

Jan Kielar\*

## Kinematyka układu napędowego wiatraka w Łąkorzu z drugiej połowy XIX wieku

### Kinematics of the drive system of the windmill in Łąkorz, dating back to the second half of the 19<sup>th</sup> century

**Słowa kluczowe:** wiatrak, młyn, technika młynarska, kinematyka, dziedzictwo techniki

**Key words:** windmill, mill, milling technology, kinematics, technological heritage

#### WSTĘP

Do dziś młynarstwo zostało zbadane pod wieloma względami w sposób bardzo obszerny. Zwraca się jednak uwagę na potrzebę badania młynów przemysłowych, stanowiących dziedzictwo techniki. Są nim także zachowane do dziś młyny, folusze, tartaki oraz wszystkie inne obiekty posiadające nawet najprostsze mechanizmy robocze. Twórcy tych obiektów musieli dysponować wiedzą znacznie wyższą niż budowniczowie samej architektury.

Pozornie proste układy technologiczne młynów wietrznych nie były dotąd badane pod kątem inżynierskim. Dlatego niniejszy artykuł może stanowić próbę wypełnienia pewnej luki badawczej. Jego podstawą była autorska praca magisterska napisana na Politechnice Poznańskiej, na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska z uwzględnieniem uwag promotora, dr. hab. inż. Piotra Rappa, profesora Politechniki Poznańskiej, dzięki któremu wykorzystano metody obliczeniowe stosowane w inżynierii wiatrowej.

Głównym tematem artykułu jest kinematyka układu napędowego młyna wietrzego w Łąkorzu, powstałego w drugiej połowie XIX wieku. Celem jest obliczenie prędkości obrotowych wszystkich elementów napędowych oraz potencjału energetycznego całego układu. Obecnie jest to układ niesprawny, jednak od chwili powstania wiatraka pracował skutecznie przez długi czas, mieląc zboże na mąkę z wykorzystaniem wyłącznie siły wiejącego wiatru (ryc. 1). Z tego względu badania

#### INTRODUCTION

To date, many aspects of milling have been comprehensively researched. However, there is still a need for researching the industrial mills which form part of our technological heritage. These structures, which have survived to the present, include flour mills, fulling mills, sawmills and other buildings equipped with even the simplest of working mechanisms. Those who created these buildings must have had access to much wider knowledge than the builders of the architectural structures.

The apparently simple technological systems of windmills have not been investigated so far from an engineering perspective. This paper seeks to fill this research gap. It is based on the Master's thesis of the author, who completed his studies at the Faculty of Building and Environmental Engineering of the Poznań University of Technology. The Thesis incorporated suggestions and comments of prof. Piotr Rapp of the Poznań University of Technology, who acted as supervisor and proposed using calculation methods applied in wind engineering for the purpose of the thesis.

The main focus of the paper concerns the kinematics of the drive system of the nineteenth century windmill located in Łąkorz. The goal of the research was to calculate rotational speed for each of the drive elements and the energy potential of the drive system as a whole. The system is no longer operational, although it operated efficiently for many years following construction of the windmill, using wind power to grind grains into flour (fig. 1). For this reason, the kinematics research had to

\* absolwent Politechniki Poznańskiej oraz Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu

\* graduate of the Technical University in Poznań and the Nicolaus Copernicus University in Toruń

**Cytowanie / Citation:** Kielar J. Kinematics of the drive system of the windmill in Łąkorz, dating back to the second half of the 19<sup>th</sup> century. *Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation* 2017;50:7-13

**Otrzymano / Received:** 4.11.2016 • **Zaakceptowano / Accepted:** 4.09.2017

**doi:**10.17425/WK52KINEMATICS

*Praca dopuszczona do druku po recenzjach*

*Article accepted for publishing after reviews*

kinematyki musiała poprzedzić kwerenda bibliograficzna, archiwalna, badania architektoniczne oraz analiza porównawcza. W oparciu o te badania odczytano pierwotną formę kompletnego młyna wietrznego (ryc. 2).

Wiatrak w Łąkorzu jest typem „holendra” o masywnym stożku, wzniesionym z czerwonej, palonej cegły. Wybudowany został pomiędzy 1876 a 1880 rokiem<sup>1</sup>. Z punktu widzenia dzisiejszego inżyniera układ technologiczny wiatraka nie należał do bardzo rozbudowanych. Jego elementy rozlokowane były na trzech kondygnacjach, tak jak we wszystkich „holendrach”.

W omawianym obiekcie wyodrębniono jeszcze jeden, niezależny układ napędowy. Od samego początku młyn wyposażony był w automatyczny system nastawczy głowicy. Zostanie on omówiony analogicznie do głównego napędu młyna (ryc. 3).

## NAPĘD MŁYNA

### Budowa układu (ryc. 4)

Podstawowym elementem napędowym, odbierającym energię z siły wiejącego wiatru, było śmigło<sup>2</sup>. Na podstawie zachowanych źródeł ikonograficznych wiadomo, że było to czteroskrzydłowe śmigło w układzie krzyżowym z upierzeniem wykonanym z desek sosnowych<sup>3</sup>. Całość zamontowano w żeliwnej głowicy osadzonej poza obrotową czaszą wieży młyna. Łączyła się z wałem poziomym obracającym się wewnątrz czaszy. Wał poziomy<sup>4</sup> wykonany z drewna sosnowego był monolitem o zróżnicowanym przekroju, obracającym się dzięki osadzeniu w dwóch punktach na kamiennych łożyskach ślizgowych. Na wale osadzono górne koło pałeczne o średnicy 2,94 m.

Wał poziomy skomunikowany był z wałem pionowym poprzez prostą przekładnię kątową. Tworzyło ją górne koło pałeczne oraz mniejsze (o średnicy 1,4 m), osadzone u szczytu wału pionowego. Wał pionowy, tzw. królewski, osadzony był w osi budynku i przebiegał przez wszystkie trzy kondygnacje. U jego dołu, pod stropem parteru osadzono dolne koło pałeczne o orientacji poziomej (ryc. 5). Jego konstrukcja była analogiczna do konstrukcji górnego koła, a średnica wynosi 2,44 m. Koło to wyposażono w podwójne zęby – osadzone po obwodzie oraz na górnej płaszczyźnie. Pierwsze wprawiły w ruch dwa koła zębate (o średnicy 0,44 m każde), które za pomocą wrzecion obracały kamienie młyńskie znajdujące się piętro wyżej. Drugi zestaw „zębów” skomunikowano z pędnia, która napędzała pozostałe urządzenia pomocnicze uczestniczące w procesie mielenia zboża.

Elementy napędowe znajdują się obecnie w swoim pierwotnym położeniu, co umożliwiło dokładne odtworzenie pierwotnego stanu mechaniki młyna. Oprócz napędu, wewnątrz znajdowały się jeszcze elementy transmisyjne oraz maszyny przemiałowe.

Praca wszystkich elementów polegała na ruchu obrotowym wokół ich własnych osi. Obroty między elementami napędowymi przekazywane były w układzie prostym, tzn. koło czynne wprawiło w ruch koło

be preceded by bibliographic and archival search, an architectural survey and comparative analysis. Based on the results of the research, the original form of the windmill was recreated (fig. 2).

The windmill in Łąkorz is a tower mill. The main body of the building is built of red fired brick. It was constructed in the years 1876 to 1880<sup>1</sup>. The technological lay-out of the mill does not seem very complex from the perspective of a contemporary engineer. Its elements were located on three floors, which was typical for tower mills of the time.

In addition to the main drive system, the Łąkorz windmill was equipped with a second, independent drive system. This was an automatic system for adjusting the rotating cap, and it constituted part of the original installation. The paper describes this system in the same terms as the main drive system of the mill (fig. 3).

## THE MILL DRIVE

### The structure of the drive system (fig. 4)

The propeller was the main drive element, which transmitted the energy obtained from wind power<sup>2</sup>. Existing iconographic sources indicate that the propeller consisted of four blades arranged cross-wise, with pine wood shutters<sup>3</sup>. The whole unit was embedded in a cast-iron head, which was mounted outside the rotating cap of the windmill. The unit was connected to a horizontal windshaft, which rotated inside the cap.

The windshaft<sup>4</sup> was made of pine wood as a monolithic element of varying dimensions in cross-section. To enable rotation, it was mounted at two points with stone slide bearings. The top brake wheel of 2.94 m in diameter was installed on the windshaft.

The windshaft was connected to the vertical shaft with a simple bevel gear mechanism. This consisted of a top brake wheel and a smaller wallower (1.4 m in diameter) placed at the top of the vertical shaft. The vertical shaft, also referred to as the transmission shaft, was located along the axis of the building, extending across all three floors. The horizontal spur wheel was located at the bottom, under the structural ceiling of the ground floor (fig. 5). Its structure was the same as that of the top brake wheel and it had a diameter of 2.44 m. The wheel had two sets of teeth, placed along its circumference and on its top surface. The first set of teeth put into motion two toothed wheels (each 0.44 m in diameter), which rotated the milling stones located on the floor above by means of spindles. The second set of teeth operated a transmission unit which drove the remaining auxiliary equipment used in the process of grain grinding.

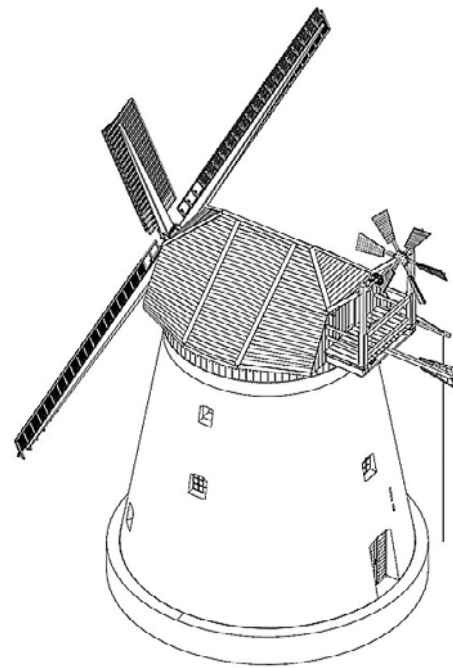
Today, the elements of the drive system are in their original locations, which enabled an exact re-creation of the original mill mechanism. The windmill interior housed transmission elements and grinding machinery in addition to the drive system.

The operation of all the elements demanded that they rotate on their own axes. The rotating motion was transmitted between drive elements through a simple transmission system, i.e. the active wheel set into motion



Ryc. 1. Łąkorz, wiatrak „holender”, widok ogólny od strony południowo-wschodniej, stan obecny. Fot. J. Kielar, luty 2011

Fig. 1. Łąkorz, the tower mill, south-east view, present condition. Photo: J. Kielar, February 2011



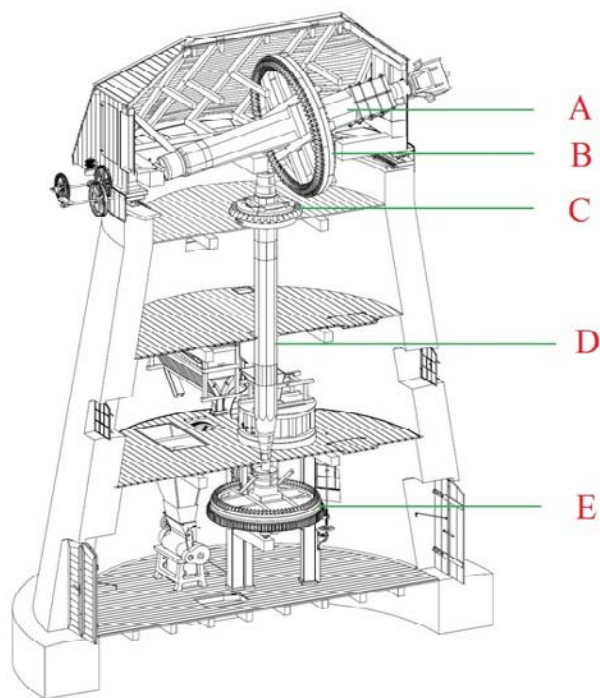
Ryc. 2. Łąkorz, wiatrak „holender”, widok 3D, rekonstrukcja. Oprac. J. Kielar

Fig. 2. Łąkorz, the tower mill, 3D view, reconstruction. Developed by J. Kielar



Ryc. 3. Łąkorz, wiatrak „holender”, strefa głowicy, relikty mechanizmu napędowego głowicy, widok z poziomu gruntu, stan obecny. Fot. J. Kielar, lipiec 2011

Fig. 3. Łąkorz, the tower mill, the rotating cap zone, relics of the drive mechanism, view from the ground level, present condition. Photo: J. Kielar, July 2011



Ryc. 4. Łąkorz, wiatrak „holender”, przekrój podłużny, widok 3D, inwentaryzacja. Symbolami literowymi oznaczono: A – wał poziomy, B – górne koło pałeczne, C – górną przekładnię wału pionowego, D – wał pionowy, E – dolne koło pałeczne. Oprac. J. Kielar.

Fig. 4. Łąkorz, the tower mill, longitudinal section, 3D view, inventory: A – horizontal shaft, B – top brake wheel, C – wallower, D – vertical shaft, E – bottom spur wheel. Developed by J. Kielar



Ryc. 5. Łąkorz, wiatrak „holender”, wnętrze, parter, dolne koło pałeczne, stan obecny. Fot. J. Kielar, luty 2011

Fig. 5. Łąkorz, the tower mill, the ground floor interiors, bottom spur wheel, present condition. Photo: J. Kielar, February 2011

biernie. Spowolnienie bądź przyspieszenie obrotów następowało przez różnicę wielkości dwóch elementów tworzących jedną przekładnię, np. koło czynne o większym promieniu wprawiając w ruch koło bierne o mniejszym promieniu przy jednakowej prędkości obwodowej nadawało mu większą prędkość obrotową.

### Prędkość wiatru

Zagadnieniem, które należy omówić na początku, jest zależność prędkości obrotów śmigła od prędkości wiejącego wiatru. Współczesna inżynieria wiatrowa ma do dyspozycji dokładne badania gromadzone przy użyciu wyspecjalizowanych urządzeń pomiarowych. Dawniej warunki wietrzne interpretował sam młynarz, który na podstawie wiedzy i doświadczenia decydował o uruchomieniu bądź wstrzymaniu mechanizmu młyna. Podczas okresów ciszy wietrznej młyn nie pracował. Z drugiej jednak strony zbyt silny wiatr mógł uszkodzić wiatrak. Uznano, że najbardziej efektywna praca młyna odbywała się podczas wiatru o prędkości 6 m/s. Tę wartość przyjęto do wykonania wszystkich późniejszych obliczeń.

### Prędkości obrotowe

Wiatr, napierający na śmigło młyna z prędkością 6 m/s miał określoną moc, którą przejmowało śmigło. Ilość pobranej mocy zależała m.in. od budowy śmigła, ilości płatów i kątów ich nachylenia. W obrębie koła wiatrowego zataczanego przez śmigło zachodzą określone zjawiska fizyczne, dokładnie zbadane przez naukowców<sup>5</sup>. Kwestie te nie zostaną w tym miejscu szczegółowo omówione, jednak dla potrzeb niniejszego artykułu należy skorzystać z parametrów uzyskanych w wyniku obliczeń zgodnych z teorią silników wiatrowych.

Opierając się na teorii silników wiatrowych obliczono, że podczas wiatru o prędkości 6 m/s śmigło „holendra” w Łąkorzu obracało się z prędkością 10 obr./min. Analogiczną prędkość obrotową uzyskiwał wał poziomy oraz osadzone na nim górne koło pałeczne, gdyż tworzyły one jeden zwarty blok.

Pierwsza zmiana prędkości zachodziła w miejscu połączenia wału poziomego z pionowym. Po wykonaniu obliczeń stwierdzono, że prędkość obrotowa wału pionowego w tych warunkach wynosiła 21 obr./min. Z tą samą prędkością obracało się dolne koło pałeczne, osadzone trwale na wale pionowym.

Druga zmiana prędkości obrotowej zachodziła w miejscu połączenia dolnego koła pałecznego z kołem zębatym wrzeciona. W tym przypadku również prędkość była zwielokrotniona poprzez dysproporcję koła czynnego (dolnego koła pałecznego) i dużo mniejszego koła biernego (koło zębate wrzeciona). Tym samym obydwie koła zębate wrzecion uzyskiwały prędkość 118 obr./min. Teoretycznie taką samą prędkość uzyskiwały kamienie młyńskie. Uwzględniając opory wynikające z masy wszystkich elementów, a także tarcia w przekładniach należy uznać, że rzeczywiste prędkości obrotowe były niższe niż teoretyczne (ryc. 6).

the passive wheel. The rotating motion could be slowed down or sped up by exploiting difference in size of the two elements making up the gearing unit, e.g. an active wheel with a larger radius imparting motion to a passive wheel with a smaller radius would translate into a higher rotational speed with the same circumferential speed.

### Wind speed

The issue which needs to be considered first and foremost is the relationship between propeller rotation speed and wind speed. Contemporary wind power engineering can draw on precise research data, collected using highly specialised measuring equipment. In the past, the wind conditions had to be assessed by the miller himself who had to use his personal knowledge and experience to decide whether to start or stop the milling mechanism. During calm periods, the windmill did not operate. On the other hand, the mill could be damaged if the wind was too strong. It was assumed that the most efficient windmill operation could be achieved at a wind speed of 6 m/s. This value was used in the calculations that follow.

### Rotational speed

The energy of the wind pressing against a windmill propeller at a speed of 6 m/s translated into transmission of specified power to the propeller. The amount of the power received by the propeller depended, inter alia, on the structure of the propeller, the number of blades and their angle of inclination. Specific physical phenomena, which have been investigated in detail by researchers<sup>5</sup>, take place within the wind circle described by the windmill propeller. However, these will not be presented here in detail. For the purposes of this paper, the parameters used were calculated in accordance with theory of wind power engines. According to these calculations, during periods of wind speed of 6 m/s, the propeller of the tower mill in Łąkorz would rotate with a speed of 10 rot./min. The windshaft and the brake wheel mounted on it would rotate with the same speed, as they made up a single integrated block.

The first change of speed took place where the horizontal windshaft joined the vertical shaft. The rotational speed of the vertical shaft in such conditions was calculated to be 21 rot./min. The bottom spur wheel, mounted on the vertical shaft, would rotate with the same speed.

The second change of rotational speed took place where the spur wheel joined the cogged wheel of the spindle. In this situation, the speed increased due to the disproportion between the active wheel (the bottom spur wheel) and the much smaller passive wheel (the cogged wheel of the spindle). As a result, both cogged wheels of the spindles achieved a speed of 118 rot./min. Theoretically, the milling stones would achieve the same speed. However, taking into consideration resistance resulting from the weight of all the elements and the friction in transmission units, in reality the rotational speed of the stones would be lower (fig. 6).

## Energia kinetyczna

Znając wartość prędkości obrotowej każdego elementu, jego rozmiary oraz wyliczając masę można obliczyć energię kinetyczną każdego z nich. Dla zobrazowania zmian zachodzących w obrębie układu, koła palczne wyodrębniono jako oddzielne elementy. A zatem napęd młyna w Łąkorzu podczas wiatru o prędkości 6 m/s uzyskiwał następujące parametry:

## Kinetic energy

Knowing the value of the rotational speed of each of the elements, their size and weight, it is possible to calculate the kinetic energy for all the elements. The brake wheel and the spur-wheel have been isolated from the system as separate elements in order to illustrate the changes which take place within the system. Thus for a wind speed of 6 m/s, the drive system of the Łąkorz windmill would translate into the following parameters:

nazwa elementu <i>name of the element</i>	promień radius (m)	moment bezwładności moment of inertia (kgm <sup>2</sup> )	prędkość obrotowa rotational speed (rot./min)	prędkość kątowna angular speed (rad/s)	energia kinetyczna kinetic energy (J)
wał poziomy <i>horizontal windshaft</i>	0.3	38.7	9.95	1.04	20.93
główne koło palczne <i>main brake wheel</i>	1.47	1283	9.95	1.04	693.84
górną przekładnia wału pionowego <i>top transmission gear of the vertical shaft</i>	0.7	29.4	20.9	2.18	69.86
wał pionowy <i>vertical shaft</i>	0.24	23.21	20.9	2.18	55.15
dolne koło palczne <i>bottom spur wheel</i>	1.22	878	20.9	2.18	2086.3
koło zębate / sprzęgło wrzeciona (×2) <i>cogged wheel coupling with the spindle (×2)</i>	0.22	1.08	117.6	12.3	81.83
				<b>TOTAL:</b>	3,089.74

## NAPĘD GŁOWICY

Składał się z sześciopłatowego śmigła obracającego się na żelaznym wale poziomym. Z nim zazębiał się wał pionowy, skomunikowany ze sprzęgłem. Sprzęgło łączyło się z drugim wałem poziomym. Konstrukcja napędu głowicy była bardziej skomplikowana. W jego obrębie funkcjonowały cztery przekładnie i tym samym dochodziło do czterokrotnej zmiany prędkości obrotowej (ryc. 7).

Parametry napędu głowicy prezentują się następująco:

## THE CAP DRIVE

The drive system comprised six propeller blades which rotated on a horizontal shaft made of iron. It was geared with a vertical shaft linked to a clutch. The clutch joined another horizontal shaft. The structure of the drive system in the cap was more complex. It incorporated four transmission mechanisms, which translated into four changes in rotational speed (fig. 7).

The parameters of the drive system of the cap were determined to be as follows:

nazwa elementu <i>name of the element</i>	długość length (m)	moment bezwładności moment of inertia (kgm <sup>2</sup> )	prędkość obrotowa rotational speed (rot./min)	prędkość kątowna angular speed (rad/s)	energia kinetyczna kinetic energy (J)
wał śmigła <i>propeller shaft</i>	1.6	22.2	63.7	6.66	492
wał pionowy <i>vertical shaft</i>	1.8	43.2	84.5	8.84	1687.9
sprzęgło <i>clutch</i>	1	10	19.4	2	20.6
wał poziomy <i>horizontal shaft</i>	1.2	15.8	3.8	0.4	1.3
				<b>TOTAL:</b>	2201.8

Zakończenie wału poziomego stanowi koło zębate o promieniu 0,15 m (obwód = 0,94 m), które zazębia się bezpośrednio z pierścieniem zębatym wieży o promieniu 3,33 m (obwód = 20,91 m), napędzając obroty całej głowicy. Prędkość obrotowa głowicy wynika z prędkości obrotów wału poziomego.

Obroty głowicy wspiera dodatkowy sternik w formie „ogona”. Wykorzystując czołowe parcie wiatru ustawiał głowicę do momentu najmniejszego parcia czołowego na sternik. Tym samym główne koło wiatrowe młyna

The horizontal shaft ended with a cogged wheel with the radius of 0.15 m (and a circumference of 0.94 m), which was geared directly into the cogged ring of the tower with a radius of 3.33 m (and a circumference of 20.91 m), enabling the whole cap to rotate. The rotational speed of the cap resulted from the rotational speed of the horizontal wind shaft.

The rotating motion of the cap was assisted by an additional steering unit in a form of a fantail. Using the frontal force of wind, the fantail would rotate the cap



kierowane było prostopadłe do kierunku wiejącego wiatru, zyskując możliwość najefektywniejszego wykorzystania sił natury.

Przy wietrze o zmiennych kierunkach istotny był czas „reakcji” głowicy na zmianę kierunku wiatru. W przyjętych warunkach atmosferycznych, o prędkości wiatru 6 m/s, bazując jedynie na mocy pochodzącej ze śmigła sternika, prędkość obrotowa głowicy wynosi 0,17 obr./min.

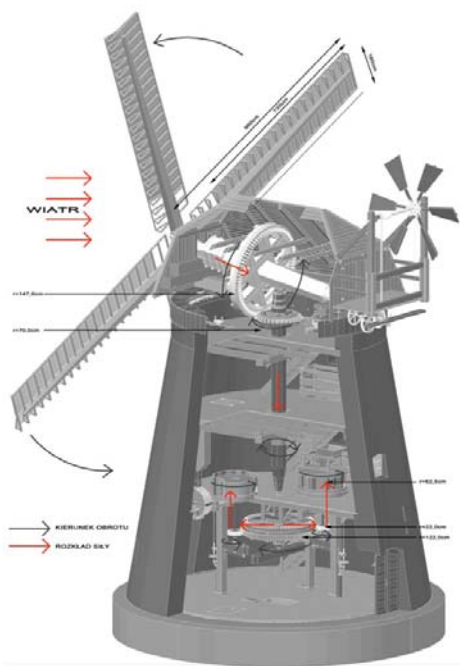
Gdyby wiatr zmienił kierunek o 90° przy stałej prędkości równej 6 m/s, to głowica dostosuje się do tych warunków w czasie 1,5 minuty.

## WNIOSKI

Na podstawie powyższych badań i obliczeń nasuwa się kilka wniosków dotyczących kinematyki młyna wietrznego w Łąkorzu.

Przez konstrukcję przekładni kątowych w układzie napędowym młyna prędkość obrotowa elementów zmienia się dwukrotnie. Stosunek prędkości wału poziomego, wału pionowego i kół zębatach wrzecion wynosi z niewielkimi odchyleniami 1:2:12. To znaczy, że wał pionowy w każdej sytuacji, przy każdych warunkach atmosferycznych obraca się dwukrotnie szybciej, a koła zębata wrzecion dwunastokrotnie szybciej niż koło wiatrowe z wałem poziomym.

W układzie napędowym sternika prędkość obrotowa elementów zmienia się czterokrotnie. W tym układzie zachodzi zjawisko odwrotne, tzn. prędkości obrotowe ulegają zmniejszeniu. Przy każdych warunkach atmosferycznych oś pozioma wprawiająca w ruch głowicę obraca się dwudziestokrotnie wolniej niż śmigło sternika.



Ryc. 6. Łąkorz, wiatrak „holender”, model kinetyczny napędu młyna, widok ogólny. Oprac. J. Kielar

Fig. 6. Łąkorz, the tower mill, kinetic model of the mill drive, general view. Developed by J. Kielar

until it reached the point where the frontal wind force was the lowest. At the same time, the main wind circle of the windmill would be placed perpendicular to the wind direction, allowing the wind power to be used in the most effective way.

The ‘reaction time’ of the cap to changes in wind direction was of crucial importance. In case of atmospheric conditions adopted for the purposes of calculations, i.e. wind speed of 6 m/s, based only on power coming from the fantail propeller, the rotational speed of the cap would be 0.17 rot./min.

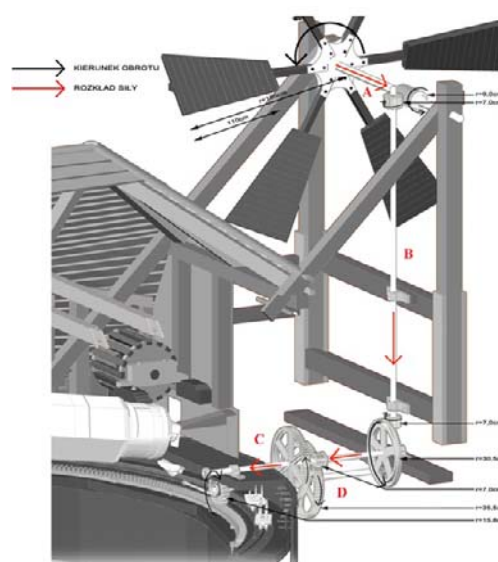
If the wind changed direction by 90°, with the constant speed of 6 m/s, the cap would take 1.5 minutes to adjust to the new conditions.

## IMPLICATIONS

The kinematics of the windmill in Łąkorz as determined in the research and calculations presented above have several implications:

The rotational speed of the elements changed twice due to the structure of the bevel gears in the drive system of the mill. The ratio of the speed of the horizontal windshaft to the vertical shaft to the cogged wheels of the spindles, with only a slight deviation, amounts to 1:2:12. This means that in all situations and in all weather conditions, the vertical shaft rotates twice as fast, and the toothed wheels twelve times as fast, as the wind circle and the windshaft.

The rotational speed of the elements in the drive system of the fantail changes four times. In this case, a different phenomenon takes place, i.e. the rotational speed of the elements decreases. The horizontal wind shaft,



Ryc. 7. Łąkorz, wiatrak „holender”, model kinetyczny napędu głowicy, widok ogólny wraz z rzutami. Symbolami literowymi oznaczono: A – wał śmigła, B – wał pionowy, C – sprzęgło, D – wał poziomy. Oprac. J. Kielar

Fig. 7. Łąkorz, the tower mill, kinetic model of the rotating cap drive, general view with projections: A – propeller shaft, B – vertical shaft, C – clutch, D – horizontal shaft. Developed by J. Kielar

Proporcje te ukazują jednoznacznie, że elementem o największej energii kinetycznej, bez względu na siłę wiatru jest dolne koło pałacne. Energia tego elementu podczas pracy wiatraka jest stukrotnie większa od energii wału poziomego i trzykrotnie większa od energii górnego koła pałacnego. Jest to uzasadnione jego masą, gabarytami i prędkością obrotową. Dzięki swej konstrukcji i lokalizacji posiada odpowiedni potencjał, by zasilać bezpośrednio kamienie młyńskie, jak i pozostałe urządzenia pomocnicze poprzez pędnię.

## ZAKOŃCZENIE

Niniejszy artykuł z pewnością nie rozwiązuje wszystkich problemów badawczych związanych z kinematyką młyna wietrznego w Łąkorzu. Wyniki uzyskane metodą obliczeniową z pewnością różnią się od możliwości, jakie wiatrak fizycznie w przeszłości posiadał, w czasach swego funkcjonowania. Jakkolwiek pozwalają spojrzeć na zabytkowy wiatrak z punktu widzenia dotąd nieznanego, tworząc wstęp do być może bardziej szczegółowych i wiarygodnych badań całej grupy zabytków, którą tworzą wiatraki.

which sets in motion the rotating cap, revolves twenty times slower than the propeller of the fantail.

The ratios indicate unambiguously that the element with the highest kinetic energy, regardless of wind power, is the bottom spur wheel. The energy of this element during windmill operation is a hundred times greater than the energy of the windshaft and three times higher than the energy of the top brake wheel. This is justified by its weight, dimensions and rotational speed. Its structure and location give it its potential to drive directly the milling stones and other auxiliary equipment via the transmission unit.

## CONCLUSION

Most certainly, this paper does not resolve all the research issues related to understanding the kinematics of the windmill in Łąkorz. The results obtained using a calculation method most probably differ from the actual capabilities that the windmill possessed in the past when it was still in operation. Nonetheless, the calculations mean that a heritage windmill can be considered from a new and, so far, unknown perspective, providing a point of departure for further, more detailed and possibly more reliable research covering a range of heritage windmills.

<sup>1</sup> Archiwum Państwowe w Toruniu (APT), Księgi i akta gruntowe sądów w Nowym Mieście Lubawskim, sygn. 1727/5411.

<sup>2</sup> Koło wiatrowe w młynach wietrznych ogólnie jest określane jako płaszczyna prostopadła do kierunku wiejącego wiatru. Ta sama terminologia jest umownie stosowana dla badanego obiektu z Łąkorza, przy czym rzeczywista płaszczyna koła wiatrowego jest odchylona od pionu o 8%. Nachylenie to odpowiada kątowi nachylenia ścian wieży, aby koło wiatrowe podczas pracy nie kolidowało z murem wieży. Odchylenie

koła wiatrowego od pionu zależy również od kierunku wiatru, gdyż wiatr przy powierzchni terenu nie jest poziomy.

<sup>3</sup> J. Kulpa, *Łąkorz. Mała wieś w wielkiej historii*, Brzezia Łąka 2011, s. 188–189.

<sup>4</sup> Stosuje się umowną terminologię „wał poziomy”, ale praktycznie wał jest odchylony od poziomu o 8% analogicznie do nachylenia ścian wieży i koła wiatrowego.

<sup>5</sup> J. Szowheniw, *Silniki wietrzne*, Warszawa 1932; W. Jagodziński, *Silniki wiatrowe*, Warszawa 1959, A. Flaga, *Inżynieria wiatrowa: podstawy i zastosowania*, Warszawa 2008.

## Streszczenie

Tematem opracowania jest kinematyka układu napędowego młyna wietrznego w miejscowości Łąkorz pochodzącego z II połowy XIX wieku. Praca ma charakter opisowo-poznawczy.

Scharakteryzowano elementy napędowe młyna składające się na jeden kompletny układ pracujący w pierwotnym stanie wiatraka. Omówiono sposób pracy układu polegający na ruchu obrotowym wszystkich elementów wokół ich własnych osi. Obliczone zostały prędkości obrotowe wszystkich elementów i wartości ich energii kinetycznej podczas wiatru wiejącego z prędkością 6 m/s. Ukazano, że oprócz napędu młyna pracuje niezależnie jeszcze jeden napęd nastawiający obrotową głowicę młyna. Kinematyka tego zespołu została omówiona i obliczona analogicznie do napędu głównego.

Na podstawie obliczeń rozpoznano zmiany prędkości obrotowych w ramach przekładni, a także wskazano element o największym potencjale energetycznym.

## Abstract

The paper presents the kinematics of the drive system of a windmill located in Łąkorz, which dates back to the second half of the nineteenth century. The emphasis of the paper is on description and information.

The paper presents the drive elements which constitute a single and complete system that originally operated in the windmill. The way the system operated is presented, too. It was based on rotation of all elements on their own axes. The rotational speed was calculated for each of the elements, as well as the value of their kinetic energy for a wind speed of 6 m/s. The paper shows that in addition to the main mill drive system, there is another, independent drive for adjusting the rotating cap of the mill. The kinematics of this unit is also described and calculated as for the main drive.

Based on the calculations, changes of the rotational speed for the transmission units were defined and the element with the highest energy potential was identified.