

Hoe maak je een zekerapparaat voor solo lead klimmen?

Door: Abel Tim & Ties Wykstra

1-10-2024 tot 24-2-2025

Inhoudsopgaven

Inhoudsopgaven	1
Inleiding	2
Onderzoeksvragen	2
Lead rope solo achtergrondinformatie	2
Hypothesen	3
Benodigde krachten	3
Maximale kracht tijdens een val	3
Menselijke limiet	4
Ontwerpen	5
Eerste ideeën	5
Prototype testen	7
v0	8
v1	9
v2	9
v3	10
v4	11
v5	12
v6	13
v7	14
v8	15
v9	18
Conclusie	18
Reflectie	19
Literatuurverwijzingen	20

Inleiding

Als iemand met een touw aan het klimmen is, is het vaak nodig iemand te hebben die het touw aan de andere kant vasthoudt. Dit wordt gedaan met zekerapparaten die het merendeel van de kracht die tijdens een val op het touw komt te staan opvangen. Sommige doen dit beter dan andere. Er bestaan vijf soorten zekerapparaten (Jaramillo, 2024). De tube, assisted braking zekerapparaten, passive breaking zekerapparaten, mechanical brake assist zekerapparaten en plates/figure acht zekerapparaten. Elk van deze zekerapparaten werkt anders en heeft zijn eigen voor- en nadelen. In dit werkstuk staat beschreven hoe een zekerapparaat dat specifiek voor lead rope solo klimmen is gemaakt.

Onderzoeksvragen

Hoe maak je een zekerapparaat voor lead rope solo klimmen?

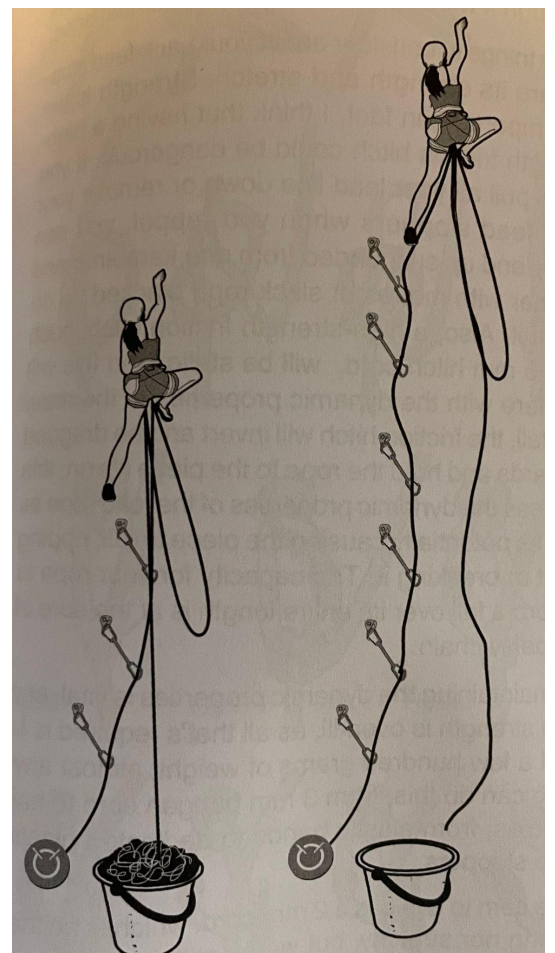
Deelvragen:

Om te onderzoeken hoe een zekerapparaat voor lead rope solo klimmen ontworpen moet worden is dit in drie aparte vragen opgedeeld.

1. Hoe ontwerp je een mechanisme dat automatisch blokkeert?
2. Hoe bepaal je hoeveel kracht er op een zekerapparaat komt te staan en daarmee hoe sterk het apparaat moet zijn?
3. Hoe maak je het zekerapparaat gebruiksvriendelijk, licht en compact?

Lead rope solo achtergrondinformatie

Er zijn veel manieren om een berg te beklimmen, meestal wordt dit met meerdere klimmers gedaan maar lead rope solo is een versie van klimmen waarbij de berg wordt beklommen door een klimmer. Omdat je de taken van meerdere allemaal zelf tegelijk uit moet voeren, wordt een risicovolle sport nog gevaarlijker. Er zijn veel verschillende methodes om dit te doen. In dit werkstuk is gekozen voor een van de minder gevaarlijke manieren omschreven in Andy Kirkpatrick's boek: *Me, Myself & I*. Hierbij ankert de klimmer een uiteinde van het touw beneden vast aan de rots en maakt het zekerapparaat dat automatisch blokkeert als de klimmer valt maar niet remt of blokkeert als de klimmer aan het klimmen is. Door te klimmen wordt de lengte van het touwdeel tussen de klimmer en het anker groter en om de valgrootte te minimaliseren wordt het touw tijdens het klimmen ook nog in de muur via haken vastgemaakt zoals te zien is in de hiernaast staande afbeelding uit het boek *Me*,



Myself & I van Andy Kirkpatrick. Omdat dit een klein maar risicovol deel van de klimsport is, is hier niet heel veel betrouwbaar onderzoek naar gedaan. De meeste onderzoeken zijn klimmers die het overleefd hebben. Een tijd geleden was er een bedrijf dat hiervoor wel zekerapparaten begon te maken voor dit deel van de sport (D. Storrick, n.d.), maar omdat dit deel van de sport zo klein is, is dit bedrijf ermee gestopt. Tegenwoordig gebruikt men zekerapparaten die niet voor dit type klimmen gemaakt zijn, wat als oorzaak heeft dat het niet helemaal zeker is of ze altijd even goed werken en dat deze apparaten niet altijd soepel werken. Neem bijvoorbeeld de GriGri, het bekendste zekerapparaat dat een automatische blokkeerfunctie heeft die blokkeert als er te veel wrijving is (Hard Is Easy, 2023). Doordat er geen zekeraar is om het touw er doorheen te halen kan het zijn dat er te veel wrijving is tijdens het klimmen en het apparaat blokkeert, of dat er juist te weinig wrijving is tijdens een val wat kan gebeuren als het touw er op een bepaalde manier doorheen gaat en het apparaat niet blokkeert wat in dit geval hoogstwaarschijnlijk de dood van de klimmer betekent. De bedrijven die de zeker apparaten maken willen ook niet onderzoeken of dit veilig is of in ieder geval dit niet publiceren omdat ze hiervoor op geen een mogelijke manier aansprakelijk voor willen zijn.

Hypothesen

Wij denken dat om een zekerapparaat te maken dat voldoet aan de drie eisen bepaald in de drie onderzoeksvragen 'automatisch kunnen blokkeren, kracht van het apparaat en gebruiksvriendelijkheid' je ook op deze volgorde van belangrijkheid moet focussen. Omdat je helemaal niks hebt aan een sterk apparaat als dit apparaat niet blokkeert. Als het wel remt maar ook breekt dan val je tenminste met een beetje vermindering in snelheid omdat voordat het apparaat breekt het je valsnelheid omlaag gehaald heeft. En het minst belangrijke deel is de gebruiksvriendelijkheid omdat je niks hebt aan een licht en makkelijk te gebruiken apparaat als je dood gevallen bent. Wij denken dat je een balans moet vinden tussen deze drie eisen, omdat je ook geen apparaat van 10 kilogram wil wat je de hele tijd moet meenemen, maar wel 100000 KN vallen aan kan.

Benodigde krachten

Maximale kracht tijdens een val

Om een zekerapparaat te ontwerpen dat krachtig genoeg is, moet eerst de kracht bekend zijn die op dit apparaat uitgeoefend wordt. Tijdens een val is er sprake van een maximale kracht die op het apparaat uitgeoefend wordt. Dit is de waarde die in dit werkstuk wordt gebruikt om in de simulaties te stoppen om te bepalen of het zekerapparaat niet kapot gaat of te veel vervormt tijdens een val. Er bestaat een formule om de maximale kracht te bepalen tijdens een val. Die is volgens Ulrich Leuthäusser:

$$F_{max} = MG + \sqrt{2MGEaf + M^2G^2}$$

Waarin geldt:

F_{max} = maximale kracht dat op het zekerapparaat komt te staan in newtons

M= massa van de klimmer en apparatuur in kilogram

g = zwaartekrachtversnelling die in dit geval 9.81 m/s^2 is (*Binas Havo/Vwo*, 2013)

E = elasticiteitsmodulus

A = doorsnede touw in meters

f = valfactor: een factor wat volgens Ulrich Leuthäusser met $f = \frac{h}{l}$ berekend kan worden

Voor de formule van de valfactor geldt:

h = valhoogte: de hoeveelheid meters die een persoon valt.

L = Lengte van het touw tussen het anker en de klimmer

Omdat een klimtouw vaak tot 80 meter lang is zijn de maximale lengtes tussen de ankers 40 meter omdat dit touw dubbel moet kunnen gaan voor als er twee klimmers aanwezig zijn. waardoor in dit werkstuk een lengte van het touw tussen het anker en de klimmer van 40 meter is gekozen. En in het ergste scenario waarbij alle haken uit de muur vallen val je vanuit het hoogste punt om het anker heen en val je dus twee keer het touwlengte, wat in dit geval zou resulteren in een 80 meter valhoogte.

Massa = 120 kg

Valfactor: $f = \frac{h}{l} = \frac{80}{40} = 2,0$

$E = 0,24$

$A = 9 \text{ mm} \rightarrow 9 * 10^{-3}$ meter, dit is de diameter van de touwen die in Klimmuur Haarlem hangen, wat een goede representatie is van de rest van de klimwereld.

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (*Binas Havo/Vwo*, 2013)

Door het invullen van deze gegevens in de formule krijg je:

$$\begin{aligned} F_{max} &= MG + \sqrt{2MGEAf + M^2G^2} \\ &= 120 * 9,81 + \sqrt{2 * 120 * 9,81 * 0,24 * 9 * 10^{-3} * 2,0 + 120^2 * 9,81^2} \\ &= 1297,642547 \text{ newton} \\ &= 1,29 \text{ KN} \end{aligned}$$

Dus de maximale hoeveelheid kracht die op een zekerapparaat kan komen tijdens het klimmen met een dynamisch touw is 1,29 KN

Menselijke limiet

Een andere manier om te berekenen wat het zekerapparaat aan moet kunnen is het berekenen wat de mens aankan. Hierbij spreken we van g -krachten. 1 g is gelijk aan $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ (*Binas Havo/Vwo*, 2013). Volgens Chelsea Wood op physicsgurus is een kracht van 2-3 g 's een versnelling waarvan het lichaam niet of nauwelijks last van zou hebben. 4-6 g 's zijn merkbaar en 7-9 g 's kunnen resulteren in het flauwvallen van de klimmer. Maar pas als het opvangen van de val met het touw een schok maakt van 10+ g 's kan het dodelijk zijn. Er is ook een persoon die een g -kracht van hoger dan 40 g 's heeft overleefd (*60 Years Later: Earning the Title "the Fastest Man on Earth,"* 2014) maar die droeg een speciaal pak hiervoor wat klimmers niet hebben. Dus om deze berekening te doen is het niet erg om te

hoog te zitten want het zeker apparaat kan niet te veilig zijn. Maar het is ook niet nodig om het sterk genoeg te maken dat het tegen een val van 40 g's kan. Dus is een gemiddelde van 40 G en 10 G gekozen, 25 G. Met behulp van $F_z = m \cdot g$ is de maximale kracht die een mens aan kan uit te rekenen.

$$F_z = m \cdot g$$

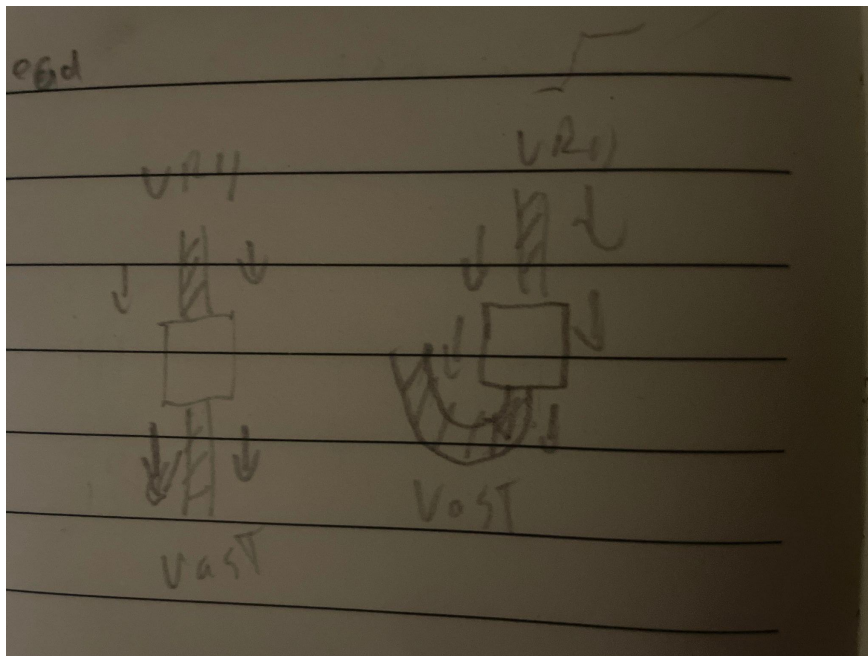
$$F_z = 120 \cdot (9.81 \cdot 25) = 29430 \text{ newton}$$

Dus de twee berekende krachten zijn: een maximum kracht van 1,29 KN op het zekerapparaat en een maximum kracht van 29,4KN van wat de klimmer zou aankunnen. Hierbij is voor de hoogste gekozen omdat er mogelijk door onvoorziene omstandigheden zoals ijs in het touw de eerste berekening ongeldig kan worden en er sprake zijn van een hogere kracht. Was dus 29,4 KN is.

Ontwerpen

Eerste ideeën

Om een ontwerp te maken was eerst een ruw idee van wat mogelijkheden zijn om een zelfblokkerend apparaat te maken. Het verschil in hoe het touw door een zekerapparaat gaat tijdens klimmen en een val is de snelheid waarmee het er doorheen gaat en dat het touw er niet meer recht doorheen gaat zoals je ziet in de onderstaande afbeelding (links klimmende klimmer, rechts vallende klimmer):

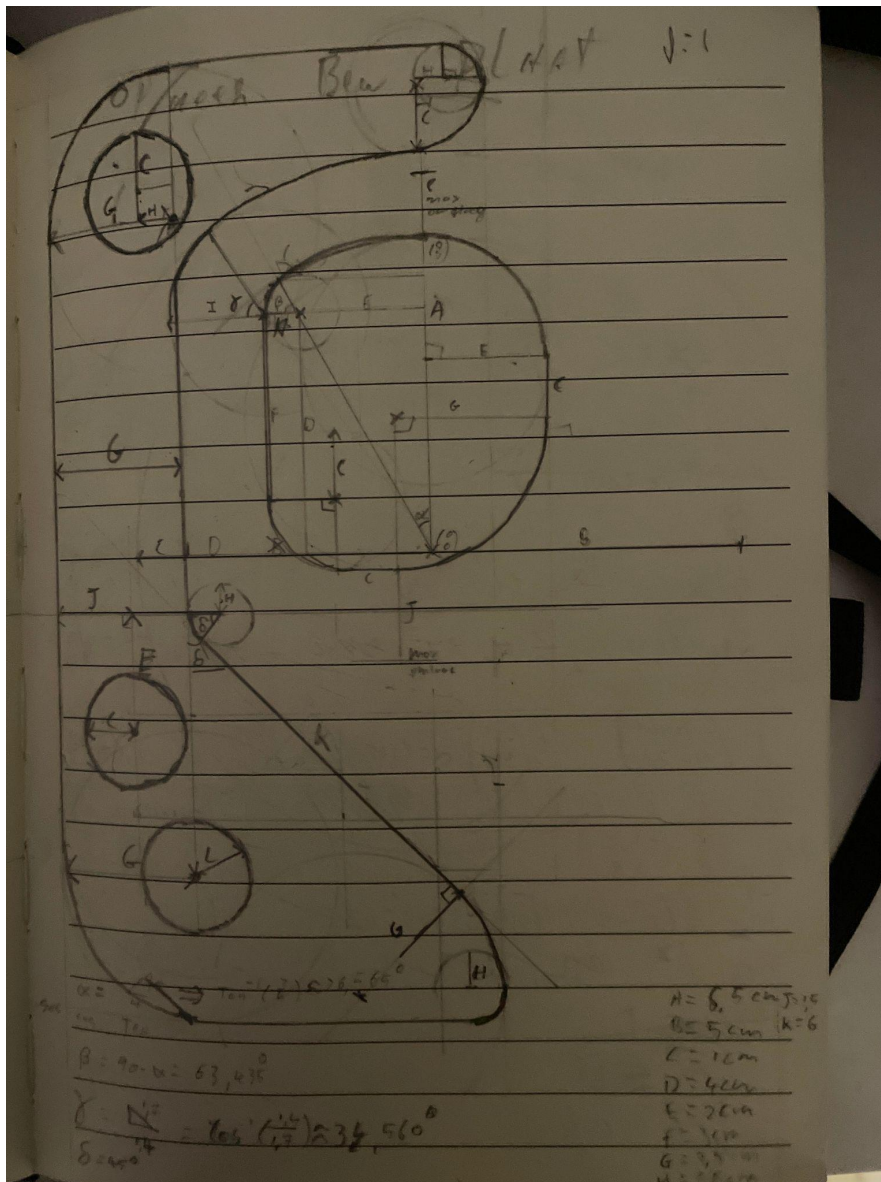


Dit betekent dat er twee mogelijke ontwerpen zijn voor een zekerapparaat.

Een die blokkeert als een bepaalde snelheid bereikt is en een ander die blokkeert als het touw er andersom doorheen getrokken wordt. Om het op snelheid van het touw gebaseerde blokkade ontwerp te maken kan je gebruikmaken van een centrifugale kracht die een staafje naar buiten duwt met een veer die het midden houdt. Als de centrifugale kracht sterker dan

1. *synthetis gylgspanda Blot*
 2. *center Edge from*
 3. *Ux on the center domain*
 4. *Forcing > From*
 5. *Blot*
 6. *down on C*
 7. *Blot*
 8. *Blot*
 9. *Blot*
 10. *Blot*
 11. *Blot*
 12. *Blot*
 13. *Blot*
 14. *Blot*
 15. *Blot*
 16. *Blot*
 17. *Blot*
 18. *Blot*
 19. *Blot*
 20. *Blot*
 21. *Blot*
 22. *Blot*
 23. *Blot*
 24. *Blot*
 25. *Blot*
 26. *Blot*
 27. *Blot*
 28. *Blot*
 29. *Blot*
 30. *Blot*
 31. *Blot*
 32. *Blot*
 33. *Blot*
 34. *Blot*
 35. *Blot*
 36. *Blot*
 37. *Blot*
 38. *Blot*
 39. *Blot*
 40. *Blot*
 41. *Blot*
 42. *Blot*
 43. *Blot*
 44. *Blot*
 45. *Blot*
 46. *Blot*
 47. *Blot*
 48. *Blot*
 49. *Blot*
 50. *Blot*
 51. *Blot*
 52. *Blot*
 53. *Blot*
 54. *Blot*
 55. *Blot*
 56. *Blot*
 57. *Blot*
 58. *Blot*
 59. *Blot*
 60. *Blot*
 61. *Blot*
 62. *Blot*
 63. *Blot*
 64. *Blot*
 65. *Blot*
 66. *Blot*
 67. *Blot*
 68. *Blot*
 69. *Blot*
 70. *Blot*
 71. *Blot*
 72. *Blot*
 73. *Blot*
 74. *Blot*
 75. *Blot*
 76. *Blot*
 77. *Blot*
 78. *Blot*
 79. *Blot*
 80. *Blot*
 81. *Blot*
 82. *Blot*
 83. *Blot*
 84. *Blot*
 85. *Blot*
 86. *Blot*
 87. *Blot*
 88. *Blot*
 89. *Blot*
 90. *Blot*
 91. *Blot*
 92. *Blot*
 93. *Blot*
 94. *Blot*
 95. *Blot*
 96. *Blot*
 97. *Blot*
 98. *Blot*
 99. *Blot*
 100. *Blot*

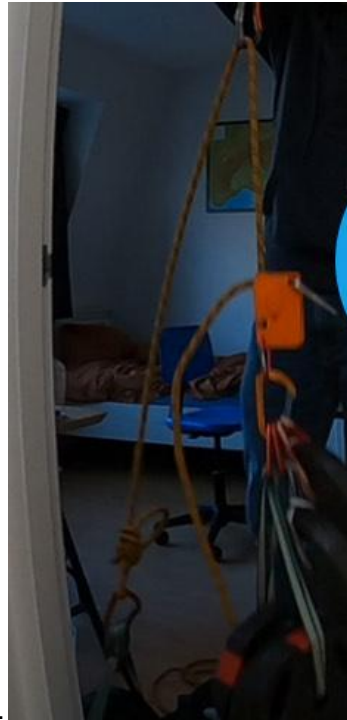
[illegible][illegible]



Prototype testen

Met de hierna volgende prototypen is getest of het touw er doorheen glipt of of het apparaat breekt. Omdat als er meer kracht er op het zekerapparaat komt te staan het touw vaster klemmt, betekent dit dat het niet uitmaakt als het getest wordt bij een minder sterk ontwerp omdat het ook betekent dat het touw er ook niet doorheen gaat bij een grotere kracht. Dit betekent dat het testen op een 3D geprint prototype kan, doordat als het touw hier slipt of als het prototype breekt, betekent dat je weet wat er bij het echte ontwerp gaat gebeuren. Daarom is het getest door een bandlus aan de bovenkant van een deuropening te hangen waaraan een setje hangt. Onderaan de deuropening zijn gewichten neergezet waaraan het touw vast hangt, wat de vaste haken onder in een klimroute moet nabootsen. Aan de onderkant van het zekerapparaat zitten gewichten vastgemaakt die de klimmer moeten

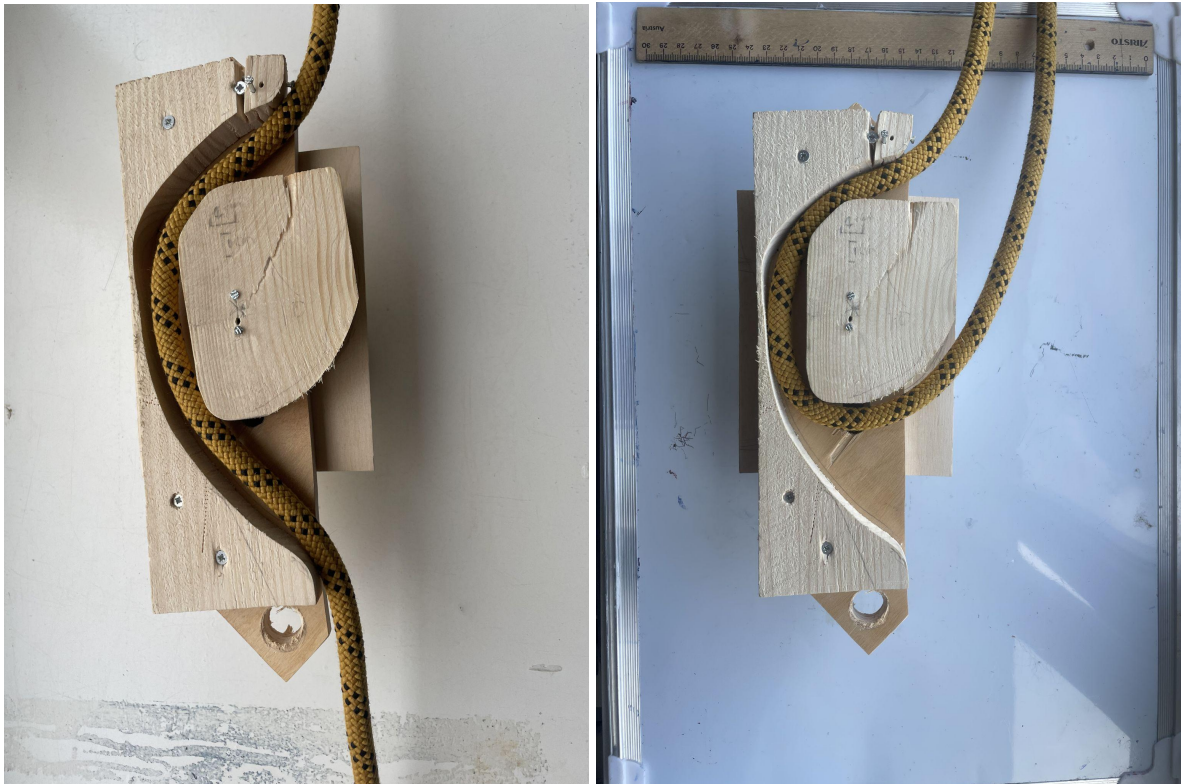
nabootsen. En door het zekerapparaat aan het touw vast te maken en het touw door het



eerste setje te halen is de val na te bootsen.

v0

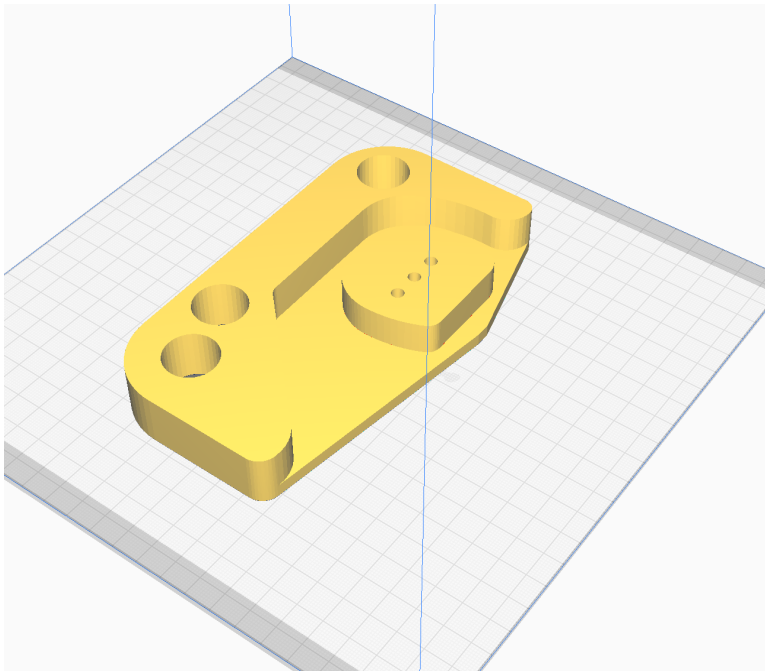
Een eerste houten ontwerp om te testen of het blokkeermechanisme werkt:



Dit apparaat liep stroef en was veel te groot maar bewees wel dat dit mechanisme werkt en er verder ontworpen aan kan worden. Deze vorm is gebaseerd op de schets maar wijkt wel een beetje af omdat dit niet een volledig functionerend ontwerp moest worden.

v1

Deze ontwerpen zijn ontworpen met Ansys spaceclaim, dit 3d ontwerp software was gekozen omdat deze een goede integratie hebben met simulatie platformen van Ansys zodat later de simulatie sneller zonder veel tussenstappen uitgevoerd kan worden. Voor de simulaties was hier dus ook al bepaald om Ansys mechanical te gebruiken omdat dit een goed gedocumenteerd programma is met alle mogelijke soorten simulaties op een platform met een gratis studentenlicentie. De prototypes zijn uitgeprint met een gemodificeerde ender 3 v2. V1 bestond uit twee onderdelen: de cam en het hoofd-lichaam. Hier was het idee om het ontwerp zo veel mogelijk op de schets te laten lijken.

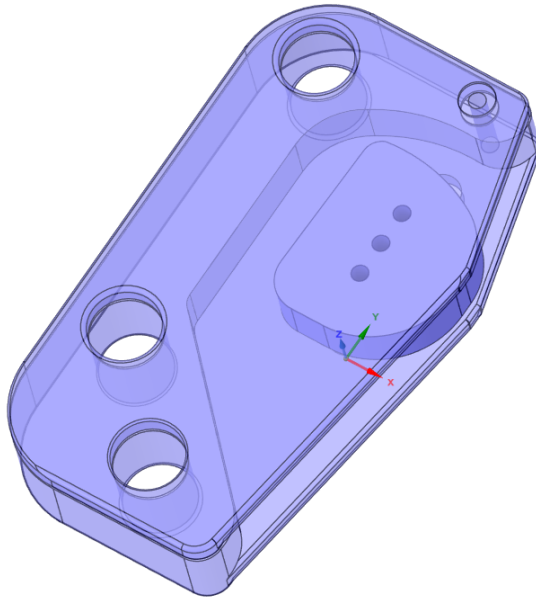


Het enige probleem hierbij was door de de vlakke cam het ontwerp niet het touw goed kan klemmen en het touw er doorheen slipt.

v2

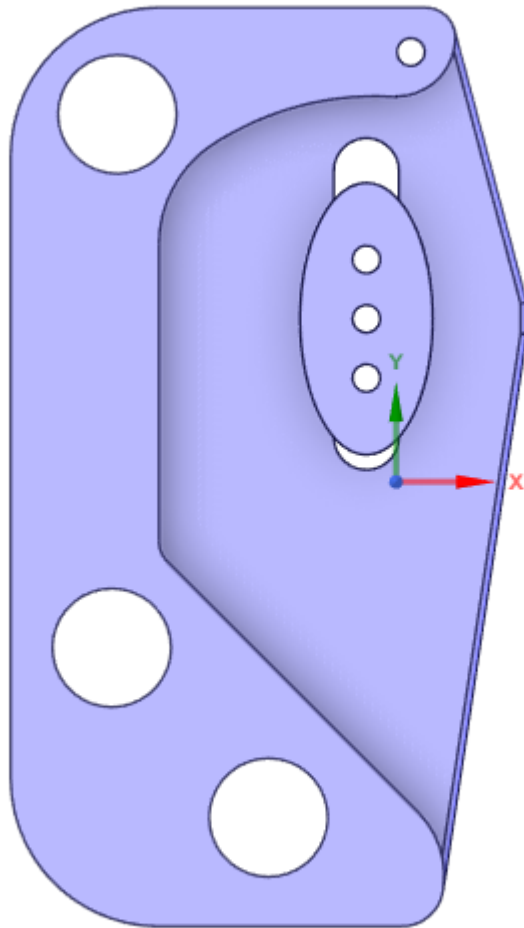
Het tweede ontwerp was al veel geavanceerder met een plaat die kan sluiten zodat het touw er niet uit kan en een puntige cam die meer het touw induwt. Maar ook dit ontwerp houdt het

touw niet genoeg vast waardoor het touw er doorheen slipt.



v3

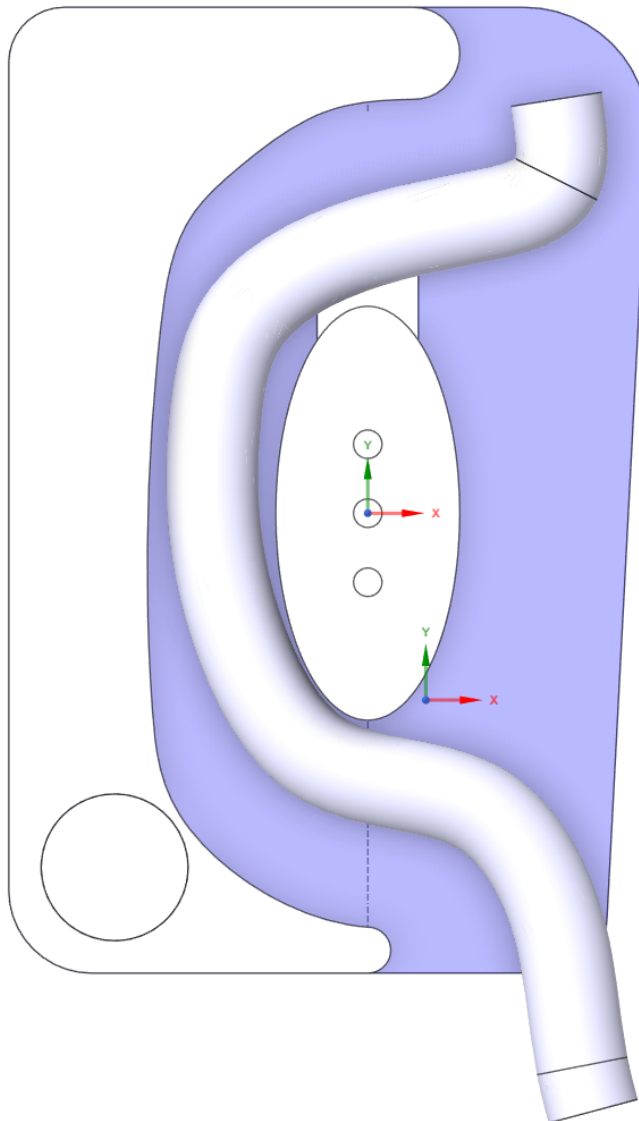
Bij de derde versie is de cam in een ovaalvormige vorm gemaakt zodat het goed het touw kan inklemmen. Bij dit ontwerp was het probleem alleen nog dat het een groot ontwerp is wat niet heel gebruiksvriendelijk is en veel verkleind zou kunnen worden.



v4

Bij V4 is het ontwerp ongeveer twee keer zo klein geworden. Hierdoor is geen ruimte meer voor een tweede onderste gat maar dat maakt niet heel erg uit want als het goed is zit de klimmer ook met een backup vast (Kirkpatrick, 2017) dat als een van je karabiner breekt, je ook nog ergens aan het touw vast zit met een knoop wat wel je val vergroot maar je het wel overleeft. Bij dit ontwerp waren nu de problemen dat de sleuf waardoor de cam beweegt te veel speling heeft waardoor de cam veel kan kantelen. Ook een probleem is dat het onderdeel dat de cam vasthoudt te dun is en door de sleuf gaat als er een beetje kracht op komt te staan. En door de plaatsing van het gat waar de karabiner in terecht komt kantelt het

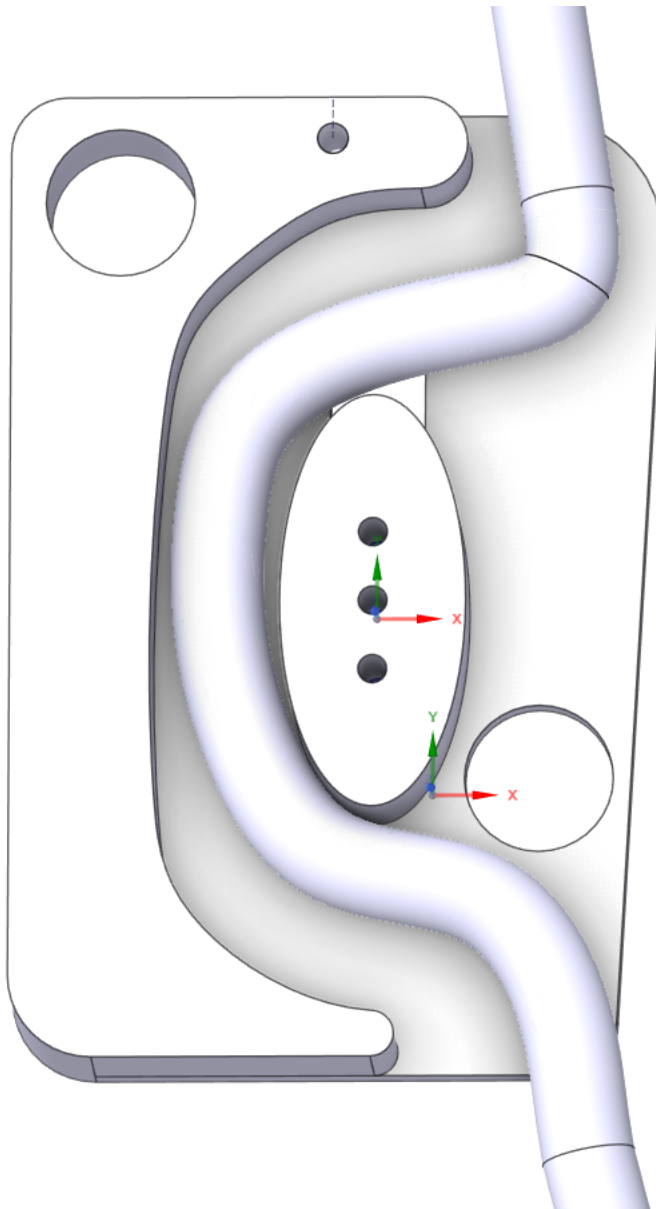
apparaat zodat het touw niet meer de cam omhoog duwt en blokkeren het ontwerp dus niet. Ook is in dit ontwerp gebleken dat de sluitende plaat niet goed genoeg vast zit (voor de afbeelding is die weg gehaald zodat het onderliggende mechanisme te zien is) en als er kracht op het apparaat komt te staan er ook kans is dat de plaat buigt en het touw uit het apparaat gaat.



v5

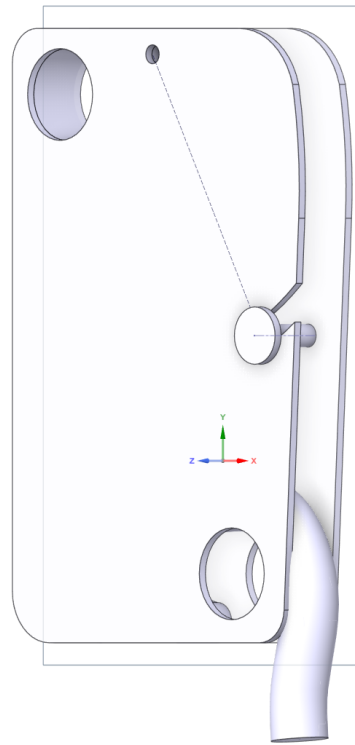
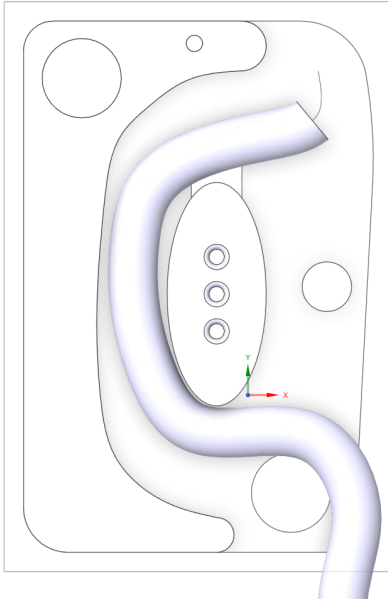
Bij dit ontwerp is het gat waarin je je karabiner hangt rechts van het zekerapparaat geplaatst zodat als je erin valt het zekerapparaat zo kantelt dat het touw zou moeten blokkeren. Wel was het vorige ontwerp handig om te realiseren hoe je moet zakken als je een stuk omlaag wilt omdat je het zeker apparaat dat gewoon kan kantelen, alleen moet wel getest worden of dit ook langzaam kan. Maar bij dit ontwerp kan het touw niet goed omhoog door dat het gat nu zo geplaatst is dat de karabiner het touw blokkeert omhoog te gaan waardoor het

blokkerend mechanisme weer niet werkt.



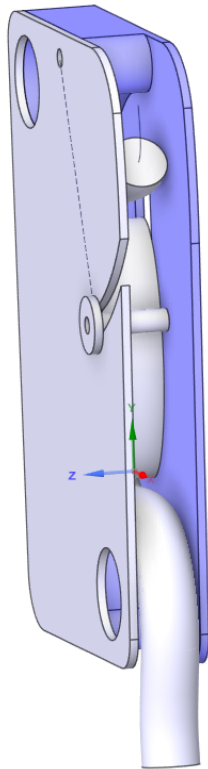
v6

Bij dit ontwerp is het gat dat de karabiner die het apparaat aan de gordel verbindt onder het touw geplaatst waardoor dit apparaat goed blokkeert. Bij dit ontwerp is het rustig zakken getest en het blijkt dat als je het apparaat maar een beetje kantelt dat je langzaam genoeg kan zakken. Ook is bij dit ontwerp een paaltje toegevoegd zodat de sluitende plaat op zijn plaats gehouden wordt als de krachten op komen te staan, wat een probleem was die omschreven werd bij de vierde versie. Het enige probleem was dat het paaltje te fragiel is en tijdens het printen er niet goed uit komt.



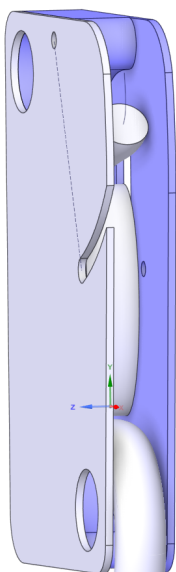
v7

Bij de zevende versie is het paaltje apart geprint zodat deze met een bout moer verbinding er later nog op vastgeschroefd kan worden en het simpeler uit te printen is. Maar omdat de wand van het paaltje nu zo dun is, is dit ontwerp weer mislukt omdat het paaltje tijdens het vallen nu gewoon afbreekt en het touw er alsnog uitvalt.



v8

Bij V8 is het paaltje verwijderd en vervangen met een moer zodat dit simpeler is om uit te printen en meteen steviger is.



Omdat dit ontwerp bij de cam als eerst breekt en voor de rest een comact makkelijk te gebruiken ontwerp is waarin het zakken ook goed te doen is door het apparaat te kantelen, is op dit ontwerp zijn uiteindelijk ook krachtimulaties uitgevoerd voor verschillende materialen uit de Ansys Material Database: (<https://www.ansys.com/academic/students/ansys-student>).

De volgende waardes is daarin te vinden:

Structural Steel(metal):

2,5E+08 Pa Tensile Yield Strength
4,6E+08 Pa Tensile Ultimate Strength
7850 kg*m⁻³

Titanium Alloy(metal):

9,3E+08 Pa Tensile Yield Strength
1,07E+09 Pa Tensile Ultimate Strength
4620 kg*m⁻³

Aluminium Alloy(metal):

2,8E+08 Pa Tensile Yield Strength
3,1E+08 Pa Tensile Ultimate Strength
2770 kg*m⁻³

Stainless Steel(metal):

2,07E+08 Pa Tensile Yield Strength
5,86E+08 Pa Tensile Ultimate Strength
7750 kg*m⁻³

Polyethylene(plastic):

2,5E+07Pa Tensile Yield Strength
3,3E+07Pa Tensile Ultimate Strength
950 kg*m⁻³

Plastic, ABS(plastic):

2,772E+07 Pa Tensile Yield Strength
3,813E+07 Pa Tensile Ultimate Strength
1030 kg*m⁻³

Wood, oak(organic):

~4,5E+07 Pa Tensile Yield Strength
~1,45E+08 Pa Tensile Ultimate Strength
925,7 kg*m⁻³

Voor elk van deze materialen is een aparte simulatie gemaakt en uitgevoerd. In de simulatie was de kracht uitgeoefend op het punt waar het uitgeprinte ontwerp het eerst bleek te breken, bij de cam aan de onderkant. De simulatie bestanden zijn hier te vinden:

<https://github.com/ableTI/pws>. De simulatie is een zogenaamde static structural simulatie in Ansys Mechanical 2024R2 wat een kracht uitoefent op een deel van het ontwerp voor één seconde. De kracht die we bepaald was bij het deel 'Benodigde krachten' was 29,4 KN is voor deze simulaties omhoog is gegaan naar 30 KN om het proces simpeler te maken. Wat niet uit zou maken voor de veiligheid omdat het omhoog is afgerond maakt het het apparaat juist alleen maar veiliger.

CAM V8 test data:

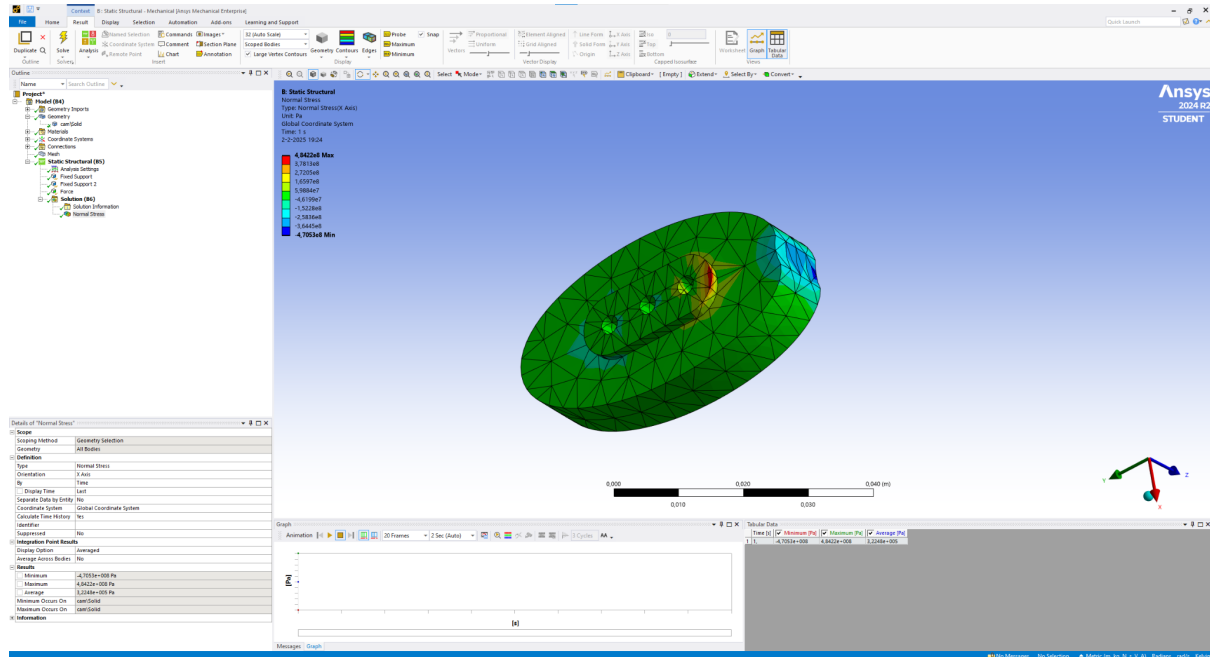
Structural Steel(metal): 5,6575e8 Pa / -2,5163e9 Pa
Titanium Alloy(metal): 5,6506e8 Pa / -2,5053e9 Pa
Aluminium Alloy(metal): 5,6463e8 Pa / -2,5128e9 Pa
Stainless Steel(metal): 5,6352e8 Pa / -2,5155e9 Pa

Polyethylene(plastic): 5,589e8 Pa / -2,4662e9 Pa

Plastic, ABS(plastic): 5,6102e8 Pa / -2,4773e9 Pa

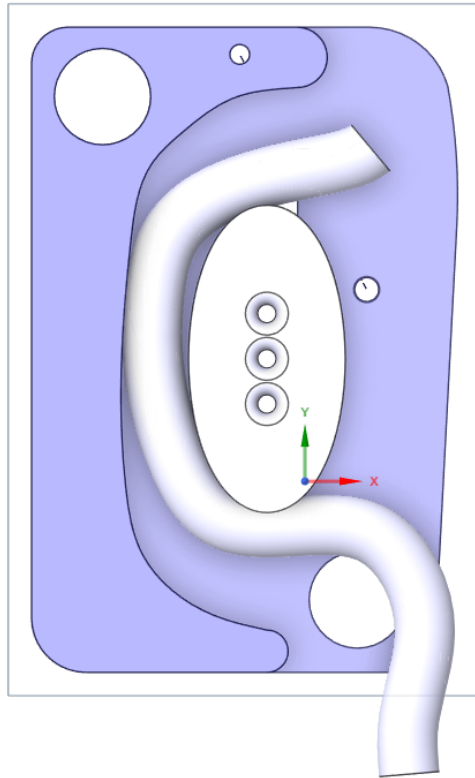
Wood, oak(organic): 5,646e8 Pa / -2,4997e9 Pa

Hieruit blijkt dat dit ontwerp met alle materialen niet sterk genoeg is en zal breken als er een kracht van 30KN op uitgeoefend wordt. Ook blijkt dat het maximale aantal pascal wat op de cam uitgeoefend wordt bij elk materiaal ongeveer gelijk is en dus hoeft er niet elke keer een aparte simulatie aangemaakt en uitgevoerd worden omdat dit een tijd en computerkracht intensieve simulatie is.



v9

Bij dit ontwerp is de cam breder gemaakt zodat het waarschijnlijk bij een hogere kracht zal breken en het gehele ontwerp waarschijnlijk krachtiger wordt.



CAM V9 : $4,8422e8 \text{ Pa}$ / $-4,7053e8 \text{ Pa}$ --> $4,8422 \cdot 10^8 \text{ Pa}$

dus mogelijke materialen:

- Titanium Alloy
- Stainless Steel (buigt wel permanent)
- Structural Steel (buigt ook permanent)

Dus is een legering van titanium de beste optie om het zekerapparaat mee te maken.

Conclusie

Om de onderzoeksvraag 'Hoe maak je een zekerapparaat voor lead rope solo klimmen?' te beantwoorden in drie delen:

1. Hoe ontwerp je een mechanisme dat automatisch blokkeert?

2. Hoe bepaal je hoeveel kracht er op een zekerapparaat komt te staan en daarmee hoe sterk het apparaat moet zijn?
3. Hoe maak je het zekerapparaat gebruiksvriendelijk, licht en compact?

Is het eerst belangrijk om te berekenen hoeveel kracht het apparaat minimaal aan moet kunnen. Hierop kan je het ontwerp baseren waarna gebruiksvriendelijkheid, lichtheid en compactheid een tweede zaak zijn. Als je hierna begint met ontwerpen is het handig om eerst een snel prototype te maken om te testen of het blokkeermechanisme ook in praktijk gaat werken en daarna kan je echte ontwerpen gaan maken. Bij het maken van deze ontwerpen is het belangrijk om het tussendoor te testen in het echt of het überhaupt wel blokkeert. Dit is te testen met zwakkere materialen door te kijken of het apparaat eerst breekt tijdens een gesimuleerde val of dat het apparaat niet blokkeert maar geremd valt wat niet goed zal zijn, want dit betekent dat de blokkeerfunctie niet werkt. Als uiteindelijk een gebruiksvriendelijk en blokkerend ontwerp is gemaakt kan het in simulaties getest worden of er een materiaal is waarbij het de eerder bepaalde kracht aankan. Zo niet zal er iets aangepast moeten worden en zowel is het een functionerend ontwerp. Wat in het geval voor dit werkstuk de bovenstaande versie negen is.

Reflectie

Voor dit werkstuk waren we al bijna meteen begonnen met ideeën bedenken, uitschetsen, berekenen en prototypen maken. Alleen hadden we ondertussen hierbij geen van de bijbehorende teksten bij geschreven, maar die bijna allemaal achteraf gemaakt. Wat uiteindelijk waarschijnlijk meer tijd heeft gekost dan als we het tussendoor gedaan zouden hebben.

Eerder was er door ons een formule samengesteld voor ons natuurkunde project (Tim & Wykstra, 2024). Deze formule is als volgt:

$$MGH_1 = MGH_2 + \int_0^{H_1-H_2} 44181,881817729U^{2,7607482386135} du$$

Maar met het invullen van de waardes en H_1 als enige variabele houden komt het uit op dat voor de waardes waarbij $H_1 < 12,4$ is, $H_2 =$ gelijk aan H_1 wat logisch is omdat dan

$$\int_0^{H_1-H_2} 44181,881817729U^{2,7607482386135} du \text{ wegvalt omdat het van } 0 \text{ tot } 0 \text{ is en er dus}$$

$MGH_1 = MGH_2$ waar dus $H_2 = H_1$ uit volgt. Maar er is ook een tweede oplossing die meestal rond 0,001 verschilt met H_1 wat ook geen realistische rek uit te halen is omdat dit een rek zou zijn van 0,1 centimeter en het zou minstens een halve meter moeten zijn. Voor $12,4 \leq H_1 < 24,8$ is het alleen dat $H_1 = H_2$ en geen tweede oplossing. en vanaf $H_1 \geq 24,8$ is er geen oplossing meer mogelijk wat wel logisch is omdat dit zou betekenen dat de klimmen het touw al uit zit te rekken voordat de klimmen erin zou vallen. En de 12,4 waarbij de waardes wisselen komt van dat het touw waarmee het getest is 12,4 meter lang was. Hoewel voor de $H_1 < 12,4$ zou er wel een oplossing die klopte uit zou moeten komen was dit niet het geval en het is ook geen optie meer om het in praktijk te testen om een nieuwe formule op te stellen omdat het touw waarmee het die formule is opgesteld in de tussentijd kapot gegaan is. En er waren geen touwen te leen voor zulke testen. Wel lijkt in 'Die allgegenwärtige Fangstoßformel für ein Kletterseil' een soortgelijke formule te staan '

$MGH = -MGY_{max} + \int_0^{Y_{max}} F(y)dy'$. Waarbij het lijkt of ze dezelfde formule hebben maar een min voor MGH_2 hebben toegevoegd. Waar naar nog naar gekeken zou kunnen worden. Maar niet gelukt is omdat deze bron te laat is ontdekt. Omdat we eerst de $F_{max} = MG + \sqrt{2MGEAf + M^2G^2}$ in een andere vorm hadden staan, omdat dit uit een andere bron kwam die minder informatie over elasticiteitsmodulus van een klimtouw had waardoor we een slechtere schatting van de E hadden. En later pas naar Ulrich Leuthäusser gezocht hadden.

Literatuurverwijzingen

60 years later: Earning the title “the fastest man on earth.” (2014, December 10). Air Force.

<https://www.af.mil/News/Article-Display/Article/555822/60-years-later-earning-the-title-the-fastest-man-on-earth/>

ableTI. (n.d.). GitHub - ableTI/pws. GitHub. <https://github.com/ableTI/pws>

Avant Climbing Innovations. (n.d.). Top Rope Solo Neck Lanyard - Universal Fit.

<https://avantclimbing.com/products/tr-solo-neck-bungee-universal-fit>

Binas havo/vwo: informatieboek havo/vwo voor het onderwijs in de natuurwetenschappen (6th ed.). (2013). Noordhoff.

D. Storrick, G. (n.d.). Self Belay: Rock Exotica. Verticalmuseum.

<http://www.verticalmuseum.com/VerticalDevicesPage/Belay/SelfBelayPages/SelfBelay0627.php>

Hard Is Easy. (2023, May 31). The Physics of GriGri | When does No-Hands Belay Fail?

[Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=We-nxlgjnw4>

HowNOT2. (2025, January 1). Tommy doesn't use this the way it's intended [Video].

YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=RCCdB05UnxU>

Jaramillo, J. (2024, January 8). The 5 Belay device types explained - WeighMyRack.

WeighMyRack. <https://blog.weighmyrack.com/belay-device-types-explained/>

Kirkpatrick, A. (2017). Me, myself and I: The Dark Arts of Big Wall Soloing. Createspace Independent Publishing Platform.

Leuthäusser, L. (2015). Die allgegenwärtige Fangstoßformel für ein Kletterseil.

https://www.sigmadewe.com/fileadmin/user_upload/pdf-Dateien/Die_allgegenw%C3%A4rtige_Fangsto%C3%9Fformel_f%C3%BCr_ein_Kletterseil.pdf

Tim, A., & Wykstra, T. (n.d.). De rek van een klimtouw.

<https://drive.google.com/file/d/1f3e1tHVz8-SsL39p3CcxKrVnepcF2N1/view?pli=1>

What is a dangerous amount of G-forces? (2023, February 25). Physicsgurus Q&A.

<https://www.physicsgurus.com/77521/what-is-a-dangerous-amount-of-g-forces>