



Universitetet
i Stavanger

ESPEN WENBERG
VEILEDER: OVE MIKKELSEN

Konseptutvikling

Prototype for Triathlon sykkel-styre

Bacheloroppgave 2024

Maskiningeniør

Institutt for maskin, bygg og materialteknologi

Det teknisk-naturvitenskapelige fakultet



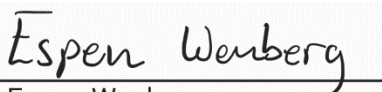
Forord

Dette er en bacheloroppgave som ble gjennomført våren 2024 i Stavanger. Oppgaven handler om konseptutvikling og produksjon av en prototype. Prototypen er av et triathlon sykkel-styre som skal monteres på en sykkel for testing.

Bakgrunnen for oppgaven var et ønske om å prøve ut et triathlon sykkel-styre på en moderne sykkel som brukes i aktiviteten triathlon. På tidspunktet da denne oppgaven ble gjennomført var det ikke mulig å skaffe et triathlon sykkel-styre til denne sykkelen. Formålet for denne oppgaven ble å lage en funksjonell prototype av et triathlon-styre som er basert på kundebehov med hovedfokus på ergonomiske fordeler og lav luftmotstand.

Jeg vil gjerne rette en stor takk til min veileder Ove Mikkelsen ved Universitetet i Stavanger for å ha gitt god veiledning med rapporten. Jeg vil også takke overingeniør Jan-Tore Jakobsen ved Universitetet i Stavanger for veldig god hjelp og støtte under det praktiske arbeidet. Til slutt vil jeg takke idrettsrådgiver Sigurd Helgeland ved SiS Sportssenter for utlån av sykkel og tilbakemeldinger i forbindelse med kundebehov.

Dato: 29.05.2024


Espen Wenberg

Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Figurliste.....	IV
Tabelliste	VI
Sammendrag.....	VII
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	1
1.3 Formål og begrensninger.....	1
1.3.1 Formål	1
1.3.2 Begrensninger.....	2
1.4 Begreper	2
1.5 Forstudie.....	3
2 Produktutviklingsmetoder.....	3
2.1 Produktutviklingsprosessen.....	3
2.2 Reverse engineering	5
2.2.1 3D-skanning	5
2.2.2 STL-fil	6
2.2.3 Modellering	7
2.2.4 CAD-modell.....	7
2.3 3D-printing	8
2.3.1 FDM-metoden	8
2.3.2 Slicer-program.....	9
2.3.3 Orientering av produktet.....	9
2.3.4 3D printere som kan brukes i produktutviklingen	10
2.4 Krefter og momenter	11
2.5 Kjervvirkning	13
2.6 Materialtesting.....	13

3	Utvikling av prototype for triathlon sykkel-styre	13
3.1	Digital modell av sykkel-styre.....	14
3.2	Innhenting av kundebehov ved Møte 1	14
3.3	Utvikling av innfestninger og konsepter basert på Møte 1	16
3.3.1	Innfestning Konsept 1.....	16
3.3.2	Innfestning Konsept 2.....	16
3.3.3	Triathlon-styre Konsept 1	17
3.3.4	Triathlon-styre Konsept 2	18
3.3.5	Triathlon-styre Konsept 3	18
3.4	Innhenting av kundebehov ved Møte 2	19
3.5	Utvikling av konsept 4 basert på Møte 2.....	21
3.5.1	Endring av avstanden mellom plater/innfestning	22
3.5.2	Endring av lengder på rør	22
3.5.3	Endring av vinkelen på rør	23
3.5.4	Endring av plater	24
3.5.5	Forskjellige endringer for generell forbedring av konseptet.....	24
3.6	Utvikling av konsept 5	31
3.6.1	Endring av den totale lengden	31
3.6.2	Tilpassing av Konsept 5 på sykkel-styre	31
3.6.3	Simulering av Konsept 5	32
3.6.4	Arbeidstegninger	34
4	Materialvalg for prototype	34
5	Materialtesting og innstillinger for 3D-printer.....	37
6	Produksjon av prototype	41
6.1	Generering av STL-fil	41
6.2	Innstillinger for 3D-printer	42
6.3	3D-printet prototype	43
7	Resultat	45
8	Konklusjon.....	46

9 Referanser.....	47
Vedlegg A.....	1
Vedlegg B.....	2
Vedlegg C.....	3
Vedlegg D.....	7

Figurliste

Figur 1: Typisk arbeidsstruktur ved «reverse engineering»	5
Figur 2: Bilde som viser overflategeometri fra en STL-fil [4] illustrert i Fusion 360 [3]	6
Figur 3: Bilde som viser triangulering struktur fra et vilkårlig punkt i Figur 2.....	6
Figur 4: Viser forskjellige plan som er opprettet på en seksjon fra Figur 2	7
Figur 5: Viser ekstrudering gjennom plan	7
Figur 6: Viser solid CAD-modell fra Figur 5	8
Figur 7: Viser grunnkonsept for FDM-prosessen [4].....	8
Figur 8: Orientering ved 3D-printing [5].....	10
Figur 9: Stratasys 450mc ved UiS.....	10
Figur 10: Prusa MK4 ved UiS	10
Figur 11: Skisse av et konsept av prototypen for beregning av spenning	11
Figur 12: 3D-skanning (STL-fil) av sykkel-styret illustrert i Fusion 360 [3].....	14
Figur 13: Bilder fra Møte 1 som blir utgangspunkt for konseptene	15
Figur 14: Innfestning Konsept 1.....	16
Figur 15: Innfestning Konsept 2.....	17
Figur 16: Triathlon-styre Konsept 1	17
Figur 17: Triathlon-styre Konsept 2	18
Figur 18: Triathlon-styre Konsept 3	18
Figur 19: Vinkelrett bilde på styrets stem.....	20
Figur 20: Triathlon-styre Konsept 4	21
Figur 21: Viser monteringsbolter i enden 3D-skannet modell av sykkel-styret	22
Figur 22: Viser fusjonering mellom 3D-skanning og vinkelrett bilde for å bestemme vinkel på styrets stem.	23
Figur 23: Plate for arm/albue.....	24

Figur 24: Viser Triathlon-styre Konsept 4 sin holdeposisjon med et anslag over høydedifferanser ved vinkeljusteringer.....	25
Figur 25: Tverrsnitt av rørkonstruksjon	25
Figur 26: Viser vinkel for splitt i innfestning for parallell utforming.....	26
Figur 27: Klosser ifm. klaringstest	27
Figur 28: Viser øvre og nedre innfestning og illustrerer konsept for selvjustering	28
Figur 29: Beskyttelse mellom monterings anleggsflater	29
Figur 30: Viser plassering på bolter, muttere og mutterlåsing.....	30
Figur 31: Viser spor for montering av muttere og mutterlåsing	30
Figur 32: Triathlon-styre Konsept 5	31
Figur 33: Montering og tilpassing av triathlon-styre.....	32
Figur 34: Bilde av oppsett i Fusion 360 [3] før simulering (venstre) og bilde av resultat etter simulering (høyre).....	33
Figur 35: Styrke-sammenligning for materialene.....	35
Figur 36: Viser innstillinger for 3D-printing av strekktester og bøyningstester. Innstillingene blir referert henholdsvis fra venstre som Solid, Sparse, Hex 1 og Hex 2. Illustrert i GrabCAD Print [16].	37
Figur 37: Viser Instron 5985 ved UiS som er brukt for strekktester og bøyningstester	38
Figur 38: Viser prøvestykker etter strekktesting.....	39
Figur 39: Viser prøvestykker etter bøyningstesting.....	39
Figur 40: Sammenligning av prøveresultater for de forskjellige orienteringene.....	40
Figur 41: Innstillinger ved generering av STL-fil illustrert i Fusion 360 [3]	41
Figur 42: Innstillinger for Stratasys 450mc. Illustrert i GrabCAD Print [16]	42
Figur 43: Viser simulering av 3D-printingen illustrert i GrabCAD Print [15].....	43
Figur 44: Bilde av prototype i 3D-printer (venstre) og bilde av prototype etter kjøling og fjerning av støttematerialet (høyre).....	43
Figur 45: Vise bilde av 3D-modellen (venstre) og bilde av prototypen (høyre).....	44
Figur 46: Viser prototypen montert på sykkel-styret.....	45

Tabelliste

Tabell 1: Fordeler og ulemper ved FDM-prosessen	9
Tabell 2: Variabler for beregning.....	12
Tabell 3: Notater fra Møte 1	14
Tabell 4: Notater fra Møte 2	19
Tabell 5: Mål og dimensjoner fra Møte 2	20
Tabell 6: Endringer av Konsept 3 som følge av kundebehov	21
Tabell 7: Standarddeler som kjøpes fra leverandører.	29
Tabell 8: Viser oppsett for simulering i Fusion 360 [3].....	33
Tabell 9: Materialenes mekaniske egenskaper	35
Tabell 10: Informasjon om vurderte materialer	35
Tabell 11: Sammenligning av UV-eksponering for ULTEM-materialene [5, s. 14] og [14, s. 7].....	36
Tabell 12: Sammenligning av prøveresultater ved forskjellige mønster og orienteringer. Prøveresultatene er oppgitt i MPa	40

Sammendrag

Denne oppgaven beskriver konseptutviklingen av en prototype for et triathlon sykkel-styre. Noen sykler har ikke en standardisert geometri på sykkel-styret. Dette medfører at man må lage en ny type innfestning for å kunne benytte et triathlon-styre. Oppgaven var å lage en tilpasset prototype der brukeren har liten luftmotstand og ergonomiske fordeler. Det ble utarbeidet flere konsepter i denne prosessen. Et av disse konseptene ble valgt for videreutvikling med fokus på kundebehov. Det ble foretatt en undersøkelse på forskjellige materialer som kan brukes for produksjon av prototypen. Ut fra denne undersøkelsen ble det valgt et materiale som kan tåle høye belastninger og miljøet som prototypen kan bli utsatt for. Det ble produsert to prototyper av det videreutviklede konseptet der den siste prototypen ble 3D-printet i det valgte materiale.

3D-printingen av det endelige konseptet resulterte i en funksjonell prototype som hadde den korrekte passformen for innfestningen. Den ga ergonomiske fordeler og redusert luftmotstand. Prototypen gir et godt utgangspunkt for videreutvikling eller produksjon av det endelige konseptet.

Før videreutvikling av konsept eller produksjon av konsept er det anbefalt å gjøre noen undersøkelser. For å ivareta sikkerheten til bruker må det gjøres en detaljanalyse for styrken i konseptet. Analysen må gi svar på om konseptet og boltene tåler belastningen som kan oppstå i forskjellige situasjoner. Forsterkninger bør gjøres i front av konseptet og i forbindelsen mellom rør og innfestninger for økt stivhet og styrke. Det bør undersøkes om innfestningen i dette konseptet er kompatible med tilsvarende sykkel-styrer dersom der er aktuelt med serieproduksjon.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Triathlon er en idrett som har blitt populær den siste tiden. Den er basert på et utholdenhetsløp der aktivitetene består av svømming, sykling og løping. Det er viktig med utholdenhet og teknikk i alle aktivitetene men i sykling kan også utstyret man bruker ha en avgjørende rolle for rundetiden. Dersom man har en sitteposisjon som resulterer i mindre luftmotstand og økt komfort kan man ha en klar fordel i et lengre løp der sykkel-aktiviteten ofte har en lengde på opptil flere mil. Det finnes mange forskjellige sykler som blir benyttet til triatlon men det er ikke alle sykler som har like enkle forutsetninger for et triathlon-styre. Hovedårsaken til dette kan være at utformingen på sykkel-styrene har blitt mer komplisert med tiden og er ikke like universelle som før. Et tradisjonelt sykkel-styre består av et rundt rør som er laget av aluminium eller stål. Et moderne sykkel-styre kan være laget av karbonfiber og ha en unik komplisert geometri.

1.2 Problemstilling

Noen sykler har ikke en standardisert geometri på sykkel-styret som medfører at man må lage en ny type innfestning for å kunne benytte et triathlon-styre. For å kunne produsere en prototype ved 3D-printing trenger man et materiale som kan tåle kreftene og miljøet den blir utsatt for.

Hvordan kan det lages et konsept for en prototype av triathlon-styre med en komplisert geometri som samtidig gir lav luftmotstand og god ergonomi?

1.3 Formål og begrensninger

1.3.1 Formål

Formålet med denne oppgaven blir konseptutvikling av et triathlon-styret som er tilpasset et moderne sykkel-styre med en komplisert geometri. Konseptene som blir utarbeidet baserer seg på en tidligere 3D-skanning av sykkel-styre som er tilgjengelig for bruk samt kundebehov som blir samlet inn via møter med kunde. Et endelig design vil bli utarbeidet fra disse konseptene. En prototype av triathlon-styret vil så bli 3D-printet i et materiale som tåler belastningen og miljøet den kan bli utsatt for. Prototypen vil være viktig for testing og mulig videreutvikling av triathlon-styre.

1.3.2 Begrensninger

Det ville vært en fordel for konseptutviklingen og hatt informasjon om styrken til eksisterende sykkel-styre. Denne informasjonen kan fastsettes ved styrketester, men dette vil ikke bli utført på grunn av tidsbegrensninger for oppgaven og store kostnader ved eventuelle tester av sykkel-styre.

For å skape en fungerende prototype er det helt avgjørende at man klarer å få en korrekt passform i innfestning mellom konseptet og sykkel-styret. Sykkel-styrets kompliserte geometri kan skape begrensninger ved modellering av passformen i innfestningen.

Dersom det endelige konseptet blir av en størrelse som overgår produksjonsutstyrets arbeidsområde, vil det kanskje være behov for å produsere konseptet i to deler. Dette vil fort kunne skape kompliserte løsninger for innfestninger mellom delene som igjen kan resultere i tidsbegrensninger. For å komme frem til en best mulig prototype skal det innhentes detaljer og kundebehov i forbindelse med utforming av konseptet. Dersom kundebehovene blir for kompliserte og omfattende kan det også her oppstå tidsbegrensninger som gjør at enkelte kundebehov må nedprioriteres.

1.4 Begreper

Vedlegg A 1 og Vedlegg A 2 viser oversikt over sammenstilling og begreper som er brukt knyttet til konseptutviklingen.

Begrepene som finnes i oversikten er:

- Pute
- Plate
- Bolter
- Mutter
- Avstandsstykke
- Rør
- Holdeposisjon
- Øvre del av innfestning
- Nedre del av innfestning
- Anleggsflater
- Holker
- Stem

1.5 Forstudie

Det ble gjort er forstudie av oppgaven for å innhente informasjon og gjøre en detaljert planlegging av arbeidet som måtte gjøres. Arbeidet er representert i et GANT-skjema som viser en oversikt over arbeidet som måtte gjøres og når dette skulle gjøres. Dette skjema ligger som vedlagt i Vedlegg B 1.

Det ble gjort noen få avvik i forhold til forstudieplanen.

Det ble kun gjort en enkel beregning av krefter/analyse. Grunnet oppgavens omfang og tidsbegrensning samt begrenset kunnskap rundt analyseprogrammer og kraftvariabler, ble det besluttet å ikke utføre en grundig detaljanalyse av konseptet.

Det ble ikke dokumentert miljøavtrykk for produksjonen av prototypen på grunn av begrenset informasjon knyttet til utslipp.

På grunn av ombygging og endring av 3D-printe laben ble mye av det praktiske arbeidet forsinket. Dette medførte et stort tidspress mot slutten av oppgaven. Det ble søkt og innvilget en utsettelse på 2 uker på grunn av ombyggingen. Alle praktiske oppgaver i GANT-skjema (Vedlegg B 1) som materialtesting og produksjon av prototype i Stratasys 450mc ble dermed utsatt.

2 Produktutviklingsmetoder

2.1 Produktutviklingsprosessen

Ved utvikling av et produkt er det normalt å bruke en produktutviklingsprosess som beskriver stegvis hvordan man går frem for å utvikle produktet. Denne prosessen er en strukturert tilnærming for å gjøre en ide eller behov om til et ferdig produsert produkt. Ved å bruke en produktutviklingsprosess har man flere fordeler som:

- God organisering som gir et klart fokus og fordeler oppgaver og ansvarsområder.
- Redusert risiko ved at man unngår feil prioriteringer og dermed unødvendige kostnader.
- God kommunikasjon slik at man unngår misforståelser.
- Optimalisering av ressurser som øker effektiviteten i prosessen.

Den generelle produktutviklingsprosessen består av 6 steg som følger:

- **0. Planlegging**

Planleggingsaktiviteten blir ofte referert til som null fordi den er utført før selve produktutviklingsprosessen starter. I denne fasen identifiserer man mulighetene som finnes og vurderer teknologi og markedsmål. Resultatet av planleggingens fase er prosjektets hovedmål, forutsetninger og begrensninger. [1, s. 13]

- **1. Konseptutvikling**

I konseptutviklingsfasen blir behovene til markedsmålene identifisert og alternative markeds produktkonsepter generert og evaluert. Et konsept er en beskrivelse av form, funksjon og egenskapene til et produkt. I tillegg kommer konseptet vanligvis med et sett med spesifikasjoner, analyse av konkurrerende produkter og en økonomisk begrunnelse for prosjektet. [1, s. 15]

- **2. Systemdesign**

Designfasen på et systemnivå inkluderer definisjon av produktarkitektur, dekomponering, design av nøkkelkomponenter og tildeling av designansvar (internt og eksternt). I denne fasen er også innledende planer for produksjonssystemet og sluttmontering definert. Ut av systemdesign følger vanligvis et geometrisk oppsett av produkter, en funksjonell spesifikasjon av delsystemene og et foreløpig flytdiagram for prosess for den endelige monteringsprosessen. [1, s. 15]

- **3. Detaljdesign**

Detaljdesignfasen inkluderer komplett spesifisering av geometri, materialer og toleranser fra alle de unike delene i produktet. Den inneholder også identifikasjon av alle standarddeler som skal kjøpes fra leverandører. En prosessplan er etablert og verktøy er designet for hver del som skal fabrikkeres i produksjonssystemet. Resultatet av denne fasen er kontrolldokumentasjonen på produktets deler, tegninger, datafiler, informasjon om produksjonsverktøy og prosessplaner for produksjon. Tre viktige spørsmål blir vurdert i denne fasen. Det er materialvalg, produksjonskostnad og robust ytelse. [1, s. 15]

- **4. Testing og justering**

Denne fasen består av å teste prefabrikkerte versjoner av produktet. De tidlige prototypene(alfa) av produktet er ofte utført i samme materiale og spesifikasjoner som produktet men ikke nødvendigvis med samme produksjonsprosess som det endelige produktet. Alfa-prototypene er testet for å fastslå om de tilfredsstillende forventningene til kunden. Senere(beta) prototyper blir ofte produsert fra den endelige produksjonsprosessen men blir

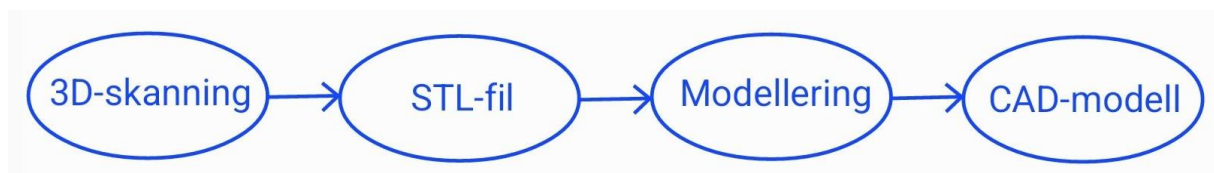
ikke nødvendigvis montert på med den endelige monteringsprosessen. Beta-prototypen blir innstendig testet for å identifisere forbedringer og justeringer. [1, s. 13–15]

- **5. Produksjonsstart**

I produksjonsstartfasen er produktet produsert med den tiltenkte produksjonsmetoden. Hensikten med startfasen er å trene produksjonsarbeidere for å utarbeide eventuelle problemer i produksjonsprosessen. Produktene som er produsert i denne fasen er noen ganger sendt til utvalgte kunder som sjekker produktet for eventuelle feil. Prosessen fra produksjonsstart til normal produksjon er ofte stegvis. På et tidspunkt i denne prosessen blir produktet lansert. [1, s. 15–16]

2.2 Reverse engineering

Når man skal forbedre, endre eller kopiere en fysisk modell kan man benytte en prosess kalt "reverse engineering". Denne prosessen handler om å tilegne seg kunnskap og informasjon og til slutt ende opp med et produkt som er så lik den originale modellen som mulig. Først samler man inn data ved målinger slik at man får et godt utgangspunkt å jobbe ut ifra. Målingene kan være manuelle dersom produktet er symmetrisk og enkelt. Dersom produktet er mer komplisert og det er vanskelig å måle manuelt kan man benytte optiske målinger ved bruk av 3D-skannere. Dataen som er samlet inn brukes for å forenkle modelleringsprosessen, som til slutt blir til en digital utgave av produktet ved hjelp av et CAD-program. Figur 1 nedenfor viser en forenklet arbeidsstruktur for prosessen «reverse engineering».



Figur 1: Typisk arbeidsstruktur ved «reverse engineering»

2.2.1 3D-skanning

Optisk skanning av en modell kan være en stor fordel dersom man har behov for å digitalisere kompleks geometri. En 3D-skanner registrerer et stort antall x, y og z koordinater i rommet og danner grunnlaget for punktene som representerer overflaten til den fysiske modellen. Disse tette 3-Dimensjonale punktene blir ofte referert til som en punktsky. Jo flere punkter man har i punktskyen, jo høyere blir oppløsningen til modellen. Nøyaktigheten til optiske skannere er vanligvis bestemt av

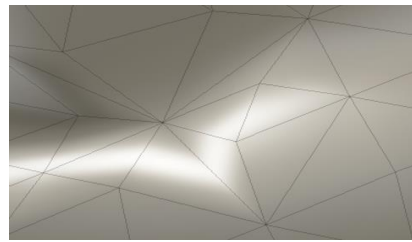
oppløsningen til videosystemet, distansen fra modellen og nøyaktigheten på de bevegelige skannersystemene. På grunn av den store usikkerheten i målingene i punktskyen er det normalt å bruke et dataprogram som filtrerer og reduserer antall punk. Den gjenværende punktskyen blir så transformert til en STL-fil der geometrien er representert som flater fra et gjennomsnitt av målingene. [2, s. 445]

2.2.2 STL-fil

STL (Stereolitografi) er en filtype som er mye brukt for å beskrive overflaten til en modell. Denne filtypen tar liten plass og inneholder kun informasjon om overflatens geometri. Figur 2 viser et eksempel på en STL-fil illustrert i Fusion 360 [3]. Den består av et stort antall rette, små triangulære flater som har en normal vektor som peker vekk fra flaten. Overflategeometrien i Figur 2 består av over 10 tusen [3] triangulære flater som er generert mellom hvert punkt i den filtrerte punktskydataen til 3D-skanningen [2, s. 447–448]. Siden punktskyen som er generert fra 3D-skanningene ikke er veldig nøyaktige som beskrevet over (2.2.1 3D-skanning), kan man heller ikke anta at STL-modellene er helt nøyaktige. Når dette er sagt så vil en 3D-skannet modell fortsatt være en god tilnærming eller et godt utgangspunkt for veldig mange formål. Figur 3 viser triangulering strukturen fra overflategeometrien i et vilkårlig punkt i Figur 2. Her kan man se trianglene som utgjør overflategeometrien. Hvert punkt der hvor trianglene møtes representerer et punkt fra den databehandlede punktskyen.



Figur 2: Bilde som viser overflategeometri fra en STL-fil [4] illustrert i Fusion 360 [3]



Figur 3: Bilde som viser triangulering struktur fra et vilkårlig punkt i Figur 2

Dersom det er behov for endring, som å tillegge farge eller endre overflatens geometri må man igjennom en databehandlingsprosess som endrer filtypen fra STL til en annen filtype som kan inneholde mer informasjon. Et alternativ til databehandling er å modellere opp en ny modell fra STL-geometrien som vist i eksempelet nedenfor (2.2.3 Modellering). Denne metoden resulterer også i en ny type fil. Denne metoden er vanlig å bruke og ofte helt eller delvis basert på øyemål ved geometri som ikke har kritiske toleranser.

2.2.3 Modellering

Et CAD-program som Fusion 360 [3] kan brukes til å behandle STL-filer. Ved å bruke en funksjon i et slikt program kan man konvertere en STL-geometri til en solid kropp der alle trianglene som utgjør overflaten i STL-formatet blir erstattet med noen få flater. Deretter kan man gjøre nødvendige endringer direkte på den nye modellen. Denne prosessen er avhengig av kvaliteten på STL-filen og vil ikke alltid kunne fungere dersom overflaten i STL-geometrien er mangelfull. Et alternativ til dette er å lage en ny modell basert på STL-geometrien som illustrert i Figur 4, Figur 5, Figur 6.

Overflategeometrien for dette eksempelet er hentet fra STL-modellen som er representert i Figur 2. Ved å bruke en funksjon som gjenkjenner konturen på STL-modellens overflate kan man gjøre en ekstrudering igjennom flere plan for å etterligne modellens geometri som vist i Figur 4. Jo mer plan man bruker i denne prosessen jo mer nøyaktig vil resultatet bli. Etter ekstruderingen kan man se om det er behov for justeringer ved å ha den ekstruderte modellen og STL-filen synlige i samme bilde som vist i Figur 5. I dette eksempelet representerer blå farge CAD-modellen mens grå farge representerer STL-geometrien. Justeringer kan gjøres ved å øke/reducere antall plan eller å endre projeksjonsgeometrien i planene manuelt før man ekstruderer konturene. Med denne teknikken kan man utarbeide en tilnærmet CAD-modell fra hele eller deler av STL-geometrien.



Figur 4: Viser forskjellige plan som er opprettet på en seksjon fra Figur 2



Figur 5: Viser ekstrudering gjennom plan

2.2.4 CAD-modell

CAD (Computer Aided Design) refererer til en digital versjon av et design. CAD-modellen i Figur 6 representerer resultatet av modelleringen i eksempelet som er beskrevet over. Et fysisk objekt med ukjente mål kan altså med relativt få steg bli til en digitalisert CAD-modell ved hjelp av prosessen «reverse engineering». En CAD-modell kan enkelt justeres eller endres og vil være et godt grunnlag for prototyper som skal utvikles. Mulighetene med digitalisering er store og ofte en nødvendighet i dag

dersom man skal jobbe med en konseptutviklingsprosess. Fordeler med en digitalisert CAD-modell kan være dokumentering, lagring, integrering, simulering/analyse og kostnadsbesparelser.

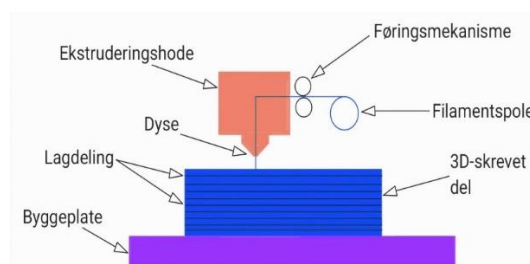


Figur 6: Viser solid CAD-modell fra Figur 5

2.3 3D-printing

2.3.1 FDM-metoden

Fused Deposition Modelling (FDM) er en additiv fabrikkingsmodell som produserer deler ved å varme opp og ekstrudere materiale igjennom en liten dyse. FDM-prosessen benytter vanligvis termoplastikk eller komposittmaterialer. Dysen følger datastyrte baner slik som andre datastyrte produksjonsmetoder mens den samtidig ekstruderer materialet for å skape forskjellige lag oppå hverandre som illustrert i Figur 7. Disse ekstruderte lagene er dannet av konturraster eller skjell som er tomrom inne i modellen. Skjellene fylles med støttemateriale som fjernes etter at delen er ferdig produsert. [4]



Figur 7: Viser grunnkonsept for FDM-prosessen [4]

I Tabell 1 er det satt opp noen generelle fordeler og ulemper ved FDM-metoden. Disse fordelene og ulempene vil ha varierende relevans og er avhengig av hvilke behov man har i en gitt situasjon.

Dersom det er behov for høy presisjon eller like høy styrke i alle retninger bør man kanskje vurdere en

annen produksjonsmetode. Har man behov for hurtig utvikling av et produkt med kompleks geometri som i tillegg må ha en grad av hemmelighold vil lokal 3D-printing være en god metode.

Tabell 1: Fordeler og ulemper ved FDM-prosessen

Fordeler	Ulemper
Kan produsere kompleks geometri	Lagdeling og orientering kan føre til svakheter
Lav kostnad ved lav produksjonsmengde	Relativ høy kostnad ved høy produksjonsmengde
Hurtig produksjon i en utviklingsprosess	En CAD-modell kreves før 3D-printing
Lokal produksjon	Lav oppløsning og presisjon for enkelte formål
Redusert materialavfall	Støttematerialet kreves og må fjernes etter produksjon
Forskjellige materialer	Risiko for deformasjon og krymping

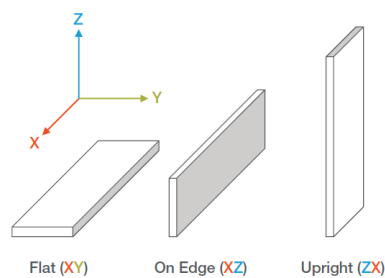
2.3.2 Slicer-program

Et slicer-program bearbeider STL-filer og andre filtyper. Den lager et 3D-printeprogram ut fra en eller flere 3D-modeller og tar hensyn til en rekke parametre som brukeren oppgir. Parametrene kan feks. være lagtykkelse, temperatur, overlapp, dysestørrelse, fyllmønster, støttestruktur og hastighet. Slicer-programmet innehar også en forhåndsvisning som gjør at man kan oppdage eventuelle feil i forkant av printingen. Sliceren kjører printeprogrammet igjennom en postprosessor som lager et sett med G-koder som 3D printerer kan lese. Disse G-kodene er representert som en liste med informasjon som printerer leser og følger slavisk fra topp til bunn. Det er dermed få muligheter for endring av programmet når printingen først har startet.

2.3.3 Orientering av produktet

Orientering kan ha en del å si for styrken til produktet som er 3D-printet. I utgangspunktet vil smeltet materiale gi lik styrke i alle retninger, men på grunn av FDM-prosessen illustrert i Figur 7 vil det oppstå svakheter i lagdelingene i produktet. Denne svakheten vil variere etter hvilket material og hvilken maskin som blir benyttet. Materialet som er oppvarmet og ekstrudert igjennom ekstruderingshodet størkner ettersom det blir nedkjølt av omgivelsestemperaturen. Når neste lag legges på toppen av det forrige laget vil det være en temperaturforskjell mellom disse lagene og dermed vil man ikke få full innsmelting. Dette resulterer i at det blir redusert styrke mellom alle lagene

som er 3D-printet. Disse lagene vil i hovedsak ha en horisontal retning, dermed vil det ofte være et svekket resultat ved en strekk test som blir utført med en kraft som står normalt på lagenes retning. I Figur 8 er det illustrert tre mulige orienteringer ved 3D-printing. Her vil alle tre produktene være like i fysisk størrelse men det vil være forskjellig orientering på lagdelingene på produktene. Ved en strekk test i lengderetningen av produktene vil man se at det produktet med den oppreiste orienteringen (ZX) har mindre styrke enn de andre to produktene. Grunnen til dette er fordi kraften blir påført normalt på lagdelingen som er det svakeste punktet i dette produktet.



Figur 8: Orientering ved 3D-printing [5]

2.3.4 3D printere som kan brukes i produktutviklingen

Universitetet i Stavanger har et bredt utvalg av 3D-printere som kan benyttes. Stratasys 450mc kan brukes for å 3D-printe prototypen da den kan printe med et bredt utvalg av avanserte materialer med høy styrke. For printing av diverse som er nødvendig i konseptutviklingsprosessen kan en mindre printer som Prusa MK4 benyttes. Figur 9 og Figur 10 viser 3D-printerene ved UiS som kan benyttes.



Figur 9: Stratasys 450mc ved UiS

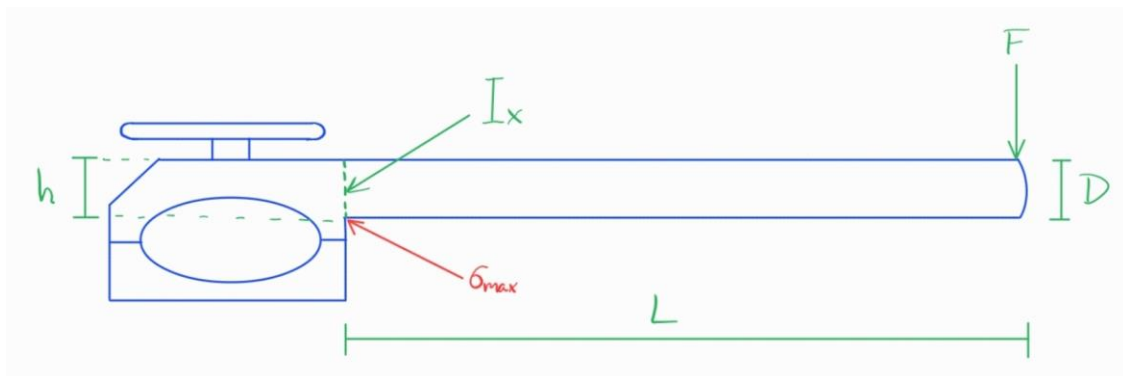


Figur 10: Prusa MK4 ved UiS

2.4 Krefter og momenter

I utgangspunktet er det antatt at det blir veldig lav belastning på styret ved normal bruk da. I enkelte situasjoner kan triathlon-styret allikevel få påført store belastninger. Eksempler på slike situasjoner kan være ved at man kjører på en stein, fortauskant eller at man kolliderer. For å få en forståelse av spenningene som oppstår ved påført kraft er det laget en simpel beregning for dette. Figur 11 viser en skisse av beregningen slik den er oppsatt.

Skissen har en innfestning som er koblet til et rør med en viss lengde (L). I denne koblingen er det antatt at de største spenningene vil oppstå ved (σ_{max}) på grunn av momentet og differansen mellom tvernsnittsdiameteren på rør (D) og innfestningen i konstruksjonen. I enden av røret er det påført en last (F). Det andre treghetsmoment (I_x) for en sirkulær form er beregnet fra det spenningsutsatte punktet. Momentet (M) virker også i det spenningsutsatte punktet. (y) er den vertikale avstanden fra nøytralaksen til det punktet vi beregner spenningen i. Høyden (h) er i dette eksempelet lik diameteren (D).



Figur 11: Skisse av et konsept av prototypen for beregning av spenning

Tabell 2 inneholder beskrivelse og størrelse på variablene som brukes i beregningen. Størrelse på variablene L og D er antatte størrelser på et konsept. Kraften som er påført enden av røret på 300 N er en tenkt uregelmessighet som at brukeren for eksempel kjører over en stein. Kraftens størrelse og retning varierer fra ulike situasjoner. Ved normal bruk vil det ikke være krefter som resulterer i et moment av betydning da brukeren normalt hviler på platene som er montert over sykkelstyret. Det endelige konseptet kan ha andre variabler enn det som er vist i denne beregningen. En økning i total lengde kan gi økt moment og økte spenninger i konseptet.

Tabell 2: Variabler for beregning

Beskrivelse	Variabler
Lengde på rør (L)	300 mm = 0,3 m
Diameter på rør (D) og høyden (h)	24 mm = 0,024 m
Påført kraft	300 N

Formlene (1), (2) og (3) viser henholdsvis beregninger for moment, avstand til nøytralaksen og det andre treghetsmoment. Formlene er hentet fra «Dimensjonering av maskinelementer» [6].

$$M = FL \quad (1)$$

$$y = \frac{h}{2} \quad (2)$$

$$I_x = \frac{\pi D^4}{64} \quad (3)$$

Formel (4) viser formel for maksimal spenning. For å forenkle denne formelen blir formelene ovenfor satt inn i formel (4) og det hele blir forkortet. Formel (5) viser innsettelse av variabler og beregningen av maksimal spenning.

$$\sigma_{max} = \frac{My}{I} = \frac{FL \frac{D}{2}}{\frac{\pi D^4}{64}} = \frac{64FLD}{2\pi D^4} = \frac{32FL}{\pi D^3} \quad (4)$$

$$\sigma_{max} = \frac{32FL}{\pi D^3} = \frac{32(300 \text{ N})(0,3 \text{ m})}{\pi(0,024 \text{ m})^3} \approx 66 \text{ MPa} \quad (5)$$

Spenningen som oppstår er avhengig av konseptets utforming og dimensjoner. I tillegg vil kraftens størrelse, posisjon og retning også være viktige faktorer for hvor stor spenning som oppstår i et punkt. Kraften i denne beregningen er satt i enden av røret i vertikal retning. Ved normal bruk av prototypen vil mesteparten av kreftene ha en vertikal retning. Dersom konseptet er utformet annerledes enn det som er forespeilet i beregningen eller at det oppstår en kollisjon/oppbremsing kan det tenkes at kreftene kan få helt andre retninger og størrelser.

2.5 Kjervvirkning

Kjerv er en form for uregelmessighet i en konstruksjon som medfører spenningskonsentrasjoner. Eksempler på slike konstruksjoner kan være ved hull, spor eller tvernsnittoverganger. Kjerv kan bli påvirket av geometri, materiale og spenningstype [6, s. 46–47].

Spenningskonsentrasjoner er spesielt viktige å unngå i konstruksjoner der det er fare for utmatting. Utmatting kan skje når en konstruksjon opplever et stort antall vekslende sykluser som danner sprekkdannelser i materialet på grunn av spenningskonsentrasjonene. Gode rutiner for å unngå spenningskonsentrasjoner vil være å legge til en avrunding der man har spenningskonsentrasjoner og deretter pusse eller polere avrundingen.

Bruken av et triathlon-styre vil gi mindre fare for utmatting. Siden 3D-printing kan produsere kompleks geometri med letthet vil det alltid være en god regel å konstruere spenningsutsatte områder med en avrunding for å unngå spenningskonsentrasjoner og gi en liten styrke økning i noen tilfeller.

2.6 Materialtesting

For å få en forståelse av styrken til produktet er det lurt å gjøre noen egne strekktester og bøyningstester på materialet som skal brukes til prototypen. For disse testene kan man benytte henholdsvis ISO 527-1:2019 [7], ISO 527-2:2012 [8] og ISO 178:2019 [9] som standarder.

Ved bruk av FDM-metoden vil produktet ha forskjellig styrke i forskjellige orienteringer som igjen vil ha innvirkning på hvordan den bør konstrueres og 3D-printes. Det vil også være en rekke faktorer eller uregelmessigheter ved 3D-printing som temperatur, uren/slitt dyse, eller vibrasjoner som kan redusere styrken til produktet. Dette er viktig å ta hensyn til når man analyserer prøveresultatene.

3 Utvikling av prototype for triathlon sykkel-styre

I konseptutviklingsprosessen blir det utarbeidet et bredt utvalg av ideer som blir utgangspunktet for en utvelgelsesprosess som beskrevet tidligere (2.1 Produktutviklingsprosessen). I denne prosessen blir det lagt vekt på kundebehov og generelle fordeler ved de forskjellige konseptene. Det ble utarbeidet konsepter for to forskjellige innfestninger og fem forskjellige triathlon-styrer. Platene på disse fem konseptene er konstruert for å kunne justeres og tilpasses noe etter behov.

3.1 Digital modell av sykkel-styre

Sykkel-styret er 3D-skannet og databehandlet slik at det foreligger et godt utgangspunkt for denne produktutviklingsprosessen. Denne 3D-skanningen er utført og gjort tilgjengelig av laboratorieingeniørene ved UiS. Bildet i Figur 12 viser den 3D-skannede filen presentert i Fusion 360 [3]. Passformen for triathlon-styret vil være helt avhengig av denne digitale modellen da styret har en usymmetrisk og ujevn geometri som er veldig utfordrende å gjenskape ved manuelle målinger.



Figur 12: 3D-skanning (STL-fil) av sykkel-styret illustrert i Fusion 360 [3]

3.2 Innhenting av kundebehov ved Møte 1

Tabell 3 inneholder en liste med kundebehov og synspunkter fra første møte med kunde. Disse behovene blir utgangspunktet for produktutviklingen.

Tabell 3: Notater fra Møte 1

Notater fra første møte med kunde:

- God ergonomi er viktig for å spare så mye krefter som mulig under syklingsdelen av løpet. Det å kunne variere på sittestilling ved at man har flere steder man kan holde i styret på er en fordel.
- Lav luftmotstand er viktig for å spare krefter. I tillegg til god ergonomi må konseptene formes slik at syklisten utgjør lavest mulig luftmotstand.
- Et bra utseende er å foretrekke om det ikke går på bekostning av funksjon.
- Totalvekten på styret er av litt mindre betydning.
- En fordel om informasjonsskjermen kan brukes etter montering av triathlon-styret. Det kan muligens lages en brakett til denne. Opprinnelig posisjon for informasjonsskjerm er i midten i forkant av styret. Informasjonsskjermen var ikke tilgjengelig for dette møtet.
- For å kunne operere sykkelen sikkert er styrke på triathlon-styret viktig.

- Normalt lite krefter som virker på triathlon-styret, men dette endrer seg dersom man sykler på en stein eller krasjer.
- En form for gummi eller belegg mellom prototype og styre må inkluderes for beskyttelse slik at ikke klarlakken på styrets karbon får skader.

Figur 13 viser bilder av styret til sykkel. Disse bildene og den 3D-skannede modellen av styret blir utgangspunkt for utforming av konseptene.



Figur 13: Bilder fra Møte 1 som blir utgangspunkt for konseptene

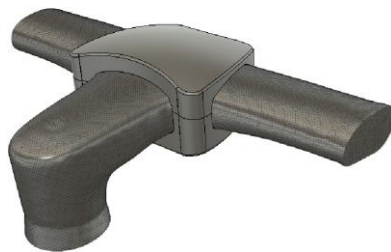
Hensikten med det første møte er informasjonsinnsamling rundt oppgaven som vist i Tabell 3 og Figur 13. Her fremkommer kundebehov og eventuelle begrensninger.

God ergonomi og lav luftmotstand er veldig viktig for prestasjonene til syklisten, men disse to elementene må ses i sammenheng. Lav luftmotstand får man ved å ha en sittestilling som reduserer det totale arealet som møter fartsretningen. Jo mindre areal man greier å skape, jo mindre ergonomisk har sittestillingen en tendens til å bli. En ergonomisk sittestilling og mulighet for å variere på denne er vesentlig for å spare på krefter igjennom sykkelløpet. I lys av dette ble det bestemt at en kombinasjon av god ergonomi og lav luftmotstand blir valgt som utgangspunkt for konseptutviklingen. Vekt er generelt viktig på en løpssykel, men i denne sammenheng velger vi å neglisjere dette til en viss grad så lenge mer vekt kan være med på å styrke konstruksjonen. Sykkelen har en totalvekt på 7,88 kg [10] uten tilbehør som informasjonsskjerm og vannflaskeholder. Litt økt vekt fra et konsept til et annet vil ikke føre til en merkbar totalvekt på sykkel. Kraftene ved normalt bruk virker stort sett vertikalt på platene som er montert rett over innfestningene. Dersom syklisten er uheldig og sykler på en stein eller kolliderer er det helt andre krefter og størrelser på disse som virker på konstruksjonen. Det kan konstrueres et nytt feste til informasjonsskjermen på konseptene eller muligens bare la skjermen bli værende i sin opprinnelige posisjon dersom den er synlig derfra. Det ble ikke nevnt noen begrensninger rundt oppgaven ifm. dette møte.

3.3 Utvikling av innfestninger og konsepter basert på Møte 1

3.3.1 Innfestning Konsept 1

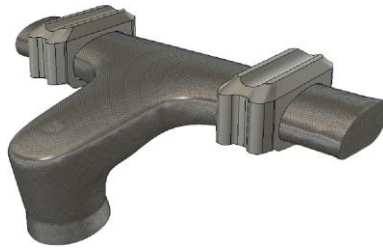
Innfestning Konsept 1 (Figur 14) er splittet på midten og montert på styrets stem med 4 bolter fra undersiden. Dette konseptet sprer belastningen over et større område. Dette konseptet for innfestning kan modelleres slik at den strekker seg lenger bakover styrets stem for å oppta et større vrilmoment påført av triathlon-styret. Dette vil være en fordel forutsatt at styreholkene er den svakeste delen i styret. Det viser seg at geometrien på anleggsflaten som klemmer rundt stemmet i dette konseptet er utfordrende å modellere.



Figur 14: Innfestning Konsept 1

3.3.2 Innfestning Konsept 2

Innfestning Konsept 2 (Figur 15) består av to deler som er festet på hver side av styrets stem. Innfestningene er splittet på midten slik som Innfestning Konsept 1 og klemmes til styrets holker med totalt åtte bolter fra undersiden. Dette konseptet har en mindre anleggsflate enn i Innfestning Konsept 1 og vil påføre belastninger som er mer konsentrert på styret. Det er viktig å tenke på at det muligens kan kunne skje en utglidning av innfestningene i en sidelengs bevegelse i dette konseptet. En form for gummi eller tilsvarende som beskrevet i Tabell 3 vil mest sannsynlig være nok til å hindre denne utglidningen. Dersom det er tvil om dette kan det konstrueres en aerodynamisk kobling mellom innfestningene som er med på å forsterke konstruksjonen og hindre sidelengs glidning. I dette konseptet vil det være enkelt å tilpasse gummi eller lignende på anleggsflaten som beskytter sykkelstyret. Den styrkemessige fordelene med Innfestning Konsept 2 for selve triathlon-styret sin del er at belastningen fordeles over innfestningens to deler og rør.



Figur 15: Innfestning Konsept 2

Det viser seg av geometrien som utgjør anleggsflatene i innfestningene ikke er identiske. Denne konklusjonen er basert på at 3D-skanningen av sykkel-styret er av relativt høy nøyaktighet. Grunnen til at anleggsflatene ikke er identiske kan ligge i feil ved produksjonsutstyr, at sykkel-styret er håndlaget eller at høy nøyaktighet i utgangspunktet ikke er av interesse her. Ved modellering av innfestningene kan det derfor ikke lages to speilvendte kopier. De må modelleres separat slik at hver innfestning får den rette passformen til sykkel-styret. Innfestningene må splittes på midten for å kunne monteres. Klavene som da blir separate deler har også da en unik geometri og dermed vil ikke den ene klaven passe på motsatt innfestning. Et system bør utvikles slik at det ikke er mulig å forveksle klavene ved montering.

3.3.3 Triathlon-styre Konsept 1

Det første konseptet for triathlon-styre (Figur 16) bruker Innfestning Konsept 1. Konseptet er konstruert med kun et rør mellom innfestning og holdeposisjon. Koblingen mellom rør og øvre del av innfestning vil oppleve stor belastning i dette konseptet. Mellom de to platene må man ha en sterk kobling som kan tåle belastningene som er påført fra albuer. Dersom kunden ønsker en økt avstand mellom platene så må den horisontale koblingen mellom dem styrkes. Dette konseptet er best egnet dersom kunden ønsker en veldig smal og aerodynamisk sittestilling fremfor mer ergonomi. Det er verdt å nevne at røret i dette konseptet vil være utsatt for vrिमoment dersom holdeposisjonen på triathlon-styret blir utsatt for krefter normalt på fartsretningen.



Figur 16: Triathlon-styre Konsept 1

3.3.4 Triathlon-styre Konsept 2

Det andre konseptet for triathlon-styre (Figur 17) bruker Innfestning Konsept 2. Belastningen vil fordeles over de to rørene i dette konseptet og dermed ha mindre påkjenning i et enkelt punkt slik som i Innfestning Konsept 1 forutsatt at rørene i begge konseptene er av samme tykkelse. Holdeposisjon for Konsept 1 og Konsept 2 er ganske like, men i Konsept 2 har man også mulighet for å holde flere steder. Dette vil være en fordel for ergonomien. Platene er plassert rett oppå innfestningene og man trenger dermed ikke tenke på den horisontale koblingen mellom disse slik som i Konsept 1. I dette konseptet har man mulighet for å bare la informasjonsskjermen bli i sin opprinnelige posisjon.



Figur 17: Triathlon-styre Konsept 2

3.3.5 Triathlon-styre Konsept 3

Konsept 3 (Figur 18) bruker Innfestning Konsept 2 og har en mindre total lengde enn de andre konseptene. Den ligner på Konsept 2, men har en kortere og redusert vinkel på holdeposisjon i forhold til horisontalt plan. Ved en kortere konsept vil også vrimomentet bli mindre og man vil dermed få mindre belastning på utsatte deler av konstruksjonen. Dette er det letteste og mest aerodynamiske konseptet. Siden avstanden fra platene til holdeposisjonen er kortere vil også albuen til brukeren komme lenger bak. Platene kan justeres noe bakover om brukeren opplever at der er behov for mer støtte mot albue. Dersom det ikke er tilstrekkelig å justere platene bakover kan rørenes lengde økes. I dette konseptet har man også mulighet for å la informasjonsskjermen bli i sin opprinnelige posisjon.



Figur 18: Triathlon-styre Konsept 3

3.4 Innhenting av kundebehov ved Møte 2

I dette møte med kunden ble det gjennomført en utvelgelsesprosess som belyste fordeler og ulemper med de forskjellige konseptene. Triathlon-styret Konsept 3 sammen med Innfestning Konsept 2 ble valgt som utgangspunktet for videre konseptutvikling. Dette på grunn av god sikt og en spissere profil som byr på et mer aerodynamisk konsept som også kan modifiseres for bedre ergonomi. Målingene i dette møte ble utført når kunden satt i en ergonomisk og aerodynamisk stilling slik at man oppnår så korrekte mål som mulig. Det ble antatt at sikten vil være ivaretatt med en vinkel på rørene som tilsvarer vinkelen på styrets stem. Når man er i denne delen av prosessen uten en fysisk modell man kan teste er det en del usikkerhet i målene. Antagelser om en reell sittestilling måtte gjøres for å komme frem til et best mulig resultat. Kunden uttrykte et ønske om å kunne justere vinkelen på rørene om dette er mulig.

Tabell 4 inneholder en liste med kundebehov og synspunkter. Listen inneholder synspunkter for den videre utviklingen av konsept 3.

Tabell 4: Notater fra Møte 2

Notater fra andre møte med kunde:

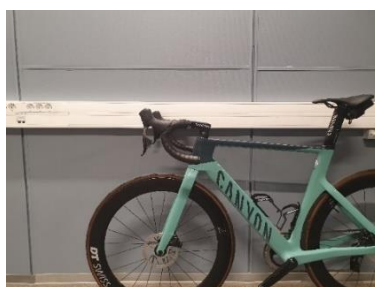
- Kunde likte best triathlon-styre Konsept 3. Minste avstand mellom hender på 60 mm, høyden på 28 mm på plater og vinkelen på 20 grader var bra. Det ble også kommentert at konseptet hadde flere holdemuligheter og at dette konseptet hadde best sikt fremover.
- Kunde vil at vinkelen på triathlon-styret skal gå parallelt med vinkelen på styrets stem, eventuelt mulighet for justering av vinkelen.
- Det er viktig at triathlon-styret ikke er for høyt og dermed blokkerer sikten til syklisten.
- Totallengden må økes ift. Konsept 3, men det gjør ikke noe om underarmene hviler oppå putene i stedet for at albueene gjør det.
- Platene trenger ikke å være så store som i Konsept 3, men kan reduseres til ca. 70x70 mm
- Målene som er tatt er omtrentlige og kan fravikes noe.

Tabell 5 viser mål og dimensjoner samt forklaring av hvor målene er tatt. Disse målene skal brukes for videreutvikling av konsept 3 og er tilpasset kunden.

Tabell 5: Mål og dimensjoner fra Møte 2

Mål	Dimensjon	Beskrivelse av mål
Lengde på arm	320 mm	Målt i senter av plate til begynnelse av håndledd i holdeposisjon
Bredde på albuer	200 mm	Målt senter – senter av armene som hviler på styret.
Vinkel på håndledd	Ca 20 grader	Hentet fra Konsept 3. Målt vinkel mellom plate-flate og holdeposisjon.
Plass mellom hender	60 mm	Hentet fra Konsept 3. Målt på minste avstand mellom holdeposisjonens rør.
Bredde på styre	228 mm	Bredde på den delen av styret som er laget av karbonfiber.
Høyde	28 mm	Avstanden fra øverste del av styre til øvre del av boltehode på plate

Bildet i Figur 19 av triathlon-sykkelen er tatt normalt på styrets stem slik at vinkelen på styret kan bestemmes. Bildet er viktig for å få symmetri i prototypen og vil være til hjelp i utviklingsprosessen.



Figur 19: Vinkelrett bilde på styrets stem

Det er i hovedsak fire endringer som må gjøres med Konsept 3 i henhold til kundens behov som er vist i Tabell 6. Det må også utarbeides en beskyttelse mellom anleggsflatene til styre og prototypen som beskrevet i Tabell 3. I tillegg til dette kan det gjøres mindre endringer for en generell forbedring av konseptet.

Tabell 6: Endringer av Konsept 3 som følge av kundebehov

- Lengden på rørene må økes. Avstanden fra senter på plate til begynnelse av håndledd er 155 mm på Konsept 3. Avstanden fra albue til begynnelse av håndledd på kunder er målt til 320 mm.
- Vinkelen på rørene til triathlon-styret må gå parallelt med vinkelen på styrets stem og kunne justeres om mulig. Vinkelen på styrets stem må utarbeides.
- Avstanden på platene må økes. På Konsept 3 er avstanden på platene 140 mm senter-senter. Avstanden på albuer målt på kunde er 200 mm senter-senter.
- Størrelse på platene må reduseres. På Konsept 3 er platene 80x103 mm. Kan reduseres til ca. 70x70 mm.

3.5 Utvikling av konsept 4 basert på Møte 2

Konsept 4 (Figur 20) er basert på Konsept 3 med en del endringer og forbedringer. Ved utvikling av Konsept 4 er det mye informasjon som er tilgjengelig fra Konsept 3 og to møter med kunde. Både endringer og forbedringer blir kommentert her. Fysiske mål fra kunde som er dokumentert i Tabell 5 gir grunnlaget for dimensjoneringen av konseptet.

Det blir tatt en avgjørelse om å velge en konstruksjon som gjør at øvre del av innfestningene og resten av triathlon-styret blir én komponent. Denne avgjørelsen går på bekostning av forslaget fra kunde om justerbar vinkel av triathlon-styre som beskrevet i Tabell 4. Dersom man skal ha mulighet for å justere denne vinkelen vil det komplisere konseptet en hel del på grunn av kompliserte innfestninger med eventuelt flere bolter som må koble sammen plater, rør og øvre del av innfestninger. Konseptet ville også blitt noe større og tyngre ved en slik løsning da man har behov for at styrken til konseptet blir ivaretatt.

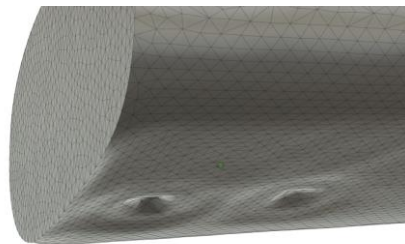


Figur 20: Triathlon-styre Konsept 4

3.5.1 Endring av avstanden mellom plater/innfestning

I Tabell 5 kan man se at kunden har behov for større avstand mellom albuer enn det som var forespeilet i konsept 1,2 og 3. Innfestning Konsept 2 har en stor fordel om man ønsker økt avstand mellom platene. Med et slikt konsept slipper man å tenke på en kobling som forbinder platene med et potensielt stort overheng som hadde blitt tilfellet ved Innfestning Konsept 1. I innfestning Konsept 2 er platene montert direkte over innfestningene og dermed er det ingen styrkemessige ulemper ved en stor avstand mellom platene.

Man kan også se i Tabell 5 at det ble målt en maksimal bredde på styret som er utført i karbonfiber på 228 mm der innfestningene eventuelt kan klemme rundt. I hver ende av 3D-skanningsmodellen er det ujevnheter grunnet noen bolter som kobler resten av styret sammen som vist i Figur 21. Dette kan skape problemer med passformen på innfestningene som skal klemme rundt styret. Med dette til grunn ble det bestemt at maksimal bredde senter-senter på innfestningene blir 175 mm slik at man unngår disse ujevne områdene. Ønsket til kunden på 200 mm senter-senter bredde mellom albuer blir ivaretatt ved justerbare plater og det faktum at underarmene kan hvile på platene i stedet for albue som beskrevet i Tabell 4. Vinkelen på armene ift. kjøreretningen er på ca. 5-6 grader og dermed vil avstanden mellom underarmene som hviler på platene være litt mindre enn 200 mm.



Figur 21: Viser monteringsbolter i enden 3D-skannet modell av sykkelstyret

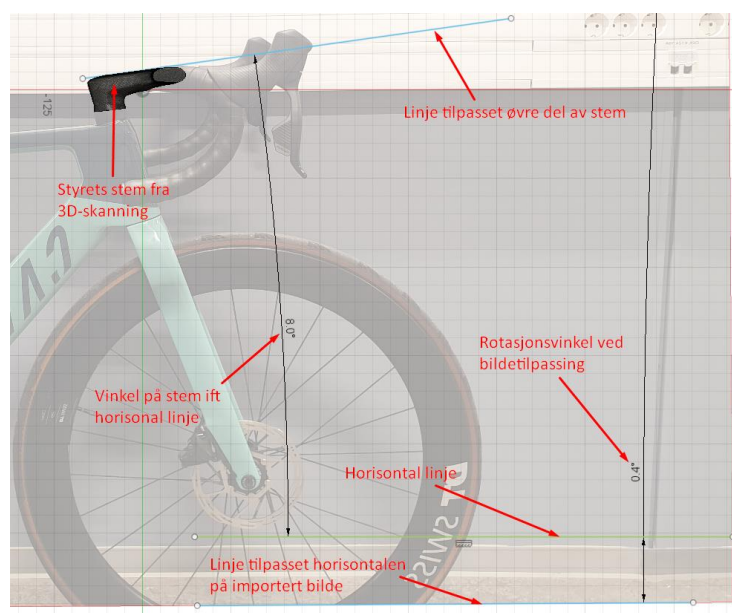
3.5.2 Endring av lengder på rør

Lengde på rørene blir forlenget fra 155 mm på Konsept 3 til 280 mm på Konsept 4 for økt ergonomi. Målt lengde fra albue til arm ifølge Tabell 5 er på 320 mm. Det vil si at albue vil ha et utstikk på ca 40 mm fra senter av plate. Platene kan justeres slik at det blir minimalt med utstikk av albuer fra platene om nødvendig. Økt lengde på triathlon-styre øker også det potensielle momentet som nevnt tidligere (2.4 Krefter og momenter). Siden kunde har opplyst om at et lite utstikk av albuer ikke har stor

betydning faller valget på 280 mm på rørene fremfor et mål på nærmere 320 mm. Det er ønskelig å holde triathlon-styret kort med tanke på momentet som kan oppstå.

3.5.3 Endring av vinkelen på rør

Vinkelen på styrets stem ble bestemt ved å visuelt tilpasse linjer som representerer en tilnærming av konturene man ønsker å hente informasjon fra. 3D-skanningen (Figur 12) og vinkelrett bilde (Figur 19) fra Møte 2 ble importert til Fusion 360 [3]. Skanningen og bilde ble deretter fusjonert og så ble linjene som danner grunnlaget for å hente ut vinkelinformasjon konstruert som vist i Figur 22. Gjennomsiktigheten til bilde er økt for å lettere kunne se konturene til 3D-skanningen. Bilde fra Figur 19 er tatt så horisontalt og normalt på stemmet som mulig, men det vil alltid være en viss feilmargin som oppstår med denne metoden. I ettertid er det vanskelig å kompensere for den vertikale feilmarginen i vinkelen som bildet er tatt fra, men den horisontale vinkelen kan endres på i ettertid. Kabelgaten som er montert på veggen bak sykkelen i det importerte bilde ble målt til å være horisontal i forhold til gulvet. Dette danner grunnlaget for holdepunkter og linjen som representerer horisontalt plan i bildet. Ved måling av vinkelen mellom horisontalt plan i bildet og den horisontale linjen i Fusion 360 [3] viste den en differanse på 0,4 grader som representerer den horisontale feilmarginen i bildet. Bildet ble rotert med 0,4 grader slik at styret hadde tilnærmet riktig vinkel og størrelsen på bildet ble deretter tilpasset visuelt så lik 3D-skanningen som mulig. Grunnlaget for å bestemme vinkelen på styrets stem er nå satt og resultatet viser 8 grader som det blir fremstilt i Figur 22.



Figur 22: Viser fusjonering mellom 3D-skanning og vinkelrett bilde for å bestemme vinkel på styrets stem.

Det å bruke bilde som metode for måling kan som nevnt være kilde til en rekke målefeil. Disse kildene kan være bildevinkel, bildefokus, antagelser om horisontalt gulv og visuell tilpassing av 3D-skanning. Denne metoden vil fremdeles være en grei tilnærming her da høy presisjon ikke er nødvendig i dette tilfellet.

3.5.4 Endring av plater

Figur 23 viser plate etter endringer. Størrelsen på platene er blitt nedjustert fra 80x103 mm til 75x77 mm etter ønske fra kunde (Tabell 4). Grunnet den buede formen på øvre del og puter som skal monteres på toppen av platene vil den ha en effektiv kontaktflate på ca 70 mm i bredden. Den ene raden av hull for justering av platene i tidligere konsepter er tatt bort som vist i figuren. Dette er gjort for å redusere overhengen som platene ellers ville vært utsatt for. Stort overheng vil skape et stort moment dersom platene blir belastet for store krefter. I tillegg til dette konstrueres innfestningen på platene helt flate. Dette gjøres for å få mer anleggsflate slik at platene kan tåle mer krefter. For økt ergonomi er platene vinklet 5 grader innover mot holdeposisjon slik at platene gir et jevnere press mot armen/albuen.



Figur 23: Plate for arm/albue

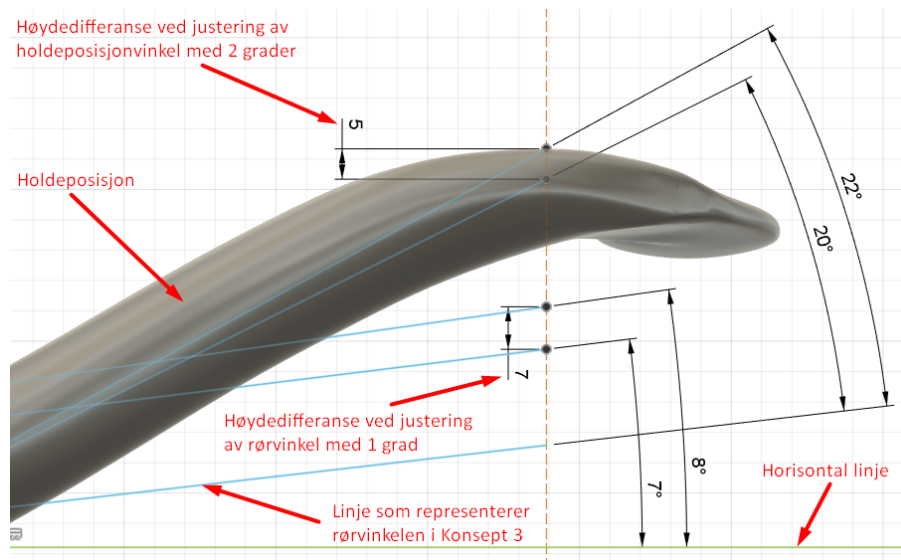
3.5.5 Forkjellige endringer for generell forbedring av konseptet

Liten nedjustering av vinkel på rør pga. sikt

Som beskrevet i Tabell 4 er det viktig at ikke sikten blokkeres av triathlon-styret. For å være sikker på at ikke sikten blokkeres blir det gjort en liten endring i vinkelen på rørene. Figur 24 viser et anslag over høydedifferanser ved forskjellige vinkler på holdeposisjon i forhold til rørene på triathlon-styret.

Vinkel på holdeposisjon i Konsept 4 er 20 grader ift. vinkelen til rørene på triathlon-styret i Konsept 3. For økt ergonomi blir dette endret til 22 grader som er en litt mer naturlig vinkel for håndleddene. En økning i vinkelen på 2 grader vil gi en økt totalhøyde på ca. 5 mm som gir litt mindre sikt. Som nevnt i det andre møte er god sikt et viktig element. Selv om 5 mm ikke er mye ble det sett på mulighet for å endre vinkelen på rørene i forhold til horisontallinjen for å motvirke dette. Ved å redusere vinkelen med 1 grad på rørene reduserer man totalhøyden med ca. 7 mm (Figur 24). I utgangspunktet skulle

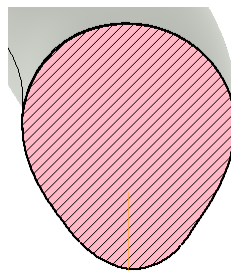
vinkelen på rørene være parallele med vinkelen på styrets stem, men på grunn av fare for redusert sikt blir rørinkelen satt ned fra 8 grader til 7 grader ift. horisontallinjen. En så liten endring i vinkelen vil ha litt betydning for bedre sikt, men vil ikke ha noen særlig betydning for utseende med tanke på at styret skulle gå parallelt med stemmet.



Figur 24: Viser Triathlon-styre Konsept 4 sin holdeposisjon med et anslag over høydedifferanser ved vinkeljusteringer

Forsterking av rørkonstruksjon

På grunn av momentet som vil bli påført rørene er det antatt at det svakeste punktet i rørkonstruksjonen i utgangspunktet være nær innfestningene (2.4 Krefter og momenter). For å forbedre styrken i rørkonstruksjonen blir geometrien endret til en oval form i hele rørkonstruksjonen frem til holdeposisjonen som vist i Figur 25. I tillegg til dette er den også tillagt avrundinger i innfestning for å gi litt ekstra styrke og unngå spenningskonsentrasjoner som beskrevet tidligere (2.5 Kjervvirkning).



Figur 25: Tverrsnitt av rørkonstruksjon

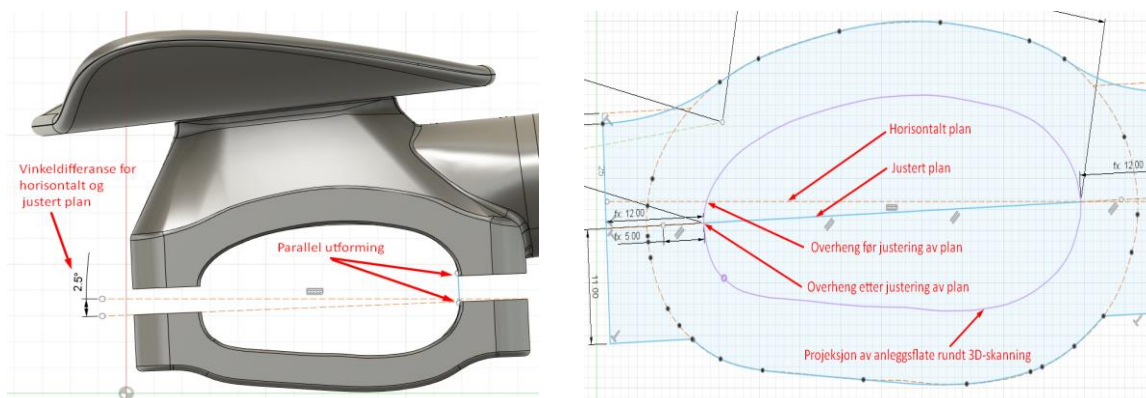
Høyden fra sykkel-styret til platene er redusert fra 28 mm til 23 mm. Med den økte anleggsflaten mellom plate og innfestning som beskrevet tidligere (3.5.1 Endring av avstanden mellom plater/innfestning) er det tiltenkt at anstandstykker kan settes inn her for å øke avstanden om nødvendig. Dette gir konseptet mer mulighet for bedret ergonomi og vil kanskje til en viss grad kompensere litt for kundeønske om justerbar vinkel på rør som ble nedprioritert på grunn av sikkerhet/styrke.

Konsept 4 har en økt avstand mellom innfestningene i forhold til Konsept 3. Dette betyr en endret geometri i holdeposisjonen men minste avstand mellom holdeposisjonens rør er beholdt på minimum ca. 60 mm.

Splitting av innfestninger

Innfestningene ble modellert i sin helhet før de til slutt ble splittet på midten. På grunn av at styrets holker har en noe bakoverlent utforming måtte planet for splitten justeres slik at det ikke forekommer noen form for overheng ved klemflatene. Figur 26 viser vinkelen for splitt i innfestning i forhold til det horisontale plan.

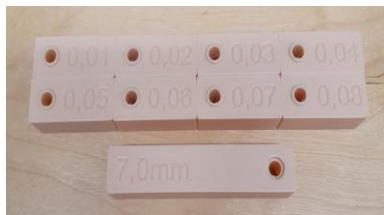
I splitten av innfestningene må begge deler av innfestningen ha en rett/parallell utforming slik at monteringen blir enkel. Det er i tillegg ønskelig å fordele anleggsflatene så jevnt og naturlig som mulig på de to delene. Det justerte planet for splitten hadde den beste mulige løsningen ved en vinkel på 2,5 grader og en splitt som er plassert i midten av projeksjonen som vist i Figur 26. I tillegg må det også være et jevnt press på disse to anleggsflatene, derfor blir boltene også konstruert med samme vinkel på 2,5 grader som vil sikre et jevnt press.



Figur 26: Viser vinkel for splitt i innfestning for parallell utforming.

Selvjustering for å hindre sidebevegelse ved montering

For å sikre at det ikke skjer en utglidning når delene monteres sammen er det ønskelig å bruke et selvjusterende design i konseptet. Dette designet går ut på at to deler av tilnærmet geometri treffer hverandre og hindrer sidebevegelse. En klaringstest ble utført for å finne en passende klaring for det selvjusterende designet. Det ble printet 9 klosser med 5 mm hull som vist i Figur 27. Den største klossen har en liten forsenking med en diameter på 7 mm. De andre 8 klossene har ekstruderings med forskjellig klaringer fra 0,01 mm - 0,08 mm. Graving er gjort på samtlige klosser for enkel identifisering.



Figur 27: Klosser ifm. klaringstest

Det ble gjort en test for å finne en egnet passform ved at de små klossene ble lagt oppå den store klossen for å få en følelse av passformen. På grunn av forskjell i temperatur, materialet, 3D-printere og innstillinger vil det alltid være en generell varierende grad av presisjon og repetisjon i et print til et annet print. Når det skal velges klaring på den selvjusterende profilen er det viktig å velge en klaring som ikke kan bli for trang slik at delene blir vanskelige å skilles fra hverandre igjen. I denne testen var det en klaring på 0,02 mm som hadde den beste passformen. En klaring på 0,01 mm ble for trang og ble sittende fast etter kontakt. I denne sammenheng er det ikke behov for stor presisjon, så valget om klaring faller dermed på 0,06 mm slik at man ikke risikerer at delene henger seg fast. Det er noe slark ved denne klaringen, men den vil allikevel være et godt valg for dette formålet.

Figur 28 viser innsiden av øvre og nedre innfestningen i den ene av de to innfestningene mot sykkelstyre. Forsenkninger og forhøyninger illustrere selvjusteringen i Konsept 4. Øvre del av innfestning har forsenkninger ved boltehull mens nedre del av innfestning har forhøyninger ved boltehull. Sykkelstyre har en usymmetrisk geometri, men på grunn av denne selvjusteringen vil det ikke skje noen utglidninger ved tiltrekking av bolter. Klaringen på forsenkningene og forhøyningene er satt til 0,06 mm i henhold til klaringstesten som ble utført.



Figur 28: Viser øvre og nedre innfestning og illustrerer konsept for selvjustering

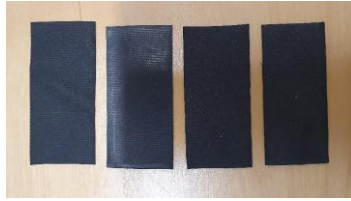
I tillegg til selvjustering har forhøyningen i nedre innfestning også en annen funksjon. På Figur 28 kan man se at et av hullene i øvre og nedre del av innfestning ikke har forsenkning eller forhøyning. I den andre innfestningen for triathlon-styre er konstruksjonen speilvendt. Det vil si at dersom man prøver å montere feil klave på feil side av triathlon-styre vil altså forhøyningen gå mot et hull som ikke har forsenkning. Da vil man raskt merke at monteringen er feil og man vil ikke kunne få press på anleggsflatene ved tiltrekking av bolter. En slik funksjon er viktig da geometrien på anleggsflatene er unike. En feilmontering uten en slik funksjon kunne ha resultert i svekkelser av konseptet og skader på sykkel-styre.

Selvjusteringskonseptet er også benyttet ved montering av plater og avstandsstykker. I disse tilfellene er det ikke fare for utglidning på grunn av usymmetrisk symmetri, men det er ønskelig at monteringen av disse skal være så enkel og justeringsfri som mulig.

Beskyttelse av sykkel-styret

Som nevnt i listen over kundebehov ved første møte (Tabell 3) er det behov for beskyttelse mellom triathlon-styret og sykkel-styre. Geometrien i anleggsflatene som griper over sykkel-styret er ikke helt perfekt og vil gi litt ujevnt press på sykkel-styret. I tillegg å skåne klarlakken til sykkel-styret vil en beskyttelse her være med på å fordele kreftene som kan oppstå i konsentrerte områder grunnet en uperfekt geometri. Gummi vil være et egnet alternativ som beskyttelse i denne sammenheng. Gummibeskyttelsen vil deformeres og spre belastningen over et større område. En annen fordel med gummi er at den vil i stor grad hindre sideglidning av innfestningene. Det er viktig at gummien som blir brukt er tynn nok slik at det ikke oppstår merkbar bevegelighet i styret grunnet gummiens fleksible karakter.

Det ble valgt et 25 mm bredt gummibånd med 0,65 mm tykkelse for beskyttelse. Det ble klippet opp 4 gummistykker (Figur 29) med 56 mm lengde som limes på kontaktflatene med superlim slik at montering og demontering blir enkelt.



Figur 29: Beskyttelse mellom monterings anleggsflater

Ved montering av triathlon-styret vil det være behov for en klaring slik av det er plass til beskyttelsen mellom innfestningene. Med en slik klaring vil det oppstå en avstand mellom øvre og nedre innfestning på grunn av beskyttelsen som ligger mellom anleggsflatene. Når boltene strammes ved montering er det usikkert hvor mye gummi kommer til å komprimeres. På grunn av denne usikkerheten vil det være behov for å 3D-printe noen utgaver av triathlon-styret med forskjellige klaringer mellom anleggsflatene. Dette gjøres for å kunne teste seg fram til en god passform.

Plassering av bolter, muttere og mutterlåsing

Monteringen av triathlon-styret blir utført med totalt 12 rustfrie bolter og 12 rustfrie muttere med M5x0,8mm standard gjenger. Monteringen er lik for begge sidene av triathlon-styret. Tabell 7 viser en liste over disse standarddelene som kjøpes fra leverandør.

Tabell 7: Standarddeler som kjøpes fra leverandører.

Standarddel	Antall	Iht. standard	Leverandør
Bolt Unbrako M5x20mm, A2 304 rustfri	8	DIN 912	RS-online
Bolt Unbrako M5x20mm, A4 316 rustfri (forsenket hode)	4	DIN 7991	RS-online
Mutter M5, A4 316 rustfri	12	DIN 934	RS-online

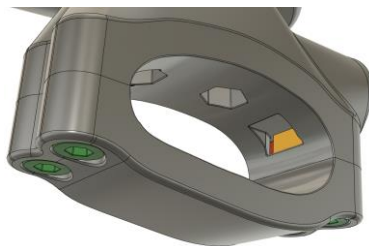
Figur 30 viser en oversikt over hvordan monteringen er tiltenkt på den ene siden i bakkant av triathlon-styret. Siden bra utseende er et kundebehov (Tabell 3) er det lagt ned en hel del arbeid i å utforme et konsept som skjuler bolter og muttere. Dette konseptet byr dermed på en løsning som er strømlinjeformet og skjuler innfestningsmetoden. Som Figur 30 viser er det montert fire stk. M5x20mm unbrako-bolter (grønne) fra undersiden av konseptet som kobler sammen klaven til triathlonstyret. Disse boltene skrues gjennom muttere (røde) som er plassert i øvre del av innfestning. Platen er koblet til triathlon-styret med to stk. M5x20mm forsenkede unbrako-bolter (blå). Disse

boltene skrues fra oversiden av plate og gjennom muttere (røde) som også er montert i øvre del av innfestning som vist i Figur 30. I figuren kan man også se mutterlåsingene (gule). Disse er utformet for å passe mellom muttere og er ment som en sikring dersom muttere begynner å spinne. Spinning av muttere kan oppstå dersom kreftene blir for store under monteringen og dermed resulterer i at sporet som muttere ligger i blir deformert.



Figur 30: Viser plassering på bolter, muttere og mutterlåsing

Det er utformet spor i øvre del av innfestningene slik at både muttere og mutterlåsing kan plasseres i ønsket posisjon. Figur 31 viser disse sporene som er utformet i anleggsflaten i øvre del av innfestning. Det er meningen at mutterlåsing skal presses på plass eller limes slik at den sitter godt. Det blir ikke brukt lim på muttere da det er fare for at denne limen kan komme i kontakt med gjengene og dermed hindre enkel montering. Disse sporene blir skjult av gummistykkene (Figur 29) som limes på anleggsflaten før montering.



Figur 31: Viser spor for montering av muttere og mutterlåsing

3.6 Utvikling av konsept 5

3.6.1 Endring av den totale lengden

Konsept 4 er resultatet av produktutviklingen som er basert på tilgjengelig informasjon. Det er en begrensning i arbeidsområde på 3D-printeren som er tilgjengelig for produksjon av prototypen. Derfor er det utviklet et kortere konsept som er vist i Figur 32. Dette konseptet er nesten identisk med Konsept 4 men er utformet 58 mm kortere for å kunne produseres i Stratasys 450mc. I prosessen med å gjøre konseptet kortere var det ønskelig å beholde så mye som mulig av avstanden fra plater til holdeposisjon. Det ble gjort en del endringer i geometrien som utgjør forbindelsen mellom de to sidene av triathlon-styre helt i front av konseptet. Disse endringene går mer på utseende enn det funksjonelle. Som nevnt i notatene i Tabell 4 gjør det ikke noe om underarmene hviler oppå platene i stedet for at albuen det. Denne kortere versjonen kan altså fremdeles bli en god prototype selv med 58 mm reduksjon i total lengde.



Figur 32: Triathlon-styre Konsept 5

3.6.2 Tilpassing av Konsept 5 på sykkel-styre

Det er ønskelig å kunne finne den beste mulige klaringen mellom triathlon-styrets og sykkel-styre. Beskyttelsen som ligger mellom anleggsflatene vil komprimeres ved montering. Det ble 3D-printet flere modeller for å finne den korrekte klaringen. De fleste modellene ble printet uten rør og holdeposisjon for å unngå unødvendig printing. De siste modellene ble printet i full skala for å kunne få en følelse av passformen ved en påført kraft i holdeposisjon. Dette er viktig for å få en følelse av hvor mye gummi deformerer og dermed gir uønsket bevegelse i triathlon-styret. Disse første modellene i full skala kan anses for å være alfa-prototyper (2.1 Produktutviklingsprosessen). Figur 33 viser den optimale testmodellen av triathlon-styret som er montert på sykkel-styret. Den hadde en meget bra passform og ingen merkbar bevegelse ved påført kraft i holdeposisjon. Det har vært usikkert om konseptet kan bevege seg sidelengs under bruk men det var ikke mulig å bevege modellen sidelengs selv ved stor kraft. Klaringen ved anleggsflatene på denne modellen var på 0,35 mm.

Når triathlon-styreet skal monteres på sykkel-styret er det viktig å montere dette mest mulig mot midten. På grunn av den ujevne geometrien langs hele sykkel-styret vil passformen bli redusert dersom man ikke monterer triathlon-styret mest mulig på midten. Denne midtstillingen ved montering skjer ved øyemål og er omtrentlig. Eventuelle endringer i passformen vil bli tatt opp av gummien som ligger mellom anleggsflatene i innfestningene. Det var ikke lett å få gummistykkene på riktig plass mellom anleggsflatene ved montering. Det er antatt at dette problemet forsvinner ved å lime gummistykkene fast i prototypens anleggsflater.



Figur 33: Montering og tilpassing av triathlon-styre

Testmodellene er printet i Prusa MK4 og materialet som er brukt er PLA+. Som vist i Figur 33 er det utformet horisontale støtter på modellen. Da arbeidsområdet til Prusa MK4 er begrenset måtte modellen printes i tre deler og påføres horisontale støttestag slik at avstander ved montering skulle bli korrekte. Montering av de tre delene ble gjort ved bruk av lim.

Det er viktig å utføre den samme testen etter at prototypen er produsert i det endelige materialet. Grunnen til dette er at krymping, overflatekvalitet, fleksibilitet og andre faktorer varierer ved forskjellige materialer og kan dermed gi et annerledes resultat på passformen.

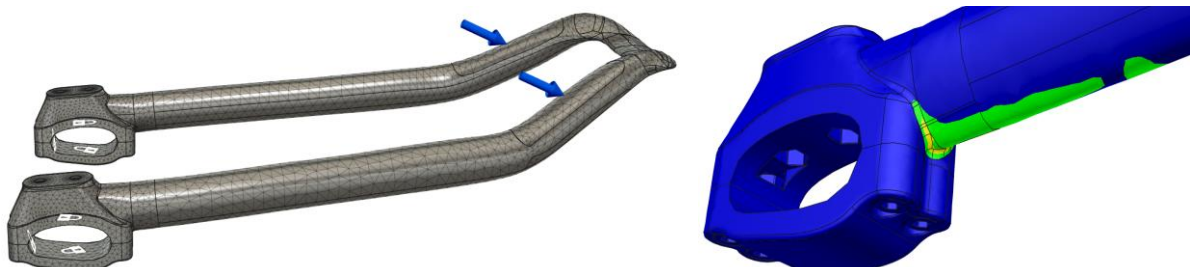
3.6.3 Simulering av Konsept 5

Ved beregningen av maksimal spenning (2.4 Krefter og momenter) ble det antydnet at det svakeste punktet i konstruksjonen var mellom innfestningen og rør. For å få en bedre forståelse for hvor spenningene er størst og hvor det svakeste punktet i konseptet kan være ble det utført en datasimulering. Simuleringen ble utført i Fusion 360 [3] med parameter som vist i Tabell 8. Disse parameterne er omtrentlige og basert på antagelser. Resultatet fra simuleringen er kun ment for å se hvor de største spenningene i konseptet kan oppstå og dermed er ikke spesifikke tall fra resultatet kommentert eller representert.

Tabell 8: Viser oppsett for simulering i Fusion 360 [3]

- Bevegelsesbegrensninger er satt på innfestningenes kontaktflater
- Kraftstørrelsen er på 300 N
- Kraftretningen er satt til 35 grader i forhold til horisontalt plan som en tilnærming til brukerens vinkel på armer.
- Materialet har en justert strekkfasthet og
- Bolter og muttere som holder klavene på plass er med i simuleringen men har ikke forspenning.
- Materialet er satt til en flytgrense på 77 MPa og strekkfasthet på 74 MPa i henhold til leverandørens spesifikasjoner [5, s. 14]

Figur 34 viser bilde av oppsett før simulering (venstre) og bilde av resultat etter simulering (høyre). Bevegelsesbegrensninger er vist som hengelåser på anleggsflatene mens kraften som er påført er vist med to blå piler. Kraften er påført omtrent i midten av holdeposisjonenes rør men en vinkel i forhold til horisontalt plan. Denne vinkelen på kreftene skal simulere at brukeren påfører kraft på holdeposisjonen uten at armene hviler på putene. Etter simulering av modellen oppstår det fargeforskjeller som representerer forskjellige spenninger og svakheter i modellen. Grønn farge illustrerer høye spenningskonsentrasjoner mens gul farge representerer enda høyere spenningskonsentrasjoner. Ved analyse kan man tydelig se at resultatet antyder det svakeste punktet til å være mellom innfestningen for sykkel-styret og rørene i konseptet som vist i Figur 34. Noe av spenningen strekker seg langs rørenes underside mens den største spenningskonsentrasjonen finner man i avrundingen ved innfestningen som illustrert med gul farge i figuren. Selv ved bruk av en oval form på rørene som gir styrke i konstruksjonen, viser simuleringen at dette er et punkt som kan være utsatt for høye spenningskonsentrasjoner.



Figur 34: Bilde av oppsett i Fusion 360 [3] før simulering (venstre) og bilde av resultat etter simulering (høyre)

3.6.4 Arbeidstegninger

Arbeidstegninger er viktige i en produktutviklingsprosess da det styrker kommunikasjonen og reduserer faren for misforståelser.

Arbeidstegninger for Konsept 5 er utarbeidet og ligger under Vedlegg D. På grunn av komplisert geometri og unaturlige former var det ikke mulig å målsette enkelte områder i Fusion 360 [3]. Disse arbeidstegningene vil fremdeles være veldig nyttige for å få en grundigere og raskere forståelse av hvordan konseptet er utformet. De vil også kunne være til stor hjelp dersom konseptet skal behandles av andre i fremtiden men da i tillegg til en STL-fil.

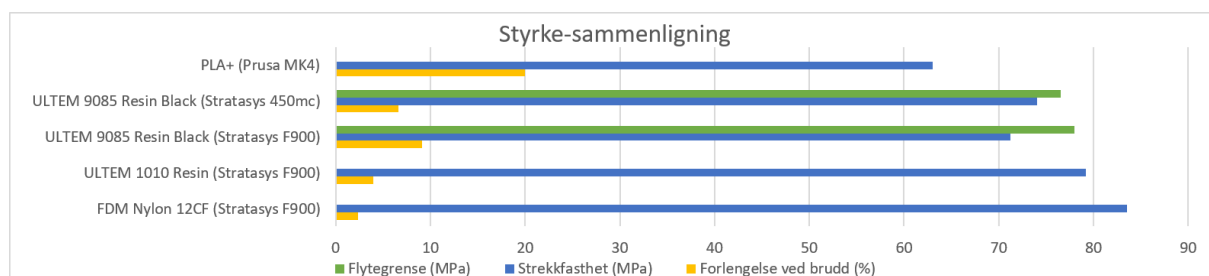
Den generelle overflateruheten for konseptet er ikke bestemt. Ved 3D-printing er det varierende grad av ruhet på grunn av FDM-metodens natur. På toppen og på sider av et 3D-print er det ofte mindre ruhet enn det er på undersiden av et 3D-print. Ved 3D-printing av en prototype kan man pusse eller modifisere produktet i etterkant dersom det skulle vise seg at ruheten er for høy. Ruheten i arbeidstegningene kan bestemmes på et senere tidspunkt dersom konseptet skal serieproduseres.

4 Materialvalg for prototype

Tabell 9 og Figur 35 viser materialene som er relevante for denne oppgaven. Tabell 9 inneholder ett material for konseptutvikling og de tre høy-ytelses materialene som er vurdert for produksjon av prototypen. Informasjon om flytegrense og forlengelse ved flyting av PLA+ var mangelfull i dokumentasjonen fra produsenten Esun [11]. Denne informasjonen har ikke betydning for oppgaven da PLA+ kun blir brukt for 3D-skriving ifm. konseptutviklingen der det ikke er behov for høy materialstyrke. PLA+ er tatt med i tabellen for å gi en viss sammenligning av de andre materialene. I dokumentasjonen fra Stratasys sine materialer ble det i hovedsak funnet tester utført på materialer som er printet ut med Stratasys F900. Disse materialene gir et godt sammenligningsgrunnlag, men som nevnt (2.3.4 3D printere som kan brukes i produktutviklingen) er det Stratasys 450mc som kan benyttes i forbindelse med denne oppgaven. Materialeegenskapene er til en viss grad avhengig av hvilken 3D skriver som er brukt. I Figur 35 står det oppført i parentes hvilke 3D-printer materialene er produsert på. Av de tre materialene som er vurdert er det kun ULTEM 9085 som er dokumentert testet for Stratasys 450mc. Resultatene for Stratasys sine materialer i Tabell 9 er produsert ved XZ-orientering. Testene fra Stratasys sine materialer er utført i henhold til ASTM D638 [12].

Tabell 9: Materialenes mekaniske egenskaper

Mekaniske egenskaper							
3D Skriver	Fabrikant	Material	Flytegrense (MPa)	Forlengelse ved flyting (%)	Strekkfasthet (MPa)	Forlengelse ved brudd (%)	Elastisitetsmodul (Gpa)
Prusa MK4	Esun	PLA+	-	-	63	20	1,973
450mc	Stratasys	ULTEM 9085 Resin Black	76,5	6,2	74	6,6	2,04
F900	Stratasys	ULTEM 9085 Resin Black	78	6,4	71,2	9,1	2,13
F900	Stratasys	ULTEM 1010 Resin	Ingen flyting	Ingen flyting	79,2	4,0	3,04
F900	Stratasys	FDM Nylon 12CF (Carbon Fiber)	Ingen flyting	Ingen flyting	83,5	2,4	9,46



Figur 35: Styrke-sammenligning for materialene

I tillegg til styrke er det også andre egenskaper som kan være relevante ved materialutvelgelse. Tabell 10 viser ytterligere informasjon rundt de forskjellige høy-ytelses materialene som er vurdert.

Tabell 10: Informasjon om vurderte materialer

ULTEM 9085 Resin	ULTEM 9085 Resin er et høy-ytelses termoplast materiale med utmerkede fysiske egenskaper for høye krav og spesialapplikasjoner. Det er blant de sterkeste Stratasys FDM-materialer, og dens høye styrke/vekt-ratio gjør at den er godt egnet for applikasjoner som krever høy styrke og lav vekt. ULTEM 9085 har også høy slagfasthet og meget god kjemisk toleranse som oppfyller flere standarder for flamme, røyk og giftighetskrav. [5]
ULTEM 1010 Resin	ULTEM 1010 Resin er et høy-ytelses polyeterimid termoplast materialet. Det har høy varmebestandighet samtidig som det har den laveste ekspansjonskoeffisienten blant FDM-materialene fra Stratasys. Det er blant de sterkeste av Stratasys FDM-materialer. [13]

FDM Nylon 12CF (Carbon Fiber)	FDM Nylon 12CF kombinerer Nylon 12 og 35% oppkuttet karbonfiber for å oppnå den høyeste bøyestyrken og stivhet/vekt-ratio. Dette materialet er det sterkeste materialet som Stratasys tilbyr av FDM-materialer. På grunn av den høye slitastjen til dette materialet så kreves det en systemoppgradering av printerens hode og drivhjul for å kunne bruke dette materialet. [14]
-------------------------------	--

FDM Nylon 12CF (Carbon Fiber) er det sterkeste av de vurderte materialene, men mangler dokumentasjon på UV-bestandighet og har en ekstra kostnad knyttet til 3D-printingen grunnet slitasje på printe-hodet ved printing.

ULTEM-materialene har dokumentert en omfattende UV-test over en tidsperiode på 1000 timer der materialene gjennomgår alternerende UV-bestråling og fuktighet iht ASTM G154 [15]. Det er en stor fordel at materialene er UV-bestandige da prototypen utvikles for utendørs bruk. Tabell 11 gir oversikt over UV-bestandige egenskaper. Materialene som tabellen viser er printet ut i Stratasys F900 og har følgende resultater for ULTEM 9085 og ULTEM 1010. Her ser man at ULTEM 9085 er mer eller mindre upåvirket av UV-eksponeringstesten mens ULTEM 1010 faktisk har blitt sterkere ved eksponering av UV-stråling og fuktighet.

Tabell 11: Sammenligning av UV-eksponering for ULTEM-materialene [5, s. 14] og [14, s. 7]

UV-bestandige egenskaper						
Material	Kondisjon	Flytegrense (Mpa)	Strekfasthet (Mpa)	Forlengelse ved brudd (%)	Forlengelseøkning ved brudd (%)	Elastisitetsmodul (Gpa)
ULTEM 9085 Resin	Ingen UV-eksponering	56,0	55,7	3,5	-	2,02
	UV-eksponering	55,5	55,6	3,7	-0,1	2,08
ULTEM 1010 Resin	Ingen UV-eksponering	57,1	59,1	2,6	-	2,59
	UV-eksponering	66,4	65,7	2,9	11,2	2,61

Når det skal velges materialet for prototypen er det viktig at egenskapene til materialet ikke svekkes over tid. FDM Nylon 12CF (Carbon Fiber) faller bort da det ikke er fremkommet i dokumentasjonen at dette materialet er UV-bestendig. ULTEM 9085 og ULTEM 1010 er begge UV-bestandige, men ULTEM 1010 er en del sterkere enn ULTEM 9085. Tabell 9 viser at ULTEM 1010 ikke har flyting ved høy belastning. Det vil si at materialet er veldig sprøtt og vil knekke før man vil oppdage en varig deformasjon dersom prototypen blir overbelastet. Et viktig aspekt ved dette er faren ved splintring og skarpe, skadelige kanter som kan gi alvorlige konsekvenser ved et eventuelt brudd. Siden ULTEM 1010 er et veldig sprøtt materiale øker det faren for splintring ved brudd. Valgt materiale for

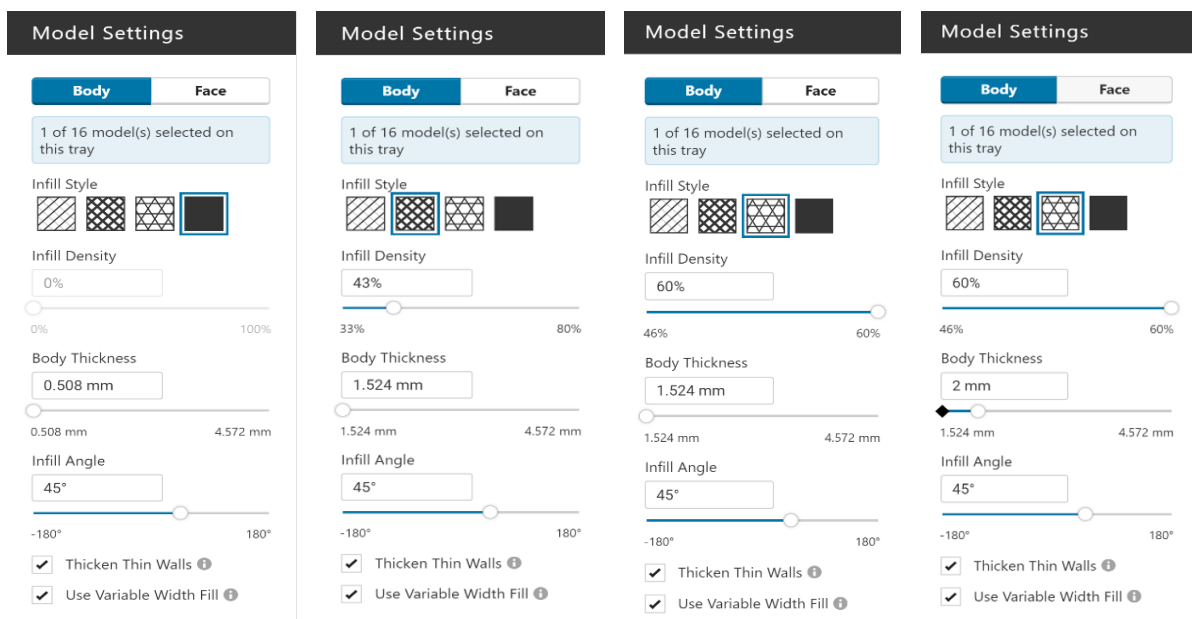
prototypen blir da ULTEM 9085 Resin Black. Dette materialet er det svakeste av de tre vurderte materialene, men er allikevel et godt valg da det er relativt sterkt, UV-bestendig, har kjemisk toleranse og er litt duktilt som vil gi en deformasjon før brudd.

5 Materialtesting og innstillinger for 3D-printer

Materialet som er valgt for produksjon av prototypen er ULTEM 9085 Resin Black. Det ble utført flere strekktester og bøyningstester for å få en forståelse av hvordan dette materialet oppfører seg når det blir utsatt for belastning. Det er også ønskelig å finne ut om det er mulig å velge en mønsterprofil og mønsterdensitet som gjør at man kan få materialbesparelser men samtidig god styrke.

Modellinnstillinger som er valgt for produksjon av prøvestykkene er vist i Figur 36. Innstillingene for mønsterdensitet og veggtykkelse er anbefalt av programmet [16] utenom veggtykkelsen i den siste modellinnstillingen i Figur 36 som er satt til 2 mm. Denne endringen i veggtykkelsen er gjort for å se om det blir endring i prøveresultatene.

Modellinnstillingene er referert henholdsvis fra venstre der første innstilling for prøvestykker har solid mønsterprofil. Denne innstillingen vil ikke produsere mønster men vil gi prøvestykker som er fullstendig solid uten hulrom i strukturen. Den andre modellinnstillingen i Figur 36 har sparse mønsterprofil. Dette mønsteret består av firkantede, rette profiler og har 43 % mønsterdensitet. Tredje (Hex 1) og fjerde (Hex 2) modellinnstilling i Figur 36 har like modellinnstillinger utenom veggtykkelse. Her har mønsteret en heksagonal form og en mønsterdensitet på 60 %.



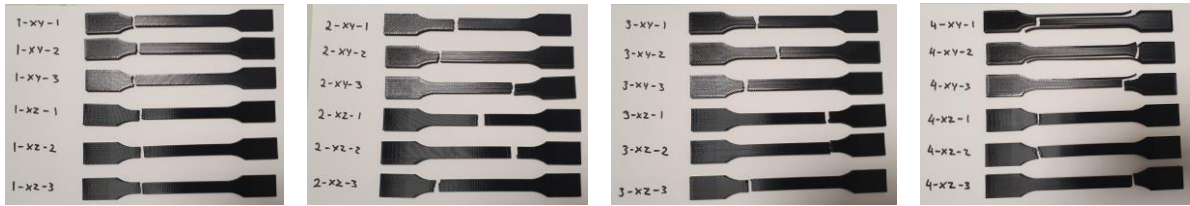
Figur 36: Viser innstillinger for 3D-printing av strekktester og bøyningstester. Innstillingene blir referert henholdsvis fra venstre som Solid, Sparse, Hex 1 og Hex 2. Illustrert i GrabCAD Print [16]

De fleste produkter som er produsert med FDM-metoden har styrke som er avhengig av hvilken orientering produktet er produsert ved. I den forbindelse er det produsert prøvestykker i to forskjellige orienteringer, XY og XZ. Det ble produsert 48 prøvestykker i Stratasys 450mc i ULTEM 9085 Resin. Prøvestykkene har to forskjellige orienteringer og fire forskjellige innstillinger for mønsterprofil, mønsterdensitet og veggtykkelse. For hver kombinasjon av modellinnstilling og orientering vil det bli testet tre prøver slik at et gjennomsnitt av disse tre prøvene kan bli representert som et resultat. Strekkprøver og bøyningstestene er utført i henhold til standardene ISO 527-1:2019 [7], ISO 527-2:2012 [8] og ISO 178:2019 [9]. Maskinen som er brukt for strekktester og bøyningstester er en Instron 5985 som er avbildet i Figur 37. Den er av modell: 5985 og har serienummer: 5985L4914. Under prøvene ble det benyttet en lastcelle på 250KN.



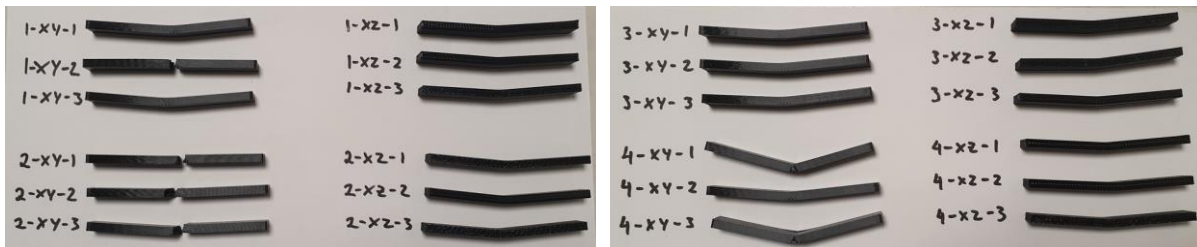
Figur 37: Viser Instron 5985 ved UiS som er brukt for strekktester og bøyningstester

Figur 38 viser prøvestykkene sammen med et identifikasjonsnummer etter strekktesting. Identifikasjonsnummeret indikerer henholdsvis {modellinnstilling - orientering – prøvenummer}. Man kan se at alle prøvene er strukket til brudd. De fleste bruddene har skjedd normalt på lengderetningen av prøvestaven inne i prøveområdet. Tre av prøvene har spesielle brudd langs hele lengden av prøvestavens prøveområde. Disse tre prøvene er produsert i XY-orientering og har Hex 2 modellinnstillinger som vist i Figur 36. Det ble registrert at disse spesielle bruddene begynte før maksimal spenning ble oppnådd.



Figur 38: Viser prøvestykker etter strekktesting

Figur 39 viser prøvestykkene sammen med et identifikasjonsnummer etter bøyningstesting. Identifikasjonsnummeret indikerer også her henholdsvis {modellinnstilling - orientering – prøvenummer}. Kun noen av prøvene i figuren har brudd. De fleste av prøvene er varig deformert men intakte.

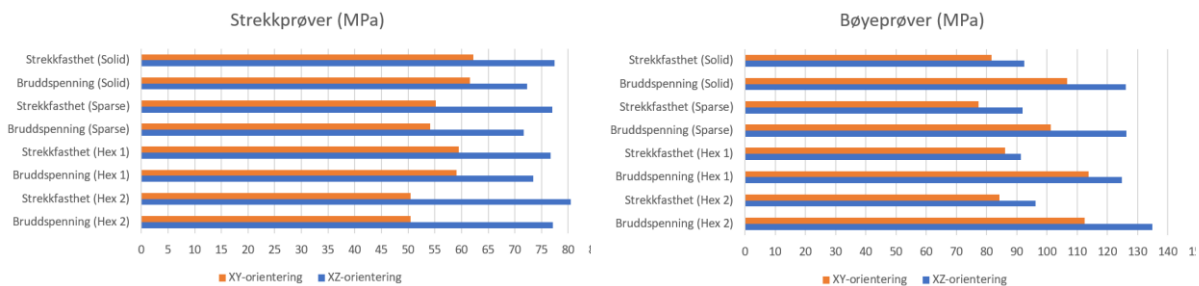


Figur 39: Viser prøvestykker etter bøyningstesting

Et gjennomsnitt av tre prøver for hver kombinasjon av modellinnstilling og orientering er beregnet slik at et mest mulig realistisk resultat kan fremlegges. Strekkfasthet og bruddspenning fra resultatene i Figur 38 og Figur 39 er representert i Tabell 12 nedenfor. Tabellen inneholder en samling av alle beregnede resultater i begge orienteringer for både strekkprøver og bøyingsprøver. Resultatene er oppgitt i MPa. For å få en bedre oversikt over resultatene er en samling av disse representert i Figur 40.

Tabell 12: Sammenligning av prøveresultater ved forskjellige mønster og orienteringer. Prøveresultatene er oppgitt i MPa

Mønster	Prøve	Type	XY	XZ
Solid	Strekkrørve	Strekfasthet	62,17	77,42
		Bruddspenning	61,61	72,31
	Bøyningsprøve	Strekfasthet	81,67	92,4
		Bruddspenning	106,73	126,1
Sparse	Strekkrørve	Strekfasthet	55,19	77,04
		Bruddspenning	54,18	71,66
	Bøyningsprøve	Strekfasthet	77,28	91,98
		Bruddspenning	101,28	126,3
Hex 1	Strekkrørve	Strekfasthet	59,45	76,69
		Bruddspenning	59,11	73,41
	Bøyningsprøve	Strekfasthet	86,1	91,31
		Bruddspenning	113,79	124,81
Hex 2	Strekkrørve	Strekfasthet	50,44	80,47
		Bruddspenning	50,45	77,14
	Bøyningsprøve	Strekfasthet	84,32	96,15
		Bruddspenning	112,42	134,97



Figur 40: Sammenligning av prøveresultater for de forskjellige orienteringene

Når prøveresultatene analyseres blir det tatt utgangspunkt i bøyningstestene som er utført men på grunn av de spesielle bruddene i strekkprøvene vil også disse bli lagt til grunn.

En solid mønsterprofil vil i utgangspunktet være sterkst da den ikke inneholder hulrom i modellen. På grunn av FDM-prosessen og varierende grad av innsmelting mellom lagene kan det oppstå uregelmessigheter knyttet til dette. Det ville i utgangspunktet være naturlig å velge modellinnstilling Hex 2 ved XZ orientering da disse prøvene ga et meget sterkt resultat i både strekktester og bøyningstester. Som nevnt oppsto det brudd langs hele prøvestavens prøveområde i tidlig fase ved strekktester utført ved Hex 2 modellinnstillinger og XY-orientering. På grunn av risiko for at slike spesielle brudd kan oppstå i prototypen er det ønskelig å velge en annen modellinnstilling for 3D-printingen.

Modellinnstilling Hex 1 har relativt høy styrke basert på prøveresultatene, men den har en mønsterdensitet på 60 % som vil gi redusert vekt og materialbesparelser. Med dette til grunn

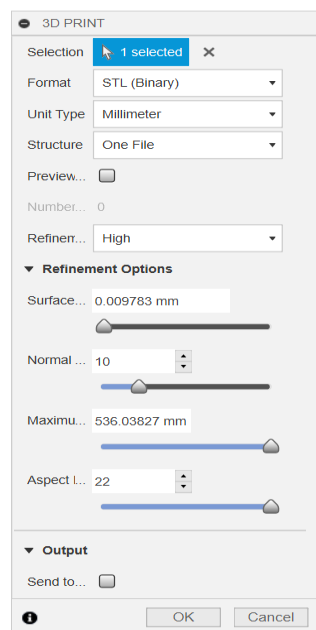
konkluderes det med at Hex 1 modellinnstillinger og XZ-orientering gir den beste produksjonsmetoden for prototypen.

6 Produksjon av prototype

6.1 Generering av STL-fil

Som nevnt i 2.3.2 Slicer-program trenger man en STL-fil som slicer-programmet kan bearbeide. Denne filen blir brukt for å lage 3D-printeprogrammet til prototypen. Det trengs en konvertering fra Fusion 360 [3] sin standard filtype (f3d [3]) til STL-fil.

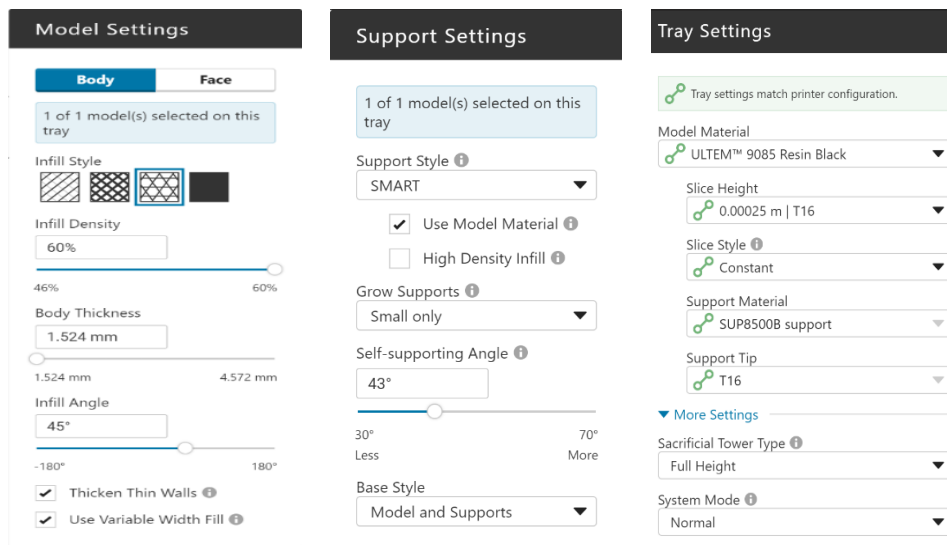
Fusion 360 [3] har en egen funksjon for rask konvertering av filer for 3D-printing. Det ble ikke gjort noen endringer i innstillingene i denne funksjonen ved generering av STL-filen. Figur 41 viser denne funksjonen samt de uredigerte innstillingene som ble brukt. Versjonen av Fusion 360 som ble brukt da genereringen fant sted var «Fusion 2.0.18961 x86_64» [3].



Figur 41: Innstillinger ved generering av STL-fil illustrert i Fusion 360 [3]

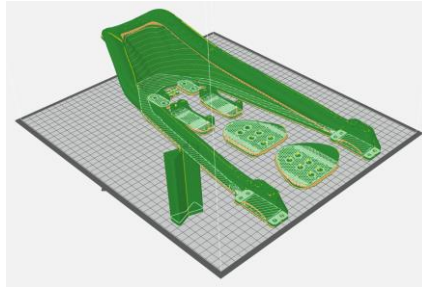
6.2 Innstillinger for 3D-printer

Innstillingene for 3D-printingen i Stratasys 450mc er vist i Figur 42. Hovedinnstillingene i slicer-programmet er satt til heksagonal mønsterprofil, mønsterdensitet til 60 %, mønstervinkel til 45 grader og en veggtykkelse på 1,524 mm. Dette er samme innstillinger som ga det mest passende prøveresultatet for strekk og bøyingsprøvene. Spesifikke parameter for valgt material ligger innebygd i 3D-printeren og vil være de samme som for strekktester og bøyningstester. Disse parameterne er ikke nevnt i databladet [5] for materialet, men det er mulig at denne informasjonen ikke er offentlig kjent.



Figur 42: Innstillinger for Stratasys 450mc. Illustrert i GrabCAD Print [16]

Orienteringen er satt til XZ med hensyn til det svakeste punktet i konseptet som er mellom rør og innfestning. På grunn av den runde og ovale formen vil ikke orienteringen i dette punktet ha veldig mye å si for styrken. Figur 43 viser et bilde fra simulering av programmet for 3D-printingen av prototypen illustrert i GrabCAD Print [16]. I simuleringen kan man se en detaljert illustrasjon av hvordan Stratasys 450mc vil 3D-printe prototypen. Eventuelle feil vil bli oppdaget i denne delen av programmet.



Figur 43: Viser simulering av 3D-printingen illustrert i GrabCAD Print [15]

6.3 3D-printet prototype

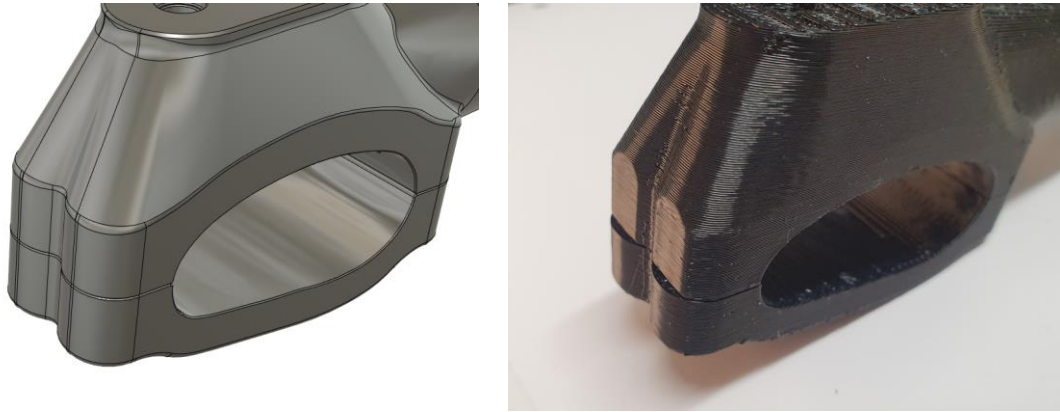
Figur 44 viser bilder av prototypen som er ferdig 3D-printet. Bilde til venstre i figuren viser prototypen rett før den blir tatt ut av 3D-printeren og bilde til høyre viser prototypen etter at støttemateriale har blitt fjernet. Kammeret i 3D-printeren holder høy temperatur så varmebestandige hansker kreves i denne prosessen. Støttematerialet er relativt enkelt å ta bort når det er varmt men med en gang man tar produktet ut av kammeret vil nedkjølingen begynne. Det er derfor viktig å jobbe raskt ved fjerning av støttemateriale med en gang prototypen tas ut av kammeret.



Figur 44: Bilde av prototype i 3D-printer (venstre) og bilde av prototype etter kjøling og fjerning av støttematerialet (høyre)

Etter fjerning av støttematerialet ble det oppdaget en feil helt bakerst på innfestningen til prototypen. Figur 45 viser bilde av 3D-modellen (venstre) og bilde av prototypen (høyre). Her kan man se at prototypen ikke har blitt 3D-printet i full lengde. Måling viser at øvre del av innfestning mangler 1 mm i forhold til nedre del av innfestning. Det er usikkert hvorfor dette har skjedd men det er antatt at modellen er plassert utenfor arbeidsområdet til 3D-printeren. Det ble ikke produsert en ny prototype da feilen anses for å være ubetydelig. Simuleringen av konseptet antydte at dette ikke er det svakeste området i konstruksjonen. Selv med en liten svekkelse i dette området vil mest sannsynlig ikke svekke

helheten i konstruksjonen. Prototypens formål om testing av passform og bruk vil fremdeles bli ivaretatt selv med denne feilen. Det er antatt at denne feilen ikke er tilstede ved produksjon av en ny prototype forutsatt at modellen blir plassert inne i 3D-printerens arbeidsområde.



Figur 45: Vise bilde av 3D-modellen (venstre) og bilde av prototypen (høyre).

Det var mulig å påføre er del sidebevegelse på innfestningene i prototypen når den ikke var montert. En slik sidebevegelse er mulig på grunn av den beskjedne forbindelsen mellom venstre og høyre rør helt i front. Dette er ikke ansett som et stort problem så lenge gummien mellom anleggsflatene hindrer sidebevegelse når prototypen er montert. Når dette er sagt kan det oppstå et problem dersom mangel på stivhet i konseptet fører til en feilmontering der avstanden på platene er feil. I et slikt tilfellet vil man skape spenninger når boltene strammes som igjen vil føre til et svekket konsept.

7 Resultat

Figur 46 viser prototypen som er montert på sykkel-styret. Dette kan anses for å være en beta-prototype (2.1 Produktutviklingsprosessen) som er funksjonell og er produsert i det endelige materialet.



Figur 46: Viser prototypen montert på sykkel-styret

Passformen på innfestningen var korrekt slik som den var ved den tidligere alfa-prototypen (3.6.2 Tilpassing av Konsept 5 på sykkel-styre) som ble 3D-printet i PLA+. Det har derfor vært ubetydelige forskjeller i 3D-printingen mellom PLA+ og ULTEM 9085 Resin Black. Etter at beskyttelsen på anleggsflatene ble limet på var det ikke problemer med montering slik som det var med alfa-prototypen (3.6.2 Tilpassing av Konsept 5 på sykkel-styre). Det var ikke mulig å bevege innfestningene etter monteringen.

Kunden utførte en prøvetur med prototypen under trygge forhold. Etter prøvetur var kunden fornøyd med resultatet og konkluderte med at konseptet gir ergonomiske fordeler. Dette er basert på kundens erfaringer fra andre triathlon-sykler. Denne sittestillingen gir lav luftmotstand på grunn av et redusert areal mot fartsretningen slik som beskrevet tidligere (3.2 Innhenting av kundebehov ved Møte 1).

Videre testing under normale forhold vil kunne gi ytterligere svar på ergonomi, luftmotstand og andre funksjonelle egenskaper.

8 Konklusjon

Resultatene og erfaringene i denne prosessen ligger til grunn for konklusjonen i rapporten. Resultatet av konseptutviklingen og 3D-printingen ga en funksjonell prototype som har den korrekte passformen for innfestning. Prototypen gir et godt utgangspunkt for videreutvikling eller produksjon av konseptet.

Prototypen gir ergonomiske fordeler og en sittestilling som minimerer arealet mot fartsretningen. Dette gir lav luftmotstand og en besparelse i kreftene til brukeren. Innfestningens passform er korrekt og hindrer dermed uønsket sidebevegelse. Dersom konseptet skal videreutvikles eller produseres for normal bruk bør følgende undersøkes.

Simuleringen som ble gjort antydte at det var et svakt punkt mellom innfestning og rør.

Konstruksjonen har en oval form for å gi styrke i dette punktet men ytterligere tiltak bør gjøres her for å gi økt styrke. Kunden var fornøyd med den totale lengden på prototypen men dersom lengden skal økes i en eventuell videreutvikling av konseptet må det tas ytterligere hensyn her da økt lengde vil medføre økt moment og økte spenninger i svake punkter i konseptet.

Dersom det er ønskelig med økt stivhet i prototypen for å unngå spenninger ved feilmontering kan det konstrueres en mer solid forbindelse mellom rør i front av prototypen. Denne endringen vil gi et annet utseende og eliminere faren for feilmontering, men vil ikke endre konseptets funksjon.

Før produksjon av endelig konsept må det utføres en detaljanalyse av prototypens styrke for å ivareta sikkerheten til brukeren. Detaljanalysen bør inneholde beregninger på spenninger som kan oppstå i materialet ved normal bruk men også ved en kollisjon. Detaljanalysen bør også inneholde beregninger på forspenning av bolter slik at tiltrekkingsmomentet ikke blir for stort for prototypens materiale ved boltene og mutternes anleggsflater. Det må undersøkes om sykkelen og sykkel-styret kan tåle det vrिमomentet som blir påført av triathlon-styret.

Dersom det blir aktuelt med serieproduksjon av et endelig design er det viktig at det blir utformet en passform for innfestning som passer alle aktuelle sykkel-styrer. Det er en komplisert geometri på anleggsflatene i innfestningene. Det er usikkert om dette skyldes produksjonsmetoden for sykkel-styrene eller en annen årsak. Dersom alle de produserte sykkel-styrene er helt like er ikke dette et problem. Dersom produksjonen av sykkel-styrer ikke gir ensartethet kan man øke tykkelsen på beskyttelsen ved anleggsflatene. Dette vil resultere i at triathlon-styrene som blir serieprodusert vil kunne passe til samtlige serieproduserte sykkel-styrer. Denne endringen vil imidlertid gi økt fleksibilitet i triathlon-styret ved påført kraft.

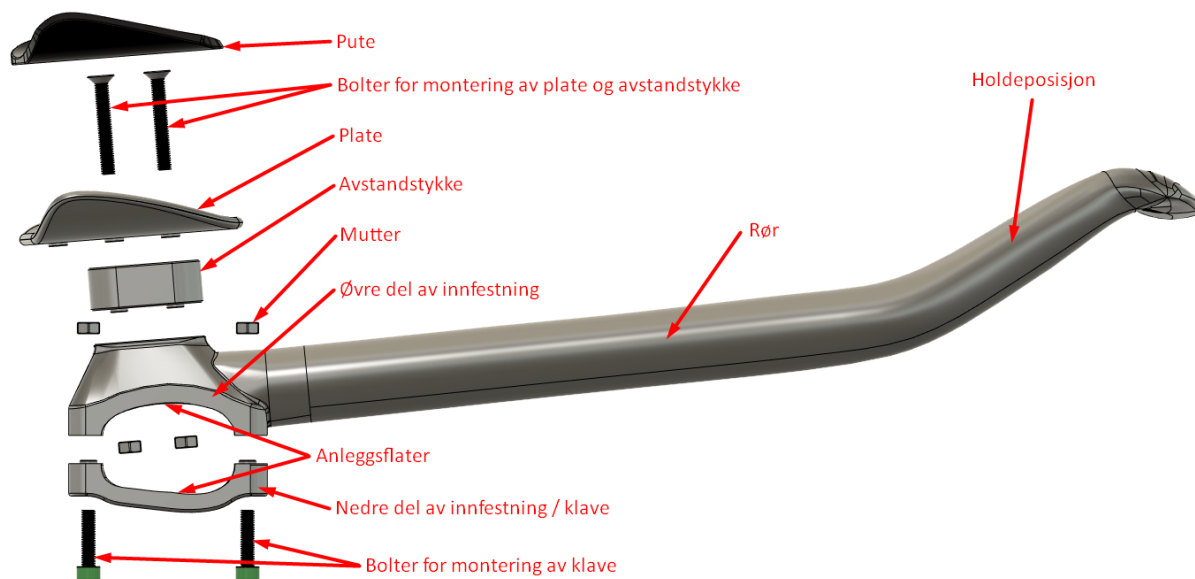
9 Referanser

- [1] K. T. Ulrich, S. D. Eppinger, og M. C. Yang, *Product Design and Development*, 7. New York, USA: McGraw-Hill Education, 2020.
- [2] «Kumar et al. - 2012 - Industrial Application of Point Cloud STL Data f.pdf». Åpnet: 19. april 2024. [Online]. Tilgjengelig på: https://daaam.info/Downloads/Pdfs/science_books_pdfs/2012/Sc_Book_2012-038.pdf
- [3] «Fusion 360». Autodesk, 2024.
- [4] A. Alafaghani, A. Qattawi, og M. A. Ablat, «Design Consideration for Additive Manufacturing: Fused Deposition Modelling», *Open J. Appl. Sci.*, bd. 7, nr. 6, Art. nr. 6, jun. 2017, doi: 10.4236/ojapps.2017.76024.
- [5] «mds_fdm_ultem9085_1022a.pdf». Åpnet: 20. april 2024. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.stratasys.com/siteassets/materials/materials-catalog/fdm-materials/ultem-9085/mds_fdm_ultem9085_1022a.pdf?v=48d28d#ULTEM%E2%84%A2%209085%20Datasheet
- [6] H. G. Lemu, *Dimensjonering av maskinelementer (Kompendium i fag MSK210 Maskinkonstruksjon)*. Stavanger: Universitetet i Stavanger, 2020.
- [7] *Plastics — Determination of tensile properties — Part 1: General principles*, ISO 527-1:2019. 2019. Åpnet: 20. april 2024. [Online]. Tilgjengelig på: <https://online.standard.no/nb/iso-527-1-2019-3>
- [8] *ISO 527-2:2012 Plastics — Determination of tensile properties — Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics*, ISO 527-2:2012. 2012. Åpnet: 20. april 2024. [Online]. Tilgjengelig på: <https://online.standard.no/nb/iso-527-2-2012-3>
- [9] *Plastics — Determination of flexural properties*, ISO 178:2019. 2019. Åpnet: 20. april 2024. [Online]. Tilgjengelig på: <https://online.standard.no/nb/iso-178-2019-3>
- [10] «Aeroad CF SLX 8 Di2». Åpnet: 23. mai 2024. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.canyon.com/no-no/landeveis sykler/aero-bikes/aeroad/cf-slx/aeroad-cf-slx-8-di2/3955.html>
- [11] «eSUN_PLA+-Filament_TDS_V4.0.pdf». Åpnet: 20. april 2024. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.esun3d.com/uploads/eSUN_PLA+-Filament_TDS_V4.0.pdf
- [12] *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*, ASTM D638:22. 2022. Åpnet: 20. april 2024. [Online]. Tilgjengelig på: <https://online.standard.no/nb/astm-d638-22>
- [13] «mds_fdm_ultem-1010-resin_0224a.pdf». Åpnet: 20. april 2024. [Online]. Tilgjengelig på: https://www.stratasys.com/siteassets/materials/materials-catalog/fdm-materials/ultem1010/mds_fdm_ultem-1010-resin_0224a.pdf?v=49221c
- [14] «material.datasheet-fdm-nylon-12cf.pdf». Åpnet: 20. april 2024. [Online]. Tilgjengelig på: <https://www.stratasys.com/siteassets/materials/materials-catalog/fdm-materials/nylon-12cf/material.datasheet-fdm-nylon-12cf.pdf?v=490354#FDM%20Nylon%2012CF%20Material%20Datasheet>
- [15] *Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for Exposure of Materials*, ASTM G154. 2023. Åpnet: 20. april 2024. [Online]. Tilgjengelig på: <https://online.standard.no/nb/astm-g154-23>
- [16] «GrabCAD Print». Stratasys Inc., 2024.

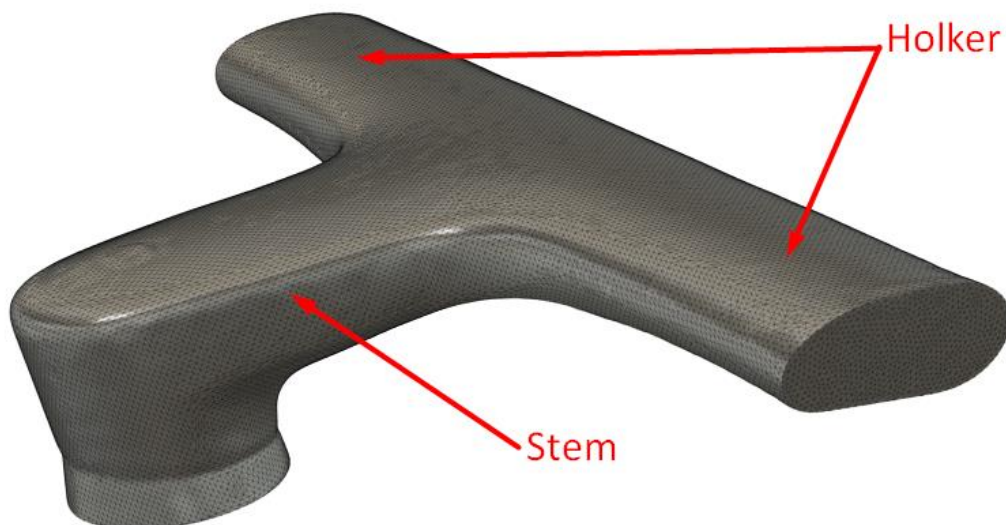
Vedlegg A

Vedlegg A 1: Oversikt og begreper over sammenstilling av Triatløns-styre Konsept 5 1

Vedlegg A 2: Oversikt over begreper av Sykkel-styret..... 1



Vedlegg A 1: Oversikt og begreper over sammenstilling av Triatløns-styre Konsept 5



Vedlegg A 2: Oversikt over begreper av Sykkel-styret

Vedlegg B

Vedlegg B 1: GANT-skjeama fra forstudien som viser oversikt over arbeidstrukturen 2

Måned	Januar				Februar					Mars				April				Mai		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Informasjonssamling	■	■								■	■	■								
Forstudie		■		■	■															
Bli kjent med Fusion 360				■	■															
Konseptutvikling				■	■		■	■												
Rapportskriving					■		■			■	■	■		■		■	■			
Beregning av krefter/analyse							■													
Screeningprosess								■												
Designutvikling								■		■	■	■		■						
Bli kjent med 3D-printere/programmer										■										
3D-printing av testemner											■									
Strekk og bøyetesting												■								
Utarbeide 2D arbeidstegninger														■						
3D-printe endelig design														■						
Dokumentere miljøavtrykk																■				
Ferdigstille rapport																	■			■

Vedlegg B 1: GANT-skjeama fra forstudien som viser oversikt over arbeidstrukturen

Vedlegg C

Vedlegg C 1: Bilde av Konsept 5 fra høyre, illustrert i Fusion 360 [3].....	3
Vedlegg C 2: Bilde av Konsept 5 ovenfra, illustrert i Fusion 360 [3]	4
Vedlegg C 3: Bilde av Konsept 5 forfra, illustrert i Fusion 360 [3]	4
Vedlegg C 4: Bilde av Konsept 5 skrått bakfra, illustrert i Fusion 360 [3]	5
Vedlegg C 5: Bilde av Konsept 5 skrått forfra, illustrert i Fusion 360 [3]	5
Vedlegg C 6: Bilde av Konsept 5 skrått bakfra med puter, illustrert i Fusion 360 [3]	6



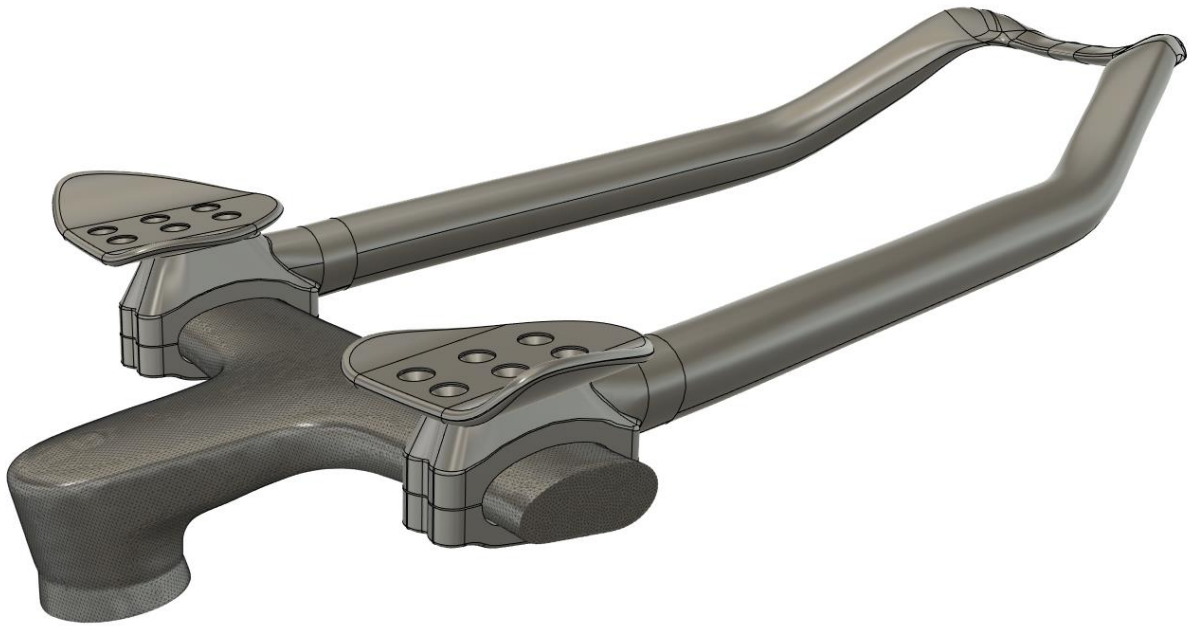
Vedlegg C 1: Bilde av Konsept 5 fra høyre, illustrert i Fusion 360 [3]



Vedlegg C 2: Bilde av Konsept 5 ovenfra, illustrert i Fusion 360 [3]



Vedlegg C 3: Bilde av Konsept 5 forfra, illustrert i Fusion 360 [3]



Vedlegg C 4: Bilde av Konsept 5 skrått bakfra, illustrert i Fusion 360 [3]



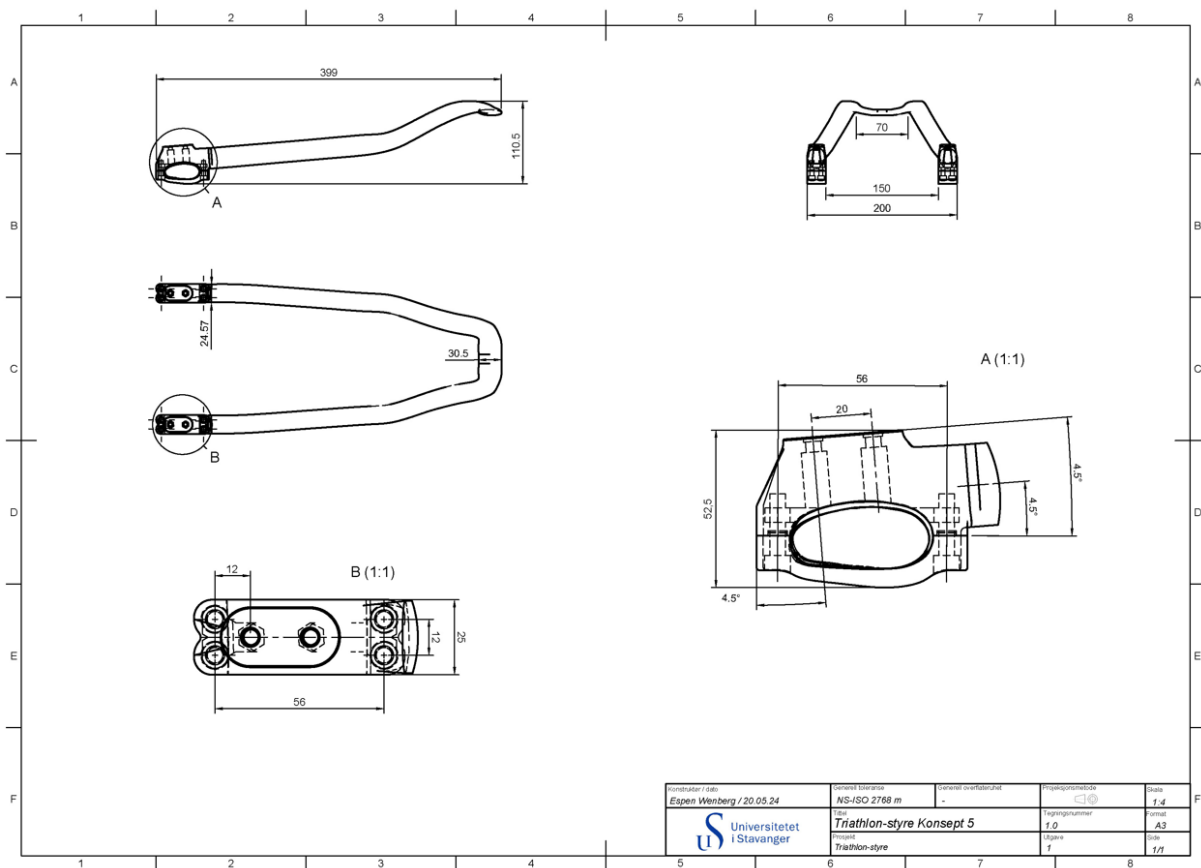
Vedlegg C 5: Bilde av Konsept 5 skrått forfra, illustrert i Fusion 360 [3]



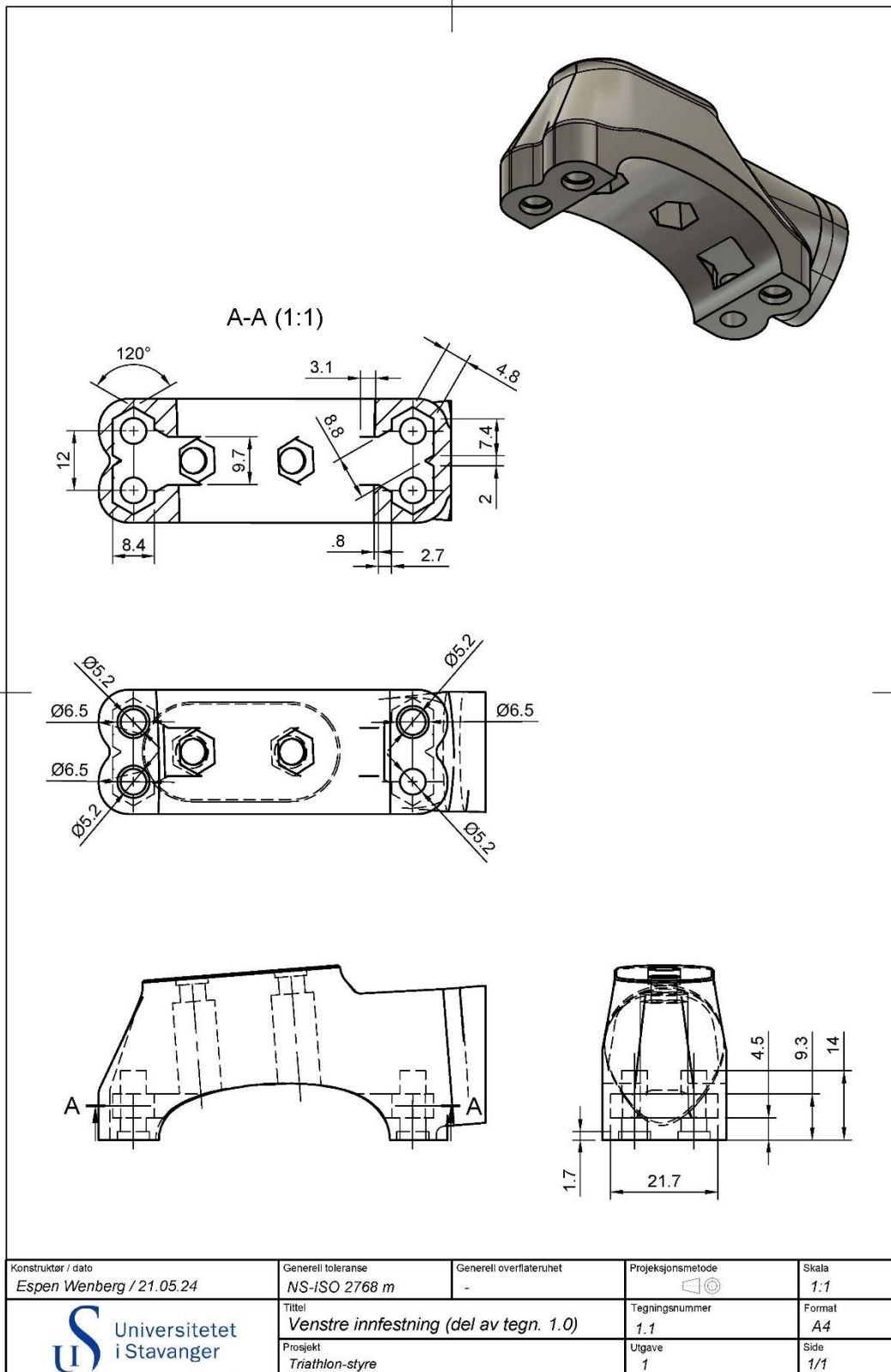
Vedlegg C 6: Bilde av Konsept 5 skrått bakfra med puter, illustrert i Fusion 360 [3]

Vedlegg D

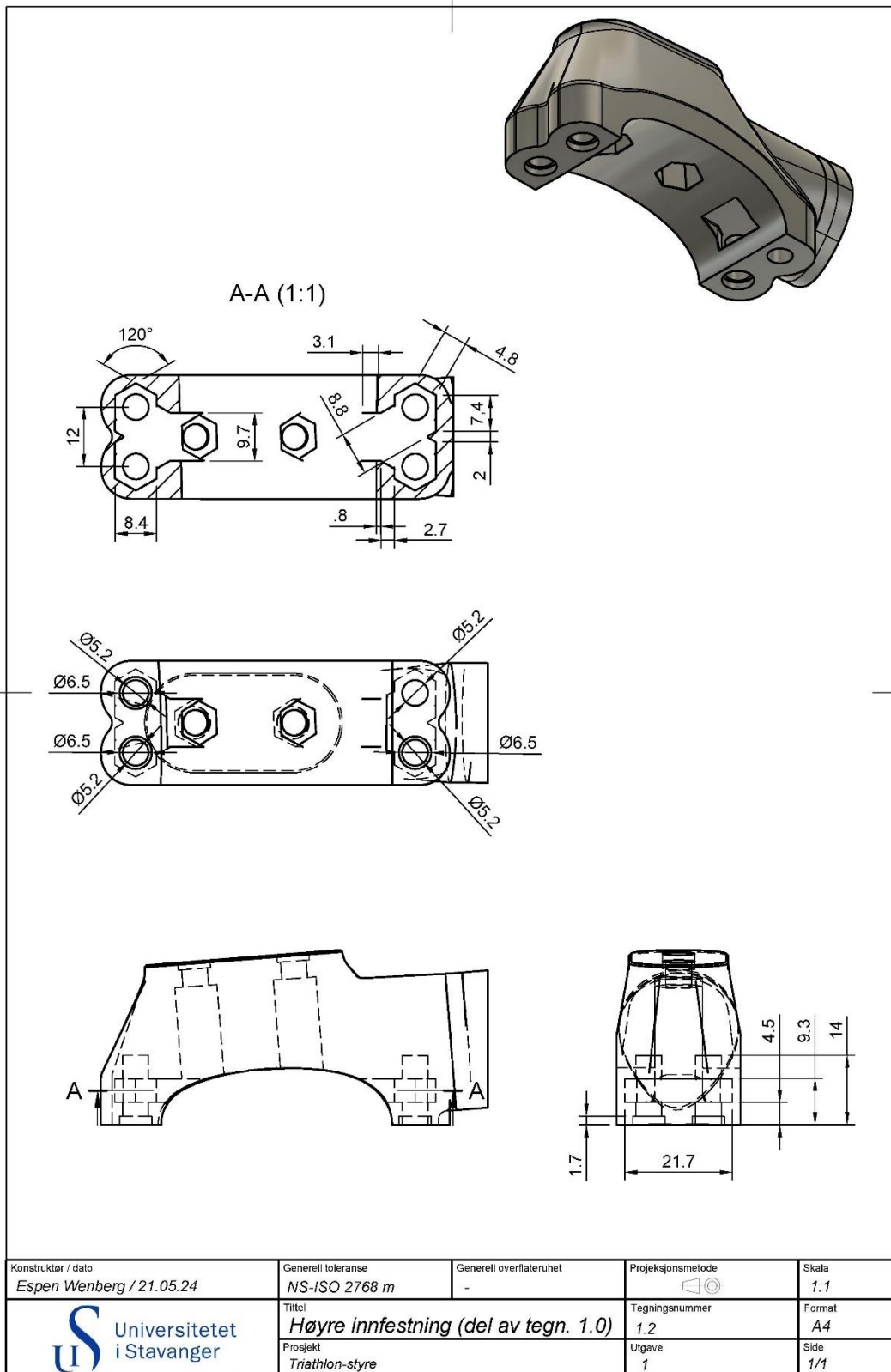
Vedlegg D 1: Arbeidstegning, Triathlon-styre Konsept 5 - Tegn.nr: 1.0.....	7
Vedlegg D 2: Arbeidstegning, Venstre innfestning - Tegn.nr: 1.1	8
Vedlegg D 3: Arbeidstegning, Høyre innfestning - Tegn.nr: 1.2	9
Vedlegg D 4: Arbeidstegning, Klave (venstre side) - Tegn.nr: 2.0.....	10
Vedlegg D 5: Arbeidstegning, Klave (høyre side) - Tegn.nr: 2.1	11
Vedlegg D 6: Arbeidstegning, Avstandstykke - Tegn.nr: 3.0.....	12
Vedlegg D 7: Arbeidstegning, Plate (venstre side) - Tegn.nr: 4.0	13
Vedlegg D 8: Arbeidstegning, Plate (høyre side) - Tegn.nr: 4.1.....	14



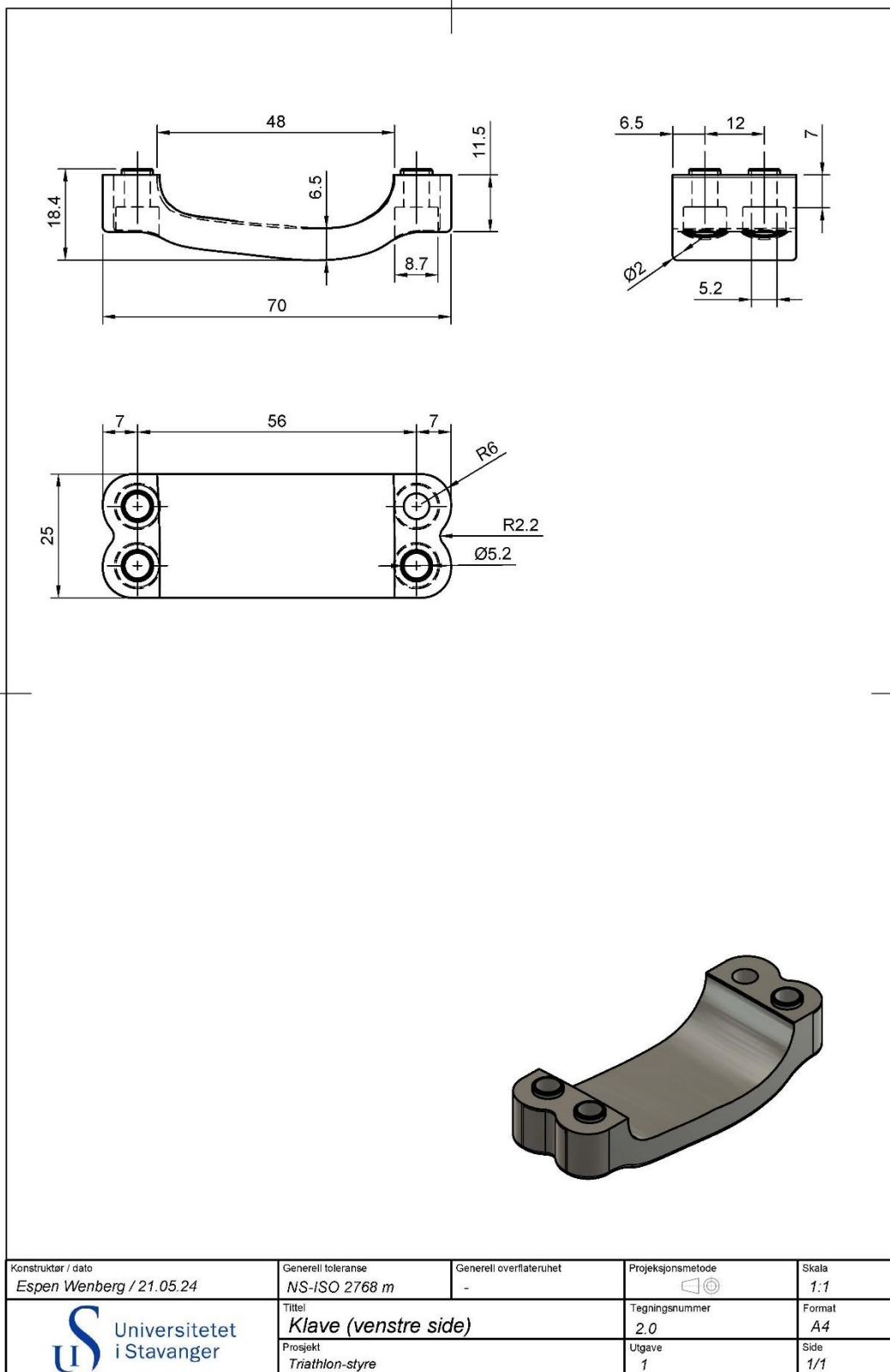
Vedlegg D 1: Arbeidstegning, Triathlon-styre Konsept 5 - Tegn.nr: 1.0



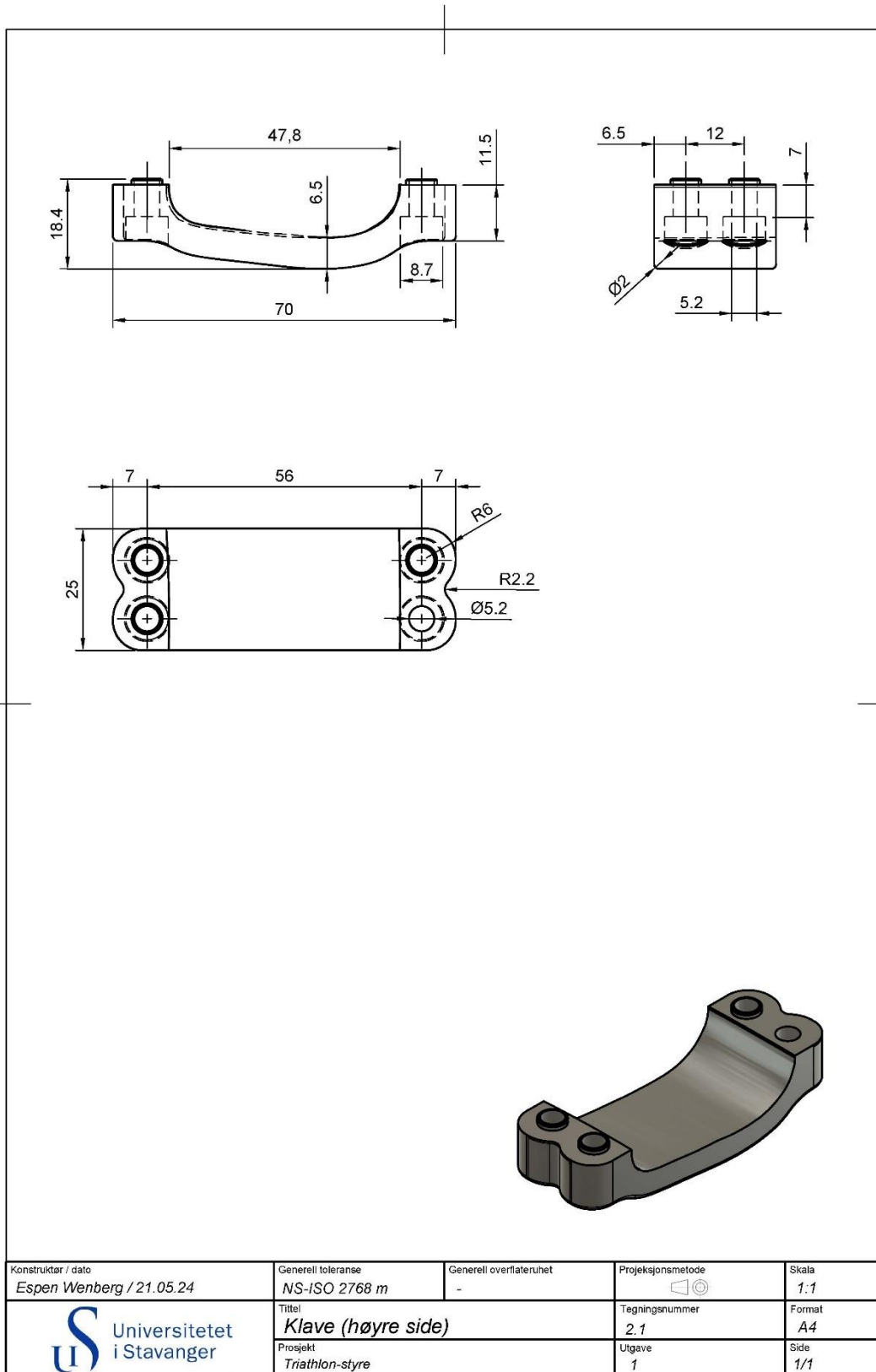
Vedlegg D 2: Arbeidstegning, Venstre innfestning - Tegn.nr: 1.1



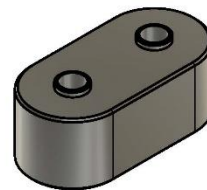
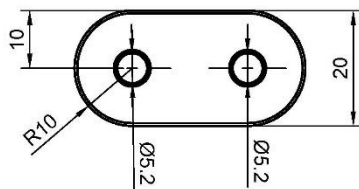
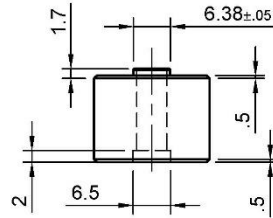
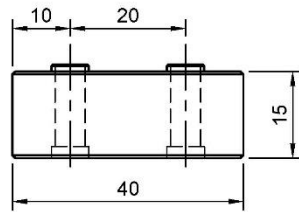
Vedlegg D 3: Arbeidstegning, Høyre innfestning - Tegn.nr: 1.2



Vedlegg D 4: Arbeidstegning, Klave (venstre side) - Tegn.nr: 2.0

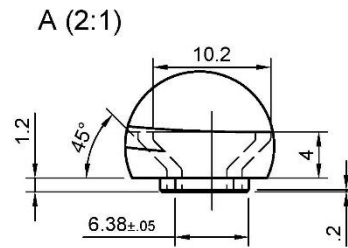
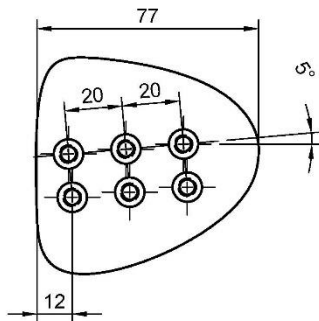
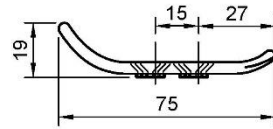
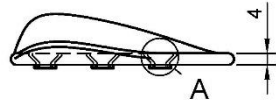


Vedlegg D 5: Arbeidstegning, Klave (høyre side) - Tegn.nr: 2.1



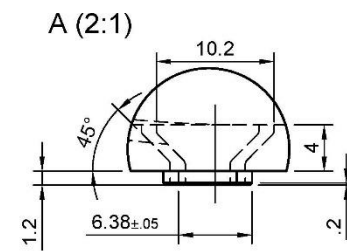
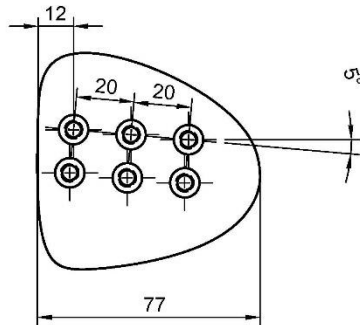
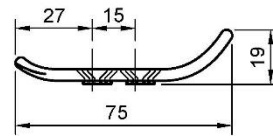
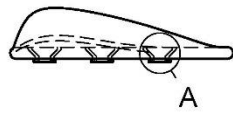
Konstruktør / dato <i>Espen Wenberg / 20.05.24</i>	Generell toleranse <i>NS-ISO 2768 m</i>	Generell overflateruhet -	Projeksjonsmetode 	Skala <i>1:1</i>
	Tittel Avstandstykke		Tegningsnummer <i>3.0</i>	Format <i>A4</i>
	Prosjekt <i>Triathlon-styre</i>		Utgave <i>1</i>	Side <i>1/1</i>

Vedlegg D 6: Arbeidstegning, Avstandstykke - Tegn.nr: 3.0



Konstruktør / dato Espen Wenberg / 20.05.24	Generell toleranse NS-ISO 2768 m	Generell overflateruhet -	Projeksjonsmetode 	Skala 1:2
	Tittel Plate (venstre side)		Tegningsnummer 4.0	Format A4
	Prosjekt Triathlon-styre		Utgave 1	Side 1/2

Vedlegg D 7: Arbeidstegning, Plate (venstre side) - Tegn.nr: 4.0



Konstruktør / dato <i>Espen Wenberg / 20.05.24</i>	Generell toleranse <i>NS-ISO 2768 m</i>	Generell overflateruhet -	Projeksjonsmetode 	Skala <i>1:2</i>
	Tittel Plate (høyre side)		Tegningsnummer <i>4.1</i>	Format <i>A4</i>
	Prosjekt <i>Triathlon-styre</i>		Utgave <i>1</i>	Side <i>2/2</i>

Vedlegg D 8: Arbeidstegning, Plate (høyre side) - Tegn.nr: 4.1