

Śledziński, Michał / Branowski, Bogdan

Historia rozwoju sprężyn

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 44/2, 107-122

1999

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



Bogdan Branowski, Michał Śledziński
(Poznań)

HISTORIA ROZWOJU SPRĘŻYN*

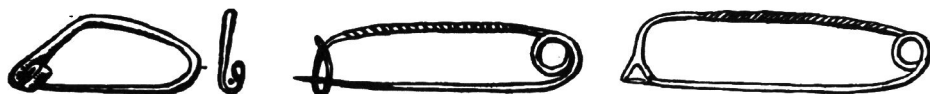
Sprężyny są grupą elementów konstrukcyjnych, służących do przejmowania i przekazywania sił przy stosunkowo znacznych odkształceniach. Właściwości te uzyskiwane są przez dobór odpowiednich kształtów i stosowanie specjalnych materiałów. Sprężyny nadają się szczególnie do magazynowania energii sprężystej i wykonywania pracy mechanicznej, znajdując wielostronne zastosowanie w budowie maszyn i przyrządów jako: elementy pomiarowe, drgające, tłumiące, ustalające, łożyskujące oraz magazynujące energię.

Ludzkość od zarania dziejów starała się wykorzystywać siły i prawa natury, toteż człowiek nierzadko próbował wykorzystywać także siły sprężyste do wykonywania pracy. To dążenie człowieka jest prawie tak stare, jak sama ludzkość. W nowoczesnej technice termin „sprężyna” kojarzy się prawie zawsze ze stalą lub innymi tworzywami metalowymi, jednak pierwsze sprężyny były wykonywane z drewna. Człowiek pierwotny obserwując gałęzie drzew zauważył zapewne, że drewno sprężynuje, a wkrótce nauczył się zjawisko to wykorzystywać do różnorodnych celów.

Za najstarszą postać sprężyny uważa się sprężysty drewniany łuk, który jak wykazały wykopaliska grotów strzał znany już był w początkach epoki kamiennej (około 4500 r. p.n.e.). Pierwsze wykopaliska łuków pochodzą jednak dopiero z 4. do 5. wieku p.n.e. Łuki o długości 1,50 m wykonane z drewna cisowego zostały znalezione w budowli na palach nad jeziorem w okolicach Robenhausen w Szwajcarii.

* Autorzy pragną w tym miejscu podziękować Panu Prof. dr hab. T.M. Nowakowi za cenne uwagi na temat pracy.

Sprężyny można traktować jako jedne z najstarszych elementów konstrukcyjnych. Przy zastosowaniu produktów roślinnych i zwierzęcych (drewno, ścięga, włosy, skóra) budowano różnorodne urządzenia i maszyny. Z roku około 1000 p.n.e. pochodzą drewniane sprężyny o kształcie kołowym, które używano w łapkach na drobną zwierzynę. U początków epoki brązu, tego cennego jeszcze wówczas stopu używano przeważnie do wykonywania przedmiotów ozdobnych i biżuterii. Przy wytwarzaniu broszek, służących do spinania części sukni, odkryto, że również w metalu tkwią siły sprężyste. Oprócz prostych igieł wykonanych z klepanego drutu z brązu spotyka się już ok. 1400 r. p.n.e. formy (rys. 1), które nie tylko mogą być uznane za poprzedniczki naszych agrafek, ale również dzisiejszych sprężyn skrętowych (miały one już wówczas nawet do czterech zwoi). Ślady pierwszych sprężyn płaskich i piórowych pochodzą z okresu znacznie późniejszego – około 250 r. p.n.e.



Ryc. 1. Broszki i agrafki z brązu ok. 1400 r. p.n.e. [6]

Rozwój myśli ludzkiej był często stymulowany potrzebami techniki wojennej. Filon z Bizancjum w swoim dziele *Mechanika* (ok. 200 r. p.n.e.) donosi o sztuce wykonywania płaskich i piórowych sprężyn, którą opisuje na przykładzie celtyckich i hiszpańskich mieczy. Miecze te posiadały oprócz nadzwyczajnej sprężystości również bardzo wysoką wytrzymałość. Interesujący jest sposób, w jaki miecze te były próbowane. Aby przekonać się, czy są dobre: należało miecz taki chwycić prawą ręką, położyć sobie na głowie i naginać oba końce miecza, aż dosięgły one barków. Miecz po zwolnieniu nacisku musiał powrócić do swojej pierwotnej postaci bez jakichkolwiek choćby śladów zgięcia. Ówczesne renomowane miecze po wielokrotnym takim badaniu pozostawały proste.

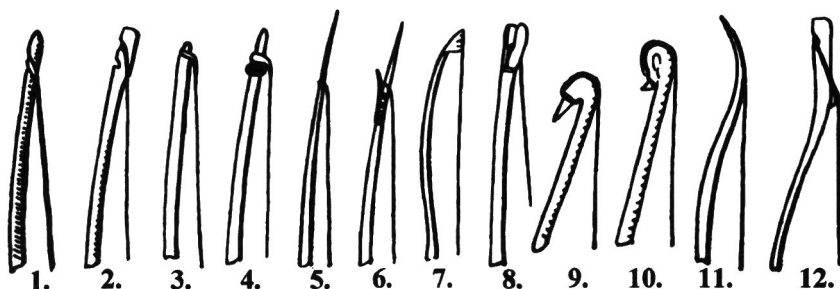
Ważne miejsce w historii sprężyn zajmują maszyny miotające, działające na zasadzie przekształcania zmagazynowanej energii sprężystej w energię kinetyczną pocisku (strzały, kamienia). Energia sprężysta jest akumulowana w wyniku odkształcania zginanego lub skręcanego elementu sprężystego. Historycy artylerii przedogniowej dzielą maszyny miotające [8] na:

- maszyny neurobalistyczne (z grec. *neura*- struna + *ballo*- rzucam), którymi są łuki i niektóre kusze (np. kusza, zwana strzelbą brzuszna, grec. *gastrafetes*),

– katapulty torsyjne (łac. *torqueo*- skręcam).

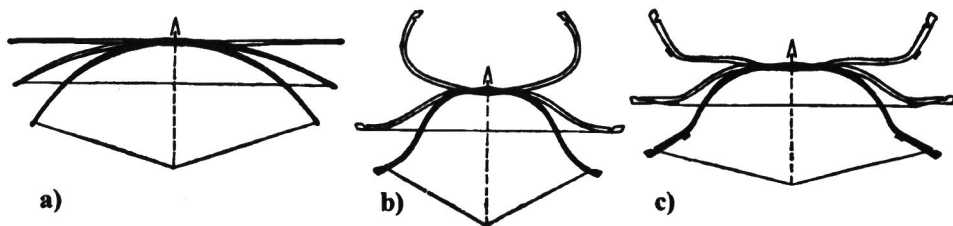
Łuk jest bronią miotającą znaną i stosowaną we wszystkich krajach świata jako broń myśliwska i bojowa od czasów najdawniejszych do XVII w. Zasięg rażenia, w zależności od konstrukcji, mógł wynosić nawet do 200 m, a najbardziej wprawni łucznicy osiągnęli szybkostrzelność 12 strzał na minutę. Współzawodnictwo w strzelaniu z łuku znane już było w świecie starożytnym, o czym wspomina Homer w XXIII księdze *Iliady*, pisząc o zawodach łuczniczych w czasie uroczystości żałobnych po śmierci Patroklesa.

Dawna potrzeba budowy łuków wynikała z chęci posiadania sprzętów myśliwskich i bojowych. Konstrukcja łuku zmieniała się przez stulecia i była ulepszana na drodze prób i błędów. Łuk był najczęściej sporządzany ze sprężystego drewna oraz posiadał cięciwę, którą stanowiły zwykle różnorodne połączenia kształtowe i kształtowo-cierne gryfu z cięciwą, pokazane na rysunku 2 (połączenia oznaczone nr 9–12 zapewniały zmienną długość roboczą cięciwy).



Ryc. 2. Połączenia gryfów z cięciwą

Znane były dwa podstawowe typy łuków tj.: łuk europejski i łuk azjatycki, które przedstawiono na rysunku 3.



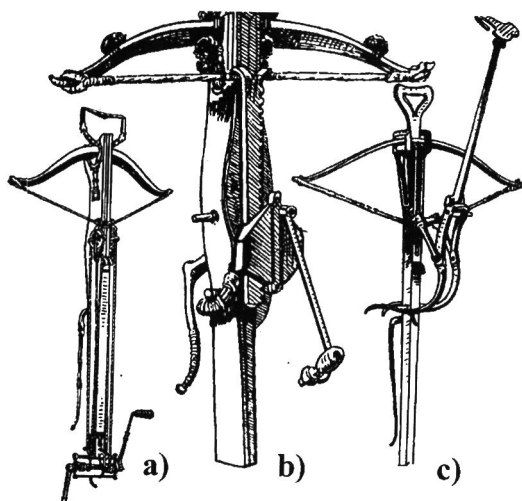
Ryc. 3. Typy łuków: a – europejski, b, c – azjatycki

Łuk europejski piechoty (rys. 3a) tzw. prosty wyróżnia mały naciąg wstępny przy stosunkowo dużej długości. W łukach azjatyckich konnicy, tzw. refleksyjnych

(rys. 3b) i retrorefleksyjnych (rys. 3c) krótszych i lżejszych, stosowano większe naciągi wstępne.

Często łuki były „wygięte do tyłu” przy poluźnionej cięciwie, co po napięciu cięciwy zapewniało zmagazynowanie większej, nawet o 80% energii sprężystej. Przykładem mogą być tu łuki azjatyckie (rys. 3b,c i 4) oraz opisywany przez Homera łuk grecki Odyseusza. Również dla nadania większej energii w końcowej fazie kontaktu strzały z łukiem stosowano podkładki, zapewniające zmienną długość cięciwy (rys. 3c). Możliwość akumulacji jeszcze większej energii sprężystej zapewniała kusza, w której dodatkowo oddzielono dla zwiększenia celności, funkcje magazynowania energii i strzelania. Funkcja napinania łuku lub kuszy była wspomagana w różnorodny sposób, m.in. przez:

- zwiększenie siły za pomocą prostej dźwigni jednoramiennej (kusza z tzw. kozią nogą – rys. 4c) lub kołowrotu (kusza z tzw. windą angielską – rys. 4a) lub mechanizmu zębatkowo-dźwigniowego (kusza z tzw. windą niemiecką – rys. 4b).

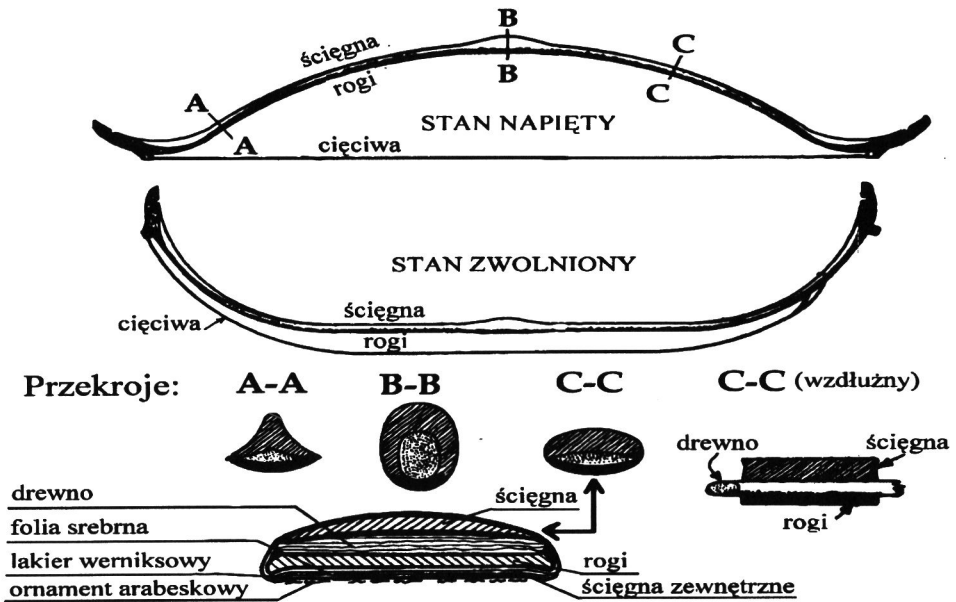


Ryc. 4. Różne sposoby napinania kusz

- zwiększenie siły za pomocą mechanizmu śrubowego (tzw. łuk mamuci Leonardo da Vinci z mechanizmem ślimakowo-śrubowym – rys. 8).

Pierwsze tworzywa konstrukcyjne stosowane w budowie łuków to drewno i rogi. Najlepszymi właściwościami charakteryzowało się drewno cisowe ze względu na wysoką twardość i sprężystość. Materiałami wykorzystywanymi na łuki były również jesion, wiąz i klon. Średniowieczne łuki cisowe piechoty angielskiej o długości około 1,8 m charakteryzowały się dużą strzelnością 6–12

strzał/min. i dużym zasięgiem 200–250 m, nie posiadały jednak niezmiennych własności sprężystych i wytrzymałościowych. Gatunek drewna cisowego, z jakiego były wykonane te łuki, cechował się powolnym spadkiem naprężeń w czasie, co wywoływało zjawisko zluźnienia w temperaturze powyżej 35°C. Tej niekorzystnej cechy nie posiadało drewno cisowe pochodzące z krajów śródziemnomorskich (Hiszpania, Wenecja). W krajach o ciepłym klimacie używano najczęściej łuków kompozytowych (tzw. łuki azjatyckie). Do ramion łuku (warstwa rozciągana) o niewielkich naprężeniach gnących (w stanie roboczym) przyklejano elastycznymi klejami zwierzęcymi włókna ze ścięgien zwierzęcych. Włókna te były wkomponowywane w cienkie warstwy kory, co miało chronić je przed utratą wilgoci. Od strony brzuśca (warstwa ściskana) klejono warstwy z rogów (rys. 5). Łuki te zachowywały lepiej własności mechaniczne w podwyższonych temperaturach do 55°C.



Ryc. 5. Warstwowa konstrukcja łuku

Własności mechaniczne biologicznych materiałów konstrukcyjnych, które były stosowane w dawnych konstrukcjach łuków są porównywalne ze współczesnymi materiałami stalowymi (tabl. 1).

Podstawowym kryterium oceny użytkowej łuku jest zdolność magazynowania energii, określana za pomocą stosunku zmagazynowanej energii do masy. Drewno cisowe stosowane w monolitycznych konstrukcjach łuków prostych

północno-europejskich (rys. 3a) wykazywało kilkakrotnie większą zdolność pochłaniania energii sprężystej w jednostce masy (900 kJ/kg) niż współczesna stal sprężynowa (130 kJ/kg) – (tabl. 1).

Tabela 1. Własności tworzyw konstrukcyjnych łuków

Tworzywo konstrukcyjne	Robocze odkształcenia ε [%]	Robocze naprężenia σ [MPa]	Pochłonięta energia sprężysta E_S [MJ/m ³]	Gęstość ρ [kg/m ³]	Pochłonięta energia E [J/kg]
Drewno cisowe	0,9	120	0,5	600	900
Ściągno zwierzęce	8	70	2,8	1100	2500
Rogi jelenia	4	90	1,8	1200	1500
Obecna stal sprężynowa	0,3	700	1,0	7800	130

Proces kształtowania niektórych łuków (np. refleksyjnych i retrorefleksyjnych), polegający na gięciu na gorąco i przepiężaniu na zimno w stanie napiętym, trwał przeszło rok. Były to wyroby drogie, estetyczne, o ciekawym wzornictwie, co pokazuje rysunek 5.

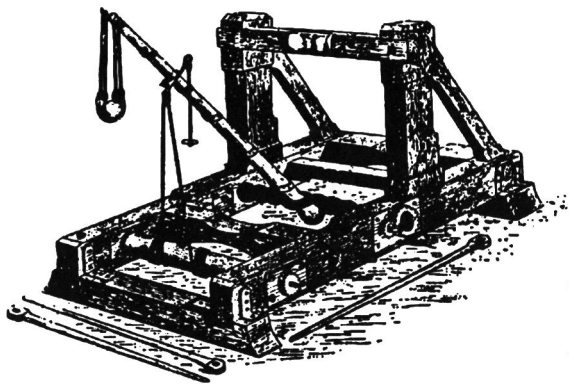
Konstrukcja łuku o zmiennym przekroju na długości była realizacją zasady równej wytrzymałości kształtów (rys. 5), przy zachowaniu stateczności przy dużych ugięciach. Było to możliwe dzięki odpowiedniemu dobraniu zmiennego kształtu i wielkości przekroju ramion łuku.

Łuki greckie były wykonywane z dwóch części, połączonych w części środkowej za pomocą klamry metalowej. Do ich produkcji używano rogu, który był zmiękczany przez gotowanie w oleju, co nadawało mu lepsze właściwości sprężyste. Rozwiązanie takie tworzyło konstrukcję warstwową o wysokich walorach wytrzymałościowych i dynamicznych. Dzięki typowemu dla kostnych układów biologicznych zagęszczeniu linii sił wzdłuż kierunku naprężeń głównych i zmianom gęstości i struktury materiału na długości, uzyskiwano korzystny stan naprężeń.

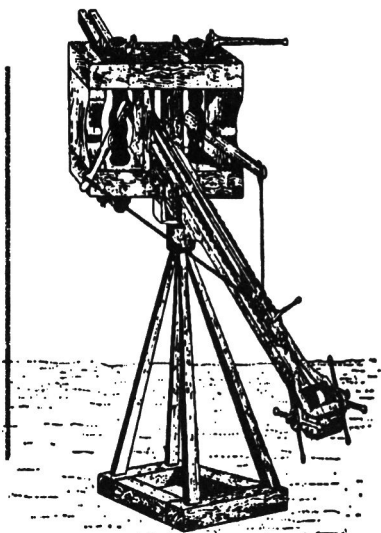
Łuk jest wyrobem o nadzwyczajnych właściwościach kompozytu materiałowego i niezwyklej sprawności energetycznej. Liczne przykłady konstrukcji tej broni świadczą o wysokich umiejętnościach projektantów oraz o znajomości w przeszłości zaawansowanych technologii materiałowych i metod wytwarzania. Ponadto budzą one szacunek dla wcześniejszych twórców techniki i podziw dla ich wyborów. Z punktu widzenia mechaniki zginana belka łuku o rozciąganych zewnętrznych warstwach ścięgien oraz ściskanych wewnętrznych warstwy rogów, w połączeniu ze świadomym wprowadzeniem korzystnych naprężeń wstępnych,

tworzy rozwiązanie techniczne o unikalnych cechach konstrukcji i wysokich własnościach dynamicznych.

Pierwsze wojenne katapulty torsyjne powstały prawdopodobnie ok. 800 r. p.n.e., a na pewno były już w powszechnym użyciu wśród Greków i ich lokalnych przeciwników ok. 400 r. p.n.e. Rekordowa ilość takich urządzeń około 2000 sztuk przeszła w ręce Rzymian po bitwie pod Kartaginą około 150 r. p.n.e. Ich konstrukcja rozwijała się na przestrzeni wielu wieków (do XIV w.). Ciekawe ujęcie historyograficzne wielu aspektów technicznych, organizacyjnych i aplikacyjnych maszyn wyrzutowych zawarto w pracy T.M. Nowaka [8]. Nasza wiedza dotycząca szczegółów konstrukcyjnych tych urządzeń jest nieduża. W katapultach torsyjnych dwu- i jednoramiennych elementem sprężystym jest skręcana wiązka cięgien, którą tworzą struny ze ścięgien zwierzęcych oraz skóry zwierząt. Jest ona skretnie napięta za pomocą ramienia (lub ramion) dźwigni, połączonego z cięciwą. Jedną z rekonstrukcji katapulty, pochodzącą prawdopodobnie z okresu od 400 r. p.n.e. do 1400 r. n.e., opartą na przekazach historycznych, pokazano na rysunku 6.



Ryc. 6. Rekonstrukcja katapulty, ok. 400 r. p.n.e. [4]



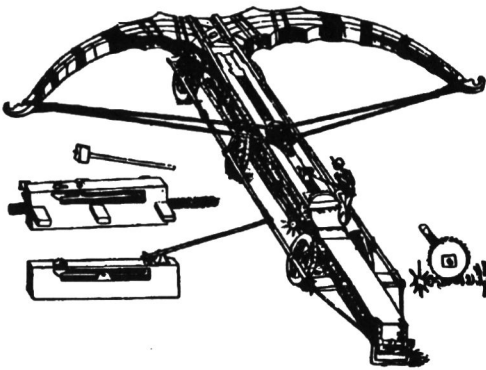
Ryc. 7. Starożytna machina miotająca – balista [2]

Główny element sprężysty, to pozioma wiązka skręconych cięgien, napinanych przez poprzeczną belkę wyrzutową, zakończona zwisającą skórzaną procą z pocięciem. Interesującym szczegółem technicznym tego urządzenia jest warstwowa konstrukcja belki wyrzutowej, co świadczy o tym, iż już w tamtych dawnych czasach uznawano wyższość elementów wielowarstwowych nad monolitycznymi. Transformacja energii belki wyrzutowej zachodziła w wyniku uderzenia belki

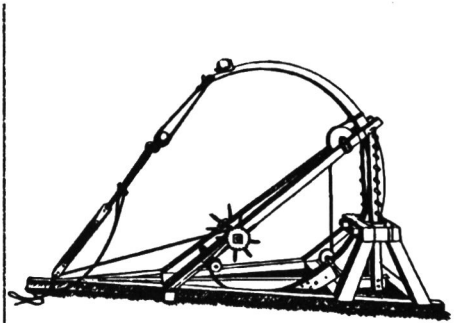
w poprzeczkę z poduszką, co powodowało gwałtowne wyrzucenie pocisku. Największe katapulty mogły wyrzucać masę około 52 kg na odległość powyżej 300 m [8].

Podstawowym typem katapulty były dwuramienne urządzenia miotające, z dwoma niezależnymi wiązkami skrętnymi, pokazane na rysunku 7. Wyrzucały one kamienne kule oraz ciężkie strzały i oszczepy. Skręcone wiązki strun ze ścięgien zwierzęcych miały regulację napięcia wstępnego. Cięciwa, mocowana do końców ramion wiązek skrętnych, była naciągana kołowrotem z mechanizmem zapadkowym. Pocisk był prowadzony w wyłobieniu ramy. Siła rażenia tych machin oblężniczych była zależna od energii, zmagazynowanej w wiązce skrętniej. Donośność skuteczna tych katapult, czyli zdolność przebicia tarczy żołnierza greckiego (grec. *katapeltes* – przebijający tarcze) wynosiła 150 m, a dobry artylerzysta trafiał pojedynczego człowieka z odległości 75 m, a grupę ludzi – z odległości 150 m.

Przykładem używania sprężyn warstwowych były konstrukcje Leonardo da Vinci (ur. ok. 1450 r.). Na rysunku 8 przedstawiono olbrzymi łuk skonstruowany ok. 1480 roku. Łuk ten tworzyły drewniane, warstwowe sprężyny o eliptycznym kształcie. Innym przykładem stosowania drewnianych sprężyn jest katapulta, zbudowana na zasadzie zginanej dźwigni z procą, wyrzucającą równocześnie dwie kule kamienne, pokazana na rysunku 9.



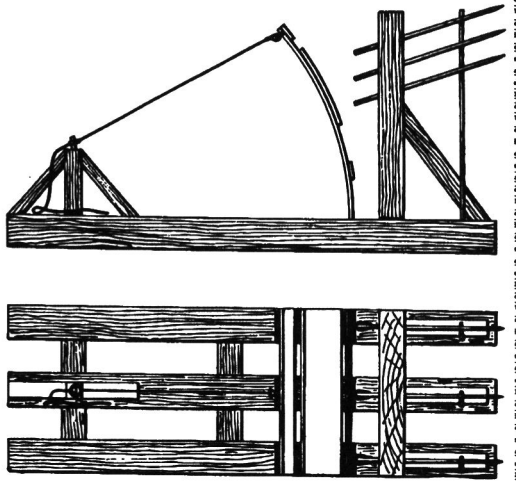
Ryc. 8. „Mamuci” łuk Leonardo da Vinci



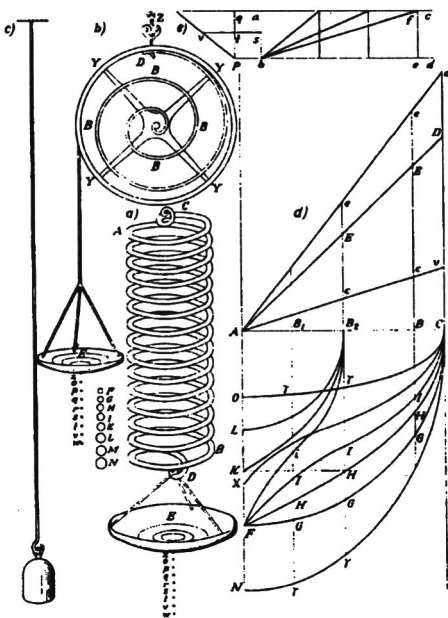
Ryc. 9. Katapulta, średniowiecze [4]

Przykład pierwszych konstrukcji sprężyn płytkowych przedstawia model lekkiej katapulty do wyrzucania strzał ok. 200 r. n.e. (rys. 10).

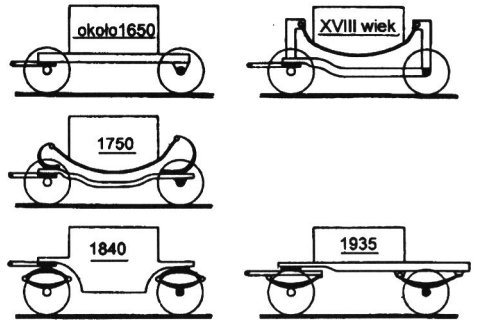
W roku 1678 została opublikowana praca Roberta Hooke'a *O sprężynach* (*Of spring*). Zawarte w niej zostały wyniki doświadczeń Hooke'a z ciałami sprężystymi. Była to pierwsza praca, w której rozpatrywano własności sprężyste materiałów. Ilustracje doświadczenia Hooke'a pokazują rysunek 11.



Ryc. 10. Lekka katapulta do wyrzucania strzał



Ryc. 11. Badania sprężystości drutu i sprężyn – ilustracje R. Hooke'a z książki *Of spring* 1678



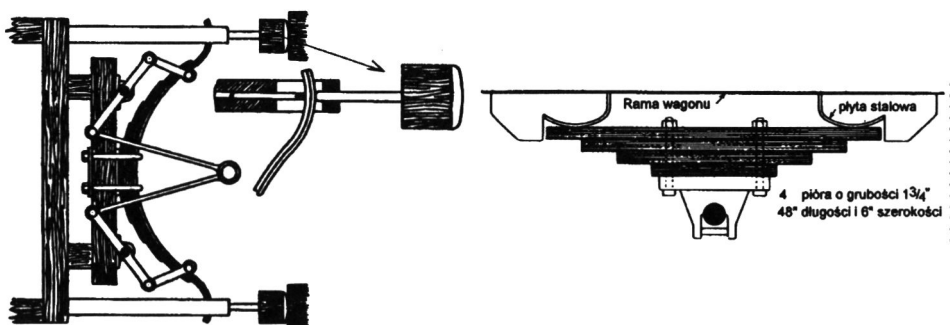
Ryc. 12. Rozwój zawieszni pojazdów drogowych

W dawnych czasach niewiele było w użyciu pojazdów (zaprzęgowych). Jednakże wraz z rozwojem handlu pojazdy kołowe nabierały coraz większego znaczenia. Mogły się one jednak poruszać po drogach z prędkością nie większą niż 2 lub 3 mile na godzinę (ze względu na brak zawieszenia). Dopiero zastosowanie sprężystego zawieszenia umożliwiło zwiększenie prędkości ich jazdy.

Rozwój konstrukcji zawiesznień sprężystych w pojazdach drogowych pokazano na rysunku 12.

W konstrukcji zawiesznień początkowo wykorzystywane były skórzane rzemie- nie, zaczepione do sprężystych wsporników, następnie C – sprężyny i resory eliptyczne. Kiedy pojawiła się kolej, musiano również rozwiązać problemy zwią- zane z zawieszeniem pudeł, sprzęganiem wagonów i zderzakami. Oryginalną kombinację sprzęgu wagonowego i zderzaka pokazuje rysunek 13.

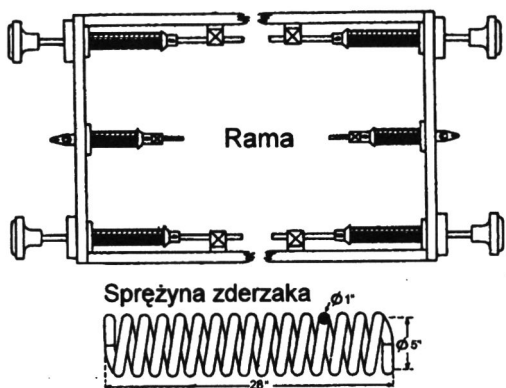
Sprzęg ten był używany w pierwszej kolei niemieckiej w 1835 r. W końcu XIX w. wiele kolei niemieckich posiadało wagony z zawieszeniem na drewnianych sprężynach, co przedstawiono na rysunku 14. Sprężyny te były zbudowane z czterech drewnianych, płaskich płytek, które po ich obciążeniu uzyskiwały odwrotne wygięcie.



Ryc. 13. Pierwszy niemiecki sprzęg wagonowy [4]

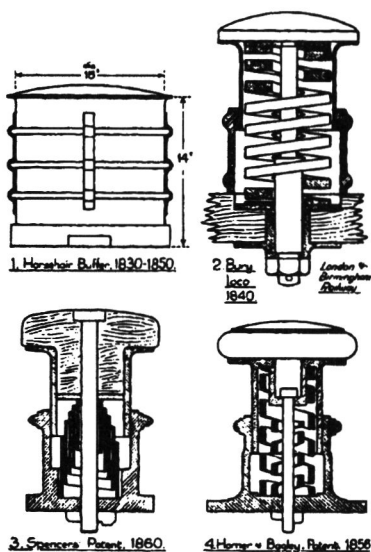
Ryc. 14. Niemiecka sprężyna drewniana [4]

Sprężyny spiralne pojawiły się około 1840. Przykład ich zastosowania przed- stawiono na rysunku 15.



Ryc. 15. Sprzęg i zderzak stosowany przez kolej angielską ok. 1845 r.

Kilka dalszych przykładów wczesnych rozwiązań konstrukcyjnych sprężyn stosowanych w zderzakach kolejowych pokazuje rysunek 16.

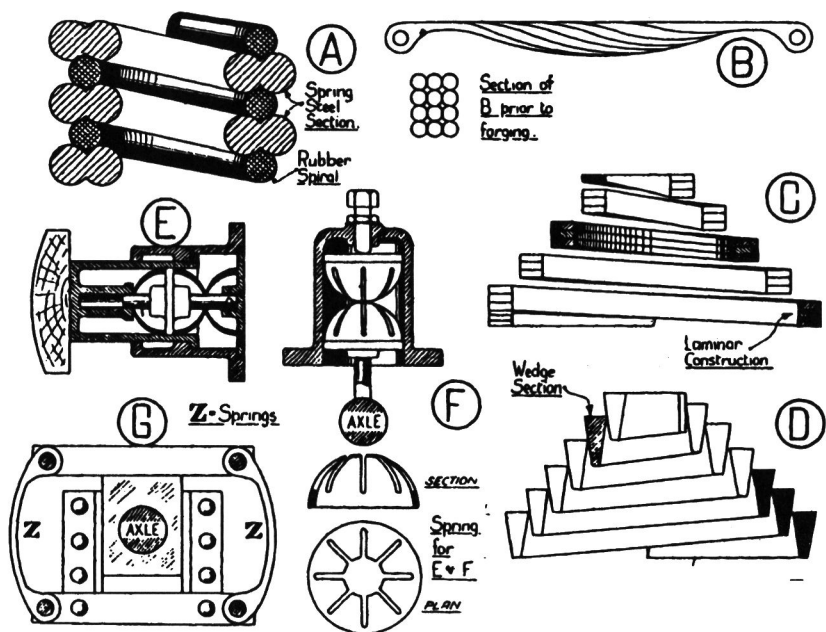


Ryc. 16. Dawne angielskie zderzaki kolejowe [4]

Zderzak kolejowy z końskiego włosia pokryty skórą (1830–1859 r.) był rozwiązaniem popularnym w początkach kolejnictwa. Pierwszy zderzak sprężynowy stanowiła sprężyna zwinięta z drutu o przekroju prostokątnym, co w tamtych czasach musiało stanowić poważny problem technologiczny. Patent Spencera 1860 r. wykorzystywał tarcie między zwojami sprężyny zwiniętej z taśmy. Rozwiniętą wersję poprzedniego rozwiązania przedstawia jednocześnie sprężyna ukształtowana tak, że jej wewnętrzna część jest kontynuacją części zewnętrznej (patent 1856 r., Horner i Bagley).

Gwałtowny rozwój komunikacji kolejowej i związany z tym wzrost wymagań jakości zawieszenia spowodowały zadziwiający rozwój myśli technicznej, który zaowocował rekordową ilością patentów. Wybrane przykłady rozwiązań konstrukcyjnych sprężyn z tego okresu, stosowanych w kolejnictwie pokazano na rysunku 17.

Projekt sprężyny metalowo-gumowej (A), świadczący o pomysłach wprowadzenia gumy do techniki sprężyn, ze specjalnego, walcowanego drutu, o podwójnym profilu przekroju prawdopodobnie nigdy nie został wprowadzony do użytku. Konstrukcja Webstera (B) wyeliminowała tarcie międzywarstwowe w sprężynie płytkowej.



Ryc. 17. Angielskie patenty sprężyn ok. 1855 r. [4]

Pręty stalowe, zwężające się od środka ku końcom, zaciśnięte i zespane razem swoimi końcami, po rozgrzaniu były skręcane spiralnie oraz zginane na wypukłym kowadłe do wymaganej postaci – co w efekcie likwidowało tarcie międzywarstwowe. Sprężyna wielowarstwowa o przekroju prostokątnym © pochodzi z roku 1860. Ideę zwiększenia tarcia międzyzwojnego przez przekrój klinowy sprężyny przedstawia stożkowa sprężyna z taśmy (D). Oryginalny pomysł sprężyny zrealizowano przez zastosowanie kulistej czaszy z rozcięciami (E, F).

Chronologiczny przegląd rozwoju konstrukcji sprężyn przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Chronologiczny przegląd rozwoju konstrukcji sprężyn [1, 3]

Okres	Rodzaj sprężyny	Zastosowanie
p.n.e.		
4000–3000	zginane	gięty łuk z drewna (wykopaliska nad jeziorem Pfäffiker/ Szwajcaria)
ok. 1400	zginane	agrafki; przedmioty ozdobne; zastosowanie kutego brązu i drutu miedzianego

ok. 100	zginane	drewniane sprężyny w łąpkach na drobną zwierzynę (wykopaliska z Mark Brandenburg)
800–200	zginane, piórowe i skrętowe (z taśmy)	w urządzeniach do magazynowania energii: w miotaczach, katapultach i kuszach
n.e.		
800–1400	zginane	sprężyny piórowe ze stali i drewna w kuszach
	zginane, proste i zakrzywione, sprężyny płaskie	kurki i spusty (stosowanie strzelb kurkowych, aż do wieku XIX) stosowane w zatraskach pojemników (kasetki na biżuterię, pudełka do tabaki, kufty)
ok. 1100	walcarki i ciągarki	wytwarzanie drutu przez ciągnięcie
1400–1600	zginane, spiralne, walcowe, naciskowe	napędy kurków, sprężyny napędowe, prasy w mennicach do produkcji monet, różne mechanizmy (np. zegarowe) (wynałazki Leonarda da Vinci (1452–1519))
1429–1435	spiralne	zastosowane w zegarze przez P. Lombert w Mons/Belgia
1511	spiralne	budowa zegarów, szczególnie przez P. Henlein (1480–1542) w Norymberdze
1517	spiralne	kurek ze sprężyną spiralną (Norymberga)
1565	piórowe	napięty łuk do napędu tokarki
1595	piórowe zakrzywione	sprężyna pojazdu – opisana przez Veranzio
1658	zginane	mechanizmy wychwyty i kompensacji w zegarach zbudowanych przez R. Hooke'a i Th. Thompsona
1674	spiralne	sprężyna balansowa Chr. Huygensa (1629–1695)
1702, 1844	membranowe	aneroid barometru Leibnitz (idea) oraz L. Vidie (budowa)
1703	walcowe naciskowe	sprężyny walcowe naciskowe prowadzone w rurach metalowych do resorowania pojazdu Thomasa
1723	naciskowe i naciągowe	sprężyny walcowe w wadze sprężynowej, J. Leupold (patent niemiecki)
1819	zginane pierścieniowe	waga sprężynowa, A. Siebe (patent angielski)
1838	spiralne z drutu	waga sprężynowa, G. Salter
1844	śrubowe stożkowe	sprężyna zderzakowa, Baille
1849	Bourdona	rura spiralna do aneroidu barometru, Bourdon
1878	spiralne	silnik napędowy sprężynowy maszyny do szycia, Schreiber i Salomon (Wiedeń), Gunzburger (St. Denis), Perrier (Paryż)
1920	pierścieniowe	pieścienie w kształcie stożków, układane przemiennie, E. Kreissig (patent niemiecki)
1945	taśmowa	sprężyna o ujemnej charakterystyce, Forster (USA)

Jak wynika z tabeli 2 sprężyny stosowano w starożytności przeważnie do celów napędowych, w średniowieczu do wywoływania drgań i tłumienia. Przez wieki rozwój konstrukcji sprężyn był powodowany techniką zbrojeniową. Zastosowanie sprężyn w urządzeniach balistycznych, w mechanizmach kurków strzelb, kuszach oraz miecze są tego wyraźnym przykładem. Postęp w jakości, rozwoju form oraz wytwarzaniu związany był ściśle z rozwojem metalurgii. Zastosowanie sprężyn w napędach zamków, zegarów i różnorodnych mechanizmach (słynna ręka mechaniczna rycerza z Berlichingen) doprowadziło w średniowieczu do licznych konstrukcji sprężyn, przede wszystkim piórowych. Sprężyny wykonywane były rzemieślniczo zwykle samodzielnie przez ślusarzy, kowali, złotników i zegarmistrzów. Nie posiadamy jak dotąd żadnych informacji o istnieniu w przeszłości cechu rzemieślników wytwarzających sprężyny.

Rzeczywisty rozwój metalurgii (szczególnie produkcji stali) w XVIII i XIX stuleciu oraz zapotrzebowanie na sprężyny w budowie maszyn, kolejnictwie i technice samochodowej spowodowały gwałtowny rozwój techniki sprężyn. Produkcja sprężyn była coraz częściej maszynowa, przy czym metalurgia dostarczała półprodukty (druły, taśmy) coraz lepszej jakości. Pierwsza maszyna do zwijania sprężyn została zbudowana w roku 1900 w Reutlingen. W roku 1910 pojawiły się pierwsze automaty do zwijania sprężyn naciskowych.

Obecnie stosuje się technikę mikroprocesorową, która steruje procesem produkcji sprężyn. Powstają specjalne materiały sprężynowe, wzrasta dokładność obliczeń i znajomość charakterystyk zmęczeniowych materiałów, co przyczynia się do ciągłej poprawy jakości i niezawodności sprężyn.

Literatura

- [1] Branowski B.: *Sprężyny metalowe*. PWN Warszawa 1997.
- [2] Gordon J.E.: *Structures or why things don't fall down*. Penguin Books London 1978.
- [3] Meissner M., Wanke K.: *Handbuch Federn, Berechnung und Gestaltung im Maschinen und Gerätebau*. VEB Verlag Technik Berlin 1988.
- [4] Miscellany A.: *Springs*. The Locomotive Publishing Co. LTD. London 1940.
- [5] Timoszenko S.P.: *Historia wytrzymałości materiałów*. Wyd. Arkady Warszawa 1966.
- [6] Zbiór poradników firmy MUBEA-Federn, Attendorn, Muhr und Bender.
- [7] Werner J.: *Polska broń. Łuk i kusza*. Zakład Narodowy im. Ossolińskich Wrocław 1974.
- [8] Nowak T.M.: *Artyleria w starożytności – technika, organizacja i zastosowanie*. „Studia i Materiały do Historii Wojskowości” t. 23:1981 s. 21–39.

Bogdan Branowski, Michał Śledziński

THE HISTORY OF SPRING DEVELOPMENT

The history of spring construction is chronologically characterized. A description of various mechanisms with elastic elements is presented. Subsequent phases of development are illustrated by examples of inventions in the domain of military and transportation technology, significant to humankind

