

Utvikling av kombinasjonstilhenger for snøscooter/ATV

Andreas Thoresen

Industrial Design Engineering

Innlevert: januar 2018

Hovedveileder: Jon Herman Rismoen, ID

Medveileder: Jóhannes Blöndal Sigurjónsson, ID

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for design







Forord

Denne rapporten viser prosessen og resultatet av arbeidet på min masteroppgave ved Institutt for design, NTNU.

Masteroppgaven er gjennomført med Nordli Totakservice AS som oppdragsgiver der Mads Håvard Fagerstrand har vært kontaktperson. Jon Herman Rismoen ved Institutt for design har vært faglig veileder.

Jeg ønsker å takke veileder, førsteamanuensis Jon Herman Rismoen, biveileder, førsteamanuensis Jóhannes Blöndal Sigurjónsson, Mads Håvard Fagerstrand og gjengen på Nordli Totakservice AS, Harald Vestøl i Napic og Svein Erik Brenna i Sapa for rådgivning, veiledning og annen bistand på masteroppgaven.

Rapporten omhandler arbeid gjort mellom 09.2017 – 02.2018.

Andreas Thoresen
Trondheim, 16. januar 2018

Masteroppgave for student Andreas Thoresen

Utvikling av kombinasjonstilhenger for snøscooter/ATV Development of combination trailer for snowmobile/ATV

Denne oppgaven vil bli utført i samarbeid med Nordli Totaktservice AS (NTS). NTS ble etablert i Lierne, 1995, og driver salg, service og reparasjon av blant annet snøscooter og ATV.

NTS ser et stort potensiale i å utvikle og produsere kombinasjonstilhengere for snøscooter/ATV. Ingen liknende produkter er i dag kjent for NTS og markedsundersøkelser gjort av bedriften avdekket interesse for produktet. Gjennom å åpne for helårsbruk med hjul/meier, samt å implementere raffinerte flerbruksløsninger som muliggjør vare-, person- og/eller tømmertransport, søker NTS en posisjon både på forbruker- og det profesjonelle markedet.

Opgaven vil bygge videre på forprosjekt utført i TPD 4195 - Designstudier, TPD4505 - Designteori og TPD4500 - Design 9, der konseptuell løsning og byggemateriale ble utforsket.

Opgaven vil blant annet omfatte:


- Analyse av bruker- og markedssegment
- Konseptutvikling
- DAK-modellering
- Testing og evaluering
- Prototyping av mekaniske/tekniske løsninger

Opgaven utføres etter ”Retningslinjer for masteroppgaver i Industriell design”.


Ansvarlig faglærer (hovedveileder IPD): Marikken Høiseth

Faglig veileder: Jon Herman Rismoen
Eventuelt biveileder: Jóhannes Blöndal Sigurjónsson
Bedriftskontakt: Mads Håvard Fagerstrand

Utleveringsdato: 25. august 2017
Innleveringsfrist: 18. januar 2018


Jon Herman Rismoen
Faglig veileder

Trondheim, NTNU, 22. august 2017


Ole Andreas Alsos
Instituttleder

Sammendrag

Oppgaven er gjennomført med snøscooter- og ATV-forhandleren Nordli Totaktservice AS som oppdragsgiver. Bedriften fikk i 2016 innvilget finansielle midler fra Innovasjon Norge til etablering av et mekanisk verksted for småskalaproduksjon av tilhengere til snøscooter/ATV. Bedriften ønsket bistand til utvikling av et innovativt, lett, sterkt og kostnadseffektivt produkt.

Oppgavens mål var i utgangspunktet å utvikle en kombinasjonstilhenger for snøscooter/ATV. Senere ble oppgaven endret til å omhandle utvikling av et modulbasert profilsystem i aluminium for oppbygging av en produktserie med tilhengere for vare- person- og tømmertransport til snøscooter og ATV.

Proessen inneholder en analysedel, konseptutvikling, test og evaluering og ferdigstilling. Innsikten til produktutviklingen er hentet fra litteratur, veiledning fra Nordli Totaktservice, studering av eksisterende produkter og intervjuer med forhandlere. Sluttproduktet ble utarbeidet gjennom prøving og feiling, både i 3D-DAK og ved prototyping.

Oppgaven resulterte i tre aluminiumsprofiler til oppbygging av fire tilhengervarianter. Disse er utviklet med tanke på kostnadseffektiv småskalaproduksjon i NTSS lokaler på Nordli i Lierne. Alle krav i den utarbeidede kravspesifikasjonen anses som oppfylt.

Abstract

This master thesis has been completed in cooperation with the snowmobile and ATV retailer Nordli Totaktservice AS. In 2016, the company was given financial resources by Innovasjon Norge to establish a mechanical workshop for low-volume production of snowmobile/ATV trailers. The company wanted assistance for the development of an innovative, lightweight, strong and cost effective product.

The goal of the master thesis was to develop a combination trailer for snowmobiles/ATVs. Later, the vision was changed to deal with development of a modular aluminum profile system for a product line with trailers for goods-, person- and timber transport for snowmobiles and ATVs.

The report contains an analysis part, concept development, test and evaluation and completion. The product development insights are derived from literature, guidance from Nordli Totaktservice, a study of existing products and interviews with retailers. After prototyping, the final product was built in 3D-CAD.

The design process resulted in three aluminum profiles for the construction of four trailer variants. These are developed in terms of cost-effective slow-volume production on NTS's premises at Nordli in Lierne. All demands from the specifications are considered to be fulfilled.

Ordliste

NTS = Nordli Totaktservice AS (samarbeidsbedriften).

SMB-utvikling = Utviklingsprogram for små og mellomstore bedrifter (SMB) med vekstpotensial. Finnansieres av Innovasjon Norge.

Småskalaproduksjon = Produksjon med rate på 20-500 produserte enheter årlig. Småskalaproduksjon stiller i dette tilfellet krav til kostnadseffektive konstruksjonsmaterialer og -produksjonsmetoder.

Sapa = Norsk Hydro-eid aluminiumsselskap som utvikler og produserer aluminiumsprofiler.

Prefabrikasjon = Betegner i dette tilfellet sammensetning av ferdigproduserte (prefabrikerte) komponenter.

Svingskive = Anordning på snøscooterunderstell som muliggjør sving/styring på meier.

Not og fjær = Mekanisk sammenføyingsmetode mellom to deler. Den ene delen har en fordypning (not), mens den andre delen har en tilsvarende utstikkende profil (fjær).

(Delkapittelet som omhandler eksisterende produkter har egen ordliste)

Innhold

- 4 Forord
- 6 Sammendrag
- 7 Abstract
- 8 Ordliste

1 Introduksjon

- 12 Bakgrunn
- 14 Forprosjekt
- 18 Ny visjon
- 20 Mål og avgrensninger
- 21 Metode

2 Analyse

- 24 Eksisterende produkter
- 32 Bruker, bruk og bruksområde
- 36 Bruk på offentlig veg
- 38 Trekkjøretøyet
- 40 Aluminium som konstruksjonsmateriale
- 42 Ekstrudering av aluminium
- 43 Konstruksjon
- 44 Produksjon
- 46 Resultat av analyse og videre arbeid
- 48 Kravspesifikasjon

3 Konseptutvikling

- 52 Varianter
- 54 Produktstruktur
- 56 Bruk av eksisterende komponenter
- 58 Innfestning i profilsystemet
- 60 Dimensjon
- 64 System

4 Test og evaluering

- 70 Forberedelse, prototype
- 72 Prototype
- 80 Test
- 84 Evaluering

5 Ferdigstilling

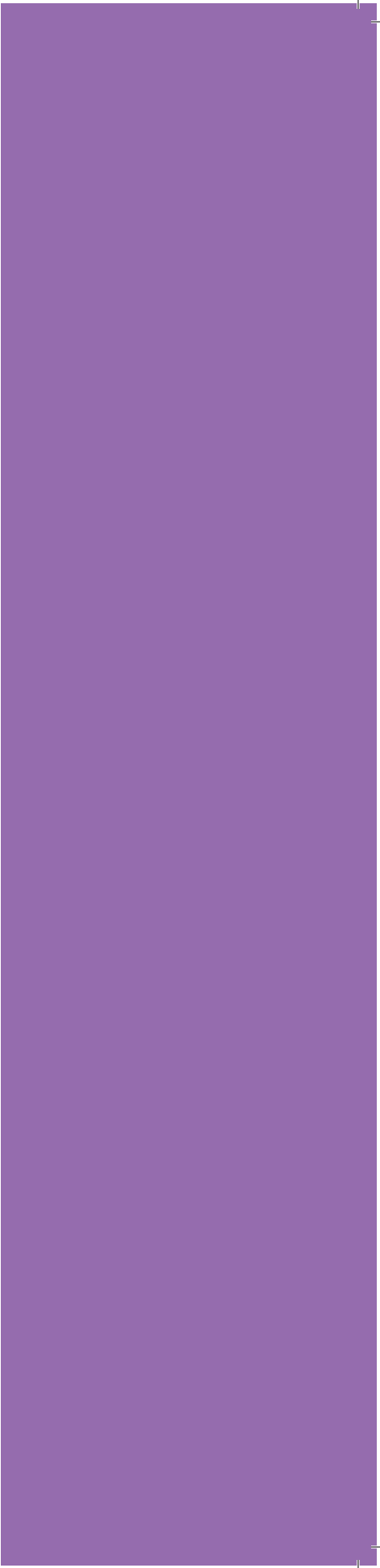
- 88 Design
- 89 Datasimulering
- 94 Datasimulering av mutterspor
- 96 Endelige profiler
- 97 Modellene
- 100 Endeprofil
- 101 Visualisering

6 Evaluering

- 106 Refleksjon
- 107 Konklusjon
- 108 Veien videre
- 109 Kildeliste

7 Vedlegg

- I *Aluminium versus steel in low-volume production of structural applications* (Gjennomgangsartikkel)
- II Vedlegg til "Eksisterende produkter"
- III Vedlegg til "Datasimulering av mutterspor"
- IV Målsatte tegninger



1 Introduksjon

Bakgrunn

Prosjektet i masteroppgaven er gjennomført med Nordli Totaktservice AS (NTS) som oppdragsgiver. NTS har lokasjon på Nordli i Lierne kommune, Nord-Trøndelag, og har siden 1995 drevet salg, service og reparasjon av snøscooter og ATV. Bedriften forhandler også relaterte tilleggsartikler. NTS har i dag tre ansatte med mekanikerbakgrunn.

Som et produkt av radikale forandringer i kommunens næringsliv i 2015, der en hjørnesteinsbedrift ble oppkjøpt og flyttet, kjørte Innovasjon Norge programmet "SMB-utvikling" i Lierne. SMB-utvikling er et utviklingsprogram for små og mellomstore bedrifter med vekstpotensial. Programmet leveres som en rådgivningstjeneste der bedriftene gjennom et forprosjekt får operativ og finansiell bistand med utarbeiding av prosjektplaner for utviklingsprosjekter. Etter avsluttet forprosjekt kan bedriftene enkeltvis søke Innovasjon Norge om finansielle midler til å gjennomføre tiltak i et hovedprosjekt.

NTS var en av ti bedrifter i Lierne som deltok i utviklingsprogrammet, med ambisjon om å i tillegg til dagens virksomhet, etablere et mekanisk verksted for småskalaproduksjon av kombinasjonstilhengere til snøscooter/ATV. Gjennom å åpne for helårsbruk med hjul/meier, samt å implementere raffinerte flerbruksløsninger som muliggjorde person-, vare- og/eller tømmertransport, søkte NTS markedsposisjon med et nytt alt-i-ett-produkt.



I forbindelse med forprosjektet ble forfatter kontaktet med forespørsel om bistand med utvikling- og visualisering av produktets konseptuelle løsning. Med positiv innstilling til forespørselen, ble dette gjennomført som prosjektoppgave i faget TPD4195 – Designstudier, våren 2016. Etter endt forprosjekt søkte NTS Innovasjon Norge om finansielle midler, hovedsakelig til utvikling og prøveproduksjon av kombinasjonstilhengeren. Da dette ble innvilget, forespurte NTS forfatter om å utvikle produktet gjennom masteroppgaven. Fagene TPD4505 – Designteori og TPD4500 – Design 9 ble våren 2017 gjennomført med kombinasjonstilhengeren som kasus og skulle fungere som forprosjekter til masteroppgaven. På bakgrunn av funn gjort i disse fagene ble det i september 2017 valgt å gå bort fra en alt-i-ett-løsning og heller fokusere på et profilsystem i aluminium til utvikling av en produktserie med tilhengere for snøscooter og ATV.

Nordli Totaktservice ▲

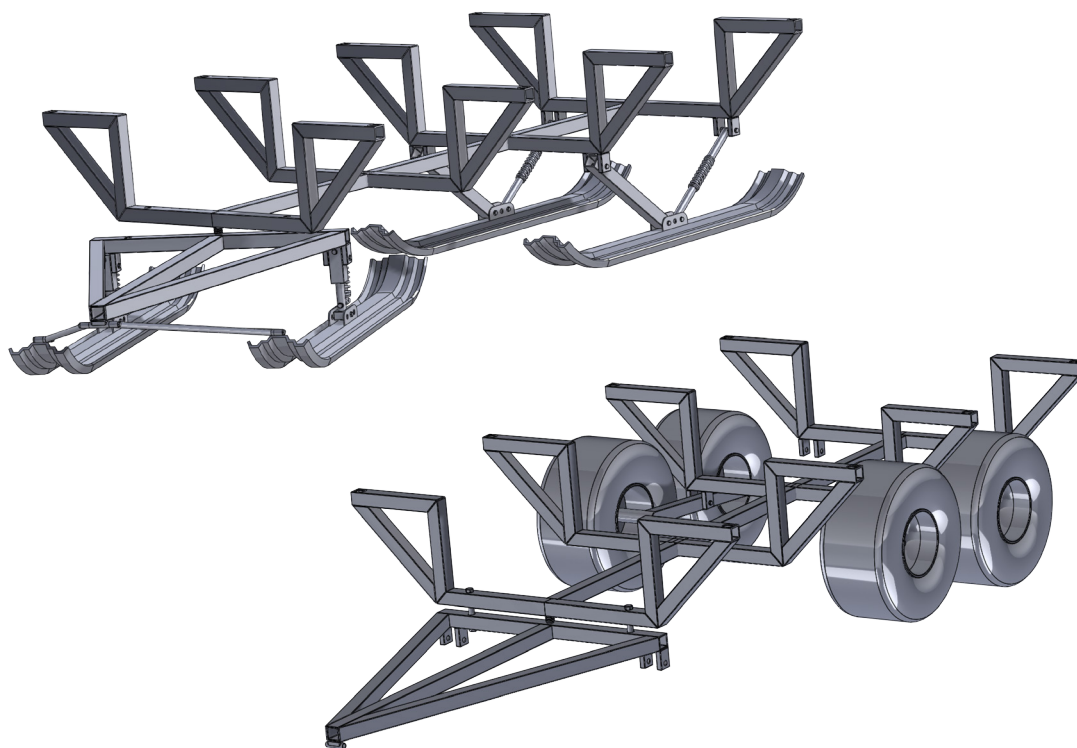
Lokalene til NTS på Nordli i Lierne.

BILDE: Andreas Thoresen (2018)

Forprosjekt

Første møte med NTS fant sted medio februar 2016. Sammen med sin rådgiver fra Innovasjon Norge hadde bedriften i forkant utarbeidet en forretningsmodell som beskrev og klassifiserte prosjektet. På dette tidspunktet ønsket NTS bistand med utvikling- og visualisering av produktets konseptuelle løsning. Dette skulle hovedsakelig brukes i søknadsprosessen til Innovasjon Norge om finansielle midler til gjennomføring av prosjektet.

Som mangeårig forhandler og bruker av tilhengeranordninger for snøscooter og ATV, hadde NTS avdekket flere problemområder med eksisterende produkter. Dette dreide seg først og fremst om kvalitet og kostnad, men også om lite innovasjon og nytenkning i forhold til anvendelse. NTS hadde en visjon om å utvikle en kombinasjonstilhenger for helårsbruk, der meier (snøscooter-oppsett) raskt kunne erstattes med hjul (ATV-oppsett). I tillegg skulle det fokuseres på mangfoldig anvendelse innenfor hver sesong, med implementering av elementer fra tilhengere for person-, vare- og tømmertransport. Det var viktig at produktet var robust, da det ble ansett som fordelaktig å operere med en nyttelast på minst 600 kg. Samtidig skulle produktets egenvekt forsøkes holdes under 100 kg for å være anvendelig i terreng. Størrelsesmessig var det ønskelig at produktet skulle romme to europaller (1200 x 800 mm hver). Det forelå også et ønske om å holde utsalgsprisen under 25.000 NOK, noe som ville sette strenge krav til kostnadseffektive konstruksjonsmaterialer og -produksjonsmetoder.



Gjennom faget Designstudier ble det utarbeidet en konseptuell løsning der de viktigste elementene var implementert. Konseptet baserte seg på bruk av sveiste stålprofiler. Universale festebraketter på konstruksjonens underside skulle muliggjøre et raskt bytte mellom meier/hjul. Produktet ble konstruert som brønntilhenger, noe som ble ansett som den mest anvendelige formen samt sikret det laveste tyngdepunktet. Draget ble utformet med mulighet for sving (snøscooter-oppsett) eller avstivning (ATV-oppsett). Kombinasjonstilhengeren var også tiltenkt platt og endekarmer (i metall eller trevirke), selv om disse ikke er tatt med i illustrasjonene ovenfor.

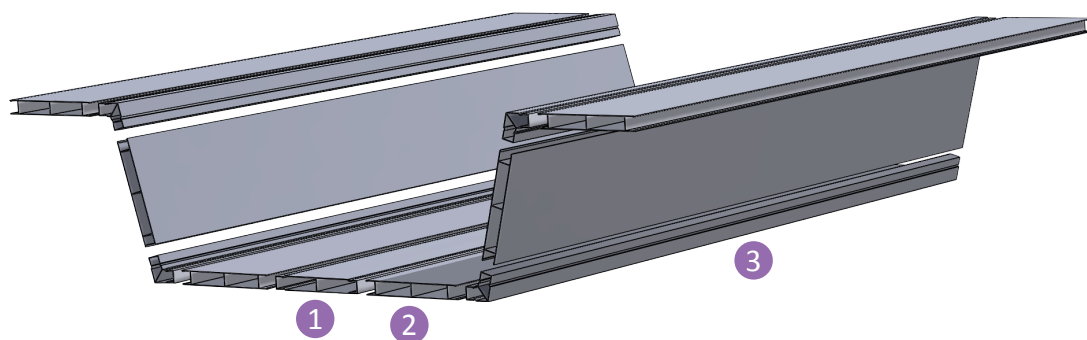
Konseptuell løsning ▲
Kombinasjonstilhenger
med snøscooter- og ATV-
oppsett.

ILL.: Andreas Thoresen
(2016)

Våren 2016 fikk NTS positiv respons på søknaden og ble bevilget inntil 300.000 NOK bruke på videre utvikling og prøveproduksjon av kombinasjonstilhengeren.

Det ble valgt å bruke kombinasjonstilhengeren som kasus i fagene Designteori og Design 9, fordypningsprosjekt våren 2017. Formålet med dette var å gjennomføre relevante kasusstudier som kunne benyttes som forprosjekter til masteroppgaven.

Siden en egenvekt på under 100 kg ble ansett som fordelaktig, ble gjennomgangsartikkelen "Aluminium versus steel in low-volume production of structural applications" (Vedlegg I) forfattet i faget Designteori. I artikkelen ble det gjort en sammenlikning av aluminium og stål som materialvalg i småskalaproduksjon, der formålet var å finne det meste optimale konstruksjonsmaterialet for kombinasjonshengeren basert på produkt- og produksjonskrav. Materialene ble hovedsakelig vurdert ut fra mekaniske egenskaper, tilvirkningsmuligheter og det finansielle aspektet. I sammenligningen ble det tatt utgangspunkt i aluminiumslegering 6063-T6, som i følge NTNU Aluminium Product Innovation Center (Nopic) og aluminiumsprodusenten Sapa var den mest hensiktsmessige til formålet. Aluminiumslegeringen ble sammenlignet med konstruksjonsstållegering S355 (galvanisert), som etter undersøkelser med norske tilhengerprodusenter var den foretrukne og mest brukte i sammenlignbare produkter. Konklusjonen var ikke entydig, da bruk av aluminium tydet på muliggjøring av en lettere konstruksjon samt gjennom tilgjengelig ekstruderings-teknologi åpne for potensielt bedre tilvirknings- og produksjonsmetoder. Imidlertid tydet bruk av stål på muliggjøring av en mer kostnadseffektiv konstruksjon. Kostnader knyttet til eventuelle forskjeller i produksjonstid var ikke medregnet.



Fordypningsprosjektet i Design 9 baserte seg på teoretisk innsikt opparbeidet gjennom Designteori. Til tross for at artikkelen viste et kompromiss mellom vekt og kostnad, ble det i prosjektet valgt å fokusere på et aluminiumsdesign for grunnkonstruksjonen. Napic ble brukt i en mentorrolle innledningsvis og fremmet bruk av ekstruderte aluminiumsprofiler som erstattet rammekonstruksjonen og tilhengerplatten. Dette til fordel for å kopiere et design i stål. Med hjelp fra Napic ble det utarbeidet et konseptuelt løsningsforslag basert på bruk av egenutviklede aluminiumsprofiler. Sapa oversendte påfølgende et løsningsforslag med prisestimat. Dette var basert på tre ulike profiler som ble sammenføyd ved permanent klipssammenføring (snap-fit joint) til fordel for en sveist sammenføring. Dette ville i følge Sapa være styrkemessig tilstrekkelig samt muliggjøre lavere monterings tid. Konseptet ble i fordypningsprosjektet videreutviklet for å konseptuelt møte NTSS produktkrav. Illustrasjonen over viser resultatet i prosjektet, en bærende tilhengerplatt med vekt på 84 kg og estimert enhetskostnad på drøyt 3000 NOK. Kostnad på ekstruderingsverktøy påkommer (se t.h.), dette regnes som en engangsinvestering.

Aluminiumspaneler ▲

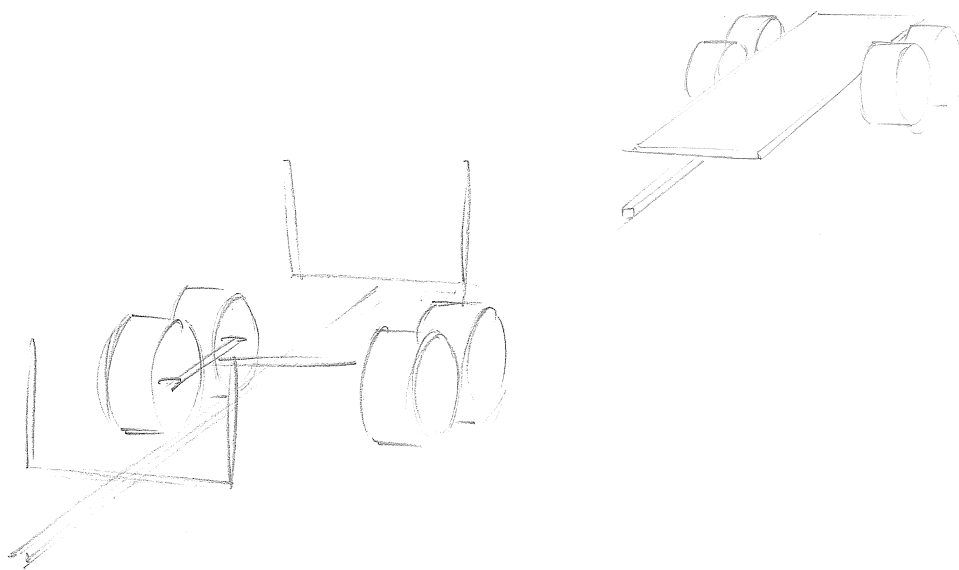
Eksplodert visning av grunnkonstruksjon i aluminium.

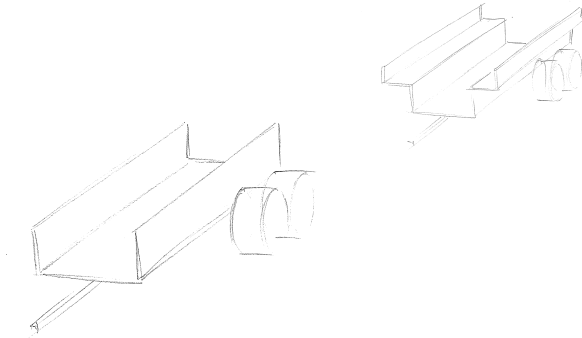
ILL.: Andreas Thoresen (2016)

Estimert
verktøykostnad:

- 1)** 25.000 NOK
- 2)** 30.000 NOK
- 3)** 15.000 NOK

Introduksjon Ny visjon





Ny visjon

På bakgrunn av en prosjektgjennomgang sammen med NTS i september 2017, ble det besluttet å endre visjon for prosjektet. Dette var basert på funn gjort i Designteori og Design 9 som belyste mulighetene ved bruk av ekstruderte aluminiumsprofiler samt en økende skepsis til å klare å utvikle en fullverdig alt-i-ett-løsning som var konkurransedyktig mot eksisterende produkter. Det ble bestemt at det heller skulle fokuseres på utvikling av et modulbasert profilsystem i aluminium for oppbygging av en produktserie med tilhengere til snøscooter og ATV. Tanken var at NTS ved hjelp av et relativt lavt antall egenutviklede aluminiumsprofiler skulle kunne produsere forskjellige og mer spesifikke tilhengerløsninger til vare-, person eller tømmertransport. I første omgang ble det også valgt å gå bort fra en løsning der meier raskt kunne erstattes med hjul, til fordel for rene snøscooter- eller ATV-tilhengere.

Tidlige tanker ▲

Tidlige tanker for produktserien.

ILL.: Andreas Thoresen (2017)

Mål og avgrensninger

Hovedmål

Utvikle et modulbasert profilsystem i aluminium for oppbygging av en produktserie med tilhengere for vare- person og tømmertransport til snøscooter og ATV. Produktserien skal utvikles i tråd med utarbeidet kravspesifikasjon.

Resultatmål

- Prosjektrapport som omhandler alle arbeidsfaser og resultatet.
- 3D DAK-modell av resultatet.
- Fullskala prototype av ATV-tilhenger for varetransport (bygges at NTS).

Avgrensninger

- Byggemateriale er i samråd med NTS bestemt basert på forprosjekter beskrevet i "Forprosjekt".
- Sluttproduktet vil være tiltenkt og tilrettelagt småskalaproduksjon samt tilgjengelige kompetanse og resusser hos NTS.
- Sluttproduktet vil tilnærmes ved hjelp av prototypetesting og enkle statiske styrkeberegninger i 3D DAK-programvare.
- Produksjonsrelaterte spørsmål rettes utelukkende til Sapa, selv om det finnes flere aktører i Norge som potensielt har andre oppfatninger.



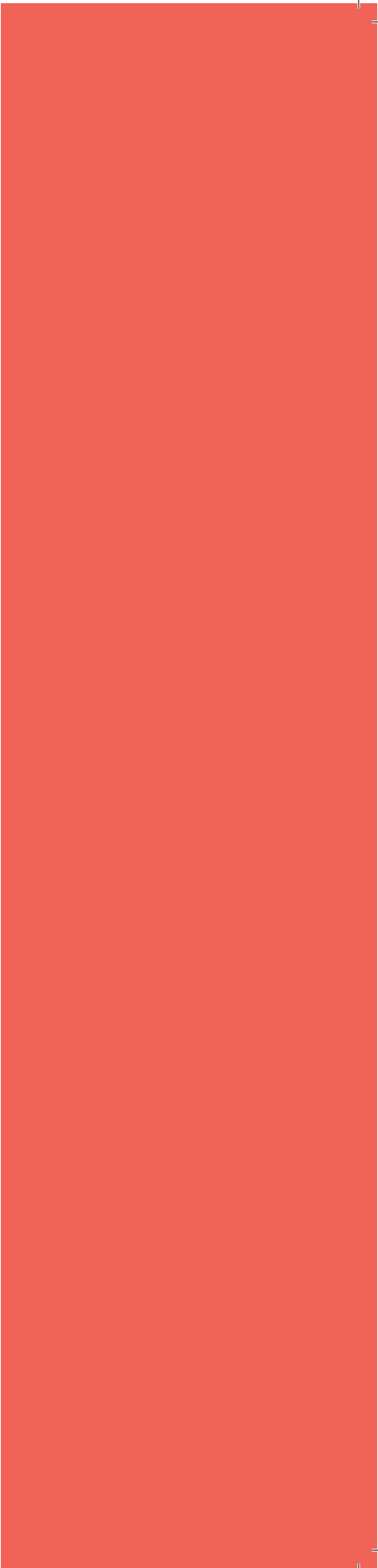
Disposisjon og metode

Disposisjon

Rapporten er valgt inndelt i syv kapitler. I tillegg til introduksjonen er den bestående av et analysekapitel som tar for seg eksisterende produkter og viktige elementer med disse, bruker, bruk og bruksområde, en orientering om konstruksjonsmaterialet og produksjon. Analysen ender opp i en kravspesifikasjon som danner grunnlaget for kapitelet om konseptutviklingen. I dette kapitelet imøtekommer produktene kravspesifikasjonen prinsipielt med tanke på løsning, dimensjon og system. Kapitelet som omhandler test og evaluering viser bygging/test av prototyper og resultatet av dette. Ferdigstillingen viser og visualiserer det endelige resultatet av prosjektet. Evalueringskapitelet reflekterer resultatet og prosessen samt gir en anbefaling for veien videre. I siste kapitel finnes vedlegg som har vært sentrale i prosessen, eller er sentrale for videre arbeid.

Metode

Innsikten til produktutviklingen er hentet fra litteratur, veiledning fra Nordli Totaktservice, studering av eksisterende produkter og samtaler med forhandlere. Sluttproduktet ble utarbeidet gjennom prøving og feiling, både i 3D-DAK og ved prototyping.



2 Analyse



Eksisterende produkter

Siden det på sikt søkes etter å produsere en produktserie med tilhengere til snøscooter og ATV for vare-, person eller tømmertransport, er det nødvendig å studere eksisterende produkter som brukes til disse formålene. Dette avdekker typiske elementer som må, bør eller kan implementeres i de ulike produktene og som igjen må hensyntas i utviklingen av profilsystemet. 24 tilhengere er studert (fire fra hvert segment) og anses å danne et representativt bilde på eksisterende produkter med tanke på løsninger, tekniske data og pris. De av elementene som er trukket ut på de neste sidene og som har direkte innvirkning på profilsystemets utforming er klassifisert i kravspesifikasjonen på side 48 og 49. Spesifiserte data på de ulike tilhengerne er vedlagt (Vedlegg II). Det bemerkes også at enkelte eksisterende produkter på grunn av relevans er ekskludert fra undersøkelsen.

Konkurrenter ▲
NTS er i dag forhandler av fremtidens potensielle konkurrenter. BILDE: Andreas Thoresen (2017)



Ordforklaring

360 grader roterbar tilkobling = Roterbar tilkoblingsdel mellom tilhenger og trekkjøretoy hindrer

trekkjøretoyets å velte dersom tilhengeren velter.

Hensiktsmessig ved ferdsel i ulendt terreng.

Fjærbelastet tilkobling = Fjærbelastet tilkoblingsdel

mellom tilhenger og trekkjøretoy sørger for mykere og mer dynamisk ferdsel.

Skifeste = Festeanordning mellom framtupp på meie og

ramme/drag som sørger for at meien følger

tilhengerens horisontalplan og ikke dykker i snøen.

Lenkearm = Festeanordning mellom ramme/drag og

meie på snøscootertilhenger der støtdempere

benyttes.

Forskyvbar aksling = Muliggjør forskyvning av hjul slik

at tilhengerens tyngdepunkt optimaliseres etter

last.

Boggi = To eller flere aksler plassert i kort avstand fra

hverandre. Dette øker tilhengerens lastekapasitet.

Braketter til lys og kjennemerke = Nødvendig ved

registrering for bruk på offentlig veg.

Kombinert drag = Kombinasjon mellom V-drag og rett

drag.

Tømmerstaker = Staker (kan ofte være avtag- og/eller

justerbare) som sørger for at tømmeret holdes på

plass under transport.

Tømmertenner = Tenner/tagger som sørger for at

tømmeret holdes på plass under transport.

Nøkkefunksjon = Kallt "nøkkedrag". Installasjon som ved

igangsetting lar tilkoblingsdelen på draget "løpe"

omlag 200 mm før den tar tak i resten av

tilhengeren. Dette sørger for lettere igangsetting

ved ferdsel med tung last.

Grind = Hindrer tømmeret i å komme i kontakt med

trekkjøretoy under transport.

Analyse Eksisterende produkter

Varetransport, snøscooter

Tilhengere til snøscooter for varetransport, kalt kjelker, egner seg til godstransport. De minste kjelkene (kalt pakkjelker) er ekskludert. De fleste kjelkene har to lange meier, men finnes også med fire meier og sving. Kjelkene har typisk flat platt i kryssfinér med lave karmmer i metall. Forhøyingskarm kan ofte fås som ekstrautstyr. Undersøkte produkter har egenvekt fra 62 - 105 kg, nyttelast fra 288 - 400 kg og pris fra 7.000 - 19.990 NOK.



Produkteksempel ▲

Produkteksempel på tilhenger for varetransport til snøscooter.

BILDE: Outworks



BILDE: Outworks

- 1) Flat platt i kryssfinér
- 2) Lave kramer i metall
- 3) Svingbart V-drag
- 4) 360 grader roterbar, fjærbelastet tilkobling
- 5) Skifeste på framski
- 6) Skifeste på bakski
- 7) Framski forbundet til drag med støsdemper og lenkearm
- 8) Bakski forbundet til platt med støsdemper og lenkearm

Varetransport, ATV

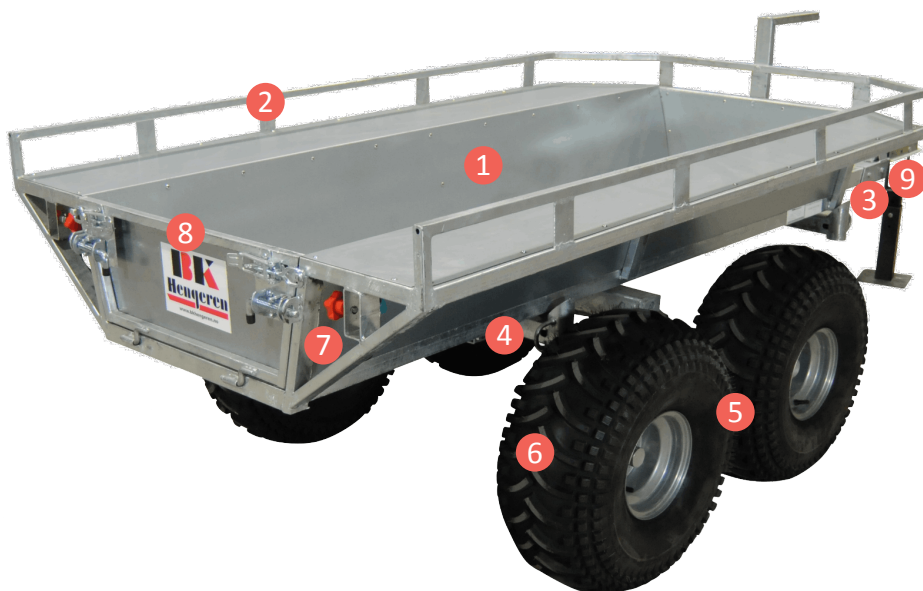
Tilhengere til ATV for varetransport egner seg typisk til frakt av gods, løsmasser og slakt. Tilhengerene har ofte brønnformet platt, men finnes også med flat platt og karm. Enkelte tilhengere har tippfunksjon for enklere lasting og lossing. Undersøkte produkter er utstyrt med boggi og har egenvekt fra 155 - 250 kg, nyttelast fra 445 kg - 1200 kg og pris fr 16.400 - 21.500 NOK. Flere tilhengere er tilrettelagt registrering for bruk på offentlig veg.



Produkteksempel ▲

Produkteksempel på tilhenger for varetransport til ATV.

BILDE: BK-Hengeren



BILDE: BK-Hengeren

1) Brønnformet platt i metall **2)** Lave kramer i metall **3)** 360 grader roterbar tilkobling **4)** Forskyvbar aksling **5)** Boggi **6)** Knastedekk **7)** Braketter til lys og kjennemerke **8)** Endekarm **9)** Rett drag

Analyse Eksisterende produkter

Persontransport, snøscooter

Tilhengere til snøscooter for persontransport kan deles inn i to kategorier; tilhengere bygd på tilhengere for varetransport og pulker. Pulker, kabiner i plastmateriale, er ekskludert fra undersøkelsen på grunn av relevans. Undersøkte produkter har sitteinnetning fra to til ti personer, egenvekt fra 85 - 170 kg, nyttelast fra 400 - 750 kg og pris fra 17.000 - 51.800 NOK. Noen har/kan påmonteres skjerm som hindrer sprut fra trekkjøretøy.



Produkteksempel ▲

Produkteksempel på tilhenger for varetransport til snøscooter.

BILDE: Outworks



BILDE: Outworks

- 1) Sitteinnetning med håndtak
- 2) Flat platt i kryssfinér
- 3) Lave kramer i metall
- 4) Svingbart V-drag
- 5) 360 grader roterbar, fjærbelastet tilkobling
- 6) Skifeste på framski
- 7) Skifeste på bakski
- 8) Framski forbundet til platt med støsdemper og lenkearm
- 9) Bakski forbundet til drag med støsdemper og lenkearm

Persontransport, ATV

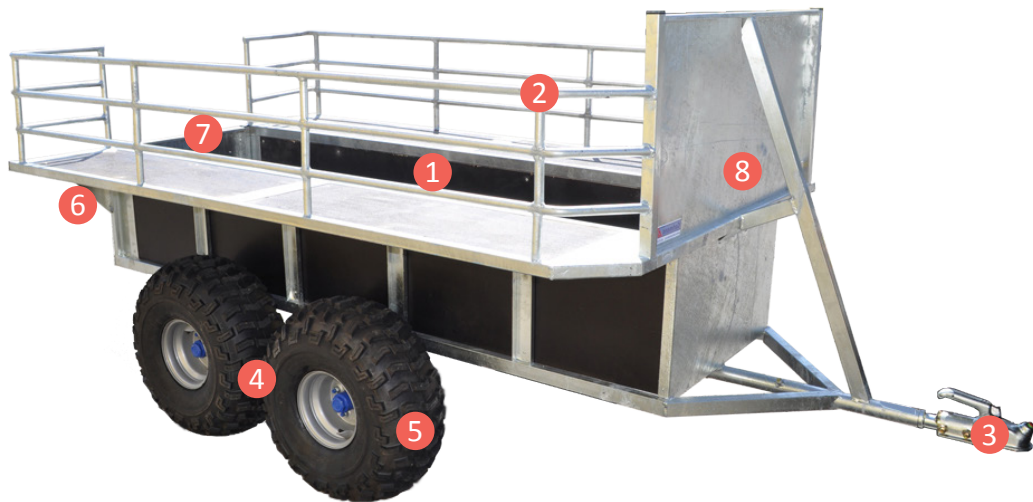
Tilhengere som egner seg for persontransport til ATV er ofte tilhengere for varetransport med brønnformet platt, forhøyde sidekarmer og høy endekarm i front. Det finnes også kabiner i plastmateriale med hjul, men disse er ekskludert på grunn av relevans. Undersøkte produkter er utstyrt med boggi og har egenvekt fra 140 - 230 kg, nyttelast fra lastekapasitet fra 400 - 1500 kg (fem til åtte personer) og pris fra 12.250 - 32.440 NOK.



Produkteksempel ▲

Produkteksempel på tilhenger for persontransport til ATV.

BILDE: Carlmans



BILDE: Carlmans

- 1) Brønnformet platt i kryssfinér**
- 2) Høye kramer i metall**
- 3) 360 grader roterbar tilkobling**
- 4) Boggi**
- 5) Knastedekk**
- 6) Braketter til lys og kjennemerke**
- 7) Endekarm**
- 8) Høy endekarm**
- 9) Kombinert drag**

Analyse Eksisterende produkter

Tømmertransport, snøscooter

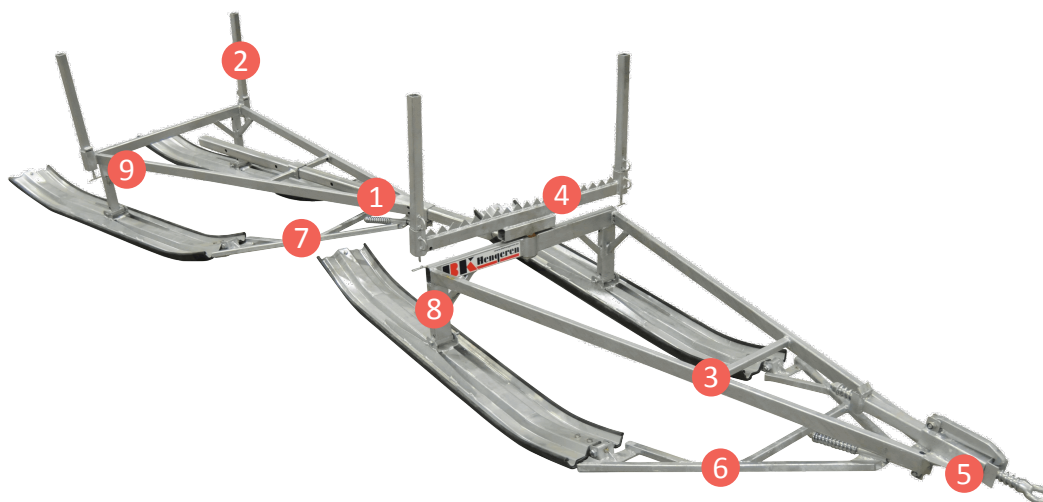
Tilhengere til snøscooter for tømmertransport, kalt tømmerdoninger, er egnet for transport av tømmer og lengre gods. Noen aktører tilbyr avtagbar platt for utvidet/kombinert bruk. Tømmerdoningene har fire ski og sving og konstruksjonen er ofte forlengbar for å tilpasse tilhengeren etter lengden på godset. Undersøkte produkter har egenvekt fra 70 - 100 kg, nyttelast fra 427 til 1000 kg og pris fra 6.500 - 12.990 NOK.



Produkteksempel ▲

Produkteksempel på tilhenger for tømmertransport til snøscooter.

BILDE: BK-Hengeren



BILDE: BK-Hengeren

- 1) Åpen, forlengbar konstruksjon
- 2) Tømmerstaker
- 3) Svingbart V-drag
- 4) Tømmertenner
- 5) 360 grader roterbar, fjærbelastet tilkobling med nøkkefunksjon
- 6) Skifeste på framski
- 7) Skifeste på bakski
- 8) Forbindelse mellom framski og ramme
- 9) Forbindelse mellom bakski og ramme

Tømmertransport, ATV

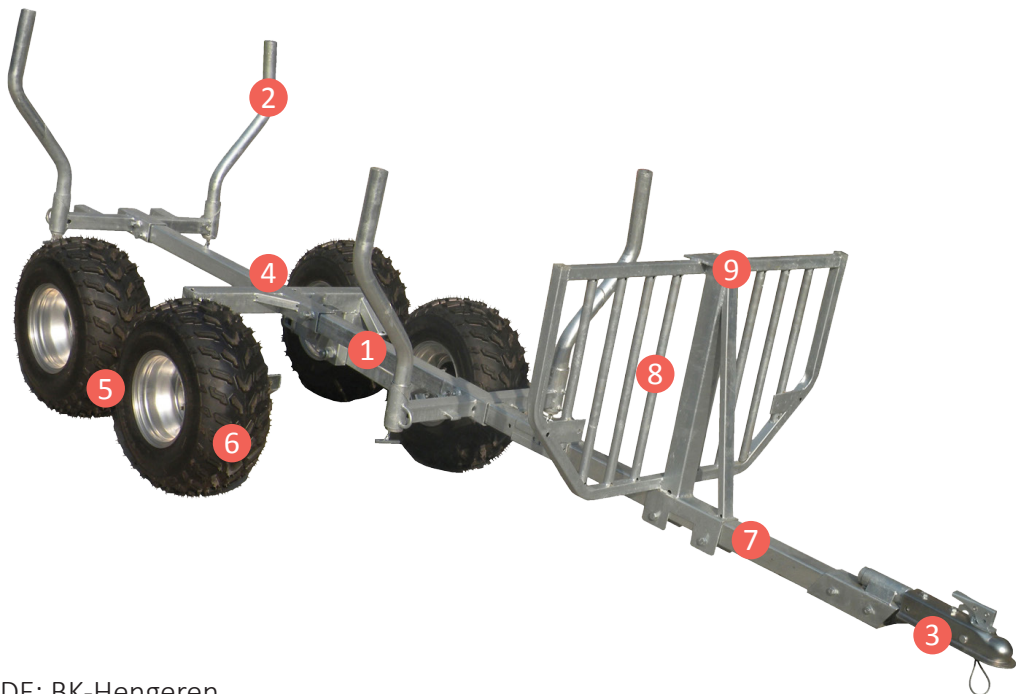
Tilhengere til ATV for tømmertransport er i likhet med tømmerdoningene egnet for transport av tømmer og lengre gods. Mange aktører tilbyr avtagbar, brønnformet platt for utvidet/kombinert bruk. De fleste produktene har grind i front, vinsj/vinsjetårn og forskyvbar aksling for å tilpasse tilhengerens tyngdepunkt. Undersøkte produkter er utstyrt med boggi og har egenvekt fra 129 - 200 kg, nyttelast fra 621 - 1000 kg og pris fra 7.375 - 17.000 NOK.



Produkteksempel ▲

Produkteksempel på tilhenger for tømmertransport til ATV

BILDE: BK-Hengeren



BILDE: BK-Hengeren

- 1) Åpen konstruksjon
- 2) Tømmerstaker
- 3) 360 grader roterbar tilkobling
- 4) Forskyvbar aksling
- 5) Boggi
- 6) Knastedekk
- 7) Rett drag
- 8) Grind
- 9) Monteringsflate for vinsj

Analyse Bruker, bruk og bruksområde

Bruker, bruk og bruksområde

For å danne et bilde av bruker, bruk og bruksområde ble det i tillegg til NTSs oppfatninger, gjennomført samtaler med Brødrene Ler AS og Lundamo Auto AS. Begge godt etablerte forhandlere av blant annet snøcooter- og ATV-tilhengere. Alle aktørene anslår at 70 prosent av brukerne er private og at de resterende er næringsdrivende. Aktørene er også enige om at det er vanskelig å danne et valid bilde på antall solgte enheter årlig, da markedet varierer mye.

Brødrene Ler hevder at den typiske brukeren er opptatt av funksjonalitet og kvalitet, dernest kommer pris. Aspekter som egenvekt og nyttelast blir sjelden et tema, da brukeren tenderer til å stole på at produsenten opererer med tilstrekkelige verdier. NTS og Lundamo Auto opplever brukeren som mer prisbevisst, men at kvalitet, egenvekt og størrelse er også avgjørende aspekter. Lundamo Auto trekker også frem tilgjengelighet på reserve- og forbruksdeler. Nyttelast blir også i følge NTS sjelden et tema, men at kunden laster produktene ut fra kvalitetsinntrykk og størrelse.

Hva gjelder bruk, tegner aktørene et relativt likt bilde på hva produktene brukes til. Den største andelen av snøscootertilhengere som blir solgt er kjelker til varetransport og brukes til variert godstransport. Den typisk solgte kjelken har to meier og lastekapasitet på 300 kg. Mange ønsker forhøyningskarmen. NTS tilbyr i dag ikke tilhengere til snøscooter for persontransport. Brødrene Ler og Lundamo Auto tilbyr utelukkende pulker. Disse selger på nåværende tidspunkt et relativt lavt antall årlig, men tror på sikt at dette salget øker. Den typiske pulken har sitteinnretning til to- eller fire personer samt plass til en mindre mengde gods. Snøscootertilhengere for tømmertransport selges ofte

Brødrene Ler AS ►

Brødrene Ler AS (etabl. 1989) sine lokaler på Tiller i Trondheim.

BILDE: Andreas Thoresen (2017)

Lundamo Auto AS ►

Lundamo Auto AS (etabl. 1986) sine lokaler på Lade i Trondheim.

BILDE: Andreas Thoresen (2018)





Analyse Bruker, bruk og bruksområde

med kombinasjonsløsning, i form av tømmerdoning med avtakbar platt (og karmen). På denne måten kan tømmerdoningen i tillegg til transport av tømmer brukes som en stor kjelke til varetransport. Av tilhengere til ATV selger aktørene flest tilhengere til varetransport. Disse brukes til transport av alt fra løsmasser til fast gods og elgslakt. Ved lasting av blant annet elgslakt er vinsj/vinsjetårn nødvendig. Typisk har disse tilhengerne bønnformet platt boggi og lastekapasitet på 500 kg. Enkelte kunder ønsker en registrerbar tilhenger for bruk på offentlig veg. Brødrene Ler og Lundamo Auto får sjeldnere spørsmål om ATV-tilhengere utelukkende til persontransport, men opplyser at aktører som Røde Kors og Norsk Folkehjelp ved noen anledninger har forspurt dette. Da benyttes typisk tilhengere til varetransport med høyere karmen. Disse har typisk kapasitet til åtte personer. Ferdslen foregår utenfor offentlig veg. Tilhenger til ATV for tømmertransport selges i likhet med tømmerdoning ofte med kombinasjonsløsning der tømmertransport kan kombineres med varetransport i form av avtakbar bønnformet platt.

I følge forhandlerne blir produktene tidvis utsatt for hard behandling innenfor de respektive bruksområdene. Dette er bruksområder som består av store forskjeller hva angår terreng, vær og føre. Ofte lastes produktene tungt og benyttes i ulendt terreng. Som en tommelfingerregel tas det utgangspunkt i at produktene benyttes på de samme plassene som trekkjoretøyet kan benyttes. Det er derfor viktig at produktene er kompatible med samme terrengmessige utfordringer som trekkjoretøyet. Dette er beskrevet på side 38 og 39.

Vinter ►

Eksempel på bruksområde på vinterstid.

BILDE: Erik Unneberg (2014). Gjenngitt med tillatelse.

Sommer ►

Eksempel på bruksområde på sommerstid.

BILDE: Erik Unneberg (2014). Gjenngitt med tillatelse.



Bruk på offentlig veg

Selv om snøscooter i utgangspunktet er registreringspliktig, er ferdsel på offentlig veg i Norge forbudt. I midlertid kan det gis dispensasjoner, eksempelvis i forbindelse med skogbruk, reindrift, oppsyns-, tilsyns- og servicetjeneste. Tilhenger til snøscooter er ikke registreringspliktig. ATV er i utgangspunktet også registreringspliktig og skal registreres enten som firehjuls motorsykkel eller som traktor. Tilhenger til ATV er registreringspliktig dersom denne skal benyttes på offentlig veg. [2][3]

I gitte sammenhenger kan det være aktuelt å bruke tilhengeren(e) på offentlig veg. Det anses derfor som fordelaktig å tilrettelegge produktet/produktene slik at en potensiell registrering muliggjøres. Før tilhengeren(e), registreres må det fremlegges dokumentasjon på at tekniske krav i henhold til forskriftene er oppfylt. [4]

Det opereres med fire klassifiseringer ved registrering av tilhenger for ferdsel på offentlig veg i Norge. Klassifisering O1 er utelukkende gjeldende for tilhengeren(e), da denne i motsetning til de andre klassifiseringene ikke stiller krav til bremseanordning. Det kan gis enkeltgodkjenning eller typegodkjenning på opp til 500 produserte enheter årlig for tilhengere med denne klassifiseringen. [5]

Tilhenger med klassifisering O1 uten bremseanordning kan ha tillatt totalvekt på inntil 750 kg og tillatt hastighet ikke over 60 km/t. [4] I tillegg reguleres den av flere tekniske- og administrative krav spesifisert i kjøretøyforskriften, forskrift om bruk av kjøretøy og bilforskriften. Det vil refereres fortløpende til disse ved anvendelse senere i oppgaven.

Person- og godstransport på offentlig veg reguleres av forskrift om bruk av kjøretøy. Det bemerkes at i forskrift om bruk av kjøretøy (1990, § 3-1) er persontransport i tilhenger på offentlig veg i Norge strengt regulert, og stiller krav til sikkerhetsinstallasjoner som produktet/produktene ikke vil etterkomme. I tillegg foreligger det spesielle restriksjoner til trekkjøretøy ved slik transport som ikke er sammenfallende med den typiske snøscooteren/ATVen.



Trekkjøretøyet

Snøscooter

For å danne et bilde av det typiske trekkjøretøyet tas det utgangspunkt i produkter fra NTSs sortiment. I følge NTS er det vanskelig å definere klare grenser for bruksområde til den typiske snøscooteren. Aspekter som maksimal hellingsgrad og snødybde beror på variabler som snøtype og sjåførfaring. Maksimal tilhengervekt for Polaris 800 TITAN XC 155, som i følge NTS representerer den typiske snøscooteren godt, er oppgitt til 544 kg. Høyden opp til tilkoblingsdelen er 680 mm og må hensyntas. I følge NTS er typisk bakkeklaring på snøscootertilhengere omlag 300 mm. Dette er tilstrekkelig i terreng samtidig som det gir et lavt tyngdepunkt. Sporvidden er 1140 mm og definerer også tilhengerens maksimale sporvidde, da det er hensiktsmessig at tilhengeren følger et oppkjørt spor.

Snøscooter ▲

Produkteksempel fra NTSs sortiment. Polaris 800 TITAN XC 155
BILDE: Polaris



**ATV**

Polaris SPORTSMAN 570 X2 EPS LE representerer den typiske ATVen. I likhet med snøscooteren er grensene for bruksområde vanskelig å definere klart, og beror blant annet på type underlag og sjåførfaring. Maksimal tilhengervekt for utvalgt modell er oppgitt til 556 kg. Høyden opp til tilkoblingsdelen er 450 mm. Siden ATV-tilhengere normalt sett ikke har høydejusteringsmulighet på dragets tilkoblingsdel, vil denne høyden definere dragets høyde i tilkoblet posisjon, da tilhengerplatten bør være vannrett når tilhengeren er tilkoblet trekkejetøyet. Denne verdien er også høyere enn ATVs bakkeklaring på 279 mm. Også her vil trekkejetøyet's sporvidde på 1219 mm definere tilhengerens maksimale sporvidde, men i dette tilfellet tolereres det at tilhengerens sporvidde er noe større.

ATV ▲

Produkteksempel fra NTSs sortiment. Polaris SPORTSMAN 570 X2 EPS LE

BILDE: Polaris

Aluminium som konstruksjonsmateriale

I følge Sapa er aluminium det mest brukte metallet i verden etter jern. Aluminium er det tredje mest utbredte grunnstoffet i jordskorpen, og ett av få metaller som har en nærmest ubegrenset tilgjengelighet på råmaterialer. [6]

Den undersøkte aluminiumslegeringen (6063-T6) fra artikkelen i Designteori har omlag tre ganger så lav tetthet sammenlignet med den undersøkte stållegeringen (S355J2), noe som gjør den omlag tre ganger så lett. Materialstyrken defineres ut fra materialets flytegrense (YS). Dersom spenningen ikke overgår denne vil materialet bevare sin opprinnelige form og sitt opprinnelige tverrsnitt når spenningen opphører. For strukturelle konstruksjoner er det alltid dette som danner grunnlaget for beregningene. Aluminiumslegeringen har rundt to tredjedeler av stållegeringens styrke, noe som gir den et dobbelt så høyt styrke-vekt-forhold. Elastisitetsmodulen E er generelt i aluminium rundt en tredel av ståls. Dette gir aluminium rundt tre ganger så høy nedbøying (fleksibilitet) som stål for en lik dimensjon. Dersom dimensjonene økes for å kompensere for denne nedbøyingen, er ofte styrken også ivaretatt (større eller lik stålstrukturens styrke), siden YS-forholdet i aluminium er bedre enn én tredel av stålets YS-forhold. Kalkuleringer viser at om en dimensjonsøkning er akseptert, muliggjør dette vektbesparelser på opp til 49% ved bruk av aluminium. [1]

Tetthet (g/cm³)

6063-T6: 2,7

S355J2: 7,8

Styrke (flytegrense) (MPa)

6063-T6: 215

S355J2: 315

Styrke-vekt-forhold (styrke dividert på tetthet)

6063-T6: $\approx 79,6$

S355J2: $\approx 40,4$

Elastisitetsmodul (MPa)

6063-T6: 69.000

S355J2: 210.000



På generelt grunnlag har aluminium også andre konstruksjonsmessige fordeler sammenlignet med stål.

Aluminium oksiderer svært sakte, over 30 ganger saktere enn galvanisert stål i urbane omgivelser (Stockholm) og krever derfor ingen overflatebehandling. I midlertid er det viktig at aluminium ikke kommer i direkte kontakt med edlere metaller (stål o.l.) i fuktig miljø, slik at galvanisk korrosjon oppstår. I konstruksjoner der aluminium og stål kombineres løses dette ved å isolere komponentene fra hverandre ved overflatebehandling eller med elektrisk isolasjon (f.eks. foringer i plastmateriale). [1]

Ulikt mange stållegeringer blir ikke aluminium sprøtt ved lave temperaturer. I temperaturer ned mot - 40 °C får noen stål så redusert slagfasthet at de ikke er tilstrekkelige for bruk i strukturelle konstruksjoner. Tester gjort på aluminium i svært lave temperaturer viser at dets styrke ser ut til å øke. [1]

Maskinabiliteten til et materiale angir hvordan materialet lar seg maskinere. Undersøkelser viser at aluminium generelt er mellom tre og fem ganger lettere å maskinere enn stål. Maskinabiliteten påvirker verktøyslitasje og produksjonshastighet, som igjen påvirker det økonomiske rundt produksjonsprosessen. [1]

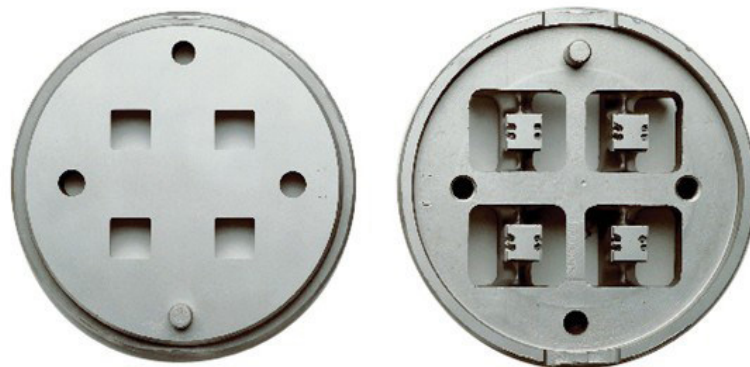
Aluminium er imidlertid mer kostbart sammenlignet med stål. Undersøkelser med en nøytral leverandør viser at prisen på standardprofiler i aluminium er over seks ganger så høy som den samme standardprofilen i stål. Dette vil i midlertid ikke være gjeldende ved utvikling og ekstrudering av egne aluminiumsprofiler, da Sapa opererer med en kilopris på 35 NOK/kg for ferdig ekstruderte 6063-T6 aluminiumsprofiler. [1]

Oksidasjon (vekttap etter åtte år i urbane omgivelser) (g/m²)

Aluminium: 2
Stål (galvanisert): 62
Stål: 676

Kostnad (standardprofil) (NOK/kg)

6063-T6: 129,44
S355J2: 21,69



Ekstrudering av aluminium

Ekstrudering av aluminium starter med at aluminiumsbolter kappes opp i billets og varmes opp til en temperatur på 450-500 °C. Disse presses deretter gjennom et presseverktøy under høyt trykk. Profilene kommer ut med en hastighet på 5 til 50 meter per minutt og vanligvis i lengder på 25 - 45 meter. Profilene avkjøles og strekkes for å bli helt rette, før de kappes etter ønsket lengde. Presseverktøyene, også kalt ekstruderingsvertøy, lages av stål. Massive profiler produseres ved å bruke ett ekstruderingsvertøy, mens hule profiler produseres ved å bruke et ekstruderingsvertøy bestående av to deler; ett til å forme profilens hulrom og ett til å forme profilens utside. [6]

Sapa har over 180 ekstruderingspresser fordelt i omlag 40 land, som kan produsere profilerer med diameter fra 5-620 mm. [6] I Norge har Sapa én ekstruderingspresse (Magnor, Hedmark) som kan produsere profiler med diameter opptil 185 mm. Dersom ønsket profil ikke er kompatibel med denne, eller ved stor pågang og leveringstid, benyttes ekstruderingspresser i for eksempel Sverige. Normalt beregnes 4 - 6 uker på utvikling og produksjon av presseverktøy og ytterligere 10 - 12 uker på levering av ferdig ekstrudert profil.

Ekstrudert profil ▲

Eksempel på presseverktøy til hule profiler.

BILDE: Sapa



Konstruksjon

Ved dimensjonering av en konstruksjon, må det settes krav om at den med rimelig grad av sikkerhet kan tåle de belastningene den blir utsatt for. For normale konstruksjoner og normale belastninger har det vært vanlig å kreve en sikkerhetsfaktor fra 2,5 til 3,0. Ved kompliserte konstruksjoner eller ved store usikkerhetsfaktorer i de virkelige belastningene kan det være aktuelt å kreve en større grad av sikkerhet. Det samme gjelder materialer med uvanlig stor kvalitetsvariasjon eller for konstruksjoner som kan svekkes over tid, for eksempel på grunn av aggressivt miljø. Konstruksjoner som må tåle store variasjoner i belastningene, kan bli utsatt for utmatting i materialet. For å sikre seg mot utmatting kan det være aktuelt å kreve en høyere sikkerhetsfaktor.

Belastninger er gjerne inndelt i tre grupper:

Belastningstype I gjelder normale statiske belastninger. Det vil si permanent last eller last som ikke endrer seg raskt. Typisk krav til sikkerhetsfaktor er 3,0.

Belastningstype II gjelder raske, utsvingende belastninger. Det vil være belastninger som stadig endrer seg, men som virker i samme retning. Typisk krav til sikkerhetsfaktor er 5,0.

Belastningstype III gjelder raske, vekslende belastninger. Det er samme slags last som i type II, men retningen veksler nå hele tiden. Typisk krav til sikkerhetsfaktor er 8,0. [7]

Siden tiltenkt bruksmiljø tidvis kan bestå av ulendt skogsterreng der det kjøres med tung last, vil det etterstrebtes en sikkerhetsfaktor n på 8,0 eller mer (*Belastningstype III*).

Sikkerhetsfaktoren n indikerer konstruksjonens grad av overdimensjonering:

$$n = \sigma_{\text{maks}} / \sigma_{\text{faktisk}}$$

σ_{faktisk} = Faktisk spenning

σ_{maks} = Maksimal spenning

Produksjon

Det er i utgangspunktet planlagt at produksjonen etableres som småskala-prefabrikasjon i NTSs lokaler på Nordli. De forskjellige komponentene (egenutviklede- og standardprofiler) fremstilles av ekstern leverandør (f.eks. Sapa) og sendes i hele lengder til NTS, som kapper og utfører nødvendig tilvirkning før komponentene settes sammen til ferdig produkt. På denne måten tenkes det at kostnader knyttet til produksjon og frakt av komponentene holdes på et minimumsnivå. I tillegg vil dette gi NTS rom for individuelle kundetilpassninger.

NTS disponerer i dag lokaler på 1320 m², hvorav 660 m² er verksted. Verkstedet brukes primært til service og reparasjon av snøscooter og ATV, men også andre relaterte og motoriserte artikler. Siden NTS ønsker å opprettholde dagens virksomhet, vil det etableres et eget område for produksjon av tilhengerne på verkstedet. I tillegg til verkstedutstyr tilpasset den nåværende aktiviteten, innehar verkstedet også annet tilvirkningsutstyr. Dette være seg blant annet sveiseapparater, fresemaskin, dreiebenk, hydraulisk presse og platesaks. Dersom produksjonen vil kreve spesielt utstyr som NTS ikke innehar, vil dette i utgangspunktet anskaffes. Dette til fordel for å tilpasse produksjonen etter nåværende utstyr. I midlertid må dette betraktes i sammenheng med den langsiktige lønnsomheten.

Verksted ►

NTSs verkstedavdeling på 660 m².

BILDE: Andreas Thoresen (2017)

Nåværende utstyr ►

Sveise- og noe maskineringsutstyr.

BILDE: Andreas Thoresen (2017)

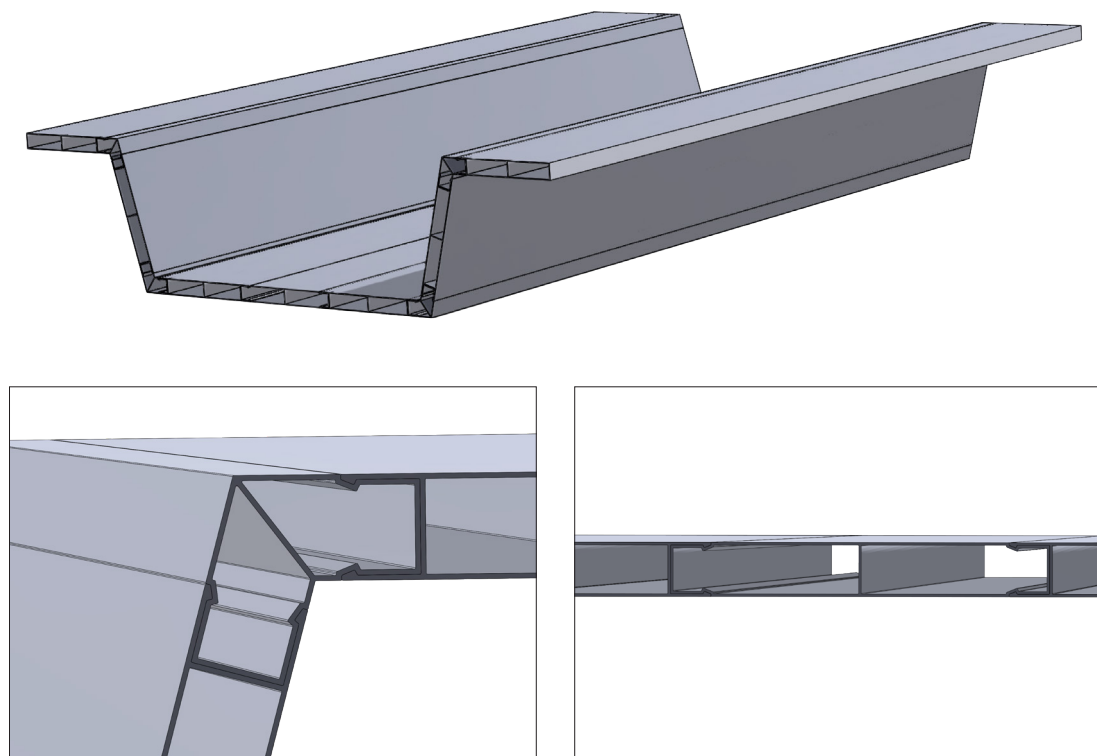




Resultat av analyse og videre arbeid

På bakgrunn av den gjennomførte analysen er det i samråd med NTS bestemt å gå videre med et modulbasert profilsystem i aluminium, likt det konseptuelle løsningsforslaget på side 17.

Gjennomgangen av eksisterende produkter for vare-, person- og tømmertransport til snøscooter/ATV viste den typiske utformingen og funksjonen til de respektive produktene. Dette avdekket også elementer som må implementeres i sluttproduktene (profilsystemet). Det er i denne omgang valgt å gå bort fra et eget produkt for tømmertransport (snøscooter/ATV) på grunn av konstruksjonsmessige utfordringer. Tilhengere for tømmertransport tenderer til å ha åpne konstruksjoner noe som ikke muliggjøres med tenkt konstruksjon. Det tenkes i midlertid at produktet kan brukes til frakt av tømmer og lignende på tross av at konstruksjonen ikke er åpen.



I videre arbeid fokuseres det på utvikling av et profilsystem i aluminium for oppbygging av to varianter av snøscootertilhengere til vare-/persontransport (snøscootertilhenger med lave karmar/ snøscootertilhenger med høye karmar) og to varianter av ATV-tilhengere til vare-/persontransport (ATV-tilhenger med brønnformet platt og lave karmar/ATV-tilhenger med brønnformet platt og lave karmar)

Siden det er valgt å gå bort fra en alt-i-ett-løsning til fordel for en produktserie, vil også produktkravene fra forprosjektet avvike. Basert på gjennomgangen av eksisterende produkter er det sammen med NTS utarbeidet nye krav for de ulike produktene.

Konseptuell løsning ▲ Konseptuell løsning fra Design 9.

ILL.: Andreas Thoresen (2017)



Kravspesifikasjon

Kravspesifikasjonen er valgt oppdelt i to; krav for snøscootertilhenger med flat platt og lave/høye karmer, og krav for ATV-tilhenger med brønnformet platt og lave/høye karmer.

Snøscootertilhenger med flat platt og lave/høye karmer skal:

- Ha egenvekt ikke over 100 kg
- Være kompatibel med nyttelast på minst 600 kg med sikkerhet $n \leq 8$
- Ha utsalgspris ikke over 25.000 NOK
- Størrelsesmessig ha lastekapasitet til to europaller (1200 x 800 mm hver)
- Være kompatibelt med tilkoblingsdel på typisk trekkjøretøy (høyde = 680 mm)
- Være kompatibelt med sporvidde på typisk trekkjøretøy (bredde < 1140 mm)
- Ha avtagbare endekarmer
- Ha innfestningsanordning til følgende komponenter:
 - Støtdemper bakre ski
 - Lenkearm bakre ski
 - Skifeste bakre ski
 - Svingskive
 - Sitteinnretning(er)
 - Karmlås
 - Surrefester



ATV-tilhenger med brønnformet platt og lave/høye karmmer skal:

- Ha egenvekt ikke over 150 kg
- Være kompatibel med nyttelast på minst 600 kg med sikkerhet $n \leq 8$
- Ha utsalgspris ikke over 25.000 NOK
- Størrelsesmessig ha lastekapasitet til to europaller (1200 x 800 mm hver)
- Være kompatibelt med tilkoblingsdel på typisk trekkjøretøy (høyde = 450 mm)
- Være kompatibelt med sporvidde på typisk trekkjøretøy (bredde \approx 1219 mm)
- Ha avtagbare endekarmer
- Ha innfestningsanordning til følgende komponenter:
 - Boggiarm
 - Drag
 - Lys og kjennemerke
 - Sitteinnetning(er)
 - Karmlås
 - Surrefester

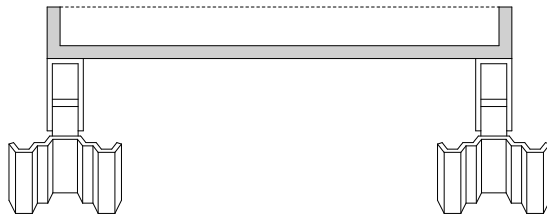
I tillegg må produktene tilrettelegges prefabrikasjon i NTSs lokaler på Nordli med tilhørende ressuser og kompetanse.



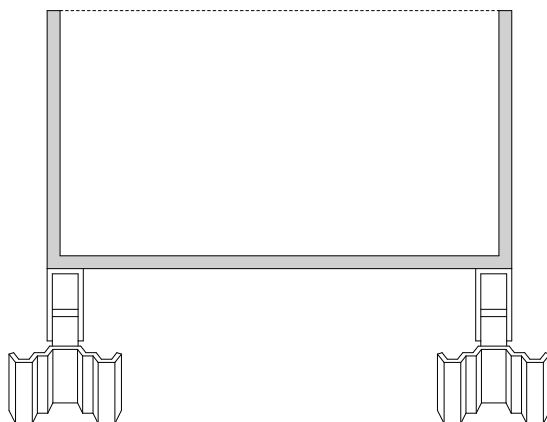
3 Konzeptutvikling

Varianter

Variante 1: Snøscootertilhenger med lave karmar



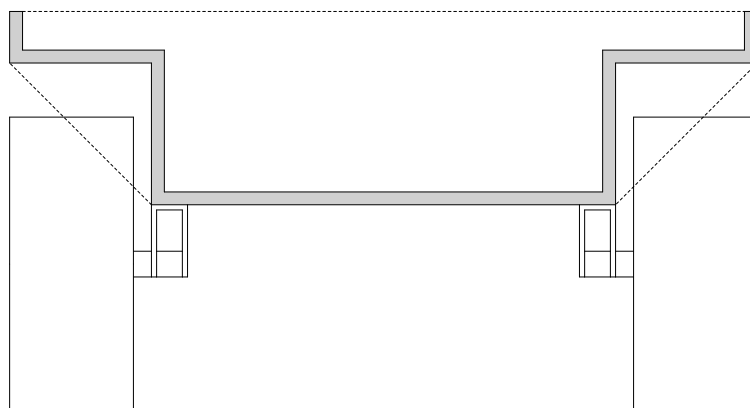
Variante 2: Snøscootertilhenger med høye karmar



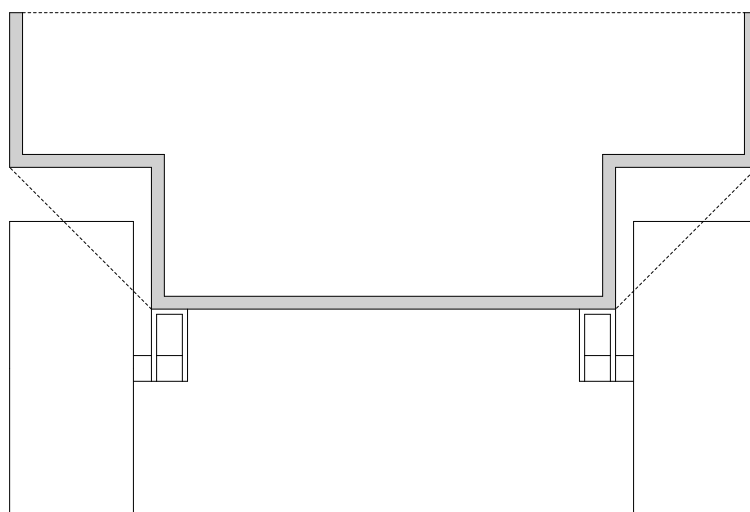
ILL.: Andreas Thoresen (2017)



Variant 3: ATV-tilhenger med lave karmer



Variant 4: ATV-tilhenger med høye karmer

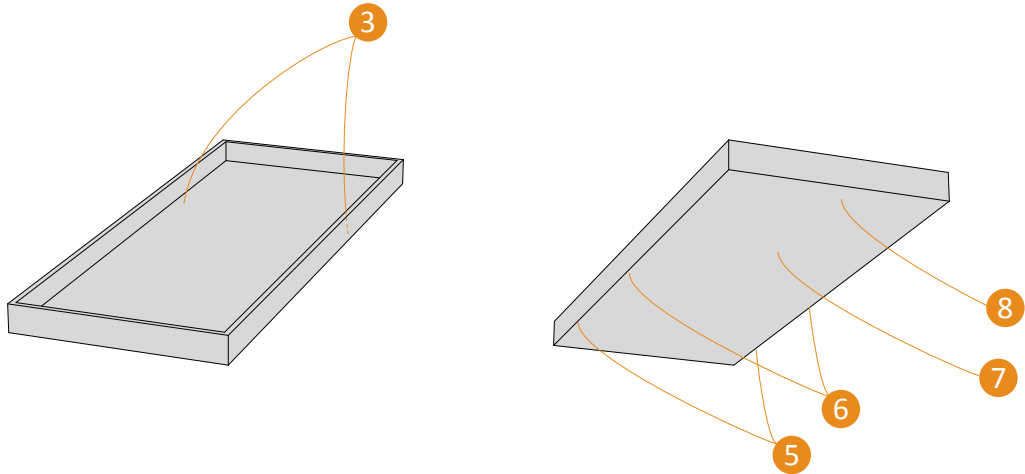


ILL.: Andreas Thoresen (2017)

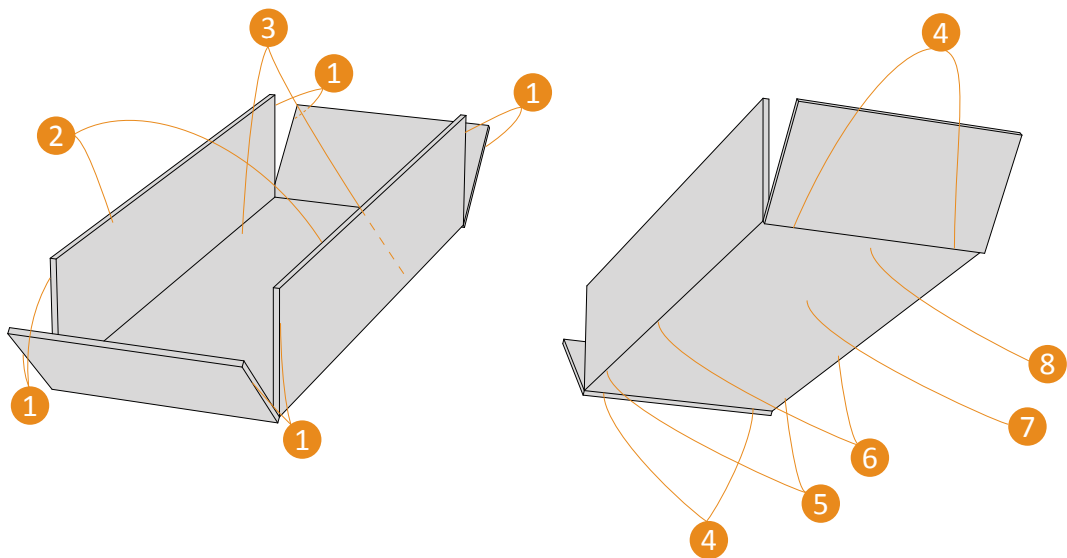


Produktstruktur

Variant 1



Variant 2



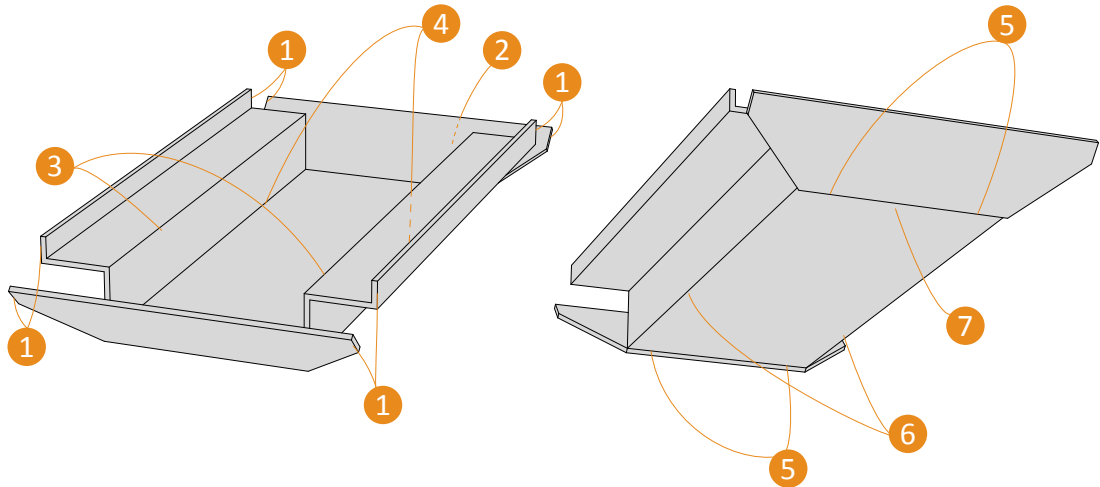
ILL.: Andreas Thoresen (2017)

Plassering av innfestningsanordning til:

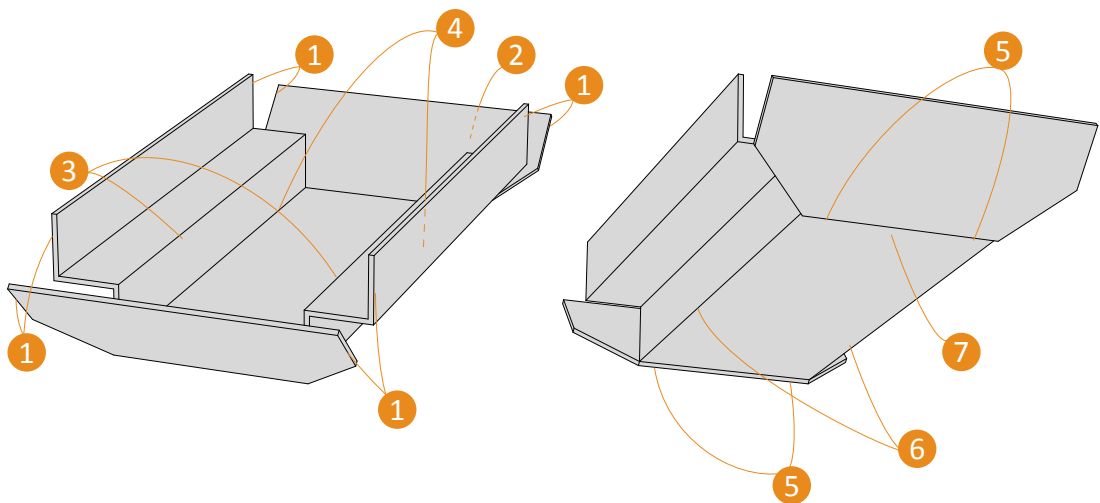
- 1) Karmlås
- 2) Sitteinnretning(er)
- 3) Surrefester
- 4) Avtagbare hengsler
- 5) Støtdemper
- 6) Lenkearm
- 7) Skifeste
- 8) Svingskive



Variant 3



Variant 4



ILL.: Andreas Thoresen (2017)

Plassering av innfestningsanordning til:

- 1) Karmlås**
- 2) Lys og kjennemerke**
- 3) Sitteinnretning(er)**
- 4) Surrefester**
- 5) Avtagbare hengsler**
- 6) Boggiarm**
- 7) Drag**



Bruk av eksisterende komponenter

Foruten profilsystemet i aluminium, vil det i første omgang bli benyttet eksisterende komponenter til oppbygging av tilhengerne. Dette dreier seg om understell (snøscooter/ATV), karmlås, avtagbare hengsler, surrefester og lys. Da det ikke er funnet understell i aluminium hverken for snøscooter eller ATV, vil det på lengre sikt være aktuelt for NTS å se på muligheten for å produsere (deler av) disse komponentene selv. Dette kan potensielt være vektbesparende for sluttproduktene.

Bildene til høyre viser snøscooter- og ATV-understellet som vil bli benyttet i videre konseptutvikling.

Snøscooterunderstellet er ikke en eksakt gjengitt eksisterende løsning, men illustrerer en typisk løsning. Løsningen er todelt og består av fremre meiepar som forbindes til profilsystemet med en svingskive, og bakre meiepar som forbindes til profilsystemet via et stag mellom bakre lenkearmer og et stag mellom bakre støtdempere. ATV-understellet er gjengitt etter løsningen NTS bruker til oppbygging av prototypen. Denne løsningen består av to boggiarmer forbundet til en tverrgående firkantør som videre er forbundet til et drag. Tverrgående firkantør og drag forbindes til profilsystemet. Det bemerkes at NTS i prototypen bygger drag og tverrgående firkantør i aluminium for å teste om dette er styrkemessig tilstrekkelig i sluttkonstruksjonen.

Snøscooterunderstell ►

Illustrasjon av typisk løsning for snøscooterunderstell.

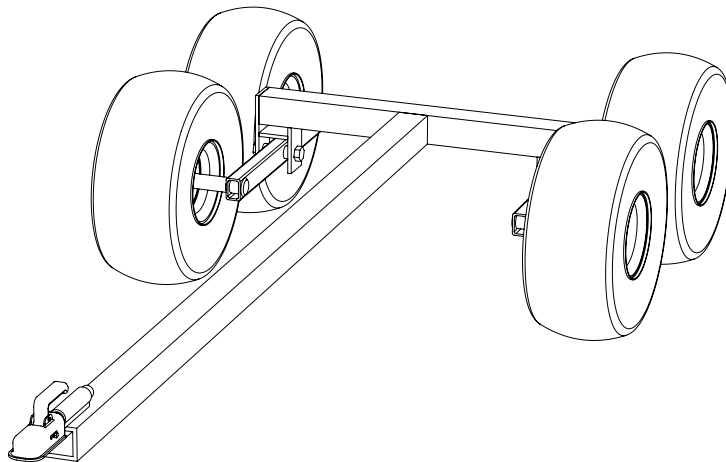
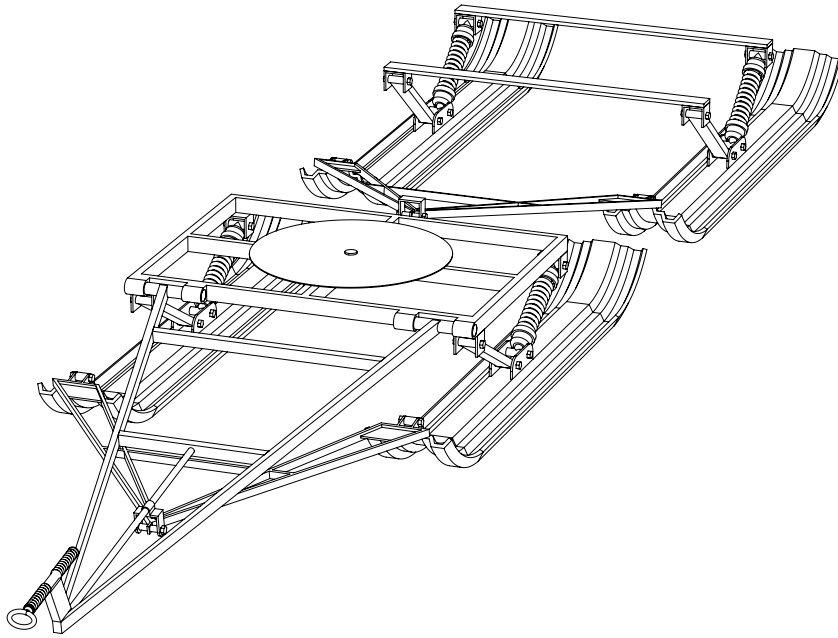
ILL.: Andreas Thoresen (2017)

ATV-understell ►

ATV-understellet som brukes til oppbygging av prototypen.

ILL.: Andreas Thoresen (2017)





Innfestning i profilsystemet

Innfestning av eksterne komponenter i profilsystemet kan hovedsakelig gjøres ved smeltesveis (vanligvis MIG-/TIG-sveis) eller ved mekanisk sammenføyning.

Ved bruk av smeltesveis vil komponenten bli festet permanent i profilsystemet. I tillegg vil komponentene som involveres i sammenføyningen få en varmepåvirket sone. Denne forårsaker spenninger som reduserer materialstyrken. [1] Dette anses som uheldig i tenkt konstruksjon, da det er ønskelig at full styrke bevares. I følge Sapa vil det også være uheldig å benytte smeltesveis til å sammenføye komponenter med ulik godstykkelse (komponenter som for eksempel tverrgående firkantrør og drag vil nødvendigvis ha større godstykkelse enn profilsystemet), da materialet med den største godstykkelsen vil kreve mer varme under sammenføyning, noe som kan resultere i ødeleggelse av komponenter med mindre godstykkelse.

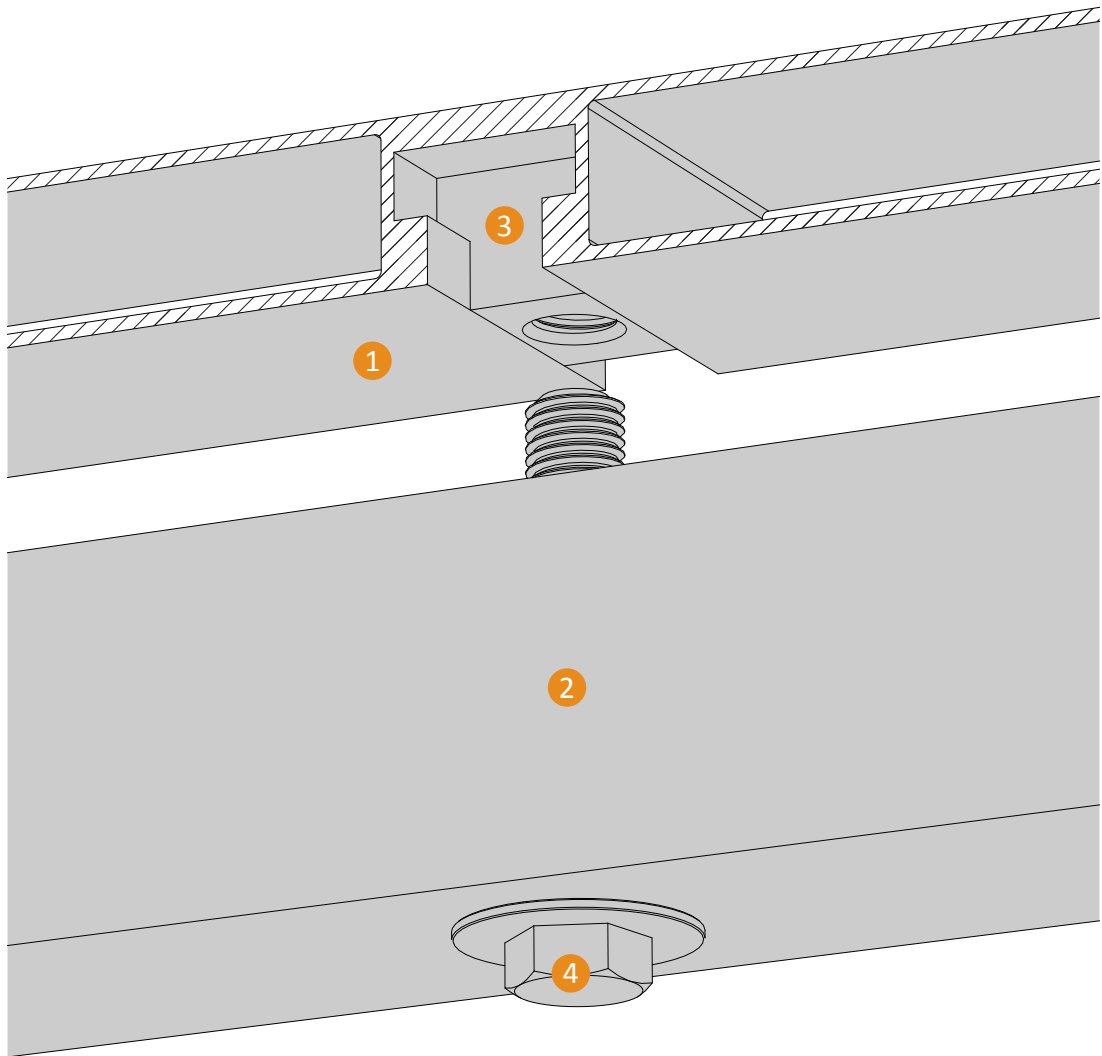
Mekanisk sammenføyning kan løses på flere måter, men i følge Sapa vil bruk av mutterspor med skrue-/bolteforbindelser være det mest relevante for tenkt konstruksjon. Her designes profilen med et langsgående mutterspor som passer en T-spormutter. Den eksterne komponenten festes i bolten, før systemet skyves på plass og festes/låses i ønsket posisjon. I midlertid vil et mutterspor resultere i en åpning i konstruksjonen, noe som vil påvirke dens styrke i negativ forstand. Det vil derfor være nødvendig å forsterke området rundt muttersporet slik at profilens styrke ivaretas. Det velges og jobbe videre med en løsning som baserer seg på bruk av mutterspor. På denne måten vil den eksterne komponenten være flytt-/utskiftbar, i tillegg vil dette åpne for å kunne feste tilleggskomponenter i profilsystemet på et senere tidspunkt. Det bemerkes at mindre komponenter som karmlås, surrefester og avtagbare hengsler, nagles fast med popnagler.

Mutterspor ►

Prinsipp for valgt mekanisk sammenføyning.

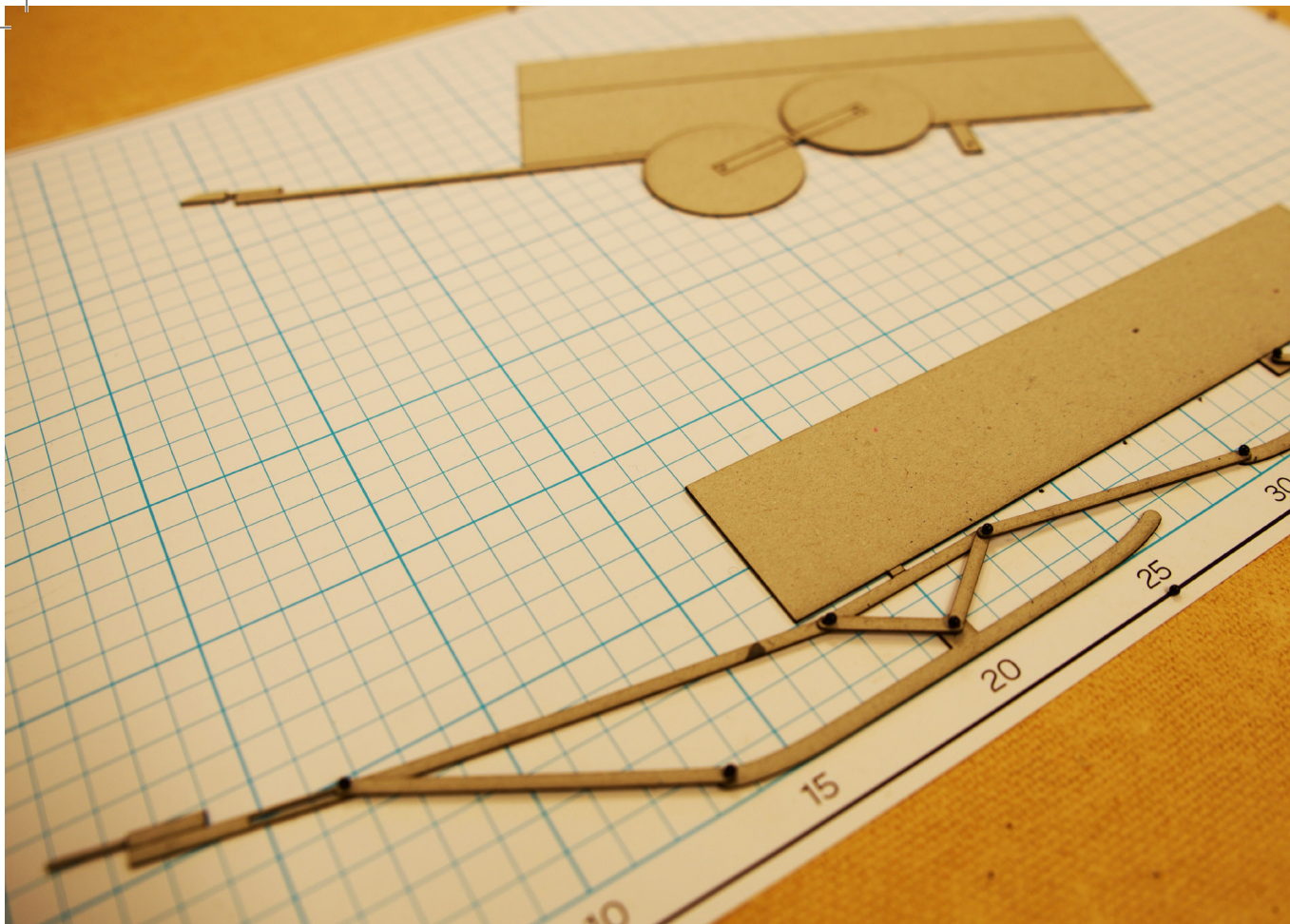
ILL.: Andreas Thoresen (2018)





1) Aluminiumprofil (snitt) 2) Ekstern komponent 3) T-spormutter 4) Bolt





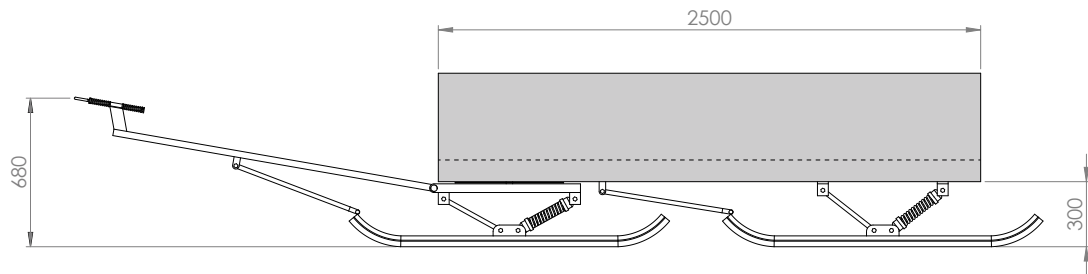
Dimensjon

Produktenes dimensjon bestemmes i henhold til kravspesifikasjonen, i tillegg er det benyttet enkle mock-ups og tatt mål av eksisterende produkter som NTS har erfaring med. Profiltykkelsen er foreløpig satt til 25 mm basert på enkle statiske styrkeberegninger. Som et krav skal produktene størrelsesmessig ha lastekapasitet til to europaller (1200 x 800 mm hver). Det må også legges inn noe klaring for å sikre enkel lasting og lossing av disse (25 mm klaring rundt hver europall). På grunn av at snøscooterunderstellet ikke er en eksakt gjengivelse av en eksisterende løsning, vil ikke bakkeklaring og total bredde på snøscootertilhengerne være eksakt. For ATV-tilhengerne må det legges inn utslag på boggiarm. Med utgangspunkt i eksisterende produkter anser NTS at et utslag på ± 125 mm er tilstrekkelig. Det refereres til lover og forskrifter som regulerer dimensjoner.

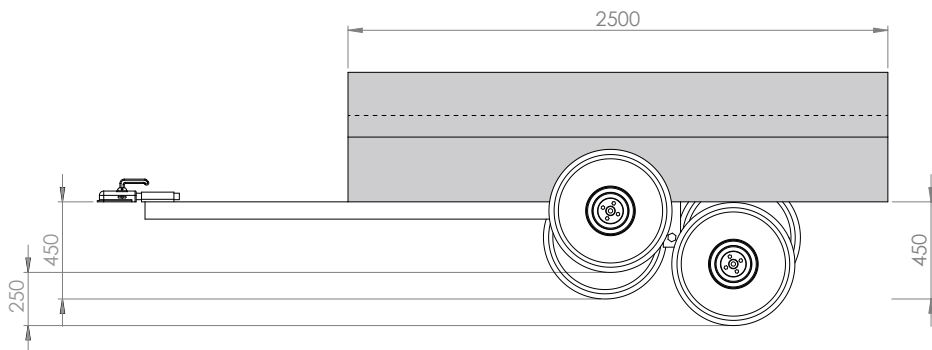
Enkle mock-ups ▲

Dimensjonstesting ved hjelp av enkle mock-ups. BILDE: Andreas Thoresen (2017)

Variante 1 og 2



Variante 3 og 4

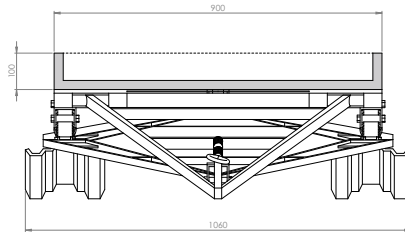


(Iht: kjøretøysforskriften §§ 32-2 og 33-6, forskrift om bruk av kjøretøy § 5-4 femte ledd)

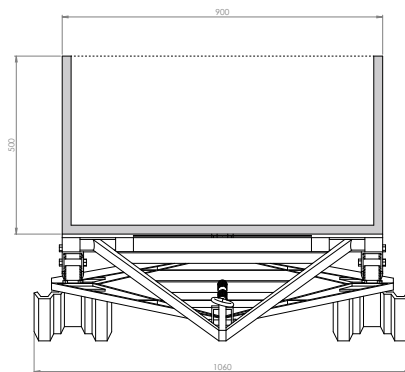
ILL.: Andreas Thoresen (2017)

Konseptutvikling Dimensjon

Variant 1



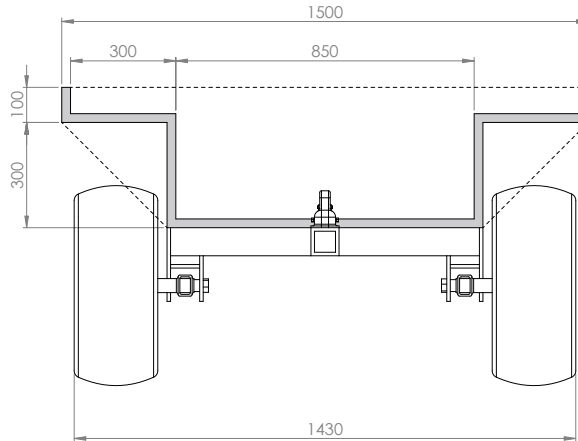
Variant 2



ILL.: Andreas Thoresen (2017)

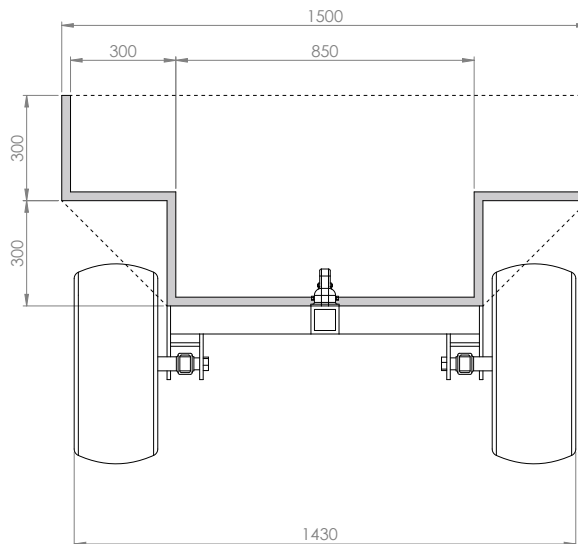


Variant 3



(Iht.: kjøretøyforskriften § 44-1, forskrift om bruk av kjøretøy § 5-4 femte ledd)

Variant 4



(Iht.: kjøretøyforskriften § 44-1, Forskrift om bruk av kjøretøy § 5-4 femte ledd)
ILL.: Andreas Thoresen (2017)

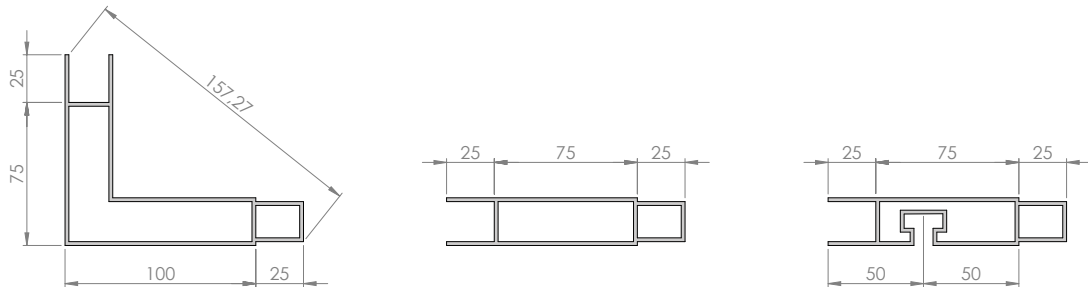
System

Basert på det konseptuelle løsningsforslaget fra Design 9, er det utviklet et system for å møte de ulike variantene med tanke på løsning og dimensjon.

Sammenføring av profiler ved klippsammenføring kan prinsipielt løses på to måter; En profil med not på den ene siden og fjær på den andre siden som passer sammen, eller en profil med not på begge sider og en profil med fjær på begge sider som passer i hverandre.

Sett fra et økonomisk perspektiv vil det være hensiktsmessig å kun operere med én profil i tillegg til hjørneprofilen. I midlertid vil det ikke være nødvendig med mutterspor i alle profilene. Dette vil høyst sannsynlig også tilføre den respektive profilen ekstra vekt. Systemet baserer seg derfor på tre profiler med not på den ene siden og fjær på den andre siden som passer sammen: Hjørneprofil, flat profil og flat profil med mutterspor. På denne måten vil også muligheten for å komponere flere varianter være størst, da profiler med mutterspor kan benyttes der det er ønskelig.





Sapa anbefaler å holde profilbredden innenfor 150 mm om mulig. Dette med tanke på kostnad av presseverktøy og produksjonshastighet.

Det foreslås derfor å operere med en "synlig" profilbredde (not går inn i fjær og blir derfor ikke synlig) på 100 mm for alle profilene (hjørneprofil: 100 x 100 mm) slik at konstruksjonen bygger 100 mm for hver profil som tilføyes. Det bemerkes at profilenes reelle bredde med not/fjær på 25 mm (anslag med utgangspunkt i liknende løsninger) og synlig profilbredde på 100 mm vil være henholdsvis 125 og omlag 160 (hjørneprofil målt diagonalt) mm.

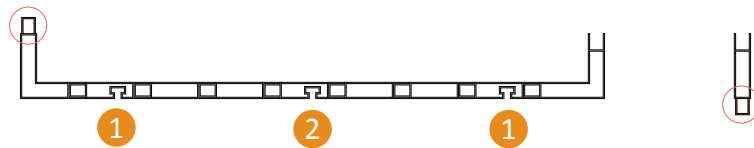
Bildene på de to neste sidene illustrerer produktenes tverrsnitt oppbygd med dette systemet samt tilhørende endekarmer. Det må i midlertid påregnes noe bortkapp ved løsningen, dette er markert med rødt.

System ▲

Illustrasjon av valgt system.

ILL.: Andreas Thoresen (2018)

Variant 1



Variant 2



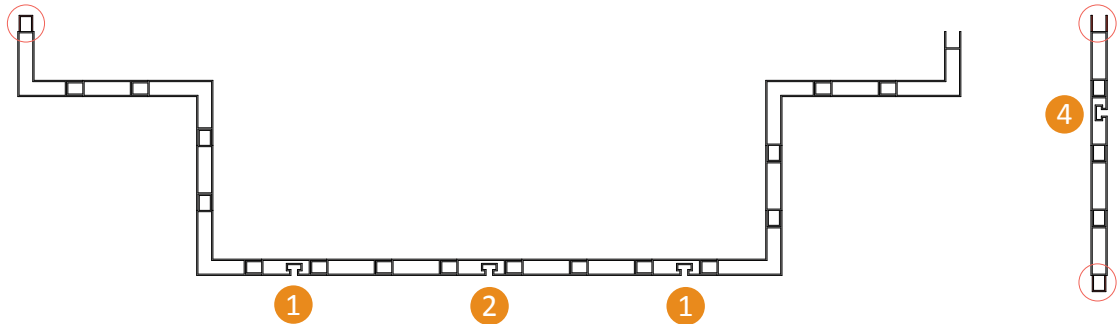
ILL.: Andreas Thoresen (2017)

Innfestningsanordning til:

1) Bakre meiepar 2) Svingskive 3) Sitteinnretning(er)

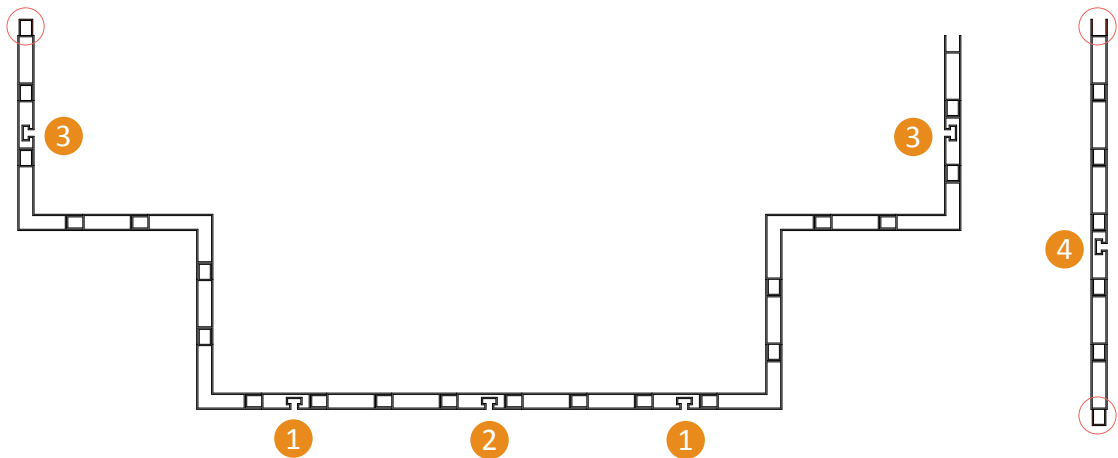


Variant 3



(Iht.: kjøretøysforskriften § 28-18)

Variant 4



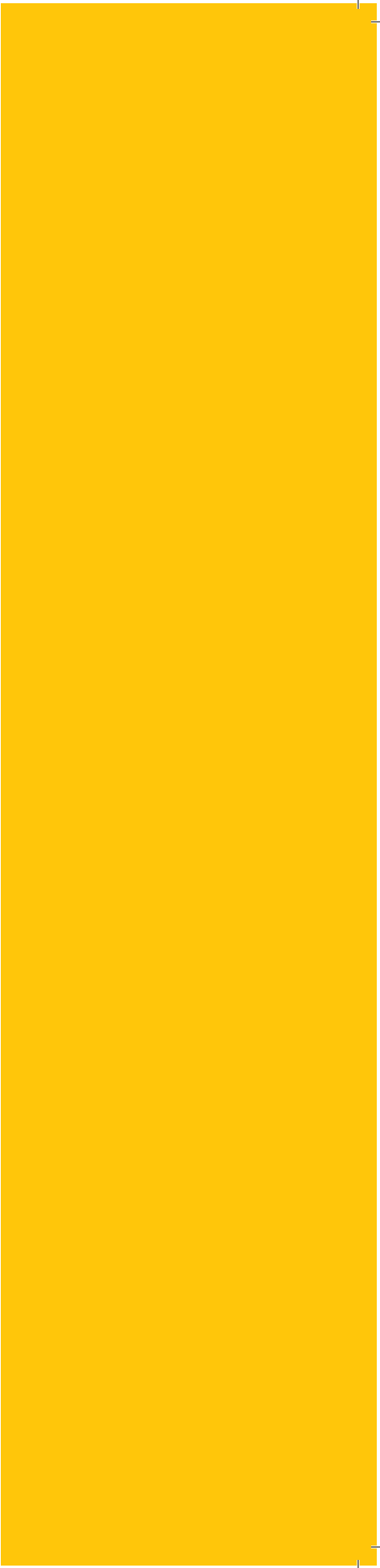
(Iht.: kjøretøysforskriften § 28-18)

ILL.: Andreas Thoresen (2017)

Innfestningsanordning til:

1) Understell 2) Drag 3) Sitteinretning(er) 4) Lys og kjennemerke





4 Test og evaluering

Forberedelse, prototype

Som et grunnlag for videre utvikling av profilsystemet ble det i midten av november 2017 besluttet å starte arbeidet med prototypen. Dette for å få et fysisk forhold til både produktet og materialet, henholdsvis i forhold til produksjon, dimensjon og styrke. Det var på forhånd bestemt å kun bygge prototype av ATV-tilhengeren(e).

I kontakt med Sapa ble det anbefalt å kontakte Sea & Industri Aluminium AS (SI Aluminium) på Bømlø for å kjøpe materialer til prototypen. Sapa produserer blant annet et profilsystem med klipssammenføyning for bedriften som brukes til oppbygging av forsiloer. I kontakt med SI Aluminium mente i midlertid bedriften selv at dette profilsystemet ville bli noe kraftig og overdimensjonert til bruk i tiltenkt produktserie. Istedenfor anbefalte SI Aluminium å kontakte aluminiumsleverandøren Hydal Transportsystemer AS (Hytrans) på Karmøy. Hytrans har spesialisert seg på aluminiumsprofiler til transportbransjen og har et bredt utvalg av profilesystemer med klipssammenføyning. Systemene brukes henholdsvis til oppbygging av side- og endekarmer på lastebiler.

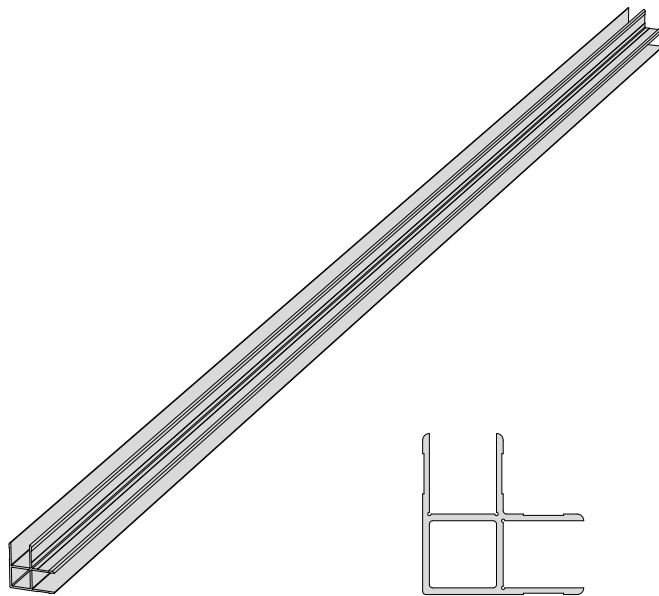
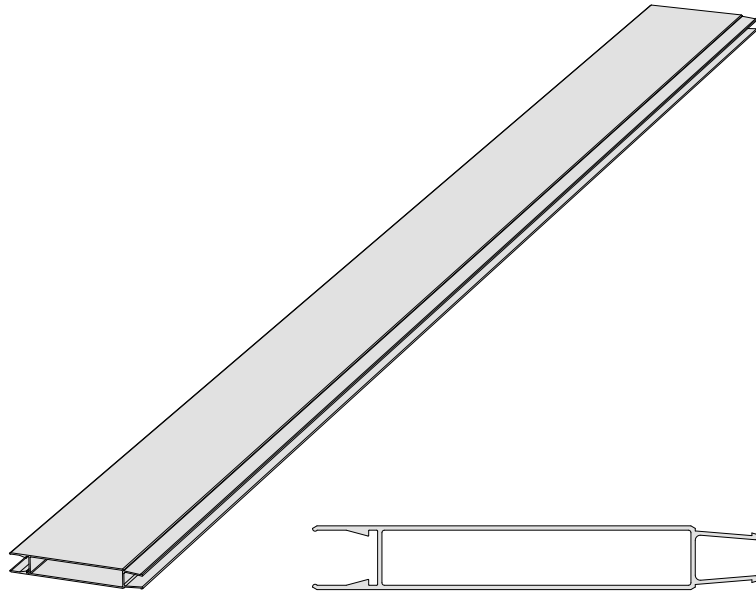
I konsultasjon med Hytrans ble to typer profiler kjøpt til oppbygging av prototypen (gjengitt til høyre); En profil med not på den ene siden og fjær på den andre siden som passer sammen og en hjørneprofil som er basert på sammenføyning med nagler. Det bemerkes at bedriften ikke tilbyr hjørneprofil med klipssammenføyning. Til tross for at Hytrans ikke hadde erfaring med sitt profilsystem i tiltenkt konstruksjon, mente bedriften at dette skulle være styrkemessig tilstrekkelig i henhold til kravspesifikasjonen.

Aluminiumsprofiler ►

Gjengivning av aluminiumsprofilene som brukes til oppbygging av prototypen. Dimensjon (øverste profil): 17,5 x 25 mm (b x h), 1,6 mm godstykkelse.

ILL.: Andreas Thoresen (2017)





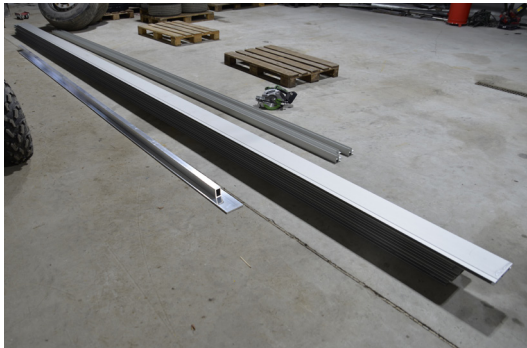
Prototype (første del)

Prototypen ble påbegynt i NTSs lokaler på Nordli i slutten av november 2017. Det ble på forhånd utarbeidet arbeidstegninger til oppbygging av ATV-tilhenger med brønnformet platt og høye karmar.

Førsteintrykket av profilene var at klipssammenføyningen var noe slarkete. Det ble på grunn av dette anslått at en oppbygging av hele tilhengeren ikke ville gi et godt bilde på tiltenkt konstruksjon. Det ble bestemt at kun tilhengerens bunn skulle bygges opp i første omgang, for så på et senere tidspunkt finne profiler med sterkere skjøter til oppbygging av hele tilhengeren. Tilhengerbunnen ble oppbygd av seks profiler med klipssammenføyning samt to hjørneprofiler. Ferdig tilhengerbunn virket styrkemessig tilstrekkelig, men på grunn av slarken i skjøtene ble nedbøyningen i bredderetning noe stor. For å simulere en sterkere skjøt ble det derfor benyttet en hjørneprofil i hver ende av tilhengerbunnen.

Planen var deretter å bygge opp å montere ATV-understellet på tilhengerbunnen, for å så gjennomføre en statisk- og dynamisk test av denne. I midlertid viste det seg at det tilgjengelige sveiseutstyret (TIG-sveis) ikke var kapabelt til å utføre oppgaven. Det ble derfor bestemt å utsette prosessen frem til nytt sveiseutstyr (MIG-sveis) var på plass. I tillegg ble det besluttet at det skulle letes etter nye profiler med en mer robust klipssammenføyning uten slarke.

Bildene på de neste tre sidene viser første del av prototypebyggingen. Alle bilder: Andreas Thoresen (2018)



Leveransen fra Hytrans



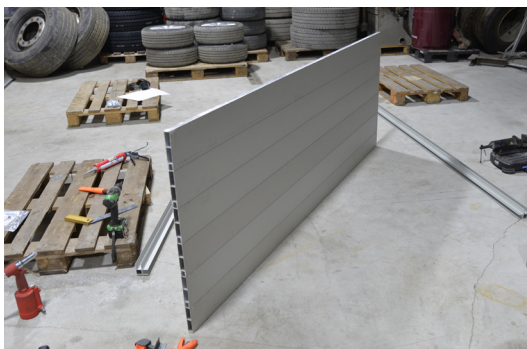
Profilene ble kappet med sirkelsag



Not og fjær ble kappet med bordsirkelsag



Profilene til tilhengerens bunn ferdig kappet i lengder på 2500 mm



Bunnen ble satt sammen ved håndmakt og gummihammer...



...i tillegg ble det lagt en limfuge mellom profilene

Test og evaluering Prototype



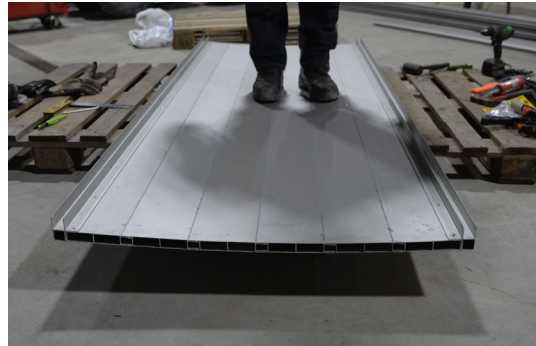
Siden hjørneprofilen ikke hadde klippssammenføyning ble det brukt popnagler og limfuge



Det ble benyttet popnagler i aluminium for å forebygge galvanisk korrosjon



Daglig leder Mads Håvard Fagerstrand tester konstruksjonens styrke (opplagret i hjørneprofilene)



Konstruksjonen virket styrkemessig tilstrekkelig, men nedbøyingen var stor på grunn av mye slarke i skjøtene

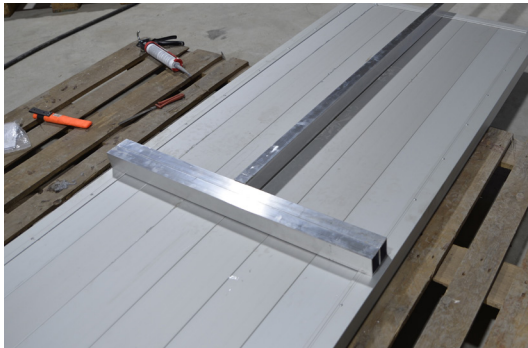


Slarcken i skjøtene ble begrenset ved å montere en ekstra hjørneprofil i endene (kun for å simulere en bedre skjøt)



John Olav Vestgård kjenner på tilhengerbunnens vekt





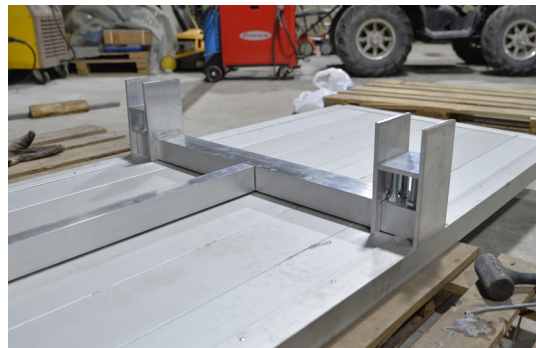
Understellet ble kappet og justert for å passe tilhengerbunnen



Draget ble senere fastsatt til 1 m (utstikkende del)



Brakettene til boggiarmene ble finjustert for å passe understellet



Understellet klart for sammensveising



Testsveisen med TIG-apparatet ble misslykket på grunn av for lite varmeutvikling...



...heller ikke forvarming med skjærebrenner var tilstrekkelig

Prototype (andre del)

Siden det allerede var opprettet kontakt med SI Aluminium på Bømlo angående kjøp av deres produkt, ble disse kontaktet først i søken etter nye aluminiumsprofiler. Bedriften mente fortsatt at disse profilene ville bli noe kraftig og overdimensjonert til bruk i tiltenkt produktserie, men garanterte imidlertid en slarkefri klipssammenføyning. I konsultasjon med NTS ble det i starten av desember bestemt å kjøpe profiler av SI Aluminium, men kun til oppbygging av tilhengerbunnen. Dette for å i hovedsak teste klipssammenføyningen. Det bemerkes at heller ikke SI Aluminium tilbyr hjørneprofil med klipssammenføyning.

Grunnet forviklinger med leveransen samt treg postgang i forbindelse med julen 2017, ankom aluminiumsprofilene NTS i første uke av januar. Imidlertid hadde NTS mottatt nytt sveiseutstyr (MIG-sveis) og sveist sammen ATV-understellet.

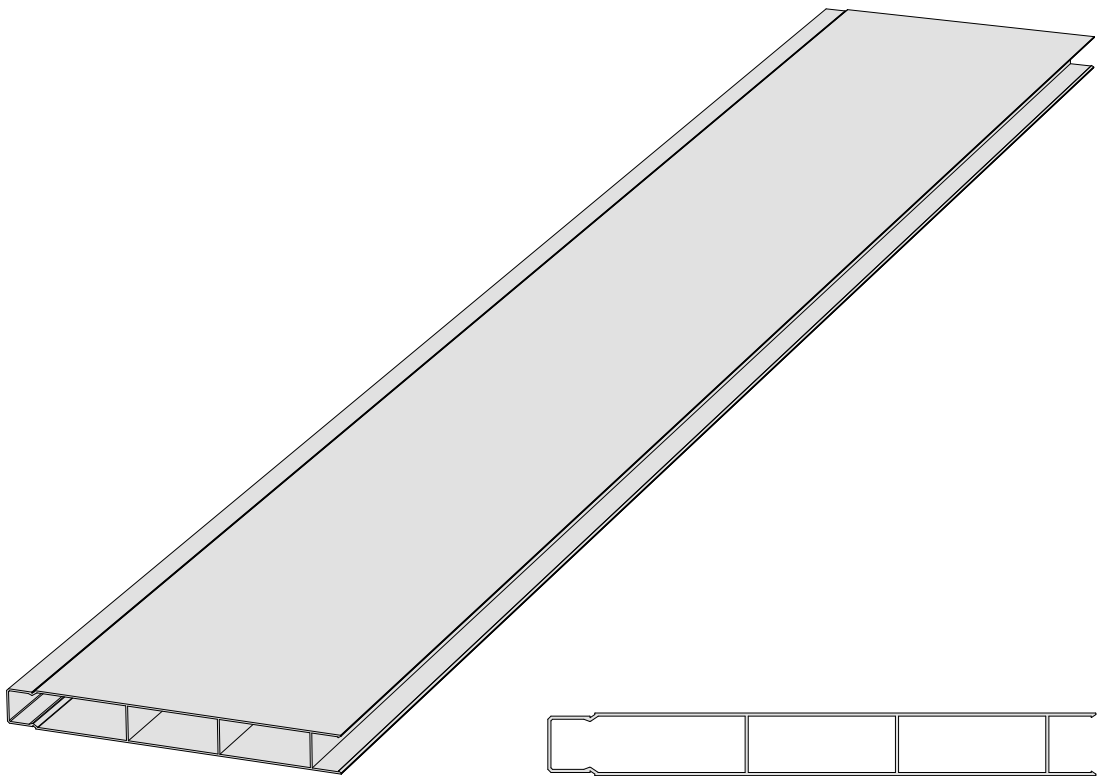
I andre uke av januar ble de nye aluminiumsprofilene satt sammen. I motsetning til de første aluminiumsprofilene, krevde disse vesentlig mer kraft for å sammenføyas (klikke på plass). NTS endte opp med å bygge to provisoriske skrustikker for å løse oppgaven (ikke gjengitt). I tillegg til at den nye tilhengerplatten virket gjennomgående mer robust, var også klipssammenføyningen helt uten slarke. Begge tilhengerplattene ble klargjort for montering med bolteforbindelse på ATV-understellet. For å simulere en muttersporinnfestning, ble mutterne plassert inne i aluminiumsprofilenes kanaler.

Bildene på side 78 og 79 viser resultatet av prototypebyggingen. Alle bilder: Andreas Thoresen (2018)

Ny aluminiumsprofil ►

Gjengivelse av aluminiumsprofilen fra SI Aluminium.
Dimensjon: 350 x 40 mm (b x h), 2 mm godstykkelse.

ILL.: Andreas Thoresen (2018)



Test og evaluering Prototype



Ferdig sammensveiset ATV-understell



NTS var imidlertid skeptisk til dragets styrke



Robuste braketter til boggiarmene (godstykkelse 10 mm)



Drag med 360 grader roterbar tilkobling



Tilhengerplattene ble montert med seks bolter (M10)



Ferdig prototype av tilhengerbunnen med aluminiumsprofilene fra Hytrans





Tilhengerbunnens platt ble målt til 33,5 kg



Mads Håvard kjenner på de mest kritiske områdene



Ferdig prototype av tilhengerbunnen med aluminiumsprofilene fra SI Aluminium



Den nye tilhengerbunnens platt ble målt til 34 kg, men denne var uten hjørneprofiler



Undersiden av den nye tilhengerbunnen



De nye profilene viste så langt ingen svakhetstegn

Test

Tilhengerplattene ble etter oppbygging testet statisk (stillestående) og dynamisk (i bevegelse). Det ble bestemt å laste tilhengerplattene med 600 kg (iht. kravspesifikasjon). Det ble benyttet to halvpaller lastet med 300 kg hver. Det bemerkes at lasten ikke var jevnt fordelt i testene.

De statiske testene av tilhengerplattene avdekket ingen åpenbare svakhetstegn. Den nye tilhengerplatten virket imidlertid noe mer upåvirket av lasten enn den første tilhengerplatten, selv om denne også ble vurdert som tilstrekkelig for oppgaven. Begge prototypene ble så koblet på en ATV og testkjørt utenfor lokalene til NTS. Disse ble utfordret på blant annet ujevnt underlag og i ulendt helling. Hverken under eller etter den dynamiske testen ble det avdekket svakheter - heller ikke på aluminiumsunderstellet.

Bildene på de tre neste sidene viser resultatet av testkjøringen. Dessverre ble den dynamiske testen av den første tilhengerplatten dårlig dokumentert på grunn av kameraproblemer. Alle bilder: Andreas Thoresen (2018)



Lasting av 300 kg



Ingen visuelle svakhetstegn så langt...



...heller ikke med 600 kg på tilhengerplatten



Lastsikring



Klart for testkjøring



Den første runden på gårdsplassen lover godt

Test og evaluering Test



Testkjøring på ujevnt underlag



Testkjøring ned ulendt helling



Tilhengerplattene ble testet med Polaris SPORTSMAN 570 X2 EPS LE (ATV fra side 39)



Testkjøring opp ulendt helling



Opp mot fullt utslag på boggiarm



Ferdigtestet, tilhengerplatten er...





...fortsatt like hel



Heller ikke draget viste åpenbare svakheter



Lasting av den første tilhengerplatten, først 300 kg...



...så 300 kg til



Også denne viste seg som solid



Siste bilde før kameraet sluttet å virke, imidlertid klarte også denne tilhengeren de samme utfordringene som den nye

Første profil ►

Klipssammenføyningen på den første profilen fra Hytrans.

BILDE: Andreas Thoresen (2018)

Evaluering

Etter endt statisk- og dynamisk testing ble det sammen med NTS gjort en vurdering av tilhengerplattene. Den første tilhengerplatten, med aluminiumsprofiler fra Hytrans, ble vurdert som styrkemessig tilstrekkelig i forhold til dimensjon og godstykkelse. Imidlertid var klipssammenføyningen for dårlig da denne resulterte i mye slarke i konstruksjonen. Den nye tilhengerplatten, med aluminiumsprofiler fra SI Aluminium, ble vurdert til å være noe i overkant solid og tung for tiltenkt konstruksjon. Selv om den nye tilhengerplatten viste seg å ha omlag lik vekt som den første (0,5 kg tyngre), var dette uten hjørneprofil (og endeprofil). Klipssammenføyningen på den nye profilen fra SI Aluminium fungerte som tiltenkt, selv om denne krevde mye kraft for å sammenføyes.

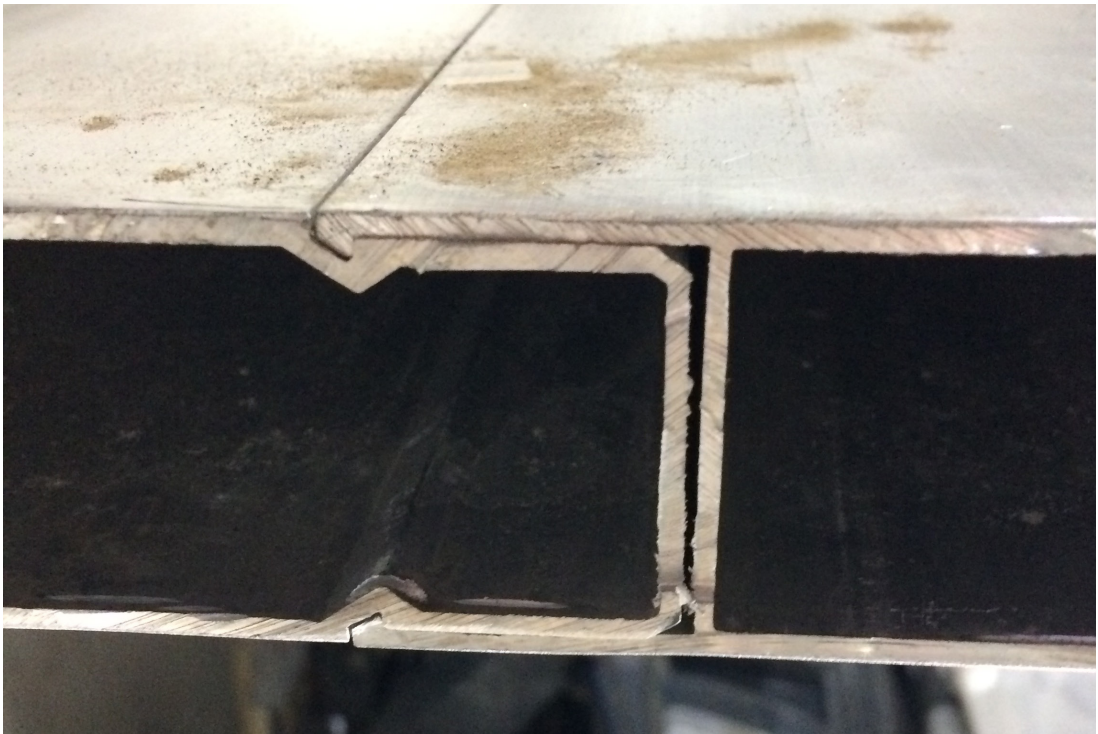
Det var enighet om å søke etter en mellomting av de testede aluminiumsprofilene for profilsystemet. Det ble besluttet å ta utgangspunkt i den første profilens godstykkelse på 1,6 mm, øke profiltykkelsen med 5 mm (fra 25 til 30 mm) for å være på den sikre siden, og å implementere den nye klipssammenføyningen.

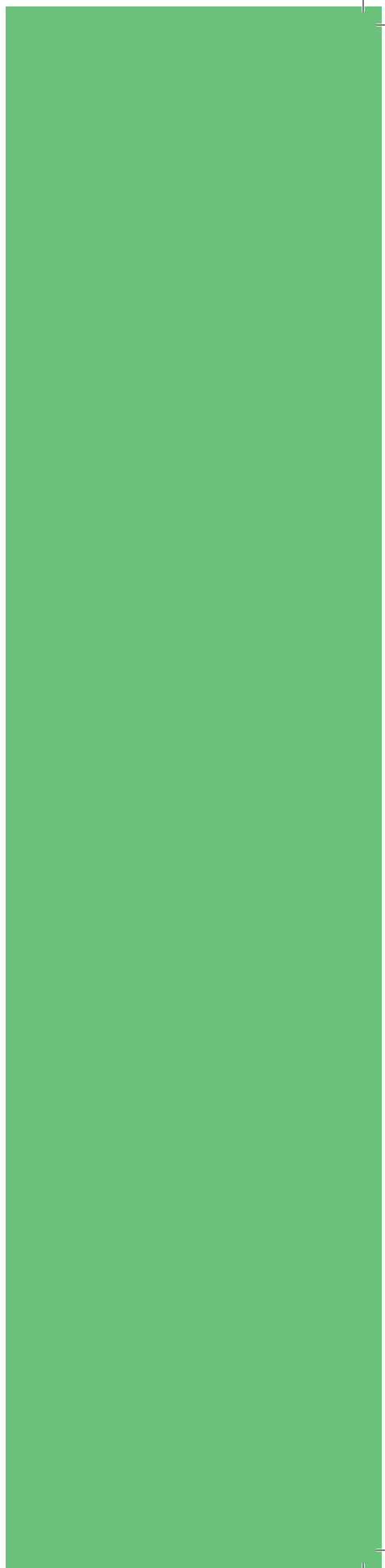
Ny profil ►

Klipssammenføyningen på den nye profilen fra SI Aluminium.

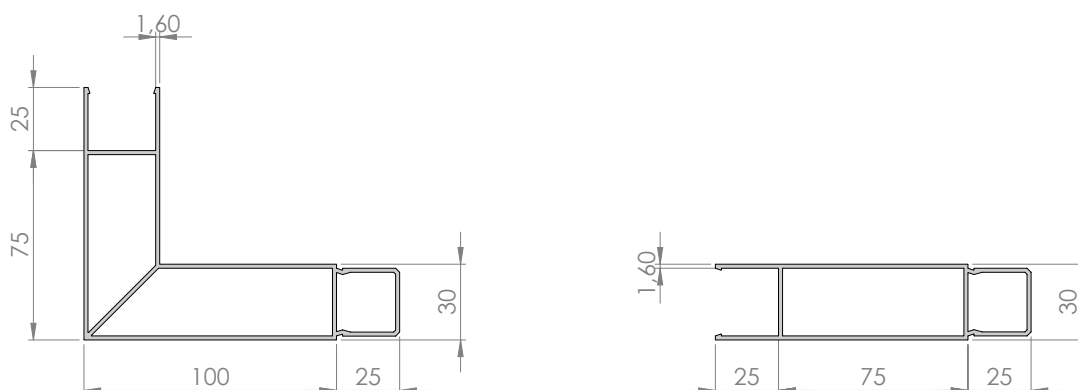
BILDE: Andreas Thoresen (2018)







5 Ferdigstilling



Design

Basert på testene av prototypene og evalueringen av disse er det utviklet to profiler til oppbygging av profilsystemet: Hjørneprofil og flat profil. I tillegg vil det også utvikles en flat profil med mutterspor som beskrevet på side 64 og 65.

Hjørneprofilen har en synlig profilbredde på 100 mm ut fra yttersiden av hjørnet. Det er lagt inn en diagonal avlastningsvegg mellom hjørnene etter anbefaling fra Sapa. Den flate profilen har også en synlig profiltykkelse på 100 mm. Begge profilene har en profilbredde på 30 mm og godstykkelse på 1,6 mm. Klippsammenføyningen fra profilen fra SI Aluminium implementert. I tillegg er hjørnene noe avrundet etter anbefaling fra Sapa. [6]

Design ▲

Valgt design for aluminiumsprofilene.
ILL.: Andreas Thoresen
(2018)



Datasimulering

For å validere konstruksjonens styrke teoretisk benyttes datasimulering i Solidworks. Programmets simuleringsverktøy simulerer konstruksjoners oppførsel under påvirkning av blant annet statisk belastning. Det er valgt å simulere konstruksjonene med hensyn på på spenning og nedbøying. Disse vurderes som tilstrekkelig for å beregne konstruksjonens styrke teoretisk.

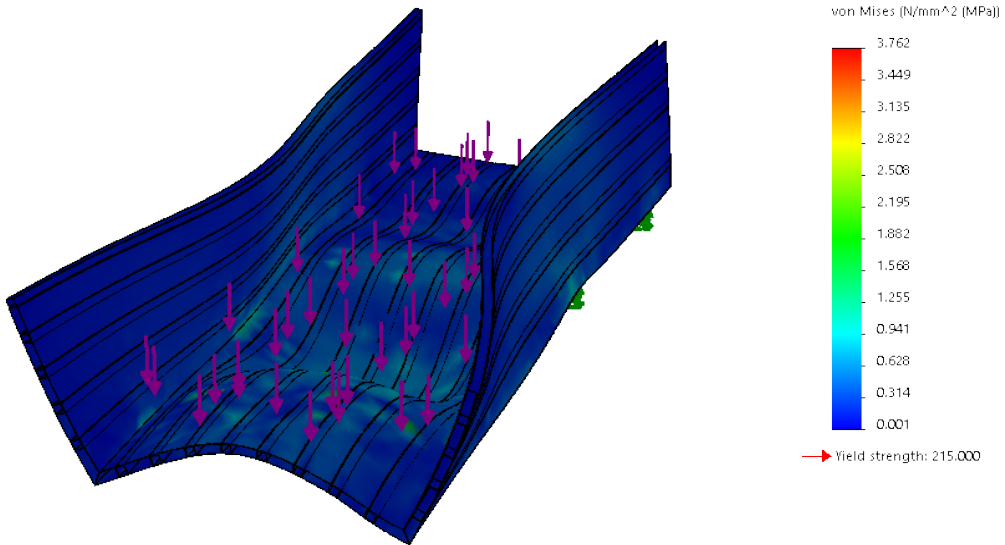
Til simuleringen på de fire neste sidene er snøscootertilhenger med høye karmmer og ATV-tilhenger med brønnformet platt og høye karmmer benyttet. Begge konstruksjonene er påsatt en jevnt fordelt statisk last (markert med rosa piler) på 600 kg (≈ 6000 N) og simulert med aluminiumslegering 6063-T6 (flytegrense = 215 MPa). Konstruksjonene er lagret opp (markert med grønne piler) over det respektive understellet beskrevet på side 57. Det bemerkes at for ATV-tilhenger med brønnformet platt og høye karmmer, simuleres tre ulike lastfordelinger. Som beskrevet på side 43 etterstrebes en sikkerhetsfaktor n på 8,0 eller mer.

Resultatet av simuleringene viser at begge konstruksjonene er godt innenfor kravet til sikkerhetsfaktor. Også nedbøyingen anses som så lav at denne er akseptabel.

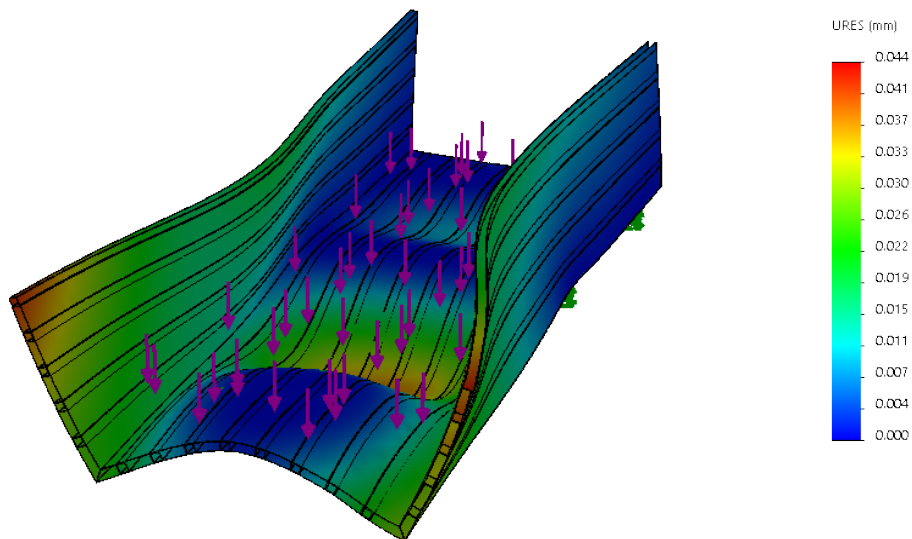
For å illustrere hvordan konstruksjonen påvirkes av last, brukes en sterkt overdrevet visualisering under simuleringene. På grunn av dette er det tabellene som er gjeldende, ikke figurene. Alle illustrasjoner: Andreas Thoresen (2018)

Snøscootertilhenger med høye karmmer

Spenning



Nedbøying

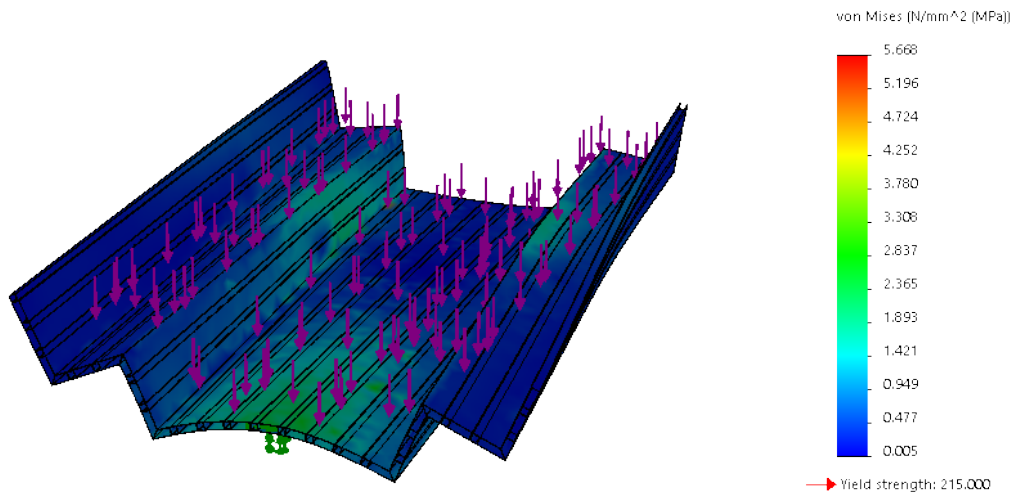


Resultat: Sikkerhetsfaktor $n \approx 57$, største nedbøying ≈ 0 mm

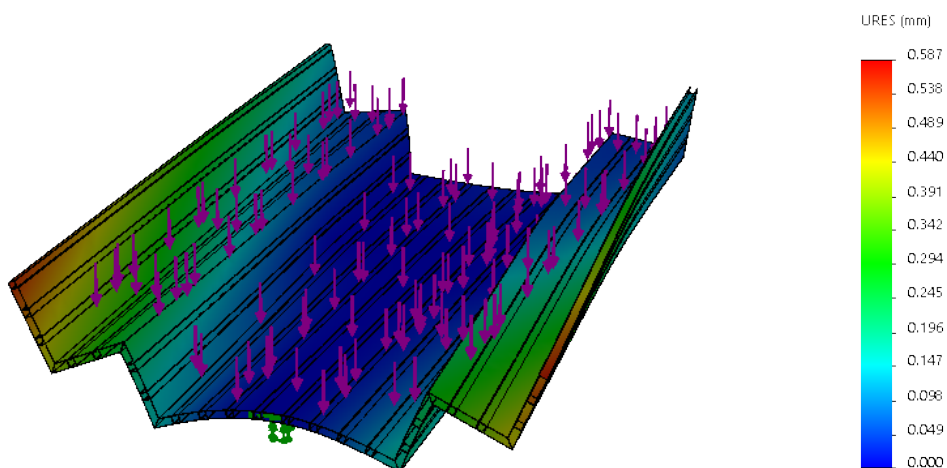


ATV-tilhenger med brønnformet platt og høye karmmer (lastfordeling 1: jevn)

Spenning



Nedbøying

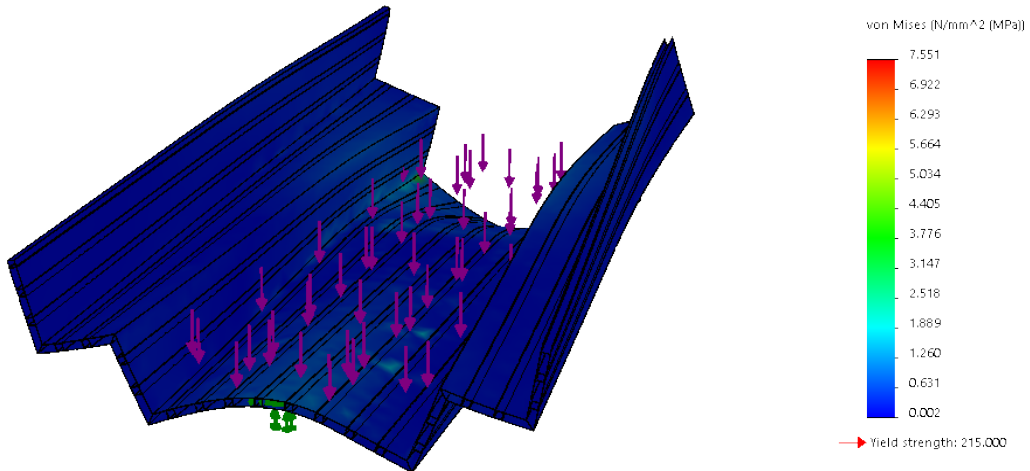


Resultat: Sikkerhetsfaktor $n \approx 38$, største nedbøying $\approx 0,6$ mm

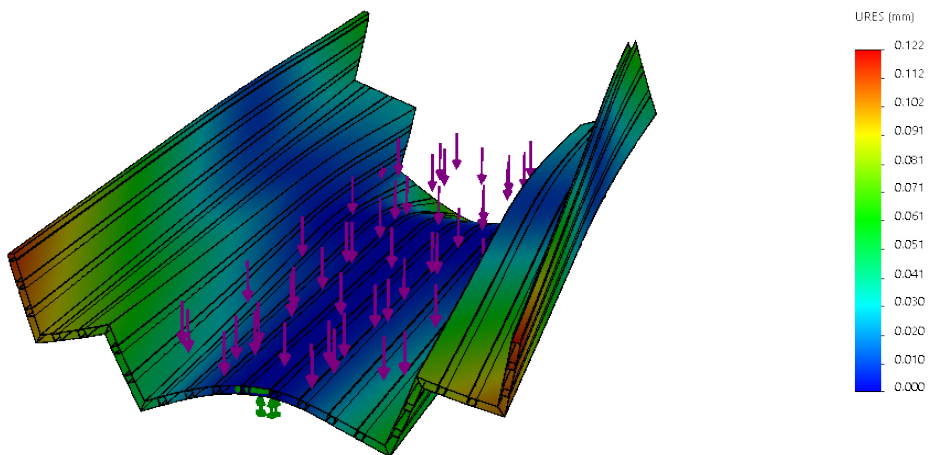


ATV-tilhenger med brønnformet platt og høye karmmer (lastfordeling 2: bunn)

Spenning



Nedbøying

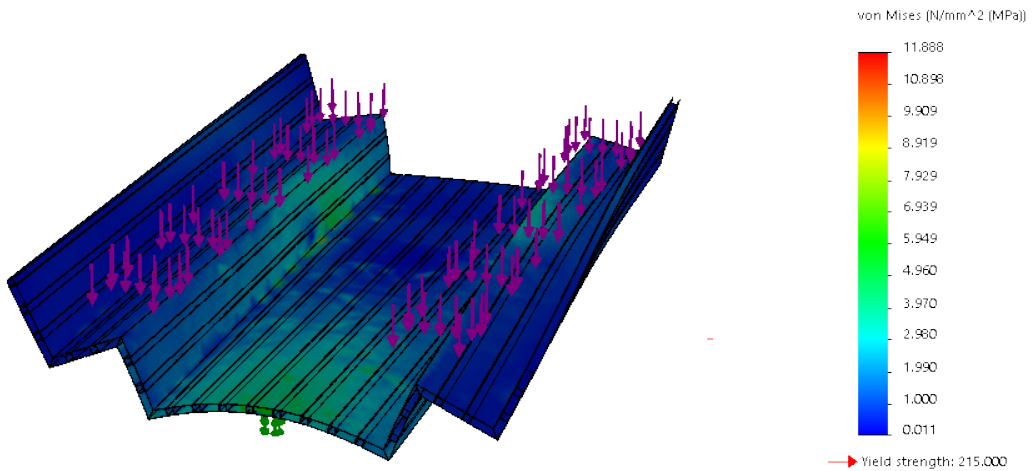


Resultat: Sikkerhetsfaktor $n \approx 28$, største nedbøying $\approx 0,1$ mm

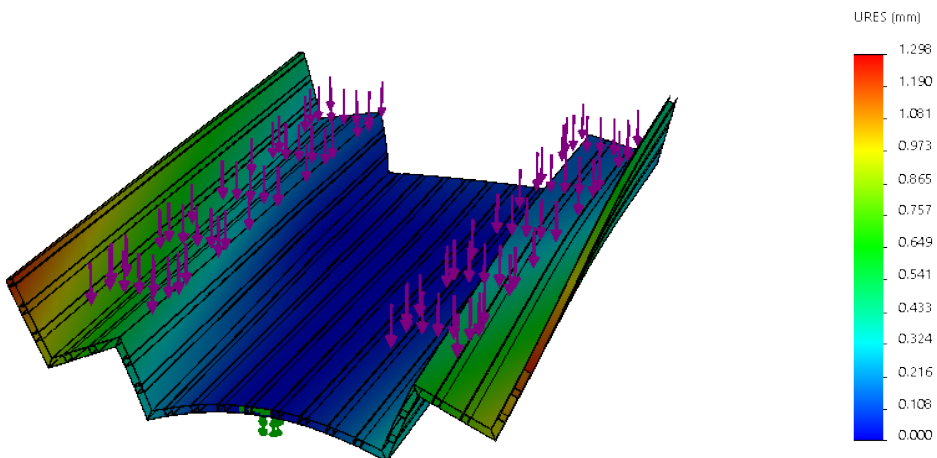


TV-tilhenger med brønnformet platt og høye karmmer (lastfordeling 3: flanker)

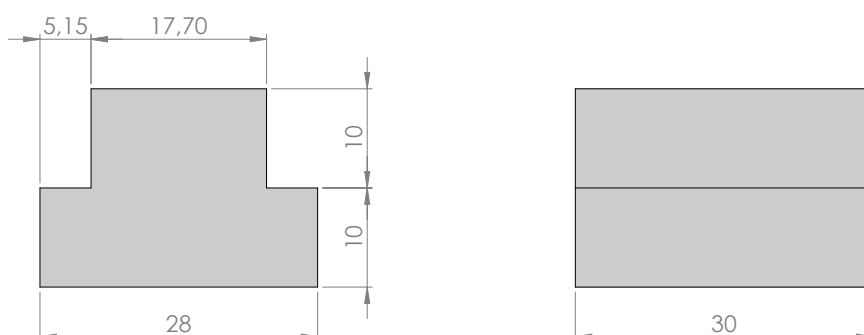
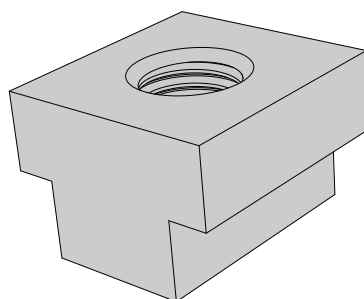
Spenning



Nedbøying



Resultat: Sikkerhetsfaktor $n \approx 18$, største nedbøying $\approx 1,3$ mm

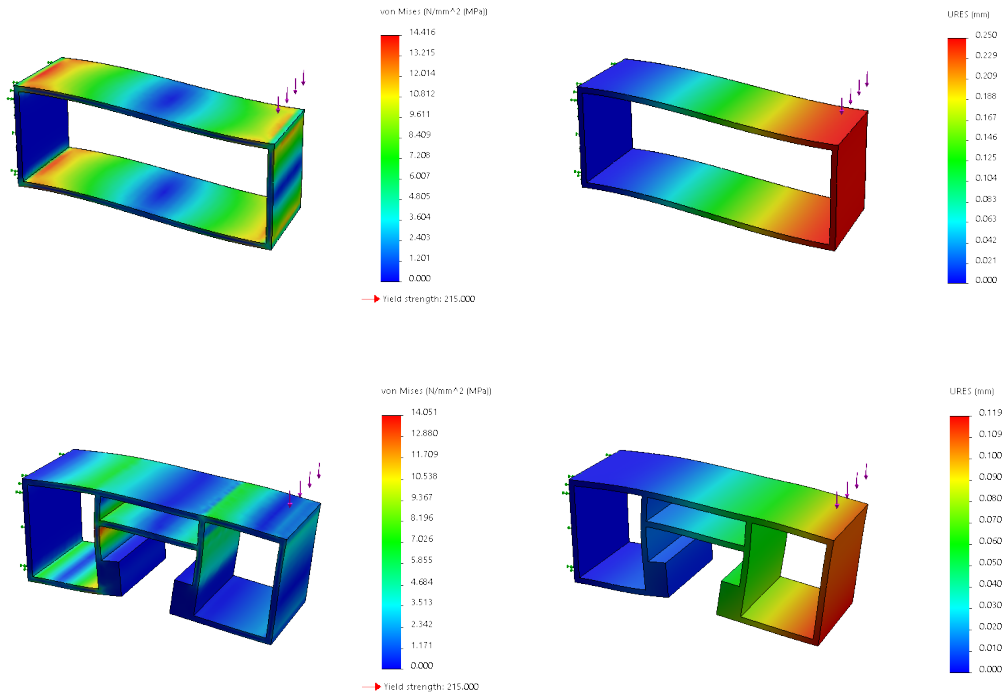


Datasimulering av mutterspor

Undersøkelse med en norsk forhandler av verktøy (Alternø AS) viser at T-spormuttere fås kjøpt i universal størrelse med gjenger for boltestørrelse M8, M10 og M12. I konsultasjon med NTS anses boltestørrelse M12 som tilstrekkelig for innfestning av snøscooter- og ATV-understell. Videre tenkes det at for eksempel innfestningsanordning til lys og kjennemerke kan festes med boltestørrelse M8. Muttersporet designes derfor for å passe T-spormutteren gjengitt ovenfor. Det påregnes noe toleranse inne i profilens mutterspor for å sikre enkel forflytting og eventuell utskifting av T-spormutteren.

T-spormutter ▲
Gjengivelse av universal T-spormutter for M8, M10 og M12.
ILL.: Andreas Thoresen (2018)



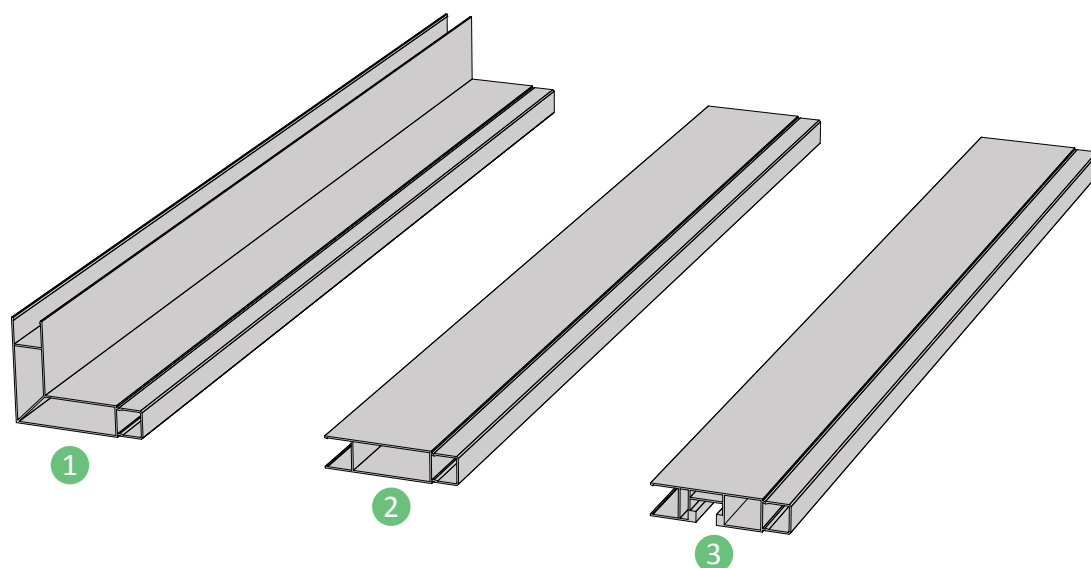


For å bevare konstruksjonens styrke, må den flate profilen med mutterspor ha minst like god styrke som den flate profilen. Det er derfor tatt utgangspunkt i en simulering av den flate profilens midtseksjon (ekskludert not og fjær). Begge midtseksjonene er lagret opp på veggen til venstre i bildet og påsatt en last på 10 N i den andre enden. Siste revisjon av den flate profilen med mutterspor viser at styrken og nedbøyingen er bevart. Denne har to vegger over muttersporet og en fortykket seksjon under T-spormutterens anleggsflate. Det bemerkes at muttersporet som en forenkling er midtstilt i midtseksjonen for simuleringen.

Datasimulering ▲
 Datasimulering av mutterspor for flat profil (Vedlegg III viser flere revisjoner).

ILL.: Andreas Thoresen (2018)





Endelige profiler

Med utgangspunkt i masseberegninger gjort i Solidworks og tall gitt av Sapa i forbindelse med forprosjekt:

1) Hjørneprofil

Vekt pr/m: 2,2 kg

Kostnad pr/m: 77 NOK

Estimert verktøykostnad: 20.000 NOK

2) Flat profil

Vekt pr/m: 1,4 kg

Kostnad pr/m: 49 NOK

Estimert verktøykostnad: 15.000 NOK

3) Flat profil med mutterspor

Vekt pr/m: 1,9 kg

Kostnad pr/m: 67 NOK

Estimert verktøykostnad: 15.000 NOK

Endelige profiler ▲

Hjørneprofil, flat profil og flat profil med mutterspor.

ILL.: Andreas Thoresen (2018)

Modellene

Med utgangspunkt i masseberegninger gjort i Solidworks og tall gitt av Sapa i forbindelse med forprosjekt:

Modell 1: Snøscootertilhenger med lave karmar
Egenvekt med endekarmer (2500 m): 41 kg
Enhetskostnad med endekarmer: 1.435 NOK

Modell 2: Snøscootertilhenger med høye karmar
Egenvekt med endekarmer (2500 m): 80 kg
Enhetskostnad med endekarmer: 2.800 NOK

Modell 3: ATV-tilhenger med lave karmar
Egenvekt med endekarmer (2500 m): 91 kg
Enhetskostnad med endekarmer: 3.185 NOK

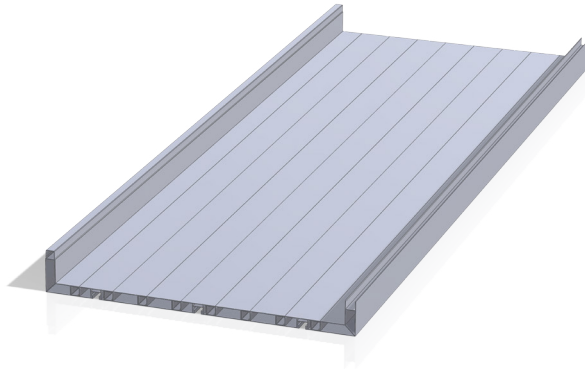
Modell 4: ATV-tilhenger med høye karmar
Egenvekt med endekarmer (2500 m): 116 kg
Enhetskostnad med endekarmer: 4060 NOK

Det bemerkes at snøscooterunderstellet må ha egenvekt ikke over 20 kg og at ATV-understellet må ha egenvekt ikke over 34 kg for at kravet til produktenes egenvekt skal være i henhold til kravspesifikasjonen. Det bemerkes også at enhetskostnaden kun tar utgangspunkt i modellenes egenvekt. I tillegg til kostnaden av ekstruderingsverktøy (som fordeles på antall produserte enheter) kommer også kostnad av andre komponenter (understell etc.), frakt og montering.

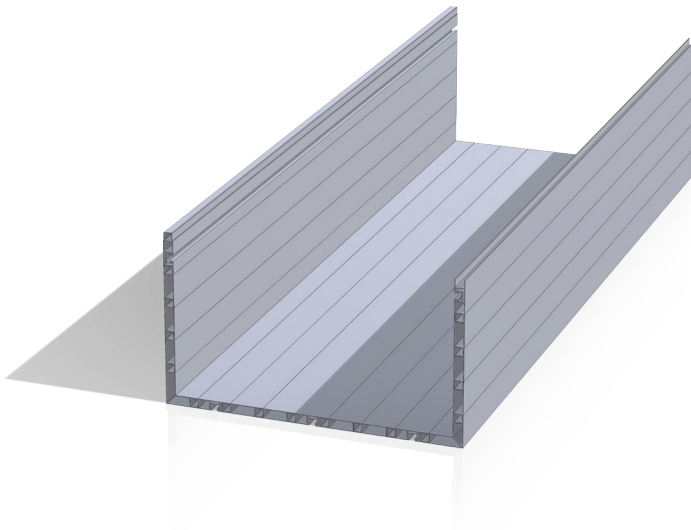
Illustrasjonene på de neste to sidene viser de ulike modellene. Alle illustrasjoner: Andreas Thoresen (2018)

Ferdigstilling Modellene

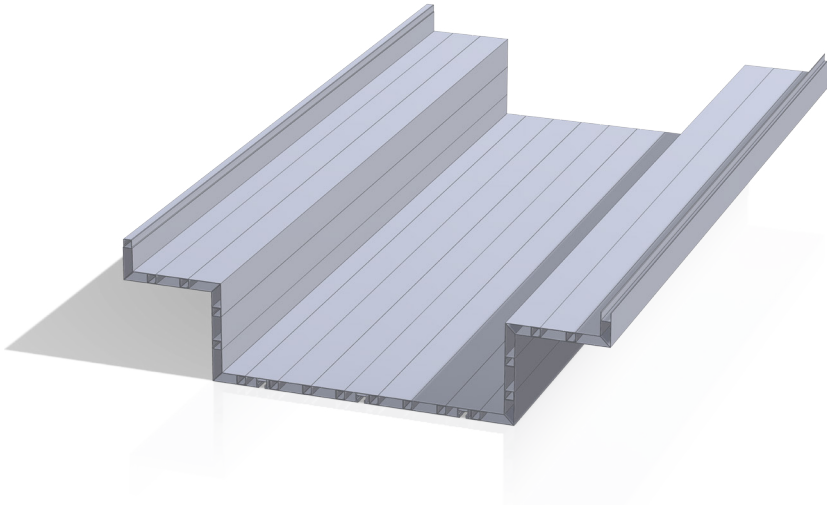
Modell 1: Snøscootertilhenger med lave karrer



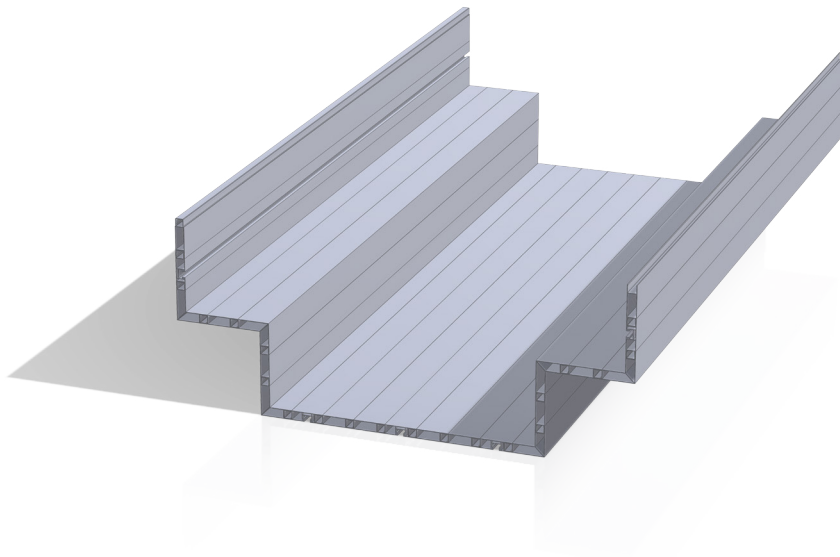
Modell 2: Snøscootertilhenger med høye karrer

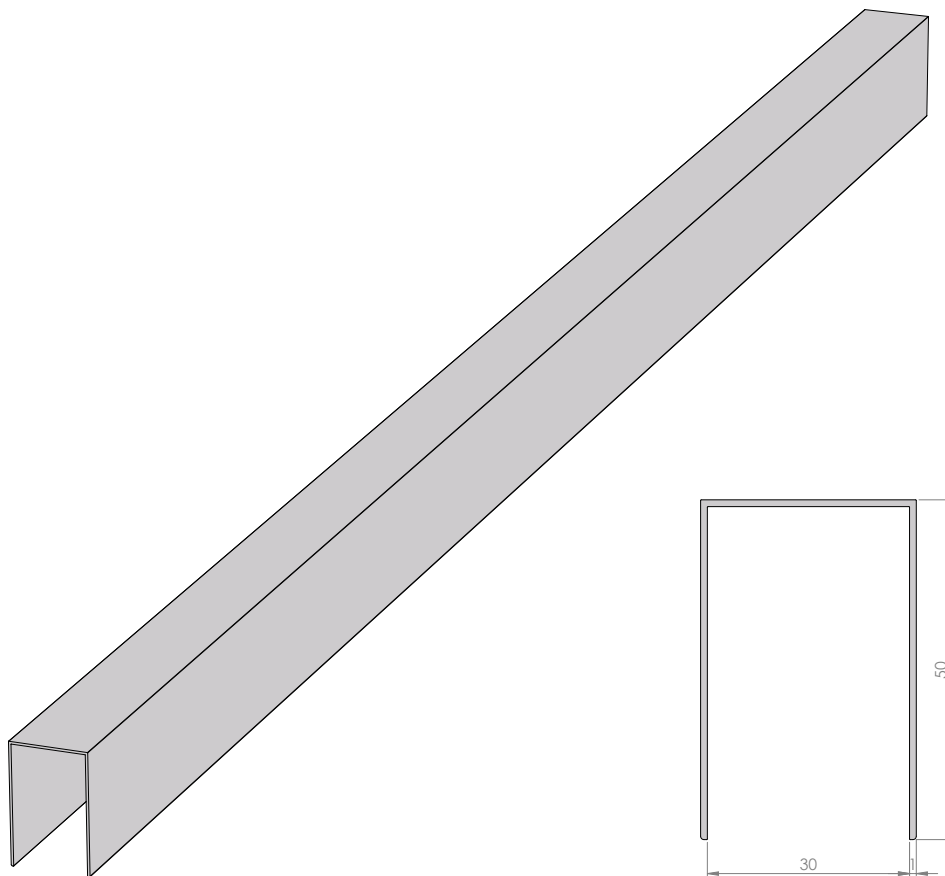


Modell 3: ATV-tilhenger med lave karmar



Modell 4: ATV-tilhenger med høye karmar





Endeprofil

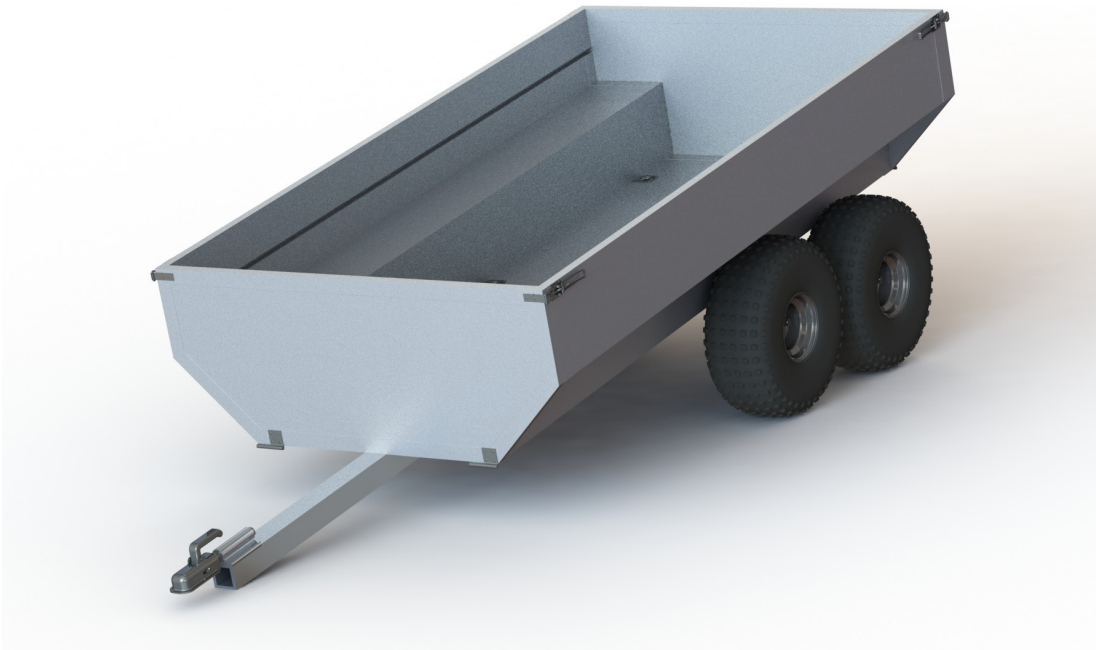
Ekstrudering av valgt løsning resulterer i at profilene/ profilsystemet får en åpen seksjon i hver ende. Det anses som hensiktsmessig å lukke denne, både med tanke på å hindre blant annet vann og gjørme å bli liggende inne i profilsystemet, men også med tanke på det visuelle uttrykket. Det foreslås å ekstrudere en endeprofil i tillegg til profilsystemet. Denne er designet for å kunne tres utenpå aluminiumsprofilene og limes, eventuelt nagles fast i konstruksjonen. Siden denne profilen er relativt liten og åpen (krever kun ett ekstruderingsverktøy) estimeres verktøykostnaden, med utgangspunkt i tall på side 17, til omlag 5.000 NOK.

Endeprofil ▲

Endeprofilen som foreslås ekstrudert.

ILL.: Andreas Thoresen (2018)





Visualisering

Som et resultat av en relativt kort ferdigstillingsfase på grunn av en noe forsinket prototypetesting, er det valgt å kun visualisere ATV-tilhenger med brønnformet platt og høye karmmer. I midlertid anses denne som representativ for hele produktserien med tanke på løsninger og muligheter. I tillegg til ATV-understellet, som er en gjengivning av løsningen NTS brukte i prototypen, er det benyttet komponenter som karmlås, surrefester og avtagbare hengsler. Disse betraktes kun som et forslag på løsning. Det er også lagt inn et forslag på utforming av bjelke til sitteinnetning og en plate for montering av lys og kjennemerke. Disse betraktes også som et forslag på løsning.

Visualiseringene på de neste fire sidene er gjort med bilderending i Solidworks. Alle bilder: Andreas Thoresen (2018)

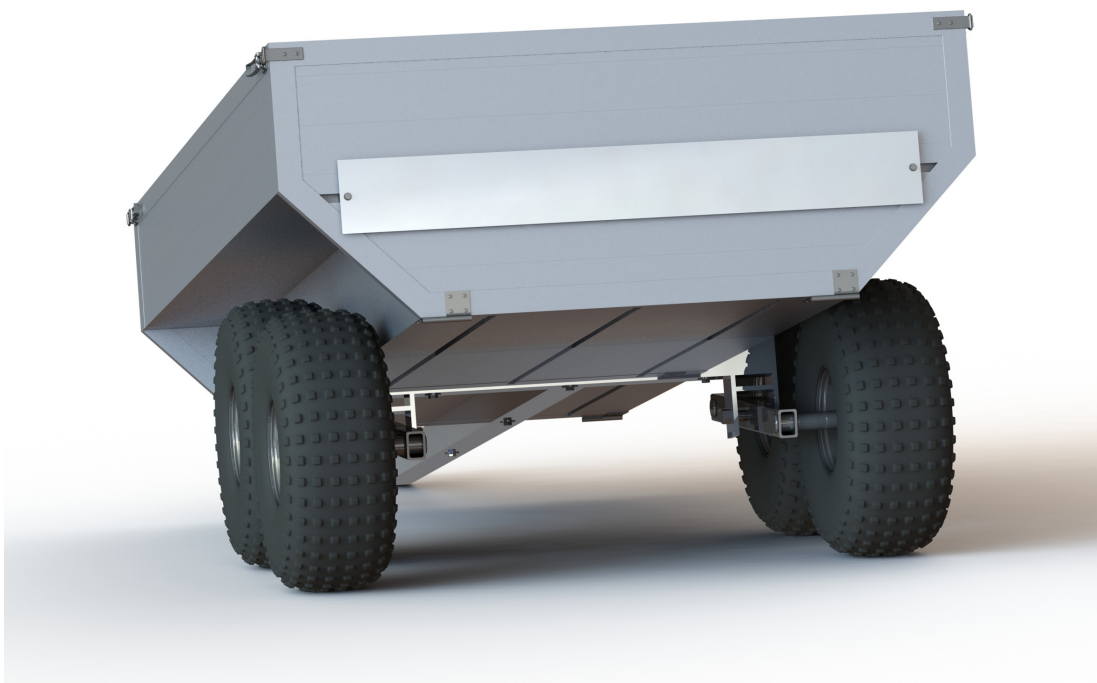
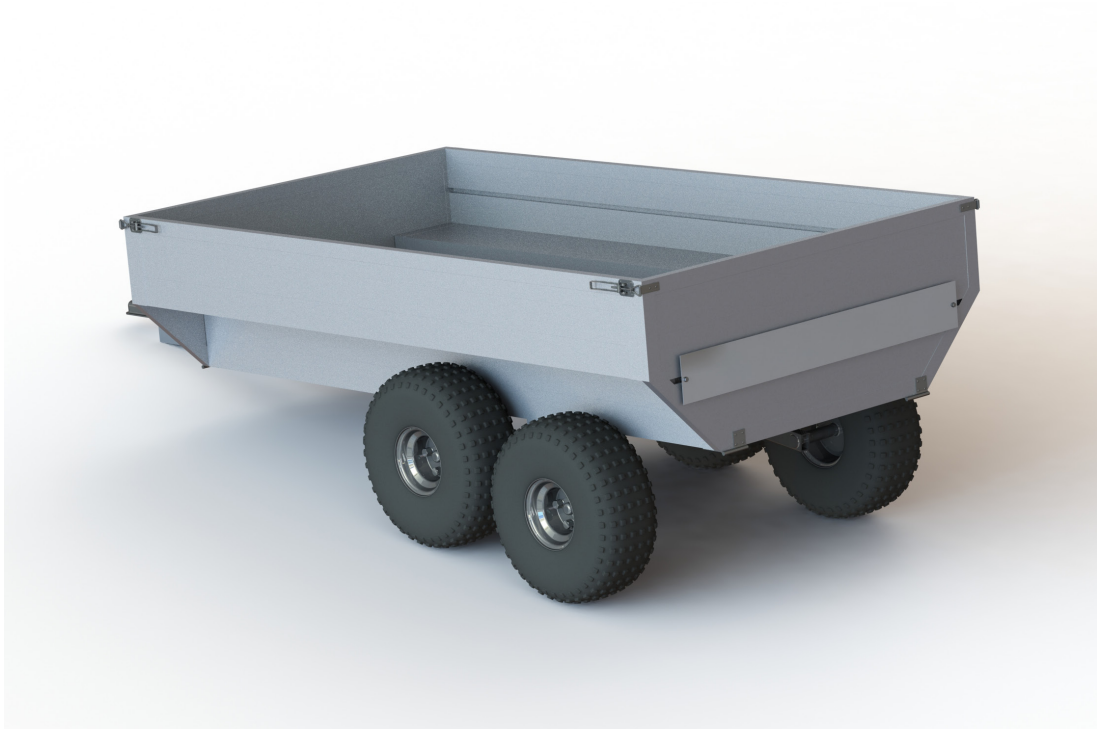
Bilderending ▲

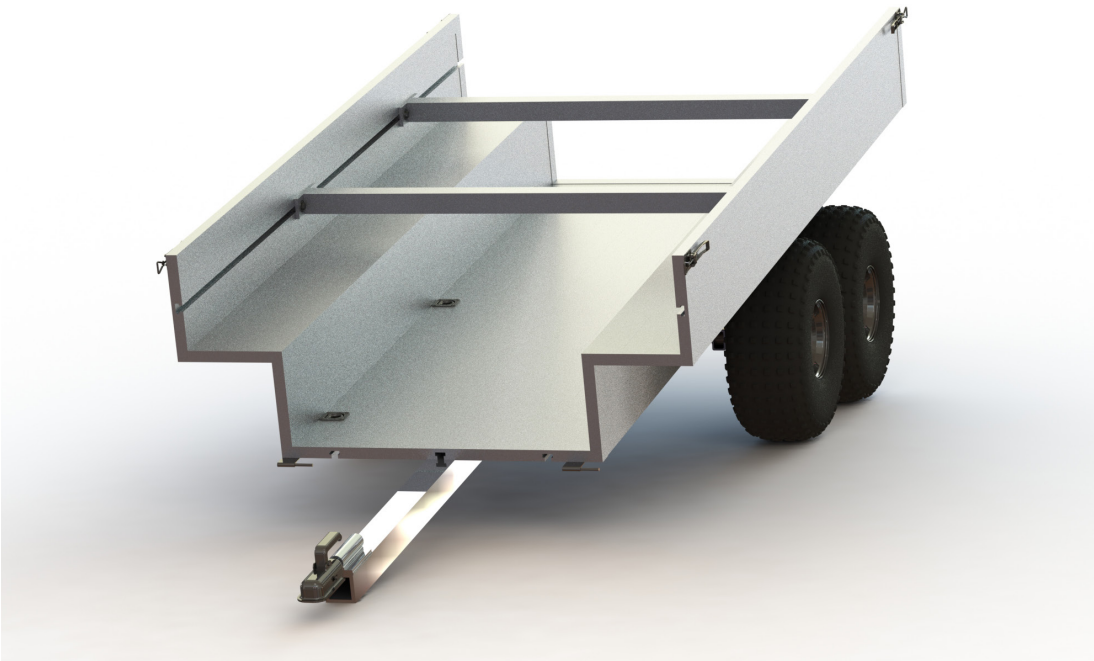
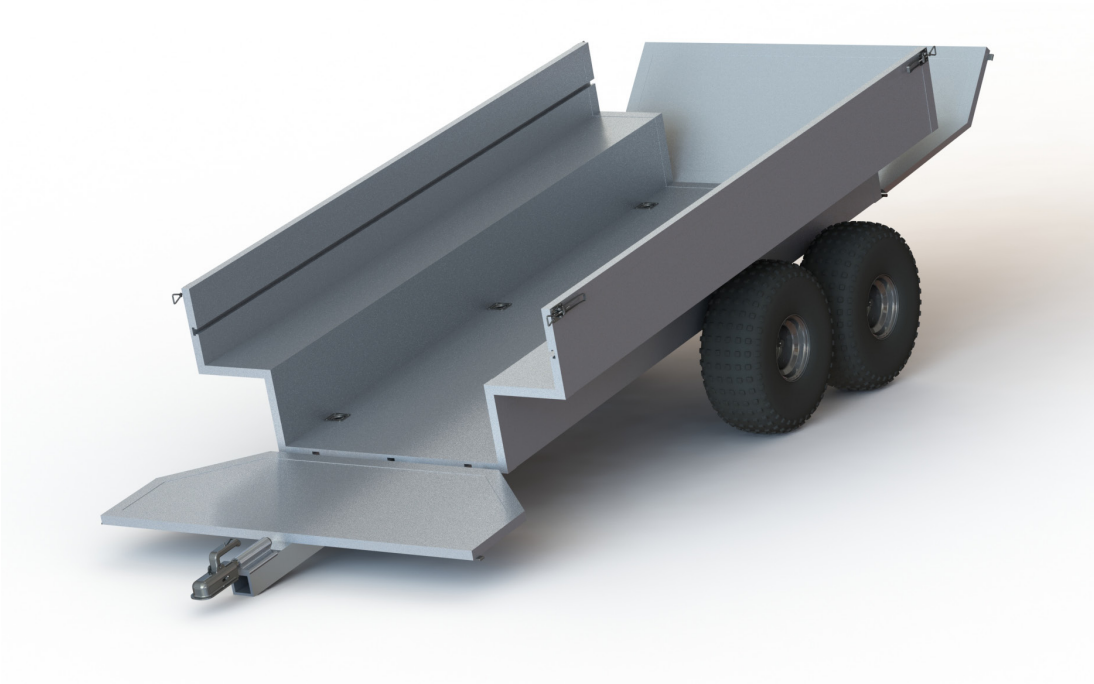
Bilderending i Solidworks.

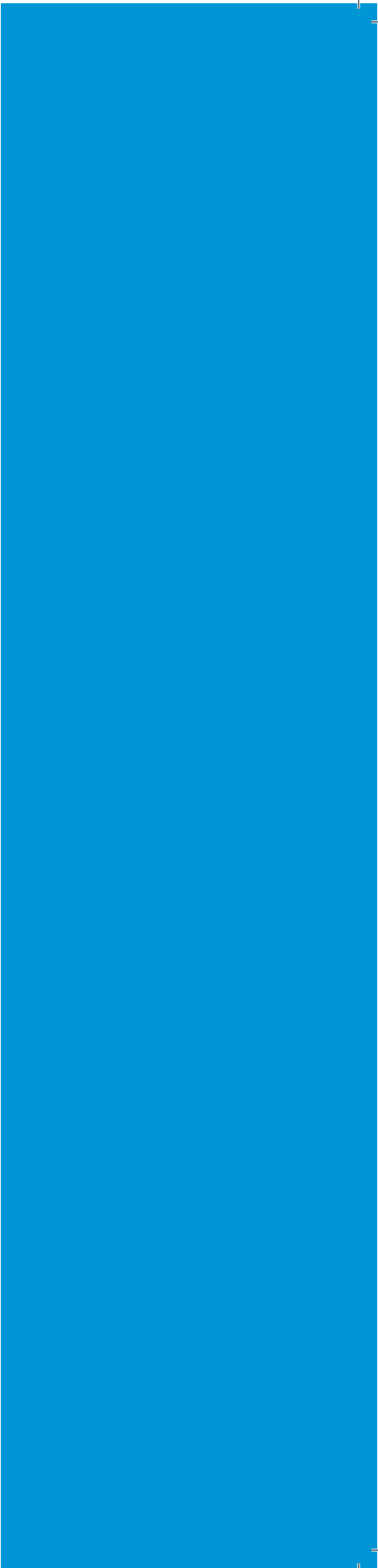
BILDE: Andreas Thoresen (2018)



Ferdigstilling Visualisering







6 Evaluering

Refleksjon

Etter utført masteroppgave sitter jeg igjen med nye kunnskaper og ferdigheter. Dette dreier seg ikke bare om det analytiske og tekniske, men også om å jobbe tett med en bedrift som industridesigner.

Prosesen har vært spennende, men også utfordrende. Spennende fordi det hele tiden har foreligget konkrete planer om å sette resultatet av masteroppgaven (profilsystemet) ut i produksjon. Utfordrende da jeg har følt på en forventning til å levere et ferdig, produserbart resultat til oppbygging av produkter jeg har manglende førstehåndserfaring med.

Det har vært god driv i prosessen gjennomgående, med unntak av fasen mellom prototypene. Det var i utgangspunktet kalkulert med at oppbygging av én prototype (med aluminiumsprofilene fra Hytrans) var tilstrekkelig til å fastslå et utgangspunkt for det endelige designet. I påvente av nye aluminiumsprofiler ble prosessen noe stillestående. I ettertid er det lett å se at dette "mellomrommet" kunne blitt utnyttet til å forske ytterligere på systemet. På grunn av en forsinket oppbygging og testing av prototypene, ble ferdigstillingen noe hektisk. Det hadde vært ønskelig og fått mer tid til å utforske det endelige resultatet på søken etter en potensielt enda bedre løsning (lettere og/eller sterkere). Ferdigstillingen gjenspeiles også i visualiseringen av sluttproduktene, da kun ett produkt ble oppbygd. Her hadde det vært ønskelig å bygge opp alle produktene og visualisert disse i de respektive bruksomgivelsene.

Alt i alt ble tiden disponert godt. Jeg føler jeg har truffet bra med balansen mellom de ulike prosjektfasene, selv om ferdigstillingen tidsmessig ble noe kort. Også oppgavens mål og avgrensninger har vært overkommelige og gode med tanke på tilgjengelig tid.



Konklusjon

Formålet med masteroppgaven var i utgangspunktet å utvikle en kombinasjonstilhenger for snøscooter/ATV. Senere ble prosjektets visjon endret til å omhandle utvikling av et modulbasert profilsystem i aluminium for oppbygging av en produktserie med tilhengere til snøscooter og ATV.

Masteroppgaven har resultert i tre aluminiumsprofiler samt et forslag om en fjerde profil (endeprofil). De oppbygde variantene er utviklet med tanke på kostnadseffektiv småskalaproduksjon i NTSS lokaler på Nordli i Lierne. Selv om det fortsatt knyttes usikkerhet til kravene som omhandler utsalgspris og den endelige egenvekten for snøscootertilhenger med høye karmen og for ATV-tilhenger med brønnformet platt og høye karmen, anses kravspesifikasjonen som oppfylt.

Det er tatt utgangspunkt i fire ulike varianter for produktserien, men dette må betraktes kun som eksempler på muligheter. Siden systemet er basert på aluminiumsprofiler som alle passer sammen, i tillegg til muligheten for å plassere profiler med mutterspor der det er ønskelig, vil det være mulig å bygge opp flere varianter som passer brukerens behov. Dette både med tanke på utforming og løsninger, høyde, lengde og bredde.

Kombinasjonsmuligheten meier/hjul er også i varetatt, da både understell og andre komponenter som festes i profilsystemet ved hjelp av muttersporet, er utskift-/avtakbare. Selv om dette ikke lengre var et krav da prosjektet endret visjon, anses dette som en positiv og unik løsning som skiller tilhengeren fra mengden av eksisterende produkter.



Veien videre

I en sluttevaluering med NTS i januar, ble resultatet av masteroppgaven presentert. Bedriften stiller seg positiv til løsningen og vurderer å ta steget videre - ut i produksjon.

NTS har i dag omlag 250.000 NOK igjen av innovasjonsmidlene til produksjon av produktet, og eventuell videre utvikling. På grunn av noe manglende kompetanse og en kort ferdigstilling, er min anbefaling til NTS å benytte en del av disse midlene til videre utvikling av profilsystemet før en eventuell produksjon. Her bør det søkes spisskompetanse på fagfeltet i søken etter en potensielt enda bedre løsning, og/eller validering av arbeidet som er gjort.

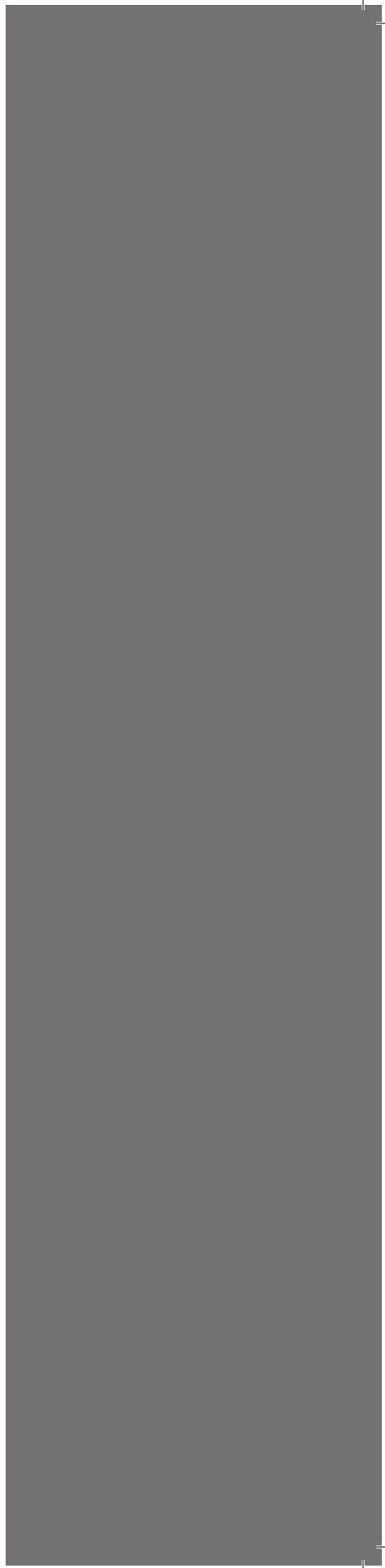
Videre anbefaler jeg bedriften å se på muligheten for å utvikle og produsere flere av de involverte komponentene selv, ved bruk av aluminium. Dette spesielt med tanke på understellene, da det ikke er funnet understell i aluminium hverken for snøscooter eller ATV. Dette kan potensielt være vektbesparende for sluttproduktene og forsterke vinningen med bruk av aluminium i tilhengerplattene ytterligere. Prototypetestingen viste at dette potensielt er gjennomførbart.



Kildeliste

- [1] Thoresen, A. (2017). Aluminium versus steel in low-volume production of structural applications: Comparing aluminium and steel in structural applications for low-volume production based on mechanical properties and economic aspects.
- [2] Forskrift om forbud, snøscooter offent. veg. Forskrift 14. desember 2001 nr. 1411 om forbud mot bruk av beltemotorsykkel (snøscooter) på offentlig veg.
- [3] Forskrift om bruk av kjøretøy. Forskrift 25. januar 1990 nr. 92 om bruk av kjøretøy.
- [4] Bilforskriften. Forskrift 5. juli 2012 nr. 817 om godkjenning av bil og tilhenger til bil (bilforskriften).
- [5] Statens vegvesen. (2015, 18. august). Nasjonal typegodkjenning av tilhengere produsert i små serier. Hentet 13. september 2017 fra <https://www.vegvesen.no/kjoretoy/Kjop+og+salg/import/Kommersiell+import+av+kjoretoy/Nasjonalt+smaseriesykegodkjenning>
- [6] Sapa Profiler AB (2015). Design manual: Success with aluminium profiles. Stockholm: J&L Annonnsbyrå AB
- [7] Vollen, Ø. (2011). Mekanikk for ingeniører: Statikk og fasthetslære. (2. utgave). Bekkestua: NKI Forlaget AS





6 Vedlegg

Aluminium versus steel in low-volume production of structural applications

Comparing aluminium and steel in structural applications for low-volume production based on mechanical properties and economic aspects

Andreas Thoresen
Department of Design
Norwegian University of Science and Technology

ABSTRACT

Based on a case where a mechanical workshop plans to establish a low-volume production of ATV trailers, the pros and cons of using aluminium in the load-bearing parts of the structure are explored and compared to the traditional use of steel. The goal of the paper is to provide a recommendation for selection of materials and production methods for the case, considering mechanical properties of the materials and the limitations of low-volume production, which normally requires cost-effective materials and simple manufacturing techniques and processes. The paper shows that with use of aluminium in favor of steel in structural applications, significant weight savings can be made. This change of material requires increased dimensions of standard components, or use of custom developed components. Aluminium also shows other advantages over steel in both production and use, but essentially the selection of aluminium as a material requires a compromise between weight and price, as aluminium appears to be more expensive. The recommendation to the mechanical workshop is to consider this compromise before a final material and production method is selected.

KEYWORDS: Low-volume production, aluminium versus steel, structural applications, material properties

1. INTRODUCTION

In 2016 the author of this article carried out a design and development project with a local company. The client, a mechanical workshop in Lierne, Nord-Trøndelag, plans to start low-volume production of combination trailers for snowmobiles and ATVs in 2018. The project included definition of product requirements and conceptual design based on the clients demands and analysis of existing products. The results indicate that to be competitive on the market there are rigid requirements related to the products strength-to-weight ratio and the production costs. The focus of this initial project was on the load bearing structure (the frame). It was found that more knowledge on alternative materials and production methods was needed which initiated this study.

Products built on steel structures dominate the market for snowmobile and ATV trailers. The use of aluminium is not common despite that concept studies has shown that substituting existing steel structures with aluminium structures can provide up to 50% weight reduction. [1] With typically around 40% of the fuel consumption being directly related to weight (inertial and rolling losses) and a further 40% (power-train losses) being secondarily related, it follows that substantial fuel efficiency improvements can be achieved if the vehicle weight can be significantly reduced. [2]

The load bearing structure must be compatible with a static and dynamic load of minimum 600 kg. Low-volume production involves production of a relatively low number of units annually, and sets in this case primarily requirements for cost-effective materials as well as cost-effective and



simple manufacturing techniques and processes.

The paper seeks to find the most optimal construction material for the bearing structure of the trailer based on mechanical properties and the economic aspect. The first part looks at low-volume production and what this implies. The second part compares aluminium and steel based on the materials mechanical properties, production and economics. Finally, the findings are discussed and a recommendation for material selection based on the case is given.



Figure 1: Example frame in steel, snowmobile setup

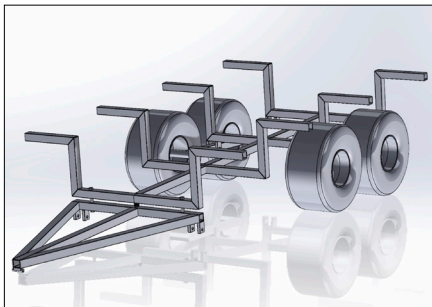


Figure 2: Example frame in steel, ATV setup

1.1 Methods

This paper reviews literature from various research domains, mainly textbooks and material handbooks. In areas where there is no available literature, consultations with Sapa, a Norwegian-owned aluminium company that develops and manufactures aluminium profiles,

NTNU Aluminium Product Innovation Center (Napic) and Norsk Stål has been used.

2. LOW-VOLUME PRODUCTION

Jina et al. (1997) define low-volume production as a production rate of 20-500 units per year. [3] Some consider it as production where the nonrecurring engineering costs become a large portion of the overall product cost. Others claim that low-volume production is characterized not by a production number, but rather by certain overarching, general characteristics. Low-volume production is typically characterized by few technical prototypes, manufacturing of complex or customized products, make-to-order production, uncertain and limited numbers of pre-series productions and the infeasibility of conventional production ramp-up. Other identification factors include modifying existing products, the use of existing products instead of developing entirely new products, and the use of existing production systems with slight modifications for new products. [4][5][6] According to Vallhagen et al. (2013), it is more common in low-volume production to focus on product functionality than its manufacturability compared to high-volume production industries. [7]

2.1 Challenges and limitations

According to Schneider, E. (2012), low-volume production always comes down to a balancing act among desired features, cost, and speed. As the costs of tooling and setup in low-volume production become more significant components of the project budget, cost effective methods require designers to make compromises on aesthetics and material properties. In low-volume production, commercial off-the-shelf parts (COTS), generic parts, are much cheaper than custom parts, but this means the design has to accommodate pre-made parts, something that set limitations to the aesthetics and creativity. When ordering off-the-shelf parts, it is also appropriate to use parts that come in standard sizes or have multiple sources, so they can be substituted without requiring a substantial product redesign. Managing client expectations can be difficult in low-volume production. They might not be

Vedlegg Aluminium versus steel in low-volume production of structural applications

aware of the challenges of low-volume production, and might want a device with features similar to high-end consumer products. Also vendors can provide challenges in low-volume manufacturing. In a world of mass production, more products equal more money. Vendors tend to be less responsive to small-quantity orders typical of low-volume manufacturing unless they are specifically set up for that scale of business. The designer himself must also be fully aware of the limits in low-volume production. Understanding the fabrication volume and selecting an appropriate manufacturing process early can optimize the design for the best form and function for the selected process. This is usually a far better choice than trying to push the limits of a manufacturing technology to achieve something that is not appropriate for the technology. By understanding the limitations of each process, an engineer can tailor the design to make great parts with low-volume techniques, for instance, by adding compliance features to reduce the need for tight tolerances, reinforcing the walls with ribs, or combining processes. [8]

For the client, low-volume production will as previously described primarily mean the importance of cost-effective and simple product- and production solutions considering the choice of material and features, but with an executive focus on the strength-to-weight ratio.

3. MATERIAL PROPERTIES

To form a basis for comparison of the metals, this review is mainly based on aluminium alloy 6063 and steel alloy S355. In areas where it is considered difficult to obtain properties of the specific alloy, approximations are used by properties of aluminium and steel in general. The 6063 alloy is in consultation with Harald Vestøl, Nopic, and Svein Erik Brenna, Sapa, deemed appropriate for this purpose based on the mechanical properties and the financial aspect. S355 is a weldable structural steel and is, based on correspondence with two of the largest trailer providers in Norway, Gaupen-Henger A/S and Tysse Mekaniske Verksted, and Scandinavia's largest provider of trailers, Brenderup Group, exclusively the most common steel alloy used in comparable products.

3.1 Physical and mechanical properties

A materials strength is defined as the force per unit area at failure. [11] This is expressed through Young's modulus, which describes a materials resistance to elastic deformation as a function of the force f . The ultimate tensile strength (UTS) describes the highest amount of tension a material can handle before violation occurs. This failure can express a materials strength, but is not interesting because when dimensioning structures, it is always the structures original shape and cross section which forms the basis for the calculations. To protect this, the material must be within the elastic zone, below the yield point, which requires that the material returns to the original shape when the tension ceases. [12][13] In this case "strength" refers to the 0.2% offset yield strength (YS) for metals. [14]

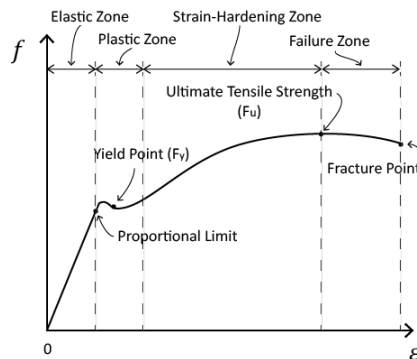


Figure 3: Young's modulus

The strength-to-weight ratio, also known as the specific strength, is defined as the materials strength divided by its density. [11] The table below shows the strength-to-weight ratio of the 6063-T6 aluminium alloy and the S355J2 structural steel alloy based on the yield strength.

	6063-T6	S355J2
Density (g/cm ³)	2,7	7,8
Strength (MPa)	215	315
Strength-to-weight ratio	≈ 79,6	≈ 40,4

Table 1: Strength-to-weight ratio

To illustrate the deflection difference between a steel and an aluminium structure, a simple strength simulation in the 3D-CAD design software SolidWorks is set up. A 1 meter long I-section (100 x 100 x 4 mm) is used as test beam. The test beam is stored in the left-hand end and has a downward-pointing force of 1000 N in the right-hand end. For the calculation aluminium alloy 6063-T6 and structural steel alloy S355J2 is used. Values are derived from SolidWorks' material database. Tension in the section is shown in the figure below. All the values are far below the YS for both materials.

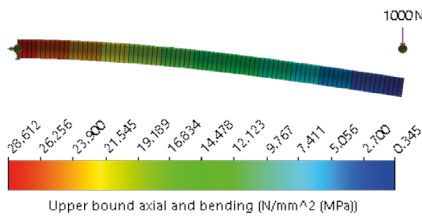


Figure 4: Tensions in the I-section

Tensions of this magnitude give the test beam a deflection. Figure 5 and 6 show the deflection for the aluminium and structural steel alloy.

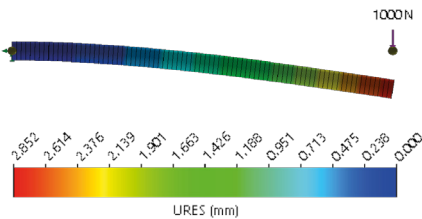


Figure 5: Deflection in 6063-T6

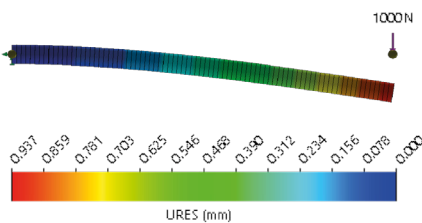


Figure 6: Deflection in S355J2

3.2 Weight reduction by design

In general, the modulus of elasticity E of aluminium is about one third of steel. [12] The 6063-T6 has an $E \approx 69000$ MPa, and the S355J2

has an $E \approx 210000$ MPa, – roughly three times higher. According to Sapa (2015) possible weight saving can be made by replacing a steel beam with an aluminium beam. Since aluminium's YS often is higher than one third of steel, the strength often is not fully exploited, and deflection calculations are adequate. A 1 meter long I-section is used as an example of possible weight saving if deflection and strength is the critical design factor.

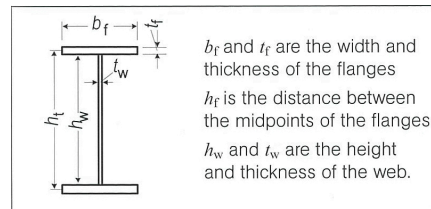


Figure 7: Terms for dimensions of I-section

If the deflection must remain the same, i.e. the stiffness EI must be the same. Because the modulus of elasticity of the aluminium alloy is one third of the steel alloy, the moment of inertia I for the aluminium beam must be three times as large. If the height of the beam is not increased, the flange area must be increased by a factor of three, and because the density of aluminium roughly is a third of steel this means that the aluminium beam will be roughly the same weight as the steel beam. If it is acceptable to increase the height of the beam, a considerable weight saving can be made by choosing aluminium. [9]

	IPE 240 Steel	Aluminium	
EI	8,17	8,17	8,17
h	240	240	300
b_f	120	240	200
t_f	9,8	18,3	12,9
t_w	6,2	12,0	6,0
Weight	30,7	30,3	18,4
Saving		0%	49%

Figure 8: Weight comparison for same deflection and strength

Vedlegg Aluminium versus steel in low-volume production of structural applications

3.3 Production

For steel structures, according to Norsk Stål the use of COTS is highly appropriate. Hollow sections of steel are mainly produced as welded sheets, or as seamless hollow profiles using the Mannesmann-method. [10] An interesting question is whether it will be profitable to use COTS in an aluminium structure. Extrusion is the process of pushing a billet through a die to reduce its cross section or to produce various solid or hollow cross sections. This process generally is carried out at elevated temperatures in order to reduce the extrusion force and improve the ductility of the material. [18] Solid profiles are produced using a flat, disc-shaped die, and hollow profiles are extruded through a two-part die. [9] According to Sapa these dies are relatively cheap to custom make to extrude own aluminium profiles. This will, according to themselves enable an optimization of the product weight, strength and functionality. In addition, providers can hypothetically save labor hours per unit produced by avoiding any modifications of COTS, something that must be substituted in extra costs relating to a custom extrusion. Temporarily Sapa has some quantity requirements, as the profiles are commonly extruded in lengths between 25 and 45 meters. Customer profiles can be delivered from a diameter of five millimeters and up to a diameter of 620 millimeters where the maximum weight is 65 kilograms per meter. From an economic point of view, Sapa recommends to choose a profile diameter in the midrange and rather combine multiple profiles. Low alloy steel may also be extruded, but this is a process which requires considerably more energy in form of heat and pressing force and is according to Norsk Stål not profitable.

Joining of metals can be done in several ways. As with steel, aluminium is also very suitable for fusion welding. Nowadays, gas arc welding methods, MIG and TIG in particular, dominate. [9] These welding methods are relatively cheap in themselves, and human-operated equipment has a relatively low investment cost. In addition, the necessary skills for fusion welding are affordable to acquire. Fusion welding can also be performed by welding robots, but has a

significantly higher investment cost. When joining metals with fusion welding a heat-affected zone (HAZ) will occur. The HAZ is located on either side of the weld, and tend to cause stresses that reduce the strength of the material due to changes in the materials microstructure. By using joining methods that causes a HAZ, this must be considered in the calculations. [18]

Extrusion technology provides a variety of possibilities for joining aluminium profiles. [9] When purchasing profiles from Sapa, they offer to join them with friction stir welding (FSW) at the factory. In FSW one of the workpiece components remains stationary while the other is placed in a chuck or collet and rotated at a high constant speed. The two members to be joined are then brought into contact under an axial force. This leaves a strong and clean joint which has a narrower HAZ compared with traditional fusion welding. [18] According to Sapa the costs of FSW are relatively low. The elasticity of aluminium makes it also suitable for snap-fit joints. [10] The profiles are extruded with a male-/female solutions that are pressed together and form a permanent, locked joint. These allow, according to themselves, a far quicker assembly than for example screwed or welded joints. Besides the joints have no loss of strength and the jointed profiles can be considered as one piece of goods.

The machinability of a material can be defined as the ease with which it can be machined, and depends on the materials composition, properties, and microstructure. Machinability can be expressed as a percentage or a normalized value. The American Iron and Steel Institute (AISI) has determined AISI No. 1112 carbon steel a machinability rating of 100%. [18] With numbers received from The Engineering ToolBox, the machinability of construction steel is 78% and the machinability of aluminium is 360%. The higher machinability percent a material has, the easier it is to perform machine operations in the material. The machinability of a material induces tool wear which is a major consideration in all machining operations. Tool wear adversely affects tool life, the quality of the machined surface and its dimensional

accuracy, and, consequently, the economics of cutting operations. [18]

3.4 Economic and environmental aspects

To compare the costs of aluminium and steel, it is chosen to compare standard profiles, and custom profiles. For standard profiles, price data from Norsk Stål is collected to form a neutral image on the economic aspect. Norsk Stål stocks not the 6063-T6 alloy, but as an approximation alloy 6082-T6 will be used which according to Sapa is about the same price per kilo. The comparison is based on a standard profile contained both the respective aluminium and steel alloy, 40 x 40 x 4,0 mm, square tube.

	6063-T6	S355J2
Kg/m	1,61	4,30
Price/kg (NOK)	129,44	21,69

Table 2: Price comparison

This makes aluminium more than six times as expensive per kilo than steel. Comparing the price per meter, the price of aluminium is over twice as expensive. Hypothetically, if comparing the price against the weight saving in Figure 8, the steel section cost with prices from Norsk Stål (about) 666 NOK. The aluminium profile with 0% weight saving costs 3922 NOK, the aluminium profile with a 40% weight saving costs 2382 NOK and the aluminium profile with a 49% weight saving costs 2045 NOK.

According to Sapa, it is difficult to determine the cost of a custom profile without having produced it. Sapa has forwarded a price example of a custom profile that is used in structural applications. The custom profile cannot be imaged, but comprises a hollow profile which is 380 x 40 mm. The profile has a vertical support wall in the middle and flanges on each side for joining to the next profile. Goods thickness is 2 mm. The extrusion tool consists of a two-part die in steel and costs 30.000 NOK. This is described as a one-time investment. With alloy 6063-T6 the extrusions weight is approximately 5,6 kg/m. Sapa charges 35 NOK/kg, which makes the custom profile price 196 NOK/m.

According to Christensen, T. H. (2011) production of iron and steel is an energy-demanding process, and production of aluminium is an extremely energy-demanding process. Besides, production of iron and steel creates a large amount of tailing, and production of aluminium leaves large open scars in the landscape until residues are backfilled and vegetation re-established.

Metals such as steel and aluminium is in principle limited resources, but if they are recycled they can be classified as renewable resources. Recycled steel and aluminium scrap is an important part of the raw material used in the metal industry and is traded on the global market. Recycled scrap metals are used in nearly all metal products. [17] According to Sapa (2015), 75 % of all aluminium ever produced, is still in use.

The main problem in steel and aluminium recycling is the cleanliness of scrap with respect to primary steel, other metals and alloys. This is a particular problem with post-consumer waste. Processes to separate different alloys apart and remove unwanted additions in the scrap metal may be an energy demanding and costly affair. When this is fulfilled, the clean metal scrap can be recycled without loss of quality, only with a slightly loss quantity.

The benefit of saving energy by using scrap must be weighed against the alloying metals associated with the scrap. Despite this, several studies have concluded that, from an environmental point of view that recycling is beneficial, and that the energy savings are so significant compared to virgin production, the recycling of metals is environmentally beneficial even when long-transport distances are involved. [17]

The tables below show electricity use and CO₂ emission for one tonne of produced aluminium and steel. [9]

	Virgin	Recycled
Electricity (kWh)	516	87,7
CO ₂ (kg)	2308	164

Table 3: Steel production

Vedlegg Aluminium versus steel in low-volume production of structural applications

	Virgin	Recycled
Electricity (kWh)	15950	140
CO ₂ (kg)	4014	483

Table 4: Aluminium production

3.5 Environmental interaction

According to Bardal, E. (2004) five different main principles can be used to prevent corrosion:

- Appropriate materials selection
- Change of environment
- Suitable design
- Electrochemical, i.e. cathodic and anodic protection
- Application of coating

Corrosion is defined as the destruction or deterioration of a material because of reaction with its environment. Fontana, M. G. (1987) classifies corrosion into two main groups; wet corrosion and dry corrosion. Wet corrosion occurs when a liquid is present. A common example is corrosion of steel by water, and is the one relevant in this case. General corrosion or surface corrosion, is the most common corrosion type, which provides a uniform corrosion over the entire material. [16] When designing with corrosion-prone materials, it is obviously vital to know how fast the corrosion process is going to be. Aluminium, and most other materials, form oxidation barrier layers in just the same sort of way, but the oxidation layer on aluminium is a much more effective barrier than the oxide film on iron is. This results in that aluminium in general, oxides much slower than iron. [13]

Pitting is far the most common type of corrosion in aluminium, and is primarily an aesthetic problem which never affects the strength. It occurs only on the presence of an electrolyte containing dissolved salts, usually chlorides. The corrosion generally manifests as extremely small pits that, in the open air, reach a maximum penetrations of a minor fraction of the metals thickness. [9]

When it comes to steel, atmospheric corrosion rates can be reduced considerably by use of special low-alloy steels, such as S355 structural steel. However, when selecting materials within

these groups, some kind of protection must be considered as an integrated part. This could be done by applying coatings on the metal surface, in order to make a barrier between the metal and the corrosive environment. [16]

The table below shows the results from a field exposure tests on untreated metals the Swedish Corrosion Institute has carried out, and shows the weight losses after eight years in marine- and urban atmospheres. [9]

	Marine	Urban
Aluminium (g/m ²)	7	2
Carbon steel (g/m ²)	933	676
Galvanised steel (g/m ²)	133	61

Table 5: Weight losses after eight years

However, it is also important that the materials in adjacent components are compatible. With regard to corrosion, compatibility often means that detrimental galvanic elements must be avoided. [16] This could result in galvanic corrosion and may occur where there is both metallic contact and an electrolytic bridge between different materials. The least noble metal in the combination becomes the anode and corrodes. In most combinations with other materials, aluminium is the least noble one and presents a greater risk of galvanic corrosion than most other structural materials. To provide this, the different materials must be electrically insulated from each other. [9]

3.6 Thermal characteristics

The strength of a material tends to fall quickly when a certain temperature is reached. This temperature limits the maximum operating temperature for which the material is useful. According to The Engineering ToolBox, the maximum operating temperature for steel is 500 – 650°C and for aluminium it is 150 – 250°C, which is far above the temperatures in the intended operating environment. [19]

Some properties of steel such as strength, elasticity, hardness, brittleness, and magnetism are at their highest point at very low temperatures and decrease with temperature rise. However, the resistance of steel to shock

decreases significant with lowered temperatures. Certain ordinary carbon and low-alloy-content steels exhibit a loss of toughness when low temperatures near -40°C are reached, so that some of these steels are too brittle to use in impact service in cold climates. [19]

Tests and field use of aluminium and its alloys indicate that they are admirably suited for extreme-low-temperature service. Tests made to subatmospheric temperatures indicate that the tensile, yield, and impact strengths of all aluminium alloys increase at extreme low temperatures. Aluminium alloys retain ductility at these temperatures, corrosion resistance is enhanced, and there is no increase in brittleness. No special precautions regarding methods of handling at extreme low temperatures are required. [9][19]

4. FINDINGS

There are several assumptions about what defines low-volume production. Some define it as a production rate of 20-500 units per year, while others believe it does not depend on an annual production rate, but the characteristics of the product and production process. Low-volume production is described as a balancing act between features, cost, and speed, and requires designers to make compromises on aesthetics and material properties to accommodate this. Use of standard components instead of custom parts is described as an important aspect of low volume production. Client expectations and willingness from vendors may be challenging in this type of production. It is important to understand the challenges and limitations to optimize the product design in low-volume production.

According to the three largest trailer providers in Norway and Scandinavia's largest trailer provider, S355 structural steel is mainly used in similar products. This forms the basis of the comparison together with 6063 aluminium alloy which is according to Napic and Sapa, suitable for the purpose.

The strength of a material is defined as "the force per unit at failure". For structural

constructions, strength is considered as the yield strength, where the material returns to its original shape and cross section when the tension ceases. The strength-to-weight ratio is a relationship defined as the strength of the material divided by its density. In this case, the aluminium alloy has about twice as high strength-to-weight ratio as the steel alloy. The modulus of elasticity of aluminium in general is about one third of steel. This gives about three times as high deflection in an aluminium structure as in a similar steel structure. If the dimension of the aluminium structure increases to derive the deflection, often the strength is not fully exploited. If increased dimensions is tolerated, calculations shows that it is possible with a weight reduction near 50%.

For steel structures, the use of commercial off-the-shelf parts, COTS, would be appropriate. It is interesting whether it would be economical to use COTS in an aluminium construction. Through extrusion technology for aluminium, own custom profiles are relatively cheap to develop. Customized profiles can potentially optimize the product's weight and strength, and save labor hours on further assembling. Fusion welding is dominant by joining both steel and aluminium constructions. The method is relatively cost effective and can be performed by the clients themselves. When purchasing profiles from Sapa, they offer to join them with friction stir welding at the factory. This gives stronger joints and is relatively inexpensive. However, by welding, a heat-affected zone that weakens the strength of the structure is establishes. Extruding own profiles enables the use of snap-fit joints. With snap-fit joints the profiles can be compressed together to form joints without loss of strength.

The machinability of a material indicates how easily a material can be machined. Aluminium is generally between four and five times easier to machine than structural steel. Machinability affects tool wear and speed, which again affects the economics of the manufacturing process.

Numbers from a neutral supplier show that aluminium COTS is over six times more expensive than steel COTS. According to Sapa, it is difficult to estimate the tool price for a custom

Vedlegg Aluminium versus steel in low-volume production of structural applications

profile, but operates with a significantly lower aluminium kilo price than the neutral supplier.

Extraction of both aluminium and steel temporarily destroys large rural areas. Aluminium extraction requires over 30 times more electricity and produces almost twice as high carbon emissions as steel. Steel and aluminium are basically limited resources, but can be considered renewable if they are recycled. Recycling of aluminium requires significantly less energy than new production, but still has a higher footprint than steel.

Both steel and aluminium oxidize, but aluminium oxidizes much more slowly than steel. Studies have shown that aluminium in urban environments oxidizes over 300 times more slowly, and in marine environments more than 100 times slower than steel. However, galvanic corrosion must be considered, as aluminium in humid environments oxidizes quickly in contact with, for example, steel.

Unlike most grades of steel, aluminium does not become brittle at low temperatures. In temperatures down to -40°C , some steel is so weakened that they are not suitable for construction. Tests made on aluminium show that its strength increases at extremely low temperatures.

5. FINAL REMARKS

The goal of this paper was to find the most optimal construction for the load bearing trailer structure based on mechanical properties and the economic aspect. The conclusion is not unambiguously because there are indications that compromises occur when choosing material.

By using COTS in structural applications with the same strength, significant weight savings can be made by choosing aluminium instead of steel, provided it is tolerated to increase the dimensions. However, cost per unit is significantly higher when using aluminium. Weight and price therefore become a compromise and must be considered. By using own extruded aluminium profiles, the cost per

unit can be significantly lower, but the cost of the extrusion tool(s) must be incurred. Since the extrusion tool is a one-time investment, this cost will be distributed to the number of manufactured units. In order to enable cost savings using own aluminium profiles, the production volume should be mapped. Potential savings in labor hours using own solutions should also be included to the calculation.

In the intended operating environment, the use of aluminium indicates advantages over the use of steel. Besides weight saving, aluminium will handle a wet climate without any need of corrosion protection. As previously mentioned, this must be considered as an integrated part of a steel structure. This leads to cost savings and possible savings in maintenance. However, this requires that aluminium never acts in direct contact with other metals. It is also conceivable that temperatures down to -40°C may occur in a user environment, which an aluminium structure as opposed to a steel structure, can withstand without a potential loss of strength. Strength loss can also be avoided using aluminium profiles with snap-fit solution, avoiding a loss of strength caused by joining. Tool wear and overall time spent on machining operations can also be reduced by using aluminium, as machinability is better. From an environmental perspective, steel is currently a greener choice in production, but in use as a part of a vehicle, movement can take place more environmentally effectively by weight reduction.

The recommendation for the client is to focus on the compromise between weight and price. With aluminium, the load bearing structure may become more expensive, but also enable weight savings. If weight is the critical factor, the production volume should be mapped. This determines whether it would be appropriate to develop custom aluminium profiles. Steel dominates the current market segments which gives a reason to claim that steel handles the intended use environment in a satisfactory manner, although aluminium can potentially handle this even better.

Based on the literature review on low-volume production, the segment shows trends to be a

bit pre-intended and conservative. The claim that use of COTS instead of customer parts will be more cost-effective appears to be invalid when using aluminium. If low-volume production is defined as production of up to 500 units annually, it seems cost-saving not to use COTS, but rather use custom profiles.

REFERENCES

- [1] Veststøl, H. (1998). Design methods for high-volume automotive structures: *Development of aluminium extrusion-based integrated seating systems* (Doctoral thesis). Trondheim: Norwegian University of science and technology (NTNU).
- [2] S. Mayer and A. D. Seeds. (1994). BMW's Aluminium Light-Weight Prototype Car Project: *Comparison of Aluminium and Steel Performance*. SAE Technical Paper Series 940154.
- [3] Jina, J., Bhattacharya, A., & Walton, A. (1997). Applying lean principles for high product variety and low volumes: *Some issues and propositions*. Logistics Information Management, 10(1), 5-13.
- [4] Mellody, M. (2014). Limited Affordable Low-Volume Manufacturing: *Summary of a Workshop*. Washington, D.C.: National Academies Press.
- [5] Javadi, S., Bruch, J. and Bellgran, M. (2016). Characteristics of product introduction process in low-volume manufacturing industries: *A case study*, 27(4), 535-559.
- [6] Javadi, S. (2015). Towards Tailoring The Product Introduction Process For Low-Volume Manufacturing Industries (1st edition). Västerås, Sweden: Mälardalen University Press Licentiate Theses.
- [7] Vallhagen, J., Madrid, J., Söderberg, R., Wärmefjord, K. (2013). An approach for producibility and DFM-methodology in aerospace engine component development. Procedia CIRP 11 2nd International Through-life Engineering Services Conference.
- [8] Schneider, E. (2010). Turn down the volume. Mechanical Engineering, 132(4), 36-39.
- [9] Sapa Profiler AB (2015). Design manual: *Success with aluminium profiles*. Stockholm: J&L Annonbyrå AB
- [10] Grauslund, S. (2009). Rør i Den Store Danske, Gyldendal. Available from: <http://denstoredanske.dk/index.php?sideId=153984> (Retrieved: February 9th, 2017)
- [11] Specific strength. (n.d.). Available from: <http://www.manufacturingterms.com/Specific-strength.html> (Retrieved: February 14th, 2017)
- [12] Vollen, Ø. (2011). Mekanikk for ingeniører: *Statikk og fasthetslære*. (2nd edition). Bekkestua: NKI Forlaget AS
- [13] Ashby, M. F., Jones D. R. H. (1980). Engineering Materials 1: *An introduction to their properties and applications*. (2nd edition). Department of Engineering, University of Cambridge. UK: Butterworth Heineman
- [14] Ashby, M. F., Johnson, K. (2000). Materials and design: *The art and science of material selection in product design*. (3rd edition). Amsterdam: Elsevier
- [15] Fontana, M. G. (1987). Corrosion engineering. (3rd edition). New York: McGraw-Hill
- [16] Bardal, E. (2004). Corrosion and protection: *Engineering materials and processes*. London: Springer
- [17] Christensen, T. H. (2011). Solid waste technology & management. New Jersey: Blackwell Publishing Ltd.
- [18] Kalpakjian, S., Schmid S. R. (2009). Manufacturing Engineering and Technology (6th edition). New Jersey: Pearson Education.
- [19] Roberts, P. W. (n.d.). Electrical and Mechanical Engineering: *Effect of Extreme Arctic Cold on Materials*. Available from: <http://collections.dartmouth.edu/arctica-beta/html/EA02b-02.html> (Retrieved: April 10th, 2017)

Vedlegg Vedlegg til "Eksisterende produkter"



SF 960Z

Produsent: JNG Produkt (FI)

Materiale: Stål/Kryssfinér

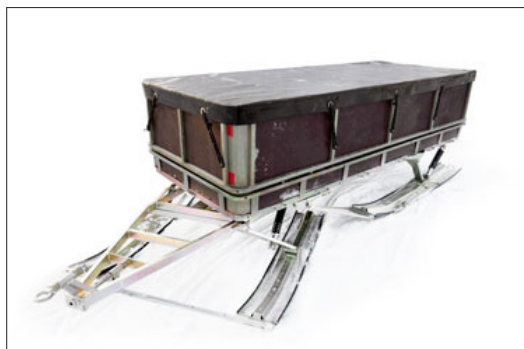
Egenvekt: 105 kg

Nyttelast: 400 kg

L x B: 4,15 x 1,08 m

Pris: 12.250 NOK

Kilde: Trysil Snow System AS/Outworks
Verkkokauppa



Europakälken

Produsent: Ovikens Mekaniska AB (SE)

Materiale: Stål/Kryssfinér

Egenvekt: 99 kg

Nyttelast: 400 kg

L x B: 3,00 x 0,90 m

Pris: 19.990 NOK

Kilde: Bondal Motor AS/ Ovikens
Mekaniska AB



Ovikenkälken Extrem

Produsent: Ovikens Mekaniska AB (SE)

Materiale: Stål/Kryssfinér

Egenvekt: 70 kg

Nyttelast: 400 kg

L x B: 2,10 x 1,04 m

Pris: 11.990 NOK

Kilde: Bondal Motor AS/Ovikens
Mekaniska AB



SC 95 EXTREME

Produsent: BK-Hengeren AS (NO)

Materiale: Stål/Kryssfinér

Egenvekt: 62 kg

Nyttelast: 288 kg

L x B: 2,60 x 1,02 m

Pris: 7.000 NOK

Kilde: BK-Hengeren

Vedlegg til "Eksisterende produkter" **Vedlegg**



ATV-V

Produsent: BK-Hengeren AS (NO)

Materiale: Stål

Egenvekt: 175 kg

Nyttelast: 575 kg

L x B: 3,20 x 1,22 m

Pris: 17.963 NOK

Kilde: BK-Hengeren AS/NTS



ATV Tilhenger 6012

Produsent: Tysse (NO)

Materiale: Stål/Aluminium

Egenvekt: 155 kg

Nyttelast: 445 kg

L x B: 3,28 x 1,24 m

Pris: 19.990 NOK

Kilde: Tysse Mekaniske Verksted AS



Trailer Offroad Pro 1000

Produsent: Iron Baltic OÜ (EE)

Materiale: Stål

Egenvekt: 170 kg

Nyttelast: 1000 kg

L x B: 3,00 x 1,20 m

Pris: 16.400 NOK

Kilde: Iron Baltic OÜ



Polaris PL400

Produsent: Polaris Industries (US)

Materiale: Stål

Egenvekt: 250 kg

Nyttelast: 1200 kg

L x B: 2,25 x 1,22 m

Pris: 21.500 NOK

Kilde: Norsk Tilhengersenter AS

Vedlegg Vedlegg til "Eksisterende produkter"



SF 960 Persontransport

Produsent: JNG Produkt (FI)

Materiale: Stål/Kryssfinér

Egenvekt: 130 kg

Nyttelast: 400 kg

L x B: 4,15 x 1,08 m

Pris: 17.375 NOK

Kilde: Trysil Snow System AS/Outworks
Verkkokauppa



Transalp BUS

Produsent: Alpina Snowmobiles (IT)

Materiale: Stål/Aluminium

Egenvekt: 170 kg

Nyttelast: 750 kg

L x B: 2,39 x 1,27 m

Pris: 41.500 NOK

Kilde: Alpina Snowmobiles/Trysil Snow
System AS



Passagerarkälke

Produsent: Ovikens Mekaniska AB (SE)

Materiale: Stål/Kryssfinér

Egenvekt: 150 kg

Nyttelast: 1000 kg

L x B: 2,50 x 1,25 m

Pris: 51.800 NOK

Kilde: Ovikens Mekaniska AB/ Ruco
Scandinavia



Ovikenkälken Extrem 2.0

Produsent: Ovikens Mekaniska AB (SE)

Materiale: Stål/Kryssfinér

Egenvekt: 85 kg

Nyttelast: 600 kg

L x B: 2,70 x 1,00 m

Pris: 17.000 NOK

Kilde: Ovikens Mekaniska AB/ Ruco
Scandinavia

Vedlegg til "Eksisterende produkter" **Vedlegg**



Stor Flakkärria

Produsent: Carlmans Svets och Mekaniska Verkstad AB (SE)

Materiale: Stål/Kryssfinér

Egenvekt: 190 kg

Nyttelast: 1500 kg

L x B: 3,10 x 1,40 m

Pris: 32.440 NOK

Kilde: Carlmans Svets och Mekaniska Verkstad AB (SE)



ATV Tilhenger 6016

Produsent: Tysse Mekaniske Verksted AS (NO)

Materiale: Stål/Aluminium

Egenvekt: 165 kg

Nyttelast: 435 kg

L x B: 3,28 x 1,24

Pris: 22.900 NOK

Kilde: Tysse Mekaniske Verksted AS



Kassevogn m/ boggi

Produsent: Elverums Produkter (NO)

Materiale: Stål/Kryssfinér/Annet trevirke

Egenvekt: 140 kg

Nyttelast: 400 kg

L x B: 3,15 x 1,20 m

Pris: 12.250 NOK

Kilde: Elverums Produkter (NO)



ATV henger A06

Produsent: (Importør ønsker ikke å oppgi informasjon) (CN)

Materiale: Stål/

Egenvekt: 230 kg

Nyttelast: 1000 kg

L x B: 2,85 x 1,25 m

Pris: 12.000 NOK

Kilde: Wee Gruppen

Vedlegg Vedlegg til "Eksisterende produkter"



Tømmerdøning

Produsent: BK-Hengeren (NO)

Materiale: Stål

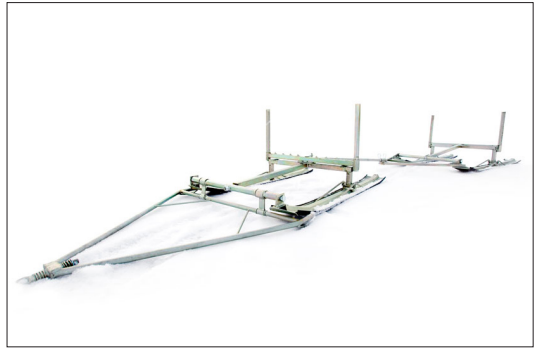
Egenvekt: 73 kg

Nyttelast: 427 kg

L x B: 5,30 x 0,87 m

Pris: 10.000 NOK

Kilde: BK-Hengeren



Timmerdøning (stor)

Produsent: Ovikens Mekaniska AB (SE)

Materiale: Stål

Egenvekt: 70 kg

Nyttelast: 500 - 1000 kg

L x B: 4,50 x 0,85 m

Pris: 12.990 NOK

Kilde: Bondal Motor AS/Ruco

Scandinavia/Ovikens Mekaniska AB



Tømmerdøning

Produsent: Elverums Produkter (NO)

Materiale: Stål

Egenvekt: 82 kg

Nyttelast: 800 kg

L x B: 5,00 x 0,80 m

Pris: 6.500 NOK

Kilde: Elverums Produkter



Tømmer skislede 500

Produsent: Iron Baltic OÜ (EE)

Materiale: Stål

Egenvekt: 100 kg

Nyttelast: 500 kg

L x B: 5,00 x 0,87 m

Pris: 7.450 NOK

Kilde: Online Mc AS

Vedlegg til "Eksisterende produkter" **Vedlegg**



ATV-T

Produsent: BK-Hengeren (NO)

Materiale: Stål

Egenvekt: 129 kg

Nyttelast: 621 kg

L x B: 4,40 x 1,22 m

Pris: 14.000 NOK

Kilde: BK-Hengeren/NTS



Tømmervogn m/ boggi

Produsent: Elverums Produkter (NO)

Materiale: Stål

Egenvekt: 140 kg

Nyttelast: 800 kg

L x B: 3,42 x 1,30 m

Pris: 11.875 NOK

Kilde: Elverums Produkter



Skogsvagn till ATV

Produsent: Jakobs Maskin AB (SE)

Materiale: Stål

Egenvekt: 200 kg

Nyttelast: 800 kg

L x B: 3,30 x 1,27 m

Pris: 7.375 NOK

Kilde: Jakobs Maskin AB



Timber trailer IB 1000

Produsent: Iron Baltic OÜ (EE)

Materiale: Stål

Egenvekt: 130 kg

Nyttelast: 1000 kg

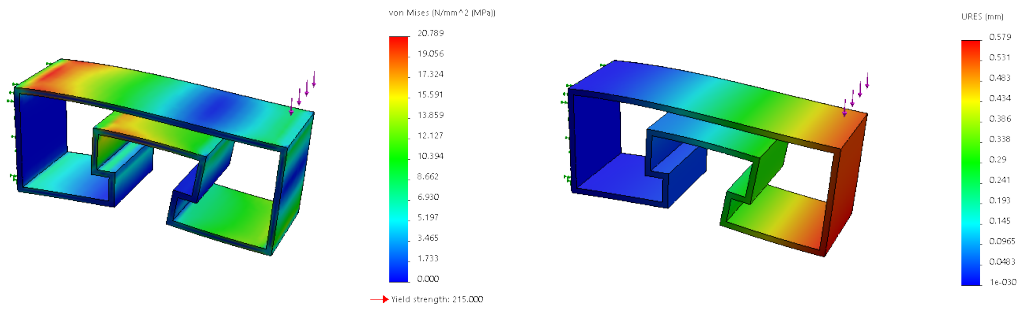
L x B: 4,00 x 1,20 m

Pris: 17.000 NOK

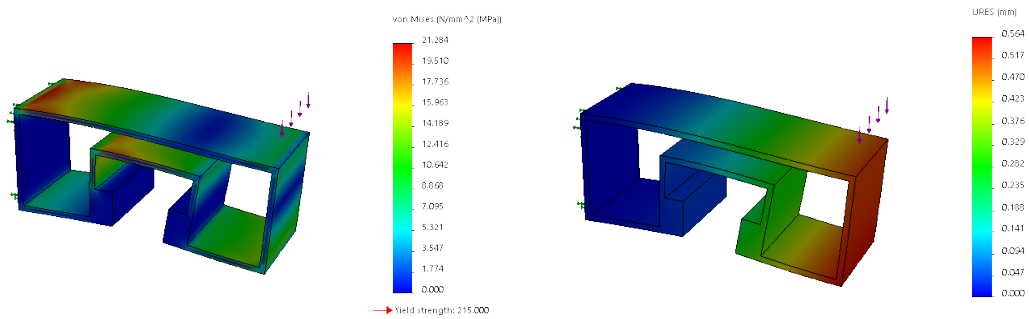
Kilde: Norsk Motor Import AS/Iron Baltic OÜ

Vedlegg Vedlegg til "Datasimulering av mutterspor"

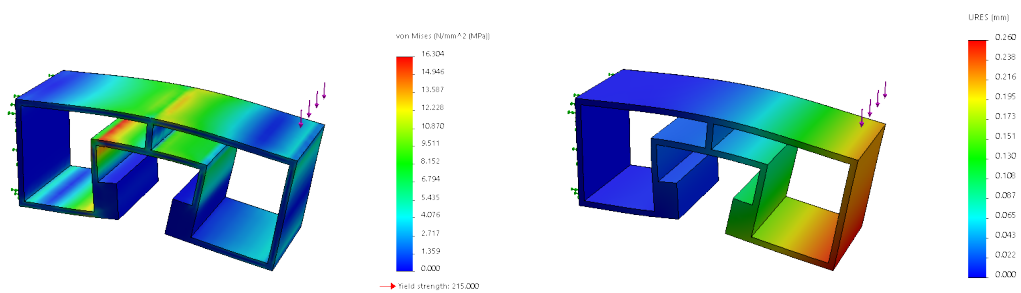
Revisjon 1



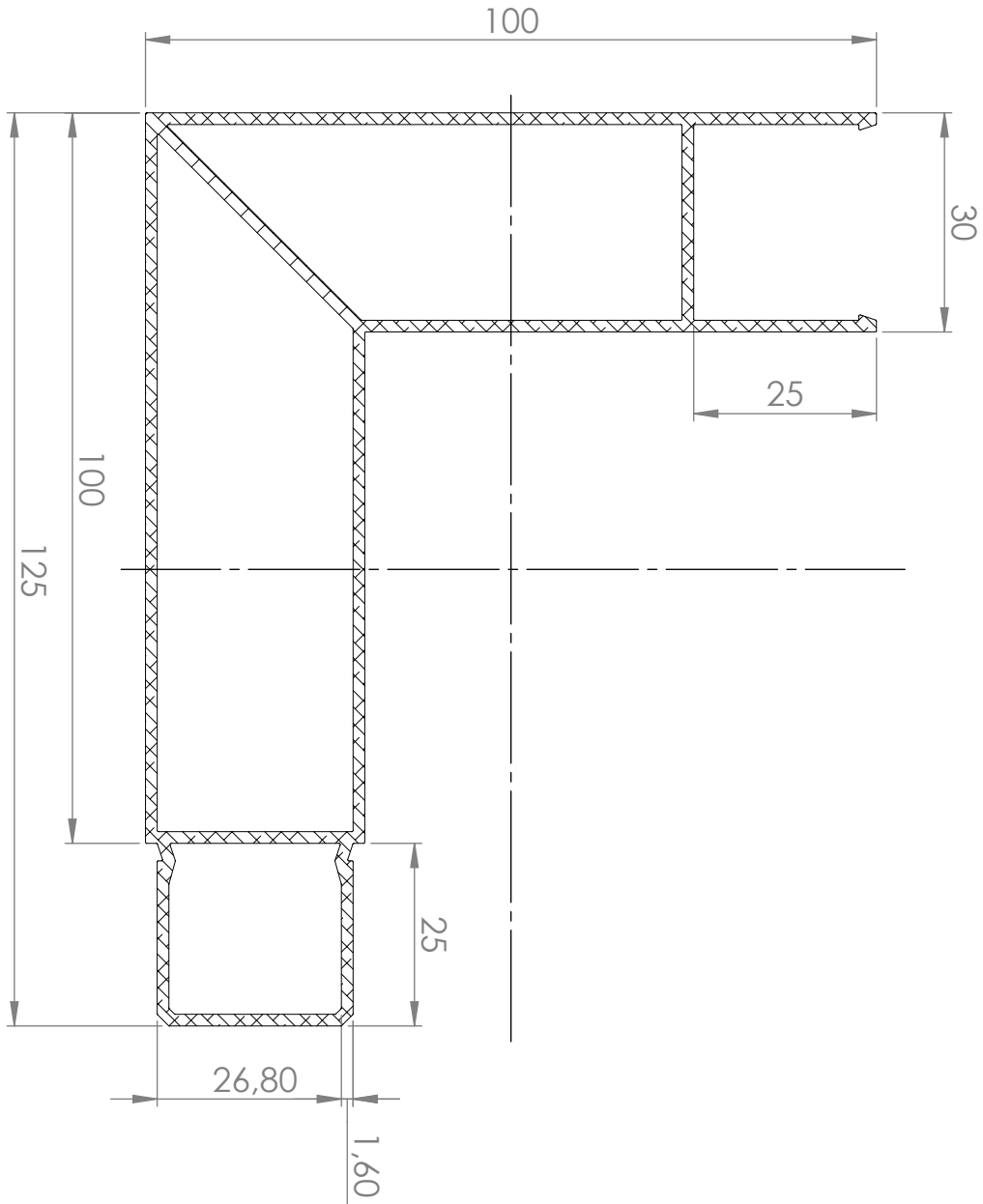
Revisjon 2



Revisjon 3

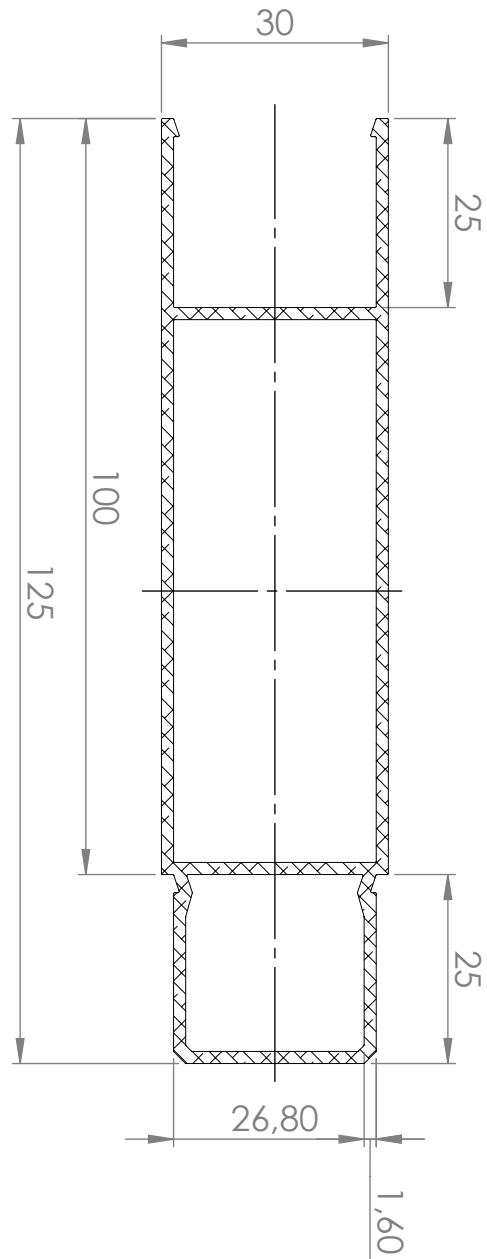


Hjørneprofil (1:1)

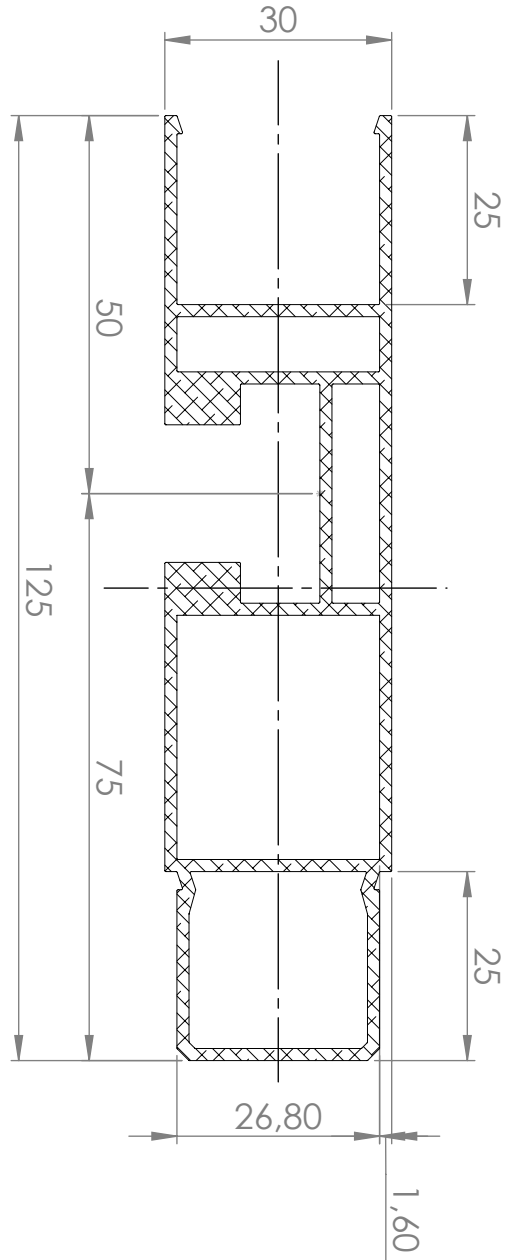


Vedlegg Målsatte tegninger

Flat profil (1:1)

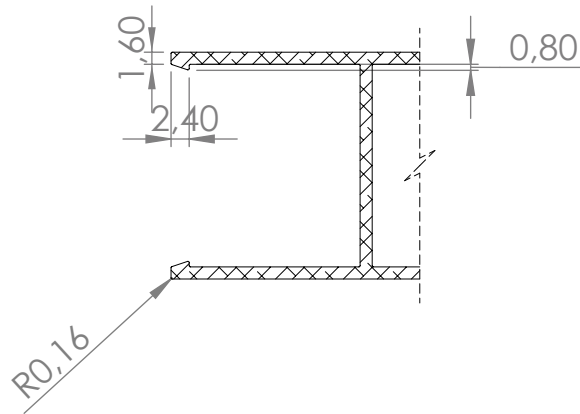


Flat profil med mutterspor (1:1)

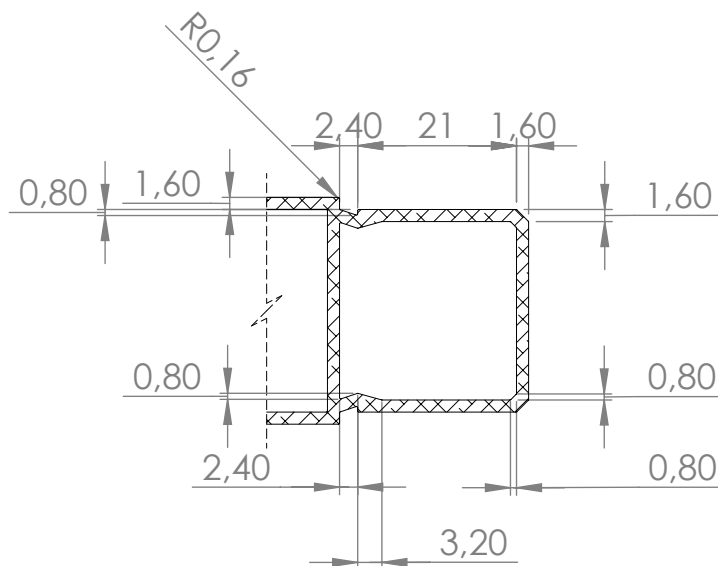


Vedlegg Målsatte tegninger

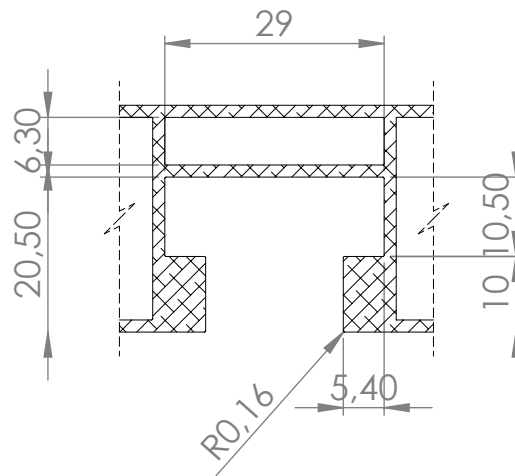
Not (1:1)



Fjær (1:1)



Mutterspor (1:1)



Endeprofil (1:1)

