

De ontwikkeling van een fysiek kniemodel

Wouter David Hofland



De ontwikkeling van een fysiek kniemodel

Wouter David Hofland

Ter verkrijging van de graad bachelor
aan de Hogeschool van Utrecht,
opleiding Product Design & Engineering.
Openbare verdediging op 22-06-2005 om 11:00
door Wouter David Hofland

Deze eindscriptie is goed gekeurd door:

Dr. Ir G.J.M Tuijthof.

Samenstelling van de examencommissie:

B.Striezenau	1 ^e begeleider
H. Boswaalwijk	2 ^e begeleider
D. Doorne	gecommiteerde

Dr. Ir G.J.M Tuijthof heeft als begeleider erg geholpen met het tot stand komen van deze scriptie.

Titel:	De ontwikkeling van een fysiek kniemodel
Auteur:	Wouter David Hofland
Copyright:	Wouter David Hofland, Amersfoort, Nederland, 2005.

Voorwoord.

Als student aan de Hogeschool van Utrecht dien ik in het laatste jaar van mijn opleiding Product Design & Engineering, een eindproject te volbrengen waarbij de vaardigheden die ik in de afgelopen drie jaar mij meester heb gemaakt in de praktijk moet toepassen.

In de periode begin februari 2005 tot en met eind mei 2005 heeft dit project plaats gevonden. Dit project heb ik volbracht op de afdeling **Orthopedic Research Center Amsterdam** van het **Academisch Medisch Centrum** te Amsterdam. Hieruit is mijn eindschrijving tot stand gekomen die bedoeld is voor de mensen van de Hogeschool van Utrecht, het AMC en alle anderen die geïnteresseerd zijn in het tot stand komen van een fysiek kniemodel voor stromingsexperimenten en trainingsdoeleinden.

Mijn dank aan mijn begeleiders Dr. Ir. G.J.M. Tuijthof en Dr. Ir. L. Blankevoort uit het **Academisch Medisch Centrum** te Amsterdam, mijn begeleider Ir. B. Striezenau van het opleidingscentrum de Hogeschool van Utrecht, faculteit Natuur en Techniek. En mijn collega's en medestudenten met wie ik een zeer gezellige tijd heb mogen doorbrengen.

Amersfoort, Mei 2005



Inhoudsopgave.

Samenvatting	9
H1 Inleiding	11
H 2 Analyse van een humane knie gewricht	12
2.1 Anatomie van het humane kniegewricht	13
2.2 Knie-arthroscopie	14
2.3 Basisinstrumenten ten behoeve van een arthroscopie	15
2.4 Ontwerpeisen	19
2.5 Analyse van vergelijkbare modellen	20
2.6 Analyse van het kniemodel ten behoeve van stromingsexperimenten	22
2.5 Analyse van het kniemodel ten behoeve van trainingsdoeleinden	22
H3 Ontwerpbenodigdheden	23
3.1 Kniegeometrie en vorm	23
3.1.1 Afmetingen van de botdelen van het kniegewricht	26
3.1.2 Geometrie van de menisci	27
3.1.3 Collage ten behoeve van de kleuren van het kniemodel	29
3.1.4 Collage ten behoeve van de houder van het kniemodel	29
H4 Uitdagingen en oplossingen	31
4.1 De oplossingen	31
H5 Definitief ontwerp	43
5.1 Kniemodel	44
5.2 Draaisysteem	47
5.3 Arm en zijn voet	49
6 Conclusie, aanbevelingen en persoonlijke evaluatie	53
Symbolenlijst	55
Lijst met termen	57
Referenties	59
Bijlagen	61-68

Samenvatting.

In deze scriptie wordt verslag gedaan van het doorlopen van de afstudeeropdracht: het ontwerpen van een fysiek kniemodel. Deze opdracht hield in, het ontwerpen van een fysiek kniemodel voor stromingsexperimenten en trainingsdoeleinden. Met stromingsexperimenten wordt verstaan, het analyseren van het stromingspatroon en het testen van nieuwe instrumenten ten behoeve van de arthroscopie. Tevens is het de bedoeling dat het kniemodel gebruikt zal worden om de medische studenten in opleiding kennis te laten maken met arthroscopie.

In dit verslag zal er als introductie kennis gemaakt worden met de knie-arthroscopie en de anatomie van het humane kniegewricht. Knie-arthroscopie is een onderzoek in het binnenste van een kniegewricht.

Tijdens de introductie over de anatomie van het kniegewricht zullen alle weefselstructuren die zich in het kniemodel bevinden, invloed hebben op het stromingspatroon en/of van dienst kunnen zijn voor trainingsdoeleinden besproken worden. De belangrijkste structuren zijn de kruisbanden de gewrichtscondylen en de menisci. Er is een programma van eisen tot stand gekomen waarvoor zowel experimenten als literatuur is gebruikt. Om een begin te maken met het ontwerpen zijn er enkele experimenten, zoals de invloed van extern licht op het visueel beeld van de arthroscoop en de beeldvervorming van gebogen doorzichtige materialen gedaan. Tevens zijn er diverse onderzoeken gedaan die betrekking hebben op de arthroscopie en enkele benodigdheden, zoals de geometrie van weefsel structuren en materialen. Enkele belangrijke eisen zijn: in kniemodel moet het mogelijk zijn om zowel het beeld van de arthroscoop als het stromingspatroon te filmen, het moet mogelijk zijn om kleine operaties uit te voeren in het kniemodel, het kniemodel moet in bezit zijn van hetzelfde stromingspatroon als een humaan kniegewricht. Daarna is eerst gekeken of commerciële producten, zoals anatomiemodellen al aan deze eisen voldoen. Dit was niet het geval. Hierna is er een start gemaakt met het genereren van concepten. De meest relevante concepten worden besproken en verder toegelicht. De gekozen concepten zijn verder uitgewerkt en zodoende is er een definitief ontwerp van een fysiek kniemodel voor stromingsexperimenten en trainingsdoeleinden tot stand gekomen. Het definitieve kniemodel bestaat uit een standaard met een geïntegreerd draaisysteem om het model onder drie hoeken te zetten. Het eigenlijke kniemodel bestaat uit twee klemssystemen, waarvan er één doorzichtig is zodat het stromingspatroon gefilmd kan worden. Tussen de twee klemssystemen wordt een rubberen huid geklemd. In deze ruimte tussen het klemgedeelte en de huid bevinden zich de menisci, de kruisbanden en de botcondylen. Het totale kniemodel is een uitstekende weerspiegeling van een humaan kniemodel dit met betrekking op de weefselstructuren. Mede hierdoor zal het stromingspatroon overeenkomen met die van een humaan kniegewricht. Het eindresultaat betreft een geheel pakket met technische tekeningen zodat het kniegewricht gefabriceerd kan worden.

1. Inleiding.

In het verleden werden veel operaties in de orthopedische chirurgie door grote incisies uitgevoerd. Dit was voornamelijk voor de patiënt nadelig, omdat hij lang moest herstellen van de ingreep. Arthroscopie bestaat ruim 25 jaar en heeft sinds zijn intrede een grote progressie geboekt met het oog op operaties met lage morbiditeit. Dit soort operaties worden arthroscopie genoemd en dat woord is afgeleid van de Griekse woorden arthro (gewricht) en skopien (onderzoeken). Een arthroscopie wordt uitgevoerd door kleine incisies in de huid. Een arthroscoop geeft het visuele beeld van het inwendige van het gewricht weer op een monitor. Vaak kan de patiënt na een arthroscopische ingreep direct naar huis.

Tijdens observaties gedurende arthroscopische ingrepen is gebleken dat het helder houden van het beeld op het operatiegebied vaak lastig is. Het beeld wordt troebel door bijvoorbeeld bloedingen of weefseldeeltjes die verwijderd zijn. Om deze beeldvertroebeling op te heffen wordt tijdens een arthroscopische operatie gespoeld met fysiologisch zout. Incidenteel komt het voor dat de orthopeed de gehele operatie moet stil leggen omdat het vervuilde vocht het zicht van de orthopeed te ernstig belemmert doordat het spoelproces niet optimaal verloopt. Om het spoelproces te perfectioneren en de operatietijd te verkorten is er een fysiek gewrichtsmodel nodig waarop nieuwe instrumenten ten behoeve van de arthroscopie kunnen worden getest en stromingspatronen voor verschillende condities kunnen worden geanalyseerd.

Daarom is de volgende ontwerpopdracht geformuleerd:

Development of a see-through physical model for flow experiments in arthroscopy.

[Tuijthof 2004]

De opdracht bestaat uit; het ontwerpen van een fysiek humaan model van het kniegewricht dat gebruikt gaat worden voor stromingsexperimenten en trainingsdoeleinden. Deze stromingsexperimenten houden in; het spoelproces analyseren en het testen van nieuwe instrumenten ten behoeve van de arthroscopie. Om dit objectief te kunnen doen wordt er gebruik gemaakt van geconditioneerde omstandigheden die goed gecontroleerd kunnen worden met behulp van het nieuwe kniemodel. Als extra opdracht is toegevoegd dat het kniemodel ook gebruikt kan gaan worden voor trainingsdoeleinden. Dit houdt in dat in dit fysieke kniemodel kleine operaties uitgevoerd moeten kunnen worden, waardoor orthopeden in opleiding de arthroscopische techniek leren. Hierdoor hoeven er minder *in vivo* patiënten en kadaverknieën gebruikt te worden. Met behulp van de opdracht en extra literatuur kan er een probleemstelling worden geformuleerd, deze luidt als volgt:

Voor de afdeling orthopedie en orthopeden in opleiding een nieuw kniemodel ontwerpen dat van binnen de realiteit van de humane knie evenaart, zodat nieuwe instrumenten van de arthroscopie objectiever en onder geconditioneerde omstandigheden getest kunnen worden. En de orthopeden in opleiding bedreven kunnen raken met de arthroscopie techniek.

Om het kniemodel te ontwikkelen wordt er gebruik gemaakt van het ontwerpproces volgens Pahl en Beitz. Dit model bestaat uit vier hoofdonderdelen; analyseren, concipiëren, materialiseren en uitwerken [Roozenburg, 1998].

In deze scriptie zal in hoofdstuk 2 de anatomie van het kniegewricht met de hierbij de arthroscopie worden uit gediept. Het programma van eisen zal hier worden besproken. Tevens zal er kort worden uitgelegd welke zichtmodellen op de markt zijn en wat de positieve en negatieve punten zijn met het oog op het fysieke kniemodel. In hoofdstuk 3 zullen de geometrie van de weefselstructuren en andere informatie die van belang zijn voor het ontwerp van het kniemodel besproken worden. Hierna zal in hoofdstuk 4 enkele constructieve knelpunten besproken worden en worden oplossingen voorgesteld. Deze zullen gebruikt worden om het definitieve model te kunnen ontwerpen dat in hoofdstuk 5 beschreven wordt. Als afsluiting zal er in hoofdstuk 6 een evaluatie en conclusies worden weergegeven.

2. Analyse van het humane kniegewricht.

In dit hoofdstuk zal de anatomie van het humane kniegewricht worden beschreven door iedere weefselstructuren kort te bespreken met de functie en de locatie hiervan. Deze uitleg is nodig omdat de weefselstructuren het stromingspatroon in het kniemodel beïnvloeden

De arthroscopie zal worden behandeld om een zo duidelijk beeld te geven van wat deze operatietechniek precies inhoudt. En wat precies de bedoeling is van het kniemodel voor trainingsdoeleinden.

Deze twee paragrafen bevatten de meeste eisen waaraan het kniemodel moet voldoen. Om het te verduidelijken is alles kort samengevat in een programma van eisen.

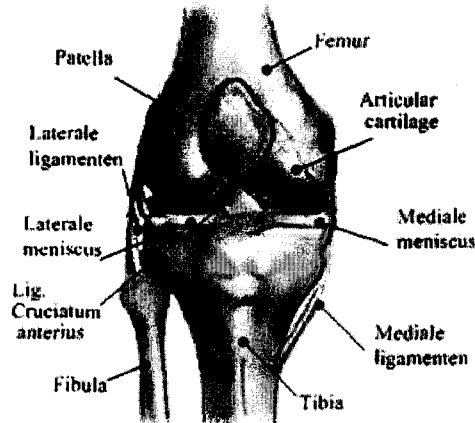
Als laatste wordt er een onderzoek naar bestaande zichtmodellen uitgevoerd de resultaten hiervan zullen worden geanalyseerd.

2.1 Anatomie van het humane kniegewricht. [Putz, 1994]

Het kniegewricht (fig. 2.1) bestaat uit vier botdelen, het tibia (scheenbeen), fibula (kuitbeen), femur (dijbeen) en de patella (kniestijf). Het einde van de tibia en femur, genaamd de condyle, is bedekt met een laagje articular cartilage (gewrichtskraakbeen). Dit laagje, met een maximale dikte van 5mm, zorgt voor een soepele beweging tussen de twee botdelen.

Het gewricht wordt verstevigd door ligamenten (gewrichtsbanden). De banden bestaan uit verschillende lagen bindweefsel. Het kniegewricht is in bezit van een mediale band (binnenband) die in het gewrichtskapsel ligt en een laterale band (buitenband) die net buiten het gewrichtskapsel ligt. Deze mediale en laterale band zorgen voor een zijdelingse stabiliteit van het gewricht. Centraal in de knie gelegen bevinden zich de voorste en achterste kruisband (Lig. cruciatum anterius). Deze twee banden lopen zoals het woord al zegt gekruist. De voorste kruisband ligt voor de achterste kruisband en voorkomt dat de tibia naar voren schuift en de achterste kruisband voorkomt dat de tibia naar achteren kan verschuiven.

Tussen het kraakbeen (articular cartilage) van de femur en de tibia bevinden zich zowel aan de binnen- als de buitenzijde twee hoefijzer gevormde stuken kraakbeen, de zogenaamde mediale (binnen) en laterale (buiten) meniscus. De menisci zijn bedoeld om de bolle vorm van de femur condyle en de vlakke vorm van de tibia condyle goed op elkaar te laten aansluiten. Tevens functioneren de menisci als schokdemper. Zodra er gewicht op het been wordt gezet kan de meniscus iets naar buiten wijken zodat de neerwaartse kracht naar buiten wordt omgezet.



Figuur 2.1.1
Afbeelding van het
kniegewricht
inclusief de
benamingen van
alle structuren.

2.2 Knie-arthroscopie. [Eorthopod 2005, AMC 2004]

In dit hoofdstuk wordt beschreven wat arthroscopie precies inhoudt. Ook wordt er uitleg gegeven welke instrumenten nodig zijn voor een arthroscopische operatie. Een arthroscopische operatie kan voor veel verschillende gewrichten gebruikt worden in dit verslag zal er in zijn geheel gesproken worden over een knie-arthroscopie.

Arthroscopie is een zogenaamde gesloten operatietechniek waarbij de operatie door drie kleine incisies plaatsvindt, in plaats van de gehele knie open te leggen. Deze techniek is uitstekend toe te passen voor het behandelen van meniscusscheuren, kraakbeenletsel, kruisbandscheuren en slijmvliesontstekingen (fig. 2.2.1A).

Een meniscusscheur (voetbalknie) leent zich bij uitstek voor de arthroscopische benadering. Het gescheurde gedeelte kan worden gehecht of verwijderd en het onbeschadigde deel blijft op zijn plaats. Dit is beter voor het gewricht, omdat het verwijderen van de gehele meniscus kan leiden tot slijtage van de femur en tibia.

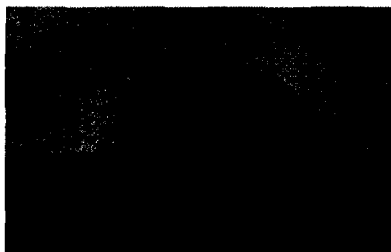
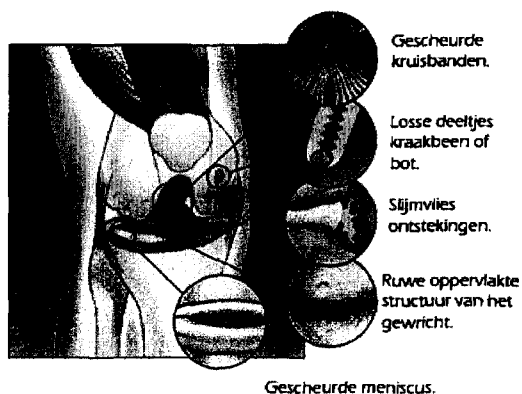
Losse kleine bot- of kraakbeendeeltjes kunnen uit het kniegewricht worden verwijderd door gebruik te maken van een arthroscopie.

Wanneer een gescheurde kruisband geconstateerd wordt zal afhankelijk van de ernst van de scheur besloten worden tot intensieve fysiotherapiebehandeling of een vervolgoperatie om de kruisband te vervangen. Bij deze ingrepen wordt er gebruik gemaakt van verschillende instrumenten dit kunnen zijn een: tasthaak, knabbeltang, paktang en scherp lepeltje.

Tijdens deze operatie is de patiënt lokaal verdoofd door middel van een rugprik of is onder algehele verdoving. Bij lokale verdoving is het soms mogelijk om op een monitor met de orthopeed mee te kijken tijdens de operatie. Zodra de verdoving is ingewerkt word het scheenbeen ten opzichte van het dijbeen onder een hoek van 90 graden geplaatst. Hierdoor wordt de ruimte tussen de femur en tibia groter en kan de orthopeed zijn werk beter doen. Om het dijbeen wordt er een tourniquet (dit is een band waarin lucht wordt geblazen en hierdoor het been afklemt) geplaatst om de bloedtoevoer van het gewricht te stoppen. Zo wordt de kans op bloedingen tijdens de ingreep verkleind.

Zodra de patiënt geheel gereed is voor de operatie worden er drie incisies (portals genaamd) van ongeveer een centimeter lengte op verschillende plaatsen van de knie gemaakt. Door één van deze incisies wordt de arthroscoop met lichtkabeltje ingebracht en spoelvoeistof bestaande uit een zoutoplossing in de knie gespoten, hierdoor krijgt de orthopeed een beeld van het gewricht. De tweede incisie wordt gebruikt voor de instrumenten waarmee de orthopeed bijvoorbeeld beschadigde kraakbeenstukjes of een gescheurd stukje meniscus kan afknippen en verwijderen. Om voldoende operatieruimte te hebben wordt het been tijdens de operatie gespouwd. Het spouwen gebeurt door het onderbeen ten opzichte van het dijbeen naar links of rechts te duwen. Hierdoor wordt de mediale of het laterale ligament ontspannen en het tegenovergestelde ligament uitgerekt. Zodoende ontstaat er een aflopende gewrichtsspleet (fig. 2.2.1B) en heeft de orthopeed meer ruimte om te opereren.

Ten slotte is er nog een derde incisie voor de afvoer van de spoelvloeistof en eventuele bot- en kraakbeenstukjes die mee stromen. Na de operatie, die ongeveer een half uur duurt, worden de incisies afgeplakt en word er een drukverband omheen gedaan om de kans op nabloeden te verkleinen.



Figuur 2.2.1

A) Letsel die kan worden hersteld doormiddel van arthroscopie

B) Gewrichtsspleet tijdens het spouwen waarbij het onderbeen t.o.v. het dijbeen naar rechts is geduwd.

A

B

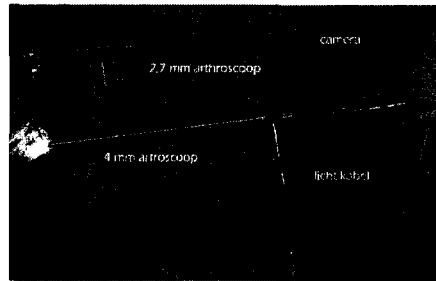
2.3 Basis instrumenten ten behoeve van arthroscopie. [Tuijthof, 2003]

In deze paragraaf zullen de instrumenten besproken worden die nodig zijn om een arthroscopie te kunnen uitvoeren.

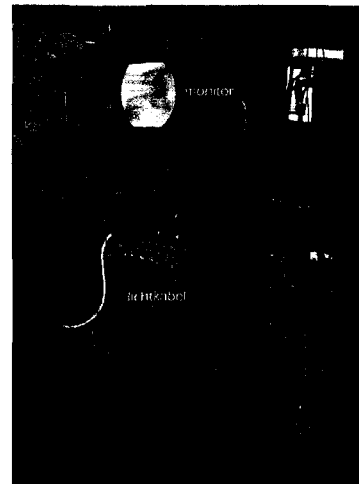
Arthroscoop, lichtkabel, monitor.

Om van een gewricht een visueel beeld te krijgen wordt er gebruik gemaakt van een arthroscoop (fig. 2.2.1A) Aan deze scoop zit een camera bevestigd die een visueel beeld naar de monitor zendt. Dit beeld zal zonder een lichtbron enkel een donkere vlek van het gewricht weergeven. Deze lichtbron zit via een lichtkabel (fig. 2.3.1B), bestaande uit glasvezel, aan de arthroscoop vast en zorgt ervoor dat het gewricht verlicht wordt.

Er bestaan twee verschillende maten van de arthroscoop, dit zijn een 4 mm en een 2,7 mm scoop. De 4 mm scoop wordt gebruikt voor de grotere gewrichten zoals de knie en schouder. Voor de kleinere gewrichten zoals elleboog, pols en teen wordt de 2,7 mm scoop gebruikt. Beiden arthroscoopen kunnen worden gebruikt voor een enkelgewricht. De keuze van de scoop is ook afhankelijk van de wensen van de orthopeed.



A



B

Figuur 2.3.1
A) Een arthroscoop met een diameter van 2,7 mm en een 4 mm, een lichtkabel en camera.

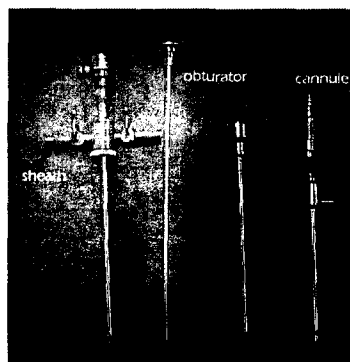
B) monitor inclusief visueel beeld en een lichtkabel.

Spoelsysteem.

De functie van het spoelsysteem is het verwijderen van weefselstructuren en bloed uit het gewricht. Tevens verbetert dit het zicht van de orthopeed tijdens de operatie. Dit gebeurt door de vervuilde zoutoplossing af te voeren en hiervoor in de plaats nieuw vocht in te spuiten. Het in spuiten van het vocht kan door middel van een zwaartekrachts pomp of een automatische pomp plaatsvinden. De zwaartekrachts pomp werkt door middel van hoogteverschil tussen de vloeistofzakken en het gewricht. Door dit hoogteverschil stroomt het vocht direct de knie in zodra de kraan wordt open gezet. De automatische pomp werkt doormiddel van twee rollers die samen de druk en de stroming kunnen regelen.

Sheath, canule en obturator.

Voordat de kwetsbare arthroscoop in de incisie wordt geplaatst, wordt er eerst een sheath met obturator tot in het gewricht gedrukt door het gewrichtskapsel. De obturator wordt uit de sheath verwijderd en de arthroscoop word hiervoor in de plaats geschoven zodat deze beschermd wordt tegen het gewricht. De sheath zorgt tevens voor de toe- en afvoer van de zoutoplossing die in de knie wordt gespoten. Bij grotere gewrichten wordt een extra canule gebruikt voor het spoelen van het gewricht. (fig. 2.3.2)



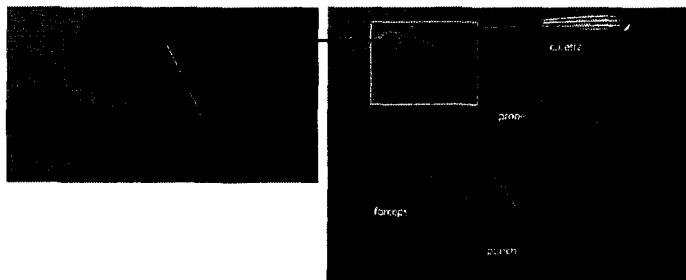
Figuur 2.3.2
Afbeelding van de
benodigd heden om
een artroscoop uit te
voeren een sheath,
obturator en canulle.

Tasthaak, knabbeltang, paktang en scherp lepeltje.

Tijdens een arthroscopie wordt er gebruik gemaakt van verschillende instrumenten. In dit gedeelte worden de meest gebruikte instrumenten besproken.

Door de combinatie van tactiele en visuele inspectie wordt geconstateerd of de meniscus in goede staat verkeerd. De tactiele inspectie wordt gedaan door gebruik te maken van een tasthaak (probe). Dit gebeurt door de meniscus in te drukken. Mocht het nodig zijn om een gedeelte van de meniscus te verwijderen dan wordt dit gedaan door middel van een knabbeltang (punch). Deze tang wordt tevens gebruikt om delen van pezen of verklevingen te verwijderen. Er zijn verschillende soorten knabbeltangen maar werken allemaal door een knipbeweging. De keuze van de tang is afhankelijk van de orthopeed.

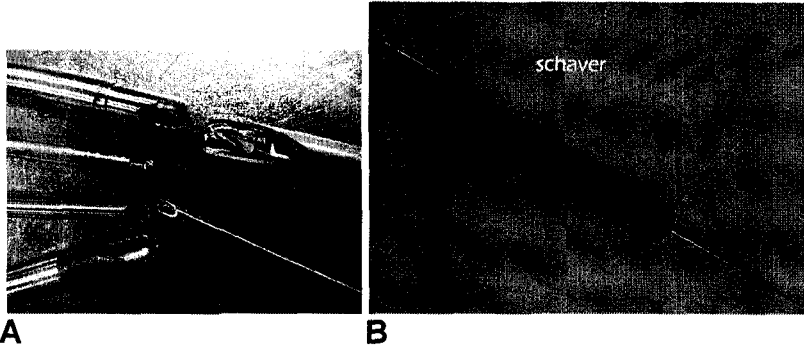
Als alle te verwijderen weefseldelen los zitten kunnen deze worden verwijderd uit het gewricht. Dit kan worden gedaan door gebruik te maken van een paktang (forceps). Met deze paktang kunnen de weefseldelen opgepakt en uit het gewricht verwijderd worden. Om eventueel ruw of beschadigd kraakbeen te verwijderen, kan er gebruik gemaakt worden van een scherp lepeltje (curette) waarmee het kraakbeen kan worden weg geschraapt. (fig. 2.3.3)



Figuur 2.3.3
Instrumenten ten
behoefte van een
arthroscopie, de
curette, probe, punch
en forceps.

De shaver.

Een shaver is een mechanisch apparaat dat zeer snel harde en zachte weefseldelen kan weg halen. Mede hierdoor wordt deze vaak gebruikt. De shaver bestaat uit twee cirkelvormige buisjes waarvan de binnenste met variabele snelheid kan draaien ten opzichte van de buitenste buis. Op de binnenste buis kunnen verschillende scheerbladen worden geplaatst. Het afvoeren van de weefseldelen wordt door middel van de spoeling gerealiseerd. (fig. 2.3.4)



Figuur 2.3.4
A) Verschillende
scheerbladen voor
een schaver.

B) Een schaver.

2.4 De ontwerpeisen. [Rozenburg, 1998].

In de voorgaande paragrafen zijn criteria naar voren gekomen waaraan het kniemodel moet gaan voldoen. Deze criteria vormen samen het programma van eisen (tabel 2.4.1). Het kniemodel wordt met behulp van deze eisen ontworpen.

Tabel 2.4.1 Programma van eisen.

Programma van eisen.

1 Algemeen functioneren.

- 1.1 Het moet mogelijk zijn om zowel het scoopbeeld als het stromingspatroon te filmen.
- 1.2 Het moet mogelijk zijn om delen van de menisci te verwijderen door middel van kleine operaties
- 1.3 Het model moet over drie toegangspoorten (portals) beschikken voor de arthroscoop, irrigatie en instrumenten.
- 1.4 Het kniemodel moet in verschillende posities geplaatst kunnen worden, zodat het gehele kniemodel horizontaal, verticaal of onder een hoek van -45° geplaatst kan worden.
- 1.5 Het model mag niet bewegen ten opzichte van de standaard tijdens gebruik.
- 1.6 De meniscus en kruisbanden moeten binnen 5 minuten gewisseld worden.

2 Constructie.

- 2.1 Het kniemodel moet in zijn geheel tegen water kunnen
- 2.2 Er mag alleen lekkage plaats vinden uit de toegangspoorten (portals).
- 2.3 Het kniemodel moet een druk van -500 mm.Hg kunnen weerstaan tot 800 mm.Hg .
- 2.4 Het inwendige volume moet vergelijkbaar zijn met de inhoud van een humane knie (90 ml)
- 2.5 De stromingsweerstand moet vergelijkbaar zijn met die van een humane knie en een grove schatting geeft aan dat dit ongeveer 10 mm.Hg bedraagt.
- 2.6 Het kniemodel moet men kunnen spouwen.
- 2.7 Het kniemodel mag niet meer dan 4 kg wegen.
- 2.8 Het materiaal van de humane knie moet in delen van $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}$ worden kunnen verwijderd door gebruik van de operaties instrumenten.
- 2.9 De standaard moet stabiel kunnen staan tijdens gebruik.
- 2.10 Het materiaal dat wordt gebruikt voor het gedeelte waar doorheen wordt gekeken / gefilmd moet tegen de instrumenten kunnen die worden gebruikt tijdens de arthroscopie.
- 2.11 De standaard moet een organische vorm bezitten
- 2.12 De standaard moet een kracht van 150 N kunnen weerstaan.
- 2.13 Afmetingen van het kniemodel moeten overeenkomen met de maten van een humane knie.

3 Ergonomie.

- 3.1 De materiaalkleur moet overeen komen met de kleuren van de humane knie.
- 3.2 De standaard moet met een trek beweging van 5 mm beweging in de 3 verschillende hoeken gezet kunnen worden.
- 3.3 De vorm van het model moet in bezit zijn van een bovenbeen (femur) en een onderbeen (tibia) en een menisci

4 Kostprijs.

- 4.1 De fabricage kosten mogen niet meer dan €1500,- bedragen

2.5 Analyse van vergelijkbare modellen.

Met een onderzoek naar vergelijkbare modellen wordt bekeken welke producten zich op de markt bevinden die dezelfde functies en/of eigenschappen bezitten waaraan het te ontwerpen kniemodel moet voldoen. Met als doel eventuele positieve punten uit modellen te gebruiken voor het ontwerp van het kniemodel. Het onderzoek is uitgevoerd door gebruik te maken van artikelen over arthroscopie experimenten, het zoeken in patenten en op het Internet. De gevonden modellen zijn vergeleken met de hoofdeisen waaraan het te ontwerpen kniemodel moet voldoen (tabel 2.5.1). De modellen zijn gewaardeerd per eis doormiddel van plusjes: hoe meer plusjes een model bezit des te meer overeenkomsten heeft deze met de eis. Het wil niet zeggen dat de modellen met een minder hoge waardering ongebruikt blijven voor het ontwerp van het kniegewricht.

Model 1: bestaat uit een bol met een dunne wand geheel gemaakt van rubber. Het inwendige volume van dit model bedraagt 700 ml en is in bezit van twee portals, één voor de toevoer en één voor de afvoer van het vocht. Dit model heeft geen enkele overeenkomst met een kniegewricht wat betreft vorm en weefselstructuren. De volume-inhoud komt niet overeen met een normale knie en het stromingspatroon kan niet worden opgenomen. [Muellner, 2001]

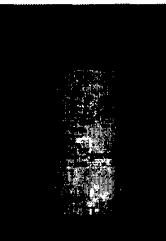
Model 2: een model bestaande uit een infusiezak met hieraan een afvoer en een portal voor een arthroscoop. Dit model heeft zowel van buiten als van binnen geen enkele vormovereenkomst met een humaan kniegewricht. Hierdoor zal het stromingspatroon niet overeen komen met die van een humaan kniegewricht. Echter is het mogelijk om het stromingspatroon te filmen. [Dolk, 1989]

Model 3: bestaande uit een anatomisch model van een humaan kniegewricht met alle weefselstructuren erin die in een humaan kniegewricht ook zitten. Met dit model is het volume van het kniegewricht gemeten en dit komt overeen met een humaan kniegewricht..Het nadeel is dat dit model is dat het stroming patroon niet kan worden gefilmd [Tuijthof, 2003^A]

Model 4: werd gebruikt voor onderzoek naar de stroming in het kniegewricht. Dit model bestaat uit twee glazen schijven die de tibia en de femur moeten voorstellen. Het tibia plateau heeft een bolling net als een humaan tibia-plateau. Verder zijn er geen weefselstructuren in dit model geplaatst. Maar de inhoud komt wel overeen met die van een humaan kniegewricht. Om het model heen zit een "huid" van rubber geklemd doormiddel een aantal slangen klemmen. [Tuijthof, 2003⁹]

Model 5: een prikmodel dat wordt gebruikt voor het beoefenen van injecteren van het menselijke been. Het model bestaat uit een silicone huid met aan het uiteinde een metalen pen, waarmee het model in een standaard kan worden geplaatst. [Breukhoven, 2005]

Tabel 2.5.1 De besproken modellen vergeleken met enkele eisen.

					
Eisen aan het kniemodel	model 1	model 2	model 3	model 4	model 5
Opnemen van stromingspatroon moet mogelijk zijn.	-	+	-	+++	-
Weefselstructuren bevatten (menisci, kruisbanden).	-	-	+++	+	-
Vormovereenkomst met een humane knie.	-	-	++	+	+
Het model moet vochtdicht zijn.	++	+++	-	+++	-
Het volume moet overeenkomen.	-	-	+	+++	-
Stromingweerstand moet gelijk zijn.	-	-	++	+	-

Het onderzoek naar patenten heeft tot geen resultaat geleid. Dit komt waarschijnlijk doordat instellingen die een kniemodel ontwikkelen, wat patentaanvraag overbodig maakt. [espacenet, 2005]

Uiteindelijk zijn er uit deze vijf modellen geen die geheel aan het programma van eisen voldoen en zal er verder ontworpen worden. Door de modellen hebben wel geholpen om op nieuwe ideeën te komen.

2.6 Analyse van het kniemodel ten behoeve van stromingsexperimenten.

In dit gedeelte wordt er duidelijk gemaakt welke punten er voor het kniemodel van belang zijn om correcte stromingsexperimenten te kunnen uitvoeren.

Een van de belangrijkste punten is dat het stromingspatroon overeen moet komen met die van een humane knie. Dit kan mede gerealiseerd worden door dezelfde geometrie te gebruiken die een humane knie bevat. Met de geometrie wordt niet alleen de vormen en grootte van de tibia en femur bedoeld maar ook de aanwezigheid van de kruisbanden en de menisci. De geometrie van deze structuren worden in literatuur gezocht en zelf onderzocht.

Het moet ook mogelijk zijn om het stromingspatroon in het kniemodel te filmen door middel van de arthroscoop en/of door een externe videocamera die in een van de botdelen geplaatst wordt. Deze videocamera die in het gewricht wordt geplaatst dient om een geheel overzicht van het stromingspatroon vast te leggen zodat deze goed kan worden geanalyseerd. Om een duidelijk beeld van het stromingspatroon te krijgen worden er enkele milliliters inkt in het vocht (water) gespoten. In totaal zijn minimaal twee openingen nodig om de experimenten uit te voeren. Deze openingen (portals) moeten in het kniemodel komen te zitten en eenvoudig kunnen worden afgesloten zodat het vocht niet naar buiten kan stromen.

Om de experimenten zo realistisch mogelijk te maken is gewenst dat het kniemodel gespouwd kan worden en dat het kniemodel onder drie verschillende hoeken kan worden gezet.

Een experiment moet meerdere malen worden herhaald hierdoor is het belangrijk dat dit gebeurt onder constante condities. Het kniemodel moet in een constante stabiele positie kunnen blijven staan.

2.7 Analyse van het kniemodel ten behoeve voor trainingsdoeleinden.

In dit gedeelte wordt er uitgelegd wat de bedoeling is van het nieuwe kniemodel met het oog op arthroscopie trainingen.

Het trainingsmodel moet gebruikt gaan worden om de arthroscopische techniek onder de knie te krijgen. Hiermee wordt bedoeld hiermee wordt bedoeld dat de persoon die de techniek onder de knie moet krijgen delen van de menisci kan verwijderen door gebruik te maken van de arthroscopische instrumenten. Hierbij wordt er gebruik gemaakt van 3 portals, één voor de arthroscoop, één voor de instrumenten en de laatste voor de toe- en afvoer van vocht. Door dat er structuren met de zelfde eigenschappen als de humane weefselstructuren kunnen worden verwijderd moeten deze ook vervangen kunnen worden tijdens een training. De weefseldelen zullen dezelfde kleuren krijgen als die in een humane knie zodat de structuren goed herkenbaar zijn. Om meer ruimte te verkrijgen om de weefseldelen te verwijderen moet het kniemodel ook kunnen worden gespouwd. Tijdens een training kan de cursist met behulp van de arthroscoop zien wat hij doet. Tevens kan de arthroscopie tijdens en achteraf worden geanalyseerd doormiddel van het gehele overzicht die gemaakt is in het kniegewricht. Het kniemodel moet onder eerder drie genoemde hoeken gezet kunnen worden doordat dit de realiteit van een operatie verwezenlijkt.

3. Ontwerp benodigheden.

In dit hoofdstuk zal er uitleg geven worden over de te gebruiken stijl van het kniemodel en de standaard. Verder zal de geometrie die invloed heeft op het kniegewricht verder worden besproken.

In dit hoofdstuk zullen er enkele punten besproken worden die nodig zijn voor het ontwikkelen van een fysiek kniemodel. Zo zullen er twee collages getoond worden één die de kleuren van het kniemodel zal weergeven en de tweede de vorm van de standaard waar het kniemodel in moet komen te staan. Tevens zal de geometrie van enkele structuren besproken worden die door onderzoek zijn komen vast te liggen.

3.1 Kniegeometrie en vorm.

Lekvrij

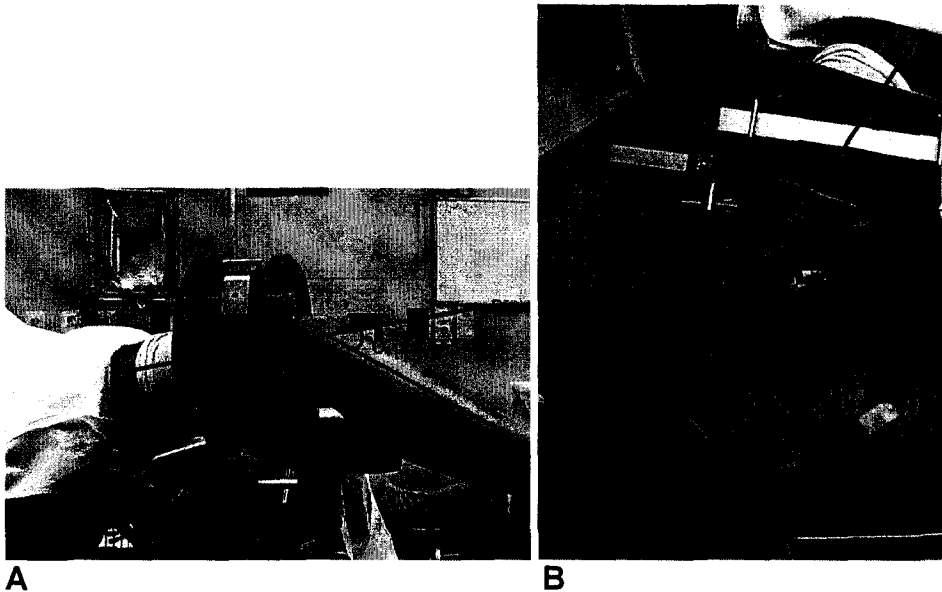
In de O.K. vindt tijdens een scopie lekkage van vocht uit de knie plaats langs de toegangspoorten; zeker als er van poort gewisseld wordt. Voor het kniemodel is het juist van belang dat geen lekkage plaatsvindt. De belangrijkste redenen zijn dat lekkage het stromingspatroon en hierdoor de stromingsmetingen beïnvloeden en het meten van de flow bemoeilijkt wordt. Via een lekvrij model wordt er voor gezorgd dat de meetcondities zo constant mogelijk zijn. Hierdoor kan bij het testen van nieuwe instrumenten ten behoeve van de arthroscopie een verschil in uitkomst toegeschreven worden aan het nieuwe instrument. Een meekomend voordeel van een lekvrij kniemodel is dat er geen vocht op de tafel en vloer terecht komt. Voorlopig wordt daarom aan gedacht om voor de huid een rubberen manchet of een siliconenlaag te gebruiken die wordt bevestigd aan de botcondylen om zo een vocht dicht kniemodel te vormen.

Realistisch stromingspatroon. [Cals. 2002]

Het stromingspatroon in het kniemodel wordt door de verschillende weefselstructuren beïnvloed die zich in het kniegewricht bevinden. Daarom is gekozen om deze weefselstructuren in het kniegewricht te integreren. Dat zijn de menisci en de twee kruisbanden in het model, aan de bovenzijde van het model de hoofdvorm van de femur condyle, en aan de onderkant van het model het tibia-plateau (fig. 2.1.1). Door het plaatsen van deze weefselstructuren wordt het mogelijk om met de gebruikelijke instrumenten kleine operaties aan de menisci te verrichten. De documentatie van deze normale operatiehandelingen met hun invloed op het stromingspatroon is naast het testen van nieuwe instrumenten één van de experimentele onderzoeksdoeleinden.

Het laatste aspect waar een voorziening voor moet komen in het kniemodel is de mogelijkheid om de knie te spouwen. Het spouwen is het vergroten van de operatie ruimte zodat de chirurg zijn werk gemakkelijker kan uitvoeren. Dit doet hij door het onderbeen te laten rusten op zijn eigen bovenbeen, waarbij hij zijn voet op een verhoging heeft staan, kan hij kracht zetten met zijn heup. De richting van de kracht hangt af in welk gedeelte de chirurg extra ruimte wenst. Hierdoor kan hij

de positie van het onderbeen ten opzichte van het boven been veranderen en zo ontstaat er een ruimere gewrichtsspleet tevens heeft hij beide handen nog vrij voor de operatie. Tijdens het spouwen staat het onderbeen ten opzichte van het boven been onder twee hoeken zo is er hoek α_1 (fig. 3.1.1A) en hoek α_2 (fig. 3.1.1B).



Figuur 3.1.1. de hoeken die het been maakt tijdens het spouwen
A) Afbeelding die de hoek α_1 weergeeft.

B) Afbeelding die hoek α_2 weergeeft.

De afmetingen van de hoeken die gemaakt worden tijdens het spouwen zijn gemeten van foto's. Deze twee hoeken bedragen aan de mediale zijde van het been:

Aan de mediale zijde bedraagt $\alpha_1 = 38^\circ = 0.66\text{rad}$.

Aan de mediale zijde bedraagt $\alpha_2 = 23^\circ = 0.40\text{rad}$.

Deze twee hoeken bedragen aan de laterale zijde van het been:

Aan de laterale zijde bedraagt de gemeten hoek $\alpha_1 = 30^\circ = 0.52\text{rad}$.

Aan de laterale zijde bedraagt de gemeten hoek $\alpha_2 = 35^\circ = 0.61\text{rad}$.

Het kniemodel zal ook over deze hoeken moeten kunnen bezitten om zo de realiteit te benaderen en betrouwbare experimenten uit te voeren.

Visualisatie van het stromingspatroon.

Stromingsexperimenten worden zichtbaar gemaakt door blauwe inkt in het model te spuiten en de tijd te meten vanaf het inspuiten tot dat er weer een volledig helder beeld is bereikt. Deze analyse vindt zowel plaats met videobeelden van de arthroscoop als met videobeelden van een videocamera die in het kniegewricht geplaatst moet worden. Voor de chirurg is het beeld van de arthroscoop het belangrijkste, omdat hij alleen met dit beeld opereert en dat moet goed van

kwaliteit zijn. Voor de analyse en verbetering van het stromingspatroon is het echter gewenst om een totaal overzicht te hebben. Dit type opname is niet mogelijk in een menselijke knie, omdat weefselstructuren in de weg zitten, vandaar ook de wens om een kniemodel te maken. Eerst is een onderzoek gedaan naar de gevolgen van extern licht op het visuele beeld van de arthroscoop. Tijdens dit onderzoek werd er gekeken wanneer een arthroscoop een duidelijk visueel beeld gaf. Dit onderzoek werd gedaan met behulp van het oude kniemodel. Zodra men de scoop met de top tot in het midden van het externe belichte model had geschoven, was er enkel een grote witte vlek zichtbaar op de monitor. Zodra men de scoop naar de in schaduw gelegen zijkant verplaatste was er een helder visueel beeld. Mede hierdoor dacht men dat extern licht een negatieve invloed op het visuele beeld had. Het doorslaggevende onderzoek was: de arthroscoop onder een felle lichtbron langzaam naar een structuur toe brengen en kijken wanneer deze een duidelijk visueel beeld gaf. Hierdoor bleek dat de arthroscoop alleen structuren kan zien zodra deze zich op een zeer korte afstand van de scoop bevinden. De conclusie is dat een arthroscoop een zeer kleine object afstand bezit en extern licht dus geen nadelige invloed op het visuele beeld heeft.

De videocamera om de overzichtopnamen te maken van het stromingspatroon kan op twee locaties worden geplaatst dit is in de tibia condyle of in de femur condyle. Om dit te realiseren is het noodzakelijk dat de betreffende condyle van doorzichtig materiaal wordt gemaakt. Daartoe is er een onderzoek gedaan naar doorzichtige materialen en hun eigenschappen. Na een eerste inventarisatie bleven er nog twee materialen over dit zijn glas en perspex. Na een aantal experimenten bleek de thermoplast perspex goed te vervormen bij lage temperaturen (110°C) en glas heeft als grote voordeel dat het krasvast is (fig. 3.1.2). Beide materialen hebben het zelfde nadeel, Er treedt altijd een fish eye effect bij het buigen van het materiaal. Het fish eye effect is beeldvervalsing wat vergelijkbaar is met het kijken door een ronde vissenkomp. Dit kan leiden tot een onjuiste analyse van de stromingspatronen. Door het potentieel optreden van dit fish eye effect werd de keuze uit de bot-condylen vergemakkelijkt. Er werd gekozen voor het tibiaplateau, omdat deze minder rondingen heeft en dus minder fish eye effect zal bezitten. Een bijkomend voordeel van deze keuze is dat in het oude kniemodel opnemen werden gemaakt waarbij een glazen plaat gebruikt werd met de vorm van een tibia-plateau. Deze glazen plaat zal worden gebruikt en moet misschien nog wat worden aangepast.

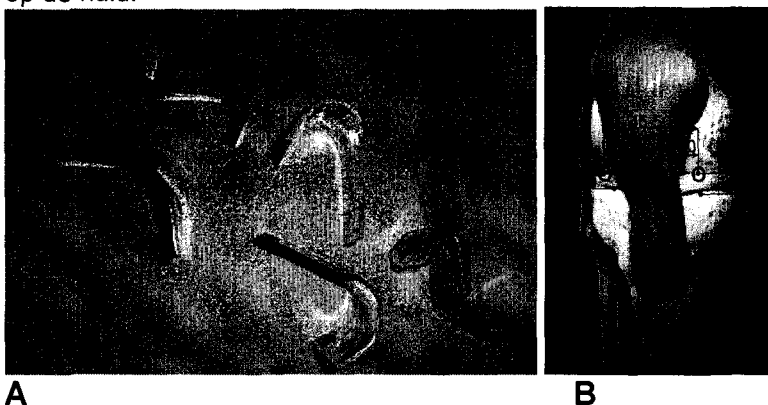
Toegangspoorten (portals). [Cals,2001]

Bij een normale knie arthroskopie worden er standaard drie portals gemaakt, zoals aangegeven is in hoofdstuk 2.1 deze portals dienen voor de arthroskopie (anterolaterale poort) en voor de andere instrumenten (anteromediale poort) die nodig zijn voor een arthroskopie. De derde poort kan gebruikt worden voor de af- toevoert (superlaterale poort) van vocht. Logischerwijs zal ook het kniemodel moeten beschikken over drie toegangspoorten om zo situaties in de operatiekamer na te kunnen bootsen

De anterolaterale poort heeft een maximale diameter van 5 mm dit is tevens de grootste diameter van de totale arthroscoop. De diameter van de poorten worden op 5,5mm gedimensioneerd, omdat de grootste shaver 5.5 mm, in diameter, bedraagt.

In literatuur worden er richtlijnen gegeven voor van de locatie van de portals in het humane kniegewricht (fig. 3.1.2). Uit het bijwonen van operaties is echter gebleken dat deze richtlijnen niet worden uitgemeten maar dat de chirurg de incisie plaatst op gevoel en ervaring.

De portals van het kniemodel zullen met behulp van de richtlijnen uit de literatuur worden geplaatst op de huid.

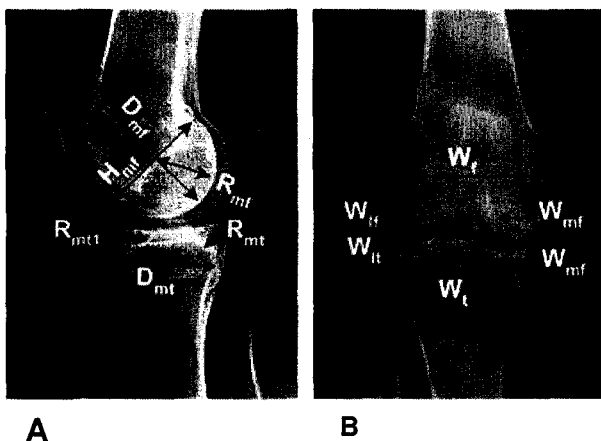


Figuur 3.1.2.
A) Enkele afbeeldingen van proefdelen voor het onderzoek naar beeldvervalsing van doorzichtige materialen.

B) De afstanden van de portals bij een knieewricht

3.1.1 Afmetingen van de botdelen van het kniegewricht. [Mensch, 1975. & Polipus 2005]

Om in het kniegewricht de gewenste stromingspatroon te krijgen is het van belang dat alle structuren de juiste afmetingen en vorm krijgen. Om dit te kunnen realiseren is onderzoek gedaan naar de maten van de tibia en de femur. In een artikel zijn enkele maten over deze botstructuren gevonden. Om deze maten te controleren is besloten om zelfstandig een onderzoek te doen naar de afmetingen van tibia en femur. Dit is gedaan door 25 röntgenfoto's van knieën uit de database van het AMC te halen en deze opmeten. Het is een hele opgave om knieën te vinden doordat er op patiënt nummer wordt gewerkt en niet op lichaamsdeel of klacht. Tijdens het onderzoek is niet gekeken naar de gezondheid en het geslacht van de proefpersonen. Verder lag de gemiddelde leeftijd van de patiënten op 44 jaar. De gevonden afmetingen zijn met eerdere onderzoeken en met een anatomiemodel vergeleken (tabel 3.1.1). De opgenomen geometrie van de tibia en de femur zijn (fig. 3.1.5).



Figuur 3.1.5
A) Kniegewricht, articulatio genus; laterale röntgenopname. Hierin staan alle dimensies aangegeven de maten zijn terug te vinden in de.

B) Kniegewricht, articulatio genus; AP-röntgenopname. Hierin staan alle dimensies

Tabel 3.1.1 Afmetingen van de tibia en de femur in millimeters.

	Symbool	Rontgen foto incl SD	Kunststof model	Lit. onderzoek
Hoogte medial femoral condyle	H_{mf}	42,0 ^{+/- 2.7}	45,0	n.v.t
Diepte medial femoral condyle	D_{mf}	59,3 ^{+/- 5.7}	62,0	74,0
Radius medial femoral condyle	R_{mf}	21,0 ^{+/- 2.5}	26,0	28,9
Radius medial tibial plateau	R_{mt1}	11,2 ^{+/- 2.5}	n.v.t.	n.v.t.
Radius medial tibial plateau	R_{mt}	23,6 ^{+/- 4.4}	n.v.t.	n.v.t
Diepte medial tibial plateau	D_{mt}	53,4 ^{+/- 4.9}	56,0	64,6
Breedte femur	W_f	75,0 ^{+/- 5.3}	83,0	75,0
Breedte lateral femoral condyle	W_{lf}	25,4 ^{+/- 2.9}	30,0	26,6
Breedte medial femoral condyle	W_{mf}	25,9 ^{+/- 3.0}	31,0	28,9
Breedte lateral tibial plateau	W_{lt}	23,5 ^{+/- 3.1}	28,0	32,9
Breedte medial tibial plateau	W_{mt}	24,0 ^{+/- 3.8}	26,0	30,9
Breedte tibia	W_t	72,7 ^{+/- 5.3}	84,0	74,9
Gewrichtsspleet	G_s	4,7 ^{+/- 1.9}	n.v.t.	n.v.t.
Hoogte tibia plateau	H_{tp}	4,8 ^{+/- 1.2}	8,0	n.v.t.

Naar aanleiding van dit onderzoek is er besloten om de femur condyle zelf niet te vervaardigen maar hiervoor een kunststof anatomiemodel te gebruiken. De keuze is gemaakt doordat de femur condyle een complexe vorm bezit en de aanschaf van anatomie modellen financieel aantrekkelijker zijn dan de productie kosten. Tevens bezitten de anatomie modellen gunstige eigenschappen zoals: geringe vocht absorptie en kunnen gemakkelijk worden bewerkt. Het bewerken is nodig doordat er geen mogelijkheid is om de kruisbanden aan de femur condyle te bevestigen.

3.1.2 De geometrie van de menisci. [Cals, 2001]

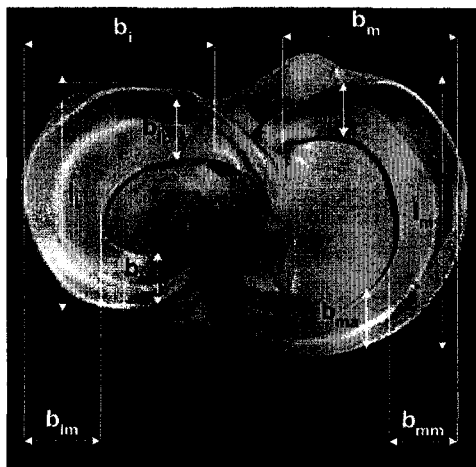
Zoals veel weefselsstructuren in het kniegewricht hebben ook de menisci invloed op het stromingspatroon. Tevens worden een groot aantal operaties uitgevoerd aan de menisci en is het de bedoeling dat ook in het kniemodel operaties aan de menisci moeten kunnen worden uitgevoerd. Om de humane menisci zo juist mogelijk te benaderen is informatie nodig over de geometrie van de menisci. Deze informatie is uit literatuur verkregen en zal her verder worden toegelicht.

De functie van de menisci is beschreven in paragraaf 2.1, in dit gedeelte wordt de geometrie behandeld (tabel 3.1.2 en fig. 3.1.6).

Beide menisci zijn aan de buitenkant dik en lopen naar binnen toe af tot een dun vlies. De lengte van de mediale meniscus is ca. 35 mm en de breedte ca. 25 mm. De laterale meniscus is ca. 30 X 30 mm en de uiteinden (voor- en achterhoorn) zitten dicht bij elkaar. De perifere rand van beide is ongeveer 5 mm hoog. De voorhoorn van de mediale meniscus is van bovenaf gezien een stuk smaller dan de achterhoorn (ca. 4mm tegenover ca.12mm).

Tabel 3.1.2 Afmetingen van de menisci.

	Symbol	VH	Kunststof	Lit.
Lengte mediale meniscus	l_m	46	40	35
Breedte mediale meniscus	b_m	28	25	25
Lengte laterale meniscus	l_l	34	30	30
Breedte laterale meniscus	b_l	32	30	30
Breedte posterieure hoorn mediale meniscus	b_{mp}	13	15	12
Breedte anterieure hoorn mediale meniscus	b_{ma}	7	10	4
Breedte middenhoorn mediale meniscus	b_{mm}	10	12	n.v.t.
Breedte posterieure en anterieure hoorn lat. Men.	b_{lp}/b_{la}	11	11	n.v.t.
Breedte middenhoorn laterale meniscus	b_{lm}	11	13	n.v.t.
Hoogte perifere rand (ongeveer overal gelijk)	b_{per}	6	7	5



Figuur 3.1.6
Afbeelding van de
menisci met alle
geometrie die zijn
onderzocht

3.1.3 Collage ten behoeve van de kleuren van het kniemodel.

Ten behoeve van de kleuren die de weefselstructuren is er onderzoek gedaan naar de kleuren die het humane kniegewricht bezit. Tijdens het bij wonen van arthroskopische behandelingen bleek dat de chirurg veel wit tinten ziet en veel structuren kleur overeenkomsten bevatten. Om duidelijkheid in het kniegewricht te kunnen verkrijgen, is er gekozen om verschillende kleuren te gebruiken. Zo worden de botdelen een licht grijze tint de menisci krijgt een witte tint en de pezen en ligamenten een licht bruine tint. Om een indruk te krijgen hoe deze kleuren bij elkaar staan is er een collage gemaakt (fig. 3.1.7).

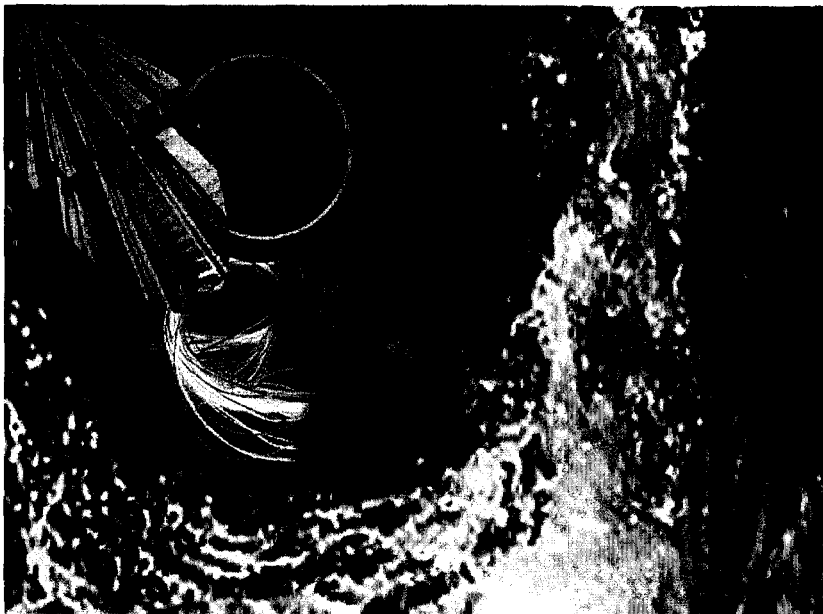


Figuur 3.1.7
Collage ten behoeve
van de kleuren van het
kniemodel.

3.1.4 Collage ten behoeve van de houder van het kniemodel.

De standaard ten behoeve van het kniemodel heeft twee functies. Ten eerste het stabiel staan van het kniemodel, en ten tweede het onder drie verschillende hoeken plaatsen van het kniemodel, zodat het stromingspatroon uit al deze hoeken kan worden geanalyseerd en de operaties die kunnen plaatsvinden zo realistisch mogelijk te laten lijken. De wens is dat het de standaard een organische vorm krijgt omdat deze gaat dienen voor een humaan kniemodel en hierdoor één geheel ontstaat.

Om de standaard aan de gewenste organische vorm te laten voldoen is er een collage gemaakt die kan worden gebruikt tijdens het ontwerpen (fig. 3.1.8).



Figuur 3.1.8.
Collage ten behoeve van de
vorm van de te ontwikkelen
standaard voor het
kniemodel.

4. De uitdagingen en hun oplossingen.

In dit hoofdstuk zullen de meeste uitdagingen worden besproken met daarbij hun oplossingen. Bij deze oplossingen zullen de positieve en negatieve punten besproken worden. Tevens zullen de uiteindelijke keuzes die gemaakt zijn ook aan bod komen. De uiteindelijke keuzes worden mee genomen naar het volgende ontwikkelingsstadia waar ze verder worden ontwikkeld tot een definitief ontwerp.

4.1 De oplossingen.

Tibia-plateau

In het prototype wordt er voor de tibia gebruik gemaakt van het bestaande glazen plaatje dat gebruikt werd in het oude kniemodel. Dit plaatje is gemaakt van glas en zal zoals de geometrie nu is gebruikt worden in het kniemodel. Mocht dit niet voldoende blijken te werken dan kan er altijd nog een andere oplossing bedacht worden voor het tibia-plateau.

Femur condyle

De botcondyle van de femur bestaat uit veel complexe rondingen en het zal hierdoor kostbaar zijn om één exemplaar van te laten maken. Mede hierdoor is er gekozen om gebruik te maken van een anatomiemodel. De keuze is gevallen op een Somso anatomiemodel omdat deze de geometrie bevat van een humaan femur condyle en hij weinig vocht opneemt.

Menisci

De menisci heeft een grote invloed op het stromingsgedrag van het kniemodel hierdoor moet deze in het kniemodel komen te zitten. De menisci kan gemaakt worden van verschillende materialen maar voor het prototype wordt er gebruik gemaakt van siliconen aangezien dit doorzichtig is en makkelijk is aan te passen.

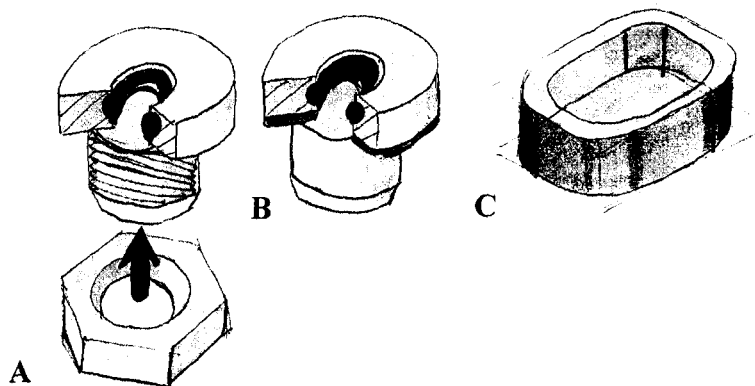
Kruisbanden

De kruisbanden voor dit kniemodel zullen worden gefabriceerd van een 5 mm acetylene slang waaraan de bevestigingsbenodigdheden kunnen worden bevestigd. Zodat deze gemakkelijk aan het tibia-plateau en femur condyle vast te maken zijn. Het acetylene slang dat zal worden gebruikt, heeft een diameter van 5 mm en is doorzichtig om zodoende het filmen van het stromingspatroon niet te belemmeren.

Portals.

Een ontwerp is dat er geen lekkage langs de portals mocht plaatsvinden. Om dit mogelijk te maken zijn er verschillende oplossingen bedacht die er voor zorgen dat er een verbindingselement bestaat tussen arthroscoop en rubberen rand. Uit de verschillende oplossingen zijn de drie meest belovende concepten gekozen. Deze drie concepten zijn:

- A. Het eerste concept bestaat uit een holle bout die door de huid heen gaat en van onderaf wordt aangedraaid door middel van een platte moer. Deze verbinding zal een hogere vlaktedruk bezitten dan nodig is om het geheel vocht dicht te maken. In de kop van de holle bout bevindt zich een sleuf waarin een o-ring geplaatst wordt. Door deze o-ring zal de arthroscoop worden gestoken, hierdoor zal de o-ring naar buiten wijken en er voor zorgen dat er een vochtdichte afscheiding ontstaat tussen bout en o-ring en o-ring en arthroscoop. Door gebruik van dit principe is het mogelijk om zonder lekkage langs de portals een arthroskopie uit te voeren. Een voordeel van dit principe is dat het demontabel is en als het nodig is snel kan worden vervangen. Enkele nadelen zijn dat het principe nadelige gevolgen hebben op het stromingspatroon doordat aan de onderkant van de huid een moer zit waar het vocht tegen aan stroomt. Tevens kan de bewegingsvrijheid van de arthroscoop nadelig beïnvloed worden doordat de bout een bepaalde hoogte heeft. Hierdoor kan het lastig zijn om hem onder een hoek te plaatsen. Het laatste nadeel dat dit principe met zich meebrengt is het spouwen. Zodra men het kniemodel wil spouwen kan het zijn dat de boutkop tussen de twee binnenste ringen komt en deze niet verder naar elkaar toe kunnen komen. Het grootste voordeel van dit principe is dat de portals weer uit elkaar gehaald kunnen worden en dat het geheel vocht dicht is (fig. 4.1.1.A).
- B. Het tweede concept bestaat uit een bus die door de huid gestoken wordt en hierop wordt vastgelijmd. In deze bus bevindt zich een groef waarin een o-ring geplaatst wordt. Zodra de arthroscoop door deze o-ring wordt gestoken zal deze naar buiten wijken en er voor zorgen dat er een vochtdichte afscheiding ontstaat tussen bus en o-ring en o-ring en arthroscoop. Een voordeel van dit principe is dat langs de portals het geheel vocht dicht is. Dit principe brengt natuurlijk ook enkele nadelen met zich mee. Zo kan het zijn dat de bewegingsvrijheid van de arthroscoop nadelig beïnvloed kan worden door de hoogte van de bus. Hierdoor kan het lastig zijn om de arthroscoop onder een hoek te plaatsen met als gevolg dat de gehele portal onder een hoek komt te staan. Dit zal ten koste gaan van de lijmlaag die tijdens het gebruik veelvuldig onder een trekkracht komt te staan met als gevolg scheuren in de lijmlaag. Nog een nadeel is dat de lijmlaag op den duur bros kan worden met scheuren in de lijmlaag als gevolg. Zodra er teveel scheuren in de lijmlaag ontstaan zal de vlaktedruk tussen deze twee oppervlakten kleiner worden omdat de druk die het vocht tegen de huid plaatst groter wordt dan deze vlaktedruk. Hierdoor zal er lekkage ontstaan (fig. 4.1.1.B).
- C. Het derde en laatste concept bestaat uit een lekbak die onder het kniemodel kan worden gehangen en zodoende al het vocht dat uit de portals stroomt opvangt. Het voordeel is dat tijdens een arthroskopie er ook vocht langs de arthroscoop en de huid stroomt, hierdoor ontstaat er een reëel beeld van een arthroskopie. Dit principe brengt ook enkele nadelen met zich mee, zo moet er onder het kniemodel nog een extra mogelijkheid zijn om de lekbak te plaatsen zonder dat de mogelijkheid tot spouwen of het onder een hoek plaatsen wordt belemmert. Maar het grootste nadeel is dat er nog steeds lekkage aanwezig is uit de portals hierdoor zijn de condities tijdens de analyse van het stromingspatroon niet constant en zullen de metingen niet reproduceerbaar zijn (fig. 4.1.1.C).



Figuur 4.1.1.

A) Het principe waarbij er gewerkt wordt met een holle bout met hierin een o-ring.

B) Het principe waarbij er gewerkt wordt met een bus waarbij er een o-ring in zit. De bus wordt tegen de huid gelijmd.

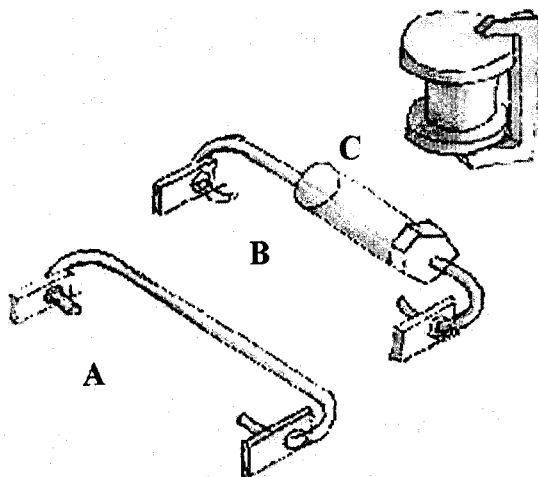
C) Het principe waarbij er een lekbak onder het kniemodel hangt waardoor het vocht hierin wordt

Spouwen.

Tijdens een arthroscopie aan een knie wordt het kniegewricht vaak gespouwd. Om dit in het kniemodel te realiseren zijn verschillende oplossingen bedacht. De chirurg spouwd normaal door middel van zijn bovenbeen in combinatie met zijn heup, het kniegewricht. Hierdoor komt er een dwarskrachtkracht vrij op het gewricht. Als zo'n dwarskracht tijdens een experiment op het kniemodel wordt uitgevoerd zal deze zich gaan verplaatsen. Om dit te voorkomen zal er een oplossing bedacht moeten worden waarbij er geen gebruik gemaakt hoeft te worden van een externe dwarskracht. Hiermee wordt bedoeld dat geen gebruik gemaakt gaat worden van een externe kracht die op het kniemodel komt te staan. Maar dat dit in het kniemodel zelf wordt gerealiseerd. Om dit te realiseren zijn er enkele ontwerpen gemaakt en deze worden hieronder besproken.

- A. Het eerste concept kan gerealiseerd worden door twee beugels die aan de kopse kanten van het model geplaatst kunnen worden. In deze beugels bevinden zich twee gaten. Door beide kanten door middel van handkracht naar elkaar toe te drukken, kan er een haakje door de twee gaten geplaatst worden. Hierdoor blijft het kniemodel in de stand staan die is aangenomen. Het kniemodel kan enkel in één stand worden gespouwd. Het voordeel is dat het kniemodel altijd in de zelfde stand gespouwd wordt en dit is gunstig met het oog op de reproduceerbaarheid van de stromingsexperimenten. Dat het model in enkel één stand geplaatst kan worden is natuurlijk ook een min punt (fig. 4.1.2.A).
- B. Bij het tweede concept kan er gebruik gemaakt worden van een kabelspanner die aan beide zijden is bevestigd aan een beugel. Dit werkt door een draadeinde die in een bus met hierin schroefdraad aan te draaien zo komen beide zijden van het kniemodel dichter naar elkaar toe. Door gebruik te maken van dit principe zal het kniemodel in bijna iedere willekeurige stand geplaatst kunnen worden. De beperking ligt in het spanmechanisme dat op een gegeven moment tussen de twee zijden zit en zo niet verder kan worden aangedraaid. Nog een nadeel is dat het spannen enkele minuten kost en het lastig is om hem na gebruik weer in dezelfde stand te zetten als voorheen (fig. 4.1.2.B).

- C. Het derde en laatste concept is een klem die over beide zijden van het kniemodel heen wordt geplaatst. Na de plaatsing van de klem wordt deze vast gedraaid en zullen beide zijden dichter naar elkaar toe komen te staan. Een voordeel is dat het kniemodel door gebruik van dit principe in iedere willekeurige stand geplaatst kan worden. Een nadeel is dat de klem meer ruimte in beslag, deze is bedoeld voor de externe camera en standaard (fig. 4.1.2.C).



Figuur 4.1.2.

A) het principe waarbij er gewerkt wordt met een haakje die in twee ogen kan hangen.

B) Het principe waarbij er gewerkt kan worden met een spansysteem.

C) Het principe waarbij er gewerkt kan worden door een geheel klem mechanisme om het kniemodel geplaatst kan worden.

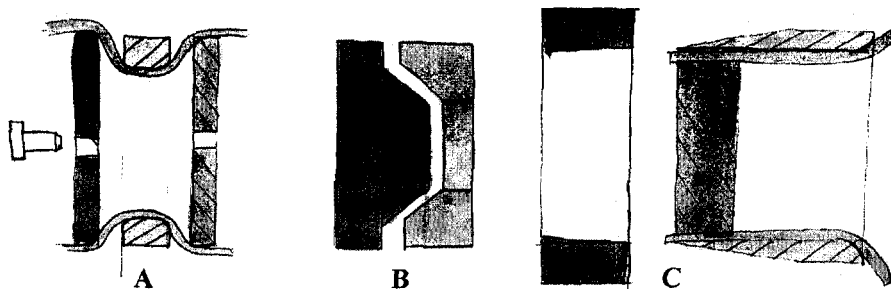
Afklemming van de rubberen manchet.

Om alle weefselstructuren heen komt er een vochtdichte huid. Deze huid bestaat uit een rubberen manchet met een omtrek van 280mm en een wand dikte van 1,5mm. Deze huid is aan beide zijden open en zal worden afgesloten door één van de volgende drie concepten.

- A. Het eerste concept bestaat uit een ronde metalen plaat met de rubberen huid en een gat erin. Hier tegenaan komt een ronde ring waar de huid doorheen komt. De ronde schijf komt tegen de ring aan te zitten zodat de manchet om de plaat heen komt. Aan de andere kant van de ring komt een ronde plaat te zitten met een schroefdraadgat erin. Deze ronde plaat heeft een grotere diameter dan de ring en de manchet hier overheen getrokken. Door gebruik te maken van een bout worden de drie delen tegen elkaar getrokken en zal het geheel vochtdicht zijn afgesloten. Dit principe is in bezit van een aantal voordelen, zo is het vrij simpel te realiseren. De rubber manchet kan door de ringen getrokken worden waardoor het mogelijk is de ruimte van de gewrichtspleet te variëren tijdens montage. Enkele nadelen van het principe zijn dat een doorzichtige kant moeilijk te realiseren is. En op de punten waar de ring en de schijven tegen elkaar komen zou het mogelijk zijn dat hier scheuren ontstaan door de constante druk die hier op staat (fig. 4.1.3.A).
- B. Het tweede concept bestaat uit twee delen, beide delen hebben een conisch gedeelte. Over de ene valt de huid en doordat de andere hier overheen geplaatst wordt en wordt vast gezet door middel van enkele bouten zal deze het geheel vochtdicht sluiten. Een voordeel is dat het

vochtdicht wordt doordat er gebruik wordt gemaakt van een groot oppervlak dat geheel met dezelfde kracht wordt aangedrukt. Een nadeel is dat de gewrichtsspleet tijdens montage niet veranderd kan worden omdat de manchet op de juiste maat moet worden afgesneden. Nog een nadeel is dat het geheel uit vrij complexe onderdelen bestaat (fig. 4.1.3.B).

- C. Het derde concept werkt door middel van een spanmoer. In de huid komt een massieve prop te zitten en om de huid heen komt een bus met conisch draad erop gesneden. Over dit draad komt een moer met hierin ook draad dat conisch is gesneden. Deze moer heeft aan het uiteinde een kleinere diameter in vergelijking met de bus die om de huid wordt geklemd. Draait men de moer nu aan dan zal de bus zich vast zetten op de prop en doordat de huid hier tussen zit zal deze vochtdicht worden afgesloten. Het voordeel is dat het geheel over een bepaalde afstand geklemd kan worden. Het principe heeft ook enkele nadelige punten zo is er een vrij grote moer nodig met een minimale diameter van 130mm. Er moet een uitgebreid onderzoek worden gedaan naar de materiaaldikte van de conus, omdat deze naar binnen moet kunnen veren om zo de manchet af te klemmen op de bus. Tevens bestaat dit principe uit relatief complexe onderdelen (fig. 4.1.3.C).



Figuur 4.1.3.

A) Het principe waarbij er twee schijven tegen een ring worden aangetrokken.

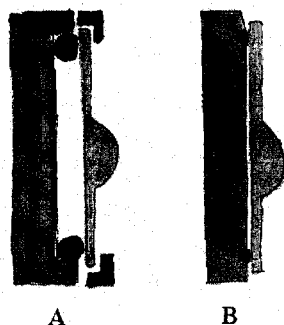
B) Het principe waarbij de manchet over een conus wordt geschoven en hier tegen aan komt nog een conus waardoor de manchet op zijn plaats blijft.

C) Het principe waarbij er gebruik is gemaakt van een spanmoer.

Klemmen van de tibia op de afklemming van de huid.

Het gedeelte van de tibia wordt doorzichtig gemaakt en zal worden geklemd tegen een van de delen die de huid vochtdicht maken. Het bevestigen van het gedeelte kan op twee manieren worden gedaan.

- A. Het eerste concept werkt door de tibia te klemmen tussen een O-ring en het afsluitende gedeelte door middel van een ring. Hierbij wordt de ring vastgezet met enkele bouten. Een voordeel is dat het tibia-plateau een losse verbinding is en dus vervangen kan worden, zodat er eventueel een andere vorm van het tibia-plateau gebruikt kan worden. Er zijn ook enkele nadelen. Zo kunnen de extra ring en bouten een nadelige invloed hebben op het stromingspatroon. Verder is extra ruimte nodig om de ring te bevestigen (fig. 4.1.4.A).
- B. Het tweede concept werkt door de tibia tegen de afsluitende delen te lijmen, hierdoor is het geheel vochtdicht. Het nadeel is dat het een permanente verbinding is (fig. 4.1.4.B).



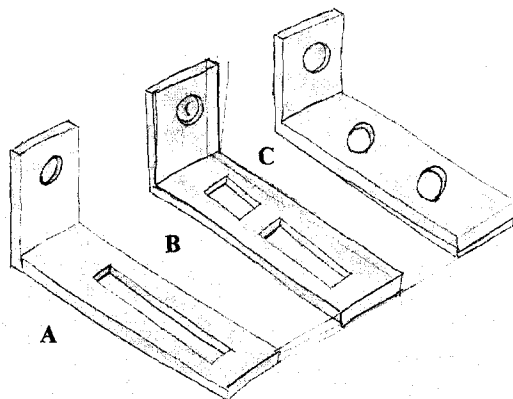
Figuur 4.1.4.
A) Het principe waarbij de tibia-plateau wordt vast geklemd door middel van een ring en bouten.

B) Het principe waarbij het tibia-plateau wordt vast gelijmd.

Ophangstelsel van de camera.

Achter het tibia-plateau moet de externe camera worden geplaatst: De plaatsing van deze camera kan op drie manieren worden gedaan.

- Het eerste concept bestaat uit een beugel die op het afsluitbare gedeelte is bevestigd, in deze beugel bevindt zich een lange sleuf zodat de camera heen en weer te bewegen is. Hierdoor kan de camera verplaatst worden, dit kan het beeld ten goede komen. Een nadeel is dat de camera lastig in dezelfde positie geplaatst kan worden (fig. 4.1.5.A).
- Het tweede concept bestaat uit dezelfde beugel maar met twee sleuven in plaats van één. Hierdoor wordt de bewegingsvrijheid van de camera gedeeltelijk beperkt maar hij kan nog steeds verplaatst worden en dit heeft een positieve invloed op het visuele beeld. Een nadeel van dit principe is dat het lastig blijft om een vaste plaats voor de camera in te stellen (fig. 4.1.5.B).
- Het derde en laatste concept bestaat uit dezelfde beugel en bevestiging, maar nu zijn er twee gaten ingemaakt. Het voordeel hiervan is dat de camera altijd in dezelfde positie komt te staan. Het nadeel is dat de camera niet meer te verschuiven is en dat kan nadelige gevolgen hebben voor het visuele beeld (fig. 4.1.5.C).



Figuur 4.1.5. bevestiging van de videocamera
A) Het principe waarbij de videocamera op een lange sleuf geplaatst kan worden.

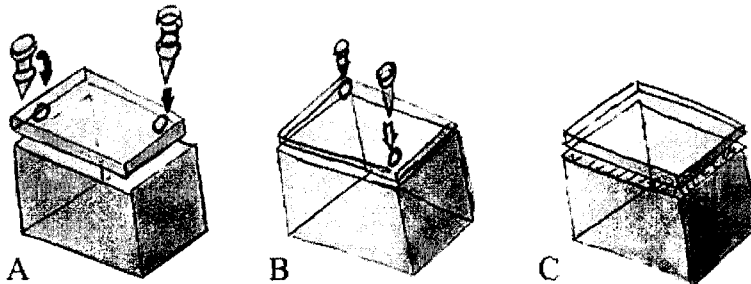
B) Het principe waarbij het de videocamera bevestigd kan worden door twee sleuven.

C) Het principe waarbij de videocamera bevestigd kan worden door twee gaten.

Bevestiging menisci.

De menisci moet op de tibia worden bevestigd, dit kan op verschillende wijze. Hieronder worden verschillende mogelijkheden beschreven. Bij het ontwerp is er rekening gehouden dat de menisci gedeeltelijk uit twee overlappende delen bestaat. Mede hierdoor en doordat je hem nu kan vast zetten op twee punten in plaats van vier, is er gekozen om de menisci uit één deel te fabriceren.

- A. Bij het eerste concept is het mogelijk om de menisci te bevestigen door middel van kleine pennen met halverwege een verdikking. Deze verdikking valt in de hiervoor gemaakte sleuf. Door gebruik te maken van deze verdikking zullen de menisci op zijn plaats blijven. Een voordeel is dat de menisci goed vast komen te zitten maar wel zijn los te halen. Ook heeft dit principe een nadeel het is erg lastig om de gaten voor de pennen te fabriceren (fig. 4.1.6.A).
- B. Bij het tweede concept wordt de menisci bevestigd door middel van kleine pennen met een schuine conische punt. Deze punt valt in het gat dat in bezit is van dezelfde conische punt. Doordat de twee pennen in elkaar vallen en een groot wrijvingsoppervlak hebben, zullen deze blijven zitten en zal de menisci worden geklemd. Een voordeel is dat het een los neembare verbinding is. Een nadeel is dat er gebruik gemaakt moet worden van een speciale frees/boor met een zeer steile conus (fig. 4.1.6.B).
- C. Het derde en laatste concept bestaat uit het verlijmen van de menisci op de tibia. Het voordeel is dat de menisci niet los komt te zitten van de tibia en niet kan gaan zweven, wat het stromingspatroon kan beïnvloeden. Een nadeel is dat het een permanente verbinding is en niet is los te krijgen zonder iets te beschadigen (fig. 4.1.6.C).



Figuur 4.1.6.

A) De bevestiging van de menisci door middel van pennen met een verdikking.

B) De bevestiging van de menisci door middel van twee conische pennen..

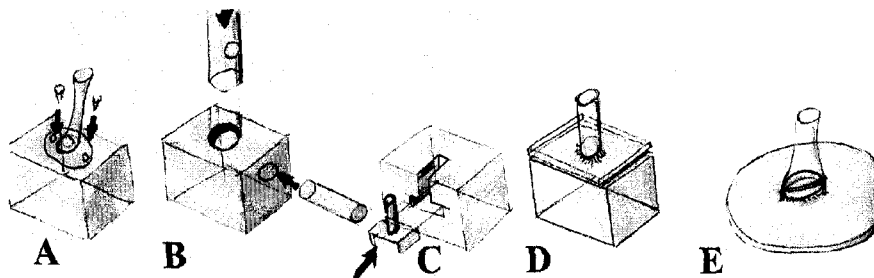
C) De bevestiging van de menisci door middel van een lijmlaag.

Bevestigen van de kruisbanden aan de tibia en femur

Het bevestigen van de kruisbanden aan de tibia en femur kan op overeenkomstige wijze gebeuren. Hierdoor worden deze bevestigingsmogelijkheden tegelijkertijd besproken. Alleen manier E dient alleen voor het bevestigen van de kruisbanden aan de tibia.

- A. Bij het eerste concept wordt de kruisband bevestigd door een aantal kleine pennen die in de tibia of femur kunnen worden geplaatst. Doordat er gebruik gemaakt wordt van twee dezelfde conussen zal hij blijven klemmen. Door gebruik van deze pennen is het mogelijk de kruisband snel te vervangen. Enkele nadelen zijn: dat deze pennen vast blijven zitten bij een dwarskracht op de kruisband en het belemmeren van het zicht doordat er midden op het tibia-plateau twee pennen komen te zitten. Tevens zijn de gaten met de conus moeilijk te fabriceren (fig. 4.1.7.A).

- B. Het tweede concept bestaat uit een gat in de tibia of femur met haaks daarop een kleiner gat. Door het eerste gat wordt de kruisband, met hierin een tweede gat, gestoken. In de het tweede gat wordt een pen gestoken die in het gat van de kruisband valt. Hierdoor komt de kruisband vast te zitten in de tibia. Dit principe heeft enkele positieve punten, één hiervan is dat deze verbinding geen permanente verbinding is dat de kruisbanden snel zijn te verwisselen. Een nadeel is dat er meerdere onderdelen nodig zijn om de kruisband vast te zetten (fig. 4.1.7.B).
- C. Het derde concept bestaat uit een t-groef die uit de tibia of femur is gehaald zodat hierin een kruisband ingeschoven kan worden. De locatie bij de tibia is in de verhoging, midden op het tibia-plateau. De locatie bij de femur is aan de binnenzijde van de condyle. De kruisband bestaat uit een recht gedeelte met aan de bovenkant een gedeelte dat breder is. Dit brede gedeelte kan dan in de t-groef geschoven worden. Een groot voordeel is dat de kruisbanden zeer snel te vervangen zijn. Het nadeel van het gebruik van een t-groef is, dat het stromingspatroon nadelig kan worden beïnvloedt. Een ander nadeel is dat ervoor een t-groef in het model gefreesd moet worden en de tibia niet dikker is dan 3mm (fig. 4.1.7.C).
- D. Het vierde concept bestaat uit het verlijmen van de kruisbanden op de tibia of femur. Het voordeel is dat de banden stevig vast zitten en geheel vocht dicht is. Het nadeel is dat het geen demontabele verbinding is (fig. 4.1.7.D).
- E. Bij het vijfde, en laatste concept, wordt de kruisband vast gemaakt door gebruik te maken van een groef in de verhoging van de tibia en hier omheen de kruisband vast te zetten met een o-ring die door de groef loopt. Een groot voordeel is dat dit gebruikt kan worden bij de tibia ondanks dat het materiaal 3mm dun is. Een nadeel is dat er geen vaste locatie is voor de kruisband dus hij heeft alle vrijheidsgraden nog voor hij wordt vastgezet. Hierdoor kan het lastig zijn om de kruisband op dezelfde locatie vast te zetten (fig. 4.1.7.E).



Figuur 4.1.7.
De bevestiging van de kruisbanden op de tibia of femur kan gebeuren door:

A) Gebruik te maken van twee pennen.

B) Gebruik te maken van één pen die dwars op de kruisband staat.

C) Gebruik te maken van een t-sleuf.

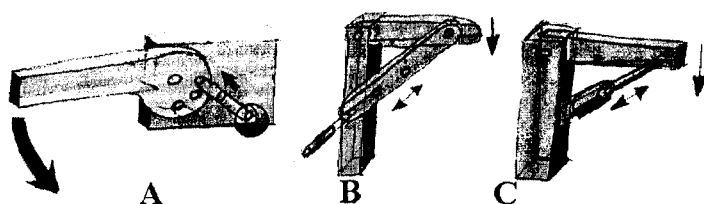
D) De ligamenten op de tibia of femur te verlijmen.

E) Door hem vast te zetten in een groef op de tibia hoogte.

Het instellen van de hoeken van het kniemodel.

Het kniemodel moet onder drie hoeken (horizontaal, verticaal & 45°) komen te staan. Hiervoor zijn verschillende concepten bedacht.

- A. Het eerste concept bestaat uit een verticale staander met hierop een horizontale strip met vier gaten. In één gat komt een as te zitten, hier omheen kan het geheel draaien. De andere drie gaten bevinden zich op een steekcirkel van 20mm van de as. Deze gaten komen om de 45° te zitten en dienen om de hoek in te stellen van het kniemodel. Verder is er een pen die door een van de gaten heen kan, hierdoor komt het kniemodel in de gewenste hoek te staan. Een voordeel van dit principe is dat het geheel erg compact is en dat het model met een kleine (6mm) trekbeweging in de verschillende hoeken gezet kan worden (fig. 4.1.8.A).
- B. Het tweede concept bestaat uit een verticale staander met scharnierend hierop een horizontale ligger. Schuin tussen deze twee zit een cilinder die men kan uitschuiven of inschuiven, waardoor de hoek kan worden ingesteld. Een voordeel is dat dit geheel uit niet meer dan drie simpele hoofdcomponenten bestaat en mede hierdoor erg gemakkelijk te realiseren is. Een nadeel is dat de cilinder geen drie standen bevat, hierdoor kan hij niet in de drie gewenste hoeken geplaatst worden (fig. 4.1.8.B).
- C. Het derde concept bestaat uit een verticale staander met scharnierend hierop een verticale ligger. Diagonaal op deze dwarsligger bevindt zich een scharnierende strip met voor iedere hoek een gat. Deze drie gaten komen overeen met een gat in de verticale staander. Bij de gewenste hoek laat men het desbetreffende gat overeenkomen met het gat van de staander en plaatst men hierdoor een pen. Zodoende wordt de gewenste hoek gerealiseerd. Een groot voordeel van dit principe is dat het simpel te fabriceren is. Een nadeel is dat het draaigedeelte zichtbaar is en onder het kniemodel hangt. Hierdoor kan er vocht op het diagonale gedeelte komen en gaan slijten (fig. 4.1.8.C).



Figuur 4.1.8.
Drie concepten om het kniemodel in drie gewenste standen te zetten

A) Gebruik te maken van een gat met daaromheen drie gaten, voor elke hoek één, waardoor een pen geplaatst kan worden.

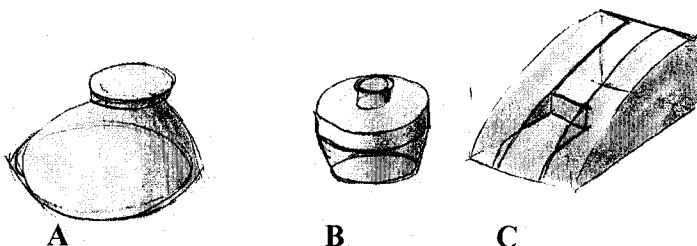
B) Gebruik te maken een staaf met hier oprij voor iedere hoek een gat.

C) Gebruik te maken een cilinder die de hoek kan regelen.

Stabiel staan van het kniemodel.

Het kniemodel moet stabiel op een tafel komen te staan. Daarmee wordt bedoeld dat het model niet kan wegschuiven. Hiervoor zijn enkele oplossingen bedacht, deze worden hieronder genoemd.

- A. Het eerste concept bestaat uit enkele zuignappen die onder het model kunnen worden geplaatst en zich zodoende vastzetten op de tafel. Een voordeel is dat het model zowel trek- als schuifkrachten kan verdragen. Een nadeel is dat het model altijd op een gladde ondergrond moet staan om te functioneren (fig. 4.1.9.A).
- B. Het tweede concept bestaat uit enkele antislipdopjes die aan de onderkant van het model zijn geplaatst. Een voordeel is dat het kniemodel niet snel wegschuift. (fig. 4.1.9.B).
- C. Bij het derde concept wordt er een sleuf uit de voet van het model gehaald. Hiermee kan met behulp van een klem en een tafel het model worden vastgeklemd. Een voordeel is dat het model stevig vast staat en zowel schuif- als trekkrachten kan verdragen. Een nadeel is dat het model ergens aan geklemd moet worden, hierdoor kan het model niet overal gebruikt worden (fig. 4.1.9.C).



Figuur 4.1.9.

Drie concepten om het kniemodel stabiel te laten staan

A) Gebruik te maken van zuignappen die op een tafel geklemd kunnen worden

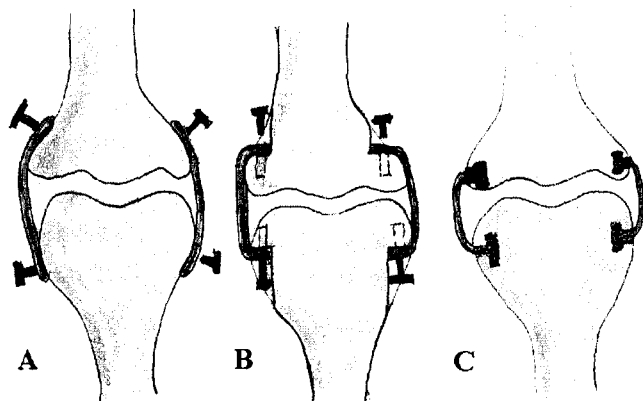
B) Gebruik te maken van rubberen antislip poten.

C) Gebruik te maken van een sleuf die uit de voet is gehaald zodat hier een klem opgezet kan worden.

Ligamenten aan de buitenzijden bevestigen.

De ligamenten aan de buitenzijde van het model kunnen worden bevestigd door drie verschillende concepten.

- A. Het eerste concept bestaat uit vier gaten, twee in de tibia en twee in de femur. In de ligamenten zitten ook vier overeenkomstige gaten. Door deze gaten komen pennen te zitten die zich vastzetten in de tibia en femur. Voordeel is dat er een redelijke kracht op de ligamenten kan komen te staan. Een nadeel is echter dat er gebruik gemaakt gaat worden van kleine pennen en die kunnen snel zoek raken (fig. 4.1.10.A).
- B. Het tweede concept bestaat uit vier gaten, twee in de tibia en twee in de femur. Deze gaten, in de femur en tibia, staan in een lijn met elkaar. In het ene gat wordt het ligament geplaatst en in de andere een pen die het ligament vastzet in het botdeel. Enkele voordelen zijn dat er werkelijk kracht op de ligamenten kan worden geplaatst, de ligamenten zijn demontabel en kunnen eenvoudig worden vervangen. Een nadeel is dat het een extra onderdeel met zich mee brengt (fig. 4.1.10.B).
- C. Het derde en laatste concept wordt in de tibia en femur een t-sleuf gemaakt waarin de ligamenten kunnen worden geschoven. Doordat zowel de boven- als onderkant dikker uitloopt zullen deze in de t-sleuf blijft hangen. Het voordeel is dat er werkelijk kracht op de ligamenten kan komen te staan het is demontabel en de ligamenten kunnen eenvoudig worden verwijderd. Een nadeel is dat de t-sleuf in beide botdelen moet worden gefreesd (fig. 4.1.10.C).



Figuur 4.1.10.
Drie concepten om de
ligamenten te
bevestigen aan de tibia
en femur.

A) Gebruik te maken
van vier gaten twee in
de tibia en twee in de
femur.

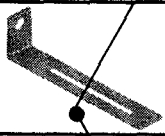
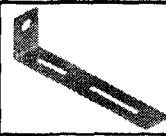
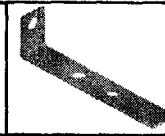
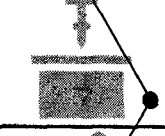
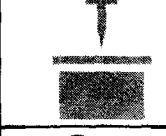
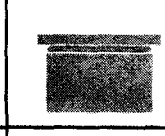
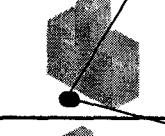
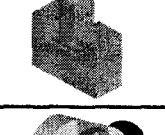
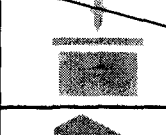
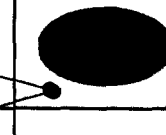
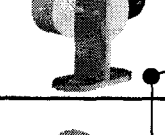
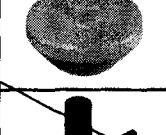
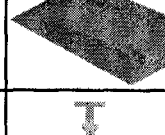
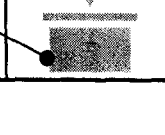
B) Gebruik te maken
van vier gaten die twee
aan twee in een lijn
staan.

C) Gebruik te maken
van een t-sleuf die uit
zowel femur als tibia is
gehaald.

De concepten die zijn uitgekozen (tabel 4.1.1) hebben aan de volgende criteria voldaan: zijn de onderdelen op korte termijn te vervaardigen binnen het AMC, de materialen die gekozen worden moeten tegen vocht kunnen en bestaan uit zo min mogelijk onderdelen.

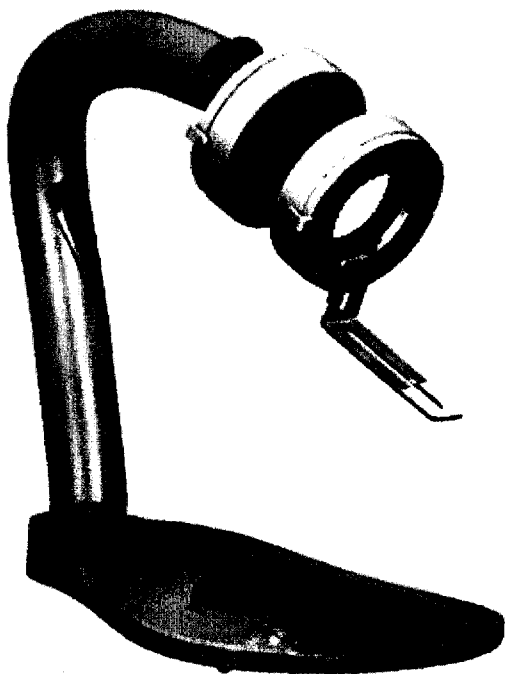
Tabel 4.1.1 deelfuncties en hun oplossingen

Oplossingen	Oplossing 1	Oplossing 2	Oplossing 3	Oplossing 4
Deelfuncties				
Zorgen dat het vocht uit de portals niet op de grond klonkt				
Spouwen moet mogelijk zijn				
Huid moet lekvrij geklemd worden				
Klemmen van het tibiaglas				

Camera moet kunnen worden geplaatst				
Menisci moet kunnen worden geplaatst				
Kruisbanden aan de femur-zijde moet worden geplaatst				
Kruisbanden aan de tibia-zijde moeten worden geplaatst				
Het kniemodel moet onder drie hoeken kunnen worden geplaatst				
Standaard moet stevig kunnen worden geplaatst				
De ligamenten moeten worden geplaatst				

5. Het definitieve ontwerp.

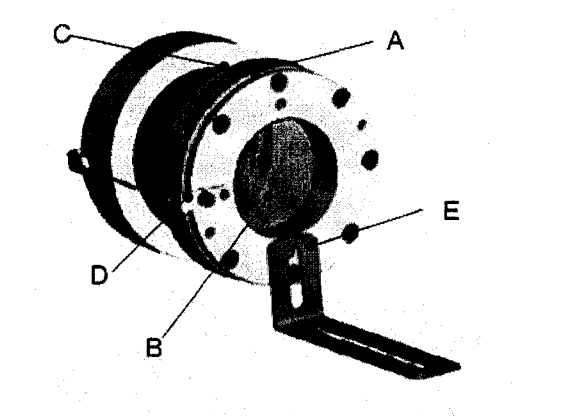
Het definitieve concept is zo ontworpen dat deze kan worden gefabriceerd in de M.T.O van het AMC zelf (fig. 5.0.1). Hiervoor is gekozen omdat de onderzoekers hier gebruik kunnen maken van de faciliteiten en het gunstige uur tarief en omdat er maar één enkel stuk gefabriceerd gaat worden. Dit hoofdstuk is onderverdeeld in drie onderdelen. Zo wordt het kniemodel, de standaard en het draaisysteem om het kniemodel onder de gewenste drie hoeken te zetten besproken.



Figuur 5.0.1
Het uiteindelijke
kniemodel inclusief
houder en
draaisysteem.

5.1 Het kniemodel.

Het gehele kniemodel bestaat uit drie onderdelen deze drie onderdelen zullen hier besproken worden. Met de daarbij horende montage materialen en het materiaal waaruit het onderdeel gefabriceerd moet worden.



Figuur 5.1.1
Afbeelding van het kniemodel met de besproken onderdelen erbij.

A) Afsluiting van de manchet.

B) Het tibia plateau.

C) Antilek systeem.

D) Beugels ten behoeve van het spouwen.

E) Beugel ten behoeve van de videocamera.

Afsluiting van de manchet.

Bijlage nummer: 2 t/m 4

Tekening nummer: 202 & 204

Materiaal: aluminium

Montage benodigheden: 16 maal M8x30mm volgens ISO 4762 Din 912

De waterdichte huid wordt, zoals eerder kenbaar is gemaakt, van een rubberen manchet met een omtrek van 240mm gemaakt. Deze manchet wordt aan de kopse kanten afgesloten door het ontwikkelde concept welke in paragraaf 4.1 is besproken.

Het eindresultaat zijn twee ronde aluminium schijven waarvan de één een buitenconus heeft en de andere een binnen conus. Zodra de huid over de buitenconus is getrokken kan de schijf met de binnenconus hier tegenaan worden getrokken en door acht M6 binnen zeskant bouten worden vastgezet. Om te voorkomen dat de huid tijdens het monteren van de buitenconus afschuift wordt er een groef in deze conus gemaakt. Achter deze groef blijft de huid als het ware hangen doordat de rekbare huid zich in de lager liggende ruimte wil bevinden. De beide conussen zijn in bezit van een hoek van 8° . Zal de conus steiler worden dan zal de huid definitief van de conus af glijden.

Om een kant van de manchet af te sluiten is een buiten en een binnenconus nodig en om de totale manchet af te dichten zijn er van ieder onder deel twee delen nodig. Doordat er aan een van de zijden opnamen gemaakt moeten worden om het stromingspatroon te kunnen analyseren. Wordt één van de twee delen die in bezit is van een buiten conus aangepast. Onder dit aanpassen wordt

verstaan dat deze geheel wordt uitgedraaid zodat het glazen tibiaplateau hier in kan worden geplaatst. Het andere model moet tevens licht worden aangepast doordat het model moet worden opgehangen komen er twee M6 draadgaten in dit model te zitten.

De eisen aan het materiaal is gemaakt doordat deze tegen vocht moet kunnen en niet al te moeilijk te bewerken moet zijn. Om aan deze eisen te voldoen is er gekozen voor aluminium

Tibia.

Bijlage nummer: 5

Tekening nummer: 205

Materiaal: Glas

Montage benodigdheden: permacol 370/2 deze lijm werkt doormiddel van een UV lamp

Het tibia plateau is er om video-opnamen te maken van het stromingspatroon en om de kruisbanden te bevestigen. De manier van bevestigen is in 4.1 gekozen en aan dit concept hoeft alleen de geometrie nog verandert te worden. Dit doordat er gebruik gemaakt gaat worden van het eerder gemaakte tibia-plateau. Dit tibia plateau is gemaakt van glas en hierin zal een groefje geslepen gaan worden om zodoende de kruisbanden er aan te bevestigen doormiddel van een nylon draadje. De bevestiging van het tibia plateau vindt plaats door hem te verlijmen in een kamer, die in het eerder genoemde uitgeholde buitenconus gedeelte van het afsluit systeem gemaakt is.

Antileksysteem.

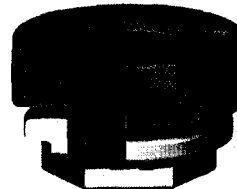
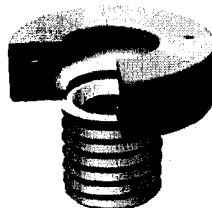
Bijlage nummer: 6

Tekening nummer: 208

Materiaal: RVS

Montage benodigdheden: één lage zeskantmoer RVS M6-A2 ISO 4035 DIN 439B*, één vlakke sluitring DIN 125 A10.5-A2 ISO 7089 en een o-ring met een binnen diameter van 5 en een buitendiameter van 13mm.

Om geen lekkage langs alle portals te krijgen wat invloed heeft op de stromingsexperimenten is er in paragraaf 4.1 een concept gekozen. Dit concept is verder ontwikkeld en hieruit is een bijzonder ontwerp tot stand gekomen. Het gehele concept bestaat uit vier onderdelen waarvan er drie kooponderdelen zijn. Het vierde onderdeel moet zelf gemaakt worden en zal gemaakt worden van RVS dit doordat de moer die gebruikt gaat worden van het zelfde materiaal is en omdat dit materiaal tegen vocht kan.



Spouwbeugel.

Bijlage nummer: 7

Tekening nummer: 206

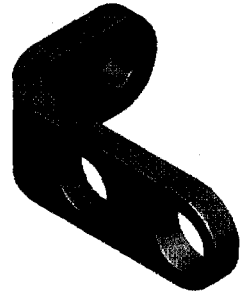
Materiaal: aluminium

Montage benodigdheden: 1maal M6x30 volgens ISO 4762 DIN 912

Het kniemodel moet gespouwd worden hierdoor is er in paragraaf 4.1 de keuze gemaakt om gebruik te maken van twee beugels waartussen een haakje komt te hangen om zodoende de stand van het spouwen te verkrijgen.

Na het verder uitwerken van het concept is er een manier van bevestigen bedacht en een materiaal keuze gemaakt. Het bevestigen zal worden gedaan doormiddel van twee M6 bouten die worden bevestigd aan beide zijden van schijven die in bezit zijn van een buitenconus. Het bijbehorende haakje zal permanent aan één zijde bevestigd blijven om hem zodoende niet te verliezen.

De eisen die aan het materiaal waren verbonden waren dat het materiaal tegen vocht moest kunnen het moest van zichzelf een visueel aantrekkelijke kleur bevatten en het moest gemakkelijk te bewerken zijn. Door al deze eisen is er een keuze gemaakt en is gevallen op aluminium.



Beugel ten behoeve van de camera.

Bijlage nummer: 8

Tekening nummer: 207.

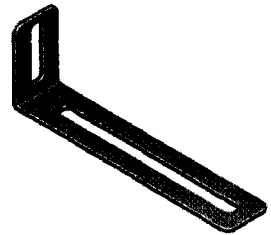
Materiaal: aluminium.

Montage benodigdheden: 2maal M6x30mm volgens ISO 4762 DIN 912

Om de videocamera goed voor het tibiaplateau te krijgen is er in paragraaf 4.1 een keuze gemaakt om gebruik te maken van een beugel die in bezit is van een lange sleuf.

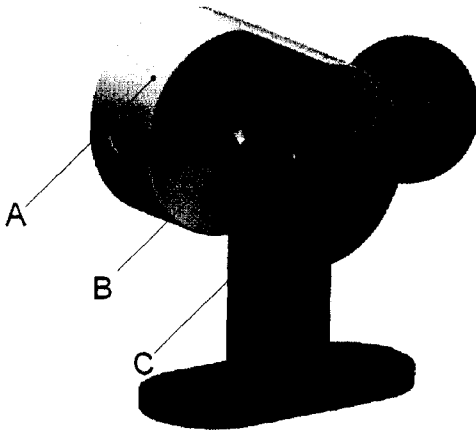
Het concept is verder door ontwikkeld en bezit nu twee sleuven één in het gedeelte waar de camera aan wordt bevestigd en één aan het montage gedeelte. De sleuf in het camera gedeelte wordt gebruikt om de afstand van de camera ten opzichte van het tibia plateau te kunnen regelen dit met het idee dat het visuele beeld hierdoor positief kan worden beïnvloed. De sleuf in het montage gedeelte kan worden gebruikt om de hoogte van de lens van de camera ten opzichte van het center van het tibia plateau in te stellen. Dit door de gewenste hoogte te bereiken ten opzichte van de meniscus die het zicht kan beletten.

De eisen die aan het materiaal waren verbonden waren dat het materiaal tegen vocht moest kunnen het moest van zichzelf een visueel aantrekkelijke kleur bevatten en het moest gemakkelijk te bewerken zijn. Door al deze eisen is er een keuze gemaakt en is gevallen op aluminium.



5.2 Het draaisysteem.

Het draaisysteem heeft in totaal twee functies. Zo zorgt hij voor een verbinding tussen kniemodel en standaard en de drie hoeken die het kniemodel moet kunnen maken. In totaal bestaat het draaisysteem uit totaal 9 onderdelen waarvan er 6 koop onderdelen en 3 fabricage onderdelen. In dit gedeelte zal er dieper op de fabricage onderdelen in worden gegaan.



Figuur 5.2.1
Het draaisysteem met
de drie
fabricageonderdelen.

A) Draaiblok voor
bevestiging van de
standaard aan het
kniemodel en voor de
plaatsing van de pen en
buigarm

B) Pen ter borging van
de buigarm.

C) Buigarm voor
bevestiging van het
kniemodel en dient voor
het instellen van de
hoeken.

Draaiblok

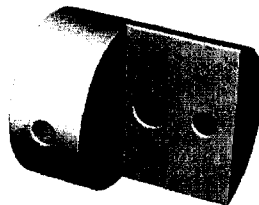
Bijlage nummer: 10

Tekening nummer: 104

Materiaal: Aluminium

Montage benodigdheden: 1maal M6x45mm, volgens ISO 4762 DIN 912

Het draaiblok dient als bevestiging van de standaard aan het draaisysteem en zorgt ervoor dat het kniemodel gedraaid kan worden. Het draaiblok zal uit een massief blok aluminium gefabriceerd worden, doordat dit materiaal bestand is tegen vocht en makkelijk te bewerken is. In het blok bevindt zich een M6 gat dat gebruikt wordt om hem te bevestigen aan de standaard (fig. 5.2.2).



Figuur 5.2.2.
afbeelding van het
draaiblok.

Pen [Muhs,2000 & Hibbler, 1999]

Bijlage nummer: 11

Tekening nummer: 101

Materiaal: R.V.S

Montage benodigdheden: de bol met een M6 draadgat erin, een veer met een buiten diameter van 8,5mm en een binnen diameter van 6mm.

De pen bestaat uit een onderdeel en heeft een opstaande rand van 8mm en aan het uiteinde een stuk M6 draad van 10mm lang. Dit draad wordt gebruikt om hierop een kunststof bol te plaatsen die als handvat zal dienen. Zodra men de pen 5mm uitrekt zal het kniegewricht gaan kantelen. Laat men de pen los dan veert hij terug en zal hij in het eerst volgende gat blijven steken doordat er een veer zit bevestigd tussen de opstaande rand en het draaiblok.

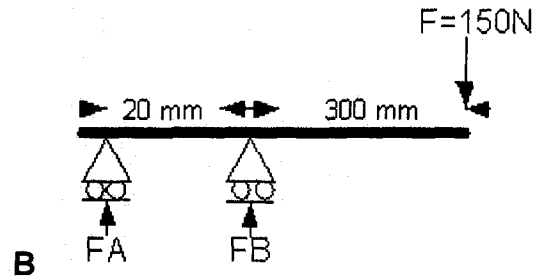
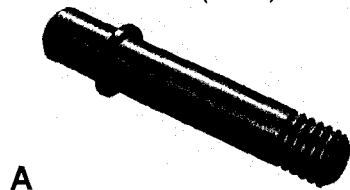
Deze pen zal van RVS gemaakt worden doordat hij in contact kan komen met vocht. Het fabriceren zal gebeuren door gebruikt te maken van een draaibank.

De diameter van de pen en het asje waar het draaigedeelte omheen draait zijn berekend op sterkte. De maximale kracht die op het kniemodel komt te staan bedraagt 150N. De afmeting van de te gebruiken pennen worden berekend door de onderstaande formules:

$$\Sigma M_{tov} A = 0 \quad (5.2.1)$$

$$\tau = F/A \quad (5.2.2)$$

$$A = \pi / 4 \cdot d^2 \quad (5.2.3)$$



Figuur 5.2.3.
A) afbeelding van de pen

B) Afbeelding van een VLS die gebruikt is voor de berekeningen.

Uit deze formules volgen de onderstaande berekeningen:

$$\Sigma M_{tov} A = 0 \rightarrow 320 \times 150 - 20 \times FB = 0 \rightarrow FB = 2400 \text{ N.mm}$$

$$\tau \text{ bedraagt } 220 \text{ N.mm}^2 \text{ hieruit volgt } \tau = F/A \rightarrow 220 = 2400/A$$

$$\rightarrow A = 10,9 \text{ mm}^2$$

$$A = \pi / 4 \cdot d^2 \rightarrow 10,9 = \pi / 4 \cdot d^2 \rightarrow d = 3,7 \text{ mm}$$

$$\Sigma M_{tov} B = 0 \rightarrow 20 \times FA - 300 \times 150 = 0 \rightarrow FA = 2250 \text{ N.mm}$$

$$\tau \text{ bedraagt } 220 \text{ N.mm}^2 \text{ hieruit volgt } \tau = F/A \rightarrow 220 = 2250/A$$

$$\rightarrow A = 10,22 \text{ mm}^2$$

$$A = \pi / 4 \cdot d^2 \rightarrow 10,22 = \pi / 4 \cdot d^2 \rightarrow d = 3,6 \text{ mm}$$

Uiteindelijk is er niet gekozen om pennen van 3,6 en 3,7 te gebruiken doordat deze pennen vrij gemakkelijk verbuigen zodra de pen verkeerd belast wordt, bij een grotere diameter word de veer beter geleid en de knop waarmee je de pen uittrekt bezit een draadgat van M6 . De gekozen diameter bedraagt 6mm.

Buigarm

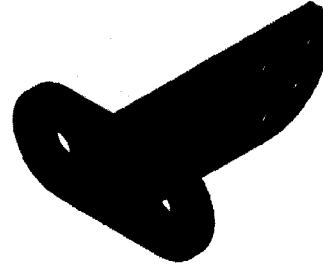
Bijlage nummer: 12

Tekening nummer: 103

Materiaal: aluminium

Montage benodigdheden: 1maal cilindrische pen 6 h8x24 volgens ISO 2338 DIN 7.

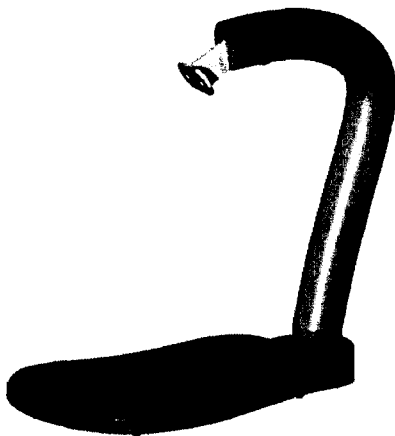
De buigarm is het bevestigingsgedeelte tussen het kniemodel en het draaisysteem. Aan de kant van het draaisysteem wordt hij bevestigd aan het draaiblok doormiddel van een cilindrische pen, aan de kant van het kniemodel wordt hij bevestigd door 2 M6 bouten. Het geheel bestaat uit twee onderdelen die gemaakt zijn van aluminium doordat de kans aanwezig is dat hij nat wordt. Deze twee onderdelen worden doormiddel van TIG lassen aan elkaar bevestigd.



Figuur 5.2.3.
afbeelding van de
buigarm

5.3 Arm en zijn voet.

De arm en voet zijn de fundatie van het gehele kniemodel zonder deze twee onderdelen zou het kniemodel op de tafel moeten liggen. In dit gedeelte worden de arm en de voet besproken met de materialen en montage benodigdheden (fig. 5.3.1).



Figuur 5.3.1
De staander en voet
ten behoeve van het
kniemodel.

A) De arm van de
standaard.

B) de voet ten behoeve
van de standaard

Arm.

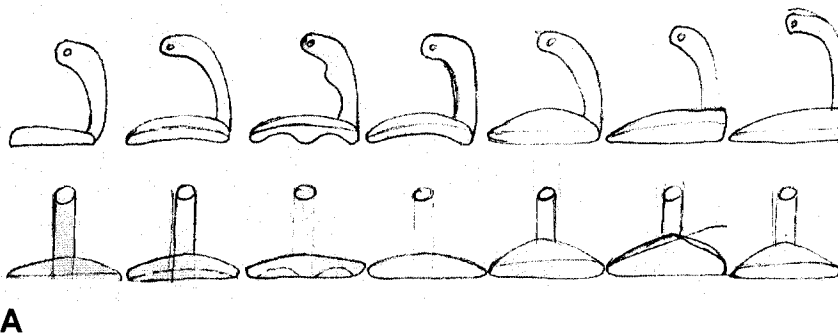
Bijlage nummer: 13

Tekening nummer: 201

Materiaal: polyvinylchloride

Montage benodigdheden: twee bolverzonken plaatschroeven met punt DIN 7982-ST6,3x45 –C-St-H-verzinkt

De arm is de bevestiging tussen de voet en het kniemodel. De voet arm is gemaakt van een polyvinylchloride (p.v.c) buis die licht verwarmt gaat worden zodat hij in de gewenste vorm gebogen kan worden. De eindvorm is voort gekomen uit een vorm studie. (fig. 5.3.2A).



Figuur 5.3.2.
A) Afbeelding van een van de vormschetsen ten behoeve van de standaard.

B) Afbeelding van de uiteindelijk arm.

Voet.

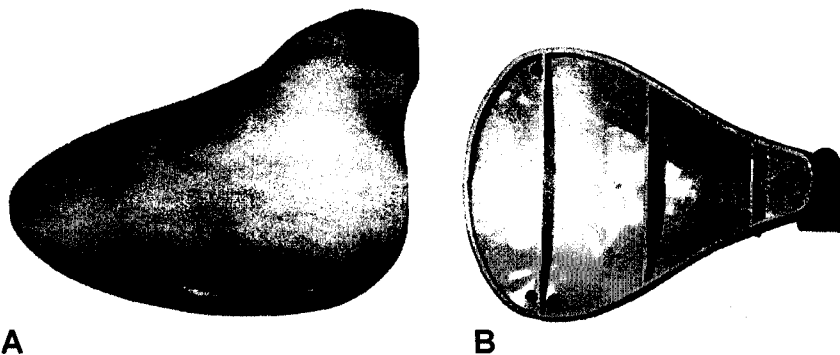
Bijlage nummer: 14

Tekening nummer: 201

Materiaal: polyvinylchloride

Montage benodigdheden: drie bolverzonken plaatschroeven met punt DIN 7982-ST6,3x30 –C-St-H-verzinkt

De voet kan worden gemaakt van polyvinylchloride (p.v.c.). Dit zal voor het prototype niet gaan omdat hiervoor een mal gemaakt moet worden en dit een prijzige bedoeling is. Hierdoor is er gekozen om het model te maken van MDF dit zijn kleine hout deeltjes die onder hoge druk zijn samen geperst. Het nadeel is dat het model niet tegen vocht kan hierdoor zal hij goed moeten worden beschermt tegen het vocht (fig. 5.3.3). Het beschermen gaat gebeuren door een grondlaag aan te brengen en het model hierna geheel af te lakken.



Figuur 5.3.3.
A) Afbeelding van de
boven kant van de voet.
B) Afbeelding van de
onderkant van de voet.

Antislipdopjes.

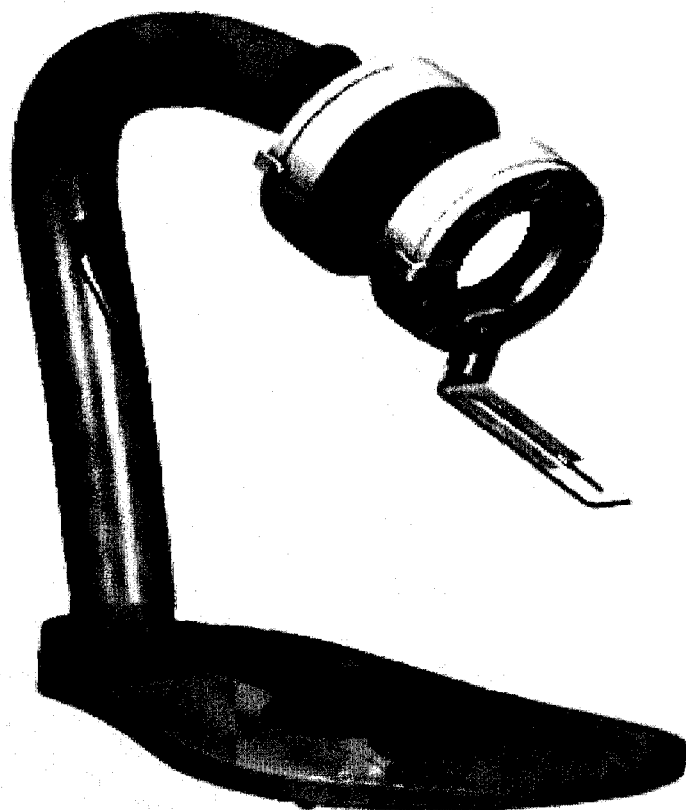
Bijlage nummer:

Tekening nummer: 201

Materiaal: rubber

Montage benodigheden: geen

De antislippootjes zorgen ervoor dat het kniemodel niet kan wegschuiven. Deze dopjes zullen worden ingekocht maar zijn van belang voor het gehele kniemodel.



Figuur 5.3.4 Afbeelding van het kniemodel bestaande uit de standaard het draaisysteem en het kniemodel.

6 Conclusie, aanbevelingen en persoonlijke evaluatie.

Conclusie.

Met behulp van interviews, observaties tijdens een aantal knie-arthroscopien, het bestuderen van literatuur en de ervaringen met het eerste fysieke kniemodel zijn de ontwerpeisen voor het tweede fysieke kniemodel opgesteld. Een aantal eisen konden op dat moment nog niet voldoende gespecificeerd worden. Enkele belangrijke eisen zijn: in kniemodel moet het mogelijk zijn om zowel de arthroscoop als het stromingspatroon te filmen, het moet mogelijk zijn om kleine operaties uit te voeren, *het model moet in bezit zijn van hetzelfde stromingspatroon als een humaan kniegewricht*. Daarom zijn er verschillende experimenten uitgevoerd enkele zijn: de invloed van extern licht op het visuele beeld van de arthroscoop, de mogelijkheden om doorzichtige materialen te vervormen, onderzoek naar de afmetingen van botcondylen. Tijdens het onderzoek naar de invloed van extern licht op het visuele beeld van de arthroscoop zijn wij, door middel van experimenten, tot de conclusie gekomen dat extern licht geen invloed heeft op het visuele beeld van de arthroscoop. Voor het onderzoek naar het buigen van doorzichtige materialen heeft er eerst een analyse plaats gevonden naar een aantal doorzichtige materialen die gebruikt kunnen worden voor de botcondylen. Uit deze analyse kwamen twee materialen: glas en perspex (PMMA). Bij het doornemen van de resultaten van het buigen van beide materialen, bleek perspex eigenhandig te kunnen worden vervormd en het verbuigen van glas moest door de glasinstrumentmakerij worden gedaan. Het nadeel was echter dat beide materialen bij iedere vervorming er een beeldvervalsing optreedt wat nadelig is voor de opnamen van het stromingspatroon. Uiteindelijk is er gekozen voor het bestaande tibia-plateau omdat deze de juiste oppervlakte bezit en de beeldvervalsing gering is. Om de juiste geometrie van de botcondylen te gebruiken is er een onderzoek geweest naar de vorm en geometrie. Dit is tot stand gekomen door aan een groot aantal röntgenfoto's maten toe te kennen en literatuur te bestuderen. De belangrijkste kniematen waren de rondingen van de femur condyle en de oppervlakte van het tibia-plateau. Het uiteindelijke resultaat van alle onderzoeken en experimenten was een compleet programma met gespecificeerde ontwerpeisen voor het kniemodel. Tevens bieden deze ontwerpeisen criteria waarmee het fysieke kniemodel op functionaliteit getest kan worden.

Voor verschillende knelpunten zijn alternatieve constructieve oplossingen verzonnen waarbij in de keuze vooral gelet is op de vocht-dichtheid van het model, de mogelijkheid voor demontage en de fabriceerbaarheid op korte termijn.

Het eindresultaat is een geheel technisch tekeningenpakket waarmee een fysiek kniemodel gefabriceerd kan worden. Dit kniemodel voldoet aan de twee functionele eisen: het gebruik voor stromingsexperimenten en trainingsdoeleinden. Uiteindelijk wordt het kniemodel in de komende weken gefabriceerd en getest.

Aanbevelingen.

Men zal het fysieke kniemodel eventueel nog een andere uiterlijke vorm geven om het model ook werkelijk op een knie te laten lijken en hierdoor de gebruiksvriendelijkheid te verhogen. Dit met betrekking op de trainingen die gedaan moeten worden in het model. Als bijvoorbeeld de buitenkant meer op de huid van een knie zal lijken zal dit hulp bieden aan beginnende chirurgen om anatomische referenties te gebruiken.

Dit model is ontworpen om te realiseren en te gebruiken binnen het AMC. Misschien is het mogelijk om het ontwerp zo aan te passen dat hij gebruikt kan worden voor massaproductie.

Een punt dat kan worden verbeterd zijn de weefselstructuren, bijvoorbeeld de menisci. Dit door de geometrie van de menisci proberen te toepassen hiermee wordt geduid op de hoogte van de menisci en het oppervlak.

Persoonlijke evaluatie.

Tijdens mijn opleiding zijn heel wat projecten voorbijgekomen en hierbij had ik gelijk een beeld zodra ik de opdracht hoorde. In dit project was het anders, ik had de opdracht aangenomen maar het beeld was erg troebel. De eerste paar weken waren flink zweten helemaal na het bezoek aan de operatie kamer, waar ik een erg goed beeld kreeg van een arthroscopie. Na deze paar weken lezen en oriënteren werd het beeld een stuk minder troebel en kon het ontwerpen beginnen.

Tijdens het doorlopen van het ontwerptraject was het de beurt aan het computerwerk. Na enkele weken veel achter de computer te hebben doorgebracht, bleek ik last van mijn hele rechter arm te hebben en mijn linker pols. Na stug doorgaan werd de pijn erger en bleken mijn armen overbelast. Hierdoor werd ik gedwongen om uitstel te vragen om mijn armen minder te belasten. Dit verzoek werd gehonoreerd en mocht ik mijn eindscriptie een week later inleveren.

Het eindresultaat was een compleet technisch tekeningenpakket voor een fysiek kniemodel dat gebruikt kon worden voor stromingsexperimenten en eventueel trainingsdoeleinden. Helaas bezitten deze tekeningen geen volledige stuklijst doordat de HVU templates gebruiken een error veroorzaakte in mijn solidworks programma. Met dit pakket technische tekeningen kan het gehele kniemodel gerealiseerd worden, dit zal plaats vinden na het inleveren van mijn scriptie.

Het eindresultaat lijkt aan de buitenkant erg op het oude model alleen van binnen is hij erg verschillend door gebruik van weefselstructuren.

Mijn mening is dat ik erg zelfstandig heb gewerkt en dat hieruit een goed fysiek kniemodel is gekomen wat de arthroscopie ten goede zal komen.

Tot slot kan ik terug kijken op een zeer leerzaam project.

Wouter Hofland, 25 mei 2005

Symbolenlijst.

α_1	(rad)	Hoek die het bovenbeen t.o.v. het onderbeen maakt tijdens spouwen (bovenaanzicht).
α_2	(rad)	Hoek die het bovenbeen t.o.v. het onderbeen maakt tijdens spouwen (zijaanzicht).
τ	(Pa)	Schuifspanning.
A	(mm ²)	Oppervlakte
bi	(mm)	Radius medial tibial plateau.
blm	(mm)	Breedte middenhoorn laterale meniscus.
blp/bla	(mm)	Anterieure hoorn laterale Meniscus.
bm	(mm)	Diepte medial femoral condyle.
bma	(mm)	Diepte medial tibial plateau .
bmm	(mm)	Breedte femur.
bmp	(mm)	Radius medial tibial plateau.
bper	(mm)	Hoogte perifere rand (ongeveer overal gelijk).
d	(mm)	Diameter
Dmf	(mm)	Breedte medial femoral condyle.
Dmt	(mm)	Hoogte tibia plateau.
F	(N)	Kracht.
Gs	(mm)	Breedte anterieure hoorn mediale meniscus.
Hmf	(mm)	Breedte lateral femoral condyle.
Http	(mm)	Breedte middenhoorn mediale meniscus.
li	(mm)	Radius medial femoral condyle.
lm	(mm)	Breedte posterieure en Hoogte medial femoral condyl
Rmf	(mm)	Breedte lateral tibial plateau.
Rmt	(mm)	Breedte medial tibial plateau.
Rmt ₁	(mm)	Breedte tibia.
Wf	(mm)	Hoogte van de gewrichtsspleet.
Wlf	(mm)	Lengte mediale meniscus.
Wlt	(mm)	Lengte laterale meniscus.
Wmf	(mm)	Breedte mediale meniscus.
Wmt	(mm)	Breedte laterale meniscus.
Wt	(mm)	Breedte posterieure hoorn mediale meniscus.

Lijst met termen.

Achterhoorn	Het meeste posterior 1/3 deel van de meniscus.
Anterior	Aan de voorkant.
Articulatio genus	Kniegewricht.
Arthroscoop	Een endoscoop die gebruikt wordt om het binnenste van een gewricht te onderzoeken om zodoende een diagnose te stellen of een behandeling uit te voeren.
Arthroscopie	Een onderzoek in het binnenste van een gewricht doormiddel van een arthroscoop.
(Articular) Cartilage	Kraakbeen, een zeer waterrijk veerkrachtig bindweefsel dat o.a. de gewrichtsvlakken bedekt met en zowel vorm als steun geeft.
Condylen	Het bolvormige botgedeelte dat uit een gewricht steekt.
Femur	Dijbeen, het dikke botgedeelte tussen de heup en de knie.
Fibula	Kuitbeen, het beender gedeelte tussen de knie en de enkel dat zich achter de tibia bevindt.
Fish eye effect	Dit is de beeldvervalsing die optreedt door dat men door een doorzichtig maar bol oppervlakte kijkt.
In vivo	In het levende organisme ofwel in levende patiënten.
Kadaverknieën	Knieën van overleden humane personen die hun lichaam aan de wetenschap hebben geschonken.
Lateraal	Aan de zijkant gelegen.
ligament	Een steunband bestaande uit strafbindweefsel
Lig.	Ligamenten, zie ligamenten
Liggaments cruciatum anterius	Kruisbanden, twee steunende banden in het kniegewricht.
Mediaal	Zijwaarts gezien naar binnen toe gericht.
Mediale ligamenten	Banden die naar binnen toe gericht zijn.
Meniscus	Halvemaanvormig kraakbeenstukje
Patella	Knieschijf, sesambot in de pees van de grote dijbeenspier.
Portals	Toegangspoorten door de huid heen, waardoor instrumenten die tijdens een arthroscopie gebruikt worden.
Posterior	Aan de achterkant.
Spouwen	Het onderbeen onder een hoek plaatsten ten opzichte van het boven been om zodoende meer ruimte te krijgen in een gewricht.
Tibia	Scheenbeen, het groter botgedeelte onder de knie.
Tourniquet	Een instrument om een bloedvat afknelt, om zodoende een bloedstroming te voorkomen.
Voorhoorn	Het meest anterior gelegen 1/3 van de meniscus

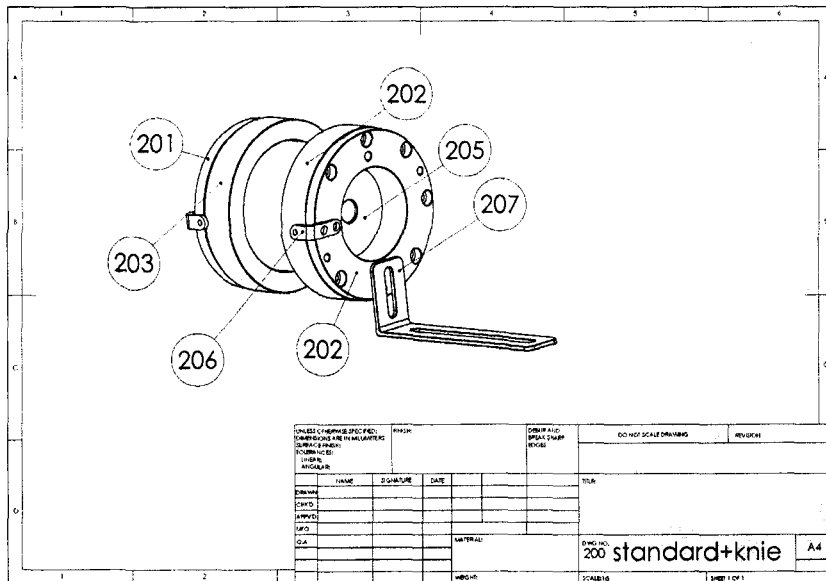
Referenties.

1. Noyes, F.& Spievack, ES., "Extraatricular fluid dissection in tissues during arthroscopy". *America journal of sports medicine*, 1982; 10: 346-351.
2. Sprague, f., *Complications in arthroscopy*, Newyork, 1989.
3. Tuijthof, G., "Behavior of arthroscopic irrigation systems". *Submitted to Knee Surgery, Sport Traumatology, Arthroscopie*, 2004: 1-16.
4. Roozenburg, N.& Eekels, J., *Productontwerpen, structuur en methoden*. 2^{de} druk, Utrecht, 1998.
5. Putz, R. & Pabst, R., *Sabotta, Atlas van de menselijke anatomie*. 2^{de} druk, Houten, 1994.
6. Eorthopod. Internet. 2005. *Medische informatie over arthroscopie* www.eorthopod.com.
7. AMC. Internet. 2004. *Patienten folder arthroscopie*. www.amc.nl.
8. Tuijthof, G., *Technical improvement of arthroscopic techniques*, thesi Delft University of Technology, Delft, Netherlands, 2003.
9. Muellner, T., "Accuracy of pressure an flow capacities of four arthroscopic fluid management systems". *The journal of arthroscopic and related surgery*, 2001; 17:760-764.
10. Dolk, T., "Elevated position of the knee". *The journal of arthroscopic and related surgery*, 1989; 5: 93-96.
11. Tuijthof, A G., "Flow paterns in arthrosopic irrigation", Delft, 2003.
12. Breukhoven, Internet. 2005. *Online winkel voor Anatomie modellen*. www.breukhoven.nl.
13. Espacenet. Internet. 2005. *Octrooien centrum*. www.espacenet.nl.
14. Cals, R.H.H., "Design of a steerable cutting instrument for meniscectomy (S 888)". Delft university of Technology, department of design, Engineering, and Production, section Man-Machine Systems, Delft, 2001: 1-41.
15. Cals, R.H.H., "Design criteria for a steerable instrument used fot meniscectomy". Delft university of Technology, department of design, Engineering, and Production, section Man-Machine Systems, Delft, 2001:1-36
16. Roozenburg, N. en Eekels, J., *Productontwerpen, structuur en methoden*. 2^{de} druk, Utrecht, 1998.
17. Mensch, J.S., "Knee morphology as a guide to knee replacement". *Clinical Orthopaedics and related research*, 1975; :231-241..
18. Poliplus. Internet. 2005. *Patiënten database AMC*. www.poliplus.amc.uva.nl.
19. Muhs, D., *Roloff / Matek machineonderdelen*. 3^{de} druk, Schoonhoven, 2000.
20. Hibbeler, R.C., *Sterkteleer voor de technici*. Schoonhoven, 1999.

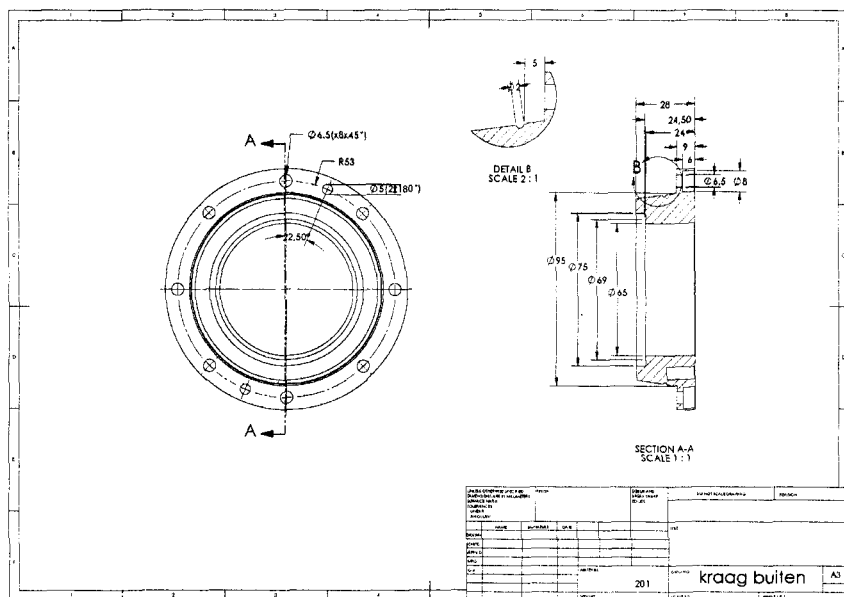
Bijlage.

In deze scriptie staan alle bijlage klein afgebeeld dit is met betrekking tot de technische tekeningen lastig af te lezen om deze op de juiste afmetingen te kunnen zien zijn alle technische tekeningen in verschillende soorten format op cd gezet. Op deze cd staan nog meer interessante dingen zoals een aantal onbesproken schetsen, een groot aantal renderingen, de poster, een montage handleiding, solidworks files en natuurlijk mijn scriptie in pdf en word format..

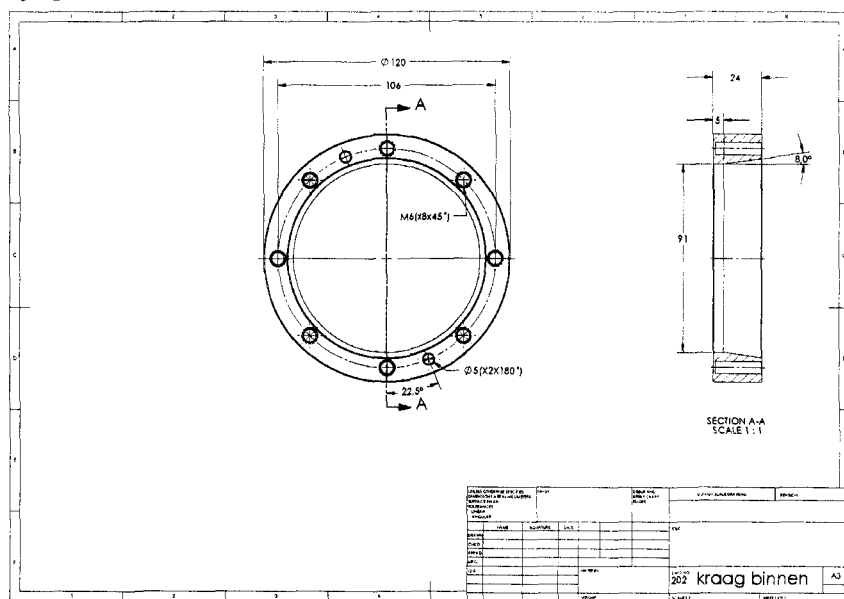
Bijlage 1



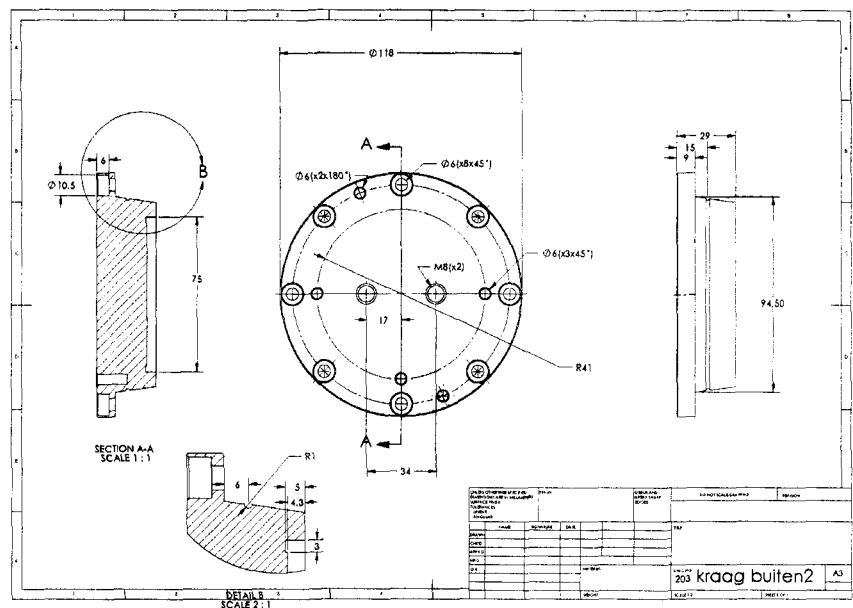
Bijlage 2



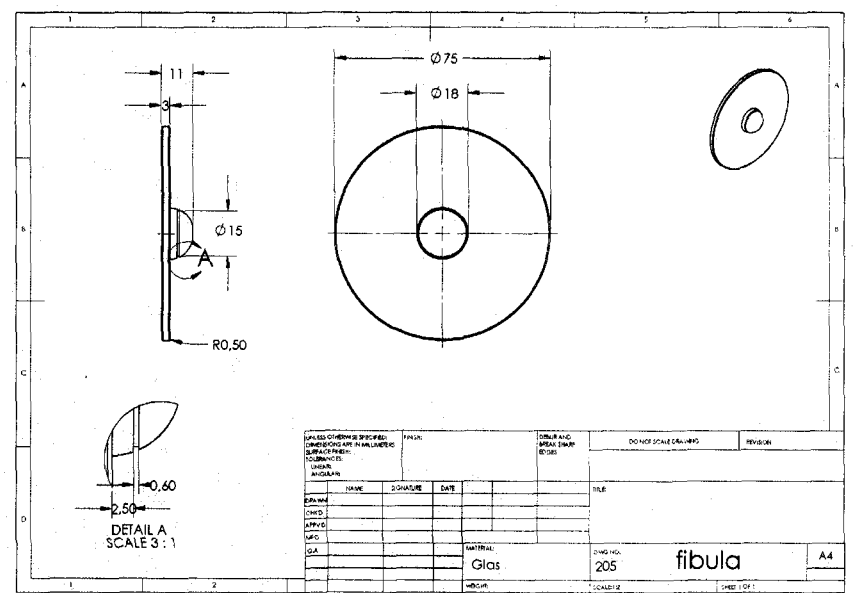
Bijlage 3



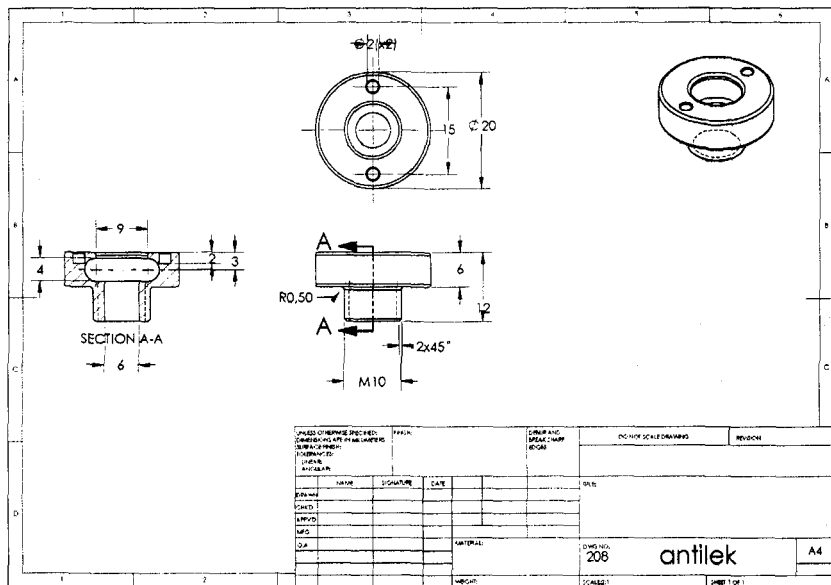
Bijlage 4



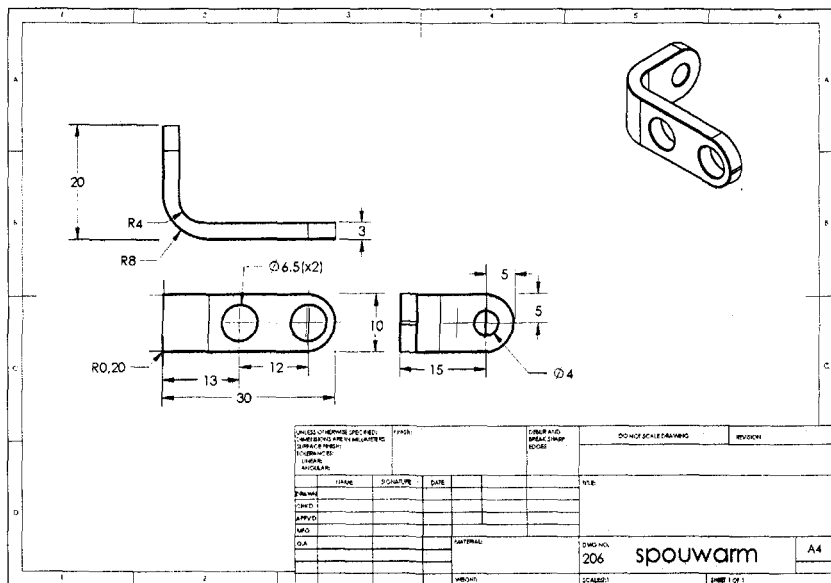
Bijlage 5



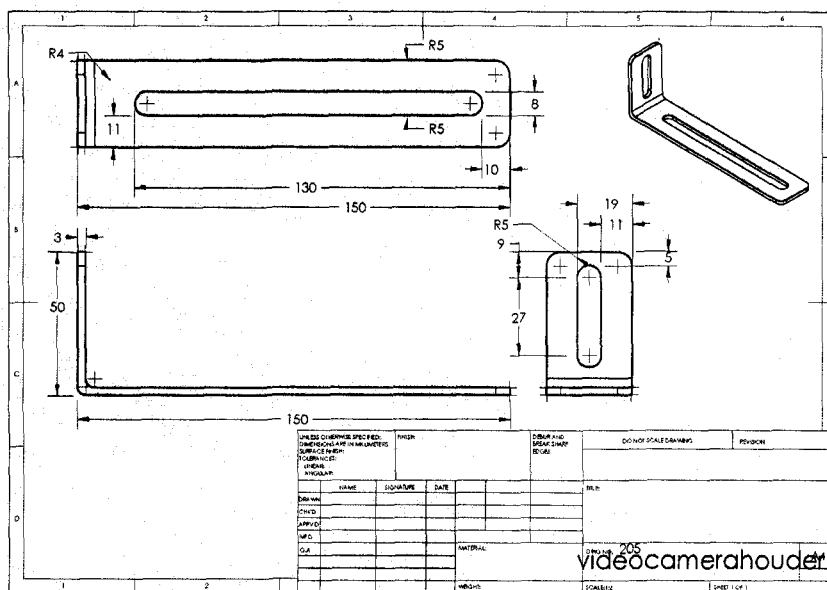
Bijlage 6



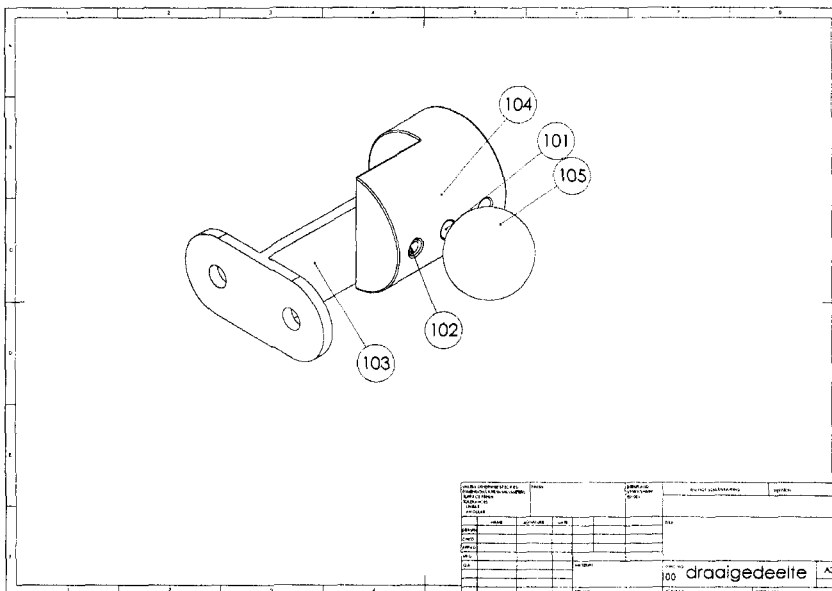
Bijlage 7



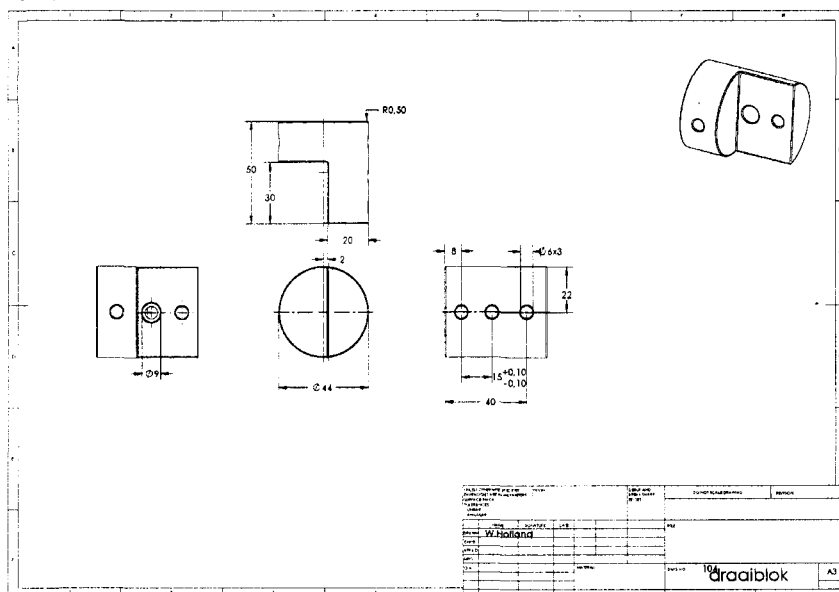
Bijlage 8



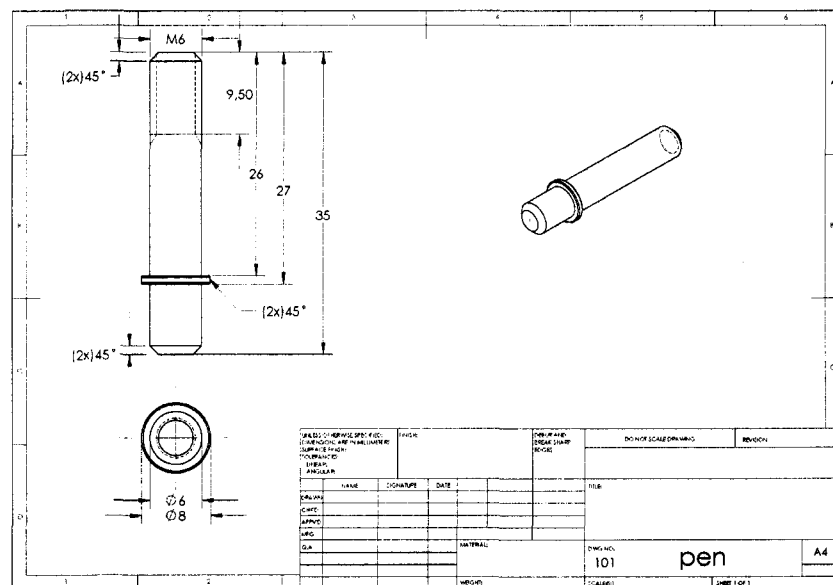
Bijlage 9



Bijlage 10



Bijlage 11



Bijlage 12

