

## Bouwverslag LC Fregat Hr. Ms. Zeven Provinciën.

### Deel 3: Stilstand en voortgang....

Een van de fijne aspecten van Modelbouw als hobby vind ik het feit dat je zonder schuldgevoel weken, soms maanden niets aan zo'n project hoeft te doen. Tijdgebrek, andere prioriteiten of gewoon "omdat m'n kop er niet naar staat...".

Dat is de reden dat het bouwproject van mijn LC fregat regelmatig zomaar een paar maanden stil kan staan.

Maar nu zijn er toch weer een paar ontwikkelingen.

#### **Voortstuwing**

Ik heb enkele proefvaarten gemaakt met de eerder beschreven voortstuwing en besturing. Helaas is het geheel erg lawaaiig en niet echt betrouwbaar. In elk geval de aandrijving moet op de schop.

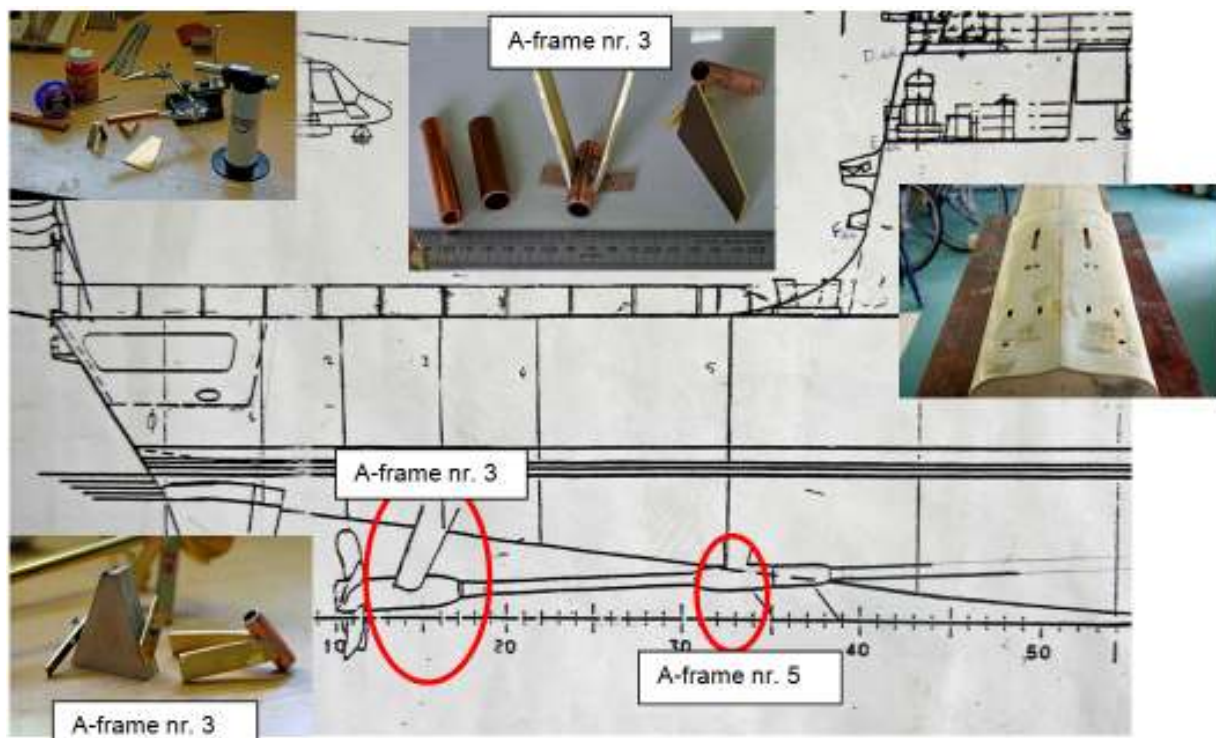
Ik heb een forse ontwerp- en constructiefout gemaakt bij het inbouwen van de schroefassen.

Voor de schroefassen is gekozen voor Raboesch 301-10 (M5 aan schroefzijde, D = 5 mm ) met een lengte van 450 mm. Buitendiameter van de schroefasbuis is 10 mm.

Aan de binnenkant van zo'n as (in het schip) zit een kogellager, aan de buitenkant (schroefkant) zit een Delrin glijlager (Delrin is een soort zelfsmurende slijtvaste kunststof).

Daar komen schroeven op van het type 183-19 en 183-20 (L/R); Dit zijn geskewde (sikkelvormige) schroeven met M5 tap, doorsnede 70 mm.

In de echte wereld bedraagt de schroefdiameter zo'n 5,1 m. In het schaalmodel (1:72) zou dit neerkomen op iets meer dan 70 mm, dus ik zit redelijk goed met de keuze voor deze schroeven.



De schroefassen komen binnen onder een kleine hoek (kleiner dan de tekening suggereert) en slechts enkele mm boven het scheepsvlak (bodem van het schip). Er is dus heel weinig ruimte voor de koppeling met de motoren. Dat had achteraf iets handiger gekund...

Als oplossingrichting heb ik aanvankelijk gekozen voor het gebruik van tandriemen, zodat de motoren hoger op geplaatst konden worden. Ik heb dit beschreven in Bouwverslag LCF Deel 2. In mijn schip bleek dit een heilloze weg. De tandriemen stonden te strak of te slap, niet goed uitgelijnd, met als gevolg een lawaaiige en onbetrouwbare aandrijving van de schroefassen.

Een andere oplossingsrichting was een koppelstang met cardankoppelingen tussen de motoren en de schroefassen. Mechanisch werkt dit goed, vooral omdat de afstelling veel minder nauw luistert. Maar in deze aandrijflijn bleek bij hogere toerentallen resonantie op te treden.

**Vraag:** Hoe ontstaat die resonantie en wat kun je eraan doen ?

Als ik de motoren (2 x Graupner Speed 900 BB Torque) in een testopstelling koppel aan de schroefassen met cardankoppelingen (Raboesch of een ander merk, maakt niet uit) gaat bij bepaalde, vrij hoge toerentallen het geheel enorm trillen (resonantie). Ik heb in de testopstelling geen toerenteller, maar volgens de specificatie draaien de motoren onbelast 6500 RPM bij 12V. Resonantie ontstaat bij ong. 8 V; komt ruwweg overeen met 4300 RPM. Dit probleem deed zich ook voor tijdens de eerste proefvaarten.

In de proefopstelling blijkt dat de bijgeluiden worden veroorzaakt doordat de schroefas in het midden gaat resoneren. Het ziet eruit als een trillende snaar, en dat veroorzaakt het kabaal, dus NIET de cardankoppelingen, koppelstangen, onbalans etc. Ik heb dit uitgeprobeerd in een proefopstelling en dit probleem is identiek reproduceerbaar voor beide schroefassen. Eventuele onbalans in de schroeven lijkt niet mee te spelen. Toerental omlaag → resonantie weg → aandrijving loopt "als een naaimachientje"... Mooi reproduceerbaar, voor zowel SB als BB.



Wat waren ook alweer de opties ?

1. Vet in de schroefasbuis: *Deze actie is door anderen uitgeprobeerd en bleek niet de oplossing.*
2. Teflon bus in de schroefasbuis (omhulling van de as): *uitgeprobeerd, maar heeft geen enkel effect op de resonantie.*
3. Halverwege doorslijpen en kogellagers erin zetten. *Nogal rigoureuus; dat is pas de laatste optie die ik eventueel wil uitproberen.*
4. Toerental van de schroefas omlaag brengen; effect van een reductiebak bekijken. *Zie hieronder.*

### Reductiebak

Als het moeilijk kan, waarom zou je dan de makkelijke weg kiezen... De motoren gewoon vervangen door exemplaren die een lager toerental draaien zou de gemakkelijkste, maar ook de duurste oplossing zijn. En de Speed 900's in de klinko gooien vond ik toch een beetje zonde.

De reductiebak heeft 2 functies:

- a. Toerental omlaag brengen; Ik heb gekozen voor een reductie van 20:50 (dus 1:2,5)
- b. Koppeling met de koppelas verlagen (dus dichter bij het scheepsvlak brengen) t.o.v. de uitgaande as van de motor, zodat de koppelas zo recht mogelijk in het verlengde van de schroefas ligt.

### Trillingsprobleem / resonantie schroefassen:

Dit probleem blijkt vaker voor te komen, óók in de 1:1 wereld. Tijdens een evenement gaf iemand mij een vuistregel voor de verhouding tussen aslengte en asdiameter om trillingen te voorkomen, als volgt:

$$\text{Lengte} / \text{Diameter schroefas} < 22$$

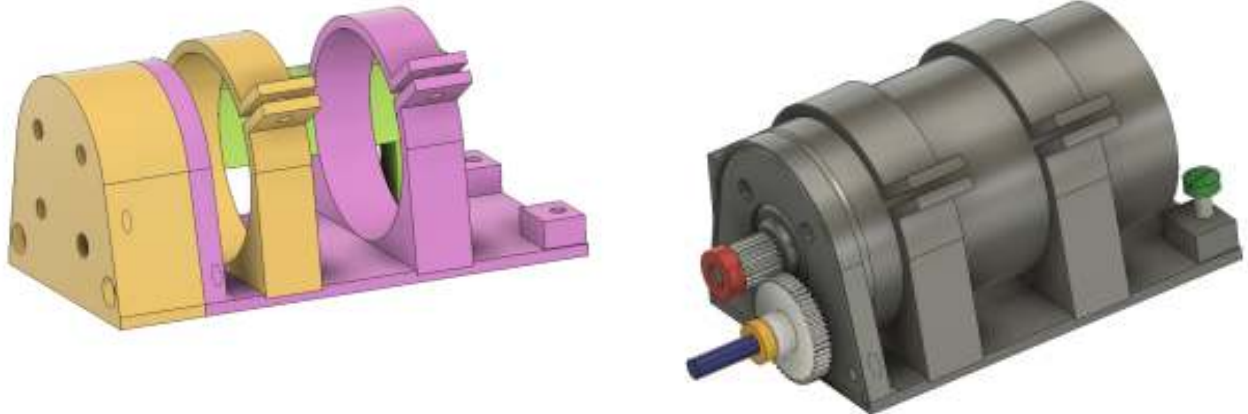
In mijn geval is de lengte 450 mm en de schroefas  $\varnothing$  5 mm; quotiënt is dus 90 !!! Bij een  $\varnothing$  van 5 mm zou de aslengte 110 mm kunnen zijn zonder resonantie.

Ontwerp, tekenen in Fusion 360<sup>1</sup> en bouw van de reductiebak beschrijf ik in een apart artikeltje over mijn avonturen met de Resin (3D) printer. Hieronder het resultaat.

De reductie van 1:2,5 brengt het toerental (volgens specificaties van de motor 6500 bij 12V) terug naar ongeveer 2600 rpm bij 12V.

<sup>1</sup> Al het tekenwerk, voor zowel 3D printwerk als voor de CNC frees en stickersnijder is uitgevoerd in Fusion 360.

Na het inbouwen en mechanisch afregelen / inlopen blijken deze aandrijflijnen bij vol vermogen iets meer stroom te trekken dan de motoren in nullast: 1,1 resp 1,14 A. Ze lopen beide dus als een naaimachientje !



Nu is natuurlijk de vraag of de schroeven bij dit lage toerental voldoende stuwkracht leveren. De eerste proefvaarten vielen niet tegen. Eigenlijk het enige dat moest worden aangepast tijdens het varen was ballast, het schip lag iets te hoog. Verder weinig storing, goed bestuurbaar, voortstuwing goed, schaalsnelheid goed. Wat wel opvalt is dat om te sturen snelheid nodig is. Sturen met de schroeven gaat heel moeizaam. Logisch bij een L x B verhouding van 1:7,6; het lijkt qua besturing op een kano !



Incidentje: De stiftappen van de Cardan koppelingen kunnen losraken. Ik heb daarvoor platte vlakjes aan de assen gevijld en de stiftappen van Loctite voorzien. Vooraf zijn de Cardan koppelingen voorzien van krimpkoos.



### Relatie toerental (RPM) versus trekkracht

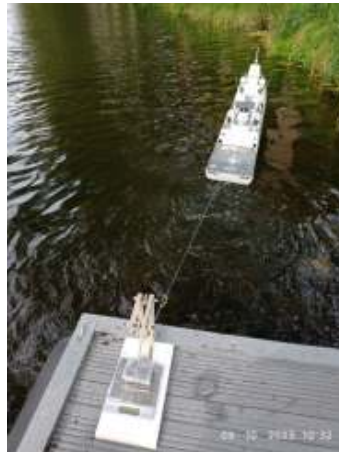
Omdat het toerental van beide schroefassen drastisch omlaag is gebracht als remedie tegen resonantie rijst de vraag of bij die lagere toerentallen voldoende stuwkracht blijft om het schip een



reëel vaarbeeld te geven. Dit bleek op het oog goed, maar hoeveel is nu daadwerkelijk de trekkracht van deze constructie ?

Ik heb dat als volgt gemeten:

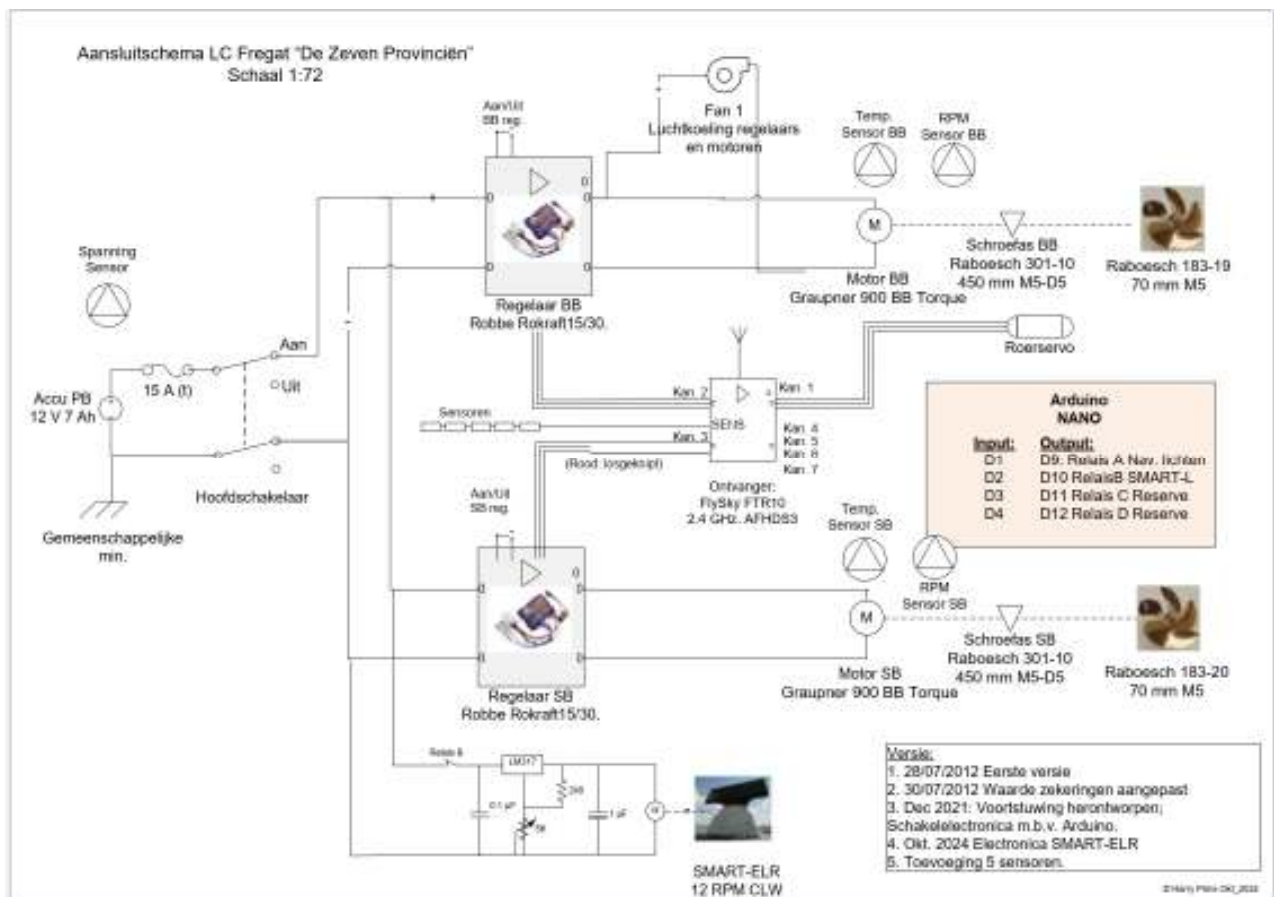
Een bekend gewicht wordt via katrollen opgetild vanaf een weegschaal. De katrollen zetten trekkracht  $90^\circ$  om naar hefkracht. Het toerental van de schroefassen kan worden gevarieerd en afgelezen vanaf de zender (telemetrie). Hiermee krijg je (relatieve) meetwaarden voor de relatie toerental – trekkracht.



Het blijkt dat de tilkracht bij ong. 2400 RPM begint af te vlakken en boven 3300 niet veel verder toeneemt. Hogere toerentallen maken van de schroeven eigenlijk staafmixers. Voor mijn LCF was de tilkracht bij 2400 RPM ong. 800 gr. Blijkbaar voldoende voor een mooi vaarbeeld.

NB. In het water trekken de motoren bij stilstand en 2400 RPM ongeveer 2,1 A per stuk.

Tot zover de voortstuwing; dat was een pittig “steentje in mijn schoen” en dat blijkt nu opgelost.



## Arduino

Wat is Arduino ? Zie [https://nl.wikipedia.org/wiki/Arduino\\_\(computerplatform\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Arduino_(computerplatform))

De software waarmee een Arduino wordt bestuurd heet een “Sketch”. Deze programmeer je met een IDE (Integrated Development Environment). In dit artikel ga ik niet in op programmeertechnieken voor

de Arduino. Daarvoor is heel veel op internet te vinden. De sketch die ik gebruik om de uitgang van de FTR10 ontvanger te vertalen naar functies in het schip werkt simpel gezegd als volgt:

1. Bepaal de pulsbreedte van de ontvanger uigang (kanaal)
2. Afhankelijk van de pulsbreedte schakel je een relais aan of uit.
3. Doe dit telkens opnieuw voor de kanalen 4 t/m 7 van de ontvanger.

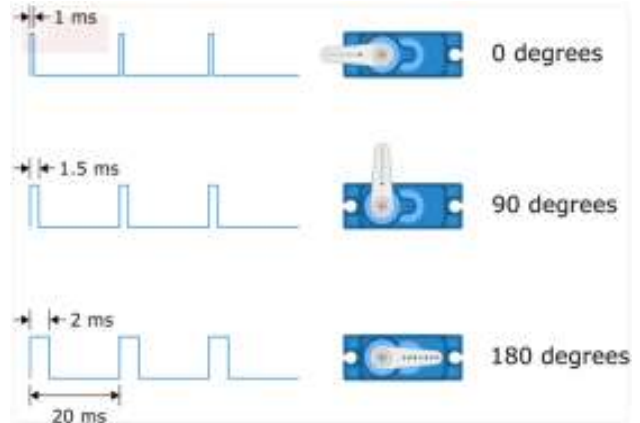
### Pulsbreedte Modulatie

Over servo's wordt hier

<https://www.makerguides.com/servo-arduino-tutorial/>  
goede uitleg gegeven.

De pulsbreedte die het ontvangerkanaal afgeeft ligt tussen 1 en 2 milliseconden ( $1000 \mu\text{S} < \text{PW} < 2000 \mu\text{S}$ ). De elektronica in een servo vertaalt dit naar een positie tussen  $0^\circ$  en  $180^\circ$  (kan per servo verschillen). Een vaartregelaar vertaalt de pulsbreedte naar uitgaand vermogen voor een motor. Een zgn. Multiswitch vertaalt de pulsbreedte naar een schakelstand UIT/AAN.

De sketch die ik gebruik om de SMART-L en de navigatielichten te schakelen is dus niets anders dan een Multiswitch. De kostprijs is echter iets lager !



Opbouw in het schip: (Zender: FlySky PL18):

- Uitgangspunt is de accuspanning:  $\approx 13 \text{ V}$  (opgeladen PB accu);
- FlySky FTR10 ontvanger krijgt 5V BEC voeding van een van de vaartregelaars
- Aansluitingen in het schip: PWM uitgangen van de FTR10:

Zender			Ontvanger		Arduino Nano		
Kanaal nr.	Functietoewijzing	Bediening	PWM uitgang	Functie	Input	Output	
Chan1	Roeren	VRB	1	Roeren	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
Chan2	BB Voortstuwning	Gimbal links (Verticaal)	2	BB Aandrijf	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
Chan3	SB Voortstuwning	Gimbal rechts (Verticaal)	3	SB Aandrijf	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
Chan4	SCHAKEL 1	SWG	4	Nav. Lichten	D2	D9	RelaisA
Chan5	SCHAKEL 2	SWE	5	SMART	D3	D10	RelaisB
Chan6	SCHAKEL 3	SWH	6	LED's	D4	D11	RelaisC
Chan7	SCHAKEL 4	SWB	7	LED's	D5	D12	RelaisD
Chan8	SCHAKEL 5	SWF	8	Reserve	D6	N.v.t.	RelaisE
Chan9	SCHAKEL 6	SWA	9	Reserve	D7	N.v.t.	RelaisF
Chan10	Buiten gebruik	N.v.t.	10	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.
<b>Sensoren</b>							
Spanning Ontvanger		Ingebouwd		Uitlezen op de zender			
Signal (strength)		Ingebouwd		Uitlezen op de zender; Signaalsterkte			
SNR		Ingebouwd		Uitlezen op de zender; Signaal / ruis verhouding			
RSSI		Ingebouwd		Uitlezen op de zender; kwaliteitsIndicatie vanaf de ontvanger m.b.t. zendsignaal			
Accuspanning		FS-CVT01	IBus	Uitlezen op de zender; Accu in het model			
Temperatuur BB Motor		FS-CTM01	IBus	Uitlezen op de zender			
Temperatuur SB Motor		FS-CTM01	IBus	Uitlezen op de zender			
RPM BB Schroefas		FS-CPD02	IBus	Uitlezen op de zender			
RPM SB Schroefas		FS-CPD02	IBus	Uitlezen op de zender			

De sketch:

```

File Edit Sketch Tools Help
Select Board
Ulicon_FTR10_ontvangerV2_Bino
1 //by: Harry Prins
2 Date: 03-10-2023
3 https://www.sparkfun.com/tutorials/348
4 Uitlezen van PPM uitgangen van een FlySky FTR10 ontvanger.
5 Versie 2.0
6 Zender: Paladin P18
7 Protocol: AFHDS3 (2.4 GHz)
8 */
9
10 int ch4;
11 int ch5;
12 int ch6;
13 int ch7;
14 int ch8;
15 int ch9;
16 int ch10;
17 // voorlopig gebruik ik 2 relaiskaarten met elk 2 relais.
18 int RelaisA;
19 int RelaisB;
20 int RelaisC;
21 int RelaisD;
22 int RelaisE; // Voorlopig buiten gebruik.
23 int RelaisF; // Voorlopig buiten gebruik.
24
25 void setup() {
26 // In- en uitvoerpinns definiëren.
27 pinMode(2, INPUT); // Channel 4 van de FTR10
28 pinMode(3, INPUT); // Channel 5 van de FTR10
29 pinMode(4, INPUT); // Channel 6 van de FTR10
30 pinMode(5, INPUT); // Channel 7 van de FTR10
31 pinMode(6, INPUT); // Etc....T/m 9; kanaal 10 wordt niet gebruikt.
32 pinMode(7, INPUT); // Wl. Lesk Voor Later...
33 pinMode(8, OUTPUT); // Naar Relaiskaart, RelaisA
34 pinMode(10, OUTPUT); // Naar Relaiskaart, RelaisB
35 pinMode(11, OUTPUT); // Naar Relaiskaart, RelaisC
36 pinMode(12, OUTPUT); // Naar Relaiskaart, RelaisD
37 RelaisA = 9;
38 RelaisB = 10;
39 RelaisC = 11;
40 RelaisD = 12;
41 Serial.begin(9600); // Om iets uit te lezen m.b.v. de seriële monitor.
42 }
43

```

```

43
44 void loop() {
45   ch4 = pulseIn(2, HIGH); // Read the pulse width of
46   ch5 = pulseIn(3, HIGH); // each channel
47   ch6 = pulseIn(4, HIGH);
48   ch7 = pulseIn(5, HIGH);
49   ch8 = pulseIn(6, HIGH);
50   ch9 = pulseIn(7, HIGH);
51   //ch1 = map(ch1,1000,2000,-100,100);
52
53   if (ch4 > 1200) digitalWrite(RelaisA, LOW); // LOW --> Relais = AAN.
54   else digitalWrite(RelaisA, HIGH); // HIGH--> Relais = UIT.
55   if (ch5 > 1200) digitalWrite(RelaisB, LOW);
56   else digitalWrite(RelaisB, HIGH);
57   if (ch6 > 1200) digitalWrite(RelaisC, LOW);
58   else digitalWrite(RelaisC, HIGH);
59   if (ch7 > 1200) digitalWrite(RelaisD, LOW);
60   else digitalWrite(RelaisD, HIGH);
61   //if (ch8 > 1500) digitalWrite(RelaisE, LOW);
62   //else digitalWrite(RelaisE, HIGH);
63   //if (ch9 > 1500) digitalWrite(RelaisF, LOW);
64   //else digitalWrite(RelaisF, HIGH);
65
66   /*Serial.print("Channel 4:");
67   Serial.print(ch4);
68   Serial.print(" / Channel 5:");
69   Serial.print(ch5);
70   Serial.print(" / Channel 6:");
71   Serial.print(ch6);
72   Serial.print(" / Channel 7:");
73   Serial.print(ch7);
74   Serial.print(" / Channel 8:");
75   Serial.print(ch8);
76   Serial.print(" / Channel 9:");
77   Serial.println(ch9);
78   //Serial.print(" / Channel 10:");
79   //Serial.println(ch10);
80   */
81   delay(500);
82 }
83

```

Tot zover deel 3 van dit bouwverslag. In het vierde en (hopelijk) laatste deel vertel ik iets over het proces om van observaties, tekeningen en foto's via CAD óf zonder CAD naar onderdelen te komen die je kunt vasthouden. (en soms vastlijmen). En daarmee over de aanpak en afwerking van zichtbare details op het schip.

### Referenties:

“Telemetrie in je model...Nut of Noodzaak?” MMI Nieuwsbrief 134 (Dec. 2023); Zie

<https://mvsv.nl/bouwverslagen/>

“Bouwverslag LCF Deel 1” MMI Nieuwsbrief 89 (Juni 2012); Zie <https://mvsv.nl/bouwverslagen/>

“Bouwverslag LCF Deel 2” MMI Nieuwsbrief 91 (Dec. 2012); Zie <https://mvsv.nl/bouwverslagen/>