelen af ADR klassificeret gods umiddelbart retfærdiggør. Dette skyldes, at det for vognmændene, giver en større fleksibilitet at benytte ADR godkendte tankvogne, da disse også kan benyttes til at transportere gods, der ikke er klassificeret.



BILLEDE 4
FORVOGN MED PED TANK TIL TRANSPORT AF ØL.

En PED (Pressure Equipment Directive) tank er en tank, der er godkendt til overtryk eller vakuum. Tanken skal godkendes til at kunne holde til det arbejdstryk og den temperatur, den udsættes for, men den er ikke underlagt yderligere krav end, at den skal konstrueres efter en række beregningsforskrifter, som sikrer dens holdbarhed ved tryksætning. At en tank er PED godkendt giver ikke ret til at benytte den til transport af farlig gods, men tillader blot, at tanken må udsættes for overtryk. Dette benyttes ved tømning af tanken, da det giver mulighed for at trykke produktet ud, f.eks. hvis det skal flyttes til en højere beliggende tank. Ligeledes bruges PED tanke til at transportere gods, der skal opbevares under tryk. Et eksempel herpå er øl, som skal holdes under konstant tryk for at opretholde kvaliteten.



BILLEDE 5
SEMITRAILER MED TRYKLØS TANK TIL TRANSPORT AF MÆLK.

En trykløs tank er til sammenligning en tank, som er designet til at blive brugt uden at blive sat under tryk. Dette indebærer, at tank fyldes og tømmes med en pumpe, som kan placeres enten på tankvognen eller ved de industri anlæg, som tankvognen kører til og fra. Trykløse tankvogne benyttes f.eks. til at transportere mælk og andre fødevarer. En trykløs tank skal ikke godkendes af myndighederne ud over, at den naturligvis skal overholde detailforskrifterne og synes. Ved projektets start har det været åbent, hvilken type tankvogn der skulle optimeres på og der har været undersøgt, hvilke optimeringsmuligheder der har været på de tre forskellige typer.

På baggrund af de fordele og ulemper, der er identificeret ved de tre typer tankvogne er, det valgt at tage udgangspunkt i en PED tank. Den udslagsgivende faktor herfor er, at den vurderes at give mulighed for at teste flest muligt vægtoptimeringer. Dette skyldes dels, at der stilles godkendelseskrav til tanken som PED tank, men at den ikke begrænser mulighederne i samme omfang, som det vil være tilfældet med en ADR tank.

Tanken skal rumme 41.500 liter fordelt på 3 tankrum, som alle må køre med dellast. Tanken udstyres med tryklufttilslutninger til brug for tømning med trykluft og med indbygget vaskesystem, som det normalt benyttes på tankvogne der skal køre med fødevarer. Tankens udløb samles i en kabine på tankens bagende, hvor styringen af tanken også placeres.

Tanken udstyres med kongetap designet til 18 tons tryk og undervogn med fire aksler. Dette tillader den at udnytte de tilladte 56 tons maksimal totalvægt. Ved projektets start, var den tilladte totalvægt 54 ton, men den er undervejs blevet hævet til 56 ton, hvilket prototypen er forberedt for. Yderligere bliver tanken udstyret med lygter, reflekser og cyklistværn efter gældende lovgivning og vil få monteret almindeligt ekstraudstyr i form af vareskab, stopklodser og slangerør. Denne specifikation forventes at gøre tanken anvendelig til de fleste gængse anvendelser dog med undtagelse af væsker, der kræver topfyldning.

Baseret på de eksisterende løsninger og det nuværende design, der benyttes ved VM Tarm, forventes en tank med disse specifikationer at veje 9.562 kg. Da målsætningen for projektet er at reducere vægten med 1.500 kg i forhold til det eksisterende design, er målsætningen for projektet at reducere vægten til 8.062 kg.

3. Realiserede optimeringer

I de følgende afsnit beskrives de løsninger, der er udviklet gennem projektet og som er implementeret på prototypen.

3.1 Undervognsramme

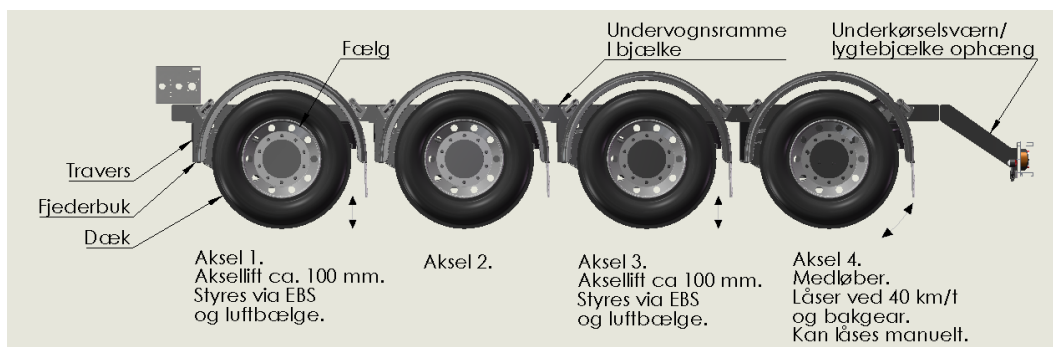
Undervognsrammen er forbindelsen mellem tankens konsoller og akslerne. Den er den største og tungeste del af den komplette undervogn. Undervognsrammen skal kunne modstå de belastninger, der kommer fra aksler, hjul, last, kørsel over bump, bremsning, kørsel i kurver og vending på stedet. Det betyder, at den udsættes for mange forskellige belastninger.

Undervognsrammen er i dag bygget op som en rustfast profilrørsramme, som bliver svejset sammen til en samlet del.



BILLEDE 6
RUSTFAST UNDERVOGN BASERET PÅ PROFILRØR.

Vi har valgt at bruge følgende undervognsopsætning: Aksel 1, 2 og 3 er faste, aksel 4 er en medløbsaksel, som drejer med op til 40 km/t, hvor et signal fra bremsernes styreboks EBS låser akslen. Aksel 4 låses også, når bilen sættes i bakgear. Aksel 1 og 3 monteres med aksellift, som styres automatisk fra bremsernes EBS styreboks og trykket i luftbælgene på akslerne. Ved lavt akseltryk (tom tank) hæves første og tredje aksel. Dette gøres primært for at reducere rullemodstand og dækslid.

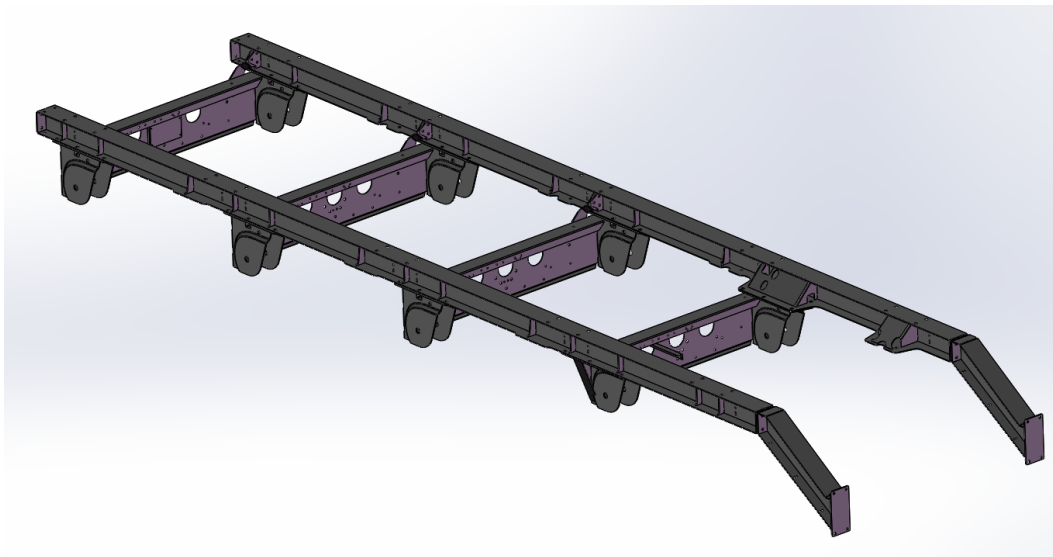


BILLEDE 7
FORKLARING AF KOMPONENTERNE I EN UNDERVOGN.

Vi har gransket konstruktionen med profilrørsramme og fundet en del ting, der på en simpel måde kan reducere belastningerne i vores nye ramme. Konsolpladerne fra tanken flyttes længere frem på aksel nr. 2, 3 og 4 for at udligne kræfter fra fjederbuk og luftbælg. Luftbælgene flyttes fra en forsætning på 60 mm til fjedermidten på akslen, vi får dermed reduceret vridningen i rammen på aksel 1, 2 og 3. Aksel 4 kører fortsat med bælgen forsat, da fjedermidten er mindre for at gøre plads til styreudslaget fra medløberakslen.

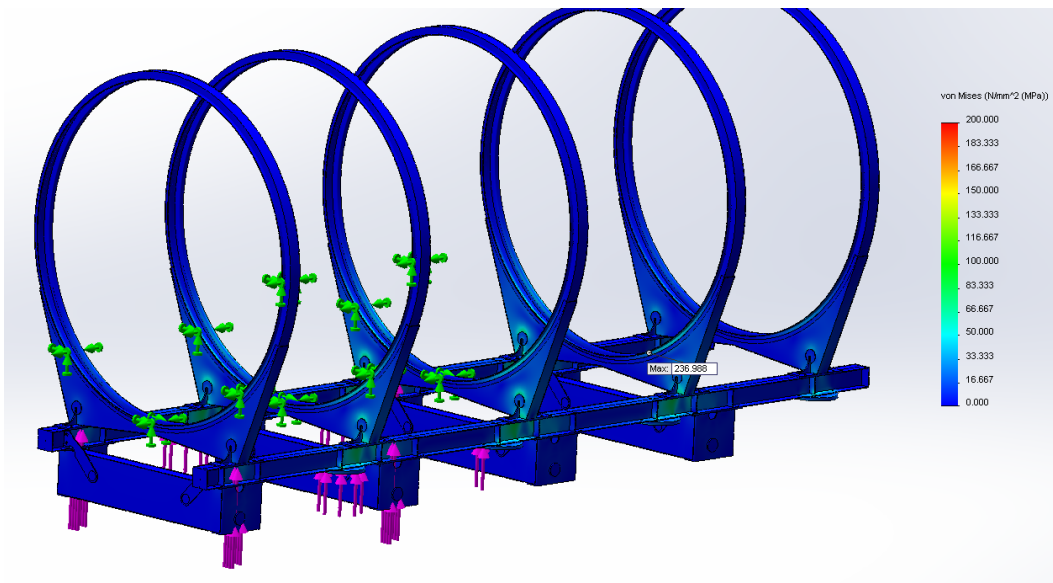
Vi har gennem samarbejde med SSAB fundet frem til et let og stærkt design af undervognsrammen. Grundprincippet er, at den bliver bygget som I bjælker i højstyrkestål, hvor alle komponenter; fjederbukke, luftbælg og tankkonsoller bliver boltet på. Overgangen til I bjælke giver en række fordele. Styrkemæssigt er det en mere optimal struktur og den giver mulighed for at integrere boltehuller til alle de komponenter, der skal monteres på undervognen. Dette er en fordel i forhold til prisen men også i forhold til vægten, da det fjerner behovet for at svejse kraftige beslag på, som ikke i sig selv styrker konstruktionen. De eneste ulemper, der er identificeret, er, at I bjælken er mindre vridningsstabil end et profilrør samt at der vil samle sig skidt i siderne af I bjælken, som vil være visuelt skæmmende og føre til øget korrosionsbelastning.

Inden for højstyrkestål er der et stort udvalg af kvaliteter at vælge mellem. De primære kriterier, der er valgt efter, er styrke, svejsbarhed og tilgængelighed. Den valgte kvalitet lever op til disse kriterier, da den er almindeligt tilgængelig ved flere af VM Tarms leverandører. Flydespændingen for kvaliteten er $\geq 700 \text{ N/mm}^2$, hvor almindelig rustfast EN 1.4301 til sammenligning er $\geq 230 \text{ N/mm}^2$. Det er derfor mere end 3 gange stærkere end almindeligt rustfast stål. Endelig er kvaliteten svejsbar med almindeligt svejsudstyr og har en god styrke i de svejste områder.

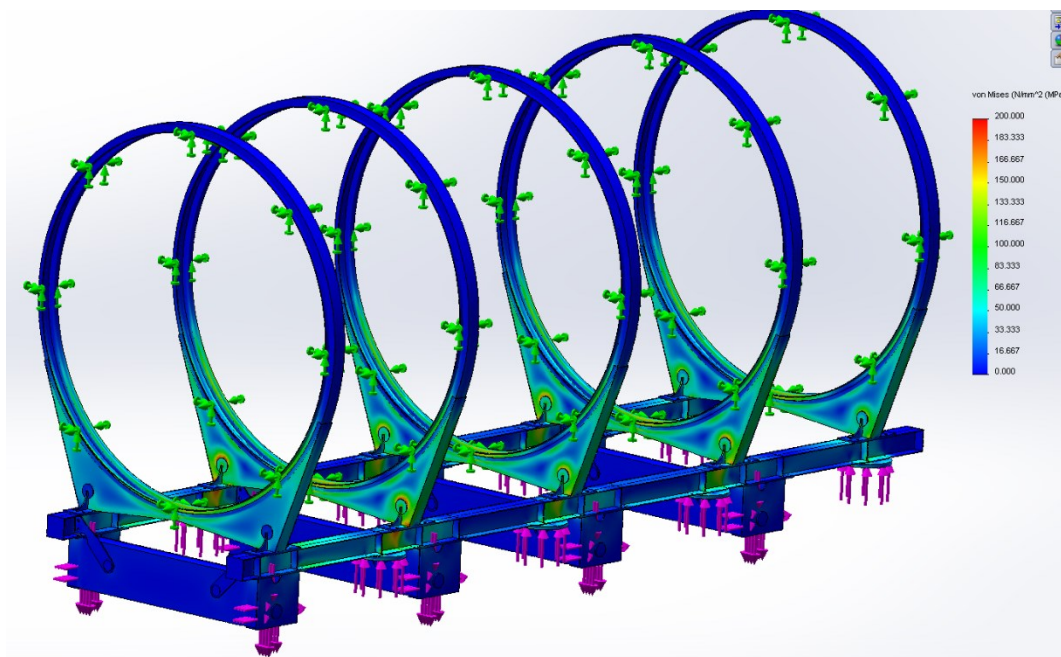


BILLEDE 8
NYT DESIGN AF UNDERVOGNSRAMMEN

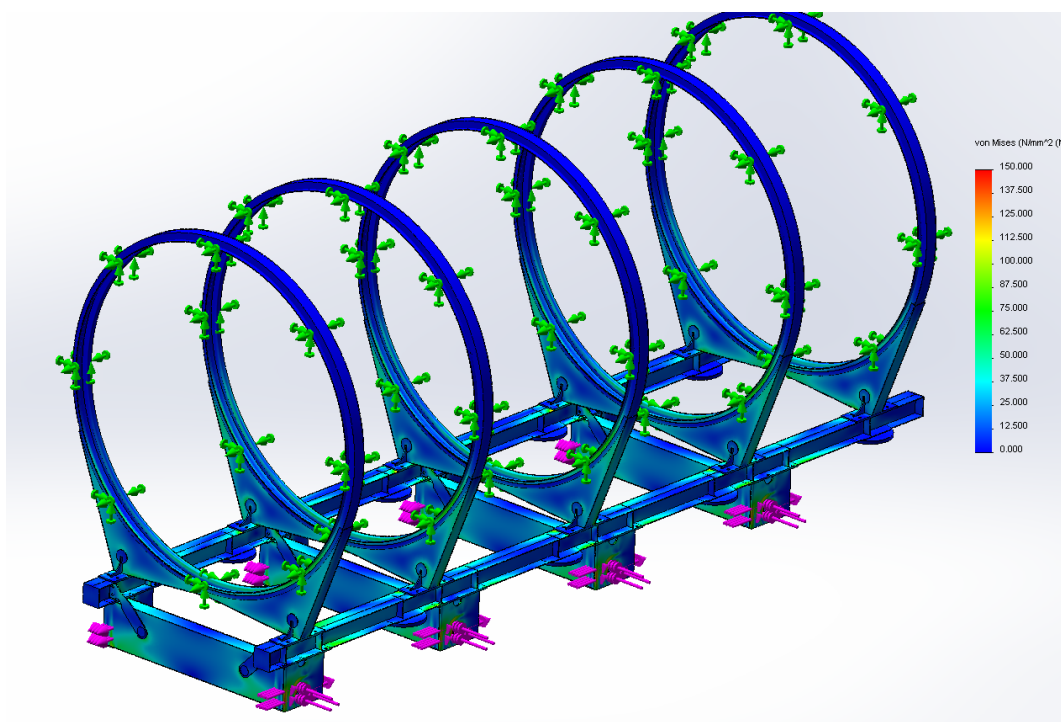
For at validere det nye design er der foretaget en række beregninger af de primære belastninger, undervognen udsættes for. Beregningsmæssigt er undervognen undersøgt for 5 forskellige belastninger, alle med fuldt lastet tank svarende til ca. 8 ton aksellast total 32 ton på aksellast: almindelig kørsel ud af landevej, maksimal opbremsning, kurvekørsel op til lige før køretøjet vælter, vending på stedet og kørsel op af en 150 mm høj kant. De følgende simuleringer er alle udført med den nye undervogn og de nye konsoller. Flydespændingen er derfor $>700 \text{ N/mm}^2$ for undervognen og $>500 \text{ N/mm}^2$ for konsollerne.



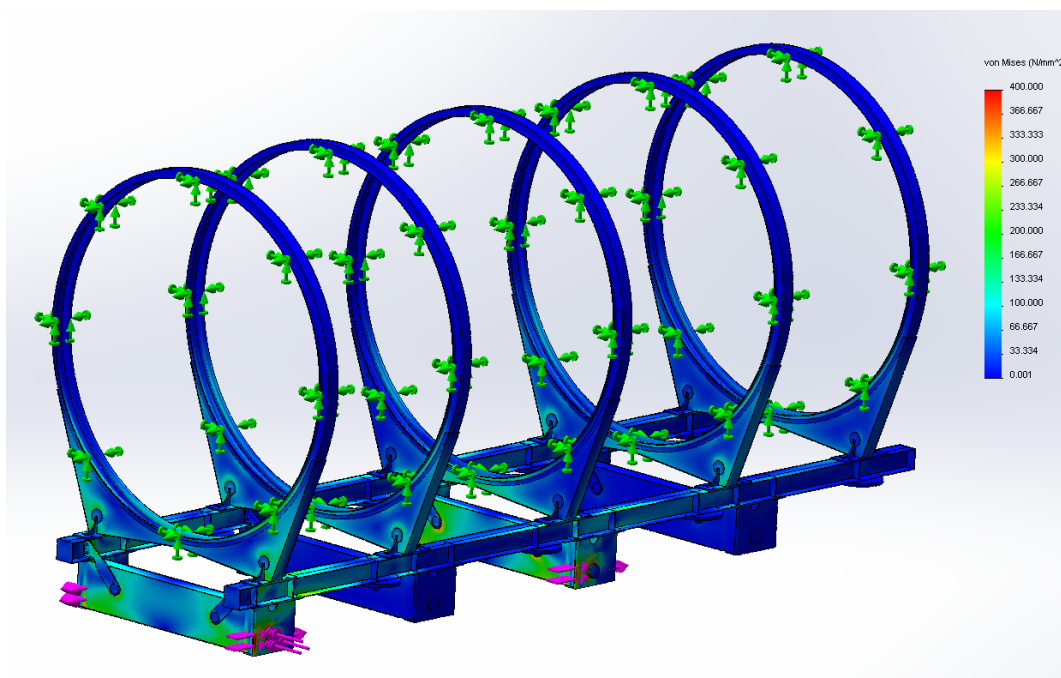
BILLEDE 9
SIMULERING AF ALMINDELIG KØRSEL PÅ LANDEVEJ. PILENE PÅ SIMULERINGER ANGIVER HVOR DER FASTHOLDES OG HVOR DER PÅFØRES BELASTNINGER. GRØNNE PILE ANGIVER FASTHOLDELSE OG LILLA PILE ANGIVER PÅFØRTE BELASTNINGER.



BILLEDE 10
SIMULERING AF MAKSIMAL OPBREMSNING.

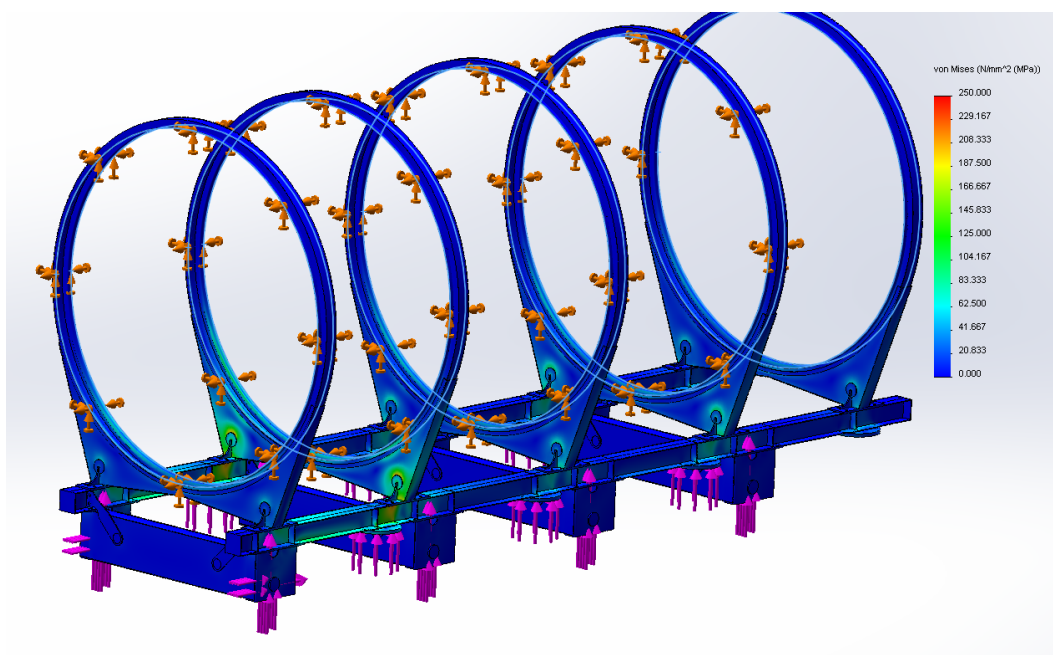


BILLEDE 11
SIMULERING AF KURVEKØRSEL PÅ GRÆNSEN TIL VÆLTNING. DETTE FLYTTER HELE TANKENS VÆGT OVER PÅ DEN SIDE AF UNDERVOGNSRAMMEN, SOM ER YDERST I SVINGET.



BILLEDE 12

SIMULERING AF VENDING PÅ STEDET. DETTE FOREKOMMER, NÅR TANKVOGNEN SKAL VENDE ELLER SVINGE UNDER MEGET SNÆVRE FORHOLD. DET FORÅRSAGER, AT DÆKKENE TRÆKKES VINKELRET HEN OVER UNDERLAGET OG DERFOR IKKE KAN TRILLE.



BILLEDE 13

SIMULERING AF AT FORRESTE AKSEL RAMMER EN 150 MM HØJ KANT. SAMME TYPE BELASTNING MEN DOG SVAGERE VIL FOREKOMME VED KØRSEL OVER FARTBUMP OG ANDRE HASTIGHEDSREDUCERENDE TILTAG.

Baseret på de foretagne beregninger vurderes det, at undervognsrammen vil kunne holde til de belastninger, den udsættes for under almindelig drift. De kritiske belastninger er højest ved vending på stedet, som også har været den dimensionerende belastning. Det er derfor i de områder, der belastes ved vending på stedet, der primært vil blive fulgt op på under testperioden. Derudover følges der op på de områder, som belastes ved hård opbremsning og kørsel over kant. Dette skyldes, at disse belastninger forventes at forekomme med en langt højere hyppighed end vending på stedet og det kan derfor blive den dimensionerende faktor på trods af den lavere maksimale spænding.



BILLEDE 14
 UNDERVOGN I NYT DESIGN FÆRDIGMONTERET MED AKSLER.

I modsætning til rustfast stål, kræver en undervogn i højstyrkestål en overfladebehandling. I dette tilfælde blev der valgt metallisering og lakering, da kvaliteten ikke tåler den opvarmning, det udsættes for under varmgalvanisering. Den valgte kvalitet af højstyrkestål kan dog fås hjem, så det er forberedt for varmgalvanisering og det vi vil vælge fremadrettet.

Vægten på eksisterende rørprofil underramme er 698 kg, vægten på den nye I bjælke undervognsramme er 341 kg. Det giver en vægtbesparelse på over 50%. Efter projekt fremtidens tanktrailer er undervognsrammen derfor ikke længere den tungeste komponent i undervognen.

3.2 Valg af undervognskomponenter

Gennem projektet har en vigtig vej til vægtreduktioner været at optimere på valget af komponenter. Dette er i særlig grad tilfældet for undervognen, hvor der indgår mange komponenter, som vejer meget og potentialet for at reducere vægten er derfor stor. Fælles for de vægtbesparelser, der opnås af denne vej, er, at de reducerer vægten, uden at der går på kompromis med levetiden og funktionaliteten. Samtidig er der, for en række af valgene, tale om vægtbesparelser, der opnås, uden at prisen for komponenterne forøges.

3.2.1 Aksler

Aksler til semitrailere udgøres ikke blot af en aksel, men er snarere et komplet system, der indeholder ophæng, støddæmpning, affjedring og bremses, og som købes og leveres samlet. Disse er derfor i det følgende behandlet som en samlet komponent. Der er primært to leverandører på markedet, BPW og SAF, og systemerne, de leverer, er på trods af visse forskelle i deres grundlæggende opbygning ens. Akslerne er i forenden fastgjort til undervognsrammen ved hjælp af fjederbukke, som er boltet på rammen. Nederst i fjederbukken er fjederen ophængt og fastspændt i en stor gummibøsning. Bagerst er der monteret en luftbælg, som får mere eller mindre lufttryk afhængigt af fyldningen i tanken.

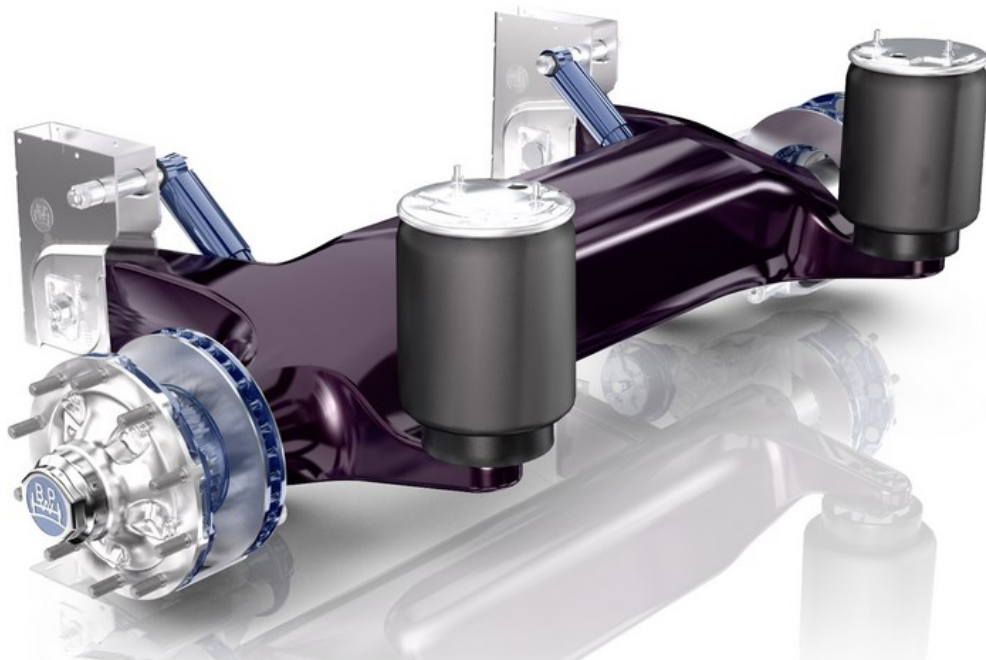


BILLEDE 15

KOMPLET AKSEL FRA BPW MED TROMLE BREMSER. TIL VENSTRE SES FJEDERBUKKENE OG UNDER DISSE ER AKSELLIFTENE FASTGJORT. I FJEDERBUKKENS BUND ER FJEDEREN FASTGJORT OG I TOPPEN ER STØDDÆMPEREN FASTGJORT. ØVERST TIL HØJRE SES LUFTBÆLGEN, SOM UDGØR SYSTEMETS AFFJEDRING. YDERST TIL HØJRE, UDEN PÅ TROMLEBREMSER, SIDDER NAVET SOM FÆLGEN FASTGØRES TIL. © BPW

BPW akslen er opbygget som en firkant profil med en traditionel fjeder og dragebånd til fastspænding.

BPW arbejder i øjeblikket på at udvikle kompositakslar, hvor de lader aksel og fjeder støbe sammen til en enhed. De håber på at spare ca. 20% på denne type. Desværre for vores projekt kommer de første test i marken først til at køre i løbet af 2016, hvorfor de ikke har kunnet indgå i dette projekt. Udviklingen af denne aksel viser dog det generelle fokus, der er på vægt i sektoren, hvor mange innovative løsninger har deres fokus netop på at nedbringe vægten.

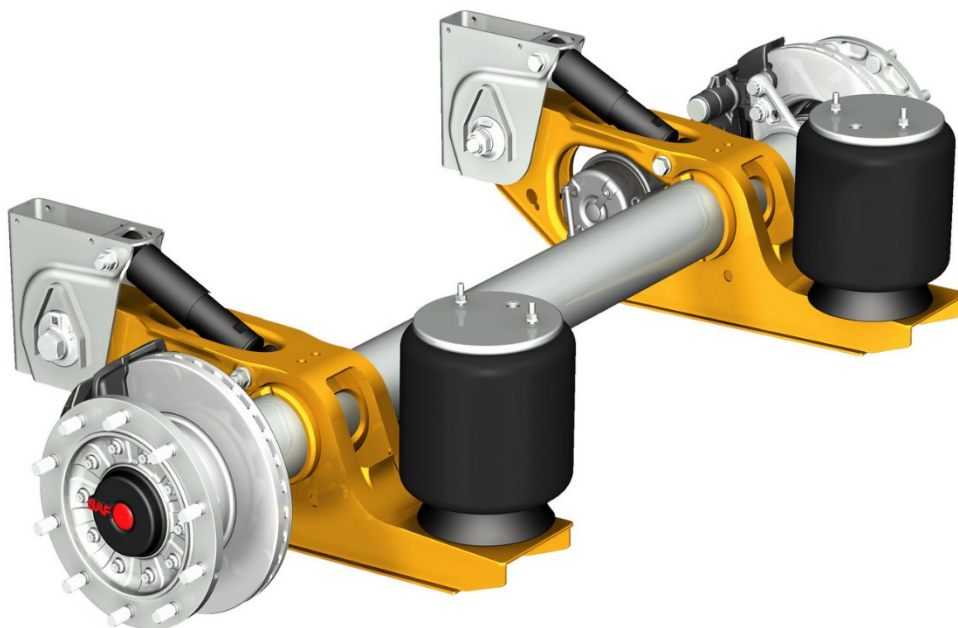


BILLEDE 16

BPW AKSEL UDFØRT I KOMPOSITMATERIALER. AKSLEN ER STADIG PÅ PROTOTYPENIVEAU OG INDGÅR DERFOR IKKE I PROJEKTET. © BPW

SAF Intradisc akslen er opbygget som et rundt profil med en svejst fjederkonstruktion. Denne konstruktion har visse fordele i sammenligning med BPW akslerne, da de ikke indeholder det

samme antal vedligeholdelseskrevende samlinger. Bremserne kan være tromle- eller skivebremse med trykluftmembraner, som vist herunder.



BILLEDE 17

SAF INTRADISC AKSEL MED SKIVEBREMSE. © SAF-HOLLAND

Valg af akselleverandør faldt ud til SAF, der med en startvægt på 439 kg for en aksel opbygget med 430 mm bremseskiver (SK RB 9022 –IU 25/2000 33) er lettere end alternativet fra BPW. Det er dog i udgangspunktet få kilo, der adskiller de to fabrikanter.

Balgtyp 2619 V (Code 33), LA = 385 mm
Achse SK RB 9022 K/W

Baureihe	Fahrhöhe (mm)	Haltebock (mm)	Luftfederbock (mm)	Heben/Senken (mm)	Gewicht ¹⁾ (kg)
IU 25/2000 33	250	200	0	90/90	439
IU 28/2005 33	280	200	50	90/90	444
IU 30/2505 33	300	250	50	90/90	449
IU 33/2510 33	330	250	100	90/90	451
IU 35/3010 33	350	300	100	90/90	454
IO 35/2000 33	355	200	0	90/90	439
IO 37/2500 33	375	250	0	90/90	443
IO 40/2505 33	405	250	50	90/90	448
IO 42/3005 33	425	300	50	90/90	451
IO 45/3010 33	455	300	100	90/90	453
IO 47/3510 33	475	350	100	90/90	456
IO 50/3515 33	505	350	150	90/90	458

BILLEDE 18

SAF AKSLER MED 430 MM BREMSER.

Vi har besluttet, at traileren er til landevejskørsel og ud fra den betragtning er det valgt at bestykke traileren med 377 mm bremseskiver (SK RB 9022 –IU 25/2000 33). Vægten blev derved reduceret til 391 kg pr aksel.

Balgtyp 2619 V (Code 33), LA = 385 mm
Achse SK RB 9019 K/W

Baureihe	Fahrhöhe (mm)	Haltebock (mm)	Luftfederbock (mm)	Heben/Senken (mm)	Gewicht ¹⁾ (kg)
IU 25/2000 33	250	200	0	90/90	391
IU 28/2005 33	280	200	50	90/90	396
IU 30/2505 33	300	250	50	90/90	401
IU 33/2510 33	330	250	100	90/90	403
IU 35/3010 33	350	300	100	90/90	406
IO 35/2000 33	355	200	0	90/90	391
IO 37/2500 33	375	250	0	90/90	395
IO 40/2505 33	405	250	50	90/90	400
IO 42/3005 33	425	300	50	90/90	403
IO 45/3010 33	455	300	100	90/90	405
IO 47/3510 33	475	350	100	90/90	408
IO 50/3515 33	505	350	150	90/90	410

BILLEDE 19

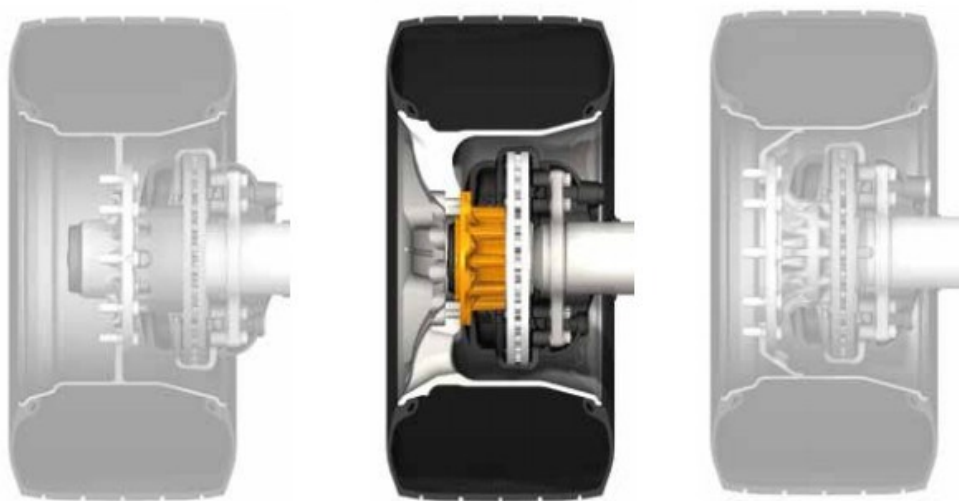
SAF AKSLER MED 377 MM BREMSER.

Vi kom i projektet i dialog med SAF's udviklingsafdeling og blev enige med dem om at køre fieldtests på nye typer akselnav og bremsekalibre. De optimeringer, der er blevet foretaget på disse dele, gør, at en fast aksel ender på en vægt på 357 kg. Det er 82 kg sparet pr aksel. Allerede fra udgangen af 2015 fås akslerne som standard med den nye bremsekaliber. Navet har lidt længere udsigter, da det er en større ændring, der, som beskrevet herunder, også spiller ind på designet af fælgene.

3.2.2 Fælge

Fælgene er normalt udført i stål i størrelse 22,5 x 11,75". Vægten kan variere fra 39 kg for almindelige stålfælge til 22 kg på de letteste aluminiumfælge. Der er flere faktorer, der spiller ind for at finde den letteste kombination af aksel og fælg. Ind presningen, kaldet ET – mål, kan variere fra 0 til 120 mm.

ET 0 er tæt på center af fælgen og ved ET 120 er brespændingsdelen flyttet ud mod fælgens yderkant.



BILLEDE 20

FÆLGE. FRA VENSTRE: STÅLFÆLG ET 0, ALUFÆLG ET 80, STÅLFÆLG ET 120. BEMÆRK NAVET (DEN GULE DEL) DER VED ET 80 ER REDUCERET I STØRRELSE. © SAF-HOLLAND

Til prototypen er der valgt alufælg ET 80, som er 5 kg tungere end alufælg ET 120 som er de letteste. Dette skyldes, at det er den type fælg, der passer på de nyudviklede nav fra SAF. Grunden til valget af de tungere fælg er derfor, at vægtbesparelsen ved det nye nav er større end alufælgenes vægtforøgelse ved at gå fra ET 120 til ET 80. Den samlede vægt er derfor lavest ved at kombinere

det nye nav med de lidt tungere alufælge ET 80, da man har fjernet så meget af stålnavet på akslen som muligt og flyttet materialet ud i alufælgen. Selv om alufælgen er tungere end en tilsvarende med ET 120, er der stadig en vægtbesparelse på 12 kg pr fælg sammenlignet med stålfælgene.

3.2.3 Dæk

Langt de fleste dæk på semitrailere er i størrelsen 385/65 R22,5. Ved VM Tarm benyttes som standard mærket Hankook type TH 22, som vejer 78,6 kg i størrelse 385/65 R22,5. Vi vurderer, at valget af størrelse 385/65 R22,5 ofte skyldes, at dette er den gængse og mest almindeligt tilgængelige dækstørrelse, ligesom det er en vigtig parameter for vognmænd, at alle deres køretøjer benytter samme dækstørrelse. Det overses dog i denne forbindelse, at der er en betydelig vægtbesparelse ved at gå ned i dækstørrelse. Derudover er der stor forskel på vægten fra de forskellige fabrikater, fra lavprisdæk til de dyrere. Der kan være op imod 10 kg at hente ved at vælge dæk fra den rigtige fabrikant.

Vi har valgt at gå en dimension ned til 385/55 R22,5 samt vælge et dæk til landevejskørsel af mærket Good Year type Marathon LHT2 med en vægt på 63 kg. Valget af størrelse 385/55 R22,5 skyldes, at dette er det letteste dæk, der må benyttes op til 9 ton akseltryk, som der benyttes på tanktrailere. Det giver en besparelse på 15,6 kg pr. dæk i alt en reduktion på 124,8 kg.

3.2.4 Lygtebjælke

På en semitrailer benyttes lygtebjælken i bagenden som montageplads for lygter og nummerplade. Derudover udgør den det lovpligtige underkørselsværn, som skal sikre, at personbiler, der rammer en lastbil bagfra, ikke trykkes ind under køretøjet. Normalt monteres tankvogne fra VM Tarm med en rustfast lygtebjælke. Denne er dog forholdsvis tung og det er derfor valgt i stedet at montere en lygtebjælke i aluminium.

Normalt fravælges lygtebjælker af aluminium på tankbiler, da de ofte bliver udsat for væsker, der kan lede til korrosion af aluminium. Vægtbesparelsen er dog så stor, at det er valgt at benytte aluminium. Dette kan yderligere forsvares, da prisen for en aluminiumslygtebjælke er meget lavere end for en rustfast og korrosionen af lygtebjælken primært vil være kosmetisk. Ved at benytte en lygtebjælke i aluminium i stedet for en rustfast reduceres vægten fra 36 kg til 22 kg.

3.2.5 Lufttanke

På semitrailere benyttes der trykluft til at forsyne bremsen og affjedring. Lufttankene, der benyttes, er i dag fremstillet i aluminium og er dermed allerede nede i en vægt på ca. 14 kg pr. styk.



BILLEDE 21
KOMPOSIT TANK TIL TRYKLUF. © BPW

Vi har i forbindelse med projektet fundet en ny type komposittank, som med en vægt på kun 12 kg er lidt lettere. En stor fordel ved komposit vs aluminium er, at de ikke udsættes for korrosion. Lufttankene er ved produktionen af prototypen endnu ikke tilgængelige i almindelig handel, men forventes at være det ved dette projekts afslutning.

3.2.6 Støtteben

Støttebenene på prototypen er af samme fabrikat, som der benyttes på langt de fleste tanktrailere. Der er dog tale om en ny model, der er fremstillet i aluminium i stedet for stål, som der benyttes på de normale modeller. Funktionen af støttebenene er den samme og der tillades de samme maksimale belastninger som på den almindelige stålmodel. Modellen i aluminium er lige kommet på markedet, men er endnu ikke blevet lagervare. Ved at benytte den nye model i aluminium reduceres vægten fra 100 kg til 46 kg.

3.3 Tanksvøb

På en tanktrailer udgøres en betydelig del af egenvægten af tanksvøbet. Svøbet er den cylindriske del af tanken. Den fremstilles ved at valse en stålplade til den ønskede diameter, hvorefter den svejses sammen på langs, så man får en sektion på 1,5 meters længde i den ønskede diameter. Ved at svejse flere sektioner sammen opnås en tank i den ønskede størrelse. Inden sektionerne svejses sammen, svejses eventuelle mellembunde og skvulpeskot i de enkelte sektioner.



BILLEDE 22

PROTOTYPETANKEN EFTER AT ALLE SEKTIONERNE ER SVEJST SAMMEN OG ENDEBUNDENE ER SVEJST I. FRA VENSTRE SES ENDEBUNDEN EFTERFULGT AF ET HELT SVØB. PÅ DET NÆSTE SVØB SES DET AT DER ER ISVEJST ET SKVULPESKOT. DETTE SES PÅ DE TO TÆTLIGGENDE SVEJSNINGER I DEN FORESTE DEL AF SEKTIONEN.

Langt størstedelen af de tanke, der produceres, fremstilles i 3 mm plade i enten syrefast eller rustfast stål. Valget mellem syrefast og rustfast afhænger af, hvilke typer produkter tanken er tiltænkt.

Tanksvøbet har på en semitrailer to primære formål. Ud over at det udgør en del af tanken, er det også den primære bærende struktur i semitraileren. De fleste semitrailere er selvbærende. Ved selvbærende forstås, at der mellem kongetappen i forenden og undervognen i bagenden ikke er nogen ramme, der bærer vægten af tanken og indholdet. Tanken skal derfor i sig selv være stærk nok til at bære vægten af lasten og til at holde til de belastninger, den udsættes for under kørsel med fuld last.

Dette, kombineret med, at ADR konventionen kræver en godstykkelse på minimum 3 mm (Inkl. tolerance), ligger til grund for, at standard i dag er tanke i 3 mm gods.

Da tanksvøbet alene udgør 1800 kg svarende til 19% af den samlede vægt, på vores reference semitrailer, er en vægtreduktion på svøbet af stor vigtighed, da der er mange kilo at optimere på.

Indledningsvist blev det undersøgt, om det ville være muligt at fremstille tanken i kompositmaterialer, men dette blev fravalgt. Der ligger tre primære årsager til grund for dette fravalg: Produktion af komposittanke falder uden for de kompetencer, som VM Tarm råder over i produktionen. Produktion af komposittanke vil kræve brug af forme mm., som vil reducere fleksibiliteten, hvorfor en eventuel løsning vil være begrænset til ét eller få produktgrupper. Endelig er der allerede en finsk producent af tankvogne (Admor Composites OY), som producerer komposit tankvogne. Vægtbesparelsen, de opnår, er på et niveau, hvor vi forventer at kunne være konkurrencedygtige med en optimeret ståltank.

Fokus har derfor været på at reducere vægten uden at ændre på den grundlæggende præmis, at tanken er svejst i stål. Fra andre producenter ved vi, at det er muligt at reducere godstykkelsen af tanken til 2,5 mm uden at ændre på materialevalget eller den grundlæggende udformning af tanken og bæringerne. Denne optimering er dog kun set på trykløse tanke og kun i begrænset omfang.

For at opnå en yderligere vægtreduktion samt sikre, at den valgte løsning vil kunne benyttes, også til tryktanke, har der været behov for at optimere på materialevalget. Det har derfor været et naturligt skridt at undersøge mulighederne i at benytte højstyrkestål. Da der ikke kan gås på kompromis med korrosionsegenskaberne, er det Ferritisk – Austenitisk (Duplex) stål, der primært har været i fokus. Duplex stål er en speciel klasse af syrefast stål, som er kendetegnet ved, at deres korn-struktur indeholder en blanding af austenitiske strukturer og ferritiske strukturer. Dette er med til at give den høje styrke uden at give afkald på deres høje korrosionsbestandighed. Korrosionsbestandigheden svarer til almindeligt syrefast stål, men det har bedre egenskaber, hvad angår spændingskorrosion. Duplex stål findes i en række forskellige kvaliteter, herunder såkaldt Super-duplex. F.eks. har Outokumpu 6 forskellige kvaliteter i deres produktprogram.

Det har derfor været nødvendigt at træffe valg omkring hvilken kvalitet, der benyttes. Ud over styrken, som varierer mellem de forskellige kvaliteter, har de primære valgkriterier været at vælge en kvalitet med en god svejsbarhed og en god tilgængelighed på markedet. Vigtigheden af en god svejsbarhed er naturligvis stor, idet den primære bearbejdning af svøbet er svejsning af lang- og rundsømme samt på svejsning af forstærkninger. Tilgængeligheden er et kriterie, fordi man ved VM Tarm ønsker at reducere lagerbeholdningen og da salget varierer mellem produktgrupperne, vil det kræve en betydelig lagerbinding i stål, hvis ikke det er almindeligt tilgængeligt.

Den valgte kvalitet lever op til disse kriterier, da den er almindeligt tilgængelig ved flere af VM Tarms almindelige leverandører. Flydespændingen for kvaliteten er $\geq 500 \text{ N/mm}^2$, hvor almindeligt rustfast EN 1.4301 til sammenligning er $\geq 230 \text{ N/mm}^2$. Det er derfor 2,1 gange stærkere end almindeligt rustfast stål. På grund af de forskelligartede medier, produkterne fra VM Tarm udsættes for, er korrosionsbestandigheden af materialerne, der benyttes, af stor betydning. For den valgte kvalitet er duplex stål mere korrosionsbestandig end almindeligt syrefast stål, både hvad angår grubetæring, spaltekorrosion og spændingskorrosion. Det vurderes derfor, at der ikke vil være behov for at undersøge korrosionsegenskaberne yderligere i forbindelse med projektet. Dog bør der foretages en yderligere undersøgelse, såfremt duplex stål finder anvendelse til ADR tanke, da det ikke kan udelukkes, at visse kemikalier i særlig grad vil korrodere duplex stål i højere grad end almindeligt syrefast stål. I så fald bør de kemikalier, der ønskes transporteret, undersøges specifikt f.eks. ved opslag i en korrosionstabel.

Korrosionstabeller

Korrosionstabeller er tilgængelige fra de fleste større stålleverandører. Aktuelt er der taget udgangspunkt i korrosionstabeller fra Outokumpu:

<http://steelfinder.outokumpu.com/corr/corrstart.aspx>

Svejsbarheden af duplex stål er god, men den er dog sværere at svejse end både almindeligt rustfast og syrefast stål. Dette, kombineret med ønsket om, at tanken skal godkendes som PED tank, har ledt til, at Nordisk Svejs Kontrol A/S (NSK) er blevet kontaktet med henblik på udarbejdelse af svejseprocedurer og certificering af svejsere.

Processen med udarbejdelsen af svejseprocedurer og godkendelsen af de svejseprøver, der er fremstillet, har generelt været succesfuld. Det er dog ikke i processen lykkedes at få godkendt svejsningen af langsømme i svejseautomat og alle langsømme på prototypen er derfor svejst manuelt. Dette resulterer i et større timeforbrug og en lidt dårligere kvalitet af svejsningerne, end hvad man vil kunne opnå ved svejsning i svejseautomat. Ved implementering i produktionen vil det derfor være nødvendigt at foretage flere svejseprøver for at finde en opsætning af svejseautomaten, der kan godkendes. Det forventes, at det vil være muligt at nå frem til en løsning, der producerer svejsninger i en acceptabel kvalitet, men det er fravalgt at færdiggøre godkendelsesprocessen på prototypen, da det ville forsinke svejsningen af tanken.



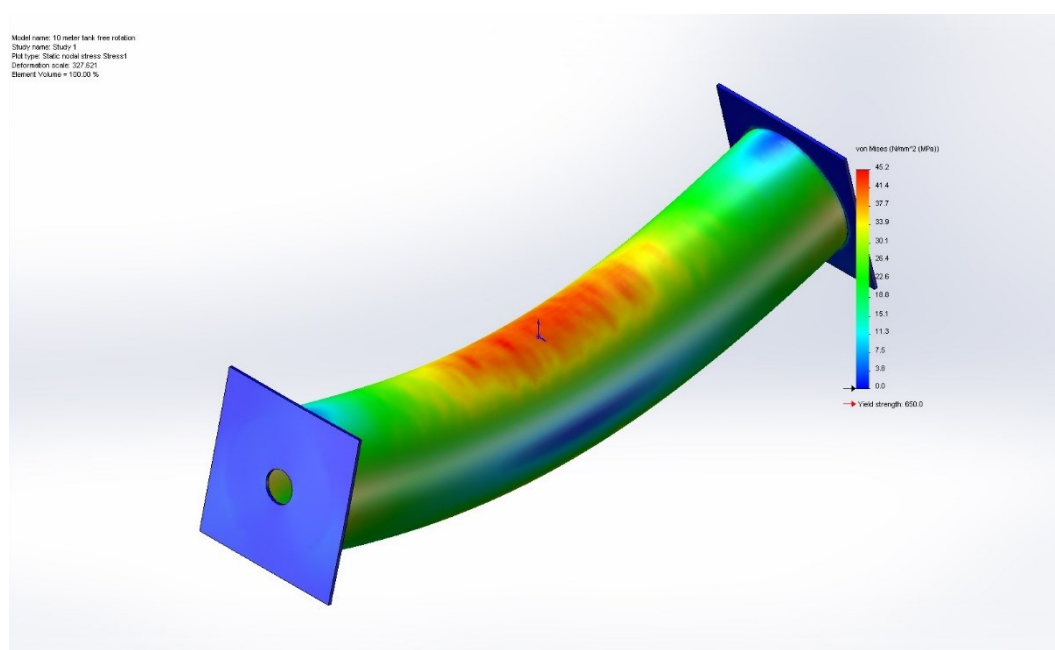
BILLEDE 23
LANGSØM KLARGJORT TIL MANUEL SVEJSNING.

Formålet med at skifte til duplex stål i svøbet er at kunne konstruere tanken med et svøb på kun 2 mm. Beregninger foretaget på prototypetanken viser, at en PED tank godkendt til et arbejdsstryk på 2 bar med en diameter på 2050 mm minimum skal have en svøbtykkelse på 1,24 mm. Derved er PED godkendelse af en tank med 2 mm svøb udført i duplex stål mulig.

Godkendelsen som PED tank er dog ikke den eneste overvejelse i forbindelse med dimensioneringen af tanken. Da tanken, som tidligere nævnt, skal være selv bærende, er der foretaget beregninger for at verificere, at tanken vil kunne holde til de belastninger, dette vil udsætte den for.

Beregningerne, der er foretaget, fokuserer på en række forskellige belastningssituationer, som tankvognen bliver udsat for. Gennem processen har det vist sig, at den dimensionerende faktor for svøbet er dets modstandsdygtighed imod foldning (Buckling). Foldning opstår, når en konstruktion under tryk (ikke træk) bøjer ud under trykbelastningen, den udsættes for. Grunden til, at foldning bliver dimensionsgivende, er, at risikoen for foldning stiger med den faldende svøbtykkelse. Ved at reducere godstykkelsen fra 3 mm til 2 mm i alm rustfast 1.4301, falder den kritiske spænding, hvor foldning kan indtræde fra 66,5 N/mm² til 43,2 N/mm² svarende til en reduktion på 57% (idet der også tages højde for den reducerede godstykkelse). På protypen, hvor svøbet er 2 mm duplex, er den kritiske spænding 81,7 N/mm². Sammenlignet med en traditionel tank i 3 mm 1.4301 giver det en reduktion på 18%.

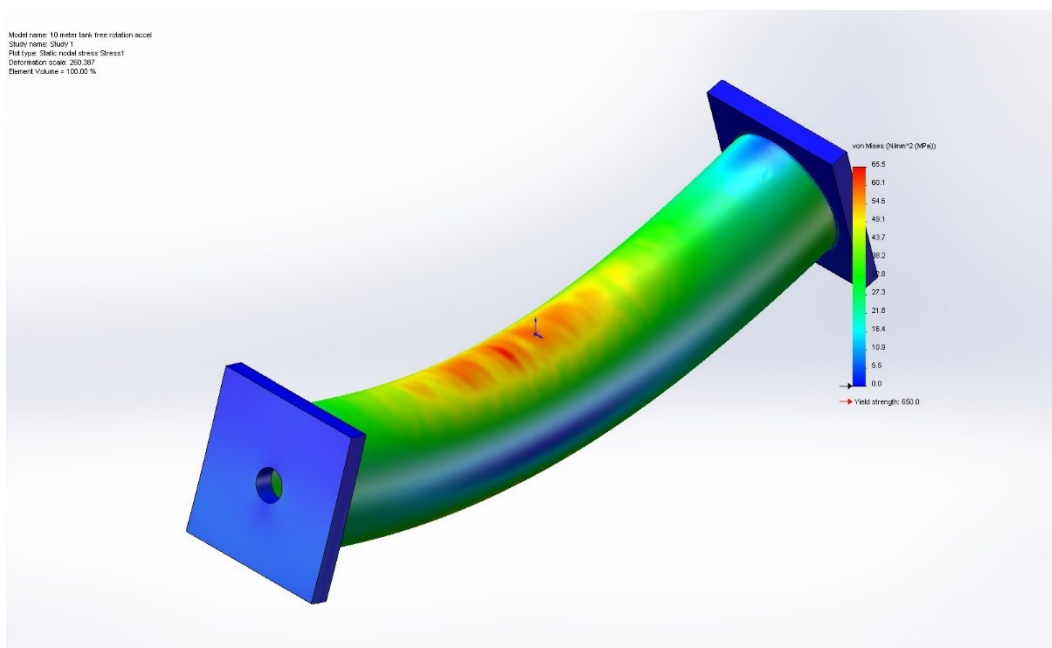
Beregningerne, der er foretaget, fokuserer derfor på at validere, at tanken ikke bliver udsat for mere end 81,7 N/mm². Beregningerne er foretaget både i regneark og som simuleringer i solidworks. Da det ønskes verificeret, at 2 mm svøb i duplex kan benyttes generelt og ikke kun i den specifikke udformning, der er valgt til protypen, er der regnet på et worst case senarie i simuleringerne. Worst case senariet er et tanksvøb 10 meter langt uden forstærkninger og fyldt 95% med vand.



BILLEDE 24

10 METER TANKSEKTION UDEN FORSTÆRKNINGER BEREGET I SOLIDWORKS SIMULATION. MAKSIMAL SPÆNDING ER 45,2 MPA OG NEDBØJNINGEN ER 3 MM.

Som simuleringen i Billede 24 viser, er belastningen 45,2 N/mm² og der er derfor langt op til den kritiske spænding på 81,7 N/mm². Situationen her er beregnet uden belastninger fra kørslen og der er derfor i de efterfølgende beregninger indregnet de mest ekstreme belastninger, som tanken vil kunne komme ud for under almindelig drift.



BILLEDE 25

10 METER TANKSEKTION UDEN FORSTÆRKNINGER BEREGNET I SOLIDWORKS SIMULATION. MAKSIMAL SPÆNDING ER 65,5 MPA OG NEDBØJNINGEN ER 34MM.

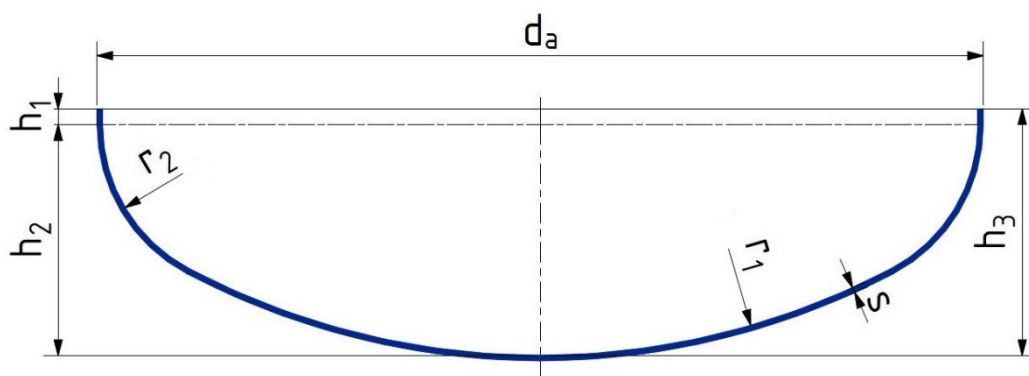
Resultatet, der vises i Billede 25, viser tanken, hvor den udsættes for fuld last samtidig med, at der påføres en kraft på 180000 N fremad på kongetappen. Dette svarer til, at trækkeren accelererer maksimalt.

Kraften på 180000 N er en teoretisk værdi, der er baseret på en friktionskoefficient på 1 og et tryk på kongetappen på 18 Ton ≈ 180000 N. I praksis vil trækkeren ikke kunne generere en sådan belastning af tanken. Det vil derimod være muligt at generere en tilsvarende kraft i modsat retning, da kombinationen af maksimal bremskraft og ramper eller færdselsuheld, der involverer frontal påkørsel, vil kunne generere tilsvarende belastninger. Dette påvirker dog tanken mindre end fremadrettet acceleration, da det virker modsat belastningen fra tankens last.

På den baggrund er der i projektet benyttet svøb i 2 mm syrefast højstyrkestål i modsætning til de normale 3 mm rustfast eller syrefast stål. Dette resulterer i en vægtbesparelse på prototypen på 624 Kg svarende til ca. 34%.

3.4 Mellembunde

Optimeringen af tankens mellembunde fokuserer på at reducere vægten ved at reducere godstykkelsen på bunden. Gennem beregninger foretaget på baggrund af PED direktivet fastslås det, at det vil være muligt at erstatte tankens korbogen mellembunde i 6 mm syrefast stål med tilsvarende bunde fremstillet i 5 mm duplex stål.



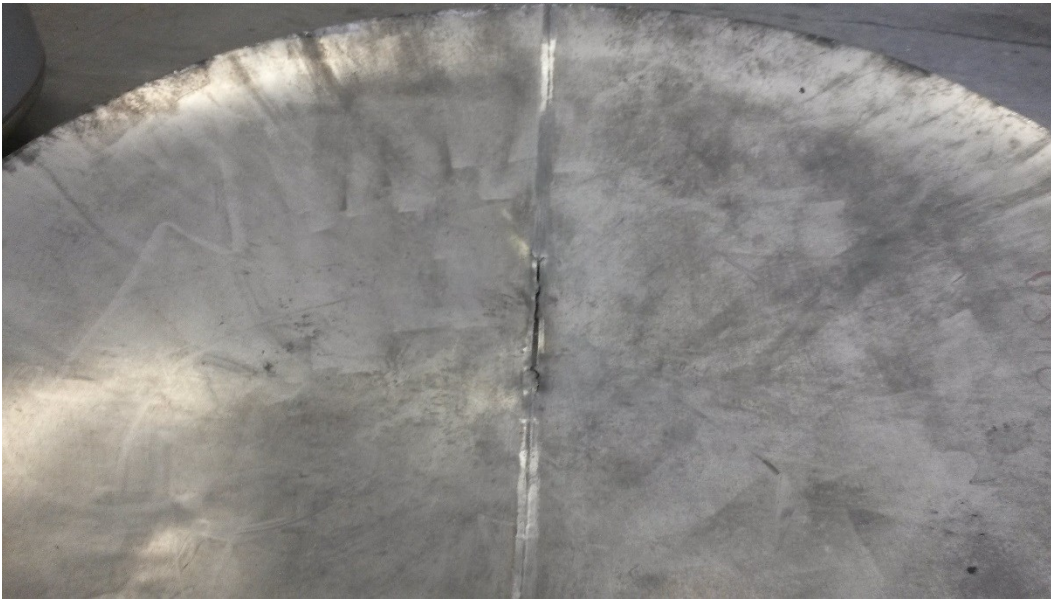
BILLEDE 26
KORBBØGEN DIN 28013

Godkendelsen af tanken viste sig dog at være den letteste del af optimeringen. Grundet duplex ståls højere styrke er det sværere at rulle bunden op og det i en sådan grad, at flere producenter direkte afviste at kunne fremstille bundene. Det lykkedes dog at få bundene fremstillet ved Almind Værk i Viborg.



BILLEDE 27
RULLNING AF BUND TIL TANKPRODUKTION.

Normalt rulles bunden op i én proces, hvorefter den bejdses og derefter er klar til at svejse i tanken. Dette kan lade sig gøre grundet Austenitisk ståls gode egenskaber i forhold til kold bearbejdning. Duplex mellembunde har dog vist sig mere udfordrende at fremstille bunde i. Dette resulterede i første omgang i, at den første bund, der blev fremstillet, revnede under rulningen.



BILLEDE 28

REVNE I PLADE OPSTÅET I FORBINDELSE MED KOLDDEFORMERING UDEN AFSPÆNDINGSLØDNING.

Det lykkedes dog at producere de nødvendige bunde, men for at det kunne lade sig gøre, var det nødvendigt flere gange undervejs at afspændingsgløde mellembunden. Dette gøres ved at opvarme stålet til ca. 650 grader, hvorved de spændinger, der opstår i materialet ved kolddeformering, reduceres. Processen var nødvendig for at fremstille bundene. Da det er en omkostningstung proces, gør det, at prisen for en duplex bund er flere gange højere end for en bund i almindeligt syrefast eller rustfast stål.



BILLEDE 29

ANLØBNINGER PÅ DUPLEX MELLEMBUND. ANLØBNINGERNE KAN IKKE FJERNES KEMISK, MEN KRÆVER SLIBNING.

Ydermere havde de gentagne varmebehandlinger den uventede bivirkning, at smøremidler fra kolddeformeringen brændte fast i stålets overflade. Det vil derfor ved brug af duplex bunde være nødvendigt at slibe bundene, hvilket ikke er nødvendigt ved en bund fremstillet i Austenitisk stål.

Optimeringen resulterede i en vægtbesparelse på 40 kg per bund svarende til 80 kg total på prototypen. Grundet de højere produktionsomkostninger forventes det ikke, at optimeringen vil være rentabel at implementere i den almindelige produktion, med mindre der findes en alternativ fremstillingsmetode, der ikke kræver flere procestrin i produktionen af bunden.

3.5 Skvulpeskot

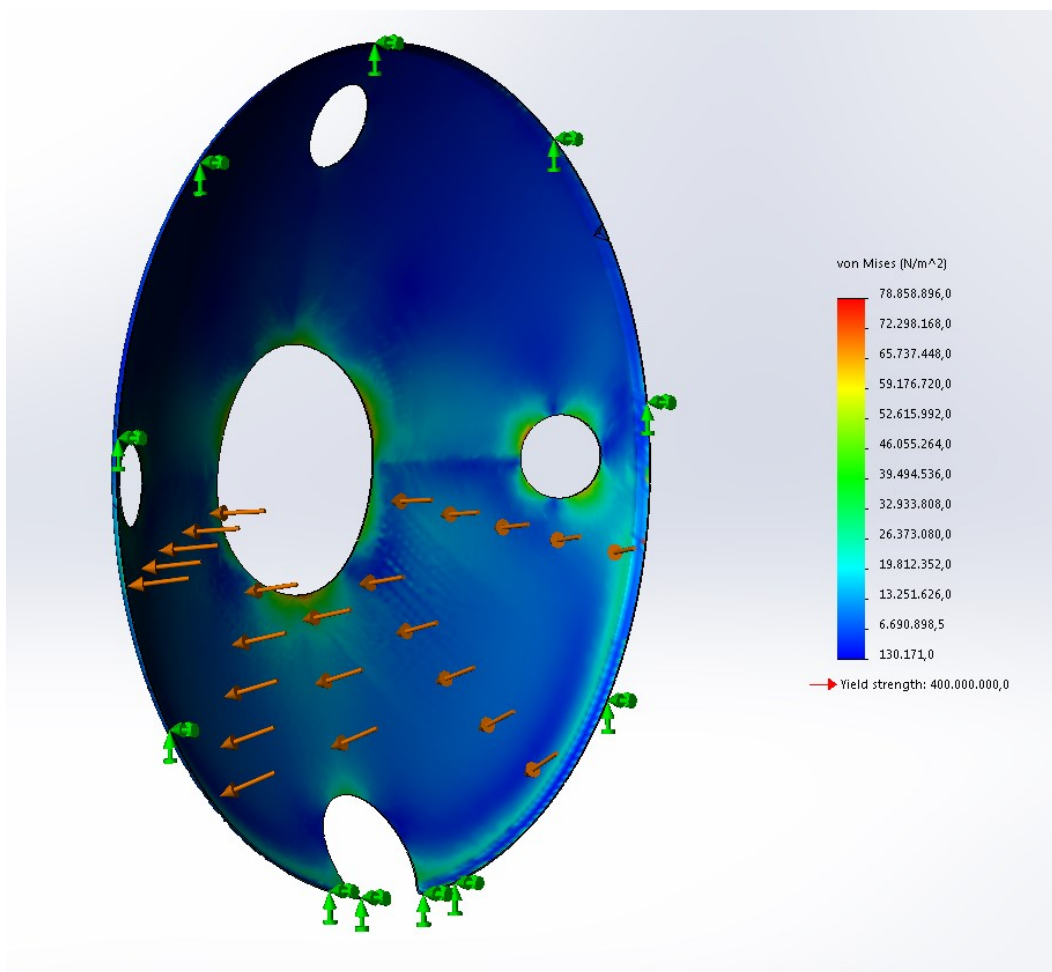
I de fleste tankvogne indgår der et eller flere skvulpeskot. Formålet med skvulpeskot er at minimere lastens bevægelser i tanken under kørsel. Hvis et tankrum kun er delvist fyldt, vil væsken ved f.eks. en opbremsning, med en kort forsinkelse, ramme den forreste endebund og derved trykke køretøjet fremad; et fænomen, der er både ubehageligt for chaufføren og farligt i trafikken.

Derfor er der en bestemmelse i detailforskrifterne, der specificerer, at tankrum over 7500 L skal indeholde skvulpeskot, der inddeler tanken i sektioner på maksimalt 7500 L. Hvis ikke dette er tilfældet, må tankvognen ikke køre med dellast. Dellast defineres i denne forbindelse som en tank, der er mellem 20% og 80% fuld. Det vil sige, at en tank på 10.000 L uden skvulpeskot kun må køre med 0-2.000 L eller 8.000-10.000 L. For at en tankvogn er fleksibel i brug, vil et eller flere rum derfor være udlagt sådan, at der er mulighed for dellast.

På prototypen er det valgt, at der skal være mulighed for dellast i alle 3 rum. Da rummene er 19.000 liter, 7.500 liter og 15.000 liter, benyttes der 3 skvulpeskot; 2 i forreste rum og 1 i bagerste rum.

Fra starten af projektet arbejdes der med to muligheder for at reducere vægten: Reduktion af pladetykkelsen ved at benytte højstyrkemateriale, som beskrevet under tanksvøbet og reduktion af vægten ved at lave flere udskæringer i pladen. Undervejs i processen blev brugen af højstyrkematerialer fravalgt grundet produktionstekniske problemer. Disse er beskrevet i afsnit 4.4.

Et skvulpeskot fremstilles som en kuplet skive med en række udskæringer i. Billede 30 viser et skvulpeskot, som det normalt produceres ved VM Tarm. Det store hul i center sikrer, at en mand kan komme igennem skottet. Dette er nødvendigt for at kunne inspicere tanken og i forbindelse med rengøring af tanken, ligesom det er en nødvendighed under produktionen af tanken, da alle svejsninger kræver en mand på begge sider af stålpladen. De to små huller i siderne af skottet sikrer, at det er muligt at tømme en tank helt, hvis den i forbindelse med f.eks. færdselsuheld ligger på siden. Udskæringen i bunden sikrer, at tanken kan tømmes helt. Hullet i toppen sikrer, at luften kan komme ud fra rummene mellem skottende.



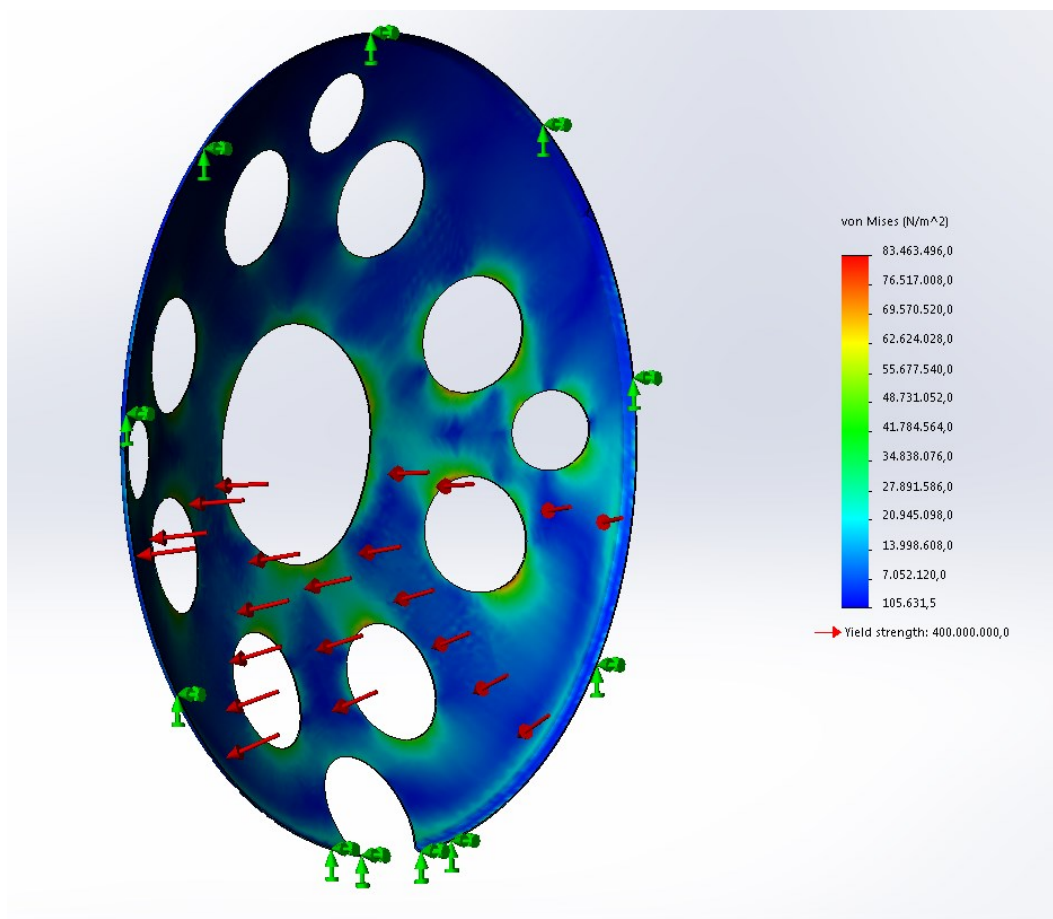
BILLEDE 30

DET GAMLE DESIGN AF SKVULPESKOTTET. DEN NEDERSTE HALVDEL AF SKOTTET BELASTES MED ET TRYK PÅ 28 KPA. DETTE RESULTERER I EN MAKSIMAL SPÆNDING PÅ 87,8 N/MM² OG 0,8 MM DISPLACEMENT.

Den nuværende udformning af skvulpeskottet fungerer upåklageligt, men da der medgår en del plademateriale, er den meget tung. Vægten af skottet afhænger naturligvis af tankens diameter. På prototypen, som er $\varnothing$ 2050 mm indvendigt, vejer et skot 95 kg. Vægtreduktionen på skvulpeskottet opnås ved at forøge arealet af udskæringer i skottet og dermed fjerne materiale.

Kravet til et skvulpeskot er naturligvis at kunne holde til de belastninger, det udsættes for, men derudover ligger der fra detailforskriften et krav om, at et skvulpeskot skal dække 70 % af tankens tværsnitsareal. Kravet skal sikre, at skvulpeskottet har den ønskede dæmpende virkning på lastens bevægelser i tanken.

Det nuværende design af skvulpeskottene tager ikke højde for tankens størrelse, idet der laves udskæringer af samme størrelse uanset skottets diameter. Den potentielle besparelse afhænger derfor af tankens diameter. Ved $\varnothing$ 2050 mm svarer de nuværende udskæringer i skottet til, at 89% af tværsnitsarealet er dækket og det er derfor langt mere end krævet i detailforskrifterne.



BILLEDE 31

DET NYE DESIGN AF SKVULPESKOTTET. DEN NEDERSTE HALVDEL AF SKOTTET BELASTES MED ET TRYK PÅ 28 KPa. DETTE RESULTERER I EN MAKSIMAL SPÆNDING PÅ 83,4 N/MM² OG 0,94 MM DISPLACEMENT.

Ved at lave ekstra udskæringer, som det ses på Billede 31, opnås et skvulpeskot, der dækker 71% af tværsnitsarealet og skottet overholder derfor kravet om at dække minimum 70 %.

For at sikre at skottet kan holde til belastningen, er der foretaget simuleringer på skottet. Kræfterne, der påvirker skottende, er dog af en natur, der ikke umiddelbart lader sig simulere. Dette skyldes de dynamiske forhold, der gør sig gældende i tanken, når skvulpene opstår.

Der er derfor foretaget statiske simuleringer, der formodes at afspejle de kræfter, der påvirker skottet. Disse benyttes til at sammenligne belastningerne på det nye skot, der ønskes undersøgt og det eksisterende skot, der empirisk vides at kunne holde til belastningerne.

Billede 30 og Billede 31 viser belastningerne på henholdsvis det eksisterende og det nye design af skottet. Simuleringerne er foretaget med udgangspunkt i en tank, der er halv fuld. Dette simuleres ved, at der på den nederste del af skottet påføres et overfladetryk på 28 kPa.

Belastningen på 28 kPa er valgt ud fra en antagelse om, at belastningen på skottet svarer til den vandrette "vandsøjle" bag skottet. Da den maksimale volumen bag skottet er 7,5 m³ og de mindste tanke, der fremstilles på VM Tarm er 1800-1900 mm i diameter, beregnes det, at den normalt forekommende vandsøjle bag skottet er 2,8 m. Som tidligere beskrevet i forbindelse med beregningen af svøbet regnes der med en maksimal nedbremsning på 1 g. 2,8 meter vandsøjle ved 1 g svarer til 27,46 kPa $\approx$ 28 kPa.

Under denne belastning ses der en maksimal spænding på 83,4 N/mm² ved det nye design, hvor den tilsvarende spænding i den gamle design er 87,8 N/mm². Tilsvarende stiger displacement fra 0,8 mm til 0,94 mm. Stigningerne i maksimal spænding og displacement vurderes at være acceptable. Dette vurderes dels ud fra den lave spænding, der opstår i pladen sammenlignet med materialets flydespænding på 210 N/mm² og dels ud fra, at det gamle design er empirisk testet gennem mange år uden at der opleves brud, selv ikke på ældre tanke. Det gamle design må derfor

forventes at have en høj sikkerhedsfaktor, hvorfor den begrænsede stigning i spændingerne ikke må forventes at være udslagsgivende i forhold til, om skottet kan holde. Designet vil dog blive endelig testet gennem testkørsel med prototypen.

Testkørslen med prototypen har to formål: At teste holdbarheden af skottet samt at få feedback fra chaufføren på, om der opleves problemer med skvulp i tanken sammenlignet med et tank med almindelige skot.

Da pladeforbruget er det samme for at producere et vægtoptimeret skvulpeskot og et almindeligt skot, må ændringen forventes at øge prisen på skottet, da skrotværdien af det fjernede materiale ikke vil opveje det ekstra tidsforbrug, det vil medføre i produktionen.

3.6 Konsoller

På en tankvogn er konsoller en fællesbetegnelse for de bærende strukturer, der forbinder de primære dele af tankvognen. Kongetappen, støttebenene og undervognen fastgøres til tanken via konsollerne og deres primære succeskriterie er derfor at kunne holde til denne belastning. Konsollerne fremstilles af rustfast plade, som skæres og bukkes, inden de svejses på tanken.



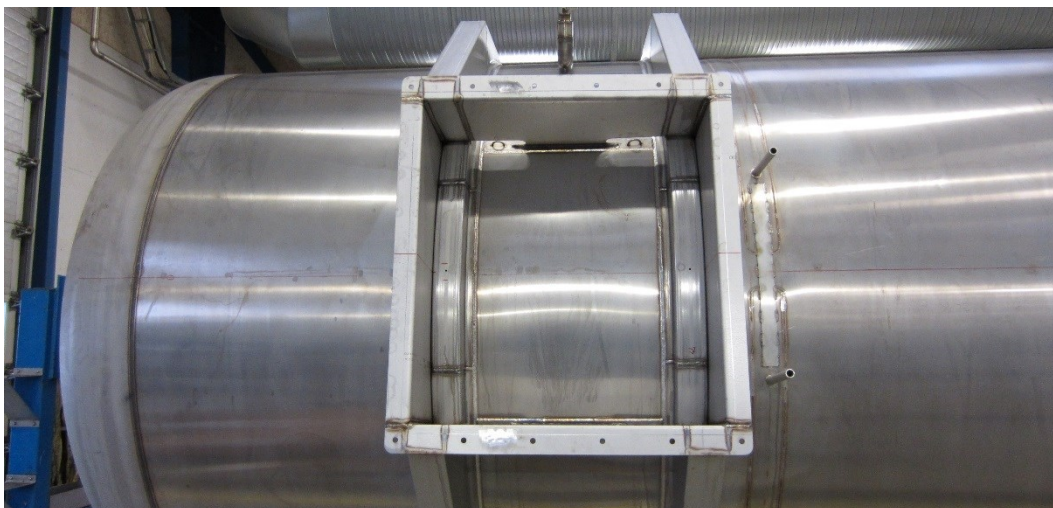
BILLEDE 32

KONSOLLERNE SVEJST PÅ PROTOTYPEN. FRA VENSTRE ER DET 5 STK KONSOLLER TIL UNDERVOGNET. TIL HØJRE HERFOR KONSOLLER TIL STØTTEBENENE OG LÆNGST TIL HØJRE KONSOLLEN TIL KONGETAPPEN.

Det nuværende design har været uændret i en længere årrække. Dette skyldes primært, at det har vist sig at være holdbart i drift og har en god produktionsproces, der fungerer godt. Det er derfor et ønske, at de vægtreducerede konsoller vil kunne produceres med den samme produktionsproces. Det primære fokus er derfor på at reducere vægten ved at reducere godstykkelsen af de plader, der benyttes til at fremstille konsollerne.

Kræfterne, som konsollerne i de tre områder skal holde til, varierer meget.

For kongetappen er der tale om en vægt på op til 18 ton, som tanken lægger på kongetappen. Dertil kommer, at der ved acceleration og bremsning skal overføres kræfter gennem konsollen, som virker på langs af tanken. Endelig kan der i specielle tilfælde opstå et skævt tryk på kongetappen, hvilket medfører, at størstedelen af lasten lægges i den ene side af konsollen.



BILLEDE 33
KONSOL VED KONGETAP SVEJST PÅ PROTOTYPEN.

For konsollen ved støttebenene er der primært tale om et lodret tryk, der opstår i tilfælde af, at tanken stilles på støttebenene med fuld last. Oftest vil tanken blive sat af uden last, hvorved trykket på støttebenene er begrænset. Det vil dog i visse tilfælde være nødvendigt at stille tanken af med fuld last. Dette behov kan f.eks. opstå ved tekniske problemer på trækkeren, som forhindrer, at den kan køre videre med tanken. Ud over det lodrette tryk på støttebenene vil de i begrænset omfang blive udsat for langsgående kræfter i forbindelse med, at trækkere kobles af og på. Dette vil jævnfør ovenfor oftest opstå i forbindelse med, at tanken er tom og belastningen på støttebenet er begrænset.

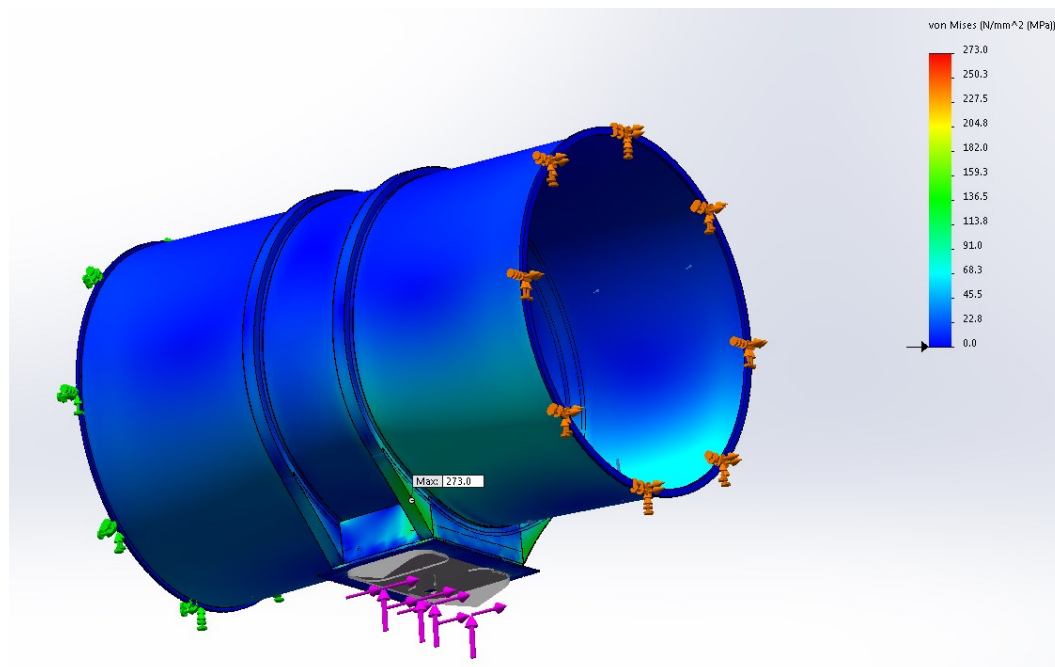


BILLEDE 34
KONSOL TIL STØTTEBEN SVEJST PÅ PROTOTYPEN.

Konsollerne ved undervognen bliver udsat for flere blandede kræfter end konsollerne ved støttebenene og kongetappen. Almindelig last på konsollerne hidrører fra vægten af tanken, som lægger knap 30 ton på undervognen. Derudover skal konsollerne fastholde undervognen, når den udsættes for de 5 typer belastninger, beskrevet i afsnit 3.1. Den dimensionerende belastning på konsollerne ved undervognen er, som det også fremgår tydeligt af Billede 10, de kræfter, der opstår i forbindelse med en hård opbremsning. Da pladerne i konsollerne går på tværs af kørselsretningen, er de meget stærke i denne retning, mens bremsekræfterne primært overføres gennem siderne på konsollerne. For at optage kræfterne bedst muligt, er der i særlig grad optimeret på de skråstivere, der går fra boltepladen mod undervognen op på siden af konsollen. Det skyldes, at der særligt ved en for hård afslutning af denne opstår nogle særligt høje spændinger i dette område. Efter

optimeringer af denne skråstiver vurderes det, at konsollerne ved undervognen kan holde til belastningen.

Belastningen omkring kongetappen er simuleret på en sådan måde, at der tages højde for både vægten af tanken og af bremsekræfterne, der påvirker kongetappen. Simuleringen, som er vist i Billede 35 resulterer i en maksimale spænding på 273 N/mm². Denne særligt udsatte del af konsollen er siden re-designet, så den maksimale spænding er 120 N/mm².



BILLEDE 35
SIMULERING AF BELASTNINGER PÅ KONGETAPPEN.

Materialet, der er valgt til konsollerne, er den samme kvalitet duplex stål, som der er benyttet til tanken. Dette er valgt frem for det sorte højstyrkestål, der benyttes i undervognen på trods af at det ikke er helt lige så stærkt. Valget af duplex stål frem for sort højstyrkestål skyldes, at konsollerne i modsætning til undervognen er mere omkostningstunge at skifte og i modsætning til undervognen, der relativt let kan skiftes. Ligeledes er det ikke muligt at male konsollerne, når det oprindelige lag maling ikke længere holder, da en del af konsollerne sidder inde under isoleringskappen på tanken. Valget af højstyrkestål gør det muligt at reducere godstykkelsen og dermed vægten med 40% svarende til 170 kg. Dertil kommer, at forstærknings ringene på tanken er reduceret fra 4 mm til 3 mm, hvilket bidrager med en reduktion på yderligere 60 kg sparet på prototypen. Ved undervognen og støttebenene benyttes der det eksisterende design af konsollerne, men med reduceret godstykkelse. Ved kongetappen ændres konstruktionen, men dog ikke mere end, at den kan fremstilles med samme produktionsproces som tidligere benyttet.

Økonomisk er overgangen til at bruge duplex stål i konsollerne let fordyrende. Dette skyldes, at konsollerne i dag er fremstillet af rustfast stål, der er billigere end syrefast stål. Prisforskellen op til duplex stål er derfor tilsvarende større og det resulterer i, at materialeomkostningerne øges med 17% ved de nuværende stålpriser. Der forventes en lille reduktion i bukke og opstillingstid grundet den lavere vægt af pladedelene, men dog ikke noget, der fuldt modsvarer den forøgede materialepris.

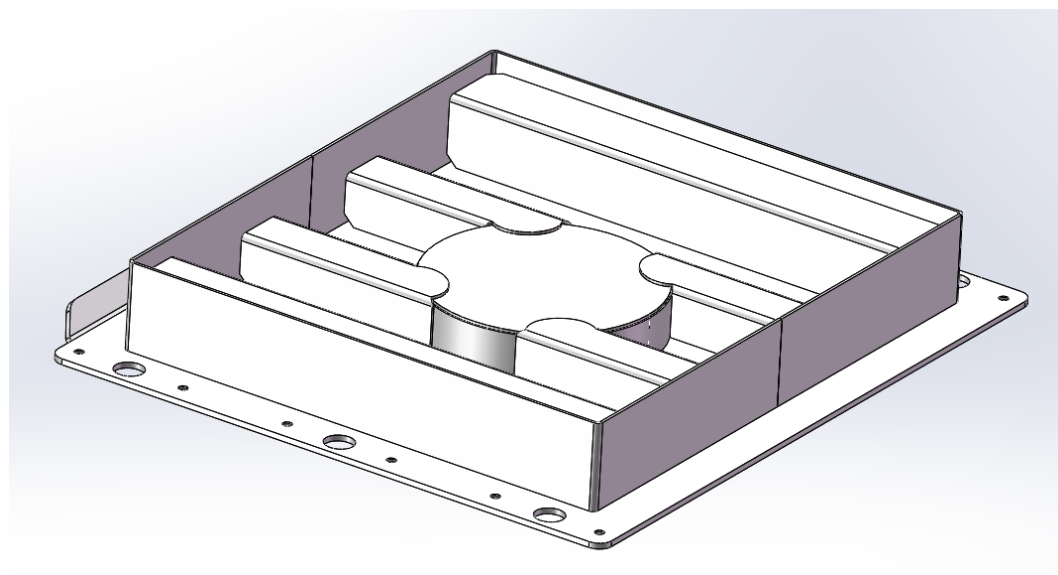
3.7 Kongetaps konstruktion

Ved de forreste konsoller monteres tankens kongetap. Kongetappen er forbindelsen mellem trækkeren og semitraileren og det er gennem denne, kræfterne fra accelerationer og

nedbremsninger overføres til semitraileren. Ligeledes ligger en stor del af tankens vægt, op til 18 ton, på kongetapspladen. Der er derfor tale om en meget belastet del af semitraileren, som også i tidligere udgaver har været præget af udmattelsesbrud. Det nuværende design har været brugt i en længere årrække uden, at der har været problemer med denne. Det er dog en tung konstruktion og der er derfor fokus på at opnå en vægtbesparelse her.

Grundet sliddet på kongetapspladen og den belastning, den udsættes for, er at konstruktionen allerede i dag udført i sort stål, som er stærkere og mindre udsat for udmattelsesbrud end rustfå stål. Korrosionsmæssigt er der derfor ikke tale om en forringelse ved at erstatte konstruktionen med et nyt design i højstyrkestål.

Det nuværende design er baseret på, at kongetapspladen svejses fast til konsollerne, idet det antages, at den skal kunne holde trailerens levetid ud. Eneste del, der er boltet på, er selve kongetappen, som er en sliddel, der skal kunne skiftes. Den nye design baserer sig på, at kongetapspladen boltes til konsollerne. Dette valg skyldes ikke, at pladen betragtes som en sliddel, men er begrundet i, at det på en prototype er ønskeligt at kunne afmontere den, så det er muligt at opdage eventuelle problemer med designet, inden de fører til nedbrud.



BILLEDE 36
DET NYE DESIGN AF KONGETAPSPLODEN.

Den nye kongetapsplade er designet i den samme kvalitet højstyrkestål, som der er benyttet til undervognsrammen. Sammenlignet med den eksisterende konstruktion er der fokuseret på at reducere godstykkelsen i bundpladen ved at tilføje flere forstærkninger på pladens overside. En anden grundlæggende designændring sammenlignet med den eksisterende model er at pladen monteres på en konsol, der, på alle fire sider, er en enkelt plade, der følger siden af kongetapspladens forstærkninger og bukker ud over kongetapspladen i bunden. I det eksisterende design støtter kongetapspladen på konsoller, der er bukket som et U i for og bagkant. Der er derfor i det nye design en vægtreduktion på konsollerne ud over vægtreduktionen på selve pladen. For at hindre at kræfterne fra acceleration og opbremsning overføres via boltene og evt. klipper disse, er der i hver side af kongetapspladen skåret tre huller. I disse huller monteres en rondel, der svejses fast i konsollen over kongetapspladen. Rondellerne sikrer, at kræfterne overføres fra pladen til konsollen uden at være afhængig af boltens klemkraft.

Gennem disse optimeringer er vægten af kongetapspladen reduceret fra 169 kg til 113 kg svarende til en reduktion på 33% inklusiv den ekstra besparelse på konsollerne.

3.8 Sidemandedæksler

Traditionelt udstyres tankvogne med mandedæksler oven på tanken. Dette er der en række grunde til, hvoraf den primære er, at man ønsker, at adgangen til tanken skal befinde sig så højt, at man kan åbne ind til tanken, når denne er fuld. Dette giver mulighed for at besigtige lasten og f.eks. tage prøver af tankens indhold. Derudover benyttes mandedæksler på tankens top i nogle tilfælde til fyldning af tanken.

Placering af mandedæksler på tankens top medfører dog en række ulemper. Der skal tages særlige sikkerhedshensyn, når der arbejdes på tankens top og for mange kunder er det et ønske at reducere eller eliminere behovet for at skulle betjene tanken fra toppen. Derudover medfører det et behov for, at der monteres gangbro og stige på tanken, udstyr, der både vejer og øger vindmodstanden. Det er derfor valgt, at prototypen udstyres med mandedæksler på tankens venstre side.

Dette påvirker vægten både negativt og positivt, idet noget udstyr kan udelades eller reduceres i vægt, samtidig med at der bliver behov for andet udstyr. Den samlede påvirkning af vægten ser ud som følger:

	Vægtforøgelse	Vægtreduktion	Total reduktion
Reduceret vægt af mandedæksler		42 kg	
Skabe til mandedækslerne på siden	49 kg		
Gangbro og stige udelades		100	
Mindre spildkasser på tanktop		52,2 kg	
Ventiler til udluftning på tanktop	76,5 kg		
Total	125,5 kg	194,2 kg	68,7 kg

TABEL 1
SAMLET PÅVIRKNING AF TANKENS VÆGT VED AT FLYTTE MANDEDÆKSLER FRA TANKTOP TIL TANKENS SIDE.

3.9 Isolering og inddækning

Af de tankbiler, der produceres ved VM Tarm, er en stor del isoleret. Dette sker for at sikre fødevarer mod for høje temperaturer eller i andre tilfælde for at hindre, at lasten afkøles under transport. Isoleringen af tanken sker i dag med PUR skum eller mineraluld, afhængig af hvor høj temperaturen er. Hvis temperaturen er over 90 grader, benyttes der mineraluld. Dette har dog den ulempe, at mineraluld kan optage vand og dermed komme til at veje mere, end når den er ny og tør. Der benyttes derfor PUR som standard og mineraluld i de tilfælde, hvor temperaturen bliver for høj. For at beskytte isoleringen, sluttes der af med en klimaskærm, den såkaldte kappe. Den mest almindelige kappe på tankbiler er et tyndt lag rustfast stål, der, med et afstandsbånd imellem, lægges uden på isoleringen. Dette fungerer godt, idet det har en overflade, der er let at rengøre og holder til mange års drift. Ulempen ved kappen i stål er, at den er tung. Vægten af den tyndeste stålplade, der er mulig at benytte, er 5,5 kg per kvadratmeter. Til tankens ender benyttes der endebunde fremstillet i glasfiber forstærket plast.

Undervejs i projektet er det undersøgt, om der findes alternative isoleringsmaterialer, der vil være bedre egnede end de hidtil benyttede. Mulighederne, der er fundet, er henholdsvis PIR skum eller måtter med aerogel. Begge materialer er dog blevet fravalgt. PIR skum har mange af de samme egenskaber, som PUR og isolerer lidt bedre. Det har dog den ulempe, at det i modsætning til PUR er helt stift. Dette er problematisk, da isoleringspladerne skal foldes omkring tanken og det er derfor nødvendigt, at pladerne kan holde til at blive bukket med en radius på ned til 900 mm. Aerogel har grundet dets ekstremt lave varmeledning potentiale til at blive et fremtidigt isoleringsmateriale. I

forhold til projektet har det dog været problematisk at finde frem til et egnet produkt, der er kommercielt tilgængeligt. Der er produkter, der er kommercielt tilgængelige, men da de er udviklet enten til brug ved høje temperaturer eller til isolering af bygninger, er der begrænset fokus på vægten af disse produkter. F.eks. kan nævnes Paroc, som leverer ”PAROC XIA 001 Spaceloft”, som har en varmeledningsevne, der kun er halvdelen af varmeledningsevne for PUR skum. Til gengæld er vægtfylden 150 kg/m³ mod PUR’s vægtfylde på ca. 38 kg/m³. Det er derfor blevet valgt at bibeholde PUR skum som isoleringsmateriale.

Vægtoptimeringen af kappen har fra starten koncentreret sig om brugen af kompositmaterialer. Det umiddelbare fravalg af metalkapper i stål eller aluminium skyldes materialernes egenskaber og det er derfor ikke muligt at optimere. Specifikt er problemet, at plader af metal, når de kommer under en vis tykkelse, let vil deformere. Dette er som sådan ikke et problem, når køretøjet er i drift, men det er ikke muligt at håndtere pladerne i produktionen uden at lave mærker og buler i dem.

I modsætning hertil er det en stor fordel at benytte kompositmaterialer, da disse ikke kan bules og de er derfor nemmere at håndtere i produktionen, selv i små godstykkelser.

Ved specielle kundeønsker har der tidligere været benyttet kappe i glasfiber på kemibiler. Disse har dog været i en stor godstykkelse, idet der i ADR direktivet foreskrives, at kompositkapper skal være minimum 2 mm, hvilket resulterer i en vægt på ca. 3 kg per kvadratmeter.

Udfordringen har derfor været at finde det lettest mulige kompositmateriale til formålet.

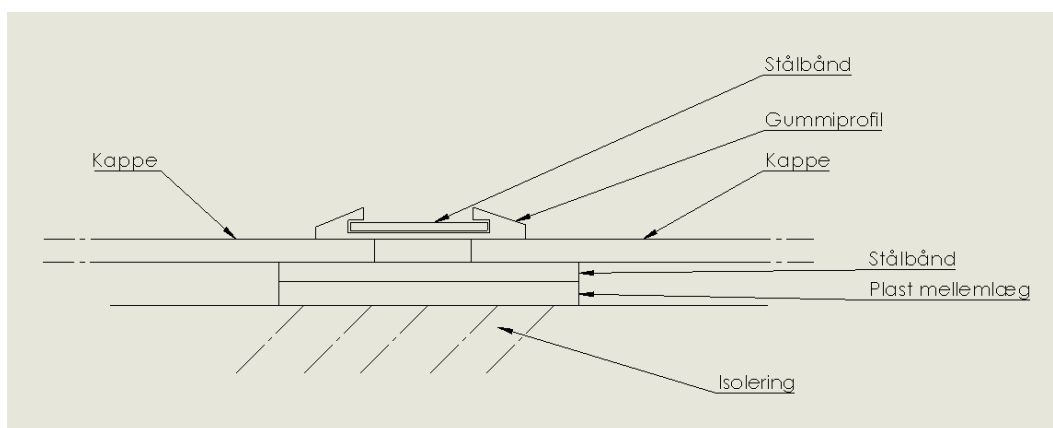
Kriterierne for valget har ud over vægt per kvadratmeter været, at det ikke må blive så tyndt, at det ikke kan håndteres uden skader i montagehallerne. Kappen fungerer som klimaskærm og det er derfor nødvendigt, at kappen er vandtæt og kan holde til Uv-stråling. Den mekaniske belastning på kappen er begrænset, idet den fastholdes på tanken med spændebånd.



BILLEDE 37
TESTMONTAGE AF KULFIBER KAPPE PÅ ISOLERET MÆLKETANK.

For at opnå den lavest mulige vægt er fokus flyttet fra glasfiber til kulfiber. Dette skyldes dels kulfiberens højere styrke og dels, at den i sig selv har en lavere massefylde end glasfiber.

Vigtigheden af massefylden skyldes, at der er en grænse for, hvor tynde kompositplader der kan fremstilles rentabelt af leverandøren. Valget er faldet på en kappe, der er 0,6 mm med armering af vævet kulfiber. Denne har en vægt på blot 1,01 kg per kvadratmeter.



BILLEDE 38
TVÆRSNIT AF TRADITIONEL OPBYGNING AF KAPPEBÅND.

I forbindelse med isoleringen benyttes der en række spændbånd til at fastholde kappen på tanken. Da disse i dag indeholder stålband, er det derfor oplagt at optimere på disse. Kappebåndene indeholder 2 stålband, som det ses på Billede 38. Det yderste bånd (øverst på billedet) er det synlige bånd efter montagen og er det bånd, der er trækbelastet for at fastholde kappen. Det inderste stålband er ikke synligt, men er traditionelt placeret mellem kappen og plast mellemlægget for at have noget at nitte båndet fast i. Nitterne i båndet er ikke belastede, men sættes i for at forhindre at båndene med tiden forskubber sig, så kappesamlingen bliver synlig. Der er foretaget test med nitninger direkte ind i plastmellemlægget og det er konstateret, at det er muligt helt at undvære det inderste bånd.

Det yderste bånd kan naturligvis ikke undværes og det er derfor undersøgt, om det i stedet kan erstattes med et bånd af kulfiber. Til dette formål klippes 60 mm brede bånd i det samme 0,6 mm kulfiber, som der benyttes til kappen. Styrkemæssigt er grundmaterialet tilstrækkeligt stærk, men der har været tvivl om, om bolte eller nittesamlinger i materialet vil få det til at flække under belastning. Der er derfor foretaget en grov træktest på materialet. Dette er gjort ved at nitte to 60 mm brede kulfiber bånd sammen med 2 nitter. Det er i denne forbindelse valgt at benytte nitter, da det vurderes lettere at rykke materialet i stykker end bolte, da bolte klemmer om et større areal. Testen førte til brud ved ca. 90 kg og det vurderes på den baggrund, at materialet er tilstrækkeligt stærkt til at benyttes som kappebånd. Det er dog valgt i det endelige design at erstatte nitterne med bolte for at forbedre sikkerheden.



BILLEDE 39
STYRKETEST AF KAPPEBÅND I KULFIBER KOMPOSIT.

Under testkørsel med prototypen vil der være fokus på at observere, om kappen ”blafrer” på grund af vindforholdene omkring tanken. Kappebåndene vil der være fokus på i forbindelse med vask af tanken. Dette skyldes, at tanken under vask opvarmes og derfor udvider sig. Dette vil øge spændingen i kappebåndene og der er derfor risiko for, at der i denne situation vil opstå revner i båndet.



BILLEDE 40

GLASFIBER ENDEBUND OG KAPPE SAMLET MED KULFIBER KAPPEBÅND.

Ændringen fra rustfast kappe til komposit kappe reducerer vægten per kvadratmeter med 4,5 kg og reducerer dermed vægten af kappen på prototypen fra 506 kg til 94 kg svarende til en reduktion på 81 %. Ændringerne på kappebåndene reducerer vægten af hvert bånd med 8,6 kg og med 11 kappebånd på prototypen reducerer det vægten med 95 kg.

3.10 Komposit låger

På tankbiler er der flere steder kabiner og skabe, som kan lukkes af med låger. På prototypen drejer det sig om de tre sideskabe og kabinen bag på tanken. Normalt fremstilles disse låger i rustfast plade og isoleres evt. på bagsiden, hvis der er ønske om det. Dette er f.eks. tilfældet ved kabinen bag på prototypen, som er åben ind til tanken og derfor er isoleret. I nogle tilfælde er disse låger i stedet fremstillet af kompositbelagt sandwichplade for at reducere vægten. Sandwich låger har dog den ulempe, at de udføres med en aluminiumskant. Dette er dels med til at forøge vægten, selv om de stadig er lettere end stållåger og dels gør det lågerne uegnede til fødevaretanke, da de rensesvæsker, der benyttes under vask, korroderer aluminiumskanten.

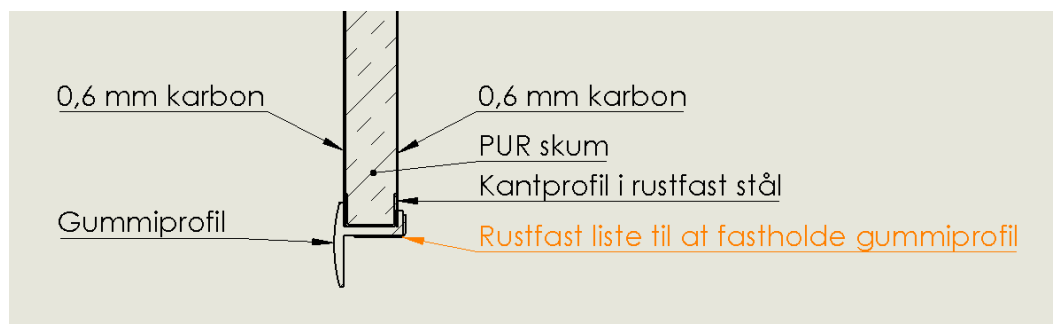
Der er derfor arbejdet på at finde en løsning, der både skal være lettere end komposit lågerne og samtidig ikke må indeholde aluminium. Løsningen er blevet selv at fremstille lågerne i en sandwichkonstruktion, der opfylder kravene.



BILLEDE 41
NYT LÅGEDESIGN I KOMPOSIT UDEN BRUG AF ALUMINIUM.

Den umiddelbare løsning baserede sig på et design, hvor kulfiber plade, af samme type som benyttet til kappen, limes på PUR skum og gummiprofilet, som sikrer, at lågen slutter tæt, limes på kanten. Dette blev dog fravalgt, da der er behov for at kunne udskifte gummiprofilet, hvis det bliver skadet.

Det endelige design indeholder derfor et kantprofil af rustfast stål, som benyttes til at nitte gummiprofilet fast i. Dette forøger vægten, men gør det brugbart i praksis. Kantprofilet og kulfiber pladerne limes fast til PUR pladen og giver derfor en meget stiv låge, der ikke kræver brug af yderligere stål for at være stiv nok.



BILLEDE 42
SNITTEGNING AF KOMPOSIT LÅGE.

Det nye design af lågen reducerer vægten med ca. 50 % sammenlignet med låger fremstillet i rustfast stål og giver en samlet vægtbesparelse på prototypen på 28,3 kg.

På den isolerede kabine i bagenden af tanken erstattes den udvendige rustfaste plade med en plade af kulfiber limet til isoleringen på samme måde, som det benyttes på lågerne. Dette giver yderligere en besparelse på 21 kg i sammenligning med en kabine inddækning fremstillet i rustfast plade.

3.11 Ophæng for vareskab

Afhængigt af hvilken typen tankvogn, der er tale om, udnyttes det ofte at montere nødvendigt ekstraudstyr i området mellem undervognen og støttebenene, hvor der under alle omstændigheder skal monteres cyklistværn. Udstyret, der monteres, kan f.eks. være vareskabe, reservehjul, skabe med udløbsrør, tryklufttanke, brandslukkere eller stopklodser. På prototypen er det valgt, at der skal monteres et vareskab, da dette er det mest typiske ekstraudstyr at montere, for at chaufføren har mulighed for at opbevare værktøjer, reservedele og lignende.

Typisk laves ophængen ved at forlænge vangen på undervognen, så den er lang nok til at montere det ønskede udstyr på. Dette er dog en tung løsning, da vangens profil er tilpasset efter at holde til belastningerne fra luftbælge, fjederkonsoller og tankkonsoller. Vangens profil er derfor meget overdimensioneret i forhold til f.eks. at bære et vareskab, der inkl. indhold maksimalt vejer 80 kg.

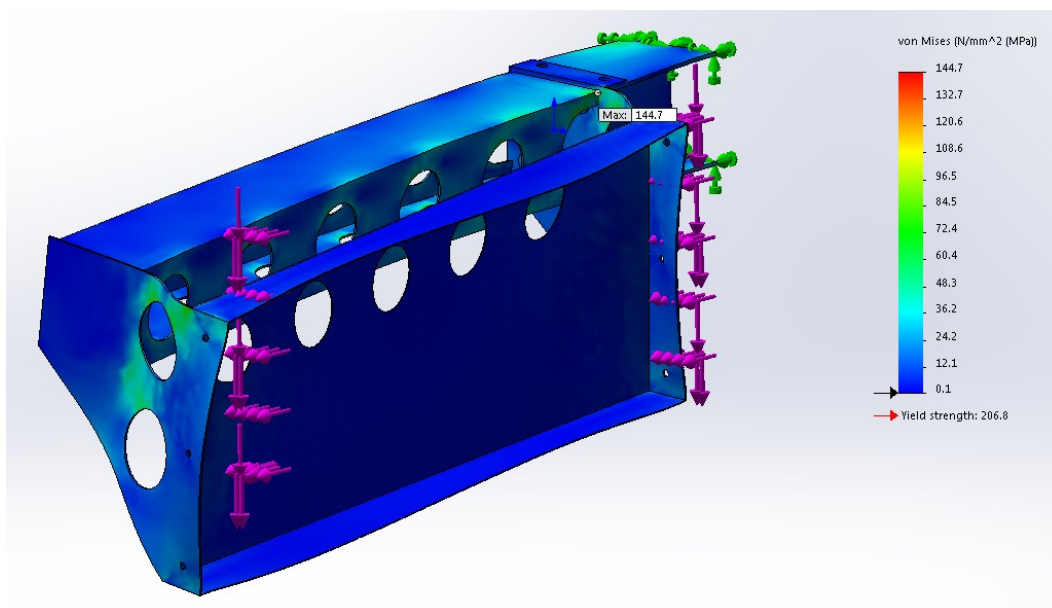
Udgangspunktet for optimeringen er, at der i forenden af undervognens vange afsluttes med en bolteflange. Dette muliggør, at der i denne flange kan monteres det ønskede udstyr og at man fra flangen og frem har mulighed for at vælge en konstruktion, der modsvarer vægten af det udstyr, der skal monteres. Flangen erstatter undervognens vange, som med dimensionerne 120x120 i 6 mm tykkelse vejer 26,3 kg per meter.



BILLEDE 43

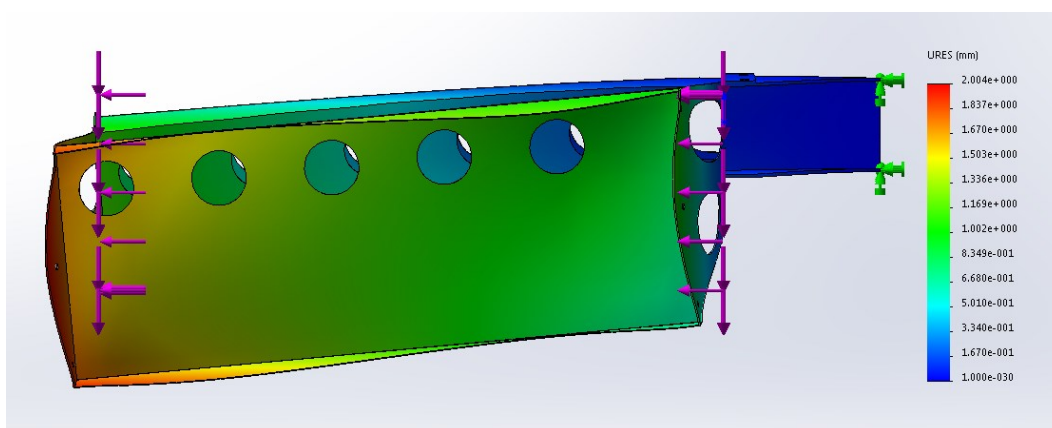
VARESKAB MONTERET MED DET NYE OPHÆNG. I MODSATTE SIDE SES FLANGEN, SOM HER ER BENYTTET TIL MONTAGE AF CYKLISTVÆRNET.

Skabet, der skal monteres, er 800x500x500 mm og vejer 30 kg. Dertil kommer, at det forventes, at der i skabet placeres op til 50 kg udstyr. Der er derfor foretaget simuleringer af ophængen for at minimere vægten, idet det stadig kan holde de 80 kg, som skabet med indhold vejer. Designet er baseret på et profilrør i dimensionerne 120 x 120 mm, men med en reduceret godstykkelse og med udskæringer for at reducere vægten. Da det ikke er muligt at købe profilrør i så tynde tykkelser, som er nødvendige og for at kunne lave de nødvendige udskæringer, bukes og svejdes røret i stedet af rustfast stålplade.



BILLEDE 44

SIMULERING AF SKABSOPHÆNG. BELASTNINGEN SVARER TIL 80 KG SKAB MED INDHOLD. DERTIL ER DER LAGT EN BELASTNING PÅ 300 N LANGSGÅENDE FOR AT GIVE EN INDIKATION PÅ OPHÆNGETS EVNE TIL AT OVERFØRE BREMSEKRÆFTER TIL SKABET.

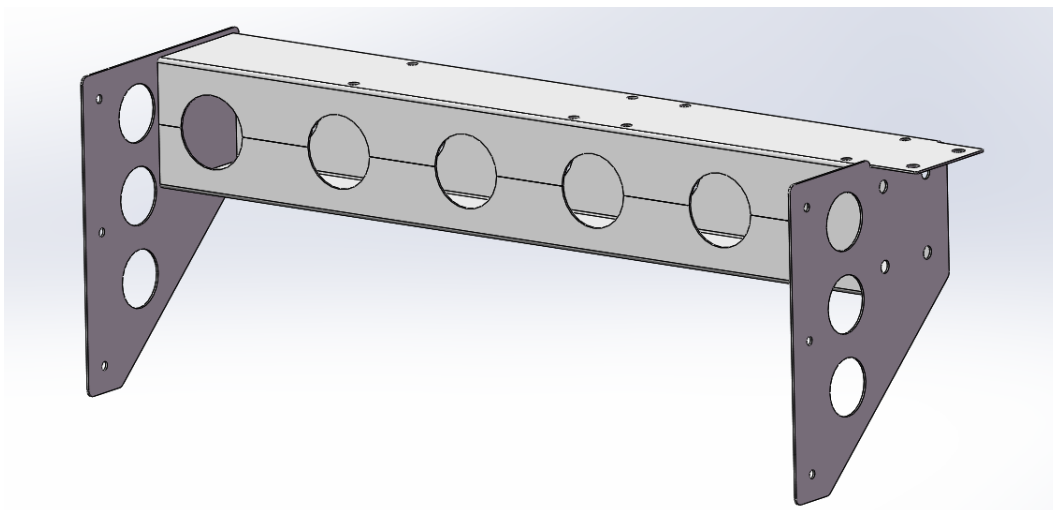


BILLEDE 45

SIMULERING AF NEDBØJNING AF SKABSOPHÆNG. BELASTNINGERNE ER DE SAMME SOM BILLEDE 44.

Simuleringerne af ophænget viser, at den maksimale spænding er 144 N/mm² og opstår i et enkelt punkt. Dette er højt sammenlignet med rustfast ståls flydespænding på 230 N/mm². Det vurderes dog, at ændringer i produktionsdesignet sammenlignet med parten, der er simuleret på, reducerer spændingen tilstrækkeligt til, at det ikke udgør et problem.

Et vigtigt parameter ved skabsophænget er, at det ikke blot skal kunne holde til belastningen, det skal også opleves som værende stærkt af brugeren. Det er derfor vigtigt, at skabet ikke nedbøjer meget, når det belastes. Som det ses af Billede 45, er maksimal nedbøjning 2 mm. Dette er dog i det inderste hjørne af skabet og da ophænget vrider under belastningen, må det forventes, at det yderste hjørne vil nedbøje ca. 3-4 mm. Dette vurderes at være acceptabelt.



BILLEDE 46
PRODUKTIONSDESIGN AF SKABSOPHÆNG.

I det nye design vejer skabsophænget 6,6 kg, en reduktion på 21 kg sammenlignet med det tidligere design, der vejede 27,6 kg for profilrør og boltebeslag for skabet. Dertil kommer, at det nye design, prismæssigt, er konkurrencedygtigt med det nuværende design.

3.12 Diverse mindre komponenter

I det følgende beskrives kort en række mindre optimeringer, som er foretaget på små komponenter. Disse er komponenter, som med stor sikkerhed vil nå i produktion, men da vægtbesparelsen er begrænset, vil deres implementering i højere grad afhænge af deres brugbarhed i produktionen.

3.12.1 Skråstivere til støtteben

Støttebenene på en semitrailer benyttes, når traileren stilles fra, f.eks. hvis trækkeren skal på værksted eller køre med en anden semitrailer. Til prototypen er det valgt at montere støtteben, som kan holde til, at semitraileren stilles fra med fuld last, i hvilket fald støttebenene vil blive belastet med op til 24 Ton. Tanken er designet til at skulle kunne holde til denne belastning, men er dog lavet med en let konsol, som ikke er tiltænkt en trailer, der på daglig basis stilles fra med last. I så fald vil man vælge en stærkere konsol.



BILLEDE 47

SKRÅSTIVERE TIL STØTTEBEN. DET SAMME GRUNDLÆGGENDE DESIGN BENYTTES VED ALLE FEM STIVERE.

Støttebenene optager uproblematisk de lodrette kræfter, de belastes med. Skråstivernes formål er at bidrage til at optage horisontale kræfter. Disse kan påvirke semitraileren sidelæns, hvis underlaget ikke er helt vandret. Den primære belastning forventes dog at opstå, når en trækker bakker til for at koble på semitraileren. I disse tilfælde opstår der ofte en situation, hvor trækkeren skubber semitraileren baglæns mens den stadig står på støttebenene. Vurderingen er derfor, at den primære belastning på støttebenene vil være trækkræfter og skråstiverne designs derfor efter dette.

Det nuværende design er baseret på, at der på den enkelte tank opmåles afstanden mellem boltehullerne hvorefter et rør savs af, trykkes fladt i enderne og huller bores igennem i de nu flade ender. Herefter er stiveren klar til montage på tanken.

Skråstiverne fremstilles som to u-profiler, der lægges inde i hinanden, den ene med 2 boltehuller og den anden med en aflang udskæring. Den ene bolt monteres gennem det ene hul og udskæringen. Ved det andet hul bores der igennem det andet u-profil og herefter monteres bolt nummer to. Dette giver en hurtig fremstillingsproces og et mindre materialeforbrug, med deraf følgende lavere vægt, end ved det nuværende design. Ydermere er det en fleksibel løsning hvor skråstiverne kan færdigproduceres og leveres til montagehallen, hvor kun det sidste montagehul skal bores. Vægtbesparselsen på skråstiverne er begrænset, men det giver dog en reduktion fra 22,3 kg til 15,8 kg svarende til en reduktion på 29 % på prototypen.

3.12.2 Rørholdere til skærme

Som standart benyttes der ved VM Tarm plast skærme med indbyggede stænklapper. Disse er af et nyere design med integrerede beslag og det vurderes, at det ikke vil være muligt at reducere vægten på disse. Ophænget til skærmene vurderes det dog, at der kan optimeres på. Den nuværende løsning er at svejse 1 1/4" standartrør på profilrørsundervognen som bæring til skærmene. Grundet den store godstykkelse er dette en tung løsning. Ydermere er løsningen, selv om den forekommer enkel, tidskrævende i design og produktion. I designfasen skyldes dette, at placeringen af røret skal beregnes for hver enkel bil med deraf følgende tidsforbrug. I produktionsfasen bliver løsningen dyr, da rørene ofte skal rettes til, hvilket ofte fører til, at røret må skæres af og svejdes på igen, hvilket også medfører, at de svejste områder skal bejdses igen.



BILLEDE 48
SKÆRMHOLDERE, SOM DE NORMALT UDFØRES VED VM TARM.

Det nye design er stadig baseret på rustfaste stålrør, men godstykkelsen er reduceret fra 3,25 mm til 1,5 mm. Simuleringer har vist, at tykkelsen reelt kan reduceres til 1 mm, men da det ikke været muligt at skaffe rør i denne dimension og da der skal svejses på rørene, er det valgt at acceptere godstykkelsen på 1,5 mm. I stedet for at svejse rørene fast som tidligere, benyttes der et beslag af plast, som boltes på undervognen. Dette beslag, kombineret med et forsat rør, muliggør, at røret kan drejes og skærmen er derfor justerbar i produktionen. Dette sparer både omkostninger til at tilpasse rørene i produktionen og der fjerner behovet for at beregne placeringen specifikt for hver enkel tankvogn.



BILLEDE 49
SKÆRMHOLDERE I OPTIMERET DESIGN PÅ PROTOTYPEN.

Ændringen af skærmophængene reducerer vægten per ophæng fra 1,6 kg til 1,25 kg. På prototypen reducerer dette vægten med totalt 5,6 kg.

3.12.3 Holdere til slangerør

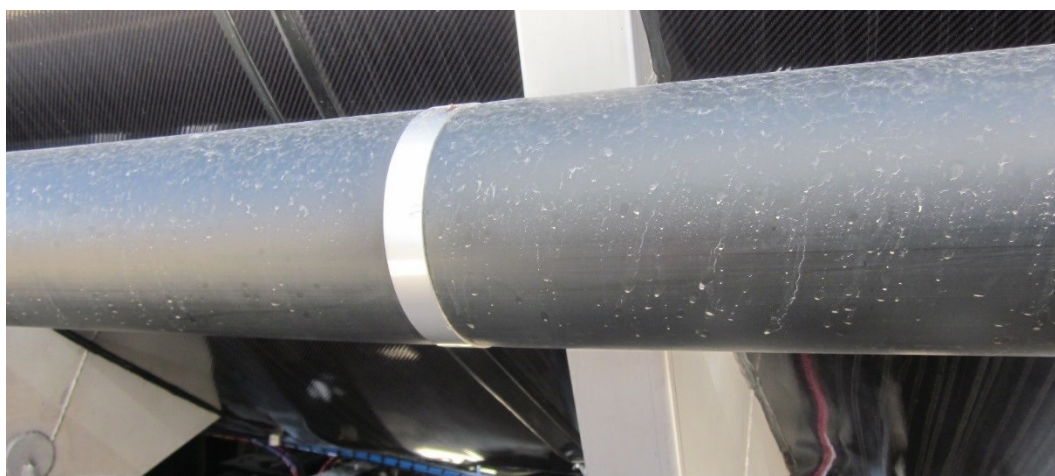
Som ekstraudstyr monteres der, på de fleste tankvogne, slangerør eller slangebakker til at opbevare de slanger, der benyttes til tømning og fyldning af tanken. På prototypen er det besluttet, at der monteres 2 stk. slangerør, et i hver side. Slangerøret i sig selv er der sparet 5 kg på per stk. ved at vælge tyndere rør, der er fremstillet specielt til at bruges som slangerør. Da der er tale om et standard produkt, beskrives denne optimering ikke yderligere.

Til at montere slangerørene benyttes der i dag et beslag fremstillet af rustfast stål. Beslaget er lavet sådan, at det kan monteres enten direkte på tankens kappebånd eller på et profilrør, der svejdes på tankens konsoller.



BILLEDE 50
GAMMELT DESIGN AF SLANGERØRSHOLDEREN.

Det vurderes, at det nuværende beslag er overdimensioneret og der er derfor udviklet en lettere model til prototypen. Denne model er i modsætning til den eksisterende baseret på, at beslaget monteres direkte på konsollen. Beslaget er i denne forbindelse også lavet justerbart sådan, at små afvigelser i placeringen af beslagene kan udlignes ved montage af slangerøret.



BILLEDE 51
NYT SLANGERØRSBESLAG



BILLEDE 52
NYT SLANGERØRSBESLAG.

Det nye beslag vejer 0,3 kg per stk. sammenlignet med det gamle beslags vægt på 0,6 kg per stk. På prototypen er der monteret 10 beslag, hvorfor besparelsen bliver 3 kg. Dette er dog forudsat, at det gamle beslag benyttes uden profilrørholder. I modsat fald vil besparelsen være yderligere ca. 18 kg.

3.12.4 Ledningsrør i plast

På semitrailere tilsluttes der el til lys og bremsestyring og trykluft til affjedring og bremses. Alle disse tilslutninger placeres på tankens forreste endebund, men alle ledninger og slanger skal forbindes til semitrailerens undervogn i bag. Dette gøres normalt i et rustfast rør, der monteres langs semitrailerens side. Vægten af røret vil naturligvis afhænge af semitrailerens længde, men på prototypen vil dette rør veje 17 kg. Ved at erstatte stålrøret med et rør i plast reduceres vægten til 5 kg og giver derfor en besparelse på 12 kg. Herfra skal dog trækkes, at der er behov for at fastgøre røret flere steder end hvis der blev benyttet stålrør, idet plastrøret er mindre stift end stålrør og derfor vil have en tendens til at "hænge" mellem fastgørelserne.

4. Fravalgte optimeringer

I det følgende beskrives en række vægtoptimeringer som er undersøgt, men af forskellige årsager, ikke er blevet implementeret på prototypen.

4.1 Komposit undervogn

Tidligt i projektet blev der undersøgt mere radikale ændringer til måden, undervognen fremstilles på. Den mest radikale med hensyn til materialevalg fokuserede på muligheden for at fremstille undervognen i glasfiber. Undersøgelserne heraf førte til et kortvarigt samarbejde med Bach Composite Industry, som har erfaring i at designe og dimensionere bærende konstruktioner i komposit materialer.

En nærmere undersøgelse foretaget af Bach Composite Industry ledte dog til den konklusion, at det i forbindelse med indeværende projekt ikke ville være muligt at nå frem til et godt resultat. Dette skyldes primært, at det blev vurderet at være meget omfangsrigt at designe en sådan undervogn i komposit samt det grundlæggende vilkår, at kompositproduktion som udgangspunkt foretages på baggrund af støbeforme, som dels vil være omfangsrig og som dels ikke vil kunne forventes at tilbyde den grad af fleksibilitet i produktets udformning, der vil være nødvendig. Der er dog fundet eksempler på, at det er muligt, blandt andet to forskellige projekter i England; Cleanmould og Roadlite. Ingen af disse projekter er dog blevet kommercialiseret siden deres afslutning i henholdsvis 2010 og 2009.

4.2 Undervogn uden ramme

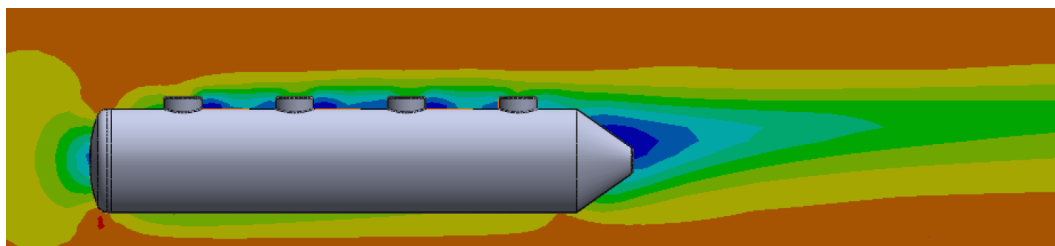
Et andet koncept, der er undersøgt som radikalt ville ændre måden, undervognen bygges på, er en idé, der grundlæggende fjerner undervognen som en sammenhængende ramme. I stedet skal færdige enheder, bestående af fjerderbukke og travers, boltes direkte til tankens konsoller. Baggrunden for at undersøge muligheden for at undvære undervognsrammen er et det gennem simuleringer af undervognen er blevet tydeligt, at det vil være muligt at placere konsollerne på en sådan måde i forhold til akslerne, at både de kræfter, der påvirker konsollet ved almindelig belastning og ved opbremsninger, kan opveje hinanden omkring den enkelte konsol.

Simuleringer har dog vist, at det ved konsollen foran den forreste aksel ikke vil være muligt at balancere kræfterne fra opbremsninger, da der her mangler bælgebekæmpelsen fra akslen foran konsollen, som naturligvis er fraværende ved den forreste konsol. Yderligere vil det ved denne konstruktion ikke være muligt at optage de kræfter, der påvirker undervognen ved vending på stedet, som beskrevet i afsnittet omhandlerende undervognsrammen, hvorfor denne løsningsmodel er blevet fravalgt.

4.3 Forbedring af aerodynamik

Med fokus på at reducere miljøbelastningen fra transportsektoren er der ud over vægtbesparelser, som medvirker til både lavere miljøbelastning og forbedret økonomi for vognmanden, mange optimeringsmuligheder, der retter sig mod at forbedre semitrailerens aerodynamik. Der har derfor undervejs i projektet været fokus på, hvordan aerodynamikken kan forbedres. Dette har blandt

andet været undersøgt gennem samarbejde med Århus Universitet, hvorfra to studerende Dannie Lauridsen og Steffan Roer har undersøgt mulighederne for at optimere aerodynamikken.



BILLEDE 53

ILLUSTRATION AF CFD SIMULERING AF AERODYNAMIST OPTIMERET TANK. BEMÆRK, AT DER OGSÅ BAG HVER ENKELT SPILDKASSE OPSTÅR ET LAVTRYKSOMRÅDE, DER ØGER TANKENS VINDMODSTAND.

Gennem CFD flowsimuleringer og gennemgang af eksisterende materiale konkluderede de, at det ville være muligt at reducere brændstof forbruget ved at modificere tankvognen i retning af at reducere dets aerodynamiske drag. Dette gøres ved at ændre udformningen af tankvognens bagende, så der ikke opbygges et så stort undertryk, som det er tilfældet i dag.

Det er på prototypetanken fravalgt at ændre tankens bagende. Dette er valgt, da en ændring af bagenden vil forøge vægten og en del af den potentielle brændstofbesparelse vil derfor tabes grundet den lavere nyttelast. Ligeledes må en modificeret bagende forventes at være dyrere end den standard glasfiber endebund, der benyttes i dag, hvorfor også det økonomiske aspekt taler mod at foretage denne ændring. Af samme årsag er andre forbedringer af aerodynamikken, som f.eks. inddækning af dæksider og vindafvisere foran undervognen, fravalgt.



BILLEDE 54

PROTOTYPE FØR TESTKØRSLER. BEMÆRK TANKENS OVERFLADE, SOM PÅ TOPPEN OG TANKENS SIDER KUN BRYDES AF DE SMÅ SPILDKASSER PÅ TANKENS TOP, SOM INDEHOLDER DIVERSE VENTILER.

Tilbage er dog to forbedringer af aerodynamikken, som er gennemført. Den primære er her valgt af sidemanddæksler frem for traditionelle mandedæksler på toppen af tanken. Dette fjerner de store ø850 mm spildkasser fra tanktoppen, ligesom det fjerner gangbroen og stigen. Disse komponenter bidrager normalt til det aerodynamiske drag. Ligeledes er det valgt, at alle rør på tankens sider og top er lagt ind under kappen. Dette gør, at tanken har en "ren" overflade, hvor der ikke er komponenter, der bidrager til at skabe turbulens langs tankens overflade.

4.4 Endebunde og skvulpeskot i højstyrkestål

På prototypen er mellembundene fremstillet i duplex stål for at reducere godstykkelsen. På samme måde er det forsøgt at reducere godstykkelsen af endebunde og skvulpeskot. Her har det oprindelige mål været at reducere godstykkelsen fra 4 mm til 3 mm på endebundene og fra 3,5 mm til 2,5 mm. Disse reduktioner er vurderet til at kunne holde til belastningen. For endebundene er der beregnet i henhold til PED direktivet og for skvulpeskottene er vurderingen foretaget på samme vis som i afsnit 3.5 omhandlende optimeringen af skvulpeskottene.

Endebundene blev dog tidligt i processen udelukket, da det fra leverandøren blev udelukket, at det ville være muligt at producere bundene i denne godstykkelse i duplex stål. At denne beslutning var korrekt, blev senere bekræftet af de udfordringer, der opstod i forbindelse med produktionen af mellembundene.

For skvulpeskottene var det oprindelige mål at reducere godstykkelsen fra 3,5 mm rustfast stål til 2,5 mm duplex stål og lave større udskæringer i dem, som tidligere beskrevet. Reduktionen blev dog hurtigt ændret til 3 mm, da det ikke var muligt at skaffe duplex plade i 2,5 mm.

Under produktionen af bundene opstod der problemer, idet det ikke var muligt at rulle skottene op. Årsagen til dette formodes at være indre spændinger i pladen, kombineret med duplex ståls høje ”spring back”, der giver problemer. Resultatet af forsøgene ses i illustrationen herunder.



BILLEDE 55
DUPLIX PLADER EFTER FORSØG PÅ FREMSTILLING AF SKVULPEKOT. BEMÆRK DE STORE BULER MIDT PÅ PLADEN.

På baggrund af disse problemer er det valgt, at endebunde og skvulpeskot fremstillet i duplex stål ikke indgår i prototypen. Mellembundene er fremstillet med en højere godstykkelse, da de skal kunne modstå udvendigt tryk og denne forskel muliggør produktionen.

4.5 ADR tank i reduceret godstykkelse

Gennem projektet er der foretaget undersøgelser af produkterne på det amerikanske marked for at undersøge, om der benyttes komponenter eller konstruktionsprincipper, der kan benyttes til at reducere vægten. Gennem denne undersøgelse fik vi kendskab til, at det på det amerikanske marked er muligt at få tilladelse til at producere tanke til farligt gods i duplex med reduceret godstykkelse, i modsætning til de europæiske regler, hvor der er en specificeret minimums godstykkelse, som er uafhængig af beregninger på styrken af den specifikke tank.

Dette tillader konstruktion af tanke med godstykkelser ned til 2,3 mm, hvor den nedre grænse i ADR direktivet foreskriver en minimums godstykkelse på 3 mm. Med en lignende undtagelse i

Europa ville det derfor være muligt at reducere vægten af tanke til farlig gods. Det er dog vurderet, at en proces i retning af at ændre disse regler ligger langt uden for hvad der kan gennemføres i dette projekt, blandt andet fordi reglerne for ADR er fælleseuropæiske og det derfor må forventes at være en langstrakt proces at ændre på disse.

5. Resultat af optimeringer

I det følgende præsenteres den færdige prototype semitrailer og de opnåede vægtbesparelser opsummeres.

5.1 Prototypen

Prototypen er færdigmonteret i april 2014 og lever til fulde op til specifikationerne angivet i beskrivelsen af udgangspunktet for optimeringen. Tanken er inddelt i tre rum på henholdsvis 19.000 L, 7.500 L og 15.000 L. Totalvægten for den færdige semitrailer endte på 6888,7 kg. Dette vurderes at være rigtig godt sammenholdt med projektets målsætning om at reducere vægten til 8.062 kg.



BILLEDE 56

PROTOTYPEN EFTER ENDT MONTAGE. BEMÆRK OVERFLADEN PÅ TANKEN, DER ER FRI FOR UDVENDIGT UDSKYR SOM FORØGER VINDMODSTANDEN.

Tankvognen er godkendt som PED tank og er synet som en almindelig semitrailer og er derfor godkendt til kørsel på offentlig vej. På de følgende sider ses den færdige prototype, inden testfasen starter.



BILLEDE 57
 PROTOTYPENS VENSTRE SIDE. BEMÆRK KULFIBER KAPPE, SKABE MED SIDEMANDEDÆKSLER, VARESKAB MED OPHÆNG, SLANGERØR MED OPHÆNG, DÆK I REDUCERET DIAMETER, SPECIALFÆLGE TIL REDUCERET NAVSTØRRELSE, KOMPOSITTTANK TIL TRYKLUF TIL OG LEDNINGSRØR I SORT PLAST.



BILLEDE 58
 PROTOTYPENS HØJRE SIDE. BEMÆRK ALUMINIUMS STØTTEBEN, VÆGTOPTIMERET STØTTEBENSKONSOL OG SKRÅSTIVERE FOR STØTTEBEN.



BILLEDE 59
PROTOTYPENS HØJRE SIDE. BEMÆRK UNDERVOGNSRAMME OG SKÆRMOPHÆNG.



BILLEDE 60

KABINESKAB. I BUNDEN SES UDLØBSMANIFOLD. I HØJRE SIDE SES TILSLUTNINGEN TIL CIP AF TANKEN. ØVERST SES MONTAGEBOKSE INDEHOLDENDE STYRINGEN OG TRYKLUF TIL KOMPONENTER.



BILLEDE 61

PROTOTYPEN SET BAGFRA. BEMÆRK LÅGEN I KULFIBER, VÆGTOPTIMEREDE SKÆRMOPHÆNG OG KONSOLLERNE MED FORSTÆRKNINGER, DER STØTTER PÅ KROPPEN I UNDERVOGNS I-BJÆLKE.

5.2 Oversigt over vægtbesparelser

I tabellen nedenfor opsummeres de opnåede vægtreduktioner på prototypen.

Komponent	Vægtreduktion
Undervognsramme	358 Kg.
Undervognskomponenter	587,4 Kg.
Tanksvøb	624 Kg.
Mellembunde	80 Kg.
Skvulpeskot	55,2 Kg.

Konsoller og forstærkningsringe	230	Kg.
Kongetap	56	Kg.
Sidemandedæksler	68,5	Kg.
Isolering og inddækning	507	Kg.
Komposit låger og kabine inddækning	49,3	Kg.
Ophæng til vareskab	21	Kg.
Skråstivere til støtteben	6,5	Kg.
Rørholdere til skærme	5,6	Kg.
Holdere til slangerør og slangerør	12,8	Kg.
Ledningsrør	12	Kg.
Total vægtreduktion	2673,3	Kg.

TABEL 2
OVERSIGT OVER DEN SAMLEDE VÆGTREDUKTION IMPLEMENTERET PÅ PROTOTYPEN.

Generelt for de fleste af optimeringerne gælder, at vægtbesparelsen er opnået ved at ændre materialevalget i retning af højere styrke og i den forbindelse re-designe konstruktionerne for bedre at fordele belastningerne i materialet. Dette er specielt tydeligt i undervognsrammen, hvor I-bjælken fordeler kræfterne meget bedre i materialet, end det er tilfældet for den eksisterende undervogn bygget op omkring profilrør. En anden metode, der har bidraget med store reduktioner, er en mere kritisk tilgang til valg af indkøbte komponenter, hvor vægt opprioriteres i forhold til pris, leveringstid og tilgængelighed.

De samlede vægtbesparelser på 2673,3 kg svarer til en reduktion af tanktrailerens vægt med 28% og betragtes som værende meget tilfredsstillende sammenholdt med målsætningen om en reduktion på 1500 kg.

Grupperes optimeringerne efter metoden, de er opnået ved, fordeles det sig således:

Benyttet metode	Vægtreduktion	
Re-designet i højstyrkestål	414	Kg.
Re-designet i duplex stål	989,2	Kg.
Design baseret på kulfiber komposit	556,3	Kg.
Indkøb af lettere komponenter	667,9	Kg.
Diverse herunder optimering med Finite Element Analysis	45,9	Kg.
Total	2673,3	Kg.

TABEL 3
VÆGTREDUKTIONER FORDELT EFTER METODE.

Med udgangspunkt i denne fordeling ses det tydeligt, at optimeringen af tankvogne i retning af lavere vægt i høj grad er bundet op på at udvikle materialevalget i retning af at benytte nyere materialer, der kan belastes hårdere end de traditionelle materialer.

6. Rentabilitet

I forhold til projektets målsætning om at reducere semitrailerens egenvægt er det springende punkt, i hvilket omfang det vil være rentabelt at implementere de realiserede besparelser i praksis. Dette kan i høj grad besvares gennem en estimering af prisen per sparet kilo for de enkelte vægtreduktioner. En lavere pris per sparet kilo vil lede til en kortere tilbagebetalingspris for ejeren af køretøjet.

Der er dog en række forhold, der spiller ind på den direkte forbindelse mellem prisen for vægtbesparelsen og tilbagebetalingstiden. Det primære er her levetiden for de valgte optimeringer. Dette er specielt kritisk, da en stor del af besparelserne er opnået ved at ændre materialevalget og der vil derfor være et naturligt fokus på, om disse materialer vil kunne holde den nødvendige levetid, der sikrer rentabiliteten af investeringen. Dertil kommer, at transportbranchen generelt er konservativ i forhold til nye teknologier, hvorfor det må forventes, at optimeringerne skal være i drift igennem en årrække, før kunderne generelt betragter dem som værende sikre at investere i ved nyanskaffelser af materiel.

Der er i forbindelse med gennemførslen af projektet ikke beregnet forventet produktionspris på de enkelte optimeringer og de produktionstider og materialepriser, der er realiseret i forbindelse med fremstillingen af prototypen, forventes ikke at være repræsentative for en implementering, da en del af udviklingen er foregået sideløbende med produktionen. Materialeforbrug og produktionstider dækker derfor ofte over, at komponenter er fremstillet flere gange for at opnå det ønskede resultat og at der undervejs i produktionen har været behov for at udvikle nye processer. Dette gælder f.eks. komposit lågerne, hvor der undervejs i processen blev afprøvet forskellige typer lim for at finde frem til en limtype, der var kompatibel både med kompositmaterialet, Pur isoleringen og de indlagte rustfaste ståldele. Der vil derfor ikke være specifikke beregninger af rentabiliteten af de enkelte optimeringer, men i det følgende præsenteres estimer af rentabiliteten. Disse tager udgangspunkt i hvilken metode, der er benyttet til at opnå besparelsen, da denne er retningsgivende for omkostningerne.

For vægtbesparelserne opnået ved at re-designe og skifte til højstyrkestål gælder det, at de forventes at kunne implementeres med uændret eller reduceret kostpris i forhold til det nuværende design. Dette skyldes, at der ud over en stor reduktion i materialeforbruget skiftes til et materiale, der koster ca. det halve sammenlignet med rustfast stål. Dette er dog ikke en sikker indikation af, at kunderne vil vælge denne løsning. Dette skyldes skiftet væk fra rustfaste materialer, som må forventes at blive opfattet som en dårligere kvalitet af nogle kunder. Derudover må det forventes, at undervognen, på trods af en eventuel galvanisering, må forventes ikke at kunne holde helt lige så længe, som det nuværende design i rustfast stål.

For vægtbesparelserne opnået ved re-design i duplex stål forventes det, at implementering vil være mulig med en begrænset stigning i pris til følge. Denne vurdering er på baggrund af en antagelse om, at konstruktionen vil have samme levetid som en traditionel tankvogn, idet korrosionsegenskaberne for duplex er bedre end for både syrefast og rustfast stål, og idet det antages at tankvognen ikke vil blive ramt af træthedsbrud tidligere end en almindelig tank. Prisen per sparet kilo vil dog variere meget afhængig af, om den erstatter syrefast eller rustfast stål. Duplex stål koster med de nuværende legeringspriser ca. det dobbelte af almindeligt rustfast stål og ca. 40% mere end syrefast stål. Ved at skifte til duplex reduceres materialeforbruget 30-40% og der vil

derfor vær tale om en stigning i materialeomkostninger ved skift fra rustfast og en lille reduktion af materialeomkostningerne ved skift fra syrefast. Dertil kommer, at produktionen i duplex er mere tidskrævende i produktion. Denne meromkostning forventes at kunne nedbringes betydeligt i sammenligning med fremstillingen af prototypen, men ikke elimineres. Ses der bort fra det forøgede timeforbrug og fokuseres der på materialeomkostningerne, vil skiftet fra 3 mm rustfast svøb til 2 mm duplex svøb, som er et af de dårligste scenarier, se ud som følger:

Materialetype	Materiale per m ² i kg.	Ca. pris per kg	Pris per m ²
Rustfast stål 3 mm	24	18	432
Duplex stål 2 mm	16	36	576
Difference	8		144

TABEL 4
MATERIALEOMKOSTNINGER PER M² SVØB VED SKIFT FRA RUSTFAST STÅL TIL DUPLEX STÅL.

Som det fremgår af Tabel 4, vil omkostningen være ca. 144 kr. per m² svøb, svarende til 18 kr. per kilo, sparet. Dette vurderes at være en lav pris for at reducere vægten af en semitrailer og selv om prisen er opgivet i kostpriser, hvorfor prisen per sparet kilo vil være højere for køberen, forventes prisen at være på et niveau, hvor tilbagebetalingstiden vil være under ét år. Ved skift fra syrefast stål eller ved skift, hvor reduktionen i godstykkelsen er højere end 33% som forudsat ovenfor, vil prisen per sparet kilo være lavere.

Vægtbesparelserne opnået ved brug af kulfiber er, i modsætning til optimeringerne ved overgang til alternative ståltyper, meget dyre grundet en høj materialepris. Vurderes der udelukkende på materialeomkostningerne, er kostprisen ca. 95 kr. per sparet kilo, hvilket er iblandt de dyreste kilo på semitraileren. Ved udskiftning af den rustfaste kappe med kulfiber vil investeringen kunne tjene sig hjem for vognmanden inden for semitrailerens levetid. Antages der f.eks. en årlig omsætning per kg nyttelast på 30 kr., hvilket vurderes at være lavt sat, vil investeringen have tjent sig hjem på under 4 år. I modsætning til ændringerne af ståltyper, som ikke forventes at reducere levetiden betydeligt, er der en større usikkerhed vedrørende kulfiber kappens levetid. Leverandøren af kulfiber pladerne kender ikke til lignende anvendelse af materialet og der er derfor ikke et umiddelbart sammenligningsgrundlag. Rentabiliteten af implementeringen vil derfor i høj grad afhænge af resultaterne af testkørslen med prototypen over de kommende år.

Ved implementering af kulfiber kappe vil en mindre del af de forøgede materialeomkostninger dog kunne opvejes af reducerede omkostninger under produktionen. Dette skyldes, at kulfiber kappe grundet dets betydeligt lavere vægt, sammenlignet med stål, er lettere at håndtere og at det ikke risikerer at blive bulet under håndteringen, hvilket ofte sker ved brug af rustfast stålkappe. Disse besparelser forventes dog at være i en størrelsesorden, hvor det kun har begrænset indvirkning på rentabiliteten.

På trods af den høje materialepris for kulfiber kappen forventes det, at brugen af kompositmaterialer som kappe vil blive mere udbredt. Dette er allerede sket, idet der sideløbende med gennemførelsen af projektet er sket en betydelig stigning i antallet af tanktrailere fra VM Tarm, som leveres med komposit kappe. Disse leveres dog ikke med kulfiber kappe, men i stedet med glasfiber kappe. I modsætning til kulfiber er komposit fremstillet af glasfiber betydeligt billigere og prisen per kvadratmeter er i ca. samme niveau som den rustfaste kappe, der benyttes i dag. Glasfiber er ikke lige så stærkt som kulfiber og den type glasfiber kappe, der benyttes, er derfor både tykkere og tungere end den kulfiber kappe, der er benyttet på prototypen. Det vurderes dog, at tykkelsen kan reduceres, med begrænset indvirkning på levetiden som følge. Den tyndeste glasfiber kappe, der på nuværende tidspunkt benyttes, vejer 2,4 kg, men det forventes at dette kan reduceres

yderligere. Det er derfor muligt at opnå en stor del af vægtbesparelsen, med begrænsede omkostninger, ved at benytte glasfiber i stedet for kulfiber som på prototypen.

Vægtbesparelserne, opnået ved at vælge lettere komponenter, varierer meget i pris. Visse ændringer, som f.eks. valg af mindre bremses har en beskeden positiv indvirkning økonomisk. Andre f.eks. aluminiums støtteben har en merpris på ca. 92 kroner per sparet kilo. Generelt er det dog gældende for de fleste kilo sparet på indkøbte komponenter, at de er omkostningsneutrale. Der vil dog være en tendens til, at produkter, der er nye på markedet, har en høj introduktionspris. Dette gælder bl.a. for støttebenene, som endnu ikke er blevet lagervare hos leverandøren.

For de mindre komponenter som f.eks. skabsophæng, slangerørsophæng og skråstivere til støtteben, som er optimeret gennem FEA, afhænger rentabiliteten i høj grad af, om komponenten kan benyttes i større styktal på tværs af segmenterne og af om komponenten kan fremstilles hensigtsmæssigt i forhold til de løsninger, der benyttes i dag. Dette skyldes, at designprocessen er tidskrævende og løsningen skal derfor benyttes i et vis antal, før det retfærdiggør de ekstra omkostninger i designprocessen.

På baggrund af estimerne gennemgået herover er den samlede vurdering, at størstedelen af vægtreduktionerne vil kunne implementeres på en sådan måde, at tilbagebetalingstiden for prisforøgelsen vil være acceptabel for en stor andel af de potentielle kunder. Enkelte vægtreduktioner falder dog igennem med en for høj omkostning per sparet kilo. Konkret kan nævnes: mellembunde i duplex stål, aluminiums støtteben, kulfiber kappe og aluminiums fælge.

Vurderes der på den samlede effekt af optimeringerne kan der tages udgangspunkt i semitraileren der er valgt som udgangspunkt. Denne vejer 9.562 kg. Kombineres dette med den maksimalt tilladte vægt på 56 Ton og en antaget vægt, af lastbilen der skal trække semitraileren, på 8 Ton har den sammenlignelige semitrailer en nyttelast på 38.438 Ton. Til sammenligning har prototypen en nyttelast på 41.111 Ton svarende til en forøgelse af nyttelasten på 7,0 %.

7. Testkørsel

7.1 Gennemførte testkørsler

For at sikre at de implementerede vægtreduktioner kan godkendes og for at muliggøre test i fuld skala af prototypen, er denne blevet godkendt til PED. Ligeledes er semitraileren synet og indregistreret for at den lovligt må køre på offentlig vej.

Inden semitraileren sættes i egentlig drift med det formål at teste løsningernes holdbarhed, er der foretaget en række testkørsler. Formålet med disse er at teste, om der opstår brud efter kort tids brug eller, om der ved observation kan identificeres komponenter, der ikke må formodes at kunne holde på sigt.



BILLEDE 62

TEST AF KURVEKØRSEL. BEMÆRK, AT TANKVOGNEN HÆLDER TIL VENSTRE, IDET LASTBILEN FØLGER KRIDTSTREGEN RUNDT I EN CIRKEL.

Alle testkørsler er udført med fuld last i tanken for at sikre, at belastningen af konstruktionen svarer til maksimal belastning i almindelig drift. Testene, der er udført, har primært fokus på undervognen, kongetappen og konsollerne, da det er disse, der i særlig høj grad belastes under drift. Testene, der er udført, er:

- Almindelig kørsel
- Hård opbremsning
- Vending på stedet
- Kørsel over vejbumpe
- Kurvekørsel
- Afsætning af trailer på støtteben

Under disse test monteres traileren med kamera for efterfølgende at kunne observere, om der opstår bevægelser i konstruktionen, der vurderes at være u hensigtsmæssige. Efter testene er gennemført, er undervogn og konsoller gennemgået for revner eller lignende, der kunne identificere svagheder i konstruktionen.



BILLEDE 63
MONTAGE AF KAMERA I FORBINDELSE MED TESTKØRSEL.

Det er gennem disse test konkluderet, at der ikke er nogen umiddelbare svagheder i konstruktionen, idet der ikke er opstået revner eller har vist sig tegn på uventede belastninger. Det er dog konstateret, at der under den kommende testperiode bør holdes særligt øje med svejsningen mellem fjederbuk og travers ved 1 og 3 aksel, da der under visse test forekommer vibrationer, der muligvis kan lede til træthedsbrud ved svejsningen. Ligeledes er det under tests konstateret, at kulfiber kappen visse steder vil vibrere under kørsel afhængig af fart og vindretning. Vibrationerne opstår under tanken, hvor kappen er næsten plan og derfor ikke har den strukturelle stabilitet, som opnås når den krummer. Disse vibrationer vurderes dog at være uden betydning for tankvognens levetid.

7.2 Fremtidige testkørsler

I skrivende stund er prototypen ved at blive modificeret til at indgå som en del af vognparken ved en vognmand. Formålet med dette er at få prototypen på landevejen for at få testet, om den kan holde til at indgå i almindelig drift. Vognmanden, der skal køre med prototypen, er valgt efter det primære kriterie, at prototypen skal køre flest mulig kilometer hurtigst muligt. Dette er vigtigt, da det fremskynder tidspunktet og forbedrer beslutningsgrundlaget for vurderingen af hvilke elementer, der kan introduceres i den almindelige produktion.

8. Konklusion

Der er gennem projektet afdækket områder, hvor der på en traditionel tankvogn vil kunne foretages vægtoptimeringer. Områderne spænder over størstedelen af tankvognen, idet der er få komponenter, som ikke har kunnet vægtreduceres. Gennem udviklingsprocessen er hvert af disse områder gennemarbejdet og nye og lettere løsninger er identificeret. Disse løsninger er samlet i produktionen af prototypen, som benyttes til at teste, at løsningerne kan fremstilles og at de er holdbare i praktisk brug.

Gennem projektet er der implementeret løsninger med en samlet vægtreduktion på 2673,3 kg, hvilket er yderst tilfredsstillende sammenholdt med den oprindelige målsætning på 1500 kg. Baseret på hvordan vægtreduktionerne på prototypen er opnået, kan det konkluderes, at det største potentiale for at reducere vægten af tankvogne findes i implementering af stærkere og lettere materialer. På prototypen er 1959,3 kg fjernet gennem optimeringer, der involverer brug af materialer, der ikke tidligere er benyttet på VM Tarm. De resterende 714 kg er fjernet gennem et øget fokus på vægt ved valg af indkøbte komponenter og ved øget vægtoptimering af komponenter produceret internt i virksomheden.

Løsningerne er testet med de belastninger, det forventes at blive udsat for i almindelig drift, uden at dette har givet anledning til nedbrud eller forventning herom. Prototypen er, ved dette projekts afslutning, ved at blive klargjort til indsættelse i drift ved en vognmand for at levetidsteste optimeringerne. Resultaterne heraf vil danne beslutningsgrundlag for hvilke optimeringer, der rentabelt kan implementeres i almindelig produktion.

Det overordnede mål med projektet er at identificere og teste løsninger, der kan reducere miljøbelastningen fra vejtransport i tankvogne. Løsningerne identificeret i projektet muliggør en forøgelse af nyttelasten på 7,0 % og reducerer derfor kørselsbehovet samt miljøbelastningen og omkostningerne forbundet hertil.

Vægtbesparelserne, der er opnået gennem projektet, kan for de flestes tilfælde implementeres på et omkostningsniveau, hvor det for vognmanden er rentabelt. Det vurderes derfor, at der, forudsat levetidstesten går godt, vil være potentiale for at implementere en stor del af vægtbesparelserne i produktprogrammet.

Fremtidens tanktrailer - Udvikling af vægtreduceret tanktrailer

Gennem projektet er der identificeret en række løsninger med det formål at reducere vægten af tanktrailere. Løsningerne er afprøvet ved produktion af en prototype som indeholder de fundne vægtreduktioner.

Vægtreduktionerne der er gennemført er fordelt på næsten alle dele af tanktrailerens og reducerer vægten med 28%.

Sammenlagt er der gennem projektet identificeret vægtbesparelser på 2673,3 kg som kan spares på en almindelig tanktrailer for derved at øge nyttelasten. Vægtbesparelserne er primært realiseret ved at introducere nye materialer i produktionen, og sekundært ved at have større fokus på vægten når der vælges komponenter samt generelt gennem designprocessen.



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Strandgade 29
1401 København K
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

www.mst.dk