BOGDAN STROJNY

ZARYS NAUKI O ZEGARZE

POZNAŃ 1938

BOGDAN STROJNY

ZARYS NAUKI O ZEGARZE

DZIEJE CZASOMIERZA

POGLĄD NA ROZWÓJ I DZIAŁANIE ISTOTNYCH CZĘŚCI MECHANIZMU ZEGARA I ZEGARKA

Z 17 ILUSTRACJAMI

POZNAŃ 1938

NAKŁADEM ZJEDNOCZONYCH SAMODZIELNYCH ZEGARMISTRZÓW, ZŁOTNIKÓW, JUBILERÓW, RYTOWNIKÓW I BRONZOWNIKÓW STOŁ. MIASTA POZNANIA

S P I S T R E Ś C I

Str.

Słowo wstępne 5
Od autora 6

CZĘŚĆ I.

O czasomierzach w starożytności 7
O zegarach mechanicznych — kołowych 9
Kilka słów o zegarmistrzostwie w Szwajcarii . . 16
O zegarach elektrycznych 19

CZĘŚĆ II.

Najważniejsze prawidła ruchu wahadłowego . . 21
O wahadle zegarowym 23
Wahadło kompensacyjne 26
O balansie 30
O włosie 32
Zarys rozwoju wychwytu 33
Wychwyt wrzecionowy — szpindlowy 35
Wychwyt haczykowy 36
Wychwyt szwarcwaldowski 39
Wychwyt Brocota 40
Wychwyt rolkowy 42
Wychwyt Grahama 43
Wychwyt cylindrowy 45
Wychwyt nożycowy 47
Wychwyt chronometrowy 48
Wychwyt kotwiczny — ankrowy 50

Literatura 53

SŁOWO WSTĘPNE

Dajemy do rąk zegarmistrzów polskich dziełko, mające za treść historię czasomierza i dające krótki pogląd na ewolucję jego istotnych części składowych.

Polska literatura fachowa o zegarmistrzostwie nie jest bogata. Wprawdzie sięga ona swymi początkami XVII wieku, t. j. czasów Kochańskiego, jednak nie wzbogaciła się ona nowymi przyczynkami na przestrzeni bliższych nam stuleci Z w. XIX posiadamy jedynie dziełko Franciszka Czapka p. t. „Kilka słów o zegarmistrzostwie", wydane w r. 1850. Dopiero przed niewielu laty podejmują koledzy-fachowcy ziem zachodnich pierwsze próby jej ożywienia. W r. 1926 ukazuje się „Słownik Techniczny zegarmistrzowsko-złotniczy" p. Tadeusza Pawlickiego z Poznania, a krótko potem w r. 1930 wyszedł drukiem „Podręcznik dla egzaminu czeladniczego w zawodzie zegarmistrzowskim", niedawno zmarłego, ś. p. Michała Nowickiego z Grudziądza.

Do tych wydawnictw dołączamy dzisiaj pracę p. t. „Zarys nauki o zegarze", której autorem jest zegarmistrz, p. Bogdan Strojny z Poznania.

Podjęliśmy się wydania dziełka tego w przeświadczeniu, że stanie się ono użytecznym i nieodzownym podręcznikiem każdego zegarmistrza. Ale także dalszy cel mamy na oku. Pragniemy wydawnictwem tym pobudzić i zachęcić do twórczości piśmienniczej wszystkich tych polskich zegarmistrzów, którzy dzięki wieloletniemu doświadczeniu w zawodzie mogliby naszą literaturę fachową wzbogacić i uzupełnić swymi pracami.

W trosce o podniesienie poziomu polskiej sztuki zegarmistrzowskiej oraz pamiętając o przyszłości zawodu a prze-

de wszystkim o wychowaniu młodego pokolenia zegarmistrzowskiego, które odczuwa brak podręczników w języku ojczystym, kierujemy z miejsca tego apel do polskiej społeczności zegarmistrzowskiej o dalsze wydawnictwa fachowe.

STANISŁAW SZULC
Prezes Zjednoczonych Samodzielnych Zegarmistrzów, Złotników, Jubilerów, Rytowników i Bronzowników miasta Poznania.

POZNAŃ, w sierpniu 1938 r.

O D A U T O R A

Wziąłem sobie za zadanie omówienie w swej skromnej pracy najważniejszych zagadnień, dotyczących zegarmistrzostwa, na podstawie materiału historycznego i teoretycznego. Starałem się o przystępną formę dziełka, by ciekawym tym tematem zainteresować jak najszersze koła.

Do skreślenia „Zarysu nauki o zegarze" ośmielił mnie dotkliwy brak polskiej literatury fachowej, odnoszącej się do rzemiosła zegarmistrzowskiego. Zanim się ukaże bardziej obszerne i wyczerpujące dzieło, niech moja praca spełni rolę „informatora" ogólnego o zegarze i zegarku — przedmiotach powszechnie używanych, których jednak historię i ewolucję mechanizmu zna niewielu.

AUTOR.

CZĘŚĆ PIERWSZA

O CZASOMIERZACH W STAROŻYTNOŚCI

Czas to potęga nadnaturalna, to olbrzym idący wciąż naprzód bez przeszkód, którego ujarzmić mogłaby jedynie siła nadprzyrodzona.

Myśl zmaga się jednak z czasem w odwiecznej walce. Geniusz ludzki, choć nie pojął jeszcze istoty czasu, choć nie umie ogarnąć go swym rozumem, zdołał przecież poznać pewne jego tajemnice i potrafił znaleźć środki, które pozwoliły człowiekowi zmierzyć każdą przemijającą chwilę. Wydartą naturze tajemnicę wyzyskał geniusz dla pracy zorganizowanej, ekonomicznej, dla postępu.

I trudno nie uchylić czoła przed pomysłowością ludzką w realizacji dążeń do doskonałego miernika czasu. Znalazły one swój wyraz w stworzeniu zegara tak precyzyjnego, jak to zakreślił dzisiejszy stan techniki.

Już w zaraniu życia społecznego człowiek, uświadamiając sobie upływ czasu, rozumiał potrzebę jego zmierzenia. Pierwsze jego wysiłki w tej dziedzinie poszły po drodze obserwacji zjawisk przyrody, jako naturalnych mierników czasu. Takim naturalnym miernikiem czasu było pierwotnie słońce. Obserwacja pozornego ruchu słońca względem ziemi dawała możność orientowania się w czasie podczas dnia. Pianie koguta o północy i wschodzie słońca przynosiło podział nocy.

Opierając się na tych i tym podobnych obserwacjach przyrody, skonstruowano czasomierz słoneczny t. zw. *gnomon*, gdzie funkcję dzisiejszych wskazówek pełnił krótszy lub dłuższy cień tyczki utkwionej w ziemię. Ojczyzną zegara słonecznego była przypuszczalnie Mezopotamia lub Egipt. Około 600 lat przed nar. Chryst. znajduje zastosowanie u Hebrajczyków. Później, np. w starożytnym Rzymie, sta-

wiano na miejscach publicznych specjalne kolumny, których cień przebiegał rozmaite znaki umieszczone na ziemi. Znaki te oznaczały pory dnia, które niewolnicy publicznie obwieszczali.

Ponieważ czasomierze słoneczne są zbyt zależne od zmian meteorologicznych, wynaleziono *zegary wodne*, które posiadali Egipcjanie już około 400 lat przed nar. Chr. Zegary te działały w ten sposób, że woda z jednego naczynia upływała przez wąski otwór do drugiego, w którym spad poziomu wody wskazywał właściwą godzinę. Babilończycy pierwsi oznaczyli naczynia 24 jednostkami, przy czym całkowity wypływ wody z górnego naczynia trwał całą dobę. Taki zegar wodny, zaopatrzony nadto w mechanizm wybijający godziny, podarował królowi frankońskiemu Karolowi Wielkiemu, kalif arabski Harun al Raszid. Mechanika bicia polegała na tym, iż po upływie każdej godziny pewna ilość kulek żelaznych spadała na klosz metalowy. Był to jeden z pierwszych zegarów bijących, toteż przez współczesnych uważany był za cud świata.

Odkąd szkło weszło w użycie, datują się zegary piaskowe t. zw. *klepsydry*. Przy tych zegarach jedną banieczkę szklaną, połączoną wąskim przewodem z dolną, napełniano drobnym suchym piaskiem. Piasek ten przesypywał się z jednego naczynia do drugiego w ciągu pewnego określonego czasu, przy czym po opróżnieniu się górnej banieczki odwracano powyższy przyrząd i znów powtarzała się ta sama czynność. W starożytności do dozorowania klepsydr jak i do obwieszczania pory dnia wyznaczano niewolników. Klepsydrę wynaleźli Grecy a posługiwał się nią już Archimedes. W sądownictwie starożytnych Aten używana była klepsydra do określenia czasu przemówień stron procesowych.

Podczas nocy używano zegarów olejnych w postaci lamp, gdzie godzinę wskazywała ilość wypalonej oliwy. Podobnie i świeca służyła jako miernik czasu a to w ten sposób, że przez spalanie się jej można było na podziałce odczytać czas, jaki upływał.

O ZEGARACH MECHANICZNYCH — KOŁOWYCH

Na przełomie pierwszego i drugiego tysiąclecia po nar. Chr. geniusz ludzki przemyśliwał nad stworzeniem czasomierza, który by pod względem dokładności przewyższał czasomierze starożytne. Rezultatem wysiłków na tym polu były *zegary kołowe*, których udoskonalenie trwa właściwie do dnia dzisiejszego.

Narodziny zegara kołowego są okryte mgłą tajemnicy. Istnieje przypuszczenie, iż pierwszym wynalazcą zegara kołowego był Gerbert (935—1003), późniejszy papież Sylwester II. Znakomity ten uczony, fizyk, matematyk i mechanik w jednej osobie, pochodził z miejscowości francuskiej Aurillac. Przyczyną wątpliwości co do pierwszeństwa Gerberta jest to, iż zegary kołowe zaczęły ukazywać się dopiero w wieku XIII a rozpowszechniać w wieku XIV. Zegarów kołowych zaczęto najwcześniej używać w klasztorach, co jest zrozumiałe, jeśli się uwzględni, że właśnie klasztory były najwcześniejszymi ogniskami kultury i cywilizacji w średniowieczu. Z tego wynika, iż najprawdopodobniej zakonnicy byli ich pierwszymi budowniczymi. Oni, ze względu na ściśle przestrzegane pory modlitw, najwięcej odczuwali potrzebę dokładnego czasomierza.

Co do zegarów *wydzwaniających samoczynnie godziny* nie ma prawie wątpliwości co do miejsca ich powstania, bo przyjąć należy, iż pierwszym ich zadaniem było zwoływać nocą mnichów na modlitwy. Zegary bijące nie odrazu znalazły szersze zastosowanie i rozpowszechnienie. Jeszcze w wieku XVI godziny wydzwaniał przeważnie stróż wieży zegarowej.

Mechanizm pierwszych zegarów kołowych był bardzo prymitywny a tym samym działanie ich nie mogło być dokładne. Początkowo wszystkie części mechanizmu — a to trzy kółka i jedną wskazówkę — wyrabiano tylko ze żelaza. Dopiero w wieku XVI zaczęto do wyrobu poszczególnych części używać również mosiądzu. Z powodu zbyt małej ilości kółek zegary powyższe wymagały częstej obsługi, gdyż za jednym naciągnięciem ciężarka chodziły 7—12 godzin. Działanie powyższych zegarów polegało na tym, iż szybkość ruchu kółek ustalał t. zw. wychwyt oraz regulator chodu. Ruch wskazówek zgadzał się z ruchem regulatora chodu.

Zastosowanie wskazówki minutowej przypada dopiero na lata 1680—1690.

Pierwsze zegary, wykonywane w warsztatach ślusarskich, umieszczano zwykle na wieżach kościelnych i klasztornych, później na zamczyskach i innych monumentalnych budynkach, przeznaczając je do powszechnego użytku. Z miast europejskich Londyn w roku 1348 jako pierwszy szczycił się posiadaniem zegara wieżowego. Drugi najstarszy zegar spotykamy w katedrze strassburskiej z roku 1352. W roku 1370 zdobył się Paryż na zegar publiczny i to taki, który zarazem wybijał godziny. W następnych latach zaprowadziły się zegary wieżowe w każdym większym mieście Europy.

Ukazanie się prototypów mechanicznych zegarów nie zmniejszyło w tym czasie popularności zegarów starożytnych, zwłaszcza wodnych częściowo zmechanizowanych, oraz słonecznych o typie horyzontalnym. Używanie ich datuje się do końca wieku XVI. Trudno jest doszukać się przyczyn tego zjawiska: zapewne były nimi wielkie koszta produkcji zegarów kołowych, oraz mała ich dokładność.

W drugiej połowie wieku XVI ukazują się we Francji zegary, których siłą popędową jest *sprężyna* stalowa (wstęga stalowa zwinięta w kształt linii spiralnej). Sprężyna stalowa nie jest pomysłem konstruktora pierwszego zegara sprężynowego. Pierwowzorem sprężyny zegarowej była sprężyna zastosowana wcześniej już do zamka od klucza. Jest to charakterystycznym dowodem, iż pomysł zrodził się w którymś z warsztatów ślusarskich. Nazwisko konstruktora powyższego zegara jest nieznane. Nie zachowało się w pamięci ludzkości imię tego, który posunął konstrukcję mechanizmu zegara o dalszy krok naprzód.

*

Olbrzymim sukcesem techniki zegarmistrzowskiej, który zadecydował o dalszym rozwoju zegara kołowego, był *zegar wahadłowy*.

Wprowadził on w dziedzinę mechaniki ogólnej zupełną rewolucję ówczesnych pojęć, obalając przypuszczenie, iż stworzenie dwóch maszyn o równoległej (identycznej) działalności jest zagadnieniem nierealnym. Słowa wypowiedziane przez Karola V, wielkiego znawcę sztuki zegarmistrzowskiej, nawet konstruktora, dobitnie świadczą o straceniu wiary w możność stworzenia dwóch zegarów o rów-

nym chodzie: „Ja się przeliczyłem, tysiące ludzi wysilało swój umysł i nie można było ani razu osiągnąć, ażeby doprowadzić dwa zegary do równoczesnego uderzenia".

Oczywiście najpoważniejszą przyczyną takiego mniemania był pierwotny regulator chodu t. zw. *kolibnik*. Twórcą pierwszego zegara wahadłowego, który został opatentowany w roku 1673, był *Huygens*. Pierwszeństwo zastosowania wahadła do zegara przypisywali Włosi swemu ziomkowi Galileuszowi. Galileusz jest właściwie odkrywcą praw ruchu wahadłowego. Odkrycia swego dokonał na podstawie spostrzeżeń poczynionych w kościele w Pizie. Obserwując ruch wahadłowy wiecznej lampy, doszedł do wniosku, że pomimo iż odchylenia lampy od położenia równowagi są różne, czas trwania tego ruchu jest ten sam, czyli wahania są izochroniczne. Odkrycie te naukowo opracował i rozwinął. Pod koniec swego życia, jako niewidomy, dyktował rzekomo swemu synowi szkic zegara wahadłowego, który miał zaginąć.

Po tej rewolucji w dziejach mechanizmu zegarowego, produkcja zegarów rozwija się coraz bardziej. Poza zegarami wieżowymi pojawiają się zegary pokojowe, a to ścienne, stołowe i stojące. Ze względu na wielkie zapotrzebowanie powstają w wieku XVI liczne warsztaty, które oddają się wyłącznie pracy nad zegarami, gdy dotychczas wyrobem zegarów trudnili się duchowni a także i rzemieślnicy tacy, jak kowale, ślusarze i murarze. Przede wszystkim jednak duchowni chlubnie zapisali się w historii zegarmistrzostwa i oni właściwie byli pionierami sztuki zegarmistrzowskiej.

*

Jedną z charakterystycznych cech rozwoju zegara w średniowieczu była konstrukcja fantastycznych zegarów wieżowych o skomplikowanych mechanizmach. Zegary takie nie tylko wybijały godziny, lecz równocześnie za pomocą poruszających się figurek przedstawiały rozmaite sceny wzięte czy to z historii biblijnej, czy to z życia codziennego. Stwarzanie podobnych arcydzieł sztuki zegarowej miało swe źródło w nieustannej pomysłowości, połączonej z wytrwałością ówczesnych mistrzów.

Najstarszym tego rodzaju zegarem wieżowym jest zegar na kościele św. Eustachego w Mediolanie zbudowany z końcem wieku XIV. Widzimy tam pojedynek dwóch rycerzy,

którzy równocześnie z uderzeniem każdej godziny nacierają na siebie szablami. Wielką sławą cieszył się zegar zbudowany z końcem wieku XVII przez Francuza Burdeau. Inicjatorem tego zegara był sam król francuski Ludwik XIV. Wspomniany zegar przedstawiał defiladę monarchów innych mocarstw przed Ludwikiem XIV. Satysfakcją dla króla było, iż w pochodzie tym, oddającym mu hołd, znajdował się król angielski, szczególnie przez Ludwika XIV znienawidzony.

O technice zegarmistrzowskiej *wschodnich krajów* z wieku XIV świadczy słynny zegar zwany „Menganach", dzieło genialnego fakira Abdul Hassan Ali Ben Achmeda. Dokładny opis tego zegara, który został ukończony w roku 1358, podał ksiądz Barges, profesor języka hebrajskiego na Sorbonie. Z opisu tego dowiadujemy się, iż poziom techniki zegarmistrzowskiej wschodnich krajów stał na znacznie wyższym poziomie od zachodnio-europejskiej.

Konstrukcja wspomnianego zegara była następująca: Na wierzchołku szafki zegarowej umocowano drzewo, na którym widać było ptaka siedzącego w gniazdku z dwoma pisklętami. W około pnia drzewa owinięty był wąż. Na tarasie zegara znajdowało się dziewięć bram. Na tyle godzin wówczas podzielona była noc. Z początkiem każdej godziny, kiedy jedna z bram wydała ze siebie pewien dźwięk, z dwóch większych bram, umieszczonych przy brzegach tarczy zegarowej, wylatywały dwa orły. Ptaki te siadały na krawędzi kotliny, do której opuszczały dwie kulki metalowe. Po zniknięciu kulek wąż momentalnie przybliżał się do gniazdka i kąsał jedno z piskląt, co powodowało lament jego matki. Równocześnie w bramie, która początkowo wydała dźwięk, ukazywała się młoda niewolnica o nieporównanej piękności. W prawej ręce trzymała książkę, z której można było wyczytać daną godzinę. Lewą rękę trzymała w takim położeniu, jakby pozdrawiała kalifa.

*

Z chwilą gdy zaczęto konstruować zegary szafkowe, puszczono w zupełności wodze fantazji i polotowi artystycznemu. Ewolucja szafek posiada bardzo bogatą historię. Były one dziełami najwybitniejszych artystów meblowych. Dzięki wysokim walorom artystycznym zachowało się do dnia dzisiejszego o wiele więcej szafek stylowych, niż antyków w jakiejkolwiek innej dziedzinie techniki. Przeobra-

żenia szafek zależne było od panującego stylu. Stąd już z zewnętrznej cechy szafki zegarowej można odczytać czas i środowisko, z którego dany zegar pochodzi. Ponad to charakterystyczne cechy szafek ułatwiły mniej lub więcej ścisłe datowanie również mechanizmów zegarowych.

*

Okres powstania *zegarka* noszonego przypada na drugą połowę wieku XIV. Pierwszeństwo tego doniosłego wynalazku przypisują sobie różne kraje. Francuzi uważają Juliusza Culdray de Blois za pierwszego konstruktora zegarka noszonego. Ten ostatni wykonał za panowania Franciszka I dwie wspaniałe szpady, które w główce rękojeści posiadały zegarki. Niemcy natomiast twierdzą, iż pierwszym, który przyczynił się do stworzenia zegarka noszonego jest Piotr Henlein, mistrz ślusarski, pochodzący z Norymbergi (1480—1542).

Pierwotny zegarek miał kształt bębenka. W drugiej połowie wieku XVI przybiera kształt jajka, w której to formie noszono je bardzo długo. Zegarki o dzisiejszym kształcie powstały z końcem wieku XVII.

Pierwotnie traktowano zegarek raczej jako ozdobę, toteż zwisały na łańcuchach noszonych na szyi. W okresie rococco panie przyczepiały zegarki do stanika, panowie do westy (kamizelki), wprowadzonej przez Ludwika XIV. W epoce Ludwika XV i Ludwika XVI bardzo były rozpowszechnione zegarki złote, zdobne drogimi kamieniami, oraz barwnymi emaliami, przedstawiające sceny sielankowe lub kwiaty. Spotykało się również sceny rodzajowe i historyczne. W okresie „empiru" zaniechano nakładania na zegarek kamieni szlachetnych oraz innych ozdób, pozostawiając powierzchnię gładką. Również w owym czasie zaczęto zegarki nosić w kieszonce od westki a nie, jak dotychczas, na zewnątrz.

Obudowania zewnętrzne zegarka, t. zw. koperty, były dziełem mistrzów sztuki miedziorytniczej. Tutaj również koperty przybierają charakterystyczne cechy stylu swego okresu.

*

Wracając do ewolucji zegara jako mechanizmu, należy podkreślić, że rozkwit sztuki zegarmistrzowskiej dochodzi do zenitu na przełomie wieku XVI i XVII. W owym t. zw. złotym okresie miarą zainteresowania sztuką zegarmistrzow-

ską były olbrzymie wynagrodzenia pieniężne a nawet nadawanie godności szlacheckiej konstruktorom ulepszonych zegarów. Już wówczas konstruowano wszelkiego rodzaju zegary jak: astronomiczne, okrętowe, kalendarzowe, planetarne, budzikowe, sekundowe i t. p. Złotymi głoskami w historii zegara zapisali się niżej wymienieni wynalazcy, których wiekopomne dzieła otwierały przed zegarmistrzostwem nowe horyzonty.

Wynalazcy angielscy:

George Graham (ur. 1673—1751) przyjęty w roku 1688 do terminu zegarmistrzowskiego przez londyńskiego zegarmistrza Tompion'a, w roku 1700 wynalazł wychwyt spoczynkowy dla zegarów wahadłowych, który nazwany został jego nazwiskiem. Około roku 1720 udoskonalił wychwyt cylindrowy. Mniej więcej w tym samym czasie skonstruował wahadło kompensacyjno-rtęciowe. Graham również chlubnie zapisał się w historii astronomii, jako bystry obserwator oraz konstruktor różnych przyrządów astronomicznych.

Henry Sully (ur. 1680—1728) przeniósł się w roku 1710 z Anglii do Francji, gdzie osiadł w Versailles. Jest autorem listu otwartego o wartości naukowej, przeznaczonego dla zegarmistrzów: „Règle artificielle du temps".

John Harrison (ur. 1693—1776) wyuczył się zegarmistrzostwa u swego ojca. Pierwsze lata swej pracy poświęcił udoskonaleniu zegarów wahadłowych. Wynalazł wahadło kompensacyjno-rostowe oraz sprężynkę, która umocowana na kole walcowym działa jako siła popędowa swoją sprężystością w czasie naciągania ciężarka. Poza powyższymi wynalazkami zasłynął on przede wszystkim jako konstruktor zegarów okrętowych. W uznaniu sprawności ich działania, otrzymał on od parlamentu angielskiego nagrodę w kwocie 20000 funtów szterlingów.

John Ellicot (ur. 1700—1772) zaliczany był w owym czasie do najwybitniejszych zegarmistrzów angielskich. Z licznych jego wynalazków zasługuje na uwagę wahadło kompensacyjne, którego kompensacja odbywa się za pomocą dwóch dźwigni przy tarczy wahadłowej.

Thomas Mudge (ur. 1715—1794) wyuczył się zegarmistrzostwa u Jerzego Grahama. Przez kilka lat przebywał

w pracowni zegarmistrzowskiej w porcie morskim Plymouth, gdzie pracował nad budową zegarów okrętowych. Tamże wykonał sławny zegar okrętowy, za który otrzymał 500 funtów szterlingów. Poza powyższym chronometrem wykonał jeszcze dwa przeznaczone dla astronoma Nevila Maskelyne'a. Największą sławą okrył się Mudge przez wynalezienie wychwytu kotwicznego-ankrowego zastosowanego w zegarku noszonym.

Thomas Earnshan (ur. 1749—1814) z zawodu zegarmistrz był zarazem konstruktorem zegarów okrętowych, które zdobyły w Anglii wiele nagród. Wynalazł również sprężynkę wychwytowo-chronometrową, która znajduje zastosowanie w dzisiejszych chronometrach.

Wynalazcy francuscy:

Julien le Roy (ur. 1686—1759) był konstruktorem zegara wieżowego, w którym wszystkie części ustawione były horyzontalnie. Poza tym zastosował szereg innych udoskonaleń w zegarach przez siebie zbudowanych. Sklep po nim odziedziczył syn — *Pierre le Roy*, który podobnie jak ojciec poświęcił się pracy nad udoskonaleniem zegara, powiększając tym samym sławę rodowego nazwiska.

Fernand Berthoud (ur. 1727—1807) zasłynął jako konstruktor zegarów okrętowych. Godnym jego następcą był jego bratanek *Louis Berthoud*, który w roku 1785 skonstruował zegar okrętowy.

Pierre Auguste Caronowi (ur. 1732—1799), synowi zegarmistrza, już w dwudziestym roku życia w uznaniu jego twórczości zegarmistrzowskiej Ludwik XV nadał szlachectwo wraz nazwiskiem de *Beaumarchais*. Z licznych jego wynalazków na uwagę zasługuje zegarek nakręcany bez kluczyka. Pierwszy taki zegarek wykonał Beaumarchais dla madame Pompadour. Nakręcanie sprężyny odbywało się przez obracanie pierścienia, w którym osadzone było szkło.

Abraham Louis Breguet (ur. 1747—1823) pochodził z francuskiej rodziny, która była zmuszona opuścić Francję po zniesieniu Edyktu Nantejskiego przez Ludwika XIV. Jako młody chłopiec wrócił do Francji i wyuczywszy się w Versailles zegarmistrzostwa, skonstruował wahadło

elektryczne, zegarek kieszonkowy z podwójnym balansem oraz urządzenie zegarowe t. zw. „tourbillon", w którym można było zastosować każdy rodzaj wychwytu. Z jego wynalazków najbardziej jest dzisiaj rozpowszechniony włos nazwany jego nazwiskiem. Wypada również nadmienić, iż Breguet pierwszy zastosował w zegarkach repetujących sprężynę dźwiękową.

Janvier Antide (ur. 1751—1835) zbudował kilka zegarów planetarnych, które zdobyły mu rozgłos europejski. Napisał on również kilka dzieł zegarmistrzowskich.

Listę sławnych uczonych francuskich ze złotego okresu sztuki zegarmistrzowskiej zamykają nazwiska Lebon, Enderlin, Dutertre, Gaudron, Le Paute.

Do sławnych wynalazców z tego okresu zalicza się również *genewski* zegarmistrz *Romully*.

W szeregu tych nazwisk trudno nie wymienić sławnego uczonego polskiego *Adama Kochańskiego*, jezuitę, profesora fizyki i matematyki w latach 1656—1660. W księdze dziewiątej „Technica Curiosa" wydanej w roku 1664 w Würzburgu pisze o zegarach kołowych. Na jego danych opierali się później autorowie dzieł z dziedziny zegarmistrzostwa. Przed rokiem 1664 pisano wyłącznie o zegarach starożytnych z wyjątkiem broszury „Horologium" z roku 1658 napisanej przez Huygensa, w której opisał sposób zastosowania wahadła do zegara kołowego.

KILKA SŁÓW O ZEGARMISTRZOSTWIE W SZWAJCARII

Szwajcaria pięknym swego górskiego krajobrazu ściąga do siebie stale ogromne rzesze turystów. Tutaj jednak kraj ten interesuje nas jako ośrodek przemysłu zegarmistrzowskiego. Spośród krajów Europy tam przede wszystkim skoncentrowała się wytwórczość zegarków noszonych.

Rozwój przemysłu zegarmistrzowskiego w Szwajcarii datuje się od panowania Ludwika XIV (1643—1715) króla francuskiego, który zniósł Edykt Nantejski, pozwalający na przebywanie protestantom we Francji. To zmusiło wielu przemysłowców do przeniesienia swych przedsiębiorstw do

sąsiednich krajów. Dzięki sprzyjającym warunkom najwięcej osiedliło się ich w Szwajcarii.

Przemysłowcy francuscy dali możność zarobkowania tamtejszej ubogiej ludności, żyjącej w ciężkich warunkach. Przyczyną tego był brak ziemi nadającej się pod uprawę. Początkowo dochody z tej pracy były bardzo nikłe, toteż zmuszeni byli ze sobą współpracować wszyscy członkowie rodziny, nie pomijając dzieci.

Wszystkie części zegarka wyrabiano ręcznie, przy czym podział pracy był bardzo daleko posunięty, stosowano go bowiem nie tylko wśród rodziny, gdzie ojciec inne a syn inne części wykonywał, lecz również różne odrębne samoistne warsztaty produkowały różne części składowe zegarka. Przez przeciąg zimy, kiedy śniegi zatamowały wszystkie drogi, ludzie zmuszeni do pozostania w domach oddawali się pracy przy warsztatach zegarmistrzowskich.

Z nadejściem lata sprzedawali swoje wyroby na targach wraz z produktami rolnymi. Poszczególni sprzedawcy, chcąc jak najwięcej przyciągnąć kupujących, głośno wychwalali swój towar wołając: tu do mnie, tu najtaniej, kapusta, gruszki, śliwki, kółka, tryby, śrubki. Miejscowi przemysłowcy skupywali ręcznie wyprodukowane części mechanizmu, zestawiając z nich zegarki. Mianowali się fabrykantami a właściwie to imię im nie przysługiwało, praca ich bowiem polegała li tylko na zestawieniu części zegarka wyprodukowanych przez innych. Byli to właściwie przedsiębiorcy nakładcy żyjący z chałupników, co było charakterystycznym w rozwoju przemysłu zegarowego w Szwajcarii.

Genewa nie nadarmo jest nazwana stolicą zegarmistrzowstwa. Tu bowiem zogniskował się przemysł zegarmistrzowski. Pierwsza fabryka tego miasta założona została w drugiej połowie XIX w. przez Polaków *Patka i Czapka*. Wypada nadmienić, iż Patek był powstańcem z roku 1831 i emigrantem. Około r. 1845 fabryka podzieliła się na dwie odrębne firmy: Patka i spółki oraz Czapka i spółki. Ten ostatni napisał dzieło zegarmistrzowskie pod tytułem „Kilka słów o zegarmistrzowstwie dla użytku publiczności i zegarmistrzów".

Fabryka Patka szczyciła się, jako pierwsza, posiadaniem nowoczesnych maszyn, za pomocą których wykonywała mechanicznie wszystkie poszczególne części zegarka. Po-

wstanie tej fabryki wprowadziło przełom w dotychczasowym systemie pracy — chałupniczym. A zatem w historii fabrycznego przemysłu zegarowego Patek odegrał kolosalnie ważną rolę. Działalność jego ze względu na doniosłość zagadnienia powinna być omówiona w specjalnej monografii. W roku 1842 pierwsza ta fabryka zaczęła wyrabiać zegarki remontoirowe t. j. nakręcane bez kluczyka. Wynalazek ten (urządzenie remontoirowe), który się zrodził i został zrealizowany w fabryce Patka, świadczy o wysokim poziomie technicznym jego zakładów. Wspólnikiem Patka był Adrian Philippe. Fabryka ich do dnia dzisiejszego przetrwała i zalicza się do czołowych.

Z kroniki miasta Genewy dowiadujemy się, iż pierwszymi zegarmistrzami tego miasta byli: Tomasz Bayard, emigrant francuski, który w roku 1554 otrzymał obywatelstwo szwajcarskie; następnie Charles Cusin osiadły w Genewie w roku 1574. Poza wspomnianymi było jeszcze piętnastu zegarmistrzów t. zw. „orfèvres et horlogers" (złotników i zegarmistrzów), których nazwiska niestety nie są znane.

Dzisiaj już nie spotyka się małych warsztatów chałupniczych, miejsce ich bowiem zajęły olbrzymie fabryki. Praca rąk ludzkich została zastąpiona maszynami, które z znacznie większą dokładnością i szybkością wyrabiają wszelkie części zegarka. Koszty pracy mechanicznej są znacznie niższe od pracy ręcznej, dzięki masowej produkcji t. j. możności jak najdalej posuniętego podziału pracy, również i oszczędności materiału. Fabryki przyczyniły się do tego, iż zegarek stał się dla każdego dostępny.

Produkcja fabryk szwajcarskich nie ogranicza się tylko do wyrobu zegarków jako czasomierzy, lecz również fabrykuje się tam zegarki różnorakich konstrukcji i systemów, dla rozmaitych celów. Np.: budziki kieszonkowe, które podczas podróży oddają nieraz wielkie usługi, zegarki kalendarzowe, które pokazują datę i nazwę miesiąca, nazwę dnia i rok, czasem nawet zmianę księżyca.

Ważną rolę spełniają chronografy, które mają zastosowanie w nawigacji morskiej i powietrznej, w wojsku oraz w sporcie. Pierwszy chronograf-stoper skonstruował w roku 1843 dr Mateusz Hipp w Zurychu. Jest to zegarek kieszonkowy lub naręczny z dodatkowym mechanizmem, którego działanie pokazuje długa wskazówka. Wskazówka ta obraca

się wokoło podziałki, która dzieli sekundę na dziesiąte a nawet setne i tysiączne części. Przez nacisk na odpowiednią dźwignię można powyższą wskazówkę t. zw. chronografową w każdym momencie zatrzymać lub w ruch puścić. Nazwa dla tego rodzaju czasomierzy jest niezbyt szczęśliwą i należałoby ją raczej odnieść do mechanizmów, przedstawiających graficznie przebieg czasu.

Rozróżniamy rozmaite chronografy: *tachometry*, przeznaczone dla badania szybkości środków komunikacyjnych. *Fonotelometry*, służące do mierzenia źródła głosu, które mają szerokie zastosowanie w wojsku dla ustalenia miejsca np. nieprzyjacielskiej artylerii. Wreszcie *pulsometry*, stosowane w medycynie przy badaniu częstotliwości uderzeń serca.

Naprawdę skomplikowanym zegarkiem jest t. zw. repetier kieszonkowy, który przy naciśnięciu odpowiedniej dźwigni wybija godziny, kwadranse i minuty. Niejednokrotnie już tak skomplikowane zegarki są zarazem stoperami. Ogólny podziw wzbudza wysoki poziom techniki dzisiejszego zegarka, która w tak małej objętości pomieściła olbrzymią ilość kółek, sprężynek i śrubek.

Szkoły zegarmistrzowskie w Szwajcarii w wielkim stopniu przyczyniły się do doskonałości tamtejszych wyrobów. Doniosłość wyszkolenia rozumieli sami wytwórcy, sami zakładali szkoły i kształcili w nich swoich pracowników. W roku 1824 powstała w Genewie pierwsza szkoła zegarmistrzowska składająca się z sześciu klas. W rok później z powodu dużego napływu żądnych nauki, otwarto drugą szkołę przeznaczoną dla dziewcząt. Szkoły powyższe dały nie tylko dobrych pracowników, lecz zarazem doskonałych „regleurów" (konstruktorów).

O ZEGARACH ELEKTRYCZNYCH

Od narodzin zegara kołowego-mechanicznego minęło już 900 lat. Na przestrzeni tego okresu, czasu blisko tysiąclecia, widzi się jak geniusz ludzki mrówczą pracą wytrwale wciąż kroczy naprzód, aby skonstruować możliwie jak najdokładniejszy czasomierz. Wysiłki człowieka w tym kierunku nie pozostały bez zadawalających wyników, albowiem

przegląd eksponatów współczesnego przemysłu zegarmistrzowskiego pozwala nam z podziwem stwierdzić ogromny postęp, dotyczący dokładności chodu nowoczesnych zegarów, oraz ich niebywałe szerokie zastosowanie. Nie oznacza to jednak, że mechanizm zegara osiągnął już szczyt idealnej dokładności. Zresztą nie wiadomo, czy zostanie w ogóle kiedyś osiągnięta idealna, absolutna dokładność. Z drugiej strony, chociaż mamy już stosunkowo dobrze udoskonalony zegar mechaniczny, to jednak praca człowieka nad znalezieniem nowych udoskonaleń zegara nie ustaje. Przede wszystkim na odcinku sił popędowych mechanizmu zegarowego mamy w ostatnich czasach wiele pomysłów.

Siła elektryczna znalazła szerokie zastosowanie wśród licznych gałęzi przemysłu. Nie mogła więc i branża zegarmistrzowska przejść obok niej obojętnie. Elektryczność w zegarmistrzostwie znajduje coraz szersze zastosowanie, tak, że zegary mechaniczne, zwłaszcza umiejscowione, zagrożone są bardzo poważnie w swej popularności. Niebezpieczeństwo to nie dotyczy narazie zegarków noszonych. Powodem tego są stosunkowo wielkie rozmiary źródła prądu, w porównaniu do rozmiarów zegarków noszonych.

Źródłem prądu może być bateria akumulatorowa, zwykła bateryjka lub sieć elektryczna prądu. Praca siły elektrycznej w zegarze jest na różny sposób zużytkowana. Mamy zegary, w których prąd elektryczny powoduje samoczynny naciąg sprężyny lub uniesienie ciężarka. Więcej uproszczoną konstrukcją od tych zegarów jest ta, w których prąd elektryczny działa wprost na wahadło, utrzymując je w ruchu. Pierwszy tego typu zegar elektryczny został zbudowany w roku 1860 w Zurychu przez dra M. Hippa.

Powyżej wspomniane zegary dają możność uruchomić cały szereg bocznych zegarów, porozmieszczanych nawet w znacznych odległościach. W zegarach tych t. zw. bocznych zastosowany jest elektromagnetyczny mechanizm wskazówkowy.

W roku 1829 prof. Steinheil z Monachium zbudował pierwszy elektro-magnetyczny mechanizm wskazówkowy (jest on również wynalazcą uziemienia). Zaletą tych zegarów jest odporność na wilgoć i niezbyt prędkie zakurzenie. Ta właściwość pozwala na montowanie ich na ulicach, na dworcach kolejowych, urzędach pocztowych, fabrykach itp.

CZĘŚĆ DRUGA

NAJWAŻNIEJSZE PRAWIDŁA RUCHU WAHADŁOWEGO

Wahadłem jest każde ciało fizyczne, które poddane działaniu siły zewnętrznej i pod wpływem siły ciężkości wykonuje ruch w jednej płaszczyźnie dookoła stałej osi.

Wahadło, według definicji matematycznej, jest to kulka zawieszona na nierozciągalnej i nieważkiej nitce.

Rozróżniamy wahadło proste i złożone. Wahadło proste składa się z jednej cząstki materialnej (nieskończenie małej, ale takiej, ażeby było można nazwać ją materialną) zawieszonej na cienkiej nierozciągliwej nici. Jest to oczywiście wymysł naszej wyobraźni, w rzeczywistości niewykonalny, ze względu na niemożność uzyskania punktu materialnego w ścisłym tego słowa znaczeniu. Na wahadle prostym dokonuje się najogólniejszych badań matematycznych własności ruchu wahadłowego i drgającego.

Rzeczywistym wahadłem jest wahadło złożone. Można je uważać za zbiorowisko niezliczonych związanych ze sobą wahadeł prostych.

Wahadło i jego ruch. Dolny koniec pionowo wiszącego pręta (drążka), czy też innego ciała stałego, odchylamy pod pewnym kątem względem pionu. Pręt odchylony od pionu i puszczony swobodnie wykona ruch ku pierwotnemu położeniu. Jednak w położeniu tym (pionowym) nie zatrzyma się, lecz poruszając się dalej, podniesie się po drugiej stronie pionu na taką samą wysokość, z jakiej począł spadać, po czym znów wykona taki sam ruch w stronę przeciwną i t. d. Periodyczny ten ruch zwiemy wahaniem a ciało wykonujące go wahadłem. Pod wpływem tarcia w punkcie zawieszenia i oporu powietrza, szereg tych wahań po sobie następujących jest o coraz mniejszym odchyleniu, aż wreszcie ruch ten zupełnie ustaje.

Zespół terminów oznaczających ruch wahadłowy:

„Amplitudą wahania nazywa się największe wychylenie punktu wahającego w jednym kierunku".

„Okresem wahań nazywa się czas pomiędzy dwoma najbliższymi identycznymi stanami punktu wahającego".

„Fazą wahań nazywa się wielkość pozwalającą obliczyć chwilowe wychylenie punktu wahającego z położenia równowagi".

„Wahania tłumione są to wahania o malejących amplitudach. Stosunek dwóch następujących po sobie amplitud zwiemy współczynnikiem tłumienia. Okres wahań tłumionych jest wielkością stałą i posiada tę własność, że jest niezależny od kąta wychylenia wahadła do pionu (amplitudy), przy małych wychyleniach. Własność tę zwiemy *izochronizmem*".

Prawa ruchu wahadłowego odkryte przez Galileusza w roku 1602:

Czas wahania jest niezależny od wielkości amplitudy, jaką wahadło wykonuje (przy amplitudach do 2 stopni).

Przykład: Jeżeli dwa wiszące wahadła tej samej długości o równych masach — np: z kulkami żelaznymi — wprawimy w ruch, odchylając jedno z nich pod większym kątem, niż drugie, wówczas przekonamy się, że chociaż amplituda jest różna, okresy wahań są równe, czyli wahania są izochroniczne.

Czas wahania jest niezależny od materiału i ciężaru wahadła.

Przykład: Jeżeli dwa wiszące wahadła tej samej długości z kulkami o jednakowej objętości lecz różnych masach, — np. żelaznej i ołowianej — wprawimy w ruch, wówczas przekonamy się, że chociaż masa jednego wahadła jest większa od drugiego, okresy wahań są równe, czyli wahania są izochroniczne.

Wahadła o jednakowej długości wykonują wahania w jednakowym czasie, dłuższe wahają się wolniej, krótsze szybciej.

Przykład: Jeżeli trzy wiszące wahadła różnej długości wprawimy w ruch, wówczas przekonamy się, że okresy ruchu tych wahadeł nie są równe, mianowicie: okres ruchu wahadła najdłuższego jest największy, okres zaś ruchu wahadła naj-

krótszego jest najmniejszy, czyli wahadła dłuższe wahają się wolniej, niż krótsze w następującym stosunku: 4 razy dłuższe waha się dwa razy wolniej, 9 razy dłuższe waha się 3 razy wolniej, i t. d. Matematycznie się wyrażając, szybkość wahania jest proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego długości wahadła.

Zastosowanie wahadła. Wahadło sekundowe służy do mierzenia czasu. Czas wahań (połowa okresu) wynosi ściśle jedną sekundę. Długość wahadła sekundowego zależna jest od szerokości geograficznej, ponieważ im dalej od równika tym prędsze są wahania. Długość wahadła sekundowego na równiku wynosi 991 m, w Warszawie 994 m.

Wahadło balistyczne służy do oznaczania początkowej prędkości pocisku wyrzuconego z działa.

Wahadło rewersyjne służy do obliczania wielkości przyspieszenia ziemskiego.

Wahadło seismograficzne służy do notowania siły, kierunku i czasu trwania trzęsienia ziemi.

Zastosowanie techniczne wahadła jest różnorakie i nie ogranicza się do powyżej wspomnianych wahadeł.

O WAHADLE ZEGAROWYM

Krystyn Huygens (1629—1695) profesor fizyki i astronomii w Hadze uznany został za pierwszego, który zastosował wahadło do zegara kołowego. Wahadło zastąpiło pierwotny regulator chodu t. zw. kolibnik, którego działanie polegało na tym, że na końcach drążka poziomego złączonego z osią pionową, zawieszano ciężarki, regulując w ten sposób szybkość jego wahań.

Z ukazaniem się dzieła Huygensa „Horologium oscilatorium" z roku 1673, opisującego sposób zastosowania wahadła do zegara kołowego, zegary wahadłowe zaczęły się szybko rozpowszechniać i z tą chwilą ustala się właściwy, dokładny wymiar czasu.

Pierwotnie wahadła zawieszone były na pojedyńczej, cienkiej nitce. Ze względu na to, iż pojedyncza nitka ulegała często skręcaniu się, zastosowano podwójną nitkę. Jednakowoż nitka powyższej zawieszki pod wpływem wilgotnego

powietrza rozciągała się, oraz ulegała w krótkim czasie zniszczeniu. Zastosowano zatem, zwłaszcza przy ciężkich wahadłach, inne zawieszki, jak: łożyskowe, kuliste, ostro zakończone (szpiczaste), nożowe i t. p.

Zawieszki te były dość skomplikowane, przy tym ich płaszczyzny tarcia w miejscu zawieszenia ulegały zużyciu. Wszystkie powyżej wspomniane zawieszki przy nowoczesnych zegarach nie znajdują zastosowania, miejsce ich bowiem zajęła zawieszka sprężynkowa, która jest wzorem najidealniejszego zawieszenia dla wahadła.

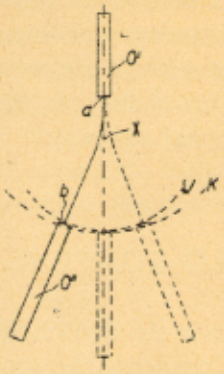
Zawieszka sprężynkowa składa się z dwóch cienkich pasków stalowych, które uchwycone są przez dwie oprawki mosiężne. Górna oprawka umocowana jest na stałe za pomocą zatyczki, na dolnej oprawce zawiesza się drążek wahadłowy. Pierwotne zawieszki składały się z pojedynczego paska stalowego. Tego typu zawieszka okazała się niepraktyczną, przy zewnętrznym wstrząsie wahadło bowiem przyjmowało poruszenia nieprzewidziane. Grubość paska sprężynowego bywa 0,05 mm do 0,2 mm, szerokość 2—10 mm, długość pozostaje w stosunku 1—2 czasem 5 szerokości paska sprężynkowego. Siła wyrzutowa sprężynki maleje proporcjonalnie do jej długości a wzrasta proporcjonalnie do jej szerokości. Siła sprężynki rośnie do trzeciej potęgi w stosunku do jej grubości.

Obok nieznacznego a więc nieszkodliwego tarcia w miejscu zawieszenia wahadła, największą zaletą zawieszki sprężynkowej jest, iż umożliwia zachowanie izochronicznych wahań wahadła, nawet przy wychyleniach większych jak 2 stopnie.

Działalność zawieszki sprężynkowej polega na następującej zasadzie: górna oprawka *O'* umocowana jest na stałe w pozycji pionowej, dolna oprawka *O"* odchylona w kierunku linii *a—b*. Punkt zagięcia sprężynki znajduje się w miejscu *X*. (Punkt zagięcia sprężynki znajduje się na ⅓ górnej części, dotyczy to zwłaszcza krótkich sprężynek).

Jak widać na rys. 1-szym, długość sprężynki nie wykreśla linii *kołowej k*, lecz *krzywiznę w*. Prędkość wahadła jest największa w punkcie środkowym a dochodzi do zera w punktach krańcowych drogi, — zatem skoro wahadło wiszące na tej sprężynce porusza się po krzywiźnie *w*, długość jego skraca się, przez co ruch zostaje przyspieszony

proporcjonalnie do kąta zagięcia się sprężynki wahadłowej. Dzięki tej zasadzie gięcia się sprężynki wahadłowej, wahadło wróciwszy do położenia równowagi ma wyrównaną krańcową zmniejszoną prędkość, przez co zachowany jest izochronizm nawet wielkich wychyleń wahadła.



Rys. 1

Drążek wahadłowy sporządza się z drzewa świerkowego. Drążek podlega najpierw suszeniu, następnie wygotowuje się go w lnianej oliwie, wreszcie, po otrzymaniu właściwej formy (w poprzecznym przekroju — soczewkowej dwustronnie wypukłej), pociąga się powierzchnię lakiem, dla zabezpieczenia przed wilgocią. Współczynnik rozszerzalności zależny od temperatury tak przygotowanego drzewa jest mniejszy od współczynnika rozszerzalności szkła. Drążek wahadłowy w górnej części zaopatrzony jest w hak służący do zawieszenia na sprężynce wahadłowej, w dolnej zaś części w nakrętkę, za pomocą której regulujemy umiejscowienie tarczy zegarowej (ciężaru wahadła) a tym samym długość wahadła. Drążek wahadłowy przy najnowszych zegarach składa się z dwóch części, jedna jest przedłużeniem drugiej, ma to na celu ułatwienie transportu zegara, wystarczy bowiem zdjąć dolną połowę drążka obciążoną tarczą wahadłową.

Ukształtowanie *ciężaru* wahadła winno być takim, ażeby podczas ruchu stawiał jak najmniejszy opór powietrza. Bardzo dogodną jest forma kuli, ponieważ w swojej objętości zamyka dużą ilość masy. Biorąc jednak pod uwagę, iż wahadło podczas swego ruchu napotyka na opór powietrza tylko z dwóch stron, dogodniejsza jest forma soczewkowa

dwustronnie wypukła o ostrych krawędziach, która jako aerodynamiczna bardzo się rozpowszechniła.

Przyrząd regulujący długość wahadła przy systemie pierwotnym znajduje się przy zawieszce. Ustalenie długości wahadła odbywa się przez nawinięcie nici na wałek specjalnie do tego celu przeznaczony. Nieraz jednak zwłaszcza przy zawieszkach sprężynkowych mechanizm do regulowania długości wahadła znajduje się w górnej części, w przeciwstawieniu do wahadeł obecnych, których długość regulowana jest w sposób wyżej opisany.

WAHADŁO KOMPENSACYJNE

Wzajemne znoszenie się dwóch działań w fizyce nazywamy kompensacją. Kompensację stosuje się wówczas, jeżeli jakieś działanie na pewien przyrząd jest szkodliwe.

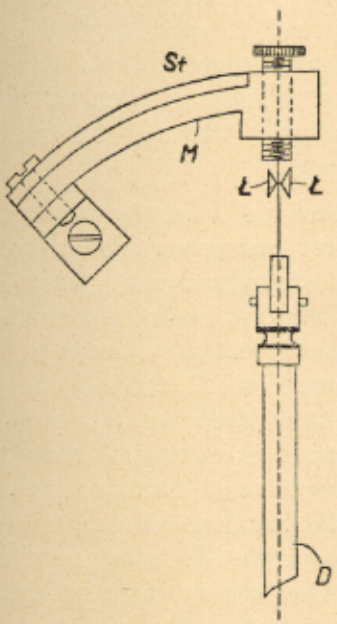
Działaniem szkodliwym na wahadło zegarowe jest zmiana temperatury. Pierwszym, który zauważył wpływ zmiany temperatury na długość wahadła zegarowego był Huygens. Mianowicie przy wzroście temperatury wahadło wydłuża się, opóźniając chód zegara, przez wydłużenie się wahadła punkt równowagi wahadła zostaje przesunięty ku dołowi.

Urządzenie kompensacyjne ma na celu stworzyć warunki, w których by punkt równowagi powrócił do dawnego położenia. Kwestia ta rozwiązywana jest w różnoraki sposób: przez umieszczenie urządzenia kompensacyjnego przy zawieszce wahadła, przy ciężarze-tarczy wahadłowej, oraz przy drążku wahadłowym.

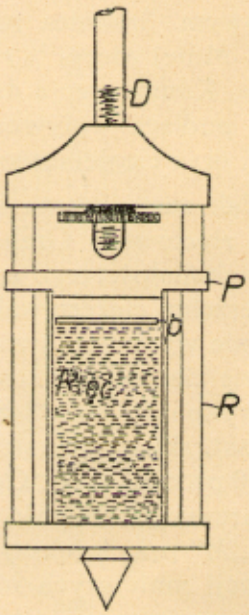
Budowa wahadła kompensacyjnego polega na zestawieniu ze sobą kilku metali — zazwyczaj dwóch, o różnym stopniu rozszerzalności, które są tak dobrane, iż wpływ działania temperatury na jeden z nich, znosi reakcję drugiego.

Kompensacja przy zawieszce wahadła. Kompensację przy zawieszce wahadła przedstawia rys. 2. Wahadło wisi na długiej sprężynce stalowej, która jest przychwycona przez śrubę znajdującą się na końcu łuku. Długość wahadła zaczyna się mierzyć od przylegających do stalowej sprężynki łapek „*ŁŁ*". Rozstęp między nimi pozwala na swobodne przesuwanie się sprężynki. Przy wzroście temperatury stalowy

drążek wahadłowy „*D*“ wydłuża się, powodując opóźnianie zegara. Wpływ zmiany temperatury oddziaływuje równocześnie na urządzenie kompensacyjne, którym jest łuk, składający się ze sztaby mosiężnej „*M*“ i stalowej „*St*“ ze sobą nierozerwalnie spojonych. Powstałe wydłużenie przy drążku wahadłowym kompensuje łuk w ten sposób, iż wygina się do góry proporcjonalnie do wydłużonego drążka wahadłowego. Wygięcie łuku do góry powoduje przede wszystkim sztaba mosiężna posiadająca większy współczynnik rozszerzalności od stali. Przy obniżaniu temperatury mosiądz kurczy się więcej od stali, przez co zgina łuk ku dołowi proporcjonalnie do skurczonego drążka wahadłowego.



Rys. 2



Rys. 3

Cechą ujemną powyższego urządzenia kompensacyjnego jest, iż pod wpływem ciężkiego wahadła zgina się łuk ku dołowi, toteż zastosowano je wyłącznie w zegarach z wahadłem bardzo lekkim.

Kompensacja przy ciężarze wahadła. W roku 1721 Jerzy Graham wynalazł wahadło, którego kompensacja odbywa się przy pomocy rtęci. Rys. 3 przedstawia tego typu waha-

dło. Dolna nagwintowana część stalowego drążka wahadłowego trzyma stalową ramę „*R*", w której osadzone jest szklane naczynie napełnione rtęcią. Pokrywa „*P*" zamyka szczelnie to naczynie i zarazem jest jego umocowaniem. Wewnątrz naczynia na powierzchni rtęci pływa żelazna płyta „*p*", która zapobiega falowaniu rtęci. Przy wzroście temperatury podnosi się rtęć proporcjonalnie do wydłużonego drążka wahadłowego. Udoskonaleniem tej kompensacji są wahadła o dwóch naczyniach.

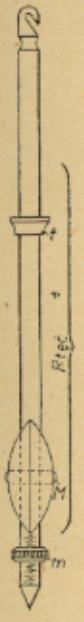
Kompensacja przy drążku wahadłowym. Rtęć znalazła również zastosowanie w wahadle Rieflera, zbudowanym w roku 1890 (rys. 4). W wahadle tym rtęć umieszczona jest w cienkiej rurze stalowej, która jest zarazem drążkiem wahadłowym. Średnica rury wynosi 16 mm, grubość ścianki 1 mm. Mniej więcej $^2/_3$ rury napełnione jest rtęcią chemicznie czystą. Kompensacja działa zatem na całą długość wahadła, które podlega wpływom powietrza zimniejszego w dolnej części oraz cieplejszego w górnej.

Tak zastosowana kompensacja w porównaniu do wahadła rtęciowego Grahama jest bezsprzecznie doskonalszą. Do doskonałości tego wahadła przyczynia się również kształt powierzchni ciężaru wahadła. Ma ono kształt soczewki dwustronnie wypukłej, a więc podczas ruchu wahadła powietrze bez wielkiego oporu zostaje przecięte. Materiałem, z którego jest wykonana powyższa tarcza wahadłowa, jest stop (t. zw. rotguss), składający się z 86 procent miedzi, 4 procent cynku i 10 procent cyny. Gdy kompensacja samoczynna nie jest wystarczająca, długość wahadła reguluje się za pomocą moterki „*M*" przy większych różnicach. Moterka „*m*" służy do regulacji mniejszych różnic. Dopiero w razie minimalnych różnic, umieszcza się ciężarki na talerzyku „*t*".

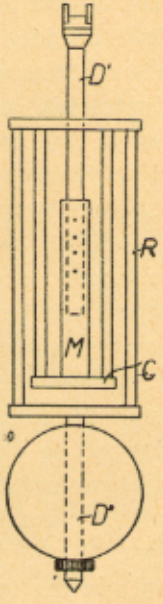
Wahadło rostowe. Wynalazcą wahadła rostowego jest Jan Harrison. Udoskonalone zostało przez Urbana Jurgensa i Kesselsa. Rys. 5 przedstawia wahadło Jurgensa. Tarcza wahadłowa spoczywa na nakrętce, która znajduje się na krótkim drążku wahadłowym „*D*". Drążek powyższy, przymocowany jest do podstawy ramy stalowej „*R*". Wewnątrz ramy „*R*" znajdują się dwie złączone ze sobą poprzeczką sztabki cynkowe, przymocowane do górnej części ramy. Na tej poprzeczce umieszczona jest rura mosiężna

„*M*“, w którą wchodzi górna część drążka wahadłowego „*D*“ przymocowana za pomocą zatyczki. Powyższy drążek przechodzi swobodnie przez otwór znajdujący się w górnej części ramy „*R*“.

Przy wzroście temperatury podlegają wydłużeniu wszystkie części wahadła a więc: górny drążek wahadłowy wraz z dolnym, następnie części oznaczone literą „*M, C, R*“. Wydłużenie drążka dolnego i górnego oraz części „*M, R*“ powoduje obniżenie tarczy wahadłowej, natomiast przez wydłużenie sztab cynkowych „*C*“, zostaje tarcza wahadłowa uniesiona o tyle, o ile została obniżona przez rozszerzenie wymienionych elementów. Chcąc poprawić nieznaczne dyfe-



Rys. 4



Rys. 5

rencje zegara, nie zmienia się długości wahadła, lecz przesadza się zatyczkę wyżej lub niżej, przez co zmienia się rozszerzenie masy kompensacyjnej tej części wahadła, działaniu podlegać będzie bowiem krótszy kawał rury mosiężnej a dłuższy kawał drążka stalowego, lub odwrotnie. Kilka dziurek, które znajdują się w rurze mosiężnej, służą właśnie do tego celu.

Spotyka się wahadła rostowe o innym zestawieniu drążków metalowych, jednak działanie ich podlega tej samej zasadzie co wahadło Jurgensa. Wielką zaletą wahadeł rostowych jest, iż urządzenie kompensacyjne odnosi się do całej długości wahadła, przy czym wpływ temperatury niższy na dole odpowiada wpływowi temperatury wyższej w górnej części wahadła. Dzięki prostej konstrukcji oraz doskonałym wynikom w regulacji czasu, powyższe wahadła z wszystkich wahadeł kompensacyjnych znalazły najszersze zastosowanie nie tylko w zegarach astronomicznych, lecz również w pokojowych.

O BALANSIE

Regulator chodu zegarka noszonego ma formę pierścienia. Pierścień ten jest trwale umocowany na osi pionowej, której obydwa końce spoczywają w łożyskach. Właściwością tego pierścienia jest, że porusza się w jednej płaszczyźnie około swej osi i pozbawiony jest jakiegokolwiek punktu ciężkości w płaszczyźnie swego ruchu. Stąd nazwa tego pierścienia „równoważnik" lub „balans" (z franc.).

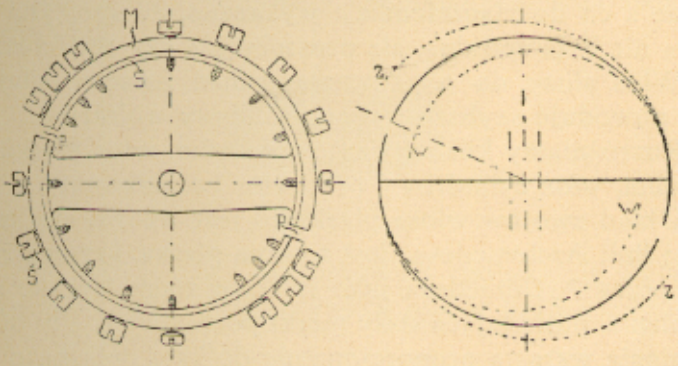
Balans podczas swego ruchu napotyka na następujące przeszkody: tarcie osi w łożyskach i opór ośrodka t. j. powietrza. Gdyby nie te przeszkody przeciwdziałania, balans raz wprawiony w ruch byłby wiecznie w ruchu, nie potrzebując stałej siły popędowej z mechanizmu zegarowego. Ażeby zmniejszyć do minimum tarcie osi w łożyskach, końce osi, t. zw. czopy, są jak najcieńsze, następnie łożyska przy precyzyjniejszym zegarku nie są z metalu lecz ze szlachetnych kamieni (szafiru lub rubinu) a poza tym do łożysk tych daje się oliwę.

Na ziemi nie ma ruchu, który by nie napotykał na opór powietrza, zatem ta przeszkoda podczas ruchu balansu jest nieunikniona. Opór powietrza jest tym większy im większa jest powierzchnia balansu i im większa jest jego szybkość.

Opór powietrza przy zmianach temperatury staje się szkodliwy. Wpływ zmiany temperatury powoduje bowiem zmianę objętości balansu, przez co zmienia się opór i skutkiem tego powstają dyferencje, których dalszą przyczyną są zmiany w sprężystości włosa wywołane wspomnianymi zmianami warunków. Włos bowiem przy wyższej tempera-

turze jest miększy, przez co jego współczynnik sprężystości jest mniejszy a przy niższej temperaturze jest twardszy, przez to jego współczynnik sprężystości jest większy.

W celu zrównoważenia podobnych zmian precyzyjniejsze zegarki mają balans kompensacyjny. Pierwszym konstruktorem balansu kompensacyjnego jest Pierre Le Roy. Balans kompensacyjny przedstawiony na rys. 6 został wy-



Rys. 6

naleziony w roku 1782 przez Jana Arnolda. Tenże balans składa się z dwóch pierścieni metalowych ze sobą nierozerwalnie spojonych i w dwóch miejscach przeciętych „*PP*". Zewnętrzny pierścień mosiężny „*M*" jest dwa razy grubszy od wewnętrznego stalowego „*S*". Opóźnianie zegarka kompensuje balans kompensacyjny wygięciem się łuków balansu do wewnątrz „*W W*". Przyczynia się to do przyspieszenia szybkości wahań balansu w takiej mierze, w jakiej zostały zwolnione przez opisane już powyżej przyczyny. Pierścień mosiężny, posiadający większy współczynnik rozszerzalności od pierścienia stalowego, powoduje wygięcie się łuków balansu do wewnątrz.

Przyspieszanie zegarka kompensuje balans kompensacyjny wygięciem się łuków balansu na zewnątrz „*Z Z*". Przyczynia się to do zmniejszenia szybkości wahań balansu w takiej mierze, w jakiej zostały one przyspieszone.

Śrubki „*S*" osadzone na balansie są przez konstruktora planowo rozmieszczone. Nie można ich dowolnie rozmieszczać, działanie bowiem kompensacji przy zmianie temperatury nie będzie wówczas właściwe.

O WŁOSIE

Wynalazcą sprężynki spiralnej zwanej włosem jest Huygens. Datą wynalezienia jest rok 1688.

Skoro Huygens zażądał patentu we Francji na ten wynalazek, powstał spór o pierwszeństwo. Anglicy przyznali je Robertowi Hooke, we Francji pretendował do niego Ks. Hautefeuille. Wszakże pierwszeństwo Hooke'a nie zostało dowiedzione a co do Hautefeuille'a wykazano, że sprężyna regulująca nie była spiralną, ale prostolinijną czy też falistą.

Włos służy do regulowania wahań balansu, silniejszy włos powoduje szybsze wahania, słabszy wolniejsze.

Rozróżniamy kilka rodzajów włosów: włos płaski, włos Bergueta, włos cylindrowy oraz włos beczułkowaty.

Układ zwojów włosa płaskiego jest wzorowany na spiralnej linii Archimedesa. Jest to linia płaska, krzywa, określona przez Archimedesa jako miejsce geometryczne końca promienia, posiadające stały punkt początkowy, gdy długość promienia wzrasta proporcjonalnie do kąta opisanego przez ten promień.

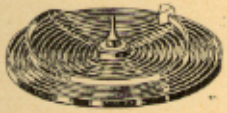
Jako materiału do wyrobu zwojów włosa czyli metalowej wstęgi, używa się stali miękkiej lub twardej, następnie palladium, metalu o barwie srebrzystej, odkrytego przez Wollastona w roku 1803, a także metalu elinvar wynalezionego przez prof. Ch. Guillaume'a. Najnowszym metalem jest nivarox wynaleziony przez inż. R. Straumanna.

Włos płaski w zegarku cylindrowym składa się z 8—9 zwojów, a ilość zwojów w zegarku kotwicznym wynosi 10 do 15. Powodem różnej ilości zwojów włosa wymienionych konstrukcji jest różna amplituda wahania obu balansów.

Amplituda wahania w zegarku kotwicznym jest większa niż w zegarku cylindrowym, toteż gdyby w zegarku kotwicznym zastosowano taką samą ilość zwojów, wówczas zwoje te uległyby zbyt silnemu zgięciu, zmieniając przez to okres wahania balansu.

Uchwycenie włosa płaskiego w klocku i kluczyku (rakiet) uniemożliwia równomierne rozwijanie się zwojów włosa w każdą stronę. Ta wada objawia się przede wszystkim przy włosach o dużej ilości zwojów, a więc w zegarku kotwicznym, tutaj bowiem wstrząs zegarkiem może być powodem wzajemnego trącania się zwojów włosa.

Tę wadę włosa płaskiego usunął Ludwik Breguet (ur. w roku 1747 w Neuchatel, zmarły w Paryżu w roku 1823). Wynalazł on bowiem włos (rok 1800), którego układ pozwala na równomierne rozwijanie się zwojów w każdą stronę. Właściwie jest to włos płaski, którego tylko końcowy zwój jest wygięty do góry i w odpowiednim łuku przybliżony do punktu środkowego. Zwój ten leży równolegle do innych zwojów i jest przychwycony w klocku. Włos ten został nazwany nazwiskiem wynalazcy. Rysunek 7 przedstawia tego rodzaju włos.



Rys. 7

Włos cylindrowy i beczułkowaty spotyka się wyłącznie w chronometrach. Układ zwojów jest w kształcie linii śrubowej wzgl. beczułki.

ZARYS ROZWOJU WYCHWYTU

Dokładność chodu zegara zależna jest przede wszystkim od konstrukcji wychwytu. Im doskonalsza jest ta część mechanizmu zegarowego, tym dokładniejszy jego chód. Toteż ze wszystkich części zegara ona największym ulegała przeobrażeniom. Świadczy o tym duża ilość konstrukcji wychwytów, których jest przeszło dwieście. W użyciu pozostało tylko kilka. Dużo sławnych uczonych wszystkich narodowości prześcigało się nad udoskonaleniem wychwytu.

Częściami składowymi konstrukcji wychwytowej są koło wychwytowe i wychwyt, który pośrednio lub bezpośrednio przenosi siłę popędową na regulator chodu-balans lub wahadło. Urządzenie, które pośredniczy w przenoszeniu siły popędowej, ma zazwyczaj formę widełek. Najdoskonalsze jest takie urządzenie, które podczas udzielania impulsu regulatorowi chodu jak najmniej z nim się styka.

Czynność wychwytu polega na tym, iż w równych i krótkich odstępach czasu przerywa ruch kółek, równo-

cześnie udzielając regulatorowi chodu impulsu, który podtrzymuje ciągłość jego ruchu.

Rozróżniamy trzy rodzaje wychwytów:
wychwyty cofające,
„ spoczynkowe,
„ wolne.

Do wychwytów cofających zalicza się wychwyt wrzecionowy, haczykowy, szwarcwaldowski, Brocota, a także rolkowy.

Nazwa tych wychwytów pochodzi stąd, iż koło wychwytowe zostaje cofnięte w przeciwnym kierunku swego biegu. Cofanie koła wychwytowego rozpoczyna się od momentu, kiedy ząb koła wychwytowego zetknie się z wychwytem, a trwa do momentu zakończenia amplitudy regulatora chodu. Siła oporu, która powstała w czasie cofania koła wychwytowego przez wychwyt, zmniejsza amplitudę regulatora chodu. W drodze powrotnej, kiedy odbywa się uniesienie wychwytu, ruch jego przyspiesza. Cechą charakterystyczną tych wychwytów jest również to, iż przy większej sile popędowej zegar przyspiesza, przy słabszej opóźnia. Wszystkie powyżej wspomniane charakterystyczne cechy są przeszkodą przeciwdziałania dla izochronicznych wahań regulatora chodu.

Do wychwytów spoczynkowych zalicza się wychwyt Grahama, cylindrowy i nożycowy.

W wychwytach spoczynkowych koło wychwytowe porusza się naprzód tylko w momencie uniesienia wychwytu. Resztę czasu — t. j. od momentu, kiedy ząb koła wychwytowego zetknie się z wychwytem, do momentu uniesienia wychwytu — ząb koła wychwytowego spoczywa na płaszczyźnie wychwytu, która uformowania jest koncentrycznie do osi wychwytu. Nacisk koła wychwytowego na tę płaszczyznę jest o tyle nieszkodliwy, iż nie ogranicza amplitudy regulatora chodu, związanego z wychwytem. Tutaj zatem przeszkody przeciwdziałania dla izochronicznych wahań regulatora chodu zostały częściowo usunięte, toteż pod względem dokładności ten rodzaj wychwytów przewyższył wychwyty cofające.

Do wychwytów wolnych zalicza się wychwyt chronometrowy oraz wychwyt kotwiczny czyli ankrowy.

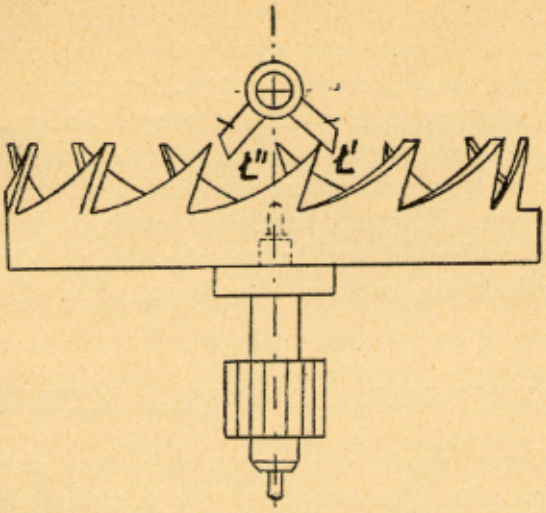
W wychwytach wolnych łączność regulatora chodu-balansu z wychwytem została zmniejszona do minimum. Umożliwiło to balansowi zachowanie izochronicznych wahań, pomimo dużej amplitudy, jaką balans musi wykonać. Tym się przede wszystkim wychwyty wolne odróżniają od wychwytów spoczynkowych, których regulator chodu stale jest pod naciskiem koła wychwytowego. Jedynym momentem łączności wychwytu z regulatorem chodu jest moment uniesienia, w tym czasie bowiem balans otrzymuje równocześnie impuls. Powstałe tarcie w czasie przenoszenia siły popędowej na balans jest tak minimalne, iż absolutnie nie jest przeszkodą dla izochronicznych wahań regulatora chodu.

WYCHWYT WRZECIONOWY — SZPINDLOWY

Wynalazcą wychwytu wrzecionowego jest pierwszy konstruktor zegara kołowego, a więc prawdopodobnie Gerbert. Konstrukcja ta zapoczątkowała erę zegarów wychwytowych. O genialności konstrukcji wychwytu wrzecionowego świadczy fakt, iż budowa wychwytów, powstałych w późniejszych stuleciach aż do dni dzisiejszych, opiera się na tej samej zasadzie, na jakiej powstał wychwyt wrzecionowy. Zastąpienie wychwytu wrzecionowego inną konstrukcją stało się koniecznością z chwilą zastosowania wahadła w zegarze. Wahadło bowiem przy konstrukcji wychwytu wrzecionowego, musiało wykonywać bardzo duże wychylenia, przez co wahania nie były izochroniczne. Konstrukcji wrzecionowej więcej odpowiadał pierwotny regulator chodu „kolibnik".

Rys. 8 przedstawia wychwyt wrzecionowy, zastosowany w zegarkach noszonych. Oś wrzeciona wraz z łapkami wykonana jest z jednego kawałka metalu-stali. Na tej osi umocowany jest balans. Rozstęp łapek odpowiada średnicy koła wychwytowego. Płaszczyzny łapek są unośne. Moment uniesienia łapki (palety) *Ł'* widzimy na załączonym rysunku. Po opuszczeniu tej łapki przez ząb koła wychwytowego następuje spad i łapka *Ł"* przytrzymuje ząb z przeciwległej części obwodu koła. W momencie przychwycenia zęba przez łapkę *Ł"* ruch wrzeciona nie kończy się, balans wykonuje bowiem dalej swoją amplitudę wahania (w pra-

wym kierunku). Od chwili przychwycenia zęba do ukończenia wahania balansu koło wychwytowe cofa się w przeciwnym kierunku swego biegu. W powrotnej drodze balansu



Rys. 8

(w lewym kierunku) łapka *Ł"* unosi wrzeciono. Po zakończeniu uniesienia następuje spad i działalność swą rozpoczyna łapka *Ł'*. Włos osadzony na osi wrzecionowej reguluje szybkość ruchu balansu.

WYCHWYT HACZYKOWY

Wychwyt haczykowy można zastosować tylko przy zegarze wahadłowym. Wynaleziony został w Londynie w roku 1680 przez Williama Clementa. Pierwszeństwo do tego wynalazku rościł sobie dr Robert Hooke, twierdząc, iż w roku 1675 skonstruował taki wychwyt.

Wychwyt haczykowy zastąpił wychwyt wrzecionowy wahadłowy, dający mniej dokładny pomiar czasu. Spotykana jeszcze dzisiaj duża ilość zegarów z wychwytem haczykowym świadczy, iż wyniki prac wychwytu haczykowego są zadowalające. Wychwyt jest w kształcie haka. Hak osadzony jest na osi, na której również osadzone są widełki, poruszające wahadło, a więc wahadło i hak poruszają się

pod tym samym kątem. Hak posiada dwa ramiona: ramię wchodowe R' oraz ramię wychodowe R''. Ramiona haka przy końcach swych posiadają pochyłe płaszczyzny. Zęby koła wychwytowego, naciskając na ramiona, powodują uniesienie ich o pewien określony kąt. Ponieważ ramiona haka zrobione są z jednego kawałka metalu, zatem podczas uniesienia jednego ramienia, obniża się równomiernie drugie ramię i przytrzymuje ząb koła wychwytowego.

W każdej konstrukcji wychwytowej rozróżnia się trzy zasadnicze kąty, mianowicie: kąt prowadzenia, kąt uniesienia, kąt spadu.

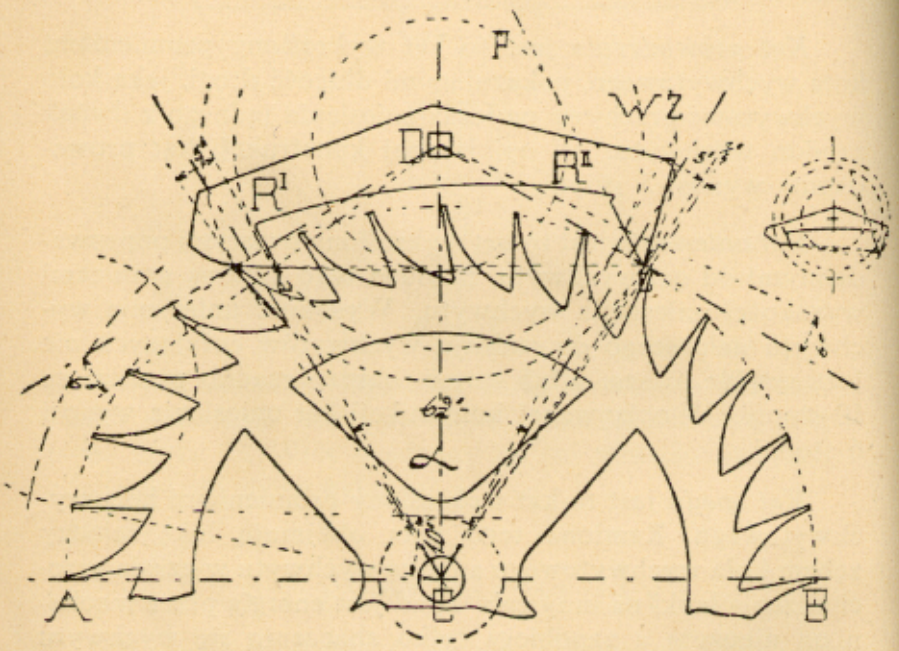
Kąt prowadzenia jest to kąt wykreślony promieniami koła wychwytowego, pokazującymi długość drogi, jaką koło wychwytowe przebywa podczas uniesienia jednego z dwóch ramion wychwytu. W opisywanej konstrukcji kąt prowadzenia wynosi 5 stopni.

Kąt uniesienia jest to kąt wykreślony prostymi poprowadzonymi od osi wychwytu, ramiona tego kąta są granicami wysokości uniesienia wychwytu. Wysokość uniesienia wychwytu należącego do rodzaju wychwytów cofających nie jest zwykle niższa, niż 5 stopni, bardzo rzadko przekracza 10 stopni. W opisywanej konstrukcji kąt uniesienia wynosi 6 stopni.

Kąt spadu jest to kąt wykreślony promieniami koła wychwytowego. Ramiona tego kąta obejmują lukę między zębem koła wychwytowego a łapką wychwytu w czasie przechodzenia łapki na inny ząb. Spad jest energią przez mechanizm nieużytą a zapobiega tylko zhaczeniu się wychwytu z którymś z zębów, w razie gdyby odstęp między zębami koła wychwytowego był nierówny. Z tego powodu wielkość spadu winna być o ile możności jak najmniejsza. W opisywanej konstrukcji kąt spadu wynosi ½ stopnia.

Koło wychwytowe przedstawione na rys. 9 ma 32 zęby. Na każdy ząb przypada kąt 11,25 stopni (360 stopni podzielone przez 32 = 11,25 stopni). Na rozstęp płaszczyzn unośnych haka przypada 5,5 zębów koła wychwytowego, co odpowiada 62 stopniom (5,5 × 11,25 = 61,9 stopni, w zaokrągleniu 62 stopnie). Mając te dane, rysujemy koło wychwytowe.

Ze środka koła C wykreślamy kąt α, który się równa 62 stopniom. Odpowiada on rozpiętości haka. Środek haka D znajdujemy na dwusiecznej kąta α, w miejscu przecięcia się dwu stycznych, poprowadzonych przez punkty przecięcia się ramiona kąta α z obwodem koła. Kąt prowadzenia wynosi 5 stopni. Wykreślamy go z punktu C w ten sposób, że każde ramię kąta α jest dwusieczną kąta prowadzenia. Z punktu D wykreślamy dwa koła pomocnicze w i z, styczne do ramion kąta prowadzenia. Obwody tych kół są granicami ruchu haka. Kąt uniesienia wynosi 6 stopni, wykreślamy



Rys. 9

go z punktu D w ten sposób, iż styczna leżąca na obwodzie koła wychwytowego, będzie jednym ramieniem tego kąta. Ramiona tego kąta przecinają koło zewnętrzne haka z oraz koło wewnętrzne w. Przez te punkty przecięcia prowadzimy prostą, która daje nam pochyłość płaszczyzn unośnych haka. Przedłużenia tych prostych dają nam styczne koła p. Kąt spadu wynosi ½ stopnia, wykreślamy go punktu C w ten sposób, iż ramię kąta prowadzenia jest zarazem ramieniem kąta spadu.

Koło wychwytowe, dla którego chcemy wykreślić hak, rysujemy w kilkakrotnym powiększeniu. Następnie przygotowujemy kawałek stali z nalotem koloru niebieskiego. Powierzchnia tej stali jest gładka i płaska. Na powierzchni tej ostrym narzędziem naznaczamy punkt środkowy haka, jako oparcie dla cyrkla, aby uniknąć jego przesunięcia się. Mając tak przygotowaną stal, przenosimy w normalnej wielkości koło zewnętrzne haka *z* oraz koło wewnętrzne *w*, następnie koło *p*. Rozpiętość haka da nam prosta *LL*. Po starannym opiłowaniu haka, hartujemy go. Zależnie od wielkości, zanurzamy go całkiem we wodzie lub też tylko częściowo ze względu na to, iż proces hartowania wpływa na zmniejszenie się objętości materiału. Znajomość zasad powyżej wykreślonego rysunku jest konieczna. Zachodzi bowiem bardzo często potrzeba dorobienia nowego haka, gdy stary jest za bardzo zużyty. Oczywiście bez rysunku danego haka nigdy odpowiedniej dokładności się nie osiągnie.

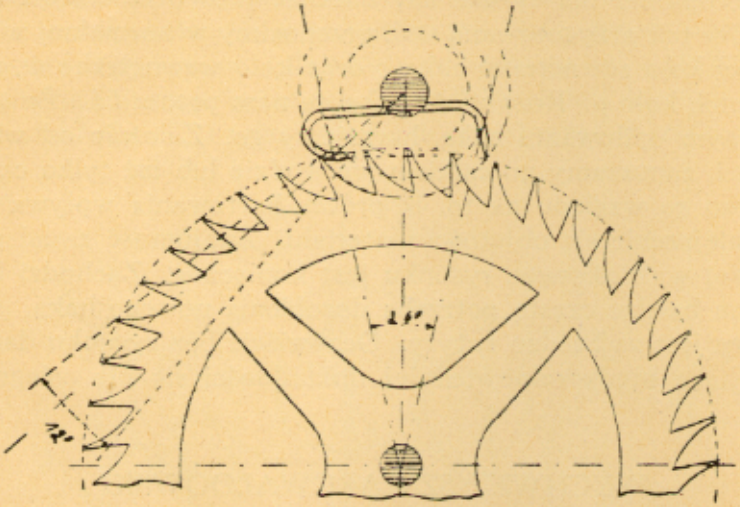
WYCHWYT SZWARCWALDOWSKI

Nazwa tego wychwytu pochodzi od okolicy, gdzie wyrabiają zegary z taką konstrukcją wychwytową. Okolicą tą jest Szwarcwald — pasmo górskie w płd. zach. Niemczech, ciągnące się wzdłuż prawego brzegu Renu na przestrzeni 160 km.

Rok 1640 zapoczątkował fabrykację zegarów szwarcwaldowskich. Wyrobem i sprzedażą wspomnianych zegarów trudnili się tamtejsi rolnicy. Z końcem wieku XVIII powstają liczne fabryki, które oczywiście przyczyniają się do upadku przemysłu domowego. W miejscowości Furtwangen, Muelheim, Schramberg, Schwenningen, St. Georgen oraz Villingen znajdują się dzisiaj największe fabryki.

Ewolucja zegarów szwarcwaldowskich również ma swoją historię. Mian. w roku 1740 zastosowano wahadło w miejsce kolibnika. Mniej więcej w tym samym czasie zaczęto konstruować zegary wybijające godziny i kwadranse. Ponadto niektóre z nich zaopatrzone były we figurki, które się poruszały w czasie bicia. Najbardziej popularne zegary, z których w czasie bicia wydobywał się głos kukułki, wynalezione zostały między rokiem 1740 a 1750 przez F. A. Kut-

terera w Schoenwaldzie. Wypada nadmienić, iż powyższe zegary t. zw. kukułki jeszcze dzisiaj cieszą się wielką popularnością. W roku 1750 zaczęto używać metalu do wyrobu kół, a drutu do wyrobu trybów, zamiast drzewa. Zegary, które chodzą 8 dni, skonstruowano w roku 1780.



Rys. 10

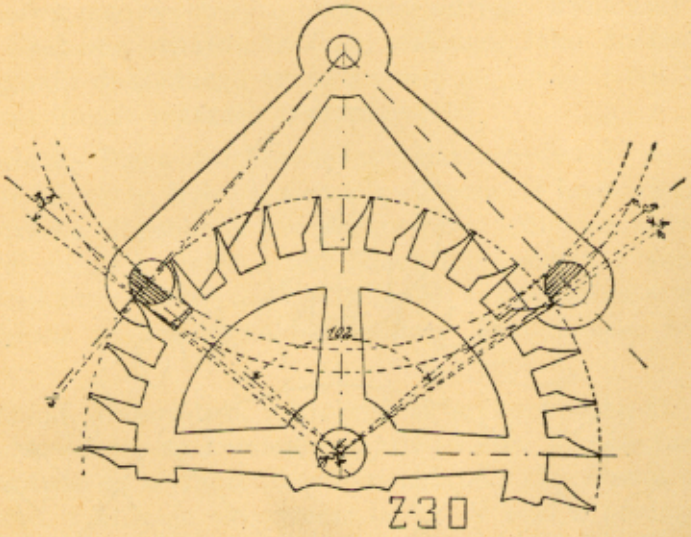
Obecnie produkowane zegary posiadają płyty mechanizmów z drzewa, a łożyska mosiężne. Koło wychwytowe przedstawione na rys. 10 posiada 45 zębów. Hak jest z kawałka blachy stalowej i przymocowany zakówką do osi. Na rozstęp płaszczyzn unośnych haka przypada 3,5 zębów koła wychwytowego. Kąt uniesienia wynosi 12 stopni, wahadło posiada zatem dużą amplitudę wahania i dlatego jest bardzo lekkie.

WYCHWYT BROCOTA

Wychwyt ten skonstruowany został w Paryżu przez Achillego Brocota. Pod względem dokładności w mierzeniu czasu dorównywał wychwytowi Grahama, toteż rywalizacja między oboma wychwytami trwała przez długi szereg lat. W końcu różne ulepszenia natury technicznej wychwytu Grahama, przyczyniły się do zaniechania produkcji zegarów z wychwytem Brocota.

Przy konstrukcji Brocota łapki o polerowanej powierzchni w formie cylindrycznego kółka do połowy spiłowanego (w przekroju podłużnym — część kreskowana stanowi łapkę) są osadzone w pozycji pionowej w stosunku do płaszczyzny ramion kotwicy. Jako materiału do wyrobu łapek używa się stali twardej oraz kamieni: szafiru i rubinu. Na rozstęp łapek przypada 8,5 czasem 9,5 lub 10,5 zębów koła wychwytowego. Wychwyt ten należy do rodzaju wychwytów cofających. Cofanie koła wychwytowego jest nieznaczne, prawie niedostrzegalne a tym samym nieszkodliwe.

Moment spoczynku koła wychwytowego widzimy na rys. 11, który przedstawia właśnie ukończony spad przy łapce



Rys. 11

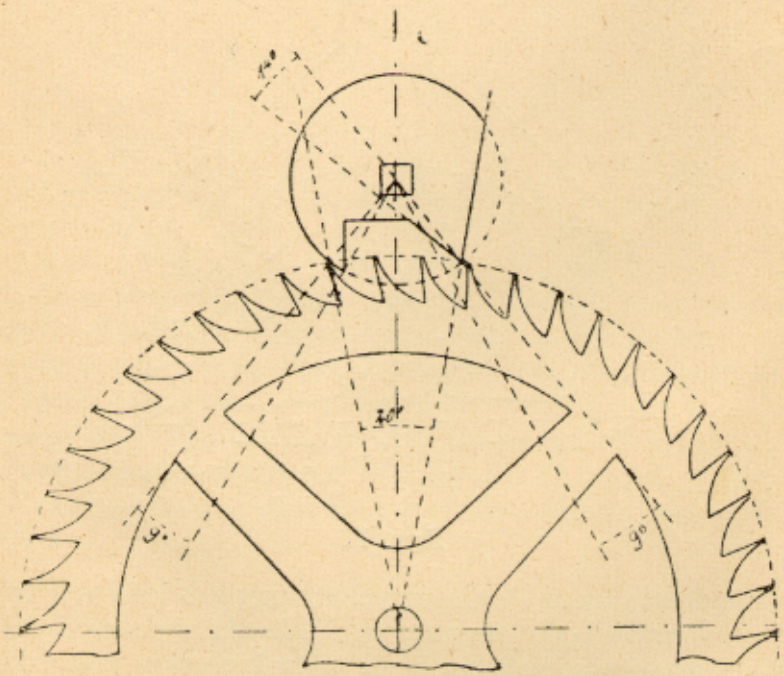
wychodowej a z tą chwilą przychwycony ząb koła wychwytowego przez łapkę wchodową. Wahadło wykonuje dalej swoją amplitudę wahania w prawym kierunku, pod takim samym kątem odchyla się wychwyt i ząb spoczywający na łapce wchodowej porusza się naprzód. Przyczyną tego ruchu jest zaokrąglona forma łapki. O ten kawałek drogi do momentu, kiedy się rozpocznie uniesienie wychwytu, koło wychwytowe cofa się.

Kąt uniesienia w narysowanym wzorze wynosi 4 stopnie, przy większym rozstępie łapek będzie mniejszy. Kąt pochy-

łości zęba koła wychwytowego wynosi 2 stopnie. Przy większej pochyłości nacisk zęba na łapkę w czasie trwania rzekomego spoczynku byłby większy, przez co wychylenia wahadła byłyby różne zależnie od zapasu siły popędowej.

WYCHWYT ROLKOWY

Wychwyt ten spotyka się w mechanizmach małych zegarów wahadłowych. Zazwyczaj zegary te posiadają również mechanikę budzikową. Ruch wahadełka jest bardzo szybki. Na godzinę przypada 10800—14400 wahań. Koło wychwytowe przedstawione na rys. 12 posiada 50 zębów (stosun-



Rys. 12

kowo wielka ilość zębów), co umożliwia zredukowanie kół do mniejszej ilości. Kształt wychwytu posiada formę krążka-rolki. Łapką wchodową tej rolki jest część obwodu rolki, która uformowana jest koncentrycznie do osi wychwytu. Wpływ nacisku zęba koła wychwytowego na tę płaszczyznę

nie powoduje uniesienia rolki, bowiem płaszczyzna ta jest tylko spoczynkową. Ukośna płaszczyzna łapki wychodowej jest unośną, tutaj zatem następuje uniesienie rolki. Podczas tego ruchu koło wychwytowe zostaje cofnięte, przez co wychwyt ten zalicza się do wychwytów cofających. W równej mierze wychwyt ten mógłby być zaliczony do wychwytów spoczywających, o ile weźmie się pod uwagę objaw ruchu koła wychwytowego przy łapce wchodowej.

WYCHWYT GRAHAMA

Nazwa tego wychwytu pochodzi od jego wynalazcy Jerzego Grahama zegarmistrza angielskiego. Jako doskonały w osiąganiu dokładnego czasu stosuje się go od roku 1700 w precyzyjnych zegarach wahadłowych.

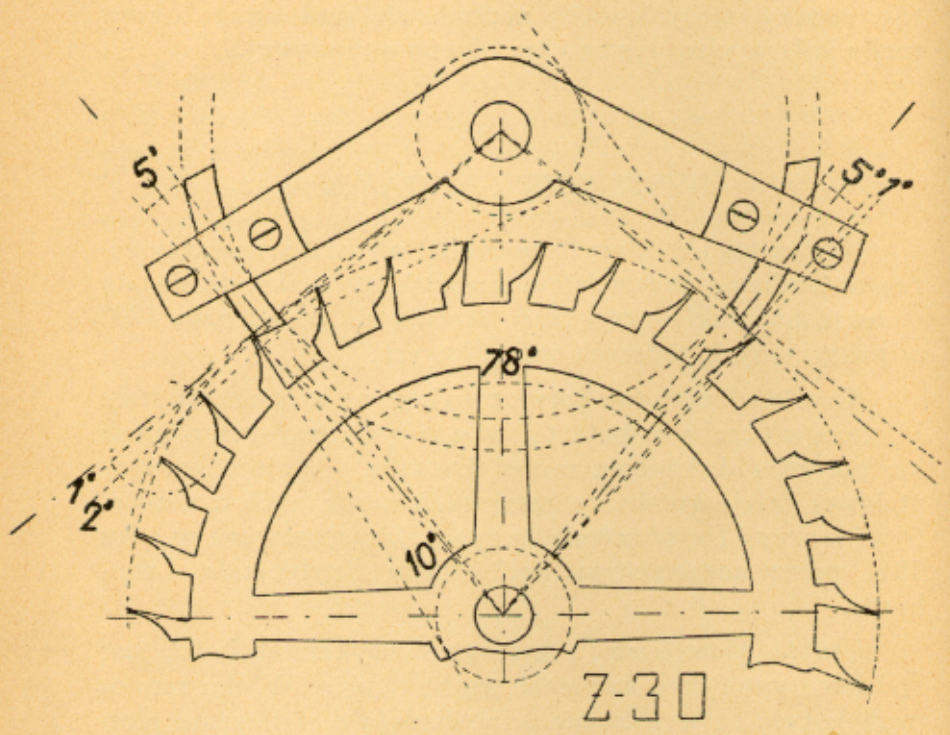
Kotwica. Pierwotne kotwice wykonane były całe ze stali. Ujemną ich cechą było, iż z chwilą zużycia się łapek okazała się potrzeba dorobienia nowej kotwicy. Miejsce kotwicy stalowej zajęła kotwica o ramionach mosiężnych z wsuwanymi łapkami (wyobrażona na rys. 13), zastosowana w roku 1844 przez zegarmistrza berlińskiego Ferdynanda Leonharda.

Łapki. Materiałem, z którego są wykonane łapki, jest stal hartowana oraz kamienie: szafir i rubin. W obu ramionach kotwic są wytoczenia odpowiadające stalowemu pierścieniowi, z którego są wycięte łapki. W celu zapobieżenia samowolnemu wsuwaniu lub wysuwaniu się łapek przytrzymuje się je za pomocą stalowej płytki i śrubek. Szerokość łapek równa się połowie łuku odpowiadającego jednemu zębowi z uwzględnieniem kąta spadu.

Koło wychwytowe. Materiałem służącym do wyrobu kół wychwytowych jest mosiądz lub brąz, przy zegarach nadzwyczaj precyzyjnych stop miedzi ze złotem. Ilość zębów koła wychwytowego bywa różna: 24, 30, 36, 40 nawet 42. Końce zębów koła są ścięte, celem uniknięcia prędkiego zużycia względnie zaginania się. Wielkość pola ściętego równa się 1/20 łuku odpowiadającego jednemu zębowi. Kąt przyciągający (pochyłość zęba w stosunku do promienia koła) wy-

nosi 10—15 stopni. Dzięki pochyłości zęba łapka jest nieznacznie przytrzymywana w czasie trwania spoczynku.

Rozstęp łapek. Na rozstęp łapek kotwicy przypada 6,5 7,5 do 11,5 zęba koła wychwytowego, innymi słowy 1/5—1/3 obwodu koła.



Rys. 13

Konstrukcja, w której na rozstęp łapek przypada $^1/_3$ część obwodu koła, wykazuje najlepsze wyniki w regulacji czasu. Natomiast w konstrukcjach o większym rozstępie łapek chciano zaoszczędzić na sile popędowej, czego jednak w praktyce nie osiągnięto, ponieważ przy większym rozstępie łapek, chcąc uzyskać odpowiednią amplitudę, zwiększa się pochyłość płaszczyzn unośnych, które przez to stawiają większy opór.

Zegar sekundowy. O wyróżnieniu wychwytu Grahama pośród innych konstrukcyj, świadczy liczne zastosowanie wahadła sekundowego w konstrukcji wychwytu Grahama.

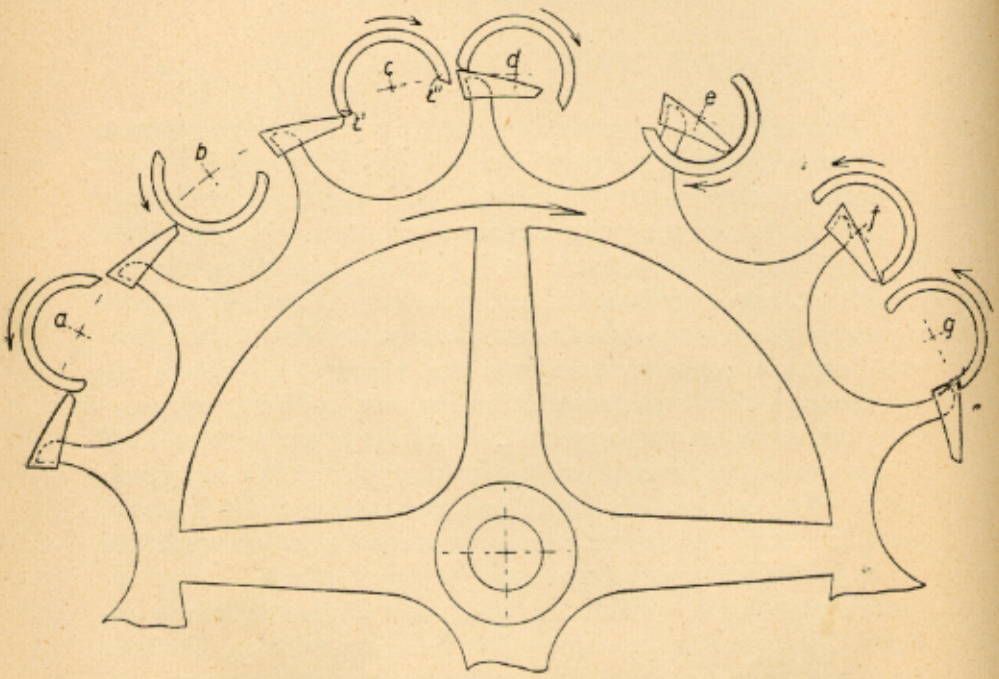
Koło wychwytowe sekundowego zegara prowadzi wskazówkę sekundową, musi więc na minutę wykonać tylko jeden obrót. Biorąc pod uwagę, iż amplituda wahadła sekundowego trwa ściśle jedną sekundę, zatem koło wychwytowe mając 30 zębów poruszy się o jeden ząb naprzód podczas dwóch wychyleń wahadła. Wahania wahadła sekundowego ze względu na jego długość i ciężkość są o małej amplitudzie. Toteż kąt unoszenia wynosi tylko 1 stopień, kąt spoczynku 1/2 stopnia.

WYCHWYT CYLINDROWY

Pierwszeństwo wynalezienia tego wychwytu przypisuje się Tomaszowi Tompionowi (1638—1713). Przydomek „ojciec zegarmistrzowstwa angielskiego", jaki otrzymał, świadczy o jego zasługach na polu zegarmistrzostwa. W jego konstrukcji koło wychwytowe było płaskie a cylinder nie posiadał dolnego wycięcia t. zw. pasażu. Uczeń Tompiona Jerzy Graham powyższą konstrukcję udoskonalił. Jednakowoż szersze rozpowszechnienie tej konstrukcji datuje się dopiero od chwili zastosowanina stalowego kółka wychwytowego, wynalezionego przez Urbana Jurgensa w roku 1815. Używane dotychczas mosiężne koło wychwytowe zużywało się bardzo szybko. Wychwyt jest w kształcie cylindrycznej rurki ze stali. Powierzchnia zewnętrzna oraz wewnętrzna tejże jest gładko wypolerowana. Wycięcie górne i dolne cylindra umożliwia wejście do wnętrza cylindra jednemu zębowi. Na cylindrze osadzony jest balans z włosem. Oś koła wychwytowego oraz oś koła cylindra są ustawione w stosunku do siebie równolegle, w takiej odległości, iż środek płaszczyzny unośnej zęba koła wychwytowego dochodzi do środka osi cylindra.

Rysunek 14 — fragment *a* przedstawia moment przychwycenia zęba przez łapkę wchodową *Ł*. W przeciwieństwie do ruchu koła ruch cylindra odbywa się w kierunku lewym i dochodzi do położenia, przedstawionego pod *b*, gdzie mamy największe wychylenie balansu (amplituda wynosi 90—120 stopni). Fragment *c* przedstawia powrotną drogę cylindra, która odbywa się w kierunku prawym, do momentu rozpoczęcia się uniesienia. Uniesienie nastąpi wpierw przez

zaokrągloną krawędź łapki Ł', która jest płaszczyzną unośną cylindra, następnie ząb wchodzi do środka cylindra, ześlizgując się po grzbiecie płaszczyzny unośnej zęba. Po zakończonym uniesieniu, które wyobraża fragment *d*, nastąpi spad i ząb zostaje przychwycony przez łapkę wychodową Ł", w położeniu tym nie zatrzymuje się, lecz dojdzie do położenia przedstawionego pod *e*, który pokazuje największe wychylenie balansu. Powrotny ruch cylindra w lewą stronę doprowadzi cylinder do położenia wyobrażonego pod *f*,



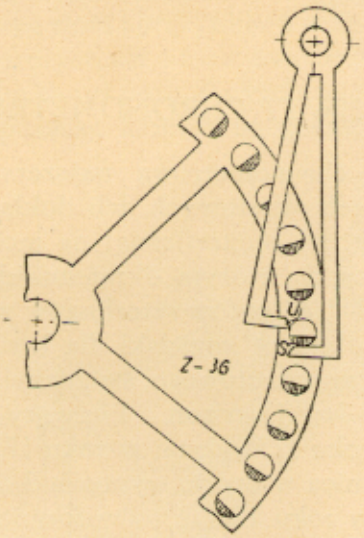
Rys. 14

a więc do uniesienia cylindra przez łapkę wychodową. Zakończenie uniesienia przedstawia fragment g. Po uniesieniu nastąpi spad i ząb zostanie przychwycony przez łapkę wchodową. Opis dalszej czynności wychwytu jest zbyteczny, bowiem czynność ta została już przy fragmencie *a* opisana.

Silny ruch zegarka może spowodować większe wychylenie balansu, które jednak zostaje wstrzymane przez zatyczkę odrzutową. W razie jej braku balans wykonałby cały obrót a tym samym ruch balansu zostałby zahamowany.

WYCHWYT NOŻYCOWY

Wychwyt nożycowy przedstawiony na rys. 15 znalazł zastosowanie w zegarach wieżowych. Koło wychwytowe posiada w miejsce zębów na obręczy wystające w pozycji pio-



Rys. 15

nowej polerowane stalowe kołki, które do ⅓ części są spiłowane. Dodatnią stroną typu koła wyżej opisanego jest taniość produkcji. Duża ilość zębów tego koła (60 i więcej), umożliwia zredukowanie kół do mniejszej ilości. Wychwyt osadzony na boku koła wychwytowego, posiada ramiona rozstawione w kształcie nożyc, stąd nazwa tego wychwytu. Na końcu ramion wychwytu w prostopadłym położeniu znajdują się łapki, których płaszczyzna unośna jest ukośna. Unoszenie kotwicy ułatwia również zaokrąglona forma zęba a więc tarcie rozłożone jest na większą płaszczyznę, która nie ulega szybkiemu zużyciu, jak przy zębach kół wychwytowych, gdzie pracuje bardzo krótka płaszczyzna. Płaszczyzna spoczynkowa łapki, na którą ząb spada, jest koncentryczna do osi kotwicy.

Oprócz powyżej opisanej konstrukcji wychwytowej, szerokie zastosowanie w zegarach wieżowych znalazła również konstrukcja wychwytowa Jana Mannhardta. Pierwszy zegar konstrukcji Mannhardta został umieszczony w ko-

ściele protestanckim w Monachium w roku 1833. W tej konstrukcji zasługuje na uwagę brak widełek przenoszących siłę popędową na wahadło. Wahadło otrzymuje impuls bezpośrednio, łapki bowiem osadzone są na drążku wahadłowym. Typ koła wychwytowego jest ten sam, co przy wychwycie nożycowym.

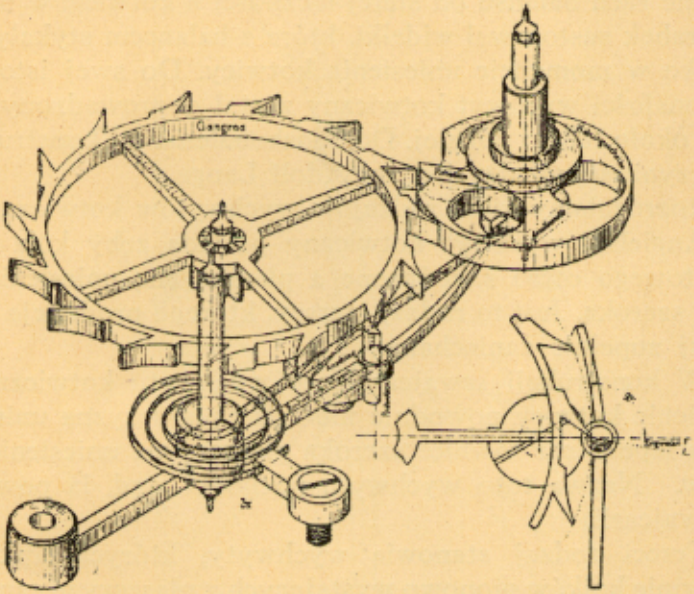
WYCHWYT CHRONOMETROWY

Konstrukcja chronometrowa najszersze zastosowanie znalazła w zegarach okrętowych. Ich dokładność umożliwia wyznaczenie długości geograficznej na morzu, tym samym określania miejsca, w którym okręt znajduje się w danej chwili. Nagroda 20 000 funtów szterlingów wyznaczona w roku 1714 przez parlament angielski dla konstruktora najdokładniejszego zegara okrętowego, świadczyła o ich potrzebie. Nagrodę zdobył Jan Harrison. Pierwszy zegar okrętowy zbudował on w roku 1735, drugi w roku 1739, trzeci w roku 1741, którego różnica w czasie wynosiła 3—4 sekund tygodniowo, czwarty w roku 1761, i to w formie dużego zegarka kieszonkowego. Pomimo tak doskonałych wyników w regulacji czasu, konstrukcja Harrisona nie znalazła szerszego zastosowania. Podstawową konstrukcją dzisiejszych chronometrów jest konstrukcja Piotra Le Roya z roku 1748. Konstrukcje chronometrowe Ferdynanda Berthouda, jak również jego bratanka Ludwika Berthouda, następnie Jana Arnolda, Tomasza Earnshava i zegarmistrza duńskiego Urbana Jurgensena są właściwie udoskonaleniem konstrukcji P. Le Roya.

Rysunek 16 przedstawia szwajcarski wychwyt chronometrowy. Oprócz powyższej konstrukcji mają zastosowanie również inne rodzaje konstrukcji chronometrowych, jednak działalność ich wszystkich polega na tej zasadzie, iż balans otrzymuje impuls tylko w jednym kierunku swego odchylenia.

W konstrukcji chronometrowej, przedstawionej na załączonym rysunku, impuls, jaki balans otrzymuje, następuje wówczas, gdy kamień wystający z rolki zwalniacza, naciskając na złotą sprężynkę, uniesie kotwicę o tyle, ile ząb koła chronometrowego opuści kamień spoczynkowy. W tym mo-

mencie następuje spad pod kątem 5 stopni i ząb koła chronometrowego zostaje przychwycony przez kamień unoszeniowy. Ząb naciskając nań unosi go pod kątem 40 stopni. Ponieważ osadzony jest na tej samej osi co i balans, uniesienie jego jest zarazem impulsem dla balansu. W międzyczasie zwalniacz opuszcza złotą sprężynkę i kamień spoczynkowy — pod wpływem sprężystości włosa, osadzonego na kotwicy — opiera się o śrubę dotykową. Z chwilą kiedy ząb koła chronometrowego opuszcza kamień unoszeniowy, nadchodzący



Rys. 16 (wykonał prof. Alois Irk)

ząb koła spoczywa na kamieniu spoczynkowym. W drodze powrotnej balansu kamień wystający z rolki zwalniacza nieznacznie unosi złotą sprężynkę. Powstały z tego powodu opór jest tak nieznaczny, że nie wpływa na wielkość amplitudy balansu.

Wychwyt chronometrowy zastosowany w zegarku noszonym ma tę ujemną cechę, iż nieopowiedni ruch zegarkiem może spowodować większe wychylenie balansu (ponad jeden obrót). Następstwem będzie uniesienie kotwicy i poruszenie się koła chronometrowego o jeden ząb naprzód, przez co zegarek przyspiesza. Ażeby zegary okrętowe nie brały udziału w wahaniach okrętu, wiesza się je w pierścieniach Cardana (od nazwiska wynalazcy).

WYCHWYT KOTWICZNY — ANKROWY

Pierwszeństwo wynalezienia tejże konstrukcji przypisuje się Thomasowi Mudgemu w roku 1760. Jego konstrukcja jest właściwie definicją wynalazku ks. Hautefeuille. Ten ostatni w swojej konstrukcji zastosował wychwyt Grahama. Przenoszenie siły popędowej na balans odbywało się za pomocą grabek umocowanych na kotwicy. Ząbki grabek chwytały tryb osadzony na osi balansowej. Tomasz Mudge, ażeby uwolnić ruch balansu od stałej łączności z kotwicą, w miejsce grabek zastosował widełki, które z balansem stykały się li tylko w momencie uniesienia kotwicy. Do swej istotnej doskonałości wychwyt kotwiczny został doprowadzony dopiero około 100 lat później. Do udoskonalenia tej konstrukcji przyczynił się między innymi Adolf Lange.

Rozróżniamy kilka rodzajów wychwytów kotwicznych.

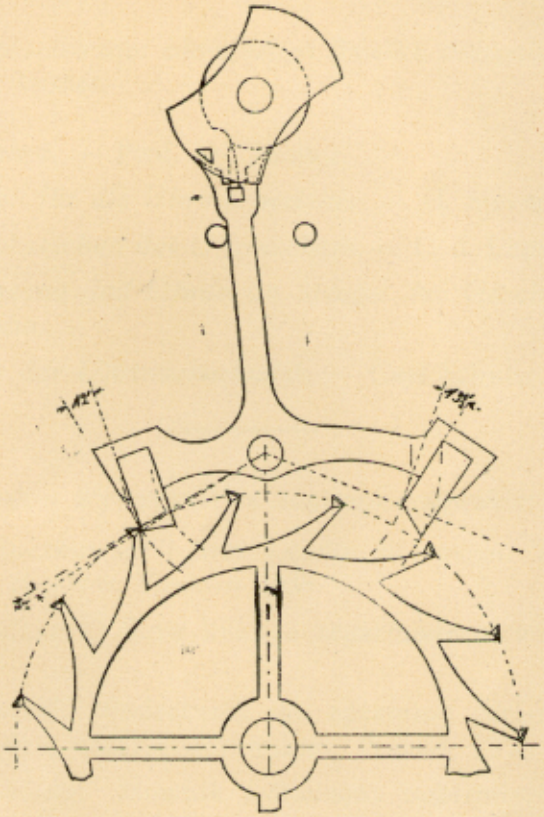
Angielski wychwyt kotwiczny posiada zęby koła wychwytowego ostro zakończone a płaszczyznę uniesieniową łapek szeroką. Jest to rodzaj starszy, którego produkcja jest dzisiaj zupełnie zaniechana.

W konstrukcji szwajcarskiego wychwytu kotwicznego uniesienie kotwicy powoduje nie tylko płaszczyzna uniesieniowa łapek, lecz również szeroka płaszczyzna uniesieniowa zębów. Nazwa tego wychwytu pochodzi stąd, iż powstał w Szwajcarii.

Trzeci rodzaj stanowią wychwyty, których łapki są we formie kołków pionowo wystających z płaszczyzn ramion kotwicy. Uniesienie kotwicy następuje przede wszystkim przez szeroką płaszczyznę uniesieniową koła wychwytowego. Płaszczyzna uniesieniowa łapek jest bardzo mała. Wychwyty tego rodzaju najszersze zastosowanie znalazły w tańszych budzikach.

Rysunek 17 przedstawia szwajcarski wychwyt kotwiczny. Na uwagę w tej konstrukcji zasługują ramiona kotwicy, mian. ramię wychodowe jest dłuższe od ramienia wchodowego. Przy kotwicach o równych ramionach odstęp płaszczyzny spoczynkowej łapki wchodowej od osi kotwicy jest większy od odstępu płaszczyzny spoczynkowej przy łapce wychodowej. Dlatego balans, chcąc wyprowadzić kotwicę z położenia spoczynku, napotyka przy łapce wchodowej na większy opór, przez co wychylenie balansu w tym kierunku

jest mniejsze a więc nie-izochroniczne. Poza tym na uwagę zasługuje ukształtowanie płaszczyzny spoczynkowej kotwicy. Nie jest ona koncentryczna do osi kotwicy (jak przy wychwycie Grahama), lecz pochylona przy łapce wchodowej pod kątem 12 stopni, przy łapce wychodowej pod kątem 13,5



Rys. 17

stopni. Wspomniana powyżej pochyłość płaszczyzny spoczynkowej ma za zadanie silnie przytrzymać kotwicę podczas trwania spoczynku. Przez to nawet silny wstrząs zegarkiem nie jest w stanie zmienić położenia widełek, które przylegają do kołków, pionowo wystających z płyty mechanizmu.

L I T E R A T U R A

Przy opracowaniu niniejszego dziełka czerpałem z następujących źródeł:

Uhrenlehre. — Prof. W. Sander.

Leitfaden für die Uhrmacherlehre. — H. Sievert.

Das Fachzeichen des Uhrmachers. — C. J. Linnartz.

Zeitmessung und Uhren im Spiegel der Geschichte. — M. Engelmann.

Lexikon der Uhrmacherkunst. — Carl Schulte.

Polskie wydawnictwa zegarmistrzowskie:

Kazimierz Buczkowski i Brat Teodor Wrzesień: Wystawa starych zegarów, Kraków 1938.

Franciszek Czapek: Słów kilka o zegarmistrzostwie, Lipsk 1850.

Michał Nowicki: Podręcznik dla egzaminu czeladniczego w zawodzie zegarmistrzowskim, Poznań 1930.

Tadeusz Pawlicki: Słownik techniczny zegarmistrzowsko-jubilerski, Poznań 1926.

Franciszek Skwara: Zegarmistrzostwo. Z cyklu: Książki dla wszystkich.

Dr Wierzbicki: O zegarach słonecznych i sposobach ich urządzania, Kraków 1886.

„Złotnik i Zegarmistrz" — miesięcznik fachowy — Poznań, wychodzi od r. 1934.