

Model van een sjorring als bouwknoop om houten palen te verbinden

Jakob Vanhulle

Promotor: Prof. Dr. P. Van den Broeck

Masterproef ingediend tot het behalen van de
graad van master of Science in de industriële
wetenschappen: *bouwkunde*

Academiejaar 2017-2018

© Copyright KU Leuven

Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van zowel de promotor(en) als de auteur(s) is overnemen, kopiëren, gebruiken of realiseren van deze uitgave of gedeelten ervan verboden. Voor aanvragen i.v.m. het overnemen en/of gebruik en/of realisatie van gedeelten uit deze publicatie, kan u zich richten tot KU Leuven Technologicampus Gent, Gebroeders De Smetstraat 1, B-9000 Gent, +32 92 65 86 10 of via e-mail iiw.gent@kuleuven.be.

Voorafgaande schriftelijke toestemming van de promotor(en) is eveneens vereist voor het aanwenden van de in deze masterproef beschreven (originele) methoden, producten, schakelingen en programma's voor industrieel of commercieel nut en voor de inzending van deze publicatie ter deelname aan wetenschappelijke prijzen of wedstrijden.

VOORWOORD

Ik wil graag mijn oprechte dank betuigen aan verschillende mensen. Allereerst wil ik mijn ouders bedanken voor de kans die ik kreeg om te mogen verder studeren en het vertrouwen dat ze in me hadden.

Mijn promotor, professor Peter Van den Broeck, wens ik evenzeer te bedanken voor de ondersteuning bij het opstellen van de masterproef. Daarnaast wil ik ook de andere docenten van de opleiding bouwkunde/landmeten, onder hen in het bijzonder Peter Minne, Bram Gezels, Guido Kips en Micheline Bekaert, bedanken, omdat zij me advies gegeven hebben tijdens het opstellen van de proef- en meetopstelling.

Ik mag zeker ook Simon Scharlaken, Niels Van Havermaet en Jasper Vanlerberghe van de Dienst Avontuurlijke Activiteiten (DAA) van Chirojeugd Vlaanderen niet vergeten te bedanken. Zij brachten het idee van de masterproef aan, en ik heb me fantastisch geamuseerd met het uitvoeren van de proeven en de testen voor deze masterproef. Daarnaast hebben zij me ook opbouwende feedback gegeven op tussentijdse teksten en mogelijkheden van interpretatie van resultaten aangebracht.

Via Simon, Niels en Jasper van de DAA en Benjamin Verhegge van KSA Nationaal kon ik eveneens gebruik maken van materiaal voor de proeven en kon ik een miniatuursjorset in bruikleen krijgen.

Mijn medestudenten wens ik zeker ook te bedanken. Met velen van hen heb ik groepswerken of projecten gemaakt waaruit vriendschapsbanden ontstaan zijn die zullen blijven bestaan na het afronden van de opleiding.

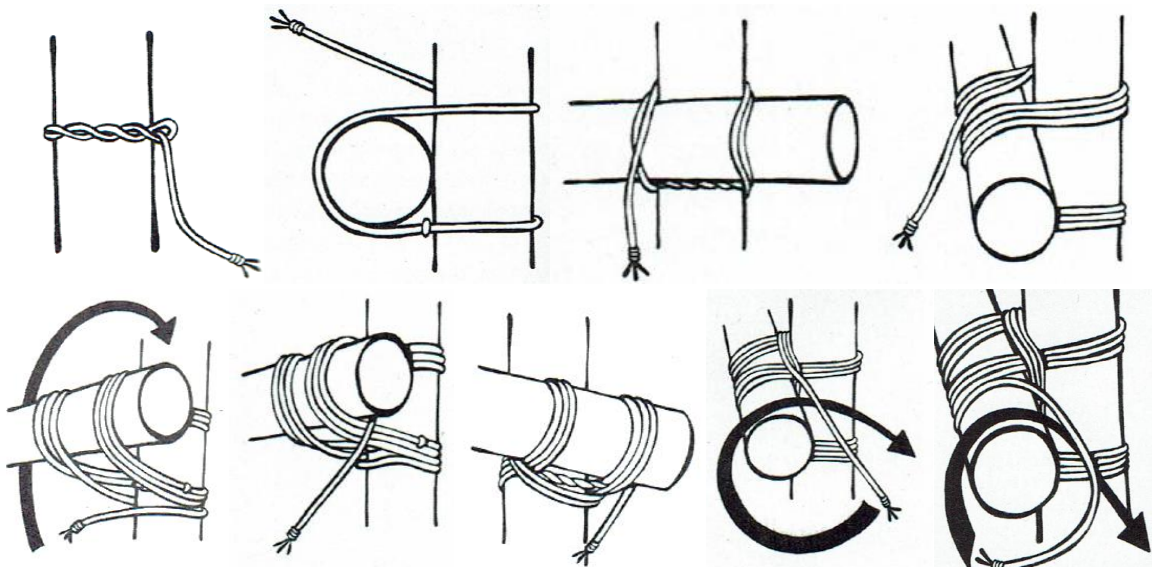
SAMENVATTING

Inleiding

Het sjourren is een bouwtechniek waarbij houten palen door middel van touwen met elkaar verbonden worden. Sjourren, ook soms pionieren genoemd, wordt in Europa het vaakst toegepast door jeugdbewegingen. Op andere plaatsen in de wereld wordt deze bouwtechniek ook gebruikt om stellingen te bouwen.

Het hout dat het vaakst gebruikt wordt bij het sjourren is fijnspar. Deze houten balken worden met elkaar verbonden met polypropyleentouw of sisaltouw. Polypropyleentouw is een synthetisch touw met een hogere breuksterkte dan sisaltouw. Sisaltouw daarentegen bestaat uit natuurlijke vezels en wordt om die reden ook niet hergebruikt. Op langere termijn is polypropyleentouw dus goedkoper dan sisaltouw.

De meest voorkomende sjorring in onze gebieden is de kruissjorring. Hierbij worden twee palen loodrecht op elkaar verbonden. In onderstaande Figuur 10-1 wordt een schets weergegeven van de opbouw van deze sjorring. Er wordt gestart met een timmermanssteek. Een alternatief hiervoor is starten met een mastworp, die tevens de eindknoop zal zijn bij de kruissjorring. Nadat de beginknoop gelegd is op de vaste paal onder de losse paal, wordt het touw rond de palen heen geslagen. Dit zijn de windingen, en elke winding wordt tegen de vorige winding gelegd. Windingen op de vaste paal worden aan de buitenkant van de vorige winding gelegd en windingen op de losse paal worden aan de binnenkant van de vorige winding gelegd. Na het leggen van de windingen worden de woelingen gelegd. Dit zijn touwen die tussen de palen rond de windingen gelegd worden. De spanning op deze touwen houden en deze strak aantrekken is zeer belangrijk. Tot slot wordt de eindknoop op de losse paal gelegd. Dit is steeds een mastworp.



Figuur 10-1 : stapsgewijze opbouw van de kruissjorring (Scouts en Gidsen Vlaanderen vzw, 2009).

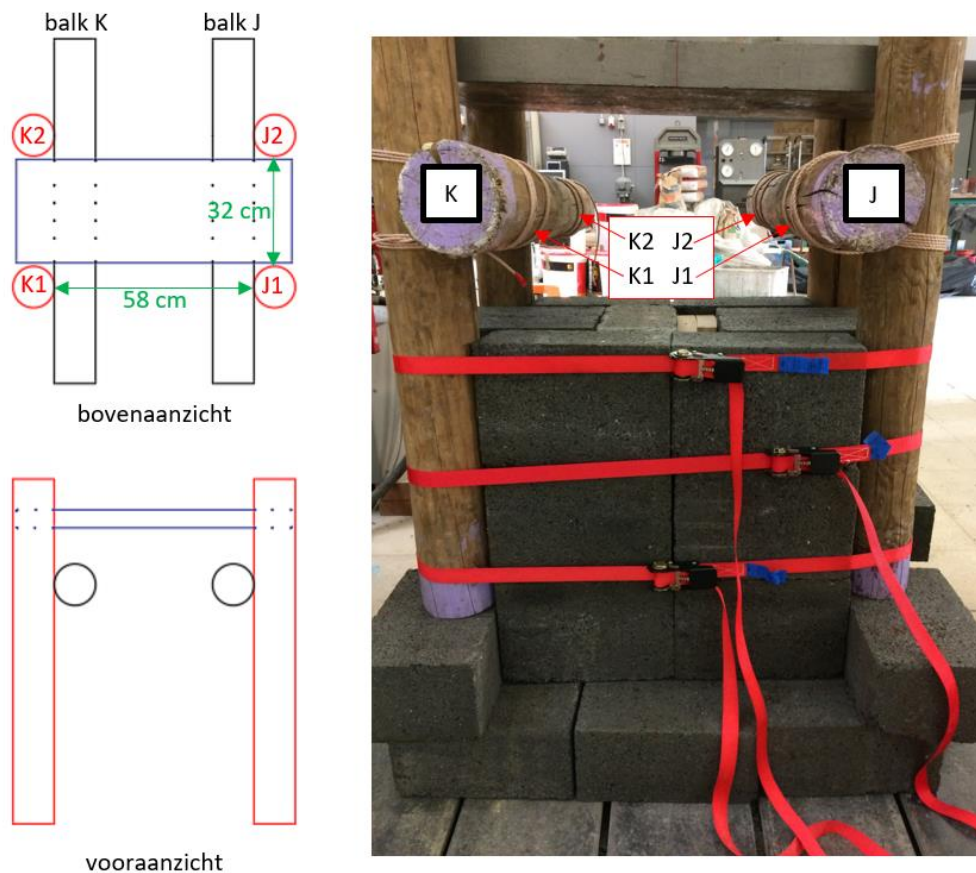
Het sisaltouw heeft volgens de fabrikant een breuksterkte van 90kg. Bij de testen die uitgevoerd werden in het kader van dit eindwerk, werd een gemiddelde breuksterkte van 56kg opgemeten. Het polypropyleentouw heeft in vergelijking hiermee volgens de fabrikant een

breuksterkte van 214kg. Uit de uitgevoerde testen kan een gemiddelde breuksterkte van 231kg afgeleid worden. De meetmethode die gehanteerd werd, is echter niet deze beschreven in de norm.

Hout dat in de handel gebracht wordt, voldoet steeds aan een bepaalde sterkteklasse. Aan de hand van een visuele sortering kan deze sterkteklasse afgeleid worden. De werkwijze die men hiervoor moet volgen wordt uitvoerig beschreven in de scriptie. De sterkteklasse kan ook rechtstreeks meegegeven worden door de fabrikant.

Experimenten

Een proefopstelling met betonblokken wordt opgebouwd. Vier verticale palen worden rond deze kern van betonstenen ingeklemd zoals weergegeven wordt op onderstaande Figuur 10-2.



Figuur 10-2 : proefopstelling.

Alle mogelijke combinaties van één, twee of drie windingen en nul tot drie woelingen worden getest op hun sterkte. Een drukpers brengt de belasting aan en deze verdeelt zich over vier sjorknopen. Bij iedere belastingsstap die een veelvoud van 500kg is, wordt opgemeten hoeveel de verticale balk zakt ten opzicht van zijn beginpositie. Daarnaast wordt ook gecontroleerd of de touwen niet afschuiven langs de verticale paal.

Uit de eerste testen werd een breukcriterium opgesteld. Ofwel werd de proef stopgezet bij breuk van het touw ofwel bij een afschuiving van de touwen van een sjorknoop langs de verticale paal. Indien de breuk zich voordoet in het touw, breekt steeds het touw waar het door de lus van de timmermanssteek loopt.

In totaal zijn een honderdtal testen gebeurd op alle mogelijke combinaties van aantal windingen en woelingen. Van al deze proeven is de verticale verplaatsing ten opzichte van de beginpositie van de horizontale balk en de kracht bij breuk opgemeten.

Naast deze opmeting van de sterkte en de verplaatsing van knopen, werd ook de invloed van de cyclische belasting getest. Hiervoor wordt een gelijkaardige proefopstelling met sjorknopen met 2 windingen en 2 woelingen achtereenvolgens belast en ontlast. De zakking van de horizontale paal ten opzicht van de beginpositie wordt gemeten en de afschuiving van de touwen langs de verticale paal wordt geregistreerd.

Resultaten

Zoals reeds vermeld is de kracht bij breuk van alle testen geregistreerd. Hierdoor kan berekend worden hoeveel kracht één sjorknoop kan opvangen afhankelijk van het aantal windingen en woelingen. Dit wordt verder weergegeven bij de theoretische berekening en vuistregels.

Tijdens de testen werd ook de eindknoop aangepast naar een halve steek. Dit had geen invloed op de breuksterkte van knopen. Ook bij het cyclisch belasten heeft deze eindknoop geen invloed.

Bij de proeven op de invloed van cyclische belasting, valt duidelijk op te merken dat de touwen bij iedere belastingsstap een beetje afschuiven langs de verticale paal. Bij iedere belastingsstap is dit ongeveer evenveel. De grootte van deze afschuiving is afhankelijk van de aangebrachte last, het aantal windingen en woelingen en de ruwheid van de verticale paal.

Theoretische berekening en vuistregels

Aan de hand van de resultaten van de testen en gebruik makend van de eurocode over houtbouw worden in de scriptie ook theoretische berekeningen opgesteld waaruit een aantal vuistregels kunnen opgemaakt worden.

Alle veiligheidsfactoren die aan bod komen bij de berekening volgens de eurocode worden bekeken en indien het mogelijk is deze aan te passen wordt een voorstel voor een aanpassing gedaan. Zo kan bijvoorbeeld de veiligheidsfactor op het materiaal een stuk lager ingeschat worden indien het hout als zitbank gebruikt wordt op een halve meter boven de grond. Indien er echter een balk op grotere hoogte gebruikt wordt, zijn de gevaren en mogelijke gevolgen groter, en moet de veiligheidsfactor ook voldoende hoog ingerekend worden. Ook de maximale belasting op sjoerconstructies kan normaal gezien met een redelijke zekerheid bepaald worden, dus kan ook hier, indien men zeker is dat dit de maximale belasting is, geen extra veiligheid op ingerekend worden.

Tot slot worden in het laatste hoofdstuk van de scriptie enkele praktische bouwtips voor jeugdbewegingen meegegeven en worden vuistregels opgesteld over de sterkte van houten balken en sjorknopen.

Er moet een onderscheid gemaakt worden tussen palen die over hun volledige lengte kunnen belast worden evenwijdig met de doorsnede en palen die loodrecht op de doorsnede belast worden. De palen die evenwijdig met de doorsnede belast kunnen worden zijn meestal de horizontale palen waarop personen kunnen staan of zitten. Hiervoor wordt de maximale belasting weergegeven in kilogram per lopende meter paal in Tabel 1. De verticale en schuine palen worden meestal hoofdzakelijk axiaal belast door krachten op horizontale palen die overgedragen moeten worden via deze palen richting de grond. De totale maximale belasting bij deze palen in functie van de vrije lengte wordt weergegeven in Tabel 2.

Tabel 1 : maximale belasting op een horizontale balk in kg/m.

diameter	2m	2,5m	3m	3,5m	4m	4,5m	5m	5,5m	6m	7m
8 cm	140	90	60	45	35	25	20	/	/	/
10 cm	280	180	125	90	70	50	40	35	30	20
12 cm	480	300	200	150	120	90	75	60	50	40
14 cm	750	480	320	250	180	150	120	100	80	60

Tabel 2 : maximale belasting op een verticale of schuine balk in kg.

diameter	1m	1,5m	2m	2,5m	3m	3,5m	4m	5m	6m	7m
8 cm	780	710	630	550	470	400	350	260	200	150
10 cm	1200	1150	1050	980	880	780	680	520	420	340
12 cm	1780	1750	1650	1550	1400	1300	1150	900	780	600
14 cm	2400	2400	2300	2200	2000	1900	1750	1500	1250	1000

In de tekst worden nog enkele andere gevallen van belasting op palen overlopen zoals schuine palen die een tribune dragen of horizontale palen die slechts in 1 punt belast worden.

Ook voor de sjorknoppen kan een maximale kracht die overgedragen kan worden uit de testen afgeleid worden. Deze waarden worden weergegeven in Tabel 3, en hier kan afhankelijk van het risico of van de persoon die de sjorring legt mogelijk nog een extra veiligheid op ingerekend worden. Deze tabel is enkel geldig bij het gebruik van polypropyleentouw met een minimale diameter van 4mm.

Tabel 3 : sterkte van sjorknoppen in kg.

# windingen	# woelingen	Kracht die opgevangen kan worden door een sjorknoop (kg)
1	0	500
	1	500
	2	500
	3	500
2	0	900
	1	1400
	2	1400
	3	1400
3	0	1000
	1	1400
	2	1800
	3	1800

ABSTRACT

Pioneering is a construction method which is used in Europe by youth movements in particular. Elsewhere in the world, varieties on this construction method are also used for the construction of scaffoldings and other building constructions. In this construction method, wooden spars are connected by binding ropes in a specific way around the wooden spars. The name of this specific way of connecting wooden spars is lashing. The wood which is used is already described thoroughly in literature. About the connection method, there is nothing written.

Test setup

The test setup is made of a core of concrete blocks and around this core four vertical wooden spars are jammed. Two horizontal wooden spars are lashed at these vertical spars. The load will be applied on these horizontal spars with a hydraulic press. The velocity of application of the load is 0,25 kN/s. At load steps which are a multiple of 5 kN, the application of the load is stopped for a moment and the settlement of the horizontal spars is measured. After the measurement, the test setup is loaded further. The test setup is represented in the figure below.

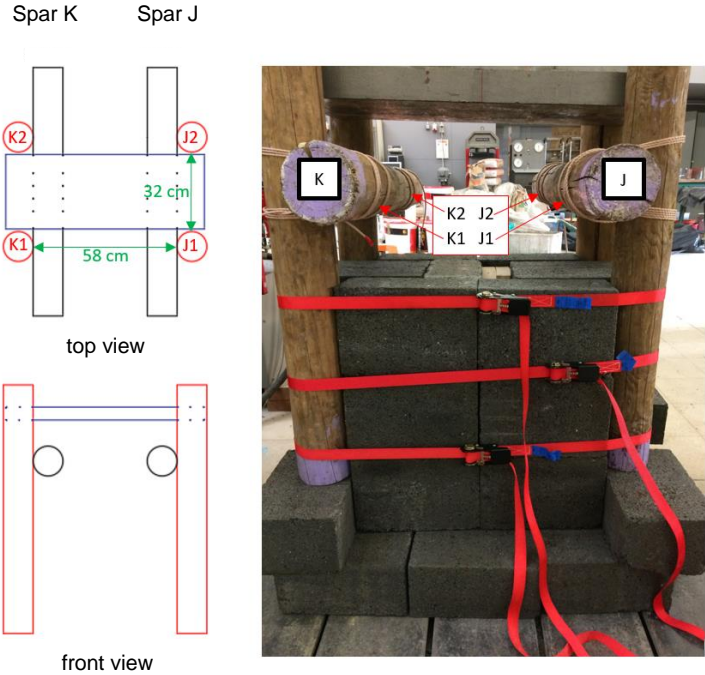


Figure 1: test setup

Different combinations with one, two or three wraps and zero, one, two or three fraps are tested and each possible combination has been tested at least four times. Failure of the test setup occurs in two ways. The first one is break of the rope that goes through the loop of the timber hitch. Another failure is slipping off of the rope along the vertical spar.

Test setups with one wrap almost all have a failure between a load of 30kN and 35kN on the entire test setup consisting of four lashings. When there are two or three wraps, there is a larger spread of the results caused by the roughness of the wooden spars that is determinative for the slipping off along the vertical spar.

Beside the force at failure, also the settlement of lashings in function of the load on the test setup is determined. The settlement is only determined after the load step of 5 kN because

there is an initial settlement of the lashing which is not the same for different lashings. The settlement is represented in Table 4.

Table 4: Settlement of lashings in function of loading on the lasting, number of wraps and number of fraps.

Number of wraps	1				2				3			
Number of fraps	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
settlement [mm/kN]	1,43	1,33	1,37	1,73	1,51	1,54	1,67	2,26	2,58	2,80	2,59	2,90
Deviation on settlement [mm/kN]	0,10	0,30	0,24	0,05	0,12	0,12	0,17	0,20	0,25	0,48	0,23	0,67

The influence of initial settlement is examined separately. These tests show that if a pre-load is applied manually and the lashing already has a settlement, the settlement is linear starting at the beginning of the graph. When the load is increased linear for lashings which aren't loaded manual, the initial settlement takes up to a load of 3 to 5 kN which applied on the test setup.

Cyclic load on lashings has also a deviant behaviour in comparison with a one-off load. Every cycle of loading and disburdening creates a slip-off along the vertical spar.

Theoretical calculation

In addition to the experimental side of the master thesis a theoretical calculation has also been made based on the results from the experiments combined with the recommendations in Eurocode 1995-1-1. The safety factors in this Eurocode are viewed sceptically for their relevance for some typical pioneering-constructions. If possible, they are adjusted so that they are sufficient for these constructions. The safety factors for loading aren't used because a designvalue can be considered instantly and there are no further safety factors on the load. Also the safety factors for material can be estimated lower if the material can be controlled visually before they can be used in a construction.

Recommendations for youth movements

With these tests and theoretical calculations, it is possible to make recommendations for people in youth movements who don't have a constructional background.

A rule of thumb for horizontal (Table 5) and vertical (Table 6) spars is displayed. For the horizontal spars, the maximum load in kilograms per meter in function of the span is shown. For the vertical spars, there is a maximum load mentioned in kilograms in function of the free buckling length of the spars.

Table 5 : maximum load on horizontal spars in kg/m.

diameter	2m	2,5m	3m	3,5m	4m	4,5m	5m	5,5m	6m	7m
8 cm	140	90	60	45	35	25	20	/	/	/
10 cm	280	180	125	90	70	50	40	35	30	20
12 cm	480	300	200	150	120	90	75	60	50	40
14 cm	750	480	320	250	180	150	120	100	80	60

Table 6 : maximum load on axial loaded spars in kg.

diameter	1m	1,5m	2m	2,5m	3m	3,5m	4m	5m	6m	7m
8 cm	780	710	630	550	470	400	350	260	200	150
10 cm	1200	1150	1050	980	880	780	680	520	420	340
12 cm	1780	1750	1650	1550	1400	1300	1150	900	780	600
14 cm	2400	2400	2300	2200	2000	1900	1750	1500	1250	1000

For the lashings, a maximum load can also be derived if the lashing does not slip off along the vertical spar. These values are shown in Table 7.

Table 7 : strength of lashings in kg.

Number of wraps	Number of fraps	Magnitude of force that the lashing can resist (in kg)
1	0	500
	1	500
	2	500
	3	500
2	0	900
	1	1400
	2	1400
	3	1400
3	0	1000
	1	1400
	2	1800
	3	1800

Besides the rules of thumb, also some constructive hints are mentioned in the text. Pioneering constructions should always have triangle structures to ensure the stability. The lashings are considered as hinges, so the stability of the structures has to be ensured by triangle structures or by spars that are clamped into the ground.

The smallest diameter has to be considered for spars that have a varying diameter. If rain or wind can occur, attention has to be paid to the use of sails or canvasses. The wind or rain can cause extra loading on the structure, causing instability in the pioneering construction.

Keywords: Pioneering, round wood, spar, polypropylene rope, square lashing, clove hitch, timber hitch

INHOUD

Voorwoord.....	i
Samenvatting	ii
Abstract.....	vi
Inhoud	ix
Lijst met figuren.....	xii
Lijst met tabellen	xiii
Lijst met definities.....	xiv
1 Inleiding	2
2 Bouwtechniek van de kruissjorring.....	3
3 Karakterisering van de materialen.....	6
3.1 Sisaltouw en polypropyleentouw	6
3.1.1 Sisaltouw.....	7
3.1.2 Polypropyleentouw	8
3.1.3 Vergelijking met de waarden van de fabrikant	11
3.2 Sjorhout	12
3.2.1 Richtwaarden	12
3.2.2 Verdeling in sorteerklassen aan de hand van visuele inspectie	12
3.2.3 Praktische toepasbaarheid van de visuele sortering.....	14
4 Meetnauwkeurigheid bij de proefopstellingen	16
4.1 Materialen sjorring	16
4.2 Gebruikte apparatuur	16
5 Initiële proefopstellingen	17
5.1 Naamgeving van de proefopstelling	17
5.2 Proefopstelling 1	18
5.2.1 Opstelling.....	18
5.2.2 Verloop van de proef.....	18
5.2.3 Analyse na het ontlasten	18
5.3 Proefopstelling 2	20
5.3.1 Opstelling.....	20
5.3.2 Verloop van de proef.....	20
5.3.3 Analyse na het ontlasten	20
5.3.4 Analyse van de zetting van de knopen	21
6 Opstelling proefprogramma.....	23

6.1	Verloop van de proeven	23
6.2	Verwerking van de meetresultaten	25
6.3	Betrouwbaarheid van de resultaten	27
6.4	Extra testopstellingen voor verworpen resultaten	27
6.5	Verwerking van de verschillende combinaties	27
6.6	Initiële zetting bij het aanbrengen van de voorlast	28
6.7	Resultaten bij het proefprogramma met polypropyleentouw	29
7	Modelleren van een sjoerconstructie	30
7.1	Typische sjoerconstructies	30
7.2	Gebruik van de eurocode en normen	30
7.3	Berekening van een balk volgens de eurocode	31
7.3.1	Balken hoofdzakelijk belast op buiging	31
7.3.2	Balken hoofdzakelijk belast op druk	32
7.4	Het modelleren van een tafel	34
7.4.1	Berekening van de zitbank	34
7.4.2	Krachtenoverdracht van de zitbank naar de verticale palen	35
7.4.3	Drukkracht in de verticale palen	36
7.4.4	Krachtenoverdracht van op het tafelblad aangrijpende krachten	36
7.5	Variaties op een tafelconstructie	37
7.5.1	Vierkante tafel	37
7.5.2	Toren	38
7.6	Besluiten bij de berekening van een constructie	39
8	Invloed van cyclische belasting op een sjoerknoop	40
8.1	Proefopstellingen en meetresultaten	40
8.1.1	Proefopstelling: 'cyclische belasting 1'	40
8.1.2	Proefopstelling: 'cyclische belasting 2'	41
8.1.3	Proefopstelling: 'cyclische belasting 3'	42
8.1.4	Proefopstelling: 'cyclische belasting 4'	42
8.1.5	Proefopstelling: 'cyclische belasting verticale afschuiving'	43
8.2	Conclusie	44
9	Initiële zetting van sjoerknoppen	45
9.1	2 windingen en 2 woelingen	45
9.2	3 windingen en 3 woelingen	46
10	Praktische werkwijze bij de berekening van constructies voor jeugdbewegingen	47
10.1	Vuistregels bij het berekenen van sjoerconstructies	47
10.1.1	Horizontale palen	47

10.1.2 Verticale en schuine palen	48
10.1.3 Sjorknopen.....	49
10.2 Extra info over stabiliteit, keuzes,....	50
Referenties.....	52
Bijlagen	53
Bijlage A Breukmechanismen proefprogramma	A.1

LIJST MET FIGUREN

Figuur 1 : stapsgewijze opbouw van de kruissjorring (Scouts en Gidsen Vlaanderen vzw, 2009).....	ii
Figuur 2 : proefopstelling.....	iii
Figuur 2-1 : timmermanssteek (Pollefoort et al., 2009).	3
Figuur 2-2 : mastworp (Pollefoort et al., 2009).	3
Figuur 2-3 : stapsgewijze opbouw van de kruissjorring (Scouts en Gidsen Vlaanderen vzw, 2009).....	4
Figuur 2-4 : stapsgewijze opbouw van de kruissjorring (Pollefoort et al., 2009).	5
Figuur 3-1 : proefopstellingen trekproeven op sisaltouw en polypropyleentouw.....	6
Figuur 3-2 : trekproef op sisaltouw.....	7
Figuur 3-3 : lineaire benadering van de verlenging van sisaltouw in functie van de belasting.	8
Figuur 3-4 : trekproef op polypropyleentouw.....	9
Figuur 3-5 : breuk van het touw, zowel axiaal als op afschuiving belaste toestand.	10
Figuur 5-1 : voorstelling proefopstelling.	17
Figuur 5-2 : proefopstelling 1. tijdens en na belasting.	19
Figuur 6-1 : breuk van het touw in de timmermanssteek (Pollefoort et al., 2009)	23
Figuur 6-2 : schade aan houten palen na het beproeven.....	24
Figuur 6-3 : Grafiek van meetresultaten 2 windingen en 1 woeling (testopstelling 1)	26
Figuur 7-1 : voorstelling van een sjorring van een tafel (Pollefoort et al., 2009).	34
Figuur 7-2 : voorstelling in eindige elementen software van een tafel.....	34
Figuur 7-3 : tekening van een vierkante tafel (Sherpaz, 2018).....	37
Figuur 7-4 : foto van een torenconstructie (Pollefoort et al., 2009).....	38
Figuur 8-1 : proefopstelling 'cyclische belasting 1' met belaste en ontlaste toestanden.	41
Figuur 8-2 : proefopstelling 'cyclische belasting 2'	41
Figuur 8-3 : proefopstelling 'cyclische belasting 4' met belaste en ontlaste toestanden	42
Figuur 8-4 : verticale afschuiving bij cyclische belasting.	44
Figuur 10-1 : verschil tussen rechtstreeks belaste horizontale palen en horizontale palen die door andere palen op 1 punt belast worden.....	48
Figuur 10-2 : krachtwerking op een schuine paal die zowel axiaal als op buiging belast is. ...	49
Figuur 10-3 : voorstelling van de krachtverdeling in een tribuneopstelling.	49
Figuur 10-4 : vervormbaarheid van constructies zonder driehoeken (Scouts en Gidsen Vlaanderen vzw, 2009).....	51

LIJST MET TABELLEN

Tabel 1 : maximale belasting op een horizontale balk in kg/m.	v
Tabel 2 : maximale belasting op een verticale of schuine balk in kg.	v
Tabel 3 : sterkte van sjorknopen in kg.	v
Tabel 3-1 : resultaten trekproeven op sisaltouw.....	8
Tabel 3-2 : resultaten trekproeven polypropyleentouw.....	10
Tabel 3-3: sterkte-eigenschappen van vurenhout (fijnspar) (Belgian Woodforum, 2018).	12
Tabel 3-4 : sorteerklassen op basis van kwasten.	13
Tabel 3-5 : maximale lengte van barsten.	13
Tabel 3-6 : praktische toepasbaarheid van visuele sortering.	15
Tabel 4-1 : gebruikte totaalstations voor metingen.	16
Tabel 5-1 : afschuiving van de knopen op de verticale balken.	21
Tabel 6-1 : meetresultaten 2 windingen en 1 woeling [kN en mm]	25
Tabel 6-2 : samenvatting resultaten proefprogramma: zetting in mm/kN	28
Tabel 7-1 : eigenschappen van sterkteklassen [in N/mm ²]. (Bureau voor Normalisatie, 2016)	30
Tabel 7-2 : maximale overspanning van een zitbank onder invloed van veiligheidsfactoren.	34
Tabel 7-3 : krachten in de sjorknopen bij breuk van de proefopstellingen.	35
Tabel 8-1 : zetting van de knopen (in mm per cyclus).....	42
Tabel 8-2 : verticale afschuiving bij cyclische belasting.	43
Tabel 9-1 : initiële zetting bij 2 windingen en 2 woelingen.....	45
Tabel 10-1 : maximale belasting op horizontale palen met verdeelde belasting [kg/m].	47
Tabel 10-2 : maximale belasting op horizontale palen met puntbelasting [kg].....	48
Tabel 10-3 : maximale belasting op verticale en schuine palen [kg].....	48
Tabel 10-4 : sterkte van sjorknopen.....	50

LIJST MET DEFINITIES

- Knoop/sjorknoop: in de tekst worden beide begrippen door elkaar gebruikt voor een volledige sjorknoop met beginknoop, windingen, woelingen en een eindknoop. Enkel indien expliciet een andere soort knoop vermeld wordt gaat het niet over een sjorknoop.
- Zetting: een zetting van een sjorknoop is een verticale daling van de horizontale balk ten opzichte van zijn beginpunt. De touwen die langs de verticale balk gelegd zijn, verschuiven hierbij niet mee naar beneden.
- Afschuiving: de touwen van de sjorknoop schuiven af langs de verticale balk, waardoor ook de horizontale balk naar beneden beweegt.

1 INLEIDING

Sjorren is een bouwmethode die vooral door jeugdbewegingen wordt gebruikt. Hierbij wordt enkel gebruik gemaakt van touw en ronde houten palen die door middel van een sjorring met elkaar worden verbonden. Een veelgebruikte sjorring in Vlaanderen is de kruissjorring, waarop deze tekst zich zal toespitsen. Andere bestaande sjorringen zijn bijvoorbeeld de diagonaal-sjorring, de polypedestrasjorring of de steigersjorring (Green, 2013). Daarnaast bestaan ook in andere werelddelen varianten op de sjorring om onder meer stellingen te bouwen, zoals de Japanse kruissjorring of de Filipijnse diagonaalsjorring.

Het idee van deze masterproef werd aangeleverd door de Dienst Avontuurlijke Activiteiten van Chirojeugd Vlaanderen, die de sterkte van grotere constructies wou onderzoeken. In de literatuur is echter niets geschreven over deze bouwtechniek. Daarom wordt in deze masterproef de bouwknoop van de sjorring bestudeerd en gemodelleerd. Het doel is om een methode voor het berekenen van sjorconstructies op te stellen die door jeugdbewegingen gebruikt kan worden.

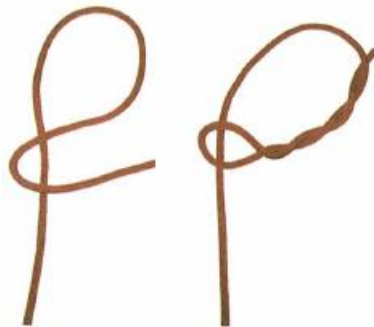
De meest gebruikte touwen bij het sjorren zijn sisaltouw en polypropyleentouw met een diameter van 4 mm (Pollefoort et al., 2009). Het sisaltouw bestaat uit 3 in elkaar gevlochten strengen. Ook het polypropyleen splitfilmtouw bestaat uit 3 in elkaar gevlochten strengen. Sisaltouw is gemaakt van natuurlijke vezels en heeft volgens de gegevens van de fabrikant een breuksterkte van ongeveer 90 kg. Polypropyleentouw daartegenover bestaat uit synthetisch materiaal en haalt een breuksterkte van 214 kg volgens de fabrikant. Sisaltouw is goedkoper per lopende meter. Omdat dit bestaat uit natuurlijke vezels wordt aangeraden het niet te hergebruiken, omdat de natuurlijke vezels kunnen rotten als ze nat worden. Daarnaast is de slijtage bij sisaltouw vaak ook onzichtbaar en kan het touw onverwachts breken. Polypropyleentouw kan na gebruik wel opnieuw gebruikt worden voor een nieuwe sjorknoop. Op langere termijn zal polypropyleentouw bijgevolg goedkoper zijn.

De ronde houten palen die gebruikt worden zijn afvalproducten voor de houtindustrie en hebben bijgevolg grote verschillen in sterkte (Pollefoort et al., 2009). De diameter van de gebruikte palen ligt meestal tussen 80 en 120 mm.

2 BOUWTECHNIEK VAN DE KRUISSJORRING

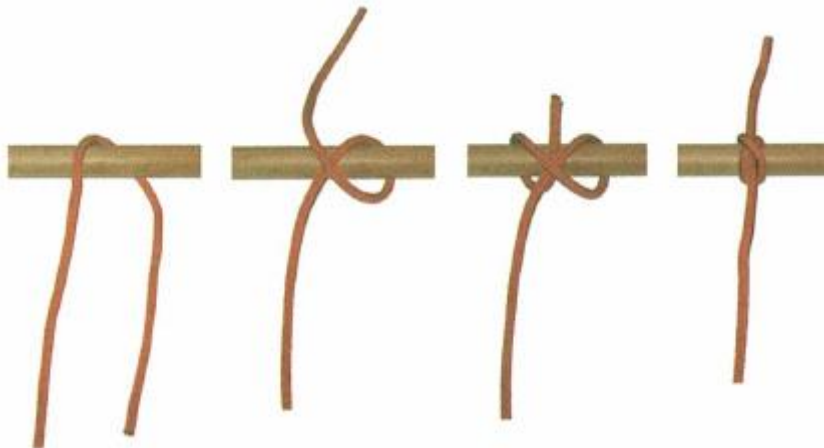
Er bestaan heel wat manieren om kruissjorringen te leggen. In deze scriptie wordt steeds gebruik gemaakt van de manier die ook aangeraden wordt door de grote Vlaamse jeugdbewegingskoepels.

De start van de kruissjorring gebeurt met een timmersteek of timmermanssteek. Hierbij wordt het touw rond de balk gelegd. Vervolgens wordt het korte eind in een lus rond het langere eind van het touw gelegd en wordt dit korte eind minimaal drie keer rond het touw rond de balk gedraaid zoals voorgesteld in Figuur 2-1. Deze knoop wordt steeds gelegd op de vaste balk, of steunpaal, en onder de losse balk, of dwarsbalk, die erop gesjord zal worden.



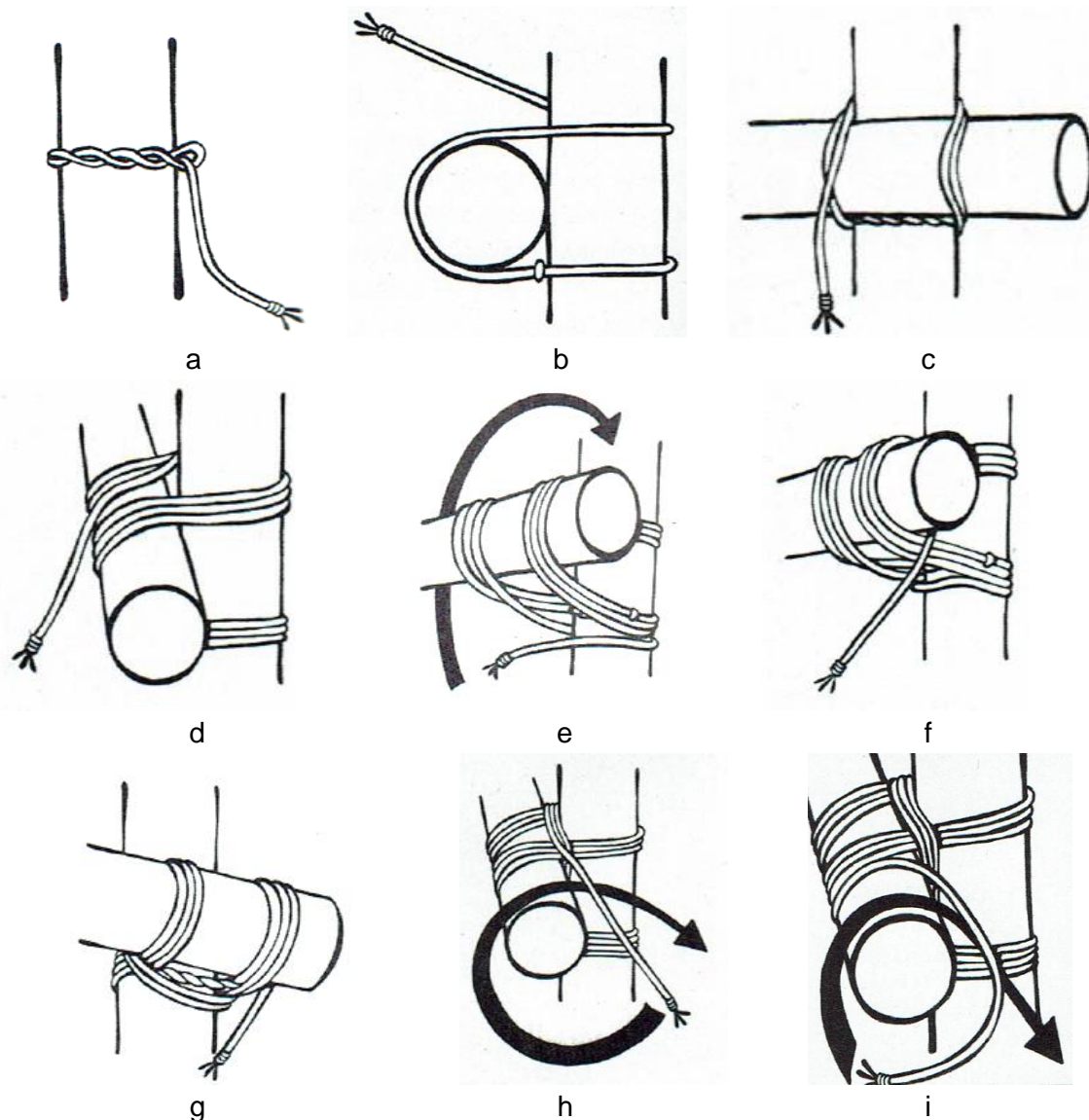
Figuur 2-1 : timmermanssteek (Pollefoort et al., 2009).

Een andere knoop waarmee een sjorring gestart kan worden is de mastworp. KSA Nationaal raadt aan met deze knoop te starten terwijl Chirojeugd Vlaanderen en Scouts & Gidsen Vlaanderen de timmermanssteek prefereren. De mastworp is ook de knoop waarmee alle sjorringen eindigen. De knoop wordt voorgesteld in Figuur 2-2.



Figuur 2-2 : mastworp (Pollefoort et al., 2009).

Na het leggen van de beginknoop wordt recht uit het oog van de timmermanssteek of recht vanuit de mastworp vertrokken en ga je achtereenvolgens eerst rond de losse balk, dan rond de vaste balk, en daarna weer rond de losse balk. De windingen op de vaste balk worden aan de buitenkant van de eerder gelegde touwen gelegd en op de losse balk worden deze aan de binnenkant gelegd. In totaal worden drie volledige windingen gelegd. Dit wordt voorgesteld in Figuur 2-3 a, b, c en d.



Figuur 2-3 : stapsgewijze opbouw van de kruissjorring (Scouts en Gidsen Vlaanderen vzw, 2009).

Daarna worden de woelingen gelegd. Dit zijn slagen die tussen de balken rond de windingen gelegd worden om deze zo dicht mogelijk tegen elkaar te trekken. Het is belangrijk deze woelingen zeer strak aan te trekken (Scouts en Gidsen Vlaanderen vzw, 2009). Het aantal woelingen is in principe gelijk aan het aantal windingen. De woelingen worden naast elkaar gelegd beginnend aan de kant van de steunbalk richting de dwarsbalk (Figuur 2-3 e, f, g).

Uiteindelijk wordt een sjorring afgewerkt met de eindknoop op de dwarsbalk. Deze eindknoop is steeds een mastworp (Figuur 2-3 h).

De losse eindjes van de sjorring worden verder rond de dwarsbalk gelegd naast de mastworp en worden afgewerkt met een halve steek, zoals te zien in Figuur 2-3 i.

Naast de schetsen in Figuur 2-3, wordt in Figuur 2-4 ook op foto's de opbouw van de kruissjorring weergegeven. De beginknoop bij deze foto's is een mastworp en geen timmermanssteek zoals bij de schetsen.



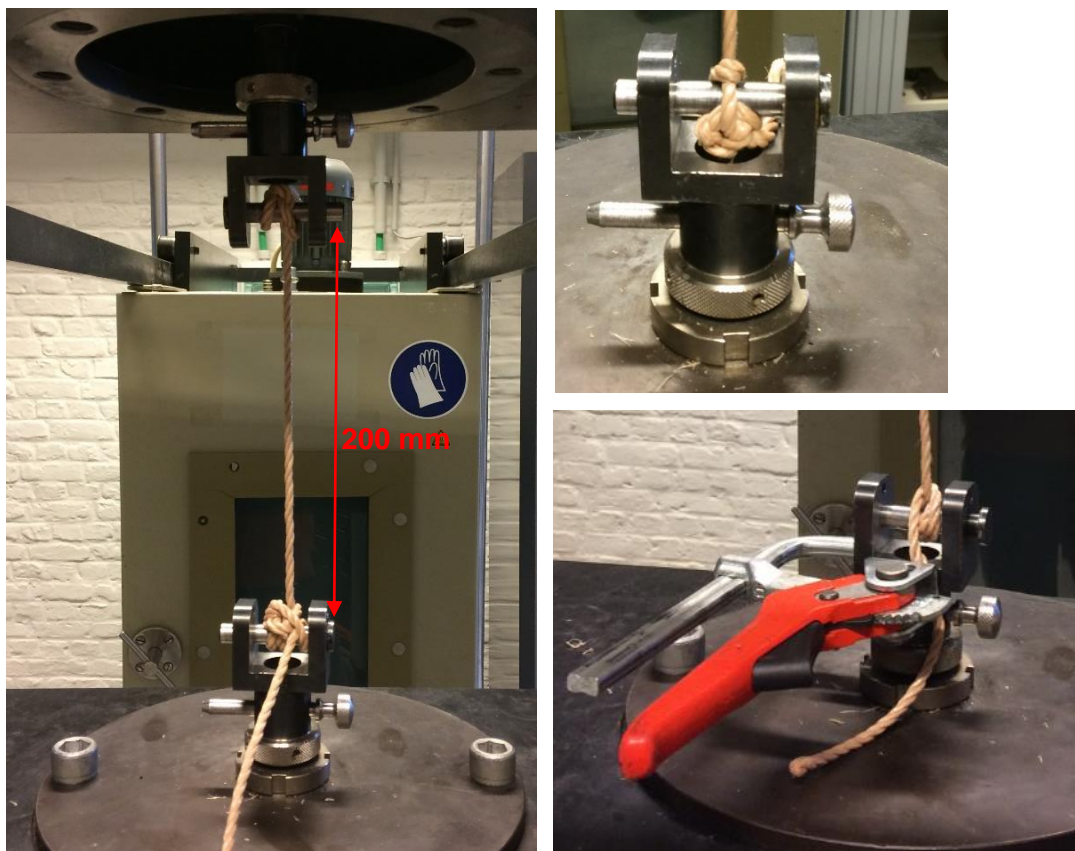
Figuur 2-4 : stapsgewijze opbouw van de kruissjoring (Pollefoort et al., 2009).

3 KARAKTERISERING VAN DE MATERIALEN

3.1 Sisaltouw en polypropyleentouw

In deze paragraaf wordt het gedrag van sisaltouw en polypropyleentouw beschreven. Hierbij wordt gefocust op de rek bij belasting en de breuklast. De bekomen waarden kunnen gebruikt worden om de zettingen van de sjorringen te karakteriseren en deze te linken aan de rek in de touwen.

De proefopstelling wordt weergegeven in Figuur 3-1. De afstand tussen de pennen bedraagt precies 200 mm. Het touw wordt eerst geknoopt rond de pennen en het uiteinde van het touw wordt daarna nog met klemmen vastgemaakt.



Figuur 3-1 : proefopstellingen trekproeven op sisaltouw en polypropyleentouw.

Het driestrengs sisaltouw en het driestrengs polypropyleen splitfilm-touw hebben beiden een diameter van 4 mm. Een voorlast van 10 N wordt aangebracht en vervolgens worden de stalen met een belastingsnelheid van 10 mm/min beproefd. Het aanbrengen van de voorlast zorgt ervoor dat het touw onder spanning staat en dat de knoop indien deze niet perfect gepositioneerd is, verschoven wordt tot de perfecte positie. Hierdoor kan de beginlengte van het touw mogelijk langer zijn dan 200 mm. Uit de output-files van alle trekproeven blijkt echter dat er nauwelijks een verschil in de beginlengte is.

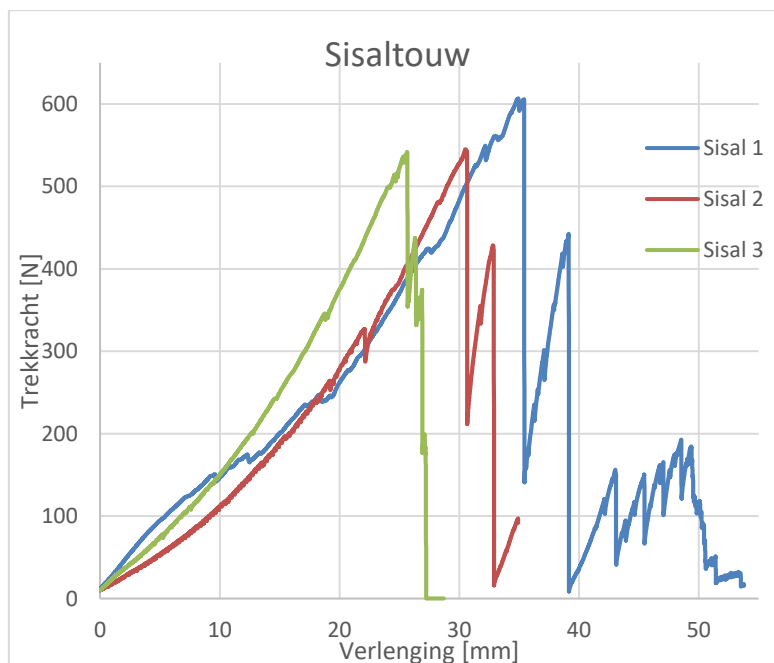
Van het sisaltouw worden drie stalen getest. Van het polypropyleentouw werden oorspronkelijk ook drie stalen getest, maar aangezien de waarden van deze proeven veel van elkaar afwijken en het proefprogramma uitgevoerd wordt met polypropyleentouw werd beslist hierop nog een tiental extra proeven te doen.

De breuksterkte wordt bepaald bij breuk van minstens een streng van het touw. Daarna kan het touw wel nog tot beperkte belasting verder belast worden.

De bepaalde breuksterkte en rek van het touw zal hoogstwaarschijnlijk afwijkende resultaten vertonen ten opzichte van de waarden van de fabrikant. Norm NBN EN ISO 2307 (Bureau voor Normalisatie, 2010) beschrijft namelijk een andere manier om de mechanische en fysische eigenschappen van touwen te bepalen. De methode die hierin beschreven wordt, kan niet worden uitgevoerd op de campus. Er moet voor deze methode een speciale bevestiging van het touw aan de machine gebeuren. Daarnaast moet voor deze proef de lengte van de proefstukken minimaal 400 mm bedragen buiten de invloedzone van de bevestigingspunten. Bij de testen die ik uitgevoerd heb op de campus was de breuk van het touw meestal op te merken in de knoop die zorgde voor de bevestiging of in de buurt van deze knoop. Volgens de norm moet de breuk zich echter buiten deze zone voordoen.

3.1.1 Sisaltouw

Het gedrag van sisaltouw is bij de drie trekproeven gelijkaardig. Vóór de breuk van de eerste streng hebben de grafieken in Figuur 3-2 ongeveer hetzelfde verloop en kan besloten worden dat het resultaat van de trekproeven representatief is voor het gebruikte touw. Na breuk van een eerste streng kan het touw nog tot een beperkte last belast worden alvorens het volledig breekt. Op de verlenging bij breuk van de eerste streng is een spreiding van zo'n 10 mm.



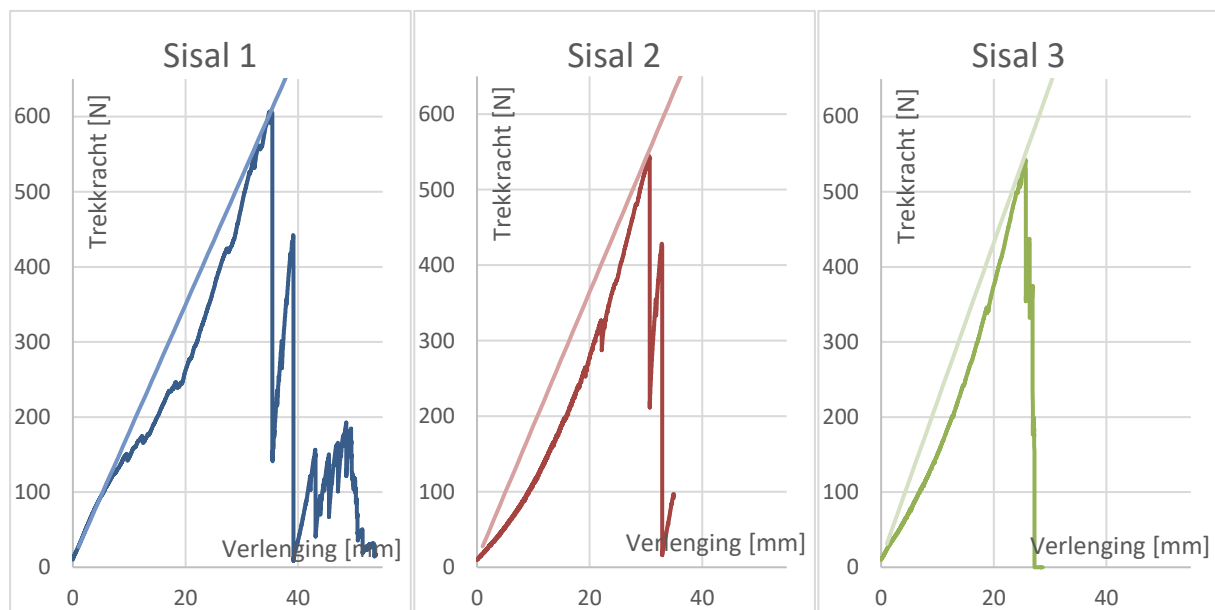
Figuur 3-2 : trekproef op sisaltouw.

Van de numerieke resultaten bij breuk worden het gemiddelde, de standaardafwijking en de gemiddelde verlenging per 100 N berekend. De berekening van de verlenging per 100 N is een lineaire benadering tussen het nulpunt en het punt van de breuk van de eerste streng. De afwijking bij 300 N van deze lineaire benadering ten opzichte van de meetresultaten wordt eveneens bepaald. Deze berekening is opgenomen in Tabel 3-1.

Tabel 3-1 : resultaten trekproeven op sisaltouw.

	VERLENGING [MM]	TREKKRACHT [N]	VERLENGING PER 100N [MM]	AFWIJKING BIJ 300N [MM]
SISAL 1	35,42	601,65	5,888	2,38
SISAL 2	30,65	543,08	5,644	3,92
SISAL 3	25,65	540,96	4,742	2,92
GEMIDDELDE	30,58	561,89	5,425	
STANDAARDDEVIATIE	4,89	34,44	0,603	

Deze grafieken worden ook geplot per trekproef. In onderstaande Figuur 3-3 valt op te merken dat de verlenging in het begin groter is en afneemt naarmate de kracht groter wordt.



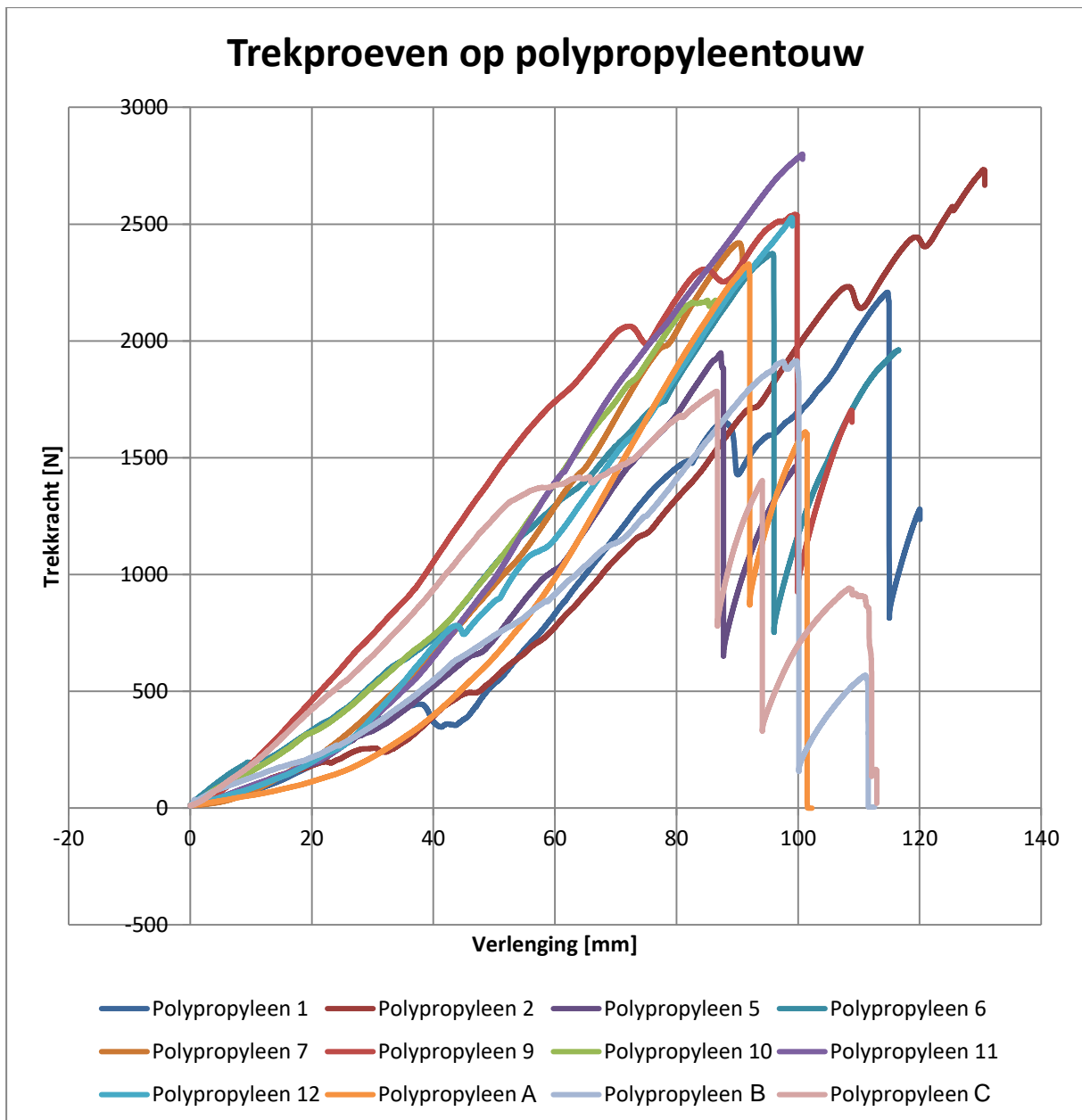
Figuur 3-3 : lineaire benadering van de verlenging van sisaltouw in functie van de belasting.

3.1.2 Polypropyleentouw

Zoals vermeld bij de inleiding van dit hoofdstuk werden op polypropyleentouw meer trekproeven uitgevoerd. Bij verschillende testopstellingen deed de breuk zich voor bij het bovenste of onderste steunpunt.

In de grafiek die opgesteld werd van de meetresultaten zijn de trekproeven polypropyleen 5 t.e.m. polypropyleen 11 de proeven waarbij de breuk zich voordoet in de knoop rond de pen. Deze knoop is gevormd als een strop, wat vergeleken kan worden met de timmersteek die gebruikt wordt bij de proefopstellingen. Bij de meeste andere testen doet de breuk van het touw zich ook voor in de buurt van de pen en niet in het middelste deel van het touw waar volgens de norm de breuk zich zou moeten voordoen.

Figuur 3-4 toont de resultaten van deze meetresultaten. De proeven die genummerd zijn, zijn de laatst uitgevoerde proeven. De proeven die met een letter aangeduid worden, zijn de eerste drie stalen die getest werden. Uit de grafiek kan reeds afgeleid worden dat er een grote spreiding op de resultaten is.



Figuur 3-4 : trekproef op polypropyleentouw.

Van alle touwen wordt de breuksterkte bepaald en weergegeven in Tabel 3-2. Er wordt geen lineaire benadering gemaakt van het polypropyleen om de rek in functie van de belasting uit te rekenen omdat de resultaten te veel van elkaar afwijken.

De laagste breuksterkte die gehaald wordt bij de proeven is 1784 N, wat een zeer groot verschil met de gemiddelde waarde is. De verlenging van het touw bij breuk is zo'n 50% gemiddeld.

Tabel 3-2 : resultaten trekproeven polypropyleentouw.

	$F_{\text{BREUK}} \text{ [N]}$	$\Delta L \text{ [mm]}$
POLYPROPYLEEN 1	2208,5	126,2
POLYPROPYLEEN 2	2733,8	130,5
POLYPROPYLEEN 5	1948,5	87,3
POLYPROPYLEEN 6	2373,0	105,4
POLYPROPYLEEN 7	2419,7	90,2
POLYPROPYLEEN 9	2541,3	99,5
POLYPROPYLEEN 10	2174,2	85,1
POLYPROPYLEEN 11	2800,1	140,4
POLYPROPYLEEN 12	2528,2	107,1
POLYPROPYLEEN A	2328,8	91,9
POLYPROPYLEEN B	1914,4	96,4
POLYPROPYLEEN C	1784,2	86,6
GEMIDDELDE	2312,9	103,9

De breuk die bereikt wordt in het proefprogramma zoals beschreven in hoofdstuk 6 doet zich nooit voor als breuk van het touw in een axiaal belaste toestand. Indien er breuk is van het touw is dit in het deel dat door de lus van de timmermanssteek loopt. Het touw wordt zowel axiaal alsook op afschuiving belast in deze toestand. Dit wordt voorgesteld in Figuur 3-5. De breuk van het touw doet zich voor op de plaats van de blauwe cirkel. De rode pijlen stellen de axiale belasting voor en de groene pijl stelt de belasting op afschuiving voor.



Figuur 3-5 : breuk van het touw, zowel axiaal als op afschuiving belaste toestand.

3.1.3 Vergelijking met de waarden van de fabrikant

De gemiddelde treksterkte van beide soorten touw is kleiner dan de waarden meegegeven door de fabrikanten. Bij sisaltouw geeft de fabrikant een breuksterkte van 900 N mee terwijl deze bij de trekproeven gemiddeld 562 N bedraagt. Bij polypropyleentouw is dit respectievelijk 2140 N en een gemiddelde bij de trekproeven van 2313 N.

Een mogelijke verklaring voor deze verschillen is de manier van meting. Bij deze resultaten werd de norm niet gevolgd. Daarnaast bepaalt de norm dat breuk van het touw zich enkel mag voordoen op een minimale afstand van tweemaal de diameter van het steunpunt, terwijl bij deze proeven verschillende keren de breuk voorkomt bij de knoop rond de pen.

3.2 Sjorhout

3.2.1 Richtwaarden

Het gebruikte materiaal voor de proeven is afkomstig van de fijnspar of Epesia. Deze houtsoort heeft het voordeel dat deze snel groeit, een rechte stam heeft en er slechts een dunne schors is (Dienst Avontuurlijke Activiteiten Chirojeugd Vlaanderen, n.d.; Ploeg Technieken Scouts en Gidsen Vlaanderen, n.d.; Pollefoort et al., 2009). Het hout is allemaal gefreesd, wat wil zeggen dat de diameter over de volledige lengte van de paal gelijk is.

Voor alle testen werden palen van 1 m lengte en diameter 120 mm gebruikt. Bij de initiële testopstellingen werd gebruik gemaakt van reeds gebruikte houten palen waarbij in de langse richting reeds barsten waren ontstaan. Voor het proefprogramma werd gebruik gemaakt van nieuwe houten palen.

Op de houten palen werden geen proeven gedaan om de sterkte van het hout te bepalen. In de literatuur kunnen wel richtwaarden gevonden worden voor het hout van de fijnspar, zoals voorgesteld in Tabel 3-3.

Tabel 3-3: sterkte-eigenschappen van vurenhout (fijnspar) (Belgian Woodforum, 2018).

Gemiddelde volumieke massa bij een houtvochtgehalte van 15%	450 kg/m ³ (420 kg/m ³ bij Belgisch vurenhout)
Buigsterkte	71 N/mm ²
Elasticiteitsmodulus	10.000 N/mm ²
Druksterkte (evenwijdig met de vezel)	45 N/mm ²
Schuifsterkte	6 N/mm ²

3.2.2 Verdeling in sorteerklassen aan de hand van visuele inspectie

Voor een gedetailleerde berekening, zoals deze gebeurt in hoofdstuk 7, zijn er preciezere waarden van de sterkte van het hout nodig. Deze worden beschreven in norm NBN EN 338 (Bureau voor Normalisatie, 2016). De juiste sterkteklasse van het hout kan bepaald worden aan de hand van visuele inspectie zoals beschreven in NBN B 16-520 (Bureau voor Normalisatie, 2009). Deze norm is geldig voor structuurhout met rechthoekige doorsnede, maar voor rondhout bestaat er geen soortgelijke norm, dus wordt toch gebruik gemaakt van deze norm.

Voor vier sorteerklassen S4, S6, S8 en S10 bestaan respectievelijk de overeenkomstige sterkteklassen C16, C18, C24 en C30, waarvoor karakteristieke sterkte-eigenschappen gespecificeerd zijn.

De methode die beschreven wordt in NBN B 16-520 wordt hieronder kort beschreven.

3.2.2.1 Definities

- Kwast: het ingesloten deel in het hout van een tak. Kwasten kleiner dan 5 mm worden niet in beschouwing genomen.
- Zwakste zone: zone waarin het grootste aandeel kwasten voorkomt.
- Marginale zone: het deel van de dwarsdoorsnede die op trek belast kan worden.

- Kwastenprojectie K_1 in het dwarsvlak: de verhouding van de projectie van de kwasten tot de dwarsdoorsnede.
- Kwastenprojectie K_m in de zwakste marginale zone: de verhouding van het gedeelte van de kwastenprojectie dat valt in de marginale zone tot het oppervlak van die marginale zone.
Enkel indien $K_m > \frac{1}{2}$ is er een marginale toestand en wordt de limiet voor K_1 strenger.

3.2.2.2 Sorteerklassen op basis van kwasten

Onderstaande Tabel 3-4 geeft de eisen voor de sorteerklassen op basis van kwasten.

Tabel 3-4 : sorteerklassen op basis van kwasten.

Geen marginale toestand			
Sorteerklasse	S4 en S6	S8	S10
K_m	$\leq 1/2$	$\leq 1/2$	$\leq 1/5$
K_1	$\leq 1/2$	$\leq 1/3$	$\leq 1/5$
Marginale toestand $K_m > \frac{1}{2}$			
Sorteerklasse	S4 en S6	S8	S10
K_m	$> 1/2$	$> 1/2$	Bestaat niet
K_1	$\leq 1/3$	$\leq 1/5$	Bestaat niet

3.2.2.3 Sorteerklassen op basis van vezelverloop

Het algemeen vezelverloop wordt gemeten ten opzichte van de totale lengteas. Lokaal vezelverloop ten gevolge van kwasten wordt buiten beschouwing gelaten.

Voor sorteerklassen S4 en S6 moet het algemeen vezelverloop kleiner zijn dan $1/6$, voor sorteerklassen S8 en S10 moet dit kleiner zijn dan $1/10$.

3.2.2.4 Sorteerklassen op basis van jaarringbreedte

De jaarringbreedte wordt gemeten loodrecht op de jaarringen over een maximale lengte om zo de breedte per ring te berekenen. Voor sorteerklassen S4 mag de jaarringbreedte niet groter zijn dan 10 mm. Voor de andere sorteerklassen is de jaarringbreedte beperkt tot 6 mm.

3.2.2.5 Sorteerklassen op basis van barsten

Barsten en barstlengten worden beïnvloed door het vochtgehalte in het hout. Andere scheuren die niet door drogen zijn veroorzaakt zijn niet toegelaten. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen doorgaande en niet-doorgaande barsten, waarbij doorgaande barsten dwars doorheen de dikte van het hout gaan. Niet-doorgaande barsten zijn oppervlakkige barsten en de eisen hiervoor zijn minder streng. Alle eisen voor barsten worden opgenomen in Tabel 3-5.

Tabel 3-5 : maximale lengte van barsten.

Sorteerklasse	Niet doorgaande barst	Doorgaande barst
S4 & S6	Maximaal 1500mm $\leq \frac{1}{2}$ van de lengte van het hout	Maximaal 1000mm $\leq \frac{1}{4}$ van de lengte van het hout
S8 & S10	Maximaal 1000mm $\leq \frac{1}{4}$ van de lengte van het hout	Enkel op de uiteinden Maximaal 1 maal de breedte van het hout

3.2.2.6 Sorteerklassen op basis van vervormingen

Vervormingen worden steeds gemeten over een lengte van 2 m op de plaats met de grootste vervorming. Aangezien rondhout geen zijvlak of bovenzvlak heeft, kunnen de eisen met betrekking tot vervorming samen genomen worden en is de strengste eis voor sorteerklassen S4 en S6 dat de vervorming kleiner moet zijn dan 12 mm over 2 m. Voor sorteerklassen S8 en S10 moet de vervorming kleiner zijn dan 8 mm over 2 m.

3.2.2.7 Insecten- en schimmelaantasting

Actieve insectenaantasting wordt niet toegelaten. Zwarte wormgaatjes vormen geen probleem. Blauwverkleuring wordt in onbeperkte mate toegelaten. Rot wordt niet toegelaten. Rotte kwasten worden wel toegelaten. Mechanische beschadiging moet worden beschouwd als een kwast. Roodstreperigheid wordt niet toegelaten bij sorteerklassen S8 en S10. Bij sorteerklassen S4 en S6 wordt dit toegelaten indien het verkleurd hout nagelvast is en dat dit hoogstens voorkomt over een lengte van 0,5 m en $\frac{1}{4}$ van de breedte van het hout.

3.2.3 Praktische toepasbaarheid van de visuele sortering

Niet alle zaken die voorkomen bij de visuele sortering zijn even eenvoudig te controleren bij rondhouten palen. De kwasten kunnen bijvoorbeeld gemakkelijk opgespoord worden, maar de projectie van deze kwasten in het vlak van de doorsnede is moeilijk te bepalen. De regels van vervorming moeten toegepast worden op een houten element met een lengte van minimaal 2 m, wat dus op de gebruikte palen ook niet toegepast kan worden.

De andere zaken kunnen wel gecontroleerd worden. Op 4 van de gebruikte palen werd een visuele sortering toegepast om de praktische toepasbaarheid te testen. De resultaten hiervan worden weergegeven in Tabel 3-6.

De praktische toepasbaarheid van de visuele sortering is hoofdzakelijk afhankelijk van de barsten en de mogelijke insecten- en schimmelaantasting. Met de kwasten of vervormingen kan moeilijker rekening gehouden worden, aangezien dit niet zo gemakkelijk op te sporen valt.

Tabel 3-6 : praktische toepasbaarheid van visuele sortering.

	Kwasten	Vezelverloop	Jaarring-breedte (afgerond op mm)	Barsten	Vervormingen	Insecten- en schimmel-aantasting	Sorteerklasse
Balk 1	Moeilijk te bepalen	< 1/10	4 mm	Geen doorgaande barst, niet-doorgaande barst is langer dan de helft van de totale lengte	Alle gebruikte palen hebben een lengte kleiner dan 2m	n.v.t.	Voldoet niet
Balk 2		< 1/10	5 mm	Geen doorgaande barst, niet-doorgaande barst is korter dan een kwart van de totale lengte		n.v.t.	S8 indien kwasten en vervormingen in orde zijn
Balk 3		< 1/10	4 mm	Geen doorgaande barst, niet-doorgaande barst is langer dan een kwart van de totale lengte maar korter dan de helft van de totale lengte		n.v.t.	S4 indien kwasten en vervormingen in orde zijn
Balk 4		< 1/10	4 mm	Geen doorgaande barst, niet-doorgaande barst is langer dan een kwart van de totale lengte maar korter dan de helft van de totale lengte		n.v.t.	S4 indien kwasten en vervormingen in orde zijn

4 MEETNAUWKEURIGHEID BIJ DE PROEFOPSTELLINGEN

4.1 Materialen sjorring

Voor de sjorringen wordt gebruik gemaakt van sjorhout en sjortouw. In hoofdstuk 3 werden de eigenschappen van deze materialen beschreven. Het gebruikte sjorhout heeft een diameter van 12 cm. Van de gebruikte palen werd met een schuifmaat de diameter in twee richtingen bepaald aan de bovenkant, in het midden en aan de onderkant. De minimale diameter die opgemeten wordt bedraagt 10,94 cm. De maximale waarde is 12,91 cm.

4.2 Gebruikte apparatuur

Het aanbrengen van de belasting gebeurt met de grote drukpers in het labo betontechnologie op de technologiecampus Gent. Het aanbrengen van de last gebeurt belastingsgestuurd in belastingsstappen van 5 kN of 10 kN. Deze belasting blijft niet perfect constant wanneer de opmetingen gedaan worden. De spreiding op de waarden kan tot $\pm 1,5$ kN bedragen. Bij de initiële proefopstellingen wordt gebruik gemaakt van de piekwaarde bij iedere belastingsstap. Bij het volledige proefprogramma worden de afgeronde waarden op 5 kN of 10 kN gehanteerd. De spreiding wordt hierbij verwaarloosd.

Bij de initiële proefopstelling wordt de zetting opgemeten met een laserafstandsmeter. De nauwkeurigheid van het toestel MS-40 van fabrikant Toplaser bedraagt volgens de handleiding $\pm 1,5$ mm.

Bij het proefprogramma worden coördinaten bepaald met een totaalstation. Hierbij wordt een reflecterende tape op het uiteinde van iedere horizontale balk aangebracht en wordt de z-coördinaat van dit punt bepaald. Afhankelijk van de beschikbaarheid werd gebruik gemaakt van de toestellen in Tabel 4-1.

Tabel 4-1 : gebruikte totaalstations voor metingen.

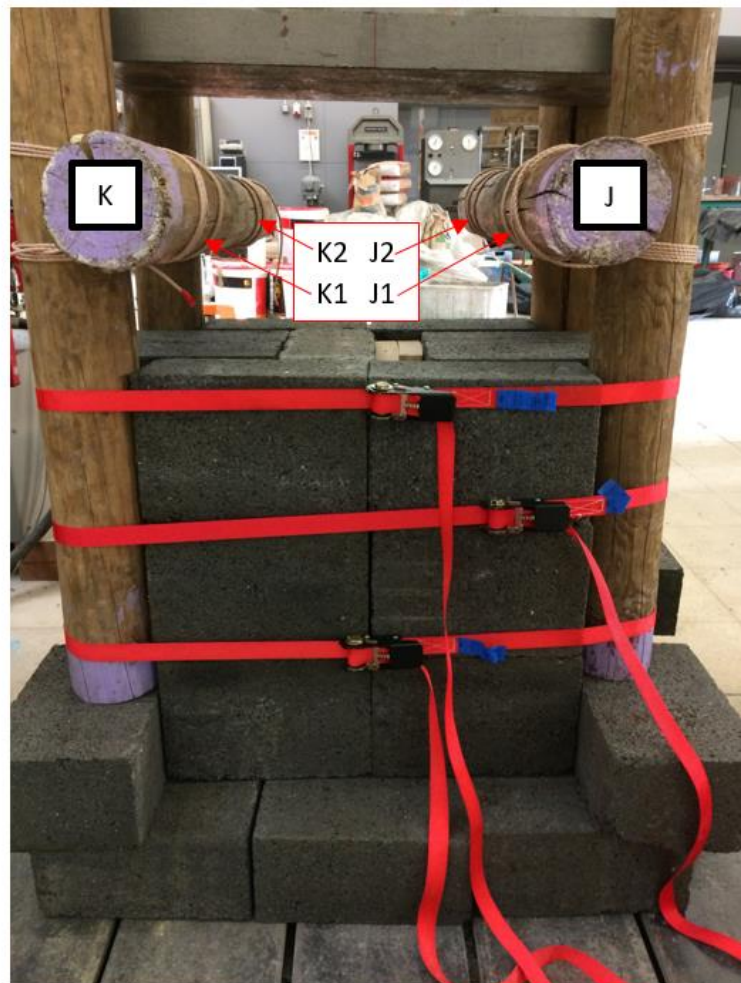
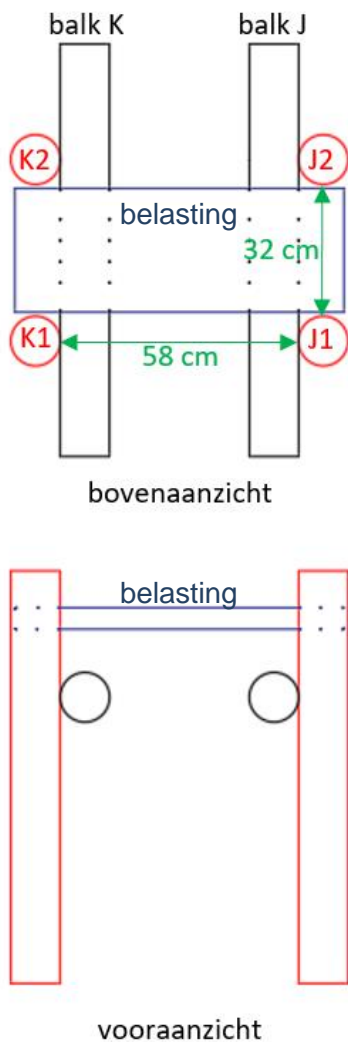
Merk	Aantal beschikbaar	Type	Meetnauwkeurigheid	Nauwkeurigheid z-coördinaat
Topcon	2	ES 105	5" – 2mm+2ppm	$\pm 0,19$ mm
Leica	1	TCRA 1101	1" – 2mm+2ppm	$\pm 0,04$ mm
Leica	1	TPS 1203	3" – 2mm+2ppm	$\pm 0,12$ mm
Leica	1	Viva TS15	1" – 1mm+1,5ppm	$\pm 0,04$ mm

Aangezien de fout op de z-coördinaten zeer kleine waarden aanneemt, wordt beslist de gemeten waarden te weerhouden en geen rekening te houden met deze toestelafhankelijke fouten.

5 INITIËLE PROEFOPSTELLINGEN

5.1 Naamgeving van de proefopstelling

Alle testen gebeuren op een gelijkaardige proefopstelling. Hierbij worden 4 palen rond een kern van betonstenen ingeklemd door middel van spanriemen zoals voorgesteld in Figuur 5-1. Bij de kortste afstand tussen 2 palen wordt een horizontale ligger gesjord boven de kern van betonstenen. De afstand tussen deze palen die door een ligger verbonden worden bedraagt 32 cm, zodat de ligger volledig belast kan worden door de pers met een breedte van 30 cm. In de andere richting staan de verticale palen 58 cm uit elkaar.



Figuur 5-1 : voorstelling proefopstelling.

De naamgeving die opgenomen is in Figuur 5-1 wordt verder in deze scriptie aangehouden. De horizontale liggers hebben de naam J en K. De sjorknopen die deze liggers met de verticale palen verbinden worden genummerd: J1, J2, K1 en K2. De verticale palen krijgen geen aparte naam, maar indien er naar de verticale palen verwezen wordt, krijgen deze de naam van de sjorknoop die met deze paal verbonden is.

5.2 Proefopstelling 1

5.2.1 Opstelling

Iedere sjorring bestaat uit 3 windingen en 3 woelingen behalve knoop D waar slechts 2 windingen gelegd worden door de kortere lengte van het touw. De beginmastworp wordt bij iedere knoop gelegd op de verticale paal onder de ligger en eindigen gebeurt door middel van een mastworp op de ligger. Voor alle knopen wordt polypropyleentouw gebruikt en de horizontale liggers hebben een vrije hoogte van 15 cm boven de betonstenen.

5.2.2 Verloop van de proef

Op de sjorring wordt een voorlast van 1 kN aangebracht. Vervolgens wordt in stappen van 5 kN de belasting op proefopstelling verhoogd. Bij een belasting van 80 kN moet de proef stop gezet worden aangezien de sjorbalk in knoop K1 (Figuur 5-1) tot tegen de betonstenen komt. Ook bij de andere knopen raken de liggers bijna de betonstenen. Bij het ontlasten schoof knoop K1 af en veren de andere knopen allemaal ongeveer 5 cm elastisch terug.

Wegens de ongekende reactie van de proefopstelling kunnen nog geen precieze zettingen per belastingsstap geregistreerd worden. Ook zijn er geen gedetailleerde foto's van tijdens de proef.

5.2.3 Analyse na het ontlasten

5.2.3.1 Analyse van de sjorknopen

Zoals reeds vermeld in 5.2.2 hebben alle sjorknopen een zetting ondergaan tot bijna tegen de betonstenen en veren zij erna gedeeltelijk terug. De zetting van de afzonderlijke knopen bedraagt na het terugveren:

- Knoop J1: zetting ± 100 mm
- Knoop J2: zetting ± 80 mm
- Knoop K2: zetting ± 110 mm

Knoop K1 is na het ontlasten afgeschoven op de verticale balk en heeft dus een blijvende zetting van 150 mm. Het verschil tussen de terugvering van knoop J1 en de blijvende zetting van knoop K1 wordt weergegeven in de middelste foto van Figuur 5-2.

Tijdens belasting

na belasting (vooraanzicht)

na belasting (achteraanzicht)



Figuur 5-2 : proefopstelling 1. tijdens en na belasting.

5.2.3.2 Analyse van de touwen

Bij alle knopen is de mastworp geklemd geraakt tussen de horizontale balk die een zetting ondergaat en de verticale balk zoals voorgesteld op Figuur 5-3 a. Na het losmaken van de knoop is er uitwendig echter geen schade aan het touw te merken.

Bij sjorknoop J2 is na het ontlasten een deel van de woeling van de eindmastworp losgekomen. Ook is tijdens de proef bij deze knoop de beginmastworp doorgetrokken en kon deze niet meer als knoop aanzien worden. Daarom wordt beslist bij de komende testen een timmermanssteek te gebruiken als beginknoop voor de sjorring.



Figuur 5-3 : analyse van de touwen (a) en analyse van de liggers (b+c).

5.2.3.3 Analyse van de liggers

Bij alle sjorknopen is er een duidelijke indeuking te merken bij de belaste liggers (Figuur 5-3 b). Deze is bij alle knopen op het zicht ongeveer even groot. Ook is er overal een insnijding op de plaatsen waar de touwen van de sjorring lagen (Figuur 5-3 c). Deze is bij de ene knoop wel veel groter dan bij de andere knoop.

Na het ontlasten valt op dat balk K volledig gespleten is en dus niet meer bruikbaar is voor komende testen.

5.2.3.4 Analyse van de verticale sjorpalen

Bij de verticale sjorpalen is geen schade te merken. Er is geen insnijding door de touwen of geen indeuking door de wrijving tussen de palen.

5.3 Proefopstelling 2

5.3.1 Opstelling

Bij deze tweede proef wordt een gelijkaardige proefopstelling van vier sjorknopen gemaakt, met drie windingen en drie woelingen uit polypropyleentouw.

De knoop in het begin is een timmermanssteek onder de horizontale paal. Eindigen gebeurt met een mastworp op de horizontale paal. De horizontale palen worden hoger dan bij de eerste proefopstelling gesjord zodat de balken de mogelijkheid hebben tot voldoende zetting. De verticale palen zijn volledig ingeklemd over de volledige hoogte van de kern van de betonstenen. De vrije hoogte van de palen boven de betonstenen tot aan de horizontale liggers is ongeveer 25 cm.

De metingen van de zettingen gebeurt met de laserafstandsmeter MS-40 die beschreven is in hoofdstuk 4. Er wordt steeds gemeten van op de grond tot op een rood punt op de onderkant van de horizontale balk net naast de knoop.

Tijdens de proef worden drie Go Pro camera's geplaatst om de proef te registreren. Er wordt een algemeen beeld van de volledige proefopstelling gemaakt. Knoop J1 wordt door een camera in beeld gebracht en een derde camera staat onder balk J en brengt de beide horizontale balken in beeld.

5.3.2 Verloop van de proef

De proefopstelling wordt belast in belastingsstappen van 5 kN tot aan 50 kN en erna zou de proefopstelling verder belast worden in belastingsstappen van 10 kN. Omdat er een horizontale houten paal gebarsten is, wordt de proef stopgezet bij een belasting van 60 kN.

5.3.3 Analyse na het ontlasten

5.3.3.1 *Analyse mastworp en timmermanssteek:*

Geen enkele mastworp (eindknoop) is doorgeschoven of losgekomen tijdens of na de belasting van de proefopstelling. De timmermansstekken (beginknopen) raakten net zoals bij de eerste proefopstelling opnieuw geklemd tussen de palen.

5.3.3.2 *Analyse van de houten palen:*

Na het ontlasten van de proefopstelling wordt opnieuw nagegaan of er schade is aan de houten palen. Horizontale balk J is gebarsten, waarna de proef stopgezet is. Indeukingen en insnijdingen door het touw zijn nauwelijks te merken na een belasting tot 60 kN

5.3.3.3 *Afschuiving van de knopen op de verticale balken:*

De knoop J1 schuift af vanaf een belasting van 20 kN. Bij iedere verdere belastingsstap schuift de knoop verder af op de verticale paal. Bij de andere knopen is er tijdens de belasting geen afschuiving te merken. Na het ontlasten is er wel bij alle knopen een zekere afschuiving te merken. De afschuiving op de verticale palen wordt in Tabel 5-1 weergegeven.

Tabel 5-1 : afschuiving van de knopen op de verticale balken.

	afschuiving bovenste touw (in mm) - blauw	afschuiving timmermanssteek (in mm) - rood	afschuiving onderste touw (in mm) - groen
knoop J1 (bij 40 kN)	20	0	0
knoop J1	40	4	16
knoop K1	8	8	8
knoop J2	6	4	10
knoop K2	8	4	4



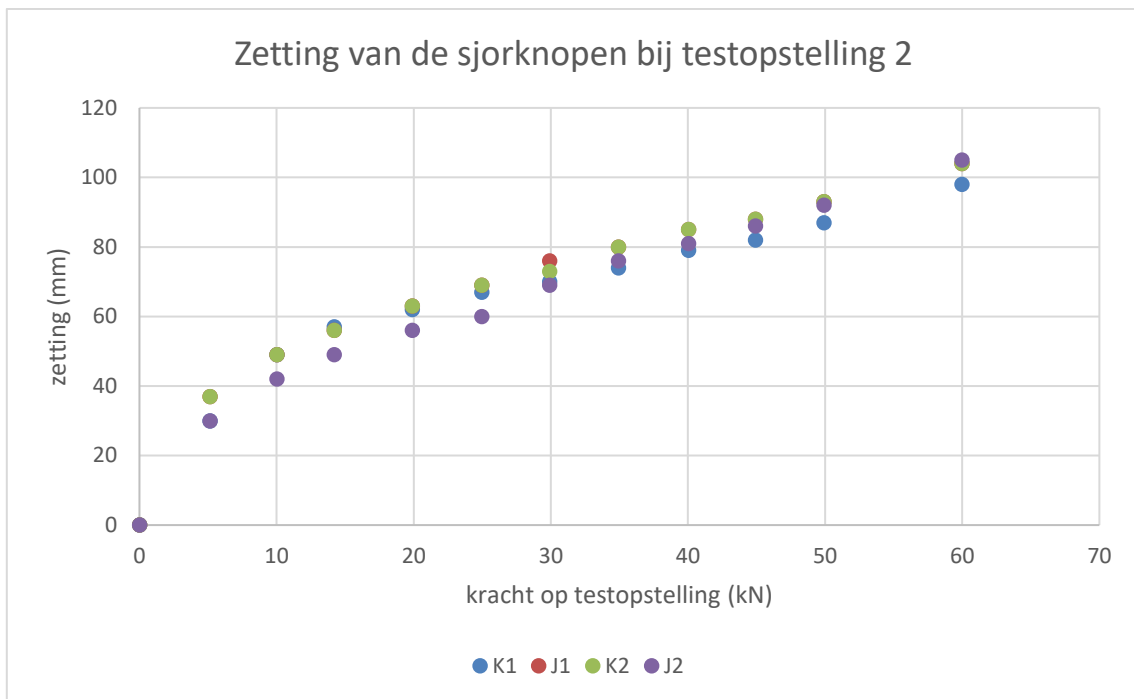
Figuur 5-4 : aanduiding afschuiving van bovenste en onderste touwen op verticale balk.

De meetresultaten zijn niet heel nauwkeurig. Enerzijds is het resultaat afhankelijk van de afmeting op een plooiometer met een nauwkeurigheid van maximaal 1 mm. Anderzijds is het resultaat afhankelijk van de plaatsing van het plakband dat het oorspronkelijk niveau van het touw aanduidt. Het aanbrengen van het plakband kan ook niet precies tot 1 mm nauwkeurig.

5.3.4 Analyse van de zetting van de knopen

Bij de eerste belastingsstap is er een zetting van 30 tot 40 mm bij iedere knoop. Er na verkleint deze zetting tot zo'n 4 à 5 mm bij de andere belastingsstappen. Enerzijds heeft polypropyleentouw een iets grotere rek bij kleine belasting dan bij grotere belastingen. Anderzijds is er ook een initiële zetting bij iedere sjorring bij de eerste belasting om de touwen optimaal te kunnen belasten. Er treedt geen afschuiving langs de verticale paal op.

Van de zettingen van deze testopstelling wordt een grafiek opgesteld (Figuur 5-5). Bij het aanbrengen van de belasting is er een zeer grote initiële zetting. Vanaf de belastingsstap van 10 kN is de zetting van de knopen ongeveer rechtlijnig over de belastingsstappen.



Figuur 5-5 : zetting van de sjorknoppen bij testopstelling 2.

6 OPSTELLING PROEFPROGRAMMA

Na de karakterisering van de materialen en de testen op de proefopstellingen kan in een volgende fase een proefprogramma geschreven worden.

Het doel van het proefprogramma is tweeledig. Enerzijds het breukmechanisme van een sjorknoop onderzoeken wanneer de houten balken niet breken. Anderzijds een voorspelling te maken van de zettingen die een sjorknoop ondergaat en van de krachten die door een sjorknoop opgevangen kunnen worden.

Bij de komende testen zal de proefopstelling bijgevolg in verschillende stappen belast worden en wordt bij deze belastingen de zetting gemeten. Met een totaalstation wordt steeds de verticale coördinaat opgemeten en kan zo de zetting per belastingsstap berekend worden. Daarnaast zal gedurende de proeven met Go Pro camera's het gedrag van de knopen vastgelegd worden om op die manier het breukmechanisme te kunnen vastleggen.

Steeds zal een combinatie van een bepaald aantal windingen met een bepaald aantal woelingen getest worden. Van iedere combinatie gebeuren minimum 5 representatieve testen om statistisch te kunnen nagaan of de zettingen of het breukmechanisme niet te veel afwijken bij verschillende testen. Alle knopen worden gelegd met polypropyleentouw. Het gebruikte hout heeft een diameter van 12 cm.

De naamgeving van de sjorknopen blijft behouden.

6.1 Verloop van de proeven

Bij de initiële proefopstellingen werd een van beide proeven stopgezet bij breuk van het hout. Bij dit volledige proefprogramma met nieuwe houten palen wordt slechts een maal de proef stopgezet bij breuk van het hout. Breuk van het touw en afschuiving op de verticale palen zijn de twee belangrijke breukmechanismen die opgemerkt worden.

Indien er afschuiving op de verticale palen plaats vindt, is dit een plotse afschuiving en geen langzame verschuiving. Tijdens de proef is er nauwelijks afschuiving op de verticale houten paal. Indien dit toch voorkwam, werd de proef stopgezet.

We merken op dat een breuk van het touw zich steeds voordoet in de timmermanssteek, de beginknoop. De breuk van een of meestal meerdere strengen doet zich voor in het stuk touw dat door de lus van de timmermanssteek loopt zoals reeds voorgesteld was in Figuur 3-5 en voorgesteld wordt door de rode lijn in Figuur 6-1.



Figuur 6-1 : breuk van het touw in de timmermanssteek (Pollefoort et al., 2009)

Van beide breukmechanismen en van het volledige proefverloop is in bijlagen F en G een fragment van de Go Pro-beelden toegevoegd.

In het andere geval is het breukmechanisme afschuiving op de verticale paal. De verticale palen bij deze proefopstellingen hadden niet opmerkelijk gladdere palen dan de verticale palen bij proefopstellingen met het andere breukmechanisme. Indien er minder woelingen zijn, valt wel op op dat de kans groter is op afschuiving op de verticale paal.

Bij de initiële testopstellingen was steeds duidelijke insnijding door de touwen te merken. Dit komt nauwelijks voor bij deze proeven. Wel wordt er bij proeven met hoge belastingen uitwendig schade opgemerkt bij zowel de horizontale (Figuur 6-2 e) als de verticale (Figuur 6-2 a en b) palen. Ook zorgen de touwen soms voor afschilferen van de buitenste laag hout (Figuur 6-2 c en d). Als deze schade te groot is, worden deze palen vervangen door nieuwe houten palen.



Figuur 6-2 : schade aan houten palen na het beproeven.

Het touw voor de proeven is steeds op maat gesneden van het aantal windingen en woelingen. Soms blijkt het touw iets te kort door kleine afwijkingen op de dikte van het hout of door het gebruik van iets te veel touw in de timmermanssteek. Hierdoor moet geëindigd worden met een halve steek of een overhandse knoop in plaats van een mastworp. Na enkele testen blijkt dat deze eindknoop niet loskomt of geen negatief effect heeft op de sterkte van de sjorknoop. Daarom wordt beslist om alle eindknopen uit te voeren als halve steek.

6.2 Verwerking van de meetresultaten

Voor de verwerking van de resultaten wordt gebruik gemaakt van MS Excel. Het volledige bestand is toegevoegd in bijlage B. In het linkse deel van de tabel worden steeds de coördinaten van de vier knopen genoteerd zoals deze afgelezen worden op het totaalstation. In het rechtse deel wordt de cumulatieve zetting ten opzichte van het beginpunt berekend. Daarnaast wordt bij iedere belastingsstap de gemiddelde zetting en de standaardafwijking van de resultaten van de steekproef bepaald.

Bij alle proefopstellingen wordt een eerste meting van de coördinaten gedaan voor het belasten. Vervolgens wordt een voorlast aangebracht van ongeveer 1 kN en worden de coördinaten opnieuw bepaald. Bij alle testen zijn de coördinaten bepaald bij een belasting van 5 kN en 10 kN. De grootte van de daarop volgende belastingsstappen is afhankelijk van het aantal windingen rond de houten palen. Bij de combinaties met 1 en 2 windingen bedragen de belastingsstappen 5 kN tot aan 50 kN en variëren de belastingsstappen erna per 10 kN. Bij de combinaties met 3 windingen wordt vanaf de belastingsstap van 10 kN steeds verhoogd met 10 kN voor iedere volgende belastingsstap. Deze krachten zijn steeds de totale belasting op de volledige proefopstelling.

Ter illustratie wordt Tabel 6-1 bijgevoegd waarin de meetresultaten en de berekening van de zetting van testopstelling 1 bij de combinatie van 2 windingen en 1 woeling zijn opgenomen.

Tabel 6-1 : meetresultaten 2 windingen en 1 woeling [kN en mm]

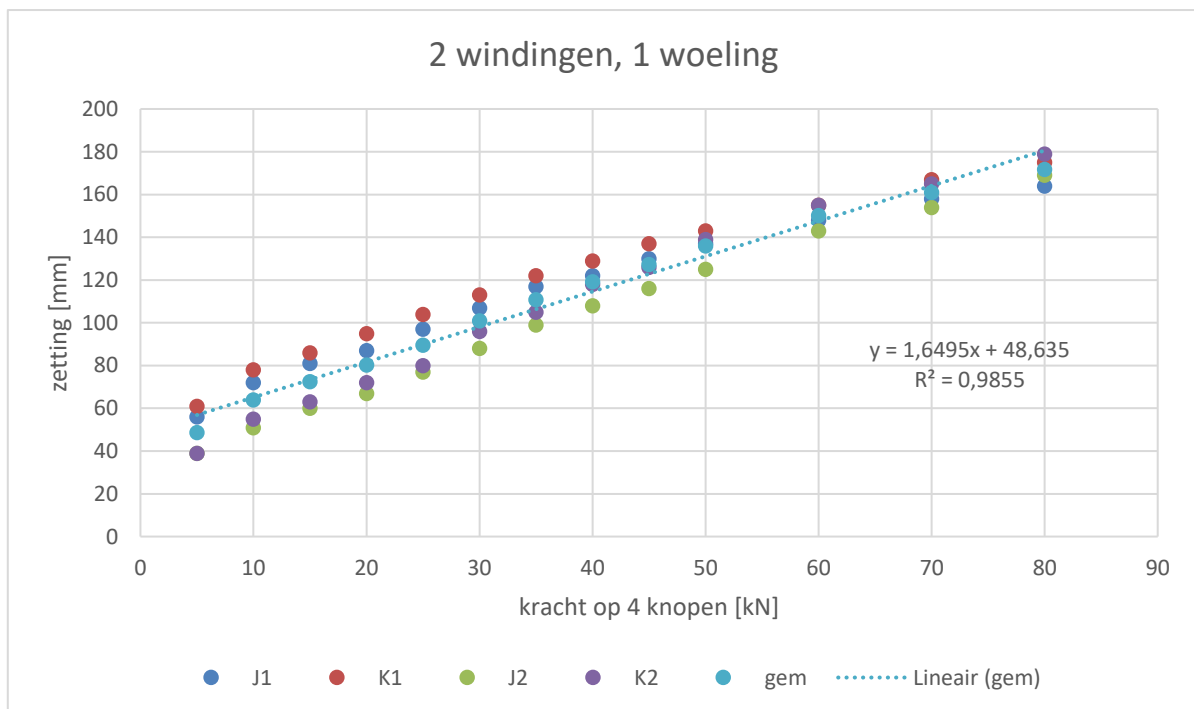
belasting	J1	K1	J2	K2	belasting	J1	K1	J2	K2	gem	standaard deviatie
0	869	869	785	787	0	0	0	0	0	0	0
voorlast	886	888	771	780	voorlast	17	19	14	7	14,25	5,25
5	925	930	746	748	5	56	61	39	39	48,75	11,44
10	941	947	734	732	10	72	78	51	55	64	13,03
15	950	955	725	724	15	81	86	60	63	72,5	12,92
20	956	964	718	715	20	87	95	67	72	80,25	12,99
25	966	973	708	707	25	97	104	77	80	89,5	13,07
30	976	982	697	691	30	107	113	88	96	101	11,16
35	986	991	686	682	35	117	122	99	105	110,75	10,59
40	991	998	677	669	40	122	129	108	118	119,25	8,77
45	999	1006	669	661	45	130	137	116	126	127,25	8,77
50	1006	1012	660	648	50	137	143	125	139	136	7,74
60	1017	1024	642	632	60	148	155	143	155	150,25	5,85
70	1027	1036	631	622	70	158	167	154	165	161	6,05
80	1033	1044	616	608	80	164	175	169	179	171,75	6,60

Naast de numerieke verwerking van de resultaten worden deze ook grafisch voorgesteld. De zetting van alle knopen wordt uitgezet in functie van de belasting. In de grafieken worden de voorlast en de ontlaste toestand niet opgenomen, omdat hier de initiële zetting meespeelt en deze bij sommige knopen zeer veel zakt of soms zelfs stijgt indien de andere knoop van de horizontale balk J of K veel zakt. In verdere paragrafen zal deze initiële zetting apart besproken worden.

Naast deze zettingen van de aparte knopen wordt ook het gemiddelde uitgezet in de grafieken. Van deze gemiddelde waarden wordt de lineaire trendlijn voorgesteld in de grafiek en wordt hiervan de vergelijking en de R^2 -waarde weergegeven.¹

De richtingscoëfficiënt die weergegeven wordt, geeft de gemiddelde zetting van de vier knopen weer in mm/kN. Deze waarde zal later ook gebruikt worden voor berekeningen.

Een voorbeeld hiervan is Figuur 6-3 van testopstelling 1 bij 2 windingen gecombineerd met 1 woeling. De gemiddelde zetting van de vier knopen bedraagt hier 1,65 mm/kN en met een R^2 -waarde van 0,9855 kunnen we besluiten dat de zetting over de verschillende belastingsstappen zeer lineair verloopt en deze resultaten behouden kunnen blijven zolang er geen enkele knoop is met sterk afwijkende resultaten.



Figuur 6-3 : Grafiek van meetresultaten 2 windingen en 1 woeling (testopstelling 1)

¹ De R^2 -waarde is het kwadraat van de correlatiecoëfficiënt die de richting en sterkte van de lineaire relatie tussen twee kwantitatieve variabelen weergeeft. Wanneer deze waarde dicht bij 1 ligt, wil dit zeggen dat de waarden rechtlijnig verlopen. (Microsoft Office, 2018; Universiteit Gent, 2018)

6.3 Betrouwbaarheid van de resultaten

De cumulatieve zetting van een knoop ten opzichte van de beginpositie wordt weergegeven in de tabellen van de meetresultaten. Aangezien hierin de initiële zetting een grote rol speelt, heeft de afwijking van de resultaten van de individuele knopen ten opzichte van het gemiddelde geen grote betekenis. Van alle knopen wordt de zetting uitgezet in functie van de belasting. Hierdoor kan de trendlijn per knoop opgesteld worden en kan deze wel vergeleken worden met de andere knopen. De initiële zetting heeft namelijk geen invloed op de helling van de trendlijn. Indien er een richtingscoëfficiënt van de zetting van een knoop is die meer dan 50% afwijkt ten opzichte van de richtingscoëfficiënt van de gemiddelde zetting van alle knopen van die proefopstelling, wordt deze proef sowieso verworpen voor de statistische verwerking. Dit bestand met alle trendlijnen wordt apart als bijlage C ingevoegd om de leesbaarheid en begrijpbaarheid van bijlage B te behouden.

Daarnaast worden sommige andere resultaten verworpen voor de statistische verwerking. Dit gebeurt bij de proeven waarbij er overmatige afschuiving is op de verticale palen tijdens het belasten of als er vroegtijdig afschuiving optreedt bij opstellingen waarbij woelingen gebruikt zijn. Onder vroegtijdig afschuiven worden alle gevallen gerekend waarbij afschuiving optreedt alvorens 25% van de belasting die gemiddeld bij de andere proefopstellingen gehaald wordt, bereikt is. Ook als de drukpers te scheef duwde op een van beide horizontale balken door een kleine excentriciteit van de belasting of door een grotere initiële zakking bij een van beide horizontale balken worden de resultaten verworpen.

In bijlage A wordt een overzicht gegeven van alle proefopstellingen met hun breukmechanisme. Hierin zijn alle resultaten die verworpen moeten worden aangeduid en is de reden voor het verwerpen van de resultaten opgenomen.

6.4 Extra testopstellingen voor verworpen resultaten

Er worden na het afronden van het oorspronkelijk proefprogramma extra testen gedaan om te zorgen dat er voldoende gegevens beschikbaar zijn bij de mogelijke combinaties als een of meerdere resultaten moeten verworpen worden. Deze zijn in aparte tabbladen opgenomen in bijlage B en hiervan wordt ook het breukmechanisme en de reden voor het al dan niet verwerpen van de resultaten weergegeven in bijlage A.

Aangezien nog niet alle gegevens verwerkt of niet correct verwerkt zijn bij het uitvoeren van de extra proeven, zijn er vier combinatiemogelijkheden waarbij minder dan vijf betrouwbare proeven gebeuren. Bij de andere combinatiemogelijkheden zijn er steeds vijf tot zeven betrouwbare resultaten.

Van alle resultaten van de verschillende proefopstellingen kan 71 % behouden blijven voor statistische verwerking om de zetting in functie van de belasting te bepalen. De andere waarden worden verworpen.

6.5 Verwerking van de verschillende combinaties

In de voorgenoemde bijlage B is per combinatiemogelijkheid een nieuw tabblad aangemaakt. Hierin zijn alle testopstellingen opgenomen en op dezelfde manier als beschreven in paragraaf 6.2 verwerkt.

Een extra tabblad, samenvatting resultaten, is aangemaakt in het bestand. Dit bevat de gegevens van de richtingscoëfficiënten van de gemiddelde zetting bij iedere testopstelling, zoals ook voorgesteld in Tabel 6-2. Daarnaast is in ditzelfde tabblad ook opgenomen wat het

breukmechanisme is bij de verschillende testopstellingen per combinatiemogelijkheid van aantal windingen en woelingen. Deze breukmechanismes staan meer in detail uitgeschreven in bijlage A.

Tabel 6-2 : samenvatting resultaten proefprogramma: zetting in mm/kN

Aantal windingen	Aantal woelingen	test 1	test 2	test 3	test 4	test 5	test 6	test 7	test 8	extra test	extra test	extra test	gemiddelde	afwijking
3	3	1,62	1,76	1,33	1,42	1,38	1,40			1,46			1,43	0,10
	2	1,11	1,59	2,27	1,72	2,23	1,14			1,68	1,10		1,33	0,30
	1	1,61	1,60	1,45	1,76	1,31	1,28			2,10	2,01	0,99	1,37	0,24
	0	1,74	1,67	1,69	1,77	1,74	2,12			2,62			1,73	0,05
2	3	2,01	2,05	2,16	2,77	1,99	1,35	1,56	1,50	1,62			1,51	0,12
	2	1,43	1,49	1,64	1,46	1,73	1,78			2,90	1,47		1,54	0,12
	1	1,65	1,75	1,78	1,61	1,79	1,78			1,31			1,67	0,17
	0	2,41	2,21	2,45	2,53	3,27				2,06	2,10		2,26	0,20
1	3	2,96	2,36	2,45	2,44	2,46	2,82						2,58	0,25
	2	2,28	2,95	2,86	3,50	3,65	2,42						2,80	0,48
	1	2,91	3,01	3,28	4,55	2,59	2,39			2,45			2,59	0,23
	0	2,41	2,24	4,00	3,35					3,59			2,90	0,67

Het gemiddelde zoals dit berekend wordt in Tabel 6-2 wordt enkel bepaald op basis van de betrouwbare resultaten, waarbij de vetgedrukte waarden in de tabel de verworpen resultaten voorstellen. Voor de standaardafwijking worden dezelfde waarden beschouwd.

Er wordt verwacht dat de gemiddelde zetting van de proeven groter wordt naarmate er minder windingen zijn. Ook bij minder woelingen moet de zetting dalen, aangezien deze de touwen van de windingen extra samen trekken en er voor zorgen dat er minder zetting toegelaten wordt. Dit wordt grotendeels bevestigd door de waarden in de tabel. Enkel de toenemende zetting bij minder woelingen klopt niet volledig bij de combinaties met 1 en 3 windingen.

6.6 Initiële zetting bij het aanbrengen van de voorlast

Bij de verwerking van alle voorgaande meetresultaten wordt steeds de initiële belasting buiten beschouwing gelaten. Op de zetting bij deze initiële belasting is een zeer grote spreiding te merken. Van de onbelaste toestand tot de belastingsstap van 5 kN worden zettingen gemeten die gemiddeld tussen 3 en 6 cm liggen voor een proefopstelling. Bij de proefopstellingen met 1 winding kunnen deze waarden zelfs nog hoger liggen.

Het verschil tussen de vier knopen bij 1 proefopstelling is ook significant. Waarden tot 8 cm zijn geen uitzondering. Bij bepaalde proeven wordt soms ook een negatieve zetting gemeten, wat wil zeggen dat een bepaalde knoop omhoog komt door de belasting die aangrijpt, en de andere knoop van de paal waarop de belasting aangrijpt zeer sterk omlaag duwt.

In hoofdstuk 9 wordt de initiële zetting van de sjorknopen verder besproken.

6.7 Resultaten bij het proefprogramma met polypropyleentouw

Uit bovenstaand proefprogramma kan besloten worden dat de zetting van sjorknopen lineair verloopt in functie van de belasting. Er moet hierbij wel opgemerkt worden dat er eerst een grotere initiële zetting optreedt die te wijten is aan toevalligheden zoals de plaats van aangrijpen van de kracht of de hoogte van het sjorren van de horizontale balk.

De zetting van sjorknopen is kleiner indien er meer windingen of woelingen gebruikt worden voor de knoop. Er is geen lineair verband op te merken tussen de variaties met 1, 2 of 3 windingen. De invloed van de woelingen is kleiner op de zetting van sjorknopen, maar heeft een grote invloed op het al dan niet afschuiven op de verticale paal.

De breuk die opgemerkt wordt is ofwel breuk van het touw in de timmermanssteek ofwel een afschuiving van de knoop op de verticale paal.

De eindknoop heeft geen invloed op de sterkte van de sjorknoop. Daarom wordt na enkele testen beslist de mastworp als eindknoop te vervangen door een enkele steek. Extra testen wezen uit dat er geen extra los touw in de knoop getrokken wordt, dus dat de knoop blijft bestaan uit dezelfde delen van het touw.

Iets minder dan een derde van de resultaten van de uitgevoerde testen worden niet gebruikt voor de statistische verwerking om de zetting te berekenen. De reden hiervoor is een vroegtijdige afschuiving op de verticale paal of een enkele knoop die veel meer zetting ondergaat dan de overige knopen. Het is belangrijk dit zeker niet uit het oog te verliezen, aangezien bij een werkelijke constructie dergelijke vroegtijdige afschuivingen ook kunnen voorkomen.

7 MODELLEREN VAN EEN SJORCONSTRUCTIE

7.1 Typische sJORconstructies

Sjorringen bestaan in alle mogelijke vormen, structuren en groottes. In deze paragraaf zullen enkele typische bouwwerken beschreven worden en zullen berekeningsmethodes aangeleverd worden. Berekeningen zullen gebeuren aan de hand van eurocode EN 1995-1-1 in combinatie met de resultaten van de knopen uit voorgaand hoofdstuk.

7.2 Gebruik van de eurocode en normen

Het hout dat gebruikt wordt voor de berekeningen is fijnspar, zoals reeds vermeld in hoofdstuk 3. De F.O.D. Economie (2008) vermeldt dat hout dat beschikbaar is in de handel minimum moet voldoen aan de sterkteklasse C16 zoals beschreven in de norm NBN EN 338. Met behulp van visuele sortering kan ook voldaan zijn aan hogere sterkteklassen. In onderstaande Tabel 7-1 staan de belangrijkste eigenschappen opgenomen voor sterkteklasse C16, C18, C24 en C30.

Tabel 7-1 : eigenschappen van sterkteklassen [in N/mm²]. (Bureau voor Normalisatie, 2016)

		C16	C18	C24	C30
Doorbuiging	$f_{m,k}$	16	18	24	30
Trek evenwijdig aan vezelrichting	$f_{t,0,k}$	10	11	14	18
Trek loodrecht op vezelrichting	$f_{t,90,k}$	0,5	0,5	0,5	0,6
Druk evenwijdig aan vezelrichting	$f_{c,0,k}$	16	18	21	23
Druk loodrecht op vezelrichting	$f_{c,90,k}$	2,2	2,2	2,5	2,7
Afschuiving	$f_{v,k}$	1,8	2	2,5	3
Gemiddelde elasticiteitsmodulus evenwijdig aan vezelrichting	$E_{0,gemidd.}$	8000	9000	11000	12000
Gemiddelde elasticiteitsmodulus loodrecht op vezelrichting	$E_{90,gemidd.}$	270	300	370	400
Karakteristieke volumieke massa	ρ_k [in kg/m ³]	310	320	350	380

De berekeningen gebeuren steeds met balken met een diameter van 12cm, tenzij uitdrukkelijk anders vermeld.

Aan de hand van hoofdstuk 6 uit EN 1995-1-1 kan een berekening in uiterste grenstoestand gemaakt worden (Bureau voor Normalisatie, 2005). Om van de karakteristieke waarden uit

Tabel 7-1 gebruik te kunnen maken, moeten deze omgezet worden naar rekenwaarden zoals beschreven in hoofdstuk 2 en 3 uit diezelfde eurocode.

De rekenwaarde X_d van een sterkte-eigenschap wordt berekend met behulp van formule 7.1

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (7.1)$$

De rekenwaarde E_d van de elasticiteitsmodulus wordt berekend met behulp van formule 7.2.

$$E_d = \frac{E_{gemidd}}{\gamma_M} \quad (7.2)$$

Verder voor het gebruikte hout kan de partiële factor γ_M aan 1,3 gelijk gesteld worden. Voor k_{mod} moet een keuze gemaakt worden voor de klimaat- en belastingsduurklasse. De klimaatklasse is 1 en de belastingsduurklasse is doorgaans kort of zeer kort voor sjorringen. Indien kort wordt aangenomen als belastingsduurklasse is k_{mod} gelijk aan 0,90.

7.3 Berekening van een balk volgens de eurocode

7.3.1 Balken hoofdzakelijk belast op buiging

Om een constructie te modelleren moeten eerst de gebruikte balken gekend zijn en moeten de sterkte-eigenschappen hiervan berekend worden. Horizontale liggers worden hoofdzakelijk belast op buiging. Andere palen kunnen ook op trek en druk belast worden.

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d} \quad (7.3)$$

$$M_y \leq 0,90 * \frac{16 \frac{N}{mm^2}}{1,3} * \frac{I_y}{y}$$

$$q * l^2 \leq 8 * 0,90 * \frac{16 \frac{N}{mm^2}}{1,3} * \frac{1,0179 * 10^7 mm^4}{\frac{120}{2} mm} = 1,503 * 10^7 Nmm$$

Met behulp van bovenstaande formule 7.3 kan berekend worden hoelang een balk kan zijn bij een gegeven belasting of kan bij een gekozen balklengte berekend worden hoeveel belasting op de sjorbalk kan komen. Bij deze formule wordt verondersteld dat de sjorringen zich gedragen als scharnierende ondersteuning. Een gelijkaardige formule kan ook opgesteld worden voor een puntlast in plaats van een verdeelde belasting. Er wordt bij deze formule uitgegaan van een ligger die scharnierend ondersteund is.

Daarnaast zou ook breuk op afschuiving een mogelijkheid kunnen zijn bij de ligger. Ook dit kan worden nagerekend volgens de eurocode.

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$T \leq 0,90 * \frac{1,8 \frac{N}{mm^2}}{1,3} * \frac{2A}{3} = 9,396kN \quad (7.4)$$

$$q * l \leq 2 * 9,396kN$$

Bij deze formule werd gebruik gemaakt van de benaderingsformule $\tau_{max,cirkel} = 3/2 * T/A$, afgeleid door Spaan (2003) aan de TU Delft. Balken van 1 m of langer zullen echter altijd eerder bezwijken op buiging dan op afschuiving als deze formules met elkaar vergeleken worden. Bij verdere berekeningen waarbij balken op buiging belast worden, moet deze tweede voorwaarde niet meer gecontroleerd worden.

In het proefprogramma worden wel balken belast die korter zijn dan 1 m, om zo de belasting zo direct mogelijk te kunnen laten aangrijpen op de sjorknopen. De vrije overspanning van de sjorbalken is 32 cm en de belasting grijpt aan over 30 cm van deze lengte. Indien dit kleine verschil verwaarloosd wordt én gesteld wordt dat $l = 32$ cm, dan mag de verdeelde belasting q niet groter zijn dan 58,7 kN/m of mag een puntlast niet groter zijn dan 18,8 kN. Aangezien de maximale kracht van de drukpers 200 kN is en deze gespreid wordt over de beide horizontale sjorbalken, kan 1 sjorbalk maximaal tot 100 kN belast worden.

De balken die gebruikt worden in de proefopstellingen voldoen dus niet aan de eis op afschuiving uit de Eurocode. Ook wanneer de buigingseis gecontroleerd wordt, zullen vele balken hier niet aan voldoen, want bij een lengte van 32 cm mag de maximale verdeelde belasting volgens de Eurocode 146,5 kN/m zijn op 1 balk. Omgerekend mag er dus maximaal 46,9 kN aangrijpen per horizontale paal. Bij de proeven zijn er verschillende proefopstellingen waarbij deze waarden ruim overschreden worden.

Aangezien geen enkele van deze balken bezweken is tijdens de proeven, kan besloten worden dat de veiligheidsfactoren volgens de Eurocode te streng zijn voor het berekenen van sjorconstructies.

Er wordt een MS Excel bestand opgesteld voor alle berekeningen uit dit hoofdstuk, bijgevoegd in bijlage D. In tabblad 'Berekeningen van balken' kan de sterkteklasse van de balk en de diameter ingegeven worden. Daarnaast kan ook ofwel de overspanning of de belasting ingegeven worden om respectievelijk de maximale belasting of overspanning van de balk te berekenen. Het eigengewicht van de balken wordt verwaarloosd en enkel de opgelegde belasting wordt in rekening genomen.

7.3.2 Balken hoofdzakelijk belast op druk

Balken die hoofdzakelijk op druk belast worden zijn vaak verticale palen die de lasten van een constructie tot de grond moeten leiden. De druksterkte van het hout mag niet overschreden worden en de houten balk mag niet uitknikken.

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (7.5)$$

$$N_d \leq 0,90 * \frac{16 \frac{N}{mm^2}}{1,3} * \frac{\pi * 120^2 mm^2}{4} = 125,3 kN \quad (7.6)$$

Aan bovenstaande voorwaarde zal altijd voldaan zijn bij normale sjorconstructies. Daarnaast wordt de knikstabiliteit gecontroleerd. In de formules voor de knikstabiliteit wordt zowel rekening gehouden met de drukkracht als de eventueel optredende buigingskracht in de palen.

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad \text{met } \lambda = \frac{L}{\sqrt{I/A}} \quad (7.7)$$

Wanneer $\lambda_{rel} < 0,3$ moet rekening gehouden worden met formule 7.8. In het andere geval moet formule 7.9 gebruikt worden. In de praktijk zal bijna altijd formule 7.9 gebruikt moeten worden, aangezien $\lambda_{rel} < 0,3$ bij een balk met diameter 120 mm en eender welke sterkteklasse wil zeggen dat de lengte van het gedrukte deel van de paal kleiner moet zijn dan 600 mm. Bij kleinere diameters van palen zal deze lengte nog verder dalen.

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} < 1 \quad (7.8)$$

Indien er geen buigingskrachten optreden bij een balk met $\lambda_{rel} < 0,3$, dan is reeds aan deze voorwaarde voldaan volgens formule 7.5.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} < 1$$
$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel}^2}} \quad (7.9)$$

$$k_y = 0,5(1 + 0,2(\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2)$$

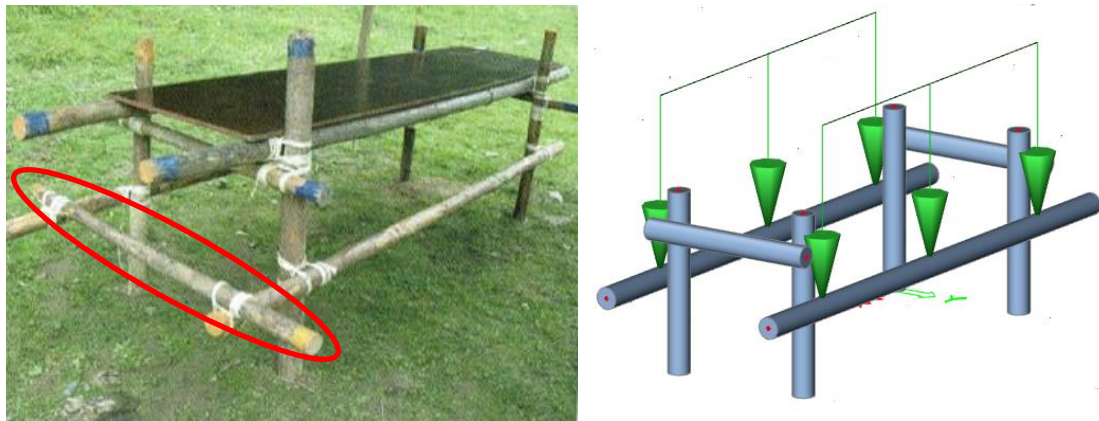
Deze formules zijn ook voorzien in het MS Excel werkblad 'Berekening van balken'.

7.4 Het modelleren van een tafel

Het eerste constructievoorbeld waarvoor een berekening opgesteld wordt is een tafel (Figuur 7-1 en Figuur 7-2). Hierbij wordt uitgegaan van 4 verticale palen die in de grond geboord worden. We gaan ervan uit dat deze palen voldoende ingeklemd zijn in de grond. De lange liggers voor de zitbanken en het tafelblad kunnen zowel rechtstreeks aan de verticale palen gesjord worden als op een ondersteunende sjorbalk over de korte zijde steunen.

Voor de berekeningen in deze paragraaf wordt uitgegaan van het model in Figuur 7-2, waarbij de met rode cirkel aangeduide balk in Figuur 7-1 niet geplaatst wordt in de constructie. Ook de lange liggers onder het tafelblad worden niet gesjord aan de verticale palen, maar geven uitsluitend lasten door aan de korte liggers waarop ze steunen (zonder sjorring). Via de korte liggers worden de lasten naar de verticale palen overgebracht.

Op de banken worden referentiepersonen van 80 kg geplaatst iedere halve meter. Het gebruikte hout voor de berekeningen is hetzelfde als het gebruikte hout in voorgaande hoofdstukken.



Figuur 7-1 : voorstelling van een sjorring van een tafel (Pollefoort et al., 2009).
Figuur 7-2 : voorstelling in eindige elementen software van een tafel.

7.4.1 Berekening van de zitbank

Met behulp van het opgestelde MS Excel werkblad kan uitgerekend worden hoelang een balk van sterkteklasse C16 mag zijn bij een belasting van twee referentiepersonen van 80 kg per lopende meter op de bank. De resultaten van deze berekeningen zijn opgenomen in Tabel 7-2.

Tabel 7-2 : maximale overspanning van een zitbank onder invloed van veiligheidsfactoren.

Invloed van verschillende veiligheidsfactoren	Max. overspanning
Geen veiligheidsfactoren	3,68 m
Enkel veiligheidsfactoren op materiaaleigenschappen	3,07 m
Enkel veiligheidsfactoren op belasting	3,01 m
Veiligheidsfactoren op materiaal en belasting	2,50 m

Uit eigen ervaring weet ik dat een maximale overspanning van 2,50 m veel te klein is en dat veel grotere overspanningen mogelijk zijn. Dit komt doordat op alle vlakken veiligheden ingerekend worden. De veiligheidsfactoren rekenen bijvoorbeeld een belasting die 50% hoger

is dan de karakteristieke belasting. Een belasting van 80 kg per halve meter is echter al een zeer hoge waarde en hierop moet geen extra veiligheid genomen worden.

Op het materiaal wordt een partiële materiaalfactor γ_M van 1,3 toegepast en is er daarnaast ook nog een correctiefactor voor de belastingsduur. Aan deze laatste factor wordt geen aanpassing gedaan. De partiële materiaalfactor kan lager ingeschat worden indien het gebruikte hout visueel geïnspecteerd wordt op barsten, aantasting door insecten of rotting.

Indien gebruik gemaakt wordt van een partiële materiaalfactor van 1,15 en er geen veiligheid op de belasting ingerekend wordt, is de maximale overspanning van een sjorbalk die dienst doet als zitbank 3,26 m bij een belasting van 80 kg per halve meter.

Daarnaast wordt hierbij gerekend met de zwakste sterkteklasse van hout. Aan de hand van visuele inspectie (paragraaf 3.2.2) kan een hogere sterkteklasse gekozen worden en zullen grotere overspanningen mogelijk zijn.

Indien er 2 sjorbalken naast elkaar liggen als zitbank mag de lengte van de zitbank met $\sqrt{2}$ vermenigvuldigd worden.

7.4.2 Krachtenoverdracht van de zitbank naar de verticale palen

De maximale krachtenoverdracht in een sjorknoop tussen een horizontale ligger en een verticale sjorpaal, is sterk afhankelijk van de ruwheid van deze verticale paal ter hoogte van de sjorknoop. Uit voorgaand hoofdstuk valt op te merken dat de breuk van het touw steeds binnen bepaalde grenzen voorkomt, afhankelijk van het aantal windingen. Indien het breukmechanisme afschuiving langs de verticale paal zich eerder voordoet dan breuk van het touw, is er veel minder verband tussen de resultaten op te merken.

Van iedere combinatiemogelijkheid van aantal windingen en woelingen staat in onderstaande Tabel 7-3 de gemiddelde waarde van breuk weergegeven indien er geen afschuiving optreedt. Op deze waarde wordt een veiligheid van 70% genomen zodat bij iedere testopstelling de kracht bij breuk binnen de veiligheidsmarge valt.

Tabel 7-3 : krachten in de sjorknopen bij breuk van de proefopstellingen.

Aantal windingen	Aantal woelingen	Gemiddelde kracht bij breuk op 4 knopen [kN]	Veiligheidsmarge van 70% op deze gemiddelde kracht [kN]	Kracht op 1 sjorknoop bij breuk met een veiligheidsmarge van 70% [kN]
1	0	32,62	22,83	5,71
	1	35,06	24,54	6,14
	2	31,61	22,13	5,53
	3	32,09	22,46	5,62
2	0	52,86	37,00	9,25
	1	80,05	56,04	14,01
	2	79,78	55,85	13,96
	3	85,36	59,75	14,94
3	0	57,08	39,96	9,99
	1	75,81	53,07	13,27
	2	119,43	83,60	20,90
	3	103,97	72,78	18,19

Een belangrijke opmerking bij Tabel 7-3 is dat hierbij enkel de krachten bij breuk van het touw zijn opgenomen. Indien de balken voldoende ruw zijn zal afschuiving minder snel voorkomen. Eventueel kan ook een nagel of schroef onder de sjorring aangebracht worden om afschuiving te vermijden, maar dit zorgt voor een plaatselijke verzwakking van de houten palen.

Uit de tabel kan afgeleid worden dat een sjorknoop met 1 winding minstens 5 kN kan opnemen. Bij de sjorringen met 2 en 3 windingen kan meer dan 13 kN opgenomen worden indien ze minimum 1 woeling hebben. Sjorringen zonder woeling komen in de praktijk zelden voor.

Voor een zitbank met een belasting van 160 kg/m zal aan beide zijden een sjorring met 1 winding voldoende zijn om deze last op te nemen.

7.4.3 Drukkracht in de verticale palen

Indien gebruik gemaakt wordt van zitbanken van sterkteklasse C30 en er 2 zitbalken naast elkaar gelegd worden, kan een lengte van 6 m gehaald worden. Dit is zeer uitzonderlijk voor een sjorconstructie, maar er wordt hiermee gerekend omdat dit zorgt voor een maximale belasting in de verticale palen. De drukkracht per verticale paal bedraagt door de belasting van 160 kg/m op de zitbanken 4,8 kN. De zitbanken worden verondersteld op hoogte 60 cm.

Onderaan zijn de houten balken in de grond geboord en deze worden als ingeklemd verondersteld. Bovenaan wordt de sjorring als scharnier beschouwd, wat zorgt voor een λ_{rel} van 0,35 bij sterkteklasse C16.

Indien het buigmoment dat aangrijpt door de excentriciteit van de kracht verwaarloosd wordt, kan met behulp van formule 7.9 de maximale drukkracht berekend worden die 140 kN bedraagt. Indien er wel rekening gehouden wordt met het aangrijpende buigmoment, daalt de maximale drukkracht die op de paal mag aangrijpen tot 102 kN. Dit is een significant verschil, maar de waarde is nog steeds veel groter dan de kracht van 4,8 kN die in werkelijk aangrijpt. Er werd hierbij gerekend met een partiële materiaalfactor 1,15.

7.4.4 Krachtenoverdracht van op het tafelblad aangrijpende krachten

De krachten die op het tafelblad aangrijpen, moeten op een gelijkaardige manier als de krachten op de zitbanken overgedragen worden naar de verticale palen.

Eerst moeten de balken die in de langse richting liggen uitgerekend worden. Ofwel zijn dit 2 balken die een tafelblad dragen, ofwel zijn dit allemaal sjorbalken naast elkaar die samen het tafelblad vormen.

De balken die volgens de lengte van de tafel liggen, dragen hun krachten over op korte liggers in de breedte van het tafelblad aan beide uiteinden. Deze korte liggers zijn verbonden met de verticale palen en dragen zo de belasting af richting de grond. Aangezien ook hier krachten overgedragen worden naar de verticale palen, kan ook door deze belasting instabiliteit optreden in de verticale palen. Daarom moet ook in dit geval de stabiliteitseis gecontroleerd worden.

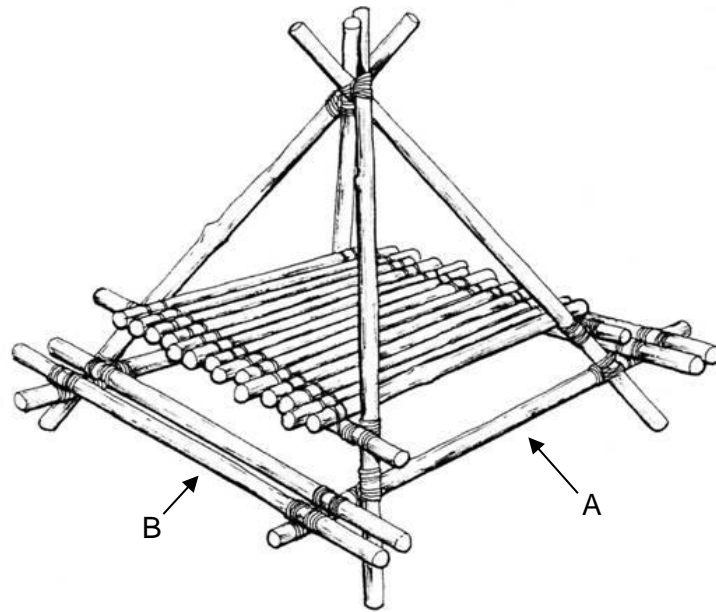
7.5 Variaties op een tafelconstructie

7.5.1 Vierkante tafel

Een variant op een rechthoekige tafel is een vierkante tafel waarbij, zoals voorgesteld op Figuur 7-3, het tafelblad uit houten palen bestaat. Een andere manier om het tafelblad uit te voeren is enkele tafelbladen naast elkaar leggen zodat men een vierkant bekomt.

Alle krachten worden via een polypedestra-sjorring met 4 poten naar de grond overgebracht. Op de opbouw van deze sjorring wordt in dit onderzoek niet ingegaan.

De lengte van de palen van de polypedestra-sjorring is 6 m. De tafel heeft een oppervlakte van 3x3 m² en de zitbanken zijn ongeveer 4 m lang.



Figuur 7-3 : tekening van een vierkante tafel (Sherpaz, 2018).

7.5.1.1 Belasting op de zitbanken

Op de banken worden opnieuw dezelfde referentiepersonen van 80 kg per halve meter geplaatst als verdeelde belasting. Voor een overspanning van 4 m met dergelijke belasting moet minstens een sterkteklasse C24 gehaald worden (Figuur 7-3 A) of er moeten 2 balken van sterkteklasse C16 naast elkaar gelegd worden als zitbank (Figuur 7-3 B). Een alternatief indien er geen hogere sterkteklassen dan C16 ter beschikking zijn en er maar 1 balk als zitbank gebruikt wordt, is gebruik maken van een balk met diameter 140 mm in plaats van 120 mm. De gebruikte veiligheidsfactor op het materiaal is 1,15 zoals bij de berekening van de gewone tafel.

Indien de tafel uitgevoerd wordt zoals Figuur 7-3, dragen enkel de balken A krachten over naar de polypedestra en worden de krachten van de balken B naar de balken A overgedragen. De kracht die overgedragen moet worden van de zitbanken naar de polypedestra per knoop bedraagt 6,4 kN. Hiervoor is minimum een sjorring met 2 windingen nodig om deze krachten over te kunnen dragen.

7.5.1.2 Belasting op het tafelblad

Aangezien het tafelblad volledig uitgevoerd wordt met sjorpalen, wordt het eigengewicht van deze palen meegerekend in de totale belasting. Voor het tafelblad worden palen met diameter

80 mm en sterkteklasse C16 gekozen. Er wordt gerekend met een externe belasting van 100 kg/m² op het tafelblad.

Dit zorgt voor een totale belasting van 1,3 kN/m². Dit zorgt voor een verdeelde belasting van 0,1 kN/m op de balken die het tafelblad vormen. Er wordt op de belasting geen veiligheidsfactor in rekening gebracht.

De balken met diameter 80 mm kunnen deze belasting dragen. De sjorbalken die het tafelblad dragen zijn balken met diameter 120 mm. Een balk van sterkteklasse C18 voldoet aan de eisen voor buiging. Een balk van sterkteklasse C16 zou bezwijken op buiging. Ook hier zou een balk van diameter 140 mm gebruikt moeten worden indien er geen hogere sterkteklasse dan C16 mogelijk is.

De 4 knopen die de krachten van deze liggers naar de polypedestra moeten overbrengen krijgen een belasting van 2,93 kN per knoop, wat in principe opgevangen kan worden met een sjorring met 1 winding.

7.5.2 Toren

Hoewel de afmetingen van een toren andere proporties aannemen dan een tafel, is de opbouw gelijkaardig. Er zijn ook vier verticale palen die verbonden worden met horizontale palen. Daarnaast worden schuine balken voorzien om de zijdelingse stabiliteit te verzekeren.



Figuur 7-4 : foto van een torenconstructie (Pollefoort et al., 2009).

Aangezien de verticale palen een grote afstand moeten overbruggen, moet de belasting op de constructie beperkt worden om geen knikverschijnselen in deze palen te krijgen.

Er wordt gerekend met volgende fictieve afstanden:

- De verticale palen zijn 6 m
- De stabiliteitsverbanden zijn op 1,5 en 4,5 m vastgemaakt aan de verticale palen
- De horizontale liggers onderaan zijn gesjord op een halve meter van de grond en bovenaan zijn deze helemaal bovenaan aan de verticale palen vastgemaakt

Met behulp van het opgestelde MS Excel werkblad wordt de maximale belasting in de verticale palen berekend om geen knik in de palen te veroorzaken. Er wordt verondersteld dat de schuine palen geen drukkrachten overbrengen naar de andere verticale palen en dat deze enkel zorgen voor de horizontale stabiliteit.

De kniklengte wordt 4,5 m verondersteld, aangezien dit de maximale afstand is tussen horizontale liggers en de schuine balken. De sjoerverbindingen worden aanzien als scharnieren waardoor de kniklengte gelijk is aan de effectieve lengte.

De maximale rekenwaarde van de belasting op 1 verticale paal is 17,2 kN bij sterkteklasse C16, een partiële materiaalfactor van 1,30 en een paaldiameter van 120 mm. Het effect van de excentriciteit wordt hierbij verwaarloosd.

Iteratief kan bepaald worden welke belasting maximaal mag aangrijpen op de verticale paal indien wel rekening gehouden wordt met het buigmoment. In deze opstelling bedraagt de maximale rekenwaarde van de belasting 8,2 kN.

7.6 Besluiten bij de berekening van een constructie

Er kan besloten worden dat de keuze van de veiligheidsfactoren een grote invloed heeft op de bepaalde sterkte van de constructie. Daarom moet een goed overwogen keuze gemaakt worden welke veiligheidsfactoren toegepast worden en welke grootte deze aannemen.

De keuze van de veiligheid is een rechtstreeks gevolg van de grootte van het risico dat genomen kan worden. Drie basiselementen komen bij iedere risicoanalyse voor (Brackx, 2018; COSO, 2017). Een vermenigvuldiging van de kans dat iets optreedt, de ernst van de gevolgen en tijd dat het kan voorkomen vormen samen het risico. Een balk dicht bij de grond mag dus volgens de risicoanalyse sneller bezwijken, aangezien de ernst van de gevolgen waarschijnlijk kleiner zal zijn dan bij balken die op grote hoogte gebruikt worden.

Bij iedere constructie moet dus apart bepaald worden welke veiligheidsfactoren gebruikt zullen worden. Hierin kunnen onder meer volgende factoren meegenomen worden: de hoogte van de balk, de inschatting van de sterkte-klasse van het hout, het aantal keren dat de balk belast wordt, de kans dat er andere personen onder de constructie komen, ...

Naast de keuze van de veiligheidsfactoren wordt een belangrijke veronderstelling gemaakt dat een sjorknoop zich gedraagt als scharnierende verbinding. In werkelijkheid kan een sjorring kleine momenten opvangen, maar zal deze zich toch hoofdzakelijk als scharnier gedragen en zullen vooral krachten overgedragen worden en nauwelijks momenten.

8 INVLOED VAN CYCLISCHE BELASTING OP EEN SJORKNOOP

Bijna alle sjoorconstructies worden gebouwd met de bedoeling deze een langere tijd te kunnen gebruiken. Voorbeelden hiervan zijn eettafels, bedden of tribunes. Aangezien deze in de loop van hun levensduur meerdere malen belast en terug ontlast worden is er een mogelijkheid dat dergelijke constructies niet voldoen aan de resultaten die bekomen werden uit het proefprogramma. Daarom wordt met een gelijkaardige proefopstelling de invloed van een cyclische belasting getest.

De belastingen die gehaald worden bij breuk van touw in sjorringen met 2 of 3 windingen liggen bij de proefopstellingen hoger dan de belastingen die in werkelijkheid op constructies aangrijpen. Er worden 4 verschillende testen gedaan met verschillende belastingen.

8.1 Proefopstellingen en meetresultaten

De naamgeving die in onderstaande tussentitels gebruikt wordt, verwijst steeds naar de meetresultaten die toegevoegd zijn in bijlage E. Voor alle proefopstellingen wordt gebruik gemaakt van sjorknopen met 2 windingen en 2 woelingen. Belasten en ontlasten gebeurt steeds met een snelheid van 0,25 kN per seconde. De vermelde belastingen zijn steeds op de volledige proefopstelling met 4 sjorknopen.

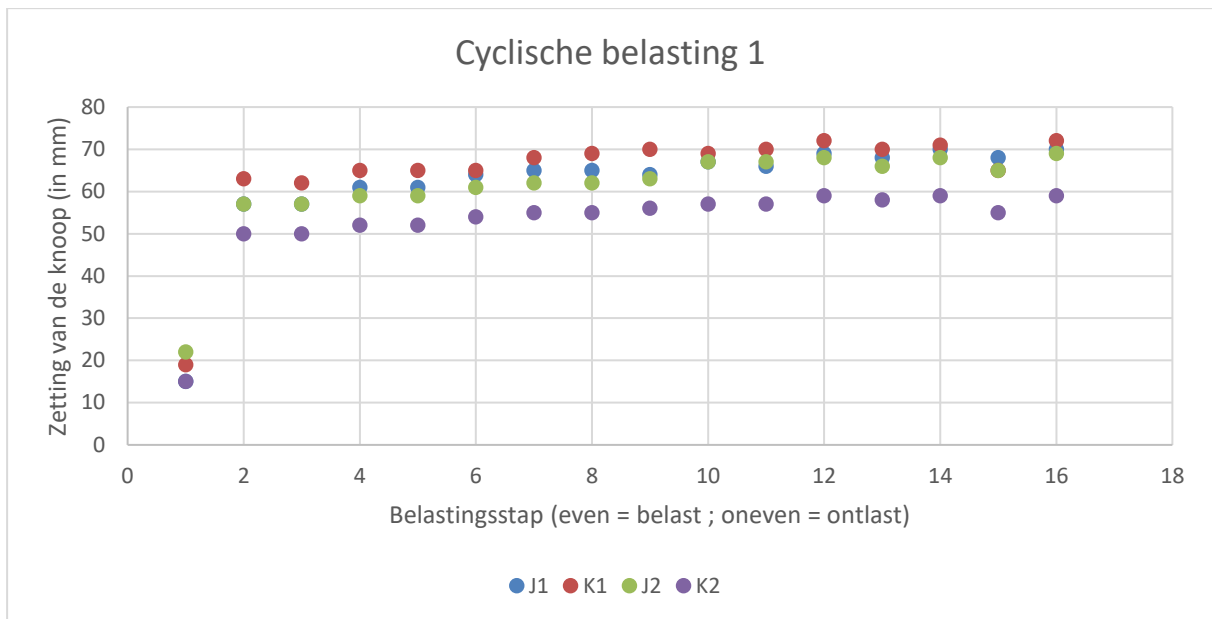
8.1.1 Proefopstelling: 'cyclische belasting 1'

Bij de eerste proefopstelling wordt een testopstelling, gelijkaardig aan deze in hoofdstuk 6, cyclisch belast tot 10 kN. Bij de ontlaste toestand (0 kN) is het gewicht van de drukpers, dat ongeveer 100 kg bedraagt, wel nog steeds aanwezig op de horizontale balken. Van een echte ontlaste toestand is bij deze proefopstelling dus geen sprake aangezien de touwen nog steeds gedeeltelijk onder spanning staan. De proefopstelling wordt 8 maal tot 10 kN belast.

De zetting van de horizontale palen is bij iedere belastingscyclus ongeveer gelijk. De maximale standaardafwijking die voorkomt bij 1 van de 4 knopen is 4,67 mm over deze 8 belaste toestanden en 3,98 mm over de ontlaste toestanden.

Een verklaring voor deze afwijkingen kan gevonden worden in paragraaf 8.1.5, aangezien de touwen een kleine afschuiving op de verticale palen maken bij cyclisch belasten. Deze afschuiving zal bij deze proef echter niet zo groot zijn, aangezien er geen sprake is van een volledig ontlaste toestand.

In Figuur 8-1 worden de meetresultaten weergegeven. Belastingsstap 1 is het aanbrengen van de voorlast. De daarop volgende even belastingsstappen zijn de belaste toestanden, de oneven belastingsstappen zijn de ontlaste toestanden.

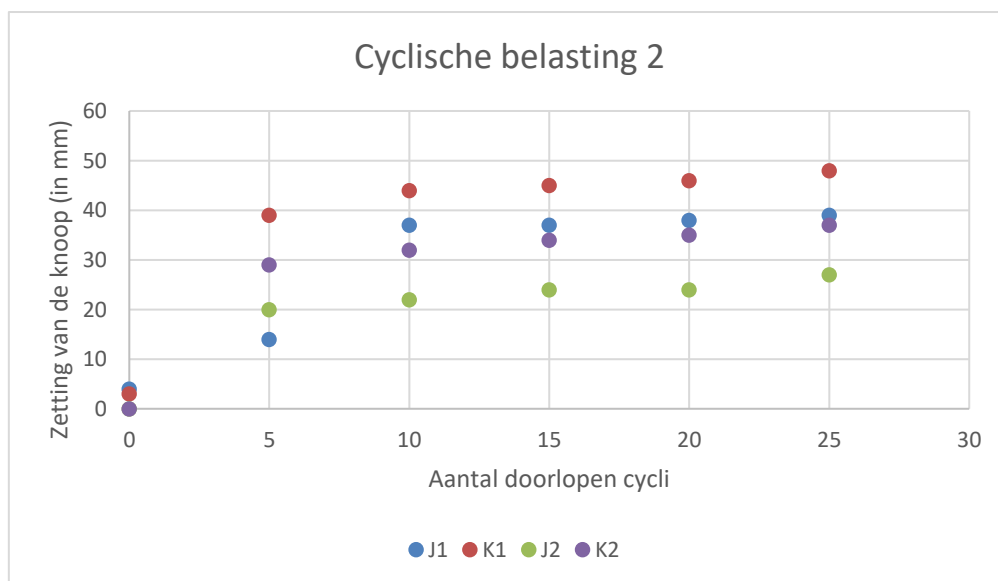


Figuur 8-1 : proefopstelling 'cyclische belasting 1' met belaste en ontlaste toestanden.

8.1.2 Proefopstelling: 'cyclische belasting 2'

Als variant op de eerste proefopstelling werd een tweede proef opgestart. Hierbij werd 5 maal cyclisch belast tot 10 kN. Er na werd de proefopstelling volledig ontlast en werd een opmeting gedaan van de zetting van de horizontale paal. Deze werkwijze van 5 maal cyclisch belasten en er na ontlasten, werd 5 keer herhaald, waardoor de proefopstelling in totaal 25 maal cyclisch belast werd. Daartussen wordt de proefopstelling 5 keer volledig ontlast, en is bij de andere ontlaste toestanden het eigengewicht van de pers nog op de proefopstelling aanwezig.

Ook bij deze proefopstelling, voorgesteld in Figuur 8-2, valt op dat de verticale zetting van de horizontale palen nauwelijks stijgt bij cyclisch belasten. Bij knoop J1 is er tussen de eerste volledige ontlasting, cyclus 5, en de tweede volledige ontlasting, cyclus 10, wel een groot verschil te merken, dat te wijten is aan een afschuiving op de verticale paal.



Figuur 8-2 : proefopstelling 'cyclische belasting 2'

8.1.3 Proefopstelling: 'cyclische belasting 3'

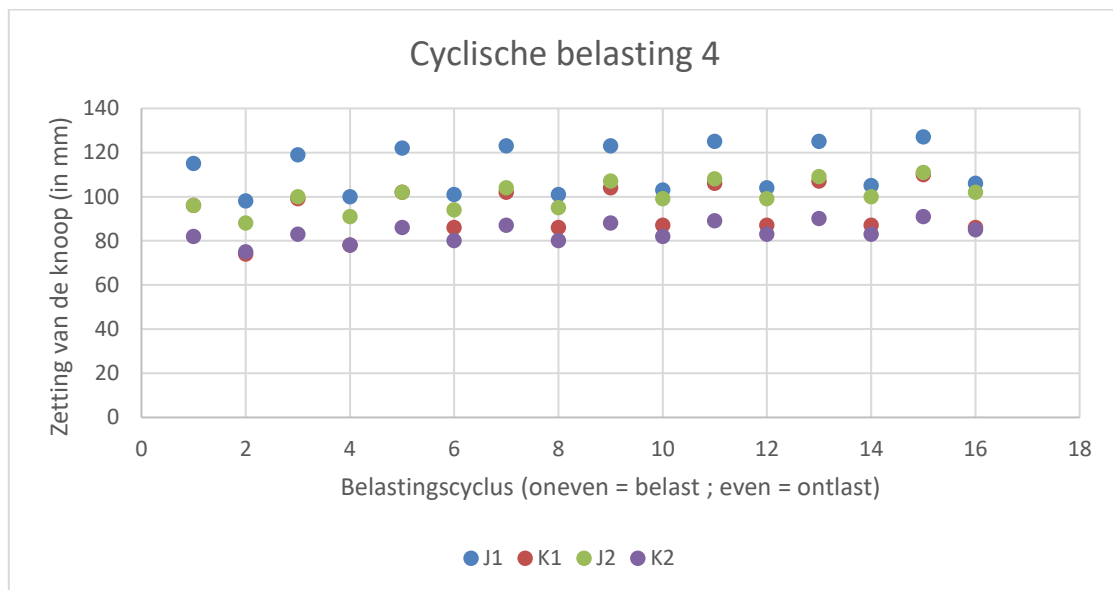
De werkwijze bij deze proef is dezelfde als deze bij proefopstelling 'cyclische belasting 2'. Het enige verschil is dat er belast wordt tot 20 kN in plaats van 10 kN en dat er slechts 4 keer in plaats van 5 keer volledig ontlast wordt.

Ook hier bij deze hogere belasting valt niet onmiddellijk een invloed van extra belastingsstappen na de eerste ontlasting te merken. Er is slechts een zeer kleine stijging van de zetting naarmate er meer cycli doorlopen zijn. Dit zal te wijten zijn aan een kleine afschuiving op de verticale paal zoals beschreven in paragraaf 8.1.5.

8.1.4 Proefopstelling: 'cyclische belasting 4'

Aangezien de invloed van cyclische belasting bij het behouden van de voorlast op de constructie klein is, wordt bij deze proef de proefopstelling iedere keer volledig ontlast na het belasten. Er worden 8 cycli doorlopen. De zetting in de belaste toestand van 25 kN en de zetting in de ontlaste toestand wordt steeds opgemeten.

Hoewel hier iedere keer volledig ontlast wordt, is ook bij deze proefopstelling nauwelijks afschuiving langs de verticale balk te merken en is de zetting bij iedere cyclus ongeveer dezelfde. De meetresultaten zijn voorgesteld in Figuur 8-3.



Figuur 8-3 : proefopstelling 'cyclische belasting 4' met belaste en ontlaste toestanden

Door middel van lineaire regressie wordt van zowel de belaste als de ontlaste toestand de extra zetting per cyclus berekend. Dit wordt voorgesteld in Tabel 8-1.

Tabel 8-1 : zetting van de knopen (in mm per cyclus)

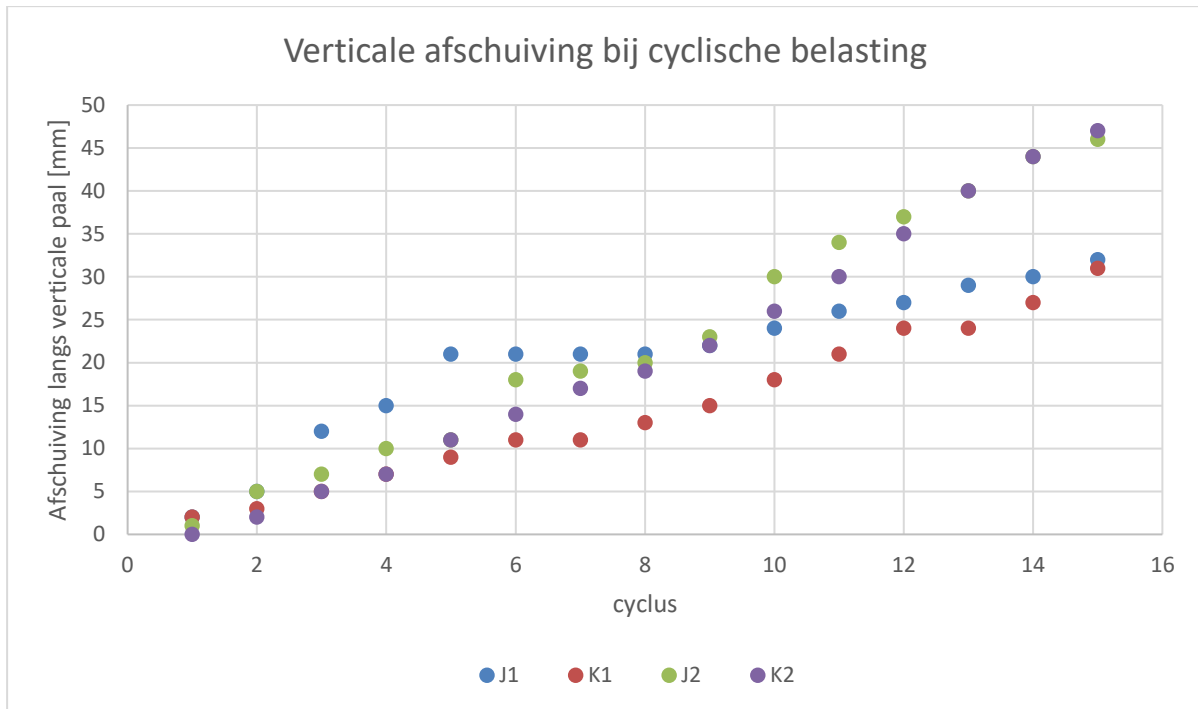
	Belaste toestand	Ontlaste toestand
J1	1,5	1,1
K1	1,8	1,6
J2	2,0	1,9
K2	1,3	1,3

8.1.5 Proefopstelling: 'cyclische belasting verticale afschuiving'

Als laatste test naar de invloed van cyclische belasting op sjorringen wordt bij iedere belastingsstap de afschuiving van het touw langs de verticale paal opgemeten. Er worden 15 cycli doorlopen van een belasting tot 25 kN op de proefopstelling tot een volledige ontlasting. Bij de volledige ontlaste toestand wordt de verticale afschuiving gemeten ten opzichte van het beginpunt. Zowel de afschuiving van de bovenste als de onderste windingen rond de verticale paal worden opgemeten. Aangezien de afschuiving bij alle knopen bij iedere cyclus groter was bij de bovenste windingen worden enkel deze resultaten weergegeven in Tabel 8-2 en Figuur 8-4.

Tabel 8-2 : verticale afschuiving bij cyclische belasting.

na cyclus	afschuiving in mm			
	J1	K1	J2	K2
1	2	2	1	0
2	5	3	5	2
3	12	5	7	5
4	15	7	10	7
5	21	9	11	11
6	21	11	18	14
7	21	11	19	17
8	21	13	20	19
9	22	15	23	22
10	24	18	30	26
11	26	21	34	30
12	27	24	37	35
13	29	24	40	40
14	30	27	44	44
15	32	31	46	47
gemiddelde afschuiving in mm per cyclus (lineaire regressie)				
	1,8	2,0	3,3	3,4



Figuur 8-4 : verticale afschuiving bij cyclische belasting.

Er valt op te merken uit Figuur 8-4 dat de afschuiving bij alle knopen relatief lineair verloopt. Op sommige plaatsen is deze afschuiving groter of kleiner dan lineair. Achteraf werden de verticale palen visueel beoordeeld op hun ruwheid. Bij kleine afwijkingen (bijvoorbeeld cyclus 13 van knoop K1) valt visueel geen verschil te merken met de rest van de paal. Bij andere grotere verschillen (zoals het verloop langs de verticale paal van knoop J1) valt visueel wel een verschil in ruwheid op te merken.

8.2 Conclusie

Uit de laatste testopstelling valt duidelijk op dat sjorknopen afschuiven langs de verticale paal als deze cyclisch belast worden. De zetting bij iedere belastingscyclus is dezelfde. De kleine stijging die in de zetting op te merken valt bij de eerste 4 proefopstellingen, is te wijten aan deze verticale afschuiving.

Indien paragrafen 8.1.4 en 8.1.5 vergeleken worden met elkaar kan het verband tussen de zetting en de afschuiving ook duidelijk aangetoond worden. De gemiddelde afschuiving van de 4 knopen in paragraaf 8.1.5 is 2,6 mm per cyclus en bij paragraaf 8.1.4 is de zetting 1,5 mm per cyclus. Bij de laatst genoemde wordt er slechts belast tot 20 kN en bij de andere tot 25 kN wat een hogere afschuiving kan betekenen. De zetting waarover sprake in 8.1.4 zal in grote mate bepaald worden door de afschuiving. De zetting door de belasting zal bij iedere cyclus ongeveer even groot zijn.

In werkelijkheid wordt de belasting niet geleidelijk aangebracht, zoals in deze proeven gebeurde. Daardoor kan het zijn dat de afschuiving afwijkende waarden in vergelijking met de waarden van deze proeven aanneemt. Ook de ruwheid van de palen speelt een rol, waardoor de afschuiving ook daarvan afhankelijk is.

9 INITIËLE ZETTING VAN SJORKNOPEN

Bij alle testen die plaats gevonden hebben om de zetting van sjorknoppen onder invloed van belasting in te schatten, werd de invloed van de initiële zetting buiten beschouwing gelaten. Daarom zijn enkele extra testen gebeurd om een beter inzicht in deze initiële zetting te krijgen. Een eerste reeks testen gebeurde op sjorknoppen met 2 windingen en 2 woelingen, een tweede reeks op sjorknoppen met 3 windingen en 3 woelingen.

De bedoeling van deze testen is na te gaan of de initiële zetting zich in het volledige verloop van de eerste belastingsstap voordoet of er andere waarnemingen mogelijk zijn. Het zou namelijk zo kunnen zijn dat de initiële zetting zich volledig voordoet voordat de helft of een derde van de belastingsstap van 5 kN bereikt is. Daarom worden deze extra metingen toegevoegd om deze invloed te kunnen meten. Daarnaast wordt ook getest of de initiële zetting manueel teniet gedaan kan worden alvorens er belast wordt.

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen 3 soorten proeven:

1. Proefopstelling wordt belast in volgende belastingsstappen: voorlast, 2,5 kN, 5 kN, 10 kN, 15 kN, 20 kN en 25 kN.
2. Proefopstelling wordt belast in volgende belastingsstappen: voorlast, 1,66 kN, 3,33 kN, 5 kN, 10 kN, 15 kN, 20 kN en 25 kN.
3. Proefopstelling wordt manueel naar beneden geduwd en daarna belast in volgende belastingsstappen: 2,5 kN, 5 kN, 10 kN, 15 kN, 20 kN en 25 kN.

Bij iedere stap wordt, net zoals bij de proeven uit hoofdstuk 6, de zetting gemeten met een totaalstation.

9.1 2 windingen en 2 woelingen

Bij de testopstellingen waarbij sjorknoppen met 2 windingen en 2 woelingen gebruikt worden, zijn in totaal 6 testen gebeurd, zoals voorgesteld in Tabel 9-1.

Tabel 9-1 : initiële zetting bij 2 windingen en 2 woelingen.

Proefopstelling (nr. zoals voorgesteld in de inleiding van hoofdstuk 9)	Aantal testen	Lineaire benadering mogelijk vanaf 5kN	Lineaire benadering mogelijk onder de belasting van 5kN
1	2	Ja	Nee
2	1	Ja	Vanaf 3,33 kN redelijk goede benadering
3	3	Ja	Ja

Bij proefopstellingen waarbij er manueel geen kracht op de proefopstelling werd aangebracht, is het moeilijk een lineaire benadering te maken onder de 5 kN. Enkel bij de proef waarbij zowel 1,67 als 3,33 kN opgemeten worden, kan opgemerkt worden dat vanaf de belasting van 3,33 kN de zetting redelijk lineair verloopt. De initiële zetting doet zich dus geleidelijk voor en gebeurt niet onmiddellijk bij de eerste aangebrachte last. De last wordt aangebracht aan een snelheid van 0,25 kN/s waardoor de initiële zetting waarschijnlijk geleidelijker verloopt dan bij de manuele belasting omdat dit een plotse belasting is die op de proefopstelling komt.

De grafieken van deze verschillende testen zijn bijgevoegd in bijlage E in werkblad 'initiële zetting 2-2'.

9.2 3 windingen en 3 woelingen

Om te controleren of de veronderstellingen uit voorgaande paragraaf kloppen worden bij een andere hoeveelheid windingen en woelingen dezelfde testen uitgevoerd. Er gebeuren 2 testen waarbij er geen manuele belasting op de proefopstelling werd aangebracht. Hierbij kunnen opnieuw dezelfde waarnemingen als bij voorgaande test opgemerkt worden. De initiële zetting doet zich opnieuw geleidelijk voor en een lineaire benadering onder de 5 kN is niet mogelijk. Daartegenover bij de proefopstellingen waarbij een manuele belasting op de proefopstelling wordt aangebracht alvorens het belasten met de drukpers kan onmiddellijk een lineaire trend opgemerkt worden vanaf de eerste opgemeten belastingsstap.

Ook van deze testen zijn de grafieken bijgevoegd in bijlage E in werkblad 'initiële zetting 3-3'.

10 PRAKTISCHE WERKWIJZE BIJ DE BEREKENING VAN CONSTRUCTIES VOOR JEUGDBEWEGINGEN

Met de kennis van voorgaande hoofdstukken wordt beoogd een werkwijze op te stellen voor jeugdbewegingen om constructies te berekenen. Daarnaast worden enkele extra tips mee gegeven over stabiliteit van constructies.

Het allereerste wat moet gebeuren is een schets maken van de constructie en bepalen welke belasting op de constructie terecht zal komen. Meestal zal deze belasting afkomstig zijn van personen. Indien een constructie echter ook gebruikt wordt als opslagplaats zal hier extra gewicht op de constructie komen.

Het is belangrijk deze belasting zo correct mogelijk te schatten. Zo zal een tafel voor leden uit het 1^e middelbaar veel minder belast worden dan een tafel waar enkel leiding aan zal eten. Er wordt aangeraden toch een maximale waarde te kiezen, zodat er zekerheid is dat er niet meer belasting dan deze waarde op de constructie zal komen. Zoniet zal breuk van het hout optreden. Ook voor constructies waar een extra veiligheid belangrijk is, zoals constructies in de lucht, is een extra veiligheid zeker aan te raden. Daarnaast moet er beslist worden of de belasting evenwichtig verdeeld wordt, of dat er bepaalde zones meer belast worden.

10.1 Vuistregels bij het berekenen van sjoorconstructies

Aangezien sjoorhout meestal een afvalproduct uit de houtindustrie is en niet in optimale omstandigheden bewaard wordt, wordt uitgegaan van de sterkteklasse C16 voor alle vuistregels. Er worden tabellen opgesteld in functie van overspanning en diameter van de palen om de maximale belasting op de paal te kennen. Er wordt geen materiaalafhankelijke veiligheidsfactor ingerekend aangezien reeds met de laagste sterkteklasse gerekend wordt. Daarnaast wordt de belasting afgerond naar de veilige kant. Indien besloten wordt bepaalde palen toch zwaarder te belasten dan de waarden die weergegeven worden in de tabel omdat de paal er visueel sterker uitziet dan de gemiddelde sjoorpaal, kan deze best eerst getest worden op grondniveau met deze belasting alvorens deze in de constructie te belasten. De sterkte van palen is namelijk sterk afhankelijk van de barsten, kwasten en eventuele aantasting van insecten. Een controle vooraf is dus zeker aan te raden.

10.1.1 Horizontale palen

De aangeraden maximale belasting in kilogram per lopende meter op een sjoorbalk wordt weergegeven in Tabel 10-1 in functie van de overspanning en de diameter van de paal.

Afhankelijk van de hoogte waarop de paal gebruikt wordt, kan het raadzaam zijn een extra veiligheid in te rekenen.

Tabel 10-1 : maximale belasting op horizontale palen met verdeelde belasting [kg/m].

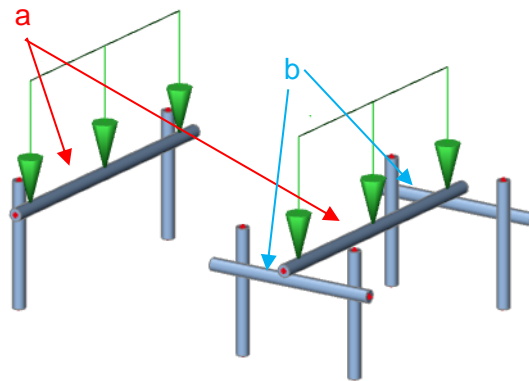
diameter	2m	2,5m	3m	3,5m	4m	4,5m	5m	5,5m	6m	7m
8 cm	140	90	60	45	35	25	20	/	/	/
10 cm	280	180	125	90	70	50	40	35	30	20
12 cm	480	300	200	150	120	90	75	60	50	40
14 cm	750	480	320	250	180	150	120	100	80	60

Bovenstaande tabel is geldig voor palen die over de gehele lengte belast worden met een zo gelijkmatige mogelijk verdeeld gewicht. Indien dergelijke balken echter steunen op een andere balk, zijn ook voor deze balken eisen naar de maximale belasting.

Figuur 10-1 a geeft de balken weer met een verdeelde belasting waarvoor de vuistregels in Tabel 10-1 opgenomen zijn. Figuur 10-1 b geeft de balken weer die door een andere balk belast worden en waarop dus op slechts 1 punt een belasting is in plaats van op de volledige lengte. De waarden voor dergelijke balken zijn opgenomen in Tabel 10-2. De maximale belasting die vermeld wordt is deze die op 1 paal terecht komt. In het voorbeeld in Figuur 10-1 zal dit de helft zijn van de belasting op de palen bedoeld in Tabel 10-1.

Tabel 10-2 : maximale belasting op horizontale palen met puntbelasting [kg].

diameter	2m	2,5m	3m	3,5m	4m	4,5m	5m	5,5m	6m	7m
8 cm	140	110	90	80	70	60	55	50	45	40
10 cm	280	220	180	160	140	120	110	100	90	80
12 cm	480	380	320	270	240	210	190	170	150	130
14 cm	750	600	500	420	380	340	300	280	250	220



Figuur 10-1 : verschil tussen rechtstreeks belaste horizontale palen en horizontale palen die door andere palen op 1 punt belast worden.

10.1.2 Verticale en schuine palen

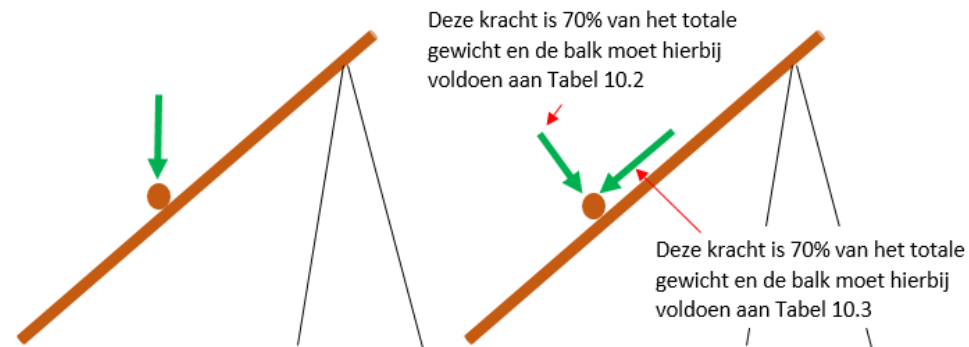
De aangeraden maximale belasting in kilogram die via sjorringen van de horizontale palen overgedragen wordt naar de verticale palen wordt weergegeven in Tabel 10-3 in functie van de diameter van de paal en de maximale vrije lengte. Deze maximale belasting is alle belasting die boven de bovenste sjorring overgedragen wordt naar de verticale paal.

Tabel 10-3 : maximale belasting op verticale en schuine palen [kg].

diameter	1m	1,5m	2m	2,5m	3m	3,5m	4m	5m	6m	7m
8 cm	780	710	630	550	470	400	350	260	200	150
10 cm	1200	1150	1050	980	880	780	680	520	420	340
12 cm	1780	1750	1650	1550	1400	1300	1150	900	780	600
14 cm	2400	2400	2300	2200	2000	1900	1750	1500	1250	1000

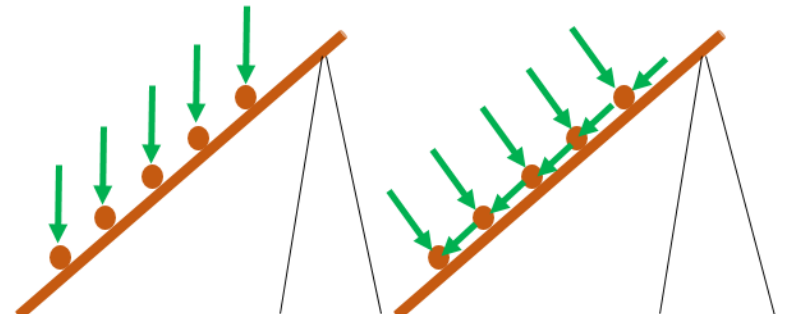
Er wordt bij deze berekening rekening gehouden met de excentriciteit waarmee de belasting aangrijpt.

Deze waarden zijn enkel geldig voor palen waarbij de belasting hoofdzakelijk volgens de lengterichting van de paal aangrijpt. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de poten van tafels (verticaal zoals in Figuur 7-1 of schuin zoals in Figuur 7-3). Indien een schuine balk gebruikt wordt om belastingen te dragen zoals bij een tribune, wordt deze vooral belast op buiging en moet deze dus zeker voldoen aan Tabel 10-1 of Tabel 2. Ter illustratie van dit bijzonder geval wordt Figuur 10-2 bijgevoegd. Hierin wordt geschetst hoe de belasting omgerekend kan worden naar de gevallen die reeds besproken zijn.



Figuur 10-2 : krachtwerking op een schuine paal die zowel axiaal als op buiging belast is.

Indien een schuine balk effectief als tribune gebruikt wordt en er meerdere horizontale balken lasten afdragen op de schuine balk (Figuur 10-3), kunnen deze lasten herrekend worden naar een verdeelde belasting om Tabel 10-1 te kunnen toepassen. De schuine lasten voorgesteld in de rechtse figuur hebben opnieuw allemaal 70% van de waarde van het gewicht dat op de horizontale balk steunt.



Figuur 10-3 : voorstelling van de krachtverdeling in een tribuneopstelling.

10.1.3 Sjorknopen

Alle kracht die op een sjorconstructie terecht komen moeten door sjorknopen doorgegeven worden naar andere palen. Het is daarom belangrijk goed in te schatten welke krachten door welke knopen doorgegeven zullen worden.

Een handig hulpmiddel hierbij kan zijn een schets te maken van de constructie en de weg van iedere belasting tot de grond te volgen.

In onderstaande Tabel 10-4 wordt de maximale kracht die door een knoop opgevangen kan worden weergegeven. Er wordt hierbij uitgegaan dat de knoop door een persoon met voldoende sjorervaring gelegd wordt en dat de balken voldoende ruw zijn zodat er geen afschuiving van de knoop kan plaatsvinden. Indien de knoop echter gelegd wordt door iemand die hier weinig ervaring mee heeft of er kans is op afschuiving van de knoop langs de verticale

paal moet er een veiligheid ingerekend worden op de sterkte van de knoop. Ook sjorringen met 1 winding of sjorringen zonder woelingen zijn in de praktijk zeker af te raden.

Tabel 10-4 : sterkte van sjorknopen.

# windingen	# woelingen	Kracht die opgevangen kan worden door een sjorknoop (kg)
1	0	500
	1	500
	2	500
	3	500
2	0	900
	1	1400
	2	1400
	3	1400
3	0	1000
	1	1400
	2	1800
	3	1800

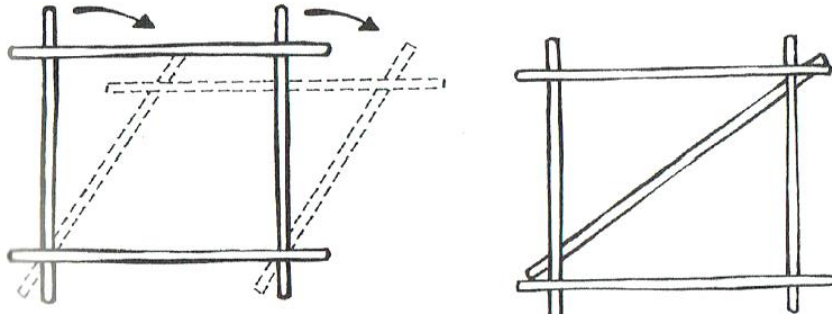
In deze tabel is enkel de sterkte van sjorknopen met polypropyleentouw opgenomen. Sisaltouw heeft een veel lagere breuksterkte en zal dus bijgevolg veel minder kracht kunnen overbrengen met hetzelfde aantal windingen en woelingen als bij een knoop met polypropyleentouw.

Bij een eerste belasting op de sjorknopen kunnen sjorknopen een grote eerste zetting ondergaan. Het kan handig zijn deze eerste zetting reeds onmiddellijk na het sjorren handmatig aan te brengen. Op die manier komt men niet voor verrassingen te staan als er bij grotere constructies een initiële zetting plaats vindt bij een bepaalde knoop. Er kunnen namelijk vele andere knopen met deze balk verbonden zijn en zo ook vervormingen ondergaan.

10.2 Extra info over stabiliteit, keuzes,...

Bij de berekening van palen moet steeds de kleinste diameter van de palen beschouwd worden. Gefreesde palen zullen over de hele lengte dezelfde diameter hebben. Geschilde palen daarentegen hebben een variabele diameter, waardoor ook de sterkte van de paal niet op alle plaatsen gelijk is.

Naast het controleren van de sterkte van de knopen en de palen moet ook de algemene stabiliteit van sjoorconstructies zeker in orde zijn. Zo moet er bijvoorbeeld voor gezorgd worden dat constructies zoveel mogelijk driehoeken en diagonalen bevatten (Bosmans, 2014; Pollefoort et al., 2009). Zoniet kan een constructie zijdelings bewegen zoals voorgesteld in Figuur 10-4.



Figuur 10-4 : vervormbaarheid van constructies zonder driehoeken (Scouts en Gidsen Vlaanderen vzw, 2009).

Indien er met een grondboor gaten geboord worden voor siorpalen moet er ook rekening gehouden worden met de paaldiameter. Indien de boordiameter groter is dan de paaldiameter zal de constructie niet stevig staan in de grond. Deze problematiek kan wel opgelost worden door spieën aan te brengen tussen de grond en de paal, maar dit zal nooit dezelfde stevigheid geven als een paal die in de grond geslagen wordt bij een kleinere putdiameter.

Het aanbrengen van zeilen kan ook voor een groot extra gewicht op de constructie zorgen. Zowel neerwaartse belasting indien regenwater in de zeilen kan blijven staan als zijwaarts indien de wind tegen de zeilen waait. Een afdak voor regenwater wordt dus best schuin geplaatst zodat al het water van het afdak kan lopen. Om de zijwaartse belasting op te vangen moet de constructie zeker voorzien zijn van driehoeken of diagonalen en eventueel in de grond vast gemaakt worden. Om een extra veiligheid te voorzien kunnen ook ankers voorzien worden die verbonden worden met de constructie.

REFERENTIES

- Belgian Woodforum. (2018). Eigenschappen van vurenhout. Geraadpleegd via <http://www.woodforum.be/nl/houtsoorten/vurenhout> op 6 maart 2018.
- Bosmans, J. (2014). Grote sjoerconstructies.
- Brackx, D. (2018). *Projectmanagement cursus*. EHSAL Management School.
- Bureau voor Normalisatie. (2005). Geregistreerde Belgische norm NBN EN 1995-1-1: Ontwerp en berekening van houtconstructies - Deel 1.
- Bureau voor Normalisatie. (2009). Geregistreerde Belgische norm NBN B 16-520: Visuele sortering van structuurhout met rechthoekige doorsnede.
- Bureau voor Normalisatie. (2010). Geregistreerde Belgische norm NBN EN ISO 2307: Touwen - Bepaling van een aantal fysische en mechanische eigenschappen.
- Bureau voor Normalisatie. (2016). *Geregistreerde Belgische norm NBN EN 338: Hout voor dragende toepassingen - Sterkteklassen*.
- COSO. (2017). Enterprise Risk Management Integrating with Strategy and Performance. *Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission*, (June). Retrieved from <https://www.coso.org/Documents/2017-COSO-ERM-Integrating-with-Strategy-and-Performance-Executive-Summary.pdf>
- Dienst Avontuurlijke Activiteiten Chirojeugd Vlaanderen. (n.d.). Sjoerhout bewaren, 1.
- F.O.D. Economie. (2008). STS 04 Hout en plaatmaterialen op basis van hout, 11.
- Green, L. (2013). Lashing information. Geraadpleegd via <https://scoutpioneering.com/2013/02/23/lashing-information/> op 27 april 2018.
- Microsoft Office. (2018). Een trendlijn of gemiddelde aan een grafiek toevoegen. Geraadpleegd via <https://support.office.com/nl-nl/article/een-trendlijn-of-gemiddelde-aan-een-grafiek-toevoegen-fa59f86c-5852-4b68-a6d4-901a745842ad> op 25 februari 2018.
- Ploeg Technieken Scouts en Gidsen Vlaanderen. (n.d.). Scouts- en gidsentechnieken, 17–18.
- Pollefoort, P., Bruelemans, B., Decaluwé, D., Geldhof, J., Hillewaert, J., Malbrancke, O., & Vandewiele, B. (2009). Openluchtlevens in de jeugdbeweging.
- Scouts en Gidsen Vlaanderen vzw. (2009). Buitenboek.
- Sherpaz. (2018). Pionierobjecten. Geraadpleegd via http://www.sherpaz.nl/default_all.asp?CAT=Technieken&Sub=Hout_en_Touw&Sub2=Objecten# op 5 april 2018.
- Spaan, R. (2003). *Afschuifstijfheid en maximale schuifspanning van ronde doorsneden*. TU Delft.
- Universiteit Gent. (2018). statistiek ppt trans H2 nieuw PRINT. Geraadpleegd via <http://users.ugent.be/~ibourd/inleidingstatistiek/statistiek ppt trans H2 nieuw PRINT.ppt> op 25 februari 2018.

BIJLAGEN

Deze bijlage is te vinden achteraan in dit werk en wordt digitaal ter beschikking gesteld:

Bijlage A Breukmechanismen proefprogramma

Deze bijlagen zijn enkel digitaal ter beschikking gesteld:

Bijlage B Verwerking van de meetresultaten van het proefprogramma

Bijlage C Verwerking van de meetresultaten van het proefprogramma met alle trendlijnen

Bijlage D Berekeningen voor hoofdstuk 7

Bijlage E Verwerking van de meetresultaten van de proeven op cyclische belasting en initiële zetting

Bijlage F Beeldfragment van het volledige proefverloop met breuk op afschuiving langs de verticale paal

Bijlage G Beeldfragment van breuk van het touw in de timmermanssteek

Bijlage A BREUKMECHANISMEN PROEFPROGRAMMA

3 windingen, 3 woelingen

1. Geen breuk, stopzetting wegens proefprogramma dat begrensd is tot 90kN
2. Geen breuk, stopzetting wegens beperkte lengte van de drukpers
Dit valt ook af te lezen in de resultaten vanaf een belasting van 110 kN
Bij K2 is er een afschuiving geweest bij de belastingsstappen van 20 tot 40kN waardoor besloten wordt deze proef te verwerpen.
3. Breuk bij 110,23kN : breuk van het touw bij knoop K1 in de timmermanssteek
4. Breuk bij 106,41kN : 1 streng van het touw bij knoop J2 gebroken
5. Breuk bij 42,20kN : afschuiving op de verticale balk bij knoop J1
6. Breuk bij 84,49kN : afschuiving op de verticale balk bij knopen K1 en K2

3 windingen, 2 woelingen

1. Breuk bij 138,41kN : breuk van het touw bij knoop K1 in de timmermanssteek
2. Breuk bij 78,54kN : afschuiving op verticale balk bij knoop K1
3. Geen breuk, stopzetting proef door te grote scheefstand van proefopstelling
Aangezien de pers zeer schuin kracht zette werd de volledige proefopstelling schuin belast en vervormde deze. Er werd beslist de proef stop te zetten en de proef te verwerpen.
4. Breuk bij 90,17kN : afschuiving op verticale balk bij knoop K1
5. Breuk bij 32,31kN : afschuiving op verticale balk bij knoop J1
Door het vroegtijdig afschuiven van de knoop op de verticale balk wordt besloten deze proef te verwerpen.
6. Breuk bij 100,08kN : breuk van 2 strengen in de timmermanssteek bij knoop J1
Deze knoop is ook afgeschoven op de verticale balk

3 windingen, 1 woeling

1. Breuk bij 66,11kN : afschuiving op de verticale balk bij knopen J1 en J2
2. Breuk bij 60,07kN : afschuiving op de verticale balk bij knopen J1 en J2
3. Breuk bij 69,96kN : breuk van 2 strengen van het touw bij knoop J1 + afschuiving van deze knoop
4. Breuk bij 49,88kN : afschuiving op de verticale balk bij knoop J2
De afwijking van de trendlijn van knoop J1 wijkt meer dan 50% af van het gemiddelde, dus wordt besloten de proef te verwerpen.
5. Breuk bij 84,00kN : breuk van het touw bij knoop J1 in de timmermanssteek
6. Breuk bij 64,89kN : breuk van het touw bij knoop J1 in de timmermanssteek

3 windingen, 0 woelingen

1. Breuk bij 45,03kN : breuk van 2 strengen in de timmermanssteek van knoop J1
Deze knoop is ook afgeschoven op de verticale balk
De afwijking van de trendlijnen van knoop J1 en K2 wijken meer dan 50% af van het gemiddelde, dus wordt besloten de proef te verwerpen.
2. Breuk bij 68,14kN : breuk van 2 strengen in de timmermanssteek van knoop J1
Deze knoop is ook afgeschoven op de verticale balk

3. Breuk bij 56,76kN : breuk van 2 strengen in de timmermanssteek van knoop J1
Deze knoop is ook afgeschoven op de verticale balk
De afwijking van de trendlijnen van knoop J1 en K2 wijken meer dan 50% af van het gemiddelde, dus wordt besloten de proef te verwerpen.

4. Breuk bij 32,14kN : afschuiving op de verticale balk bij knoop J1

5. Breuk bij 51,24kN : breuk van het touw in de timmermanssteek bij knoop J1

6. Breuk bij 51,87kN : ?

Het breukmechanisme werd niet genoteerd.

De afwijking van de trendlijn van knoop J1 wijkt meer dan 50% af van het gemiddelde, dus wordt besloten de proef te verwerpen.

2 windingen, 3 woelingen

1. Geen breuk want proef werd vroegtijdig stopgezet aangezien het labo afgesloten werd
De afwijking van de trendlijn van knoop K1 wijkt meer dan 50% af van het gemiddelde, dus wordt besloten de proef te verwerpen.

2. Breuk bij 60kN : splijten van houten paal K (horizontaal)

De afwijking van de trendlijn van knoop K1 wijkt meer dan 50% af van het gemiddelde, dus wordt besloten de proef te verwerpen.

3. Breuk bij 28kN : afschuiving op verticale balk bij knoop K1

4. Breuk bij 32kN : afschuiving op verticale balk bij knoop K1

5. Breuk bij 27kN : afschuiving op verticale balk bij knoop K1

De resultaten van deze drie proeven worden alle drie verworpen aangezien er tijdens de proef veel afschuiving is en er vroegtijdig breuk door afschuiving op de verticale balk plaats vindt.

6. Geen breuk, belast tot maximale belastingsstap van het proefprogramma

7. Breuk bij 88,3kN : breuk van het touw bij knoop J1 in de timmermanssteek

Ook bij knoop J2 waren 2 van de 3 strengen gebroken in de timmermanssteek

8. Breuk bij 78,12kN : breuk van het touw bij knoop J1 in de timmermanssteek

Iedere knoop werd gefilmd door een Go Pro

2 windingen, 2 woelingen

1. Breuk bij 66kN : afschuiving op verticale balk knoop J2

2. Breuk bij 80kN : verticale afschuiving van de knopen

Breuk van 1 streng van het touw bij knoop J1

3. Breuk bij 79kN : breuk van timmermanssteek knoop J1

4. Geen breuk, proefprogramma tot 90kN

Ook opmeting na ontlasten van de verticale verplaatsing

5. Breuk bij 69kN : verticale afschuiving van de knopen

6. Breuk bij 28kN : afschuiving van beide knopen op horizontale balk J

Er treedt vroegtijdig afschuiving op de verticale balken op van 2 knopen. Er wordt besloten de resultaten te verwerpen.

2 windingen, 1 woeling

1. Breuk bij 87kN : breuk van het touw bij knoop J2, ook 2 van de 3 strengen van knoop J1 zijn gebroken. De breuk bevindt zich bij beide knopen bij de timmermanssteek

2. Breuk bij 89,8kN : breuk van het touw bij knopen J1 en J2, bij beide knopen bevindt de breuk zich bij de timmermanssteek

3. Breuk bij 60kN : afschuiving op verticale balk bij knoop J2 (de verticale balk was net een nieuwe balk bij deze proef)

4. Breuk bij 77,4kN : afschuiving op verticale balk bij knoop J2
5. Breuk bij 55,1kN : breuk van het touw bij knoop J2 in de timmermanssteek
6. Breuk bij 40,1kN : afschuiving op verticale balk bij knoop K1

2 windingen, geen woeling

1. Breuk bij 40kN : afschuiving op verticale balk bij knopen K1 en K2
2 strengen gebroken van knoop K2 bij de timmermanssteek
2. Breuk bij 50kN : afschuiving op verticale balken bij alle knopen tegelijk
3. Breuk bij 24kN : afschuiving op verticale balk bij knoop K2
De afwijking van de trendlijn van knoop K1 wijkt meer dan 50% af van het gemiddelde, dus wordt besloten de proef te verwerpen.
4. Geen breuk, de test werd stopgezet aangezien de proefopstelling scheef kwam te staan
5. Breuk bij 23,8kN : afschuiving op verticale balk bij knoop K1
Tijdens de proef treedt veel afschuiving op bij de knopen K1 en K2. De resultaten van deze proef worden verworpen.

1 winding, 3 woelingen

1. Breuk bij 33,64kN : breuk van het touw bij knoop J1 in de timmermanssteek
2. Breuk bij 34,31kN : breuk van het touw bij knoop J1 in de timmermanssteek
3. Breuk bij 32,97kN : breuk van het touw bij knoop J2 in de timmermanssteek
4. Breuk bij 31,61kN : breuk van het touw bij knoop J2 in de timmermanssteek
5. Breuk bij 30,16kN : breuk van het touw bij knoop J2 in de timmermanssteek
6. Breuk bij 29,84kN : breuk van het touw bij knoop J1 in de timmermanssteek

1 winding, 2 woelingen

1. Breuk bij 32,30kN : breuk van het touw bij knoop J1 in de timmermanssteek
2. Breuk bij 34,35kN : breuk van het touw bij knoop J2 in de timmermanssteek
3. Breuk bij 24,95kN : afschuiving op verticale balk bij knoop J2
4. Breuk bij 29,78kN : breuk van het touw bij knoop J1 in de timmermanssteek
5. Breuk bij 20,01kN : afschuiving op verticale balk bij knoop J2
Geen grote afwijking trendlijnen, wel groot verschil met andere waarden, kan dit verworpen worden? (of vroegtijdige afschuiving?)
6. Breuk bij 29,99kN : breuk van het touw bij knoop J1 in de timmermanssteek

1 winding, 1 woeling

1. Breuk bij 34,81kN : afschuiving op verticale balk bij knoop J2
Ook 2 strengen van het touw in de timmermanssteek zijn gebroken
2. Breuk bij 35,09kN : breuk van het touw bij knoop J1 in de timmermanssteek
Er treedt zeer hoge zetting op bij het aanbrengen van de voorlast bij knoop K2. Erna is de zetting van deze knoop veel kleiner dan bij de overige knopen.
Daarnaast wijkt de helling van de trendlijn van knoop J1 meer dan 50% af van het gemiddelde, en ook bij deze van knoop K2 is deze groter dan 40%, dus wordt besloten de proef te verwerpen.
3. Breuk bij 20,06kN : afschuiving op verticale balk bij knoop J2
De afwijking van de trendlijn van knoop K1 wijkt meer dan 50% (98%) af van het gemiddelde, dus wordt besloten de proef te verwerpen. Ook is er zeer snel afschuiving op de verticale balk wat een extra reden is om de proef te verwerpen.

4. Geen breuk opgetreden, de proef werd stopgezet aangezien de afschuiving bij knoop J2 op de verticale balk te groot was. Hierdoor wordt beslist de resultaten van deze proef te verwerpen.
5. Breuk bij 30,24kN : breuk van het touw bij knoop J2 in de timmermanssteek
6. Breuk bij 29,60kN : afschuiving op de verticale balk bij knopen K1 en K2 tegelijk

1 winding, 0 woelingen

1. Breuk bij 40,06kN : breuk van het touw bij knoop J1 in de timmermanssteek
2. Breuk bij 32,40kN : afschuiving op verticale balk bij knoop K2
3. Breuk bij 11,32kN : afschuiving op verticale balk bij knoop K2
Aangezien breuk zeer snel optreedt en het breukmechanisme afschuiving op de verticale balk is, werd beslist de resultaten van deze knoop te verwerpen.
4. Breuk bij 19,65kN : afschuiving op verticale balk bij knoop J2

Extra metingen ter vervanging van resultaten die niet voldoen aan verwachtingen (19/02)

1. 3 windingen en 3 woelingen
Breuk bij 89,23kN : breuk van 2 strengen van knoop J1 + afschuiving van deze knoop
2. 3 windingen en 2 woelingen
Breuk bij 50,11kN : afschuiving op verticale balk bij knopen J1 en J2
De resultaten van deze proef worden verworpen aangezien er tijdens de proef veel afschuiving optreedt.
3. 3 windingen en 2 woelingen
Breuk bij 119,80kN : breuk van het touw bij knoop K1 in de timmermanssteek
4. 3 windingen en 1 woeling
Breuk bij 29,80 : afschuiving op verticale balk bij knoop K2
De resultaten van deze proef worden verworpen aangezien er tijdens de proef veel afschuiving optreedt. Ook wordt afschuiving als breukmechanisme zeer snel bereikt in vergelijking met de verwachte belasting.
5. 3 windingen en 0 woeling
Breuk bij 40,12kN : afschuiving op verticale balk bij knoop K2
De resultaten van deze proef worden verworpen om dezelfde reden als bij vorige proef vermeld.
6. 2 windingen en 3 woelingen
Breuk bij 85,00kN : breuk van het touw bij knoop K1 in de timmermanssteek
7. 2 windingen en 2 woelingen
Breuk bij 14,65kN : afschuiving op verticale balk bij knoop J1
De resultaten van deze proef worden verworpen om dezelfde reden als bij proeven 4 en 5
8. 2 windingen en 1 woeling
Breuk bij 88,29kN : breuk van het touw bij knoop K2 in de timmermanssteek
Bij knoop K1 is ook een streng van het touw gebroken
Aan de kant van knopen K1 en J1 zijn enkele resultaten ontbrekend
9. 2 windingen en 0 woeling
Breuk bij 60,14kN : afschuiving op de verticale balk bij knoop K1
10. 2 windingen en 0 woeling
Breuk bij 58,44kN : afschuiving op de verticale balk bij knoop K2

11. 1 winding en 1 woeling

Breuk bij 40,09kN : breuk van het touw bij knopen K1 en K2 in de timmermanssteek

12. 1 winding en 0 woeling

Breuk bij 25,18kN : breuk van het touw bij knoop K2 in de timmermanssteek

13. 3 windingen en 1 woeling

Breuk bij 25,56kN : afschuiving op de verticale balk bij knoop K1

De resultaten van deze proef worden verworpen om dezelfde reden als bij proeven 4, 5 en 7. Daarnaast is de afwijking van de richtingscoëfficiënt van de trendlijn van lijn K1 meer dan 50% in vergelijking met deze van de gemiddelde zetting.

14. 2 windingen en 2 woelingen

Breuk bij 70,10kN : breuk van het touw bij knoop K2 in de timmermanssteek

15. 3 windingen en 1 woeling

Breuk bij 84,38kN : breuk van 2 strengen van het touw bij knoop K2 + afschuiving van deze knoop

Bij ongeveer 12 kN was er al een kleine afschuiving. Hierdoor is de pers gestopt met belasten en werd opnieuw gestart met een voorlast en werd erna belast in dezelfde belastingsstappen. De resultaten lijken aanvaardbaar, maar wijken toch wat af van de andere waarden die bekomen waren in de eerdere testen met 3 windingen en 1 woeling.

FACULTEIT INDUSTRIELE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
TECHNOLOGIECAMPUS GENT
Gebroeders De Smetstraat 1
9000 GENT, België
tel. + 32 92 65 86 10
iiw.gent@kuleuven.be
www.iiv.kuleuven.be



LID VAN **ASSOCIATIE
KU LEUVEN**