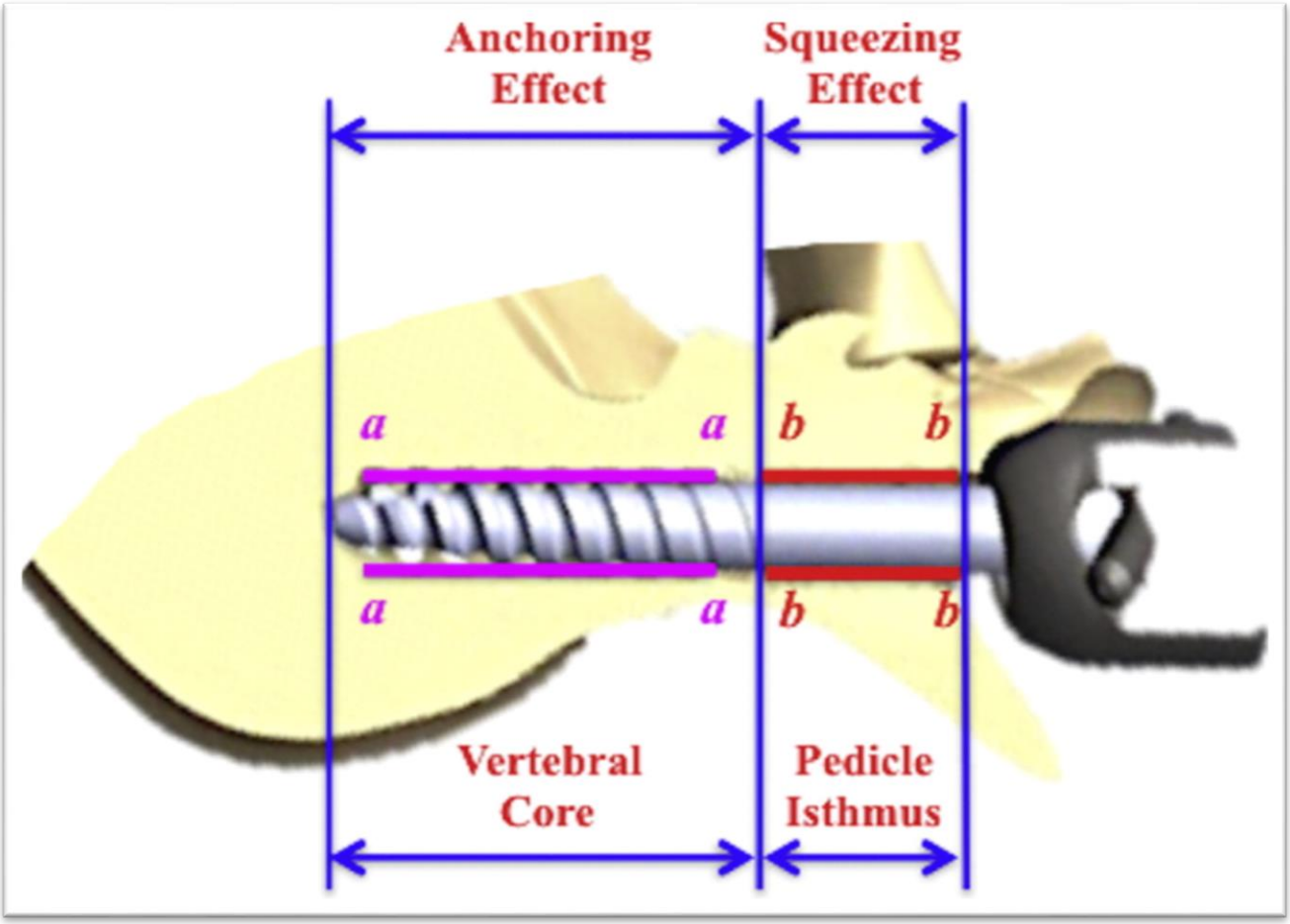
Universal bone anchor test device

(Universeel botverankering testopstelling)



D.J. Jager

Universal bone anchor test device
(Universeel botverankering testopstelling)

Auteur:	David Jager
Studentnummer:	
Opleiding:	Werktuigbouwkunde
Onderwijsinstituut:	De Haagse Hogeschool
Docentbegeleider:	Dhr. A. v.d. Vlugt
Waarnemend docent begeleider:	Dhr. R. van der Meulen
Bedrijf:	Technische Universiteit Delft
Bedrijfsbegeleider:	Dhr. S.W.L. van Herk
Plaats:	Delft
Datum:	Oktober 2021

Voorwoord

Deze ontwerpopdracht is tot stand gekomen in het kader van mijn studie Werktuigbouwkunde (HBO) aan de Haagse Hogeschool te Delft, alwaar ik de duale opleiding volg.

De in dit rapport beschreven opdracht bestaat uit het ontwerpen van een universeel testapparaat waarmee verankering in de menselijke wervel getest kan worden.
De verankering vormt een aspect van de behandeling van mensen met een scoliose-aandoening. Scoliose is een verkromming van de wervelkolom.
Dit onderzoek wordt uitgevoerd aan de TU-Delft Bio Mechanical Engineering waar ik als instrumentmaker werkzaam ben.

Dit onderzoek is zodanig van omvang en inhoud dat dit voldoende aanknopingspunten biedt om de competenties van mijn hbo-opleiding op voldoende eindniveau aan te tonen.

Veel leesplezier gewenst bij het bestuderen van dit rapport.

Delft, 15 oktober 2021

Belanghebbenden

TU-Delft Bio Mechanical Engineering

Opdrachtgever (Professor):
Paul Breedveld

Opdrachtgever (PhD Researcher):
Esther de Kater

Opdrachtnemer (Instrumentmaker):
David Jager

Bedrijfsbegeleider (Constructeur):
Steve van Herk

De Haagse Hogeschool

Afstudeercoördinator:
Guus Docters van Leeuwen

Docentbegeleider:
Bram van de Vlugt

Waarnemend docentbegeleider:
Rudy van der Meulen

Inhoudsopgave

Voorwoord 3
Belanghebbenden 4
Inhoudsopgave 5
Samenvatting 6
Verklarende woordenlijst 7
1 Inleiding 8
Bedrijfsomschrijving 8
Bedrijfsbegeleider 9
2 Oriëntatiefase 10
Context van de opdracht 10
Menselijke anatomie 10
Probleemstelling 17
Doelstelling 17
Hoofdvraag & deelvragen 17
Hoofdvraag 17
Deelvragen 17
Opdrachtomschrijving 18
Bitje 19
Projectgrenzen 20
Pakket van eisen en wensen 20
3 Analysefase 21
Functieanalyse 23
Vrijheidsgraden 23
Morfologisch overzicht 25
Concepten en optimale oplossing 26
Het ontwerp 35
Conclusie 44
Competentieoverzicht 45
Bibliografie 45
Bijlagen 48

Samenvatting

Het rapport geeft inzicht in het tot stand komen van het ontwerp van een universeel botverankering testopstelling. Deze opstelling wordt gevraagd vanuit een onderzoeksgroep die zich bezighoudt met onderzoeken van (nieuwe) mogelijkheden van verankering in het menselijk bot en dan met name in de wervel. In eerste instantie zal de opstelling voor de wervel(test) gebruikt worden maar de opstelling is zodanig ontworpen dat er in een later stadium ook andere tests mee gedaan kunnen worden.

Om tot een goed ontwerp te komen zijn er diverse stappen doorlopen.

In de oriëntatiefase wordt er context gegeven over wat nu precies het probleem/doel is.
Hieruit volgt dat er een pakket van eisen en wensen wordt opgesteld.

In de analysefase wordt er vanuit een functie-analyse naar mogelijkheden gezocht. Deze zijn in een morfologisch overzicht geplaatst. Door weging is er een concept gekozen.
Dit concept wordt verder uitgewerkt en hieruit wordt uiteindelijk het ontwerp gedefinieerd.

Het uitgewerkte ontwerp is een universele testopstelling voor botverankering.

In overleg met de opdrachtgever is het concept goedgekeurd met kleine wijzigingen/aanscherpingen in het pakket van eisen en wensen.

Verklarende woordenlijst

Ingot	Gietstuk waarin de wervel gegoten wordt.
Bitjes	Uitvouwbare/schroeven/pluggen/… ten behoeve van de verankering
Lumen	Ruimte/holte
Vertebra	Wervel
Cervical vertebra	Nekwervel
Thoracic vertebra	Borst(kas) wervel
Lumbale vertebra	Lage rug wervel
Sacrale vertebra	Heiligbeen (gefuseerde wervels tot één bot)
Pedicle	Buisvormig onderdeel van de wervel
Ex-vivo	Buiten het levende/lichaam (maar wel “vers”)
Toggle	Van richting veranderend

1 Inleiding

In het onderzoek naar alternatieven voor conventionele pedicle-schroeven door middel van een bestuurbaar boorsysteem is er vraag naar een testopstelling.

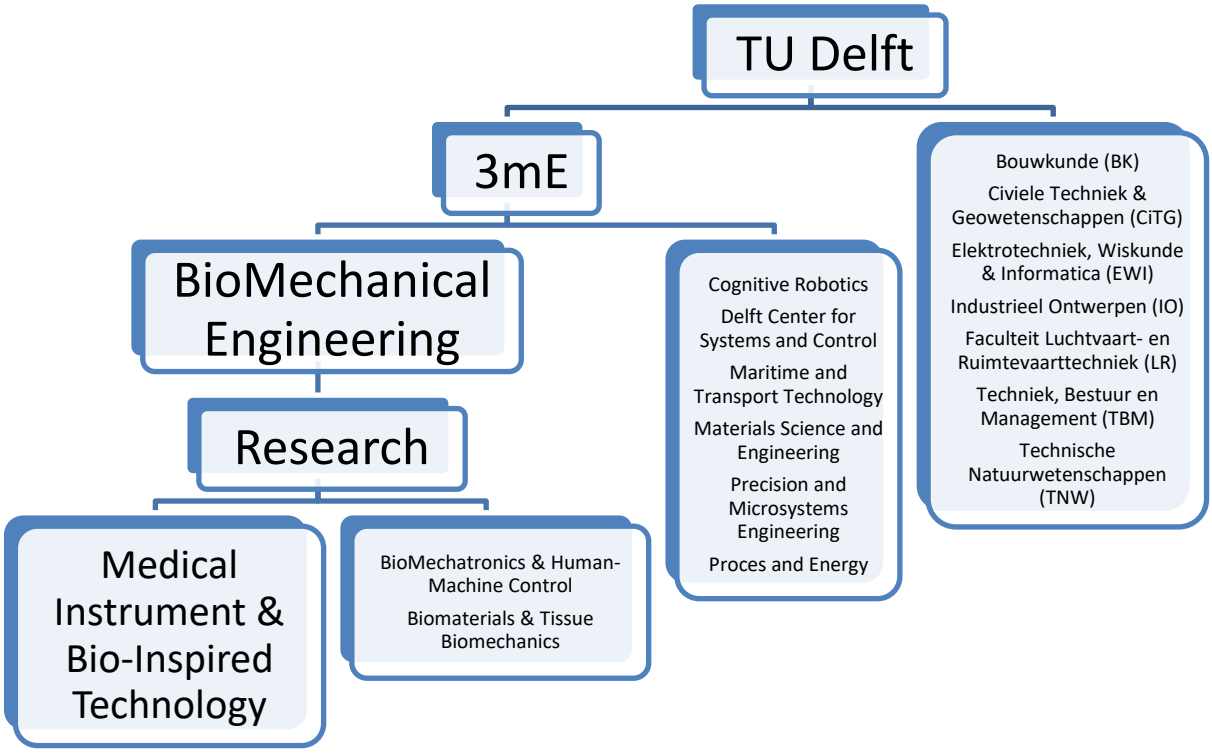
Dit vertaalt zich in de opdracht voor het ontwerpen van een testopstelling waar verankeringsschroeven geplaatst, bediend en getest kunnen worden. De wervel waar de schroef in verankerd dient te worden, wordt ingegoten in een medium.

Het ontwerptraject in dit rapport beschreven, behandelt de verschillende fasen die doorlopen worden. Te weten de: Oriëntatiefase, analysefase, ontwerpfase, detailleringsfase en het documenteren van het uiteindelijke ontwerp.

Bedrijfsomschrijving

De Dienst Elektronische en Mechanische Ontwikkeling (DEMO) is onderdeel van de Universiteitsdienst (een ondersteunende dienst) van de TU Delft.
DEMO is waar de opdracht uitgevoerd wordt en waar ik in dienst ben.

De professor, Paul Breedveld, werkt binnen 3mE (Werktuigbouwkunde, Maritieme Techniek & Technische Materiaalwetenschappen) voor de onderzoeksgroep Medical Instruments & Bio-Inspired Technology (onderdeel van de afdeling BioMechanical Engineering)(figuur 1).



Figuur 1 Toegespitst organogram

De afdeling Medical Instruments & Bio-Inspired Technology heeft tot doel het ontwikkelen van instrumenten die het mogelijk maken om met minimale schade toch op elke plek (in het menselijk lichaam) te kunnen opereren/behandelen.

Bedrijfsbegeleider

Mijn bedrijfsbegeleider *Ir. S.W.L. (Steve) van Herk* heeft in 2007 bij Mechanical Engineering (TU Delft) zijn Master of Science behaald. Als constructeur werkt hij sinds 2010 bij DEMO (TU Delft).

2 Oriëntatiefase

Context van de opdracht

De universeel botverankering testopstelling is een onderdeel van het "*Spine stabilization by steering through the vertebrae*" project.
Dit project behelst het onderzoeken van alternatieven voor de conventionele pedicle-schroeven door een nieuw bestuurbaar boorsysteem te ontwikkelen. De tests zullen geschieden bij varkens en ex-vivo in menselijke wervels.
De pedicle-schroeven worden ingezet om de ruggengraat te stabiliseren. Een voorbeeld van deze stabilisatie is scoliose, een verkromming van de wervelkolom.

De universeel botverankering testopstelling zal worden gebruikt om de alternatieven voor de pedicle-schroeven te testen.

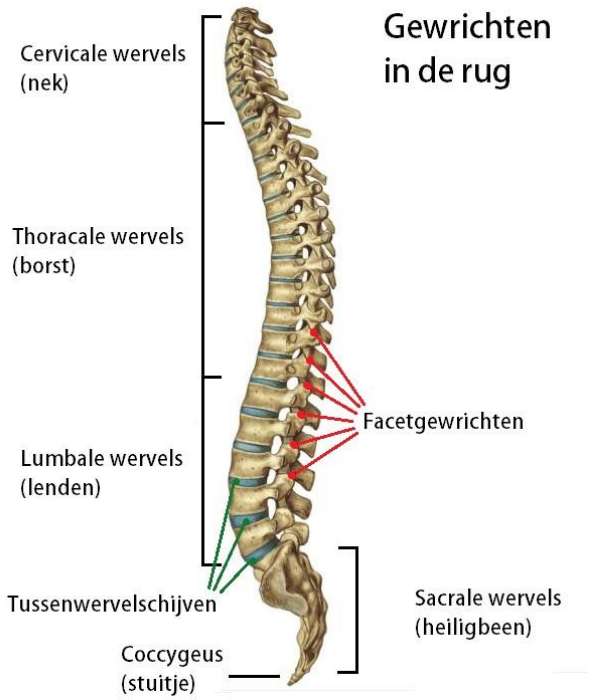
Menselijke anatomie

Ruggengraat (Wervelkolom)

De wervelkolom van de mens bestaat uit 5 sets wervels.
- Zeven halswervels
- Twaalf borstwervels
- Vijf lendenwervels
- Vijf sacrale wervels (heiligbeen)
- Vier staartwervels (stuitje of staartbeen)

Eén set wervels (sacrale wervels) is gefuseerd tot één driehoekig bot, het heiligbeen (Afbeelding 1).

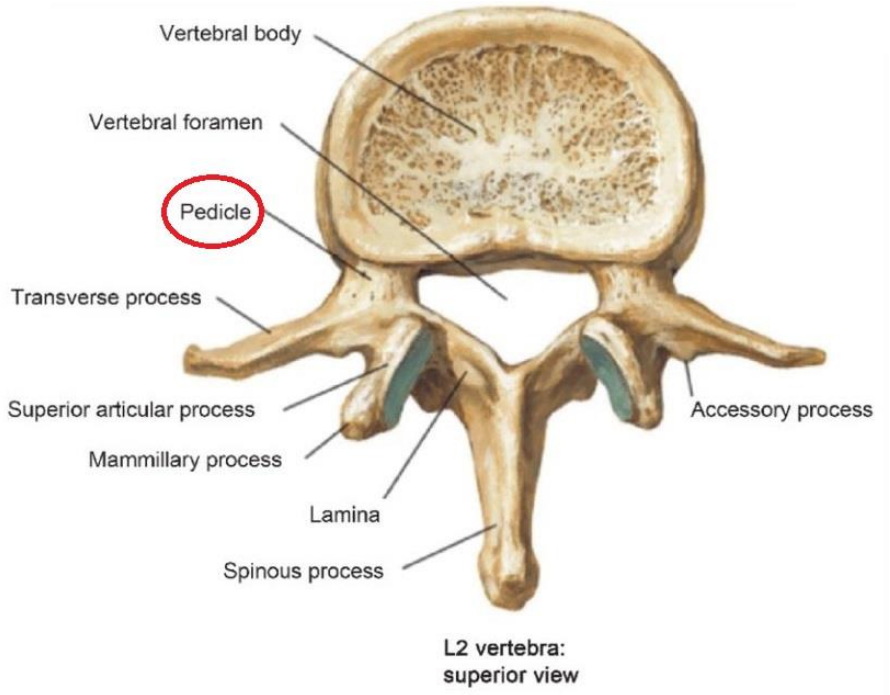
De cervicale wervels dienen ter ondersteuning van het hoofd, de thoracale wervels ondersteunen/schragen de borstkas en de lumbale wervels ondersteunen/dragen de volledige wervelkolom.



Afbeelding 1 Anatomie van de menselijke wervelkolom
Bron: https://pwsrugklachten.jouwweb.nl/opbouw-van-de-rug 22-9-2021

Menselijke wervel

De menselijke wervel bestaat uit een schijf (zie in afbeelding 2: Vertebral body) met daaraan een aantal vertakkingen. De schijf bestaat uit een harde rand en een poreus midden lichaam (afbeelding 2).



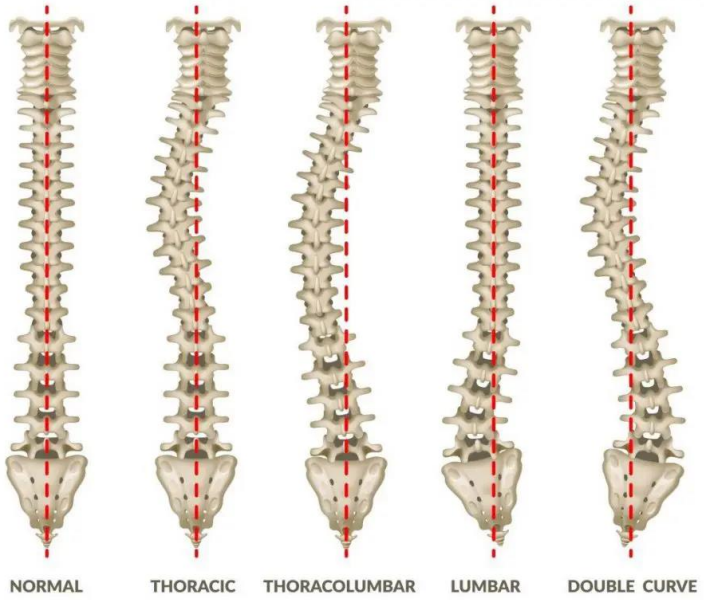
Afbeelding 2 Pedicle van de wervel
Bron: https://nl.pinterest.com/pin/693554411352170719/visual-search/?x=84&y=10&w=429&h=401&cropSource=6 22-9-2021

Pedicle

Waar in het onderzoek op geconcentreerd wordt is de pedicle. Dit zijn de twee vertakkingen aan de schijf van de wervel (afbeelding 2). Dit zijn als het ware pijpjes van bot en zodoende goed te gebruiken als geleiding en houvast voor schroeven.

Scoliose

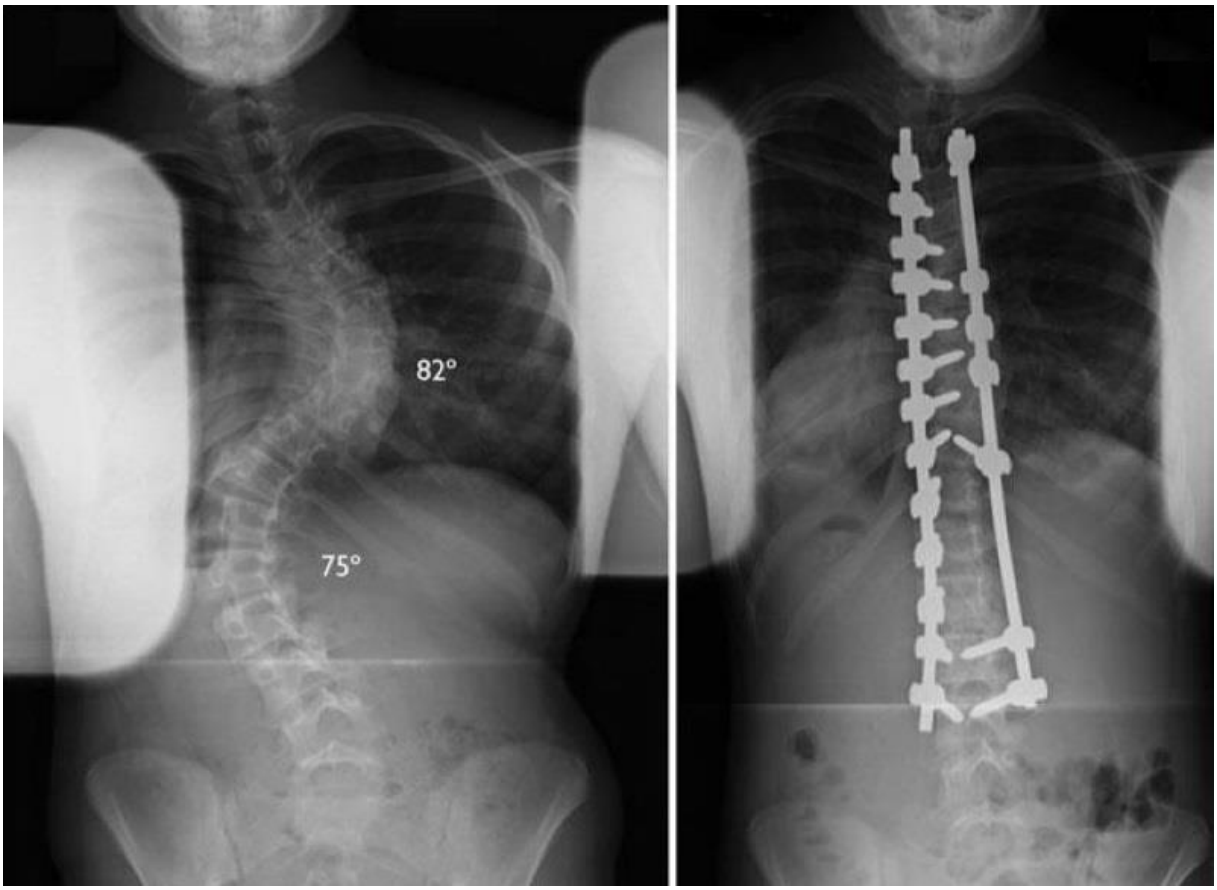
Scoliose is een verkromming van de wervelkolom zoals te zien is in afbeelding 3. Ter behandeling van Scoliose worden er schroeven in de pedicle geplaatst die met elkaar verbonden worden door middel van staven (afbeelding 4).



Afbeelding 3 Scoliose, verkromming van de wervelkolom
Bron: https://northeastchirocenter.com/scoliosis-treatment-fort-wayne/
4-10-2021

Afbeelding 4 Pedicleschroeven-systeem met staven
Bron: https://www.medicalexpo.com/prod/zimmer-biomet/product-74894-526419.html
22-9-2021

De staven worden bij de operatie in één keer rechtgetrokken (afbeelding 5), voor zover de flexibiliteit van de wervelkolom dit toelaat!! Hierdoor komt er veel kracht op de schroeven en dus op de verankering in het bot.

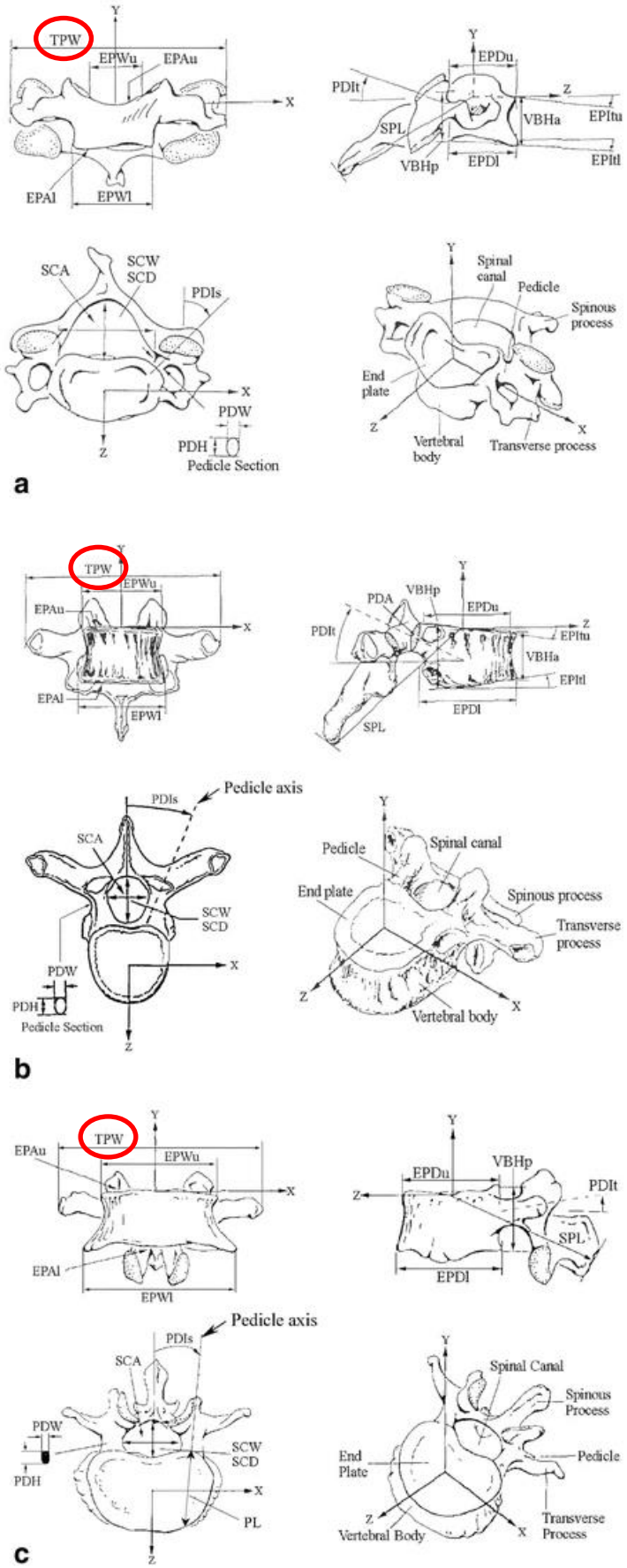


Afbeelding 5 Links verkromming van de wervelkolom, rechts na aanbrengen pedicle-schroeven en rechttrekken van de verbindende staven
Bron: https://orthoinfo.aaos.org/en/treatment/surgical-treatment-for-scoliosis/ 22-9-2021

Na de operatie blijven de schroeven en staven gewoonlijk achter. Deze worden alleen verwijderd als er bijvoorbeeld sprake is van infectie of het breken van een staaf.

Bij het onderzoeken van de grootte van de menselijke wervel (afbeelding 6 en tabel 1) heb ik gevonden dat de breedte afmetingen over de verschillende wervels lopen van 41,0 – 71,4 mm (maat "TPW" (Transverse Process Width) afbeelding 6).

Het verdient hier vermelding dat dit uit een onderzoek is van 10 Aziatische (Singaporese) personen (skeletten) in de leeftijd van 56 - 77 jaar met een massa tussen de 50 - 70 kilogram en een lengte tussen de 1,59 - 1,72 meter. (Tan, Teo, & Chua, 2004)

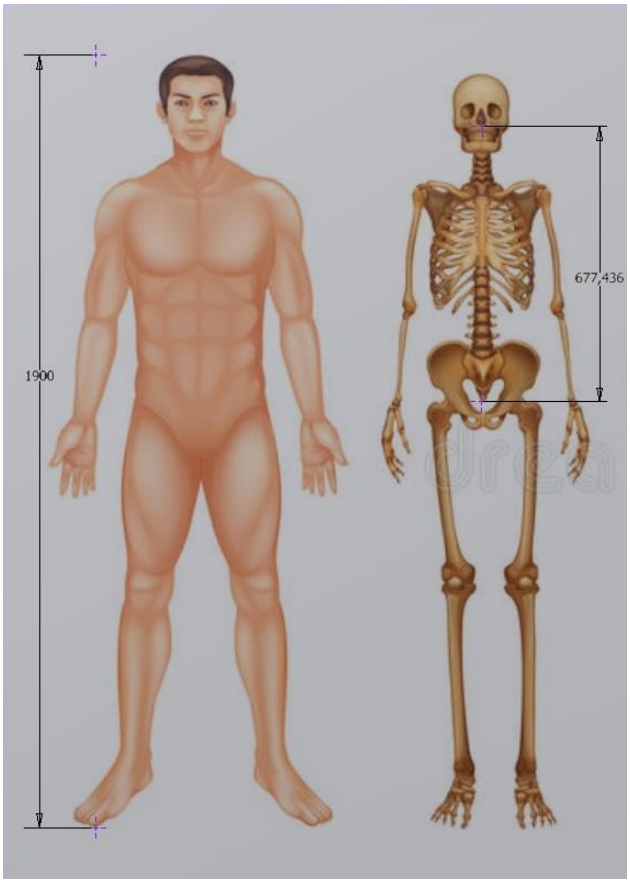


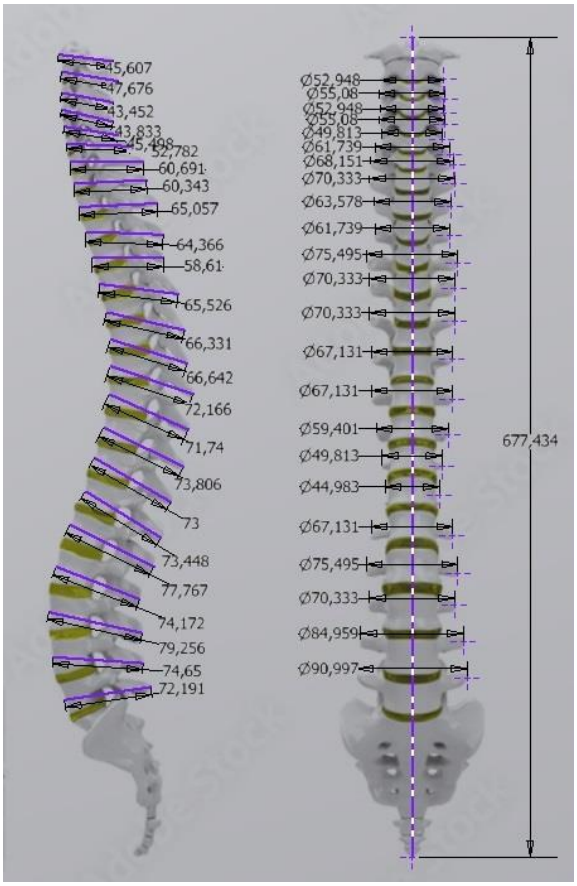
Afbeelding 6 Dimensionering van menselijke wervels
Bron https://link.springer.com/article/10.1007/s00586-003-0586-z/figures/1 27-9-2021

	Vertebral level																					
	C3	C4	C5	C6	C7	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	L1	L2	L3	L4	L5
Linear dimension (mm)																						
EPWu	13.8±0.1	14.7±0.1	14.9±0.1	15.8±0.0	19.0±0.1	24.7±0.2	23.6±0.2	23.3±0.4	22.5±0.3	23.3±0.3	23.7±0.3	24.6±0.3	25.9±0.5	27.0±0.3	28.8±0.4	31.6±0.3	34.5±0.3	36.3±0.4	38.2±0.4	39.9±0.3	42.0±0.2	41.6±0.3
EPWl	14.3±0.1	15.0±0.1	15.9±0.1	19.5±0.2	20.3±0.2	27.1±0.4	25.3±0.4	24.4±0.4	25.0±0.4	23.8±0.1	24.8±0.5	26.8±0.3	27.9±0.4	29.2±0.4	31.9±0.2	35.3±0.2	36.4±0.4	39.2±0.5	41.4±0.3	43.5±0.3	45.3±0.5	43.7±0.4
EPDu	13.6±0.1	14.0±0.1	14.3±0.1	14.6±0.2	15.1±0.2	14.9±0.3	16.3±0.2	18.0±0.2	18.9±0.3	20.5±0.2	21.8±0.2	22.7±0.3	23.3±0.3	24.4±0.4	25.4±0.4	25.4±0.3	26.7±0.3	27.5±0.4	28.3±0.5	29.9±0.3	30.8±0.2	30.4±0.5
EPDl	15.1±0.2	15.2±0.4	15.1±0.3	15.7±0.3	15.6±0.3	15.8±0.2	17.7±0.3	19.0±0.2	20.0±0.3	21.6±0.3	23.0±0.2	23.5±0.3	24.7±0.4	25.5±0.4	26.2±0.3	26.9±0.2	27.7±0.3	28.5±0.5	29.2±0.5	30.2±0.4	30.3±0.6	28.7±0.4
VBHa	10.0±0.2	9.9±0.3	9.6±0.2	10.4±0.3	11.2±0.2	12.8±0.1	14.2±0.2	14.5±0.3	14.7±0.1	15.2±0.2	15.5±0.2	15.1±0.2	16.1±0.3	16.5±0.2	17.5±0.3	17.5±0.2	18.7±0.4	20.2±0.7	20.8±0.5	21.4±0.5	21.6±0.6	22.0±0.6
VBHp	11.2±0.1	11.3±0.2	11.3±0.1	11.3±0.2	11.8±0.3	14.0±0.2	15.2±0.2	15.3±0.2	15.8±0.2	16.4±0.2	17.0±0.3	17.4±0.3	17.8±0.3	18.0±0.3	19.1±0.2	20.4±0.2	21.5±0.2	22.4±0.4	23.1±0.3	22.1±0.4	21.6±0.3	20.0±0.6
SCW	19.2±0.4	19.3±0.5	20.3±0.4	20.6±0.4	19.7±0.4	17.7±0.3	15.2±0.3	14.2±0.3	13.5±0.3	13.6±0.3	13.8±0.3	13.9±0.4	14.1±0.3	14.2±0.4	14.2±0.4	15.3±0.2	17.9±0.3	19.4±0.2	19.5±0.2	19.4±0.4	20.2±0.5	23.4±0.6
SCD	10.3±0.3	10.3±0.3	10.3±0.3	10.3±0.3	11.0±0.2	11.6±0.3	11.7±0.2	12.0±0.2	11.8±0.2	11.5±0.2	11.6±0.2	11.9±0.1	11.9±0.2	11.8±0.2	11.9±0.3	11.8±0.2	12.4±0.3	12.5±0.2	11.7±0.2	11.2±0.3	11.2±0.4	11.4±0.4
PDHl	6.7±0.2	6.6±0.2	6.3±0.3	6.0±0.3	6.5±0.2	8.3±0.3	9.4±0.3	9.8±0.3	9.0±0.2	8.9±0.2	8.7±0.1	9.5±0.2	10.6±0.2	10.8±0.3	12.8±0.2	14.2±0.3	14.2±0.2	13.1±0.4	13.0±0.2	12.1±0.8	13.0±0.4	17.7±0.4
PDHr	6.8±0.2	6.7±0.2	5.9±0.2	6.0±0.1	6.1±0.1	8.7±0.2	9.6±0.2	9.8±0.3	9.3±0.2	9.2±0.3	9.1±0.2	9.6±0.1	10.1±0.2	11.0±0.3	13.0±0.2	14.3±0.2	14.0±0.3	13.1±0.3	12.7±0.2	12.9±0.4	13.40.3	17.1±0.3
PDWl	4.5±0.2	4.6±0.2	4.7±0.1	5.1±0.2	5.6±0.2	7.4±0.2	6.1±0.2	4.8±0.2	4.1±0.2	3.8±0.2	4.4±0.1	4.3±0.2	4.3±0.1	5.0±0.3	6.0±0.4	7.1±0.2	7.8±0.2	5.6±0.2	6.4±0.3	7.6±0.2	9.1±0.4	11.3±0.4
PDWr	4.4±0.2	4.5±0.2	4.9±0.2	5.4±0.2	5.7±0.2	7.5±0.2	5.8±0.1	4.4±0.1	3.9±0.1	4.2±0.3	4.3±0.1	4.6±0.2	4.7±0.2	4.9±0.3	5.9±0.3	6.9±0.2	7.3±0.3	5.5±0.3	6.2±0.3	7.6±0.2	8.6±0.4	11.8±0.5
PL	-	-	-	-	-	30.4±0.5	27.5±0.4	28.6±0.4	27.6±0.3	31.2±0.4	30.3±0.4	35.0±0.7	34.3±0.6	32.7±0.6	34.6±0.5	32.8±0.7	31.5±0.6	41.4±0.8	43.8±0.8	42.2±0.8	39.7±0.7	39.2±0.7
SPL	25.6±0.5	30.3±0.4	33.6±1.0	40.5±1.5	46.9±1.1	48.3±0.8	48.3±0.5	49.0±0.8	48.4±0.8	49.8±0.8	50.7±1.0	51.8±0.9	51.9±0.9	51.5±0.9	49.8±0.9	48.4±1.1	48.5±1.0	51.5±0.9	54.4±0.8	57.6±0.8	55.1±0.9	50.6±0.9
TPW	41.4±0.8	44.9±0.8	47.6±1.0	48.4±0.9	53.8±1.0	63.8±1.0	57.5±0.7	51.3±0.9	49.8±1.0	49.7±1.0	50.2±0.9	49.7±0.6	47.8±0.8	47.9±0.2	45.4±0.6	43.0±0.9	41.0±0.5	53.6±1.5	64.3±1.5	71.4±1.9	67.7±1.4	71.3±2.5
Surface area (mm^2)																						
EPAu	154.7±3.8	169.2±4.9	187.4±6.6	210.5±10.0	220.8±9.0	304.8±13.8	347.6±10.5	352.9±7.2	373.6±5.2	408.7±10.9	452.1±15.7	477.5±15.2	552.6±18.9	587.9±19.9	640.6±22.5	706.6±21	795.6±20.8	889.8±25	984.0±32	1117.7±28.5	1151.8±20.3	1127.3±24.5
EPAl	216.8±10.1	241.5±10.6	286.4±10.3	316.3±7.4	340.0±10.3	372.8±11.4	399.2±12.5	387.1±9.0	420.0±6.7	450.0±13.4	506.9±15.0	543.0±16.8	610.3±19.9	645.0±21.2	715.7±19.0	803.0±21	877.7±24.7	1009.8±30	1090.9±26.9	1172.0±20.6	1199.3±35.5	1054.1±21.0
SCA	149.7±9.0	159.9±8.4	166.8±8.0	163.7±10.2	167.5±6.7	169.4±4.5	145.7±2.0	145.4±2.9	140.1±3.4	141.5±3.4	144.8±3.7	144.2±2.5	148.1±4.3	145.9±5.4	142.3±6.1	148.6±4.1	177.8±5.5	200.0±2.2	184.6±4.4	166.4±5.7	163.8±10.9	186.6±9.2
PDAl	27.6±1.0	27.7±0.8	27.4±1.1	29.4±1.5	33.7±2.6	55.2±3.4	47.0±3.2	40.8±2.7	33.4±2.0	31.3±1.8	34.4±1.1	37.5±1.4	42.3±1.0	52.9±3.7	72.2±3.6	95.6±3.4	99.1±2.1	67.8±3.2	74.5±3.6	96.2±2.5	105.8±4.9	158.9±5.8
PDAr	28.5±1.0	28.8±1.0	28.5±1.1	33.0±1.3	32.1±1.6	57.8±3.2	49.1±2.6	36.1±1.7	31.0±1.2	35.9±2.7	33.8±1.4	39.2±1.8	43.5±2.0	49.5±3.7	73.7±3.7	90.5±3.0	92.0±3.7	68.6±3.9	69.5±3.4	89.7±2.3	96.7±3.2	156.2±6.0
Angular dimension (degrees)																						
EPItu	5.0±4.1	5.2±5.2	7.1±1.2	5.8±0.6	5.8±0.8	7.2±0.7	3.9±0.4	3.2±0.6	1.5±0.2	1.4±0.4	1.0±0.2	2.1±0.5	2.2±0.2	1.6±0.4	1.4±0.2	3.4±0.7	4.5±0.7	1.8±0.4	3.4±0.4	1.9±0.3	3.7±0.6	6.9±0.9
EPItl	3.3±0.5	3.5±0.7	2.7±0.3	4.2±0.4	5.1±0.5	−2.9±0.4	−3.0±0.5	−1.8±0.3	−4.1±0.6	−2.6±0.4	−3.8±0.4	−3.2±0.4	−2.2±0.6	−2.6±0.4	−3.0±0.2	−3.2±0.3	−3.1±0.3	−2.6±0.4	−1.1±0.2	1.8±0.1	3.2±0.6	10.5±0.8
PDIsl	−42.9±1.0	−44.0±1.3	−46.3±1.0	−41.9±1.6	−30.6±1.1	−24.0±1.0	−14.7±1.2	−10.4±1.5	−8.3±1.4	−9.7±2.0	−5.9±0.9	−5.2±1.0	9.6±1.6	6.3±1.3	3.2±0.5	6.5±1.5	7.2±1.5	−2.0±0.5	−5.6±0.8	−11.9±0.9	−11.5±0.8	−22.4±0.6
PDIsr	39.6±1.0	38.9±1.1	38.1±1.6	38.5±2.3	30.3±0.9	24.4±1.8	19.9±0.8	13.6±2.0	9.0±1.3	9.2±1.4	8.4±1.3	8.6±1.6	−7.6±1.2	−7.2±1.4	−7.2±1.0	−7.2±0.9	−5.3±0.9	7.6±1.0	9.2±1.4	16.8±1.8	10.7±1.2	17.4±1.3
PDItl	−4.8±1.0	−3.2±0.7	2.6±0.7	4.8±1.0	5.8±0.7	2.2±0.5	8.5±1.3	7.0±0.7	4.0±0.8	6.5±0.9	6.3±0.9	5.6±0.8	4.8±0.9	4.8±0.5	3.0±0.5	3.3±0.8	3.5±0.8	−1.7±0.3	−2.4±0.2	−5.0±0.9	−7.3±0.7	−7.8±0.6
PDItr	−6.5±1.0	−5.4±1.1	4.9±1.0	6.0±1.3	3.1±0.7	5.9±0.8	5.9±1.1	8.6±1.4	5.1±0.8	5.9±1.2	6.2±0.7	5.7±0.6	7.3±0.6	4.4±0.6	4.3±0.5	4.5±0.7	4.0±0.7	−1.6±0.3	−1.9±0.4	−2.6±0.5	−6.3±0.9	−6.3±0.8

Tabel 1 Afmetingen behorende bij afbeelding 6
Bron: https://link.springer.com/article/10.1007/s00586-003-0586-z/tables/1 27-9-2021

Door verschaling heb ik deze waardes gerelateerd naar iets meer Europese maten, hierbij uitgaande van een persoon van 1,90 meter (afbeelding 10a/b)



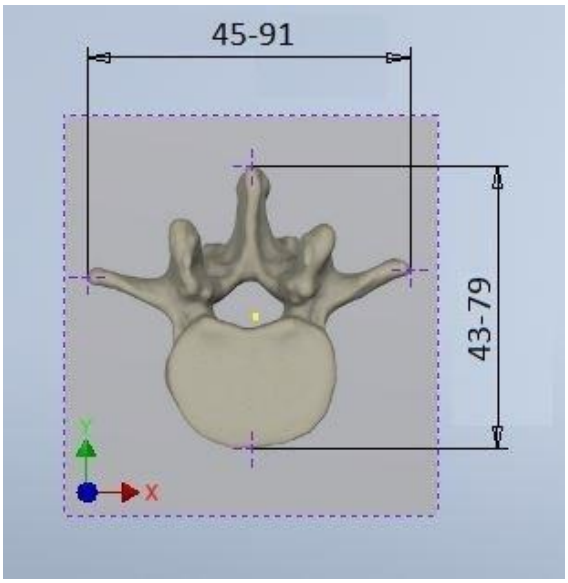


Afbeelding 7a: Mens van 1,90 m / afmeting wervels [mm]
Bron: https://nl.dreamstime.com/stock-illustratie-menselijk-lichaamssystemen-image46947266 27-9-2021
Afbeelding 7b Gedetailleerde wervelkolom (+ bemating d.m.v. Inventor)
Bron: https://wallsheaven.com/wall-murals/die-wirbels%C3%A4ule-B46367543 27-9-2021

Door hierbij de lengte van de wervelkolom te meten heb ik vanuit een afbeelding van een gedetailleerde wervelkolom (Afbeelding 7b) de breedte en diepte van de wervels afgeleid. Dit is een indicatie maar voldoende om een afmeting te formuleren voor de benodigde ruimte voor de wervel-ingot.

De breedste wervel is hier 91 mm en de maximale werveldiepte is hier 80mm (afbeelding 8). De hoogte van de wervel is in verhouding met de breedte en diepte klein en geeft binnen het ingot mogelijkheid tot positionering. Hieruit volgt dat de grootte van de wervel-ingot met 100x100x100 mm voldoende groot zal zijn.

De varkenswervels waar in eerste instantie mee getest gaat worden zien er enigszins anders uit maar worden "op maat" gezaagd voor het ingieten.



Afbeelding 8 Gevonden afmeting [mm] menselijke wervel
Bron: https://www.isala.nl/patientenfolders/5580-operatie-aan-halswervelkolom/
27-9-2021

Probleemstelling

Voor een onderzoeker is het nu niet mogelijk om, door middel van een universeel instrument, verscheidene botverankeringsbitjes correct te kunnen aanbrengen en tevens te testen.

Doelstelling

Om verschillende botverankeringen (bitjes) te kunnen testen is er behoefte aan een universeel instrument waarmee deze botverankeringen geplaatst, bediend en getest kunnen worden. Bij het testen moet de kracht en de daarbij horende verplaatsing te meten zijn.

Hoofdvraag & deelvragen

Door middel van het onderzoeken van deze vragen wordt er naar het einddoel gewerkt.

Hoofdvraag

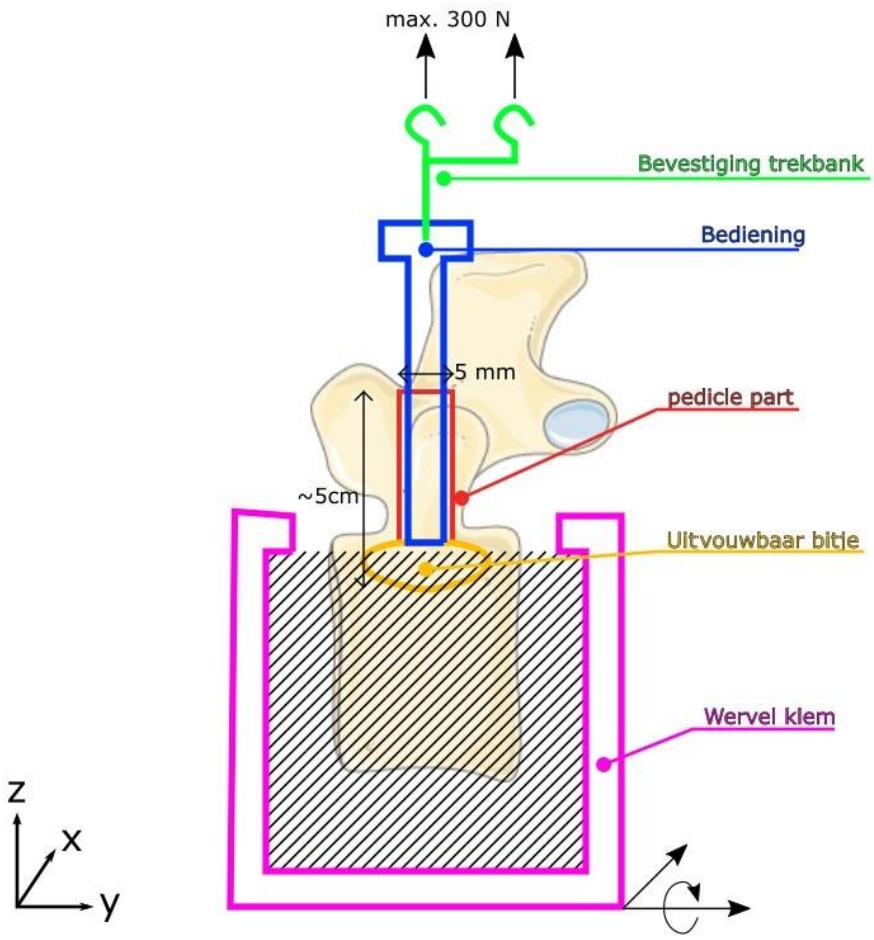
- Hoe ontwerp ik een universeel instrument met de vereiste translaties, rotaties en blokkeringen?

Deelvragen

1. Wat is de verwachte grootte van de over te brengen krachten?
2. Zijn de belaste onderdelen bestand tegen deze verwachte krachten?
3. Hoe wordt het instrument gekoppeld aan de bitjes?
4. Hoe worden de onafhankelijke rotaties en translaties vormgegeven?
5. Wat wordt er geblokkeerd?
6. Waar bevindt de besturing van het instrument zich?

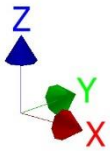
Opdrachtomschrijving

Van de professor (*prof.dr.ir. P. (Paul) Breedveld*) en PhD Researcher Esther de Kater heb ik de opdracht gekregen om een instrument te ontwikkelen (blauw gekleurde onderdeel *bediening* afbeelding 9) waarmee het mogelijk is om uitvouwbare botverankeringen (bitjes) te kunnen plaatsen en bedienen waardoor testen mogelijk wordt.



Afbeelding 9 Schets van een wervel met uitvouwbare botverankering in testopstelling

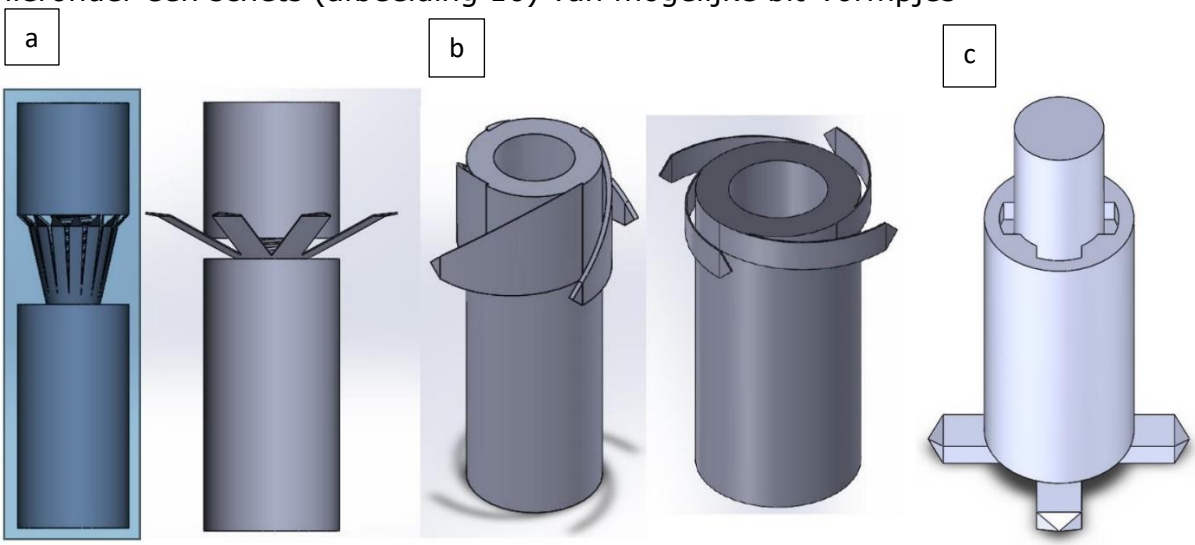
Voor de verankering dient het bedieningsinstrument over 2 onafhankelijk aan te drijven elementen te beschikken. Eén element moet zowel roterend om- als translerend in de X-as te besturen zijn. Het andere element is gesegmenteerd en per segment onafhankelijk transleer-baar in de X-as. Deze bewegingen moeten onafhankelijk van elkaar te realiseren zijn en vergrendeld kunnen worden. Deze graden van vrijheid verzorgen de mogelijkheid tot bevestigen/besturen van de uitvouwbare bitjes.



Er moet een uitwisselbare aansluiting voor de uitvouwbare bitjes zijn.

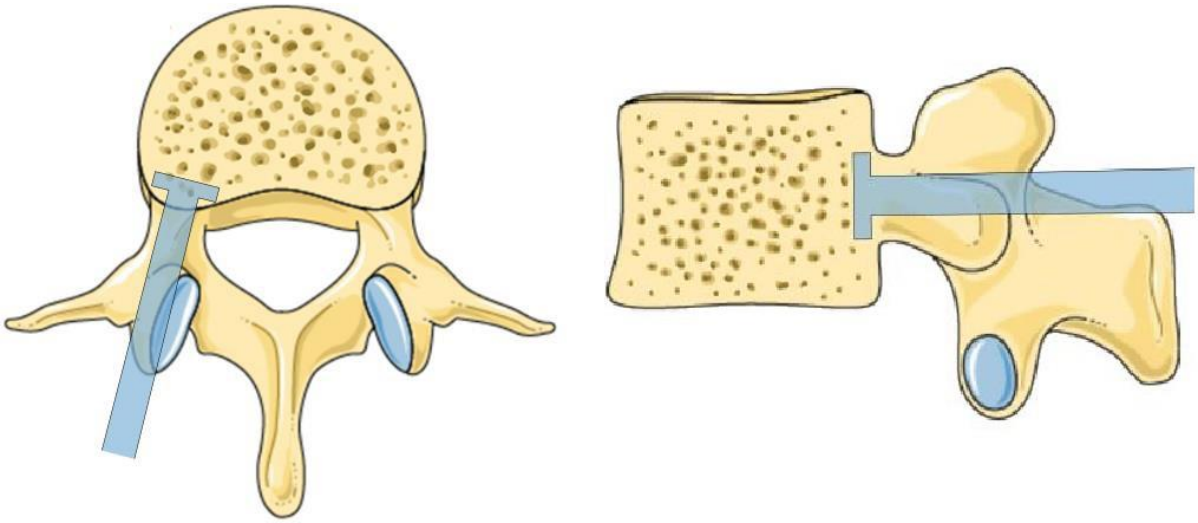
Bitje

Ter verduidelijking van hoe de uitvouwbare bitjes er uit zouden kunnen zien hieronder een schets (afbeelding 10) van mogelijke bit-vormpjes



Afbeelding 10 Schetsen van mogelijke bitjes

Na inbrengen (in de pedicle) wordt het uitvouwbare bitje geactiveerd.
Afbeelding 10a; bitje bij inbrengen en na activatie (translatie). De nu uitstekende delen vormen de verankering in de wervel (afbeelding 11).
Afbeelding 10b; bitje bij inbrengen en de activatie geschied door rotatie waardoor de vleugeltjes zorgen voor de verankering in de wervel.
Afbeelding 10b; bitje na inbrengen waarbij de activatie geschied door translatie waardoor de pennen uitklappen en zorgen voor de verankering in de wervel.



Afbeelding 11 Schets van bitje als verankering in pedicle geplaatst

De gevraagde actie bestaat dus uit twee delen, te weten: Aanbrengen van het bitje en het besturen/activeren van het bitje.

Projectgrenzen

De volgende taken vallen binnen de projectgrenzen.

- Adviseren over en sturen van de gestelde eisen en wensen.
- Verschillende oplossingen en concepten uitwerken
- 3D ontwerp
- Krachtberekeningen
- Materiaalkeuze
- Definitief ontwerp

De volgende taken vallen buiten de projectgrenzen.

- Koppeling van de bitjes aan de elementen (dit geschiedt als de bitjes ontworpen zijn).
- Productietekeningen voor externe bedrijven.
- Positioneren en ingieten van de wervel
- Eisen met betrekking tot wetgeving, normen en richtlijnen (n.v.t. bij het onderzoeken)

Pakket van eisen en wensen

De opdrachtgever heeft de volgende eisen geformuleerd.

- 2 onafhankelijk te bedienen elementen
  Rotatie en translatie mogelijkheid (lengte-as)
  Blokkeren van rotatie en translatie mogelijk (lengte-as)
- 1 onafhankelijk te bedienen gesegmenteerd element
  4 segmenten, translatie en blokkeren mogelijk (lengte-as)
- 1ste element onder invloed van kracht (gecontroleerd/lineair) te verplaatsen (lengte-as)
- Alle elementen liggen in lijn (op één (lengte) as evenals de schroef)
- Meten van optredende kracht (wervel t.o.v. schroef)
- Meten van verplaatsing onder invloed van kracht
- Systeem geschikt voor een maximale kracht van 300 N op de verankering
- Bevestiging aan trekbank
- Wervel-ingot afmeting van 100x100x100 mm

De opdrachtgever heeft de volgende wensen geformuleerd.

- Enig bedieningsgemak (bereikbaarheid van instelmogelijkheden)
- Maximaal 12 kg
- Lumen in de element-assen
- Draagbaar
- Maximale afmeting 300x300x300 mm
- Kunnen schakelen van de 2 bedieningselementen
- Toekomstig gebruik voor testen met momenten

3 Analysefase

Naar aanleiding van onderzoek zullen hier de deelvragen beantwoord worden.

Deelvraag 1:

Wat is de verwachte grootte van de over te brengen krachten?

Vanuit de opdrachtgever moet er voldaan worden aan een maximale krachtsoverbrenging van 300 N.

Deelvraag 2:

Zijn de belaste onderdelen bestand tegen deze verwachte krachten?

Deze vraag wordt door berekening beantwoord.

Deelvraag 3:

Hoe wordt het instrument gekoppeld aan de bitjes.

De bitjes zijn nog niet ontwikkeld, mijn advies is om dit door middel van schroefdraad te bewerkstelligen.

Deelvraag 4:

Hoe worden de onafhankelijke rotaties en translaties vormgegeven?

Bij de concepten zijn er verschillende mogelijkheden uitgewerkt.

Deelvraag 5:

Wat wordt er geblokkeerd?

Het verschil bij blokkering is óf het drijvende element óf het gedreven element geblokkeerd wordt. Het gevolg is dat de eventuele speling in de X-as aanwezig blijft of juist niet. Deze speling (in de translatie) is in deze voorwaardelijk voor de onafhankelijke rotatie.

Deelvraag 6:

Waar bevindt de besturing van het instrument zich?

Het eerste element (dichtst bij de wervel) dient om de schroef/bitje in te brengen. Met het tweede element wordt de bediening bewerkstelligd.

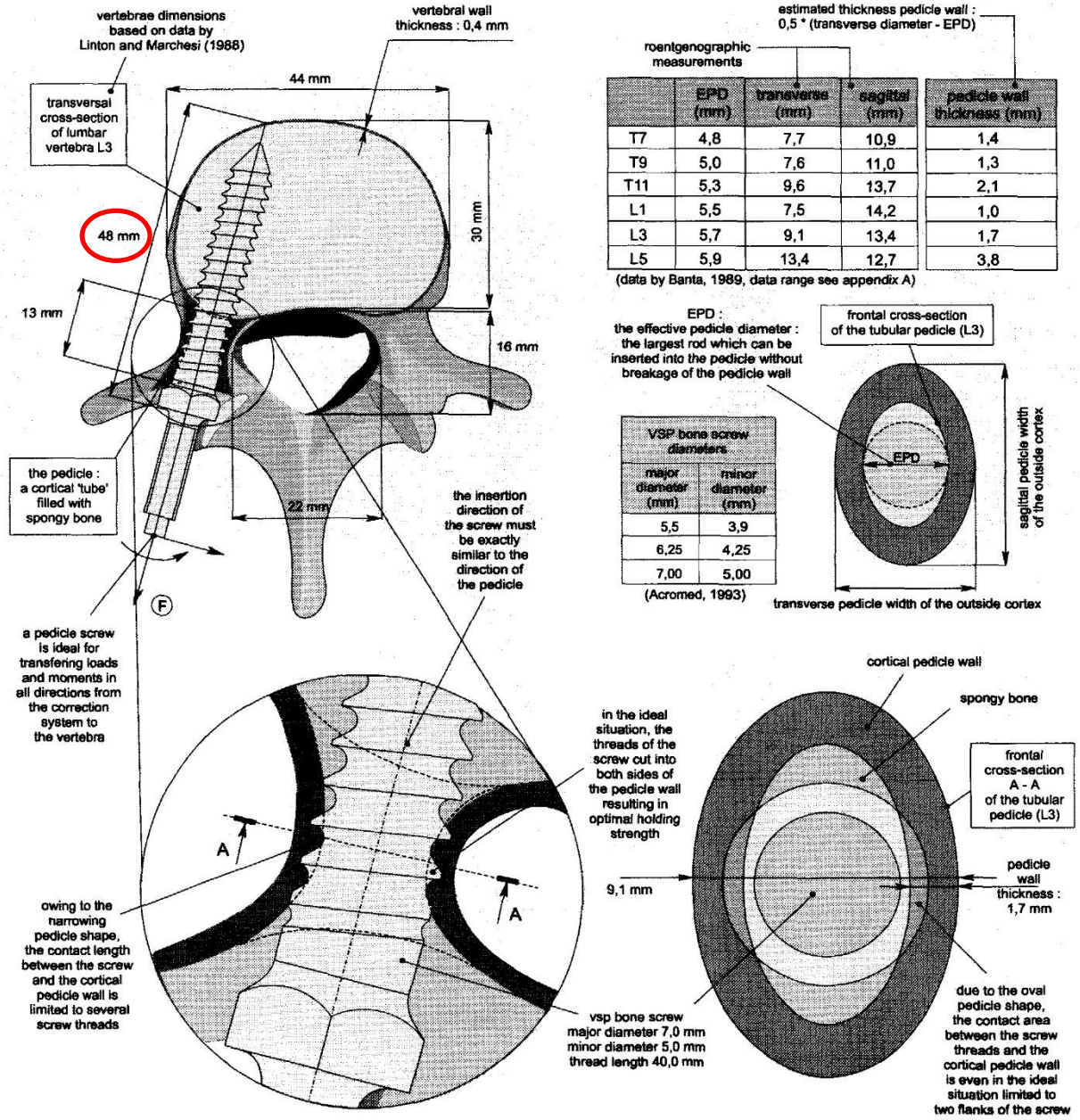
De bediening van de elementen zelf geschiedt zoveel mogelijk vanaf de voorkant dan wel de bovenkant, dit voor het gebruikersgemak.

Deelvraag 7:

Wat is de vereiste lengte van de translatie?

De vereiste lengte van de translatie is 50 mm (afbeelding 9). Door het positioneerbaar zijn van de elementen op de onderliggende assen is deze afstand voldoende.

Uit onderzoek (afbeelding 12) is gebleken dat dit een goed aanname is.



	EPD (mm)	transverse (mm)	sagittal (mm)	pedicle wall thickness (mm)
T7	4,8	7,7	10,9	1,4
T9	5,0	7,6	11,0	1,3
T11	5,3	9,6	13,7	2,1
L1	5,5	7,5	14,2	1,0
L3	5,7	9,1	13,4	1,7
L5	5,9	13,4	12,7	3,8

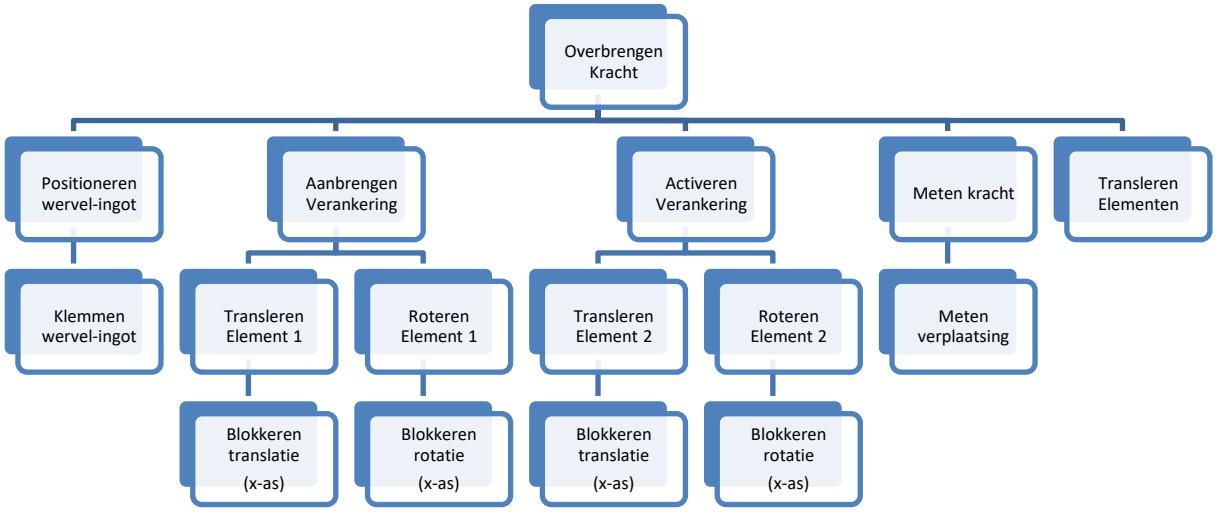
VSP bone screw diameters	
major diameter (mm)	minor diameter (mm)
5,5	3,9
6,25	4,25
7,00	5,00

Afbeelding 12 Lengte waarover een element getransleerd moet kunnen worden
Bron: https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A31d0606c-8f66-422d-a24c-f73b2a4cebe4 6-10-2021

Functieanalyse

Om een goed beeld te krijgen van wat het apparaat moet gaan doen/kunnen heb ik een functieanalyse gemaakt.

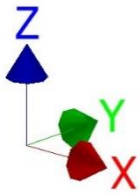
Hoofdfunctie: kracht overbrengen



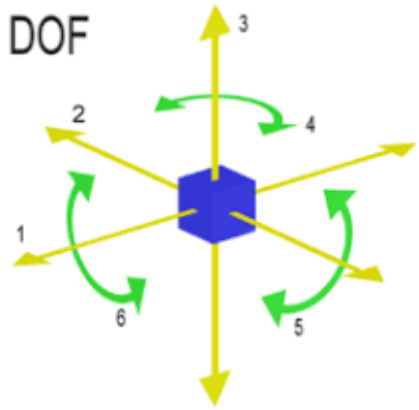
Hoe de functies in de tijd gebruikt gaan worden is sterk afhankelijk van de toepassing en mogelijkheden van het te testen bitje. Voor het overzicht werk ik dit (functieblokschema) dan ook niet verder uit.

Vrijheidsgraden

Bij het bepalen van de vrijheidsgraden stel ik de X-as als hoofdas (lengte-as) (afbeelding 13). Rond deze as werken de meeste translaties en rotaties.



Afbeelding 13 Assenstelsel



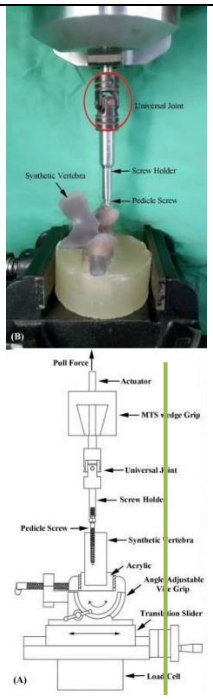
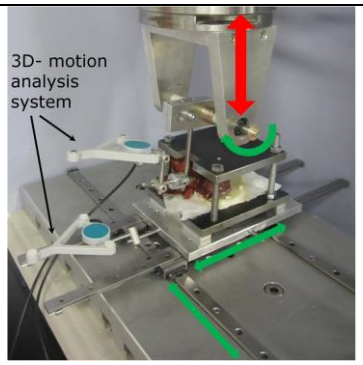
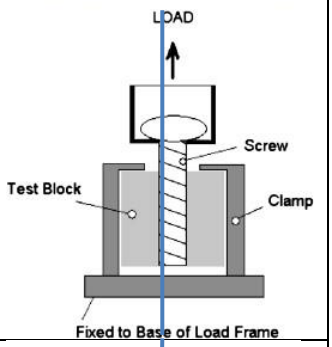
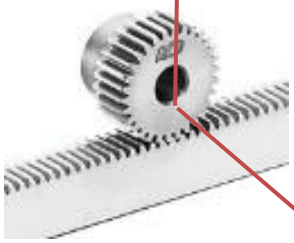
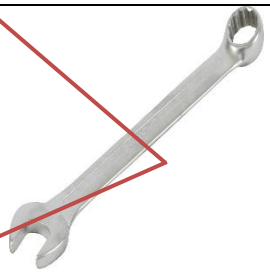
Afbeelding 14 Vrijheidsgraden (DOF: Degrees Of Freedom)

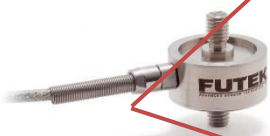
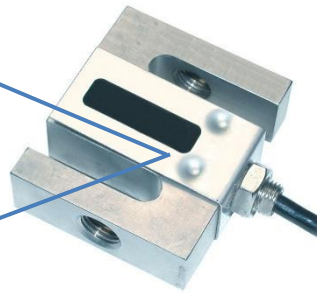
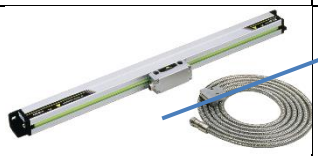
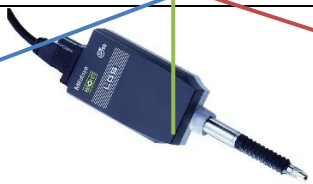
Vanuit afbeelding 14 is dus:

As 1 – Y-as
As 2 – X-as
As 3 – Z-as
Rotatie 4 - Rotatie om de Z-as
Rotatie 5 - Rotatie om de X-as
Rotatie 6 - Rotatie om de Y-as

De elementen dienen te kunnen transleren over de x-as. Daarnaast dienen de assen van de elementen te kunnen transleren en roteren over de x-as.
Translaties en rotaties over de Z- en Y-as zijn niet mogelijk/gewenst.

Morfologisch overzicht

1) Wervel-ingot klemmen			
2) Element transleren			
3) Element roteren			
4) Translatie blokkeren			

5) Rotatie blokkeren			
6) Kracht aanwen-den			
7) Kracht-meting			
8) Verplaat-sing meten			

Concept I
Concept II
Concept III

Concepten en optimale oplossing

Om een onderbouwde keuze te maken uit de samengestelde concepten uit het morfologisch overzicht is hieronder een uitwerking van de verschillende functievervullingen.

Concept I (groen)

1) Wervel inklemmen
Bij dit concept wordt het wervel-ingot vanaf de zijkant ingeklemd (krachtgesloten). Gevaar is dat het gehele ingot uit de klem getrokken wordt door de aangewende kracht en je geen zuivere meting hebt op het bitje.

2) Element transleren
Een leispindel geeft goede feedback wat betreft verdraaiing en verplaatsing (mm spoed/omw.)

3) Element roteren
Een wormwiel overbrenging voor de rotatie geeft voor handmatig gebruik een vrij trage overbrenging. Alternatief is om deze met een motor aan te sturen.

4) Translatie blokkeren
Blokkeren van de translatie met een krachtgesloten ring is een goede mogelijkheid.

5) Rotatie blokkeren
Blokkeren van de rotatie met een krachtgesloten ring is een goede mogelijkheid.

6) Kracht aanwenden
Handmatig kracht aanwenden door middel van een handwiel (gebruikersgemak).

7) Krachtmeting
Bij een horizontale opstelling (voorkeur) zal het gebruik van een unster beïnvloed worden door de zwaartekracht.

8) Verplaatsing meten
Meetresultaten kunnen in een computer opgenomen/verwerkt worden.

Concept II (rood)

1) Wervel inklemmen
Bij dit concept wordt het wervel-ingot ingesloten tussen twee platen hierbij wordt er geen klemkracht toegevoegd. Doordat het ingot tegen de (boven)plaat getrokken wordt bij het aanwenden van kracht is dit een vormgesloten oplossing. De zwaartekracht op het ingot is niet van invloed op de meting.

2) Element transleren
Tandheugel geeft een eenvoudige manier van het transleren van een as.

3) Element roteren
Een motor vergt aansturing en elektriciteit.

4) Translatie blokkeren
Een klemhendel geeft een eenvoudige en doeltreffende manier om te blokkeren en tevens om de blokkering op te heffen.

5 Rotatie blokkeren
Een klemhendel geeft een eenvoudige en doeltreffende manier om te blokkeren en tevens om de blokkering op te heffen.

6) Kracht aanwenden

Handmatig kracht aanwenden door middel van een steeksleutel. Tevens is deze sleutel op meerdere plaatsen en onder verschillende hoeken inzetbaar (gebruikersgemak).

7) Krachtmeting
Meetresultaten kunnen in een computer opgenomen/verwerkt worden.

8) Verplaatsing meten
Meetresultaten kunnen in een computer opgenomen/verwerkt worden.

Concept III (blauw)

1) Wervel inklemmen
Bij dit concept hangt het wervel-ingot los en wordt door de aangewende kracht tegen een plaat getrokken (Vormgesloten). De massa van de ingot zal in de berekening (zwaartekracht) meegenomen moeten worden.

2) Element transleren
Pneumatische cilinder is voor dit onderzoek een dure en niet wenselijke oplossing gezien de afhankelijkheid van perslucht.

3) Element roteren
Een motor vergt aansturing en elektriciteit.

4) Translatie blokkeren
Aandrukschroef is een goede oplossing (mits met aandrukstuk, om de te blokkeren as niet te beschadigen).

5) Rotatie blokkeren
Blokkeren van de rotatie met een krachtgesloten ring is een goede mogelijkheid.

6) Kracht aanwenden
Een motor vergt aansturing en elektriciteit.

7) Krachtmeting
Meetresultaten kunnen in een computer opgenomen/verwerkt worden.

8) Verplaatsing meten
Meetresultaten kunnen mogelijk (?) in een computer opgenomen/verwerkt worden. Voor het bereik (10mm) een dure oplossing.

Kesselring methode

Met de bovengenoemde uitwerking van de functievervullers in gedachten heb ik de Kesselring methode toegepast. Hierbij heb ik puntenwaardering gegeven (1=slecht tot 5=goed) gecombineerd met een weegfactor (mate van importantie 1-3). Hierbij heb ik onderscheid gemaakt tussen functionele (tabel 2) en fabricage voorwaarden (tabel 3).

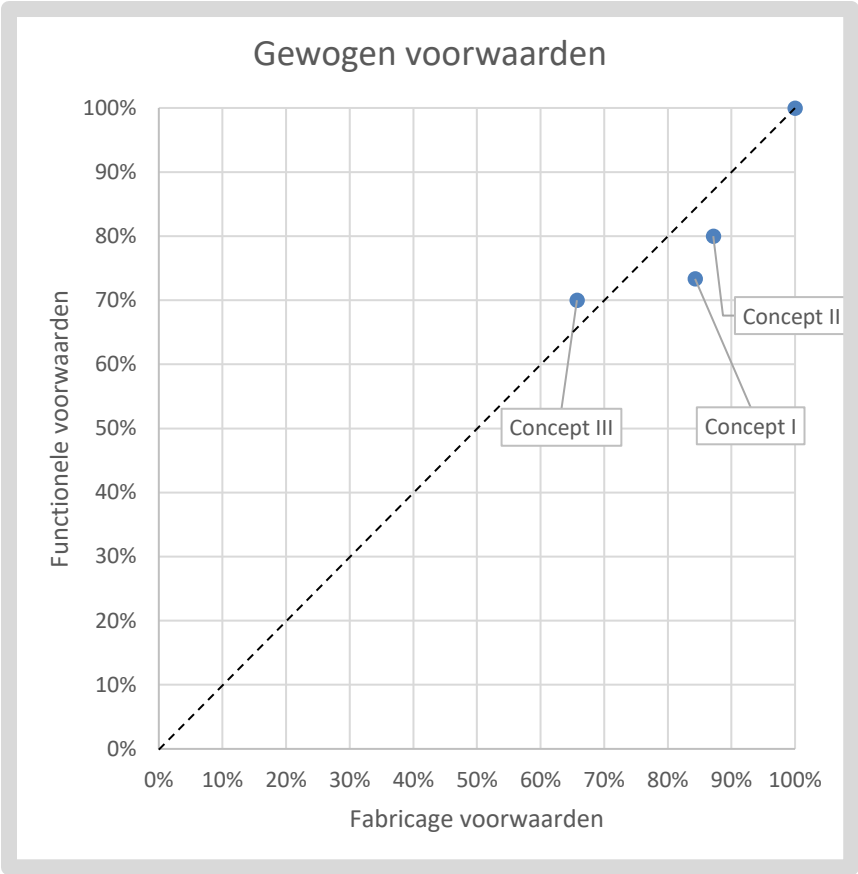
Functionele voorwaarden	weegfactor (1-3)	concept I		concept II		concept III		ideaal (maximaal)
		punten	incl. weging	punten	incl. weging	punten	incl. weging	
universeel	3	5	15	5	15	5	15	15
randapparatuur	2	5	10	5	10	2	4	10
gebruikersgemak	3	4	12	4	12	3	9	15
hergebruik	2	4	8	5	10	3	6	10
verplaatsbaar	2	3	6	4	8	3	6	10
veiligheid	2	4	8	3	6	3	6	10
Percentage van ideaal			84,3%		87,1%		65,7%	100

Tabel 2 Functionele voorwaarden

Fabricage voorwaarden	weegfactor (1-3)	concept I		concept II		concept III		ideaal (maximaal)
		punten	incl. weging	punten	incl. weging	punten	incl. weging	
prijs	1	3	3	2	2	2	2	5
storingsgevoeligheid	2	3	6	4	8	3	6	10
complexiteit	2	4	8	5	10	4	8	10
aantal onderdelen	1	5	5	4	4	5	5	5
Percentage van ideaal			73,3%		80,0%		70,0%	100

Tabel 3 Fabricage voorwaarden

De uitkomsten heb ik tegen elkaar uitgezet in een grafiek (grafiek 1). Hierbij is te zien dat concept II het hoogste totale percentage geeft. Ook liggen de functionele voorwaarden hoger.

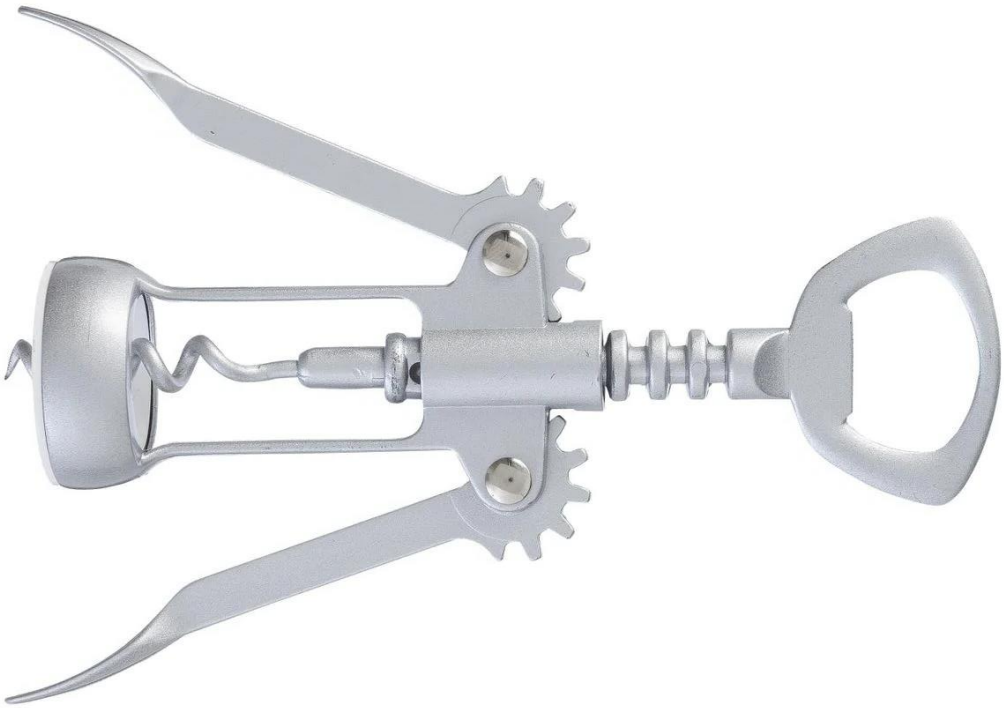


Grafiek 1 Uitkomst percentages van de Kesselring methode

Gekozen concept

Naar aanleiding van bovengenoemde concepten en uitwerkingen (voor- en nadelen) en de Kesselring methode is de keuze op concept II gevallen. Deze wordt dan ook verder uitgewerkt.

Een eerste concept voor het onafhankelijk roteren en transleren langs dezelfde as (afbeelding 15): Een kurkentrekker!

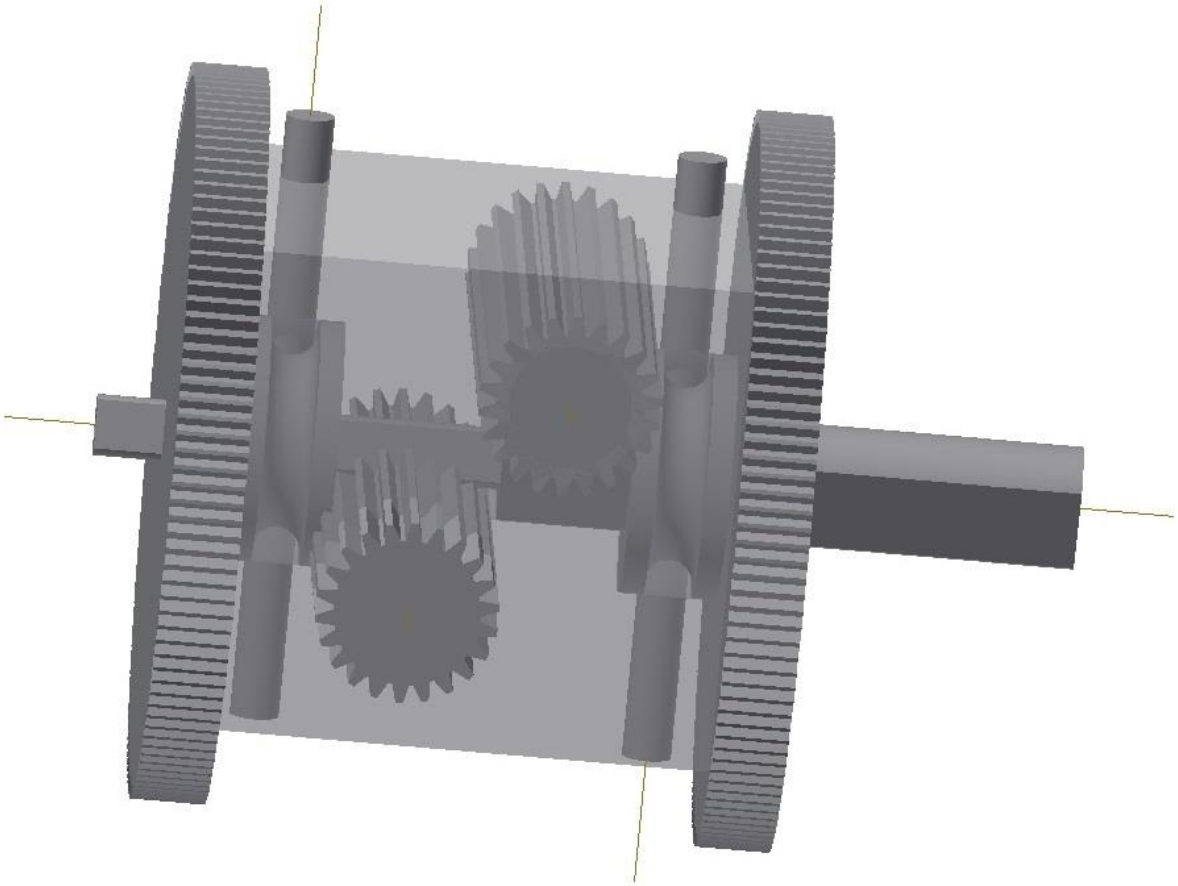


Afbeelding 15 Kurkentrekker
Bron: https://www.hema.nl/dw/image/v2/BBRK_PRD/on/demandware.static/-/Sites-HEMA-master-catalog/default/dwd2c475e3/product/80810021_01_001_01.jpg?sw=1095&sh=1242&sm=fit 27-9-2021

In het kurkentrekker concept is door de directe aandrijving van de hevels de lengte-translatie beperkt. Door vergroting van de tandwielen is deze translatie groter te maken maar daardoor neemt de kracht op de tanden toe.
De rotatie om de lengte-as is onbeperkt.

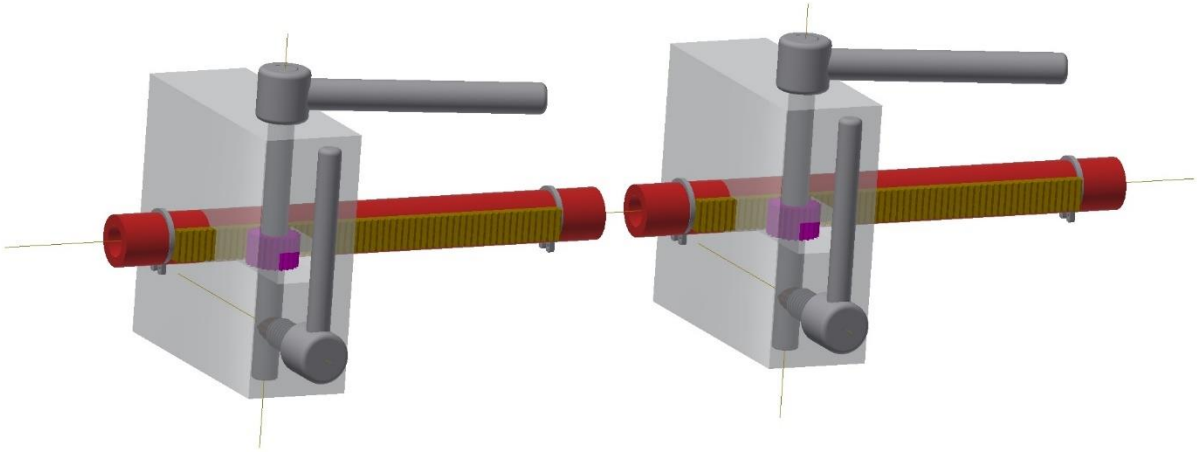
Met meenemen van de voor- en nadelen van het kurkentrekker concept is er een nieuw concept bedacht.
Een element met twee in elkaar schuivende assen, vormgesloten translerend in 2 grote tandwielen (afbeelding 16). De assen zijn beide voorzien van tanden (heugels) en worden aangedreven door de kleine tandwielen voor translatie. De grote tandwielen verzorgen de mogelijkheid tot roteren. De grote tandwielen worden vormgesloten geborgd door twee pennen.
Alle rotaties en translatie in één element gecombineerd maar nog zonder blokkeer mogelijkheden.

Ook hier geldt weer een relatief klein bereik van translatie. Rotatie is hier eveneens weer onbeperkt.



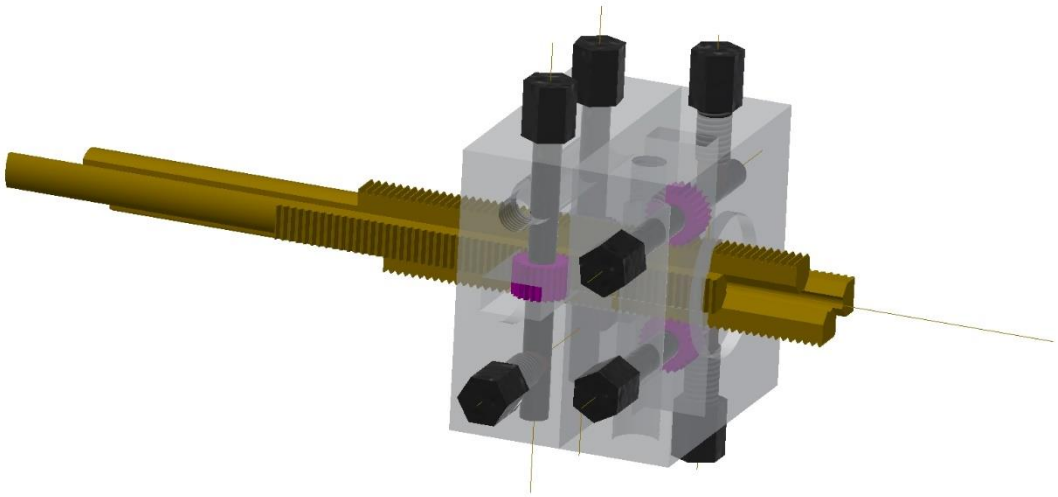
Afbeelding 16 Translaties en rotaties in één element

Door het opsplitsen van bovenstaand concept ontstaan er twee elementen. Dit vergemakkelijkt de bediening en geeft meer ruimte voor de blokkeer mogelijkheden.
Gescheiden versie met in elk element een translatie en rotatie met blokkering van de translatie door het vastzetten van de as met tandwiel.
Door twee van deze elementen in serie te schakelen zijn de gewenste translaties en rotaties te verwezenlijken.



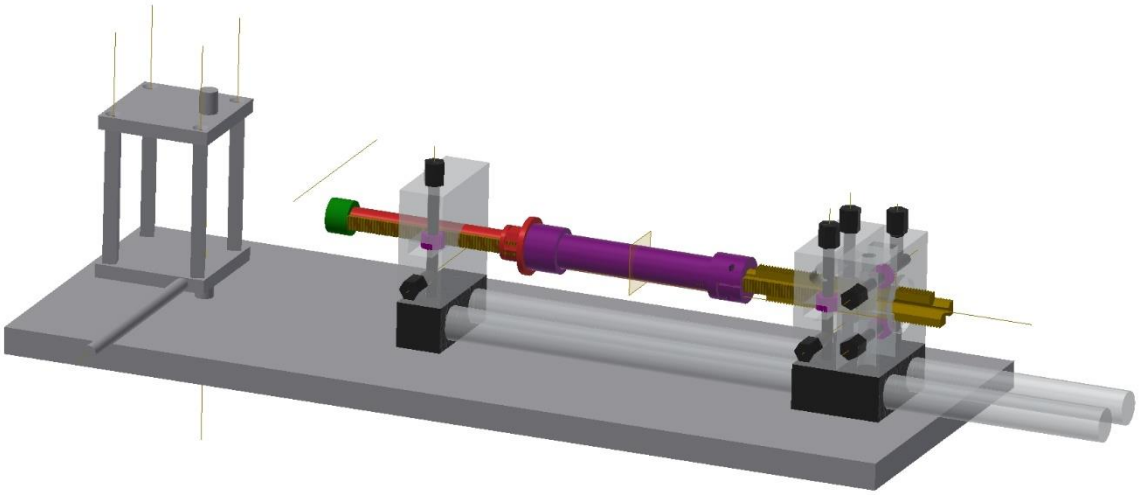
Afbeelding 17 Twee elementen in serie

Doordat de vele hevels elkaar mogelijk in de weg zitten (afbeelding 17) zijn deze vervangen door een buitenzeskantkop (een sleutel wordt bijgeleverd) voor de besturing (afbeelding 18).
In afbeelding 18 is de gesegmenteerde versie van een element afgebeeld. Het is eigenlijk een samenvoeging van twee elementen met een 90 hoekverdraaiing om de lengte-as (X-as).
De segmenten kunnen afzonderlijk getransleerd en geblokkeerd worden.

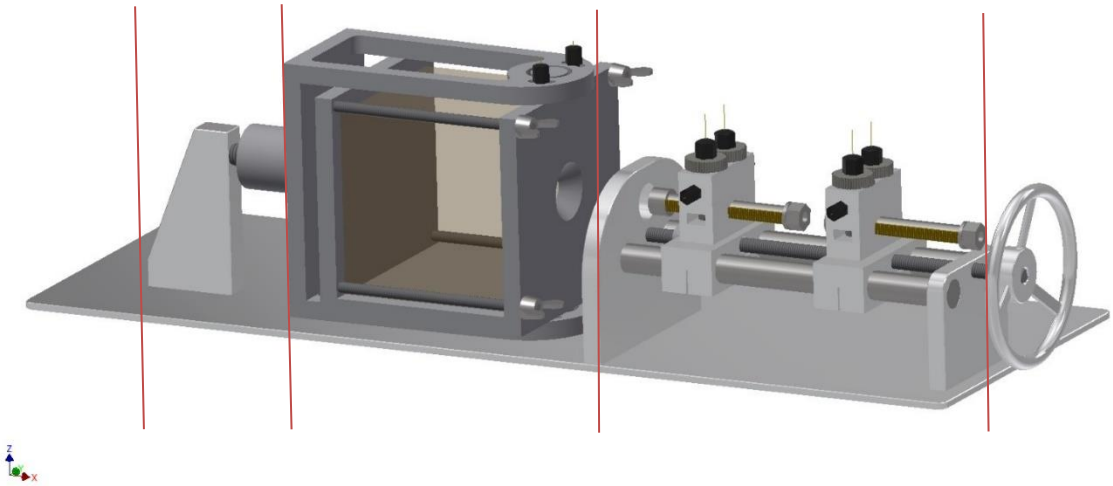


Afbeelding 18 Gesegmenteerde versie van een element

In de opstelling (afbeelding 19) kunnen de elementen nu over twee geleidingsassen verschoven worden. Links in de afbeelding is een eerste idee van de wervelopspanning te zien.



Afbeelding 19 Elementen in opstelling



Afbeelding 20 Complete opstelling

De complete opstelling bestaat (van links naar rechts) nu uit:

- Steun met krachtsensor.
- C-vorm met daarin draaibaar opgehangen de wervelopspanning.
- Opstelling met de twee geleide assen met daarop de twee elementen.
- Tevens een leispindel met handwiel waarmee beide elementen over de geleide assen kunnen worden verplaatst.

Element 1
Het eerste element (linker) is bedoeld voor het aanbrengen van het bitje.

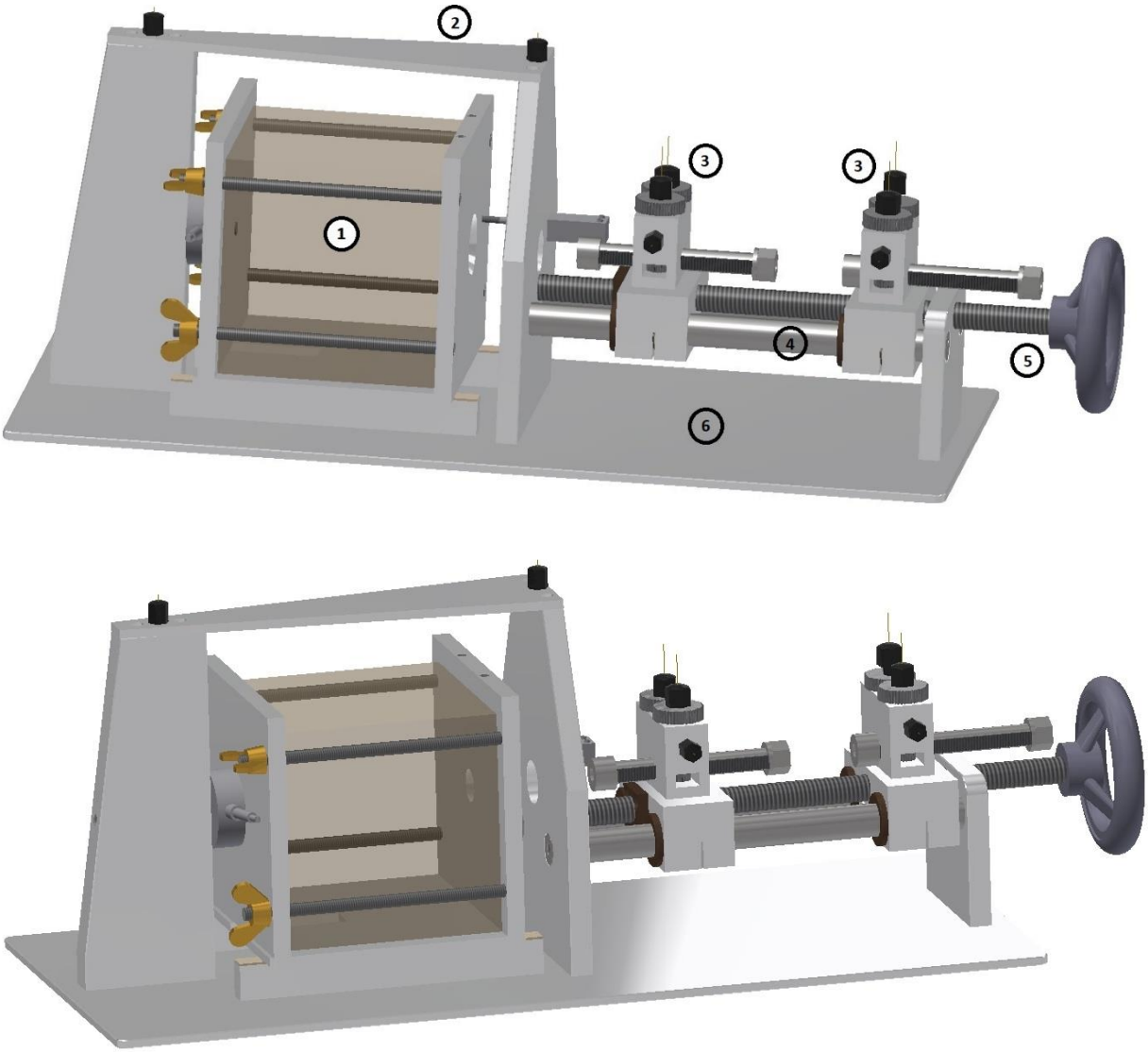
Element 2
Het tweede element (rechter) is bedoeld voor de besturing/activering van het bitje.

Element 3
Het derde element (afbeelding 18) is ook bedoeld voor de besturing/activering van de schroef/bitje, net als element 2, maar verschilt in werking. Dit derde element is ter uitwisseling bedoeld van element 2.

De C-vorm is bedoeld om het mogelijk te maken in de toekomst ook een van richting variërende kracht (toggle) vanuit de rotatie om de z-as te initiëren. Denk hierbij aan de kracht die op de pedicle-schroeven komt te staan als de stangen rechtgetrokken worden bij de behandeling van Scoliose (afbeelding 8).

In overleg met de opdrachtgever is besloten om in eerste instantie de C-vorm en het gesegmenteerde element 3 achterwege te laten. De opstelling is wel voorbereid voor deze opties.

Het ontwerp



Afbeelding 21 Ontwerp in twee aanzichten

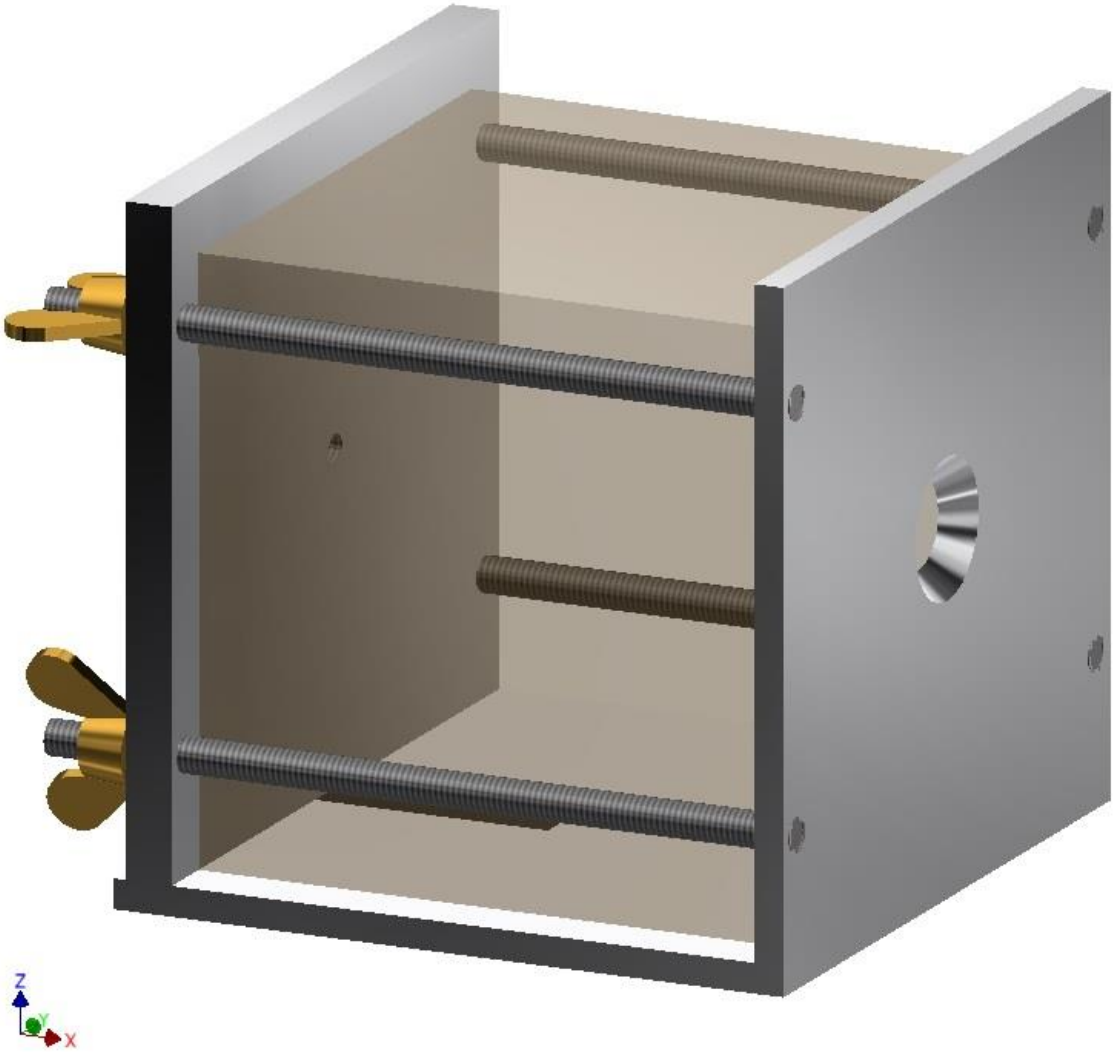
Het ontwerp is op te delen in de volgende onderdelen (afbeelding 21):

1) Wervelopspanning
2) Brug
3) Elementen (1 en 2)
4) Lineaire geleiding
5) Leispindel met handwiel
6) Basisplaat

De massa van het de opstelling (zonder wervel-ingot) ligt iets boven de 6 kilogram. Hierdoor voldoet het ontwerp aan de wens van maximaal 12 kilogram.
Met een afmeting van 430x200x180 mm (lxbxh) voldoet het niet aan de wens van 300x300x300 mm maar is in overleg goed gekeurd. De gewenste afmeting was dan ook puur een indicatie.

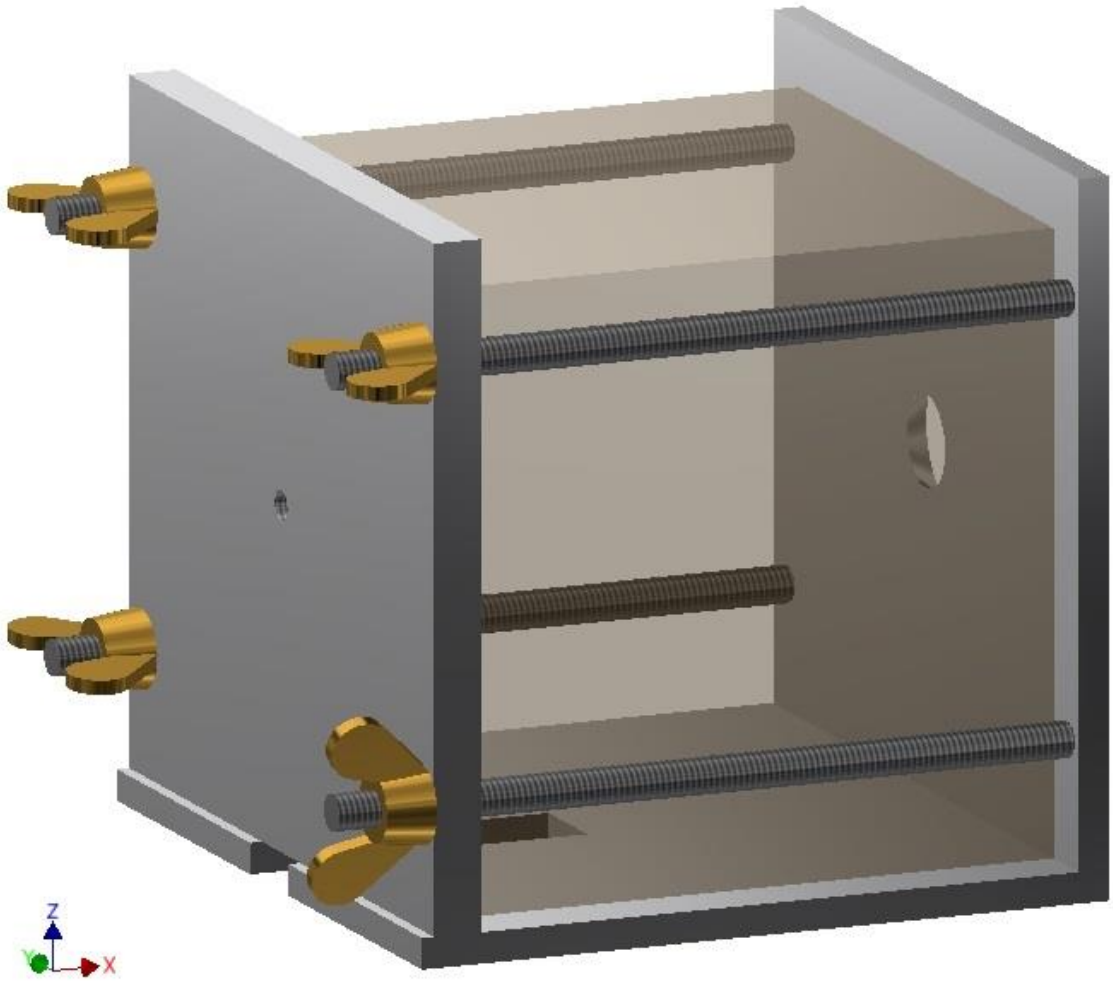
1) Wervelopspanning

Voor de wervelopspanning is er gekozen voor een aluminium hoekprofiel gecombineerd met een aluminium achterplaat (afbeelding 22). Met rvs-draadeinden, enerzijds verlijmd in het hoekprofiel, zijn deze met elkaar verbonden. Met vleugelmoeren is dan het wervelingot (transparante blok 100x100x100 mm in afbeelding 22) in te sluiten. Het bitje zal via het gat in de voorplaat bevestigd (en getest) worden.



Afbeelding 22 Wervelopspanning

Aan de achterkant (afbeelding 23) wordt de krachtsensor door middel van het centrische schroefgat gemonteerd.

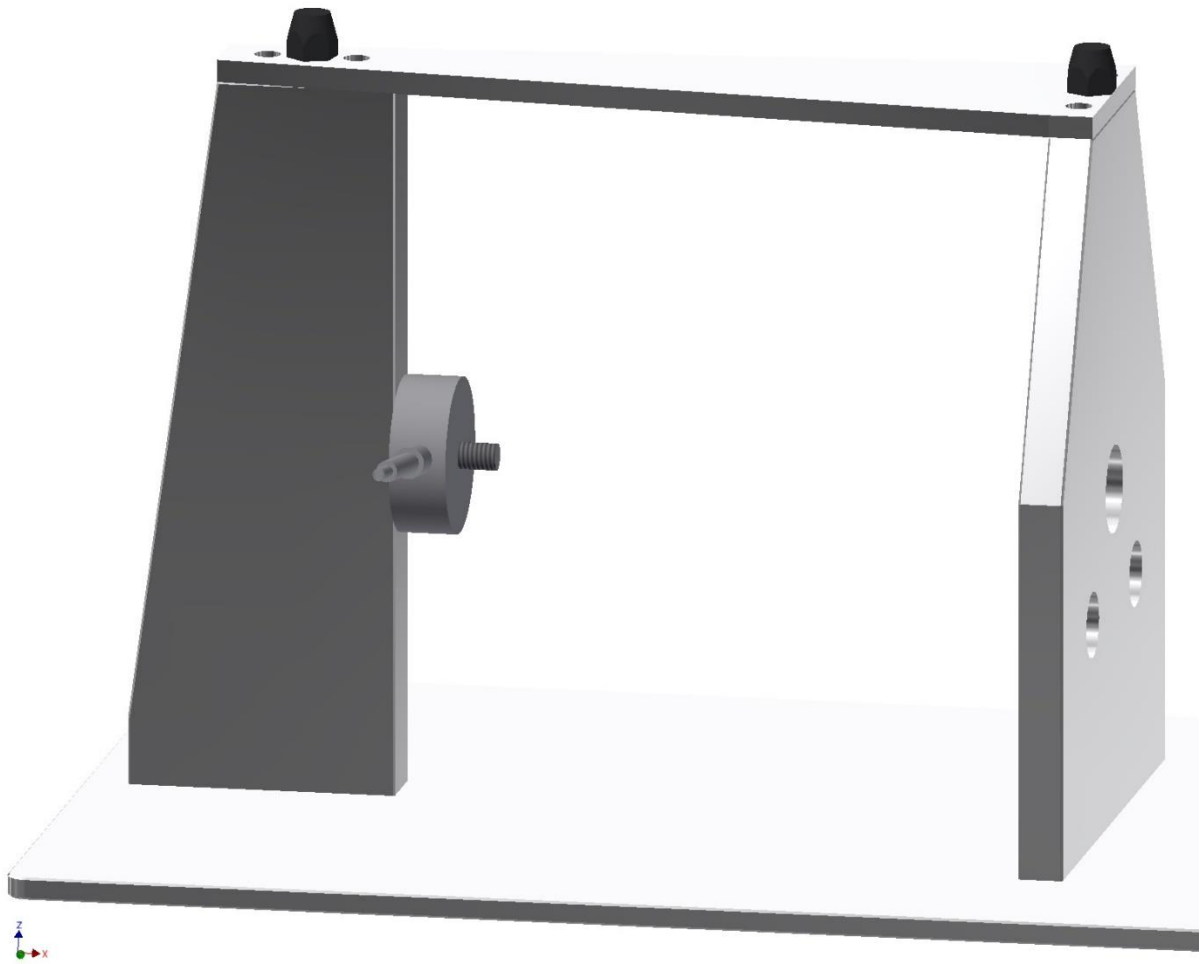


Afbeelding 23 Wervelopspanning

Bij bekrachtiging bij de werveltest zal de kracht via de voorplaat, de draadeinden en de achterplaat overgebracht worden naar de krachtsensor.

2) Brug

Voor de brug is er gekozen voor aluminium platen met elkaar verbonden door paspennen en schroeven (afbeelding 24). De krachtsensor is verbonden met de achterste staande plaat.
Doordat de bovenplaat door middel van paspennen en twee zeskantboutjes gemonteerd zit, is deze eenvoudig te (de)monteren om ruimte te creëren voor het uitwisselen van het wervel-ingot.



Afbeelding 24 Brug

Bij de test krijgen de boven- en onderplaat een drukkracht te verwerken. De schroeven en paspennen worden op afschuiving belast.
Voor een paspen Ø5 mm (RVS A1 (1.4305) met een belasting van 300 N geldt:

$$I_{pen} = \frac{1}{4}\pi c^4 = \frac{1}{4}\pi \cdot 0.0025^4 = 3.068 * 10^{-11} m^4$$
$$Q_{pen} = \bar{y}' A' = \frac{4c}{3\pi}\left(\frac{\pi c^2}{2}\right) = \frac{4 \cdot 0.0025}{3\pi}\left(\frac{\pi \cdot 0.0025^2}{2}\right) = 1.028 * 10^{-7}$$
$$\tau_{pen} = \frac{VQ}{It} = \frac{300 * 1.028 * 10^{-7}}{3.068 * 10^{-11} * 0.005} = 201 Mpa$$

Waarin:
I_{pen} = Traagheidsmoment
c = Straal
Q_{pen} = $\bar{y}' A'$
$\bar{y}'$ = Afstand van het zwaartepunt tot de neutrale lijn
A′ = Oppervlakte boven/onder de breedte van de dwarsdoorsnede
τ_{pen} = Schuifspanning
V = Inwendige dwarskracht
t = Breedte ter plaatse van dwarsdoorsnede (diameter)

De bovenplaat is op het smalste gedeelte 20 mm breed (bij een dikte van 5 mm). Bij het controleren op knik bij de bovenplaat is de kritische belasting en daaruit voortvloeiende drukspanning vele malen groter dan de vloeigrens van het materiaal.

$$I = \frac{b * h\text{^}3}{12} = \frac{20 * 5\text{^}3}{12} = 208{,}3$$

$$P_{kritisch} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 69000000000 \cdot 208{,}3}{165^2} = 5211MN$$

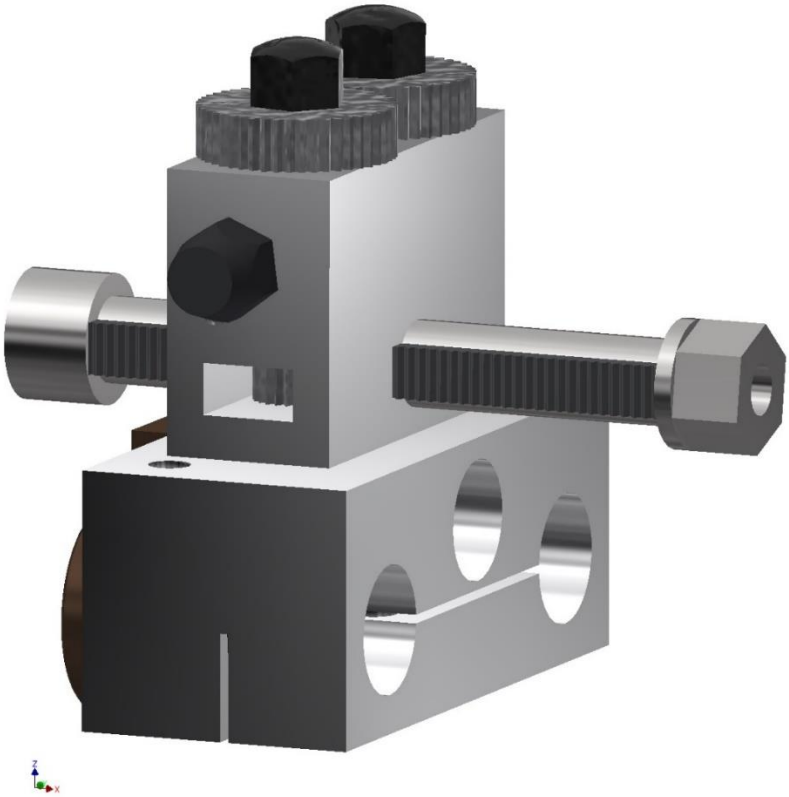
$$\sigma_{kritisch} = \frac{P_{kritisch}}{A} = \frac{5211223628}{100} = 52{,}11MPa$$

Bij een vloeigrens van het aluminium (6082) van 110 MPa en een oppervlakte van 100 mm is een belasting mogelijk van 11kN.

Met een maximale belasting van 300 N zal dit geen enkel probleem zijn voor de bovenplaat (en ook voor de onderplaat).

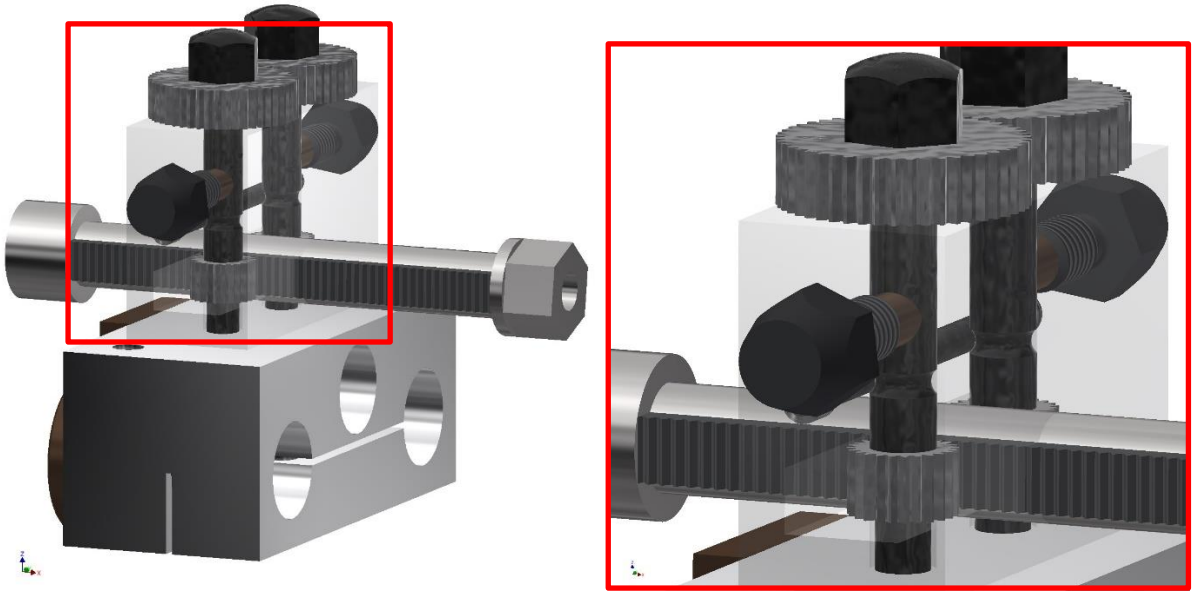
3) Elementen (1 en 2)

Het verschil tussen element 1 (afbeelding 21 links) en element 2 (afbeelding 21 rechts) is dat element 1 de plaatsing van het bitje verzorgt en element 2 de bediening/activatie van het bitje verzorgt. Alleen op element 1 (afbeelding 25) komt uiteindelijk de testkracht te staan.
Voor de fabricage is gekozen ze grotendeels identiek uit te voeren.



Afbeelding 25 Element 1

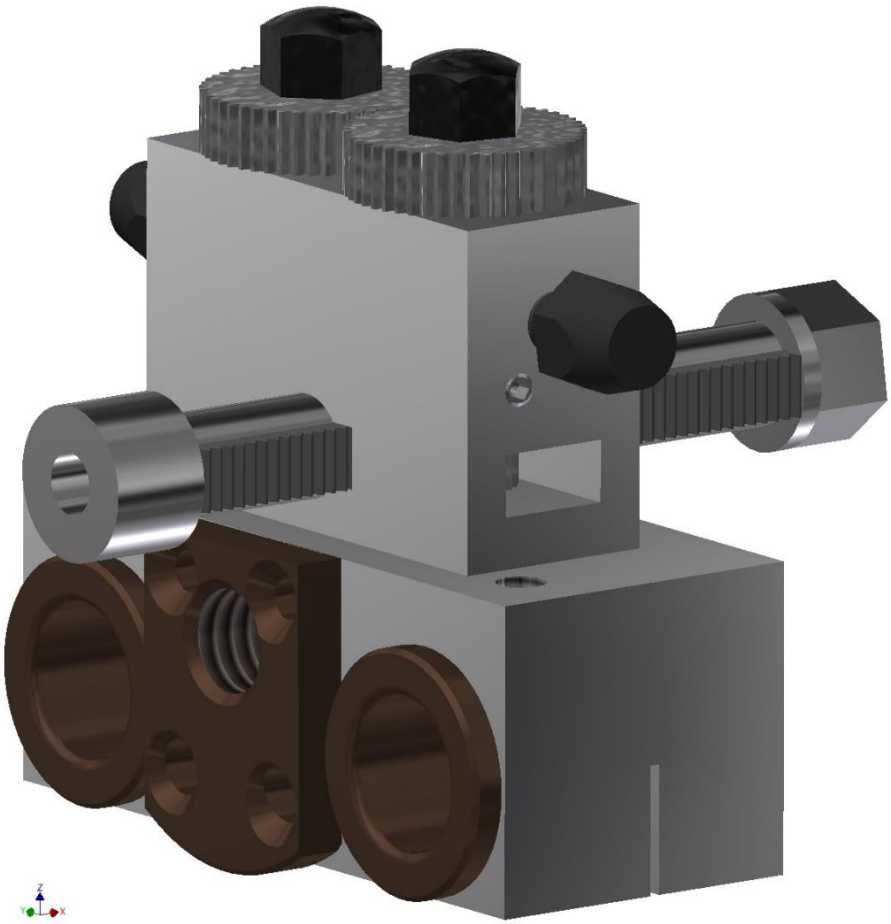
De buis met op het uiteinde een zeskant kan door middel van een steeksleutel geroteerd worden om de x-as.
De translatie van de buis geschiedt door het dubbel uitgevoerde tandwielsysteem die een tandheugel liggend aan de buis aandrijft (afbeelding 26).



Afbeelding 26 Translatiesysteem buis (+detail)

De tandheugel zit niet vast aan de buis maar is vormgesloten opgehangen zowel in de x-as alsook in de rotatie om de x-as, dit door de vormgesloten opening in het blok. De buis kan dus vrij roteren bij translatie.
Door middel van de schroeven (en aandrukblokjes) aan de voor- en achterkant kan het tandwielsysteem geblokkeerd worden. Hiermee wordt de translatie in de x-as dus geblokkeerd.
De rotatie kan door middel van een steeksleutel op de zeskant op het uiteinde van de buis geblokkeerd worden.

In afbeelding 26 detail is net te zien dat de tandwielassen op hun plaats worden gehouden door een pen (vormgesloten). Deze constructie maakt het monteren en demonteren gemakkelijker voor toekomstige modificaties.

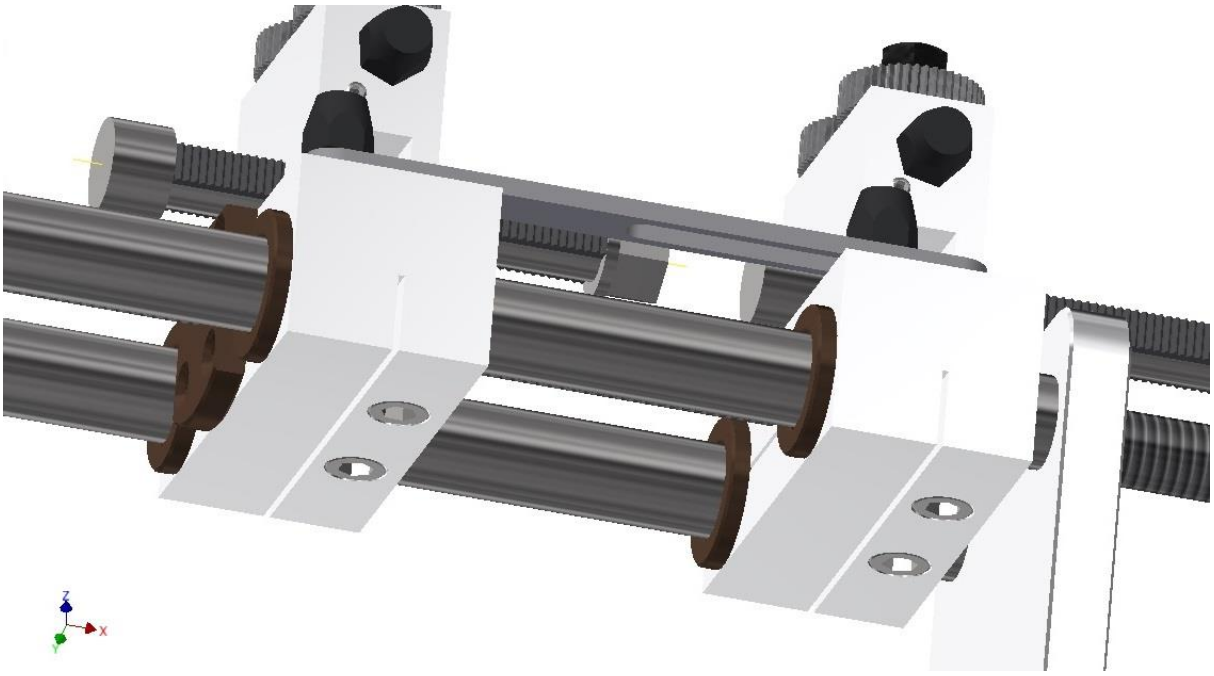


Afbeelding 27 Element 1

Aan element 1 zit ook de leispindelmoer bevestigd. Aan weerskanten van deze moer zijn bronzenbussen geplaatst waarmee het element over de geleide assen kan schuiven.

4) Lineaire geleiding

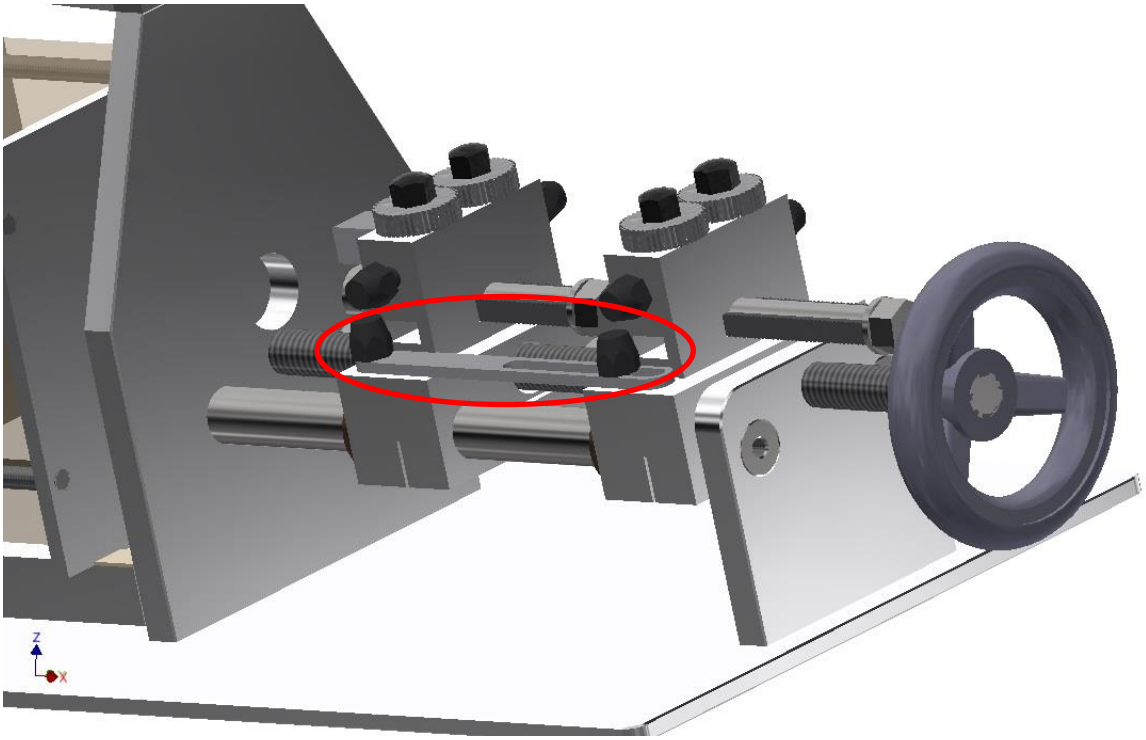
De lineaire geleide assen zijn opgesloten tussen twee platen. De elementen kunnen vrij over de assen bewegen. Met 2 inbus schroeven (aan de onderkant zie afbeelding 28) kunnen de elementen afzonderlijk geblokkeerd worden.



Afbeelding 28 Lineaire geleiding

5) Leispindel met handwiel

Met het handwiel (afbeelding 29) gekoppeld aan de leispindel kan de kracht van 300 N overgebracht worden op het bitje.



Afbeelding 29 Leispindel met handwiel

In afbeelding 29 (rood omcirkeld) is het koppelstuk te zien waarmee de elementen met elkaar gekoppeld kunnen worden.

6) Basisplaat

De basisplaat is van aluminium en geeft plaats aan de diverse (rechtop) staande platen. Deze platen zijn door middel van paspennen en schroeven met elkaar verbonden.

De ruimte gereserveerd voor de C-vorm (afbeelding 20) wordt opgevuld met twee onderleggers bedekt met teflon om de wervel-ingot in lijn te houden met de krachtsensor.

Conclusie

Met de opdracht voor het ontwerpen van een universeel botverankering testopstelling zijn de benodigde stappen doorlopen. Dit om tot een onderbouwde keuze te komen van oplossingen en van daaruit een ontwerp te genereren.
Met de resultaten van het onderzoek meegenomen in het uiteindelijke ontwerp, voldoet dit aan de gestelde eisen en wensen van de opdrachtgever.

Door ruimte te reserveren voor toekomstige toepassingen is dit een universele testopstelling geworden. Ook zijn elementen uit te wisselen waarmee toekomstige testen realiseerbaar zijn.

Competentieoverzicht

De competenties benodigd voor de opleiding Werktuigbouwkunde (tabel 1) en het te behalen niveau staan hieronder weergegeven.

Competentie	Startniveau	Beoogd eindniveau	Geplande activiteiten
1. Analyseren	2	3	Zelfstandig analyseren hoe de werking van het te ontwerpen instrument tot stand kan komen met in acht neming van het PvE. Mede met de hulp van opgedane kennis van constructies en productiemethoden een passende oplossing vinden.
2.Ontwerpen	2	3	Zelfstandig maken van een ontwerp voor het instrument en uitwerken tot solids waarin aan alle eisen van het PvE voldaan wordt.
3.Realiseren	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
4.Beheren	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
5.Managen	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
6.Adviseren	1	2	Bedrijf adviseren over ontwerp en inleven in de materie achter het instrument (functie van de bitjes en bijbehorende problematiek).
7.Onderzoeken	2	2-3	Zelfstandig resultaten samenvatten, structureren en interpreteren om tot een instrument te komen wat voldoet aan de verwachting.
8.Professionaliseren	2	2-3	In een overleg op constructieve wijze feedback geven/ontvangen op gedrag en inhoud.

Tabel 4 Competenties

Bibliografie

/dubbelwerkende-cilinder-40x25x200-met-bevestiging?utm_source=google-surfaces&utm_medium=organic&gclid=Cj0KCQjwkIGKBhCxARIsAINMioJwi2RyTkGWBUhBDLmrb5rdS9TJzcJcBXN00M3W328qq-nnpXPVIXwaAnDXEALw_wcB. (sd). Opgehaald van https://www.hydrauliek24.nl: https://www.hydrauliek24.nl/dubbelwerkende-cilinder-40x25x200-met-bevestiging?utm_source=google-surfaces&utm_medium=organic&gclid=Cj0KCQjwkIGKBhCxARIsAINMioJwi2RyTkGWBUhBDLmrb5rdS9TJzcJcBXN00M3W328qq-nnpXPVIXwaAnDXEALw_wcB

/prod/flexibele-kracht-en-draaimoment-testers/r01-series. (sd). Opgehaald van https://www.checkline.nl: https://www.checkline.nl/prod/flexibele-kracht-en-draaimoment-testers/r01-series

/products. (sd). Opgehaald van https://uk.misumi-ec.com: https://uk.misumi-ec.com/en/products

/search/Miniature%20Threaded%20In%20Line%20Load%20Cell. (sd). Opgehaald van www.futek.com: https://www.futek.com/search/Miniature%20Threaded%20In%20Line%20Load%20Cell

/sensors/linear-position-sensors/linear-potentiometers/4882/13flp-series-linear-potentiometer/. (sd). Opgehaald van www.althensensors.com: https://www.althensensors.com/sensors/linear-position-sensors/linear-potentiometers/4882/13flp-series-linear-potentiometer/

/steinberg-systems-kraanweegschaal-300-kg-100-g-zwart-10030062?gclid=Cj0KCQjwkIGKBhCxARIsAINMioIeaMvq4fcGB_pVALw2gYT5OQaam38H01QMo7g9G__pu3uJyisPPFYaArNWEALw_wcB. (sd). Opgehaald van www.expondo.nl: https://www.expondo.nl/steinberg-systems-kraanweegschaal-300-kg-100-g-zwart-10030062?gclid=Cj0KCQjwkIGKBhCxARIsAINMioIeaMvq4fcGB_pVALw2gYT5OQaam38H01QMo7g9G__pu3uJyisPPFYaArNWEALw_wcB

/web/mitutoyo/nl_NL/mitutoyo/1303221149312/Digimatic%20Linear%20Gauge%20LGS/$catalogue/mitutoyoData/PR/575-303/index.xhtml. (sd). Opgehaald van shop.mitutoyo.nl: https://shop.mitutoyo.nl/web/mitutoyo/nl_NL/mitutoyo/1303221149312/Digimatic%20Linear%20Gauge%20LGS/$catalogue/mitutoyoData/PR/575-303/index.xhtml

/web/mitutoyo/nl_NL/mitutoyo/AT-103/Linear%20Scale%20AT103/$catalogue/mitutoyoData/PR/539-111-30/index.xhtml. (sd). Opgehaald van shop.mitutoyo.nl: https://shop.mitutoyo.nl/web/mitutoyo/nl_NL/mitutoyo/AT-103/Linear%20Scale%20AT103/$catalogue/mitutoyoData/PR/539-111-30/index.xhtml

693554411352170719. (sd). Opgehaald van nl.pinterest.com: https://nl.pinterest.com/pin/693554411352170719/

article/pii/S1529943008007286. (sd). Opgehaald van sciencedirect.com: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1529943008007286

articles/10.1186/s13018-018-0958-z. (sd). Opgehaald van josr-online.biomedcentral.com: https://josr-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13018-018-0958-z

articles/PMC7034823/. (sd). Opgehaald van ncbi.nlm.nih.gov: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7034823/

hal-02462911/document. (sd). Opgehaald van hal.archives-ouvertes.fr: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02462911/document

https://stock.adobe.com/nl/images/id/60925650?as_campaign=Freepik&as_content=api&as_audience=idp&tduid=361b8ab7b8098fbfcc001bab3072372b&as_channel=affiliate&as_campclass=redirect&as_source=arvato. (sd). Opgehaald van stock.adobe.com: https://stock.adobe.com/nl/images/id/60925650?as_campaign=Freepik&as_content=api&as_audience=idp&tduid=361b8ab7b8098fbfcc001bab3072372b&as_channel=affiliate&as_campclass=redirect&as_source=arvato

https://www.hema.nl/dw/image/v2/BBRK_PRD/on/demandware.static/-/Sites-HEMA-master-catalog/default/dwd2c475e3/product/80810021_01_001_01.jpg?sw=1095&sh=1242&sm=fit. (sd). Opgehaald van www.hema.nl: https://www.hema.nl/dw/image/v2/BBRK_PRD/on/demandware.static/-/Sites-HEMA-

master-
catalog/default/dwd2c475e3/product/80810021_01_001_01.jpg?sw=1095&sh=1242&sm=fit

organisatie. (sd). Opgehaald van tudelft.nl: https://www.tudelft.nl/over-tu-delft/organisatie/

pneumatic-piston-rod-cylinders/9166761/?cm_mmc=NL-PLA-DS3A-_-google-_-PLA_NL_NL_Pneumatics_%26_Hydraulics_Whoop-_-(NL:Whoop!)+Pneumatic+Piston+Rod+Cylinders-_-9166761&matchtype=&aud-828197004210:pla-476194692214&gclid=Cj0KCQ. (sd). Opgehaald van https://nl.rs-online.com: https://nl.rs-online.com/web/p/pneumatic-piston-rod-cylinders/9166761/?cm_mmc=NL-PLA-DS3A-_-google-_-PLA_NL_NL_Pneumatics_%26_Hydraulics_Whoop-_-(NL:Whoop!)+Pneumatic+Piston+Rod+Cylinders-_-9166761&matchtype=&aud-828197004210:pla-476194692214&gclid=Cj0KCQ

RUG01-002367581_2017_0001_AC.pdf. (sd). Opgehaald van libstore.ugent.be: https://libstore.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/367/581/RUG01-002367581_2017_0001_AC.pdf

scoliosis-treatment-fort-wayne/. (sd). Opgehaald van northeastchirocenter.com: https://northeastchirocenter.com/scoliosis-treatment-fort-wayne/

showPdf?pii=S0268-0033%2816%2930148-6. (sd). Opgehaald van clinbiomech.com: https://www.clinbiomech.com/action/showPdf?pii=S0268-0033%2816%2930148-6

stock-illustratie-menselijk-lichaamssystemen. (sd). Opgehaald van nl.dreamstime.com: https://nl.dreamstime.com/stock-illustratie-menselijk-lichaamssystemen-image46947266

surgical-treatment-for-scoliosis. (sd). Opgehaald van orthoinfo.aaos.org: https://orthoinfo.aaos.org/en/treatment/surgical-treatment-for-scoliosis/

Tan, S., Teo, E., & Chua, H. (2004). Quantitative three-dimensional anatomy of cervical, thoracic and lumbar vertebrae of Chinese Singaporeans. *European Spine Journal*, 137-146.

Verdult, E. (1998, 12 15). *https://repository.tudelft.nl/islandora/object/.* Opgehaald van https://repository.tudelft.nl: https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A31d0606c-8f66-422d-a24c-f73b2a4cebe4

wall-murals/die-wirbels%C3%A4ule-B46367543. (sd). Opgehaald van wallsheaven.com: https://wallsheaven.com/wall-murals/die-wirbels%C3%A4ule-B46367543

werckmann-ringsteeksleutel-13-mm-ringsleutel-steeksleutel/9200000075922521/. (sd). Opgehaald van www.bol.com: https://www.bol.com/nl/nl/p/werckmann-ringsteeksleutel-13-mm-ringsleutel-steeksleutel/9200000075922521/

Bijlagen

Bijlage I

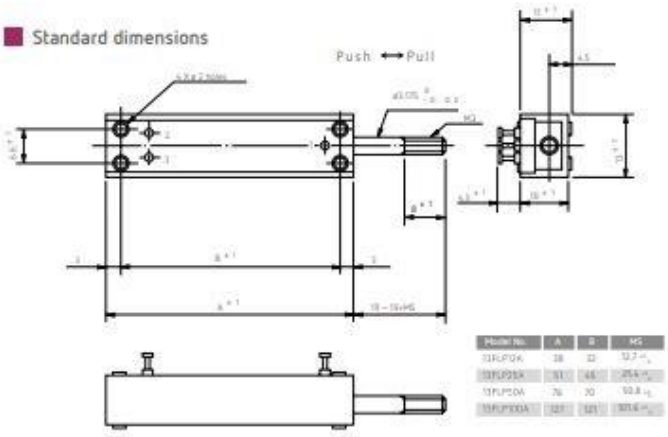
Datasheet van de te gebruiken potentiometer

Linear potentiometer 13FLP
Low cost item (conductive plastic) With front extended shaft

ALTHEN SENSORS & CONTROLS

mm **13FLP**

Standard dimensions



Model 13FLP25A

Model 13FLP100A

Standard Model Nos.

13FLP12A	stroke	12mm
13FLP25A	stroke	25mm
13FLP50A	stroke	50mm
13FLP100A	stroke	100mm

General Specifications

Model No.		13FLP12A	13FLP25A	13FLP50A	13FLP100A
Standard Resistance Values		500,1k,2k,5k,10k (Ω)	500,1k,2k,5k,10k (Ω)	1k,2k,5k,10k,20k (Ω)	1k,2k,5k,10k,20k (Ω)
Total Resistance Tolerance		±20% (K)			
Independent Linearity Tolerance	Standard Class	±2.0%	±1.5%	±1.0%	±0.7%
	Precision Class	±1.0%	±0.7%	±0.5%	±0.3%
Resolution		Essentially Infinite			
Output Smoothness		Within 0.1% against input voltage			
Contact Resistance Variation		Within 2% C.R.V.			
Power Rating		0.2W	0.4W	0.7W	1.2W
Electrical Stroke		12.7±0.5mm	25.4±0.5mm	50.8±0.5mm	101.6±0.5mm
Mechanical Stroke (MS)		12.7 $^{+1}_{-0}$ mm	25.4 $^{+1}_{-0}$ mm	50.8 $^{+1}_{-0}$ mm	101.6 $^{+1}_{-0}$ mm
Insulation Resistance		Over 1,000M Ω at 500V.D.C.			
Dielectric Strength		1 minute at 500 V.A.C.			
Friction		Within 0.5N (50gf)			Within 1.0N (100gf)
Stopper Strength		Approx. 20N (2kgf)			
Resistance Temperature Coefficient		±400p.p.m./°C			
Mass		Approx. 10g	Approx. 15g	Approx. 25g	Approx. 35g

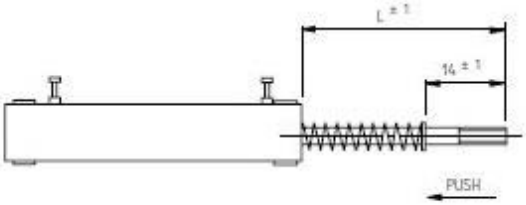
Page 1/2

ALTHEN
SENSORS & CONTROLS

Special Specifications Available

Spring return device mounted on the shaft (friction is referred as within table), special machining on the shaft, wirewound resistive element type (13LP series).

In case of 13FLP series with spring return device, please note the following:
The spring return device is mounted on the outside shaft, of which dimensions are as the table.



Model No.	L	Friction
S13FLP12A	30 ~ 30+MS	3.5N (350gf)
S13FLP25A	35 ~ 35+MS	5N (350gf)
S13FLP50A	40 ~ 40+MS	5N (350gf)
S13FLP100A	50 ~ 50+MS	5N (350gf)

Note: MS means Mechanical Stroke

The information provided herein is to the best of our knowledge true and accurate, it is provided for guidance only. All specifications are subject to change without prior notification.
Althen – Your expert partner in Sensors & Controls | althensensors.com
Althen stands for pioneering measurement and custom sensor solutions. In addition we offer services such as calibration, design & engineering, training and renting of measurement equipment.

Germany/Austria/Switzerland info@althen.de
Benelux sales@althen.nl
France info@althensensors.fr
Sweden info@althensensors.se
USA/Canada info@althensensors.com
Other countries info@althensensors.com

Bijlage II

Datasheet van de te gebruiken loadcell

FUTEK
ADVANCED SENSOR TECHNOLOGY, INC.

MODEL LCM300

Miniature Threaded In Line Load Cell

FEATURES

- Minimal mounting clearance
- 17-4 PH stainless-steel construction
- For use in both tension and compression
- Utilizes metal foil strain gauge technology
- Adheres to RoHS Directive 2015/863/EU
- Accessories and related instruments available

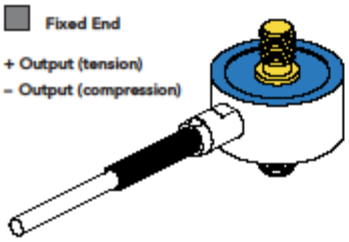
Non-loading surface, do not contact

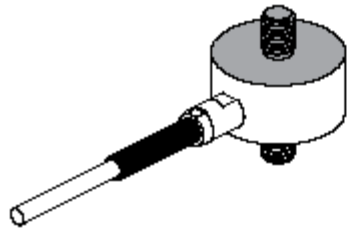
Active End

Fixed End

+ Output (tension)

– Output (compression)



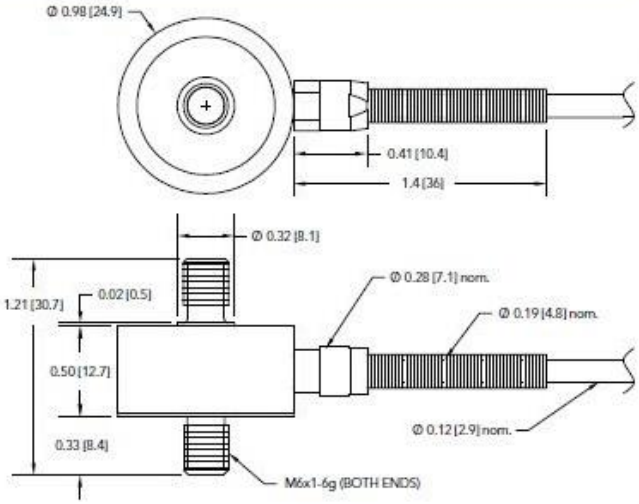


SPECIFICATIONS	
PERFORMANCE	
Nonlinearity	±0.25% of RO
Hysteresis	±0.25% of RO
Nonrepeatability	±0.1% of RO
ELECTRICAL	
Rated Output (RO)	2 mV/V nom
Excitation (VDC or VAC)	15 max
Bridge Resistance	740 Ohm nom
Insulation Resistance	≥500 MOhm @ 50 VDC
Connection	#28 AWG, 4 conductor braided-shielded PVC cable 10 ft (3 m) long
Wiring/Connector Code	WC1
MECHANICAL	
Weight (minus cable)	1.5 oz [42.5 g]
Safe Overload	150% of RO
Deflection	0.001 in [0.03 mm] nom
Material (flexure)	17-4 PH stainless-steel
IP Rating	IP64
TEMPERATURE	
Operating Temperature	–45 to 200°F (–42 to 93°C)
Compensated Temperature	60 to 160°F (15 to 72°C)
Temperature Shift Zero	±0.005% of RO/°F (±0.01 of RO/°C)
Temperature Shift Span	±0.02% of load/°F (±0.036 of load/°C)
CALIBRATION	
Calibration Test Excitation	10 VDC
Calibration (standard)	5-pt Tension
Calibration (available)	Compression
Shunt Calibration Value	100 kOhm
CONFORMITY	
RoHS	EU 2015/863
CE	EN55011; EN61326-1

Sensor Solution Source
Load · Torque · Pressure · Multi-Axis · Calibration · Instruments · Software

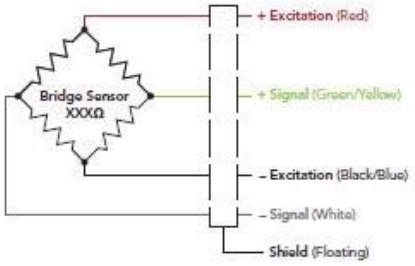
www.futek.com

DIMENSIONS inches [mm]



WIRING CODE (WC1 WITH SHIELD)

RED	+ EXCITATION
BLACK	– EXCITATION
GREEN	+ SIGNAL
WHITE	– SIGNAL
SHIELD	FLOATING



CAPACITIES

ITEM #	lb	N	Natural Frequency (kHz)
FSH03884	50	223	7.5
FSH03885	100	445	10.2
FSH03886	250	1112	16.2
FSH03887	500	2224	22.9
FSH03888	1000	4448	30.1

Drawing Number: FI1059-G

FUTEK reserves the right to modify its design and specifications without notice.
Please visit http://www.futek.com/salesterms for complete terms and conditions.

10 Thomas, Irvine, CA 92618 USA
Tel: (949) 465-0900
Fax: (949) 465-0905
www.futek.com

RoHS ANSI Z540-1 ISO 17025 ISO 9001 ISO 13485 U.S. Manufacturer