



Exercise 2011 - 2012

7P672 Lightweight Structures

A.P.H.W. Habraken

Report

Group 4:
S.H.M. van Dijck
J.C. Fritzsche
J. Koeken
T. Relker
F.G.M. van Rooijen
M. Slotboom
M. Steenbeeke
J.P.T. Theunissen

Date: 18-01-2012

TU/e Technische Universiteit
Eindhoven
University of Technology

Tensegrity

A tensegrity structure is based on equilibrium between compressive and tensile forces. Rods absorb compressive forces and cables absorb tensile forces (figure 2). In a tensegrity model rods are never connected to each other. Each end of a rod is connected to cables which provide compression and which precisely define the position of the rod. The idea is to replace the cables in this tensegrity model by cable net structures. The net structures can absorb the tensile forces and position the rods in the same way, which will again lead to equilibrium of the structure.

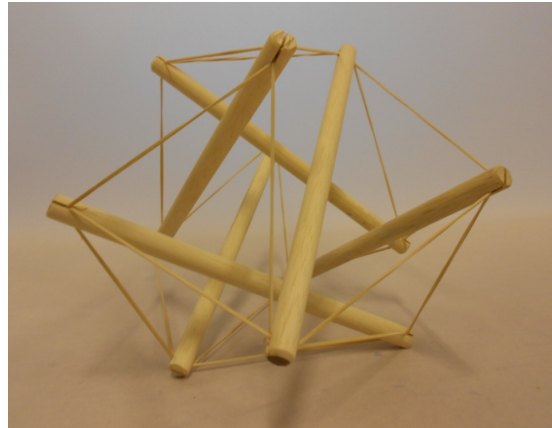


Figure 1: 6 rod tensegrity model

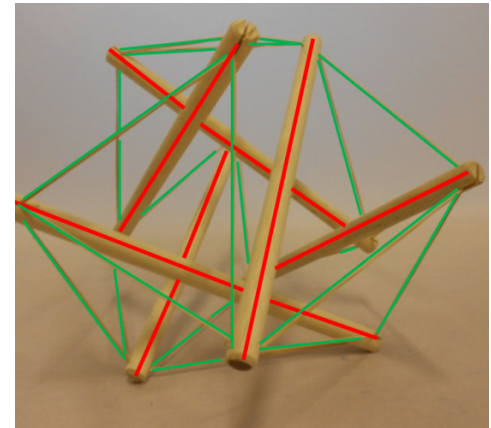


Figure 2: compressive (red) and tensile (green) forces

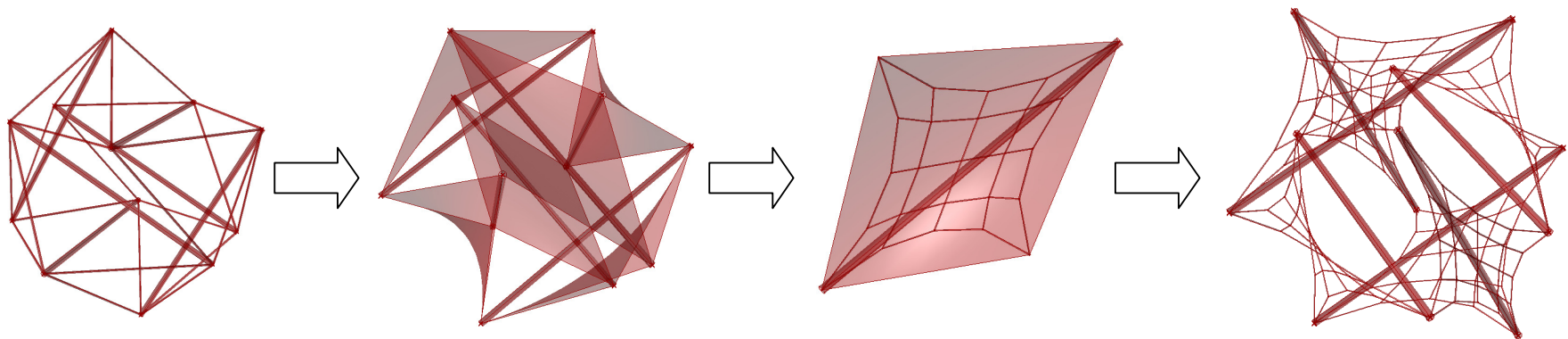


Figure 3: Replacing the cables by cable nets

Design

The idea is to build a six rod tensegrity model with a rod length of approximately four meter and six similar cable net structures.

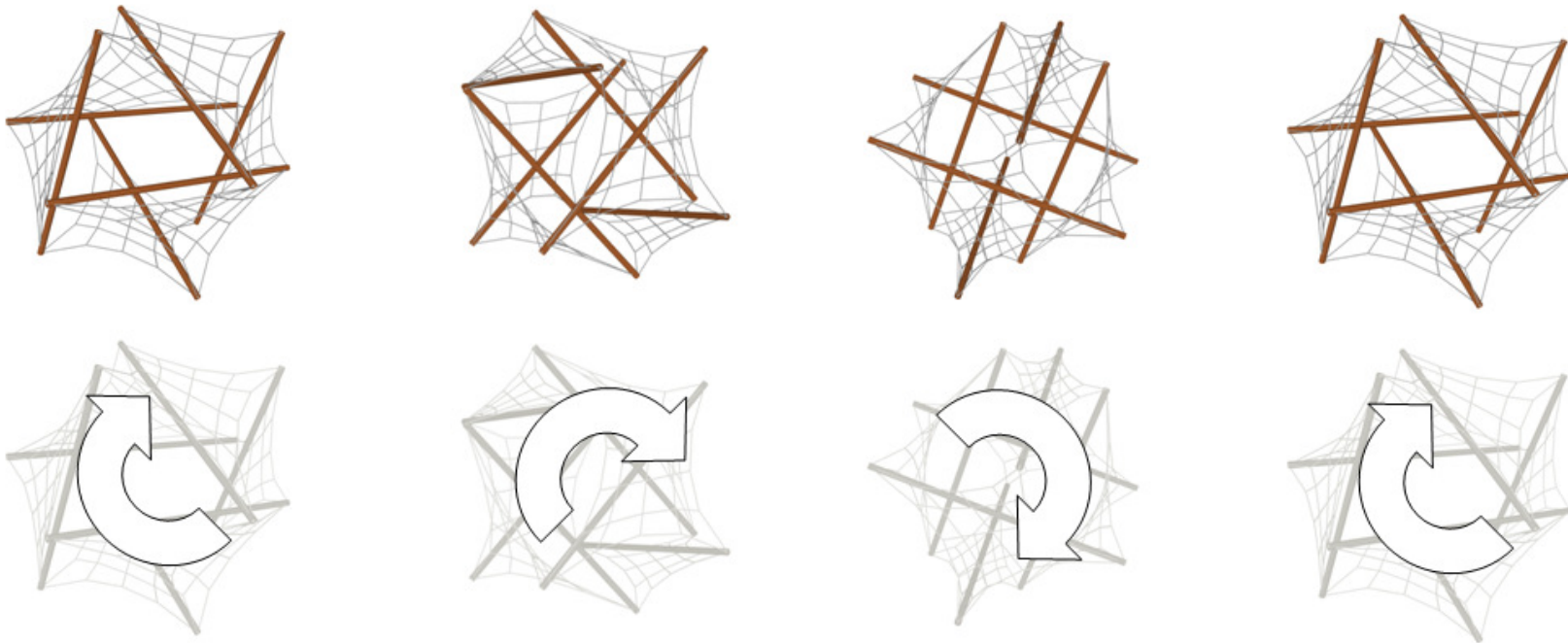


Figure 4: Tensegrity model can be rolled over



Figure 5: Impression of the tensegrity model at Floor 1 of the Vertigo building



Figure 6: Impression of the tensegrity model rolled over

The engineering

Before the tensegrity model was built, the following was analyzed:

- The forces in the net;
- The forces in the edge cable;
- Reactions from the net ('oplegkrachten');
- The length of the edge cable in stressed and unstressed condition.

The forces:

Maxima					
1860	A2	578	0,2145	randkabel	
1019	A2	550	0,03496	net	
Minima					
1838	A2	575	0	randkabel	
1019	A2	550	0,03496	net	

Lengths edge cable:

Unstressed: 1,58 en 1,55 m

Stressed: 1,60 en 1,56 m

Reactions from the net ('oplegkrachten'):

Node	Case	Fx	Fy	Fz	F
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
578	A2	-0,4028	0,001401	-0,1364	0,4253
597	A2	0	-0,1976	0,147	0,2463
1050	A2	0,4028	0,001401	-0,1364	0,4253
1106	A2	0	0,1962	0,1453	0,2442

Stability

In order to create a stable construction, there must be equilibrium in every single node. One node is going to be looked at; the node in the red square is enlarged (figure 7). The red arrows are tensile forces, the green are compressive forces, as shown in figure 8.



Figure 7: Node to analyze

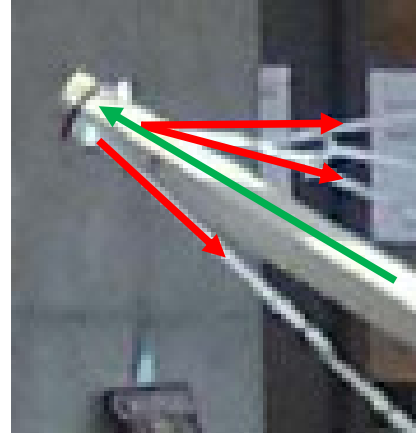


Figure 8: Forces in the node

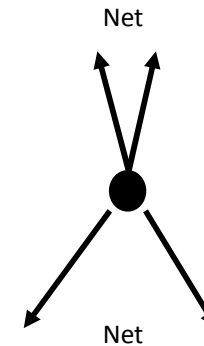


Figure 9: Forces well divided

If you look in line of the beam, you will notice that there are four forces on the node. In picture 9 you will see that the forces are very well divided, which means that this node is in equilibrium. To proof total stability it is necessary to look in all directions. The two forces that are very close together are merged so that the calculation is easier to solve. In picture 10 you can see the equilibrium of the node. Notice that the arrows are not in scale.

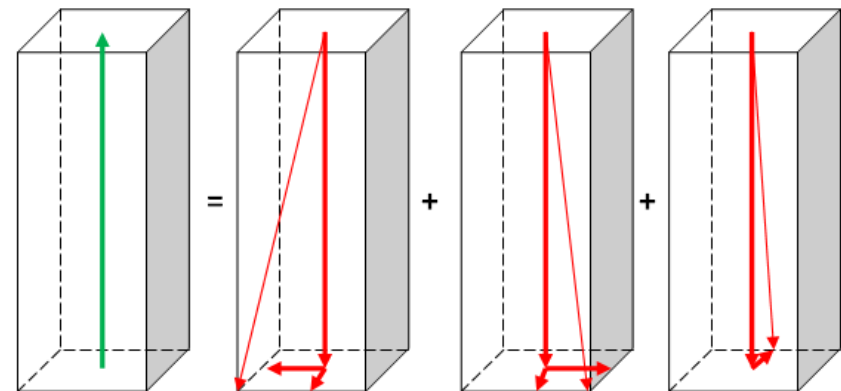


Figure 10: Node in equilibrium

Detailing

In the design the intension was to use circular rods. The detailing of the connection of the edge cables to the ends of the rods in this situation is shown in figure 11. Since there was no material with similar characteristics available at the DIY-shop, the material of the rods has changed to wooden beams with dimension 44x44mm. Because these beams are square, the detailing changed as well to a more simple solution (figure 12).



Figure 12: Detailing in the final tensegrity model

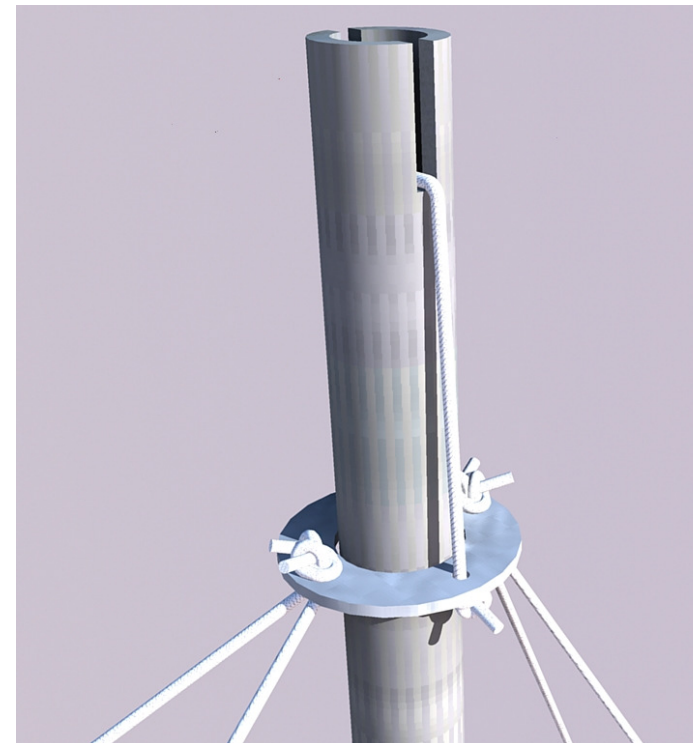
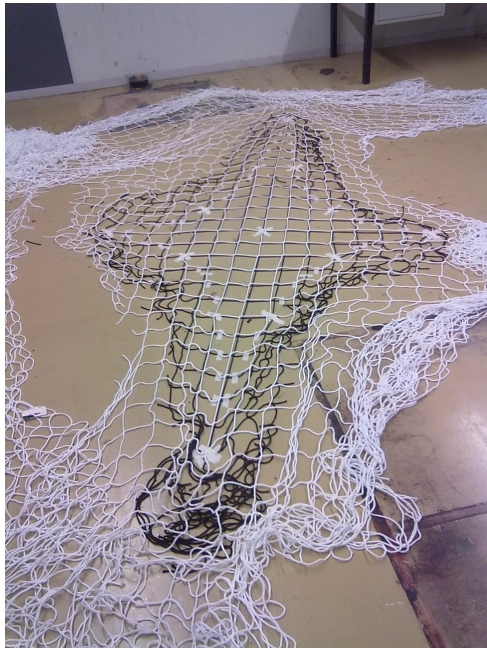
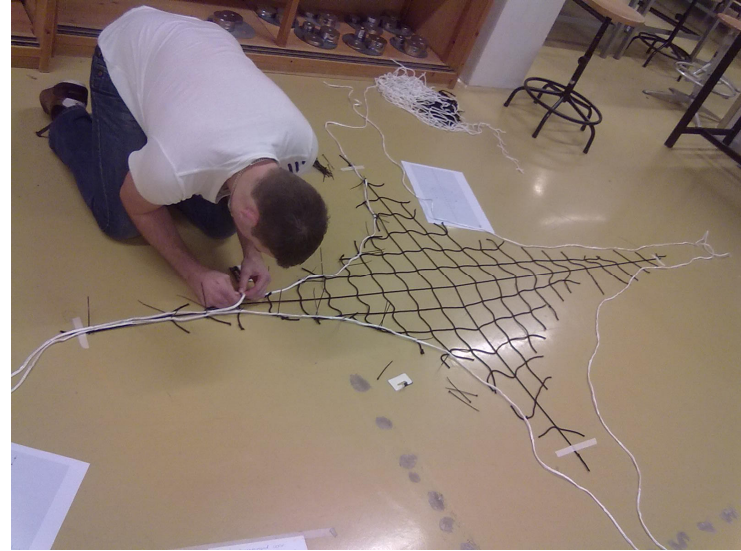
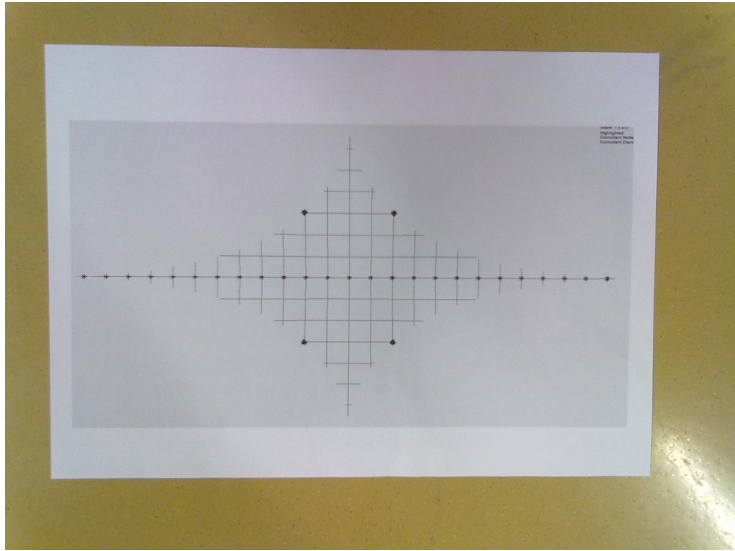
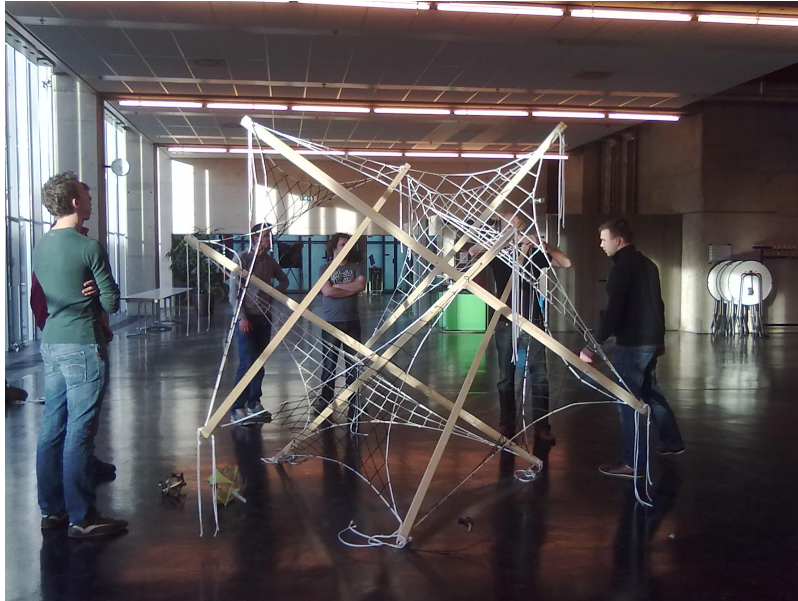


Figure 11: Detailing in the designed tensegrity model

Building the model

A six rod tensegrity model is built with a rod length of 3,0 meter, with at the end of the rods the requirements for the connecting of the net. Small steel rings are used to bring the two edge cables together (distance between two rings is 2,70 meter) and slots are sawn to connect the cables. A knot will prevent the cables from moving. The net is calculated in GSA with a length of 2,40 meter in order to remain having some length to stretch the net. Six similar cable net structures are cut and connected with the edge cables.







Appendix 1 – Krachten in de randelementen

Krachten in randelementen

Elem	Case	Pos	Fx [kN]	Length /Area [m]	Ontspannen lengte [m]		
1860	A2	578	0,2145	0,03637	1,60 m	-0,01524	1,58 m
1861	A2	1036	0,1984	0,1056			
1862	A2	1025	0,1984	0,1048			
1863	A2	1014	0,1989	0,1066			
1864	A2	1001	0,1997	0,1068			
1865	A2	989	0,2007	0,1078			
1866	A2	978	0,2026	0,1093			0,124 2015
1867	A2	966	0,2033	0,01526			0,2145 1860
1868	A2	967	0,1678	0,09783			
1869	A2	956	0,1722	0,1171			
1870	A2	944	0,1769	0,07144			
1871	A2	945	0,1555	0,05281			
1872	A2	933	0,1634	0,1316			
1873	A2	934	0,143	0,005618			
1874	A2	922	0,1494	0,1383			
1875	A2	923	0,1319	0,02876			
1876	A2	910	0,1391	0,09191			
1877	A2	911	0,1297	0,1114			
1878	A2	913	0,125	0,05897			
1932	A2	1050	0,2145	0,03637	1,60 m	-0,01524	1,58 m
1933	A2	1086	0,1984	0,1056			
1934	A2	1085	0,1984	0,1048			
1935	A2	1084	0,1989	0,1066			
1936	A2	1083	0,1997	0,1068			
1937	A2	1082	0,2007	0,1078			
1938	A2	1081	0,2026	0,1093			
1939	A2	1079	0,2033	0,01526			
1940	A2	1080	0,1678	0,09783			
1941	A2	1078	0,1722	0,1171			
1942	A2	1075	0,1769	0,07144			
1943	A2	1076	0,1555	0,05281			
1944	A2	1072	0,1634	0,1316			
1945	A2	1073	0,143	0,005618			
1946	A2	1068	0,1494	0,1383			
1947	A2	1069	0,1319	0,02876			
1948	A2	1062	0,1391	0,09191			
1949	A2	1063	0,1297	0,1114			
1950	A2	1064	0,125	0,05897			

1998 A2	1135	0,1922	0,1054	1,56 m	-0,01345	1,55 m
1999 A2	1134	0,1922	0,1047			
2000 A2	1133	0,193	0,1065			
2001 A2	1132	0,194	0,1067			
2002 A2	1131	0,195	0,1077			
2003 A2	1130	0,1972	0,1091			
2004 A2	1128	0,1978	0,01524			
2005 A2	1129	0,165	0,09775			
2006 A2	1127	0,1694	0,117			
2007 A2	1124	0,1741	0,07138			
2008 A2	1125	0,154	0,05277			
2009 A2	1121	0,1618	0,1315			
2010 A2	1122	0,1418	0,005615			
2011 A2	1117	0,1481	0,1382			
2012 A2	1118	0,1309	0,02875			
2013 A2	1111	0,138	0,09187			
2014 A2	1112	0,1286	0,1114			
2015 A2	1113	0,124	0,05895			
2056 A2	1176	0,1922	0,1054	1,56 m	-0,01345	1,55 m
2057 A2	1175	0,1922	0,1047			
2058 A2	1174	0,193	0,1065			
2059 A2	1173	0,194	0,1067			
2060 A2	1172	0,195	0,1077			
2061 A2	1171	0,1972	0,1091			
2062 A2	1169	0,1978	0,01524			
2063 A2	1170	0,165	0,09775			
2064 A2	1168	0,1694	0,117			
2065 A2	1165	0,1741	0,07138			
2066 A2	1166	0,154	0,05277			
2067 A2	1162	0,1618	0,1315			
2068 A2	1163	0,1418	0,005615			
2069 A2	1158	0,1481	0,1382			
2070 A2	1159	0,1309	0,02875			
2071 A2	1152	0,138	0,09187			
2072 A2	1153	0,1286	0,1114			
2073 A2	1154	0,124	0,05895			

Node	Case	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]	F [kN]
	578 A2	-0,4028	0,001401	-0,1364	0,4253
	597 A2	0	-0,1976	0,147	0,2463
	1050 A2	0,4028	0,001401	-0,1364	0,4253
	1106 A2	0	0,1962	0,1453	0,2442

Appendix 2 - Reflectie

Het project is redelijk goed verlopen, toch is er een aantal punten dat beter had gekund;

- Het ontwerp bestond uit zes staven met een lengte van 4 meter. Vanuit dit idee is er gekeken naar materiaal beschikbaar in de bouwmarkt, met als resultaat houten staven met een lengte van 3,9 meter en een vierkante doorsnede van 44x44mm. Omdat er twijfel was over of deze kniklengte niet te groot zou worden, is het gehele model verkleind naar staven met een lengte van 2,7 meter. Hierdoor zijn er relatief dikke staven gebruikt waardoor in het uiteindelijke model de staven nogal robuust overkomen ten opzichte van het net. Als de uiteindelijke staaflengte eerder bekend was, was er niet gekozen voor houten staven, maar voor roestvrij stalen verwarmingsbuizen, waardoor het model duidelijk een slanker uiterlijk zou hebben gekregen.
- In de uitvoering is aangenomen dat het net symmetrisch opgedeeld was, waardoor er vier identieke randkabels zijn geproduceerd. Achteraf bleek dat het net niet symmetrisch was, waardoor de aansluitpunten van twee van de vier randkabels niet kloppen en deze in totaal circa 40mm van elkaar verschillen.

Het monteren van het model viel erg mee. Van te voren werd gedacht dat dit een moeilijk karwei zou zijn, maar doordat de aansluitingen goed en simpel gedetailleerd waren en we met genoeg mankracht waren, was het eenvoudig om de netten te bevestigen en aan te spannen.

Het model blijft goed in zijn huidige vorm staan en het is mogelijk om hem te rollen, zonder dat het model schade oploopt. Wel blijft het model een lange tijd natrillen om opnieuw zijn evenwicht te vinden.