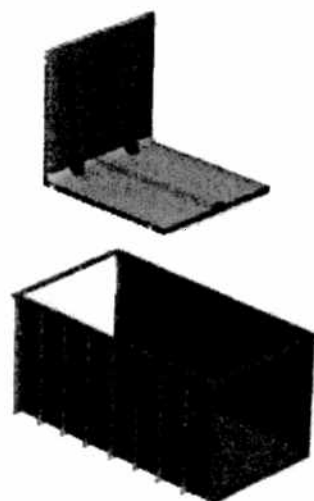
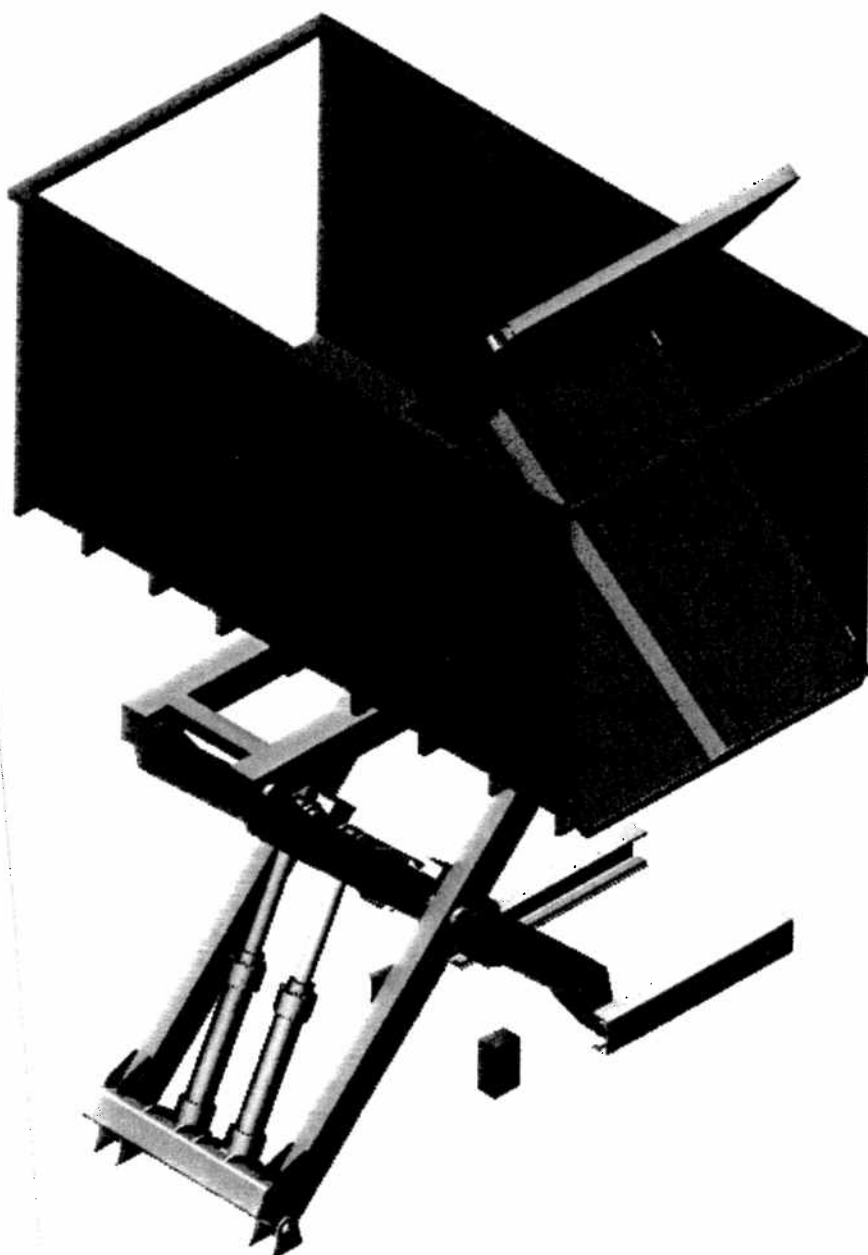


Aflæsningsfunktion til flisfrakører



Silvatec Skovmaskiner A/S



FIA | INGENIØRHØJSKOLEN
I ÅRHUS

Resume

Dette projekt er et samarbejde mellem studerende på Ingeniørhøjskolen i Århus og Silvatec Skovmaskiner A/S. Silvatec har ytret ønske om konstruktion af en ny aflæsningsfunktion til deres flisfrakører, som både skal kunne aflæse sidevers i en lastbil eller container og bagud når der køres i stak. De studerende har konstrueret en løsning, som kan hæves til en ønsket aflæsningshøjde ved hjælp af en saksemekanisme, rotere 90° til begge sider og en aflæsningsmekanisme, som skubber containerens indhold ud gennem bagenden.

Indholdsfortegnelse

1. Indledning	2
2. Projektbeskrivelse	3
2.1. Problemanalyse	3
2.2. Kravspecifikation	3
2.2.1. Primære krav	3
2.2.2. Sekundære krav	3
2.3. Afgrænsning	4
2.4. Strategi for arbejdsgang	4
3. Idefase	5
3.1 Fliegl-princip med sakseløft og drejekrans	6
4. Dimensionering	7
4.1 Saksekonstruktion - MBS	8
4.1.1. Medløberbjælke	9
4.1.2. Bærebjælke	10
4.1.3. Tværbjælke til medløberbjælke	11
4.1.4. Tværbjælke til bærebjælke	12
4.1.5. Kørehjul	12
4.1.6. Køre- og sikkerhedsskinne	12
4.1.7. Hjulaksel	13
4.1.8. Forbindelsesaksel	14
4.1.9. Glidelejer	14
4.1.10. Lejehus	15
4.1.11. Hydraulisk cylinder	16
4.1.12. Hvilestand	17
4.1.13. Fast øjebeslag	17
4.1.14. Saksekonstruktionens endelige dimensioner	18
4.2. Platform - THL	19
4.2.1. Kasseprofiler	19
4.2.2. Hydraulikmotor	20
4.2.3. Drejemekanisme	21
4.2.4. Planring	22
4.2.5. Boltesamling på drejekrans	22
4.2.6. Ophæng til medløbersaks	23
4.2.7. Kørehjul og skinner	23
4.2.8. Finite Element Analysis	24
4.3 Container -PAS	24
4.3.1. Pladedele	25
4.3.2. Gafler	25
4.3.3. Topbjælke/ramme	25
4.3.4. Køreunderlag	26
4.3.5. Platform på container	27
4.3.6. Samling	27
4.4. Aflæssesystem - JDN	29
4.4.1. Skubbevogn	30
4.4.2. Vippebund	34
5. Konklusion	40
6. Perspektivering	41
7. Litteraturfortegnelse	42

1. Indledning

Skov- og Naturstyrelsen producerer årligt omkring 385.000 rummeter skovflis. Hovedparten af produktionen stammer fra statsskovene i Midt- og Vestjylland.

Flisen produceres af træer eller dele af træer, der tages ud i forbindelse med tidlig udtynding af skoven og som ikke kan bruges til andre formål. Mindre træer og toppe af større træer bliver som regel tørret en hel sommer, inden de hugges til flis. Samtidig med tørringen falder hovedparten af nålene eller bladene af og dermed bliver næringsstofferne i skovbunden, hvilket er en stor fordel.

Træfliset anvendes til forskellige formål. Blandt andet bruges det ofte til afdækning i haver og på kommunale arealer, for at modvirke ukrudts fremkomsten. Mest af alt anvendes flis i store mængder i industrien til bland andet el- og varmeproduktion. Flis er et CO₂-neutralt brændsel, der ikke belaster CO₂-indholdet i atmosfæren, og derfor er det meget attraktivt til netop dette. Danmark er teknologisk blandt de førende i verden med hensyn til produktion og afbrænding af flis. Det største flisfyrianslæg i Danmark er Herningværket, med et årligt forbrug på omkring 200.000 tons. Herningværket henter hovedsageligt fliset i de tidligere omtalte midt- og vestjyske plantager og skove. 75 % af flisen hugges direkte i skovene, mens de resterende 25 % oplagres og leveres i form af 3 meter lange træstammer, der hugges til flis på værket.

Brændstofforbruget ved landevejstransport af flis udgør mindre end 0,6 % af energien i den transporterede flis (målt i CO₂-forbrug). Men før end træfliset kan transporteres på vejen, skal det flyttes fra skoven og ud til farbar vej. Her kommer Silvatec ind i billedet. Silvatec beskæftiger sig med produktion, salg og service af skovmaskiner og tilhørende aggregater, samt mobile flishuggere og vognmonterede kærrehuggere. Et af produkterne



Figur 1 - Silvatec 8230 CF

som Silvatec fører, er en 16 m³ flisfrakører, se Figur 1. Flisfrakøreren opgave er at hente det flis som flishuggeren producerer inde i skoven og transportere det til en destination hvor fliset enten læsses i en lastbil, container eller køres i stak.

2. Projektbeskrivelse

2.1. Problemanalyse

Silvatecs flisfrakører har i dag en sidevers tippefunktion til aflæsning af flisen. Denne funktion er nyttig i tilfældet hvor flisen skal læsses over i en lastbil eller container. For at tilbyde et bedre produkt ønsker Silvatech at få konstrueret en flisfrakører, som både kan aflæsse sidevers og bagud. Aflæsning bagud er nyttig når frakøreren kører til stak.

Uanset hvilket princip for aflæsning der anvendes, er det vigtigt at aflæsningen foregår hurtigt. Silvatechs CH 878 flishugger har en nuværende containerkapacitet på 16 m^3 som bliver fyldt på 7-8 minutter. Silvatech planlægger at udvide denne kapacitet til 25 m^3 i den nærmeste fremtid, hvorfor flisfrakøreren skal matche denne. For at holde brugen af flishuggeren rentabel er konstant flisproduktion nødvendig, med undtagelse af den tid det tager at tømme containeren. Dette stiller krav til flisfrakøreren aflæsningstid, idet der også skal være tid til selve transporten, i tilfældet hvor flishuggeren arbejder langt inde i en skov.

2.2. Kravspecifikation

Kravspecifikationen er opdelt i primære og sekundære krav. De primære krav er stillet af Silvatec, mens de sekundære krav gælder generel maskinkonstruktion.

2.2.1. Primære krav

- Minimum løftehøjde (fra underlag til containerbund): 4,2 m
- Udvendig containermål (b x l x h): 2500 x 4500 x 2200 mm
- Massefylde af flis: 600 kg/m^3
- Aflæsningstid: maksimalt 60 sekunder
- Aflæsning skal ske til siden og bagud
- Transportstillingen må maksimalt være 4 m høj
- Aflæsningsfunktionen skal drives af hydraulik
- Der stræbes efter den prismæssigt billigste konstruktionsløsning

2.2.2. Sekundære krav

- Konstruktionen skal så vidt muligt sammensættes af standardkomponenter.
- Vedligeholdelse og udskiftning af eventuelle sliddele tages med i overvejelserne omkring konstruktionen.
- Materialevalg skal så vidt muligt foretages ud fra en hensigtsmæssig økonomisk betragtning.
- Ved udformning af konstruktionen skal der tages hensyn til sikkerhed.

2.3. Afgrænsning

- Der skitseres et samlet løsningsforslag for aflæsningsfunktionen, som også beskriver montering på chassis og container.
- Aflæsningsfunktionen med montering på chassis og container optegnes i Solid Works.
- Den endelige montering på chassiset konstrueres ikke.
- Der fremstilles ikke en prototype af den endelige konstruktion.
- Der fremstilles arbejdstegninger af udvalgte emner.
- Der arbejdes ikke med styringen af hydrauliske komponenter, men størrelsen af hydrauliske cylindre beregnes.
- Der konstrueres ikke toplåger og bagsmæk til containeren.

2.4. Strategi for arbejdsgang

Under idéfasen udarbejdes løsningsforslag til aflæsningsfunktionen, som derefter konstrueres i Solid Works. Udvalgte belastede emner konstrueres ved hjælp af FEM analyse og understøttes af analytiske beregninger, så vidt det er muligt.

3. Idefase

I dette afsnit beskrives den proces der er gennemgået for at nå frem til det løsningsforslag, som skal konstrueres.

Det endelige løsningsforslag er fremkommet gennem brainstorm, samt nogle udvælgelsesmetoder til bestemmelse af det endelige løsningsforslag. Først bestemmes hvilke principper der skal skabe grundlag for løsningen. Principperne findes på baggrund af brainstorm og udvælgelsen sker ved spontan pointgivning [L1 s. 47]. Ud fra de valgte principper konstrueres relevante løsningsforslag. Løsningsforslagene sammenlignes parvis [L1 s. 47] og de fire bedste løsningsforslag går videre til pointgivning efter kriterier [L1 s. 47], som benyttes til at finde det endelige løsningsforslag, der også er beskrevet nedenfor. Udvælgelsesprocessen er beskrevet i [B1].

3.1 Fliegl-princip med sakseløft og drejekrans

I det endelige løsningsforslag anvendes et i forvejen kendt princip som aflæsningsfunktion. Containeren løftes til aflæsningspositionen med en hydraulisk saksemekanisme. Her kan fliset aflæsses bagud eller containeren kan ved hjælp af en drejekrans rotere 90° og aflæsse til siden. Aflæsning til siden sker i et punkt, ligesom aflæsning bagud. Skal en sættevogn fyldes er flisfrakøreren altså nødsaget til at køre lidt fremad mens den aflæsser, så flisen vil blive jævnt fordelt i sættevognen.

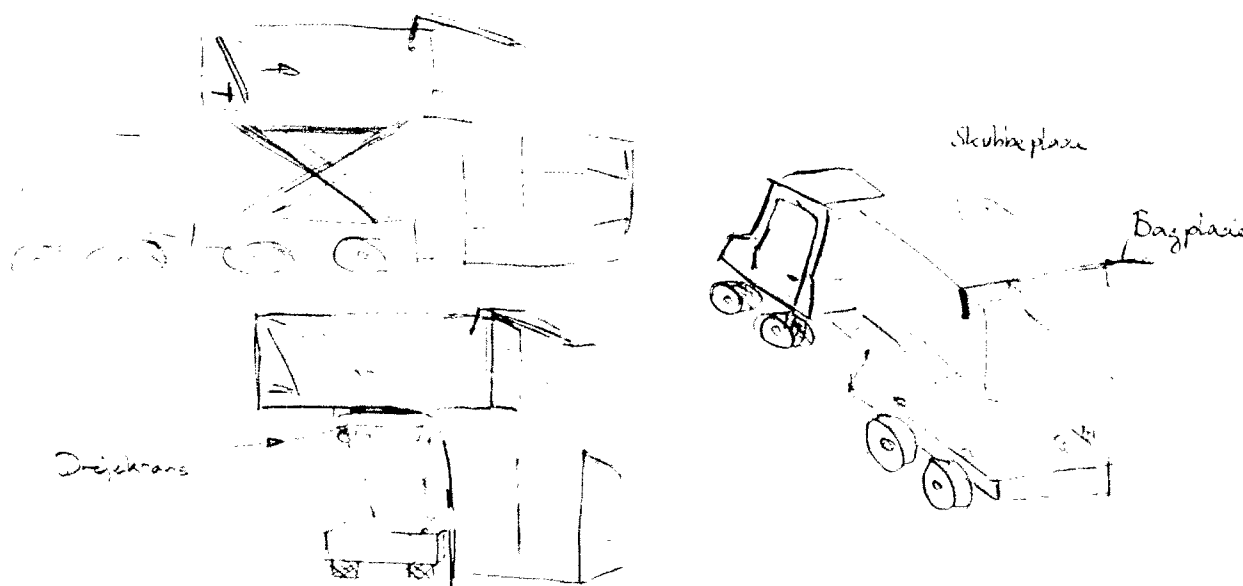
Fordele:

- Ved aflæsning er totalhøjden mindre end ved tip, hvilket giver en bedre stabilitet.
- Aflæsning kan ske til begge sider.
- Mulighed for stort udhæng, hvis saksemekanismen fikseres i bagenden af chassiset og i forenden af rammen med drejekransen.

Ulemper:

- Ved aflæsning til siden skal containeren først løftes og dernæst drejes før aflæsningen kan begynde, hvilket forlænger aflæsningstiden.
- Ved aflæsning til siden skal der være plads til, at containeren kan stå på tværs af køreretningen.
- Aflæsning til siden sker i et punkt.

Der er tegnet en principskitse af løsningsforslaget, se Figur 2.



Figur 2 – Principskitse af det endelige løsningsforslag

4. Dimensionering

I dette afsnit beskrives de tanker og overvejelser som har fundet sted i konstruktionsforløbet. Derudover beskrives også resultaterne af de beregninger som er foretaget. Alle beregningerne er placeret i bilagsmappen og der vil, når det er relevant, blive henvist til de pågældende bilag.

I kravspecifikationen er det beskrevet, at der regnes med en massefylde for flis på 600 kg/m^3 som er givet af Silvatec. Denne værdi svarer til massefylden for massivt træ. Som det fremgår af [B53] ligger densiteten for træflis imellem 0,3-0,35, hvilket kun er omkring halvdelen af den værdi som Silvatec har opgivet. Derfor er der i belastningstilfældene ikke regnet med en lastpartialkoefficient, γ , idet sikkerheden fra massefylden anses som tilstrækkeligt. Derimod er der på henholdsvis den tilladelige flyde- og brudspænding regnet med en sikkerhedsfaktor på 1,10. Denne værdi er bestemt ud fra [L5 s. 28].

I løbet af konstruktionsforløbet er valget af materialer til pladedele, så vidt det har været muligt, taget ud fra hvad Silvatec A/S foretrækker. Materialevalget er bestemt ud fra følgende:

Godstykkelse t:	Stål:
4 - 6 mm:	Domex 700
8 - 25 mm:	Weldox 700
> 25mm:	S355

Der anvendes følgende bukkeradier, ud fra [B50]:

$\leq 3 \text{ mm}$:	$0,8 \times t$
$3 \text{ mm} < t \leq 6 \text{ mm}$:	$1,2 \times t$
$> 6 \text{ mm}$:	$1,6 \times t$

Rundstål, profilrør mm. som anvendes i konstruktionen er valgt ud fra Lemvig-Müllers varekatalog [L3].

Overfladebeskaffenheden for konstruktionen bliver ligesom Silvatecs nuværende maskiner, hvor chassiset er malet i en mørk grå farve og containeren er malet grøn.

De hydrauliske komponenter som anvendes i konstruktionen leveres af Bosch Rexroth A/S. Valget af leverandør til hydraulikkomponenter er taget ud fra hvilken leverandør Silvatec benytter.

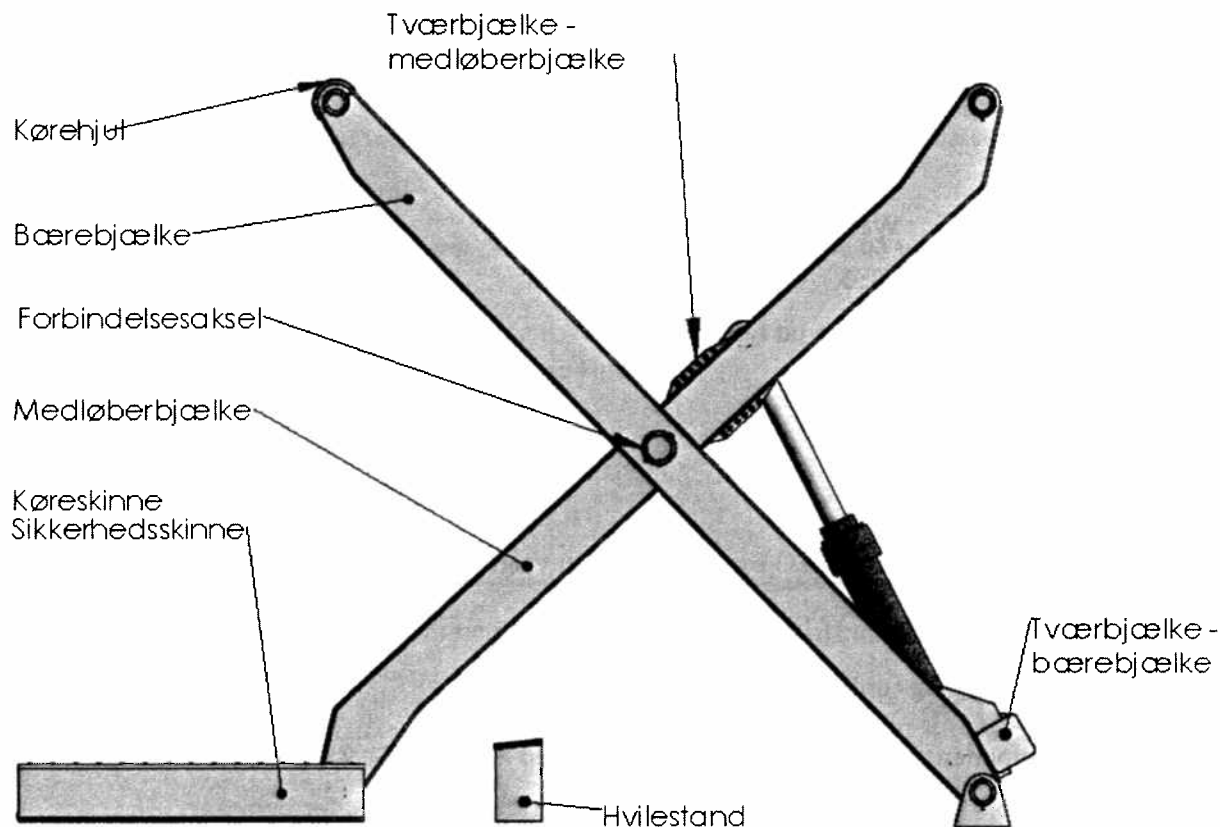
Arbejdstrykket i hydrauliksystemet er maksimalt 230 bar (23 MPa) og olieflowet er 250 l/min.

4.1 Saksekonstruktion

Til at hæve containeren er der valgt en traditionel saksekonstruktion med bærebjælke, medløberbjælke og kørehjul [B3].

Der har under konstruktionsfasen været stræbet efter en lav højde i sænket tilstand. Med hensyn til placering af hydraulik cylindre har der ikke været stor frihed. På grund af flisfrakørers massive chassis har det fx ikke været muligt at placere cylinderhuset ned gennem chassiset.

Beregningerne af saksekonstruktionen [B5] har fra start taget udgangspunkt i, at de hydrauliske cylindre er placeret på modsatte bjælke end Figur 3 viser. Under konstruktionsfasen skabte placeringen problemer med tværbjælkerne, som kom i klemme, og de hydrauliske cylindre blev derfor flyttet til sin nuværende placering. På grund af den symmetriske konstruktion kan beregningerne stadig anvendes uden ændring.



Figur 3 - Saksekonstruktion

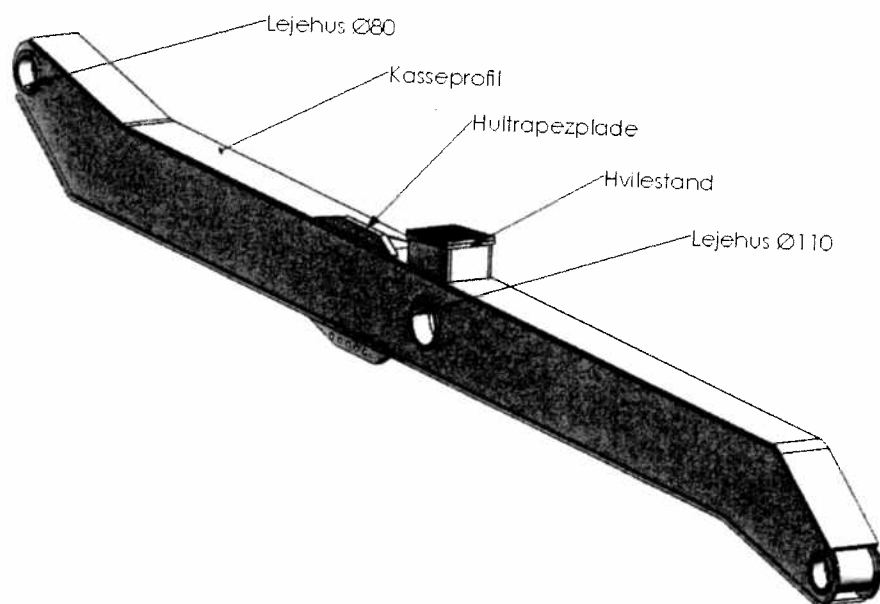
4.1.1. Medløberbjælke

Medløberbjælken er fast monteret i platformen og løber på chassiset.

Bjælkens nødvendige modstandsmoment er fundet ud fra det størst fundne bøjningsmoment, som opstår ved forbindelsesakslen: $M = -100,85 \text{ kNm}$ [B5]. Deraf er det nødvendige inertiomentet fundet til:

$$I_y = 64,85 \times 10^6 \text{ mm}^4 \text{ [B19]}.$$

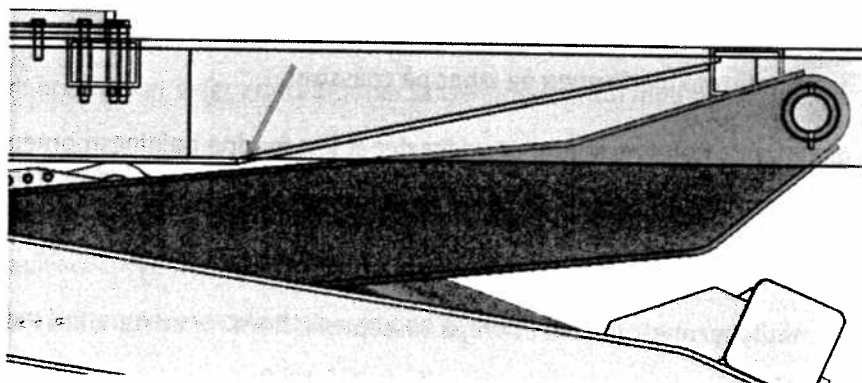
Det er valgt at fremstille medløberbjælken som et svejst kasseprofil, frem for et standard RHS-profil. Et kasseprofil giver et mere effektivt tværsnit med hensyn til vægt, fordi flangen kan dimensioneres tykkere og kroppen tyndere. Omvendt er det en dyrere løsning. Kasseprofilet består af to kropsplader og to flangeplader. Flangepladerne er 140 mm brede og fremstillet i 12 mm bukket Weldox stål. Kroppen er 236 mm høj og fremstillet i 6 mm Domex stål. Svejsningen af kasseprofilet kan skabe egenspændinger, som med fordel kan fjernes ved at afspændingsgløde profilet. Behandlingen skal holdes under 580 °C, da stålet ellers vil miste sin styrke [B49].



Figur 4 - Medløberbjælke

Medløberbjælkens udbøjning er fundet ved hjælp af en FEM-analyse til 21 mm [B49]. I samme bilag er referencespændingen fundet til 210 MPa, hvilket er langt fra flydespændingen for Weldox stål.

Medløberbjælken er monteret i platformens kasseprofil, hvilket betyder, at de to bjælker ved en given vinkel vil støde sammen. Medløberbjælken buer derfor i enden med det resultat, at saksekonstruktionen kan sænkes yderligere. Medløberbjælken buer i begge ender, så krops- og flangeplader er ens. Figur 5 viser medløberbjælken (markeret blå) inde i platformen (gennemsigtig). Den røde pil viser grænsen for hvor lavt saksen kan sænkes.



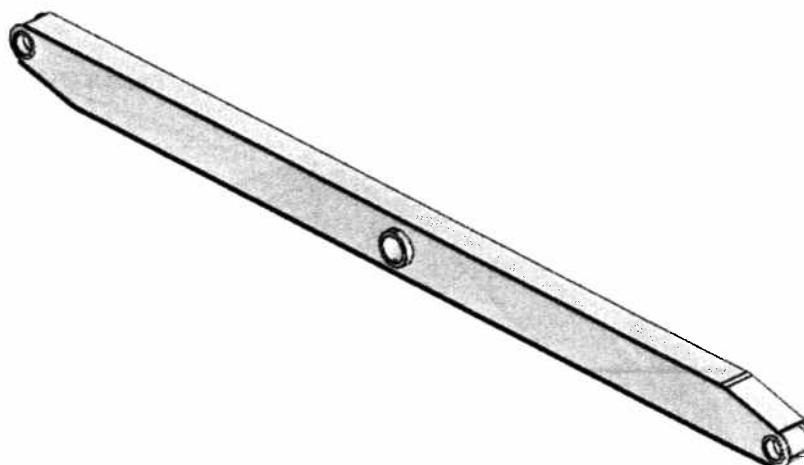
Figur 5 - Buet ende

Over $\varnothing 110$ lejerøret, se Figur 4, er der påsvejst en hvilestand, som beskrives i afsnittet *Hvilestand*.

På begge flanger er der påsvejst en hultrapezplade, som skal forbinde begge medløberbjælker med en tværbjælke. Dette beskrives under afsnittet *Tværbjælke til medløberbjælke*.

4.1.2. Bærebjælke

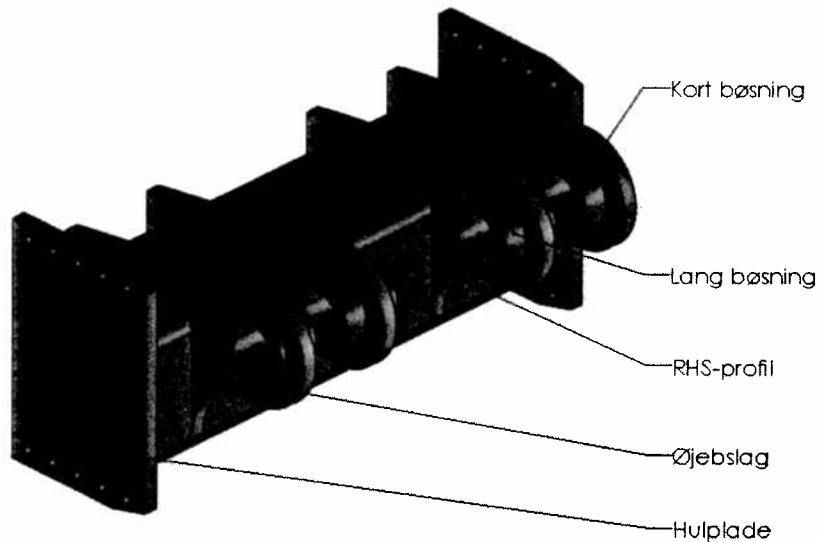
Bærebjælken er fastmonteret til chassiset og løber på platformen. Bærebjælken har samme inertimoment som medløberbjælken og derfor samme størrelse krop og flange. Udformningen af bærebjælken er dog forskellig fra medløberbjælken, fordi de buede ender ikke er nødvendige.



Figur 6 - Bærebjælke

4.1.3. Tværbjælke til medløberbjælke

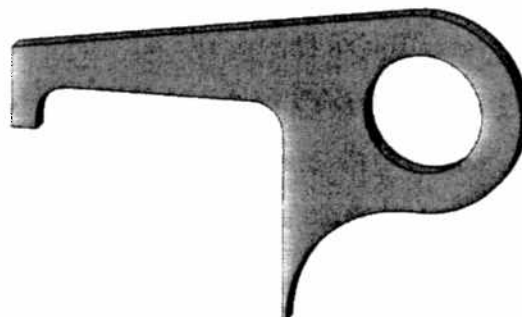
Tværbjælken er monteret mellem medløberbjælkerne og har to funktioner. Dels sørger den for, at medløberbjælkerne føres synkront, dels er den forbindelsesled mellem hydraulikcylindrene og medløberbjælkerne. Tværbjælken består af RHS-profil, øjebeslag med bøsninger til hydraulikcylindre og hulplader, se Figur 7.



Figur 7 - Tværbjælke til medløberbjælke

Tværbjælken er belastet af trykkraften fra hydraulikcylindrene, som giver vridning i RHS-profilet. Den effektive spænding er udregnet til: $\sigma_{eff} = 161 \text{ MPa}$ [B46], dog viser FEM-analysen [B52] større spændinger, som ligger i underkanten af flydespændingen for materialet S355. Profilets endelige dimension er 200x200x12,5.

øjebeslagene er formgivet med en stor rounding, hvor der er trækspænding, for at undgå kærvspændinger. øjebeslaget går rundt om RHS-profilet bag til, for at undgå punktbelastning på profilet. Beslagene er fremstillet i 20 mm Weldox stål.



Figur 8 – øjebeslag

Bøsningerne er fremstillet af emnerør Ø100/63 i S355. Bøsningerne er neddrejet og med bryst, som giver en god anlægsflade mod øjebeslaget når der svejses. Der er boret gennemgående hul i de lange bøsninger, som anvendes til at fikse akslen til cylinderhovedet.

Der er valgt boltesamling mellem tværbjælke og medløberbjælker frem for sammensvejsning. En boltesamling gør samlingen lettere, når hele saksekonstruktionen skal samles. Boltesamlingen er en klasse C friktionssamling¹ med M12 spændbolte i styrkeklasse 10.9. Hulpladerne svejses på hver ende af RHS-profilet. Hulpladerne er fremstillet i 20 mm Weldom stål.

4.1.4. Tværbjælke til bærebjælke

Tværbjælken til bærebjælken er konstrueret efter samme princip som tværbjælken til medløberbjælken og består ligeledes af et RHS-profil, øjebeslag, bøsninger og endeplader. Endepladerne er til for at lukke RHS-profilet. Der bores huller i bunden af profilet så fugt kan slippe ud.



Figur 9 - Tværbjælke til bærebjælke

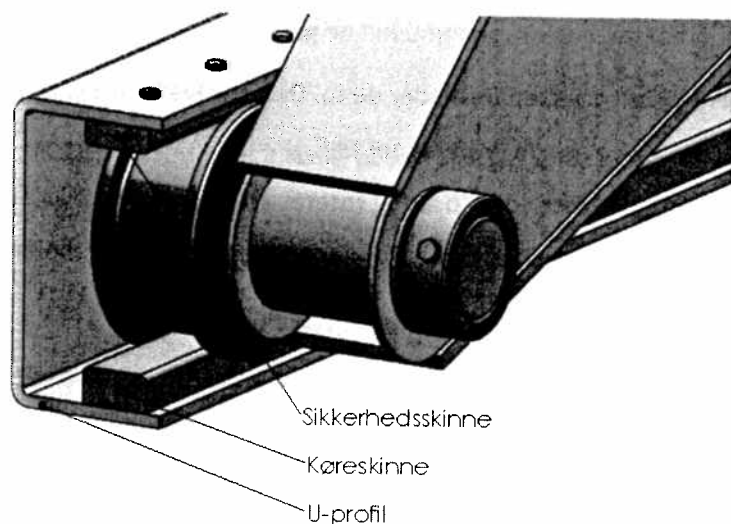
4.1.5. Kørehjul

Kørehjulene er placeret på siden af platform og medløberbjælke af hensyn til montering af køreskinne og sikkerhedsskinne. Kørehjulet beskrives nærmere i afsnit *Kørehjul og skinner*.

4.1.6. Køre- og sikkerhedsskinne

Køre- og sikkerhedsskinne er beskrevet i afsnit *Kørehjul og skinner*. Skinnerne er monteret i et U-profil med M8 sætskruer. Se Figur 10. U-profilet monteres på chassiset og skal tilpasses dertil.

¹ Efter DS/EN 1993-1-8



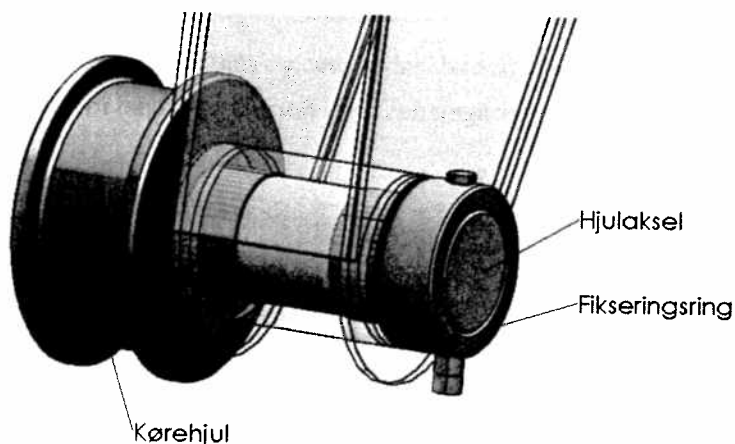
Figur 10 - Køre- og sikkerhedsskinne

4.1.7. Hjulaksel

Hjulakslen er udsat for ren bøjning. Bøjningsmomentet er fundet til: $M_{eq} = 4,869 \text{ kNm}$ [B41]. Akslen er roterende, hvilket giver et dynamisk, vekslende belastningstilfælde. Den dynamiske sikkerhed er sat til 3. Akslen er fremstillet i blankt stål S355J2G3C. Akslen er fordimensioneret til: $d = 80 \text{ mm}$



Figur 11 - Hjulaksel



Figur 12 - Kørehjul mm.

Akslen er fæstnet i kørehjulet med fire stk. M8 skruer. Efter akslen er ført gennem lejerøret låses akslen i dens normalretning af en fikseringsring med gennemgående M10 bolt og kontramøtrik. Mellem lejerør og fikseringsring er anbragt en skive i kompositmateriale, så stålfladerne ikke er i indbyrdes berøring.

Akslen bearbejdes efter lejets tolerancekrav, som beskrives senere.

4.1.8. Forbindelsesaksel

Akslen mellem medløber- og bærebjælken forbinder de to. Den største belastning på akslen opstår når saksekonstruktionen skal hæves og denne er beregnet til $C_{res} = 312,1 kN$ [B5]. Akslen er dynamisk påvirket og regnes for pulserende belastet eftersom den aldrig roterer en hel omgang. Akslen er udsat for ren bøjning, som er beregnet til $M = 21,8 kNm$ [B36]. Forbindelsesakslen er fordimensioneret til: $d = 100 mm$. Akslen bearbejdes ligeledes efter lejets tolerancekrav.



Figur 13 - Forbindelsesaksel

Forbindelsesakslen er ligeledes låst i normalretningen med gennemgående M10 bolte.

4.1.9. Glidelejer

I saksekonstruktionen er der ved aksler anvendt komposit glidelejer.

Komposit glidelejer har følgende generelle egenskaber:

- Tilladelig dynamisk belastning: 120 MPa
- Lille indbygningsmål pga. lille godstykkelse
- Tåler få rotationer
- Lav vedligeholdelse



Figur 14 - Glideleje

Der er valgt SKF glidelejer i M materiale [B44], som er udført med

bagvæg i stålplade, et lag sintret tin bronze og et 0,3 mm lag POM som overflade. Det relativt store POM lag gør lejet modstandsdygtig over for skævhed og den kantbelastning som opstår ved skævhed. Overfladen har smørelommer og lejet kræver smøring ved montering. Lejet er ikke følsomt over for skidt og fremmede partikler. I dette konstruktionstilfælde er det en stor fordel, at glidelejer ikke behøver at rotere hyppigt, i modsætning til kuglelejer, som risikerer at lave mærker i lejeskålen ved stilstand. Glidelejerne ved

forbindelsesakslerne og de faste øjer roterer aldrig en hel omgang, mens hjulakslerne roterer knap to omgange når saksekonstruktionen hæves.

Glidelejets tilladelige dynamiske belastning er 120 MPa. Den største lejekraft er 113,8 kN [B41], hvorved den aktuelle dynamiske belastning er:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{113800N}{80mm \cdot 40mm} \cong 36MPa$$

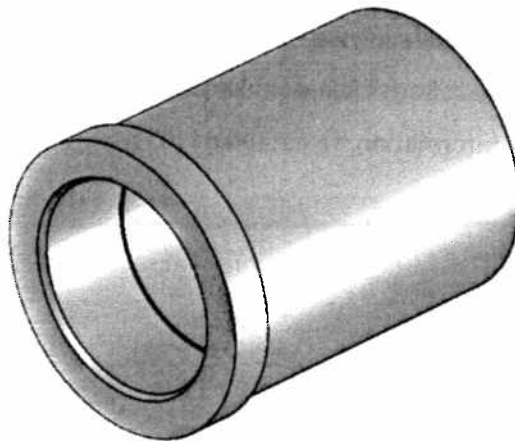
Glidelejjet har følgende tolerancekrav til hus og aksel:

- Hus: H7
- Aksel: h8
- Nødvendig overfladeruhed: $R_a \leq 0,8$
- Bredden varierer $\pm 0,25$ mm

Glidelejernes levetid og ydeevne kan forbedres ved anvendelse af et centralsmøresystem eller smørenipler.

4.1.10. Lejehus

Huset til glidelejjet er fremstillet af standard emnerør. Til Ø80/85 glidelejerne er dimensionen på emnerøret Ø118/63 og til Ø110/115 lejerne er der anvendt Ø150/110 emnerør. Huset skal bearbejdes efter glidelejets indbygningskrav. Der drejes en reces med H7 tolerance til glidelejjet og overfladeruheden skal være $R_a \leq 0,8$.



Figur 15 - Ø80 lejehus

4.1.11. Hydraulisk cylinder

Af praktiske årsager anvendes to hydrauliske cylindre. Den største kraft som hver cylinder skal levere er:

$P = 312,9 \text{ kN}$ [B5]. Kraften er størst når saksekonstruktionen er sænket og skal hæves. Ud fra den nødvendige kraft og arbejdsstrykket på 23 MPa kan stempeldiameteren findes:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 312900 \text{ N}}{\pi \cdot 23 \text{ MPa}}} = 131,6 \text{ mm}$$

Der vælges H1-modellen, som har nominelt arbejdstryk på 25 MPa [B55]. Det nærmeste standard stempel er 140 mm i diameter. Dette giver en stempelkraft på:

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot 140^2 \text{ mm} \cdot 23 \text{ MPa} = 354 \text{ kN}$$

Der vælges den størst mulige stempelstang på $\varnothing 100 \text{ mm}$, fordi der ikke er noget krav til sammentrækningskraften. Den nødvendige stempelvandring er 700 mm ud fra saksekonstruktionens geometri.



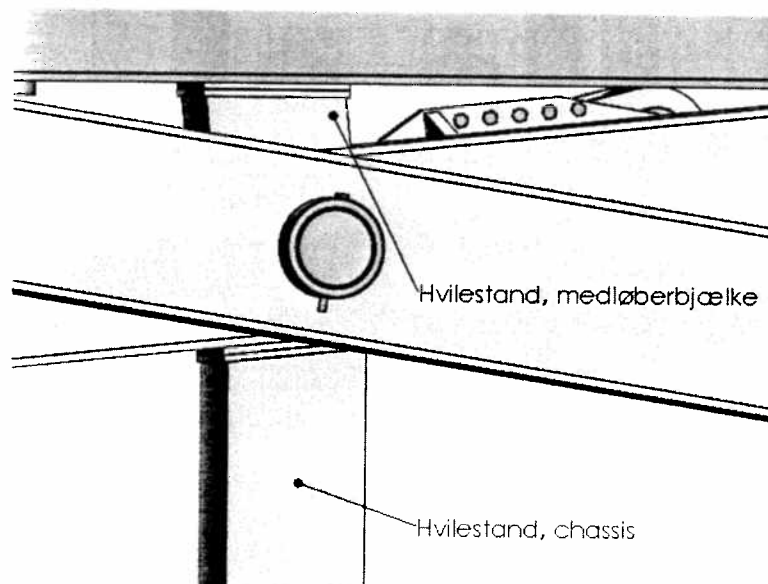
Figur 16 - Bosch Rexroth CDH1MP5-140-100-700

Hydraulikcylinderens øjer er valgt med sfærisk leje, som kan optage eventuel akselskævhed. Lejet er vedligeholdelsesfrit. For yderligere information, se datablad i [B51].

Det er vigtigt, at de to hydrauliske cylindre arbejder synkront ellers skabes der skævvridning. Derfor er det nødvendigt med en komponent som kan dele olieflowet ligeligt mellem cylindrene.

4.1.12. Hvilestand

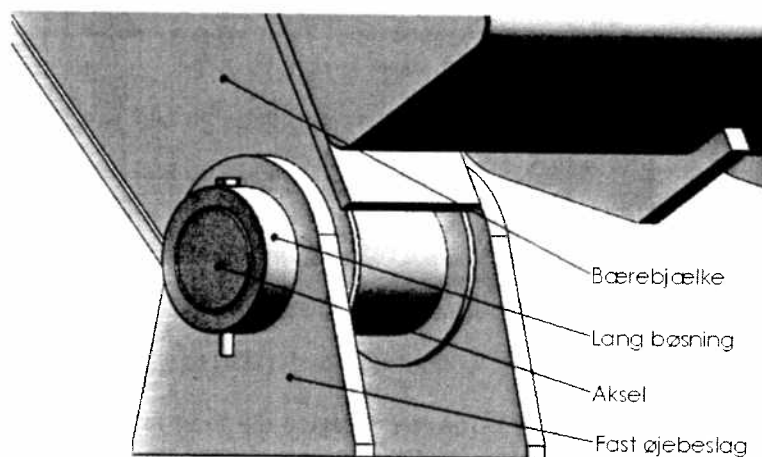
På og under medløberbjælkerne er der monteret hvilestande, som aflaster saksekonstruktionen i sænket tilstand. Standene er placeret under forbindelsesakslen. Berøringsfladen er lavet af POM. Hvilestanden under medløberbjælken skal monteres på chassiset.



Figur 17 – Hvilestande

4.1.13. Fast øjebeslag

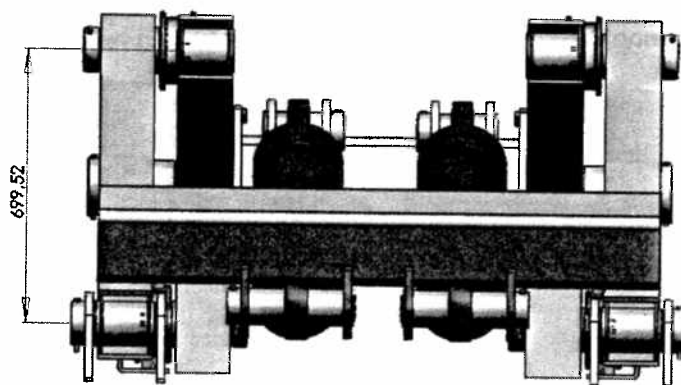
Bærebjælken er fikseret i et fast øjebeslag, som monteres på chassiset. Udformningen af beslaget er ikke endeligt, men blot for at skitsere saksekonstruktionens montering til chassiset. Øjebeslaget har påsvejst bøsning, hvori akslen er fikseret, se Figur 18.



Figur 18 - Fast øjebeslag

4.1.14. Saksekonstruktionens endelige dimensioner

I sænket tilstand er saksekonstruktionen 700 mm mellem øjerne, se Figur 19.

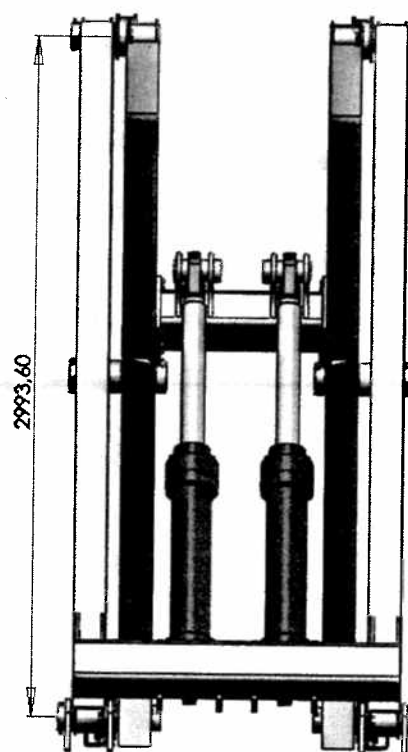


Figur 19 – Højde i sænket tilstand

I hævet tilstand er saksekonstruktionen ca. 3000 mm, se Figur 21. Den endelige saksekonstruktion kan ses på Figur 20.



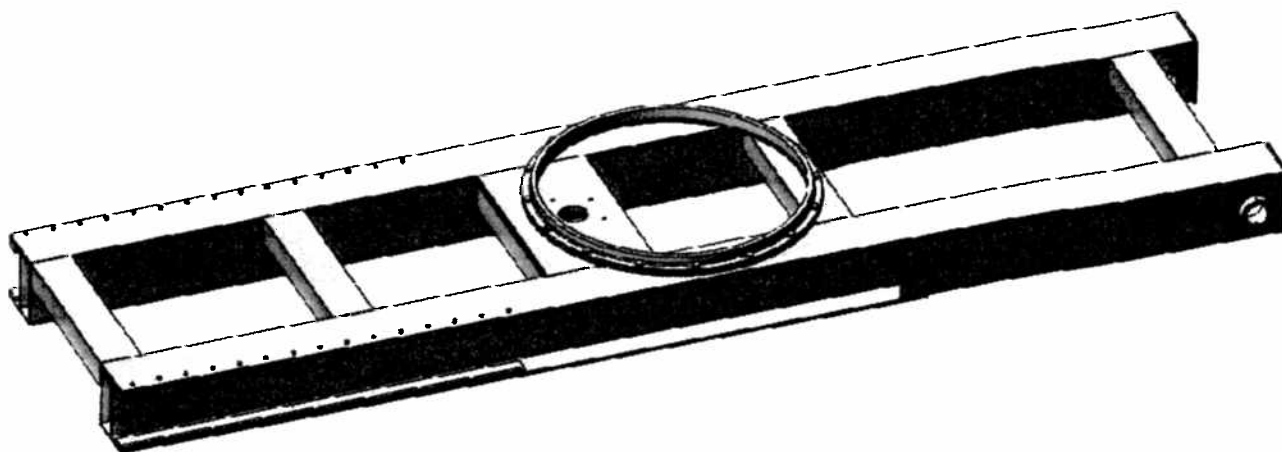
Figur 20 - Endelig saksekonstruktion



Figur 21 - Højde i hævet tilstand

4.2. Platform

I dette afsnit er det beskrevet hvordan platformen er konstrueret. Platformen, se Figur 22, er bindeled mellem container og saksemekanismen.



Figur 22 - Platform

4.2.1. Kasseprofiler

Som tidligere beskrevet, skal saksekonstruktionen monteres i et øje i bagenden af platformen, mens der i forenden skal rulle et kørehjul. Derfor er det fundet nødvendigt at konstruere et kasseprofil, der er bedre egnet til opgaven end standardprofilerne. Kasseprofilerne er dimensioneret på baggrund af de værste belastningstilfælde [B4]. Der er regnet med tre forskellige belastningstilfælde ved to forskellige understøtningstilfælde. De tre belastningstilfælde, der er dimensioneret efter, er følgende:

- Når containeren er fuld.
- Når containeren er halvt fuld og positioneret parallelt med chassiset.
- Når containeren er halvt fuld og drejet 90°.

Dette giver i alt seks belastningstilfælde; De første tre tilfælde er lige efter, at platformen er løftet fra hvileposition og de sidste tre tilfælde er når platformen er løftet til aflæsningshøjden. De seks tilfælde er beregnet i Winbeam og sammenfattet i [B27], hvor der også er henvisninger til de enkelte Winbeamberegninger. I beregningerne er der valgt en maksimalt tilladelige udbøjning på $\frac{l}{400}$ [L5 s. 29], hvilket svarer til 10,2 mm.

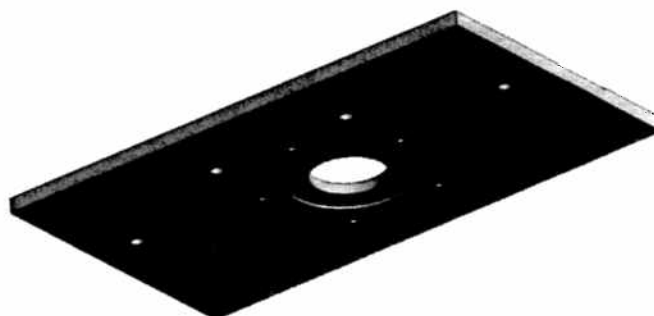
Belastningstilfælde 2, hvor containeren netop er løftet fra hvileposition, drejet 90° og halvt fuld, viste sig at være det mest kritiske. I denne situation er der behov for et inertimoment på $155 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$. For at minimere materialeforbruget er det besluttet, at der skal laves en styring i hydraulikken således, at

platformen kun kan løftes, når forsmækken er i sin startposition forrest i containeren. Dermed kan der ses bort fra belastningstilfælde 2, hvilket i øvrigt forekommer i en situation, hvor platformen løftes mens der aflæses, hvilket med rimelighed kan anses som en unødvendig funktion.

Det næstmest kritiske belastningstilfælde er nummer 5, hvor containeren er løftet til aflæsningshøjde, drejet 90°, og halvt fuld. Her er der behov for et inertimoment på $108,7 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$, for at overholde det valgte udbøjningskrav. Da profilet skal understøttes af et kørehjul samtidig med, at den samlede byggehøjde ønskes lavest mulig, er profilet

konstrueret således, at et kørehjul kan understøtte profilet under den øverste flange, se Figur 23. Profilet er konstrueret, som en blanding af et rektangulært rørprofil og et I-profil, for at give det gode vridnings- og udbøjningsegenskaber. Profilet er dimensioneret og kontrolleret for spændinger i [B39].

Mellem de to kasseprofiler er der placeret fem afstivninger. De to afstivninger under drejekransen består henholdsvis af en plade, hvori hydraulikmotoren er ophængt og en 8 mm plade, som er bukket for at give stivhed. De sidste tre afstivninger består af RHS profiler, med dimensionen 150x100x8, som er valgt med hensyn til design.

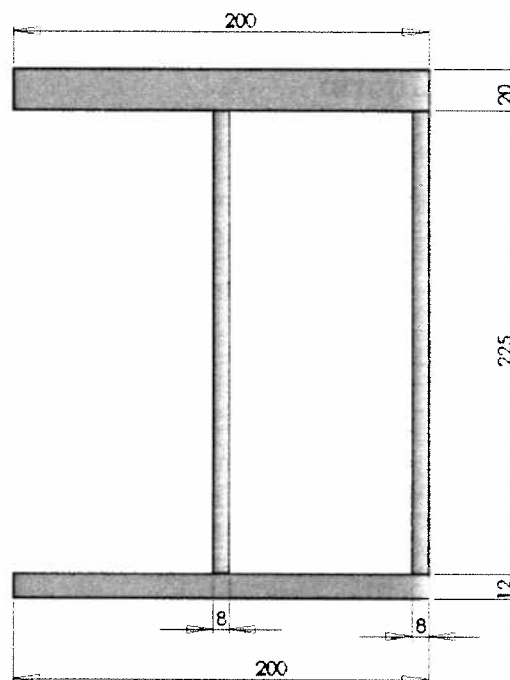


Figur 24 - Plade, som fikserer planring og hydraulikmotor, set nedfra

De to kasseprofiler svejses først sammen som I-profiler, med skråpladerne i bagenden således, at der kan lægges kantsømme på begge sider af midterkroppen. Dernæst svejses den inderste og yderste kropsplade på med stumpsømme fra ydersiden, samt kantsømme på indersiden, langs med skråpladen. Alle svejsesømmenes a-mål er kontrolleret efter [L8 formel 6.16a og 6.16b].

4.2.2. Hydraulikmotor

For at opnå en hurtig aflæsning er det besluttet at rotation af containeren maksimalt må vare 7,5 sekund. Ud fra beregninger i [B11], er der valgt en hydraulikmotor. Det er i beregningerne antaget, at den halve tid bruges på acceleration og resten af tiden bruges på opbremsning ved hjælp af hydraulikstyringen. Det moment der som minimum skal tilføres drejekransen er fundet til 648 Nm og derfor er der valgt følgende motor fra Bosch Rexroth, MR190 [B10].



Figur 23 - Tværsnit af kasseprofil med målsætning

Hydraulikmotoren skal drive et tandhjul med et modul på 8 og en delecirkeldiameter på 120 mm [B12] – dette fordi der i afsnittet *drejemekanisme*, er valgt en drejekrans med samme modul. Navet på tandhjulet skal bearbejdes, så det kan monteres på hydraulikmotorens aksel. Motoren monteres i en plade med 20 mm godstykkelse, for at sikre stivhed, så tandhjulsforbindelsen ikke kører skævt. Pladen er bearbejdet således, at hydraulikmotoren undersænkes i pladen, se Figur 24 – dette gøres for at sikre en minimal mulighed for forskydning mellem tandhjul og drejekrans. Måden hvorpå drejekransen fikseres er beskrevet i afsnittet *planring*. Hydraulikmotoren monteres nedefra med 5 skruer, som ikke må rage op over pladens øverste flade.

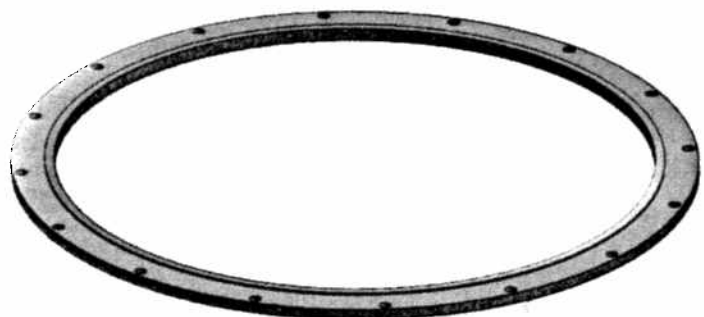
4.2.3. Drejemekanisme

Til drejemekanismen har der været 3 løsningsforslag. Løsningsforslag 1 var en ide om at to hydraulikstempler, enten i forlængelse af hinanden eller med individuel placering skulle kunne rotere containeren 180°. Denne løsning blev ikke valgt, bl.a. fordi at ideen aldrig blev konstrueret på tilfredsstillende vis. Den hydrauliske styring ville blive kompliceret, idet der skulle tilføres en variabel mængde olie under hele rotationen, pga. at stemplerne skulle skubbe i en cirkulær bane.

Løsningsforslag 2 bestod af en drejekrans med udvendig fortanding, som skulle drives af en tandstang. Denne løsning anvendes bl.a. som krøjemekanisme på lastbilkraner, men det blev vurderet at løsningen ville være kompleks og kræve meget plads. Tandstangen skulle drives som en dobbeltvirkende cylinder, med et oliekommer ved begge ender af tandstangen. Ulempen er, at løsningen ikke kan købes som et standard komponent.

Løsningsforslag 3 bestod af en drejekrans med indvendig fortanding, som skulle drives af en hydraulikmotor. Denne løsning var god fordi den indvendige fortanding er bedre beskyttet mod skidt. Samtidig er det den mest enkle løsning, når man ser på de komponenter der er behov for.

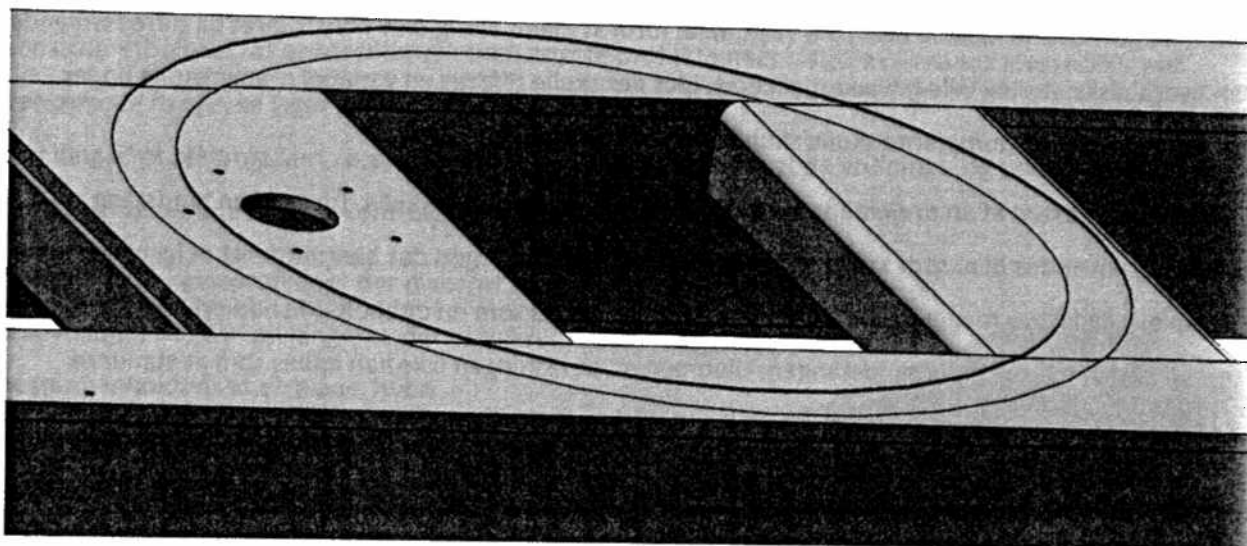
Det blev besluttet, at arbejde videre med forslag 3. Der er valgt en drejekrans ud fra beregnede belastningstilfældene i [B4]. Drejekransen er valgt i Rothe Erdes hovedkatalog. Relevante sider fra kataloget ses i [B6]. Der er valgt en TYP 21/1050.2 [B6, s. 46-47]. Drejekransen placeres på en planring, se Figur 25, efter anbefaling fra Rothe Erde [B6 s. 38].



Figur 25 - Planring med bryst

4.2.4. Planring

Planringen laves af en plade med 15 mm gods, som planfræses til 13 mm. Dog bibeholdes de 15 mm på indersiden således, at der er et bryst der kan holde drejehjulet fikseret. Planfræsningen skal først udføres efter at planringen er svejst fast på platformen, således at eventuelle ujævnheder som følge af svejsningen fjernes. Ligeledes skal hullerne i planringen først bores efter påsvejsning og planfræsning af platingen. Drejehjulet sættes på plads, hvorefter der laves 16 kørnerprikker, inden drejehjulet tages af igen, så der kan bores 12 stk. Ø18 huller og 4 stk. M16 gevindhuller. Gevindhullerne skal bores over den lukkede del af kasseprofilerne. Inden planringen kan svejses fast på platformen, er det nødvendigt, at fræse et spor, som planringen kan fikses i. Dette spor fræses med en koordinatfræser efter platformen er svejst sammen, se Figur 26. Løsningen med at fræse et spor i platformen er nødvendig for at sikre at der er styr på drejehjulets position i forhold til hydraulikmotoren.



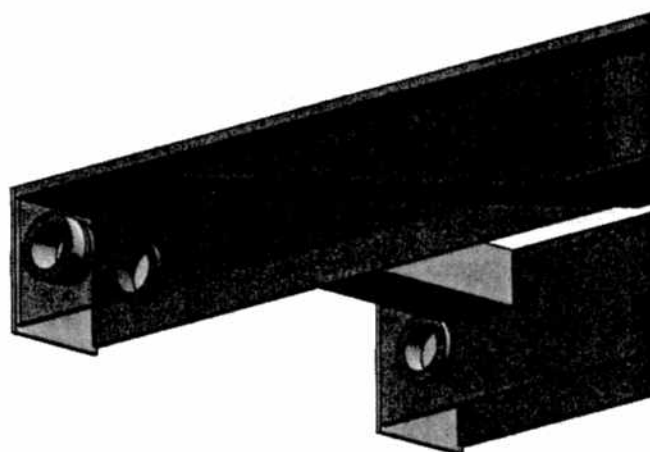
Figur 26 - Der er fræses et spor, som fikserer planringen

4.2.5. Boltesamling på drejehjul

Der er ikke udført boltesamlingsberegninger, idet Rothe Erde anbefaler bolte i kvalitet 10.9 [B6 s. 44]. Der er 22 stk. M12 gevindhuller i tandhjulet, hvorpå containeren skrues fast. I flangen er der 16 stk. Ø18 boltehuller, hvortil der er valgt M16 bolte. Der anvendes 12 bolte og 4 skruer til at montere drejehjulet på platformen.

4.2.6. Ophæng til medløbersaks

I platformens bagende skal der monteres bøsninger, som medløbersaksen kan fastgøres i. Bæresaksen monteres i samme højde, som kørehjulet i forenden, for at sikre at platformen står vandret. For at montere saksen i den nødvendige højde og for at saksen kan gå fri af platformen i sænket position, har det været nødvendigt at ændre profilet i bagenden.

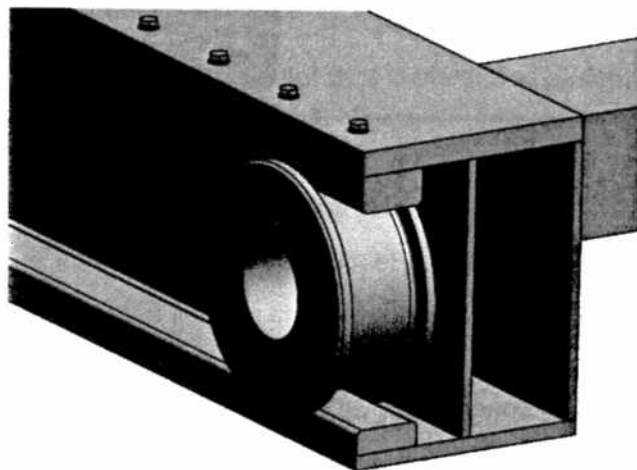


Figur 27 - Profil ved sakseophæng. Bemærk at den yderste kropslade er gjort transparent

Profilet er ændret således at underflangen slutter 1000 mm fra ophænget, hvorefter en anden plade skråner op til overflangen, se Figur 27. På ydersiden af profilet er der svejst en 12 mm plade, som skal holde den ene side af saksen, mens den anden side af saksen bliver holdt af den inderste krop i profilet, som er forstærket med en 4 mm tyk plade, så også den har en samlet pladetykkelse på 12 mm omkring ophænget. Selve ophænget består af to fastsvejste bøsninger, hvori en gennemgående aksel er fikseret med en bolt, således at akslen ikke kan rotere. Begge bøsninger er bearbejdet, således at et bryst sørger for at bøsningens centerakse står diagonalt på profilet. Når platformen bliver løftet, vil det være glidelejet i medløbersaksen, som roterer og ikke akslen.

4.2.7. Kørehjul og skinner

Bjælkerne løftes, som tidligere nævnt, i forenden af to kørehjul. Kørehjulene er udformet som kranhjul med flanger, fordi det giver mulighed for at styre hjulet sidevejs, idet der placeres en køreskinne på overflangen og en sikkerhedsskinne på underflangen, se Figur 28. Køreskinnerne er monteret med M8 skruer i over- og underflange. Køreskinnerne er konstrueret delvist efter Kranskinne A55, DIN 536.1 [L2 s. 440], således at kontaktfladerne er ens. Der er lavet en beregning på om den udragende flange kan holde til denne form for understøtning [B40]. Beregningen er udført uden køreskinne. Kørehjulet fremstilles af støbejern, EN-GJS-800-2, bl.a. for at opnå en høj brudstyrke. Kørehjulets mindste tilladelige diameter er beregnet til 167 mm [B40]. Den aksel, som skal drive kørehjulet skrues fast med 4 skruer, se Figur 29.



Figur 28 - Kørehjul og skinner

4.2.8. Finite Element Analysis

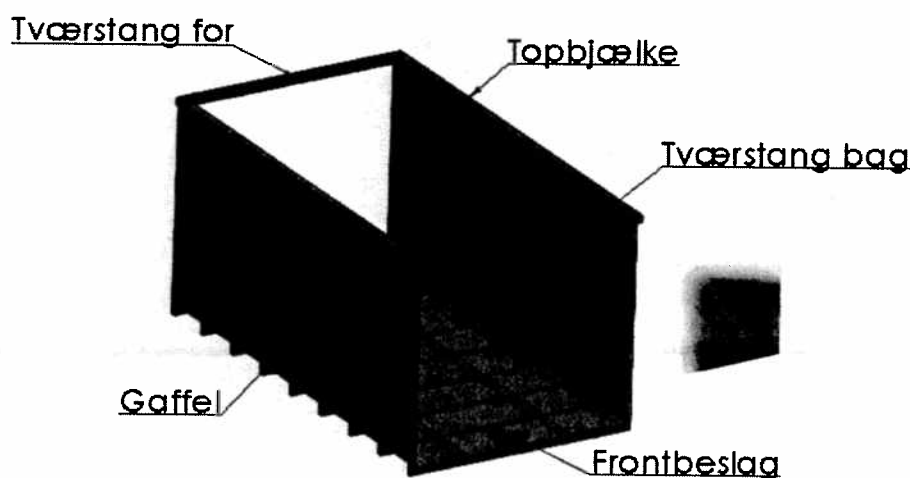
Der er lavet en FEM analyse af platformen for belastningstilfælde 5, hvor platformen er løftet til aflæsningshøjde, drejet 90° og halvt fuld. Analysen er lavet for at kontrollere spændinger og udbøjning i den samlede platformskonstruktion ved det værste tænkelige tilfælde. Udbøjningen omkring hydraulikmotoren og drejekransen ønskes også kontrolleret. Efter FEM analysen er udført, er der lavet nogle enkelte ændringer i konstruktionen, men disse ændringer anses for ubetydelige for analysen. FEM analysen giver ingen grund til bekymring, se [B42].



Figur 29 - Der aksel og kørehjul fæstnes med 4 stk. M8 skruer

4.3 Container

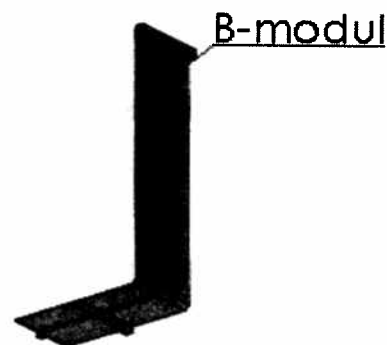
Containeren i denne konstruktion udmærker sig ved, at den har en indbygget aflæsefunktion, hvilket skærper kravene til udbøjning og stabilitet. Containeren er opbygget efter et velkendt princip som hyppigt anvendes af containerfabrikanter. Konstruktionen ses på Figur 30.



Figur 30 - Konstruktion af container

Konstruktionen er opbygget med en ramme foroven, som består af to topbjælker og to tværstivere. Indvendigt er containeren beklædt med en Domex 700 plade, som i hjørnet er bukket 45°, for at undgå ophobning af både flis og fremmede partikler.

Fliset giver anledning til fladetryk i containerens bund og på dens sider. Til at beregne disse laster anvendes DIN 1055 [B21] som er en standard til dimensionering af siloer. Ud fra DIN 1055



Figur 31 - B-modul

beregnes der hhv. en vertikal- og en horisontallast. I standarden er der også beskrevet en vægfriktionslast (wandreibungslast). Denne medregnes ikke, da den beskriver den kraft som fremkommer på siloens sider når den tømmes, hvilket anses som irrelevant for en container. I [B22] ses beregninger for lasterne som påvirker containeren. Vertikal- og horisontallasten beregnes til:

$$p_{vf}(h_{\text{container}}) = 9150 \text{ Pa} \quad \text{Fladetryk på containerens bund}$$

$$p_{hf}(h_{\text{container}}) = 5490 \text{ Pa} \quad \text{Fladetryk på containerens side, ved bunden}$$

Pladen inde i containeren er udvendig støttet af et antal gafler, som er bestående af tre profilrør, der er svejset sammen i en U-form. For at forenkle beregningerne, deles containeren op i såkaldte breddemoduler. Breddemodulet består af et gaffelprofil og en plade. I [B23] bestemmes antal gafler og dermed breddemodulet. Breddemodul beregnes til: $b_{\text{modul}} = 563 \text{ mm}$, se Figur 31.

På baggrund af disse værdier kan henholdsvis pladedele og profiler dermed dimensioneres.

4.3.1. Pladedele

Fladetrykket giver anledning til en udbøjning vinkelret på pladen. For at modstå dette skal pladen dimensioneres efter givne krav. Til dimensionering af pladetykkelsen anvendes det vertikale fladetryk, da bunden af containeren som påvirkes hårdest. Fladetrykket fordeles på et pladefelt med breddemodulet og containerens bredde som henholdsvis bredde og højde. Det er vigtigt med en lille udbøjning på grund af tætningen imellem bunden og skrabepladen. Pladetykkelse beregnes i [B23] til 5 mm, og det vælges at sidepladerne skal have samme pladetykkelse.

For at undgå træflis og skidt ophobes i hjørnet, er der valgt at bukke bundpladen, se Figur 30. Når pladen bliver bukket er der et afrundet hjørne frem for skarpt knæk, og samtidig øger det også stivheden af pladen.

4.3.2. Gafler

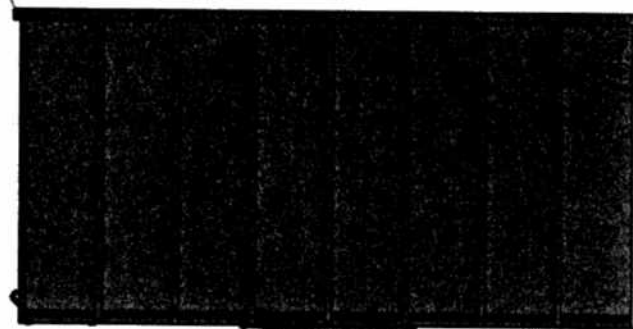
Der er valgt kvadratiske profilrør til gaflerne, da der stræbes efter et profil med et stort inertimoment i forhold til vægten. Dimensioneringen af profilet til gaflerne er beregnet ud fra en tilladelig udbøjning på 5 mm. Den tilladelige udbøjning er forholdsvis lille, sammenlignet med hvad en ordinær container må udbøje. Dette skyldes at desto mindre udbøjningen af containerens side er, desto nemmere er det at bevare tætheden imellem skubbemekanismen og containerens sider, hvilket er meget vigtigt. RHS profilerne er kontrolleret for både bøjnings- og forskydningsspændinger.

Dimensionerne på gaffelprofilerne er beregnet i [B24] til RHS 50x50x4. Pladerne medvirker som en del af tværsnittet og forstærker profilet mod udbøjning. For at undgå at afslutte enderne i for og bag med en udragende plade, er der valgt at placere et gaffel i hver ende, så der i alt bliver 9 gafler.

4.3.3. Topbjælke/ramme

En container fyldt med flis belastes, som tidligere nævnt, på siderne af den horisontale last, og på bunden af den vertikale last. For at modvirke udbøjning er der flere konstruktionsmuligheder. En af mulighederne er at øge dimensionerne på gafflerne, så de i sig selv kan modstå belastningen. En anden mulighed er, at montere en ramme oven på gafflerne, som fikserer toppen af gaffelprofilerne. I konstruktionen er den sidstnævnte løsning valgt.

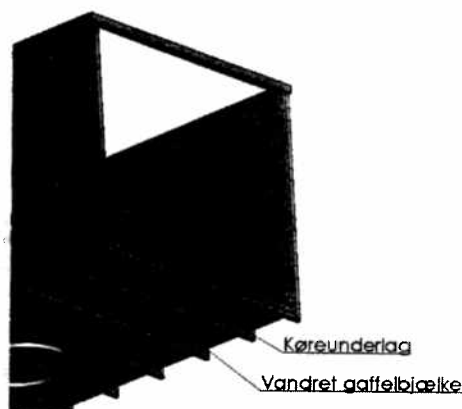
Topbjælke forskudt



Figur 32 - Tværstiver forskudt

Rammen består af fire topbjælker, som er konstrueret af RHS 80x80x5 profilrør.

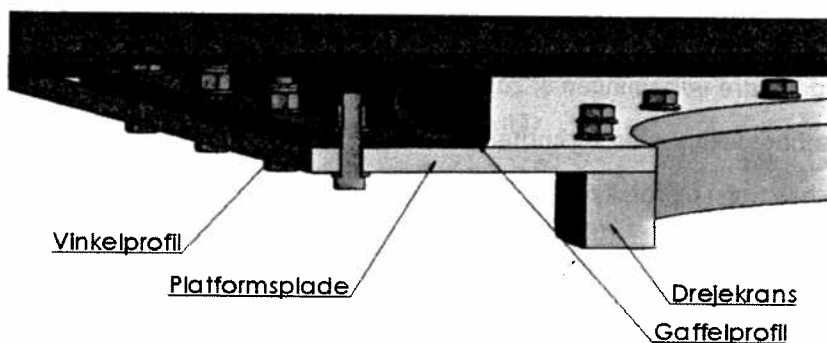
Topbjælkerne er i [B24] dimensioneret efter en maksimal udbøjning på 5 mm. Det er en forholdsvis lille udbøjning, men er vigtigt i forhold til tætningernes kompleksitet på aflæssesystemet. Den forreste tværstiver er forskudt i forhold til siderne, for at skabe plads til aflæssesystemet, se Figur 32.



Figur 33 - Illustration af køreunderlag

4.3.4. Køreunderlag

Når containeren aflæsses belastes containerens bund af et tryk fra seks kørehjul som sidder på en forskydelig bund, se afsnit *Aflæssesystem*. For at modstå belastningen som hjulene påvirker containerens bund med, monteres der på undersiden af containeren langsgående profilrør imellem de vandrette gaffelbjælker, se Figur 33. Køreunderlagets dimension er beregnet i [B34], til RHS 90x50x3,2, hvilket giver en nedbøjning på under 1 mm imellem to gaffler.



Figur 34 - Tværsnit af samling mellem drejekrans og container

4.3.5. Platform på container

For at dreje containeren skal denne, som tidligere beskrevet, monteres på drejekransen. Som tidligere nævnt er der gevindhuller i den del af drejekransen som skal monteres på containeren. Derfor er der lavet en 20 mm plade hvorpå drejekransen monteres inden denne boltes fast på containeren. Pladen med drejekransen bliver derefter monteret på seks vinkeljern som sidder under containeren, dels på de vandrette gaffelbjælker, dels på profilet til køreunderlaget, se Figur 35. Som det fremgår af Figur 34, er

det nødvendigt at svejse de seks vinkeljern på henholdsvis gaflerne og køreunderlagsprofilerne inden containerens

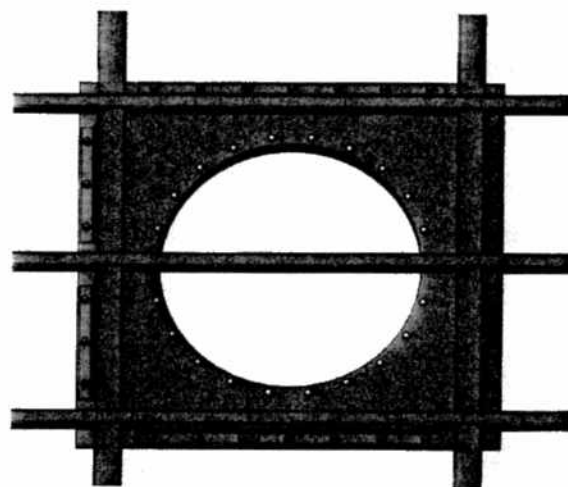
bund svejses på. Dette skyldes at der ikke er tilstrækkeligt plads til at udføre svejseoperationen efter bunden er monteret. På både plade og vinkeljern er der boret i alt 26 stk. Ø13 huller hvor plade og vinkeljern fastgøres. Netop denne metode er valgt, for at få så lav en byggehøjde som muligt. Hvis pladen, hvor på drejekransen er monteret, svejses på containeren, er udskiftning af drejekransen ikke mulig, idet der ikke er tilstrækkeligt plads til at kunne løsne skruerne. Den valgte metode er formentlig ikke den billigste idet den sætter større krav til tolerancer, end hvis pladen var svejst på. Dette skyldes, at der er en del huller som skal passe sammen, også efter de er monteret ved svejsning, og derved er risikoen for at materialet vil slå sig tilstede.

4.3.6. Samling

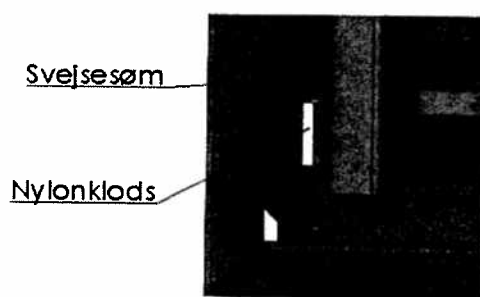
Gaffelprofilerne skæres i smig ved hjørnerne og svejses sammen med stumpsøm, ligesom tværstiverne og topbjælkerne. Herefter bliver kørehjulsprofilerne svejset på mellem de vandrette gaffelbjælker og vinkelprofilerne, hvor drejekransen monteres, svejses ligeledes på. Herefter monteres bundpladen og sidepladerne på profilskelettet.

Tværstiverne og topbjælkerne, der danner en ramme, svejses til sidst på toppen.

Bundplade og sideplader svejses sammen med stumpsøm på indersiden af containeren, lige over hvor nylonklodsen fra aflæssesystem glider, så nylonklodsen ikke skal glide oven på svejsningen. Stumpsømmet slibes efterfølgende så fladen kommer i samme niveau som sidepladerne, dette gøres for at tætningen kan agere optimalt.



Figur 35 - Illustration af monteringen af drejekransen, hvor containerens bund er usynlig



Figur 36 - Sideplade svejsesøm

Bundplade og sideplader fuldsvejses på ydersiden langs gaffelprofilerne. Dette gøres for at integrere pladen med gaffelprofilerne idet der i beregningerne er regnet på et effektivt tværsnit, og derfor bidrager dette til styrken. Samtidig lukkes spalterne, så skidt har sværere ved at trænge ind. Selvom der bliver svejset vil der fugt alligevel trænge ind, så en form for rustbeskyttelse er at foretrække.

4.4. Aflæssesystem

I [B1] er det beskrevet, at aflæsningen vil foregå ved det såkaldte Fliegl-princip. Dette princip anvendes til dels også i denne konstruktion, men hvor Fliegl skubber godset hele vejen ud, tipper denne konstruktion den sidste halvdel af. Grundlaget for dette valg er, at Fliegl-princippet kræver en forholdsvis stor skinne som skal gå igennem containeren på langs, se Figur 38. Samtidig kan længden af det udragende stempel i forenden af containeren, se Figur 37, reduceres betydeligt. Afstanden vil derved kun være omkring 250 mm, hvilket vil være en fordel idet flisfrakøren, udover at dreje i knækstyringen, også kan bevæge sig vertikal.

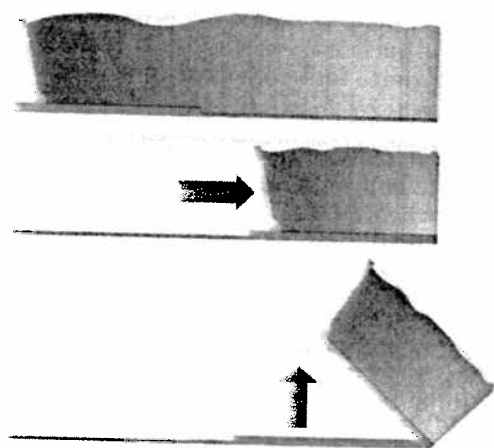


Figur 38 - Billede af gennemgående skinne i Fliegl-princip

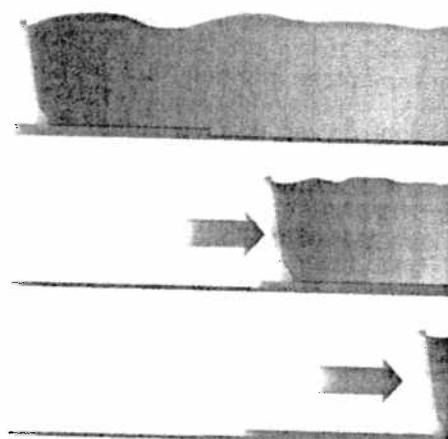


Figur 37 - Billede af udragende stempel i Fliegl-princip

Derfor kan et for stort udragende stempel forårsage problemer ved kørsel i vanskelligt terræn, hvilket maskinen meget ofte er udsat for. Afstanden kan reduceres ved at placere stemplet under den forskydelige bund. Dette er besværligt for Fliegl-princippet, dels pga. skinnen i midten af vognen, men også fordi konstruktionen kræver to hydrauliske skubbecylindre, en til den forskydelige bund, og en til forsmækken. Forskellen på Fliegl-princippet og den valgte konstruktions aflæsningsmetode kan ses på henholdsvis Figur 39 og Figur 40.



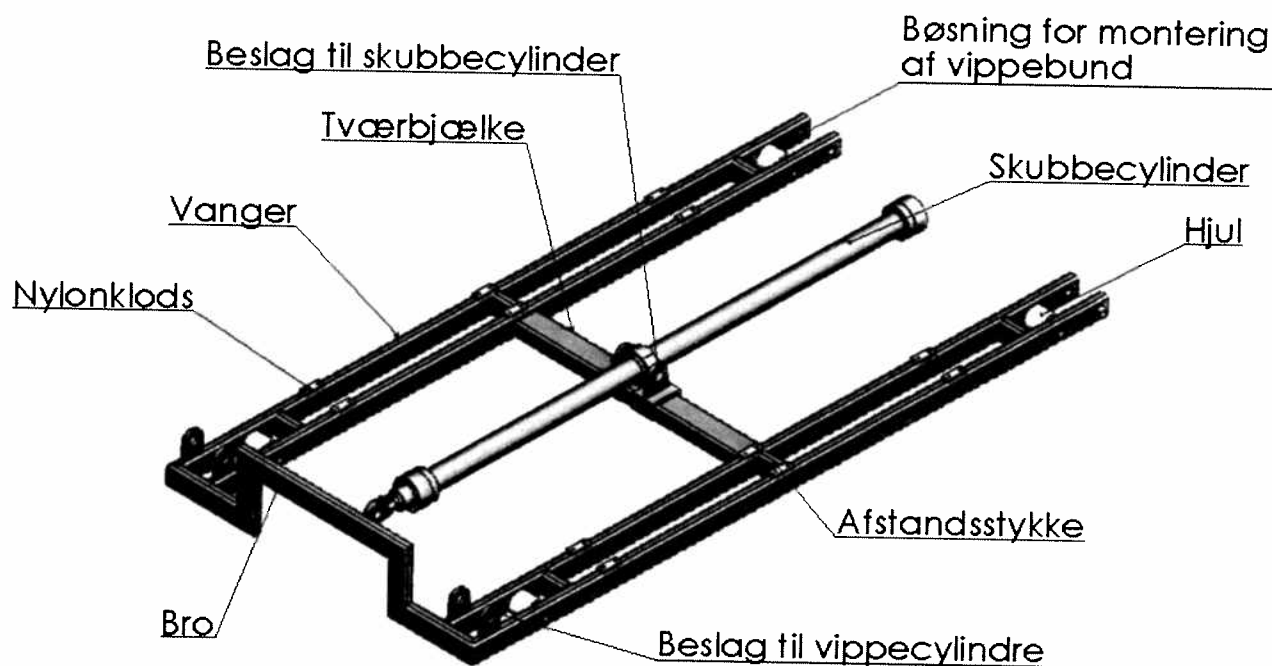
Figur 39 - Aflæsningsprincip for den valgte metode



Figur 40 - Aflæsningsprincip for Fliegl

4.4.1. Skubbevogn

Som tidligere beskrevet kræver Fliegl-princippet en skinne på langs i containeren. I stedet for en skinne er denne konstruktion udstyret med en skubbevogn. På skubbevognen er selve skubbecylindren monteret, og en ekstra bund, også kaldet vippebunden, er fastgjort bagerst på vognen i et hængsel, så det er muligt at tippe. Skubbevognens konstruktion kan ses på Figur 41.

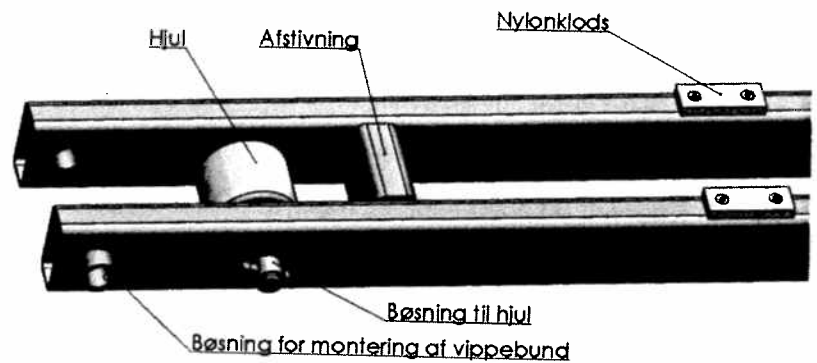


Figur 41 - Skubbevogn

Stellet på skubbevognen består hovedsageligt af profilrør. Konstruktionen kunne også opbygges i fx U- eller I-profil, men valget faldt på profilrør, idet der er et større udvalg med hensyn til dimensioner og profilrør er mere vridningsstabile i forhold til både U- og I-profil. Samtidig er det ikke muligt at montere bøsninger i U- og I-profil som kan optage moment, idet der kun er en væg og derved vil dette forårsage problemer ved henholdsvis hjulene og ved akslen til vippebunden. Men der er også ulemper ved at vælge profilrør. En af ulemperne er rust indvendigt i røret. Røret vil ruste selvom det er lukket i enderne med en svejsning, idet fugt alligevel kan trække ind. For at løse dette problem kan profilrørene rustbeskyttes indvendigt med tectyl, hvilket ville være at foretrække for denne konstruktion, idet den arbejder i et hårdt og fugtigt miljø. Der er så vidt muligt stilet efter at vælge profiler med samme godstykkelser, idet de er nemmere at svejse sammen. De steder det har været muligt er profilerne svejset sammen i smig, for at undgå enten dupsko eller en svejst endeplade.

4.4.1.1. Vanger

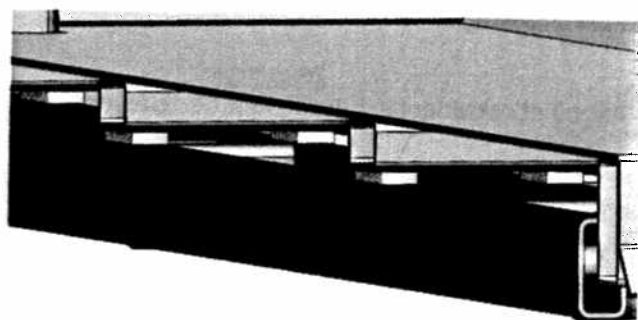
Vognen er konstrueret med fire vanger på ca. 2,5 m. Der er fire bjælker, frem for fx kun to med større dimensioner, idet hjulene er monteret imellem de to vanger. Placering af hjulene er valgt for at opnå så lav en byggehøjde som muligt på skubbevognen, da det rum som vil opstå under vippebunden er ren spild med hensyn til volumen. Vangernes dimensioner er beregnet i [B34] til RHS 80x40x5. Valget faldt på et rektangulært profil, idet der kræves større inertimoment om den ene akse.



Figur 42 - Detaljer ved skubbevogn

Som tidligere nævnt kører vognen på containerens bund. Vognen kunne også glide på containerens bundplade, hvis fx hjulene blev erstattet af glideflader. Der er i [B20] beregnet skubbekraft for henholdsvis glideflade og hjul. Her viser det sig at skubbekraften når det glider, ca. er 25 % større end når der anvendes hjul. Sammenholdt med muligheden for at fremmede partikler vil sætte sig mellem bunden på containeren og glidefladen, og derved forårsage yderligere slid og større friktionskraft, vælges det at vognen skal køre på containerens bund. Vigtigheden af den lave byggehøjde for vognen er tidligere beskrevet, men udover placering af hjulene sættes der også store krav til selve hjulene, idet de skal kunne modstå en stor belastning og samtidig have en forholdsvis lav højde. Det valgte hjul er et *Heavy Duty* hjul med kugleleje og en diameter på 85 og en bredde på 75 mm [B13]. Hvert hjul kan modstå en belastning på 1500 kg. Dermed skal der anvendes seks hjul på skubbevognen, så den kan modstå kraften på 6 tons plus egenvægt af aflæsesystem. På grund af tværbjælkens placering er det ikke muligt at placere et hjul i midten, hvilket ville være åbenlyst. Men i stedet for er det midterste hjul placeret tættest på fronten af vognen. Denne placering er valgt på baggrund af det tryk som vil opstå på den forreste del af skubbevognen, lige i det øjeblik vippebunden begynder at tippe. Her vil de to hydraulikcylindre trykke ned på vognen, idet de prøver at løfte godset, derfor anses denne placering af de midterste hjul som mest hensigtsmæssig. Til at fikse hjulets aksel er der svejst en bøsning på hver af vangerne. Denne fastholder akslen ved, at der i den ene bøsning er en gennemgående bolt, som ligeledes går igennem akslen, se Figur 41. Akslen som går igennem hjulet har en diameter på 20 mm, og er lavet af blankt stål, S235JRG2C. Til bøsningen er der valgt at anvende et 26,9x3,25 (3/4") sort sømløs rør. Der er valgt et rør frem for fx en drejet bøsning, da akslen er fikseret og dermed er der ikke store krav til overfladens beskaffenhed og dermed er dette den billigste løsning. Akseldiameteren er givet ud fra hjulproducenten og materialet som anvendes til både bøsning og aksel er valgt ud fra [L3].

Imellem vangerne er der lavet en afstivning for at sikre afstanden på de 95 mm bibeholdes, så hjulene frit kan rotere. Til denne afstivning anvendes mindre stykker 80x40x5 mm profilrør. Afstivningens dimensioner er bestemt ud fra, at der kan anvendes det spild som formentlig vil forekomme fra profilrørene som anvendes til vangerne, da afstivningerne kun har en længde på 95 mm og dermed burde denne afstivning være så billig som muligt. Endvidere er der lavet den *bro* imellem de fire forreste vanger. Broen modvirker at vognen ekser når skubbecylinderen forskydes. Afstivningen er lavet som en bro, idet den skal føres hen over skubbecylinderen, se Figur 41. Broen er konstrueret i profilrør med samme dimensioner som vangerne, idet disse skal svejdes sammen.

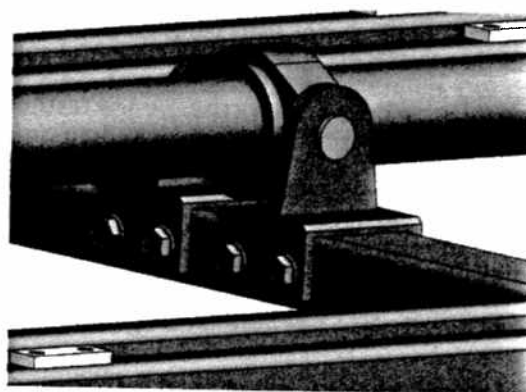


Figur 43 - Tværsnit af vippebundens understøtning på skubbevognens vanger

Når vippebunden er sænket, hviler den på vangerne, se Figur 43. Dette gøres for at tage belastningen af vippebunden, især når der læsses fra flishuggeren og over i flisfrakøren. Her vil der forekomme et stort tryk på vippebunden når fliset tippes der over i. For at vippebunden ikke hviler direkte på vangerne er der monteret 3 nylonklodser på hver vange, disse er hver monteret med undersænkede M6 unbrakoskruer.

4.4.1.2. Cylinder

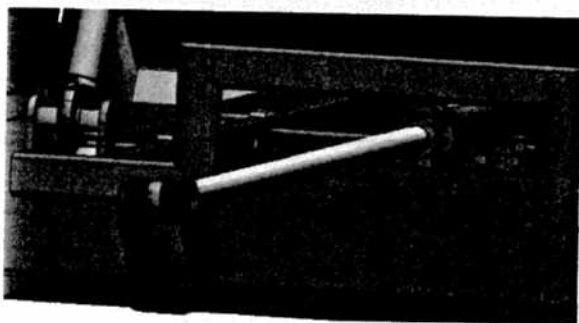
Til at forskyde vognen og vippebunden imod containerens bagende, og dermed aflæsse fliset, anvendes en hydraulisk cylinder. I [B20] beregnes en skubbekraft som cylinderen minimum skal kunne yde. Kraften beregnes til 62 kN og ud fra denne kraft beregnes, ligeledes i [B20], den mindste tilladelige stempeldiameter. På baggrund af disse værdier vælges en Bosch Rexroth CDH1MT4/63/45/2000 hydraulikcylinder – se datablad i [B35]. Cylinderen har en stempeldiameter på 63 mm, en stempelstangsdiameter på 45 mm. Der er valgt den største tilgængelige stempelstangsdiameter, idet cylinderen har en forholdsvis lang stempelvandring, og dermed kan nedbøjning give anledning til problemer. Cylinderen er fastgjort til aflæssesystemets vogn med to beslag, som er fastgjort til en tværbjælke, se Figur 41. Tværbjælken er ligeledes i RHS profilrør med dimensionerne 100x50x5. Dimensionering af tværbjælken er beskrevet i [B34]. På cylinderen er et *trunnion-beslag*. Princippet med tapbeslagene er, at cylinderen frit kan rotere i dette punkt og derfor er beslaget på stempelstangen også med et sfærisk leje. Cylinderen har store frihedsgrader for at undgå at stempelstangen bliver udsat for en bøjningspåvirkning. En stempelstang er ikke



Figur 44 - Beslag for skubbecylinder

særlig modstandsdygtig over for bøjningspåvirkninger, idet den har en lille diameter i forhold til dens længde og derved forholdsvis let kan knække sammen. Beslagene på tværbjælken er fastgjort med 4 stk. M16 bolte, se Figur 44. Beslaget er boltet på, idet tapbeslagene er faste, og derved er det nødvendigt at beslagene kan monteres ind over tappen, og først derefter fastgøres til tværbjælken. Boltene vender i samme retning som cylinderen, hvilket betyder at boltene ikke vil blive udsat for overklipning. Beslagene er konstrueret i 15 mm Weldox 700 plade og dimensioneret efter FEM analyse [B33]. Svejsningen imellem platform til beslag og selve øjet er dimensioneret i [B33] til et a-mål på 6 mm.

Ledøjet på stempelstangen er monteret på et frontbeslag. Akslen på frontbeslaget er omkring 164 mm lang, mens bredden på ledøjet kun er omkring 30 mm, se Figur 45. Frigangen gør at stemplet frit kan bevæge sig, så det dermed ikke bliver påvirket af skæve belastninger. På ledøjet er der også monteret en smørenippel, så det er muligt at smøre imellem aksel og ledøje, og dertil er der monteret en gummimanchet på hver side for at holde forbindelsen ren. Frontbeslaget som cylinderen er monteret i, er en bukket konsol som kan ses på Figur 45 og Figur 46. Beslaget er bukket i 15 mm Weldox plade. Udskaeringen på den vandrette flade er lavet for at undgå et samlested for fremmede partikler som kan forårsage korrosion. Frontbeslaget er konstrueret med en vinklet arm, se Figur 46, så det bedre kan modstå det træk som skubbecylinderen vil påvirke beslaget med, samt for at undgå den kærsvirkning som vil opstå hvis det var vinkelret. Beslaget er monteret imellem to af containerens vandrette bjælker, derved er det fastholdt imod det træk som vil forekomme når vognen forskydes bagud. Profilirørene, fra det tidligere beskrevne køreunderlag, medvirker samtidigt til at afstive de vandrette bjælker på containeren, imod det træk som overføres til dem.



Figur 45 - Frontbeslag

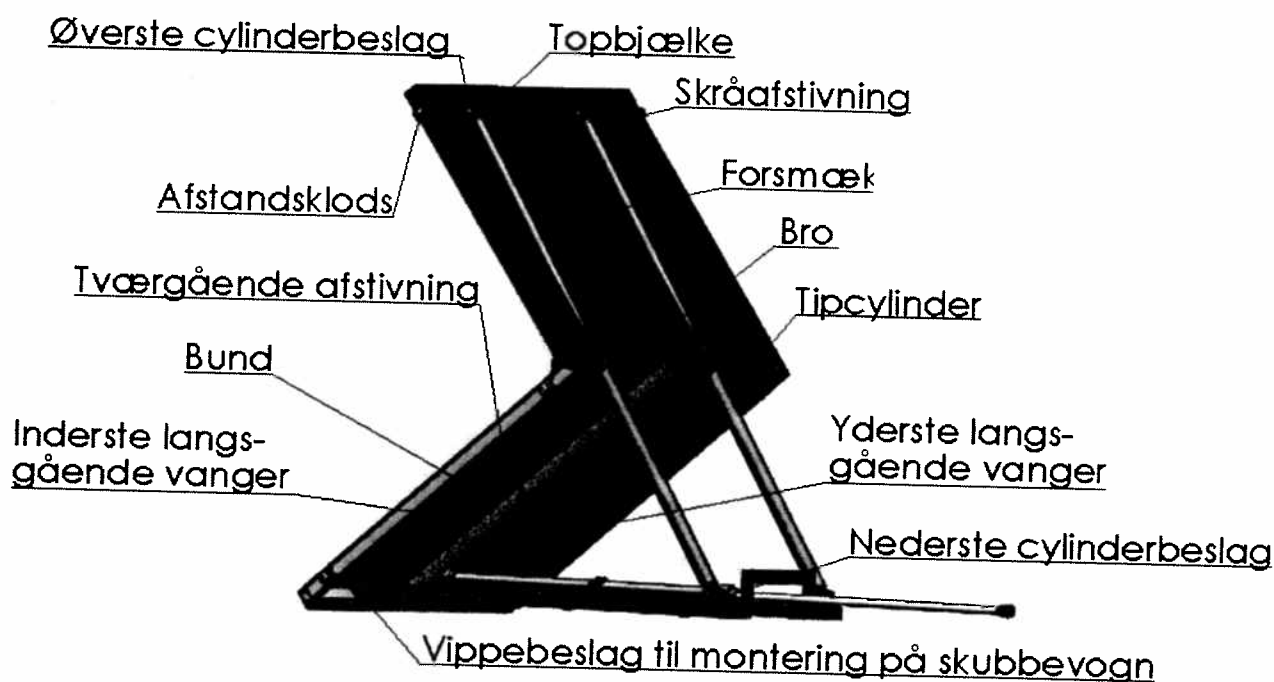


Figur 46 - Frontbeslag set fra bunden

Beslaget er dimensioneret ud fra en FEM analyse [B54].

4.4.2. Vippebund

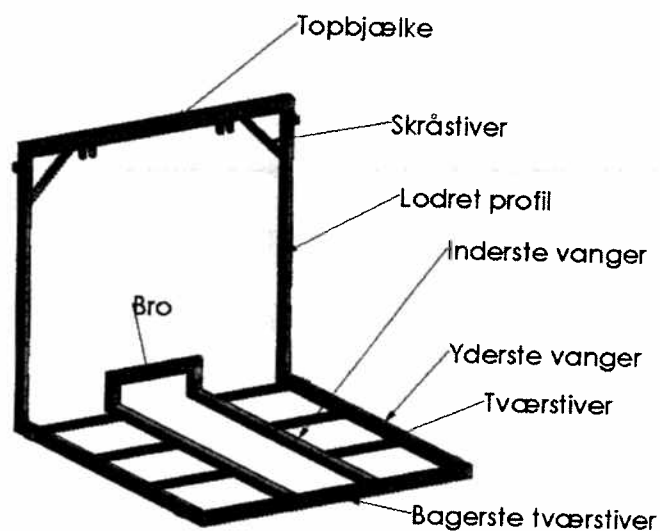
Når skubbecylindren har udført sit arbejde og skubbet vognen omkring 2000 mm, skal den forskydelige bund tippe det resterende flis af. Denne funktion udføres af vippebunden, se Figur 47.



Figur 47 - Vippebunden set fra forenden af containeren og bagud

Vippebunden er opbygget ud fra en ramme som er bestående af fire RHS 100x60x5 profiler.

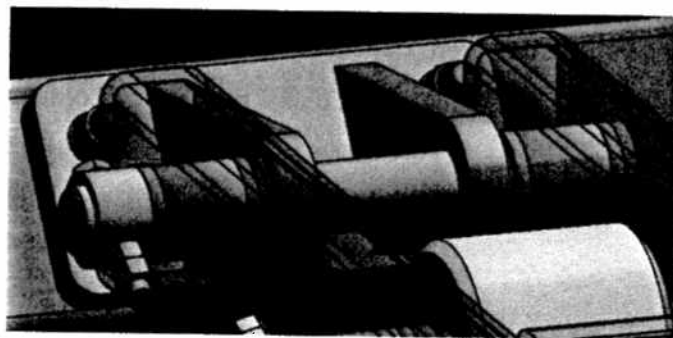
Dimensionering af disse profiler kan ses i [B38]. De to yderste profiler vender på højkant, så inertimomentet er størst. De inderste vender derimod omvendt. Dette skyldes, at der stiles efter den lavest mulige højde mellem vippebund og container og dermed er der ikke tilstrækkeligt plads til, at profilet kan stå på højkant, idet skubbevognen ligger nedenunder. Skubbevognen fylder ikke hele containerens bredde og dermed giver dette ikke anledning til problemer for de yderste profiler. Det er lykkedes at få højden ned på 145 mm, målt fra bunden af containeren til overfladen af vippebunden.



Figur 48 - Illustration af vippebundens ramme

Mellem de inderste profiler er der, ligesom på skubbevognene, lavet en bro, se Figur 48. Sammen med profilet som sidder på tværs bagerst på rammen, der hvor vippebunden monteres på skubbevognen, modvirker disse, at vippebunden vil bøje ud omkring den langsgående centerlinje. Ligeledes er der monteret tværstivere mellem de inderste og de yderste profiler, som skal modvirke nedbøjning af pladefeltet. Afstanden imellem tværstiverne er i [B38] beregnet til minimum at være 800 mm. I og med, at tværstiverne er svejst på de inderste profiler, og dermed er i forbindelse med den tidligere omtalte broforbindelse, vil disse øge stivheden af konstruktionen og dermed også modvirke til udbøjning omkring den langsgående centerlinje. Skubbecylinderens placering er igen årsagen til, at broen ikke kan være et gennemgående profil, og samme scenarie udspiller sig for de tværstivere imellem vangerne. Men igen er det vurderet, at byggehøjden på vippebunden vægter højere end kompleksiteten af konstruktionen. Derimod er det muligt at have et gennemgående profil bagerst på rammen, idet skubbecylinderen ikke arbejder i dette område. Derfor er der bagerst på vippebundens ramme en tværgående afstivning, med samme dimensioner som vangerne. Denne tværstiver medvirker ikke kun til

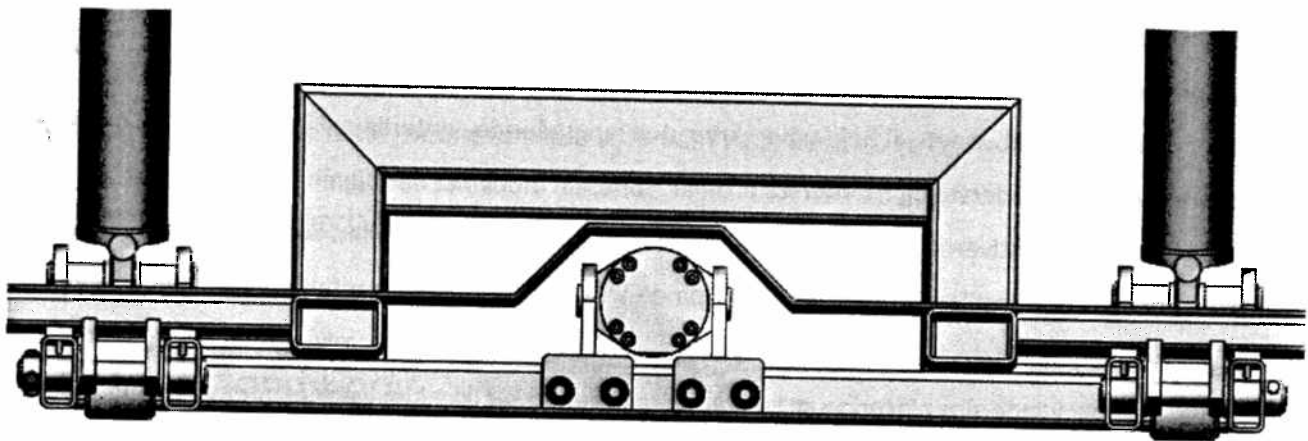
rammens stivhed, det er også på denne bjælke hvor beslagene imellem vippebund og skubbevogn boltes på. I de to vanger på skubbevognen er der, ligesom ved hjulene, svejset bøsninger på, se Figur 49, så det er muligt at montere stiften til hængsleddet imellem vippebund og skubbevogn. Stiften er dimensioneret i [B33], hvor diameteren er



Figur 49 - Illustration af hængsel imellem vippebund og skubbevogn

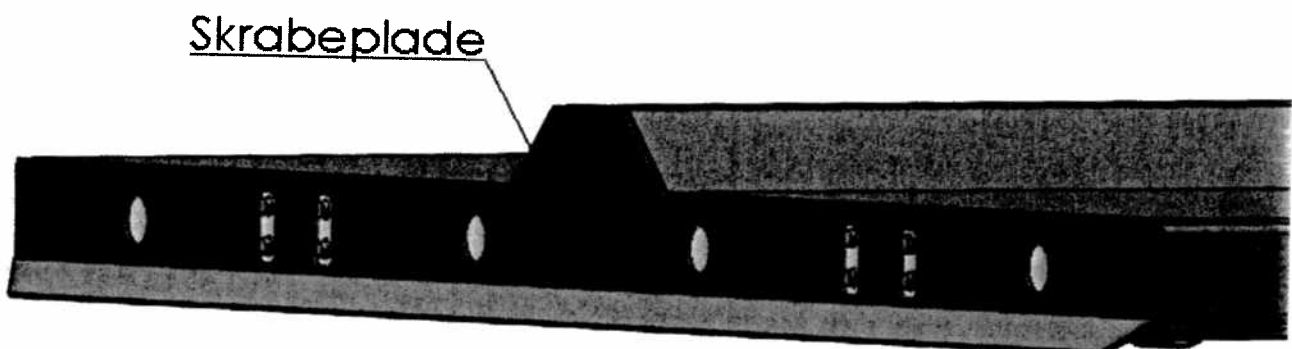
beregnet til 25 mm. I hvert beslag monteres to SKF komposit flange glidelejer, PCMF 252816,5 B, se datablad i [B48]. Der vælges et glideleje idet smøring af forbindelsen ville være meget svært tilgængelig uden centralsmøring, idet hængslet nærmest er gemt under vippebunden. Andre fordele ved at vælge et glideleje er, at godstykkelsen er meget lille og derved er det lettere at bygge ind i beslaget. Et glideleje kan også tåle en stillestående, eller ikke roterende belastning, modsat et kugleleje.

Ovenpå rammen placeres en 5 mm Domex 700 plade, som udgør bunden. Men også her, har byggehøjden en indvirke, idet skubbecylinderen er placeret højere end den resterende del af bunden, se Figur 50.



Figur 50 - Tværsnit af vippebund

Derfor er der på bundpladen et trapezformet buk, som udover at skabe plads til cylinderen, ligeledes bidrager til vippebundens stivhed på langs, hvilket er beskrevet yderligere i dimensionering af aflæssesystem i [B38]. Bagerst på bundpladen er der monteret en skrabeplyade. Skrabeplyaden skal sørge for, at godset som ligger på containerens bund, bliver skubbet ud når aflæsningen sker. Skrabeplyaden er, ligesom bunden, af 5 mm Domex 700 plyade. For at undgå rivning mod containerens bund når der aflæsses, er der monteret en PA 6.6 strimmel det sidste stykke på skrabeplyaden, se Figur 51. Nylonstrimmelen, som ikke er tegnet på 3D modellen, er boltet fast på den 45° flange, så den er let at udskifte når den bliver slidt.

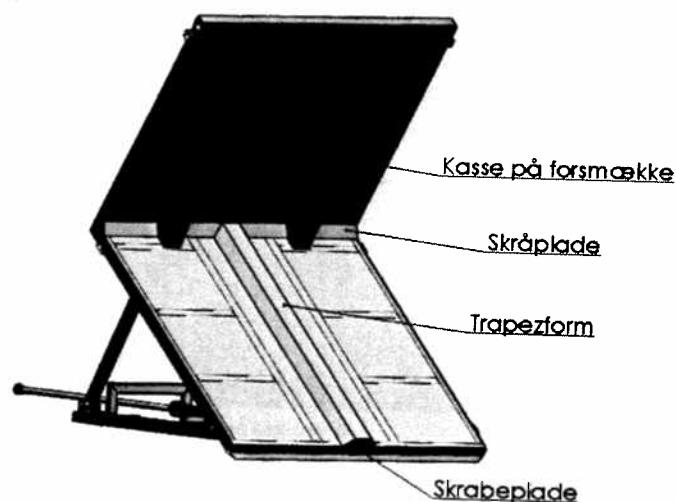


Figur 51 - Billede af skrabeplyade - bemærk nylonstrimmel er ikke monteret.

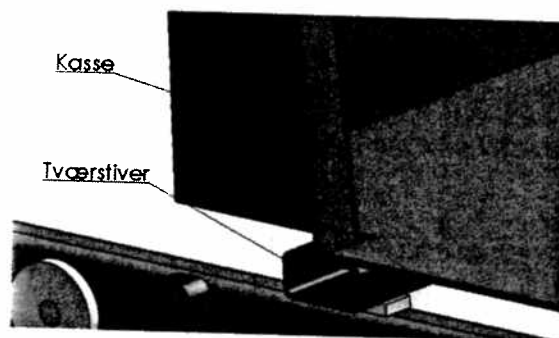
Skrabeplyaden er svejset rundt i kanterne og derudover er der skåret fire Ø50 mm svejsehuller i plyaden, så den også kan fæstnes på midten. Udover de fire huller til svejsninger, er der ligeledes fire aflange huller, der hvor boltene fra vippebeslaget sidder. Skrabeplyaden er lavet 10 mm kortere end rammen, så det er nemmere at lægge et ordentlig kantsøm.

4.4.2.1. Forsmækken

Forsmækken på vippebunden er yderst opbygget af to langsgående vanger, som er ført lodret op, og svejset sammen i en 45° samling. Ovenpå de to profilrør er der placeret en topbjælke som er dimensioneret i [B38] til RHS 100x50x5. Topbjælken har en forholdsvis stor størrelse, idet de to tipcylindre bliver monteret på denne. De lodrette bjælker på forsmækken og topbjælken ikke er af samme dimensioner og derfor er det ikke muligt at skære profilerne i smig og svejse dem sammen. Derfor ligger topbjælken ovenpå de to lodretstående profilrør. Enderne på topbjælken kan så enten svejses til eller lukkes med dupsko. Fordelen ved at bruge en dupsko er, at det er nemt at inspicere bjælken og evt. vedligeholde rustbeskyttelsen. Ulempen ved dupsko er, at de let kan falde ud, og derved vil tværsnittet stå helt åben, og være let modtagelig for fremmede partikler. Hvis enderne svejses sammen er det ikke muligt at inspicere bjælken, og selvom der laves en fuldsvejsning, vil der altid kunne trække fugt ind i bjælken, og derfor vil det være nødvendigt at bore nogle få huller så fugten kan trække ud. Selve pladen på forsmækken er opbygget af tre stykker plade. Dette skyldes at der er lavet to kasser, hvori de to tipcylindre kan lægge når vippebunden er tippet op i en vinkel på cirka 40°, se Figur 47. De to kasser er lavet for at undgå en vinklet forsmæk, hvilket ville betyde ekstra spildplads, og derved en mindre volumen til at opmagasinere fliset. Som tidligere nævnt konstrueres forsmækken af tre bukkede plader. Samlingen laves midt på kasserne, idet det anses som nemmere at svejse sammen, frem for i et af hjørnerne. Det vurderes, at det er billigst at dele pladen op i tre stykker, frem for eventuelt at bukke den i et stykke, hvilket ville være en meget kompleks opgave. De to kasser bidrager også betydeligt til forsmækkens styrke, idet de styrker den mod at vælte bagover. Dette skyldes, at de to kasser stikker omkring 200 mm ind over bundpladen, hvor de er svejset sammen med de tidligere beskrevne tværstivere, se Figur 53. Den tidligere omtalte bro som sidder på vippebundens ramme, er ligeledes svejset sammen med forsmækken, hvilket også vil bidrage til stivheden. På Figur 52 ses fire skråplader, som er lavet for at modvirke ophobning af gods i det skarpe



Figur 52 - Vippebunden set fra bagenden



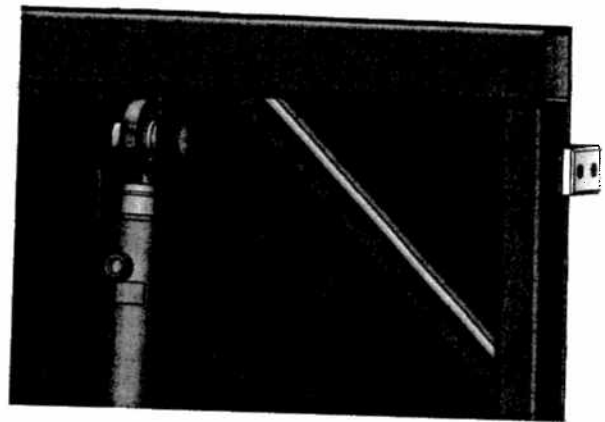
Figur 53 - Snit af samling mellem kasse og tværstiver

hjørne. Samtidig vil disse plader bidrage til forsmækkens stabilitet. Alt dette taget i betragtning, er det valgt ikke at beregne yderligere på forsmækkens stabilitet.

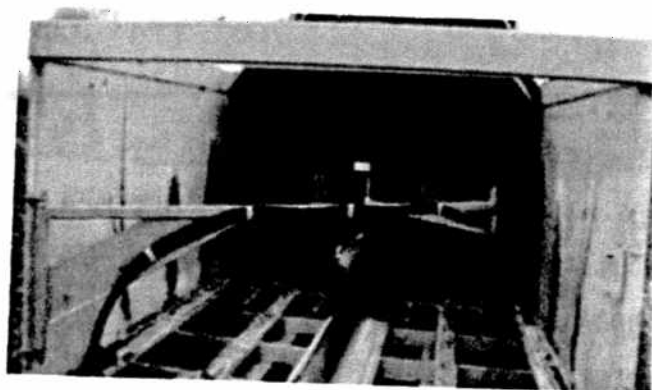
4.4.2.2. Cylindre

Til at tippe fliset af er der valgt to stk. Bosch Rexroth CDL1MP5/80/45/1650 hydraulikcylindre, se datablad i [B28]. Som tidligere nævnt er tipcylindrene monteret i topbjælken på vippebunden, som det fremgår af Figur 55. Beslagene er dimensioneret i [B33], hvor tykkelsen for Weldox 700 pladen er beregnet til 15 mm. Akslen er fra Bosch Rexroth, så der beregnes ikke yderligere på den, da denne er designet til netop den type cylinder. Ligesom ved skubbecylinderen, er der lavet frigang, så cylinderen ikke bliver påvirket af bøjning. Der sidder i det øverste øje på cylinderen et sfærisk leje, så cylinderen har flere frihedsgrader. Som det fremgår af Figur 55, er der placeret en RHS 50x50x5 skråstiver mellem topbjælken og det lodretstående profil. Denne afstivning skal modvirke at topbjælken vil bøje op ad, når tipcylindrene aktiveres. I bunden er tipcylindrene monteret i beslag ligesom de øverste, se Figur 41. På Figur 55 ses også placeringen af forskruningen til montering af hydraulikslanger på cylinderen. Disse er placeret så de vender mod containerens front, idet slangeføringen bliver trukket fra dette sted. Samtidigt er det også det nemmeste sted med hensyn til montage. For at sikre ligelig olietilførsel til de to hydraulikcylindre, er det nødvendigt med en flowdeler. Slangeføringen er heller ikke konstrueret, men her er der tiltænkt en løsning som der ofte anvendes på maskiner med forskydelige forsmække. Mekanismen er vist på Figur 54, mekanismen vil folde sammen når forsmækken er i tilbage i nulstilling. De to stænger har en tilpas længde til, at de aldrig vil ligge i en ret linje når forsmækken er forskudt helt ud og derved vil de automatisk folde sammen igen når forsmækken føres retur. Modsat mekanismen på billedet, som er fastgjort til

forsmækken, så skal fæstningen ske til selve vognen for denne konstruktion, idet forsmækken kan tippe. Et oplagt fæstningspunkt ville være på skubbevognens *bro*, idet denne er højest placeret.

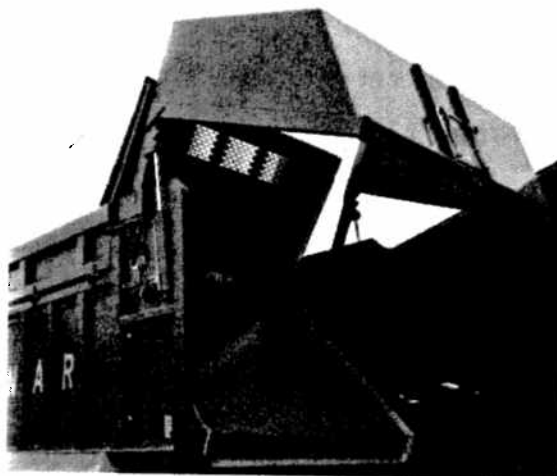


Figur 55 - Illustration af vippecylinderbeslag og skråstiver



Figur 54- Billede af mekanisme til slangeføring

Tidligere er det beskrevet, at tætningen mellem skrabepåse og containerbund, ikke er tegnet i Solid Works. Dette er heller ikke tilfældet for tætningerne langs siderne på vippebunden. Grunden til dette er, at denne tætning skal laves af et materiale som fleksibelt. En lignende løsning, som på Figur 56, er tiltænkt, hvor der er boltet strimler af et kunststofmateriale på forsmækkens sider og bund. Fordelen ved denne løsning er, at det er muligt at tilpasse tætningen, idet materialet er fleksibelt. Var det f.eks. et hårdt materiale, ville justering være meget vanskeligt.



Figur 56 - Eksempel på tætning

Dermed vil denne metode både være den billigste i indkøb og håndtering, idet der kræves meget lidt bearbejdning, og samtidig ville det være både nemt og hurtigt at montere og afmontere når det bliver slidt. En anden ulempe ved et hårdt materiale er, at dette ikke vil følge den lille udbøjning som eventuelt vil opstå nogle steder på containerens sider. Flis er ikke et særlig fint materiale og dermed er kravene til tætningen ikke lige så store som ved fx sand eller finere materialer. Men skulle tætningen laves, så den var så tæt som mulig, er løsningen som Fliegl anvender på deres traktorvogne et godt alternativ. Her er der lavet en fjedermekanisme, som hele tiden regulerer sig i forhold til containerens sider. Problemet ved denne løsning er først og fremmest, at Fliegl har patent på den og dermed kræver det, at ny mekanisme, hvor patentet kan omgås, opfindes. Dernæst er denne løsning tilpasset til vogne hvor forsmækken kun forskydes, og dermed ikke tipper. Dette betyder, at der kan opstå problemer når vippebunden sænkes igen, idet tætningen, når vippebunden er tippet op, går fri af containeren. Men når vippebunden sænkes igen, skal tætningen tilpasse sig containerens indvendige sider, hvilket kan skabe problemer. Men ud fra, at det er et groft materiale der transporteres samt, at Fliegls løsning må antages at være en del dyrere, ses den først beskrevne løsning som den mest attraktive for denne konstruktion.

5. Konklusion

Projektets formål er at konstruere en aflæsningsfunktion til en flisfrakører, som skal aflæsse bagud og til siden i en højde på 4,2 m.

Saksekonstruktionen er i sænket højde 700 mm. Det vurderes, at det med den valgte saksegeometri ikke er muligt at komme ned i en acceptabel højde.

Den hydraulisk drevne drejekrans gør det muligt at aflæsse til begge sider. Hermed opnås stor fleksibilitet, i og med, at operatøren kan køre til i begge sider.

Containeren er dimensioneret ud fra de i kravspecifikationen opgivne udvendige mål (b x l x h): 2500 x 4500 x 2200 mm. Containerens totale længde er dog 4755 mm på grund af skubbevognen, som stikker ud fortil. Den ekstra længde forekommer mellem container og førerhus hvor der allerede er et spillerum, hvorfor den ikke vil komme i karambollage med andre komponenter.

Alle bevægelige elementer drives af hydraulik.

Aflæsningsfunktionen er dimensioneret efter en massefylde på 600 kg/m^3 for flis.

Chassiset på den nuværende flisfrakører måler 1070 mm i højden. Monteres saksekonstruktionen med container på chassiset, opnås en total aflæsningshøjde på 4482 mm. Hermed er den ønskede aflæsningshøjde på 4200 mm opfyldt. I sænket position er aflæsningsfunktionen 3331 mm høj, hvilket giver en transporthøjde på 4401 mm. Transporthøjden overskrides med 401 mm. Dette kan give problemer hvis der skal passeres lave broer, når flisfrakøreren transporteres på blokvogn mellem forskellige arbejdsdestinationer. Hvis chassiset kan tilpasses saksekonstruktionen, så den kommer til at ligge lavere, kan transporthøjden gøres ca. 300 mm lavere, samtidig med at aflæsningshøjden opfyldes.

Saksekonstruktionen må maksimalt hæves med 0,15 m/s og eftersom saksen hæver sig 2,3 m tager det 15 sek. Drejekransen bruger 7,5 sek. på at dreje til siden. Aflæsningstiden for skub og tip er estimeret til 20 sek. Aflæsningen antages at bestå af følgende fem stadier: saks hæves, container drejes, aflæsning ved skub og tip, container drejes samtidig med at skub og tip kommer på plads, saks sænkes. Lægges tiderne sammen er aflæsningstiden 65 sek. Denne tid ligger tilfredsstillende tæt på den ønskede aflæsningstid på 60 sek.

Dette projekt har udmundet i en løsning, som til dels opfylder den stillede kravspecifikation. Løsningen består af en saksemekanisme, hvorpå der er monteret en platform og en container, som kan roteres via en drejekrans.

6. Perspektivering

For at Silvatec kan benytte den nye aflæsningskonstruktion kræves, at chassiset tilpasses denne. Dette vil betyde, at chassishøjden skal gøres lavere, for at imødekomme det opstillede krav for transporthøjden. På grund af den større totallængde på containeren skal chassiset ligeledes forlænges.

Flisfrakøreren har træk på alle aksler, hvorfor ændring af chassiset kan være vanskeligt.

Under idefasen er der arbejdet med andre konstruktionsprincipper. Her skal Silvatecs tidligere samarbejdespartner Preuss nævnes. Disse har tidligere samarbejdet om konstruktion af en flishugger med lignende løftefunktion.



Figur 57 - Preuss flishugger

Selvom saksekonstruktionen er hævet en smule på figuren til venstre, ses det tydeligt, at det ikke er muligt at lave denne type konstruktion særlig kompakt ved disse belastninger. Dette projekt og Preuss' konstruktion taget i betragtning, er en saksekonstruktion som hævemekanisme måske ikke den rette løsning.

Tidligere i projektforløbet er der arbejdet med alternative løsninger. Her kan nævnes Z-løft, som er beskæftiget med tidligere i idefasen. Denne konstruktions force er en større kompakthed i sænket tilstand, hvilket giver en mindre transporthøjde.

Aflæsefunktionen i containeren har en byggehøjde på 145 mm, som umiddelbart anses som acceptabel.

Containeren skal tilføres yderligere elementer inden konstruktionen kan tages i brug. Her kan nævnes toplåger samt bagsmæk, som vil medføre ændringer på konstruktionen.

7. Litteraturfortegnelse

- [L1] Metode i Projektarbejdet, 1. udgave, 11. oplag
ISBN: 87-7307-424-1
Udgiver: Aalborg Universitetsforlag, 2006
Forfattere: Helle Algreen-Ussing, Niels O. Fruensgaard
- [L2] Maskin ståbi, 9. udgave, 2. oplag
ISBN: 978-87-571-2547-4
Udgiver: Nyt Teknisk Forlag, 2004
- [L3] Stål og metal dimensionsliste 05-2008
Forfatter: Lemvigh Müller
- [L4] Materialflusstechnik, 9. udgave, 1 oplag
ISBN: 978-3-348-0313-9
Udgiver: Vieweg
Forfattere: HEINRICH Martin, peter Römisch, Andreas Weidlich
- [L5] Stålkonstruktioner efter DS/EN 1993, 1. udgave
ISBN: 978-87-571-2683-9
Udgiver: Nyt teknisk forlag
Forfattere: B. Bonnerup, B. C. Jensen, C. M. Plum.
- [L6] Teknisk Ståbi, 20. udgave
ISBN: 978-87-571-2685-3
Udgiver: Nyt teknsik forlag
Forfatter: Bjarne Chr. Jensen
- [L7] Fördertechnik 2
ISBN: 3-8023-0051-3
Udgiver: Vogel verlag
Forfatter: Hans-Jürgen Zebisch

- [L8] Roloff/Matek Maschinenelemente + Tabellen , 18. oplag
ISBN: 978-3-8348-0262-0
Udgiver: Vieweg
Forfattere: Dieter Muhs, Herbert Wittel, Dieter Jannasch, Joachim Voßiek
- [L9] Fördermaschinen
ISBN: 3-528-06626-1
Udgiver: Vieweg, 1998
Forfattere: Martin Scheffler, Klaus Feyrer, Karl Matthias