

<http://jacek.kwasniewski.org.pl>

Jacek Kwaśniewski

Młyny i wiatraki

Energetyka przemysłowa Średniowiecza

2015

Jacek Kwaśniewski

Młyny i wiatraki

Energetyka przemysłowa Średniowiecza

Należy sobie dokładnie uświadomić, o czym *de facto* mówimy, gdy rozprawiamy o średniowiecznych młynach i wiatrakach. Otóż mówimy o tworzeniu w Europie infrastruktury energetycznej dla potrzeb powstającego przemysłu. Pierwszej o takiej skali na świecie. Kiedy rewolucja rolnicza zaczęła tworzyć od XI-XII wieku nadwyżkę pozwalającą na przeniesienie kilkunastu procent ludności do działalności gospodarczej poza sektorem rolniczym, warunkiem realizacji tego była po pierwsze, mechanizacja przerobu rosnącej produkcji zboża. Młyny zbożowe dostarczały duże ilości energii mechanicznej, co oszczędzało znaczną liczbę roboczo dniówek w rolnictwie, „przekazując” je niejako do innych sektorów. To dopiero umożliwiło transfer siły roboczej z rolnictwa. Po drugie, dla powstania i rozwoju takich gałęzi produkcji jak przemysł włókienniczy, odzieżowy, wydobywczy, budowlany i papierniczy ważne było dostarczenie im odpowiednio dużych zasobów energetycznych, aby wydajność zatrudnionej tam nierolniczej siły roboczej sprostała popytowi.

Młyn zdobył Europę albo raczej Europa zawładnęła tą technologią. Wraz z postępami rewolucji rolniczej, liczebność młynów wręcz eksplodowała. Młyn stał powszechnym elementem europejskiego krajobrazu. Pod koniec XI i na początku XII wieku, jeden młyn przypadał w Anglii na 50 gospodarstw (Domesday Book) a przeciętnie w całej Europie na 250 mieszkańców (Malanima 2008, str. 8). Nigdzie na świecie nie był nawet w części tak popularny. Przeważał w mieleniu zboża, ale rozwijające się rzemiosło i powstający przemysł szybko odkryły, że energia generowana przez młyny może być wykorzystana w dziesiątkach i setkach zastosowań nierolniczych. Młyny przemysłowe stały się bardzo ważnym źródłem energii napędzającej rozwój europejskiego przemysłu.

Młyn stał się klasycznym europejskim fenomenem technologicznym, bo - podobnie jak w wielu innych przypadkach – to nie Europa wymyśliła to urządzenie, ale to ona wykorzystała i rozwinęła ten wynalazek na najbardziej masową skalę. Tak samo było z produkcją papieru, drukiem, zegarem, prochem i innymi wynalazkami, które zrodziły się daleko od Europy i znacznie wcześniej, ale dopiero w Europie znalazły najbardziej żyzną glebę dla swego rozwoju. Jest to kolejny przykład, że sam wynalazek, choćby znakomity nie gwarantuje jeszcze sukcesu. To środowisko kulturowe, ekonomiczne i polityczne decyduje o tym, czy dany wynalazek rozkwitnie czy obumrze.

Dokładna genealogia młynów wodnych i wiatraków nie jest znana. Na pewno jednak nie były wynalazkami europejskiego Średniowiecza.

W Bizancjum młyny wodne były znane od III wieku p.n.e. (List of Ancient Watermills). Stamtąd dotarły do kręgu cywilizacji islamskiej (Watermill), gdzie poza mieleniem zboża znalazły, podobnie jak w Bizancjum, zastosowania przemysłowe, między innymi do łuskania ziarna, kruszenia rudy, produkcji cukru, żelaza, cięcia drewna. Posiadamy także informacje, z I wieku n.e., o chińskich młynach zbożowych i przemysłowych. Generalnie jednak, genealogia młynów wodnych i miejsca pierwszego ich pojawienia nie jest pewna (Reynolds 1983, str. 10-24).

Początkowo, antyczne młyny wodne nie posiadały przekładni zwiększających szybkość obrotu kamieni młyńskich ponad szybkość koła wodnego (Gimpel, rozdział 1). Ich moc nie przekraczała pół konia mechanicznego. Były to młyny oparte na poziomym kole wodnym.

Ale już do I wieku p.n.e. zaczęto konstruować młyny z pionowym kołem, co pozwoliło zwiększyć ich moc sześciokrotnie, do 3 KM. Stosowano podsiębierne koła wodne, gdzie strumień wody podmywa łopatki koła od dołu (patrz rys. 1 i 2 str. 8).

Rzymskie młyny zbożowe, mimo że była to początkowa faza ich rozwoju, były wielokrotnie bardziej wydajne od młynów ręcznych. Ilość ziarna, którą był w stanie zmielić w ciągu dziesięciu godzin młyn o dwumetrowym kole zbudowany niedaleko Monte Casino była równa temu, co mogło w tym samym czasie zmielić w ręcznych żarnach czterdziestu niewolników. Mimo tego i kilku innych przykładów wielkich kompleksów młynarskich (np. w Barbegal w Prowansji – 16 młynów zdolnych przemielić dziennie 28 ton zboża; Gimpel, str. 9), młyny wodne nie były szeroko stosowane w imperium rzymskim. Rzymianie hamowali mechanizację z obawy przed bezrobociem wśród wolnych obywateli Rzymu, opierali swoją gospodarkę na niewolniczej sile roboczej a region śródziemnomorski nie obfitował w całoroczne wartkie rzeki i strumienie, co czyniło młyny wodne urządzeniami sezonowymi a przez to mniej użytecznymi, niż to miało mieć miejsce później w regionach Europy położonych bardziej na północ. Niemniej, dyfuzja tej technologii wiedzie z południa Europy a dokładnie z kilku miejsc we Włoszech i południowej Francji na północ. (Reynolds, 1983, str. 50-51).

Istotną rolę w rozprzestrzenianiu technologii młynarskiej odegrało królestwo Franków i jego podboje. Młynarstwo oparte na młynach wodnych odradzało się w Europie zachodniej i północnej w dużym stopniu dzięki powstałemu w VI wieku zakonowi benedyktynów. O rozwoju młynów wodnych świadczą pośrednio, wprowadzane w VI - VIII wieku przepisy regulujące ich działanie i nakładające kary za ich niszczenie lub lokowanie młynów zmniejszających wydajność innych, położonych niżej w biegu rzeki (Gies, str. 48-49). W IX wieku młyny były dużą, ale bardzo zyskową inwestycją. Opłata na mielenie była pobierana jako część zmielonego ziarna. Młynarze wnosili do skarbcza pana czasem tyle, ile zbierane było z pańskich pól. Do X wieku przeważały mniej wydajne, ale tańsze młyny z kołami poziomymi. Bardziej wydajne młyny z pionowymi kołami budowali tylko zamożniejsi posiadacze ziemscy (Gies, str. 48-49).

Znaczenie młynów wodnych zaczęło szybko rosnąć od XI-XII wieku wraz z postępami rewolucji agrotechnicznej. W roku 1086 Wilhelm Zdobywca zarządza rejestrację angielskiego majątku oraz działalności, także gospodarczej w celach podatkowych. Powstaje słynna Domesday Book. Wykazuje ona, że jedna trzecia wszystkich majątków ziemskich ma jeden lub więcej młynów wodnych. Jeden młyn przypadał na 50 gospodarstw. Ale były regiony z większą liczbą młynów. Na przykład w Wiltshire jeden młyn przypadał na dwadzieścia sześć gospodarstw (Gies, rozdział 3). W sumie, Domesday Book zawiera informację o sześciu tysiącach młynów.

Analiza liczby młynów w różnych prowincjach francuskich pokazuje mniej więcej ich sześciokrotny wzrost między XI a XIII wiekiem (Reynolds 1983, str. 54), choć w niektórych miejscach był on wielokrotnie większy (np. 14-krotny wzrost w regionie Aube w Szampanii). Szacunek dla całej Europy w roku 1200 to około 300 tysięcy młynów (MacLeod, str. 451; Makkai, str. 181; Braudel, str. 295). Od tej pory nie zmieniała się też, aż do początku wieku XIX, liczba młynów w przeliczeniu na liczbę mieszkańców. Jeden młyn przypadał w Europie na 250 mieszkańców (Malanima 2008, str. 8).

Tak szybki wzrost wykorzystania energii wodnej był efektem działania szeregu czynników. Po pierwsze, Europa zachodnia, środkowa i częściowo północna miała bardzo dobre warunki naturalne dla rozwoju produkcji energii wodnej. Były to liczne, wartkie rzeki, z których część, w wyniku ocieplenia klimatu, zamarzała na krótko lub wcale. Po drugie, rosła produkcja rolna a więc i popyt na mielenie zboża. Po trzecie, młyny okazały się bardzo zyskową inwestycją,

więc były licznie wznoszone a poddani zmuszani często do mielenia w młynach swojego pana. Równocześnie, zabraniano im mieć zboże w ich własnych, małych, ręcznych przydomowych żarnach, które były niekiedy przymusowo niszczone. (Langdon 2008, str. 6). Po czwarte, rosnąca, gospodarcza aktywność pozarolnicza szybko zauważyła korzyści płynące z mechanizacji. Alternatywą dla mechanizowanej w oparciu o młyny wodne wytwórczości przemysłowej było zabranie ze wsi bardzo dużej liczby ludzi. W praktyce było to jednak niemożliwe. Powstające dopiero mieszczaństwo i klasa producentów nie były jeszcze zdolne do takiej konfrontacji z dominującą klasą posiadaczy ziemskich. A poza tym i po piąte, nadwyżka generowana przez rolnictwo, aczkolwiek pozwalała wyżywić liczną grupę ludności pozarolniczej, nie mogła przy ówczesnej wydajności pracowników rolnych zwolnić ich więcej niż to uczyniła w wiekach XII – XIV.

Na przestrzeni od VI do XIV wieku rozwijała się zarówno sama technologia wytwarzania energii wodnej jak i sposoby jej wykorzystywania. Do X-XI wieku przeważały małe, poziome koła wodne o średnicy zbliżonej do koła wozu. Ich efektywność nie przekraczała 10-15% (Reynolds 1984 str. 123), ale były tanie w budowie i eksploatacji. Prosta też była ich obsługa. Poziome koło z łopatkami, zanurzone w przepływającej wodzie poruszało się na pionowej osi, której drugi koniec, powyżej lustra wody obracał przymocowane do niej żarno, czyli kamień, do którego sypano ziarno i przykrywano drugim, nieruchomym kamieniem, aby ziarna uległy zmieleniu. Młyny te nie wymagały mechanizmu przekładniowego, który w pionowym kole wodnym zamienia poziomą oś obrotu na pionową. Przekładnie, krzywki i wały korbowe, które zmieniały położenie osi, przyspieszały obrót kamieni młyńskich, zamieniały ruch obrotowy na liniowy lub posuwisto zwrotny, były w Średniowieczu słabą stroną młynów ze względu na stosowanie do ich produkcji szybko zużywającego się drewna. Dopiero od XIII-XIV wieku, gdy wzrosła produkcja żelaza a ono samo potaniało, te kluczowe dla trwałości mechanizmu młyna elementy zaczęto wytwarzać z żelaza.

Pionowe koło wodne, które staje się coraz popularniejsze od XI-XII wieku, było z reguły większe od poziomego (od dwóch do dziesięciu metrów średnicy), jego efektywność energetyczna wynosiła 15-25% w przypadku koła podsiębiernego (woda podmywa łopatki koła od dołu, patrz rys. 1 i 2, str. 8) i 55-70% w przypadku koła nadsiębiernego (woda spada na łopatki koła z góry, patrz rys. 3 i 4, str. 8-9) (Reynolds 1984 str. 123) Były więc o wiele bardziej wydajne, ale też o wiele droższe. Inwestycja nie kończyła się bowiem na budowie samego młyna. Wraz ze wzrostem ich liczby, zakazem blokowania drogi wodnej oraz zmniejszania siły rzecznoego prądu, musiano budować specjalne strugi prowadzące od głównego nurtu do młyna. Jeśli budowano młyn z kołem nadsiębiernym, konieczna była również często budowa sztucznego zbiornika, który spiętrzał wodę, aby spadała ona z góry na łopatki koła. Spiętrzających wodę tam budowano coraz więcej i rodziło to wiele konfliktów między właścicielami młynów, jako że tama stojąca wyżej w biegu rzeki mogła spowolnić prąd a przez to i wydajność młynów stojących poniżej. (Gimpel, rozdział 1).

Zmienny poziom wody w rzece, zależny od pogody i pory roku, mógł istotnie zmieniać wydajność młyna. Aby temu przeciwdziałać, budowano młyny unoszące się na wodzie na czymś, co przypominało łódź lub statek (boat mills). Wykorzystywano również mosty, które zwiększały siłę nurtu pomiędzy przęsłami. Wiele młynów niejako więc „przyklepiano” do mostów.

Głównym zastosowaniem młynów było mielenie zboża, ale miały też mak, gorczycę, sól przy produkcji piwa i rośliny do produkcji barwników. Średniowiecze znalazło również wiele innych sposobów wykorzystania energii wodnej młynów, a to dzięki rozlicznym przekładniom, krzywkom i wałom korbowym. Były one znane w innych cywilizacjach i w czasach minionych, ale dopiero Europa zastosowała je na skalę masową. Umożliwiały przyspieszenie obrotów żaren lub innych urządzeń ponad szybkość obrotu koła wodnego,

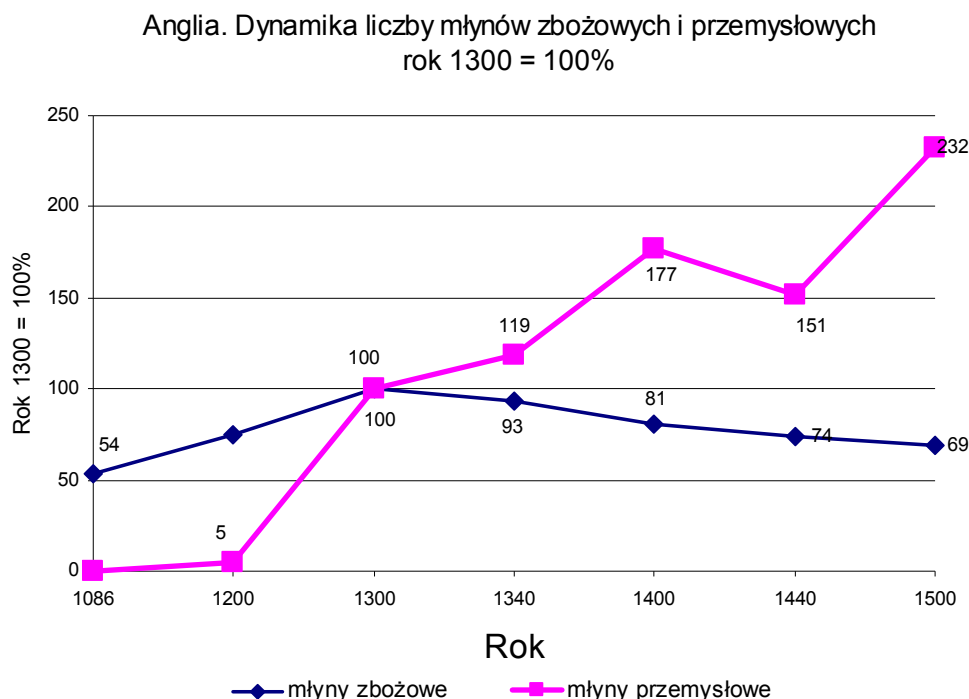
zamianę ruchu obrotowego koła wodnego na ruch liniowy i posuwisto zwrotny. Pozwoliło to budować młoty napędzane siłą wody oraz używać energii wody do uruchamiania miechów (patrz rys. 8 str. 10). Inne młyny wypompowywały wodę z niższych poziomów, cięły drewno, blachę i kamień (patrz rys. 5 str. 9). Jeszcze inne służyły do polerowania, wyciskania, ubijania, kruszenia, zgniatania, wyciągania a także toczenia wyrobów drewnianych. Wszystkie te urządzenia imitowały ruchy wykonywane przez różnych rzemieślników, na przykład kowala, garbarza czy pilśniarza. Miechy poruszane energią wody były znacznie większe od ręcznych przez co umożliwiły osiągnięcie wyższej temperatury w piecu hutniczym i pełen wytop żelaza. Używane też były do napowietrzania kopalń i podgrzewania kotłów z brzeczką piwną. Młyny pompujące wodę znalazły zastosowanie w kopalniach oraz przy tworzeniu polderów. Młotami wodnymi kruszono rudę przed jej włożeniem do pieca hutniczego. Innymi młotami ubijano zmoczone szmaty lniane i wełniane będące surowcem przy produkcji papieru. Ubijano także surowe tkaniny w procesie foluszowania (zagęszczanie tkaniny przez spłśnianie włókien). Prasy młynarskie używane były do wyciskania oleju z rzepaku. Odpowiednie przekładnie umożliwiały przeciąganie gorącego żelaza przez otwory i wytwarzanie prętów oraz drutu. Przy pomocy młynów produkowano liny konopne. Wymienione wyżej sposoby użycia energii wody to jedynie przykłady spośród bardzo wielu przemysłowych zastosowań młynów.

Zastosowania przemysłowe energii wodnej przed rokiem tysięcznym były nader rzadkie. Posiadamy jedynie wiarygodne świadectwa użycia młynów wodnych do śrutowania (tj. rozcierania) wysuszonego słoðu przy produkcji piwa (Reynolds 1983, str. 82) i fulowania surowych tkanin. Z analizy średniowiecznego angielskiego przemysłu młynarskiego można wnioskować, że pod koniec XI wieku na liście 6082 młynów w Domesday Book nie było młynów przemysłowych (Langdon 2004, str. 11). Ta sytuacja zaczęła się zmieniać od wieku XII. W roku 1300 było w Anglii już około 720 młynów przemysłowych i w ciągu następnych dwustu lat ich liczba więcej niż się podwoiła przy ogólnym spadku liczby młynów. Ponieważ przemysłowe zastosowania energii wodnej były bardzo wielostronne, pokazuje to dynamiczny rozwój przemysłu angielskiego, ale nie tylko angielskiego. Przypomnijmy szybko rosnący udział przemysłu w tworzeniu PKB. W Anglii pod koniec wieku XIV wynosił on 29% a na początku wieku XVI już 39% (Broadberry 2011, str. 38).

Anglia. Młyny w podziale na źródło energii i zastosowanie. Lata 1086 - 1500

rok	łącznie	wodne	wiatrowe	zbożowe	przemysłowe
1086	6 082	6 082	0	6 082	0
1300	12 000	9 336	2 520	11 280	720
1340	11 400	8 972	2 337	10 545	855
1400	10 440	8 696	1 618	9 135	1 274
1440	9 480	8 020	1 195	8 390	1 090
1500	9 500	8 294	988	7 828	1 672

Źródło: obliczenia własne (dokładność ± 20) na podstawie: Langdon 2004, str. 9, 11, 15, 26, 35, 43-44.



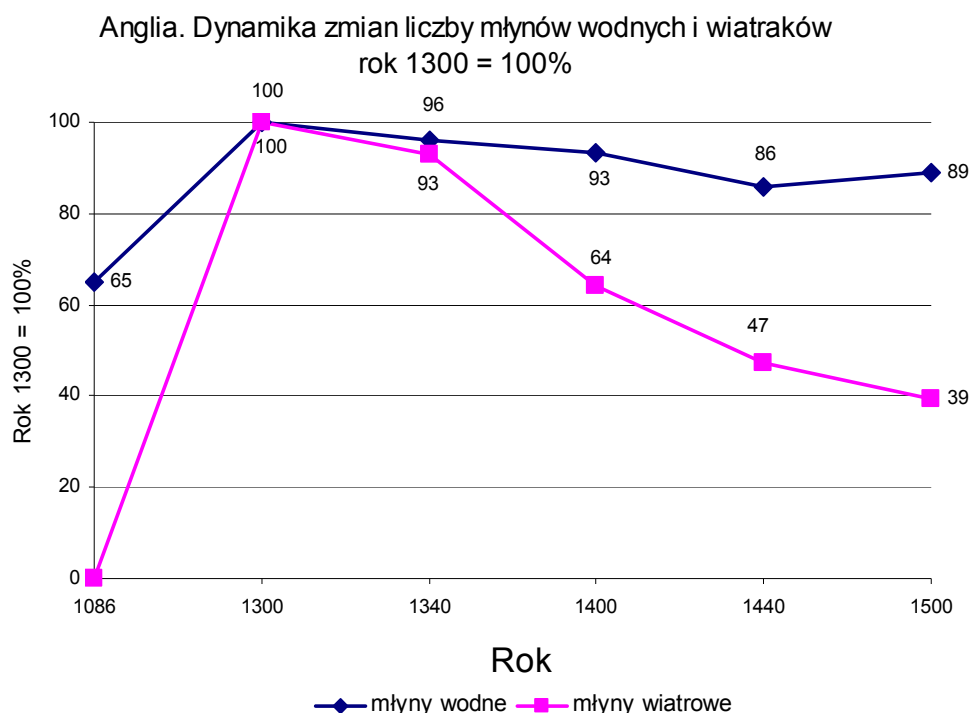
Źródło: j.w.

Na osobną uwagę zasługuje inny typ młyna, wykorzystujący energię wiatru. W Europie wiatrak pojawił się w XII wieku, w Anglii w roku 1185 (Holt 2000, str. 76). Wiatraki w większości służyły do mielenia zboża, ale znalazły też zastosowania przemysłowe opisane wyżej a w Holandii używane były na dużą skalę przy pozyskiwaniu ziemi z terenów zalanych wodą morską. Wiatraki zbożowe były znacznie częściej budowane tam, gdzie młyny wodne nie zdawały egzaminu i nie przynosiły zysku. Nie były więc ich uzupełnieniem ale substytutem. Wiatraki miały znacznie większą moc niż młyny wodne, od 8 do 10 KM w porównaniu z 3 – 5 KM młyna wodnego. Jednakże ta ich przewaga malała po uwzględnieniu bardzo wysokich kosztów utrzymania. Co do ich znaczenia w ogólnym bilansie generowanej energii, zdania są podzielone. Według niektórych badaczy, dostarczały około 25% energii dla celów przemysłowych między rokiem 1300 a 1800 (Righter, str. 15). Jeśli spojrzymy na załączoną tabelę i uwzględnimy różnicę przeciętnej mocy młyna wodnego i wiatrowego, taka kalkulacja w odniesieniu do okresu 1300-1500 wydaje się możliwa. Jednak inni badacze (Malanima 2013, str. 12) uważają, że energia wiatrowa zaczęła odgrywać większą rolę dopiero w okresie wczesnonowożytnym.

Wiatrak był konstrukcją znacznie bardziej skomplikowaną i przy ówczesnie dostępnych materiałach – o wiele bardziej zawodną. Jego budowniczy zmagali się z podstawowym dylematem: jak skonstruować budowlę na tyle lekką, by łatwo ją było kierować na wiatr (łatwo, czyli przykładając niewielką siłę i bez zatrudnienia wielu ludzi) a jednocześnie na tyle mocną, by oparła się jego podmuchom. Bo przewracanie się wiatraków było zmartwieniem ich właścicieli i operatorów. Początkowo budowano tak zwane wiatraki kozłowe (post mill), które w całości (mechanizm mielący i skrzydła wiatraczne) były stawiane na ruchomej platformie (patrz rys. 6 str.9), umocowanej na wkopanym w ziemię słupie i obracanej w kierunku wiatru przy pomocy koni (Langdon 2008, figure 3). Podstawową wadą tej konstrukcji była jej podatność na złamanie słupa podtrzymującego i przewrócenie całej budowli (patrz rys.7 str. 10). Udoskonaleniem był paltrak, który był konstrukcją podobną, ale bardziej stabilną. Także obracał się na słupie, ale podstawa budowli stykała się z ziemią a

ślizg na wiatr był ułatwiony dzięki łożyskowanym szynom umieszczonym na obwodzie. Ostatnim pomysłem technologicznym Średniowiecza w odniesieniu do wiatraków był tak zwany wiatrak holenderski, zwany też wieżyczkowym (tower mill). Jego podstawowa idea konstrukcyjna polegała na rozdzieleniu mechanizmu mielącego od skrzydeł wiatracznych. Wiatrak holenderski był masywną, nieruchomą i często murowaną konstrukcją, mieszczącą cały mechanizm młyna. Na jej szczycie mocowana była, obracana na żeliwnych rolkach, bryła (czapa) dachowa ze śmigłami. Pozwalało to ustawić śmigła wiatraka do kierunku wiatru z użyciem znacznie mniejszej siły.

Wszystkie te udoskonalenia nie zapobiegły malejącemu zainteresowaniu inwestorów budową wiatraków. Widoczne to jest na wykresie poniżej i w załączonej wcześniej tabeli. Powrót zainteresowania wiatrakami nastąpił dopiero w XVI wieku, wraz ze wzrostem liczby mieszkańców Europy.



Źródło: j.w.

Literatura (poza wymienioną w części o rolnictwie)

Braudel Fernand, Kultura materialna, gospodarka I kapitalizm XV – XVIII wiek Struktury codzienności PIW Warszawa 1992

Domesday Book, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Domesday_Book

Holt Richard, (2000), Medieval England's Water Related Technologies w: Working with Water in Medieval Europe. Technology and Resource-Use, praca zbiorowa pod red. Paolo Squatriti, wyd. Koninklijke Brill NV, Leiden

Holt Richard, (2005), Windmills, w: Medieval Science, Technology, and Medicine. An Encyclopedia, praca zbiorowa pod red.: Thomas Glick, Steven J, Livesey, Faith Wallis, Routledge

Langdon John, (2004), *Mills in Medieval Economy. England 1300-1540*, Oxford University Press

Langdon John, (2008), *The Windmill: A Medieval 'Steam Engine'?*, Paper presented on the conference: *Technology and Human Capital Formation in the East and West*, S.R. Epstein Memorial Conference London School of Economics, Department of Economic History

List of Ancient Watermills, Wikipedia,
http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_ancient_watermills

MacLeod Christine, Nuvolari Alessandro, (2011), *The Oxford Handbook of Ancien Regime*, praca zbiorowa pod red. William Doyle, Oxford University Press

Makkai Laszlo, (1981), *Productivité et exploitation des sources d'énergie (XIIe-XVIIe siècle)*, w: *Produttività e tecnologie nei secoli XII-XVII*, praca zbiorowa pod red. Sara Mariotti, wyd. Firenze

Malanima Paolo, (2008), *Mechanical Energy and Water Power in Europe. A Long Stability?*, w: *Vers une gestion intégrée de l'eau dans l'Empire romain: actes du colloque international*, Université Laval, wyd. L'Erma di Bretschneider

Malanima Paolo, (2010), *Energy and Population in Europe. The Medieval Growth (10th-14th Centuries)*, Institute of Studies on Mediterranean Societies (ISSM) National Research Council (CNR), http://www.paolomalanima.it/default_file/Papers/MEDIEVAL_GROWTH.pdf

Malanima Paolo, (2013), *Energy, Power and Growth in the High Middle Ages*, w: *Quaestiones Medii Aevi Novae*, 18, 2013

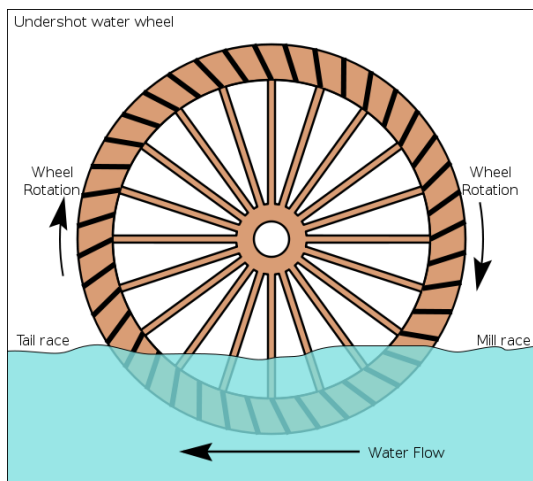
Reynolds Terry S., (1983), *Stronger Than A Hundred Men*, London, The Johns Hopkins University Press

Reynolds Terry S., (1984), *Medieval Roots of Industrial Revolution*, *Scientific American*, Volume 251, Number 1, July

Righter Robert W., (1996), *Wind Energy in America: A History*, University of Oklahoma Press

Watermill, Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Watermill>

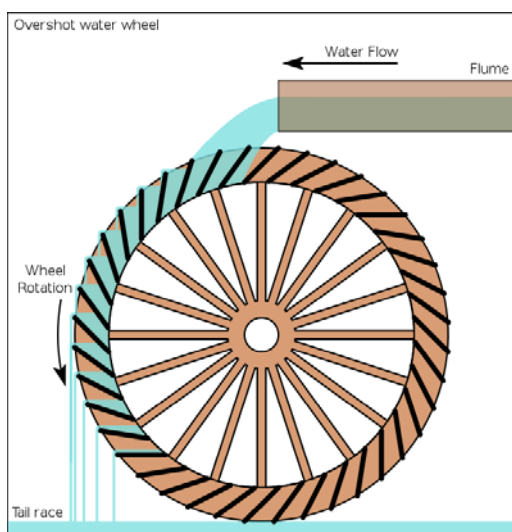
Windmill, Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Windmill>



Rys. 1 Młyn wodny, koło podsiębierne (Wikipedia, Watermill)



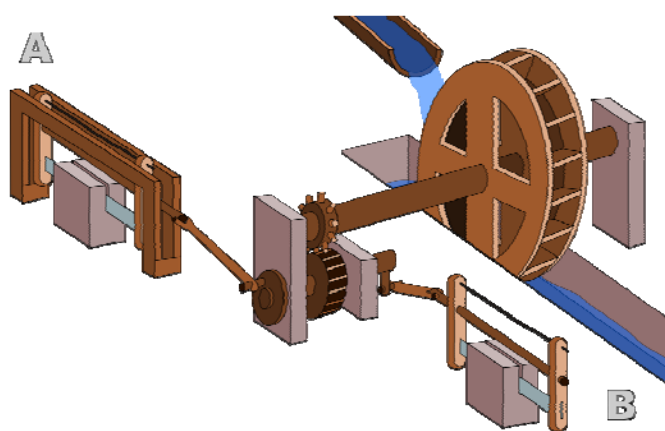
Rys. 2 Młyn wodny, koło podsiębierne (Langdon 2004, str. 85)



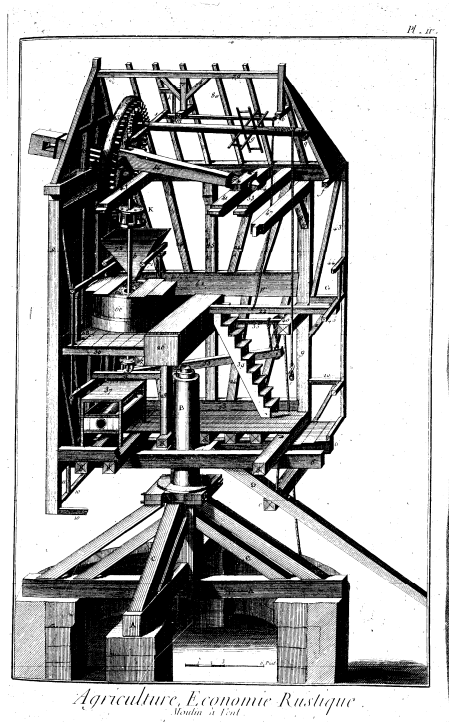
Rys. 3 Młyn wodny, koło nadsiębierne (Wikipedia, Watermill)



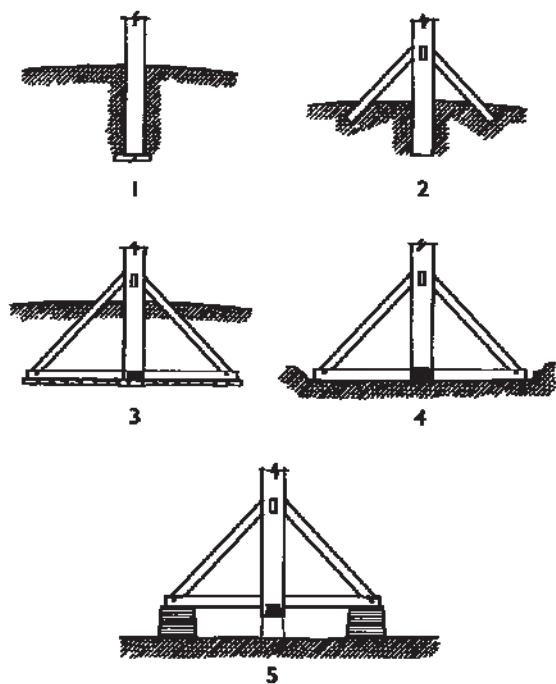
Rys. 4 Młyn wodny, koło nadsiębierne (Langdon 2004, str. 86)



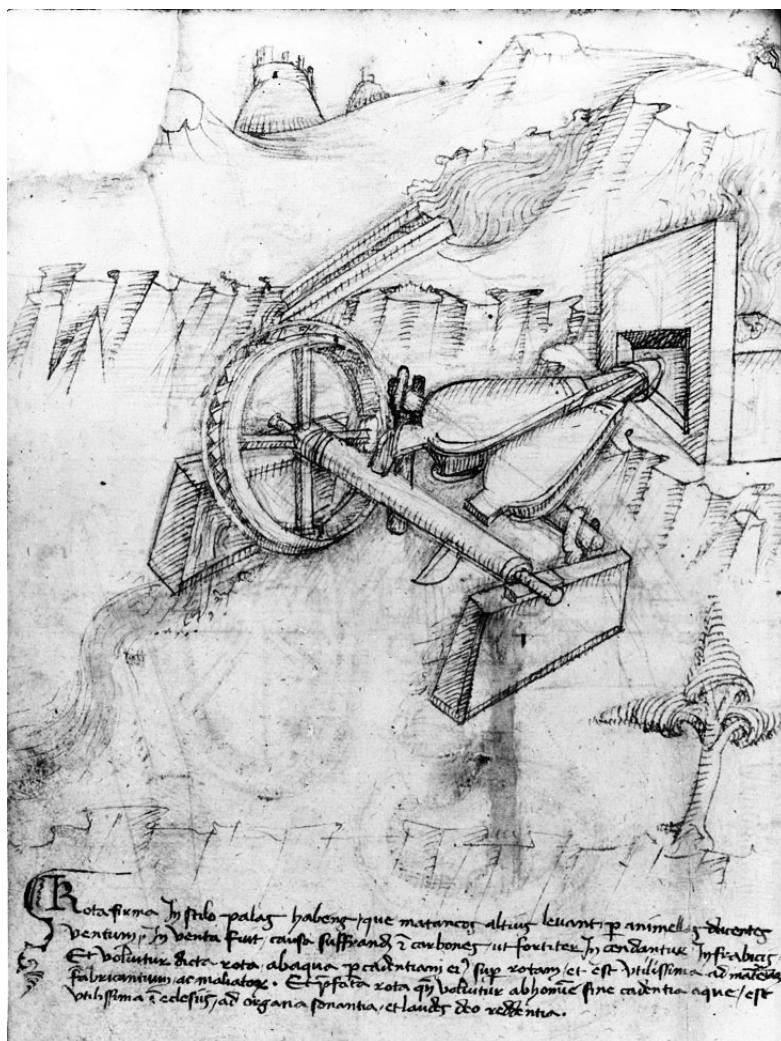
Rys. 5 Młyn wodny przystosowany do piłowania (Wikipedia, Watermill)



Rys. 6 Młyn wiatrowy, kozłowy (Wikipedia, Windmill)



Rys. 7 Ewolucja podstaw młynów wiatrowych (Langdon 2004, str. 117)



Rys. 8 Koło wodne poruszające miechy (Langdon 2004, str. 104)