

Wychwył zegara

– kwintesencja mechaniki

Profesor Zbigniew Głowacki z Politechniki Poznańskiej na egzaminie z materiałoznawstwa pytał studentów o to, jak działa np. radio. Twierdził, że nie może tak być, aby inżynier przechodził koło skrzynki, która mówi i nie wiedział, dlaczego tak się dzieje. Zegary mają znacznie dłuższą historię niż radio, a wewnątrz skrywają skomplikowane mechanizmy. Niektóre z tych mechanizmów zostały użyte z powodzeniem także w innych maszynach.

Aleksander Łukomski

Zegary towarzyszą nam od początku dziejów. Początkowo były to zegary słoneczne, także klepsydry i zegary wodne. Miały one szereg niedogodności i nie były zbyt dokładne.

W III wieku p.n.e. Grek Ktesibios z Aleksandrii skonstruował udoskonalony zegar wodny, w którym dzięki zastosowaniu samoczynnego regulatora i układowi trzech naczyń przepływu wody uzyskał stałą, równomierną prędkość jej przepływu. W zegarze tym woda wlewała się do naczynia, w którym znajdował się pływak, podnoszący się wraz z jej poziomem. Na pływaku była figurka, która wskazywała na obracającym się bębnie odpowiednią godzinę. Ktesibios zamontował w swoim zegarze dźwiękową i wizualną sygnalizację upływu godzin, uruchamianą za pomocą skomplikowanego mechanizmu złożonego między innymi z kół zębatach, których, być może, użył jako pierwszy konstruktor w historii. Co ciekawe, konstrukcja ta powstała głównie dla określania równego czasu występowania oskarżyciela i obrońcy w procesach sądowych.

Innym bardzo ciekawym zegarem wodnym, już współczesnym, jest zegar w centrum handlowym Europa-Center w Berlinie. Warto wybrać się tam, choćby tylko z powodu tego zegara. Zaprojektowany i zainstalowany przez Francuza Bernarda Gittona w 1982 r., jest on zegarem

wodnym z wahadłem. Ustawiony w pionie ma wysokość trzynastu metrów. Jest wykonany ze szkła, z mnóstwa rur, rurek, kul i naczyń. Przelewająca się wieloma rurkami i kulami żółtawa ciecz umożliwia śledzenie obiegu wody. Trzydzieści spłaszczonych kul wskazuje minuty – każda kula wypełnia się cieczą w ciągu dwóch minut, co po trzydziestu napełnieniach daje 60 minut, czyli godzinę. Wtedy wypełnia się jedna z dwunastu większych kul – godzinowych. Dwa razy na dobę, o godzinie pierwszej i trzynastej, wszystkie kule się opróżniają i cykl rozpoczyna się od nowa.

Od najdawniejszych czasów doceniano dokładność czasomierzy, toteż żadnej maszynie uczeni i wynalazcy nie poświęcili tyle badań i doświadczeń co zegarowi. Wynikiem tych działań było wynalezienie na przełomie pierwszego i drugiego tysiąclecia zegara kołowego. Większość historyków uważa, że pierwszy zegar kołowy z wychwytem, czyli hamulcem łopatkowym, zbudował mnich benedyktyński Gerbert, w roku 1000. Był znakomitym uczonym, matematykiem, fizykiem i mechanikiem; późniejszym papieżem Sylwestrem II.

Historia zegarów mechanicznych, a zwłaszcza ich upowszechnienia datuje się w zasadzie od XIII wieku. Później 350 lat trwał rozwój zegarów, od wahadła w 1581 roku do zegara kwarcowego.



Fot.1 Ogólny widok mechanizmu zegara ściennego

W roku 1949 powstał jeszcze precyzyjniejszy zegar atomowy, zbyt drogi dla powszechnego użytkownika. Jego dokładność jednak rzadko bywa potrzebna w codziennym życiu.

Najdokładniejszy zegar na świecie skonstruowali polscy naukowcy. To zegar pulsarowy, który oddano do użytku w 2011 roku. Wykorzystano do tego charakterystyczne tętnienie pulsarów, a właściwie głównie jednego z nich, położonego kilka tysięcy lat świetlnych od Ziemi, oraz pięciu innych, o słabszym sygnale. Mechanizm zegara stanowią anteny i urządzenia znajdujące się na dachu i w wieży kościoła św. Katarzyny w Gdańsku. Tarcza, czyli 40-calowy monitor, umieszczona została w Parlamencie Europejskim w Brukseli, z okazji obchodów czterechsetnej rocznicy urodzin Jana Heweliusza.

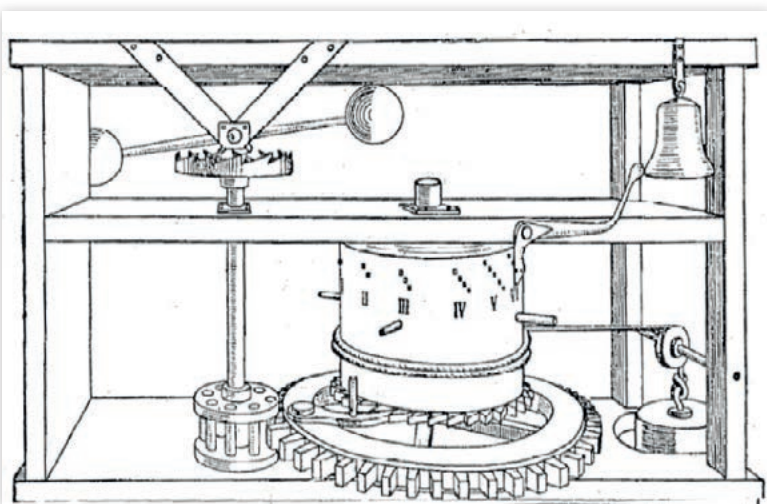
W zegarach atomowych skala czasu jest niepowiązana bezpośrednio z żadnym zjawiskiem fizycznym i dlatego co jakiś czas koryguje się czas atomowy do stanu nieba. Natomiast pulsary są powiązane z przyrodą. Sygnał z anten, poprzez filtry cyfrowe i wzmacniacze, jest kierowany do komputera, który następnie ten sygnał obrabia.

Pulsy z poszczególnych pulsarów umożliwiają obliczenie sekundy. Odbywają się bardzo skomplikowane obliczenia matematyczne, uwzględniające ruch ziemi. W efekcie uzyskuje się najdokładniejszy czas na ziemi i do tego powiązany z przyrodą.

Do działania zegara potrzebne jest źródło energii, która musi być uwalniana stopniowo i regularnie. W zegarach mechanicznych źródłem energii może być siła sprężystości lub grawitacja, a więc sprężyna lub ciężarki (wagi) zawieszona na linkach lub łańcuchach. Sprężyna rozwija się lub ciężarek opada i w ten sposób wprawia koła zębate w ruch obrotowy. Dzieje się to do czasu prawie całkowitego wykorzystania energii sprężyny lub odkręcenia ciężarka do końca linki. Po-

tem, aby cykl mógł się powtórzyć, należy sprężynę nakręcić lub ciężarek nawinąć w górę.

Do pracy zegara potrzebne są jeszcze inne mechanizmy np. regulatory, które sprawiają, że energia potencjalna przemieniana jest stopniowo w kinetyczną. Dzieje się to poprzez uwalnianie i blokowanie obrotu kół zębatych mechanizmu, a w konsekwencji – ruchu wskazówek. W początkach budowy zegarów regulatorem było ramię zamontowane poziomo oraz kolebnik. Zawieszanie na końcach ramienia ciężarków w określonej odległości od jego środka powodowało regulację. Rozwiązanie to nie było dokładne i z czasem zostało zastąpione wahadłem, używanym do dziś. Wahadło cechuje izochronizm wahadła, czyli zasada fizyki mówiąca, iż okres wahań jest zawsze identyczny. Właściwość ta dotyczy układów drgających i polega na zachowywaniu stałego okresu drgań, niezależnie od zmian amplitudy wahań dla małych kątów wychyleń. Izochronizm stanowi ważną cechę regulatora chodu mechanizmów zegarowych. Regulator, którego wahnięcia występują w idealnie równych odcinkach czasu, bez względu na wielkość wychylenia tych wahnięć, jest izochroniczny.

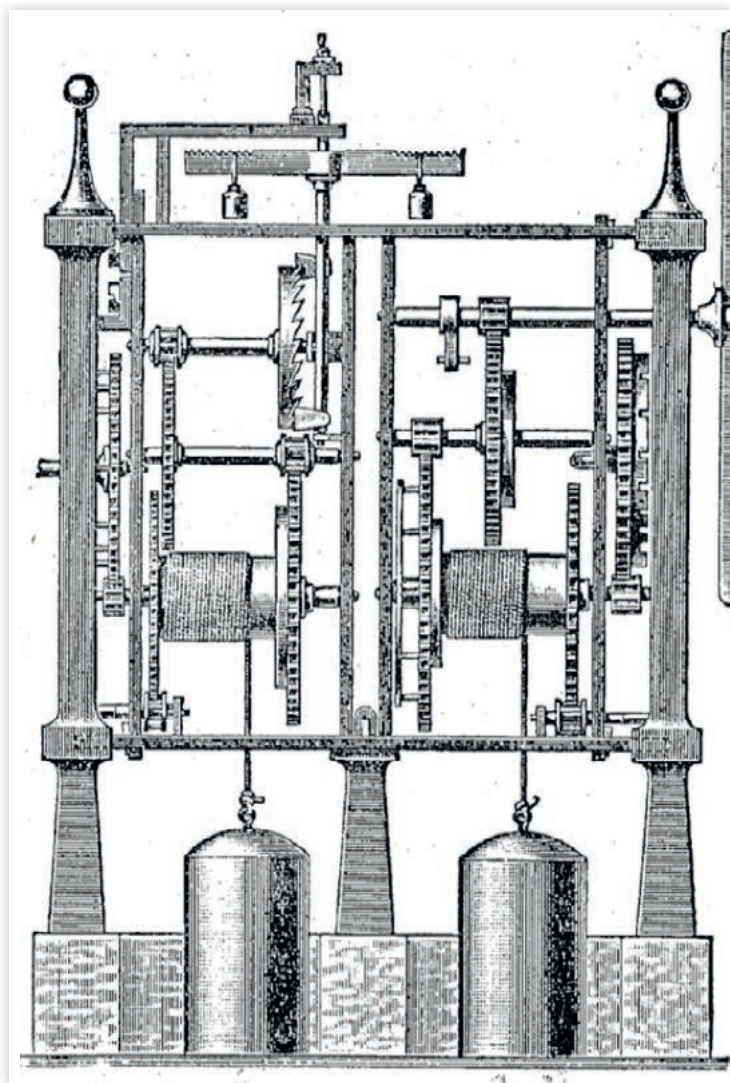


Rys. 1 Pierwszy zegar mechaniczny kołowy

Kolejne wahnięcia kołyszącego się wahadła będą mniej wychylone, na mniejszą wysokość, jednak czas każdego wahnięcia będzie taki sam.

Podczas rozwoju zegarów w wahadle zmieniły się tylko techniki jego wykonania, długość i masa. Znaczące zmiany za to dotyczyły wychwyty, czyli elementu zegara, w którym bezpośrednio blokowane i uwalniane są koła zębate, np. przez kotwicę poruszaną przez wahadło. Zegar z takim mechanizmem zawsze musi być w określonym położeniu, nie można go poruszać, a wszelkie zmiany pozycji od razu wpływają na dokładność chodu. Tak więc, rozwiązanie to może być stosowane w zegarach stacjonarnych: wieżowych, stojących, ściennych, czy kominkowych.

W zegarkach naręcznych regulatorem jest koło balansowe z włosiem balansowym. Rozwiązanie polega na zamontowaniu w mechanizmie kółka balansowego z metalowym spiralnym „włosem”, zaczepionym jednym końcem na osi kółeczka, a drugim do elementu stałego np. korpusu. Włos swą energią sprężystości będzie obracać kółeczkiem na zmianę, w lewo i w prawo. Przy osi zamontowany jest bolec, który porusza w obie strony małą kotwicą z widełkami, które bezpośrednio uwalniają i wstrzymują ruch kół zębatych mechanizmu. Rozwiązanie to jest bardziej delikatne, a także wrażliwe na zmiany dostarczanej energii oraz temperaturę. Nie nadaje się także do zastosowania w zegarach, w których występują większe siły np. w zegarach wieżowych.

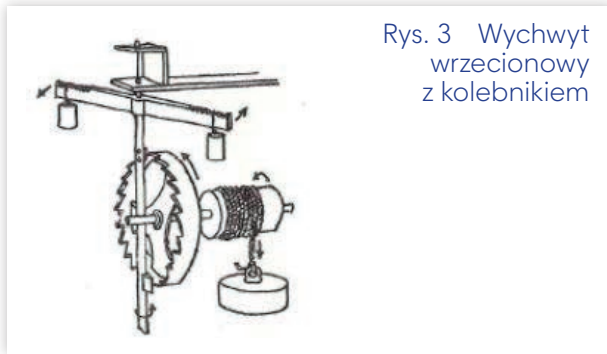


Rys. 2 Paryski zegar wieżowy zbudowany ponad sześćset lat temu

W zegarach elektronicznych i kwarcowych źródłem energii jest silniczek elektryczny, który działa w taktcie narzucanym mu przez mikroprocesor i taktowany jest częstotliwościami kwarcu.

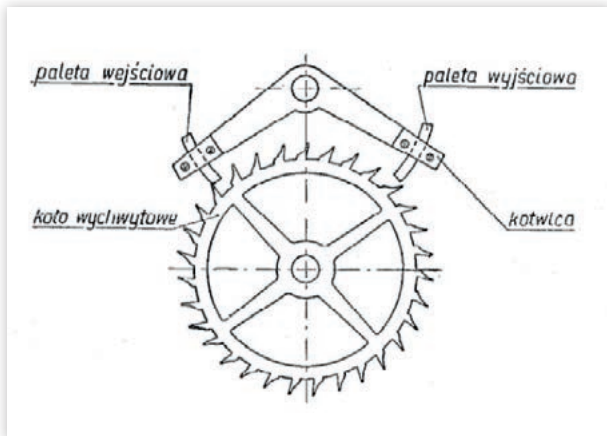
Wychwyt reguluje i hamuje obrót kółek. Jest to najbardziej skomplikowana i ważna część zegara, dlatego w każdej epoce starano się o jego ulepszenie. Najstarszym wychwytem jest wychwyt łopatkowy (wrzecionowy, szpindłowy, spindelgang), nazwany tak od dwóch zębów w kształcie łopatek, wystających z osi wychwytowej. Wychwyt ten był używany w zegarach przez kilka wieków i dopiero w XIX wieku został zastąpiony przez wychwyt cylindrowy, czyli walcowy i wychwyt kotwiczny, czyli ankrowy.

Istotą wszelkich zegarów jest stałe taktowanie, czyli uzyskanie czasowej częstotliwości.



Rys. 3 Wychwyty wrzecionowy z kolebnikiem

W zegarach mechanicznych służy do tego regulator, którym jest wspomniane wcześniej wahadło lub balans z włosiem, a w dzisiejszych komputerach procesor z zegarem np. 2,3 GHz lub 3 GHz, co znaczy, że w ciągu sekundy odbywają się 3 mld taktów (cykli). Takie wielkości potrzebne są np. w nawigacji. Im dokładniejszy pomiar cza-



Rys. 4 Wychwyty Grahama – jedno z prostszych rozwiązań wychwyty

su tym dokładniejsze jest określenie położenia geograficznego potrzebnego zarówno w nawigacji samochodowej jak i w nawigacji morskiej, nie mówiąc już o eksploracji kosmosu. Każdy komputer, tablet czy smartfon pracuje według stałego taktowania.

Wychwyty jest to mechaniczne urządzenie napędowe regulatora. To element mechanizmu zegarowego, który spełnia dwie funkcje:

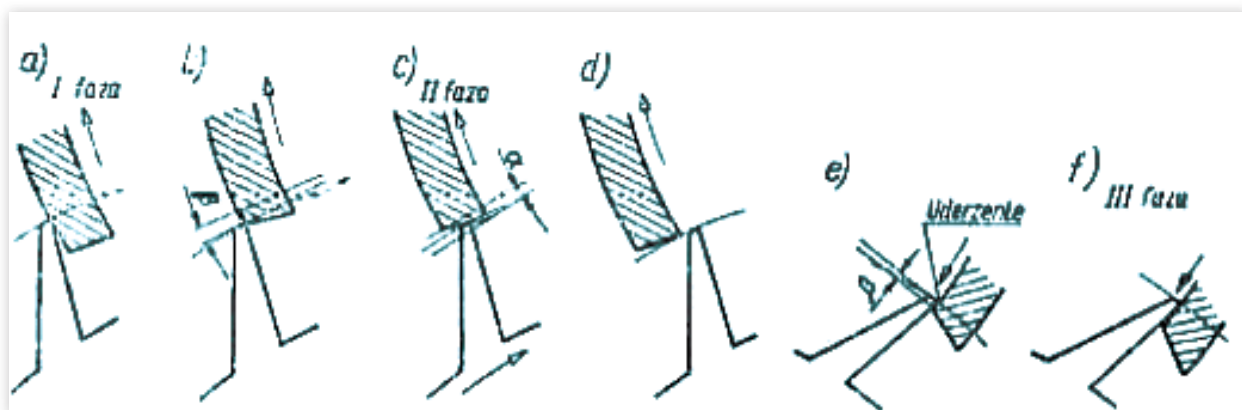
- kontroluje ruch przekładni chodu poprzez blokowanie i zwalnianie obrotu koła wychwytyowego o stały kąt w jednostce czasu, równej jednemu impulsowi – tzn. wahnięciu wahadłowego lub balansowego regulatora chodu i zliczanie w ten sposób jego wahnięć,
- przekazuje do regulatora chodu energię mechaniczną ze źródła napędu, otrzymaną za pośrednictwem przekładni chodu, od sprężyny lub obciążnika, i w ten sposób podtrzymuje jego ruch.

Wychwyty składa się z koła wychwytyowego, napędzanego przez przekładnię chodu, i z kotwicy, która poprzez urządzenie pośredniczące, np. widełki i palec przerzutowy lub inne, współpracuje z regulatorem. Na obwodzie koła wychwytyowego są zęby lub kołki, które zazębiają się z paletami kotwicy. Kotwica jest dźwignią dwuramienną, choć niekiedy zdarzają się także kotwice jednoramienne. W dwuramiennej ząb koła wychwytyowego ześlizguje się kolejno po ukośnych powierzchniach impulsu obu palet i w ten sposób przechyla kotwicę, raz w jedną raz w drugą stronę. Gdy regulator (wahadło) znajdzie się w pobliżu położenia równowagi, kotwica uwalnia oparty o paletę ząb koła wychwytyowego i następuje uwolnienie. Następnie ząb ten ślizga się po powierzchni impulsu palety i naciskając na nią udziela impulsu regulatorowi. Po opuszczeniu powierzchni impulsu pracujący ząb jest wolny (tzw. odpad). Druga paleta wsunęła się w tym czasie między dwa inne zęby, z których jeden spada na nią (tzw. spad) i po oparciu się o nią zatrzymuje koło wychwytyowe (tzw. spoczynek).

Regulator podąża jednak naprzód, więc kotwica przechyla się jeszcze nieco dalej w tym samym kierunku, a więc i paleta zagłębia się jeszcze bardziej we wrąb koła wychwytyowego. Jest to droga stracona



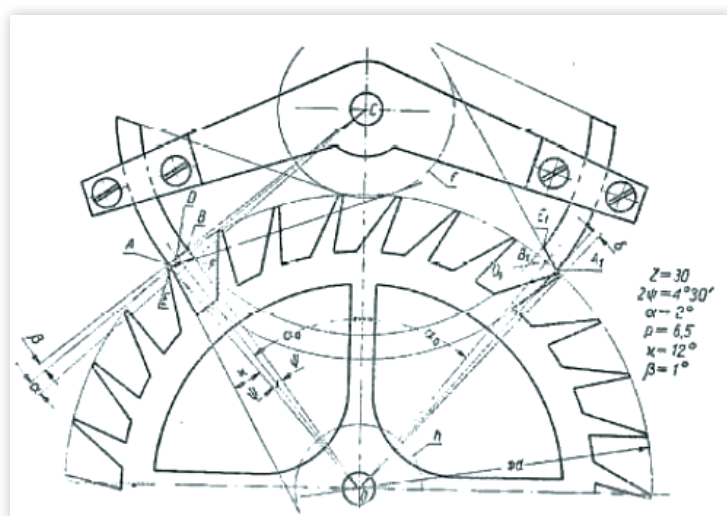
Fot. 2 Konstrukcja wychwyty Grahama wraz z elementem zawieszenia wahadła



Rys. 5 Fazy działania wychwyty Grahama

i ruch uzupełniający. Po czym regulator zawraca, następuje nowe uwolnienie i cykl się powtarza.

Fazy działania wychwyty pokazuje rysunek 5. Po stronie lewej, czyli wejściowej (faza I), są dwie powierzchnie, boczna i dolna, nazywana tu powierzchnią impulsu. Impuls przekazuje energię regulatorowi. Czas trwania impulsu (fazy II) to czas ślizgania się górnej powierzchni zęba po powierzchni impulsu palety. Jak ząb koła uderza o powierzchnię boczną prawej palety (III faza), to słychać tiknięcie i następuje przekazanie energii wahadłu. Jak wiadomo, każda akcja wywołuje reakcję, więc skoro jest uderzenie, to musi być siła przekazana na kotwicę. Przy tiknięcu, gdy ząb uderza w lewą paletę, to siła zatrzymuje koło i tu występuje tracona energia. Wahadło zawieszane jest elastycznie na zawieszce, z luzem między ramieniem kotwicy i ciągnem wahadła, tak by kotwica nie prowadziła wahadła, a jedynie przekazywała impulsy.



Rys. 6 Geometria wychwyty Grahama

Ze względu na sposób działania wychwyty dzieli się na cofające, spoczynkowe i wolne. Najstarszymi z nich są wychwyty cofające. Nazwane są tak dlatego, że w pewnej fazie okresowego ruchu regulatora nacisk palety powoduje lekkie cofanie koła wychwytyowego. Wychwyty te cechują się stosunkowo małą dokładnością. W wychwytach cofających i spoczynkowych przesuwanie się palety po zębach koła wychwytyowego (i związane z tym działanie siły tarcia) trwa przez stosunkowo długi czas, podczas gdy w wychwytach wolnych czas ten jest zminimalizowany do bardzo krótkiego impulsu.

Konstruowanie wychwyty zaczyna się od wykreślenia prostej poziomej, z której w punkcie O wystawia się prostopadłą OC (Rys. 6). Zakłada się średnicę zewnętrzną koła wychwytyowego d i zakreśla się koło o promieniu $d/2$ z punktu O w obranej skali, Rysunek wykonuje się w dużym powiększeniu. Następnie zakłada się rozwarcie kotwicy p podziałek koła wychwytyowego, gdzie p jest liczbą całkowitą, powiększoną o 0,5 (zwykle $p = 6,5$ do 11,5). Oblicza się kąt rozwarcia palet kotwicy na kole wychwytyowym:

$$2\alpha_0 = \frac{360}{z} p$$

gdzie: z – liczba zębów koła wychwytyowego; najczęściej stosuje się liczby zębów z : 24, 30, 36, 40, 42.

Od prostej OC odmierza się w obie strony symetryczne kąty α_0 . Przez punkty D i D_1 przecięcia się ramion kątów z kołem wierzchołków koła wychwytyowego kreślimy styczne do tego koła.

Punkt C przecięcia się stycznych z prostą OC jest osią obrotu kotwicy.

Dalej jest mnóstwo obliczeń, zarówno sprawdzających założenia geometryczne, np. kąt szerokości palet, kąt impulsu itd., jak i kinematycznych oraz wytrzymałościowych. Drobnym fragmentem początku projektowania mechanizmu zegarowego zamieszczono tu dla zorientowania się jak wielka wiedza jest potrzebna dla wykonania konstrukcji wychwyty i całego zegara. Przytoczenie w artykule całego toku projektowania mechanizmu zegarowego, czy choćby tylko wychwyty, nie jest możliwe, ze względu na obszerność tych zagadnień.

Wiedzę na temat mechanizmów zegarowych można uzyskać z opracowań polskich wybitnych znawców budowy zegarów: „Mechanizmy zegarowe” prof. Zdzisława Mrugalskiego, który w wyczerpujący sposób opisał reguły fizyczne

oraz zamieścił bardzo dużo wzorów matematycznych do wszelkich obliczeń mechanizmów zegarowych; także z prac zakonnika, brata Wawrzyńca Podwapińskiego z klasztoru w Niepokalanowie, który napisał ogromne 14-tomowe dzieło, „Zegarmistrzostwo” (chyba jedyne na świecie, które w tak kompleksowy sposób obejmuje wiedzę o mechanizmach zegarów). Zwłaszcza w średniowieczu konstrukcje zegarów powstawały w klasztorach, które były w tamtym czasie ośrodkami badawczo-rozwojowymi, nie tylko mechaniki. Również w książce „Polskie zegary” Wiesławy Siedleckiej można znaleźć bardzo ciekawe omówienia historii zegarów oraz rozwiązań konstrukcyjnych ich mechanizmów. Z dzieł tych bardzo drobne fragmenty i rysunki wykorzystano w tym artykule.

Aleksander Łukomski

•REKLAMA

Reklama w internecie

Zapraszamy do reklamy na naszych stronach internetowych www.konstrukcjeinzynierskie.pl

Oferujemy różne możliwości promocji:

- banery internetowe
- artykuły reklamowe
- informacje o nowych produktach
- reklamy przy wybranych artykułach
- działania w całym serwisie lub na wybranych podstronach

więcej informacji:
reklama@konstrukcjeinzynierskie.pl
 tel. +48 22 402 36 10
 +48 606 416 252

Przy zamówieniu reklamy w czasopiśmie oferujemy bardzo korzystne rabaty na reklamę w internecie.



The screenshot shows the website interface with a navigation bar at the top containing 'STRONA GŁÓWNA', 'AKTUALNOŚCI', 'ARTYKUŁY', 'CZASOPISMO', and 'KALENDARZ WYDARZEŃ'. The main content area features several articles and advertisements:

- METAL W PNEUMATYCZNYM:** Advertisement for 'System V-Lock - manipulatory pod kontrolą' and 'Klocki'.
- WIADOMOŚCI:** Section for 'W NAJNOWSZYM WYDANIU MAGAZYNU' and 'NOWE PRODUKTY'.
- Articles:**
 - 'Polimerowy silnik z chłodzeniem bezpośrednim'
 - 'Mikrorobot od stopach gekona'
 - 'Materiały piezoelektryczne drukowane w 3D'
- AKTUALNOŚCI:** Article titled '„Metalowe drewno” lżejsze od tytanu' discussing advanced materials.
- WYDARZENIA:** Article titled 'INNOFORM po raz trzeci' about a trade fair.
- Szkolenie Design for Manufacturing:** Advertisement for a training course.
- XXVIII Konferencja PEMINE:** Advertisement for a scientific conference.
- SONDA:** Article titled 'Artykuł na życzenie internautów z najnowszego wydania magazynu'.
- NAJBLIŻSZE WYDARZENIA:** List of upcoming events like 'INNOFORM' and 'AGROTECH'.