

CUSTOM-MADE FIETSZADEL PROJECT



DOOR
SEM VOSSEBELD

22-01-2016

Bacheloropdracht
Industrieel Ontwerpen

UNIVERSITEIT TWENTE.

In opdracht van:

P.L.T.
products



Afstudeerproject: “De ontwikkeling van een racefiets zadel die
aangepast is aan de anatomische eigenschappen
van een specifieke gebruiker.”

Uitgevoerd door: Sem Vossebeld
Studentnummer: s1367528

Onderwijsinstelling: Universiteit Twente
Opleiding: Bachelor Industrieel Ontwerpen
Faculteit: Construerende technische wetenschappen

Opdrachtgever: PLT Products
Haaksbergen
7483 PG
Elektrostraat 2C

Eerste begeleider: Edsko Hekman
Tweede examiner: Eric Lutters
Externe begeleider: Rick Broshuis

Datum tentamen: 5 februari 2016

Voorwoord

In dit verslag behandel ik het proces van mijn Bacheloropdracht bij PLT Products. De opdracht is het ontwikkelen van een concept voor een custom-made fietszadel voor wielrenners. Het doel is om zadelpijn te voorkomen door een zadel aan te passen naar de anatomische eigenschappen van een specifieke gebruiker. De opdracht is gevormd in overleg met Han Kok (CNC Speedform). Het idee ontstond door de ontwikkeling van 3D-printtechnieken die het produceren van producten met gebruikersspecifieke eisen mogelijk maakt.

Een aantal personen hebben mij geholpen met het uitvoeren van de opdracht. Ten eerste mijn bedrijfsbegeleider, Rick Broshuis, waar ik continu contact mee heb gehad en tijdens de uitvoering van de opdracht veel feedback van heb mogen ontvangen. Ook heb ik regelmatig contact gehad en feedback ontvangen van mijn UT-begeleider, Edsko Hekman. Daarnaast heb ik goede ondersteuning gehad van Ed Wender en Han Kok. Mark Schreurs en Sander Visschers hebben mij naast het aanbieden van relevante informatie, geholpen met het testen en evalueren van het prototype. Bij het maken van zitafdrukken, het 3D-scannen en het modelleren heb ik hulp gehad van Reinder Weenink. Het 3D-printen van het uiteindelijke prototype is mogelijk gemaakt door Emil Garritsen. Mijn dank gaat uit naar al deze personen, omdat ze een essentiële bijdrage hebben gehad aan mijn project.

Sem Vossebeld

Inhoud

Samenvatting	8		
Summary	9		
Inleiding	10		
1.1 Aanleiding	11		
1.2 Doelgroep	11		
1.3 Opdrachtgever	11		
1.4 Doelstelling	11		
1.5 Structuur verslag	12		
Analyse	14		
2.1 Anatomie	15		
2.1.1 Het bekken	15		
2.1.2 Het perineum	16		
2.2 Fietscategorieën	16		
2.3 Fietszadels	18		
2.3.1 Onderdelen en materiaalgebruik	18		
2.3.2 Zadeltypes	20		
2.3.3 Zadelvorm	21		
2.4 Zadelpijn	22		
2.4.1 Oorzaken van zadelpijn	22		
2.4.2 Symptomen van zadelpijn	23		
2.4.3 Zadelpijn voorkomen	23		
2.5 Zadeldrukmetingen	24		
2.5.1 Drukmeting	24		
2.5.2 Videoanalyse	26		
2.6 Zitbreedte metingen	28		
2.7 Zitafdruk en 3D scans	29		
2.7.1 Afdrukmaterialen	29		
2.7.2 Scanapparatuur	31		
2.7.3 Voor- en nadelen zitafdruk scan	32		
2.8 Zadel customization	33		
2.9 User requirements	35		
2.10 PvE en functies	36		
Concepten	38		
3.1 Concept 1	39		
3.1.1 Zadelmeting	39		
3.1.2 Zadel customization	39		
3.2 Concept 2	40		
3.2.1 Meting	40		
3.2.2 Zadel customization	40		
3.3 Concept 3	41		
3.3.1 Meting	41		
3.3.2 Zadel customization	41		
3.6 Conceptkeuze	42		
Prototype	44		
4.1 Prototype 1	45		
4.1.1 Ontwerp	45		
4.1.2 Proces	46		
4.1.3 Evaluatie	48		
4.2 Prototype 2	49		
4.2.1 Ontwerp	49		
4.2.2 Proces	50		
4.3 Test prototype	53		
4.3.1 Hypotheses	53		
4.3.2 Uitvoering	53		
4.3.3 Resultaten	54		
4.3.4 Evaluatie	54		

Eindproduct	56
5.1 Ontwerp	57
5.1.1 Zadelvorm	57
5.1.2 Materialen en productie	58
5.2 Stijfheids- en gewichtsberekening	61
5.2.1 FEM-simulatie	61
5.2.2 Gewichtsberekening	62
5.3 Vormgeving	63
5.4 Meting	64
5.4.1 Benodigde materialen	64
5.4.2 Uitvoering	65
Conclusie	66
Doelstelling	67
Programma van eisen	67
Aanbevelingen	69
Referentielijst	70
Bijlage I	72
Bijlage II	75
Bijlage III	77
Bijlage IV	78
Bijlage V	79
Bijlage VI	80
Bijlage VII	81
Bijlage VIII	83

Samenvatting

Zadelpijn is een veelvoorkomende aandoening bij wielrenners. Zadelpijn uit zich onder andere in pijn aan de zitbeenderen, huidirritaties en ontstekingen. De oorzaak van dit probleem is in de meeste gevallen een verkeerd zadel. Een zadel moet goed aansluiten op de anatomie van de fietser om wrijving op het bovenbeen, druk op de schaambeenderen of druk op het perineum te voorkomen. Bij het selecteren van een zadel wordt vaak enkel gekeken naar de breedte van het zadel. Het is echter de totale geometrie van het zadeloppervlak die bepaalt of het zadel comfortabel is voor een bepaald persoon. Een zadel kan daarom beter gekozen worden op basis van een drukmeting. Hierbij kunnen verschillende zadels worden getest en het zadel met de meest geschikte drukverdeling kan gekozen worden. Ook bestaat de mogelijkheid om een zadel op maat te laten maken op basis van deze metingen. Echter zijn de kosten van zo'n zadel en de bijbehorende metingen erg duur. Het doel van het project is daarom een concept te ontwikkelen voor een zadel dat betaalbaar is, maar toch aan de behoeften voldoet van een specifieke gebruiker. De doelgroep is de hobby wielrenner.

Van het concept is een prototype gemaakt. Dit is een 3D geprint zadel met een padding. Deze padding is onder een hoge temperatuur plastisch vervormbaar. Zo kan de padding zich vormen naar het zitvlak van een specifieke gebruiker. Het prototype is getest met behulp van een zadeldrukmeting. Door het thermoplastisch vervormen van de padding, bleek de totale druk

op het zadel af te nemen. Daarentegen bleek het thermoplastisch vervormen van de padding een negatief effect te hebben op de symmetrie in de drukverdeling.

Verder is het concept uitgewerkt tot een massaproduct. Hierbij zijn de juiste materialen geselecteerd om het zadel zo stijf en licht mogelijk te maken. Hierbij is ook aandacht besteed aan de vormgeving, om het product visueel aantrekkelijk te maken voor wielrenners.

Het zadel biedt een oplossing voor wielrenners die last van zadelpijn hebben, maar geen geld hebben voor dure zadelmetingen. Kosten worden bespaard door het selecteren van methoden voor massaproductie. Ondanks dat het een massaproduct is, kan het zadel aangepast worden aan een individuele gebruiker.

Summary

Saddle sore is a common injury among road cyclists. Pain in the seat bones, skin irritations and infections are different forms of saddle sore. These symptoms are often caused by using the wrong saddle. A saddle should fit to the cyclists anatomy to reduce friction on the thighs, pressure on the pubic bones or pressure on the perineum. When selecting a saddle, people often look at the saddle width only. Thought, the complete geometry is important for an optimal saddle comfort. Therefore, a saddle could be better selected based on a saddle pressure measurement. In such a measurement, different saddles can be tested, so the saddle with the best pressure distribution could be selected. Also, there is an opportunity to buy a custom made saddle based on the pressure measurement. However, the price of such a saddle including the measurements is very high. Therefore, the goal of this project is to develop a concept for a relatively inexpensive saddle which is adjustable to a specific user's needs. The target market is the hobby cyclist.

A prototype of this concept is made. This prototype is a 3D printed saddle with a padding. This padding is thermally deformable. By heating the saddle, the padding can be shaped to the bottom of a specific user. This prototype is tested using a saddle pressure measurement. After deforming the padding, the total pressure on the saddle was found to be decreased. On the other hand, the deformation affected the symmetry in the pressure distribution negatively.

Also, the concept is developed to a mass product. The right materials are selected to create a rigid and lightweight saddle design. The appearance of the saddle is improved as well. The saddle should be visually attractive to cyclists.

The saddle offers a solution for cyclists with saddle sore who cannot afford expensive saddle measurements. Costs are saved by selecting manufacturing methods for mass production. Even though it is a mass product, the saddle can be adjusted to a specific user.

1. Inleiding

Inleiding

In het eerste hoofdstuk wordt het onderwerp van het project ingeleid. Het ontwerpprobleem wordt toegelicht, de markt waarop het product zich richt wordt benoemd, de opdrachtgever wordt besproken, de doelstelling van het gehele project wordt vermeld en uiteindelijk wordt de structuur van het verslag toegelicht.

1.1 Aanleiding

De aanleiding voor de opdracht is een veel voorkomend probleem bij fietsers in het algemeen: zitvlakblessures, ook wel zadelpijn genoemd. Het probleem komt met name voor bij fietsers die regelmatig lange afstanden fietsen. Belangrijke groepen zijn wielrenners, toerfietsers en e-bikers. Een voorbeeld is Tom Dumoulin, die met een serieuze zitvlakblessure kampte vlak voor de tijdrit van 23 september. Het probleem was een zenuwbeklemming. De vraag was of Dumoulin überhaupt aan de wedstrijd kon deelnemen. Uiteindelijk is besloten dat Dumoulin deelneemt met een alternatief zadel. Het zadel bevat uitsparing die de zenuw zou moeten ontlasten. Dumoulin sprak van een zware rit, maar is uiteindelijk nog op de vijfde plek geëindigd.

1.2 Doelgroep

Het product moet een grote doelgroep bereiken. Daarnaast moet de doelgroep ook enigszins wat te besteden hebben, omdat een custom-made product vrij prijzig is. Er is daarom gekozen voor de hobby wielrenner. In Nederland is dit een zeer grote en een sterk toenemende groep. De hobby-wielrenner heeft veel over voor een goede uitrusting. Daarnaast blijkt het kiezen van het juiste zadel een groot probleem voor wielrenners. Na het proberen van een aantal zadels bij de sportzaak, komen ze vrijwel nooit weg met het perfecte zadel. Vaak blijkt ook dat een zadel na verloop van tijd toch niet geschikt is. Er is dus behoefte aan een beter zadel, zonder dat het te veel

tijd kost om verschillende zadels uit te proberen. Met professionele wielrenners worden niet tot de doelgroep gerekend, omdat deze vaak afhankelijk zijn van hun sponsor. Het custom-made zadel komt daardoor waarschijnlijk niet in aanmerking voor deze groep.

1.3 Opdrachtgever

Het project wordt uitgevoerd in opdracht van PLT Products te Haaksbergen. Vanaf 2000 produceert PLT op maat gemaakte steunzolen. Op dit moment worden hier voornamelijk frees- en slijptechnieken voor gebruikt. Een huidige ontwikkeling van PLT is het vervaardigen van zolen door middel van 3D printing. Naast het vervaardigen van zolen, levert PLT scanapparatuur en scansoftware. PLT is continu bezig met innovatie projecten, niet alleen op gebied van podotherapie en orthopedie, maar ook op andere gebieden. Projecten worden vaak uitgevoerd in samenwerking met studenten van Saxion en Universiteit Twente. Een succesvol project is FITS Your Feet, een merknaam van PLT. FITS zijn slippers, sandalen of huisschoenen met een op maat gemaakt voetbed.

1.4 Doelstelling

In dit project wordt er een concept ontwikkeld voor een custom-made fietszadel. Er wordt een methode uitgewerkt voor het opmeten van de anatomie van een specifieke gebruiker. Aan de hand van deze meting wordt een methode uitgewerkt voor het maken van het individuele zadel. De belangrijkste

1. Inleiding

functie van het zadel is het voorkomen van zadelpijn. Hierbij worden de tijdsduur en de kosten van zowel de meting als de productie geoptimaliseerd. Van het eindconcept wordt een prototype gemaakt. Dit prototype zal met behulp van een fietsopstelling worden getest. Er wordt uiteindelijk een ontwerp gemaakt voor het massaproduct. Hierbij worden de productiemethode en de vormgeving van het zadel uitgewerkt.

1.5 Structuur verslag

Het verslag is opgedeeld in 6 hoofdstukken, waarvan deze inleiding het eerste hoofdstuk is. De inleiding wordt vervolgd door de analyse. In de analyse wordt er informatie verzameld over de verschillende doelgroepen binnen de fietsers. Hieruit volgt een onderbouwing voor de gekozen doelgroep. In de analyse worden daarnaast de anatomie van het bekken besproken. Zo wordt er meer kennis verkregen over de oorzaken en het verhelpen van zadelpijn. Verder worden er verschillende soorten zadels besproken en in welk opzichte ze verschillen van elkaar en hoe dit het comfort beïnvloed. De analyse wordt afgesloten met een programma van eisen.

In het derde hoofdstuk worden drie verschillende conceptideeën weergegeven. Elk concept heeft verschillende oplossingen om aan de productfuncties te voldoen. De concepten worden beoordeeld op basis van het programma van eisen. Zo wordt er een goed onderbouwde keuze gemaakt een van de concepten.

In het vierde hoofdstuk wordt de uitwerking van het concept toegelicht. Er worden twee prototypes gemaakt van het concept. Deze prototypes worden praktisch getest en beoordeeld. Zo worden er verbeteringen doorgevoerd in het ontwerp. Het tweede prototype wordt met behulp van een zadeldrukmeting.

In het vijfde hoofdstuk wordt het ontwerp uitgewerkt tot een massaproduct. De aandacht ligt hier op het optimaliseren van het gewicht en stijfheid door het bepalen van de juiste shell dikte en het selecteren van de juiste materialen. Er wordt een advies gegeven over geschikte productiemethoden van de verschillende onderdelen.

In het afsluitende hoofdstuk worden conclusies getrokken over de verkregen resultaten en aanbevelingen gedaan over de verdere ontwikkeling van het zadelontwerp.

2.

Analyse

Inleiding

Het custom-made zadel wordt ontworpen voor de doelgroep hobby-wielrenners. Uit de analyse blijkt dat deze doelgroep de meeste behoefte heeft aan dit product. Voor het ontwerpen van een zadel is er zowel medische als marktkennis nodig. De analyse begint daarom met een analyse van het bekken en het perineum van de mens. Vervolgens wordt er een marktanalyse gedaan naar fietsen in het algemeen en fietszadels. Later wordt er onderzocht welke zadeleigenschappen het comfort beïnvloeden en waardoor dit wordt veroorzaakt. Op deze manier kan er naar een oplossing worden gezocht om zadelpijn te voorkomen.

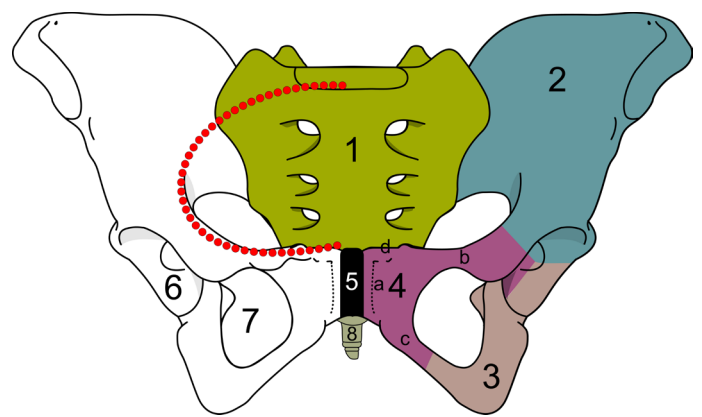
2.1 Anatomie

Hier wordt de anatomie het bekken en het perineum van de mens beschreven. Deze basis kennis is vereist voor het in beeld brengen van zitvlakproblemen bij fietszadels.

2.1.1 Het bekken

Het bekken is het gebied tussen de romp en benen van de mens. Het bekken is een bottenstructuur bestaand uit het heiligbeen, het staartbeen en de heupbenen, zoals te zien is in figuur 2.1. Het heupbeen bestaat op zijn beurt uit het darmbeen, het zitbeen en het schaambeen. De zitbeenderen en schaambeenderen vormen samen het schaambeenboog. De zitbeenderen vangen het gewicht op tijdens het zitten en zijn daarom belangrijk om in beschouwing te nemen bij het ontwerpen van een zadel.

Vanaf de puberteit ontstaan er duidelijke verschillen tussen mannen en vrouwen in de vorm van het bekken (zie figuur 2.2). Bij vrouwen liggen de schaambeenderen lager dan bij mannen. Ook is de hoek van de schaambeenboog groter bij vrouwen. Vrouwen hebben over het algemeen bredere bekken dan mannen. Gemiddeld is de afstand tussen de zitbeenderen bij de vrouwen groter dan bij mannen. Echter loopt de afstand tussen de zitbeenderen erg uiteen, namelijk van 6 tot 16 cm bij mannen en van 9 tot 17 cm bij vrouwen.



1. Heiligbeen (os sacrum)
2. Darmbeen (os ilium)
3. Zitbeen (os ischii)
4. Schaambeen (os pubis)
5. Schaambeenvoeg (Pubic symphysis)
6. Heupkom (Acetabulum)
7. Foramen obturatum
8. Staartbeen (coccyx)

Figuur 2.1: bottenstructuur van het bekken



Figuur 2.2: het bekken van een man (links) en het bekken van een vrouw (rechts).

2. Analyse

2.1.2 Het perineum

Het perineum is het gebied tussen de anus en het geslachtsdeel, onder de schaambeenvoeg. Het bestaat uit spieren, bloedvaten en zenuwen met daaromheen bindweefsel en huid. Het bevat spieren van het geslachtsorgaan en spieren van de anus. De bloedvaten dienen voor bloedtoevoer naar het geslachtsorgaan. Het weefsel van het perineum is zacht vergeleken met het weefsel rond de zitbeenderen.

2.2 Fietscategorieën

Hieronder zijn verschillende fietscategorieën beschreven. Binnen de doelgroep fietsers zijn veel verschillen te vinden. De indeling is gebaseerd op fietshouding, fietsafstanden, gebruiksfrequentie etc. In figuur 2.3 zijn verschillende fietstypes weergegeven.

Stadsfiets: stadsfietsen worden voornamelijk gebruikt als vervoersmiddel voor korte afstanden. Omdat de fietsafstanden vrij kort zijn, is zadelpijn bij deze fietsen geen groot probleem. De fietser heeft een rechte zithouding, waardoor de belasting grotendeels door de zitbeenderen wordt opgevangen.

Recreatie-/hybridefiets: recreatiefietsers fietsen relatief lange afstanden. De fietser heeft een sportieve fietshouding. De mogelijkheid is er om een fietstas op de fiets te plaatsen voor onder andere eten, drinken en kleding. Fietsen met bagagevoorzieningen worden ook wel toerfietsen genoemd. Zadelpijn is een serieus probleem voor recreatiefietsers, omdat ze regelmatig lange afstanden fietsen.

E-bike: De voorgenoemde fietstypes worden ook uitgevoerd in een variant met ondersteuningsmotor. E-bikes zijn vooral populair bij ouderen. Met behulp van een e-bike kunnen ze langere afstanden fietsen. Hierdoor hebben ze echter wel een verhoogde kans op zadelpijn.

Wielersport: Wielersport is de algemene term voor sporten waarbij gebruik wordt gemaakt van een fiets. Bij sportfietsers is zadelpijn ook een serieus

probleem. Een aandachtspunt voor deze categorie is dat er bij het ontwerpen van het zadel mogelijk rekening gehouden moet worden met restricties van de bond van wielersporten.

- Racefiets: racefietsen worden gebruikt door wielrenners. Ze fietsen lange afstanden. Hun zitpositie is vrij ver voorovergebogen. Wielrenners hebben ook regelmatig te maken met een heuvelachtig parkour.
- Track-, triathlon- en tijdritfiets: bij het ontwerp van dit type fietsen, staat aerodynamica centraal, zodat een relatief hoge snelheid behaald kan worden. Bij deze drie sporttakken wordt een vlak parkour gereden, de fiets is namelijk minder geschikt om te klimmen. Bij Track cycling (baanwielrennen) worden zowel korte als lange afstanden gereden, de fietsafstand bij triathlon is 180km en bij tijdrit worden relatief korte afstanden gereden.
- Mountainbike (MTB): mountainbikers hebben te maken met een zeer onregelmatig parcours en krijgen hierdoor meer last van schokbelastingen. Ze nemen vaak een staande fietspositie aan en zitten dus weinig op hun zadel.

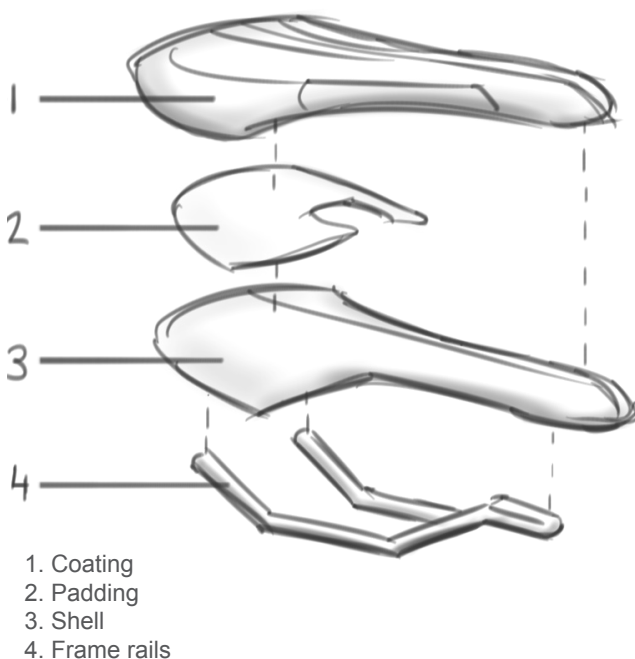


Figuur 2.3: fietscategorieën

2. Analyse

2.3 Fietszadels

Voor het ontwerpen van een custom zadel, wordt er onderzoek gedaan naar het gebruik van materialen in huidige zadels, welke verschillende zadeltypes er bestaan en welke verschillende vormen zadels hebben.



Figuur 2.4: materialen en onderdelen van een zadel

2.3.1 Onderdelen en materiaalgebruik

Een fietszadel bestaat uit verschillende materialen en onderdelen (zie figuur 2.4). Een zadel bevat een metalen frame om het aan de fiets te kunnen bevestigen, de zadelbrug. Bij duurdere zadels voor racefietsen is de zadelbrug ook vaak van carbon, CoCR (Cobalt-Chrome) of titanium gemaakt. de zadelbrug heeft daarnaast een zekere invloed op het comfort van het zadel. Dit heeft te maken met de stijfheid van het materiaal, oftewel de mate van doorbuiging van het zadel onder belasting. Zo is carbon stijver dan titanium en staal stijver dan carbon. Carbon is zeer stijf en sterk in verhouding tot het gewicht en wordt daarom veel gebruikt door professionele sportfietsers. Op de zadelbrug wordt de kunststof shell geplaatst. Deze bepaald de vorm van het zadel. De shell wordt vaak gemaakt van een stijf kunststof op nylonbasis, maar ook wordt hiervoor soms vaak carbon gebruikt. Bij sommige types zadels worden tussen het frame en de shell achterop het zadel nog twee veren geplaatst. Over de shell wordt een padding geplaatst. De padding zorgt in bepaalde mate voor de zachtheid van het zadel. Het is vaak gemaakt van gel of een gesloten celschuim. De dikte van de laag hangt af van het doeleinde van het zadel. Als laatst wordt er een deklaag over de padding geplaatst. Deze laag kan gemaakt zijn van onder andere leer, lycra (PUR) of vinyl. Leer is het meest geschikt, omdat het poreus, sterk, buigzaam en niet te glad of te ruw is. Lycra is poreus, maar is minder sterk en kan te glad zijn. Vinyl is een goed en goedkoop alternatief van leer, maar is niet poreus.

	♂	♀
Cruise	 Expedition Gel	
Recreation	 BG Comfort	 Women's BG Comfort
Road	 Toupé Expert	 Women's Ruby Pro
MTB	 S-Works Phenom	 Women's Myth Sport
TT	 Sitero Pro	
	 Power Pro	

Figuur 2.5: Specialized® Zadel catagoriën

2. Analyse

2.3.2 Zadeltypes

Er bestaan veel verschillende soorten zadels met verschillende doeleinden. Een aantal verschillende types fietszadels van Specialized® zijn weergegeven in figuur 2.5. Er zijn vele zadeltypes die speciaal voor vrouwen zijn ontworpen. Deze sluiten aan op de anatomie van de vrouw en zijn daarom relatief breed.

Als eerst het cruiser zadel. Dit zadel is geschikt voor een rechte zithouding. Het gehele gewicht van de fietser wordt door het zadel opgevangen. Het zadel is daarom vrij breed en heeft een zachte padding. Ook is het zadel vaak voorzien van vering. Het zadel is niet geschikt voor snel trappen en het fietsen van lange afstanden.

Het recreatiezadel is een wat sportievere variant van het cruiser zadel. Het is meer geschikt voor een licht voorovergebogen zithouding. Het zadel is wat minder breed en bevat een medium padding. Het zadel is meer geschikt voor snel trappen en het fietsen van langere afstanden dan het cruiser zadel.

Sportzadels zijn bedoeld voor het uitvoeren van wielersporten. Sportzadels zijn geschikt voor een voorovergebogen zithouding. Het zadel vangt relatief weinig gewicht op en er ligt meer gewicht op het stuur en de pedalen. Sportzadels zijn daarnaast smal vergeleken met andere zadels, omdat de fietser meer met de voorkant van de zitbeenderen op het zadel zit. Sportzadels worden zo licht mogelijk gemaakt en hebben een minimale hoeveelheid padding. Mountainbikezadels bevatten vaak iets dikkere padding om trillingen

op te vangen door oneffen wegen. Ook hebben mountainbikezadels meestal een ronde achterkant om te voorkomen dat de fietser er met de kleding achter blijft haken, terwijl wielrennerzadels aan de achterkant vaak een uitsparing hebben. Opvallend is dat zadels voor triatlons en tijdritten een afwijkend ontwerp hebben. Bij een tijdrit zit de fietser nog meer voorovergebogen op de fiets voor de meest aerodynamische positie. Deze zadels zijn vaak korter of lijken een afgesneden neus te hebben. Het zadel kan daardoor verder naar voren veresteld worden zonder de regels te overtreden. Daarnaast is de achterkant groter gemaakt om aan de minimale zadellengte te voldoen. Een goed voorbeeld van een tijdritzadel, de ISM® Adamo Road, is weergegeven in figuur 2.6. De prijs van Specialized® sportmodellen varieert van €60,- tot €280,-.

Neusloze zadels worden soms gebruikt voor mensen die last hebben van pijn of verdovend gevoel aan het perineum, erectieproblemen of pijn aan de schaambeenderen. Het zadel bevat geen



Figuur 2.6: ISM® Adamo Road

neus zo dat er geen druk op het perineum of de schaambeenderen wordt uitgeoefend. Volgens het onderzoek van E. Bressel et al. (voetnoot) ontstaat er bij een neusloos zadel echter een verhoogde druk op de zitbeenderen en een verhoogd valrisico door gebrek aan stabiliteit. De neus van een zadel zorgt normaal gesproken namelijk voor balans. Dit geldt met name bij het maken van bochten waarbij het zwaartepunt naar links of rechts verplaatst

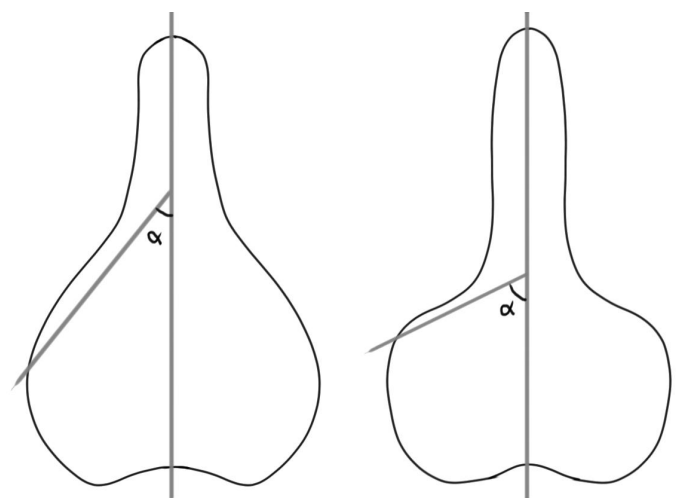
Recreatiezadels en sportzadels worden ook vaak uitgevoerd met een uitsparing. Zadels met een uitsparing kunnen comfortabel zijn voor mensen die last hebben van te veel druk op het perineum. Door de uitsparing wordt het oppervlak van het zadel kleiner, waardoor op andere plekken de druk toeneemt. E. Bressel et al. (voetnoot) hebben aangetoond dat de druk achterop het zadel toeneemt bij zadels met een uitsparing. Het is erg afhankelijk van het merk of uitsparingen worden toegepast op een zadel. Veel zadels van Specialized® zijn uitgevoerd met een uitsparing. Selle SMP® staat bekend om zadels met grote uitsparingen. Een voorbeeld is weergegeven in figuur 2.7.



Figuur 2.7: Selle SMP® Drakon

2.3.3 Zadelvorm

De vorm van zadels kan erg uiteenlopen. Hoek α , zoals weergegeven in figuur 2.8, varieert per zadel. Een zadel waarbij deze hoek klein is, wordt een Pear-shape genoemd. Een zadel waarbij deze hoek groot is, wordt een T-shape genoemd. Een Pear-shape wordt vaak gebruikt bij een sterk voorovergebogen zithouding, zoals bij tijdrijders. Deze zitten vaak wat meer op de voorkant van het zadel. Een T-shape is geschikt voor mensen die snel last krijgen van wrijving bij hun liezen en bovenbeen. De meest geschikte vorm verschilt en is afhankelijk van de anatomie van de persoon.



Figuur 2.8: Zadelvormen: Pear-shape en T-shape

2. Analyse

2.4 Zadelpijn

Zadelpijn is een veelvoorkomende klacht bij fietsers. Vooral mensen die regelmatig fietsen hebben er last van. Zadelpijn kent verschillende symptomen: pijn aan de zit- of schaambeenderen, pijn aan het staartbeen, pijn aan de liezen, pijn of verdovend gevoel aan de genitaliën, huidirritaties en -ontstekingen (derde bal) etc. De meest voorkomende klachten zijn pijn aan de zitbeenderen en liezen. Vele mannen hebben ook erectiestoornissen als gevolg van fietsen. Dat zadelpijn veel bij sportfietsers voorkomt is niet verassend, maar zadelpijn komt ook steeds meer voor bij ouderen. Omdat tegenwoordig veel ouderen een e-bike hebben, kunnen ze vaker langere afstanden fietsen. Dit brengt echter een verhoogde kans op zadelpijn met zich mee.

2.4.1 Oorzaken van zadelpijn

Zadelpijn kent verschillende oorzaken, waarvan een verkeerd zadel een van de belangrijkste is. Elk mens zit anatomisch en motorisch gezien anders in elkaar en daarom is niet elk zadel geschikt voor iedereen. Een ongeschikt zadel kan lokaal te veel druk veroorzaken, zoals bijvoorbeeld op het staartbeen of het perineum. Pijn aan de zit- of schaambeenderen kan het gevolg zijn van een te smal zadel. Zoals te zien is in figuur 2.9, ondersteunt een smal zadel de zitbeenderen te weinig, waardoor er meer kracht op de schaambeenderen komt en dit kan pijn veroorzaken. Een zadel moet ook niet te breed zijn. Een te breed zadel kan door het bewegen oncomfortabele wrijving veroorzaken bij de lies en

bovenbeen. Daarom moeten vooral sportfietsers niet een te breed zadel hebben.

Elk zadel bevat een padding. De dikte en het materiaal hiervan bepalen hoe zacht het zadel is. Een zacht zadel kan comfortabel zijn, maar doordat je zitbeenderen diep in het zadel zakken, worden spieren en pezen van de zitbeenderen extra aangespannen. Na 30 tot 45 minuten fietsen op een zacht zadel kan dit al pijn veroorzaken. Wanneer de shell van de zadel niet stijf genoeg is, ontstaat hetzelfde probleem. Voor wielrenners is daarom een hard zadel meer geschikt. Tegen een hard zadel kunnen ze zich beter afzetten. Hoe meer het zadel veert, hoe meer krachtverlies er is.

Een verkeerd zadel hoeft niet het enige probleem te zijn. Het kan ook aan de zithouding van de fietser liggen. Voor een goede zithouding moet het zadel op de juiste hoogte zijn afgesteld. Bij een te hoog zadel kan de fietser niet goed met zijn voeten bij de pedalen. Tijdens het fietsen schuift de fietser heen en weer over het zadel en dit zorgt voor oncomfortabele wrijving. In een beginnend stadium



Figuur 2.9: een te smal zadel en een zadel met de juiste breedte.

van zadelpijn verplaatsen mensen zich vaak over het zadel om tijdelijk pijn te verminderen. Hierdoor ontstaat hogere druk op andere gevoelige plekken zoals de schaambeenderen of het perineum.

2.4.2 Symptomen van zadelpijn

Irritaties en ontstekingen van de huid zijn veelvoorkomende klachten. Een zweer die hierbij ontstaat wordt ook wel een 'derde bal' genoemd. Deze ontstaan door bacteriën die schaafwonden binnendringen. Schaafwonden worden veroorzaakt door te veel wrijving tussen de huid en kleding. Vooral kleding met naden en plooien veroorzaken irritaties en ontstekingen. Zoals eerder aangegeven, kan een verkeerd zadel of verkeerde zithouding de wrijving versterken. Daarnaast kan gebrek aan hygiëne de kans op ontsteking vergroten. Er bestaan verschillende vormen van ontstekingen. Ten eerste verstoppingen van de talg- of de zweetklier, ofwel talgkliercysten of zweetkliercysten. Deze klieren bevinden zich bij de haarzakjes en kunnen verstopt raken, doordat het zadel op de huid drukt en het zweet en talg daardoor niet weg kan. Een andere vorm, furunkels, zijn bacteriële infecties van de haarzakjes. Een sterkere vorm van een furunkel wordt een karbonkel genoemd. Bij zeer lang contact met het zadel komt ook fibreuze hypodermatitis voor. Dit is een verharding van het onderhuidse bindweefsel. Dit komt alleen voor bij mensen die lange fietstochten maken.

Een ander belangrijk symptoom van zadelpijn is erectiestoornis. Zoals eerder is aangegeven,

kan er teveel druk op het perineum ontstaan. Dit kan de bloeddoorstroming naar het mannelijke geslachtsorgaan met 70-80% reduceren, waardoor tijdelijke erectiestoornissen kunnen ontstaan. In het onderzoek van S-J Jeong et al. is aangetoond dat een smaller zadelontwerp de bloeddoorstroming sterker verminderd dan een breed zadelontwerp.

2.4.3 Zadelpijn voorkomen

Er bestaan verschillende manieren en middelen om zadelpijn te voorkomen. Zoals eerder is beschreven, moet het zadel op de juiste hoogte zijn afgesteld. Voor wielrenners is het ook verstandig om regelmatig staand te fietsen voor 15 tot 20 seconden, om de bloeddoorstroming in het perineum te herstellen. Om wrijving met de huid te verminderen, kan er naadloze kleding gedragen worden, zoals wielrennerkleding. Wielrenners dragen verder ook geen ondergoed onder hun wielrennerkleding. Er bestaat ook een middel, genaamd chamois crème, om wrijving met de huid te verminderen. Als zadelpijn te pijnlijk aanvoelt, is het verstandig om rust te nemen. Het belangrijkste voor het voorkomen van zadelpijn is het kiezen van het juiste zadel. De vorm van het zadel moet goed aansluiten bij de anatomie van de fietser. Een belangrijke basis hiervoor is een zadel met de juiste breedtemaat. Veel zadelmodellen zijn daarom beschikbaar in verschillende breedtes. De totale vorm bepaald echter of het zadel echt geschikt is. Een zadel kan beoordeeld worden aan de hand van een drukverdeling.

2. Analyse

2.5 Zadeldrukmetingen

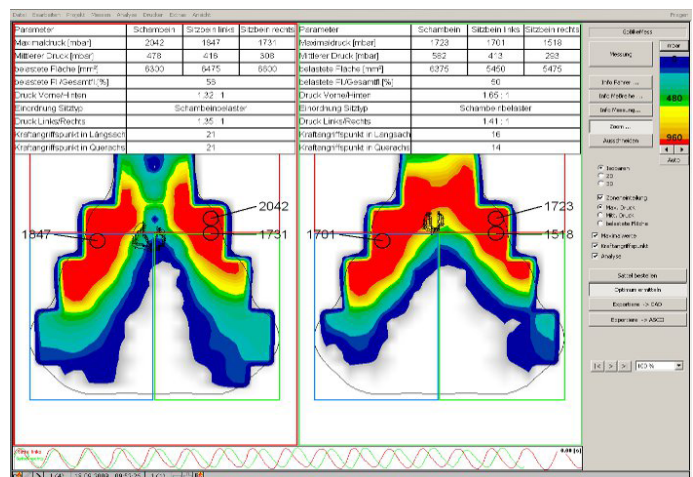
Zadeldrukmetingen worden gedaan om zadels te beoordelen op hun geschiktheid voor een specifiek persoon. Middels een drukmeting kan de drukverdeling van een bepaald persoon op een specifiek fietszadel worden vastgelegd. Op het zadel worden druksensoren geplaatst. Elke sensor meet de lokale druk. Op een monitor wordt in een afbeelding weergegeven hoe hoog de druk op welke positie is. Omdat een drukverdeling dynamisch is, wordt de druk over de tijd gemeten. GeBioMized® heeft onder andere zo'n drukmeetsysteem ontwikkeld (zie figuur 2.10 en 2.11). Voorbeelden van dergelijke drukverdelingen zijn weergegeven in figuur 2.12 en 2.13. Een kritiekpunt van E. Bressel et al. op veel drukmetingen is dat het ze vaak worden uitgevoerd op een stationaire fiets. Een stationaire fiets wijkt af van de werkelijkheid, omdat de fietser geen balans hoeft te zoeken. Op een normale fiets zoekt de fietser balans door zijn of haar gewicht te verplaatsen, waardoor de maximale druk op sommige plekken hoger wordt. Drukmetingen kunnen echter ook worden uitgevoerd op de weg met een draadloos meetsysteem. Er rijdt dan in dat geval een auto achter de fietser aan, die de meetgegevens van de fietser ontvangt. Bij het meetsysteem van GeBioMized® is dit mogelijk door middel van een bluetooth verbinding.

2.5.1 Drukmeting

Nu is de vraag wat een drukverdeling zegt over de geschiktheid van een zadel. Zoals al eerder vermeld is, vangen de zitbeenderen het gewicht



Figuur 2.10: GeBioMized Pressure Sleeve

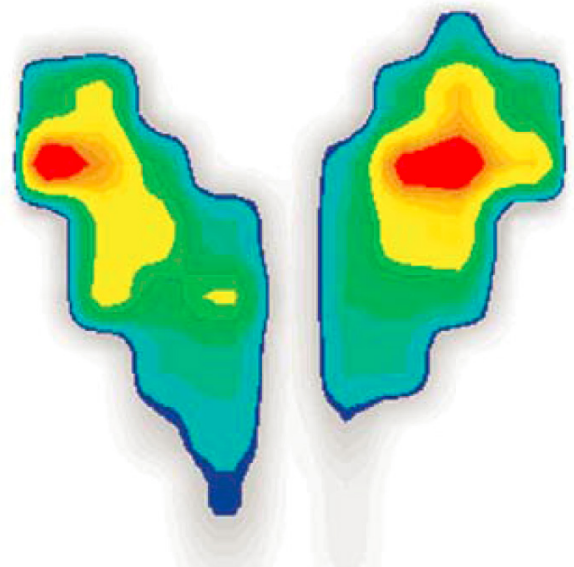


Figuur 2.11: GeBioMized GP BikeMess software

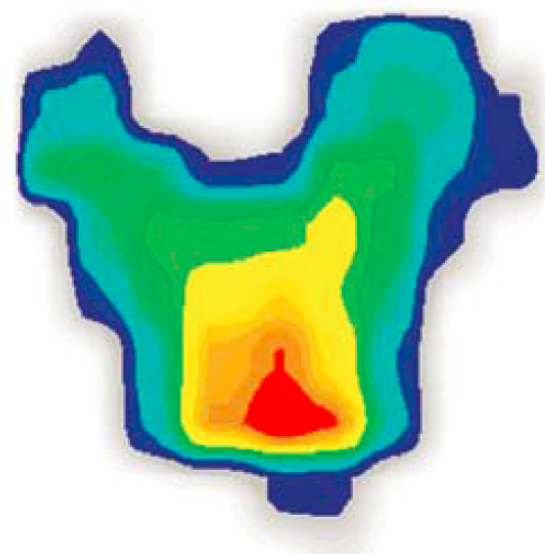
van een zittend persoon op. Bij een zittend persoon is op positie van de zitbeenderen dus een relatief hoge druk te verwachten. In figuur 2.12 is een geschikte drukverdeling van een fietszadel te zien. Hier is te zien dat de druk bij de zitbeenderen het hoogst is. Bij de schaambeenderen neemt de druk sterk af en bij het perineum is de er geen of nauwelijks druk gemeten. Het belangrijkste is echter dat de druk niet te hoog oploopt. Het is lastig om een maximaal toelaatbare waarde vast te stellen voor de druk. Het is namelijk ook van belang hoe lang de druk zich blijft aanhouden. Wanneer de druk continu hoog is, is dit een groter probleem dan wanneer de druk afwisselend hoog en laag is. Het is daarom van belang om zowel de maximale druk als de gemiddelde druk te bekijken. Bloedvaten en zenuwen worden dan namelijk een deel van de tijd ontlast. Daarnaast is dit ook afhankelijk van de positie. Zo is het perineum gevoeliger voor druk dan de zitbeenderen.

Een drukverdeling bij een man ziet er anders uit dan bij een vrouw. Omdat bij vrouwen het schaambeen zich gemiddeld lager bevindt dan bij mannen, wordt er bij vrouwen op positie van het kruis vaak een hogere druk gemeten (zie figuur 2.13).

Met name bij sportfietzers zijn er veel veranderingen in de drukverdeling te zien over de tijd, oftewel de drukverdeling is dynamisch. Door de bewegingen is de druk afwisselend aan de rechter of linker kant hoger dan de andere kant van het zadel. Ook heeft een daling of stijging van een fietser invloed op de drukverdeling. Bij een daling



Figuur 2.12: geschikte zadeldrukverdeling volgens SQLab®



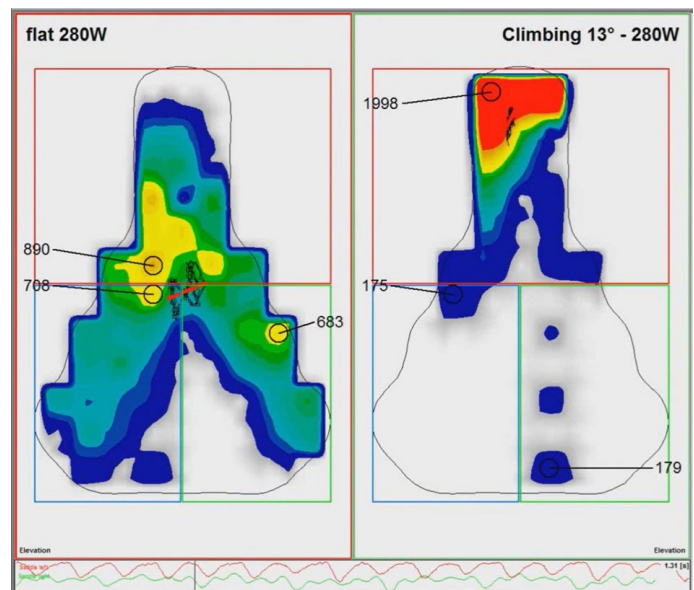
Figuur 2.13: typische zadeldrukverdeling bij vrouwen volgens SQLab®

2. Analyse

verplaatst het zwaartepunt van het lichaam naar voren en bij een stijging verplaatst het zwaartepunt naar achteren. Vooral bij het stijgen kan dit een probleem zijn. De verplaatst fietser het lichaam naar voren om de verplaatsing van het zwaartepunt te corrigeren. Omdat het oppervlak bij de neus van het zadel vrij klein is, ontstaat er een vrij hoge druk op het geslachtsdeel. In figuur 2.14 is een drukverdeling bij een stijging van 13° vergeleken met een drukverdeling van dezelfde persoon in een normale situatie. Racefietsen hebben sturen met verschillende handposities (zie figuur 2.15). In studies van E. Bressel et al. en J.J. Potter et al. is aangetoond dat de tops handpositie een hogere zadeldruk als gevolg heeft vergeleken met de drops positie. Bij vrouwen echter, neemt de druk voorop het zadel toe. Bij mannen neemt de druk meer af dan bij vrouwen, met name achterop het zadel.

2.5.2 Videoanalyse

Zadeldruk hangt sterk samen met de houding van de fietser. Zadeldrukmetingen worden daarom veel gebruikt in combinatie met videoanalysesystemen. Wanneer een klant veel zadelklachten heeft, kan de bikefitter het stuur en het zadel afstellen om een betere drukverdeling te krijgen. Het stuur is in hoogte verstelbaar. Het zadel is in hoogte verstelbaar, kan naar voor of achter geplaatst worden en de hoek van het zadel verstelbaar. Een veel voorkomend probleem is wanneer de druk op het neus van het zadel te hoog is. Hiervoor zijn verschillende oplossingen mogelijk: het verhogen

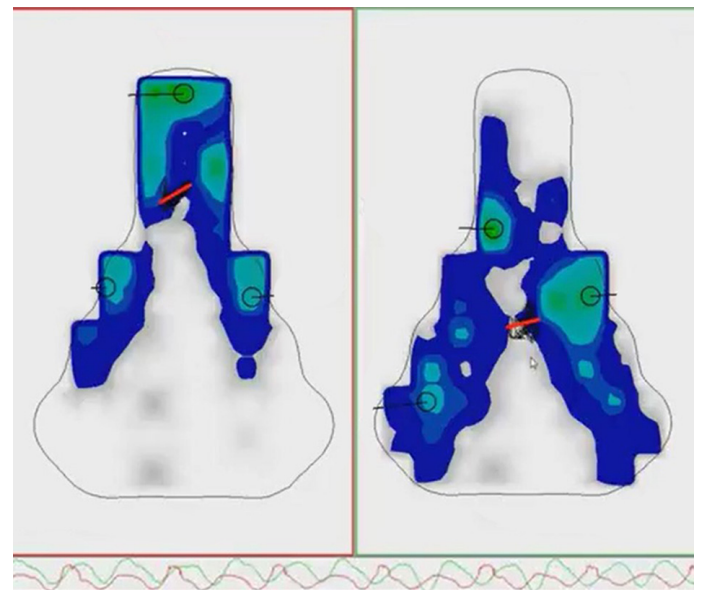


Figuur 2.14: normale drukverdeling vergeleken met drukverdeling bij klimmen (GeBioMized®)

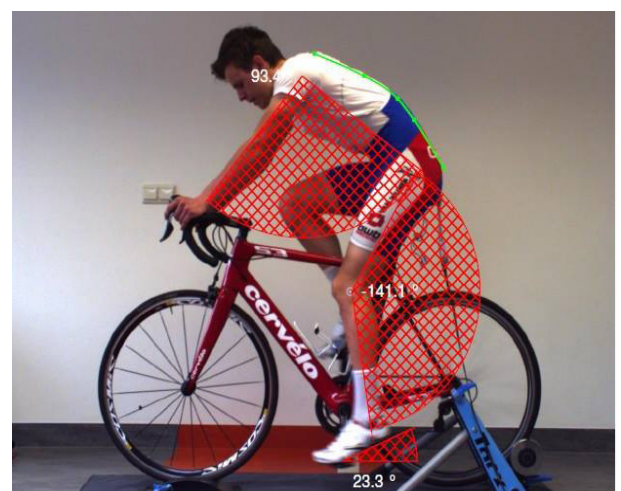


Figuur 2.15: handposities op een wielrennerstuur

van het stuur, het naar voren plaatsen van het zadel of het naar voren kantelen van het zadel. Dit zorgt ervoor dat de drukverdeling naar achteren wordt verschoven. In figuur 2.16 is een voorbeeld te zien hoe een juiste afstelling van de fiets de drukverdeling kan beïnvloeden. De houding hangt echter niet alleen samen met het comfort van het zadel. Een juiste houding is ook belangrijk voor maximale prestatie en het voorkomen van andere klachten. De fietshouding wordt gemeten met een videoanalysesysteem. Deze meet verschillende posities op het lichaam en kan op deze manier de hoek van het schoudergewricht, de hoek van het kniegewricht en de hoek tussen de voetzool en de ondergrond meten. In figuur 2.17 zijn deze hoeken weergegeven. De streefwaarde voor het schoudergewricht is 90° , voor het kniegewricht is dit $140-150^\circ$ in gestrekte toestand en voor hoek tussen de voetzool en de grond is dat $20-25^\circ$. Een goede houding voorkomt rug-, nek-, schouderklachten etc. Wanneer een custom-made fietszadel gemaakt wordt op basis van drukmetingen is de houding van de fietser dus zeer belangrijk.



Figuur 2.16: drukverdeling voor (links) en na afstellen van de fiets (rechts)

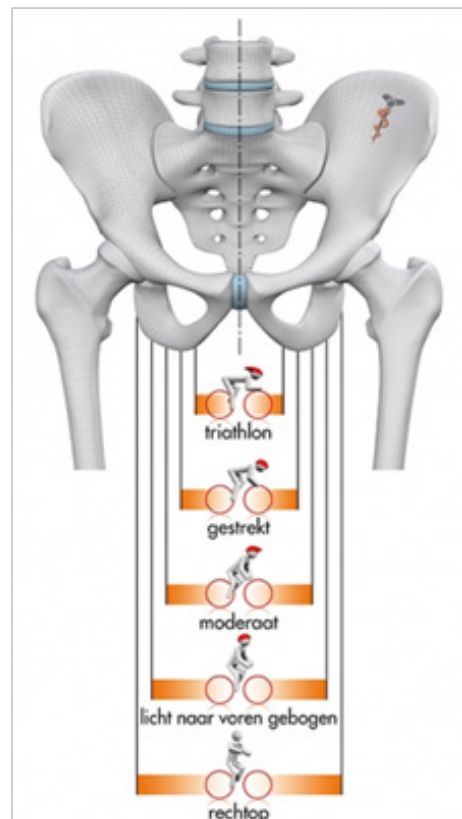


Figuur 2.17: Meting van de fietshouding met videoanalysesysteem

2. Analyse

2.6 Zitbreedte metingen

Zoals eerder is vermeld, is de breedte van het zadel van belang voor een goed comfort. Om de juiste breedte te achterhalen wordt de zitbreedte opgemeten. Tegenwoordig wordt een zadel vaak uitgekozen op basis van een zadelmeting, waarbij de afstand tussen de zitbeenderen wordt gemeten. Hiervoor bestaan verschillende systemen die gebruikt worden door fietsspecialisten. Er wordt een afdruk genomen van het zitvlak op bijvoorbeeld een stuk karton. De druk op locatie van de zitbeenderen is het hoogst, omdat deze voor ondersteuning zorgen. De afstand tussen de middelpunten van deze drukplekken wordt opgemeten. Volgens het meetsysteem van SQlab® wordt er bij de gemeten afstand 0 tot 4 centimeters opgeteld, afhankelijk van de zitpositie (zie figuur 2.18). Sportieve fietsers steunen meer op de voorkant van de zitbeenderen. Aan de voorkant liggen de zitbeenderen dicht bij elkaar, dus hoe meer de fietser naar voren is gebogen hoe smaller het zadel. Voor de zadelmodellen van Specialized® wordt er ander een systeem gebruikt voor het meten van de afstand tussen de zitbeenderen (zie figuur 2.19). Er wordt een afdruk gemaakt in een traagschuim waaruit de afstand gemeten kan worden. WTB® heeft een speciaal systeem waarbij de meting op een speciaal meetzadel wordt uitgevoerd, zoals weergegeven is in figuur 2.20. Het kan over het zadel van de fiets van de gebruiker geplaatst worden, waardoor de fietshouding direct goed is. Er is dus ook geen correctie meer nodig voor de fietshouding.



Figuur 2.18: SQlab® zithouding en zadelbreedte



Figuur 2.19: Specialized® zadelmeetsysteem



Figuur 2.20: WTB® zadelmeetsysteem

2.7 Zitaafdruk en 3D scans

3D scanning is een veelgebruikte toepassing in de podotherapie en orthopedie maar nog niet voor het creëren van custom-made fietszadels. Een 3D scan van een zitaafdruk kan echter wel veel nuttige informatie bieden voor het creëren van een zadel. Het gebruik van deze techniek voor dit project is daarom een overweging. Een afdruk kan in verschillende schuimmaterialen genomen worden. Het maken van een speciaal testzadel waarin een afdruk gemaakt kan worden zou het beste resultaat opleveren. Denk hierbij aan het meetsysteem van WTB®. Dit zadel zal op een fiets geplaatst kunnen worden. Al fietsende kan dan de afdruk genomen worden. Het voordeel hiervan is dat je rekening houdt met de juiste zithouding en de benodigde bewegingsruimte in beeld brengt.

2.7.1 Afdrukmaterialen

Er zijn verschillende materialen mogelijk voor het nemen van een afdruk. Ieder materiaal is geschikt voor een ander doeleinde. In de podotherapie en orthopedie worden schuimdozen gebruikt om een afdruk van een voet te creëren (zie figuur 2.21). Hetzelfde afdrukschuim, maar dan in zadelvorm, zou gebruikt kunnen worden om een zitaafdruk te maken. Andere mogelijkheden zijn verschillende soorten thermoplastische schuimen (zie figuren 2.22 en 2.23). Na verwarming kan een afdruk in het schuim worden genomen. Na verloop van tijd zal het schuim uitharden. In de podotherapie en de orthopedie worden dit soort schuimen vaak gebruikt voor supplementen. Deze materialen zijn

2. Analyse

verkrijgbaar in verschillende hardheden. In de wereld van podotherapie en orthopedie wordt dit aangegeven in shore waarden. Materialen met lage shore waarden kunnen als padding gebruikt worden. Een voorbeeld hiervan is X2 foam (figuur 2.24).



Figuur 2.21: schuimdozen voor voetafdrukken



Figuur 2.22: multiform/megafoam



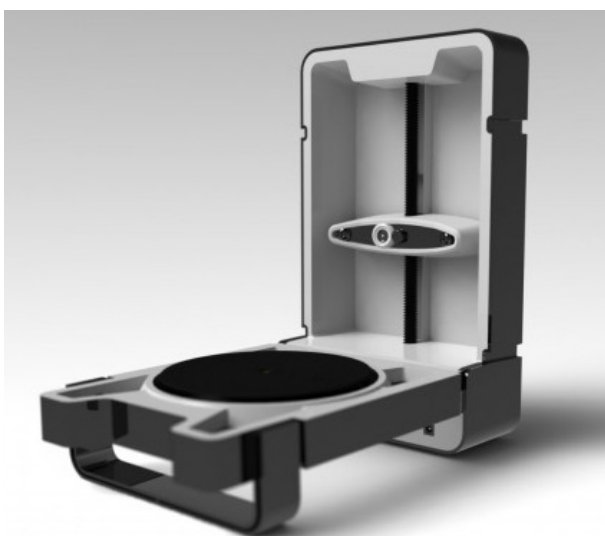
Figuur 2.23: plastazote (Polyethyleen schuim)



Figuur 2.24: X2 foam

2.7.2 Scanapparatuur

Er bestaan verschillende soorten 3D scanners. Als eerste heb je statische scanners. Hierbij wordt het te scannen product op een plateau geplaatst en ingescand. Vaak draait het plateau rond en maakt de scanner een verticale beweging. Een voorbeeld hiervan is de scanner van Matter and Form®, weergegeven in figuur 2.25. Daarnaast bestaan er mobiele scanners, zodat je producten met de hand kunt inscannen. Een voorbeeld hiervan is de scanner van Artec 3D®, weergegeven in figuur 2.26. De meest geschikte 3D scanner is de mobiele scanner die werkt voor de iPad (zie figuur 2.27). De prijs varieert van 400 tot 500 euro, terwijl andere scanners duizenden euro's kunnen kosten.



Figuur 2.25: Matter and Form® statische 3D scanner



Figuur 2.26: Artec 3D® mobiele 3D scanner



Figuur 2.27: iSense® mobiele 3D scanner voor iPad

2. Analyse

2.7.3 Voor- en nadelen zitafdruk scan

Een 3D scan van het zitvlak biedt meer en nauwkeurigere informatie dan de bestaande metingen van onder andere SQlab, Specialized en WTB die besproken zijn in de analyse. In figuur 2.28 worden deze meetsystemen vergeleken met een 3D scan meting. Zo wordt de afstand tussen de zitbeenderen direct in de juiste zithouding gemeten, waardoor je zeker bent van de gemeten afstand. Bij de bestaande systemen wordt dit in een rechte zithouding gemeten en afhankelijk van de gewenste

fietshouding een afstand bij opgeteld. Daarnaast kan in een 3D model afmetingen relatief nauwkeurig afgelezen worden. Het belangrijkste voordeel van een 3D scan is dat het veel meer informatie biedt over de vorm die het zadel moet hebben. Met de bestaande meetsystemen wordt alleen de gewenste breedte van het zadel bepaald. Het nadeel van het 3D scansysteem zijn de kosten en de tijdsduur van de meting. Er moeten oplossingen bedacht worden om kosten en de benodigde tijd voor een meting beperkt te houden.

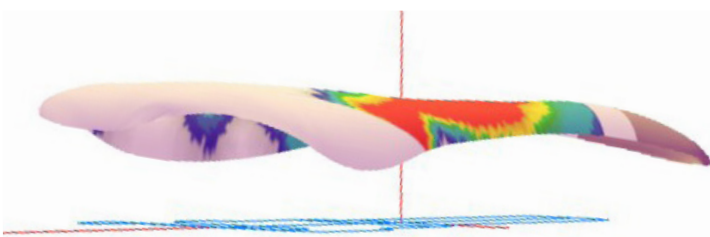
	Specialized	SQlab	WTB	3D-scan
Hoe nauwkeurig is het systeem?	+/-	+/-	+/-	+
In hoeverre wordt er rekening gehouden met de zithouding?	-	-	+	+
Hoeveel informatie kan er uit de afdruk gehaald worden?	-	-	-	+
Is het systeem goedkoop?	+	+	+	-
Hoe snel kan een meting worden uitgevoerd	+	+	+/-	+/-

Figuur 2.28: voor- en nadelen meetsystemen

2.8 Zadel customization

Tot nu toe wordt het customizen van fietszadels nog weinig toegepast. Wel produceren veel fabrikanten, zoals SQlab een zadelmodel in veel verschillende uitvoeringen, waarbij onder andere de breedte van het zadel en de dikte van de padding varieert. Aan de hand van een simpele zadelmeting of een drukmeting kan uit de beschikbare modellen het meest geschikte zadel worden gekozen.

De mogelijkheid om een zadel op maat te laten ontwerpen bestaat echter wel. Het wordt gebruikt wanneer geen enkel standaard model de juiste resultaten oplevert. Een drukmeting is een ideaal hulpmiddel om een individueel zadel te modelleren (zie figuur 2.29). De drukverdeling kan worden geprojecteerd op het zadeloppervlak van het CAD model. Op deze manier kan het oppervlak gecorrigeerd worden. GebioMized biedt naast standaard zadelmodellen, custom fietszadels aan (zie figuur 2.30). Er zijn een aantal adressen waar zadels op maat gemaakt worden. Zo'n zadel bij Energy Lab kost €350,- (exclusief kosten van de drukmeting). In figuur 2.31 is een custom zadel van Bikemedical te zien die wordt gefreesd.



Figuur 2.29: modelleren op basis van drukverdelingen



Figuur 2.30: gebioMized® custom fietszadel



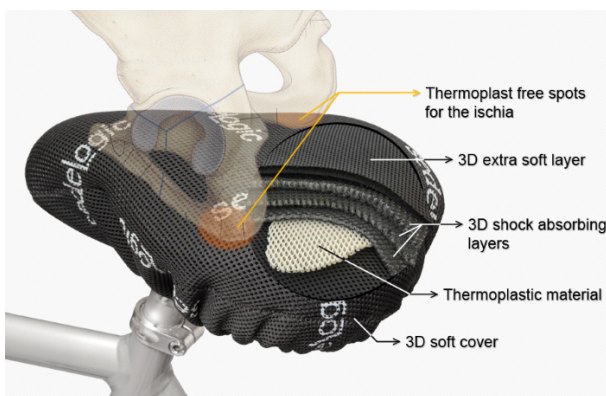
Figuur 2.31: het frezen van een custom zadel (Bikemedical)

2. Analyse

Een ander voorbeeld is de Bike Pad van Sedelogic®. In figuur 2.32 is te zien dat dit een pad is wat over een fietszadel geplaatst kan worden. De pad is niet custom-made maar de vorm van de pad past zich wel aan de gebruiker aan. De pad bevat namelijk een laag van thermoplastisch materiaal. De gebruiker kan de pad opwarmen, over het zadel plaatsen en vervolgens plaats nemen op het zadel. De pad bevat ook schokabsorberende lagen en lagen van ademend polysester om zadelpijn tegen te gaan. Dit product echter niet geschikt voor sportfietsers. Ten eerste is de padding te dik en ten tweede is de pad geschikt voor een constante zithouding, terwijl sportfietsers verschillende houdingen aannemen en over het zadel schuiven.

3D printen is mogelijk een geschikte productietechniek voor custom made fietszadels,

omdat dat elk zadel uniek geproduceerd kan worden. 3D printen wordt tegenwoordig nog niet gebruikt voor het voor het produceren van custom zadels. Echter gebruikt Giant® het wel voor het ontwikkelen en produceren van standaard zadels (zie figuur 2.33). Prototypes worden geprint met behulp van selective laser sintering (SLS), zodat deze getest en eventueel aangepast kunnen worden. Van het geoptimaliseerde zadel wordt een matrijs geprint met behulp van stereolithografie (SLA), waarin het uiteindelijke zadel wordt gegoten. Het gebruik van 3D printen in de ontwikkeling en productie van fietszadels blijkt zowel kosten- als tijdsefficiënter te zijn dan de traditionele methoden. Hierdoor biedt het de mogelijkheid om het aantal verschillende modellen fietszadels uit te breiden om aan de eisen van zoveel mogelijk mensen te voldoen.



Figuur 2.32: Sedelogic® Bike Pad



Figuur 2.33 : Giant® zadels gegoten in 3D geprinte matrijsen

2.9 User requirements

Zoals in de inleiding is vermeld, is de gekozen doelgroep de hobby-wielrenner. Zadelpijn is een veelvoorkomend probleem binnen deze doelgroep en daarnaast zijn ze bereid te investeren in een kwalitatieve uitrusting. Verder is deze groep geschikt, omdat er reeds verschillende professionele systemen bestaan om metingen uit te voeren bij wielrenners. Deze metingen bieden informatie voor het maken van een geschikt zadel. Uit deze doelgroep valt dus veel meer informatie te verkrijgen dan uit de casual fietsers. Dit maakt de eerste stap van de ontwikkeling van het product eenvoudiger. In een later stadium zou er een alternatief model, gebaseerd op hetzelfde concept, voor casual fietsers ontwikkeld kunnen worden.

Hobby-wielrenners zijn de belangrijkste klanten van Bikefitters. Uit een gesprek Sander Visschers (FitYourBike) is gebleken dat de custom-made zadels zeer matig verkopen, omdat de prijs te hoog is. Deze groep mensen hebben geen €350,- over voor een fietszadel. Ze betalen tenslotte al 100-200 euro voor de metingen alleen. Hobby-wielrenners hebben een redelijk hoog budget, maar de prijs moet niet te ver oplopen. De richtprijs wordt daarom €350,- voor het zadel inclusief de benodigde metingen. €350,- is nog steeds een hoge prijs voor een fietszadel, maar voor de huidige doelgroep is het een geschikte prijs.

De doelgroep vindt een goede fietsuitrusting belangrijk. Uitrusting moet de fietsprestatie optimaal beïnvloeden. Hierbij speelt het gewicht van de fiets een belangrijke rol. Het zadel is misschien een

klein deel van het totale gewicht, toch wordt een minimaal gewicht van het zadel vereist. Zadels die voor een groot deel uit carbon bestaan wegen rond de 100-150 gram. Het maximale gewicht wordt op 200g gesteld. Omdat customization eventueel extra gewicht kan opleveren, is een gewicht van ca. 100-150g waarschijnlijk niet haalbaar. Dit kan alleen wanneer het zadel voor een groot deel uit carbon wordt gemaakt.

De drukverdeling op het zadel bepaalt uiteindelijk of een zadel goed aansluit bij de anatomie van de gebruiker. De drukwaardes bepalen of er pijn wordt ervaren. Drukpieken moeten daarom verspreid worden. Een zeer belangrijke functie van het zadel is dat de druk minimaal wordt gehouden. De totale druk is afhankelijk van het gewicht van de fietser en van het contactoppervlak tussen het zadel en het zitvlak:

$$\text{Zadeldruk (N/m}^2\text{)} = \frac{\text{Gewicht (N)}}{\text{Contactoppervlak (m}^2\text{)}}$$

Het zadelontwerp heeft geen invloed op het gewicht van de gebruiker. Om de druk toch te minimaliseren, moet het contactoppervlak zo hoog mogelijk worden. Het contactoppervlak is groot wanneer het zadel dezelfde vorm heeft als het zitvlak van de fietser.

Het zadel hoeft niet per definitie te voldoen aan de regels voor deelname aan wielervedstrijden, maar dit is wel gewenst. Deze regels zijn weergegeven in het reglement van de UCI (Union Cycliste Internationale). Het deel wat de afstelling en de afmetingen van het zadel betreft is weergegeven in

2. Analyse

bijlage I. Hierbij mag de hoek tussen het zadel en het horizontale vlak maximaal 3° zijn. De lengte van het zadel is moet tussen de 24 en 30 cm liggen. Daarnaast mag het zadel niet te ver naar voren worden geplaatst. De horizontale afstand tussen de zadelneus en de trapas moet minimaal 5cm zijn.

Belangrijk is, dat de metingen niet te veel tijd in beslag nemen. Dit loopt namelijk erg op in de totale kosten. De tijdsduur van een bikefitting, afhankelijk van het gekozen pakket, varieert van 60 tot 180 minuten, waarvan de zadelmetingen ongeveer 60 minuten kosten. De benodigde zadelmetingen voor een custom-made fietszadel worden daarom ook op 60 minuten gehouden. Daarnaast is het belangrijk dat de metingen zijn uit te voeren in bestaande ruimtes voor bikefitting.

Hoewel prestatie en comfort het belangrijkste is, kijkt de doelgroep ook naar de vormgeving en uitstraling van het zadel. Het zadel moet het gevoel geven van snelheid en lichtgewicht.

2.10 PvE en functies

Eisen voor het zadelontwerp en de benodigde metingen in het algemeen:

- Het zadel zorgt voor stabiliteit (bijvoorbeeld door middel van een zadelneus).
- De shell van het zadel is stijf genoeg voor de belasting van een persoon van 100kg
- Het gewicht is maximaal 200g.
- De richtprijs van het zadel inclusief de benodigde metingen is €350,-.
- De metingen duren in totaal maximaal 60 minuten.
- De metingen zijn uit te voeren in bestaande bikefitting ruimtes en sportzaken.

Gebruikerseisen voor het zadelontwerp (customization zorgt ervoor dat er aan deze eisen wordt voldaan):

- Het zadel biedt ondersteuning via de zitbeenderen van de gebruiker (juiste zadelbreedte).
- Het zadel biedt bewegingsruimte voor de bovenbenen van de gebruiker.
- De padding van het zadel biedt genoeg comfort.
- De padding van het zadel zorgt voor een minimale wrijving.
- De drukverdeling op het zadel bevat geen hoge drukpunten.
- De drukverdeling op het zadel is symmetrisch.
- Het zadel oefent minimale druk uit op het perineum en het geslachtsdeel van de gebruiker.

Voor het custom-made fietszadel zijn functies opgesteld. Deze functies zorgen ervoor dat het product aan de gestelde eisen voldoet. De functies zijn weergegeven in figuur 2.34. Achter elke functie

zijn verschillende mogelijke ontwerp oplossingen weergegeven. Deze ontwerp oplossingen helpen bij het genereren van de concepten. De concepten worden besproken in het volgende hoofdstuk.

Functies meetsysteem:	Oplossingen:
Afstand tussen zitbeenderen achterhalen	Zitbreedte meting, zadeldrukmeting, zitafdruk (3D scan).
Vorm en grootte van het perineum achterhalen	Zadeldrukmeting, zitafdruk (3D scan).
Hoge drukpunten achterhalen	Zadeldrukmeting, zitafdruk (mate van doorzakking).
Functies fietszadel:	Oplossingen:
De zitpositie van de gebruiker stabiliseren	Stabilisatie tussen de benen (zadelneus), stabilisatie achterop zadel (zadelvin).
Gewichtsbelasting opvangen met beperkte doorbuiging	Stijf materiaal gebruiken in de shell en zadelbrug, stijve constructie shell- en zadelbrugconstructie.
Maximale druk beperkt houden	Vorm op basis van drukverdeling, vorm op basis van zitafdruk.
Het perineum en het geslachtsdeel ontlasten	Plaatselijk zachter materiaal, uitsparing.

Figuur 2.34: productfuncties en ontwerp oplossingen

3. Concepten

Inleiding

Uit de analyse is gebleken dat er verschillende manieren bestaan om zadelmetingen uit te voeren. De vraag is nu welke metingen geschikt zijn voor een custom-made fietszadel en hoe meetresultaten zich vertalen naar een zadelontwerp. In dit hoofdstuk worden verschillende concepten besproken en hoe deze concepten een oplossing bieden voor de verschillende productfuncties. Uiteindelijk wordt er aan de hand van een beoordeling een overwogen keuze gemaakt voor een concept dat verder uitgewerkt zal worden. Ideeschetsen die tot de concepten hebben geleid zijn te vinden in bijlage II.

3.1 Concept 1

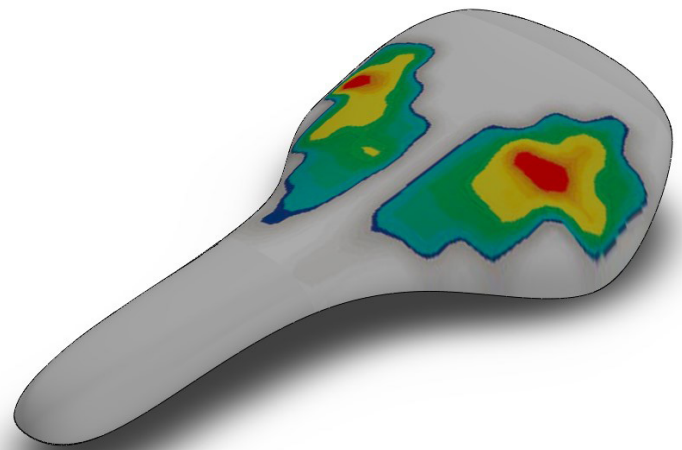
Het eerste concept is een custom-made fietszadel die wordt gefreesd op basis van een drukverdeling.

3.1.1 Zadelmeting

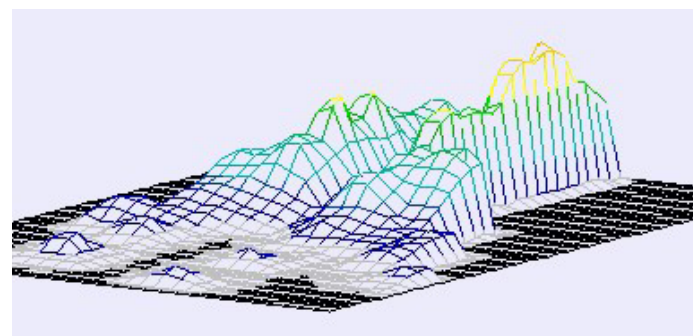
De benodigde meting voor dit concept is een zadeldrukmeting. Hiervoor moet een juist uitgangszadel gekozen worden. Hiervoor worden een aantal verschillende standaardzadels geproduceerd die variëren in breedte en eventueel in vorm. Deze meting kan worden uitgevoerd door een bikefitter. Deze houdt dan ook rekening met de verdere afstelling van de fiets. De drukverdeling op het zadel met de juiste fietsafstelling wordt gebruikt voor het modelleren van het zadel. Belangrijke informatie die uit de meting voortkomt is de waarde van elk drukpunt en de positie op het zadel. In figuur 3.1 is te zien hoe de positionering van de druk op een zadel eruit kan zien.

3.1.2 Zadel customization

Van het uitgangszadel, die gebruikt is voor de metingen, moet nu een custom-made zadel gemaakt worden. Dit wordt gedaan door materiaal weg te frezen van het zadel. De geometrie van het zadel wordt gekoppeld aan de drukverdeling. Hiervoor zou de drukverdeling als 3D geometrie geëxporteerd kunnen worden, zoals te zien is in figuur 3.2. Bij plekken waar de druk hoog is zal meer materiaal weggefreest worden dan bij plekken waar de druk laag is. Door gebruik te maken van algoritmen is het mogelijk om van het modelleren van het zadel een geautomatiseerd proces te maken.



Figuur 3.1: drukverdeling op een 3D vlak



Figuur 3.2: 3D weergave van een drukverdeling

3. Concepten

3.2 Concept 2

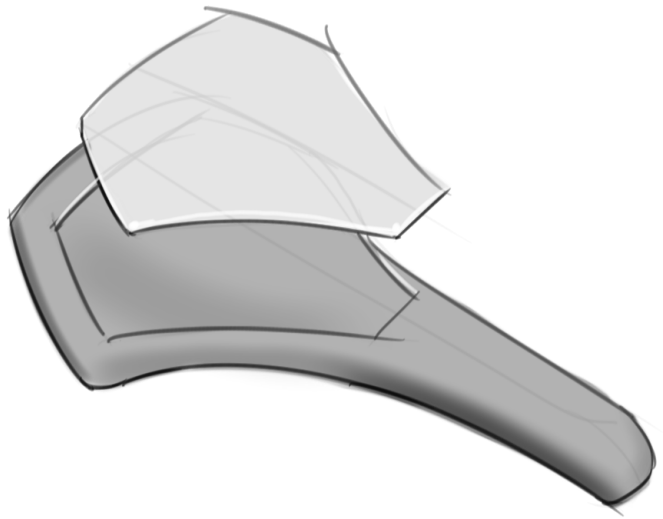
Het tweede concept is een zadel met een uitsparing. In deze uitsparing wordt een custom insert geplaatst die wordt 3D geprint.

3.2.1 Meting

Net als bij het eerste concept zal er gebruik gemaakt worden van een zadeldrukmeting. Dat betekent dat ook hier een juist uitgangszadel nodig is voor de metingen. Daarnaast kan er ook gebruikt gemaakt worden van een 3d scan techniek. Hiervoor moet er een zitafdruk gemaakt worden. Een drukmeting laat vooral zien waar kritieke drukplekken zitten. Een 3D scan geeft vooral informatie over de anatomie van de specifieke persoon.

3.2.2 Zadel customization

In de uitsparing van het gebruikte zadel voor de meting wordt een geprinte insert geplaatst (zie figuur 3.3). Aan de hand van de drukverdeling en de 3D scan wordt deze insert gecustomized. De gelokaliseerde drukpunten moeten gecorrigeerd worden. Rond deze druk punten moet het zadel goed om het zitvlak heen vormen om deze druk verdelen. De drukverdeling helpt met het lokaliseren van correctiepunten en de 3D scan helpt met het bepalen van de geschikte vorm. Als de insert gemodelleerd is, kan deze geprint worden en in het zadel geplaatst worden.



Figuur 3.3: zadel met een 3D geprinte insert

3.3 Concept 3

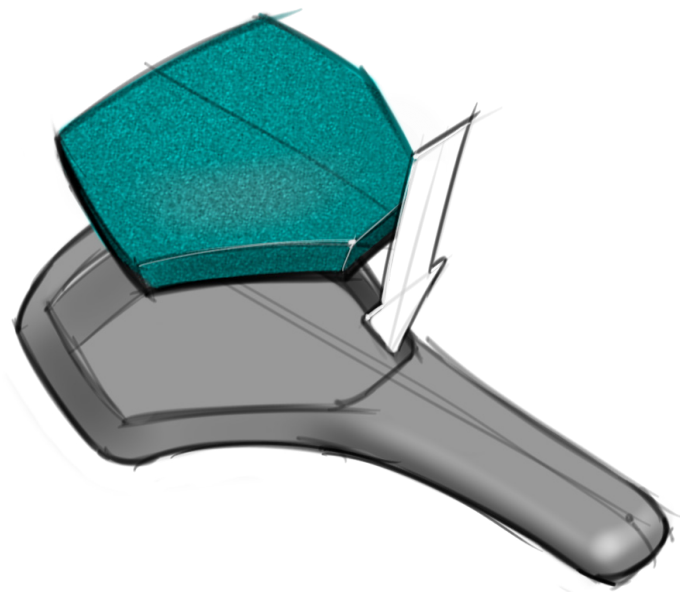
Het derde concept is gericht op efficiënte productie. Er wordt een zitafdruk gemaakt in een thermoplastische insert en dit vormt direct het zadel. Er is in dit geval sprake van serieproductie in plaats van stuksproductie.

3.3.1 Meting

Ook bij dit concept is er een uitgangszadel nodig voor het uitvoeren van de metingen. De meting bestaat in dit geval enkel uit het afnemen van een zitafdruk in een thermoplastisch materiaal. Dit materiaal wordt eerst verwarmt en vervolgens als insert in het zadel geplaatst (zie figuur 3.4). Het materiaal is nu thermoplastisch vervormbaar, dus kan er een afdruk worden genomen. Ook hier is weer belangrijk dat de fiets juist is afgesteld en de testpersoon de juiste fietshouding heeft.

3.3.2 Zadel customization

Nadat de inserts zijn uitgehard is het zadel al bijna klaar. Er hoeft alleen nog een afdek materiaal over het zadel geplaatst te worden. De afdruk wordt letterlijk overgenomen in het zadel. Dit zorgt min of meer voor een gelijke verdeling van de druk over de hele insert. Omdat het perineum eigenlijk zoveel mogelijk ontlast moet worden, zou een insert met een uitsparing in het midden een betere drukverdeling opleveren.



Figuur 3.4: zadel met thermoplast insert

3. Concepten

3.6 Conceptkeuze

In figuur 3.6 zijn de verschillende concepten in een tabel geplaatst en op basis van het programma van eisen (zie analyse) met elkaar vergeleken. Er is een beoordelingssysteem gebruikt om de conceptkeuze extra te ondersteunen. Elk concept heeft een score van 1, 2 of 3 bij een eis. De score staat voor de mate waarin het concept aan de betreffende eis voldoet. Daarnaast heeft elke eis een eigen weging van 1, 2 of 3, om het belang van de eis aan te geven. Onderaan de tabel zijn de totale scores van de concepten weergegeven.

Stabiliteit en stijfheid hebben een weging van 3 gekregen, omdat het essentieel is voor het functioneren van een fietszadel, met name bij de wielersport. De eis voor de kosten heeft ook een weging van 3, omdat met beperkte kosten een grotere groep gebruikers bereikt kan worden. Het meetsysteem moet makkelijk geïntegreerd kunnen worden. Het moet dus toepasbaar zijn in bestaande ruimtes voor bikefitting. De benodigde ruimte voor meting heeft daarom een weging van 3. Het is ook belangrijk een geschikte drukverdeling te creëren, omdat dit het verschil maakt met standaard fietszadels. De laatste twee eisen hebben daarom ook een weging van 3. Het gewicht van het zadel is minder belangrijk, omdat het geen invloed heeft op het comfort. Wel moet er rekening mee gehouden worden, omdat er in de wielersport altijd wordt gestreefd naar een zo laag mogelijk gewicht van de fiets. Het gewicht heeft daarom een weging van 2. De tijdsduur van de metingen heeft ook een zekere invloed op de kosten van een zadel. Uiteraard is een juiste breedte van het zadel belangrijk

voor comfort, maar het zou voldoende zijn als er bijvoorbeeld drie standaard maten zijn. Daarom ook voor zadelbreedte een weging van 2. Hetzelfde geldt voor de dikte van de padding. Het is belangrijk voor het comfort, maar het zou voldoende zijn als er verschillende standaard diktes beschikbaar zijn. De eis voor voldoende bewegingsruimte heeft een weging van 1 gekregen. Het is namelijk niet van belang dat dit wordt aangepast op de persoon. Er kan simpelweg rekening gehouden worden met uiterste, oftewel de maximale dikte van de bovenbenen. Zodat elke persoon genoeg bewegingsruimte heeft tijdens het fietsen.

Concept 3 blijkt de hoogste totale score te hebben. De grote voordelen van het derde concept zijn de beperkte kosten en korte productietijd. De klant zou het zadel na het nemen van de afdruk al mee kunnen nemen, gezien er alleen nog een afdek materiaal overheen geplaatst hoeft te worden.

	Concept 1	Concept 2	Concept 3		
Algemeen:					Weging:
Stabiliteit	3	3	3	x	3
Stijfheid shell	3	3	3	x	3
Gewicht	1	3	3	x	2
Kosten	1	1	3	x	3
Tijdsduur metingen	2	1	3	x	2
Ruimte metingen	3	3	3	x	3
Customization:					
Zadelbreedte	3	2	2	x	2
Bewegingsruimte ¹	3	1	1	x	1
Dikte padding	3	3	3	x	2
Verdeling drukpieken	3	3	3	x	3
Aanpassing druk ²	3	3	2	x	3
	69	67	74		

Figuur 3.5: beoordelingstabel concepten

1). Afhankelijk van de hoofdvorm van hetzadel en de breedte van de neus.

2). Minimalisatie van de druk op het perineum en het geslachtsdeel.

4. Prototype

Inleiding

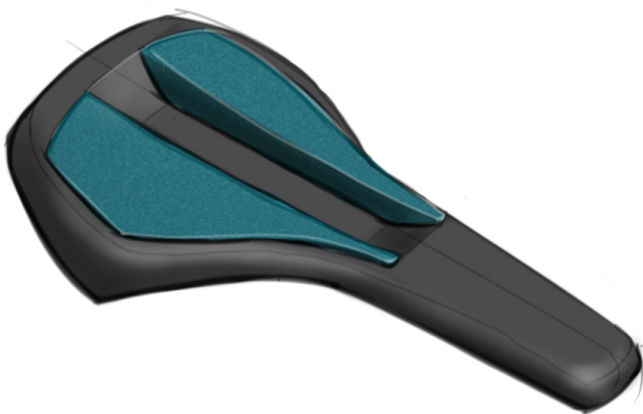
In dit hoofdstuk wordt de uitwerking van het gekozen concept tot een functioneel prototype besproken. In totaal zijn er twee prototypes gemaakt. Het eerste prototype wordt gebruikt om thermoplastisch materiaal te testen. Verbeterpunten worden in het tweede prototype doorgevoerd. Dit tweede prototype wordt voor de uiteindelijke test gebruikt. Na het nemen van de afdruk in het tweede prototype wordt het zadel op een drukverdeling beoordeeld.

4.1 Prototype 1

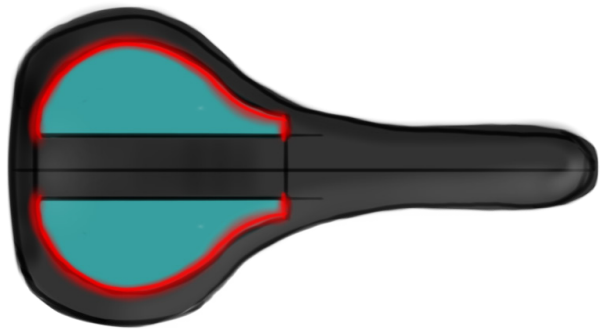
Het eerste prototype wordt gebruikt om het nemen van een afdruk in thermoplastisch materiaal te testen. Hiervoor wordt een testzadel met uitsparingen uit schuimmateriaal gefreesd.

4.1.1 Ontwerp

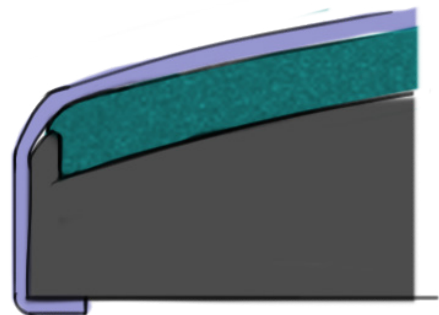
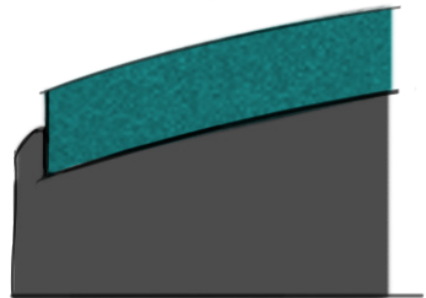
Het prototype wordt gemaakt aan de hand van de tekening in figuur 4.1. De thermoplast is in twee delen verdeeld. In het midden wordt geen thermoplast geplaatst om het perineum zoveel mogelijk te ontlasten. Omdat de thermoplasten in een soort kuipjes worden geplaatst, zijn er randen die een lokaal verhoogde druk kunnen veroorzaken (zie figuur 4.2). De thermoplast komt iets boven het zadeloppervlak uit om te voorkomen dat de randen vervelende druk opleveren. Uiteindelijk zal het afdek materiaal deze randen afvlakken (zie figuur 4.3). In plaats van een scherpe overgang, is er dan een geleidelijke overgang van zacht naar hard materiaal bij de randen.



Figuur 4.1: Ontwerp voor prototype 1



Figuur 4.2: kritische druk bij randen van de inserts



Figuur 4.3: afvlakking van de inserts door afdek materiaal (doorsnede)

4. Prototype

4.1.2 Proces

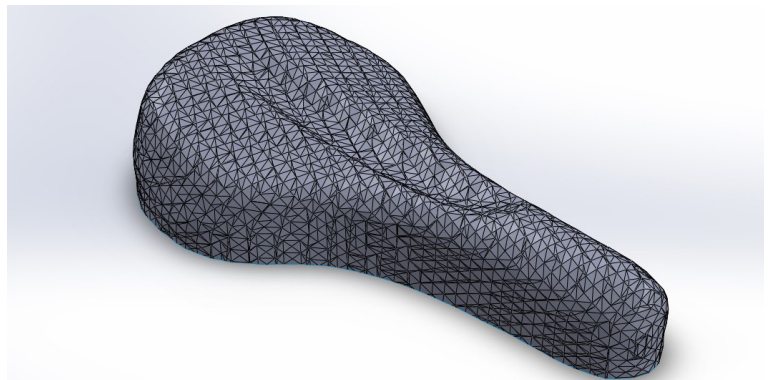
Het eerste prototype is gemaakt met behulp van een computer numerical control (CNC) freesmachine. Het zadel wordt gefreesd uit zwart Ethyleen Vinyl Acetaat (EVA) schuim.

Voordat er een zadel wordt gemaakt, moet de basisvorm gedefinieerd worden. Daarom wordt er eerst een schuimmodel gemaakt. Deze is eerst geslepen tot ruwe zadelvorm. Vervolgens is het schuimmodel bijgeschuurd tot het een geschikte vorm heeft. Hierbij is er met name op de vorm en formaat van het zitvlak gelet. In elke zithouding met het zadel voldoende ondersteuning bieden via de zitbeenderen. Het model is weergegeven in figuur 4.4. In de figuur zijn de krommes geaccentueerd die de vorm definiëren.

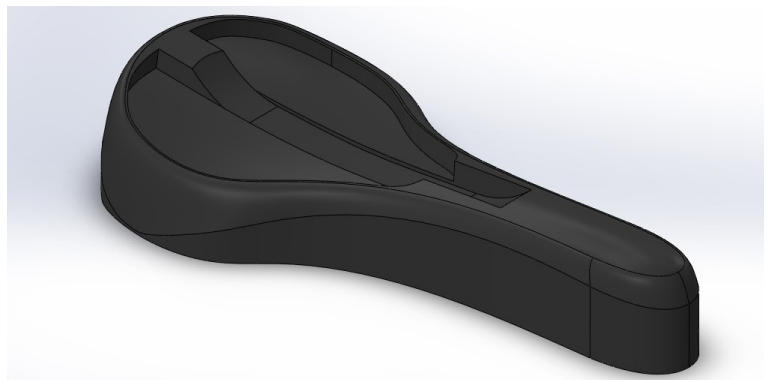
Vervolgens is er een 3D scan gemaakt van het model (zie figuur 4.5). De 3D scan is met een mobiele 3D scanner gemaakt. De bestandsextensie hiervan is STL. Deze scan wordt gebruikt om de vorm zo nauwkeurig mogelijk over te nemen in het CAD model. In het zadel worden nu de uitsparingen voor de inserts gemodelleerd. Het CAD model is weergegeven in figuur 4.6. Voor het modelleren van het CAD model is SolidWorks® gebruikt.



Figuur 4.4: eerste schuimmodel



Figuur 4.5: 3D scan van het eerste schuimmodel



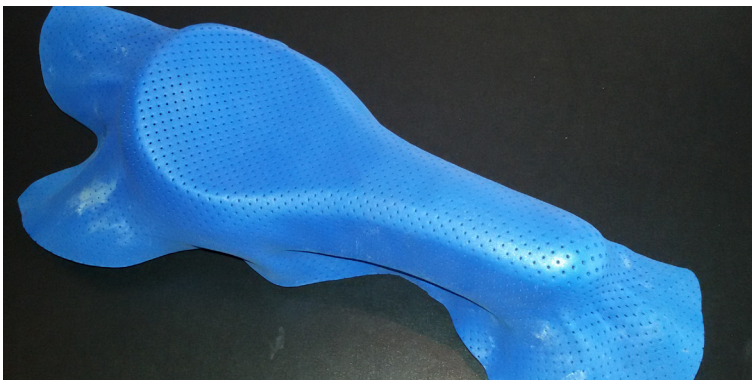
Figuur 4.6: CAD model met uitsparingen



Figuur 4.7: gefreesd schuimmodel



Figuur 4.8: schuimmodel met multiform inserts



Figuur 4.9: thermovormen van afdek materiaal

Het CAD model wordt ingeladen in de software voor de CNC freesmachine. Het gefreesde zadel is te zien in figuur 4.7. In de uitsparingen zijn dunne lagen schuim gelijmd, omdat de thermoplastische inserts niet ver genoeg boven het zadeloppervlak uitkomen. In figuur 4.8 is het zadel te zien met thermoplastische inserts. Multiform is hiervoor gebruikt. In het midden is een extra strook schuim geplaatst zodat de inserts goed gefixeerd zijn. Deze wordt na de afdruk weer verwijderd.

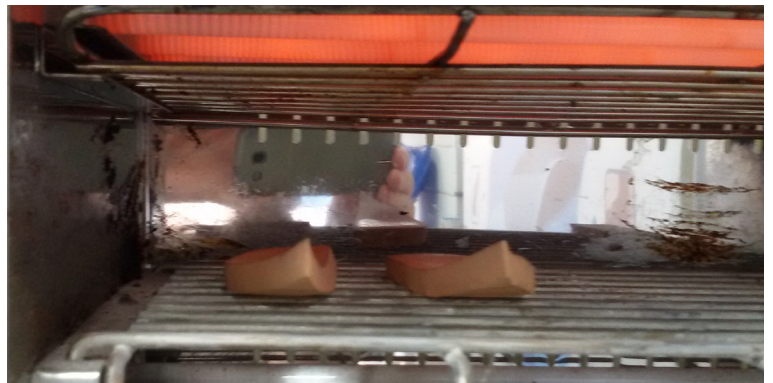
Vervolgens wordt er thermoplastisch afdek materiaal om het zadel heen gevormd (zie figuur 4.9). Door het materiaal met een föhn te verwarmen neemt het de vorm van het zadel aan. Nadat de afdruk is genomen wordt het afdek materiaal bevestigd op het zadel.

4. Prototype

Voor het nemen van de testafdruk worden de thermoplastische inserts in een oven geplaatst en verwarmt tot het materiaal plastisch vervormbaar is. (zie figuur 4.10). De inserts worden vervolgens in de uitsparingen van het zadel geplaatst. Het afdek materiaal wordt over het zadel geplaatst, maar nog niet bevestigd. Het afdek materiaal beschermt tegen de hoge temperatuur van de inserts. De testpersoon neemt plaats op het zadel in een voorovergebogen zithouding tot de inserts zijn uitgehard. De inserts zijn afgekoeld en hebben de vorm van het zitvlak aangenomen (zie figuur 4.11).

4.1.3 Evaluatie

Het eerste prototype is besproken met bikefitter, Sander Visschers (FitYourBike). Hieruit volgen een aantal verbeterpunten voor het ontwerp. Ten eerste zijn de randen van het zadel nog te hoog en leveren ze waarschijnlijk alsnog drukpieken op. Dit heeft ook te maken met het samendrukken van de thermoplast. Door het samendrukken is het materiaal ook harder geworden, met name bij de zitbeenderen. De hardheid is ongelijk verdeeld, omdat het materiaal op de ene plek meer samendrukt dan op de andere plek. De randen van de thermoplast zelf worden ook harder na het nemen van een afdruk. Deze randen kunnen daarom ook problemen veroorzaken. Een ander kritiekpunt is het formaat van de inserts. De inserts missen een belangrijk deel aan de voorkant van het zadel en bij de liezen. Bovendien zijn de inserts niet goed gefixeerd. Ze worden in het midden niet omsloten, waardoor ze nog kunnen verschuiven.



Figuur 4.10: verwarmen van multiform inserts



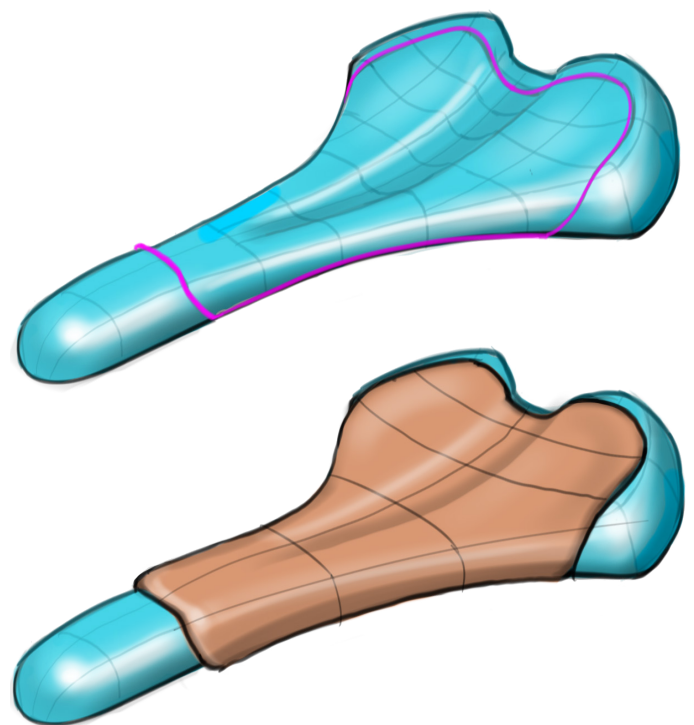
Figuur 4.11: vervormde inserts

4.2 Prototype 2

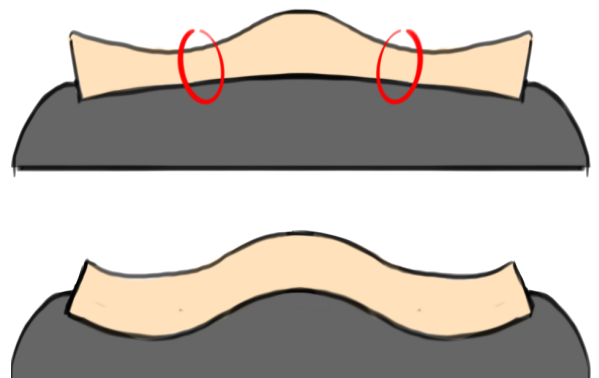
Aan de hand van de evaluatie van het eerste prototype zijn er verbeterpunten doorgevoerd in het tweede prototype. Het tweede prototype wordt gebruikt om de uiteindelijke test met een wielrenner en een fietsopstelling uit te voeren.

4.2.1 Ontwerp

In figuur 4.12 is het ontwerp voor het tweede prototype te zien. Als eerste is ervoor gekozen om alle randen van het zadel te verwijderen en de thermoplast op het zadelvlak te lijmen. Het zadel zal dan in zijn geheel verwarmd moeten worden. Het voordeel hiervan is dat hoge drukpunten worden voorkomen, omdat er geen scherpe randen zijn. Ook is het zeker dat de thermoplast niet meer verschuift. De thermoplast bestaat nu uit een deel. Om toch druk op het perineum te verminderen is er in het midden een vloeiende gleuf geplaatst. Daarnaast dekt de thermoplast een groter gebied van het zadel. Belangrijk is dat de liezen worden meegenomen, omdat dit een gebied is waar veel klachten voorkomen. Alleen het voorste deel van de neus wordt niet meegenomen, omdat dit deel enkel een stabiliseringsfunctie heeft en hier normaalgesproken geen druk te vinden is. Het oppervlak van het zadel is ook aangepast. De vorm is zo gemaakt dat de samendrukking van de thermoplast beter verdeeld wordt (zie figuur 4.13). Het zadel oppervlak heeft daarom de vorm van een zit afdruk. Een ander voordeel hiervan is dat de thermoplast nog beter om het zitvlak kan vormen, waardoor de druk beter verdeeld wordt. Bij de liezen



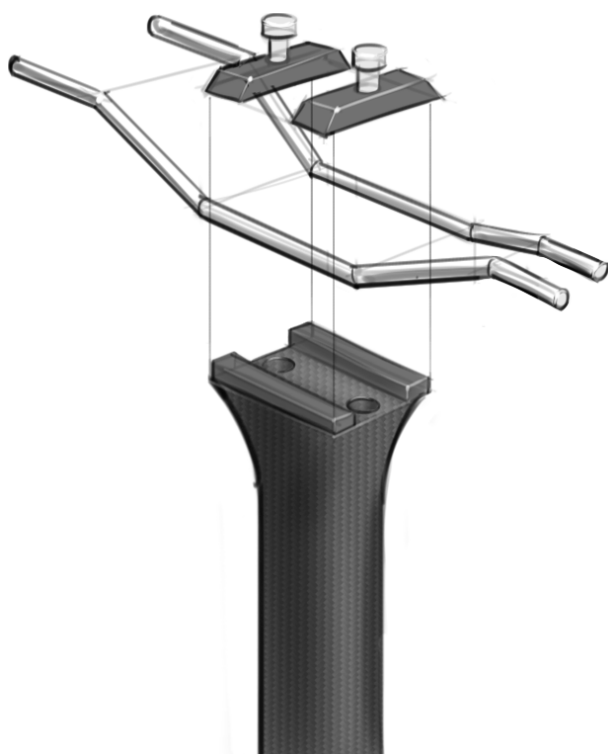
Figuur 4.12: ontwerp voor prototype 2



Figuur 4.13: samendrukking thermoplast

4. Prototype

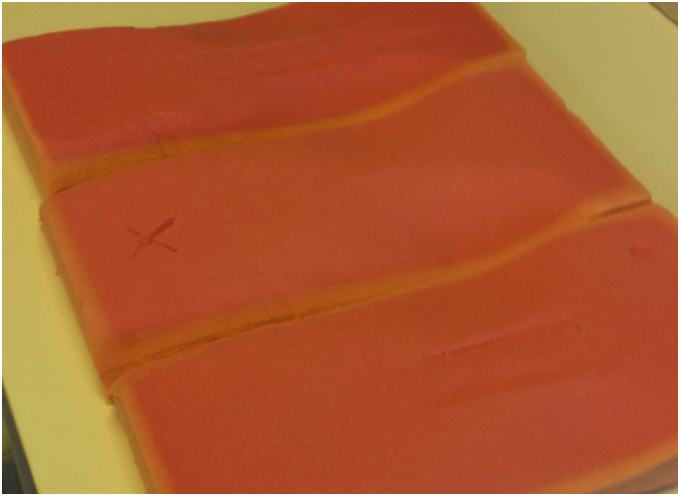
wordt er rekening gehouden met de benodigde bewegingsruimte, zodat hier niet te veel wrijving ontstaat. In tegenstelling tot het eerste prototype moet dit zadel op een fiets geplaatst kunnen worden. Daarom moet een bestaande zadelbrug aan dit zadel gemonteerd kunnen worden. Het prototype kan dan net als andere zadels op een zadelpen gemonteerd worden zoals in figuur 4.14..



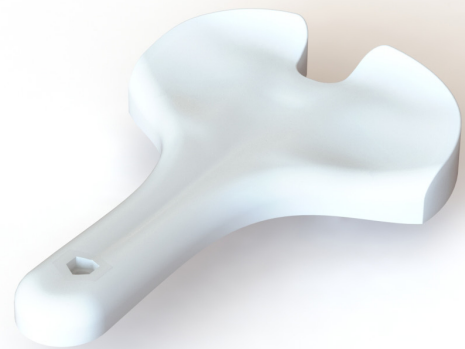
Figuur 4.14: verbinding zadelbrug met zadelpen

4.2.2 Proces

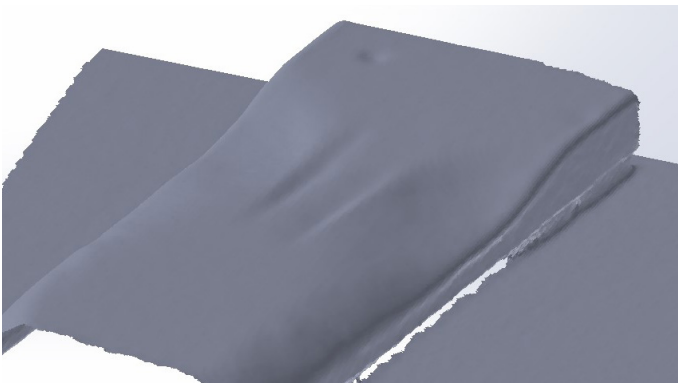
Als eerst wordt de vorm van het zadeloppervlak vast gelegd. Hiervoor worden zitafdrukken gemaakt in schuimdozen (zie figuur 4.15). De afdruk is genomen met een voorovergebogen zithouding. De zitafdrukken zijn vervolgens gescand met een mobiele 3D scanner (zie figuur 4.16). De bestandsextensie hiervan is STL. Het STL bestand is in Rhinoceros® geopend en vervolgens verwerkt tot een enkel vlak (zie figuur 4.17). Dit vlak is in SolidWorks® verder bewerkt tot een maakbaar zadel (zie figuur 4.18). Aan de onderkant zijn bevestigingselementen toegevoegd voor het monteren van de zadelbrug (zie figuur 4.19). Aan de achterkant wordt de brug in twee buisjes geplaatst. Aan de voorkant wordt de brug ingeklemd door middel van een bout en moer verbinding (zie figuur 4.20). Het zadel is een shell met een wanddikte van 5mm.



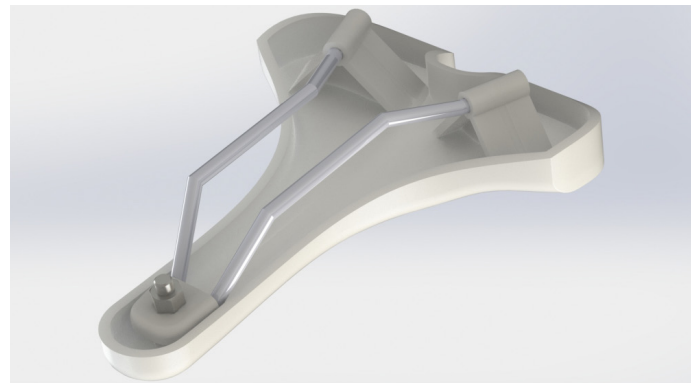
Figuur 4.15: zitafdruk in schuimdozen



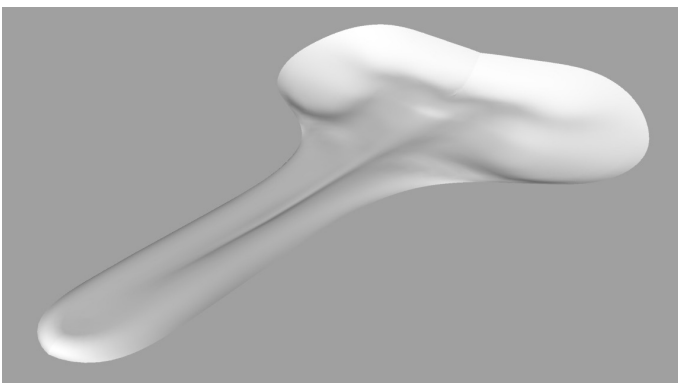
Figuur4.18: CAD model prototype 2



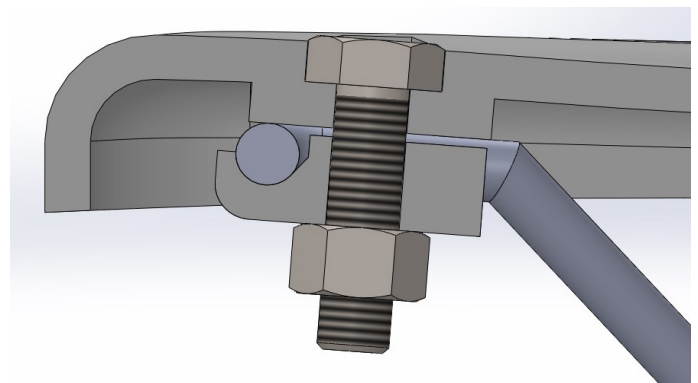
Figuur 4.16: 3D scan zitafdruk



Figuur 4.19: verbinding zadelbrug



Figuur 4.17: basisvlak voor zadel



Figuur 4.20: moersluiting zadelbrug

4. Prototype

Het zadel is uiteindelijk geprint. Het resultaat is te zien in figuur 4.21. Voor het printen is een Selective Laser Sintering (SLS) machine gebruikt. Bij het printen wordt gebruik gemaakt van nylonpoeder (PA 2200). Over het zadel wordt een padding van thermoplastisch vervormbaar EVA schuim geplaatst (zie figuur 4.22). De randen van deze laag zijn afgerond om te voorkomen dat de padding hoge drukpunten veroorzaakt.



Figuur 4.21: Prototype 2



Figuur 4.22: Prototype 2 Inclusief EVA Padding

4.3 Test prototype

Er is een test uitgevoerd om het concept te kunnen beoordelen en aanbevelingen te kunnen doen voor verdere ontwikkeling van het concept. De test is uitgevoerd in de praktijk, FitYourBike van Sander Visschers. In de praktijk is een fietstrainer en het meetsysteem van GeBioMized® voor zadeldrukmetingen aanwezig (zie figuur 4.23). De testpersoon is wielrenner, Mark Schreurs. Ter voorbereiding is een testplan gemaakt. Deze is te vinden in bijlage III. Het doel van de test is het vergelijken van de drukverdeling op het zadel voor het thermovormen van de padding en na het thermovormen. Omdat de handpositie op het stuur de drukverdeling beïnvloedt, is enkel gebruik gemaakt van de positie bij de remgrepen.

4.3.1 Hypotheses

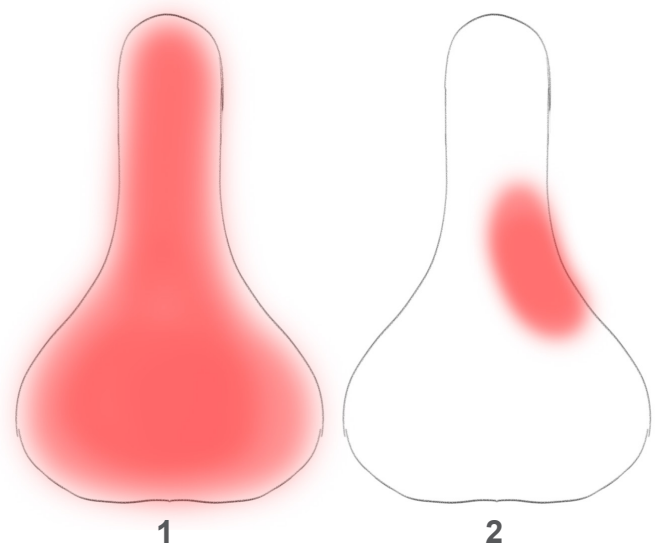
Voor de test zijn drie hypothesen opgesteld. Ten eerste zou het thermoplastisch vervormde zadel symmetrie in de drukverdeling moeten bevorderen. Ten tweede zou het totale contactoppervlak moeten toenemen waardoor de totale druk afneemt. Tenslotte zouden hoge drukpunten in de drukverdeling verminderd moeten worden.

4.3.2 Uitvoering

Voor de metingen is het zadel goed afgesteld, zodat de druk voor en achter op het zadel in balans is. De druk wordt gemeten zonder de padding eerst thermoplastisch te vervormen. Vervolgens wordt de padding verwarmd. De testpersoon neemt plaats op het zadel zodat de padding zich naar het zitvlak van de gebruiker vormt. De druk op het zadel wordt



Figuur 4.23: Fietsopstelling



Figuur 4.24: Verwarmen van het zadel

opnieuw gemeten. De padding is nog een tweede keer verwarmd. Dit keer alleen rechts van het midden van de padding (zie figuur 4.24), omdat er nog steeds asymmetrie in de verdeling te zien was. De druk is vervolgens nog een keer gemeten.

2. Analyse

	Niet vervormd	1 keer vervormd	2 keer vervormd
Druk links/rechts	59 : 41	67 : 33	63 : 38
Druk voor/achter	59 : 42	65 : 35	63 : 38
Belasting oppervlak (%)	44	46	50
Max. druk schaambeen (N/m ²)	29,4×10 ³	25,6×10 ³	25,9×10 ³
Max. druk zitbeen links (N/m ²)	29,6×10 ³	22,6×10 ³	29,4×10 ³
Max. druk zitbeen rechts (N/m ²)	23,4×10 ³	19,7×10 ³	26,4×10 ³

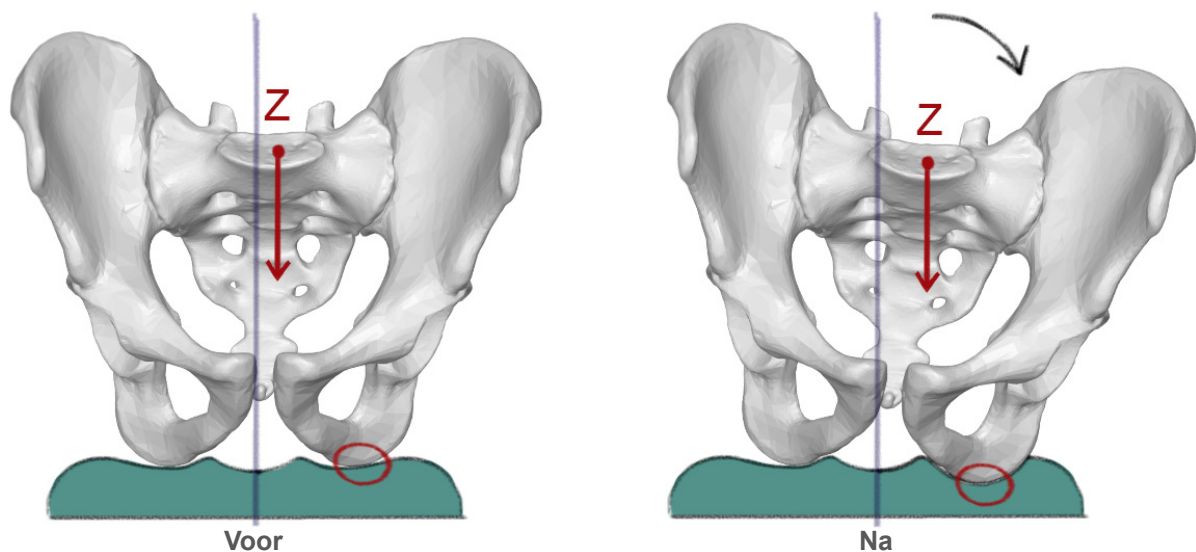
Figuur 4.25: Drukmeetwaarden prototype

4.3.3 Resultaten

Belangrijke meetwaarden uit de verschillende drukverdelingen zijn weergegeven in figuur 2.25. Alle resultaten zijn te zien in bijlage IV. De testpersoon bleek, voor het verwarmen, een hogere druk te hebben op het linker deel van het zitvlak. Daarnaast lag het zwaartepunt te veel naar links. Het vervormen van de padding bleek geen positief effect te hebben op de symmetrie. De druk nam links zelfs licht toe ten opzichte van rechts. Na de tweede keer verwarmen werd de asymmetrie licht gecorrigeerd. Hierbij werd enkel de rechter kant van het zadel verwarmd, het deel waar juist weinig druk werd waargenomen. Het contactoppervlak is groter geworden naarmate het zadel vaker is verwarmd. De waarden van de drie maximale drukpunten zijn na de eerste keer verwarmen afgenomen. De tweede vervorming heeft er toegeleid dat de achterste twee drukpunten weer toenamen.

4.3.4 Evaluatie

De resultaten bleken niet volledig overeen te komen met de hypothesen. De vervorming van de padding bleek, tegen de verwachting in, een negatief effect te hebben op de symmetrie in de drukverdeling. Desondanks is hier wel een verklaring voor te bedenken. De proefpersoon bleek voor het vervormen van de padding, al een asymmetrische drukverdeling te hebben, waarbij de druk op het linker deel hoger was. Dit is ook te zien aan de positie van het zwaartepunt, die te veel naar links ligt. Wanneer de padding wordt verwarmd, zakt het linkerdeel van de padding dieper in dan het rechterdeel door de hogere druk. Hierdoor verplaatst de positie van het zwaartepunt. Dit veroorzaakt een nog hogere druk op de linkerkant van het zadel (zie figuur 4.26). Wanneer de testpersoon het zwaartepunt in het midden heeft liggen, zal dit probleem zich



Figuur 4.26: Effect van vervorming padding op de positie van het zwaartepunt en symmetrie in de drukverdeling

theoretisch gezien niet voordoen. Nadat de padding alleen rechts van het midden is verwarmd, is het zwaartepunt licht naar rechts verplaatst. Het effect is klein, omdat al vrij ver naar links ligt.

Het belasting oppervlak is licht toegenomen naarmate de padding vaker is verwarmt. Door het verwarmen vormt de padding zich om het zitvlak van de testpersoon. Dit zorgt ervoor dat het zitvlak meer contact maakt met het zadel. De totale druk op het zadel zal hierdoor afnemen. Het oppervlak is echter in een kleine mate toegenomen. Een mogelijke oorzaak hiervoor is dat de testpersoon beweegt tijdens het nemen van de afdruk. Wanneer het thermoplastische materiaal slechts voor een korte tijd wordt ingedrukt, veert het materiaal terug naar zijn oorspronkelijke vorm. Wanneer de testpersoon een vaste positie aanneemt, zal de padding zich beter naar het zitvlak vormen.

Zoals verwacht, nemen de waarden van de maximale drukpunten na een keer vervormen af. De verklaring hiervoor is hetzelfde als bij de vorige hypothese. Doordat er meer contactoppervlak op de rest van het zadel ontstaat, zal de druk gelijkmatiger verdeeld zijn. Echter, na de tweede keer vervormen neemt de druk op de zitbeenderen toe.

5.

Eindproduct

Inleiding

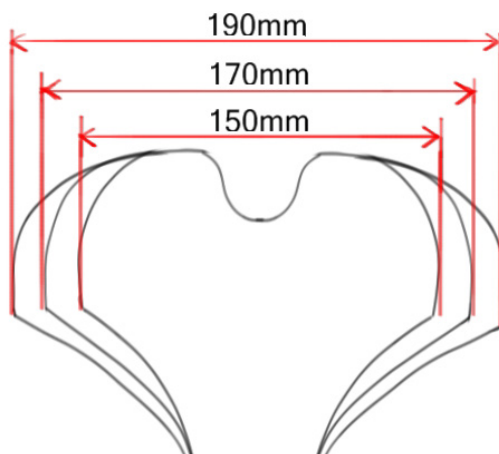
In dit hoofdstuk wordt het ontwerp voor het eindproduct besproken. Voor het eindproduct is het van belang dat het gewicht geminimaliseerd is, maar dat het product voldoende stijf is om het gewicht van een fietser op te vangen. De juiste geometrie en materiaalkeuzes zijn daarom van belang. Er wordt aangenomen dat het product in een grote oplage geproduceerd gaat worden. Hiervoor moeten geschikte productiemethoden geselecteerd worden. Ook wordt de uitvoering van de meting besproken in dit hoofdstuk. Als afsluiting wordt er een keuze gemaakt voor de uitstraling van het afdek materiaal.

5.1 Ontwerp- verantwoording

Als eerst wordt het ontwerp van het zadel verantwoord: waar is de gekozen vorm op gebaseerd en welke materialen zijn het meest geschikt? Er wordt een schatting gemaakt van het gewicht en er wordt een stijfheid- en sterkteanalyse gedaan van het zadel.

5.1.1 Zadelvorm

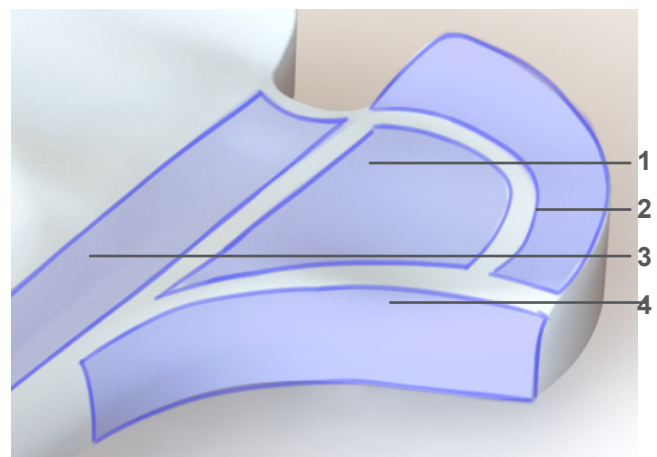
De shell heeft een universele vorm in tegenstelling tot de pad die afhankelijk is van de individuele gebruiker. De shell wordt in drie breedte maten geproduceerd (zie figuur 5.1), zodat het zadel ook goed aansluit op de zitbeenderen van de gebruiker. De breedtes zijn gebaseerd op de gemiddelde zitbreedte van mannen. De zitbeenderen vallen in de daarvoor gemaakte kuiltjes in het zadeloppervlak. Aan de achterkant van het zadel maakt het zadel een groter contactoppervlak. Hierdoor is dit zadel



Figuur 5.1: breedtevarianten

wat groter dan de gemiddelde wielrennerzadel. Het zadeloppervlak is te verdelen in aantal onderlinge vlakken (zie figuur 5.2).

1. De vorm van dit deel is afgeleid van de gemiddelde vorm van het zitvlak. Dit zorgt ervoor dat het zadel licht is gevormd op de gebruiker.
2. Aan de achterkant van het zadel is het contactoppervlak vergroot. Een groter contactoppervlak betekent een lagere totale druk.
3. In het midden van het zadel is een gleuf gemaakt. Dit zorgt voor een ontlasting van het perineum. De gleuf is vloeiend en heeft geen dus harde randen om hoge drukpunten te voorkomen.

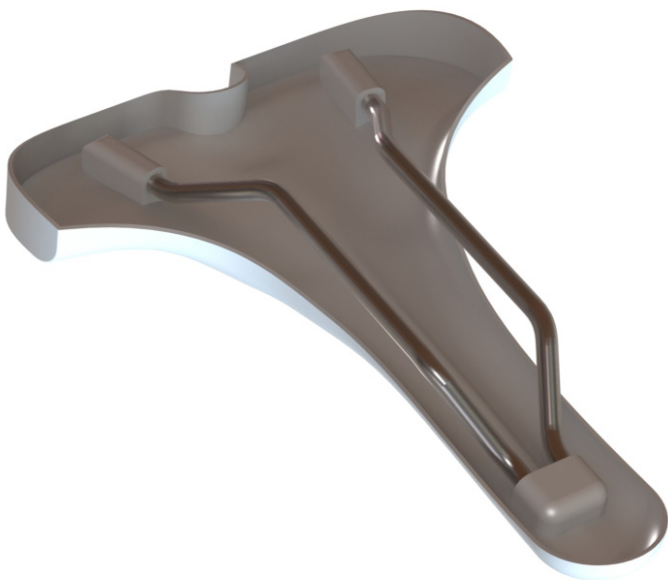


Figuur 5.2: vlakkenverdeling

5. Eindproduct

4. Op deze plek is er een verloop van de brede achterkant naar de smalle neus van het zadel. Dit is een kritisch punt, omdat veel fietsers op deze plek last van hun liezen hebben. Rond dit gebied beweegt de gebruiker veel met het bovenbeen langs het zadel. Als het zadel op dit punt te breed is zal er te veel wrijving plaats vinden. Het is daarom van belang dat dit vlak te vormen is naar de gebruiker.

Voor het zadel is een passende zadelbrug gemodelleerd (zie figuur 5.3). De afstand tussen de rails is 43mm op de plek waar het met de zadelpen wordt verbonden. De diameter van de staaf is 7mm.



Figuur 5.3: Zadelbrug

5.1.2 Materialen en productie

Het zadel bestaat in totaal uit vier onderdelen: de shell, de zadelbrug, de padding en het afdek materiaal. Deze onderdelen zijn ook weergegeven in de stuklijst in figuur 5.4. Het is van belang dat het zadel zo min mogelijk vervormd bij belasting. Het zadel wordt namelijk gebruikt als afzet. Hoe meer het zadel doorzakt, hoe meer krachtverlies. Een hoge stijfheid van de shell en de zadelbrug is dus van belang, maar daarnaast is moet het gewicht laag zijn. Voor zowel de shell als de zadelbrug moet daarom een materiaal worden gekozen met een hoge stijfheid/massa verhouding. Voor elk onderdeel wordt de meest geschikte productiemethode vastgelegd.

Shell: Voor de shell wordt een koolstofvezel versterkt kunststof gebruikt, ook wel Carbon Fibre Reinforced Polymer (CFRP) genoemd (voortaan carbon genoemd). In het kunststof worden vellen geweven koolstofvezels verwerkt. De vezels liggen in twee richtingen zo dat de composiet in beide richtingen stijver wordt. Epoxy is een kunststof dat veel wordt gebruikt voor carbon composieten. Carbon bestaat bekend om zijn hoge stijfheid in verhouding tot het gewicht. Het wordt daarom ook veel in sportuitrusting gebruikt. Omdat het kunststof is, is er veel vrijheid in de vorm van het product. Het nadeel van carbon is de hoge prijs. Veel wielrenners hebben echter wel extra geld over voor kwalitatieve sportproducten. De shell zal worden spuitgegoten. Een vel gewoven carbonvezels wordt vooraf in de

Onderdeel	Materiaal	Uitgangsvorm	Methode	Dichtheid (gram/mm ³)	Volume (mm ³)	Massa (gram)
Shell	CFRP*	Granulaat, geweven vezels	Spuitsieten	$1,55 \times 10^{-3}$	$5,51 \times 10^4$	$8,54 \times 10^1$
Zadelbrug	Titanium	Staaf	Buigen	$4,44 \times 10^{-3}$	$1,72 \times 10^4$	$7,63 \times 10^1$
Padding	EVA A25 Shore*	Plaatmateriaal	Stansen, persvormen	$1,5 \times 10^{-4}$	$2,45 \times 10^5$	$3,68 \times 10^1$
Afdek materiaal	Leer	Vel	Stansen	$9,30 \times 10^{-4}$	$1,59 \times 10^4$	$1,48 \times 10^1$

Figuur 5.4: Stuklijst

*Koolstofvezel versterkt epoxy

*hardheid van A25 shore na het persen

matrijs geplaatst. De carbonvellen worden vooraf in de juiste vorm gesneden. Onder hoge druk wordt het carbon tegen de matrijswand aangedrukt.

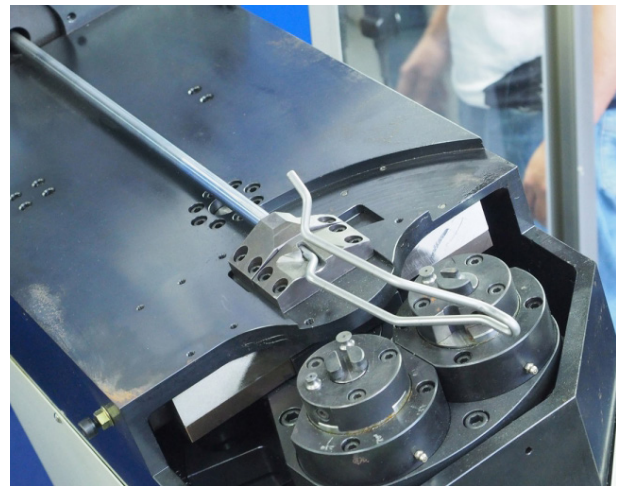
Zadelbrug: De uitgangsvorm voor de zadelbrug is een metalen staaf. Een metaal met een hoge stijfheid/masse verhouding is titanium. Titanium is daarnaast corrosiebestendig, wat ook een voordeel is, omdat het zadel buiten gebruikt zal worden. De zadelbrug wordt gemaakt door de titanium staaf te buigen. Een CNC buigmachine zou hiervoor geschikt zijn (zie figuur 5.5).

Padding: Bij het prototype is gebruik gemaakt van een padding van thermoplastisch vervormbaar ethyleen vinyl acetaat (EVA) in schuimvorm met een shore waarde van A25. Dit zal ook voor het eindproduct worden gebruikt. EVA is een mengsel van Ethyleen en Vinylacetaat en beschikbaar in verschillende verhoudingen. Het materiaal is zacht, wat het geschikt maakt als padding en het is bij een relatief lage temperatuur (90-130°C) plastisch te vervormen. Ten slotte is het materiaal vrij licht. De padding kan worden gepersvormd. Hierbij wordt een plaat EVA door twee matrijzen samengeperst om de juiste vorm te verkrijgen. De plaat is vooraf

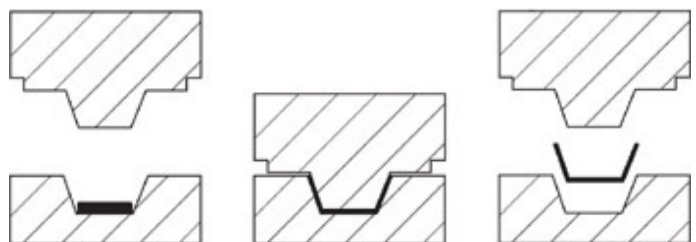
5. Eindproduct

gestanst in de juiste vorm. Dit proces is geïllustreerd in figuur 5.6. De mate waarin het materiaal wordt samengeperst bepaald de hardheid. Er moet dan rekening gehouden worden met de verhouding tussen het beginvolume en het eindvolume. De beginvorm zal een hogere hardheid hebben dan de geperste vorm. Het voordeel van deze techniek is dat de padding goed over het zadel past zonder het eerst te thermovormen.

Afdekmetaal: Voor het zadel wordt afdekmetaal van leer gebruikt. Leer heeft geschikte eigenschappen als afdekmetaal. Het heeft een hoge treksterkte, een hoge flexibiliteit, een hoge poreusheid en de juiste oppervlakteruwheid. Leer geeft daarnaast een kwalitatieve uitstraling. Het afdekmetaal wordt in de goede vorm gestanst uit een vel leer. Na het nemen van de afdruk in de thermoplast, kan dit over het zadel gespannen worden.



Figuur 5.5: CNC buigmachine



Figuur 5.6: persvormen

5.2 Stijfheids- en gewichts-berekening

Het is van belang dat het zadel stijf genoeg is voor belasting van het lichaamsgewicht van de gebruiker. Een stijver zadel betekent echter meer materiaal, wat weer zorgt voor een toename in het gewicht van het zadel. Er moet goede balans gevonden worden tussen de stijfheid en het gewicht van het zadel.

5.2.1 FEM-simulatie

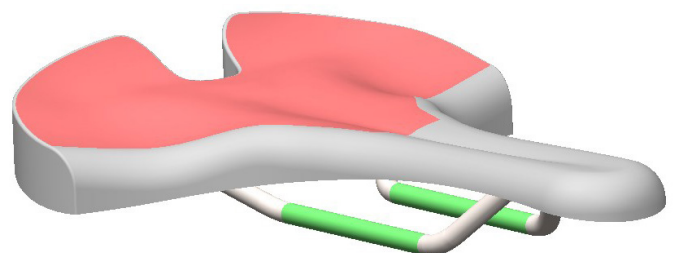
De stijfheid van de shell en de zadelbrug beïnvloeden de doorzakking van het zadel. De doorzakking moet beperkt blijven, zodat de fietser zich beter op het zadel kan afzetten. Uiteraard heeft de padding ook een belangrijke invloed op de doorzakking in het zadel. Maar dit kan eenvoudig aangepast door de hardheid en de dikte te variëren. De shell en de zadelbrug vormen een belangrijke basis. Om in beeld te brengen wat de maximale doorzakking is, wordt de eindig elementen methode (Finite Element Method (FEM)) toegepast met behulp van SolidWorks®. Hiermee kan een inschatting worden gemaakt over de benodigde dikte van de shell. De geometrie van de zadelbrug blijft constant, omdat deze moet voldoen aan universele maten.

De eigenschappen van de gebruikte materialen zijn te vinden in bijlage VI. De shell is gemaakt van carbon composiet. De mechanische eigenschappen zijn afhankelijk van de positionering en de hoeveelheid koolstofvezels in het materiaal. Bij deze analyse zijn gemiddelde eigenschappen genomen. Het materiaal voor de zadelbrug is titanium met een legering van 6% aluminium en 4% Vanadium (Ti-6Al-4V), een van de meest gebruikte

titanium legeringen.

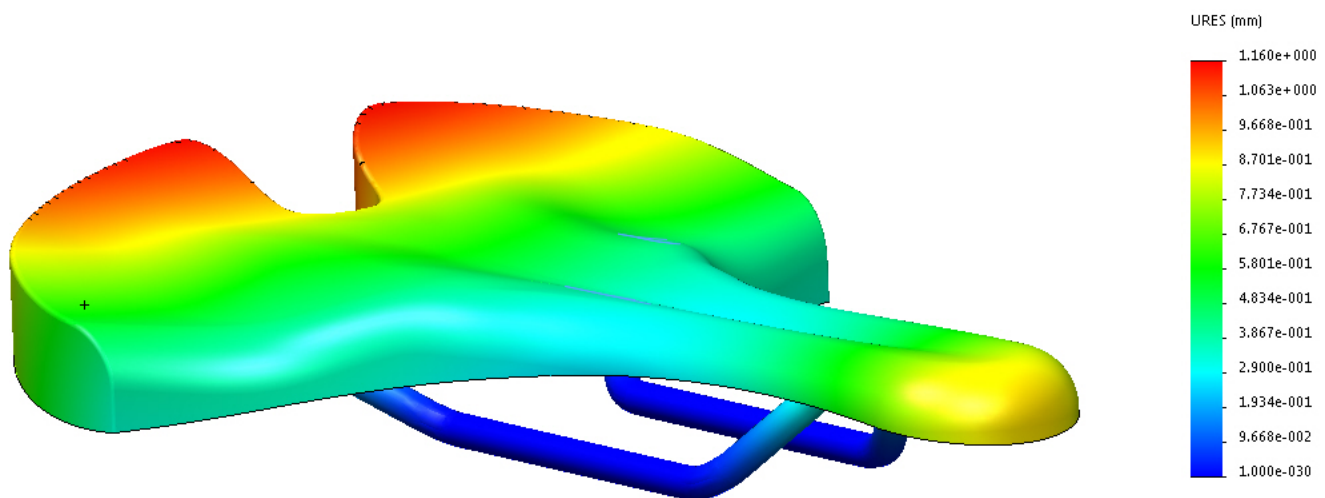
Om de analyse uit te voeren moet de externe belasting en de fixatie worden vastgelegd. De grootte van de belasting is 800N. Dit is de belasting van een persoon van ruim 81kg die met 100% van zijn lichaamsgewicht op zijn zadel zit. Echter verplaatst een deel van het lichaamsgewicht zich naar het stuur en de trappers wanneer de fietser voorover gebogen op de fiets zit. Normaal gesproken vangt het zadel rond de 60% van het lichaamsgewicht op. 800N is dus de maximale belasting in dit geval. De belasting grijpt aan op het achterste vlak van het zadel (het effectieve zitvlak). De fixatie bevindt zich op de plek waar de rails van de zadelbrug worden ingeklemd. De positionering van de belasting en de fixatie is te zien in figuur 5.7.

De simulatie is uitgevoerd bij twee verschillende wanddiktes: 1,5mm en 2,0mm. De aandacht ligt op de vervorming van de constructie als gevolg van de belasting van 800N. Uit de simulatie blijkt dat de doorzakking maximaal 1,160 mm is bij een wanddikte van 2,0mm en 1,336 mm bij een wanddikte



Figuur 5.7: externe belasting (rood), fixatie (groen)

5. Eindproduct



Figuur 5.8: verplaatsing van de geometrie bij 800N externe belasting.

van 1,5mm. Een doorzakking van 1,336 mm wordt als acceptabel aangenomen. Dus een wanddikte van 1,5mm wordt gekozen. De doorzakking bij deze wanddikte is te zien in figuur 5.8. De maximale doorzakking vindt plaats aan de achterkant van het zadel. De complete FEM rapporten zijn te vinden in bijlage VII.

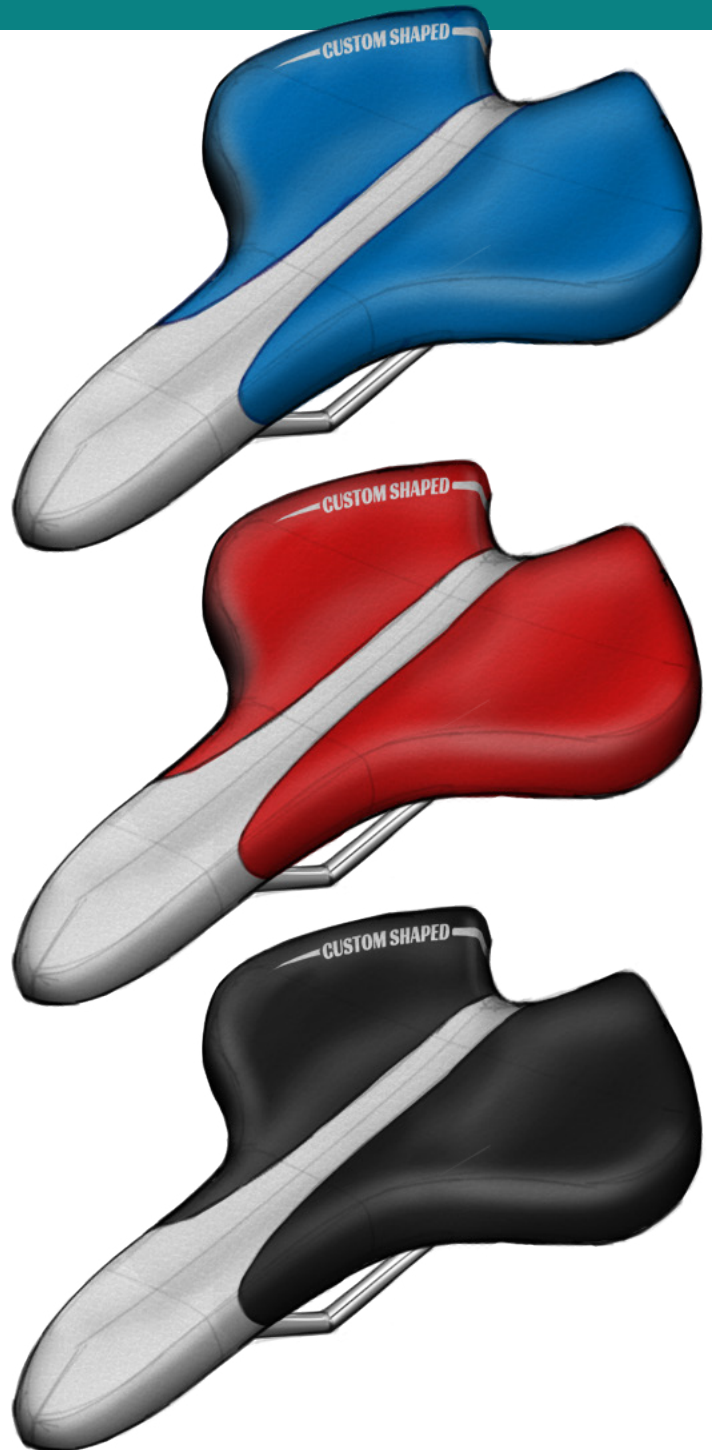
5.2.2 Gewichtsberekening

Aan de hand van de FEM-analyse is de geometrie vastgelegd. In SolidWorks® kan de massa en het volume van de verschillende onderdelen worden berekend. Het gewicht van de shell en de zadelbrug kunnen exact worden berekend. Het gewicht van de padding en het afdek materiaal worden bepaald aan de hand van een schatting. De waarden zijn te vinden in de stuklijst in figuur 5.4. De uitgewerkte berekening is te vinden in bijlage VIII. De massa

van alle componenten bij elkaar opgeteld is 213 gram. Dit is een schatting voor het gewicht van het eindproduct. Uiteraard is een zadel met de maximale breedte maat zwaarder en het zadel met de minimale breedte maat lichter.

5.3 Vormgeving

De vormgeving van het zadel is belangrijk. De uitstraling van het zadel geeft een eerste indruk. Er is een collage gemaakt die de vormgeving en uitstraling van producten voor wielrenners uitbeeldt. Deze is te vinden in bijlage V. Schetsen zijn te vinden in bijlage II. In kleding, fietsen en overige uitrusting wordt gebruik gemaakt van felle en contrasterende kleuren. De producten hebben ook een snelle en lichte uitstraling. Voor het huidige zadel kan de uitstraling van het afdek materiaal worden aangepast. De vorm van het zadel ligt om functionele redenen voor een belangrijk deel vast. Echter, de voorkant en achterkant kunnen nog aangepast worden, omdat deze geen onderdeel van het zitvlak uitmaken. Een ontwerpvoorstel is weergegeven in figuur 5.9. Het afdek materiaal is te verkrijgen in verschillende kleuren.



Figuur 5.9: vormgeving van het zadel

5. Eindproduct

5.4 Meting

Op de verkooplocatie moet het zadel ook naar het zitvlak gevormd kunnen worden. Hiervoor is een testopstelling nodig. Deze meting moet zo efficiënt mogelijk uitgevoerd kunnen worden om kosten te beperken.

5.4.1 Benodigde materialen

Voor de opstelling zijn verschillende onderdelen nodig:

1. *Meetsysteem voor meting zitbeenderen*: Om een keuze te maken voor de juiste zadelbreedte moet de afstand tussen de zitbeenderen worden opgemeten. Dit kan onder andere met het systeem van S QLab®, Specialized® of WTB®, zoals beschreven in de analyse.
2. *Fietstrainer (figuur 5.10)*: Dit is een standaard waarin de gebruiker zijn fiets kan plaatsten. Het standaard oefent weerstand uit op het achterwiel. Op deze manier kan de fiets op een vaste plek gebruikt worden. Wielrenners gebruiken het om bij slechte weersomstandigheden binnen te kunnen trainen. Bikefitters gebruiken het om fietsmetingen uit te voeren. De prijs van een basismodel is ongeveer €150-250.
3. *Heteluchtpistool (figuur 5.11)*: Een heteluchtpistool wordt gebruikt om de thermoplastische padding te verwarmen. Ze zijn verkrijgbaar in verschillende wattages. De temperatuur van de lucht moet ongeveer 130°C zijn. De prijs van een heteluchtpistool varieert ongeveer van €50 tot €150.



Figuur 5.10: Tacx® Blue Motion Fietstrainer



Figuur 5.11: Steinel® Heteluchtpistool

4. *Zadel:* Bij de verkooplocatie is een voorraad fietszadels aanwezig die verkocht worden. Zoals eerder aangegeven, zijn deze uitgevoerd in drie breedtematen. Vóór de meting bestaat het zadel uit de shell en de thermoplastisch vervormbare padding.

De volgende twee onderdelen zijn nodig wanneer het afdekken van het fietszadel op de verkooplocatie wordt gedaan:

5. *Afdek materiaal:* Het afdek materiaal wordt over het zadel geplaatst zodra de padding vervormd is.

6. *Lijm:* Om het afdek materiaal te bevestigen is een sterke lijm nodig dat geschikt is voor leer.

Een mogelijkheid is om het GeBioMized® pakket voor zadeldrukmetingen (hoes met sensoren en software) erbij te integreren. Op deze manier kan het comfort van het zadel gevisualiseerd worden. Zo wordt er ook een professionele indruk gemaakt op de klant. Dit is echter niet essentieel als eenmaal is aangetoond dat het product werkt. Daarnaast is het pakket vrij duur (ca. €4500).

5.4.2 Uitvoering

De meting wordt in een aantal stappen uitgevoerd:

1. Als eerst wordt de afstand tussen de zitbeenderen van de gebruiker bepaald. Dit kan door een zitafdruk te nemen en vervolgens de afstand tussen de drukplekken op te meten (zie analyse). De gemeten afstand bepaald welk van de drie zadelbreedtes er wordt gekozen. Het gekozen zadel wordt op de fiets van de

gebruiker gemonteerd. De fiets wordt in de fietstrainer geplaatst. De padding van het zadel wordt verwarmd met het heteluchtpistool. Het pistool moet op de stand van ca. 130°C gezet worden. De padding wordt verwarmd tot dat het een temperatuur van ca. 130°C heeft.

2. De gebruiker neemt plaatst op de fiets en fietst in de gebruikelijke houding totdat de padding van het zadel de vorm van het zitvlak heeft aangenomen en is afgekoeld. (Tijdsduur: ca. 5 minuten).
3. Het zadel wordt afgedekt door het afdek materiaal over het zadel te plaatsen en vast te lijmen. Dit kan op de verkooplocatie worden gedaan of worden uitbesteed.
4. Het zadel is nu klaar. Het zadel kan worden verzonden of worden afgehaald.

De meting en het afdekken zal naar schatting in totaal ca. 30 minuten in beslag nemen.

6

Conclusie

Inleiding

In het laatste hoofdstuk wordt besproken in hoe verre de doelstelling van het project is gehaald en in hoeverre het ontwerp aan de gestelde eisen voldoet. Als afsluiting worden er aanbevelingen gedaan voor verdere ontwikkelingen van het zadel.

Doelstelling

De doelstelling voor het project is het ontwikkelen van een efficiënte methode voor het verwerken van anatomische eigenschappen van een individuele gebruiker in een fietszadel. Hiermee zou zadelpijn voorkomen moeten worden.

De vraag is in hoe verre deze doelstelling is behaald. Het concept dat is ontwikkeld is zeker efficiënt op gebied van customization. Het zadel bestaat namelijk enkel uit onderdelen die in serie geproduceerd worden. Dit maakt de prijs van het product lager dan wanneer er gebruik wordt gemaakt van stukproductie. Het nemen van de afdruk in het zadel echter, maakt het product wel wat duurder dan standaard modellen.

Uiteindelijk gaat het erom dat het product zadelpijn voorkomt. Hiervoor moet het zadel voldoen aan het programma van eisen.

Programma van eisen

In de analyse is er een programma van eisen opgesteld. Het uiteindelijke product zou aan al deze eisen moeten voldoen.

Eisen voor het zadelontwerp en de benodigde metingen in het algemeen:

- Net als andere zadels bevat het zadel een neus. De neus zorgt voor stabiliteit tijdens het maken van bochten.
- De belasting op het zadel is ca. 60% van het lichaamsgewicht bij een gemiddelde fietshouding. Bij een persoon van 100 kg is dit dus 60kg. Uit de FEM analyse blijkt dat het zadel hiervoor stijf genoeg is.
- Het zadelgewicht is geschat op 213g bij een gemiddelde breedte. Bij de maximale breedte zal dit dus meer zijn. Het zadel voldoet dus nog niet aan het maximale gewicht van 200g.
- De prijs van het zadel is nog niet bepaald, maar aangezien standaard productiemethoden zijn gekozen, zal het de prijs van andere carbon racefietszadels (€100-300) niet ver overschrijden. Enkel de kosten van de meting komen er nog bij. De verwachting is dat de richtprijs van €350,- daarom niet wordt overschreden.
- De precieze tijdsduur van de metingen is nog onbekend, maar de verwachting is dat het ruim onder de 60 minuten blijft. Echter, mogelijk moeten er extra elementen aan de meting worden toegevoegd, omdat de asymmetrie en de positie van het zwaarte punt nog gecorrigeerd

6. Conclusie

moeten worden. De tijdsduur van de meting kan dus alsnog oplopen.

- De meting kan op bestaande fietstrainers worden uitgevoerd in de praktijken van bikefitters en in sportzaken. De opstelling zal dus weinig of geen extra ruimte kosten.

Gebruikerseisen voor het zadelontwerp (customization zorgt ervoor dat er aan deze eisen wordt voldaan):

- Het zadel is beschikbaar in drie standaardmodellen met verschillende breedtematen. Door het juiste model te kiezen, krijg je de beste ondersteuning voor de zitbeenderen.
- Het zadel is vrijwel volledig bedekt met het thermoplastische EVA, ook bij de liezen en de binnenkant van de bovenbeen. De vorm van het zadel past zich dus ook aan de beweging van de benen aan.
- Voor de padding is een geschikt hardheid gekozen: A25 shore. De padding is zacht genoeg voor voldoende comfort.
- De padding is daarnaast wel hard genoeg om zo weinig mogelijk wrijving te veroorzaken.
- Het EVA vormt zich naar het zitvlak van de gebruiker. Hierdoor ontstaat er een groter contactoppervlak met het zitvlak. De druk wordt hierdoor goed verspreid en er zijn dus geen hoge drukpunten. Hierbij is belangrijk dat de padding gelijkmatig wordt verwarmd.
- Het vervormen van de padding bleek geen

positieve invloed te hebben op de symmetrie in de drukverdeling.

- In het midden van het zadel zit een gleuf. Deze zorgt ervoor dat het perineum en het geslachtsdeel van de gebruiker worden ontlast.

Aanbevelingen

Uit de test blijkt dat het thermoplastisch vervormen van de padding geen oplossing biedt voor asymmetrie in de drukverdeling en het verplaatsen van het zwaartepunt. Hier moet een andere oplossing voor bedacht worden. Zoals is aangegeven, zijn er veel externe factoren die de druk op het zadel beïnvloeden. De oplossing hoeft dus niet noodzakelijkerwijs in het zadel gezocht te worden. Zo worden schoenplaatjes afgesteld om de stand van de benen te corrigeren. Dit heeft verder ook invloed op de positie van het zwaartepunt. Een andere oplossing is de mogelijkheid om het linker en rechter deel van het zadel afzonderlijk in hoogte te kunnen afstellen. Voor het vervormen van de padding zou de positie van het zwaartepunt gecorrigeerd moeten worden. De functie van het vervormen van de padding is dan voornamelijk het verdelen van de druk.

De vorm van de shell is gebaseerd op de zitafdruk van een enkel persoon. Wellicht zou hier nog meer aandacht aan besteed moeten worden voor het eindproduct. Om een gemiddelde vorm te krijgen moet er een groter aantal zitafdrukken gemaakt moeten worden van verschillende personen.

Om het zadel ontwerp te evalueren is in dit project gebruik gemaakt van een zadeldrukmeting. Om het zadel nog beter te kunnen beoordelen is door meerdere personen het zadel voor een langere tijd te laten proberen. De testpersonen kunnen dan zelf aanvoelen of het zadelpijn voorkomt. Een drukmeting is hiervoor dus niet meer nodig.

In dit project is geen kostenschatting gemaakt. Hoewel de kostprijs van het product relatief laag zal zijn, zijn de investeringskosten zeer hoog. Er zijn namelijk productiemethoden geselecteerd voor een grote oplage. Mogelijk moeten er alternatieve productiemethoden gebruikt worden in de eerste fase van het productcyclus. Denk aan het frezen of 3D-printen van custom-made fietszadels. In dat geval kan elk individueel zadel gemodelleerd worden aan de hand van bijvoorbeeld drukmetingen en is er geen thermoplastisch materiaal nodig. Wanneer er grote behoefte blijkt te zijn aan custom-made fietszadels, kan het product door ontwikkelen naar het concept met thermoplastische inserts.

Er kan nog meer aandacht besteed worden aan de optimalisatie van de stijfheid en het gewicht van het zadel. Van de shell zou een simulatie gemaakt kunnen worden van een composiet, waarbij het model in verschillende lagen met verschillende materialen wordt opgedeeld. Op deze manier krijg je een nauwkeurigere benadering van de stijfheid van de shell. De verhouding tussen stijfheid en gewicht kan nog verder geoptimaliseerd worden door stijfheidselementen onder de shell van het zadel te maken, zoals een honingraatstructuur.

Referentielijst

Inleiding

- <http://www.fietzersbond.nl/de-feiten/fietsen-cijfers#1>
- <http://nos.nl/artikel/2059292-dumoulin-met-aangepast-zadel-van-start.html>
- <http://nos.nl/artikel/2059344-dumoulin-zwaarste-rit-van-m-n-leven.html>
- Mondeling contact: Thijs Visscher (Stouwdam)
- Mondeling contact: Mark Schreurs (proffesioneel wielrenner)

Anatomie

- <https://en.wikipedia.org/wiki/Pelvis>
- <http://www.sq-lab.com/nl/sqlabor/ergonomie/op-weg-naar-het-perfecte-zadel/verschil-tussen-man-en-vrouw.html#.VeWmRzYVhet>
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Perineum>
- <http://www.dummies.com/how-to/content/the-anatomy-of-the-perineum.html>

Zadelpijn

- <http://www.roadbikerider.com/injuries/how-solve-saddle-sores>
- <http://www.artscyclery.com/learningcenter/measuresitbonewidth.html>
- <http://www.artscyclery.com/learningcenter/bicyclesaddleshape.html>
- <http://www.sq-lab.com/images/sqlab/2012/blog/2012-sqlab-brochure-the-path-to-a-perfect-saddle.pdf>
- [http://www.sq-lab.com/en/sqlaboratory-en/sqlab-ergonomic-bicycle-en/the-way-to-a-perfect-saddle-en/pressure-on-the-tailbone-en.html#.Ve09TjYVhes](http://www.sq-lab.com/en/sqlaboratory-en/sqlab-ergonomic-bicycle-en/the-way-to-a-perfect-saddle-en/the-seat-position-bicycle-en.html#VeQtpfntlBc)

- [http://www.sq-lab.com/en/sqlaboratory-en/sqlab-ergonomic-bicycle-en/the-way-to-a-perfect-saddle-en/saddle-too-soft-en.html#.Ve0_CzYVhes](http://www.sq-lab.com/en/sqlaboratory-en/sqlab-ergonomic-bicycle-en/the-way-to-a-perfect-saddle-en/pressure-on-the-tailbone-en.html#.Ve09TjYVhes)
- <http://www.roadbikerider.com/health-matters/how-do-i-remedy-sit-bone-saddle-sores>
- <http://biketestreviews.com/saddles-part-1/>
- <http://www.edwinachterberg.nl/images/img/zadelpijn.pdf>
- Artikel: S-J Jeong, K Park, J-D Moon and SB Ryu. Bicycle saddle shape affects penile blood flow. International Journal of Impotence Research (2002) 14, 513–517.
- Artikel: Leibovitch I, Mor Y. The vicious cycling: bicycling related urogenital disorders. Review. Eur Urol (2005). 47, 277-87.

Drukmetingen

- <http://www.medilogic.com/en/products-human/bicycle-seat-measurement/>
- [http://www.sq-lab.com/nl/sqlabor/ergonomie/op-weg-naar-het-perfecte-zadel/het-dynamische-zitten-maxcontact.html#.VeWZxjYVhes](http://www.sq-lab.com/nl/sqlabor/ergonomie/op-weg-naar-het-perfecte-zadel/bekken.html#.Ve1gjDYVhes)
- <http://www.sq-lab.com/nl/sqlabor/ergonomie/op-weg-naar-het-perfecte-zadel/het-dynamische-zitten-maxcontact.html#.VeWZxjYVhes>
- <http://velo-orange.blogspot.nl/2015/01/building-bike-from-frame-up-drop.html>

- <https://youtu.be/mXtn8Vlhm2c>
- <https://youtu.be/a72RnKQ4uqs>
- <https://youtu.be/0h7QC3GhtmQ>
- <https://youtu.be/fvFWol0oP-0>
- <https://youtu.be/YBAp4yfy8-g>
- <https://youtu.be/OW9jK2nVvVw>
- <https://youtu.be/Xh6Fp46SVSU>
- https://youtu.be/B5f_-7jE1G0
- Artikel: Eadric Bressel and John Cronin, Bicycle seat interface pressure: reliability, validity, and influence of hand position and workload, Journal of Biomechanics (2005), 38, 1325–1331
- Artikel: James J. Potter, Julie L. Sauer, Christine L. Weisshaar, Darryl G. Thelen and Heidi-Lynn ploeg, Gender Differences in Bicycle Saddle Pressure Distribution during Seated Cycling, Med. Sci. Sports Exerc. (2008), 40 (6), 1126–1134.
- Mondeling contact: Sander Visschers (FitYourBike)

Fietszadels

- <http://www.madehow.com/Volume-7/Bicycle-Seat.html>
- <http://www.rei.com/learn/expert-advice/bike-saddles.html>
- <http://www.singletracks.com/blog/mtb-gear/how-to-choose-the-best-mountain-bike-saddle/>
- <http://www.sheldonbrown.com/saddles.html>
- <http://libertybikes.com/buyers-guides/are-you-riding-the-right-bicycle-saddle-pg111.htm>
- <http://www.velometric.nl/de-metingen/>

zadeldrukmeting/

- <http://gebiomized.de/produkte/sattel/?lang=en>
- <http://www.ergon-bike.com/us/en/product/sm3>
- Artikel: Eadric Bressel, Shantelle Bliss, John Cronin. A field-based approach for examining bicycle seat design effects on seat pressure and perceived stability. Applied Ergonomics (2009), 40, 472–476.

Productie en materialen

- <http://www.bikeradar.com/mtb/gear/article/inside-velo-saddle-factory-42939/>
- <http://www.globalspec.com/reference/66579/203279/6-7-compression-moulding>
- Software: CES EduPack 2015
- Software: Dassault Systemes SolidWorks 2015

Bijlage I

UCI reglement (pagina 7 t/m 9)

CLARIFICATION GUIDE OF THE UCI TECHNICAL REGULATION

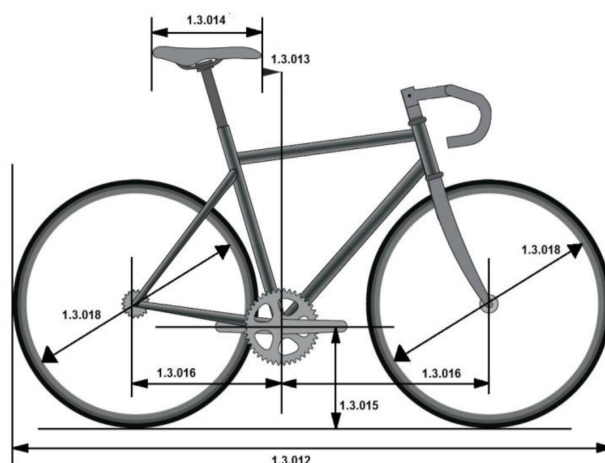


Figure 3: Illustration of the parts of the bicycle covered by Articles 1.3.011 to 1.3.025

ARTICLE 1.3.013

"The peak of the saddle shall be a minimum of 5 cm to the rear of a vertical plane passing through the bottom bracket spindle. This restriction shall not be applied to the bicycle ridden by a rider in a sprint event on track (flying 200 m, flying lap, sprint, team sprint, keirin, 500 metres and 1 kilometre); however, in no circumstances shall the peak of the saddle extend in front of a vertical line passing through the bottom bracket spindle.

The peak of the saddle can be moved forward until the vertical line passing through the bottom bracket spindle where that is necessary for morphological reasons. By morphological reasons should be understood everything to do with the size and limb length of the rider.

Any rider who, for these reasons, considers that he needs to use a bicycle of lesser dimensions than those given shall inform the commissaires' panel to that effect at the time of the bike check.

Only one exemption for morphological reasons may be requested; either the peak of the saddle can be moved forward or the handlebar extensions can be moved forward, in accordance with Article 1.3.023"

The withdrawn position of the saddle is measured from the tip of the saddle to the vertical plane passing through the centre of the bottom bracket axle.



CLARIFICATION GUIDE OF THE UCI TECHNICAL REGULATION

Any rider who considers, for morphological reasons, that he or she cannot respect the regulations concerning the withdrawn position of the saddle may obtain an exemption from the commissaire at the time of the bike check. In no case the peak of the saddle can exceed the vertical line passing through the bottom bracket spindle

If the exemption for the saddle is used, the rider cannot use the exemption for the extensions length in accordance with Article 1.3.023

ARTICLE 1.3.014

"The plane passing through the highest points at the front and rear of the saddle shall be horizontal. The length of the saddle shall be 24 cm minimum and 30 cm maximum."

It is important to grant the rider sufficient freedom to allow a comfortable position to be adopted, reducing the pressure on the perineum, while avoiding any deviation through an excessively sloping saddle that could improve sporting performance to an unacceptable degree by the addition of a lumbar support. Furthermore, if the saddle is inclined too severely, this reduces the quality of the rider's position on the saddle, thus reducing its intrinsic function of providing a basic support for the rider on the bicycle.

From 1 March 2012, checks on the horizontality of saddles will be conducted at WorldTour events, World Cup events and World Championships for the road, the track and the cyclo-cross by measuring the angle of incline of the saddle, considering the plane passing through the highest points at the front and rear of the saddle. This angle must be less than 2.5 degrees with an error tolerance of 0.5 degree. This means that if the measurement taken during the check exceeds ± 3 degrees (positive or negative inclines), the saddle must be adjusted.

The commissaires at aforesaid events will be provided with a measuring device as shown in the Figure 5. Checks will not be systematic, but in the event of any doubt, the commissaires will place the device on the saddle to determine its angle of incline after having calibrated the device to the ground or the measuring jig.



Figure 4: Official measuring device to check saddle inclination

The reference value will always be the measurement of the angle of the incline of the saddle, but for events at which the official measuring device is not available, commissaires will measure the difference between the heights of the highest points of the front and rear of the saddle using a spirit level. The tolerance for the height difference is 1 cm. This value has been defined taking into account the mean distance between the highest points at the front and the back of the saddle.

The measurement of the horizontality of saddles must be a simple, fair and repeatable process. The tolerance of 3 degrees gives the rider a lot more freedom to adjust his or her position on the bike compared to the previous interpretation of the rule. Commissaires will be able to give a clear, coherent and categorical response when carrying out saddle checks.

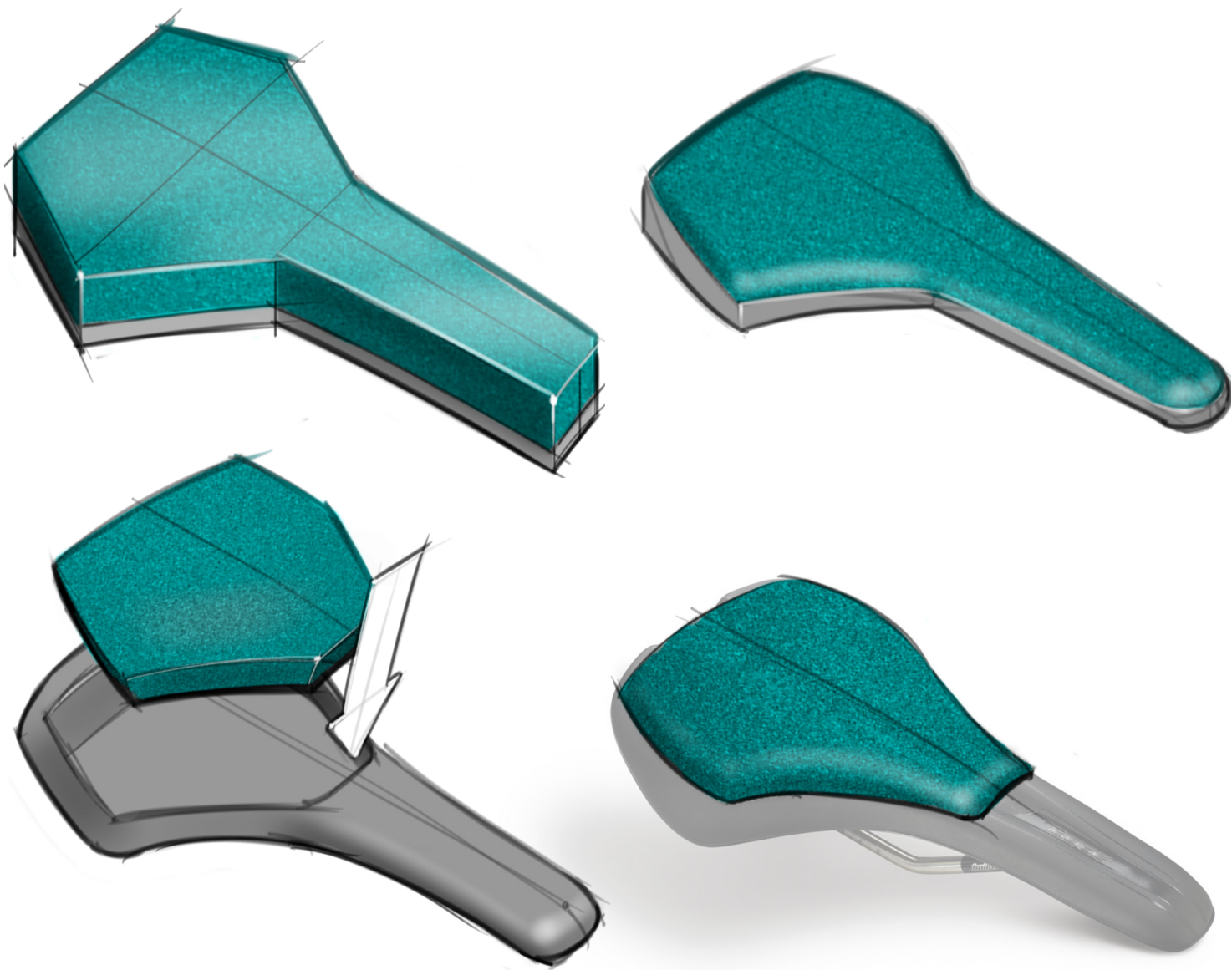


Figure 5: Example of a saddle at the maximum permitted inclination of 3°

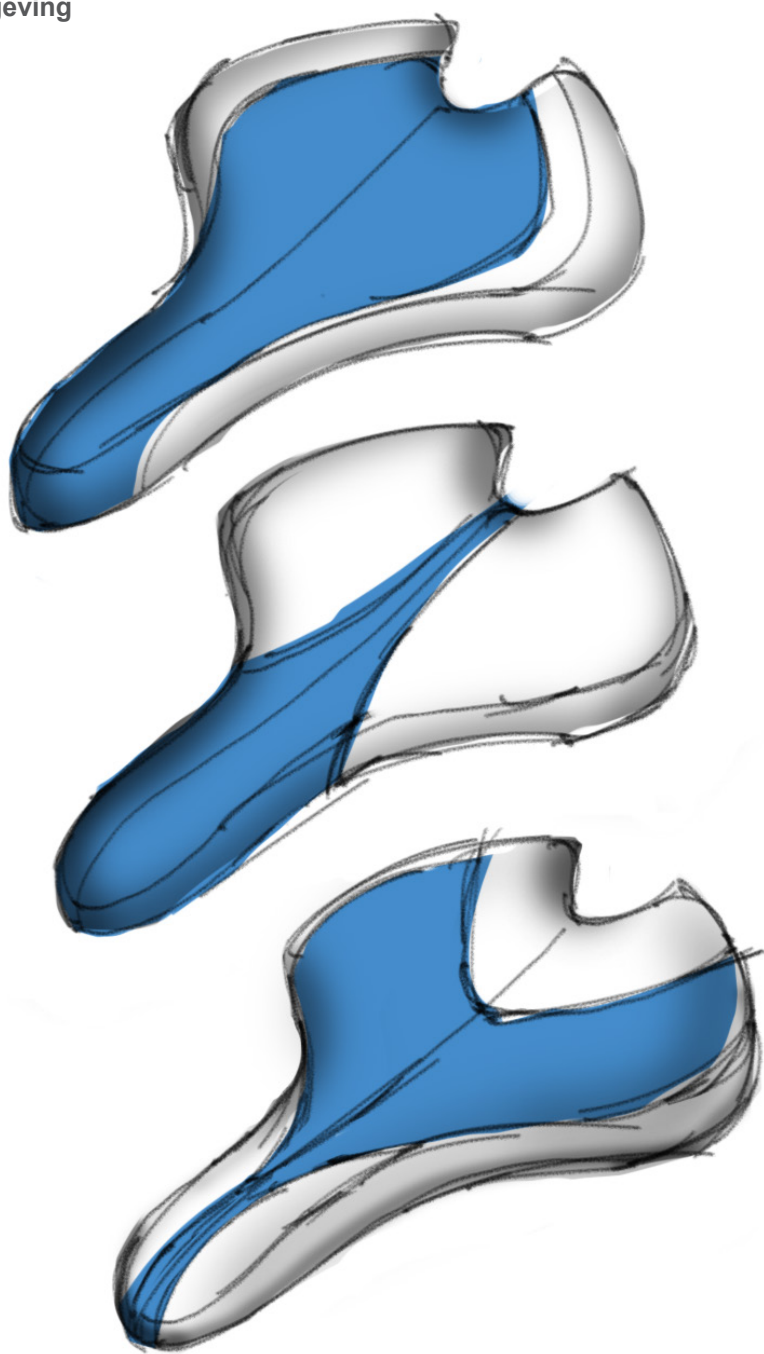
Bijlage II

Ideeschetsen

Thermoplastische insert



Vormgeving



Bijlage III

Testplan Prototype

Testplan Custom-Made Fietszadel

Bacheloropdracht Industrieel Ontwerpen Sem Vosseveld

Testpersoon: Mark Schreurs

Drukmetingen uitgevoerd door: Sander Visschers (FitYourBike)

Datum: 14 januari 2016 (09.00 - 12.00 uur)

Inleiding

Bij deze test wordt het prototype van het custom-made fietszadel prototype getest. Het zadel bestaat uit een 3D-geprinte shell. Onder deze shell is de zadelbrug bevestigd. Bovenop de shell is de padding geplaatst. Dit is een thermoplastisch vervormbare laag EVA schuim. Door het te verwarmen zal deze laag zich vormen naar het zitvlak van de testpersoon. Er wordt hierdoor een groter contactoppervlak gecreëerd tussen het zadel en het zitvlak. Dit zou een betere zadeldrukverdeling moeten opleveren.

Doelstelling

Bij deze test wordt de zadeldruk gemeten voor en nadat de padding thermoplastisch vervormd is. Er wordt onderzocht wat voor veranderingen er te zien zijn tussen deze twee drukverdelingen.

Hypotheses

- De symmetrie van de drukverdeling is verbeterd (verhouding druk links/rechts dichterbij 50%/50%).
- Het drukoppervlak wordt groter, waardoor de totale druk afneemt.
- Hoge drukpunten in de drukverdeling worden kleiner.

Materialen

- Prototype custom-made fietszadel (Sem)
- Heteluchtpistool (Sem)
- Racefiets (Mark)
- Wielerkleding (Mark)
- Fietstrainer (Sander)
- Drukmeetapparatuur (Sander)

Uitvoering

Voorbereiding:

- Racefiets in de fietstrainer plaatsen.
- Het zadelprototype op de fiets monteren en juist afstellen.
- Zadel juist afstellen (druk voor/achter $\pm$ 40:60).

Eerste drukmeting:

- Hoes met sensoren over het zadel plaatsten.
- Testpersoon neemt plaats op de fiets.
- Testpersoon fietst en drukverdeling op het zadel wordt gemeten.
- Testpersoon stapt van de fiets.

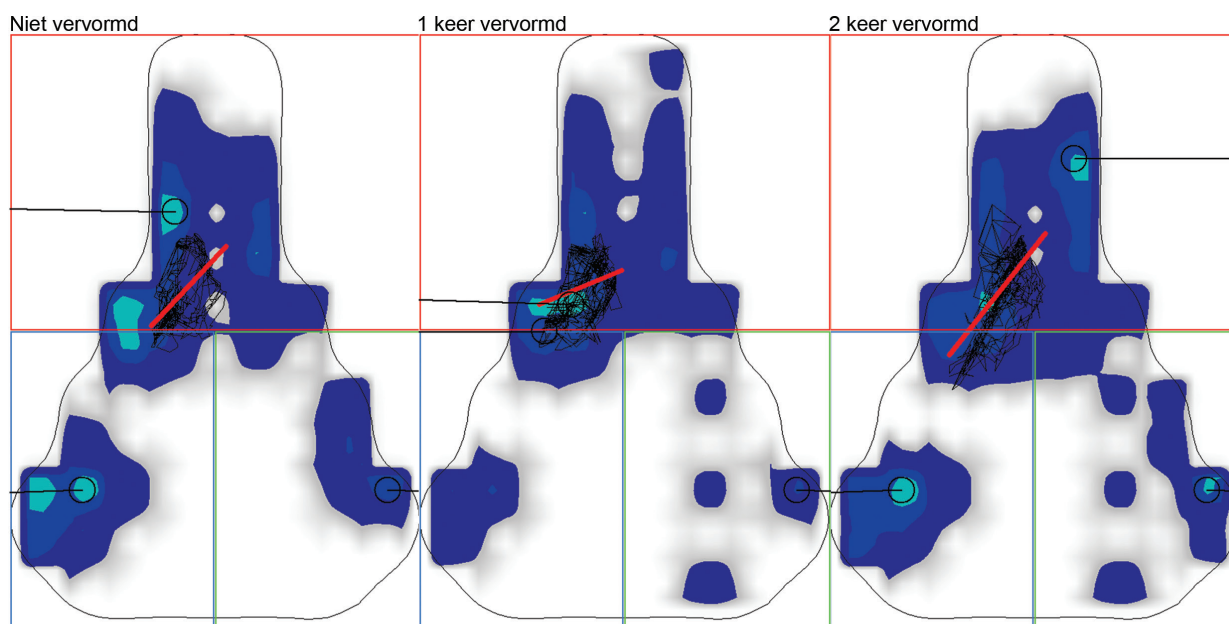
Tweede drukmeting:

- Padding van het zadel verwarmen met heteluchtpistool.
- Testpersoon neemt plaats op de fiets.
- Testpersoon fietst totdat de padding is afgekoeld.
- Testpersoon stapt van de fiets.
- Hoes met sensoren over het zadel plaatsten.
- Testpersoon neemt plaats op de fiets.
- Testpersoon fietst en drukverdeling op het zadel wordt gemeten.
- Testpersoon stapt van de fiets.

Eventueel tweede drukmeting herhalen

Bijlage IV

Resultaten Drukmeting



Niet vervormd

Parameter	Schambein	Sitzbein links	Sitzbein rechts
Max. druk [mbar]	294	296	234
Gem. druk [mbar]	108	90	63
Belasting oppervlak [mm²]	5900	5300	4050
Belasting oppervlak/totale oppervlakte [%]		44	
Druk vooraan/achteren		59 : 42	
Classificatie van zitting		Schambeinbelaster	
Druk Links/Rechts		59 : 41	
Aangrijpingspunt van een kracht - longitudinaal [mm]		45	
Aangrijpingspunt van een kracht - transversaal [mm]		28	
Hoek van regressielijn		46.97	
Absolute max. kracht [N]		128	
Gemiddelde waarde - kracht totaal [N]		81	

1 keer vervormd

Parameter	Schambein	Sitzbein links	Sitzbein rechts
Max. druk [mbar]	256	226	197
Gem. druk [mbar]	102	73	36
Belasting oppervlak [mm²]	6475	4075	5550
Belasting oppervlak/totale oppervlakte [%]		46	
Druk vooraan/achteren		65 : 35	
Classificatie van zitting		Schambeinbelaster	
Druk Links/Rechts		67 : 33	
Aangrijpingspunt van een kracht - longitudinaal [mm]		44	
Aangrijpingspunt van een kracht - transversaal [mm]		31	
Hoek van regressielijn		23.89	
Absolute max. kracht [N]		108	
Gemiddelde waarde - kracht totaal [N]		56	

2 keer vervormd

Parameter	Schambein	Sitzbein links	Sitzbein rechts
Max. druk [mbar]	259	294	264
Gem. druk [mbar]	119	90	54
Belasting oppervlak [mm²]	5900	5150	6225
Belasting oppervlak/totale oppervlakte [%]		50	
Druk vooraan/achteren		63 : 38	
Classificatie van zitting		Schambeinbelaster	
Druk Links/Rechts		63 : 38	
Aangrijpingspunt van een kracht - longitudinaal [mm]		70	
Aangrijpingspunt van een kracht - transversaal [mm]		36	
Hoek van regressielijn		51.68	
Absolute max. kracht [N]		130	
Gemiddelde waarde - kracht totaal [N]		68	

Bijlage V

Collage wielersport



Bijlage VI

Materiaal eigenschappen

Carbon Fibre Reinforced Plastic (CFRP)

Elasticiteitsmodulus: $1.095 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$

Poisson-factor: 0.306

Schuifmodulus: $4.4 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$

Treksterkte: $8.0 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

Druksterkte: $6.4 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

Vloeigrens: $8.0 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

Massadichtheid: 1550 kg/m^3

Titanium (Ti-6Al-4V)

Elasticiteitsmodulus: $1.0480031 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$

Poisson-factor: 0.31

Treksterkte: $1.05 \times 10^9 \text{ N/m}^2$

Vloeigrens: $8.273088 \times 10^7 \text{ N/m}^2$

Verstevigingsfactor: 0,85

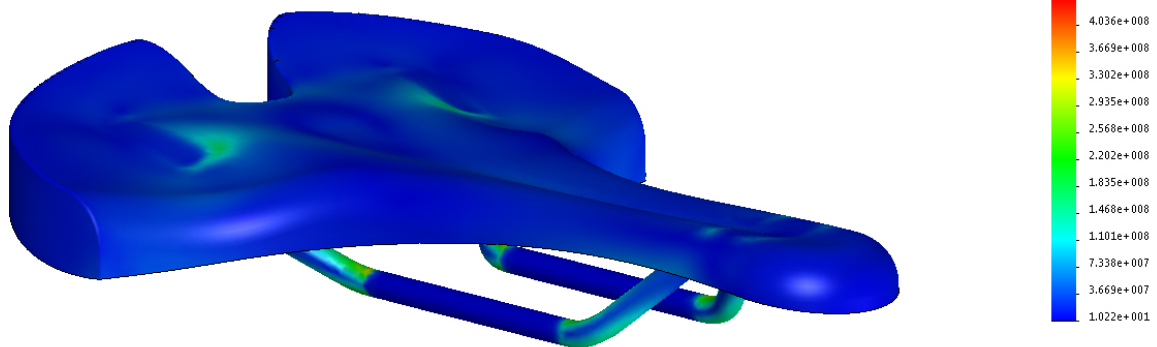
Massadichtheid: $4428,78 \text{ kg/m}^3$

Bijlage VII

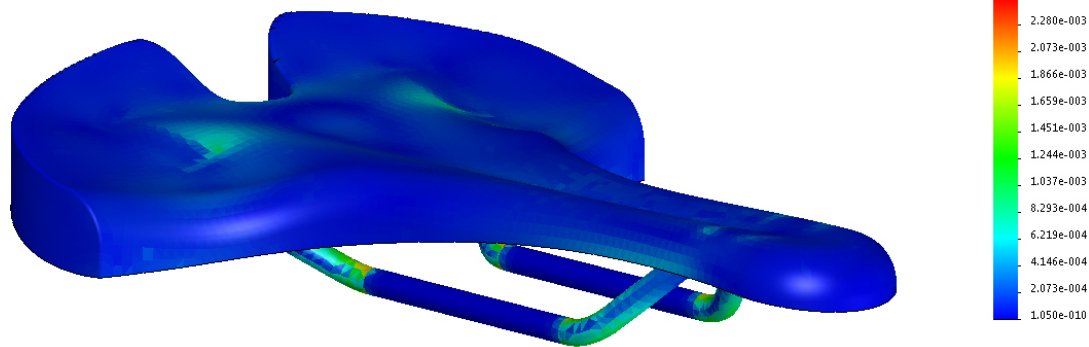
FEM rapport

Rapport 1 (wanddikte shell 1,5 mm)

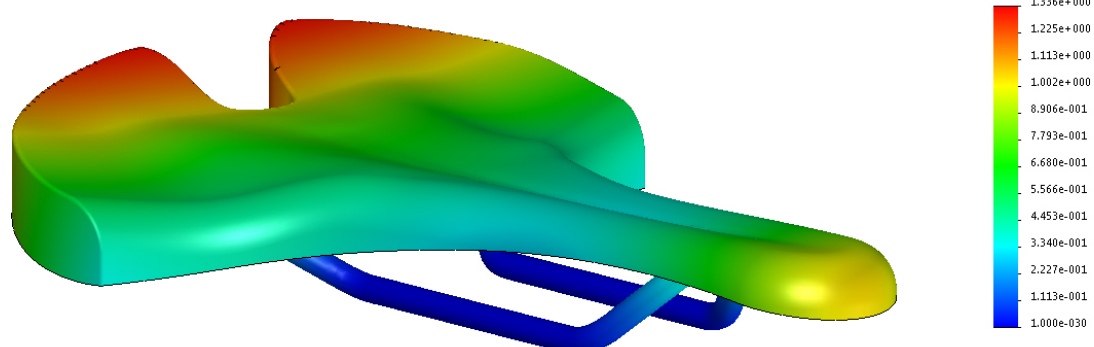
Maximale spanning (Von Mises): $4,403\text{e}+08 \text{ N/m}^2$



Maximale rek: $2,488\text{e}-03$

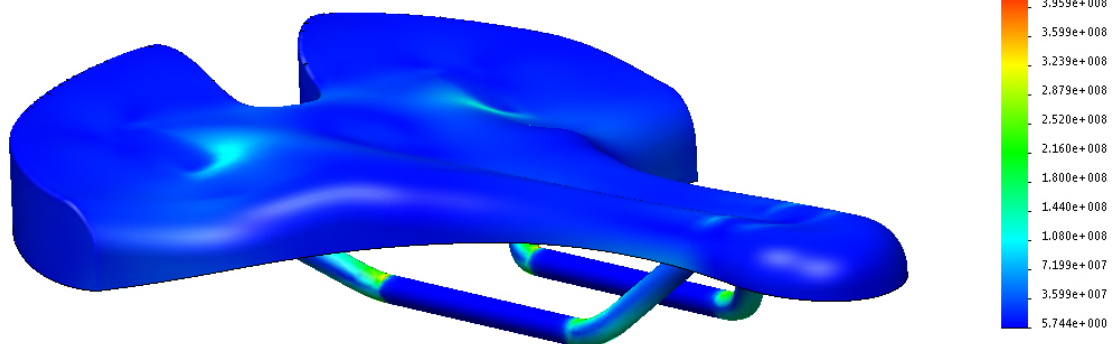


Maximale verplaatsing: $1,336\text{e}+00 \text{ mm}$

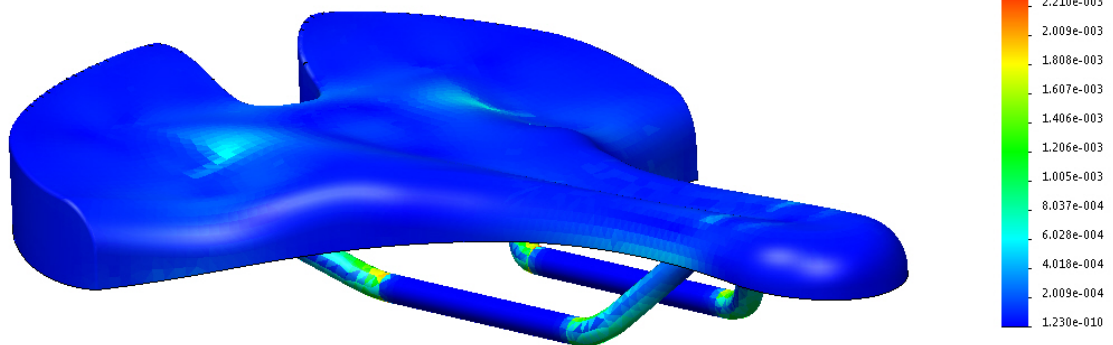


Rapport 2 (wanddikte shell 2,0 mm)

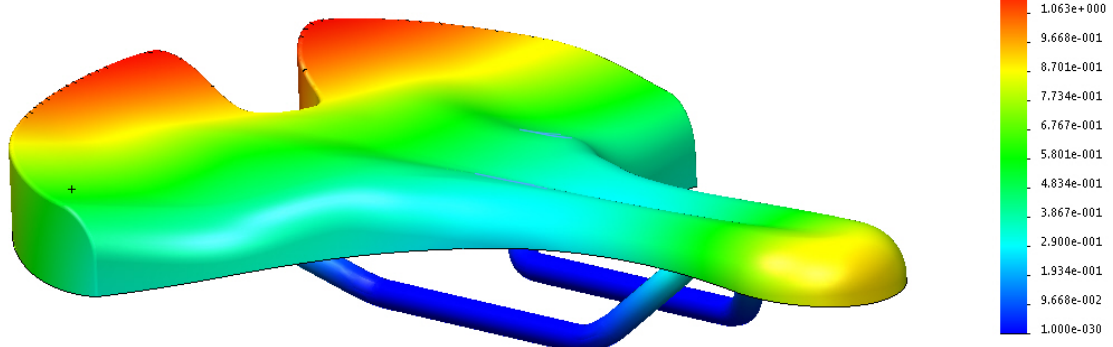
Maximale spanning (Von Mises): $4,319\text{e}+08 \text{ N/m}^2$



Maximale rek: $2,411\text{e}-003$



Maximale verplaatsing: $1,160\text{e}+00 \text{ mm}$



Bijlage VIII

Gewichtsschatting

1. Shell

Massadichtheid (CFRP): $1,55 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^3$

Volume: $5,51 \times 10^4 \text{ mm}^3$

Massa = Massadichtheid $\times$ Volume = 85,4 g

Massa en volume berekend in SolidWorks®.

2. Zadelbrug

Massadichtheid (Ti-6Al-4V): $4,44 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^3$

Volume: $1,72 \times 10^4 \text{ mm}^3$

Massa = Massadichtheid $\times$ Volume = 76,3 g

Massa en volume berekend in SolidWorks®.

3. Padding

Massadichtheid (EVA A25 shore): kg/m^3

Zadeloppervlak: $2,45 \times 10^4 \text{ mm}^2$

Dikte padding: $\pm 10 \text{ mm}$

Volume $\approx$ zadeloppervlak $\times$ laagdikte = $2,45 \times 10^5 \text{ mm}^3$

Massa = Massadichtheid $\times$ Volume = 36,8 g

Zadeloppervlak berekend in SolidWorks®.

4. Afdek materiaal

Massadichtheid (leer): kg/m^3

Zadeloppervlak: $3,18 \times 10^4 \text{ mm}^2$

Dikte afdek materiaal: 0,5 mm

Volume $\approx$ zadeloppervlak $\times$ laagdikte = $1,59 \text{ mm}^3$

Massa = Massadichtheid $\times$ Volume = 14,8 g

Zadeloppervlak berekend in SolidWorks®.

Totale massa = 213,3 g

