

HET SLINGERUURWERK IN FRANEKER EN IN TOLDIJK: het echappement ¹

Een planetarium bestaat uit een groot aantal raderen en tandwielen om de stand van de planeten op een bepaald moment aan de hemel weer te geven. Om al deze bewegingen in de juiste tijd te laten plaatsvinden is een reguleur nodig. Eisinga gebruikt hiervoor een koperen slingeruurwerk met een ankerengang. Henk Olthof zou Henk Olthof niet zijn als hij niet voor zijn eigen oplossing koos: een uurwerk met een ankerengang, maar dan niet van koper, maar zelf gemaakt van hout en ijzer.

Het slingeruurwerk

Voor het gebruik van een slinger om te komen tot een nauwkeurige tijdmeter moeten we terug naar het einde van de 16e eeuw. De donkere Middeleeuwen liepen ten einde, het was de vooravond van de Renaissance. De verstikkende, weinig initiatiefrijke eeuwen maakten plaats voor een nieuwe bloeiperiode van de kunsten en wetenschappen. Het elan uit de Romeinse tijd vond weer voedingsbodem in West-Europa.

Galileo Galilei (1564-1642) was een van de eerste westerse wetenschappers. Hij bestudeerde niet alleen als eerste de hemel met een telescoop, hij is ook de 'uitvinder' van de slinger als instrument om de tijd te meten. Hij was het die ontdekte, dat enkel de lengte van een slinger bepaalt in welke tijd een slinger één keer heen en weer gaat. Hij toonde aan dat noch de zwaarte van het gewicht van de slinger, noch de grootte van de uitslag enige invloed heeft op de slingertijd. Enkel door de slinger langer of korter te maken kun je de slingertijd beïnvloeden.



Galileo Galilei

We moeten echter zo'n zeventig jaar wachten, voordat de slinger de functie krijgt die hij nog altijd vervult: de uurwerkslinger. Het was een van de grootste Nederlandse wetenschappers, die de uitvinding van het slingeruurwerk op zijn naam heeft staan: Christiaan Huygens (1629-1695). In 1657 ontwierp hij de eerste penduleklok. Net als Galileo beseftte hij dat de slinger een prima tijdmeter is. Omdat hij een veel betere wiskundige was dan Galileo, kon Huygens de formules bedenken die de verhouding aangeeft tussen de slingerlengte en de slingertijd. Een formule waar we verderop in dit artikel op terugkomen.



slingeruurwerk gemaakt door Salomon Coster

De eerste slingeruurwerken werden door de Haagse klokkenmaker Salomon Coster in opdracht van Huygens vervaardigd. De uurwerken van zijn hand worden in musea in het binnen- en buitenland tentoongesteld. Het mechanisme dat de klok doet 'lopen' (het echappement), was in die tijd minder gelukkig geconstrueerd. Het mechaniek dwong de slinger in een wijde boog te slingeren.

¹ Geraadpleegde literatuur: 'Het Eisinga Planetarium Binnenste Buiten', 'De hemel is gestegen of de aarde is gedaald', 'Tijdloos Zonnestelsel'; uitgaven van het Koninklijk Eise Eisinga Planetarium

Het was dus wachten op een verbetering: de uitvinding van de ankergang. Waarschijnlijk valt die eer te beurt aan de Engelse klokkenmaker Joseph Knibb (1640 - 1711). Zeker weten we het niet, want er worden ook andere namen genoemd, zoals de beroemde klokkenmaker George Graham.



ankergang

Dit echappement heeft de eeuwen doorstaan en wordt nog altijd in vele 'tikkende' klokken gebruikt. Zo ook in Toldijk.

De lengte van de slinger

Een planetarium heeft een instrument voor tijdmeting nodig om de loop van de hemellichamen in de tijd juist te simuleren. De snelheid waarmee dat gebeurt, wordt bepaald door de tandwielverhoudingen en door de lengte van de slinger. Hoe langer de slinger, hoe langzamer het mechaniek loopt. En zoals hierboven al vermeld, het was Christiaan Huygens die ons de helpende hand reikte:

$$T = 2\pi\sqrt{l/g}$$

Voor de liefhebber:

T = de tijd in seconden die de slinger nodig heeft voor één volledige slingering (heen en weer); één tik is daar dus de helft van.

l = de afstand tussen het ophangpunt van de slinger en het zwaartepunt (slingerlichaam) in meters.

g = de versnelling van de zwaartekracht van de aarde op zeeniveau in m/sec². Dit is een constant getal: 9,8.

Een slingertijd van 2 seconden (dus, één tik per seconde) eist dus een slingerlengte van afgerond 99,4 cm. Rekent u maar na.

Dat is de reden dat veel slingers in torenuurwerken een slingerlengte hebben van 1 meter. Bij elke tik is er ongeveer één seconde verstreken. De relatie 'één meter slinger is ongeveer één tik' is overigens toeval. Moeder aarde is hier debet aan (zwaartekracht). Op de maan is de zwaartekracht veel geringer (g= 1,622) en zal de slinger dus veel langzamer heen en weer gaan (bij een slingerlente van 1 meter ongeveer 2½ seconde per tik). Ook nu weer: rekent u maar na.

Terzijde, in de praktijk zal een slinger altijd wat korter zijn dan hierboven berekend, omdat er in het mechaniek altijd factoren (gewicht van de slingerstaaf, wrijving, enz.) zijn die het slingeren afremmen. De slinger moet dan iets korter zijn om dat te compenseren.

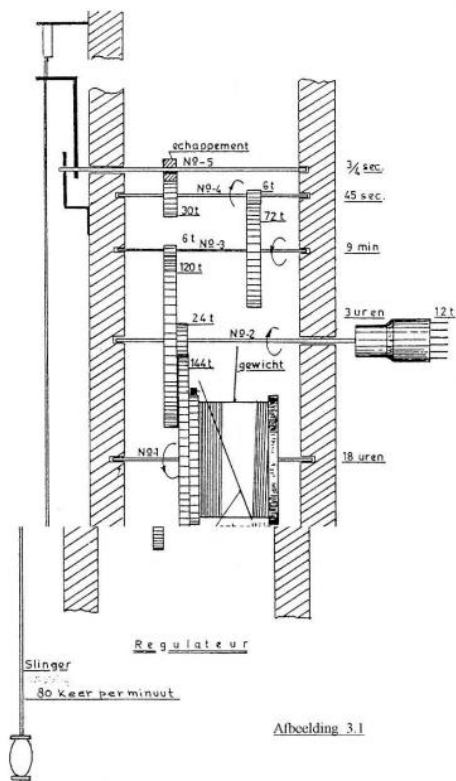
De seconde

Oorspronkelijk is een seconde een 60e deel van een minuut, die op zijn beurt een 60e deel van een uur is, terwijl een uur een 24e deel van de gemiddelde zonnedag is. Eén seconde is dus oorspronkelijk het 1/86 400e deel van een gemiddelde zonnedag. Dit is voor de moderne wetenschap veel te onnauwkeurig. De seconde is nu gedefinieerd als - houd u vast - de duur van 9 192 631 770 perioden van de straling die correspondeert met de overgang tussen de twee hyperfijnenergieniveaus van de grondtoestand van een ¹³³cesiumatoom in rust bij een temperatuur van 0 Kelvin.

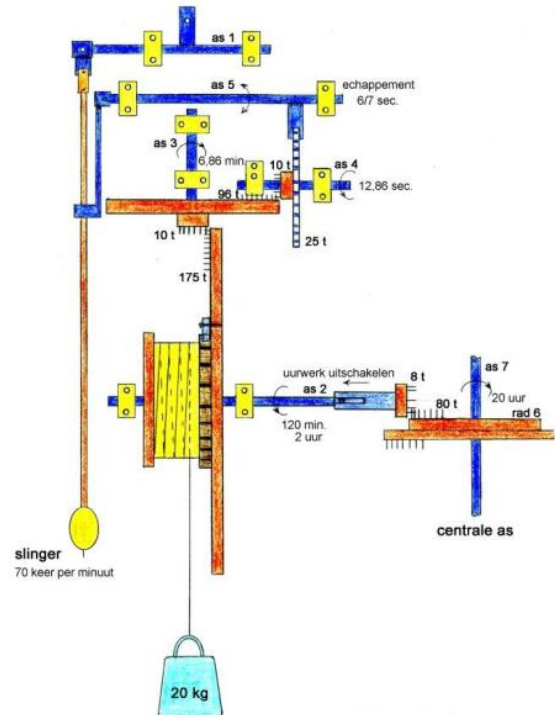
Doordat de seconde nu niet langer gedefinieerd is als een vast gedeelte van de dag, is het noodzakelijk geworden nu en dan één of zelfs schrikkelseconden in te voegen. De wetenschap bepaalt dat, laat de atoomklok verspringen en u moet er maar mee leven. Wakker liggen zult u er niet van.

De slinger in Franeker

Terug naar de beide planetaria. de slingerlengten verschillen met als gevolg andere tandwielverhoudingen. Onderstaande tekeningen laten dat zien.



echappement Eise Eisinga planetarium
(bron: Het Eise Eisinga Planetarium)



echappement Achterhoeks Planetarium
(tekening Henk Stemerding)

Eise Eisinga had al zijn rekenwerk aanvankelijk gebaseerd op een slinger van één meter lengte (ongeveer 60 tikken per minuut). Toen alles klaar was, bleek de slinger, die precies boven de bedstede was aangebracht, te lang te zijn. Het slingerlichaam schommelde daardoor vrolijk in de bedstede heen en weer. Hier had de vrouw van Eisinga toch wel wat moeite mee en manlief zag zich genoodzaakt de slinger met ongeveer 40 cm in te korten tot 60 cm (ongeveer 80 tikken per minuut).

Eisinga zelf verwoordde het wat subtieler:

"Mijn eerste bestek was geweest om dit rad net in 24 uren eens Rond te laten gaan, maar er was tusschen de Zolders geen ruimte genoeg om de Slinger de nodege Lengte te geven, die er vereijst wierd om de Seconden te slingeren, en door de Zolder gaf ongemak in de bedstede."

De slinger in Toldijk

Wij weten dat Henk Olthof voor de bouw van zijn planetarium gebruik heeft gemaakt van een uiterst zorgvuldig opgesteld en gedetailleerd boekwerk van Hans Noordmans, instrumentmaker en kenner van Eisinga's werk: Het Eisinga Planetarium Binnenste Buiten. Het zou dus erg voor de hand liggen dat Henk met de tekeningen voor zijn neus ook gekozen zou hebben voor een slingerlengte van 60 cm. Maar nee, hij ging zijn eigen weg en koos voor een slingerlengte van ongeveer 73 cm (ongeveer

70 tikken per minuut). Al bij het eerste rad moest hij aan het rekenen gaan om de nieuwe tandwielverhoudingen van het echappement vast te stellen, want bij de centrale as - de as van waaruit alle planeten en alle schijven worden aangedreven - is de snelheid van beide planetaria aan elkaar gelijk.

Maar we zijn er nog niet. Er zijn nog twee verschillen in het echappement van de beide planetaria: de aandrijving van het uurwerk en het versneld draaien van de planeten en schijven.

De aandrijving

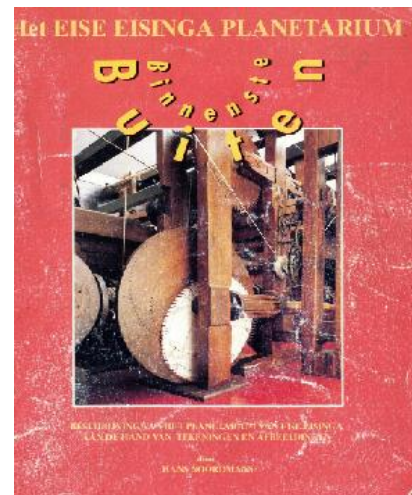
Het uurwerk in Franeker wordt aangedreven door een gewicht van 12 kg. Om de wrijving te overwinnen zijn er vervolgens nog een achttal loden gewichten aangebracht om de wrijving van het mechanisme te overwinnen. Dit alles had Henk Olthof niet nodig. Hij leefde in een tijd dat kogellagers gemeengoed waren. De assen van het uurwerk in Toldijk zijn dan ook gelagerd. Vandaar dat Henk voor de aandrijving kon volstaan met één gewicht van 20 kg.

Versneld draaien

In Franeker tikt het uurwerk de tijd weg om de planeten en de wijzers aan te drijven. Echter, de planeten in hun omloopbaan om de zon en de wijzers aan de wand gaan zo langzaam dat je eigenlijk geen beweging ziet. Dat is in Toldijk anders. Om toch wat 'reuring' in het mechaniek teweeg te brengen heeft Henk een elektromotor ingebouwd, waardoor de tandwielen versneld gaan lopen. Hiervoor kan het echappement aan de achterkant van het planetarium eenvoudig afgekoppeld worden en kan de elektromotor zijn werk doen.²

Dat heeft echter een ingrijpende consequentie. Na een paar rondleidingen is het mechaniek de tijd ver vooruitgesneld. Om te voorkomen dat het op een warme zomerdag de tijd in het planetarium al hartje winter aanwijst, is de tijd eenvoudig terug te zetten. Echter, alle schijven zijn dan wel ontregeld. (De planeten aan het plafond hebben daar niet zo'n last van. Hun rondje om de zon duurt zo lang, dat een kleine afwijking niet zichtbaar is.)

Wij hebben destijds voor de keuze gestaan: of niet meer versneld draaien en net als in Franeker alle wijzers in de juiste positie laten lopen of versneld draaien en het ontregelen van de schijven maar voor lief te nemen. We hebben voor de laatste optie gekozen. Het uurwerk versneld laten lopen, maakt het raderwerk aan de achterkant van het planetarium nog indrukwekkender.



september 2014

² Aanvankelijk kon ook Eisinga door middel van een krukvormig handvat het mechanisme in versneld tempo voortbewegen. Die inrichting heeft hij later verwijderd, omdat het radarwerk aan een te grote slijtage onderhevig was.