

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

Jacek Kwaśniewski



Peter Bruegel Starszy, Żniwa, 1565 (fragment)

Średniowieczna rewolucja rolnicza w liczbach

o pochodzeniu środków,
dzięki którym Europa
zaczęła pościg za ówczesnymi potęgami

2020

W VII wieku Europa była zacofanym zakątkiem Eurazji. W porównaniu z okresem klasycznym nastąpił regres w kulturze i gospodarce. Handel i komunikacja na większe odległości prawie zamarły. Drogi i mosty popadały w ruinę, akwedukty niszczały i nie działały, porty karłały lub zanikały, miasta kurczyły się lub obumierały. Klasy wyższe przejawiały wobec siebie zaciekłą agresję. Bezpieczeństwo życia codziennego i egzekwowanie prawa były bardzo słabe (Mokyr, rozdział 3). Nie minęło jednak tysiąc lat a Europa miała najlepszą naukę, najlepsze statki, najlepsze działa, najwięcej miast i największą ciekawość świata. Rozpychała się agresywnie wśród innych potęg. A po następnych stu - dwustu latach to ona już dyktowała wszystkim warunki. Dawne potęgi leżały u jej stóp.

Jak do tego doszło? Przyczynkiem do wyjaśnienia fenomenu europejskiego jest wskazanie źródeł finansowania, które umożliwiły Europie jeszcze nie pościg za liderami, ale w ogóle start w tym wyścigu.

W moim tekście skupiam się zatem na mierzalnych efektach rolniczych innowacji. Pokazując innowacje rolnicze, przedstawiam zarazem wyliczenia, które wyjaśniają przeszło trzykrotny wzrost roślinnej produkcji rolniczej między VIII i XIII wiekiem (pomijam wyliczenia dotyczące istotnego wzrostu produkcji zwierzęcej). Ten wzrost stworzył nadwyżkę finansującą start Europy do cywilizacyjnego wyścigu z ówczesnymi potęgami: Chinami, islamem i Indiami.

Nie będzie to odpowiedź na pytanie, jak biedna Europa stała się bogata. Raczej, jak przestała być biedna. Mój tekst pokazuje okres od VII do XV wieku. Pod koniec tego okresu Europa zrównała dochód na głowę z największą ówczesną potęgą, czyli z Chinami i od tej pory jeszcze bardziej przyspieszyła (J. Kwaśniewski 2009, str. 5-8, 23-28; Maddison, str. 44)

Ograniczam spojrzenie do europejskiej rewolucji rolniczej. To dzięki niej Europa w dużym stopniu wydobyła się z zacofania, potroiła liczbę mieszkańców i zaczęła generować nadwyżkę, która sfinansowała urbanizację, system nauki i edukacji, wielkie inwestycje budowlane, stoczniowe, militarne. Należy jednak pamiętać, że rewolucja rolnicza bynajmniej nie wyczerpuje eksplozji technologicznej Średniowiecza. Była jej ważnym, ale tylko jednym z elementów.

Procesy, które doprowadziły do potrojenia produkcji sektora rolnego przy zmniejszeniu udziału pracujących w rolnictwie trwały 300 - 400 lat i niektórzy w związku z tym nazywają ich rewolucją. Nie będę się spierać o słowa, ale szybkość funkcjonowania ówczesnych gospodarek była nieporównywalnie mniejsza niż obecnie a konsekwencje owych trzystu - czterystu lat były rewolucyjne. Europa z ubożego i mało rozgarniętego kuzyna przemieniła się pod koniec Średniowiecza w równorzędnego partnera największych potęg pod względem siły militarnej, ekonomicznej technologicznej i naukowej. A niedługo potem stała się światowym liderem.

Na początku, w punkcie wyjścia, mniej więcej w wieku VI, VII mieliśmy technologię radła i sochy, rolnictwa żarowego, opartego na wypaleniach i przenoszeniu się po kilkunastu latach

na nowe obszary po wyjąłowieniu starych, mielenia w ręcznych żarnach i gdziekolwiek, głównie na południu stosowania dwupolowej rotacji. Produktywność oscylowała na granicy żywnościowej katastrofy. Zły rok lub dwa lata oznaczały śmierć części rodzin, głównie dzieci i ludzi starszych.

Po drugie, rozwój Europy był finansowany także bogactwami zebranymi wcześniej i ujawnionymi w wiekach XII-XIV, gdy ich posiadacze (Kościół i feudałowie) uznali, że można za nie kupić i zrobić coś atrakcyjnego. Nie sądzę jednak, by udział wcześniejszej tezauryzacji w całości finansowania rozwoju przekraczał 5-10%. A w miarę jak rosła nadwyżka produkowana przez rolnictwo, do finansowania rozwoju Europy włączył się przemysł i handel. W roku 1500 oba te sektory miały już 40 procentowy udział w PKB Europy zachodniej (Malanina, str. 16).

Po trzecie, mówiąc o technologicznej rewolucji rolniczej, trzeba koniecznie powiedzieć, że nie było w tym procesie żadnego determinizmu. Wszystko mogło się wydarzyć inaczej a rewolucja mogła nie nastąpić. W historii wiele jest przykładów, gdy ciekawe pomysły techniczne były realizowane a potem zanikały (zegar w Chinach, cement w Europie), jak nigdy nie rozpoznano ich wartości, jako narzędzia transportu (koło u Majów), jak niszczyły je decyzje polityczne (dalekomorskie statki w Chinach XV wieku), jak interesy władców zablokowały ich rozwój (druk w imperium osmańskim), jak wyprzedziły swój czas nie znajdując zastosowania (maszyna parowa Herona), jak konserwatyzm potencjalnych użytkowników zapobiegł ich wdrożeniu (awersja do pływania pod wiatr żeglarzy muzułmańskich mimo posiadania odpowiedniego ożaglowania). To czy innowacja zadziała i przyniesie efekty zależy w równym stopniu od niej samej jak od kulturowego otoczenia, w którym się pojawiła. O tym tu nie piszę, ale podczas lektury trzeba o tym pamiętać.

Po czwarte, tekst jest opisem tylko podstawowych rolniczych innowacji Średniowiecza. Do pełnego obrazu należałoby dodać wiele innych oraz pokazać wielkie zróżnicowanie w ich wdrażaniu, w podziale na różne regiony Europy i tempo w jakim się zmiany dokonywały. Ale byłaby to już książka a nie krótki artykuł.

* * *

Wśród najważniejszych zmian technologicznych, które zmieniły Europę Średniowiecza była seria innowacji rolniczych: ciężki pług, trójpolówka, zastosowanie konia jako zwierzęcia pociągowego i wiele towarzyszących tym innowacjom innych usprawnień, na przykład podkowa, chomąto, kosa, wynalazek brony, intensywne nawożenie oraz zmiany organizacji produkcji rolnej. Wszystko to zwiększyło wartość produkcji rolnej w przeliczeniu na jednego rolnika i wydajność z hektara o ponad 100-200% w okresie od VIII do XIII wieku. Trzeba do tego dodać znacznie zwiększony areał zasiewu.

Zostawmy na boku dyskusję o kierunku zależności między wzrostem populacji a zmianami technologicznymi, które zwiększają produkcję. Należy tylko wspomnieć, że seria innowacji,

zwana średniowieczną rewolucją rolniczą, była skorelowana w czasie ze wzrostem liczby mieszkańców naszego kontynentu, przesunięciem politycznego i gospodarczego centrum Europy ze śródziemnomorskiego południa bardziej na północ, co było wywołane między innymi ekspansją islamu w basenie Morza Śródziemnego oraz ociepleniem klimatu Europy.

Średniowieczne ocieplenie klimatu Europy datuje się od około roku 750 – 800. Trwało do około roku 1200 – 1300. Średnia temperatura była wyższa niż obecnie o 1-3 stopnie, w zależności od regionu. Na Grenlandii możliwa była uprawa ziemi, w Polsce rosła brzoskwinia (nie obecne krzyżówki odporne na niskie temperatury) i winorośl szlachetna. Te warunki klimatyczne bardzo wspomogły wewnętrzną kolonizację Europy, czyli rolniczą ekspansję na tereny na północ od pasa śródziemnomorskiego. (Gimpel, str. 29-31; Williams 2006, str. 92-93; Lamb, rozdz. X)

Przesuwanie centrum politycznego Europy w kierunku północnym było spowodowane szeregiem czynników. Istotną rolę odegrało wypieranie przez islam Europy z jej historycznych terenów w Afryce północnej. Tradycyjny afrykańsko azjatycki kierunek europejskiej aktywności ekonomicznej uległ znaczącemu osłabieniu. Wpływ miała także zmiana sojuszy papieżstwa w jego z konfliktach z Longobardami w VIII wieku. Zwrócenie się o pomoc do Franków ustanowiło długofalowy, północny kierunek sojuszy wojskowych.

Co do liczby mieszkańców Europy w okresie Średniowiecza, istnieje generalny consensus w sprawie długookresowych trendów i znaczna rozbieżność co do konkretnych liczb (Kwiatkowski, str. 109-114; Livi-Bacci, str. 31; Maddison, str. 34, 241). Demografowie zgadzają się, że przełom drugiego i trzeciego stulecia naszej ery wyznacza maksimum wielkości populacji europejskiej (28-44 mln.). Potem następuje kilkuwiekowy spadek liczby ludności i minimum przypada na wiek VII (19-26 mln.). Od tej pory liczba mieszkańców Europy znów rośnie i to nieprzerwanie aż do wybuchu wielkiej epidemii Czarnej Śmierci w roku 1348. Maksimum sprzed epidemii to 61-80 mln. mieszkańców. Czarna Śmierć pochłonęła, w zależności od szacunku i badanego obszaru, od 25% do 32% europejskiej populacji. Choć były regiony ze stratami sięgającymi tylko 15-20% (Europa wschodnia i środkowa) ale i takie, gdzie spadek liczby mieszkańców sięgnął 60-70% (regiony portowe Włoch). Straty zostały odrobione w ciągu 150-200 lat.

Ponad trzykrotny wzrost liczby mieszkańców Europy w okresie między rokiem 600 a 1340 nie byłby możliwy bez bardzo dużego wzrostu produkcji rolnej (Andersen i in.). Produkcja zaś rosła, bo zwiększał się areał upraw, zwiększały się plony z hektara, wprowadzano bardziej wydajne odmiany zbóż (więcej ziaren zebranych z jednego zasianego) oraz nowe rośliny, bogate w składniki odżywcze. Areał rósł dzięki zagospodarowaniu nowych terenów, co było możliwe po wprowadzeniu nowego typu maszyn rolniczych. Plony z hektara rosły dzięki zastosowaniu nowego typu płodozmianu i dbaniu o żyzność gleby poprzez jej coraz lepsze nawożenie.

O wzroście powierzchni używanej przez rolnictwo dobrze świadczy skala karczownictwa lasów a także osuszania bagien, kulturywacji wrzosowisk. Francja w wieku XIII miała o połowę mniejszą powierzchnię pokrytą lasami niż w wieku VIII. W Anglii w wieku XIII powierzchnia zalesiona była o jedną trzecią mniejsza niż pod koniec XI wieku. (Gies, str. 171). Przeważająca większość karczunków była zagospodarowywana rolniczo. Powstawały nowe pola orne, pastwiska i łąki (Mazoyer, str. 287-291).

Zwiększenie obszaru ziem rolniczych i stopniowy wzrost populacji od VII-VIII wieku powiązany był z wewnętrzną kolonizacją Europy, czyli rolniczym zagospodarowywaniem ziem w północnych Włoszech, Francji, zachodnich Niemczech, Holandii i południowo-wschodniej Anglii (Williams). Obszary te cechowały się odmiennym typem gleb niż gleby południowe, w basenie Morza Śródziemnego. Te ostatnie były glebami lekkimi i stosunkowo prymitywna technika uprawy (motyka, radło, socha) była na nich z powodzeniem stosowana od czasów antycznych. Ziemie północne były glebami wilgotnymi i ciężkimi. Lekkie, drewniane narzędzia z południa Europy nie były w stanie się z nimi uporać.

Rozwiązaniem był ciężki pług, który był całkowicie inną konstrukcją, choć służył temu samemu celowi, co motyka, radło i socha – przygotowaniu gruntu do siewu poprzez odwrócenie i pokruszenie uprawianej warstwy gleby oraz wyrwanie chwastów (Fraiori, Johnstone, Gies, Headrick, McClellan, MacLachlan, Mokyr). Ciężki pług nie tylko ciął ziemię (lemieszem), ale odcięty pas ziemi (skibę) dokładnie odwracał przy pomocy odkładnicy. Ciężki pług był narzędziem kilku – kilkunastokrotnie cięższym od radła czy sochy. Aby można nim było efektywnie operować, często posiadał umieszczone z przodu koło, tak zwaną koleśnicę albo nawet dwukołowy wózek. Koleśnica lub wózek nie tylko ułatwiał ciągnięcie pługa przez zwierzęta pociągowe, ale posiadały regulację, dzięki której można było ustawiać uniesienie pługa nad glebą a przez to głębokość orki. Głębokość różnicowano w zależności od tego, czy była to orka zaraz po zbiorach (podorywka, płytko), na zimę pod rośliny ozime (zboża, orka najgłębsza) czy na wiosnę pod rośliny jare (warzywa, rośliny strączkowe, średnia głębokość orki). Wymienione wyżej cechy ciężkiego pługa dawały zupełnie nowe możliwości. Ziemia była nie tylko znacznie lepiej przygotowana do siewu, ale przygotowanie gleby można było teraz różnicować w zależności od potrzeb. Efektywność orki przy pomocy ciężkiego pługa eliminowała potrzebę dwukrotnej orki jednego pola, na krzyż, co było powszechnie praktykowane przy orce radłem i sochą. Ponadto, sbiba odkładana ciężkim pługiem była niemal dwukrotnie szersza niż skiba odkładana radłem czy sochą (20 cm w porównaniu z 11 cm, patrz Dybeł). Skracало to czas orki. Zamiast drugiego orania na krzyż, pole jedynie bronowano w celu większego rozdrobnienia przeoranej gleby. Brona została wynaleziona i stosowana jeszcze przed upowszechnieniem ciężkiego pługa.

Ciężki pług umożliwiał ekspansję na nowe tereny, bo stwarzał możliwość ich zagospodarowania, gdy zostały już wyrąbane karczunkiem. Ale wymagał stworzenia całkowicie nowego środowiska pracy i organizacji produkcji. Po pierwsze, ze względu na

swój ciężar oraz opory stawiane orce przez ciężkie gleby lessowe, musiał być ciągnięty przez znacznie większą liczbę zwierząt. Jeden ani dwa woły nie wystarczały. Trzeba było zaprzęć od czterech do ośmiu wołów lub dwa do czterech koni. Po drugie, nawracanie długim zaprzęgiem złożonym z pługa (niekiedy podwójnego) i wielu zwierząt było trudne i motywowało do zmiany kształtu pól uprawnych na bardziej wydłużone. Oba te wymogi (wiele zwierząt pociągowych, wydłużone pola) stworzyły konieczność nowych form współpracy rolników. Powstał niwowy system pól (open-field system). Pola uprawne były maksymalnie wydłużane i dzielone na wąskie pasy (tzw. role), za których uprawę był odpowiedzialny określony gospodarz. Nie było grodzień między rolami, stąd nazwa „open-field system”. Ponieważ żaden w praktyce gospodarz nie posiadał wystarczającego zaprzęgu do orania ciężkim pługiem, czyniło to koniecznym powstanie różnego rodzaju kooperatyw zawiadujących wioskowym zasobem zwierząt pociągowych.

Ciężki pług zdawał egzamin, jeśli jego dwa elementy tnące: lemiesz i koleśnica były wykonane z żelaza albo w całości albo przynajmniej ich ostrza. To jednak znacznie podrażało całe urządzenie.

Ciężki pług pojawił się w Europie zachodniej około VII-VIII wieku, ale jego upowszechnienie zajęło następne kilkaset lat, bo, po pierwsze, był drogi a ponadto wymagał nowych form organizacji społeczności wioskowej, zaś jego efektywność i zalety dały o sobie w pełni znać dopiero, gdy wynaleziono sposób na zwiększenie siły pociągowej konia.

Orka na ciężkich ziemiach wymagała bowiem znacznie większej energii. Liczba potrzebnych zwierząt była funkcją ich mocy. Do XI-XII wieku ciężkie pługi ciągnęły woły. Koń był rolniczo bezużyteczny, bo jego siła pociągowa była we wczesnym Średniowieczu znacznie ograniczona stosowaniem antycznych form zaprzęgu, które uciskały tchawicę i dławiły oddech zwierzęcia, jeśli ciągnięty ciężar był za duży. Koń tracił przez to 80% swojej mocy. (Mokyr, rozdział 3) Rozwiązaniem okazały się dwie kolejne, ważne innowacje: nowy sposób zaprzęgnięcia oraz podkowy. Asymilacja w Europie chomąta (chiński wynalazek z I wieku, do Europy zachodniej dotarł od Słowian około wieku IX), które przenosiło ciągnięty ciężar z szyi na barki uczyniło z konia zwierzę wielokrotnie silniejsze (Fraioni, str. 44; Gans, Horse Collar, Weller). Przyrost mocy pociągowej jest aż trudny do uwierzenia. W czasach rzymskich istniał zakaz obciążania pary koni ciężarem powyżej 500 kilogramów (kodeks Teodozjusza, rok 438 ne). Natomiast rozbudowując w XIII wieku katedrę w Troyes para koni wyposażonych w chomąta ciągnęła z kamieniołomu, na odległość 50 kilometrów, wóz z kamieniami ważący łącznie 5000 kilogramów a czasem nawet 6500 kilogramów. Przyrost mocy pociągowej był dziesięciokrotny (Gimpel, str. 32).

Z kolei podkowa zapobiegała zmiękczeniu i ścieraniu kopyt i racic, co na ciężkich i wilgotnych glebach Europy zachodniej następowało szybko, w ciągu kilku miesięcy i czyniło zwierzę niezdadne do pracy na długi czas. Stosowane w czasach antycznych skórzane worki nakładane na kopyta i racice nie zdawały na nowych terenach egzaminu. Niszczyły się za

szybko. Podkowa pojawiła się w Europie około wieku IX a stała się powszechnie używana w wieku XII, wraz z rozwojem hutnictwa, większą produkcją żelaza i upowszechnieniem zawodu kowala.

Wszystkie wymienione wyżej elementy (karczunek, ciężki pług, koń, chomąto, podkowa, kooperacja wioskowej społeczności) były ze sobą sprzężone. Karczunek i zwiększenie powierzchni ziemi rolniczej byłyby bez porównania wolniejsze bez ciężkiego pługa. To ciężki pług stymulował karczunek, bo umożliwiał efektywne rolnicze zagospodarowanie wykarczowanych terenów. Ale bez chomąta, podkowy i pozostałych elementów ciężki pług tracił wiele na swej użyteczności a więc i na sile stymulowania karczunku.

Kolejną, niezwykle ważną innowacją techniczną był nowy system rotacyjnej uprawy pól, zwany trójpolówką (Trójpolówka, Three Field System). Kolonizacja terenów położonych na północ od obszarów śródziemnomorskich, rozpoczęta w VII-VIII wieku, powieliała pierwotnie dwupolową rotację, która dobrze się sprawdzała na lekkich glebach z klimatem cechującym się bardzo upalnym okresem letnim i jednym okresem wegetacji w czasie chłodniejszej, wilgotnej zimy. Dwupolówka to sianie na połowie posiadanego obszaru i ugorowanie drugiej połowy. W następnym roku siejemy na drugiej połowie a ugorem leży pierwsza. Na tym, co leży ugorem pasie się inwentarz żywy, przy okazji nawożąc tę ziemię. Ziemia w ugorze także podlega orce, najlepiej dwukrotnej, aby powyrywać chwasty, zmieszać je z nawozem, wzruszyć glebę.

Jednak bardziej na północ, w umiarkowanym, wilgotnym i chłodniejszym klimacie ziem nowo kolonizowanych, okres wegetacji był znacznie dłuższy, co umożliwiało dwukrotne zbiory w ciągu roku. Dwukrotny siew, wiosenny i późno jesienny szybciej jednak wyjaławiał glebę i dla odzyskania w niej substancji odżywczych potrzebna była nie tylko orka, ale i bardziej intensywne nawożenie oraz dłuższe ugorowanie. Wykorzystanie potencjału tych ziem uzyskano zamieniając dwupolowy system rotacji upraw na trzypolowy. Jedną trzecią ziemi przeznaczano na siew jesienny zbóż ozimych (pszenica, żyto, orkisz, rzepak), jedną trzecią na wiosenny siew roślin jarych (gryka, łubin, owies, groch, ciecierzycy, soczewica, słonecznik gorczyca, warzywa) a jedną trzecią gruntów ugorowano. W kolejnych latach następowała rotacja terenu ozimego, jarego i ugoru.

W tradycyjnej rotacji dwupolowej, przeniesionej jeszcze z czasów rzymskich, znano co prawda rośliny jare i na niektórych obszarach obsadzano nimi na wiosnę część pola nieugorowanego, ale znaczenie tych upraw było marginalne. Rośliny jare, takie jak szałwia, rzeżucha, sezam czy proso różgowe służyły głównie do wzbogacania gleby. W systemie rotacji trójpolowej, na terenach położonych bardziej na północ, zbiory jare były natomiast istotnym składnikiem diety.

Schemat organizacji pracy rolniczej w systemie trójpolowym

	1. rok	2. rok	3. rok	1. rok
pole nr 1	— — —	-----		— — —
pole nr 2	-----		— — —	-----
pole nr 3		— — —	-----	

— — — siew jesienny (zboża ozime)

----- siew wiosenny (rośliny jare)

źródło: na podstawie White, str. 71

Trójpolówka zwiększała procent ziemi uprawianej o jedną trzecią, gdyż siano teraz corocznie dwie trzecie a nie połowę ziemi uprawnej. Nie zwiększając nawet wielkości plonu z jednostki ziemi oznaczało to łączne zwiększenie plonów o 33%. Równocześnie szybka kalkulacja pokazuje, że na orkę poświęcano teraz mniej czasu, bo orano przeszło 10% mniej powierzchni. Ta oszczędność dawała kolejne korzyści.

Oto przykład: mając 600 akrów, w dwupolówce łącznie należy przeorać 900 akrów, bo ugor (300 akrów) orze się dwa razy (czyli 300 akrów pod zboże + 2 x 300 akrów ugoru = 900). Jeśli 600 akrów podlega rotacji trójpolowej, należy przeorać 800 akrów (ozime 200 + jare 200 + ugor 200 akrów x 2 = 800). Ta oszczędność na orce 100 akrów pozwala zaorać w tym samym czasie, co przy dwupolówce dodatkowe 75 akrów (ozime 25 + jare 25 + ugor 25 x 2 = 100 akrów). A zatem, mając 600 akrów i stosując dwupolówkę zbiera się plony z 300 akrów a stosując trójpolówkę – tą samą liczbą dniówek można orać i siać nie 600 a 675 akrów i zebrać plony z 450 akrów (400 + 50). Tak więc, przechodząc z dwupolówki na trójpolówkę i zwiększając areał rolny o 1/8 (z 600 na 675) zwiększamy areał orny a więc i plony o 50% (porównaj tabela str. 7). I to bez zwiększenia pracochłonności i poprawy żyzności gleby.

Zwiększenie plonów w systemie trójpolowym w porównaniu z dwupolowym

Dwupolówka 600 akrów		
siew i orka zboża	300	akrów
orka ugoru (2 razy)	2 x 300	akrów
razem orka	900	akrów orki
plony z	300	akrów

Trójpolówka 600 akrów			
jesień: orka i siew ozime	200	akrów	
wiosna: orka i siew jare	200	akrów	
orka ugoru (2 razy)	200 x 2	akrów	
razem orka	800	akrów orki	
plony z	400	akrów	
zaoszczędzona robocizna w porównaniu z dwupolówką (100 akrów) pozwala na:			
jesień: orka i siew ozime	25	akrów	
wiosna: orka i siew jare	25	akrów	
orka ugoru	25 x 2	akrów	
razem orka	100	akrów orki	
plony z	50	akrów	
w sumie	800 + 100 = 900	akrów orki	
w sumie plony z	400 + 50 = 450	akrów	

Źródło: opracowanie własne na podstawie White, str. 71-72

Przedstawiony rachunek dowodzi, że przejście na system rotacji trójpolowej stanowiło zarazem silną zachętę do zwiększania użytkowanego areału. W tym samym czasie, co w rotacji dwupolowej, można było obrobić więcej powierzchni zyskując znacznie więcej plonów. Trójpolówka stymulowała zatem karczunek i inne sposoby pozyskiwania nowych gruntów rolniczych, jak osuszanie bagien, kultywacja wrzosowisk i innych nieużytków (White, str. 71-72).

Zalety rotacji trójpolowej na tym się nie kończyły. Praca rolników była rozłożona w roku bardziej równomiernie. Malowało ryzyko głodu dzięki dywersyfikacji upraw, gdyż rośliny siane wiosną mogły łagodzić nieurodzaj zbóż sianych jesienią. Zbiory jare poprawiały ponadto jakość diety (białko roślinne, witaminy). Wreszcie, jedną z roślin jarych był owies, którego zbiory umożliwiły szerokie zastosowanie konia jako zwierzęcia pociągowego.

Wół jest silnikiem napędzanym sianem, koń – głównie owsem. Dopóki rotacja trójpolowa nie była szeroko stosowana, owsa nie siano w ogóle lub bardzo mało i czyniło to konia zwierzęciem zupełnie nieopłacalnym w rolnictwie. Owsa nie siano, bo we wczesnym Średniowieczu (VI – VIII wiek) koń nie był efektywnym napędem (brak chomąta) a ubogie plony dające z miary zboża zasianego od półtorej (wielki nieurodzaj) do dwóch i pół miary (dobry urodzaj) zboża zebranego (Bavel, str. 131; Mazoyer, str. 243) zupełnie uniemożliwiały jego utrzymanie do prac rolnych.

Atrakcyjność konia, jego konkurencyjność głównie wobec wołu, pojawiła się dopiero wraz z trójpolówką, chomątem i podkową. Nowy, trójpolowy system płodozmianu zwiększał produktywność całkowitą oraz z hektara i stopniowo umożliwiał coraz większe sianie wiosną owsa bez szkody dla dziennego zapotrzebowania kalorycznego rolników. Wzrost produktywności obszarów uprawnych wynikał ze zwiększenia obsiewanego areału (2/3 zamiast połowy obszaru upraw) a wzrost produkcji z hektara ze zwiększonej żyzności gleby.

W celach militarnych koń używany był w Europie już w epoce Karolingów (VIII-IX wiek). (Halsal, str. 175; Verbruggen, str. 23; Rogers, str. 330-333; List of price, Medieval Sourcebook) Wówczas jego cena wynosiła ok. 12 solidów (solid – 4,5 grama złota) i równała się cenie 6 wołów. Koń był więc niesłychanie drogi i równocześnie nieprzydatny do celów rolniczych i transportowych, bo zwiększające wielokrotnie jego siłę pociągową chomąto i podkowa nie były wówczas znane a powszechnie stosowany płodozmian dwupolowy nie produkował owsa – podstawowego pokarmu konia. Zalety konia, czyli siła pociągowa równa wołu przy szybkości o 50% większej i pracy o kilka godzin dłuższej (White, str. 62) ujawniły się dopiero w wieku XI-XII wraz z chomątem, podkową i stopniowym wprowadzaniem trójpolówki. Zwłaszcza ta ostatnia innowacja spowodowała spadek ceny konia. W drugiej połowie XIII wieku cena zakupu konia pociągowego była porównywalna z ceną wołu, choć przy kosztach operacyjnych konia o 40% wyższych. (Langdon, str. 37) Wyższe koszty operacyjne były jednak z nawiązką rekompensowane jego wszechstronnością.

Koń był szybszy o 50% i pracował dziennie 1-3 godziny dłużej niż wół. Choć siła pociągowa obu zwierząt była podobna, pozwalało to lepiej wykorzystać czas dobrej pogody i zmniejszało straty wywołane niedobrą aurą podczas żniw. Przyspieszało znacznie orkę i bronowanie późniwie, co było szczególnie ważne na północy. Te zalety powodowały, że w XII wiecznej Europie wschodniej miarą gruntów ornych była powierzchnia, którą mogą przeorać dwa woły lub jeden koń (White, str. 63).

Orka końmi była wygodniejsza, bo można było zaprzęgać dwa konie zamiast czterech wołów i cztery konie zamiast ośmiu wołów. Krótszy zaprzęg to łatwiejsze i szybsze nawracanie oraz większa ogólna manewrowalność całego zespołu ornego.

Zalety konia nie wyczerpywały się w sferze prac polowych. Jego większa szybkość przy tej samej sile pociągowej co wołu oznaczała możliwość docierania koniem do bardziej odległych miejsc. Poszerzało to obszar zbytu produkowanych towarów i otwierało na świat i na rynek rolników zamkniętych dotąd w swoich opłotkach. Koń z chomątem i podkową, wóz dwuosiowy z ruchomą przednią osią (od XIV wieku) oraz lepsze drogi i większa ilość mostów zmieniły istotnie opłacalność transportu. Za czasów rzymskich transport drogami podwajał cenę towarów masowych co sto przebytych mil. W XIII wiecznej Europie transport lądowy na odległość 100 mil był już trzy razy tańszy. Zwiększał cenę towarów o 30%. (White, str. 66). To już stwarzało możliwości rynkowej penetracji odleglejszych obszarów.

Koń wreszcie przyczyniał się do powstawania znacznie większych skupisk ludzkich. Możliwość dojeżdżania do bardziej odległych pól pozwalała rolnikom osiedlać się w coraz większych wsiach. Małe wsie pustoszały. Duża wieś oznaczała większe możliwości obrony w czasie zagrożenia oraz wiele atrakcji. Była w niej karczma jako miejsce towarzyskich spotkań, większy kościół i często istniejąca przy nim szkoła, gdzie można było posłać syna na naukę pisania i rachowania. Większa liczba sąsiadów to więcej kandydatów do ręki córek. Wreszcie częstsze były tu odwiedziny kupców z dalekich stron, z atrakcyjnymi towarami i równie ciekawymi opowieściami z odległego świata.

Wielką rolę w zwiększeniu żyzności gleby odegrało nowe narzędzie – kosa. Pojawiła się w Europie w okolicach IX wieku. Jej szerokie zastosowanie datuje się jednak dopiero od wieku XI-XII. Była droga, bo wyrabiana z żelaza a jej produkcja wymagała specjalnych umiejętności sklepywania razem dwóch rodzajów żelaza. Trzeba więc było poczekać aż metalurgia uczyni postępy, stanie się bardziej powszechna a żelazo stanieje.

Kosa miała kilka zastosowań, ale skoncentrujmy się na jej użyciu do koszenia łąk. Latem, bydło, trzodę chlewną i owce wypasano na pastwiskach i łąkach i przepędzano na noc na pola ugorowane, by zwierzęta je użyźniały. Jesienią przygotowywano zapasy paszy na zimę kosząc trawy i ustawiając je w stogi. Zimą zwierzęta pędzono do stogów a nocą przepędzano na pola ugorowane. Dopóki narzędziem żniwnym był sierp, znaczna część traw była marnowana, bo wydajność sierpa była niewielka i tylko część traw była jesienią koszona i składowana na zimę. To oznaczało konieczność uboju na zimę części inwentarza i straty w

ilości nawozu, który zimą użyźniał pola. Straty nie wynikały tylko z mniejszej ilości inwentarza. Zarówno latem jak i zimą, mniej więcej dwie trzecie nawozu tracono (Mazoyer, str. 243), bo nie docierał do pól ugorowanych. Ładował na pastwiskach i drogach w trakcie nocnych przepędzeń.

Wprowadzenie kosy umożliwiło zebranie jesienią z pastwisk i łąk całego zapasu niezjedzonych przez zwierzęta traw. Ubój przedzimowy nie był potrzebny (co oznaczało wzrost pogłowia), ale i tak znaczna część nawozu nie docierała do ugorów, by je użyźnić ze względu na konieczność nocnych przepędzeń. Rozwiązaniem radykalnie zwiększającym żyzność było trzymanie zimą zwierząt hodowlanych koło obejścia w specjalnych pomieszczeniach, karmienie zwiezionym sianem, składowanie całego nawozu i rozrzucanie go na polach. Takie rozwiązanie wymagało jednak transportu siana z pastwisk do obór, stajni i chlewów; ściółki z pól i lasu dla trzymanyh zimą w pomieszczeniach zwierząt i przewiezienia obornika z tych pomieszczeń na pola (Mazoyer, rozdział 7). Potrzebny były do tego wozy, jedno lub dwuosiove. Były to jednak skomplikowane i drogie urządzenia i dopiero w XI wieku widzimy ich więcej.

Nawóz naturalny w postaci obornika, czyli mieszaniny kału, moczu i ściółki jest bardzo cenny we wzbogacaniu gleby w substancje odżywcze: azot, fosfor, potas, wapń, magnez i inne. Duże zwierzę gospodarskie produkuje rocznie 15 ton ekskrementów. Do roku 1000 tylko 1/3 nawozu produkowanego przez zwierzęta gospodarskie ładowała na polach ugorowanych. W wieku XIII było to około 50-65%. W przeliczeniu na hektar było to 5 ton do roku 1000 i 7,5-9,8 ton w wieku XIII, czyli wzrost o 50-100%. Dla porównania, obecnie za optymalne dawki obornika na hektar uznaje się 35-40 ton.

Zastosowanie nowych narzędzi (kosa, widły, wozy), nowej infrastruktury (zimowe pomieszczenia) oraz odpowiadającej tym innowacjom nowej organizacji produkcji zasadniczo podniosło wydajność z hektara. Porównajmy sytuację w drugiej połowie pierwszego tysiąclecia i kilkaset lat później, w wieku XIII.

W wiekach VIII – X plony z hektara wynosiły w Europie około pięciu kwintali (kwintal = 100 kilogramów) brutto a netto (po odjęciu strat i ziarna na przyszłoroczny zasiew, ale przed dziesięciną) około trzech, czasem czterech (Mazoyer, str. 243). Rodzina pięcioosobowa była w stanie obrabiać powierzchnię 6-7 hektarów. Do bardzo skromnego przeżycia jej zapotrzebowanie kaloryczne w przeliczeniu na zboże wynosiło 10 kwintali rocznie. Zboże dostarczało około 75% wkładu kalorycznego ówczesnej diety rolników. Na osobę musiało więc do przeżycia przypadać 200 kilogramów zboża, co po przerobieniu na chleb zapewniało około 1600 kcal dziennie.

W płodozmianie dwupolowym na sześć hektarów pracują co roku tylko trzy hektary. Wydajność netto z jednego hektara równa 3-4 kwintalom dawała średnioroczne plony z sześciu hektarów od dziewięciu do dwunastu kwintali (3 ha x 3-4 q = 12 q). Rodzina żyła więc na krawędzi głodu. Zły rok mógł mieć tragiczne skutki. Trzeba do tego dodać daniny na

rzecz Kościoła i pana: w naturze i/albo w pracy na jego polach. Z drugiej strony należy pamiętać, że ówczesni ludzie nie pracowali tak intensywnie jak my. Ilość dni pracy w roku nie przekraczała 150 (Schor).

Kiedy opisane elementy rewolucji agrotechnicznej połączyły się w jeden działający mechanizm a nastąpiło to pod koniec XII i w XIII wieku, sytuacja przedstawiała się radykalnie inaczej.

Rotacja trójpolowa i lepsza żyzność gleby zwiększyły plony z hektara z 3 do 6-8 kwintali netto (po odjęciu strat i ziarna na przyszłoroczny zasiew, ale przed dziesięciną) (Mazoyer, str. 281-282; Broadberry, str. 39). Zakładając zbiory ozime w wysokości 6 kwintali netto a jare w wysokości 4 kwintali netto, produkcja z 6 hektarów w rotacji trójpolowej przynosiła 20 kwintali zboża i innych roślin uprawnych (2 ha x 6 q + 2 ha x 4 g = 20 kwintali). Wzrost produktywności z hektara wynosił 100%. Były regiony, gdzie był większy. Nadwyżka ponad minimalne potrzeby bezpośredniego producenta wynosiła zatem 10 kwintali lub więcej (Mazoyer, str. 281-282). Musimy dodać, że całkowita powierzchnia uprawna w Europie XIII wieku była o mniej więcej 30-40% większa niż w wieku VIII-IX. Większym plonom z hektara towarzyszyło więc znacznie więcej uprawianych hektarów.

Można zatem wyliczyć, że wzrost plonów z hektara oraz wzrost powierzchni areału rolnego spowodował trzykrotny wzrost produkcji roślin uprawnych między VII a XIII wiekiem (patrz ramka poniżej). Trzeba do tego dodać znaczny wzrost produkcji mięsa, mleka i jego przetworów.

Ta właśnie nadwyżka była w istotnej części źródłem finansowania wzrostu gospodarczego i rozwoju cywilizacyjnego Europy startującej do międzykulturowego wyścigu z ówczesnymi potęgami: Chinami, islamem i Indiami.

Opisane innowacje techniczne i organizacyjne (ciężki pług, trójpolówka, niwowy system pól, koń, chomąto, podkowa, kosa, widły, wóz jedno i dwuosiowy, karmienie zwierząt hodowlanych zimą w pomieszczeniach przy obejściu) były wdrażane kilkaset lat i znalazły się w powszechnym użyciu dopiero w XIII i XIV wieku, mimo, że niektóre były już znane w VIII wieku (ciężki pług, trójpolówka, wozy jednoosiowe). Dlaczego zajęło to tyle czasu?

Efekty produkcyjne głównych elementów rewolucji rolniczej

Trzy elementy:	
1/ Zwiększenie areалу upraw o 30%	
2/ Zwiększenie produktywności ziemi z 50% do 66% (plony z 1/2 ziemi vs plony z 2/3 ziemi)	
3/ Zwiększenie wydajności upraw z 3 q/ha do 6 q/ha	
powodują razem przeszło 3-krotne zwiększenie produkcji (ze 150 do 515 q, tj. 3,43 razy)	
VII - VIII wiek. Dwupolówka	XIII wiek. Trójpółówka
1/ 100 hektarów powierzchni rolniczej	1/ 130 hektarów powierzchni rolniczej
2/ Plony z 50 ha (100 x 1/2 = 50 ha)	2/ Plony z 86 ha (130 x 2/3 = 86 ha)
3/ Średnie plony netto 3 q/ha	3/ Średnie plony netto 6 q/ha
Plony razem ze 100 ha:	Plony razem ze 130 ha:
50 ha x 3 q/ha = 150 kwintali	86 ha x 6 q/ha = 515 kwintali

Opracowanie własne White, str. 71-72

Są trzy główne powody tak długiego rozłożenia w czasie implementacji nowych rozwiązań technicznych: opory społeczne, koszty wdrażania innowacji oraz synchronizacja innowacji w czasie.

Opory społeczne. Każda innowacja wiąże się z ryzykiem. Chłopi żyli na skraju ubóstwa. Jeden zły rok mógł uśmiercić część rodziny. Byli więc bardzo ostrożni i nieufni. Na przykład przejście do płodozmiannu trójpółowego wymagało radykalnych zmian kształtu pól. Niepiśmienni i słabo potrafiący liczyć chłopi obawiali się, czy odebranie im wielu poletek, które mieli od pokoleń i przyznanie w zamian innych, bardziej scalonych, w innym miejscu i o innym kształcie dokona się uczciwie i z korzyścią dla nich. Szło nie tylko o samą powierzchnię, ale także o odległość od domostwa oraz zróżnicowaną żyzność terenów wokół wioski. Dlatego dynamiczne zmiany w tym względzie następowały częściej, gdy powstawała nowa wieś lub ponownie była zaludniana stara, zniszczona i ze zdziesiątkowaną ludnością. Pamiętajmy bowiem, że druga połowa IX i pierwsza połowa X wieku to okres zamętu, kiedy Europę najeżdżały hordy Madziarów i bandy Wikingów. I właśnie po ustaniu tego okresu chaosu i rozprężenia obserwujemy szybkie przechodzenie do systemu niwowego pól i trójpółówki.

Koszty. Kapitał zaangażowany w XIII-wieczną produkcję rolną wykorzystującą opisane innowacje techniczne i organizacyjne obejmował jedną lub dwie kosy, wóz jednoosiowy, ciężki pług, bronę, walec do ubijania ziemi, stosunkowo duże budynki do przechowywania siana, ściółki i powiększającej się liczby zwierząt. Poza tym było szereg mniejszych narzędzi: sierpy, motyki, łopaty, które miały główne elementy z żelaza. Wartość tego kapitału była dziesięć razy większa niż to, co było niezbędne rolnikowi w VIII wieku. (Mazoyer, str. 269). Mało produktywno gospodarstwa, operujące do X wieku głównie sochą, nie były w stanie zgromadzić nawet niewielkiej części takiego wyposażenia. Również wielkie posiadłości zdobywały go stopniowo. Musiały minąć pokolenia zanim wyposażenie radykalnie zwiększające produktywność upowszechniło się.

Synchronizacja innowacji w czasie. Niektóre innowacje nie mogły się szeroko upowszechnić dopóki nie pojawiły się inne innowacje, uzupełniające. Przykładem było rolnicze i transportowe wykorzystanie konia. Bez chomała, podkowy i trójpolówki był używany głównie i prawie jedyne w celach militarnych. Kosa, choć bardzo użyteczna, musiała poczekać na taki rozwój metalurgii, by żelazo na tyle staniało, że umiejętności kowalskie znalazły szeroki popyt. Te same innowacje w jednych regionach rozpowszechniały się szybko a w innych powoli z powodu różnego tempa rozwoju tych regionów. Tam gdzie liczba mieszkańców szybko wzrastała (regiony rozwiniętego handlu, centra komunikacyjne), trójpolówka przyjmowała się znacznie szybciej.

* * *

Rewolucja rolnicza wyrwała Europę z marazmu gospodarczego i wprowadziła na nowe tory. W rolnictwie powstawała coraz większa nadwyżka. W okresie od VIII do XIII wieku nastąpił trzykrotny wzrost produkcji roślinnej oraz istotny wzrost produkcji mięsa, mleka i przetworów mlecznych. Wzrost ten dokonał się przy malejącym udziale ludności zatrudnionej w rolnictwie w całości populacji (Roser). Coraz więcej ludzi mogło się włączyć do działalności gospodarczej nie produkując żywności. Urbanizacja Europy, bliska zero procent w V-VI wieku, sięgnęła poziomu 10-15% około roku 1500 (Clark, str. 40) a były regiony, gdzie ten wskaźnik wynosił 30-40% (Włochy, Hiszpania, południowe Niderlandy) (Clark, str. 34). Ludność miejska nierolnicza tworzyła coraz większą porcję PKB, średnio dla Europy 40% w roku 1500 a w Anglii – 60% (1522) (Broadberry, str. 38).

Rosnąca produkcja zboża kazała szukać bardziej efektywnych metod jego przerobu. Odpowiedzią na to wyzwanie było bardzo szerokie wykorzystanie energii wodnej do mielenia zboża (200 tysięcy młynów w XIII wieku). Szybko się okazało, że ten rodzaj energii może uruchomić także inne maszyny. Nowe źródło energii wpłynęło więc na rozwój wielu dziedzin gospodarki, od produkcji tkanin i ubrań po metalurgię. Rosnąca nadwyżka i produkcja nierolnicza ożywiła handel, który umożliwiał kontakty między producentami i odbiorcami. Handel spowodował powstanie zarówno księgowości jak i instytucji finansowych ułatwiających jego działanie. Wpłynął na postęp w transporcie, zarówno pod względem doskonalenia samych środków transportu, infrastruktury jak i ochrony kupców i ich mienia.

Rewolucja rolnicza spełniła rolę koła zamachowego. Nadała pierwszy rozpęd. Rosnąca nadwyżka została wykorzystana także do stworzenia infrastruktury nauki europejskiej oraz sfinansowała wielki boom budowlany. Budownictwo sakralne wchłonęło kilkanaście procent PKB Europy, stymulując ze swej strony rozwój wielu dziedzin około budowlanych.

Literatura cytowana i wykorzystana

Andersen T.B., Jensen P.S., Skovsgaard Ch.V., (2014), The Heavy Plough and the Agricultural Revolution in Medieval Europe, EHES Working Papers in Economic History, No. 70

Bavel Bas van, (2010), Manors and Markets: Economy and Society in the Low Countries, 500–1600, Oxford University Press Inc., New York

Broadberry St., Campbell B., Klein A., Overton M., Leeuwen B., (2011) British Economic Growth, 1270 – 1870: An Output-Based Approach, (Dec. 2011),
<https://www.researchgate.net/publication/254453531/download>

Cipolla Carlo, (2005). Before Industrial Revolution: European Society and Economy 1000 – 1700, London: Routledge

Clark Peter, (2009), European Cities and Towns, 400 – 2000, Oxford: Oxford University Press

Comparing prices in medieval France, (2014),
<http://leslefts.blogspot.com/2014/08/comparing-prices-in-medieval-france.html>

Crop rotation, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Crop_rotation

Dybeł Tadeusz, Średniowieczna gospodarka rolna, "Głos Radziszowa" nr 4, VI 1998, s. 6-7.
<http://www.nasradziszow.com/artyku%C5%82y-o-radziszowie/21-artykuly-o-radziszowie/z-dawniejszych-dziej%C3%B3w-radziszowa/77-%C5%9Bredniowieczna-gospodarka-rolna.html>

Edge David, Paddock John Miles, (1988), Arms and Armor of Medieval Knight, An Illustrated History of Weaponry in the Middle Ages, Brompton Books Corporation

Fraioli Luca, (2000), Historia techniki. Człowiek tworzy swój świat, Bellona

Gans Paul J., (2004), The Medieval Horse Harness: Revolution or Evolution? A Case Study in Technological Change, w: Zenner Marie-Thérèse (ed), Villard's legacy : studies in medieval technology, science, and art in memory of Jean Gimpel, Ashgate,
<http://www.angelfire.com/tx6/gans/gans04.pdf>

Gies Joseph, Gies Frances, (1995), Forge and Waterwheel. Technology and Invention in Middle Ages, Harper Perennial

Gimpel Jean, (1976), The Medieval Machine. The Industrial Revolution of the Middle Ages, New York: Penguin Books

Halsall Guy, (2003), Warfare and Society in the Barbarian West, New York: Routledge

Hartman Rachel, The Medieval Agricultural Year,
<http://www.strangehorizons.com/2001/20010212/agriculture.shtml>

Headrick Daniel R., (2009), *Technology: A World History*, New York: Oxford University Press, Inc.

Horse Collar, Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Horse_collar

Johnston Ruth A., (2011), *All Things Medieval An Encyclopedia of the Medieval World*, Santa Barbara: Greenwood

Kwiatkowski Stefan, (2007), *Średniowieczne Dzieje Europy*, Warszawa: Wydawnictwo Trio

Lamb H.H., (1997), *Climate, History, and the Modern World*, London: Routledge

Langdon John, *The Economics of Horses and Oxen in Medieval England*, *The Agricultural Historical Review*, Vol 30 1982

List of price of medieval items, <http://medieval.ucdavis.edu/120D/Money.html>

Livi-Bacci Massimo, (1997), *A Consise History of World Population*, Blackwell Publishers

MacLachlan James, (2002), *Children of Prometheus: A History of Science and technology*, Toronto:Wall & Emerson, Inc.

Maddison Angus, (2006), *The World Economy Vol 1: A Millennial Perspective Vol 2: Historical Statistics*, OECD Publishing

Malanima Paolo, Cascio Elio Lo, (2009), *GDP in Pre-Modern Agrarian Economies (1-1820 AD) A Revision of the Estimates*, *Rivista di storia economica*, 2009, issue 3, pages 391-420

Mazoyer Marcel, Roudart Laurence, 2006, *A History of World Agriculture: From the Neolithic Age to the Current Crisis*, London, Earthscan

McClellan III James E., Dorn Harold, (2006), *Science and Technology in World History. Introduction*, Baltimore: The Johns Hopkins University Press

Medieval Sourcebook: Medieval Prices,
http://faculty.goucher.edu/eng240/medieval_prices.html

Medieval Agriculture Crops and Crop Yields,
http://myweb.tiscali.co.uk/thelemur/ars/mundane_background/General/medieval_agriculture.html

Mokyr Joel, (1990), *Lever of Riches*, Oxford University Press

Nelson Lynn H., *The Peasants: Advances in Agricultural Technology 800-1000*, w: *Lectures in Medieval History*, <http://www.vlib.us/medieval/lectures/peasants.html>

Orłowski Boleslaw, (1999), *Technika*, Ossolineum

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

Rogers James E. Thorold, (1866, 2011), *A History of Agriculture and Prices in England: From Vol 1 1259 - 1400*

Rogers James E. Thorold, (1884, 2001), Six Centuries of Work and Wages: The History of English Labour, Botoche Books

Roser Max, (2014), Agricultural Employment, w: <http://ourworldindata.org/data/food-agriculture/agricultural-employment>

Schor Juliet B., (1993), Overworked American: The Unexpected Decline of Leisure, Basic Books. Także Schor J.B., Pre-industrial workers had a shorter workweek than today's, http://groups.csail.mit.edu/mac/users/rauch/worktime/hours_workweek.html

Staples Andy, (1999 & 2011), The Medieval Farming Year (v1.1), <http://www.penultimateharn.com/history/medievalfarmingyear.html>

Tables of medieval english wages and prices, <http://www.medievalcoinage.com/prices/medievalprices.htm>

The agricultural revolution in medieval Europe, <http://www.flowofhistory.com/units/west/10/FC63>

<http://www.flowofhistory.com/category/export/html/207.html> nowe 2.2020

The Medieval Technology Pages Paul J. Gans, <http://scholar.chem.nyu.edu/tekpages/Subjects.html> nie działa

Three centuries of English crops yields 1211-1491, <http://www.cropyields.ac.uk/project.php>

Three field system, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Three-field_system

Three sector theory, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Three-sector_theory

Trójpólówka, Wikipedia, <http://pl.wikipedia.org/wiki/Tr%C3%B3jpol%C3%B3wka>

Verbruggen J. F., (1997), The Art of Warfare in Western Europe During the Middle Ages From the Eight Century to 1340, The Boydell Press, Woodbridge 1

Weller Judith A., Roman traction systems, <http://www.humanist.de/rome/rts>

White Lynn, Jr. (1962), Medieval Technology and Social Change, Oxford University Press

Economics of English agriculture in the Middle Ages, Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Economy_of_England_in_the_Middle_Ages

Williams Michael, (2000), Dark Ages and Dark Areas: Global Deforestation in the deep past, Journal of Historical Geography, 26, 1 (2000) 28–46

Williams Michael, (2006), Deforesting the Earth: From Prehistory to Global Crisis An Abridgment, Chicago: The University of Chicago Press

dla Przemka i Mai