

Zarys metodyki obliczeń
oraz wizualizacja przekładni
zębatach w polskim piśmiennictwie
technicznym do końca XIX wieku



Politechnika Lubelska
Wydział Mechaniczny
Ul. Nadbystrzycka 36
20-618 LUBLIN

Konrad Pylak
Krystyna Schabowska

Zarys metodyki obliczeń oraz wizualizacja przekładni zębatach w polskim piśmiennictwie technicznym do końca XIX wieku



Politechnika Lubelska
Lublin 2010

Recenzent: prof. dr hab. inż. Zdzisław Mrugalski

© Copyright by Politechnika Lubelska 2010

ISBN 978-83-62596-15-7

Wydawca: Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 38D, 20-618 Lublin
Druk: Wydawnictwo-Drukarnia „Liber Duo”
ul. Długa 5, 20-346 Lublin

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie.....	6
2. Koła i przekładnie zębate w dziele Stanisława Solskiego <i>Architekt polski</i>	11
2.1. Zarys obliczeń kół i przekładni zębatych.....	11
2.2. Wizualizacja kół i przekładni zębatych.....	21
3. Tematyka konstrukcji przekładni w polskim wydaniu dzieła Étienne Bézouta <i>Nauka matematyki</i>	36
4. Tematyka przekładni zębatych w „Dzienniku Ekonomicznym Zamoyskim”.....	44
5. Konstrukcja przekładni w <i>Wykładzie statyki</i> Gasparda Monge’a..	56
6. Konstrukcja przekładni w dziele <i>Teoryja Machin</i> Franciszka Miechowicza.....	60
7. Tematyka konstrukcji przekładni zębatych w podręczniku K. Stadtmüllera.....	72
8. Podsumowanie.....	92
Spis ilustracji.....	95
Bibliografia źródeł cyfrowych.....	97

1. Wprowadzenie

Przekładnie zębate należą do grupy podzespołów i elementów maszyn, mających bardzo szerokie zastosowanie w różnego rodzaju urządzeniach mechanicznych, przenoszących i przekształcających ruch i obciążenia. Ze względu na ogromny obszar zastosowań i rosnące wymagania co do ich dokładności i trwałości, konstrukcja kół zębatach jest istotnym obszarem nauki podstaw konstrukcji maszyn, dziedziną, która wciąż się rozwija. Ponadto jest to dział nauki konstrukcji, należący współcześnie do najbardziej zaawansowanych pod względem stosowanego aparatu matematycznego i metod kinematyki. Z tego względu interesujące jest badanie procesu rozwoju dziedziny, przypomnianie i porządkowanie najbardziej znaczących jego etapów.

Autorzy prezentowanego opracowania podjęli temat rozwoju metodyki obliczeń kół zębatach, związanego z tym aparatu pojęciowego i metod wizualizacji, znajdującego swoje odzwierciedlenie w literaturze technicznej wydawanej w języku polskim od końca XVII do końca XIX wieku. Starano się odpowiedzieć na pytanie, jaką wiedzę w zakresie konstrukcji, zawartą w dostępnych powszechnie publikacjach, mogli dysponować ówcześni technicy, a także – czym przyczynili się do jej dalszego rozwoju. Dystans czasowy powoduje, iż z perspektywy dzisiejszego stanu wiedzy możemy lepiej ocenić osiągnięcia i wkład twórczy techników omawianego okresu oraz wskazać na aspekty najistotniejsze – z obecnego punktu widzenia – w rozwoju metodologii konstrukcji tych ważnych elementów maszyn.

Tematyka ta zaliczana jest do nurtu „wewnętrznej” historii techniki, co trafnie podkreślił Józef Piłatowicz: „Wewnętrzna historia techniki ma na celu nie tylko opisanie rozwoju, ale również ustalenie praw i reguł rządzących procesem postępu i rozwoju koncepcji technicznych”¹.

Historia techniki jest dyscypliną stosunkową młodą. I chociaż w Polsce jej rozwój datuje się w zasadzie dopiero od drugiej wojny światowej, to jednak już wcześniej badania takie prowadzono. Prekursorem w tej dziedzinie jest bez wątpienia Feliks Kucharzewski². Publikował on swe prace poczynawszy od lat 80. XIX wieku. Docenić należy fakt, że swój dorobek zawdzięczał tylko własnej inwencji, pomysłowości. Nie miał oparcia ani organizacyjnego, ani materialnego w żadnym zespole. Prowadził szeroko zakrojone, niezwykle rzetelne badania źródłowe, publikując wyniki. Jego dorobek to 248 różnego rodzaju prac³. Do najważniejszych należą *Bibliografia polska techniczno – przemysłowa*⁴ oraz *Piśmiennictwo techniczne polskie*⁵.

Wyboru pozycji bibliograficznych omawianych w niniejszym opracowaniu, dokonano w oparciu o *Piśmiennictwo techniczne polskie* F. Kucharzewskiego, uznając to dzieło za źródło informacji wyczerpujące temat, a jego autora za autorytet w dziedzinie polskiej literatury technicznej okresu, którym się zajmował.

Przedstawiono materiał dotyczący konstrukcji przekładni zębatach zawarty w pracach trzech polskich autorów: Stanisława Solkiego (1622 – 1701), Franciszka Miechowicza (1783 – 1852) oraz Karola J. Stadtmüllera (1848 – 1918). Analizę treści uzupełniono pracami dwóch francuskich autorów: Étienne Bézouta (1730 – 1783) oraz Gasparda Monge’a (1746 – 1812), przetłumaczonymi na język polski. Pozwoliło to na szersze ujęcie tematu, także z pozycji autorów europejskich. Tematyka prezentowana w niniejszej publikacji omawiana była również w czasopiśmiennictwie technicznym tego okresu. W ramach uzupełnienia i rozszerzenia obszaru badań, posłużono się tu przykładem „Dziennika Ekonomicznego Zamojskiego”⁶.

Pierwszy z rozdziałów jest prezentacją i analizą zarysu metodyki obliczeń własności geometrycznych kół zębatach zawartej w monumentalnym dziele S. Solkiego *Architekt polski*. W czasach kiedy powstawało to opracowanie – druga połowa XVII wieku – najczęściej projektantami i wykonawcami maszyn były te same osoby, dla których autor często używa w tekście określenia ”prości młynarze”. Wiedząc z własnego doświadczenia, jakie straty mogą wyniknąć z niewłaściwie dobranej i wykonanej przekładni, pracującej np. w napędzie młyna, autor stara się w sposób możliwie najprostszy podać sposób obliczenia a nawet doboru z gotowych tabel elementów przekładni. Przedstawia także rysunki ich przykładowych rozwiązań.

W rozdziale następnym prześledzono materiał zawarty w tomie czwartym *Nauki matematyki* z 1782 r., autorstwa E. Bézouta, gdzie autor między innymi omawia sposób obliczeń kinematycznych i statycznych przekładni zębatach, przydatnych w interesujących go zastosowaniach inżynierijno-militarnych.

Trzeci z rozdziałów poświęcono problematyce przekładni w polskim czasopiśmie techniczno-ekonomicznym z początku XIX wieku, „Dzienniku Ekonomicznym Zamoyskim”, traktując to rozszerzenie obszaru badań jako ilustrację obecności tematyki omawianych prac również w czasopismach tego okresu.

Kolejny rozdział jest krótkim omówieniem tematyki konstrukcji przekładni, podanej w podręczniku *Wykład statyki* G. Monge’a, będącego – podobnie jak książka Bézouta – tłumaczeniem z języka francuskiego, a wydanego w 1820 r. Ze względu na charakter i przeznaczenie *Wykładu* problematyka kół zębatach została w nim potraktowana marginesowo.

F. Miechowicz, następny z omawianych autorów, swoje dzieło *Teoryja Machin*, wydane w 1828 roku, poświęcił obliczeniom konstrukcyjnym prostych maszyn, przydatnych w pracach gospodarskich. Poprzednio omawiane książki były raczej podręcznikami mechaniki stosowanej, natomiast ta praca jest już

z pewnością podręcznikiem konstrukcji z podbudową teoretyczną. Z tego względu zasługuje na szczególną uwagę.

Ostatnia z analizowanych prac, *Podręcznik do konstrukcji maszyn dla inżynierów, mechaników i uczniów szkół technicznych* K. Stadtmüllera, jest już właściwie podręcznikiem akademickim, gdzie obliczenia przekładni zębatych są potraktowane całościowo, z uwzględnieniem zarówno własności geometrycznych, jak też obliczeń wytrzymałościowych. Wydanie *Podręcznika* było z pewnością znaczącym wydarzeniem w polskiej literaturze technicznej, dostarczało bowiem wzorca dla późniejszych, nowoczesnych podręczników podstaw konstrukcji maszyn.

Autorzy często odwołują się do cytatów, starając się zilustrować styl i słownictwo języka technicznego omawianej epoki. Zadanie to ma pełnić też zamieszczony w opracowaniu materiał ilustracyjny, który obrazuje techniki graficzne i sposoby wizualizacji złożonych urządzeń mechanicznych, jakimi są przekładnie zębate. Z uwagi na bardzo różny charakter omawianych prac, przypisy końcowe dotyczące kolejnych rozdziałów, umieszczono po zakończeniu każdego z nich.

Opracowanie kończy bibliografia źródeł cyfrowych związanych z tematyką publikacji. Zamieszczenie aktywnych linków do danej pozycji pozwoli na szybkie odszukanie jej w zbiorach bibliotek cyfrowych.

Przypisy

¹J. Piłatowicz: *Dzieje techniki na łamach „Kwartalnika Historii Nauki i Techniki”* (1956 - 2005). „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki”, R. 51, nr1, 2006, s. 169 - 170.

² Piłatowicz J.: *Feliks Kucharzewski (1849 – 1935) – historyk techniki*. Warszawa 1998; Orłowski B.: *Kucharzewski Feliks*, [w:] *Słownik polskich pionierów techniki*, wyd. Śląsk, Katowice 1984, s.114.

³J. Piłatowicz: *Dzieje techniki na łamach [...]*, dz. cyt., s.165.

⁴F. Kucharzewski: *Bibliografia polska techniczno – przemysłowa: obejmująca prace drukowane oddzielnie, w czasopismach lub znane z rękopismu, we wszystkich działach techniki i przemysłu*. Red. „Przeglądu Technicznego”, Warszawa 1894. Publikacja dostępna w wersji cyfrowej <http://www.polona.pl/dlibra/doccontent?id=16383&from=FBC> .

⁵F. Kucharzewski: *Piśmiennictwo techniczne polskie*.
Tom pierwszy. I. Architektura. – II. Inżynieria z miernictwem. Warszawa 1911.
Tom drugi. III. Mechanika z technologią mechaniczną i elektrotechniką. IV. Technologia chemiczna. Warszawa 1921.
Tom trzeci. V. Górnictwo i hutnictwo. Warszawa 1921.
Publikacja dostępna w bibliotece cyfrowej:

T.I: <http://www.polona.pl/dlibra/doccontent?id=13459&from=FBC>

T 2 : <http://www.polona.pl/dlibra/doccontent?id=13896&from=FBC> .

T. 3: <http://www.polona.pl/dlibra/doccontent?id=13897&from=FBC>

Jak autor zaznacza we wstępie do tomu pierwszego: „Gdy dawniej w naszych historyach literatury, podawano wiadomości o piśmiennictwie naukowem, szeregowano je według fakultetów uniwersyteckich. Nauki techniczne, z całokształtu których niedość jasno zdawano sobie sprawę, przyłączano zwykle do matematyki. Obecnie rozwój wszystkich gałęzi techniki i dążenie szkół politechnicznych do objęcia całości odnośnych nauk, wskazują jako najwłaściwszy porządek podawania wiadomości o piśmiennictwie technicznem według wydziałów politechnik”. Właśnie ten drugi sposób klasyfikacji wzmianek o publikacjach technicznych zastosował w swoim *Piśmiennictwie technicznym* F. Kucharzewski.

Przykładem pierwszej metodyki opisu publikacji jest bibliografia Teofila Żebrowskiego. Por.: Żebrowski T.: *Bibliografija piśmiennictwa polskiego z działu matematyki i fizyki oraz ich zastosowań*. T.I, T.II, Warszawa 1873. Reedycja, wyd. IHNOiT PAN, Warszawa 1992. W wersji cyfrowej

<http://ebuw.uw.edu.pl/dlibra/doccontent?id=6215&from=FBC> . W dziedzinie techniki zastosowano podział prac na: budownictwo, wojskowość, technologię, górnictwo.

⁶ Problematyka obliczeń kół zębatach w polskich czasopismach technicznych XIX wieku wykracza poza ramy niniejszego opracowania, ze względu na liczbę i różny ich charakter.

2. Koła i przekładnie zębate w dziele Stanisława Solkiego *Architekt polski*

2.1. Zarys obliczeń kół i przekładni zębatych

Wśród spuścizny piśmienniczej Stanisława Solkiego¹ bez wątpienia najcenniejszą pozycją jest *Architekt polski*². Stronę tytułową przedstawia rys. 2.1. Technik – samouk, a przy tym znakomity praktyk, podjął trud opracowania dzieła które w sposób niezmiernie czytelny, chociaż nie bez pewnych błędów, przekazuje treści dotyczące mechaniki, hydromechaniki. Na wstępie opracowania, w *Kontenta Architekta na trzy księgi* rozłożone, autor prezentuje swe zamierzenia dotyczące treści pracy. Dzieli je na osiem części przewidzianych do publikacji w trzech księgach. Kolejne części to:

I. „Moc i siłę wszystkich machin sposobnych do ulżenia ciężarów opisuje i podaje sposoby do przemagania ciężarów zbyt wielkich małymi siłami.

II. Pokazuje, jako wiele ciężaru przydają koła większe, gdy obracają mniejsze, dla prędkości mniejszych, jako mają być dzielone i czego przestrzegać w piełach [piłach – przyp. aut.] i we młynach wodnych, konnych, wietrznych i ręcznych.

III. Własności wody i sposoby jej szukania, ważenia czerpania do góry, pędzenia i używania rozmaitego otwiera.

IV. Pięć różnych ozdób kościołom przynależnych rozporządza i uczy, jako niewiadomi proporcji tych ozdób używać mogą.

V. Wielkość krzyżów, gałek, wietrzników, posągów, obrazów i inszych sztuk materialnych, potrzebną do danej wysokości na wieżach i facjatach kościelnych, aby zamierzonej miary nie traciły, gdy na danej wysokości staną, ordynuje.

VI. Wczesne wschody stawia i pawimenta [podłoga, posadzka – przyp. aut.] ściele.

VII. Przestrogi budownicze od fundamentów aż do dachów oznajmuje i otwiera szkody, które częścią nieżyczliwość, częścią niewiedomość mularzów w budynkach sprawuje.

ARCHITEKT POLSKI.

T O I E S T

NAVKA VLZENIA
WSZELKICH CIĘZAROW.

Vżywania potrzebnych Máchin, śie-
mnych y wodnych.

Stáwiania ozdobnych Kościołow máłym
kosztem.

O proporcyi rzeczy wysoko stóiących.

O wśchodách y pawimentách.

Czego się chronić y trzymać w budynkách od fundámen-
tow aż do dachu.

O Fortyfikácii.

Y o inſzych trudnościách Budowniczych.

DO DRVKV PODANY.



P R Z E Z

X. STANISŁAWA SOŁSKIEGO

Societatis J E S P.

in Krakowie Roku MDC LXXX.

w Drukárni Mikołaja ALEXANDRA SCHÄDELA J. K. M. Ord. Typogr.

Rys.2.1. Karta tytułowa *Architekta polskiego*

VIII. Biegłość stawiania i zmocnienia fortec, od sławnych francuskich, niderlandzkich i niemieckich indzieniajów w różnych językach drukowane, w polskim języku skraca”³.

Brak środków finansowych oraz choroba sprawiły, że ukazała się tylko pierwsza z zapowiadanych ksiąg, obejmująca pierwsze trzy z cytowanych powyżej części. Tak więc *Architekt* nie jest opracowaniem z dziedziny architektury lecz mechaniki i hydromechaniki. Tylko to zdążył autor opracować, a następnie wydać⁴.

Poszczególne rozdziały *Architekta* S. Solksi nazywa zabawami, które podzielił na części, a te z kolej na nauki.

Fragmenty pracy poświęcone zagadnieniom obliczania własności geometrycznych przekładni zębatach autor zawarł w zabawie II – *O machinach prędkich, które prędkością przyczyniają ciężkości, jakie są: młyny wodne, bydlęce, wietrzne, piły wodne, kołowroty kuchenne, zegary i tym podobne*⁵.

Zastosowania praktyczne oraz prezentowane konstrukcje, starał się S. Solksi w *Architekie* poprzedzać wiadomościami teoretycznymi. I tak omawiając w zabawie II opis konstrukcji młynów czy pił do drewna, na wstępie umieścił dwie części dotyczące teoretycznych podstaw obliczania własności geometrycznych kół oraz przekładni zębatach, stanowiących podstawowy element maszynowy tych urządzeń. Część I to *O początkach i własnościach należytych do kół, które w prędkie maszyny wchodzi*⁶, część II – *O rozstawieniu palców i zębów na kołach i kółkach małych*⁷.

W tym miejscu warto zwrócić uwagę na jeszcze jeden walor *Architekta*, którego autor podjął pionierski trud zebrania łacińskich terminów matematycznych oraz technicznych i przystosowania ich do języka polskiego. I tak na początku zabawy I czytelnik mógł się zapoznać z podstawowymi pojęciami, gdyż S. Solksi przygotowując dzieło zdawał sobie sprawę, że musi ono zawierać tak podane treści, aby trafiały również do niezbyt wykształconych odbiorców.

W nauce I (zawartej w Zabawie I) zapoznać się można z *Wykładem słów niezwykajnych, których się często okazyja trafia w tej i w następujących trzech zabawach Architekta*⁸.

Poniżej przytoczono je w oryginale:

„Centrum koła znaczy środek koła. Centrum ciężkiej jakiej rzeczy jest ten punkt, z którego rzeczą samą albo myślą zawieszona i jakokolwiek obrócona, spokojnie stawia.

Cewy znaczą krąg mały albo kółko z wałeczkami, które młynarze *cewkami* zowią, jakie kółko pospolicie bywa pod kamieniem młyńskim, który obraca.

Dyjameter koła [średnica – przyp. aut.] jest szerokość albo wysokość, albo rozłożystość koła. Młynarze ramionami zowią.

Obwód albo *cyrkuł* koła, jest to okrągłość po której palce stoją.

Palce w kołach są to kółki stojące na kole,. Zegarmistrze zowią je *zębami*.

Półdyjameter [promień – przyp. aut.] jest to połowa rozłożystości koła od centrum wału aż do obwodu.

Tryby u zegarmistrzów to znaczą, co u młynarzów *cewy*.

Wrzeczono zowie się żelazo, na którym *cewy* stoją.”

S. Solski omawiając zagadnienia na zakończenie zamieszczał praktyczne wskazówki zwane w pracy przestrogami.

I tak w przestrogach zawartych w zabawie I przeczytać można⁹:

„*Cewy* najczęściej miewają *palców* 4,6,8, rzadko 12 lub 2, dlatego że 2, lubo silne w przydaniu mocy, ale nierychłe i nietrwale w pracy. Dwanaście zaś niewiele mocy dodają dźwigającemu, chyba żeby *mięszczy* [grubszy – przyp. aut.] jaki wał obstawiały, kiedy *wrzeczono* żelazne subtelne miejsca nie ma, jako we młynach konnych dalej opisanych i w piłach.

Palców w *cewach* i *zębów* w kole ma być, żeby, gdy się koło raz obróci, *cewy* żadnego palca nie zostawiały na drugi obrót koła. Na przykład: gdy jest w *cewach* *palców* 6, powinno być w kole *zębów* 12 albo 18, albo 24, albo 30, albo 36, albo 42, albo 48, albo 54, albo 60 etc., aby się nie siekły prędko i nie psowały, jako się prędko posieką, gdy *cewy* jednakże swoich *palców* nie pilnują, a na różne zachodzą.

Jeżeli zechcesz kilka kół w jednym złożyć instrumencie, pamiętaj, aby jedno od drugiego było większe, ponieważ jednakowym walce nie dopuściłyby obrotu wolnego”.

W zabawie II, część I rozpoczyna „wykład słów i definicje”, gdzie przeczytać można m. in.¹⁰:

„*Ramiona* koła są sztuki, które przechodząc przez centrum albo śródek koła obiema końcami trzymają obwód koła.

Policzek koła [płaszczyzna czołowa – przyp. aut.] jest to płaskość zwierzchnia albo spodnia koła, na której zęby ku górze albo ku ziemi, w prawo albo w lewo.

Czoło koła [powierzchnia boczna walca, koła – przyp. aut.] jest sama okragłość powierzchnia koła.

Długość dyjamentru koła, który ma palce na policzkach, nie bierze się między punktami przeciwnymi obwodu, ale między punktami *cyrkułu* zawierającego szerokość *palców*, jeżeli zaś koło ma *palce* w czele, jego *dyjament* powinien się brać między końcami *palców* przeciwnych”.

Również w części II zabawy II odnaleźć można „definicje”¹¹:

„*Miara palca* na kole albo zęba na kółku małym [podziałka nominalna – przyp. aut.] jest miarą *miąższości* [grubości – przyp. aut.] i wespół odległości *palca* od jednego do drugiego *palca* albo *zęba*. Zaczynam kiedy niżej przeczytasz: koło zniesie *palców* tyle albo tyle, rozumiej, że biorąc *palce* z ich *miąższością* i oraz z odległością od siebie.

Modna liczba albo *sprawna palców i zębów* jest, kiedy koło wielkie tyle ma *palców* albo koło małe tyle ma *zębów*, że obróciwszy cewy albo *tryby* kilka, kilkanaście albo kilkadziesiąt razy, albo będąc obrócone od *cewów* albo *trybów* jeden raz zupełny, żadnego *palca* ani *zęba* nie zostawi, który by miał zachodzić na obrót *cewów* niezupełny”.

W następnych naukach zabawy II, S. Solski w sposób bardzo przystępny podaje sposoby obliczania własności geometrycznych kół zębatych.

Pierwszym rozpatrywanym zagadnieniem jest obliczenie dyjamentru czyli średnicy koła, przy założonej liczbie zębów, ich miąższości (grubości) i odległości między nimi, *Danej liczbie palców i odległości ich od siebie przybrać dyjament koła*. Autor zagadnienie to rozpatruje, odwołując się do zależności w swoim poprzednim dziele *Geometra polski*¹²:

„Toż uczynić według własności CLXXXII zabawy VI *Geometry polskiego*. Jako 22 do 7 [liczba π – przyp. aut.], obwód wszelkiego koła do dyjamentru jego, tak dana liczba *palców* (biorąc miąższość oraz z odległością) do czwartego [proporcja – przyp. aut.], wynidzie dyjament tego cyrkułu na kole, po którym mają być stawiane *palce* albo *zęby*”.

Dalej S. Solski rozwiązuje konkretny przykład: „Niech będzie dana liczba *palców* 240, miąższych po calu jednym, a odległych od siebie po calów półtora, która odległość wzięta razów półtora czyni calów 360. Tedy te liczby 240 i 360 złączy w jedną, aby miał sumę calów 600 [liczba zębów $\times$ miara zęba = $240 \times (1+1,5) = 240 + 360 = 600$ – przyp. aut.]. Toż uczyni jako 22 do 7 (proporcja obwodu do dyjamentru koła), tak calów 600 do czwartego, wynidzie dyjament niewiadomy, calów $190 \frac{20}{22}$ ”¹³.

Liczbę zębów dla danej średnicy koła *Opowiedzieć wiele palców zniesie koło dane* autor zaleca obliczać następująco: „Ty umiejętnie obierz naprzód naprzód miąższość palców i wespół ich odległość, na przykład 4 cale, potem przemierz dyjаметr koła łokciem i te łokcie obróć na cale mnożąc je przez 24 [łokieć = 24 cale – przyp.aut.]. Po trzecie znajdź obwód koła z dyjаметru w calach, czyniąc jako 7 do 22, tak dyjаметr do obwodu. Tę liczbę obwodu przedziel przez liczbę 4, która jest miąższość oraz i odległość palców, wynidzie liczba palców, które dane koło zniesie”. Opis działań ilustruje następującym przykładem: „Jest koło którego dyjаметr jest łokci 10, te łokci 10 obrócone na cale dają calów 240. Uczynże jako 7 do 22, tak 240 do czwartego, a wynidzie liczba calów $754\frac{2}{7}$ obwodu koła. Tę liczbę calów 754 (odrzućwszy frakcyję), gdy przedzielisz przez 4, będziesz miał liczbę 188, którą zniesie dane koło”. Autor zaleca, aby w przypadku gdy otrzymuje się nieparzystą liczbę zębów, przyjąć najbliższą parzystą podzielną przez 6, co ma związek ze sposobem podziału koła¹⁴.

Obliczenie liczby cewek dla cewy w przypadku danego koła o wiadomej liczbie zębów *Kołu danemu z wiadomą liczbą palców do naznaczonej liczby obrotów cewia jednego przebrać liczbę cewek*, S. Solski zaleca tak wykonać: „Jest w kole palców 84, do którego cewek potrzeba w cewiu jednym, nie wiesz wiele, aby się obróciły 14 razy, gdy raz koło palczaste liczące palców 84. Rozdzielże 84 przez 14, wynidzie liczba cewek 6 w cewiu jednym, które się 14 razy obróć, gdy koło palczaste raz¹⁵”

W dalszych naukach S. Solski rozwiązuje następujące zagadnienia¹⁶:

Koło sporządzić, na wiele chcesz zębów albo palców jakiegokolwiek grubości i odległości od siebie,

Cewom danym albo kołu mniejszemu z wiadomą liczbą cewek z nakazaną liczbą obrotów wynaleźć do koła większego, które masz robić, liczbę palców, która by wypełniła liczbę obrotów cewów nakazaną, gdy koło, które masz robić obróci się raz,

Z danego dyjаметru koła i z liczby palców z ich miąższością naznaczyć odległość palców, byle była podobna,

Miawszy koło wielkie z liczbą palców na nim stojących i z liczbą obrotów ciężaru, sporządzić koło insze mniejsze, które by liczbę obrotów ciężaru naznaczoną wypełnić mogło,

Jakim sposobem mogą się dzielić koła snadno i doskonale,

Według naznaczonej liczby cewek i palców determinować dyjаметry do koła i do kręgów cewowych,

Dawszy liczbę cewek pod ciężarem prędkiego obrotu potrzebującym i liczbę obrotów tego ciężaru sporządzić jedno albo wiele kół, które by wypełniły nakazaną liczbę obrotów ciężaru.

Nauki te wyczerpywały w zasadzie wszystkie zagadnienia jakie musiał znać ówczesny wykonawca przekładni zębatych.

Zaproponowany przez S. Solskiego tok bardzo prostych obliczeń wymagał jednak od czytelnika pewnej wiedzy z zakresu podstawowych działań matematycznych. Jednak sam autor miał wątpliwości czy nie podać łatwiejszego sposobu. Tak to uzasadniał w tekście „Poprzedzające nauki tej części 2 zabawy II potrzebują biegłości w rachowaniu przez mnożenie albo dzielenie liczby. Dla tych, którzy liczenia przerzeczonego nie umieją, następują nauki, które bez pracowitego rachowania danej liczbie palców albo zębów z tablic poprzedzającej podają i dyjаметer koła, które by mogło znieść liczbę dana palców i cewy, i danemu dyjаметrowi naznaczają przyzwoitą liczbę palców, i inne trudności ułatwiają”¹⁷.

Mając to na uwadze, S. Solski opracował tabelę, gdzie w łatwy sposób można było odczytać wartości potrzebne do wykonania zarówno koła zębatego jak też określić współpracującą z nim cewę – tabela I¹⁸.

Autor brał pod uwagę sposób w jaki rzemieślnicy wykonywali koła zębate: „Prości młynarze dłubią po kole cerkliną [prosty cyrkiel – przyp. aut.] drewnianą, wbiwszy w końce gwoźdźniki żelazne, póki im dobrze żele podział nie wynidzie. Dlatego też dla swojej niewiedomości i czasu natrawią, i koła niedługo użyją, gdyż niedoskonale rozmiarzone palce i cewy, ustawicznie kalicząc koło, prędko je rozgruchocą”¹⁹.

W pierwszym wierszu kolumn od pierwszej do szóstej wpisano liczbę cewek w cewach - 4, 5, 6, 8, 10, 12. W wierszach siódmej kolumny znajduje się liczba palców - zębów na kole zębatym: 4, 8, 10, 12, ..., 192. Dzieląc liczbę palców - zębów przez liczbę cewek otrzymano liczbę pełnych obrotów, które wykona cewa. Wartości te wpisano w wiersze kolumn od pierwszej do szóstej. Dalsze dwie kolumny tj. „Dyjаметer koła” oraz „Półdyjаметer koła” nie zawierają bezpośrednio wartości średnicy i promienia koła, lecz wskaźniki do ich obliczenia. Autor tak je opisuje: „Ósma kolumna roście czyniąc jako 22 do 7, tak liczba palców siódmej kolumny (to jest obwód koła), do dyjаметru, którego dyjаметru liczba kładzie się w tej kolumnie dwoista. Pierwsza przed kropką albo punktem znaczy zupełne części dyjаметru koła takie, jaką jedną składa miąższość i wespół odległość palca jednego od drugiego na kole. Wtóra liczba za punktem na jednymże wierszu z poprzedzającą przed punktem rachuje

cząsteczki jednej pierwszej części całej rozdzielonej na 22 cząsteczek. Na przykład 2 ze 22, 3 ze 22 i tak dalej aż do 21 cząsteczki ze 22”. Chcąc jednak ułatwić zadanie jak autor to określa „prostym młynarzom”, dalej w przestrodze zaznacza: „Kto się rachowaniem nie chce trudnić, ilekroć ta wtóra liczba kolumny nie dojdzie liczby 11, może jej cale poniechać, kiedy zaś przewyższy liczbę 11, może za nie brać całą miarę, jaka będzie dana miąższość oraz i odległość jednego palca od inszych, ponieważ nie uchybi prawdziwej miary znaczenia”.

Odnosnie podziału koła na nieparzyste części oraz nieparzystej liczby palców S. Solksi w przestrodach zastrzegł: „Podziału, który się poczynia od 3, 5 i 7, nikomu nie życzę i dla uprzykrzonej pracy, i to niech użyje sposobów dzielenia nauki 47, 49, 50 zabawy IV *Geometry polskiego*”. I dalej „Chociaż się kładzie w tej tablicy liczba palców nieparzysty, jako 25, 35, 45 etc., nie obieraj jej na koło, chyba dla gwałtownej jakiej potrzeby albo kunsztu, gdyż takowej liczby trudne jest rozporządzenie na kole”²⁰.

Pierwsze zagadnienie omawiane przez autora to obliczenie średnicy koła zębatego przy założonej liczbie zębów: *Z tablice przybrać danej liczbie palców dyjmeter koła*. Dla korzystających z tabeli S. Solksi podał dwa sposoby – dla mniej wprawnych czytelników jest to sposób wykreślny, zaś dla znających działania mnożenia i dzielenia prosty sposób obliczeniowy.

Rozpatrywany jest następujący przykład: „Niech będzie dana liczba palców 108, jakożkolwiek miąższych i odległych od siebie, do których potrzeba ztablice przybrać snadniusienko bez wszelkiego rachowania dyjmeter koła. Idę tedy z tą liczbą wiadomą palców 108 do tablice poprzedzającej i w niej upatrywwszy liczbę 108 w siódmej kolumnie, podpisanej: liczba palców, w ósmej kolumnie, podpisanej: długość dyjmetru, znajduję obok na jednymże wierszu długość niewiadomą dyjmetru 34,8, to jest 34 części takich, jaką jedną składają miąższość i odległość oraz każdego palca od drugiego, a nad te 34 części cząsteczek 8 takich, na jakich 22 jedna część ze 34 może się dzielić”.

Podając sposób wykreślny autor przyjmuje liczbę zębów 108, o grubości 1,5 i odległości 1,5 cala [stąd miara zęba wynosi 3 cale – przyp. aut.]. Odszukawszy w tabelach wartości 34 i po kropce 8, poleca dalej odmierzyć cyrklem na dowolnym przecie jedną miarę zęba czyli 3 cale i powtórzyć to 34 razy. Liczbę 8, ponieważ jest mniejsza od 11, pominąć. Daje to średnicę koła zębatego 102 cale. Jednak dokładniejszy wynik otrzymać można dodając do tego wymiaru obliczoną wartość: „... a jeżeli zechce doskonalszej miary na łacie, jeszcze cząsteczek takich 8, na jakich 22 jedna miara na przeciku dzielić się może [3 cale

podzielić na 22 części i z nich wziąć 8 czyli $\frac{24}{22} = 1\frac{2}{22}$ – przyp. aut.]”²¹. Dodając ten wynik do poprzednio wyliczonej średnicy otrzymuje się $102 + 1\frac{2}{22} = 103\frac{2}{22}$ cale.

Dla użytkowników bieglejszych w działaniach matematycznych S. Solksi poleca, aby po odszukaniu w tabeli współczynnika 34 i po kropce 8, miarę zęba 3 cale pomnożyć przez 34 co daje średnicę 102 cale. Następnie pomnożyć drugą z liczb czyli 8 przez miarę zęba – 3 i całość podzielić przez 22, otrzymaną zaś wartość $1\frac{2}{22}$ dodać do 102 cali. Stąd średnica wynosić będzie $103\frac{2}{22}$ cale²².

Inne zagadnienie które omawia autor to dobranie cewy dla gotowego koła zębatego: *Z tablice kołu palczastemu gotowemu przybrać cewy, które by zupełnie przeszedłszy palce w jednym obrocie koła żadnej cewki nie zostawiły na wtóry obrót koła*. Mając np. koło zębate o 114 zębach odczytuje się wartość 19 obrotów cewy w trzeciej kolumnie i tym samym wierszu oraz liczbę 6 cewek w tej samej – trzeciej kolumnie i pierwszym wierszu. Dalej autor zauważa: „Jeżeli liczby palców gotowych na kole nie znajdziesz w siódmej kolumnie tablice poprzedzającej, bądź pewien, że takowe koło nie jest modne ani sprawne, to jest że nie może mieć cewów , które by po kilku, kilkunastu albo po kilkudziesięciu obrotach nie miały cewki której zostawić na drugi obrót koła”²³.

Jak wspomiano powyżej S. Solksi, sam znakomity praktyk, kończąc omawianie tematu często zamieszczał przestrogi, czyli przestrzegał czytelników przed błędami wynikającymi z braku wiedzy i praktyki. I tak czytamy: „Palców w żadnym kole nie sporządzać długich, ale dawać je w miarę, która się ma brać z miąższości cewek, aby długość palców tej miąższości nie przechodziła, lecz była im równa, ponieważ krótsze palce od miąższości cewek mogą cewki przesłaniać, zwłaszcza gdy je palce z czasem wytną, dłuższe zaś zajmują znaczną część wewnętrzną cewek i tym zajmowaniem wyłupują trzaski z cewek, nie bez przyczynienia ciężaru w obracaniu cewów od kół”²⁴.

Po omówieniu zagadnienia obliczania własności geometrycznych oraz doboru kół zębatach oraz cew, autor zajmuje się opisem różnego rodzaju młynów, młynków i pił, jak również systemów wodociągowych, czyli urządzeń gdzie znalazły one zastosowanie. Opisuując konstrukcje często podaje sposób ich poprawy, jeżeli uważa że jest to możliwe.

Tabela I. „Tablica służąca na rozporządzenie palców i cewek do kół danych i na przybrania kół do liczby palców i cewek zamierzonych”

O Rozstawianiu palców na Kółkach.									
jak rozporządzone y cewy, (prawia liczbę obrotów cieżaru naczynia).									
T A B L I C A									
Służąca na rozporządzenie palców y cewek do kół danych y na przybranie kół do liczby palców y cewek zamierzonych									
Cewy o Cewkach. Licz. Długość. Półdy.									
4 5 6 8 10 12. Pał. ter Kół. Kół.									
1	0	0	0	0	0	4	1. 6	0	14
2	0	0	0	0	0	8	2. 2	1. 1	
0	2	0	0	1	0	10	3. 4	1. 13	
3	0	2	0	0	1	12	3. 18	1. 20	
4	0	0	2	0	0	16	5. 2	2. 12	
0	0	3	0	0	0	18	5. 16	2. 19	
5	4	0	0	2	0	20	6. 8	3. 4	
0	0	4	3	0	2	24	7. 14	3. 18	
0	5	0	0	0	0	25	8. 0	4. 0	
7	0	0	0	0	0	28	8. 20	4. 10	
0	6	3	0	1	0	30	9. 12	4. 17	
8	0	0	4	0	0	32	10. 4	5. 2	
0	7	0	0	0	0	33	11. 3	5. 12	
9	0	6	0	0	3	36	11. 10	5. 10	
10	8	0	5	4	0	40	12. 16	6. 8	
0	0	7	0	0	0	42	13. 8	6. 15	
11	0	0	0	0	0	44	14. 0	7. 0	
0	9	0	0	0	0	45	14. 7	7. 3	
12	0	8	6	0	4	48	15. 6	7. 14	
0	10	0	0	5	0	50	15. 20	7. 21	
13	0	0	0	0	0	52	16. 12	8. 6	
0	0	9	0	0	0	54	17. 4	8. 13	
0	11	0	0	0	0	55	17. 11	8. 16	
14	0	0	7	0	0	56	17. 18	8. 20	
15	12	10	0	4	5	60	19. 2	9. 1	
16	0	0	8	0	0	64	20. 8	10. 4	
0	13	0	0	0	0	65	20. 15	10. 7	
0	14	0	0	7	0	70	22. 6	11. 3	
18	0	12	9	0	6	72	22. 20	11. 10	
0	15	0	0	0	0	75	23. 19	11. 20	
19	0	0	0	0	0	76	24. 4	12. 2	
0	0	13	0	0	0	78	24. 18	12. 9	
20	16	0	10	8	0	80	25. 10	12. 16	
21	0	14	0	0	7	84	26. 16	13. 8	
0	17	0	0	0	0	85	27. 1	14. 11	
22	0	0	11	0	0	88	28. 0	14. 0	
0	18	15	0	9	0	90	28. 14	14. 7	
23	0	0	0	0	0	92	29. 6	14. 14	
24	0	19	12	0	8	96	30. 12	15. 6	
1. 2.	3. 4.	5. 6.	7. 8.	9.					
Cewy o Cewkach. Licz. Długość. Półdy.									
4 5 6 8 10 12. Pał. ter Kół. Kół.									
21	20	0	0	10	0	100	31. 18	15. 20	
0	0	17	0	0	0	102	32. 10	16. 5	
26	0	0	13	0	0	104	33. 2	16. 12	
0	21	0	0	0	0	105	33. 9	16. 15	
27	0	18	0	0	9	108	34. 8	17. 4	
0	22	0	0	11	0	110	35. 0	17. 11	
28	0	0	14	0	0	112	35. 14	17. 18	
0	0	19	0	0	0	114	36. 6	18. 3	
0	23	0	0	0	0	115	36. 13	18. 6	
29	0	0	0	0	0	116	36. 20	18. 10	
30	24	20	17	12	10	120	38. 4	19. 2	
31	0	0	0	0	0	124	39. 10	19. 16	
0	25	0	0	0	0	125	39. 17	19. 19	
0	0	21	0	0	0	126	40. 2	20. 1	
32	0	0	16	0	0	128	40. 16	20. 8	
0	26	0	0	13	0	130	41. 8	20. 15	
33	0	22	0	0	11	132	42. 0	21. 0	
0	27	0	0	0	0	135	43. 0	21. 11	
34	0	0	17	0	0	136	43. 6	21. 14	
0	0	23	0	0	0	138	43. 20	21. 21	
35	28	0	0	14	0	140	44. 12	22. 6	
36	0	24	18	0	12	144	45. 18	22. 20	
0	29	0	0	0	0	145	46. 3	23. 1	
37	0	0	0	0	0	148	47. 2	23. 12	
0	30	25	0	15	0	150	47. 16	23. 19	
38	0	0	19	0	0	152	48. 8	24. 4	
0	31	0	0	0	0	155	49. 7	25. 14	
39	0	26	0	0	13	156	49. 14	24. 18	
40	32	0	20	16	0	160	50. 20	25. 10	
0	0	27	0	0	0	162	51. 12	25. 17	
41	0	0	0	0	0	164	52. 4	26. 2	
0	33	0	0	0	0	165	52. 11	26. 5	
42	0	28	21	0	14	168	53. 10	26. 16	
0	34	0	0	17	0	170	54. 2	27. 1	
43	0	0	0	0	0	172	54. 16	27. 8	
0	0	29	0	0	0	174	55. 8	27. 15	
0	35	0	0	0	0	175	55. 15	27. 18	
44	0	0	22	0	0	176	56. 0	28. 0	
45	36	30	0	18	15	180	57. 6	28. 14	
46	0	0	23	0	0	184	58. 2	29. 6	
0	17	0	0	0	0	185	58. 15	29. 9	
0	0	31	0	0	0	186	59. 4	29. 13	
47	0	0	0	0	0	188	59. 18	29. 20	
0	38	0	0	19	0	190	60. 10	30. 5	
48	0	32	24	0	16	192	61. 2	30. 12	
1. 2.	3. 4.	5. 6.	7. 8.	9.					

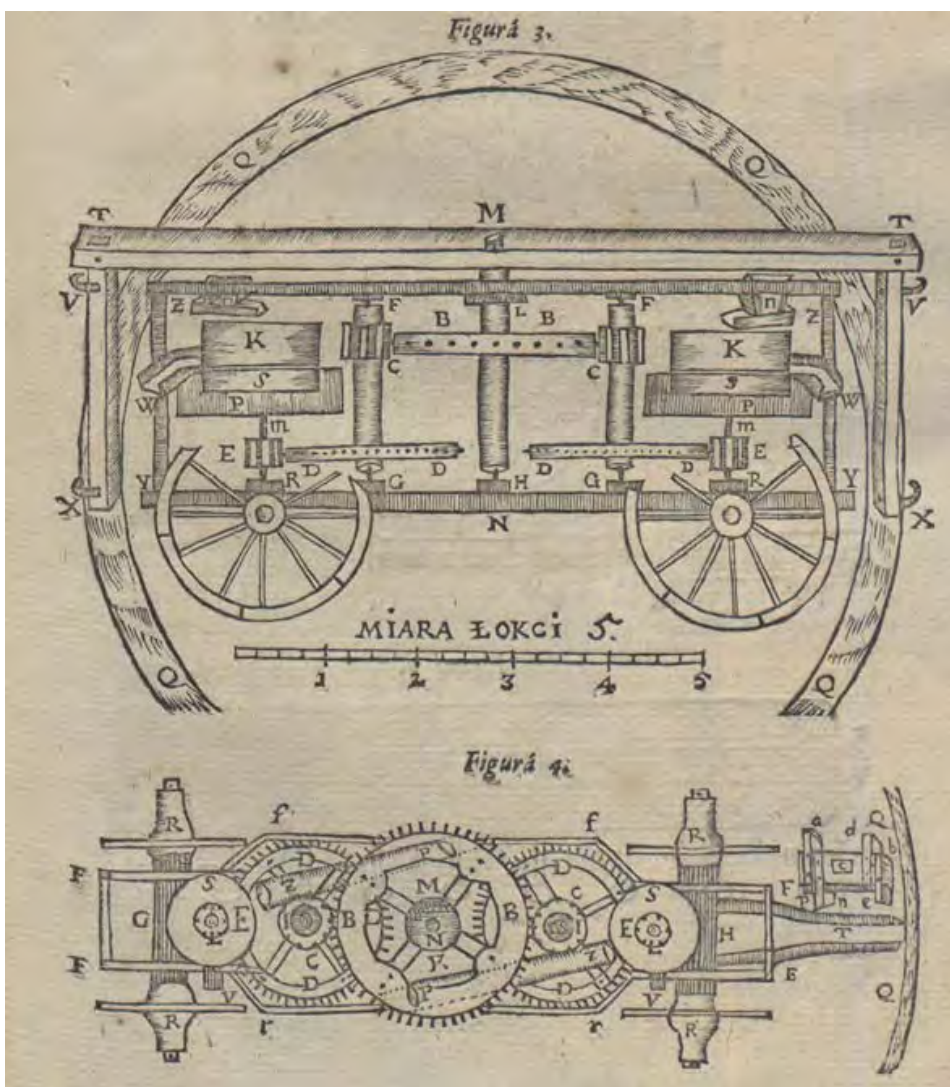
Analiza toku obliczeń przyjęta przez S. Solskiego, wskazuje na jego dogłębną wiedzę w tym zakresie. Tekst napisany został zrozumiale, opatrzony wieloma ilustracjami. Stanowić może przykład właściwego, podręcznikowego podejścia autora do prezentowanego zagadnienia. Zarówno obliczenia jak też przygotowane tablice, pozwalały prawidłowo, w łatwy sposób wykonać elementy przekładni. Zupełnie wyjątkową sprawą jest opracowanie przez S. Solskiego terminów technicznych dotyczących zagadnienia.

2.2. Wizualizacja kół i przekładni zębatych

Dużą pomocą dla czytelnika zgłębiającego dzieło *Architekt polski* jest zawarty tu bogaty materiał ilustracyjny²⁵. Autor dołożył wielu starań, aby przekazywane treści możliwie szeroko ilustrować odpowiednikami rycinami. Jednak jakość tych rysunków nie jest najlepsza. Tylko jeden z nich został wykonany metodą miedziorytu, pozostałe to drzeworyty, od których wówczas powszechnie już odchodzono. S. Solski tak to tłumaczy „Choćbym też chciał dla nich co drukować obszerniej, tego bez figur drogich nie pojmy, których żem z lepszych czasów nie miał gotowych, a teraz drukując nie znajduję, za co ich dać rżnąć”²⁶.

Poniżej przedstawiono rysunki przekładni zębatych zastosowane w młynach, młynku domowym, pile wodnej, pile konnej oraz urządzeniach do podnoszenia wody na wyższe miejsce.

W materiale ilustracyjnym *Architekta polskiego* jeden z rysunków wykonany jest przy użyciu dwóch rzutów prostokątnych. Jest to rysunek przedstawiający młyn wozowy, jak to autor podkreśla: „...wygodnym w obozach i w ciągnięciu wojska. Którzy doświadczyli jaka jest niewygodna, gdy się trafi obóz lokować daleko od młynów, na takowe kosztu żałować nie będą, które by na jednym wozie osadzone, mąkę mleć mogły na 2 kamienie, tak sposobnie jako wodne”. I dalej: „Sporządzenie tedy wozowego młyna będzie takowe, jakie pokazują 2 figury: jedna reprezentująca stojące wały kół, wysokość cewów i kamieni grubość, druga: dyjamentry albo rozłożystość wałów, kół, cewów kamieni, które dla snadniejszego pojęcia szerzej opisuję”. Na dwóch rzutach – głównym i z góry przedstawiono w czytelny sposób przekładnię, oznaczając literami jej elementy i szczegółowo opisując działanie w tekście. Dodatkowo na rysunku umieszczono podziałkę – rys.2.2²⁷.

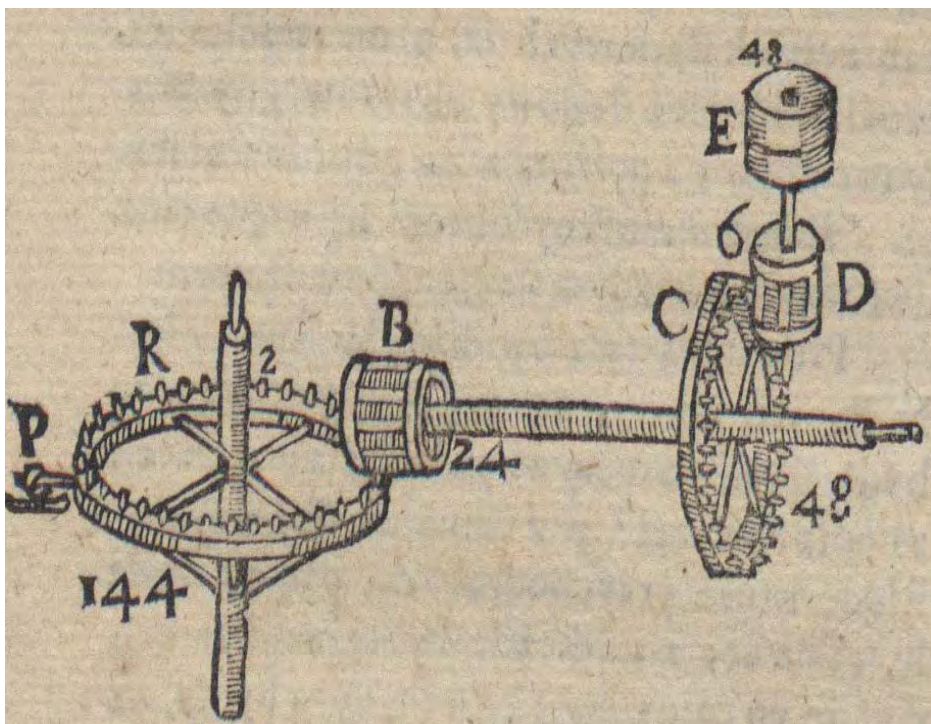


Rys. 2.2. Młyn wozowy

W opisie działania młyna autor powołuje się na część 4 zabawy II: *O młynach konnych i wołowych* gdzie zauważa: „Młyny konne i wołowe jedne bywają trybowe, to jest o 2 kołach miernych i o dwojgu cewach skromnych,

drugie proste, o 1 kole wielkim i o 1 cewach. W Koronie naszej jako rzadko się trafiają, lubo są bardzo potrzebne, zwłaszcza na zimę tęgą i lato suche, kiedy młyny wodne próżnują. Tak we wszystkich, com je widział, jest co poprawić, dlatego że młynarze nie mając w nich doświadczenia, jakie mają w wodnych, około nich znacznie i szkodliwiej błędzą²⁸.

Inne rysunki, w tym kół zębatach, wykonano używając rzutów środkowego i równoległego.

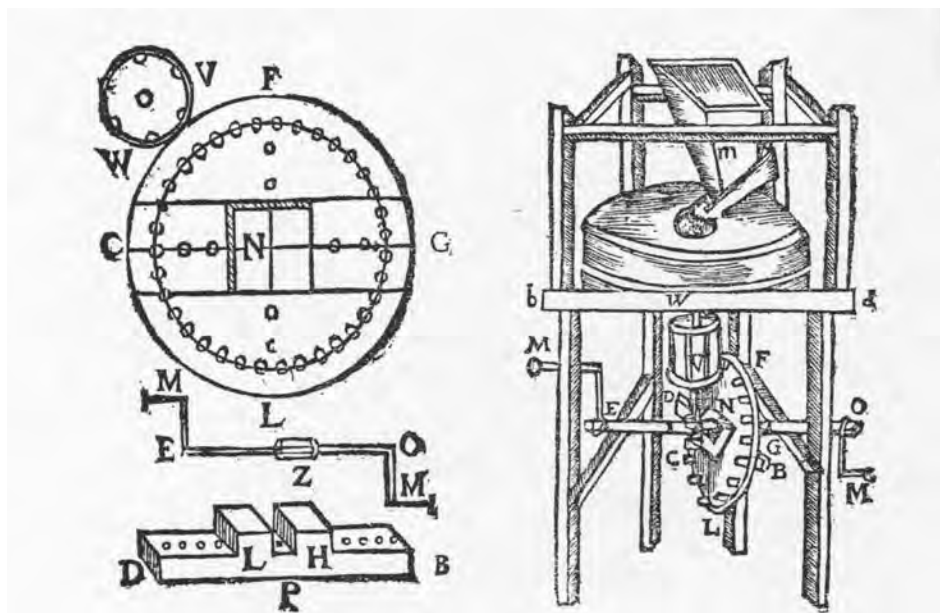


Rys. 2.3. Przekładnia w młynie trybowym

Na rys. 2.3 przedstawiono przykład przekładni zębatej zastosowanej w „młynie trybowym, mającym palce nie w czele koła, ale na policzku”²⁹. Koła zębata i cewy oznaczono literami, umieszczając dodatkowo przy każdym z tych

elementów liczby zębów. Szczegółowo opisano przekładnię w tekście, odwołując się do oznaczeń na rysunku.

Odnosnie zalet takiego rozwiązania autor nadmienia: „Że poprzedzające młyny trybowe mają palce w czele koła, których nie każdy młynarz potrafi rozmierzać, dopieroż wrzynać, w niedostatku rzemieślnika słusznego może być młyn bydlęcy sporządzany na ten kształt , jaki pokazuje ta figura, w której palce idą po wierzchnim policzku koła R, w jednejże liczbie palców z poprzedzającymi młynami. Wał jednak na którym cewy B i koło paleczne drugie C, nie jest stojący, ale horyzontalny albo poziomy tak wysoko, żeby było mogło podeń podchodzić, długi według potrzeb”.



Rys. 2.4. Młynek domowy do kasz

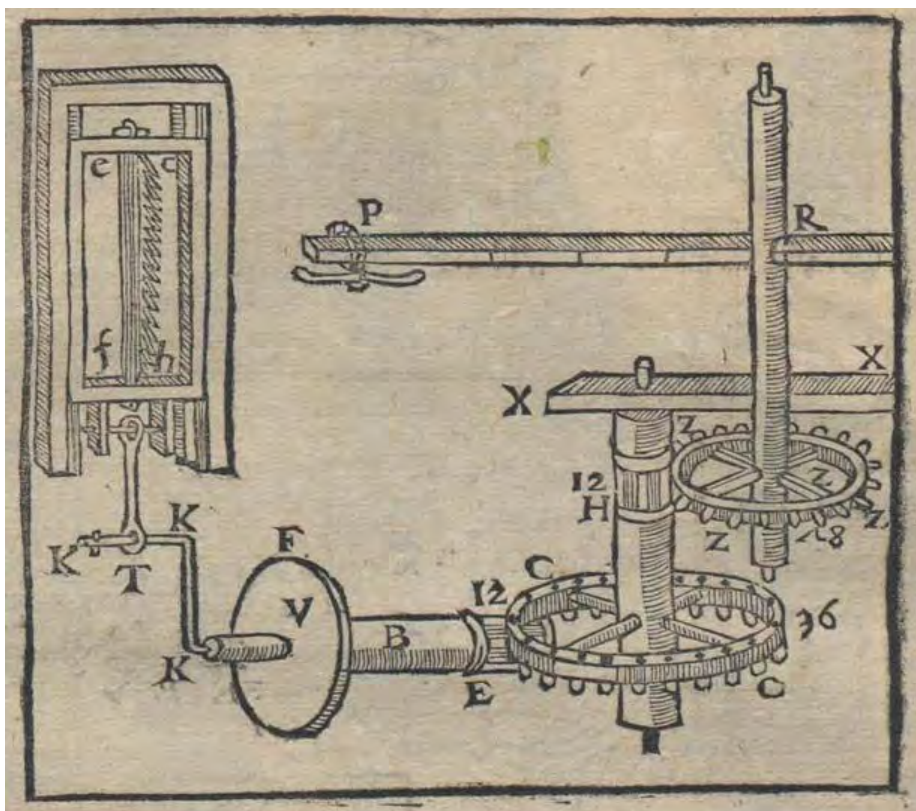
Oprócz opisów urządzeń znanych autorowi z obserwacji zamieszczał również te, które jego zdaniem można było wykonać na potrzeby domowe, korzystając z zamieszczonego w *Architekcie* opisu. Przykładem takiego urządzenia jest młynek do mielenie słodów i kasz: „Kto chce dla potrzeb gospodarskich mieć

słuszny w domu młynik niech go da w ten sposób zrobić młynarzowi prostemu” – rys.2.4³⁰.

Dając wskazówki odnośnie wykonania przekładni autor pisze: „Który naprzód zrobi koła drewniane *CFGL*, wysokie łokieć jeden krakowski [24 cale – przyp. aut.] i grube na półtrzecia cala. Na tym kole z centrum ocyrkuje cyrkuł półdyjamentrem na calów 10, po którym podział uczyni na 30 części, dzieląc cyrkuł naprzód półdyjamentrem na 6 części, a potem każda szóstą na 5. Toż powierci dziur 30 w tych podziałach na 30 palców, szerokich i wysokich na półtora cala, a miąższych i odległych oraz na 2 cale, które gdy je na kole postawi, z drugiej strony zawierci, aby nie wypadały za czasem”. Zwraca uwagę technika wykonania rysunków. Autor zastosował tu zarówno rzut prostokątny, rzut równoległy jak też środkowy do wizualizacji całego urządzenia.

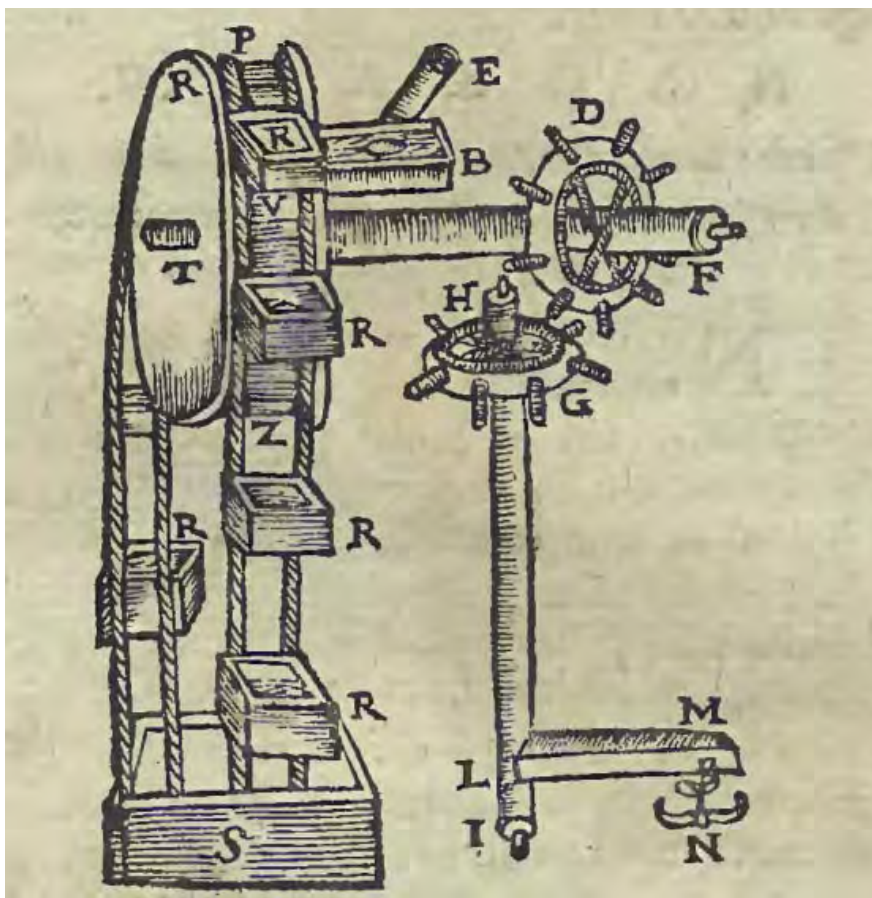
W następnych częściach zabawy II S. Solski zawiera opisy „pił wodnych i bydłych do rzezania drzewa”. Przekładnię zastosowaną w jednej z nich – w pile wodnej, „O trybowej pile” przedstawia rys.2.5³¹. Na rysunku zwraca uwagę koło C o palcach - zębach umieszczonych w dwóch rzędach. Autor tak to komentuje: „Toż koło C dla mocy dać szerokie, aby mogło znieść palce dwoiste, jeden podle drugiego w jednym szeregu szerokim. Palec od palca ma być odległy na ćwierć jednego łokcia, biorąc nie miejsce i pole między palcami, ale szrodek palca od szrodka drugiego palca”.

Na rysunku zwraca uwagę koło C o palcach – zębach umieszczonych w dwóch rzędach. Autor tak to komentuje: „Toż koło C dla mocy dać szerokie, aby mogło znieść palce dwoiste, jeden podle drugiego w jednym szeregu szerokim. Palec od palca ma być odległy na ćwierć jednego łokcia, biorąc nie miejsce i pole między palcami, ale szrodek palca od szrodka drugiego palca”.



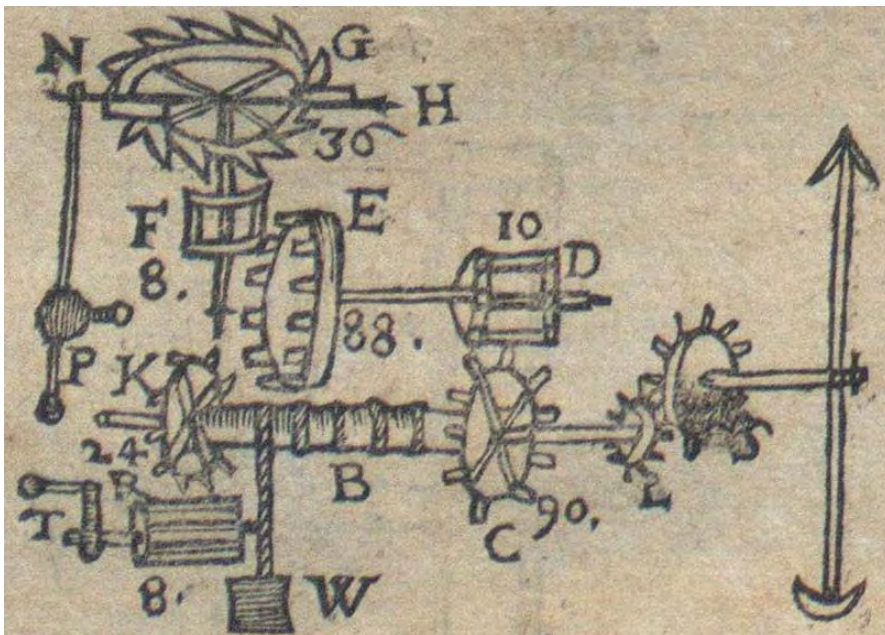
Rys. 2.6. Piła konna

Echa pobytu S. Solskiego w Konstantynopolu zauważa się też i w *Architeckie*, gdzie w zabawie III – *O wodzie*, podaje *Sposób konstantynopolski czerpania wody ze studzien w ogrodach*³⁴. Autor tak to opisuje: „W Konstantynopolu ogrody wszystkie są pochodziste dlatego, aby ich sposobnie było polewać na każdy wieczór. Do polewania zaś używają sadzaweczek murowanych na najwyższym miejscu i prowadzą do nich wodę czerpaną z studzien, z których ciągną wodę nie pompą, która głębokim studniom nie może służyć i prędkiego podnoszenia tłoka potrzebuj, ale mułem, koniem albo osielkiem w ten sposób”. System podnoszenia wody w konstantynopolskich ogrodach przedstawia rys.2.7.



Rys. 2.7. System czerpania wody ze studni do podlewania w ogrodach.

W swych rozważaniach zawartych w *Architekcie* S. Solksi zamieścił w zabawie II część 8 *O różnych biegach i ich skutkach* wiadomości dotyczące przekładni w mechanizmach zegarowych³⁵. We wstępie do tej części autor pisze: "Następujące nauki o biegu różnym. Jedne się zejda zegarmistrzom do różnych inwencyji w zegarowych indeksach, drugie tym, którzy pracują około wynalezienia biegu nieustannego, trzecie do zabawki i na przepolerowanie dowcipu". Na rys.2.8 przedstawiono schemat kinematyczny zegara „średniego z wagami i perpendykulem”, który „rachuje minut 1782 w godzinie”³⁶.



Rys. 2.8. Schemat kinematyczny mechanizmu „Średniego zegara z wagami i perpendykulem”

S. Solksi zamieścił w *Architektce polskim* 245 rysunków. Widać tu niezwykle starania autora, aby tekst pisany bogato ilustrować. Stosuje on czytelne oznaczenia, do których potem odwołuje się w tekście. Jest to walor nie do przecenienia. Żałować tylko można, że nie dane mu było z powodów finansowych na stosowanie lepszej metody miedziorytów. Tak szerokie stosowanie materiału ilustracyjnego świadczy również o docenianiu w pełni roli jaką w przygotowaniu dokumentacji technicznej spełnia zapis konstrukcji.

Autor *Architekta polskiego* w słowach przeznaczonych dla czytelników tak określa dla kogo i dlaczego po polsku podjął trud opracowania tego monumentalnego dzieła: „O dwóch rzeczach sprawę daję czytelniku, które w podziwieniu komu być mogą.

Pierwsza. Czemu te materyja *Architekta*? Druga. Dlaczego polsku wypisuję?

Pierwszy. Napatrzywszy się znacznych utrat patronów w budynkach dla niedostatku w Koronie naszej umiętynnych dyrektorów i dla niewiadomości

rzemieślników, z uzaleniem nad nimi, usługę moją potrzebnym obróciłem do materji *Architekta*.

Wtóry. Przykład Zbawiciela naszego, Stwórcę nieba i ziemie, był mi poważnym do tego powodem, abym się szczerze i pracowicie aplikował do tej materji podłej na usługę prostych, którą przenajświętszymi rękami swoimi poświęcił.

Abym zaś tę pracę moją polskim językiem do wiadomości podał, krom kilku inszych przyczyn, które mnie do tego przywiodły, na tych dwóch poprzestaniesz.

Pierwsza. Sądziłem za rzecz niesłuszną, aby język polski nie miał tej nauki, którą insze języki, arabski, grecki, łaciński, hiszpański, włoski, francuski, niemiecki, angielski, zdobia.

Druga. W tej książce wiele takowych materji zachodzi, których by łacinnicy, rzemiosł niewiadomi, mianować nie potrafili przed rzemieślnikami, tłumacząc łacińskie terminy, ani by mogli na łaciński język przenieść właśnie i prawdziwie srogą liczbę słów zwyczajnych mularzom, kamieniarzom, cieślom, młynarzom, pilarzom, etc. etc., na które by osobnej synonimy potrzeba. Wołałem polskim językiem z rzemieślnikami rzecz moją traktować³⁷.

Jak wykazano to powyżej, S. Solski z założonego zadania wywiązał się bardzo dobrze, dając do rąk czytelników podręcznik który służyć mógł zarówno „patronom” jak i „prostym młynarzom”. Opracowanie i uporządkowanie terminologii technicznej w tych czasach zasługuje na wyraźne podkreślenie. Dlatego też w zupełności zgodzić się można z oceną *Architekta* jaką zawarł F. Kucharzewski w swym *Piśmiennictwie technicznym polskim*: „*Architekt polski* nie będąc dziełem uczonym, jak *Theoreses Mechanicae* Kochańskiego, jest wyborną książką techniczną, pełną jasnych i ścisłych uwag i praktycznych wskazówek. Jakkolwiek pod względem rycin nie mógł dorównać okazałemu wydaniu dzieła o młynach Jakuba de Strada a Rodberg z r.1617, na które wielokrotnie powołuje się Solski, to jednak przystępnością wykładu, starannym doborem treści, a zwłaszcza jej przystosowaniem do potrzeb krajowych, stanął o wiele wyżej”³⁸.

Przypisy

¹Stanisław Solwski urodził się w Kaliszu w 1622 roku w rodzinie mieszczańskiej. Po ukończeniu szkoły w Kaliszu udał się do Krakowa, gdzie wstąpił do zakonu jezuitów w sierpniu 1638 roku. W następnych latach od 1641 roku studiował filozofię, retorykę i teologię w Kaliszu i Poznaniu. Przez następne dwa lata pracował jako nauczyciel w Poznaniu, a następnie przez jeden rok był prefektem w Kaliszu w Bursa Carnkoviana. Po powrocie do Poznania w 1644 roku podjął studia teologiczne, które kontynuował przez trzy lata. W następnych latach pracował, zapewne w szkołach jezuickich, w Krośnie, Poznaniu i Lwowie. W latach 1654 – 1660 przebywał w Konstantynopolu wraz z polskim poselstwem. Od 1666 roku był kapelanem obozowym hetmana Jana Sobieskiego. W latach od 1671 do 1683 roku został zatrudniony przy kolegium jezuickim i kościele Św. Piotra jako *prefectus fabricae* – czyli administrator mający nadzór nad wszelkimi przedsięwzięciami budowlanymi zgromadzenia. Za czasów Solskiego w Krakowie prowadzono budowy lub remonty kilkunastu obiektów kościelnych. Stanowisko to biorąc pod uwagę zainteresowania techniką, pozwoliło S. Solskiemu na zdobycie cennego doświadczenia, wiedzy praktycznej, którą przełał później na karty swych dzieł. Od 1683 roku przebywał na dworze króla Jana III Sobieskiego. Zmarł w styczniu lub wrześniu 1701 roku, jak podają różne źródła. W ostatnich latach życia podupadł na zdrowiu, cierpiał niedostatek.

Opublikował pięć dzieł z zakresu techniki i cztery książki dotyczące praktyk religijnych. Dwie pierwsze rozprawy z dziedziny techniki dotyczyły *perpetuum mobile*. Zagadnienie to zajmowało S. Solskiego przez cały okres jego dorosłego życia. Trzecią kolejną było dzieło napisane w języku polskim *Geometra polski*. Autor pisząc pracę po polsku zdawał sobie sprawę, że nie będzie znana poza granicami kraju. Stąd też streszczając, wydał dzieło po łacinie w 1688 roku w Krakowie, pod tytułem *Praxis nova et expeditissima geometrie mensurandi distantias, altitudines et profunditates*. Ostatnia publikacja S. Solskiego to wydany w Krakowie w 1690 roku *Architekt polski*. Por.: Orłowski B.: *Solski Stanisław* [w:] *Słownik polskich pionierów techniki*, wyd. Śląsk, Katowice 1984; *Solski Stanisław* [w:] *Słownik biograficzny techników polskich*, NOT, Warszawa 2001, t. 12, s. 155; Burszta J., Łuczak Cz.: *Wstęp* [w:] S. Solski: *Architekt polski*, s. XI – XXVIII.

²S. Solski: *Architekt polski to jest nauka ulżenia wszelkich ciężarów. Używania potrzebnych machin, ziemnych i wodnych. Stawiania ozdobnych kościołów małym kosztem. O proporcji rzeczy wysoko stojących. O wschodach i pawimentach. Czego się chronić i trzymać w budynkach od fundamentów aż do*

dachu. O fortyfikacji. I o innych trudnościach budowniczych. Dzieło wydane w 1690 roku w Krakowie, w drukarni Jerzego i Mikołaja Schedlów. Pierwodruk liczył 200 stron paginowanych oraz kartę tytułową, kartę z dedykacją, kartę zawierającą *Kontenta Architekta* - bez numeracji.

O swych zamierzeniach autor informuje czytelników na początku dzieła – *Kontenta Architekta na trzy księgi rozłożone*, gdzie można przeczytać na temat zawartości merytorycznej. Z zamierzonych trzech części autor zrealizował tylko pierwszą. Na stan ten być może wpływ miała zarówno sytuacja materialna S. Solskiego jak również jego wiek. Dzieło autor dedykował biskupowi Małachowskiemu, co zapewne wiązało się z nadzieją na pozyskanie funduszy. Jednak nie do końca nadzieje te zostały spełnione, gdyż w ostatnich słowach *Architekta* S. Solski pisze: „Wiele opuszczam własności używania wody i doświadczenia sekretów wodnych służących do szukania nieustannego biegu, dla wielkiego kosztu którego jeżeli Pan Bóg nie opatrzy, mnie więcej czasu zostanie na gotowanie się do szczęśliwej śmierci. Ty czytelniku przyjmiesz z rąk Opatrzności, że ani wtórej ani trzeciej księgi *Architekta* nie oglądasz”.

Autor zawarł tu skrupulatny opis wielu urządzeń ówczesnie używanych jak drągi, kafary, lewary, windy, rusztowania, młyny, piły itp. Przechodząc do opisów urządzeń starał się w miarę swych możliwości podać pewne prawa i reguły teoretyczne wprowadzające bardziej wykształconego czytelnika w zagadnienie. Jednak przedstawiając niekiedy prawa mechaniki, hydromechaniki nie ustrzegł się pewnych błędów i uchybień.

Obecnie dostępna jest wersja cyfrowa *Architekta polskiego* w dwóch bibliotekach cyfrowych: http://www.pbi.edu.pl/book_reader.php?p=52792
<http://www.dbc.wroc.pl/dlibra/doccontent?id=1724&from=FBC>

W 1959 roku dzieło zostało wznowione staraniem Komitetu Historii Nauki Polskiej Akademii Nauk.

³ S. Solski: *Architekt polski to jest nauka ulżenia wszelkich ciężarów*. Polska Akademia Nauk, Źródła do dziejów nauki i techniki, Zakład Narodowy Imienia Ossolińskich, Wrocław 1959, s. 5. Strony podawane w dalszych przypisach jak również cytaty, będą zgodne z wydaniem z 1959 roku, gdzie uwspółcześniono nieco język zgodnie z instrukcją wydawniczą Polskiej Akademii Umiejętności.

⁴ Teofil Żebrawski opracowując swą *Bibliografię* opisał *Architekta* jako dzieło z dziedziny budownictwa. Por.: T. Żebrawski: *Bibliografija piśmiennictwa polskiego z działu matematyki i fizyki oraz ich zastosowań*. T.I, T.II, Warszawa 1873. Reedycja, wyd. IHNOiT PAN, Warszawa 1992, s. 313.

⁵ S. Solski: *Architekt polski* [...], dz. cyt. s. 104 – 264.

⁶ Tamże, s. 104 – 132.

⁷ Tamże, s. 132 – 157.

⁸ Tamże, s. 8-9.

⁹ Tamże, s. 30.

¹⁰ Tamże, s.104 - 105.

¹¹ Tamże, s.132.

¹² S.Solski: *Geometra polski to jest nauka rysowania, podziału i rozmierzania linii, angulów, figur i brył pełnych*. Dzieło wydano w trzech tomach w latach 1683, 1684 i 1686 w Krakowie, w drukarni Jerzego i Mikołaja Schedlów. Autor dedykował je królowi Janowi Sobieskiemu. F. Kucharzewski tak ocenia publikację: „W wielu częściach szwankujące, ale w niektórych, a zwłaszcza w dziale zastosowań praktycznych, bardzo dobre, oddało dzieło Solskiego o geometrii, jako pierwsze u nas w tym zakresie i przez długi czas jedyne, znakomite usługi. W ciągu kilkudziesięciu lat po jego wydaniu kto tylko w kraju, nie znający łaciny, chciał się czego nauczyć z geometrii, a zwłaszcza praktycznej, ten zaglądał do *Geometry polskiego*”. Por. F. Kucharzewski: *Piśmiennictwo techniczne polskie*, t. I, Warszawa 1911, s. 110 – 111. Wersja cyfrowa *Geometry polskiego* dostępna w zbiorach dwóch bibliotekach cyfrowych.

http://www.pbi.edu.pl/book_reader.php?p=52793

<http://www.dbc.wroc.pl/dlibra/doccontent?id=1723&from=FBC>

¹³ S. Solski: *Architekt polski* [...], dz. cyt., s.132 – 133.

¹⁴ Tamże, s.134. Por.: K. Schabowska: *Metodyka obliczeń przekładni zębatych w świetle dzieł Stanisława Solskiego (1622 – 1701)*. *Analecta* . PAN, nr1/2, 2003, s. 235–250.

¹⁵ Tamże, s.135.

¹⁶ Tamże, s.133 – 139.

¹⁷ Tamże, s. 139.

¹⁸ Źródłem dla tabeli zamieszczonej w tekście jest wersja cyfrowa *Architekta polskiego* http://www.pbi.edu.pl/book_reader.php?p=52792 . W wydaniu drugim *Architekta* z 1959 r. tabela wraz z opisem zamieszczona na stronach 140 – 146.

¹⁹ S. Solski: *Architekt polski*, [...], dz. cyt., s. 134.

²⁰ Tamże, s. 138, 146.

²¹ Tamże, s. 147.

²² Tamże, s. 147 – 148. Por. K. Schabowska, J. Kisiel, K. Pylak: *O możliwości doboru kół zębatych w przekładniach według siedemnastowiecznych tabel*.

XXIII Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, Rzeszów – Przemysł 2007, Tom II, s. 389-396.

²³ Tamże, s. 151.

²⁴ Tamże, s.152.

²⁵ Por. K. Schabowska: *Koncepcja dwuwymiarowej wizualizacji konstrukcji mechanicznych oraz elementów maszyn wg Stanisława Solskiego (1622 – 1702)*. Kwartalnik Historii Nauki i Techniki, Polska Akademia Nauk, nr 3-4,2004, s. 209 – 226.

²⁶ J. Burszta, Cz. Łuczak: *Wstęp* [w]: S. Solski: *Architekt polski* [...], dz. cyt., s. XXVII, XXIX.. Znamienne jest, że metodą miedziorytu, czyli najstaranniej, wykonany został rysunek maszyny wiecznego ruchu. Była to życiowa pasja S. Solskiego.

Problemy z rysunkami miał również autor pierwszej polskiej publikacji technicznej, Stanisław Grzebski, który w końcowych zdaniach swej rozprawy *Geometria to jest miernicka nauka* ..., tak pisze: „Przy końcu tych tu książek mam cię upominać czytelniku miły iż figury nie wszędzie tak jakoby miały być są uczynione,; przeto iż mistrz co je rzezał nie był po temu”.
<http://www.dbc.wroc.pl/dlibra/doccontent?id=3350&from=FBC>

²⁷ S. Solski: *Architekt polski* [...], dz. cyt., s. 181.

²⁸ Tamże, s. 165.

²⁹ Tamże, s. 175 – 176.

³⁰ Tamże, s. 198.

³¹ Tamże, s. 210 – 212.

³² Tamże, s.218 – 219.

³³ Tamże, s. 220 - 221.

³⁴ Tamże, s.308 - 309.

³⁵ Tamże, s. 223, 238 – 247.

³⁶ Tamże, s. 240. Ponadto na temat dziejów zegarmistrzostwa i zegarmistrzów polskich: Z. Mrugalski. *Historia zegarmistrzostwa w Polsce*. Wyd. Naukowe Instytutu Technologii i Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego w Radomiu (w druku).

³⁷ Tamże, s.6.

³⁸ F. Kucharzewski : *Piśmiennictwo techniczne polskie*, t. II, Warszawa 1921, s.344.

3. Tematyka konstrukcji przekładni w polskim wydaniu dzieła Étienne Bézouta *Nauka matematyki*

Po fundamentalnym dziele Stanisława Solskiego przez blisko wiek nie mamy podręcznika, który zawierałby wiadomości przydatne dla konstruktorów i budowniczych machin, zawierających przekładnie mechaniczne. Dlatego z zainteresowaniem przeanalizujemy polskie wydanie dzieła E. Bézouta¹, poświęconego głównie zastosowaniom matematyki. Jednakże tom czwarty podręcznika *Nauka matematyki* z roku 1782² jest w istocie podręcznikiem mechaniki stosowanej, przeznaczonym – jak pisze sam autor w tytule – głównie dla artylerzystów; w treści przeważają bowiem aspekty mechaniki, istotne w inżynierii wojskowej. Są to przede wszystkim: teoria uderzeń i balistyka, mechanika ruchu pocisków w różnych warunkach i ośrodkach, ale wiele uwagi poświęcił autor także maszynom prostym i statyce. Bézout opatrzył obszerną pracę podtytułem, według którego jest ona przystosowaniem zasad powszechnych mechaniki do różnych przypadków ruchu i równowagi. Według F. Kucharzewskiego był to „wykład treściwy i systematyczny, oparty na rachunku wyższym, odpowiadał w zupełności ówczesnemu stanowi nauki”³. Jej tłumacz wprowadził do tekstu wiele używanych wówczas technicznych terminów polskich, podał również odpowiedniki łacińskie niektórych z nich.⁴

Interesujące z punktu widzenia historii nauk technicznych są rozdziały, dostarczające informacji o systemie pojęć i zasad mechaniki. Pierwszym jest rozdział poświęcony ruchowi i zderzeniom ciał. Mamy tu do czynienia z dość zaawansowanym aparatem matematyki i dynamiki newtonowskiej. Autor np. trafnie wyprowadza zależności pomiędzy prędkościami ciał po *spotkaniu się* (zderzeniu); dowodzi, że siła bezwładności zależy od *miąższości* (masy). Przeprowadza też dyskusję pojęcia *siła*, przy czym chodzi tu o sposób oceny *sił żywych*, tzn. tych, którymi mogą oddziaływać ciała będące w ruchu. Siły działające statycznie to *siły martwe*, a siły oporu to *odpory*. Tak więc, zauważając, że spotyka się zarówno ocenę siły na podstawie pędu ciała, jak i energii kinetycznej, przyjmuje następujące założenie: „My tedy iak zaczęliśmy, na miarę sił, zawsze brać będziemy mnogość, wynikającą z rozmnożenia miąższości przez szypkość”⁵.

Obszerny fragment dzieła dotyczy statyki i analizy sił w maszynach prostych, zwanych *silniami*. Nadmienając, że maszyny mogą się składać z różnie skojarzonych i złożonych maszyn prostych, autor ogranicza się do rozpatrzenia pięciu maszyn prostych: *sznur*, *drag* (dźwignia), *kluba* (krążek), *winda*

(wciągarka lub podnośnik), *plaszczyna nachylona* (równia pochyła), przy czym stwierdza, że w zagadnieniach statycznych wszystkie one mogą być sprowadzone do dźwigni⁶. Analiza i przykłady równowagi sznurów (ciągów) dają okazję do rozpatrzenia znanych ze statyki warunków równowagi różnych układów sił. Zajmując się obciążeniami układów z krążkiem, autor bierze również pod uwagę *puzdra klubne* (wielokrążki). Temat obciążeń *drągów* zawiera całą teorię i przykłady analizy statycznej dźwigni i belek, a w dalszej kolejności dynamikę uderzeń i drgań tychże.



Rys. 3.1. Karta tytułowa *Nauki matematyki* E. Bézouta

Tematyka konstrukcji urządzeń mechanicznych jest potraktowana skromnie. Na kilkunastu stronach autor omawia sposób obliczeń kinematycznych i statycznych przekładni zębatych. Tę tematykę określa w spisie treści następująco: *O kołach zębatych. Jak takowe służą do pomnożenia siły w danym stosunku. Jak służą do pomnożenia szypkości w danym stosunku. Przystosowania*. Jeszcze bardziej szczegółowo cel zastosowania przekładni zębatych podaje definicja: „Koła zębate służą zwykły do rozmaitego użycia; używają się już do pomnożenia siły, już też do pomnożenia szypkości, a drugdy do odmienienia kierónku w ruchach; często też do umiarkówania ruchu na pewne *stanowiska* (periodus) czasu, albo nakoniec do wskazywania ruchów albo rozległościów, których oko niemogłoby inaczej dostrzedz”.

Jedną z odmian *windy*, a zarazem *drąga*, jest *lewar*, czyli podnośnik zębaty. W jego opisie znajdujemy też terminy właściwe dla konstrukcji przekładni. Na osi *korby*, którą jest napędzane urządzenie, osadzony jest *tryb*, którego *skrzydełka* albo *zęby* wchodzi w współpracę z *szyną zębatą*. Szyna jest podnoszona ze znaczną siłą, która wynika ze stosunku pomiędzy promieniem *korby* a promieniem *trybu*⁷.

Następnie autor zajmuje się przekładniami z kołami walcowymi. Zamieszcza dowód zależności, opisującej stosunek siły czynnej do siły udźwigu kołowrotu napędzanego redukcijną przekładnią trzystopniową równoległą. Krótki przykład pokazuje, że jeżeli promienie małych kół (trybów) są odpowiednio 10-krotnie mniejsze od promieni osadzonych na ich osiach kół dużych, to siła czynna równoważyć może *usilność* (obciążenie) 10000 razy większa: „siła ma się do ciężaru, jak się ma mnogość z promieniów wszystkich trybów, do mnogości z promieniów wszystkich kół.” Dla małych kół tłumacz konsekwentnie używa nazwy *tryby*, a ich zęby nazywa *skrzydełkami*.

Autor dowodzi tej zależności w następujący sposób:

Zakłada przekładnię, która zawiera 4 koła: V, X, Y, Z oraz osadzone z nimi na wspólnych wałkach tryby (małe koła) odpowiednio: u, x, y, z. Tak więc tryb u zazębia się z kołem X, tryb x z kołem Y, a tryb y z kołem Z. Do obwodu pierwszego koła V przyłożona jest styczna siła Q, a do obwodu ostatniego trybu z styczna siła P. Ponadto promienie dużych kół są równe odpowiednio: R, R', R'', R''', a promienie małych kół odpowiednio: r, r', r'', r'''. W trzech punktach styku kół z trybami występują usilności (siły oddziaływania), oznaczone kolejno: E, E', E''. Na mocy wcześniejszych rozważań o równowadze dźwigni (drąga) autor zestawia następujące proporcje: $Q : E :: r : R$; $E : E' :: r' : R'$; $E' : E'' :: r'' : R''$; $E'' : P :: r''' : R'''$. Mnożąc je stronami otrzymuje: $Q : P :: rr'r'r''' : RR'R'R'''$.⁸

Zysk na sile potrzebnej do pokonania założonego oporu jest jednak okupiony równą mu procentowo stratą prędkości podnoszenia. A oto fragment dowodu: „Jakoż, kiedy koło V odprawiło cały swój kołowrót, to tryb u odbywszy także z niem razem swój kołowrót, nieobrócił przez ten czas więcej zębów koła X, tylko tyle ile ma skrzydełek”. Kolejne przykładowe liczby, to 48 zębów w kole

X i 6 zębów w kole u . W takiej przekładni 1 obrót koła V i u odpowiada ósmej części obrotu koła X , a więc kolejne koła będą się obracały coraz wolniej⁹.

Więcej uwagi poświęca Bézout *potmnożeniu szypkości* (multiplikowaniu prędkości obrotowej). Istotę tej operacji opisuje następująco: „Niech będzie koło zębate V , zaczepiające o tryb u ; iawna iest, że przez czas kołowrotu koła V , tryb u odbędzie tyle kołowrotów, ile razy liczba skrzydełek iego zawiera się w liczbie zębów kołowych; to iest, że przez czas kołowrotu koła V , tryb u odbędzie liczbę kołowrotów wyrażoną przez N/n , oznaczywszy przez N i n liczby zębów i skrzydeł, koła i trybu pędzonego”. I dalej, jeżeli na wałku trybu u jest osadzone kolejne koło X o liczbie zębów N' , zazębiające się z następnym trybem x o liczbie skrzydełek n' , to w czasie jednego obrotu pierwszego koła V tryb

x wykona $\frac{N'N}{n'n}$ obrotów. Idąc tą drogą rozumowania, podaje następnie zależność ogólną, iż stosunek prędkości małego koła napędzanego i dużego koła napędzającego jest równy ułamkowi, w którym licznikiem jest iloczyn liczb zębów kolejnych dużych kół, a mianownikiem iloczyn liczb zębów małych kół. Przy więcej niż jednym stopniu przekładni autor zwraca uwagę na pewną dowolność wyboru liczb zębów przy ustalonym ogólnym przełożeniu.¹⁰

Dla zilustrowania zagadnienia podaje dwa przykłady liczbowe. W jednym omawia dobór liczby zębów dwu kół i dwu trybów przy zadanym stosunku prędkości, równym 50. W zadaniu, sformułowanym odpowiednio do przyjętych wcześniej oznaczeń: „jak wiele trzeba dać zębów dwóm kołom V i X tudzież skrzydełek trybom u i x , ażeby tryb x odbywał po 50 kołowrotów przez czas każdego kołowrotu koła V ”, autor stosuje wyżej otrzymane wyrażenie

i przyrównuje je do zadanej wartości: $\frac{N'N}{n'n} = 50$. W rozwiązaniu zakłada najpierw wartość mianownika jako iloczynu dwóch całkowitych liczb skrzydełek „ani zbyt małych ani też zbyt wielkich”; w tym przypadku proponuje $n'n = 7 \times 8 = 56$, a więc $n=7$ a $n'=8$. Stąd otrzymuje: $NN'=50 \times 56$. Ponieważ liczby 50 i 56 nie przekraczają liczby zębów, którą można stosować dla kół, proponuje przyjąć: $N=50$ i $N'=56$. Rozważa również możliwość, że któraś z tych liczb wyszłaby zbyt duża. Wówczas zaleca rozłożenie ich na czynniki pierwsze i próbę innego skojarzenia czynników; w końcu dopuszcza przyjęcie mniejszej wartości nn' .

Drugi przykład pochodzi zapewne z praktyki konstrukcji zegarów, bowiem zadanie polega na takim doborze liczby zębów trzech kół i trzech trybów, aby czasowi pełnego obrotu trybu napędzanego, równemu 12 godzinom odpowiadał okres obrotu koła napędzającego trwający 1 rok. Stosunek odpowiednich liczb zębów, po zamianie obu danych okresów na minuty, jest równy:

$\frac{NN'N''}{nn'n''} = \frac{525949}{720}$. Po założeniu, jak poprzednio, $n=7$ oraz $n'=8$ stwierdza, że

$n''=90$ byłyby najmniejszą liczbą zębów trzeciego trybu dla całkowitych wartości liczb zębów kół, ale jest to wartość zdecydowanie za duża. Dlatego proponuje metodę rozwiązania przybliżonego, opartą na kolejnym zakładaniu całkowitych reszt z dzielenia i ich minimalizacji. Dochodzi w ten sposób do wyniku: $n''=7$ oraz $N=50$, $N'=69$, $N''=83$, zaznaczając, że poszczególne koła i tryby mogą być ustawione w dowolnej kolejności. Przekładnia o tak dobranej liczbie zębów daje dla okresu obrotu ostatniego trybu, równego 12 godzin, okres obrotu koła napędzającego równy prawie $365^{\text{d}}5^{\text{g}}48'59''$, gdy przyjmuje się, że rok równy jest $365^{\text{d}}5^{\text{g}}49'$ ¹¹.

Ponadto zwraca uwagę fragment poświęcony śrubie, jako odmianie maszyny prostej – równi pochyłej. *Śróżba* (śruba) wkręca się w *macicę* (nakrętkę), możliwy jest też przypadek odwrotny, a odległość pomiędzy *paskami* gwintu (zwojami) autor nazywa *wysokością skoku* lub *skokiem śróżby*. Za główne zagadnienie obliczeniowe uważa znalezienie zależności pomiędzy siłą obwodową, powodującą obrót śruby lub nakrętki, a siłą wzdłużną wywieraną w wyniku ruchu względnego, czyli „usiłnością, którą sprawić może w kierunku osi, i która najbardziej w śróżbie uważać się zwykła”¹².

Z punktu widzenia tematyki niniejszego artykułu ciekawy jest końcowy przykład, w którym autor zwraca uwagę na możliwość kojarzenia śruby z innymi *silnikami*. Jest tu mianowicie idea przekładni, zwanej dziś ślimakową, zastosowanej do napędu wciągarki: „siła Q , przyłożona do korby, obraca śróżbę AB , której gwinty, popędzają zęby koła M , i przymuszają go do obracania się wraz z walcem I , na który obwija się sznur”. Jak już poprzednio wspomniano, zadaniem konstrukcyjnym jest znalezienie stosunku pomiędzy napędzającą siłą Q , a podnoszonym ciężarem P . Autor wychodzi od porównania pracy siły Q i siły międzyzębnej L skierowanej wzdłuż osi na odpowiadających im przemieszczeniach: długości okręgu *okr.DE*, zakreślanego przez punkt przyłożenia siły Q i skoku śruby AB . Otrzymuje stąd proporcję: $Q:P::AB \times IK:IL \times \text{okr.DE}$, przy czym wielkości IK i IL są odpowiednio promieniami: wału nawinięcia sznura z ciężarem P i koła zębatego. Z proporcji tej wyciąga wniosek, że korzystniejsze wartości siły Q otrzymuje się, gdy stosujemy mniejsze wartości licznika ilorazu względem jego mianownika¹³.

Na koniec uwag metodologicznych i terminologicznych warto wspomnieć o stosowanym aparacie matematycznym i niektórych pojęciach. Do wyprowadzania formuł mechaniki autor stosuje aparat analizy matematycznej na wysokim poziomie. Używa pojęć różniczki i pochodnej z aktualnymi i dziś oznaczeniami, a równania różniczkowe pierwszego stopnia całkuje, otrzymując poszukiwane wzory. W dziedzinie geometrii i trygonometrii, zgodnie z ówczesnym stanem wiedzy, widać jednak pewne różnice. Najbardziej rzucające się w oczy jest używanie np. przy analizie układów sił i warunków ich równowagi polskiej terminologii trygonometrycznej, wprowadzonej nieco wcześniej przez Jana Śniadeckiego. Była ona oparta na analizie zależności między odcinkami związanymi z łukami okręgów jednostkowych, a nie, jak to

się przyjęło obecnie, między bokami i kątami trójkątów prostokątnych. W tym systemie pojęcie *wstawy (wst)* łuku okręgu o promieniu jednostkowym jest równoznaczne z funkcją sinus kąta środkowego, opartego na tym łuku, a pojęcie *dostawy (dost)* – z funkcją cosinus. Analogicznie: *styczna (sty)* oznacza tangens, a *dostyczna (dosty)* – cotangens¹⁴.

Przypisy

¹ Étienne Bézout (1730-1783), matematyk francuski, członek akademii nauk, egzaminator kadetów marynarki i artylerii. Zajmował się głównie algebrą, jedno z twierdzeń o równaniach algebraicznych nosi jego imię. Jego główne osiągnięcie to dzieło *Cours complet de mathématiques à l'usage de la marine et d'artillerie* (1770-82).

² E. Bezout: *Nauka matematyki do użycia artylerii francuskiej napisana przez P. Bezout, Towarzysza Akademii Nauk, i Marynarskiej, a dla pożytku pospolitego, osobliwie dla Korpusu Artylerii Narodowej, na Polski język przełożona. Tom czwarty. Zawierający w sobie Przystosowanie zasad powszechnych MECHANIKI, do różnych przypadków Ruchu i Równowagi*. W Warszawie R.P. M.DCC.LXXXII. Wersja zdigitalizowana: <http://bcpw.bg.pw.edu.pl/dlibra/doccontent?id=134&from=FBC>.

Wcześniej ukazały się: Tom I – Arytmetyka i Geometria, 1781; Tom II – Algebra i przystosowanie algebry do geometrii, 1781. Tom III – Fundamenta powszechnie mechaniki i hydrostatyki, poprzedzone rachunkami służącymi za wstęp do nauk fizyczno-matematycznych, 1782.

³ Por. F. Kucharzewski: *Piśmiennictwo Techniczne Polskie. T.III – Mechanika*. Przegląd Techniczny, Tom LI, Nr 12, 1913, s. 145.

⁴ U Kucharzewskiego znajdujemy uwagę: „Dzieło Bezouta przełożył starannie na język polski Józef Jakubowski (1743-1814), b. uczeń szkoły artylerii w Metz, kapitan i profesor korpusu artylerii, wreszcie misjonarz i proboszcz u Św. Krzyża w Warszawie. Zaczerpnąwszy słownictwo u Rogalińskiego, pominął jednak dziwactwa. Przekład też jego i dziś jeszcze czyta się łatwo.” Samo dzieło nie zawiera danych o tłumaczu, natomiast na drugiej jego stronie znajdujemy informację o osobie wydawcy – jest nim Ferdynand Sroczyński, właściciel dóbr Bolesław k. Dąbrowy Tarnowskiej i urzędnik szkolny.

⁵ Bezout E.: *Nauka matematyki* [...], dz.cyt., s.25. Natomiast typowo wojskowe odniesienia mają obszernie rozważania na temat ruchu ciał *ważnych* (ważkich) o różnych kształtach w *rościekach*, czyli cieczach i gazach, a zwłaszcza w rurach, po torach prosto- i krzywoliniowych, s.34-106. Odnotować też można oddzielne potraktowanie ruchu drgającego (*kołysania*), wykonywanego np. przez wahadło (*zawiesidło*) ze szczególnym uwzględnieniem zależności okresu i częstości (*trwałości kołysań* i *liczby wielowrotów w czasie danym*) od długości i *ważności* lub *mięższości* (ciężaru lub masy) *zawiesiła*, s.116-126. W ruchu po torze krzywoliniowym występujące siły normalne do toru autor

nazywa *śrzedkowymi*, przy czym rozróżnia siłę *wśrzedmierną* (dośrodkową) i *śrzedkoboyną* (odśrodkową).

⁶ Tamże, s. 215.

⁷ Tamże, s. 324.

⁸ W tym fragmencie, i w dalszych, zastosowano oryginalny sposób zapisu formuł matematycznych.

⁹ Tamże, s. 324-325.

¹⁰ Tamże, s. 326-327.

¹¹ Tamże, s. 327-330.

¹² Zob. tamże, s. 348-354.

¹³ Tamże, s. 354.

¹⁴ Więcej na ten temat zob. np. w: *Początki trygonometrii płaskiej przez Michała Pelkę Polińskiego, filozofii doktora, nauczyciela matematyki w Gimnazjum Wileńskim*. Wilno 1816; *Trygonometria prostolinijna i sferyczna, zebrana z najznakomitszych dzieł francuzkich i wedle metod i not P. G.-H. Niewęgłowskiego przez Witolda Turno*. Poznań 1857. Wersje zdigitalizowane: <http://books.google.pl/>.

4. Tematyka przekładni zębatach w „Dzienniku Ekonomicznym Zamoyskim”

Pewien pogląd na techniki graficzne, obliczeniowe i terminologię stosowaną w konstrukcji przekładni na początku XIX w. daje nam lektura opisów różnych konstrukcji młynów, które były zamieszczane w kolejnych numerach Dziennika Ekonomicznego Zamoyskiego¹. Wydawali to pismo przez niespełna 2 lata (1803-1804) Bazyli Kukolnik² i Wojciech Gutkowski³, profesorowie Liceum Zamoyskiego, powstałego dzięki protekcji ordynata Stanisława Kostki Zamoyskiego.

Pismo zawierało zbiór wiadomości z kilku dziedzin, przydatnych w nowoczesnym prowadzeniu gospodarstw rolnych; miało też dział *Mechanika*, a w nim cykl artykułów *O młynach*, z których każdy zilustrowany został odpowiednimi rysunkami konstrukcyjnymi. Jak wynika ze słowa wstępnego do całego cyklu, celem autora była popularyzacja idei budowy sieci młynów, w czym widział jeden z czynników rozwoju gospodarki wiejskiej. Spośród różnych ich rodzajów najwięcej zalet przypisywał młynom napędzanym siłą zwierząt pociągowych, zwanych młynami *pociężnymi*. Zaletą ich jest niezależność od pory roku i pogody, bowiem pozostałe ich rodzaje – tzn. młyny wodne i wietrzne – w swoim działaniu są silnie uzależnione od tych czynników, powodujących nieraz znaczne przestoje⁴.

W pierwszym numerze autor działu *Mechanika* opisuje tzw. *młyn ciągły*⁵, „do którego zaprzęgać można konie, albo woły; można także przystawić do niego rozmaite inne maszyny, jako sieczkarnie, stępy, i tym podobne”, a więc jest to w miarę uniwersalne urządzenie napędzające różne stacjonarne maszyny rolnicze. Jego istota polega na użyciu dwustopniowej przekładni zębatej do multiplikowania prędkości obrotowej obracanego dyszla, ciągniętego przez zwierzęta, chodzące po torze kołowym. W artykule znajdujemy zarówno przedstawienie graficzne urządzenia, jak i zarys metodyki jego konstrukcji. Autor podaje na wstępie ogólną zasadę konstrukcji wszelkich maszyn, sprowadzającą się do stwierdzenia, że zwiększenie prędkości członu napędzanego (w tym przypadku kamienia młyńskiego) powoduje zmniejszenie użytecznej siły wykonującej pożądaną pracę. Gospodarz, który ma zamiar budować młyn, powinien określić najpierw swoje preferencje – czy zależy mu na zwiększaniu wydajności procesu, czy też chciałby zmniejszyć siłę, potrzebną do napędu maszyny⁶.

N^o I.
MIESIĄC STYCZEŃ.
D Z I E N N I K
ekonomiczny
Z A M O Y S K I.



w ZAMOSCIU Roku 1803.

Rys. 4.1. Karta tytułowa pierwszego numeru „Dziennika Ekonomicznego”

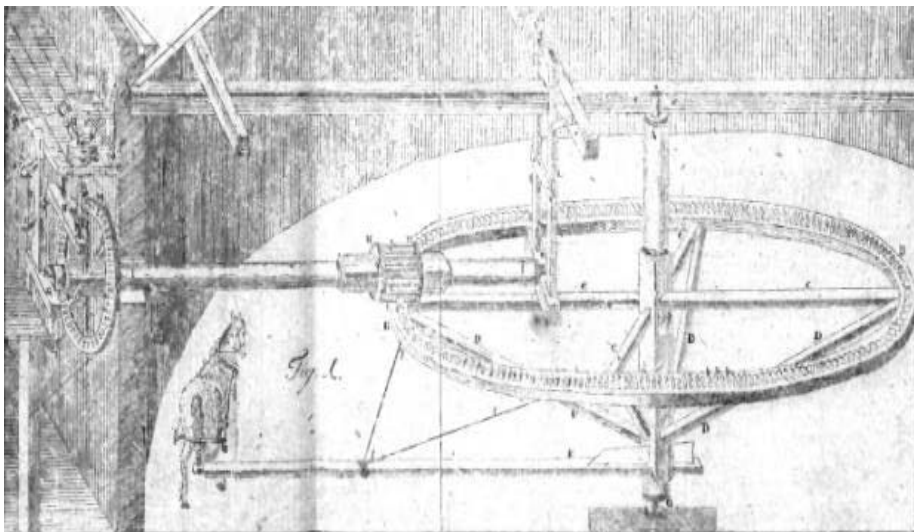
Dla elementów przekładni autor używa określeń *koła* (duże koła zębate) i *tryby* (koła małe, napędzane). Przełożenie nazywa *proporcją* pomiędzy tymi elementami, lub też definiuje je opisowo, podając np. ile obrotów kamienia powinno przypadać na jedno obejście koni po okręgu. Zazębiające się okrągłe elementy kół nazywa *palcami*, a trybów – *cewami*. Warunek właściwego zazębienia polega na tym, że „muszą palce koła zachodzić między cewy trybu; a zatem palce wraz z cewami, jednakową między sobą odległość, i jednakową grubość mieć powinny.” W konstrukcji trybu występują jeszcze *krążki*, czyli 2 współosiowe tarcze, pomiędzy którymi, równoległe do osi obrotu, na powierzchni walcowej rozmieszczone są cewy⁷.

Inne elementy konstrukcyjne przekładni to *wały* lub *walnice*, *panewki* i *czopy*, *kliny*, *ramiona* kół oraz ich ukośne podpory – *banty*. Żelazny wał

z zamocowanym na nim trybem i kamieniem młyńskim to *wrzeciono*. Elementy mocujące łożyskowanie i umożliwiające jego przesuwanie wzdłuż osi to *slupki*, *kobylice*, *kuny*, *podwaliny*, *podstawki*. Wały wykonuje się z drzewa obrobionego w *czworogran*, i w tej części wykonuje się *dziury* służące do osadzenia ramion, a pozostałą część się zaokrągla (*zganijają się kanty*) wzmacnia ją *żelaznymi rychwami* (opaskami). Autor wspomina też o potrzebie sfazowania okrągłych końców palców dla poprawy warunków wejścia i wyjścia z zazębienia: „Brzegi także czyli krawędzie na końcach palców zachodzących między cewy, ażeby łatwiej z pomiędzy nich wyślizgać się mogły, i ie nie psowały, ośnikiem gładko pozganiane bydź mają.” Z innych określeń dotyczących technologii wykonania można wspomnieć o *blatowaniu*, czyli odpowiednim układaniu części składowych przekładni i o *tyblowaniu*, czyli zbijaniu tych części. Dokładność wykonania jest bardzo istotna, bo błędy mogą spowodować praktyczną nieprzydatność urządzenia. Aby zachować dostateczną dokładność, konieczne są według autora bliżej nieokreślone przyrządy montażowe (*warsztat dla układania kół*), a dla utrzymania dokładności rozmieszczenia i prostopadłości otworów pod palce radzi stosować swojego rodzaju przyrząd wiertarski dla prowadzenia *świdra*, zwany *parobkiem drewnianym*⁸.

Promień, czyli połowę średnicy, jeśli ma służyć jako wymiar określający rozmieszczenie elementów na obwodzie, określa jako *cerkiel*. Dla średnicy używa również określenia *dyiameter* lub *diametrum*. Interesujące jest sformułowanie związku pomiędzy średnicą a obwodem okręgu: „tak się ma 314 do 100 iak się ma obwód do średnicy szukaney”. Należy też wspomnieć o jednostkach; długości niewielkie wyraża autor w calach i ich częściach, średnie w stopach i w łokciach, a większe w sążniach, przy czym często wyraża wymiary jednocześnie przy użyciu stóp i cali. Miarą kąta jest *gradus*, będący $\frac{1}{360}$ częścią kąta pełnego.

Po przedstawieniu ogólnego rysunku mechanizmu młyna o założonym schemacie (rys. 4.2), autor skupia się na doborze właściwego przełożenia i wymiarów współpracujących elementów: „im lepszą między sobą proporcją mieć będą, tem dostateczniej zamiarom właściciela dogodzą”. Opierając się na własnym doświadczeniu, przyjmuje całkowite przełożenie mechanizmu takie, aby kamień młyński obrócił się 70 do 80 razy, gdy konie obejdą 1 raz okrąg o średnicy około 8 sążni wiedeńskich⁹.



Rys. 4.2. Widok mechanizmu napędu młyna pociężnego

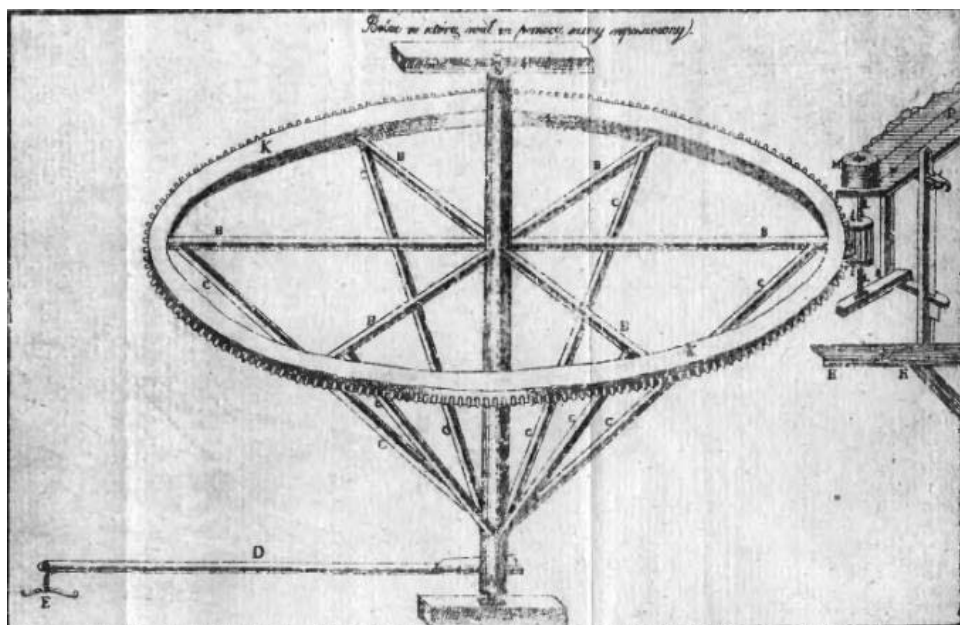
Dobór liczby zębów i wymiarów kół rozpoczyna od mniejszej przekładni, napędzającej bezpośrednio wrzeciono z kamieniem. Przyjmuje dla trybu osadzonego na wrzecionie minimalną zalecaną liczbę cew 7. Koło napędzające tryb jest kołem koronowym (przekładnia kąтова), a więc dla dobrej współpracy palców i cew nie może mieć zbyt małej średnicy rozmieszczenia palców. Autor proponuje średnicę rozmieszczenia palców 5 stóp, a odległość palców nie mniejszą niż *półczwarta* (3,5) cala. Ostatecznie przyjmuje odległość palców i cew równą 4 cale, co daje około 9 cali średnicy trybu. Dla koła przy 5 stopach średnicy mamy 188 cali obwodu i 47 palców. Zatem 1 obrót koła daje $\frac{47}{7}$ obrotów wrzeciona.

Autor przechodzi dalej do dużej przekładni i zakłada, że obrotowi dużego koła napędzającego odpowiada 11 obrotów dużego trybu, a więc i wału mniejszego koła. Następnie zakłada liczbę cew w dużym trybie równą 20 i otrzymuje liczbę 220 palców dla dużego koła. Podsumowując, przy takich wymiarach na 1 obrót dużego koła przypada $72\frac{2}{7}$ obrotów wrzeciona z kamieniem. Dla założonej w dużej przekładni odległości palców i cew jak poprzednio 4 cale, duży tryb ma średnicę $25\frac{1}{2}$ cala, a duże koło średnicę $280\frac{1}{4}$ cala czyli 23 stopy $4\frac{1}{4}$ cala. Z ważniejszych wymiarów pozostaje jeszcze grubość palców i cew, którą autor zaleca przyjąć $1\frac{3}{4}$ cala przy odległości 4 cale, aby zapewnić odpowiedni luz międzyzębny¹⁰.

W numerach 2 i 3 „Dziennika” autor omawia dwie konstrukcje młynów ciągłych z przekładnią jednostopniową. W pierwszym przypadku¹¹, koło duże

znajduje się w dolnej części pionowego wału i orczyk dla zwierząt pociągowych przymocowany jest bezpośrednio do ramienia koła. Autor dostrzega główną wadę tej konstrukcji, sprowadzającą się do niekorzystnej relacji pomiędzy ramieniem siły oporu a ramieniem siły napędzającej – ramię siły oporu (promień podziałowy dużego koła) jest większe od promienia zamocowania orczyka dla zwierząt pociągowych. Jednak niewątpliwą zaletą konstrukcji jest prostota, łatwość budowy i eksploatacji.

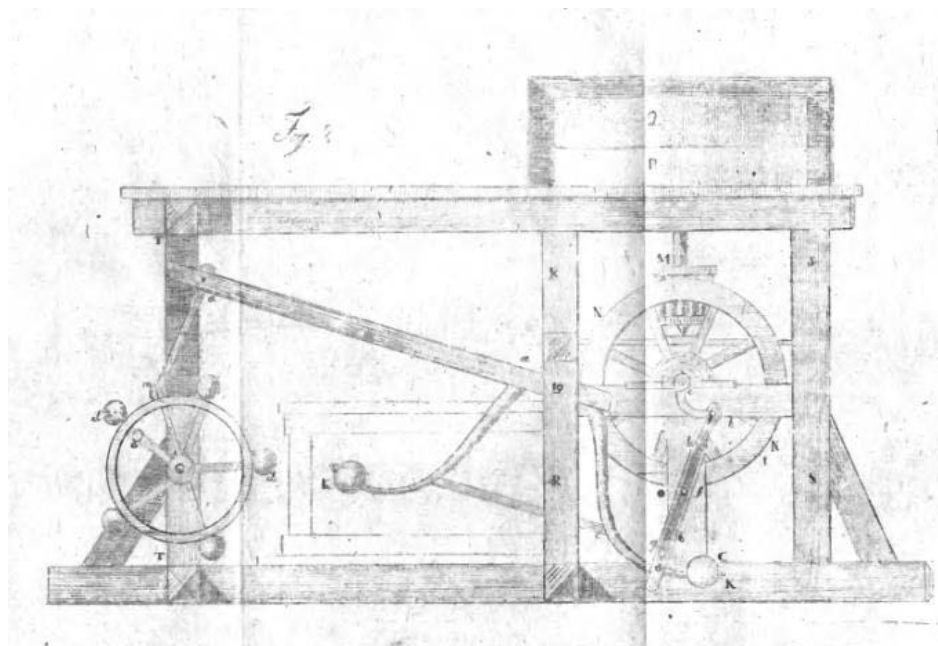
W konstruowaniu autor nawiązuje do młyna z podwójną przekładnią, opisanego w numerze 1 „Dziennika”. Tryb w tym układzie daje się większy; w przykładzie obliczeniowym przyjęto, że ma 10 cew. Przy zachowaniu odległości i grubości cew jak poprzednio, otrzymuje się średnicę rozmieszczenia cew równą około 13 cali. Koło napędzające powinno być jak największe ze względu na konieczność umieszczenia wewnątrz koła zwierząt pociągowych i zapewnienia im toru ruchu o dużym promieniu. Osie kół przekładni są równoległe i z tego względu palce są osadzone na obwodzie koła, w jego płaszczyźnie. Dla tego przypadku autor używa określenia *koło czołowe*, w odróżnieniu od wariantu przekładni kątowej, gdy palce są prostopadłe do tej płaszczyzny. Dla koła czołowego zbyt mała średnica koła dawałaby duży wpływ promieniowego ustawienia palców na geometrię zazębiania.



Rys. 4.3. Młyn ciągły z jednym kołem

Autor stwierdza, że z tych względów najlepsza liczba palców to 360. Wówczas na 1 obrót koła przypada 36 obrotów trybu i kamienia młyńskiego, a średnica koła będzie równa 37 stóp 2½ cala. Duże koło musi być umieszczone stosunkowo nisko i odciagi (banty) są skierowane do górnej części wału. Górne łożysko powinno być przesuwne, aby cały wał można było łatwo przechylić dla ułatwienia wprowadzenia zwierząt do środka koła.

W drugim zaś przypadku koło jest podniesione do góry, a drąg z orczykiem osadzony jest w dolnej części wału. Schemat tego urządzenia przedstawia rys. 4.3¹². Autor nie przeprowadza tu oddzielnych obliczeń, ale opiera się na przykładach poprzednich. Wskazuje tylko na tę zasadniczą różnicę, iż tu można dowolnie przyjmować długość drąga, osadzonego w wale, z zamocowanym na końcu orczykiem dla zwierząt. Wydłużanie drąga umożliwia obrót przy mniejszej sile napędowej, zmniejsza jednak równocześnie prędkość obrotu kamienia. Dlatego taki mechanizm częściej był stosowany do napędu innych maszyn, zwłaszcza do wyciągów kopalnianych. Jeśli chodzi o zalecenia konstrukcyjne, to przyjmuje się, że drąg nie powinien być krótszy niż 10 łokci. Przy wydłużaniu drąga należy pamiętać o wzroście sił w połączeniu drąga z wałem i aby uniknąć niebezpieczeństwa rozłupania wału należy go zabezpieczyć *rychwami* metalowymi.



Rys. 4.4. Rzut główny rysunku młyńa ręcznego z elementami zamachowymi

Interesującą konstrukcję posiada przedstawiony w kolejnym numerze młyn ręczny, w którego napędzie spotykamy złożony układ mechaniczny (rys. 4.4)¹³. Kamień napędzany jest jak poprzednio przez wrzeciono, z osadzonym na nim trybem, zazębionym z *kołem palczastym*. Koło jest koronowe i w związku z tym tworzą z trybem przekładnię kątową. Natomiast do napędu koła służy podwójny czworobok przegubowy: najpierw korbowo-wahaczowy i dalej wahaczowo-korbowy ze zróżnicowanymi przełożeniami. Praktycznie istotną cechą maszyny jest zastosowanie układu elementów zamachowych o dużej masie w postaci kul ołowianych, pozwalającego zmniejszyć nierównomierność ruchu i ułatwić pokonywanie położeń zwrotnych. W opisie spotykamy szereg kolejnych terminów, związanych z konstrukcją przekładni, tak więc czop to również *sworeń*, elementy mocowane są *sрубami*, albo *przysрубowane*, elementy czworoboków to *korby*, *ramiona*, *dragi*. Koło zamachowe to *koło zamaszne* albo *szalone*.

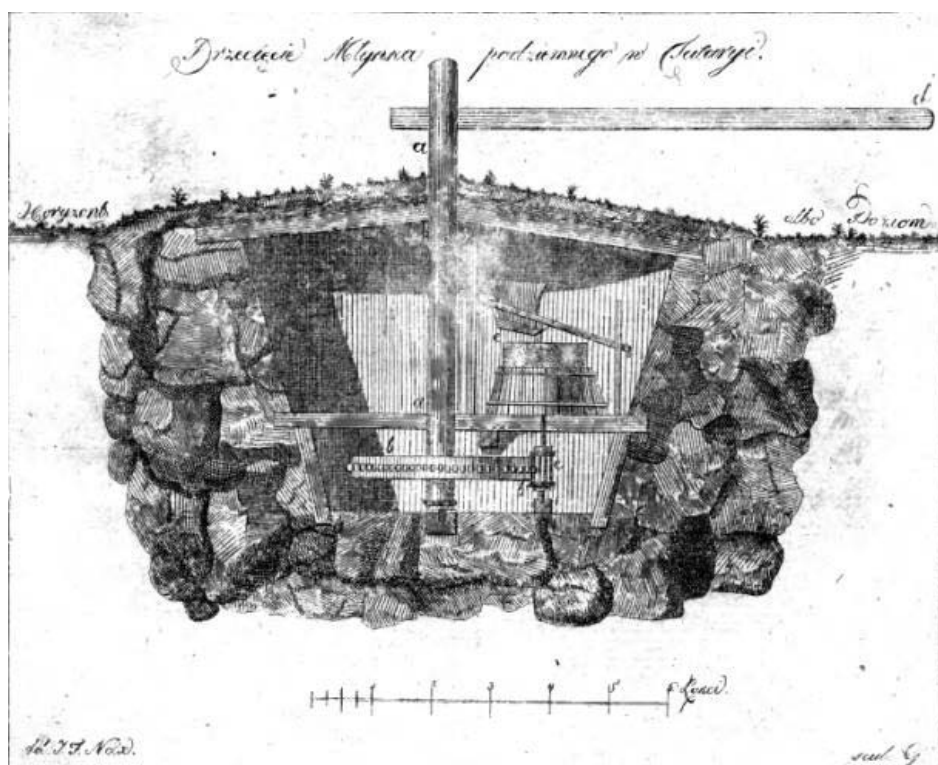
Dobór wymiarów i *proporcji* rozpoczyna się od koła dużego przekładni, które może mieć dowolną średnicę w pewnych granicach. Jednakże przyjęcie zbyt dużej jej wartości może wpłynąć niekorzystnie na opory i prędkość kamienia. Autor zamyka temat powołaniem się na obliczenia w poprzednich artykułach i stwierdzeniem, że dostatecznym przełożeniem przekładni byłaby proporcja: 1 obrót koła – 5 obrotów trybu. Następnie zajmuje się kształtami i długościami oraz relacjami w szczególnych położeniach ramion i łączników czworoboków przegubowych. Załącza również opis działania całego układu napędowego.

Interesujące są ilustracje do tego artykułu; różnią się od poprzednich tym, że rysunki mechanizmu młyna są rzutami prostokątnymi urządzenia, narysowanymi z widocznym użyciem przyrządów. Rzut główny (rys. 4.4) pokazuje wszystkie elementy urządzenia, ich kształty i rozmiary, natomiast na częściowym rzucie bocznym widać grubości, odległości i rozstaw podpór niektórych elementów. Ograniczamy się jedynie do zamieszczenia rzutu głównego. Poprzednio prezentowane rysunki mechaniczne były rzutami ukośnymi, aksonometrycznymi, na których stosowano intuicyjne skrócenia, a okręgi przedstawiane były w formie ręcznie rysowanych owali. Rzutowanie prostokątne wcześniej zastosowano tylko do rysunków budynku, w którym miał być zainstalowany młyn. Ogólnie rzecz biorąc, rysunki w *Dzienniku* są bardzo plastyczne, z zastosowaniem cieniowania i zasad widoczności.

W numerze 9 spotykamy artykuł nadesłany przez J. F. Naxa o młynach krymskich¹⁴. Dotyczy on wprowadzie dość prymitywnej konstrukcji, umieszczonej w wykopie ziemnym, przykrytym gałęziami i darnią, ale ze względu na osobę autora¹⁵, rysunek i kilka terminów technicznych zasługuje na wzmiankę. Autor miał okazję widzieć takie urządzenia 20 lat wcześniej w wielu miejscach na Krymie¹⁶, a ich instalowanie uzasadnia brakiem w tych okolicach drzewa, żelaza i pieniędzy, przy jednoczesnej urodzajności gruntów rolnych. Struktura urządzenia jest prosta, główny wał pionowy z dużym kołem czołowym

napędza małe koło z wałkiem kamienia młyńskiego. Wał główny wystaje ponad powierzchnię ziemi i jest połączony z poziomym dyszlem, do którego zaprzężony jest koń pociagowy. Opis jest dość krótki, autor odwołuje się do załączonego rysunku, który przedstawiamy na rys. 4.5. Jeśli chodzi o technikę wykonania, to rysunek jest rzutem prostokątnym, na którym przedstawiono przekrój urządzenia płaszczyzną pionową przechodzącą przez oś wału głównego. Dla czołowego koła zębatego autor używa określenia *koło palczaste* lub *koło czoło-palczne*. Koło małe to *tryb*, ale również *cywa*.

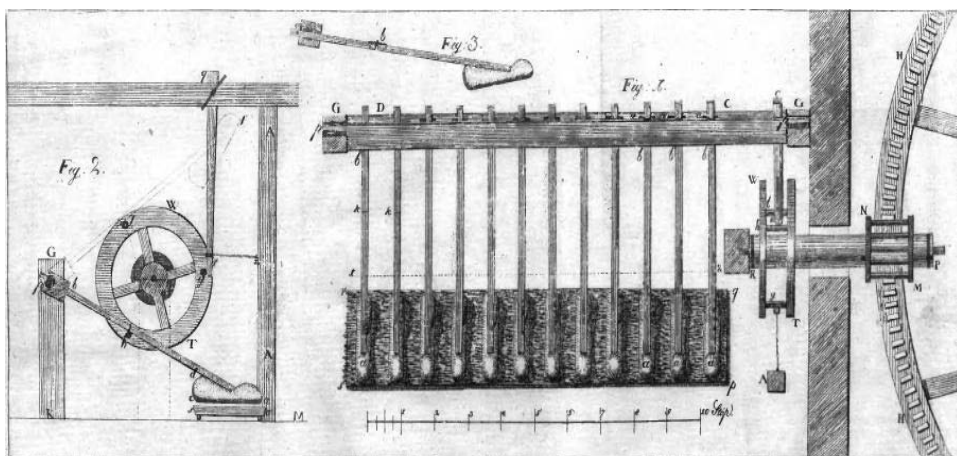
Tego typu urządzenie spełnia swą rolę w klimacie w miarę ciepłym i suchym. Autor rozważa jednak możliwość zastosowania tak prostej maszyny i na polskich południowo-wschodnich terenach, przy czym podaje szereg udoskonaleń, które można by wprowadzić u nas, np. przy zwiększonej długości dyszla kieratu zastosować dodatkowy stopień przekładni zębatej. Artykuł jest zapewne odpowiedzią na przesłanie redaktora do czytelników, zachęcające m.in. do nadsyłania swoich tekstów¹⁷.



Rys. 4.5. Młyn krymski

Numer 11 „Dziennika” zawiera opis prototypowej konstrukcji młocarni, wynalazku samego Gutkowskiego, napędzanej podobnie jak młyny lub też wykorzystującej napęd funkcjonującego obok młyna (rys. 4.6)¹⁸. Właściwie jest to opis projektu i autor oddaje go i poszczególne rozwiązania pod osąd czytelników – praktyków. Oferuje także bezpłatną pomoc w wykonaniu, gdyby jakiś gospodarz z okolic Zamościa chciał sobie taką maszynę sporządzić.

Główną część artykułu zajmuje opis budowy i działania urządzenia młócacego. Natomiast napęd maszyny to jak zwykle wówczas urządzenie typu kierat z dużym kołem zębatym i małym trybem. O szczegółach konstrukcyjnych tej przekładni autor nie mówi, odsyłając czytelnika do konstrukcji młyna z nr. 1 „Dziennika”. Natomiast dalsza część układu napędowego to osadzony na wspólnym wałku z trybem tzw. *tryb wielki mający 3 cewie*, rozmieszczone równomiernie na okręgu o średnicy 3 stopy 1½ cala. Te cewie działają jak krzywki, powodujące stopniowe podnoszenie i nagłe opadanie *rączki* (popychacza), osadzonej na początku obrotowej belki z zamocowanymi *bijakami* – elementami roboczymi, uderzającymi w rozłożone kłosa zboża.



Rys. 4.6. Ilustracje młocarni Gutkowskiego

Jedną z propozycji modyfikacji struktury prezentowanej maszyny jest dobudowanie do dużego koła napędzającego drugiego wałka z odpowiednim trybem, który obracałby przez kolejną przekładnię multiplikującą wirnik wialni, oddzielającej wymłócone ziarno od plew. Można by w ten sposób połączyć czynność młócenia z wianiem, a gdyby młocarnia była napędzana od młyna pociężnego, to cykl czynności mógłby się kończyć mieleniem ziarna.

W artykule nie spotykamy nowych terminów technicznych. Natomiast na uwagę zasługują rysunki ilustrujące projekt (rys. 4.6), chociaż przekładnia zębata została na nim pokazana marginalnie, w widoku częściowym. Główny rysunek jest rzutem prostokątnym urządzenia. Prócz tego mamy pomocniczy rzut prostokątny – przekrój, obrócony o kąt prosty oraz widok częściowy, pokazujący inny wariant konstrukcji elementu roboczego. U dołu rysunku autor umieścił skalę długości w stopach; jest to jedyny element rysunku, uwzględniający wymiarowanie.

Natomiast w numerze 12 „Dziennika” zamieszczono opis konstrukcji podobnie napędzanego tartaku z jedną piłą¹⁹. Małe koło zębate, napędzające korbę, która przekazuje ruch na ramę z piłą, jest zazębione z dużym kołem, poruszającym przez konia, zaprzężonego do obrotowego dyszla. Autor proponuje przyjąć dla małego koła liczbę zębów 10, a dla dużego 360. Daje to 36 ruchów piły na 1 obrót kieratu. Na załączonej ilustracji zwraca uwagę postać konstrukcyjna kół zębatach, bo dla przekładni kątowej oba koła są kołami czołowymi z palcami w ich płaszczyznach, tak więc małe koło nie jest tak jak poprzednio trybem z cewami. W tym zadaniu został jeszcze rozwiązany problem zamiany ruchu obrotowego na posuwisto-zwrotny, a także napęd posuwu ciętego pnia drzewa, ale te mechanizmy nie wchodzą w zakres naszych rozważań.

„Dziennik Ekonomiczny Zamoyski” był czasopismem, w którym starano się zamieszczać artykuły o znaczeniu praktycznym dla rozwoju gospodarstw wiejskich. Temu miały służyć opisy i rysunki urządzeń, często mających nowatorski charakter. Czasy w których powstało pismo, to również okres istotny w działalności i rozwoju samej Ordynacji Zamojskiej. Na początku XIX wieku powstała tu manufaktura, gdzie rozpoczęto produkcję maszyn rolniczych.

Przypisy

¹ „Dziennik Ekonomiczny Zamoyski” wydawany w latach 1803 – 1804, obejmuje 18 tomów – 12 tomów z roku 1803 oraz 6 tomów z roku 1804. Fundusze na uruchomienie działalności czasopisma dostarczył ordynat Stanisław Zamoyski. Początkowo redaktorem był Bazyli Kukolnik, a po jego wyjeździe z Zamościa w końcu 1803 roku, Wojciech Gutkowski. Artykuły zamieszczano w działach: ekonomii, technologii, mechaniki i budownictwa wiejskiego. W rubryce rozmaitości zamieszczano doniesienia i wiadomości, które mogły zainteresować czytelników. Por.: F. Kucharzewski: *Czasopiśmiennictwo techniczne polskie przed rokiem 1875*. Warszawa 1904, s. 6 – 11.

² Bazyli Kukolnik (1765-1821), pedagog, publicysta i pisarz rolniczy, pionier nauczania rolniczego. Pochodził z ruskiego unickiego rodu szlacheckiego, był doktorem praw, filozofii i nauk wyzwolonych. Od 1789 r. w Liceum Królewskim (dawna Akademia Zamojska) był profesorem fizyki, historii naturalnej i nauk ekonomicznych oraz wiedzy rolniczej. W r. 1804 przeniósł się do Petersburga, gdzie był profesorem w Głównym Instytucie Pedagogicznym, a od 1819 profesorem prawa na Uniwersytecie.

³ Wojciech Gutkowski (1775-1826), inżynier wojskowy, pedagog, ekonomista, pisarz polityczny, wykładowca architektury w Liceum Zamojskim. Większość jego publikacji i wystąpień w tym okresie dotyczyła unowocześnienia i mechanizacji polskiego rolnictwa. Według Kucharzewskiego on właśnie był autorem artykułów o maszynach rolniczych (por. F. Kucharzewski: *Piśmiennictwo Techniczne Polskie. T.III – Mechanika*. „Przegląd Techniczny”, Tom LI, Nr 23, 1913, s. 315-316).

⁴ *O młynach*. „Dziennik Ekonomiczny Zamoyski” Nr 1/1803, s. 57-62. Wersje cyfrowe czasopisma:

<http://fbc.pionier.net.pl/owoc/results?action=DistributedSearchAction>

⁵ *Młyn ciągły*. „Dziennik Ekonomiczny Zamoyski” Nr 1/1803, s. 63-98.

⁶ Tamże, s. 63.

⁷ Tamże, s. 67.

⁸ Tamże, s. 75-81.

⁹ Tamże, s. 65, gdzie w przypisie autor podaje, że 16 sążni wiedeńskich odpowiada 17 sążniom warszawskim. Sążeń wiedeński to 1,896 m.

¹⁰ Tamże, s. 66-74.

¹¹ *Młyn ciągły o jednym kole.* „Dziennik Ekonomiczny Zamoyski” Nr 2/1803, s. 167-174.

¹² *Młyn o jednym Kole czołowym, pod którym zaprzęgają się konie, czyli woły u drąga w wał wpuszczonego.* „Dziennik Ekonomiczny Zamoyski” Nr 3/1803, s. 247-251.

¹³ *Młyn ręczny w którym wagi dla ulżenia sile, i sprawowania ruchu znacznie się przyczyniają.* „Dziennik Ekonomiczny Zamoyski” Nr 4/1803, s. 354-361.

¹⁴ *O młynach krymskich.* Opisanie nadesłane przez JP. Iana Ferdynanda Naxa Budowniczego wodnego bywshy Rzeczypospolitey Polskiej. „Dziennik Ekonomiczny Zamoyski” Nr 9/1803, s. 851-856.

¹⁵ Jan Ferdynand Nax (1736-1810), polski ekonomista i architekt, projektant budowli lądowych i wodnych. Autor projektu rozbudowy gospodarczej kraju, popierał rozwój handlu i produkcji oraz reformy w rolnictwie. Jako architekt i budowniczy królewski budował i przebudowywał wiele pałaców i dworów na Lubelszczyźnie i Kielecczyźnie, m.in. pałac w Szczekocinach.

¹⁶ Jak pisze Nax, przejeżdżając obok wysiadł z powozu i wszedł do jednego z tych wykopów, aby zaspokoić swą ciekawość. Do obserwacji urządzenia musiał mu wystarczyć „jeden rzut oka”, bowiem przy braku komunikacji językowej z pracującymi Tatarami obawiał się, czy prawidłowo odbiorą jego intencje poznawcze. Rysunek wykonał z pamięci później i nie był pewien wierności odwzorowania. Por. *O młynach krymskich* [...], dz. cyt., s. 853-854.

¹⁷ *Uwiedomienie o dalszem prowadzeniu Dziennika Ekonomicznego Zamoyskiego.* „Dziennik Ekonomiczny Zamoyski” nr 6/1803 s. 619-620. Uwiedomienie jest podpisane przez B. Kukolnika.

¹⁸ *Nowa machina pociężna do młócenia zboża. Wynalazku Woyciecha Gutkowskiego.* „Dziennik Ekonomiczny Zamoyski” Nr 11/1803, s. 1085-1098.

¹⁹ *Opisanie i wyobrażenie Tartaku pociężnego.* „Dziennik Ekonomiczny Zamoyski” Nr 12/1803, s. 1179-1188.

5. Konstrukcja przekładni w *Wykładzie statyki* Gasparda Monge'a

Gaspard Monge (1746-1818) to postać niezwykle zasłużona dla rozwoju nauk technicznych i nowoczesnego nauczania politechnicznego. Był przede wszystkim twórcą geometrii wykreślnej, stanowiącej do dziś podstawę formacji inżynierów, ale także prekursorem wprowadzenia nauki o maszynach i mechanizmach do edukacji inżynierskiej. W warunkach polskich jego podręcznik¹ był przeznaczony dla starszych klas szkół wojewódzkich, ale we Francji powstał jako klasyczny wstęp do mechaniki, ze szczególnym uwzględnieniem potrzeb kadetów marynarki².



Rys. 5.1. Strona tytułowa *Wykładu Statyki* Monge'a

Podręcznik był silnie osadzony w kontekście dzieł najwybitniejszych wówczas matematyków i mechaników francuskich, takich jak Joseph-Louis Lagrange (1736-1813), Louis Poinsot (1777-1859), Siméon Denis Poisson (1781-1840). Bardzo znacząca jest też adnotacja, że dzieło zostało przejrane przez J. N. P. Hachette'a³. We wprowadzeniu do tłumaczenia znalazło się zdanie, że *Statyka* Monge'a jest wstępem do *Mechaniki* Poissona. W tekście podawane są francuskie odpowiedniki niektórych terminów polskich⁴.

Mimo, iż system pojęć matematyki i mechaniki jest w tym dziele podobny, jak w książce Bezouta, to jednak terminologia dotycząca maszyn prostych jest bardziej zbliżona do współczesnej. Autor używa już pojęcia *machina* dla tego rodzaju urządzeń, ponadto posługuje się pojęciami *krążek* i *wielokrążek*, a także *kołowrót*, który tu oznacza wciągarkę. Jako podstawowe maszyny proste traktowane są *sznur*, *ciąg* i *połaski płaszczyzna pochyla*, a inne są ich odmianami. Po analizie różnych układów sił działających na cięgna i dźwignie oraz warunków ich równowagi, autor zajmuje się podobną analizą dla krążków i kołowrotów, będących rodzajem przekładni cięgnowej.

Kolejnym krokiem jest przejście do przekładni zębatach, które omawia niewielkim zakresie w drugiej i trzeciej części rozdziału *O równowadze w machinach*. Terminologia tu użyta niewiele odbiega od wykorzystywanej w dziełach poprzednio omawianych. *Koło zębate* to duże koło, albo koło w ogólności; koło małe to *cewa*. Zarówno *koło*, jak i *cewa* posiadają *zęby*, *wyrobite* w równej odległości i są osadzone na *walcu* lub *ślupie*, którego ruch obrotowy przekazują na kolejny *ślup*.

Analogię z przekładnią pasową autor ujmując następująco: „iako gdyby cewa uważana za walec kołowrotu, i koło zaczepiające ją zębami, były okręcone iednym sznurem, iako w poprzedzającym razie.” Rozpatrywaną nieco wcześniej wielostopniową przekładnię cięgnową, mającą na celu zmniejszenie siły czynnej dla pokonania określonych oporów, autor zastępuje wielostopniową przekładnią zębatą redukcyjną, w której na wałku pierwszego koła jest osadzona cewa, która zazębia się z drugim kołem, na którego wałku mamy drugą cewę, itd. Autor podaje od razu zależność między siłą czynną na kole pierwszym a oporem na ostatniej cewie: proporcja między nimi jest taka, jak stosunek iloczynu z promieni cew do iloczynu z promieni kół⁵.

Autor odnotowuje zastosowanie kół zębatach w wielu maszynach, przede wszystkim w młynach i zegarach, do przekazywania ruchu obrotowego pomiędzy wałami (*ślupami*). To stwierdzenie jest uważane za przejaw nowego pojmowania maszyny jako mechanizmu, jako urządzenia do przekazywania ruchu, a nie jak dotychczas – tylko obciążeń⁶. Pisząc, że wbrew dotychczasowym przekonaniom osie wałów nie muszą być równoległe, ale powinny należeć do jednej płaszczyzny, rozciąga pojęcie przekładni również na przekładnie kątowe. Pewną uwagę poświęca zasadom ich zazębienia. W przekładni kątowej zęby są zwykle osadzone prostopadle do płaszczyzny koła (wspominane wcześniej koło koronowe), i gdy „zęby koła zaczepiają albo za

zęby cewy, albo za palce wrzeciona, które cewy zastępuie miejsce; w tym przypadku zęby koła ślizgać się muszą po palcach wrzeciona w kierunku jego osi.” To niekorzystne zjawisko można wyeliminować, jeżeli oba koła byłyby wycinkami stożków (*ostrokregów*) o wspólnym wierzchołku i osiach pokrywających się z osiami wałów, a powierzchnie ograniczające zęby z zewnątrz byłyby również stożkami (*powierzchniami ostrokregowymi*) o tym samym wierzchołku⁷.

Autor traktuje *lewar* jako odmianę kołowrotu. Najistotniejszym jego elementem jest *sztaba żelazna*, zaopatrzona z jednej strony w zęby, mogąca się poruszać w obudowie w kierunku wzdłużnym i współpracująca z *zębami cewy*, obracanej za pomocą *rękojeści*. Wspomina o *lewarze składanym*, z podwójną przekładnią, w którym „zęby cewy pierwszej, zaczepiają za zęby koła mającego na swojej osi osadzoną cewę drugą, która swymi zębami zaczepia za zęby sztaby.” Umożliwia to podnoszenie znacznie większych ciężarów. Tu autor powołuje się na to, co wykazał rozważając proporcje sił w przekładni zębatej: „siła tak się będzie mieć do oporu, jak iloczyn z promieni cew, do iloczynu z promienia koła przez ramię rękojeści”⁸.

Na zakończenie trzeba jeszcze wspomnieć o podrozdziale poświęconym śrubie. Autor definiuje ją jako walec prosty z nawiniętym spiralnie *gwintem*, o zarysie *kończatym* (trójkątnym) lub prostokątnym; odległość zwojów nazywa autor *krokiem śruby*, a dla nakrętki używa nazwy *nasada*. Znajdujemy tu, podobnie jak u Bézouta, wyprowadzenie zależności między siłą obracającą element ruchomy, a wzdłużną siłą docisku. Monge także traktuje przekładnię ślimakową jako szczególny przypadek mechanizmu śruba-nakrętka. Píše: „Używa się czasem śruby do obracania koła zębatego osadzonego na słupie. Na ten koniec, daie się śrubie wysokość kroku, równą jednemu z podziałów koła zębatego, i urządza się ją tak, aby mając oś na płaszczyźnie koła, zaczepiała swoim gwintem za jego zęby.” Następnie rozwiązuje zadanie znalezienia stosunku, w jakim pozostają równoważące się siły: czynna, obracająca śrubę i opór, działający na sznur, nawinięty na wał koła zębatego. Rozwiązaniem jest wniosek, iż „opór tak się ma do siły, iak iloczyn z promienia koła przez okrąg zakreślony rękoieścią, do iloczynu z promienia słupa przez krok śruby”. Dla całego mechanizmu autor używa nazwy *śruba bez końca*, do dziś stosowanej w niektórych językach.

Przypisy

¹ *Początki statyki. Wykład statyki Dla użycia szkół wydziałowych i wojewódzkich*, przez G. Monge. Wydanie Piąte, Przejrzane przez P. Hachette. Przetłumaczył Onufry Lewocki. W Warszawie 1820. Wersja cyfrowa: <http://bcpw.bg.pw.edu.pl/dlibra/doccontent?id=156&from=FBC>.

² *Traité élémentaire de statique à l'usage des colleges de la marine*. Paryż 1786. Autor był wówczas egzaminatorem kadetów floty (w miejsce zmarłego Étienne Bézout), a wcześniej, przez 20 lat – profesorem w szkole wojskowo-inżynieryjnej (École Royale du Génie) w Mezières.

³ Jean Nicolas Pierre Hachette (1769-1834) był uczniem Monge’a, jego następcą i znakomitym kontynuatorem prac m.in. w dziedzinie konstrukcji maszyn i mechanizmów, w tym także nad teorią ząbów.

⁴ Tłumaczem podręcznika był Onufry Lewocki (1787-1854), matematyk, członek komisji rządowej wyznań religijnych i oświecenia publicznego Królestwa, wizytator generalny instytutów naukowych i sam autor książki *Jeometrya elementarna dla szkół wydziałowych i podwydziałowych* (wyd. II, Warszawa 1830).

⁵ *Wykład statyki* [...], dz. cyt., s. 163.

⁶ Por. A. N. Bogolubow: *Teorija mechanizmov i maszin w istoriczeskom razwitiu jej idej*. Nauka, Moskwa 1976, s. 102.

⁷ *Wykład statyki* [...], dz. cyt., s. 164.

⁸ Tamże, s. 165.

6. Konstrukcja przekładni w dziele *Teoryja Machin* Franciszka Miechowicza

Podręcznik Franciszka Miechowicza (1783-1852) poświęcony jest obliczeniom konstrukcyjnym prostych maszyn, przydatnych w pracach gospodarskich¹. Jest jedną z nielicznych tego rodzaju prac, wydanych w początkach XIX wieku. Poprzedzające ją książki były raczej podręcznikami mechaniki stosowanej, z niewielkim rozwinięciem podanej teorii w kierunku zastosowań w budowie urządzeń mechanicznych. Miechowicz stworzył dzieło, które jest podręcznikiem konstrukcji z podbudową teoretyczną. Feliks Kucharzewski określa ją jako „wyborną książeczkę popularną o mechanice praktycznej” i dodaje, że Miechowicz „napisał krótki i przystępny wykład początków mechaniki praktycznej, który przez długie lata oddawał wielkie przysługi samoukom”².

Był to wciąż okres, gdy jeszcze nie konstruowano w Polsce maszyn parowych i włókienniczych, dlatego wykorzystanie przekładni zębatych było ograniczone do napędu młynów i maszyn wyciągowych oraz zegarów. Stąd niewielki zakres rozważań poświęconych tej tematyce. Dopiero na początku XIX w. w Anglii zaczyna się rozwijać wytwarzanie środków produkcji: same maszyny przestają być obiektem pracy ręcznej w manufakturach i powodują pojawienie się nowej gałęzi wielkiego przemysłu – budowy maszyn. Samo to pojęcie nie mogło pojawić się w XVIII w., kiedy maszyny, nawet tego samego rodzaju, były dziełami indywidualnymi ze względu na sposób wykonania i stanowiły produkt pracy nielicznych, wysokokwalifikowanych mechaników-praktyków, często biorących udział w ich wynalezieniu lub ulepszaniu. Pojęcie to pojawiło się dopiero w XIX w.³.

Układ dzieła Miechowicza, zapowiedziany przez autora w przedmowie, jest następujący: po wstępie autor podaje podstawowe wielkości fizyczne i ich jednostki⁴, a także wartości ciężaru właściwego (*gatunkowego*) różnych materiałów. Dalej następuje zasadnicza część pracy, zatytułowana *Teoryja machin*. W tej części mamy wstęp dotyczący *sił i oporów*, sposobu ich oceny i pomiaru. Omawia następnie siły, dzieląc je ze względu na źródło na *zoologiczne*, *hydrauliczne*, *pneumatyczne*, *termiczne* i *zależne*. Oporami są obciążenia, które należy pokonywać przy pracy maszyn i te dzieli na *właściwe* (przenoszenie ciał, gniecie i rozciąganie, rozdzielanie, uderzenia) i *przypadkowe* (ciężar części maszyn, tarcie, sztywność giętą cięgien).

Kolejnym rozdziałem jest fragment, zatytułowany *Moc organów machin*, a poświęcona w istocie obliczeniom wytrzymałościowym części maszyn i doborowi ich wymiarów. Dalej autor rozpatruje podstawowe zasady statyki, a więc przede wszystkim *równowagę drąga* (dźwigni), do której można sprowadzić, jak pisze, działanie wielu prostych maszyn i *organów odmieniających* (przekładni, urządzeń zmieniających prędkości i siły). Zalicza do nich także *kołowrót, śrubę, klin i koło zębate*. Warto zwrócić uwagę, że pojawia się tu po raz pierwszy termin *organ odmieniający*, pojęcie oznaczające dzisiaj przekładnię.



Rys. 6.1. Strona tytułowa podręcznika Miechowicza

Na koniec następuje najobszerniejszy rozdział *Równowaga w machinach*, zaopatrzony w trzy przykłady (żuraw studzienny, kołowrót pojedynczy, kołowrót złożony), mające zebrać w sobie problemy konstrukcyjne oraz podać szczegółowe sposoby ich praktycznego rozwiązania. Wcześniejsze rozdziały zawierają również proste przykłady konstrukcyjne.

Z terminologią dotyczącą konstrukcji i metodyką konstruowania przekładni wiąże się również system pojęć mechaniki i teorii konstrukcji. Interesująca jest definicja i rozumienie pojęcia *siła* i *opór*. Miechowicz rozumie siłę bardziej jako wielowymiarowe zjawisko oddziaływania na siebie ciał z jego skutkiem energetycznym. Pisz: „Siłą mierzy się przez iey skutki; skutkami zaś siły są: 1) ciśnienie siły, które cenić się może przez ciężar, naprzykład przez kilogramy; 2) prędkość w iednostce czasu [...]; 3) czas działania tey siły [...]. Tak dalece, że siła iest iloczynem z trzech mnożników, to iest z ciśnienia, prędkości i czasu. [...] prościeyszym wyrażeniem siły lub oporu będzie iloczyn z dwóch tylko mnożników, to iest z ciśnienia przez prędkość.”⁵ Widzimy więc, że dzisiejsze pojęcie wartości siły odpowiada jego pojęciu *ciśnienia*, natomiast właściwa *siła* to dzisiejsza praca siły, a jeżeli odniesiona jest do jednostki czasu, odpowiada obecnemu pojęciu mocy.

Pierwsze odwołanie do zagadnień związanych z konstrukcją kół zębatych występuje w podrozdziale o oporze tarcia⁶. Tarcie ślizgowe, nazwane *tarcie rodzaju pierwszego*, jest przedmiotem rozważań tej części pracy. *Tarcie rodzaju drugiego*, czyli tarcie toczne, autor pomija ze względu na jego mały udział w oporach ruchu. Powołując się na Coulomba stwierdza, że gdy części współpracujące są dotarte i „tłustością lub mydłem przyzwoicie naprowadzone podług gatunku materyałów”, to *ciśnienie tarcia* pozostaje w stałym stosunku do ciśnienia prostopadłego do powierzchni i wynosi 1/6 dla tarcia drzewa o drzewo lub żelaza o żelazo, a 1/8 dla żelaza o drzewo lub mosiądz. Ułamek ten nazywa *spółczynnikiem tarcia*⁷.

Dla tarcia w przekładniach zębatych autor podaje oddzielną metodykę, powołując się na Béliora⁸. Zalecał on przyjmowanie wartości 1/18 jako współczynnika tarcia *palców* o *cewy*. Tak jak w poprzednio omawianych pracach, *palce* są odpowiednikiem zębów w dużych kołach, najczęściej są to wystające drewniane kołki walcowe, rozmieszczone w równych odstępach na obwodzie dużego koła. Natomiast *cewy* są elementami roboczymi małego koła, tzw. *latarni*. Są to walcowe kołki, umocowane pomiędzy dwiema tarczami i rozmieszczone na walcowej powierzchni podziałowej równolegle do osi obrotu. Podczas ruchu kół *palce* wchodzą w przestrzenie pomiędzy *cewami*, a tarcie powstaje w miejscu ich styku.

Bardziej szczegółową metodykę obliczeń podaje za Eytelweinem⁹. Rozpatrzył on różne skojarzenia współpracujących elementów uzębionych, mianowicie *koła* i *sztaby zębate* z *latarniami* i *trybami*. Tak jak w poprzednich źródłach *sztaby zębate* nazywane są dziś zębatkami lub listwami uzębionymi, a *tryby* – małymi kołami zębatymi lub zębnikami. Autor wyróżnia za

Eytelweinem 6 przypadków obliczeniowych tarcia i dla każdego z nich podaje krótki przykład. Kryterium rozróżnienia stanowią: kształt, wielkość i materiał współpracujących części. Spotykamy tu bardziej szczegółowe ich określenia: *koło gwiazdowe* jest dużym kołem z palcami lub zębami ustawionymi w płaszczyźnie koła, natomiast *koło koronowe* ma palce ustawione prostopadłe do płaszczyzny koła, i tworzy przekładnię kątową. Oba mogą współpracować z *latarnią* lub *trybem*. Elementy stykające się, to – jak już powiedziano wyżej – *palce* i *cewy*, ale również, zwłaszcza w przypadku kół metalowych, *zęby* w *kołach gwiazdowych* i *skrzydelka* w *trybach*. Podane wzory w dwóch przypadkach uwzględniają również przełożenie, ale autor określa je opisowo jako *stosunek liczby palców lub zębów do liczby cew*.

Jak wspomniano wyżej, każdy z wyróżnionych przypadków opatrzony jest przykładem liczbowym. Pierwszy z nich jest podany dla przypadku współpracy koła gwiazdowego z latarnią, dla którego zaleca się przyjęcie ciśnienia tarcia równego „1/12 części ciśnienia prostopadłego, mnożoney przez stosunek liczby palców lub zębów do liczby cew, i przez współczynnik tarcia.” Autor przyjmuje liczbę zębów 54, liczbę cew 6, zęby i cewy drewniane, a ciśnienie prostopadłe 100 kilogramów. Z prostego rachunku otrzymuje ciśnienie tarcia:

$$100 \times \frac{1}{12} \times \frac{54}{6} \times \frac{1}{6} = 13 \text{ kilogramów.}$$

Jeśli chodzi o pozostałą terminologię, używaną w konstrukcji przekładni, to autor posługuje się określeniami *wały*, *czopy*, *panewki*, *korby*. Wał drażony to *walec dęty*. Koło zamachowe nazywa *latawcem*, a bęben do nawijania cięgna – *tamburem*.

W rozdziale *Moc organów machin*¹⁰ autor zajmuje się też wytrzymałością kół zębatych. Rozważania i wskazówki dotyczące wytrzymałości części maszyn zawierają częste odwołania do prac J. B. Rondeleta¹¹ i R. Buchanana¹². Terminologia tu używana nie różni się od używanej poprzednio; spotykamy jednak dodatkowo kilka terminów konstrukcyjnych. *Moc zębów* lub *palców*, o której autor pisze, że powinna być proporcjonalna do wartości siły normalnej (*ciśnienia prostopadłego*), to ich wytrzymałość lub nośność. Podziałka koła zębatego to *dział koła*, który zwykle dzieli się na 9 części równych; 4 takie części przeznacza się na *grubość palca lub zęba*, a 5 części na *pole* między zębami, tzn. szerokość wrębu. *Promień działowy* to promień podziałowy, połowa średnicy podziałowej.

Jednym z wyróżnionych przez Rondeleta modeli określania wytrzymałości elementów konstrukcyjnych jest obciążenie belki dwupodporowej w jej środku siłą poprzeczną. Maksymalna wartość takiej siły to *opór poziomy*. Do obliczenia tego oporu służy wielkość charakterystyczna dla każdego materiału, zwana *oporem poziomym pierwiastkowym*, podawana w kilogramach na milimetr sześcienny, dla drewna dębowego równa jest 5. Jest to wielkość analogiczna do naprężenia niszczącego. Aby znaleźć wartość oporu, należy „opór pierwiastkowy mnożyć przez kwadrat z grubości i przez szerokość, a iloczyn podzielić przez długość, byle wszystkie wymiary były w milimetrach; dla

wszelkiego zaś bezpieczeństwa potrzeba wziąć tylko $\frac{1}{10}$ część tej wartości”¹³. Dla oceny słuszności tego sposobu zauważmy, że używany obecnie w obliczeniach naprężeń wskaźnik wytrzymałości przekroju prostokątnego zawiera iloczyn szerokości przez kwadrat grubości, zaś długość belki wpływa na wartość momentu gnącego, a brakujący współczynnik liczbowy zawiera się w zalecanym współczynniku bezpieczeństwa.

Dębina była wówczas materiałem podstawowym, dla niej więc często podawano parametry i obliczenia. Aby można było łatwo wyznaczyć wymiary części z innych materiałów, Miechowicz zestawiał na podstawie różnych źródeł praktyczną tabelę, w której podał opory względne różnych materiałów w odniesieniu do oporu dębiny, równego 100¹⁴. Itak np. opór poziomy mosiądzu jest równy 204, żelaza lanego 200, a stali 480. Potrzebne opory można w ten sposób wyliczyć z odpowiedniej proporcji.

Po stwierdzeniu, że „moc zębów lub palców w kołach zębatych proporcjonalna być powinna ciśnieniu prostopadłemu do ściany palca, a palce lub zęby powinny wytrzymać takowe ciśnienie”, Miechowicz podaje sposób *wynalezienia działu*, tzn. obliczenia podziałki, a na tej wartości opiera wyznaczenie grubości zęba, bowiem dział dzieli się zwyczajowo na 9 części równych, z czego 4 części stanowi grubość zęba. Sposób polega na tym, że należy „z liczby wyrażającej ciśnienie oporu prostopadłego do ścianki palca w kilogramach, wyciągnąć pierwiastek kwadratowy, a ten będzie działem odpowiadającym w centymetrach do kół z palcami drewnianymi grabowymi”¹⁵. Jest to oczywiście prekursorska wersja obliczeń wytrzymałościowych, aczkolwiek postać wzoru sugeruje zależność wyznaczoną doświadczalnie.

Z podanego następnie przykładu dowiadujemy się, jak w szczegółach przebiega to wyliczenie, a także – jak postępować przy zastosowaniu innego materiału. Autor przyjmuje do analizy przekładnię, w której tryb drewniany o promieniu 1 decymetra jest napędzany korbą o promieniu 5 decymetrów. Ponieważ siła ręki robotnika obracającego korbę może być równa 13 kilogramom, to odpowiadająca jej siła na zębie trybu jest równa 65 kilogramów. Pierwiastek kwadratowy z 65 jest bliski 8, a więc można przyjąć na dział koła 8 centymetrów. Gdyby trzeba było zastosować zęby z żelaza kutego, należałoby skorzystać z wyżej wspomnianej tabeli oporów względnych, w której dla grabiny podano opór poziomy 103, a dla żelaza kutego 336 i przeliczyć wymiar następująco: podnieść przyjęty dział do kwadratu, wynik pomnożyć przez 103 i podzielić przez 336, a z otrzymanej liczby wyciągnąć pierwiastek. W ten sposób otrzymuje się dział równy $4\frac{1}{2}$ centymetra, co daje grubość zęba żelaza kutego równą 2 centymetry¹⁶.

We wspomnianym już rozdziale *Równowaga w machinach* autor formułuje na wstępie zasadę statyki, jak twierdzi – prawdę oczywistą, nie wymagającą dowodów: *summa sił równa będzie summie oporów* i zauważa, że przy jej pomocy wyznaczyć można siły lub opory w każdej maszynie. Postuluje też stosowanie w pierwszej przekładni każdej maszyny *przemocy*, polegającej na

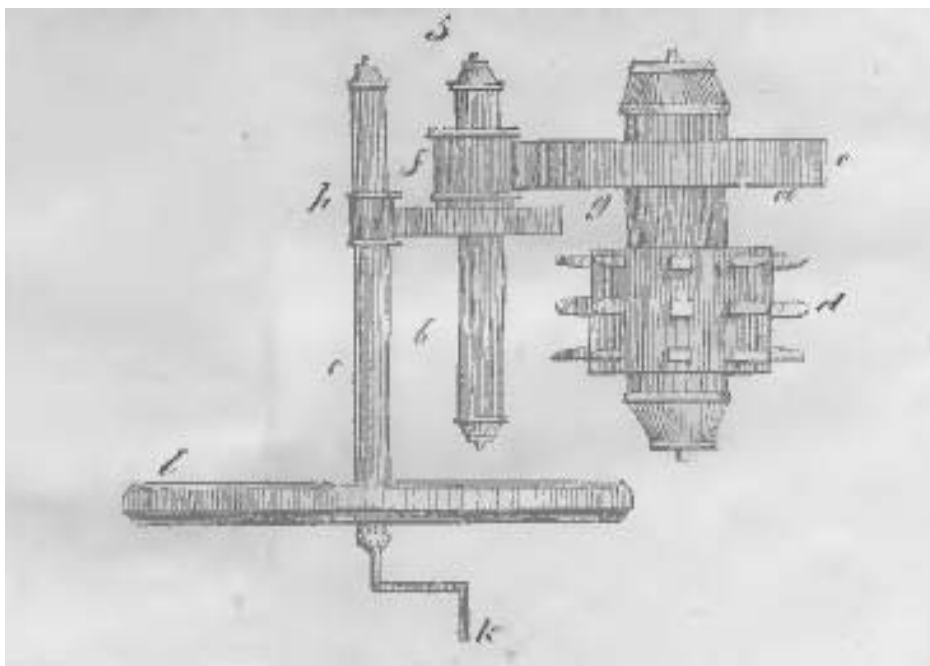
wyraźnie większym ramieniu siły czynnej w stosunku do ramienia siły oporu; ułatwia to pokonywanie dużych oporów¹⁷. Z innych uwag metodologicznych istotnych dla procesu projektowania można zacytować i taką: „we wszystkich machinach wszystkie wymiary, ciężary i ciśnienia są w tak ścisłym między sobą związku to jest, tak iedne od drugich zależą, iż za odmianą iedney, inne odmieniać się muszą¹⁸ Zacytujmy jeszcze uwagę, w której Miechowicz formułuje istotę działań konstruktora: „Cała więc sztuka w składaniu i wyrachowaniu machin na tem zależy, aby z pomiędzy wielu ilości różney natury, iedne wziąć za ilości dane, drugie przyjąć za ilości stateczne, to jest za takie które się niepowinny odmieniać, chociażby siły i opory odmieniały się: a pomiędzy ilościami pozostałemi upatrzeć nayprostsza zawisłość z któreyby łatwo można było otrzymać iedne za pomocą drugich”¹⁹

Z punktu widzenia tematyki opracowania najbardziej interesujący w tym rozdziale jest przykład opisu konstrukcji i obliczeń urządzenia do wyciągania dużych wiader z wodą z głębokiej studni. Autor opisuje tu znany mu przypadek zastąpienia, w konkretnej studni w Krzemieńcu prostego kołowrotu, wymagającego bezpośredniego kontaktu osób obsługujących ze znacznymi i niebezpiecznymi dla nich obciążeniami – mechanizmem z podwójną przekładnią zębatą. Jest to w pełni profesjonalny opis sformułowania i rozwiązania zadania projektowego, od założeń projektowych, parametrów i ograniczeń począwszy, poprzez kolejne założenia, obliczenia i decyzje projektowe, aż po gotowy rysunek złożeniowy urządzenia²⁰.

Spotykamy tu terminy występujące wcześniej, a więc *wały poziome drewniane*, z *czopami żelaznymi* osadzonymi w *panewkach grabowych*. Na pierwszym wale od strony ciężaru osadzony jest *tambur* do nawijania taśm z wiadrami oraz *koło gwiazdowe drewniane*. Na kolejnym wale osadzona jest *latarnia zaczepiająca koło*, a także *kółko gwiazdowe*, współpracujące z *latareńką* na ostatnim wale, który jest zaopatrzony w *latawiec* (koło zamachowe) i *korbę* napędzającą na końcu (rys. 6.2). Przekładnia, przekształcająca siły i prędkości, to *organ odmieniający*. Autor podaje obrazowo istotę *latawca*, „który nic innego niejest, tylko massa ciężka w pewney odległości od osi obrotu ułożona, która gdy się poruszy, nabędzie prędkości, i mocą takowey nabytey prędkości może się ieszcze ruszać długi czas, chociaż siła przyłożona iuż działać ustanie. Jest to więc magazyn siły, do którego przychodzi i zbiera się siła wtenczas, kiedy opory w machinie niepotrzebują iey tyle, ile się w niey zawiera, a z którego wypływa znowu siła i łączy się z siłą do machiny przyłożoną wtenczas, kiedy iey brakuie na ciśnieniu.”²¹ Jest on *regulatorem*, tzn. urządzeniem zmniejszającym nierównomierność oporów i sił czynnych.

Jeśli chodzi o technikę graficznego przedstawiania maszyny, to autor ograniczył się do narysowania samego mechanizmu napędowego, bez ramy i łożysk. Ten złożeniowy rysunek jest pojedynczym rzutem prostokątnym, bez dodatkowych widoków i przekrojów. Uzębienia latarni i kół narysowane są

w uproszczeniu – kształty, wielkość i rozmieszczenie zębów nie są na nim widoczne, w przeciwieństwie do rysunków, omawianych w poprzednich rozdziałach. Cechy te zbliżają technikę rysowania do obecnie obowiązujących zasad rysunku technicznego.



Rys. 6.2. Schemat wyciągarki z przekładnią zębatą

Warto również przytoczyć niektóre terminy i pojęcia, oraz scharakteryzować sposób podejścia do procesu konstruowania przekładni i stosowane metody obliczeń. Po opisie przyjętego rozwiązania układu napędowego autor identyfikuje wielkości stałe i zmienne. Wielkością *stateczną* (stałą) w projekcie jest założony promień korby, równy 3 decymetry (*ten zależy od organizacji człowieka*), a dane są wartości sił: czynnej, którą może przyłożyć do korby obsługujący człowiek (*ciśnienie siły*) – tę przyjęto równą 7 kilogramów – i ciężaru wiadra z wodą oraz ciężna (*ciśnienie oporu*), równy 107 kilogramów. Ponieważ ciśnienie oporu jest dużo większe od ciśnienia siły, dlatego uzasadnione jest zastosowanie *organu odmiennającego*, w tym przypadku podwójnej przekładni zębatej.

Całkowite pożądane przelozienie, czyli stosunek prędkości równy około 15, autor ustala jako stosunek oporu i siły czynnej, bo „prędkości są w stosunku

odwrotnym ciśnięć”. Biorąc je pod uwagę „rozbiera ten stosunek na dwa stosunki do kół zębatach”, np. 4 i $\frac{15}{4}$, i kolejno zakłada liczby cew latarni i palców kół. Są one następujące: liczba palców koła 48, cew latarni 11, liczba palców kółka 24, a cew latarenki 7. Po tych założeniach sprawdza *stosunek z nich złożony* obliczając: $\frac{48 \times 24}{11 \times 7} = \frac{1152}{77} = 51$. Dla otrzymania wartości przełożenia

sił równego 15 musi jeszcze założyć stosunek promieni korby i latarenki oraz koła dużego i tambura. Zakłada więc najpierw, że stosunek promieni korby i latarenki jest równy $\frac{15}{4}$, co przy danym promieniu korby daje wartość promienia latarenki 8 centymetrów. Taki wynik uznaje za zadowalający, bo na pierwszym stopniu przekładni występuje *przemoc*.²²

Następnie autor *szuka działu do kół zębatach*, tzn. wyznacza podziałkę kół. Metoda została podana wcześniej, w części *Moc organów machin*; jest to rodzaj obliczeń wytrzymałościowych i odpowiada dzisiejszemu obliczeniu modułu zazębienia. Dla zębów grabowych oblicza się podziałkę w centymetrach jako pierwiastek kwadratowy z liczby wyrażającej opór prostopadły do palca w kilogramach. W przykładzie siła na korbie, odniesiona do promienia latarenki, wyniesie 26; pierwiastek z tej liczby to nieco więcej niż 5. Jednakże autor przyjmuje, ze względu na możliwość wystąpienia nieprzewidzianych przeciążeń, podziałkę równą 72 milimetry, a więc otrzymany wynik został powiększony o ok. 40%. Na grubość zęba autor przeznacza $\frac{4}{9}$ przyjętej podziałki, pozostałe $\frac{5}{9}$ to szerokość przestrzeni międzyzębnej; daje to palce o grubości 32 milimetry.

Mnożąc dział przez liczbę cew autor otrzymuje *okrąg koła działowego* i dzieląc go przez *stosunek stateczny* 6,28 otrzymuje aktualny promień latarenki, równy około 80 milimetrów. Procedurę tę powtarza dla kółka o 24 palcach i otrzymuje promień równy 275 milimetrów. Podobnie postępuje i przy pozostałych kołach, wykorzystując założone wcześniej liczby zębów oraz wyliczoną podziałkę. Otrzymuje w ten sposób promień latarni równy 126, a dużego koła 550 milimetrów²³. Ściśle biorąc, podziałka powinna być wyliczona dla drugiej pary kół oddzielnie, bowiem siła międzyzębna jest tu około dwukrotnie większa. Jednakże podziałka wyszłaby wówczas $\sqrt{2}$ razy większa, a więc różnica wynosi około 40%; można więc stwierdzić, że przyjęta poprzednio nadwyżka podziałki niweluje tę niedokładność.

Ponieważ wcześniej autor założył stosunek promienia dużego koła do promienia tambura równy 2, to na tym etapie mógł już wyznaczyć promień tambura równy 275 milimetrów. Otrzymane w ten sposób całkowite przełożenie jest nieco większe od 16, ponieważ rzeczywisty stosunek cząstkowy pomiędzy promieniami kółka i latarni nie jest równy 2, lecz $275/126=2,18$. W dalszym ciągu obliczeń Miechowicz zajmuje się doбором koła zamachowego, średnic wałów i czopów, na końcu zaś oszacowaniem oporów tarcia, jakie powstają we wszystkich połączeniach ruchowych, aby ustalić całkowitą siłę czynną, potrzebną do wykonania założonej pracy.

W zakończeniu książki autor zawarł istotne dla konstruktora uwagi metodologiczne. Opierając się na wynikach obliczeń strat, jakie wystąpiły w podanych przez niego przykładach konstrukcyjnych stwierdza, że w przykładzie z jednym przełożeniem strata wyniosła około $\frac{1}{20}$ siły czynnej, a w omówionym powyżej przykładzie, gdy mamy maszynę złożoną z 3 *organów odmieniających*, straty wynoszą $\frac{1}{5}$ siły. Można więc powiedzieć, że dalsza rozbudowa urządzenia przyniosłaby kolejny wzrost strat energii. Wyciąga więc wniosek, że „im machina bardziej zawikłana, tem więcej ginie siły na zniszczenie oporów przypadkowych. Nayprostsze więc maszyny są najlepsze”²⁴.

Franciszek Miechowicz swój podręcznik napisał głównie z myślą o rzemieślnikach – konstruktorach maszyn. W przedmowie do *Teoryji Machin* tak to ujął: „Zamiarem było moim zrobić przysługę dla mechaników praktycznych, dla konstruktorów maszyn i gospodarzy, którzy bądź z potrzeby, bądź dla rozrywki, sami chcą się trudnić wykonaniem łatwiejszych maszyn ekonomicznych. Wyłożyłem przeto ogólną teorią maszyn ze względu na wszelkie okoliczności fizyczne, ale razem tak prostą, aby każdy zapomocą małych bardzo początków matematyki i fizyki, mógł wyrachować maszynę, co do siły, oporu, skutku, mocy i.t.d.. Im więcej się będziemy trudzić maszynami, tem one coraz bardziej doskonalic się będą, tem więcej szerzyć się będzie przemysł kraiowy, który jest najpewniejszym każdego kraiu bogactwem”²⁵. Słowa jakimi zwrócił się autor w przedmowie, określają zakres podręcznika. Miał on służyć wszystkim tym, którzy samodzielnie, bazując na swym często niewielkim wykształceniu, chcieli tworzyć urządzenia potrzebne w gospodarstwie. Zarówno sam układ podręcznika, dobór treści jak również rozległa wiedza praktyczna F. Miechowicza sprawiają, że *Teoryja Machin* była podręcznikiem który zapewne oddał praktyczną przysługę ówczesnym technikom.

Przypisy

¹ F. Miechowicz: *Teoryja machin podająca łatwe ich wyrachowanie dla gospodarzy, mechaników praktycznych i konstruktorów machin* przez Franciszka Miechowicza, Nauczyciela i Rządcę Instytutu Mechaników w Liceum Wołyńskim. Warszawa, w Drukarni Banku Polskiego, 1828. Jest to przedruk dzieła o podobnym tytule, wydanego rok wcześniej w Krzemieńcu. Wersja cyfrowa: <http://bc.pollub.pl/dlibra/doccontent?id=297&from=FBC>

Franciszek Miechowicz urodził się w 1783 lub 1786 roku na Wołyniu. Kształcił się w Krzemieńcu w szkole powiatowej potem wydziałowej. Od 1805 roku związał się z Liceum Krzemienieckim, pełniąc tam m.in. funkcję zastępcy dyrektora szkoły mechaników, przynależnej instytucjonalnie do Liceum. Wykładał matematykę, fizykę, rysunek. W latach 1817 – 1821 przebywał w Paryżu jako stypendysta, studiując w Ecole Polytechnique oraz w Conservatoire des Artes et Metier. W okresie tym zwiedził wiele zakładów produkujących maszyny rolnicze we Francji i Anglii, sporządzając liczne szkice. Po powrocie do Krzemieńca w 1821 roku, wykładał w Liceum matematykę, geometrię wykreślną i architekturę. Po likwidacji Liceum Krzemienieckiego w 1833 roku, rozpoczął pracę na Uniwersytecie w Kijowie. Wykładał tam jako profesor zwyczajny geometrię wykreślną, mechanikę oraz architekturę, pełnił również funkcję dziekana wydziału matematycznego w 1838 roku. Był też czynnym architektem. Ostatnie lata życia spędził w Żytomierzu, gdzie zmarł w 1852 roku. Por. B. Orłowski: *Miechowicz Franciszek* [w:] *Słownik polskich pionierów techniki*, wyd. Śląsk, Katowice 1984, s.137 – 138; T. Nowak: *Cztery wieki polskiej książki technicznej 1450 – 1850*. PWT, Warszawa 1961, s.290.

² Por. F. Kucharzewski: *Piśmiennictwo Techniczne Polskie. T.III – Mechanika*. „Przegląd Techniczny”, Tom LI, Nr 25, 1913, s. 345.

³ Por. A. N. Bogolubow: *Teorija mechanizmow i maszin* [...], dz. cyt., s. 150.

⁴ Miechowicz preferuje użycie w dziełach technicznych metrycznego systemu miar. Dla uzasadnienia podaje przykłady różnorodności stosowanych miar tradycyjnych, dodatkowo zróżnicowanych geograficznie. I tak w zaborze rosyjskim jako miara długości używany jest łokieć koronny, równy 22 cale stopy paryskiej, na Litwie używa się łokcia litewskiego, równego 2 stopom paryskim, w Rosji arszyn jest równy $\frac{1}{2}$ stopy angielskiej, prócz tego używa się sążnia litewskiego, rosyjskiego, koronnego, itd. Autor uznaje dziesiętność systemu metrycznego jako zaletę i wymienia wszystkie przedrostki, oznaczające

dziesiętne wielokrotności metra i grama. Nie używano wówczas jednak zunifikowanych skrótów jednostek, a stosowano skróty przypadkowe, w zależności od potrzeb. Dlatego w niniejszym opracowaniu nie stosujemy obecnych, zunifikowanych skrótów jednostek. Por. *Teoryja machin* [...], dz. cyt., s. 1-3.

⁵ *Teoryja machin* [...], dz. cyt., s. 7-8.

⁶ Tamże, s. 36-44.

⁷ Tamże, s. 37.

⁸ Bernard Forest de Belidor (1697-1761), francuski inżynier wojskowy i cywilny, profesor artylerii w akademii wojskowej w Aisne, autor ważnych prac z hydrauliki, matematyki, inżynierii cywilnej i wojskowej. Do Belidora należy także próba wprowadzenia do konstruowania inżynierskiego zaawansowanych obliczeń matematycznych, por. A. N. Bogolubow: *Teorija mechanizmow i maszin* [...], dz. cyt., s.68).

⁹ Johann Albert Eytelwein (1764-1848) niemiecki inżynier cywilny, mechanik, architekt, budowniczy urządzeń wodnych.

¹⁰ *Teoryja machin* [...], dz. cyt., s. 45-58.

¹¹ Jean-Baptiste Rondelet (1743-1828), francuski architekt i teoretyk konstrukcji. Do jego największych osiągnięć należy wydanie dzieła *Traité théorique et pratique de l'art de bâtir*, a także dokończenie budowy Panteonu w Paryżu, przy której wcześniej pracował pod kierunkiem J. G. Soufflota.

¹² Robertson Buchanan (1769-1816), inżynier angielski. Autor m.in. obszernego dzieła o konstrukcji maszyn *Practical Essays on Mill Work and other Machinery*, 1814. III wydanie książki (London 1841) jest dostępne w wersji cyfrowej na: <http://books.google.pl/>. Pierwszy z esejów, napisany jeszcze w r. 1808, nosi tytuł *On the teeth of wheels*.

¹³ *Teoryja machin* [...], dz. cyt., s. 47.

¹⁴ Tamże, s. 50.

¹⁵ Tamże, s. 56.

¹⁶ Tamże, s. 57.

¹⁷ Tamże, s. 60-61.

¹⁸ Tamże, s. 72.

¹⁹ Tamże, s. 73.

²⁰ Tamże, s. 73-98.

²¹ Tamże, s. 80-81.

²² Por. tamże, s. 77-78.

²³ Por. tamże, s. 78-80.

²⁴ Tamże, s. 98.

²⁵ Tamże, s.3.

7. Tematyka konstrukcji przekładni zębatach w podręczniku K. Stadtmüllera

Profesor Wyższej Szkole Przemysłowej w Krakowie, Karol J. Stadtmüller¹ jest autorem omawianego tu, wydanego w latach 1888-90, pierwszego w literaturze polskiej inżynierskiego podręcznika podstaw budowy maszyn^{2, 3}. Było to dzieło bardzo wówczas potrzebne i zostało od razu zaakceptowane przez polskie środowiska techniczne⁴. Rozwinięcie tematyki konstrukcji maszyn stanowi jego późniejsza praca *Konstrukcja i budowa maszyn*, wydana w sześciu tomach⁵. Publikował również w polskich czasopismach technicznych tego okresu, w „Przeglądzie Technicznym” oraz „Czasopiśmie Technicznym”. Podręcznik Stadtmüllera i inne jego prace stanowią niewątpliwie ważne ogniwo w historii polskiej literatury technicznej i obrazują stan wiedzy w dziedzinie metodologii konstrukcji w drugiej połowie XIX wieku.

Innym, niezmiernie istotnym – także z punktu widzenia tematyki niniejszego opracowania – obszarem działalności K. Stadtmüllera były prace słownikowe. Okres jego działalności zawodowej, to czas tworzenia nowej, polskiej terminologii technicznej. Zarówno studia polskiej kadry inżynierskiej w europejskich uczelniach, jak również transfer zagranicznej, głównie niemieckiej techniki i literatury technicznej, powodowały pojawianie się w języku polskim zapożyczonych, często zniekształconych terminów. Stadtmüller brał udział w pracach komisji słownikowych, prezentował też ich rezultaty na zjazdach towarzystw technicznych⁶.

W przedmowie do swej książki autor pisze, że gdy rozpoczął wykłady z budowy maszyn w r. 1877, nie dysponował żadnym podręcznikiem polskim i starał się u władz o dofinansowanie edycji, aby dać swoim „uczniom podręcznik i wzbogacić literaturę techniczną polską.” Zwraca uwagę na trudności językowe wobec różnorodności terminów stosowanych w Galicji i w Warszawie, braku literatury polskojęzycznej i trwających wciąż prac komisji słownikowych towarzystw technicznych.⁷

Podręcznik Stadtmüllera jest dziełem dwutomowym, ponadto każdy z tomów posiada atlas rysunków. W tomie pierwszym, liczącym 220 stron, wyróżniono wstęp, w którym zestawione zostały podstawowe wiadomości z wytrzymałości materiałów, przydatne w dalszym wykładzie. Pozostały materiał został zatytułowany *Części składowe maszyn*. Dział ten autor dzieli z kolei na części łączące (nity, sworznie, śruby, kliny) i części przenoszące ruch obrotowy. W tym ostatnim dziale wyróżnia czopy, osie, wały, pierścienie, sprzęgła,

łożyska, koła zębate, koła tarciove, pasowe, linowe i łańcuchowe, oprawy łożyskowe i transmisje. Rozdział poświęcony kołom zębatym jest najobszerniejszy. Tom drugi, liczący 115 stron, poświęcony został częściom, przekształcającym ruch prostoliniowy na obrotowy lub wahadłowy, a więc dźwigniom, korbom, mimośrodom, łącznikom, wahaczom, tłokom, dławikom i na końcu uzbrojeniu maszyn, a więc rurom i zaworom.



Rys. 7.1. Strona tytułowa I tomu *Podręcznika*

Autor stwierdza, że jedną z głównych zasad konstruowania jest wykorzystywanie nauki o wytrzymałości materiałów i dlatego we wstępie zawarte jest jej streszczenie. Jeśli chodzi o podstawowe terminy mechaniki, to pojęcie *siły* ma już treść zgodną z jego obecnym znaczeniem. *Praca mechaniczna* to iloczyn siły i drogi przebytej w kierunku siły. *Moc* jest iloczynem siły i prędkości poruszanego ciała; autor nazywa ją *skutkiem mechanicznym* lub *efektem*. Jednostką tej wielkości jest *metrokilogram w sekundzie* lub *siła konia*⁸.



Rys. 7.2. Karta tytułowa tomu I *Atlasu*

Terminologia dotycząca wytrzymałości jest bliska dzisiejszej, a więc mamy tu siły lub obciążenia, odkształcenia, sprężystość doskonałą i niedoskonałą, granicę sprężystości. Autor wyróżnia wytrzymałość ciał na proste stany obciążeń: rozciąganie, ściskanie, cięcie, zginanie, wyboczenie i skręcenie. Naprężenia, określające wytrzymałość na każde z tych obciążeń autor nazywa *spółczynnikami wytrzymałości* i przykładowo dla rozciągania definiuje jako „ilość μ kilogramów, potrzebnych do rozerwania pręta o jednostce kwadratowej przekroju”. W obliczeniach bierze pod uwagę tylko część tej wytrzymałości, dzieląc ją przez liczbę n , nazwaną *spółczynnikiem bezpieczeństwa*. Zwracają uwagę duże wartości zalecanych współczynników, np. dla wałów $n=15\div 20$, dla kół lanych (żeliwnych) $20\div 30$. Wielkość $t=\mu/n$, odpowiadającą pojęciu naprężeń dopuszczalnych, nazywa *dozwołonym obciążeniem na jednostkę przekroju* lub *natężeniem dozwołonym*. Moduł sprężystości (Younga) to *spółczynnik sprężystości*⁹.

Przy zginaniu stosowane są pojęcia momentu siły, momentu zgięcia, momentu bezwładności przekroju, osi i warstwy obojętnej, modułu przekroju (wskaźnika wytrzymałości na zginanie).¹⁰ Z punktu widzenia dzisiejszej terminologii charakterystyczny jest brak formułowanego explicite pojęcia naprężenia. Najczęściej jest to pojęcie opisowe, określane jako obciążenie lub liczba kilogramów, przypadająca na jednostkowy przekrój 1 mm^2 .¹¹

Warunek wytrzymałościowy, będący podstawowym kryterium konstruowania, wykorzystywany jest również w formie równości i służy najczęściej do wyznaczania obciążenia (zwykle maksymalnej bezpiecznej siły skupionej, wywołującej odpowiedni stan naprężeń). Autor stwierdza również, że możliwe jest zadanie odwrotne: „Przekrój, dla którego moment zgięcia posiada wartość największą, zwiemy przekrojem niebezpiecznym. Znając moment zgięcia i natężenie dozwołone k , możemy obliczyć wymiary przekroju z ilorazu I/e ”, tzn. ze wskaźnika wytrzymałości.¹²

W rozdziale o kołach zębatych mamy najpierw zasady ogólne, obliczanie wymiarów zęba ze względu na wytrzymałość, następnie teorię zazębnień, a kolejno konstrukcję kół walcowych, stożkowych i ślimakowych; pominięte zostały zaś koła hiperboloidalne. Rozdział zawiera również uwagi o technice wytwarzania.

W informacjach wstępnych czytamy, że koła służą do przenoszenia ruchu obrotowego; autor nie używa jeszcze pojęcia przekładni. Położenie wzajemne osi wpływa na rodzaj kół, tak więc mamy *koła zwykle albo czołowe* (osie równoległe), *koła stożkowe* (osie przecinające się) oraz *koła hyperboloidalne i ślimakowe* (osie skośne). Zasadnicze części koła to *piasta, ramiona i wieniec z zębami*. Stosunek promieni dwu współpracujących kół to *stosunek kół s* , wielkość zwana obecnie przełożeniem. Jest on równy:

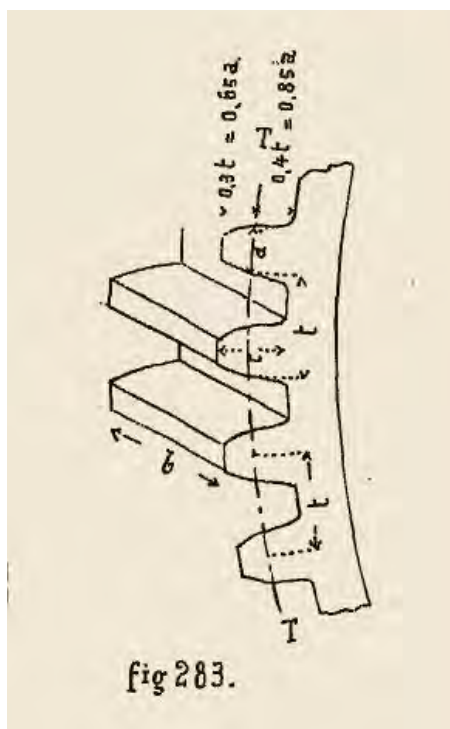
$$s = \frac{R}{R_1} = \frac{z}{z_1} = \frac{n_1}{n},$$

gdzie: R , R_1 , z , z_1 , n , n_1 – odpowiednio promień, ilości zębów i ilości obrotów na minutę współpracujących kół.

Autor rozróżnia koła walcowe o zazębieniu zewnętrznym i wewnętrznym, a także różnicuje dla nich wzory na przełożenie i odległość osi. Jeżeli dla zazębienia zewnętrznego odległość osi $A=R+R_1$, to dla zazębienia wewnętrznego $A=R-R_1$. Stąd np. promień koła R równy jest odpowiednio:

$$R = \frac{As}{s+1}; \quad R = \frac{As}{s-1}$$

Wprowadza pojęcie *kół stosunkowych* – pary teoretycznych kół związanych z współpracującymi kołami, mających ten sam stosunek promieni. Szczególnym ich przypadkiem są *koła stosunkowe* styczne do siebie – są to *koła podziałowe*.



Rys. 7.3. Główne wymiary zębów koła

Pojęcia dotyczące kształtu i wymiarów zęba, to *boki zęba*, *korona* czyli głowa i *korzeń* czyli stopa zęba. Wymiary charakterystyczne zęba to *grubość* a , *szerokość* b i *wysokość* c . Przestrzeń wrębu to *podział koła*. *Podział koła* t , czyli podziałka, jest ściśle związany z obwodem koła podziałowego i liczbą zębów: $t=2R\pi/z$. W podręczniku nie używa się jeszcze pojęcia modułu zazębienia.¹³ Rys. 7.3 pokazuje główne wymiary zębów¹⁴

Wyznaczanie wymiarów zęba jest już oparte na obliczeniach wytrzymałościowych. Przyjęty model obciążenia zęba to belka o grubości a i długości równej wysokości c ($c=1,5a$), zginana w najniekorzystniejszym przypadku przyłożoną na końcu siłą obwodową P , wynikającą z przenoszonego momentu. Autor wykorzystuje tu podany wcześniej wzór na naprężenia zginające, przy czym warunek wytrzymałościowy jest równością, a współczynnik k (naprężenia niszczące) jest przyjmowany w zależności od materiału ($k=28$ dla żelaza, $k=7$ dla drzewa). Wzór ten ma postać:

$$Pc = \frac{ba^2}{6}k$$

Celem obliczeń jest ustalenie *podziału* t , a podane dwie wartości k prowadzą do dwu postaci wzorów. Istotne jest też założenie, że grubość zęba drewnianego a_1 jest równa 1,5 grubości zęba żelaznego a , także – iż luz międzyzębny jest równy $0,15a$. Stąd podział:

$t = 2,15a$ dla zębów żelaznych oraz

$t = 2,65a$ gdy jedno koło ma zęby drewniane.

Kolejne zróżnicowanie postaci wzorów wynika ze sposobu zadania obciążenia: jako siły obwodowej, jako momentu, albo jako *skutku* (mocy) w *siłach konia* N i *ilości obrotów* n . Bezpieczeństwo konstrukcji zostało uwzględnione przez wprowadzenie *współczynnika bezpieczeństwa* σ , który w tych wzorach jest wielkością powiększającą obciążenie w zależności od rodzaju pracy. Zaleca się przyjmowanie wartości od $\sigma = 6$, *gdy koła nie doznają żadnych wstrząśnięć*, do $\sigma = 20$, *gdy występują znaczne wstrząśnienia, spowodowane przez nagłe i znaczne opory*. Ostateczna postać otrzymanego wzoru dla zębów żelaznych jest następująca¹⁵:

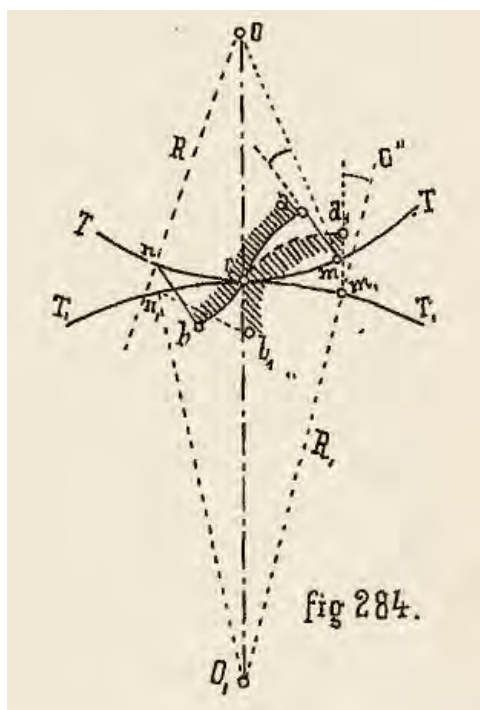
$$t = 1,219 \sqrt{\frac{a}{b}} \sqrt{P\sigma} = 188,5 \sqrt[3]{\frac{a}{b}} \sqrt[3]{\frac{N\sigma}{nz}}$$

Wyniki obliczeń *podziału* według tych wzorów zostały stabelaryzowane i umożliwiały czytelnikowi – bez wykonywania obliczeń – dobór tej wielkości dla danego obciążenia i założonego stosunku szerokości do grubości zęba b/a . Autor zaleca przyjmowanie tego stosunku w granicach od 4 do 8, przy czym koła najbardziej obciążone i poruszające się z dużymi prędkościami (tn. 150 obr/min i większymi) powinny mieć najwyższą z tych wartości.

Z pozostałych wymiarów koła zaleca przyjmowanie wysokości *korony* jako $0,3t$ tzn. $0,65a$, natomiast wysokości *korzenia* jako $0,4t$ czyli $0,85a$. Znajdujemy tu jeszcze ważną uwagę metodologiczną, aby obliczenia wymiarów odnosić do koła mniejszego, jako bardziej obciążonego¹⁶.

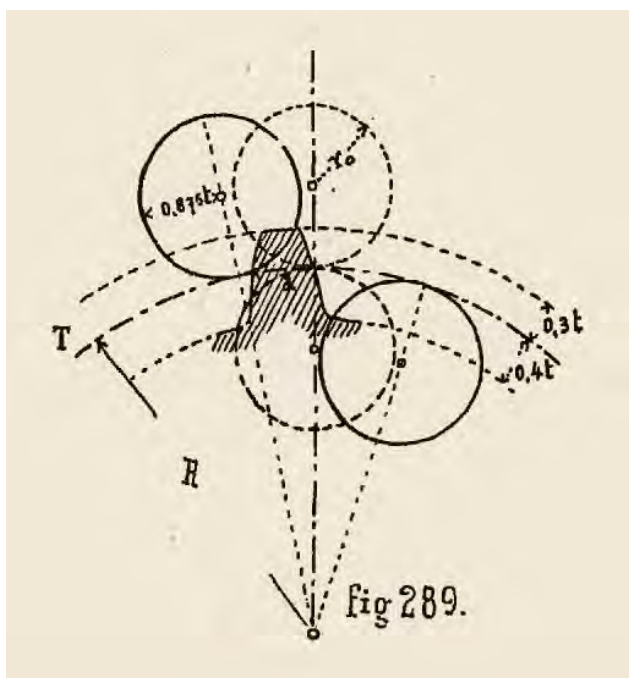
Rozpatrując zasady zazębienia i wynikające stąd wnioski dla kształtu zarysu zębów, autor stwierdza, że *podział* dla współpracujących kół musi być taki sam. Ponadto *obwody zębów* obu kół powinny się ciągle stykać, a normalna w punkcie styku powinna przechodzić przez punkt styku kół podziałowych. Udowadnia, że warunki te spełniają *rozmaite krzywe, a przede wszystkim cykloidy i rozwijające koła*.

W rozważaniach ogólnych autor podaje trzy sposoby rozwiązania zadania konstrukcyjnego, które formułuje jako wykreślenie kształtu koła, gdy dany jest kształt koła współpracującego. Opierają się one na symulacji wzajemnego toczenia się kół podziałowych i odtwarzaniu kolejnych położań punktów zarysów, zarówno sposobami wykreślnymi, jak i wzorNIKOWYMI.¹⁷ Przykład takiej konstrukcji podaje rys. 7.4. Dany jest ząb koła T o zarysie $a c b$, a wykreślany – ząb koła T_1 o zarysie $a_1 c b_1$.



Rys. 7.4. Kształtowanie zarysu zęba koła T_1 dla danego koła T

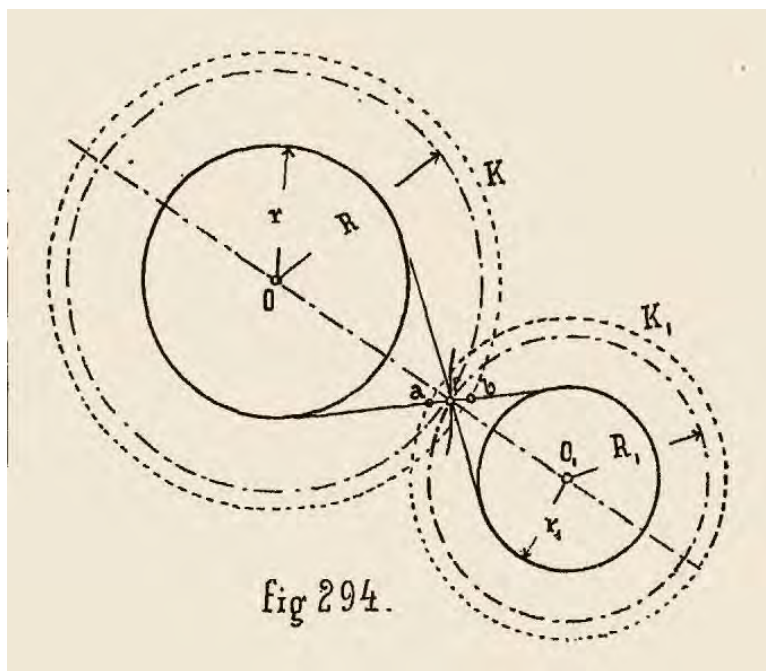
Następnie omawia konstrukcję zarysów cykloidalnych. Zęby cykloidalne mają kształty boków złożone z epicykloidy i hipocykloidy. W dokładnym zazębieniu zewnętrznym, zarys głowy zęba jest epicykloidą, a stopy – hipocykloidą. Krzywe te zakreśla punkt koła tworzącego, toczącego się po stronie zewnętrznej albo wewnętrznej koła podziałowego. Oryginalną ilustrację tej konstrukcji przedstawiono na rys. 7.5. Ponadto autor podaje wzór na promień koła tworzącego cykloidę w zależności od podziałki i liczby zębów, określa też minimalną liczbę zębów. Opisuje również sposób aproksymacji zarysów cykloidalnych za pomocą łuków kołowych oraz zasady konstrukcji *zazębienia płaskobocznego*, w którym korona ma kształt cykloidy, natomiast korzeń ma zarys prostoliniowy¹⁸.



Rys. 7.5. Konstrukcja zarysu cykloidalnego

Autor tłumaczy w ciekawy sposób zasadę powstawania i istotnych cech zarysów ewolwentowych. Zakłada myślowe utworzenie przekładni cięgnowej o promieniach kół pozostających w tym samym stosunku, co promienie kół podziałowych (rys. 7.6). Odwijaniu i nawijaniu cięgna na te koła towarzyszy

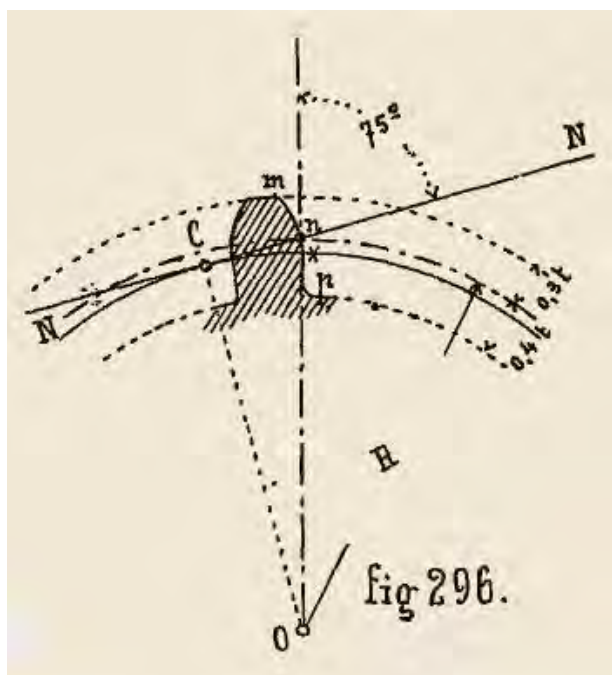
wykreślanie przez punkt na cięgnię w układach związanych z kołami krzywych, które są *rozwijającymi kół*. Według autora zarys ten jest najczęściej używany w konstrukcji tzw. *kół stosowych*. Pojęcie *stosu kół* oznacza zbiór kół o równym podziale. Dowolnie wybrana para z tego zbioru może się z sobą zazębiać, a każde z kół tego zbioru nazywane jest *kołem stosowym*¹⁹; dziś są to koła o tym samym module. Należy tu przytoczyć jeszcze dwa pojęcia, które autor wprowadza analizując proces kontaktu zębów podczas współpracy: *linia zazębienia* i *trwanie zazębienia*. Chodzi o linię przyporu i wielkość analogiczną do obecnej liczby przyporu.



Rys. 7.6. Powstawanie ewolwenty w zastępczej przekładni cięgnowej

Wiele uwagi poświęca autor zagadnieniu wykreślania zarysów bocznych zębów i podaje metody, dające się dość łatwo zastosować w ówczesnej praktyce warsztatowej. Podyktowane jest to przewidywaną techniką wykonania, o czym również wspominaemy w dalszej części rozdziału. Wyróżnia dwa rodzaje wykonania kół: ręczne i maszynowe. W wykonaniu ręcznym na bocznej powierzchni koła należało narysować rysikiem dokładny kształt zęba i wrębu,

a następnie obrabiać ręcznie dłutem i pilnikiem. Wśród innych wskazań, dotyczących dokładności wykonania, autor wspomina tu o konieczności bazowania na wykonanej we wcześniejszej operacji tokarskiej piaście z otworem. Do kształtowania linii zarysów służy cyrkiel lub wzornik. Wykonanie maszynowe to frezowanie lub struganie, jednakże używano tu specjalnych narzędzi kształtowych, do wykonania których również potrzebne było wykreślanie zarysu zęba i wrębu.²⁰ Stąd duża liczba metod wykreślnego aproksymowania krzywych stanowiących zarysy. Jednym z przykładów jest sposób wykreślania przybliżone rozwijającej koła dla zazębienia zewnętrznego według R. Willisa²¹, podany na rysunku 7.7.



Rys. 7.7 Wykreślanie przybliżonego zarysu ewolwentowego według R. Willisa

Interesujące są postulaty, które Stadtmüller formułuje w odniesieniu do dalszego rozwoju teorii i praktyki konstrukcji kół zębatych. Przede wszystkim uważa za pożądane wprowadzenie normalizacji, analogicznej do przyjętej dla gwintów. Jego zdaniem należałoby też zunifikować kształty i używać tylko jednej krzywej dla kształtowania zarysów zębów kół, najlepiej *rozwijającej koła*,

a inne kształty miałyby tylko wyjątkowe zastosowanie. Prócz propozycji ustalenia szeregu zalecanych liczb zębów podaje fundamentalny postulat, stanowiący do dziś podstawę unifikacji geometrii uzębień: żeby stosunek $t:\pi$ (obecny moduł) był liczbą całkowitą.

Wśród podanych zalet zazębienia ewolwentowego warto zwrócić uwagę na niższy koszt jego wykonania, a także na możliwość łatwego przesuwania zarysu bez wpływu na dokładność kinematyczną (dziś wykorzystuje się tę właściwość przy stosowaniu korekcji). Ponadto zauważa, że dla zazębienia *za pomocą rozwijającej koła* otrzymujemy bardzo prosty kształt zęba dla *pręta zębatego* (zębatki); jak wiadomo zarysem jest wówczas linia prosta. Z drugiej jednak strony mamy konieczność stosowania nie mniejszej niż 14 liczby zębów dla zapewnienia korzystnego kształtu zębów; w kołach o zazębieniu cykloidalnym liczba ta może być mniejsza. Nadto zazębienie cykloidalne charakteryzuje się mniejszym tarcieniem i zużyciem zębów.²² Należy stwierdzić, że rozważania na temat geometrii i kinematyki zazębienia mają zaawansowany pod względem matematycznym i kinematycznym charakter.

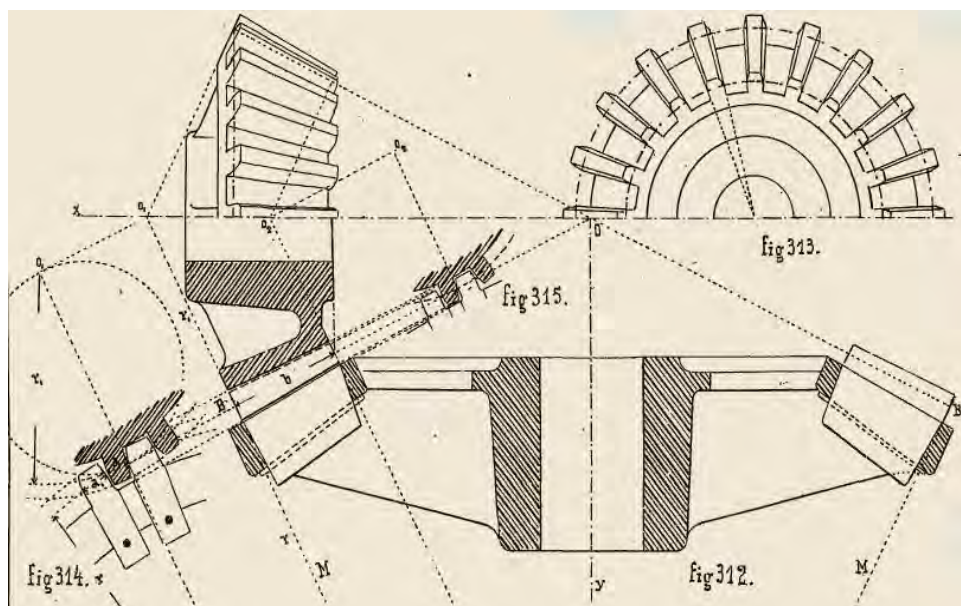
W podrozdziałach, poświęconych konstrukcji kół zębatych różnych typów autor zajmuje się zagadnieniami doboru wymiarów i materiałów, z odniesieniem do przewidywanej techniki wykonania²³ poszczególnych elementów kół, a więc piasty, wieńca z uzębieniem i ramion. Wśród wzorów i zaleceń zwraca uwagę powołanie się na dwóch czołowych dziewiętnastowiecznych przedstawicieli nauki o konstrukcji maszyn: F. Redtenbachera i F. Reuleaux²⁴.

Podane wzory mają bardzo szczegółową formę i są na ogół zaleceniami o charakterze empirycznym. Odstępstwem od tego jest sposób wyznaczenia wymiarów żeber ramion, łączących piastę z wieńcem, opierający się na obliczeniach wytrzymałościowych. Dla siły obwodowej P , promienia koła R , liczby ramion A , oraz przyjętego *spółczynnika wytrzymałości* $k=28$ (dla żelaza lanego) i *spółczynnika bezpieczeństwa* $=30$, po zastosowaniu wzoru na zginanie belki, autor otrzymuje zależności na wymiary $h \times m$ przekroju poprzecznego ramienia:

$$h = 1,75 \sqrt[3]{PR} = 156 \sqrt[3]{\frac{N}{n}} \quad m = 1,2 \frac{h}{A}$$

Opis kół stożkowych²⁵ rozpoczyna analiza kinematyki przekładni (rys. 7.8). Tworzące kół leżą na powierzchni *stożków głównych*; ich podstawą są *koła podziałowe*, na których mierzy się *podział* i *grubość zębów*. Prostopadłe do tworzących stożka głównego tworzą *stożek pomocniczy*. O ile stosunek promieni kół podziałowych równy jest $R : R_1 = n_1 : n$, to stosunek promieni kół stożków pomocniczych $r : r_1 = (n_1 : n)^2$. Wprowadza się zatem walcową przekładnię zastępczą, bowiem zarysy zębów tworzy się dla kół o promieniach r i r_1 i do niej odnosi wzory wytrzymałościowe i zasady zazębienia podane wcześniej dla przekładni walcowej. W dalszym ciągu w skrócie omówione zostały różnice w konstrukcji piasty, ramion i wieńca w stosunku do zasad kształtowania

1



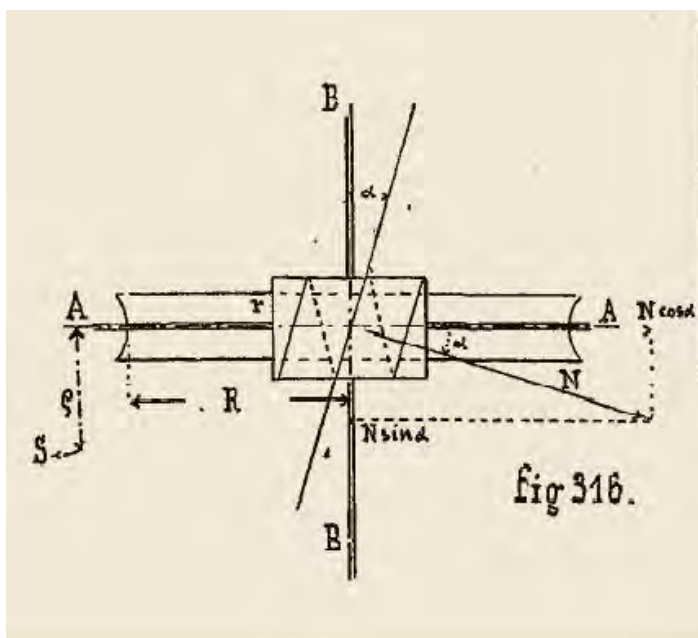
Rys. 7.9. Konstrukcja kół przekładni stożkowej

$$\frac{M}{m} = \frac{2R\pi}{t} = z$$

gdzie z – liczba zębów koła ślimakowego.

Jeżeli uwzględni się tarcie o współczynniku f , to wówczas ten związek przyjmie postać:

$$\frac{M_1}{m_1} = \frac{R}{r} \frac{1 - f \operatorname{tg} \alpha}{f + \operatorname{tg} \alpha} z \operatorname{tg} \alpha$$



Rys. 7.10. Geometria przekładni ślimakowej

Wyprowadzony więc został w ten sposób wzór na sprawność mechaniczną. Dla przykładowych wartości $f = 0,15$ i $\tan \alpha = 0,1$ autor otrzymuje wynik $M_1/m_1 = 0,394$ z i stwierdza, że w tej przekładni „mamy zaledwie 40% skutku użytecznego, a pozostałe 60% tracimy na tarcie samej śruby” i jako wniosek ze stosunkowo niewielkich wartości sprawności formułuje praktyczne ograniczenia zastosowania przekładni do przypadków małych obciążeń i niewielkich przemieszczeń, urządzeń pomiarowych i innych urządzeń, w których wykorzystuje się jej specyficzne własności kinematyczne. Liczba z świadczy bowiem tylko o przełożeniu kinematycznym, a nie siłowym.

W konstrukcji kół ślimakowych wyprowadzono wzory analogiczne do wzorów wytrzymałościowych na grubość zęba i podziałkę dla kół walcowych. Wytrzymałość zęba koła ślimakowego autor oblicza z warunku na zginanie, stosując wzór:

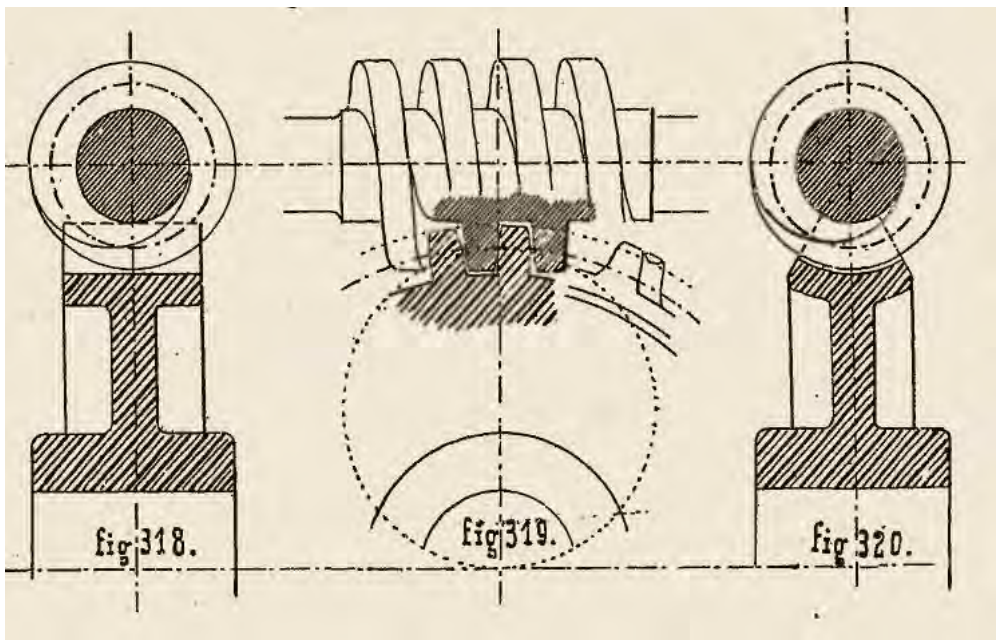
$$P_c = \frac{1}{6} b a^2 k = \frac{1}{6} b a^2 \frac{28}{\sigma}$$

Przy założeniu $b:a = 4$, $\tan \alpha = 0,1$ oraz $t = 2,15 a$ otrzymano:

$$t = 0,566 \sqrt{P\sigma} = 1,212 \sqrt[3]{\frac{PR}{z}} \sigma = 108 \sqrt[3]{\frac{N}{nz}} \sigma$$

Jeśli chodzi o wykreślanie zarysów, to stwierdzono, że zazębienie koła ślimakowego i ślimaka podobne jest do zazębienia koła walcowego i pręta zębatego (zębatki).²⁶

Rysunek konstrukcyjny zespołu ślimak – koło ślimakowe w dwóch wariantach kształtu zębów koła przedstawia rysunek 7.11. Podobnie jak rysunek przekładni stożkowej, w porównaniu do obecnych technik wizualizacji charakteryzuje się on daleko posuniętym realizmem w przedstawianiu uzębień. Niemniej jednak często stosowane są techniki widoków i przekrojów częściowych, a także widoczne jest dążenie do optymalnego wykorzystania powierzchni rysunkowej. Można zauważyć zgodne z obecnymi zasadami użycie linii kreskowej do oznaczania krawędzi niewidocznych, a linii punktowej do osi symetrii i kół podziałowych.



Rys. 7.11. Konstrukcja ślimaka i koła ślimakowego

Podręcznik Karola Stadtmüllera jest pierwszym podręcznikiem konstrukcji maszyn, który inicjuje wykorzystanie w tak szerokim zakresie wzorów matematycznych do obliczeń konstrukcyjnych, wprowadzając zarazem obliczenia wytrzymałościowe, które zwłaszcza w przypadku kół zębatach nie były wcześniej stosowane, aczkolwiek pewną ich zapowiedź znajdujemy w omówionym wyżej podręczniku Miechowicza. Nadaje to podręcznikowi Stadtmüllera rys przybliżający go do charakteru podręczników współczesnych.

Wydaje się, że jego rola i znaczenie są trudne do przecenienia. Zapewne przez wiele dziesiątków lat adepci inżynierii mechanicznej i sztuki konstrukcji mogli korzystać tylko z tego, pierwszego w literaturze polskiej, tak obszernego i specjalistycznego dzieła. Książki wydane w okresie międzywojennym posługują się wprawdzie pojęciami i terminami współczesnymi, ale zajmują się głównie geometrią i kinematyką ząbębien.

Dopiero nowoczesne podręczniki konstrukcji, które ukazały się kilka lat po II wojnie, tzn. książki poświęcone wyłącznie konstrukcji przekładni zębatach K. Ochęduski²⁷, czy *Wykład elementów maszyn* W. Moszyńskiego²⁸, zawierają, prócz obliczeń geometrycznych, także pełną metodykę obliczeń wytrzymałościowych. Autorzy wyróżniają, jako decydujące o wytrzymałości, zjawiska zginania zęba i nacisków powierzchniowych, przedstawiając sposoby obliczeń, uwzględniających oba te czynniki (wzory Lewisa i Hertza) Biorą też pod uwagę obciążenia cieplne (zagrzanie). Również i te podręczniki, które można uważać za kontynuację dzieła Stadtmüllera, przez wiele lat stanowiły podstawę edukacji inżynierów mechaników w dziedzinie konstrukcji maszyn.

Przypisy

¹ Karol J. Stadtmüller (1848-1918) urodził się we Lwowie. Po ukończeniu lwowskiej Akademii Technicznej, dalsze studia kontynuował w Szwajcarii w Zurychu, uzyskując dyplom inżyniera z zakresu budowy maszyn. Przez kilka następnych lat pracował w różnych zakładach przemysłowych w Bernie, Berlinie i Warszawie. W 1878 roku zamieszkał w Krakowie, podejmując pracę wykładowcy w tamtejszym C. K. Instytucie Techniczno-Przemysłowym (od 1881 C. K. Wyższej Szkole Przemysłowej), gdzie prowadził wykłady z zakresu budowy i konstrukcji maszyn oraz mechaniki stosowanej.

² K. Stadtmüller: *Podręcznik do konstrukcji maszyn dla inżynierów, mechaników i uczniów szkół technicznych*. Napisał Karol Stadtmüller, profesor c. k. wyższej szkoły przemysłowej w Krakowie. Tom I z 35 figurami w tekście i atlasem z 20 tablicami in folio. Kraków, nakładem autora, 1888. Tom II z 5 drzeworytami w tekście i atlasem z 22 tablicami in folio. Kraków, nakładem autora, 1890. Tom I oraz Atlas dostępne w wersji cyfrowej:

<http://bcpw.bg.pw.edu.pl/dlibra/doccontent?id=967&from=FBC>

oraz <http://bcpw.bg.pw.edu.pl/dlibra/doccontent?id=969&from=FBC>.

³ Treść rozdziału nawiązuje do wcześniejszego artykułu autorów: K.Pylak, K.Schabowska: *Obliczenia kół zębatach w pierwszym polskim podręczniku konstrukcji maszyn*, [w:] W.Taranenko (red.) Podstawy Informatyczne w Organizacji Produkcji, Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin 2009, s. 110-122, w którym podano ogólne omówienie metody obliczeń kół zębatach podanej przez Stadtmüllera.

⁴ F. Kucharzewski pisze, że pierwszy tom spotkał się z wielkim uznaniem i na dowód przywołuje pozytywne recenzje J. N. Frankego („Czasopismo Techniczne” r. 1888, s. 179) i S. Lisieckiego (Przegląd Techniczny r. 1889, s. 231). Dodaje, iż w opiniach „podnoszono zwłaszcza odsyłacze do czasopism specjalnych, podanie nazw części maszyn w czterech obcych językach, dość bogaty materiał zawarty w szkicach bardzo starannie wykonanych, wreszcie czysty i poprawny język, wolny od przekreślonych nazw cudzoziemskich” (por. F. Kucharzewski, *Piśmiennictwo Techniczne Polskie. T.III – Mechanika. „Przegląd Techniczny”, Tom LI, Nr 40, 1913, s. 523*).

⁵ Dwa wydane tomy *Podręcznika* były też pierwszymi tomami *Konstrukcji i budowy maszyn*. Pozostałe tomy to: Konstrukcja i budowa maszyn. Tom III. Teoria, konstrukcja i budowa wyciągów. Z atlasem 22 tablic i rysunkami w tekście. Kraków 1891. Konstrukcja i budowa maszyn. Tom IV. Pompy, Teoria, konstrukcja i budowa pomp, czyli przyrządów do podnoszenia, i wytłaczania cieczy i gazów. Kraków 1893. Konstrukcja i budowa maszyn,

Tom V. Teorya, konstrukcyja, i budowa kół wodnych i turbin z atlasem 20 tablic i rysunkami w tekście. Kraków 1896. Konstrukcyja i budowa maszyn. Tom VI. Obliczanie, konstrukcyja i budowa maszyn parowych, z atlasem in folio i rysunkami w tekście. Kraków 1896/7.

⁶ Efektem jego działalności na tym polu było wydanie w 1913 roku w Krakowie, liczącego 80 tys. haseł *Niemiecko-polskiego słownika technicznego*. Rozpoczętej pracy nad słownikiem technicznym polsko-niemieckim, K. Stadtmüller już nie ukończył – zmarł 14 VII 1918 roku w Krakowie. Uczynił to jego syn – Karol Stadtmüller junior, publikując polsko-niemiecką część *Słownika technicznego*, gdzie jako współautora umieścił swego ojca. Por. J. Piłatowicz: *Stadtmüller Karol*. W: *Słownik biograficzny techników polskich*. Federacja Stowarzyszeń Naukowo – Technicznych, Warszawa 2002, zeszyt 13, str. 149 – 151.

⁷ Był to okres powstawania polskiego słownictwa technicznego. Polscy inżynierowie i technicy spotykali się z ugruntowanym już kanonem słownictwa funkcjonującego w językach obcych, a na ziemiach polskich proces utrwalania się systemu pojęć technicznych był utrudniony. Prócz oczywistego opóźnienia postępu technicznego przeszkodą było także trwające już wiek rozdzielanie ziem polskich pomiędzy trzech zaborców i zróżnicowanie ich polityki wobec kultywowania przez Polaków własnej kultury i języka. O wadze tych zagadnień dla ówczesnych techników przekonują nas liczne wzmianki i artykuły w prasie technicznej, np. apel redakcji o stałą wymianę zdań na temat terminologii polskiej: *W sprawie polskiego słownictwa technicznego*, Przegląd Techniczny R. XXII, 1896, nr 8, s. 222-223, uwagi recenzentów książek i artykułów, dotyczące słownictwa, a także działalność komisji językowych Akademii Umiejętności i towarzystw technicznych.

⁸ *Podręcznik do konstrukcyi maszyn [...]* tom I, dz. cyt., s.2.

⁹ Tamże, s. 6-7.

¹⁰ Tamże, s. 9-14.

¹¹ Oczywiście dziś pojęcie naprężenia i jego jednostek w ostatnim dwudziestoleciu XIX wieku jeszcze nie było akceptowane. W ówczesnej literaturze można spotkać kilka różnych określeń i definicji. Głównie używane było określenie *natężenie*, definiowane jako *siła w kg. działająca na cm² lub mm²*. Na przykład w omówieniu pracy K. Obrębowicza z Przeglądu Technicznego 1884 pt. *O znaczeniu naprężeń(napięć) wywołanych działaniem sił prostopadłych do przekroju* M. Thullie krytykuje używanie obu pojęć (naprężenie i napięcie), preferując *natężenie* (por. *Czasopismo Techniczne*, R. III, 1885, nr 7, s. 91-92. Kazimierz Obrębowicz (1853-1913), inżynier budowlany, projektant m.in. systemów ogrzewania i wentylacji, inicjator powołania Instytutu Politechnicznego w Warszawie, dr h.c. Szkoły

Politechnicznej we Lwowie. Maksymilian Thullie (1853-1939), polski inżynier, od 1890 r. profesor budowy mostów i rektor (1894-95) Politechniki Lwowskiej, dr h. c. Politechniki Warszawskiej, chadecki senator II RP. Jeszcze w 1898 r. w artykule K. Miłkowskiego spotykamy sformułowania: *wytrzymałość bezwzględna B – ilość obciążenia wyliczonego na 1 mm², która spowoduje zerwanie. Stopień pewności – stosunek B do największej dopuszczalnej napiętości S* (Przegląd Techniczny, R. XXIV, nr 27, s. 457).

¹² *Podręcznik do konstrukcji maszyn* [...] tom I, dz. cyt., s. 11.

¹³ Tamże, s. 145-147.

¹⁴ Wszystkie ilustracje w tym rozdziale zaczerpnięte zostały ze stanowiącego załącznik do tomu I *Podręcznika* [...] wydawnictwa *Atlas do konstrukcji i budowy maszyn*, rysował Karol Stadtmüller. Tom I. Kraków, nakładem autora, 1888.

¹⁵ Por. tamże, s. 147-149.

¹⁶ Por. tamże, s. 150-152.

¹⁷ Tamże, s. 152-156.

¹⁸ Tamże, s. 156-159.

¹⁹ Tamże, s. 159-161.

²⁰ Por. tamże, s. 175-176: „Nie zdejmując koła z tokarki, kreślimy z obu stron zębów koło podziałowe za pomocą ostrego noża czyli igły. [...] Następnie zdejmujemy koło z tokarki, aby koło podziałowe podzielić według ilości zębów. To dzielenie musi być jak najdokładniej wykonane, i tak często powtarzane, aż się zupełną dokładność osiągnie. [...] Środki zębów uwidocznią się znacznikiem (Körner) i odcina się połowę grubości zęba z każdej strony punktu podziału. Następnie rysuje się bok zęba cyrklem lub wzorcem, odcinając grubszą warstwę dłutem, a następnie gładząc pilnikiem.”

²¹ Robert Willis (1800-1875), angielski inżynier, duchowny i profesor Uniwersytetu Cambridge, członek Royal Society. Najważniejsza praca z dziedziny mechaniki to wydane w 1851 roku *Principles of Mechanism*. Prócz tego prace z dziedziny akustyki i architektury.

²² Por. *Podręcznik do konstrukcji maszyn* [...] tom I, dz. cyt., s. 161-162.

²³ Zarys techniki wykonania Stadtmüller podaje na s. 174-177. Paragraf ten jest interesujący, bowiem daje wyobrażenie o stanie technologii mechanicznej przy końcu XIX wieku. Ponieważ podstawowym materiałem kół było wówczas żelazo lane, wiele uwagi poświęca autor na wskazówki dotyczące przygotowania modeli odlewniczych i procesu formowania. Jeżeli koła

przeznaczone są do dokładnego przenoszenia ruchu, to prócz zwykłego wytoczenia piasty konieczna jest dokładna obróbka odlanych zębów – ręczna lub maszynowa. Wykańczanie ręczne za pomocą dłuta i pilnika przeprowadzano po wytrasowaniu na powierzchni bocznej wieńca koła podziałowego i zarysów zębów. Wykańczanie maszynowe realizowane było na strugarce lub frezarce, przy czym rysowanie zarysów zębów także było konieczne, dotyczyło jednakże kształtu narzędzia. Duże koła odlewane były w częściach, a poszczególne segmenty należało sztywno połączyć jeszcze przed obróbką mechaniczną. Zaletą zębów drewnianych, wykonywanych zwykle z dobrze wysuszonego drewna grabowego, była cicha i dokładna praca, niższy koszt, łatwość obróbki i wymiany zużytych i uszkodzonych zębów. Operacje kończące proces wykonania koła to wyrównoważenie, a następnie wykonanie w piaście rowka na klin. Ta ostatnia operacja mogła być wykonana zarówno ręcznie, przy pomocy dłuta i drewnianego przyrządu, albo też maszynowo na strugarce pionowej.

²⁴ Tamże, s. 156, 163, 169. Ferdynand Redtenbacher (1809-1863), austriacki mechanik, twórca opartej na podstawach naukowych nauki konstrukcji, pracował głównie na Politechnice w Karlsruhe jako profesor mechaniki i rektor uczelni. Franz Reuleaux (1829-1905), niemiecki teoretyk konstrukcji maszyn, prekursor teorii mechanizmów jako dyscypliny naukowej wspomagającej konstrukcję, twórca pełnej klasyfikacji maszyn, pracował na Politechnice w Berlinie.

²⁵ Tamże, s. 166-168.

²⁶ Por. tamże, s. 169-173.

²⁷ Ochęduszek K.: *Koła zębate w przystępnym zarysie. T. I. Konstrukcja*. Instytut wydawniczy SIMP, Warszawa 1947 oraz Ochęduszek K.: *Koła zębate. T. I. Konstrukcja*. Wydanie 1. PWT, Warszawa 1954.

²⁸ Moszyński W.: *Wykład elementów maszyn. Część III – Napędy*. Wydanie III. PWT, Warszawa 1954.

8. Podsumowanie

Celem autorów niniejszego opracowania było zestawienie i analiza treści, dotyczących konstrukcji przekładni zębatych, zawartych w piśmiennictwie technicznym wydanym w języku polskim od końca XVII do końca XIX wieku. Skupiono się przy tym na problematyce obliczeń konstrukcyjnych i związanego z nimi systemu pojęć. Sformułowano również uwagi na temat sposobów graficznego przedstawiania przekładni i ich elementów dla celów tworzenia dokumentacji konstrukcyjnej. Trzech polskich autorów, których prace szerzej tu przedstawiono, to: Stanisław Solski – jezuita, technik samouk, Franciszek Miechowicz – inżynier mechanik, absolwent paryskiej Ecole Polytechnique, profesor Uniwersytetu Kijowskiego oraz Karol Stadtmüller – inżynier mechanik, profesor C. K. Szkoły Przemysłowej w Krakowie. Pierwsza z analizowanych prac, *Architekt polski*, wydana została w ostatnich latach XVII wieku, druga, *Teoryja Machin*, w latach dwudziestych XIX wieku i trzecia – *Podręcznik do konstrukcji maszyn* – w ostatnich latach XIX wieku. Oczywiście jest, że każdy z autorów dysponował zupełnie innym stanem wiedzy, inną też wiedzę i potrzeby posiadali czytelnicy każdego z tych dzieł.

Tak więc omawiany okres to dokładnie dwa wieki rozwoju polskiej myśli technicznej. Jest to okres tym ciekawszy, że rozpoczyna się wówczas, gdy wynalzcami i twórcami maszyn byli jeszcze nieliczni rzemieślnicy, a kończy wtedy, gdy na ziemi polskiej wkroczyła w pełni rewolucja przemysłowa. Obserwowana zwłaszcza w obszarze wynalazków i nowych rozwiązań techniczno-organizacyjnych, wpłynęła również na tworzenie i systematyzowanie wiedzy, związanej z budową maszyn. W opracowaniu wykazano, że był to okres systematycznego rozwoju myśli technicznej i powstawania dyscypliny naukowej, zajmującej się problematyką i metodologią konstruowania maszyn.

Pierwszy z autorów, S. Solski, omawiając tematykę przekładni zębatych podał bardzo przejrzysty i łatwy w zastosowaniu tok obliczeń własności geometrycznych. Pisząc, jak sam określał, „dla prostych młynarzy”, redukując do minimum działania matematyczne, opracował wygodną w zastosowaniu tabelę pozwalającą na dobór elementów przekładni.

Franciszek Miechowicz, zajmując się głównie sposobem obliczeń własności geometrycznych, uwzględnił również w konstrukcji, choć w niewielkim zakresie, kryterium wytrzymałości kół. W efekcie stworzył podręcznik do konstrukcji, „...dla mechaników praktycznych, dla konstruktorów maszyn”,

w którym obok zagadnień teoretycznych, zwraca uwagę na praktyczne problemy konstruowania.

Z kolei Karol Stadtmüller jest autorem właściwie już nowoczesnego podręcznika akademickiego z dziedziny podstaw konstrukcji maszyn, wykorzystującego w szerokim zakresie aparat matematykę do obliczeń konstrukcyjnych. Dla kół zębatych wprowadzono tu obliczenia wytrzymałościowe, których zaczątki można znaleźć u Franciszka Miechowicza.

Mimo iż autorów dzielą dwa stulecia oraz warunki w jakich działali, łączy ich to, że pisali po polsku i byli w dużej mierze twórcami polskiego języka technicznego. Kiedy Stanisław Solski tworzył *Architekta polskiego*, cała licząca się w nauce europejskiej literatura wydawana była w języku łacińskim. Franciszek Miechowicz oraz Karol Stadtmüller żyli z kolei w czasach kiedy nie istniało w ogóle państwo polskie, a działania na polu rozwijania polskiej kultury i języka nie były traktowane przyjaźnie przez zaborców. Stąd też na fakt tworzenia piśmiennictwa technicznego w języku polskim trzeba spojrzeć jako na patriotyczną pracę u podstaw.

Rewolucja naukowo-techniczna na ziemiach polskich przebiegała inaczej i później, aniżeli w krajach Europy zachodniej. Stąd też inne były warunki do kształtowania się w środowiskach polskiej inteligencji technicznej specjalistycznej terminologii zawodowej. Nie mniej jednak docierała na ziemie polskie literatura obcojęzyczna, a Polacy kształcili się w wielu uczelniach europejskich. Zamiar pisania podręczników technicznych w języku polskim wymógł zatem na ich autorach wspomnianą już, niezmiernie ważną powinność – stworzenia oryginalnego słownictwa technicznego albo przeniesienia terminów technicznych z innych języków na grunt polski. Ten aspekt analizowanych dzieł został również omówiony w niniejszym opracowaniu.

Poza wymienionymi trzema głównymi dziełami, istotnym dla historii techniki, chociaż krótkim momentem jest dwuletni epizod „Dziennika Ekonomicznego Zamojskiego” z początku XIX wieku. Wykazano, że czasopismo przekazało czytelnikom znaczący zestaw informacji, metod i wskazówek, ułatwiających praktyczne konstruowanie przekładni zębatych. Pismo to powstało równolegle z manufakturą zwierzyńską, gdzie produkowano narzędzia i maszyny rolnicze. Stąd też zapewne w „Dzienniku” tak wiele odniesień do technicznych zagadnień praktycznych.

Przytoczone i omówione w niniejszym opracowaniu dwie prace autorów francuskich – E. Bezouta oraz G. Monge’a – są przykładem, że starano się aby i literatura techniczna wydawana w innych krajach trafiała w formie przekładów do naszych czytelników. Problemy z polskim słownictwem technicznym dotyczyły również tłumaczy tych książek.

Wydaje się, że w przedstawionym opracowaniu wykazano, iż w polskiej myśli i praktyce technicznej wieków od XVII do XIX problematyka konstrukcji przekładni zębatych zawsze była obecna i zajmowała właściwe dla niej miejsce, zależne od stopnia wykorzystania tych mechanizmów w budowie maszyn.

Metody konstrukcji, słownictwo i sposób odwzorowywania podlegały procesowi ewolucji i rozwoju, zmierzającego do ukształtowania się w wieku XX dyscypliny konstruowania przykładni jako szczegółowej dziedziny nauki o konstrukcji maszyn.

Spis ilustracji

- Rys. 2.1. Karta tytułowa *Architekta polskiego*
- Rys. 2.2. Młyn wozowy
- Rys. 2.3. Przekładnia w młynie trybowym
- Rys. 2.4. Młynek domowy do kasz
- Rys. 2.5. Przekładnia piły wodnej
- Rys. 2.6. Piła konna
- Rys. 2.7. System czerpania wody ze studni do podlewania w ogrodach.
- Rys. 2.8. Schemat kinematyczny mechanizmu „Średniego zegara z wagami i perpendykulem
- Rys. 3.1. Karta tytułowa *Nauki matematyki* E. Bézouta
- Rys. 4.1. Karta tytułowa pierwszego numeru „Dziennika Ekonomicznego”
- Rys. 4.2. Widok mechanizmu napędu młyna pociężnego
- Rys. 4.3. Młyn ciągły z jednym kołem
- Rys. 4.4. Rzut główny rysunku młyna ręcznego z elementami zamachowymi
- Rys. 4.5. Młyn krymski
- Rys. 4.6. Ilustracje młocarni Gutkowskiego
- Rys. 5.1. Strona tytułowa *Wykładu Statyki* Monge’a
- Rys. 6.1. Strona tytułowa podręcznika Miechowicza
- Rys. 6.2. Schemat wyciągarki z przekładnią zębatą
- Rys. 7.1. Strona tytułowa I tomu *Podręcznika*
- Rys. 7.2. Karta tytułowa tomu I *Atlasu*
- Rys. 7.3. Główne wymiary zębów koła
- Rys. 7.4. Kształtowanie zarysu zęba koła T_1 dla danego koła T
- Rys. 7.5. Konstrukcja zarysu cykloidalnego
- Rys. 7.6. Powstawanie ewolwenty w zastępczej przekładni cięgnowej

Rys. 7.7 Wykreślanie przybliżonego zarysu ewolwentowego według R. Willisa

Rys. 7.8. Geometria i kinematyka przekładni kątowej

Rys. 7.9. Konstrukcja kół przekładni stożkowej

Rys. 7.10. Geometria przekładni ślimakowej

Rys. 7.11. Konstrukcja ślimaka i koła ślimakowego

Bibliografia źródeł cyfrowych

1. E. Bezout: *Nauka matematyki do użycia artylerii francuskiej napisana przez P. Bezout, Towarzysza Akademii Nauk, i Marynarskiej, a dla pożytku pospolitego, osobliwie dla Korpusu Artylerii Narodowej, na Polski język przełożona. Tom czwarty. Zawierający w sobie Przystosowanie zasad powszechnych MECHANIKI, do różnych przypadków Ruchu i Równowagi.* W Warszawie R.P. M.DCC.LXXXII.

<http://bcpw.bg.pw.edu.pl/dlibra/doccontent?id=134&from=FBC>

2. F. Kucharzewski: *Bibliografia polska techniczno – przemysłowa: obejmująca prace drukowane oddzielnie, w czasopismach lub znane z rękopismu, we wszystkich działach techniki i przemysłu.* Red. „Przeglądu Technicznego”, Warszawa 1894. <http://www.polona.pl/dlibra/doccontent?id=16383&from=FBC>

3. F. Kucharzewski: *Czasopiśmiennictwo techniczne polskie przed rokiem 1875.* Warszawa 1904. <http://www.polona.pl/dlibra/doccontent?id=16384&from=FBC>

4. F. Kucharzewski: *Piśmiennictwo techniczne polskie.*

Tom pierwszy. I. Architektura. – II. Inżynieria z miernictwem. Warszawa 1911.

Tom drugi. III. Mechanika z technologią mechaniczną i elektrotechniką. IV. Technologia chemiczna. Warszawa 1921.

Tom trzeci. V. Górnictwo i hutnictwo. Warszawa 1921.

T.I: <http://www.polona.pl/dlibra/doccontent?id=13459&from=FBC>

T 2 : <http://www.polona.pl/dlibra/doccontent?id=13896&from=FBC> .

T. 3: <http://www.polona.pl/dlibra/doccontent?id=13897&from=FBC>

5. F. Miechowicz: *Teoryja machin podająca łatwe ich wyrachowanie dla gospodarzy, mechaników praktycznych i konstruktorów machin* przez Franciszka Miechowicza, Nauczyciela i Rządcę Instytutu Mechaników w Liceum Wołyńskim. Warszawa, 1828.

<http://bc.pollub.pl/dlibra/doccontent?id=297&from=FBC>

6. *Początki trygonometrii płaskiej przez Michała Pelkę Polińskiego, filozofii doktora, nauczyciela matematyki w Gimnazjum Wileńskim.* Wilno 1816; *Trygonometria prostolinijna i sferyczna, zebrana z najznakomitszych dzieł francuskich i wedle metod i not P. G.-H. Niewęgłowskiego przez Witolda Turno.* Poznań 1857. <http://books.google.pl/>.

7. G. Monge: *Początki statyki. Wykład statyki Dla użycia szkół wydziałowych i ojewódzkich,* przez G. Monge. Wydanie Piąte, Przejrzone przez P. Hachette. Przetłumaczył Onufry Lewocki. W Warszawie 1820.

<http://bcpw.bg.pw.edu.pl/dlibra/doccontent?id=156&from=FBC>

8. R. Buchanan: *Practical Essays on Mill Work and other Machinery*, 1814. III wydanie książki (London 1841) <http://books.google.pl/>

9. S. Soliski: *Architekt polski to jest nauka ulżenia wszelkich ciężarów. Używania potrzebnych machin, ziemnych i wodnych. Stawiania ozdobnych kościołów małym kosztem. O proporcji rzeczy wysoko stojących. O wschodach i pawimentach. Czego się chronić i trzymać w budynkach od fundamentów aż do dachu. O fortyfikacji. I o inszych trudnościach budowniczych*. Dzieło wydane w 1690 roku w Krakowie, w drukarni Jerzego i Mikołaja Schedlów, http://www.pbi.edu.pl/book_reader.php?p=52792
<http://www.dbc.wroc.pl/dlibra/doccontent?id=1724&from=FBC>

10. S. Soliski: *Geometra polski to jest nauka rysowania, podziału i rozmierzania linii, angulów, figur i brył pełnych*. Dzieło wydano 3 tomach w latach 1683, 1684 i 1686 w Krakowie. http://www.pbi.edu.pl/book_reader.php?p=52793
<http://www.dbc.wroc.pl/dlibra/doccontent?id=1723&from=FBC>

11. K. Stadtmüller: *Podręcznik do konstrukcyi maszyn dla inżynierów, mechaników i uczniów szkół technicznych*. Napisał Karol Stadtmüller, profesor c. k. wyższej szkoły przemysłowej w Krakowie. Tom I z 35 figurami w tekście i atlasem z 20 tablicami in folio. Kraków, nakładem autora, 1888. Tom II z 5 drzeworytami w tekście i atlasem z 22 tablicami in folio. Kraków, nakładem autora, 1890. T.I:

<http://bcpw.bg.pw.edu.pl/dlibra/doccontent?id=967&from=FBC>

Atlas: <http://bcpw.bg.pw.edu.pl/dlibra/doccontent?id=969&from=FBC>

12. T. Żebrawski : *Bibliografja piśmiennictwa polskiego z działu matematyki i fizyki oraz ich zastosowań*. T.I, T.II, Warszawa 1873. Reedycja, wyd. IHNOiT PAN, Warszawa 1992.

<http://ebuw.uw.edu.pl/dlibra/doccontent?id=6215&from=FBC>