

Politechnika Łódzka

ZESZYTY NAUKOWE Nr 1149

MACIEJ KUCHAR

WIBRACYJNE ZAGĘSZCZANIE WĄTKÓW
W KROŚNIE TKACKIM

ŁÓDŹ 2013

POLITECHNIKA ŁÓDZKA

ZESZYTY NAUKOWE Nr 1149

ROZPRAWY NAUKOWE, Z. 442

MACIEJ KUCHAR

WIBRACYJNE ZAGĘSZCZANIE WĄTKÓW
W KROŚNIE TKACKIM

ŁÓDŹ 2013

ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ
SCIENTIFIC BULLETIN
OF THE LODZ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
BULLETIN SCIENTIFIQUE
DE L'UNIVERSITÉ POLYTECHNIQUE DE LODZ
НАУЧНЫЕ ЗАПИСКИ
ЛОДЗИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
WISSENSCHAFTLICHE HEFTE
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT IN LODZ

Redaktor Naukowy Wydziału: **prof. dr hab. inż. Tomasz Kapitaniak**

Recenzenci: **dr hab. inż. Jan Wojtysiak, prof. ITeE-PIB**
dr hab. inż. Włodzimierz Świdorski, prof. PŁ

© Copyright by Politechnika Łódzka 2013

Adres Redakcji – Адрес Редакции – Editor's Office
Adresse de Redaction – Schriftleitungsadresse:

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ
90-924 Łódź, ul. Wólczańska 223
tel./fax 42-684-07-93
e-mail: zamowienia@info.p.lodz.pl
www.wydawnictwa.p.lodz.pl

ISSN 0137-4834

Nakład 140 egz. Ark. druk. 10. Papier offset. 80 g, 70 x 100
Druk ukończono w marcu 2013 r.
Wykonano w Drukarni Quick-Druk, 90-562 Łódź, ul. Łąkowa

SPIS TREŚCI

ZESTAWIENIE WAŻNIEJSZYCH SYMBOLI	6
STRESZCZENIE.....	7
WPROWADZENIE.....	9
1. BUDOWA WIBRACYJNEGO MECHANIZMU BIDŁOWEGO, NA STANOWISKU BADAWCZYM	12
1.1. Ogólny opis stanowiska badawczego.....	12
1.2. Parametry ruchu wibracyjnego płochy	13
1.3. Warianty koncepcji mechanizmu wibracyjnego oparte na podatnej płosze tkackiej.....	14
1.3.1. Statyczna linia ugięcia trzcinki płochy	15
1.3.2. Dynamiczna linia ugięcia trzcinki płochy, postać drgań	17
1.3.3. Wyteżenie materiału trzcinki podciętej	20
1.3.4. Niebezpieczeństwo zwichrzenia (deplanacji) trzcinki pełnej	21
1.4. Warianty konstrukcji wzbudnika ruchu wibracyjnego płochy	23
1.4.1. Wzbudzenie elektromagnetyczne.....	23
1.4.2. Wzbudzenie magnetostrykcyjne	25
1.4.3. Wzbudzenie magnetoelektryczne.....	27
1.5. Rozbudowa układu kontroli napięcia osnowy	35
1.5.1. Układ pasywny zasilania osnową strefy tkania.....	35
1.5.2. Układ aktywny zasilania osnową strefy tkania	37
1.6. Instrumentarium do realizacji pomiarów na stanowisku badawczym.....	42
1.6.1. Instrumentarium badawcze do pomiarów ruchu wibracyjnego płochy	43
1.6.2. Instrumentarium badawcze do pomiaru przemieszczenia bidła podczas dobicia	52
1.6.3. Instrumentarium badawcze do pomiaru napięcia osnowy	53
2. IDENTYFIKACJA DYNAMIKI UKŁADU WIBRACYJNEGO PŁOCHY	55
2.1. Model dynamiczny układu wibracyjnego płochy	55
2.2. Sztywność i częstotliwość rezonansowa układu wibrującego	55
2.2.1. Trzcinka w układzie belki sprężystej.....	55
2.2.2. Trzcinka podcięta w układzie z dodatkowym elementem sprężystym	57
2.3. Badania tłumienia układu wibracyjnego	57
2.4. Badanie i analiza siły wzbudzającej ruch wibracyjny	61
2.5. Krzywe rezonansowe układu wibracyjnego	65

2.5.1. Płocha z trzcinkami pełnymi wibrującymi w układzie belki sprężystej	65
2.5.2. Płocha z trzcinkami podciętymi i z dodatkowym elementem sprężystym	66
2.6. Weryfikacja doświadczalna modelu dynamicznego	67
2.7. Zapotrzebowanie na moc wzbudnika wibracji płochy	68
3. BADANIA STANOWISKOWE WIBRACYJNEGO ZAGĘSZCZANIA WĄTKÓW	70
3.1. Badania obciążenia bidła i osnowy oraz osiągniętego zagęszczenia wątków, mechanizm bidłowy z elektromagnetycznym wzbudzeniem wibracji płochy	70
3.1.1. Statyczne posadowienie wzbudników	70
3.1.2. Wzbudniki posadowione na bidle	72
3.2. Badania obciążenia bidła i osnowy oraz osiągniętego zagęszczenia wątków, mechanizm bidłowy z magnetoelektrycznym wzbudzeniem wibracji płochy	75
3.2.1. Układ pasywny zasilania osnową strefy tkania	76
3.2.2. Kwestia doboru wątku	82
3.2.3. Układ aktywny zasilania osnową strefy tkania	85
4. BADANIA SYMULACYJNE WIBRACYJNEGO ZAGĘSZCZANIA WĄTKÓW	94
4.1. Modelowanie oporów ruchu wątku w strefie zagęszczania	94
4.1.1. Strefa tworzenia tkaniny	94
4.1.2. Strefa oddziaływań układu osnowa-tkanina na wątek	97
4.1.3. Oddziaływania płochy na wątek podczas wycofywania płochy po dobiegu	99
4.2. Opis numerycznych, symulacyjnych modeli zagęszczania	101
4.2.1. Wariant z dynamicznym wzbudzeniem ruchu wibracyjnego płochy	101
4.2.2. Wariant z kinematycznym wzbudzeniem ruchu wibracyjnego płochy	102
4.2.3. Modelowanie dynamiki bidła z podatną płochą	103
4.2.4. Opis modelu numerycznego symulacji dynamicznych	106
4.3. Identyfikacja i weryfikacja dynamicznego modelu symulacyjnego w oparciu o wyniki badań stanowiskowych	108
4.3.1. Identyfikacja modelu ruchu wibracyjnego płochy	108
4.3.2. Identyfikacja modelu strefy zagęszczania wątków	109
4.4. Parametry dynamiczne numerycznego modelu symulacyjnego	115
4.5. Analiza symulacyjna wpływu siły wzbudzającej ruch wibracyjny płochy na efektywność zagęszczenia tkaniny	117

4.5.1. Wpływ siły wzbudzającej ruch wibracyjny płochy na obciążenie osnowy.....	117
4.5.2. Wpływ siły wzbudzającej ruch wibracyjny płochy na osiągnięte zagęszczenie wątków w tkaninie	120
4.6. Analiza symulacyjna wpływu amplitudy ruchu wibracyjnego płochy na efektywność zagęszczania tkaniny	123
4.6.1. Wpływ amplitudy ruchu wibracyjnego płochy na obciążenie osnowy.....	123
4.6.2. Wpływ amplitudy ruchu wibracyjnego płochy na osiągnięte zagęszczenie wątków w tkaninie.....	125
4.7. Analiza symulacyjna wpływu częstotliwości ruchu wibracyjnego płochy na efektywność zagęszczania tkaniny	128
4.7.1. Wpływ częstotliwości ruchu wibracyjnego na obciążenie osnowy .	128
4.7.2. Wpływ częstotliwości ruchu wibracyjnego na osiągnięte zagęszczenie wątków w tkaninie	130
4.8. Bilans energetyczny i zapotrzebowanie na moc podczas zagęszczania <i>PW</i> ...	132
4.8.1. Energia dobicia i chwilowa moc w warunkach zmiennej amplitudy <i>PW</i>	133
4.8.2. Energia dobicia i chwilowa moc w warunkach zmiennej częstotliwości <i>PW</i>	136
5. BADANIA MIKROSKOPOWE PRZEKROJÓW TKANINY ZAGĘSZCZANEJ <i>PS</i> I <i>PW</i>	140
6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI	145
7. SUGEROWANE KIERUNKI PRZYSZŁYCH BADAŃ NAD WIBRACYJNYM ZAGĘSZCZANIEM WĄTKÓW	147
LITERATURA.....	148
SUMMARY	157
CHARAKTERYSTYKA ZAWODOWA AUTORA.....	159

ZESTAWIENIE WAŻNIEJSZYCH SYMBOLI

A	– pole przekroju wątków w tkaninie [mm^2],
c	– współczynnik tłumienia wiskotycznego układu wibrującej płochy [Ns/m],
c_o, c_b	– współczynnik tłumienia wiskotycznego: osnowy, tkaniny [Ns/mm],
c_{3D}	– złącza kontaktowego 3D [Ns/mm],
c_w	– współczynnik tłumienia wiskotycznego złącza obrotowego bidło-płocha [$Nmms/^o$],
E_d, E_b, E_w	– energia: dobicia, bidła, wzbudzenia ruchu wibracyjnego płochy [J],
F_o, F_l	– siła w osnowie w części przesmyku: przedniej, tylnej [N],
f_w, f_o, f_b	– częstotliwość: ruchu wibracyjnego płochy, własna płochy, bidła [Hz],
k	– sztywność układu wibracyjnego płochy [N/m],
k_o, k_b, k_{3D}	– sztywność: osnowy, tkaniny, złącza kontaktowego 3D [N/mm],
k_w	– sztywność złącza obrotowego bidło – płocha [$Nmm/^o$],
$m_b, m_p, m_b, m_z, m_{zt}$	– masa: bidła, płochy, trzcinki, zastępcza trzcinki, zastępcza tkaniny [kg],
O	– obwód pola przekroju wątków w tkaninie [mm],
Q_o	– siła napięcia wstępnego osnowy [N],
$Q_d, Q_d(PS),$ $Q_d(PW)$	– chwilowa siła dobicia, szczytowa siła dobicia płochą sztywną, szczytowa siła dobicia płochą wibrującą [N],
P, P_w	– amplituda siły wzbudzającej ruch wibracyjny płochy, chwilowa siła wzbudzająca, [N]
S	– wielkość strefy dobicia [mm],
T_w	– czas trwania jednego cyklu dobicia wątku [s],
t	– podziałka wątków w tkaninie [mm],
t/d	– podziałka względna, odniesiona do średnicy wątku [-],
y', y	– chwilowe ugięcie trzcinki pełnej w układzie belki sprężystej, chwilowe ugięcie trzcinki podciętej [mm],
y_o, y_a	– chwilowe ugięcie płochy: na górnym grzbiecie, na wysokości krawędzi tkaniny [mm],
Y_o, Y_a	– amplituda ugięcia płochy: na górnym grzbiecie, na wysokości krawędzi tkaniny [mm],
y_1, y_2	– przemieszczenie: wątku po osnowie, krawędzi tkaniny spowodowane podatnością układu osnowa-tekana [mm],
W_b	– zapotrzebowanie na moc napędu bidła w jednym cyklu dobicia [W],
W_w	– zapotrzebowanie na moc wzbudnika ruchu wibracyjnego płochy w jednym cyklu dobicia [W],
Z	– zagęszczenie wątków w tkaninie [l/cm],
γ, α	– kąt części przesmyku: przedniej, tylnej [o],
φ_b	– chwilowy kąt obrotu bidła [o],
φ_w	– chwilowy kąt obrotu płochy względem bidła [o],
ω_w, ω_o	– częstość kołowa: ruchu wibracyjnego płochy, własna płochy [rad/s],

STRESZCZENIE

Tematyka pracy obejmuje zagadnienie znaczącego udoskonalenia wytwarzania tkanin, szczególnie gęsto tkanych, poprzez wykorzystanie ruchu drgającego płochy do ich zagęszczania. Stan wiedzy w tym obszarze jest obecnie ograniczony. Zagadnienie to nie jest dostatecznie opisane w literaturze. Istnieje pewna luka informacyjna, poczynając od badań przeprowadzonych w ubiegłym stuleciu. Warunki pracy dzisiejszych krosien, zwłaszcza w zakresie prędkości, zmieniły się od tamtej pory radykalnie. Dlatego uaktualnienie i poszerzenie wiedzy w tym obszarze było zagadnieniem inspirującym i wymagającym badań naukowych. Praca została nakierowana na dogłębne poznanie zjawisk fizycznych i reologicznych w procesie zagęszczania wątków ruchem wibracyjnym płochy.

Badania nad procesem wibracyjnego zagęszczania przeprowadzono dwutorowo, jako: badania stanowiskowe i badania symulacyjne. Efektem przeprowadzonych badań było scharakteryzowanie procesu zagęszczania płochą wibrującą oraz porównanie go z klasycznym zagęszczaniem płochą sztywną.

W pracy przeanalizowano możliwe warianty napędów ruchu wibracyjnego płochy. Od najstarszych, znanych z dostępnej literatury, do aktualnych opartych o rozwiązania mechatroniczne. Zidentyfikowano układ wibrującej płochy jako układ drgający, działający w warunkach rezonansowych. Przeanalizowano zachowanie specjalnie dostosowanej, podatnej płochy tkackiej zagęszczającej wątki ruchem wibracyjnym. Określono podstawowe parametry dynamiczne takiego układu wibracyjnego, warunki jego poprawnego działania oraz ograniczenia. Uzyskane analityczne wyniki zweryfikowano doświadczalnie na stanowisku badawczym.

Na podstawie badań stanowiskowych wykazano, że wibracja płochy pozwala na zmniejszenie siły, jaką obciążona jest płocha podczas zagęszczania wątków. Efekt ten polepsza warunki tkania, pozwala na zmniejszenie dynamicznych obciążeń osnowy. Zmniejszenie obciążenia płochy poprawia warunki pracy mechanizmu bidłowego, co w konsekwencji może doprowadzić do jego lepszej budowy. Zagęszczanie płochą wibrującą ma wpływ na strukturę tkaniny, pozwala na osiągnięcie większych zagęszczeń wytwarzanej tkaniny.

Opracowano model symulacyjny mechanizmu bidłowego i strefy zagęszczania związanej z krawędzią tkaniny. Reologiczny model strefy zagęszczania rozdzielono na model osnowy i tkaniny. Określono funkcję oporu przemieszczania się wątku po osnowie. Wartości nieznanymi parametrów ruchu modelu, trudnych do określenia analitycznego, pozyskano z wyników badań stanowiskowych. W oparciu o model symulacyjny przeprowadzono wieloparametrową analizę wibracyjnego zagęszczania wątków. Analizowano wpływ parametrów wibracyjnego zagęszczania na siłę obciążenia płochy. Scharakteryzowano proces w aspekcie technologicznym, określono wpływ na obciążenie osnowy i osiągnięcie większych zagęszczeń wątków w tkaninie. Przeprowadzono badania symulacyjne w obszarach nieobjętych badaniami stanowiskowymi.

Przeanalizowano proces wibracyjnego zagęszczania pod kątem energetycznym. W oparciu o model symulacyjny określono poszczególne składniki energii traconej

na wibracyjne dobicie. Wydzielono energię bidła i energię mechanizmu wibracyjnego płochy. Wielkości tych energii przeanalizowano w funkcji parametrów ruchu wibracyjnego. Określono zapotrzebowanie na chwilową moc napędu bidła oraz wzbudnika ruchu wibracyjnego płochy.

Na podstawie badań mikroskopowych silnie zagęszczanych tkanin, wytworzonych podczas badań stanowiskowych, zaobserwowano zmiany w geometrii przekrojów wątków. Pomiar przekrojów wątków przed i po zastosowaniu zagęszczania wibracyjnego wykazuje, że wzrost zagęszczenia w próbkach wytworzonych za pomocą płochy wibrującej ma swą przyczynę w zmniejszaniu się pól oraz kształtu przekrojów wątków.

WPROWADZENIE

Dotychczasowy asortyment tkanin gęsto tkanych, na które występuje nieustające zapotrzebowanie, powiększył się znacząco o nowe tkaniny techniczne, rozmaitych zastosowań, znamienne cechą szczelności. Są one przeznaczone na różnorodne powłoki nieprzepuszczające, głównie wody, używane jako wyłożenia zbiorników wodnych, wysypisk śmieci, silosów, separatorów, dreny i in. Do ich wytwarzania potrzebne są krosna o dużej możliwości zagęszczania wątków. Zagęszczanie wątków odbywa się w warunkach silnego wpychania ich pomiędzy nitki osnowy. Proces ten często nazywany jest dobiciem wątków [30, 70]. Obok istniejących krosien dysponujących dużą siłą dobicia, pochodzącą z odpowiednio dużej masy bidła poruszającego się z dużą prędkością i mającego destrukcyjny wpływ na dobijaną nitkę wątku, pojawiła się potrzeba stosowania maszyn o nie mniejszych możliwościach zagęszczeń, ale delikatniejszym oddziaływaniu nie tylko na wątek, lecz i na osnowę [23, 24]. W wielu nowych typach tkanin używa się najczęściej nitek zbudowanych z włókien cienkich, w tym tak zwanych mikro-włókien [53]. Dynamika procesu tworzenia tkanin powinna więc z jednej strony zawierać w sobie możliwość odpowiednio dużych zagęszczeń, z drugiej zaś być na tyle stonowana, by nie uszkadzać tych z natury delikatnych włókien. Tematyka niniejszej pracy obejmuje zagadnienie znaczącego udoskonalenia wytwarzania tkanin, szczególnie gęsto tkanych, poprzez wykorzystanie ruchu drgającego płochy do ich zagęszczania.

Teoretyczne podstawy badania procesu zagęszczania wątku zapoczątkował K. Greenwood i W.T. Cowhig w 1956 r. W pracy [18] zaprezentowano model tkaniny, traktując nitki jako elementy ciągłe. Określono wpływ własności nitek, budowy tkaniny, ustawień i konstrukcji krosna na energię procesu dobicia wątku.

Teorią zagęszczania wątków w tkaninie zajmował się S. Nosek [61]. Zaproponował model reologiczny strefy zagęszczania związanej z krawędzią tkaniny (osnowa, tkanina i wątek) Model był oparty o człon Maxwella z dodatkową sztywnością. Oddziaływanie takiego układu, o właściwościach sprężysto-plastycznych, na poruszającą się płochę było zależne od upływu czasu. S. Nosek symulował między innymi aspekt zagęszczania wielokrotnym dobiciem. Przedstawił przebieg przemieszczeń wątku względem osnowy po kolejnych cyklach dobicia.

Teorię S. Noska zastosował J. Masajtis w aspekcie tworzenia tkaniny na krośnie tkackim [55]. Sformułował podstawowe zależności oddziaływań pomiędzy wątkiem a osnową podczas tworzenia tkaniny. Przeanalizował możliwe warunki tkania w stanie ustalonym i nieustalonym. Przeanalizował pojęcie nadrabiania tkaniny i autoregulacji podziałki wątku w tkaninie.

Pionierskie badania w zakresie wibracyjnego zagęszczania wątków w tkaninie zostały przeprowadzone przed czterdziestu laty w Polskiej Naukowej Szkole Tkactwa, pod kierownictwem J. Szoslanda. Obiecujące rozpoznanie, teoretyczne i doświadczalne, zostało wtedy dokonane przez Z. Wrocławskiego [83]. Wartość poznawcza, wycinkowa w stosunku do niniejszej pracy, była pionierska i wysoka jak na ówczesne czasy. Z. Wrocławski jako pierwszy zagęszczał tkaniny wibra-

cyjnie, na krośnie badawczym o szerokości 1 m. Płochą tkacką była umieszczona na bidle za pośrednictwem sprężyn płaskich. Wymuszenie ruchu wibracyjnego płochy było realizowane dynamicznie, wirującym wałkiem z niewyważoną masą. Ze względu na relatywnie duże masy elementów wibrujących konstrukcja posiadała ograniczenia w postaci częstotliwości ruchu wibracyjnego płochy. Ponadto mechanizm był energochłonny. Z. Wrocławski przedstawił model dynamiczny układu wibrującej płochy. W pracy [84] wyznaczył i zweryfikował doświadczalnie krzywe rezonansowe. Model dynamiczny był oparty na liniowym równaniu ruchu elementów mechanicznych. Strefa zagęszczania związana z krawędzią tkaniny była traktowana jako źródło tłumienia wiskotycznego.

W literaturze brak jest innych istotnych doniesień badawczych z zakresu wibracyjnego zagęszczania tkanin.

Aktualnie ruch wibracyjny jest często wykorzystywany w budowie maszyn do wspomagania procesów wytwórczych w różnych dziedzinach przemysłu. Spektrum zastosowania jest szerokie, od powszechnie znanego procesu udarowego wiercenia po mniej znane, ale opisane w literaturze, procesy wibracyjnego szlifowania [64]. Natomiast stan wiedzy w obszarze wibracyjnego zagęszczania wątków w krośnie tkackim jest ograniczony. Istnieje pewna luka informacyjna od badań przeprowadzonych w latach 60-70. ubiegłego stulecia. Warunki pracy dzisiejszych krosien, zwłaszcza w zakresie prędkości, zmieniły się od tamtej pory radykalnie [77]. Podobnie wielkiemu przeobrażeniu i udoskonaleniu uległo instrumentarium badawcze, zdolne dziś do pomiarów i analiz wówczas nieosiągalnych [28, 40]. Zagadnieniem inspirującym jest poszerzenie wiedzy w tym obszarze.

W pracy [36] podjęto próbę symulacji wibracyjnego zagęszczania w oparciu o model reologiczny układu włókiennego S. Noska. Wyznaczono i przeanalizowano energię dobicia płochą wibrującą (PW), porównano ją z energią dobicia płochą sztywną (PS).

Niezależne badania przeprowadzono, realizując projekt badawczy KBN nr 4T07C 02628 pt.: „Badania teoretyczne i eksperymentalne mechanizmu bidłowego zagęszczającego wątek wibracyjnie”, z 2007 r., którego kierownikiem był autor niniejszej pracy [46, 50, 51].

Wnikając szczegółowo w zagadnienia związane z wibracyjnym zagęszczaniem wątków, należy podkreślić, że występujące podczas tego procesu zjawiska: trybologiczno-geometryczne, reologiczne i fizyczne stanowią technologicznie ważny aspekt w procesie tworzenia tkaniny. Proces ten wymagał badań naukowych opartych o współczesne instrumentarium badawcze (stanowisko badawcze, instrumentarium pomiarowe). Podczas osadzania wątku w tkaninie współlistnieją zarówno siły dobijające go między nitki osnowy, jak i wysuwające go spomiędzy nich [55, 70]. Analiza trybologiczna obu tych procesów umożliwiła opracowanie własnego modelu reologicznego układu włókiennego i stała się punktem wyjścia do optymalizacji zjawiska. Na podstawie modelu zbadano, zasadniczo różne od klasycznego osadzenia wątku w tkaninie, osadzenie cierne ruchem drgającym [50, 68, 76]. Należy tutaj pamiętać o szczególnych cechach mechanizmów o wymuszonym, okresowym ruchu zwrotnym, których przykładem jest mechanizm

bidłowy [30, 31, 43, 47, 52, 56]. We współczesnych, szybko pracujących maszynach mechanizmy te stanowią czynnik ograniczający wzrost prędkości. Z tego punktu widzenia są one mechanizmami krytycznymi. Mechanizmy te są sprzężone mechanicznie z innymi mechanizmami maszyny pracującymi okresowo. Występujące w tych warunkach siły dynamiczne są związane z cyklicznym krążeniem energii w łańcuchu kinematycznym maszyny i wywołują pasożytnicze drgania jej elementów. Wywołują tym samym wadliwą pracę, gdyż są przyczyną rozregulowań, szybkiego zużycia i idących w ślad za nimi uszkodzeń. Przy łatwo powstających w tych warunkach luzach w węzłach łańcucha kinematycznego, obciążenia te nabierają uderowego charakteru przyspieszającego niszczenie, konsekwencją jest też hałas. Zjawiska te nasilają się w przednim punkcie zwrotnym ruchu bidła, w którym następuje jego uderowe hamowanie, w wyniku uderzania płochą w krawędź tkaniny. Stosowanie wibracyjnego sposobu osadzania wątku w tkaninie pozwala zmniejszyć te niekorzystne zjawiska. Przez to dynamika procesu ulega złagodzeniu nie tylko z punktu widzenia mechanizmu. Stąd sformułowana teza naukowa pracy, która brzmi:

Zagęszczanie wątków płochą wibrującą, tj. posiadającą nałożony na swój zasadniczy ruch posuwisto-zwrotny drugi ruch drgający, o znacząco mniejszej amplitudzie, a większej częstotliwości daje możliwość:

- *zmniejszenia siły oporu tkania, tj. siły, jaką obciążana jest płocha podczas zagęszczania wątku, pozwalając: zmniejszyć destrukcyjny wpływ płochy na materiał włókienniczy, przede wszystkim na ośnowę oraz zmniejszyć dynamiczne obciążenia mechanizmu bidłowego, pozwalając odciążyć jego konstrukcję i całego krosna oraz poprawić warunki jego eksploatacji,*
- *poszerzenia zakresu możliwych do uzyskania, gęstych struktur wytwarzanej tkaniny.*

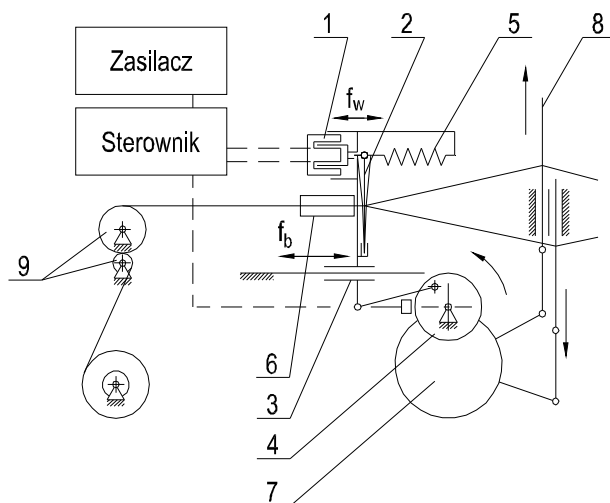
W niniejszej pracy zostały określone warunki optymalnego wibracyjnego zagęszczania wątku w tkaninie, w aspekcie ponoszonego nakładu energii na ten proces, w aspekcie minimalizacji szkodliwych dla nitek i mechanizmu bidłowego obciążeń, jak i wreszcie w aspekcie uzyskania możliwości większych zagęszczeń tkaniny, w tym nieosiągalnych znanymi metodami w zakresie zagęszczeń granicznych. Takie możliwości uzyskiwanych efektów po stronie technologii włókienniczej, jak i po stronie konstrukcji mechanicznej stawiają oryginalność sformułowanej tezy pracy na poziomie światowym.

Praca zawiera dogłębną analizą przeprowadzonych badań zachowań i korzyści wynikających z zastosowania wibrującej płochy w mechanizmie bidłowym krosna, stanowiącym o znacznym postępie w dziedzinie technologii wytwarzania tkanin.

1. BUDOWA WIBRACYJNEGO MECHANIZMU BIDŁOWEGO, NA STANOWISKU BADAWCZYM

1.1. Ogólny opis stanowiska badawczego

Skuteczny ruch wibracyjny płochy jest, przy dzisiejszym stanie techniki i dostępności jej środków, możliwy do urzeczywistnienia za pomocą rezonansowego mechanizmu opartego na drgającej, podatnej płaszczyźnie zasadniczo dobijającej wątek i wzbudzanej elektromagnetycznie. Budowę stanowiska do badań zagęszczania wątków z wibracyjnym mechanizmem bidłowym (WMB) przedstawiono schematycznie na rysunku 1.1. Stanowisko składa się z precyzyjnie wykonanych podstawowych podzespołów: korbowo-suwakowego mechanizmu bidłowego z drgającą płochą, krzywkowego mechanizmu nicielniczowego, czółenkowego mechanizmu przerzutowego i stałoodcinkowego mechanizmu odbierającego tkaninę. Piąty z podstawowych mechanizmów – podający osnowę, początkowo był wykonany w postaci stałonapięciowego hamulca, w późniejszym etapie przerobiony został na aktywny regulator napięcia osnowy. Umożliwiło to badania z różnym, precyzyjnie zadawanym napięciem osnowy. Dzięki układowi płynnej regulacji prędkości silnika napędowego, stanowisko działało w pewnym przedziale częstotliwości wątkowania. Z racji użycia wąskiej płochy zminimalizowano ilość wzbudników ruchu wibracyjnego, co przełożyło się na oszczędne wykonawstwo. Zasadniczo mechanizm bidłowy z płochą wąską można potraktować jako moduł z walorami aplikacyjnymi na krosno szerokie. Na stanowisku podczas badań wytwarzano tkaniny o splocie płóciennym.



Rys. 1.1. Schemat ideowy stanowiska badawczego

- 1 – wzbudnik ruchu wibracyjnego płochy, 2 – podatna płochy, 3 – bidło suwakowe, 4 – wał główny,
5 – dodatkowy element sprężysty, 6 – mechanizm przerzutowy, 7 – mechanizm nicielnicowy,
8 – nicielnica, 9 – wały mechanizmu odbioru tkaniny

Stanowisko badawcze (rys. 1.1) zostało tak zaprojektowane, że bidło i związana z nim podatna płochą wykonują ruch postępowo-zwrotny unoszenia, o amplitudzie 112 mm i częstotliwości do $f_b = 4\text{ Hz}$. Na ten ruch nakłada się dodatkowo ruch wibracyjny płochy względem bidła. W efekcie płochą wykonuje ruch oscylacyjny złożony o dwóch częstotliwościach. Częstotliwość unoszenia płochy, zgodna z częstotliwością pracy wału głównego krosna, jest częstotliwością bidła. Nałożona na nią częstotliwość wibracyjna płochy $f_w = 350\text{ Hz}$ lub $f_w = 500\text{ Hz}$ (częstotliwości rezonansowe) jest zasadniczo większa, a amplituda wibracji do $Y_a = 0,6\text{ mm}$ znacząco mniejsza od amplitudy bidła.

1.2. Parametry ruchu wibracyjnego płochy

Obserwując proces tkacki na kilku dostępnych krosnach oraz studiując dane literaturowe [44], oceniono fazę dobicia na 5-10% cyklu (kąt obrotu wału głównego 18° - 36°) – w zależności od stopnia zagęszczenia tkaniny wątkiem (tab. 1.1). Na współczesnym krośnie szybkim [77, 81], pracującym z częstotliwością np. 20 Hz – jeden cykl pracy trwa $1/20\text{ s}$. Niech faza dobicia odbywa się w trakcie $1/20$ - $1/10$ cyklu; trwa ono wówczas $1/400$ - $1/200\text{ s}$ (ok. 7 - 3 ms). Na podstawie danych literaturowych [50, 51, 61, 76, 85] wykazano, że właściwą skuteczność dobicia uzyskuje się już przy kilku uderzeniach płochy (ruchem wibracyjnym). Przyjmując pięć uderzeń, płochą musi mieć częstotliwość drgań rzędu 1000 - 2000 Hz . Przy częstotliwości pracy krosna 5 Hz , częstotliwość wibracji płochy powinna wynosić 250 - 500 Hz , przy zachowaniu pozostałych warunków. Przyjęty zakres częstotliwości drgań płochy wibrującej to 250 Hz - 1000 Hz .

Tabela 1.1. Częstotliwość wątkowania i kąt dobicia krosna

<i>Krosno</i>	<i>Częstotliwość wątkowania [wątków/minutę]</i>	<i>Orientacyjny kąt obrotu wału głównego, na którym odbywa się dobicie</i>	<i>Częstot. wibracji płochy, po uzyskaniu 5 uderzeń w trakcie cyklu dobicia [Hz]</i>
STB2-216	250	18 - 24°	416-312
MAV	180	20 - 28°	270-193
Saurer 60B-I-2	240	28 - 38°	257-200

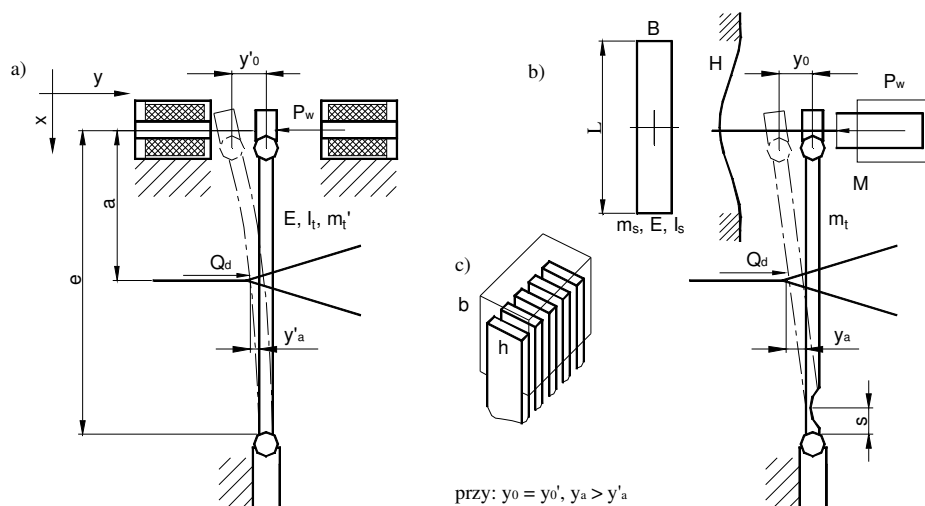
Szacuje się [50, 51, 85], że – aby skuteczność zagęszczania wątku była należyta – należy przyłożyć doń drgającą płochą o amplitudzie ruchu wibracyjnego równej co najmniej połowy średnicy nitki. Wówczas bowiem (ale zależy to od szeregu cech nitki, takich jak jej puszystość, sztywność włókien i in.) drgania płochy nie zostaną całkowicie pochłonięte, ale zostaną przeniesione przez nitkę wątku z punktu styku płochy-wątek na punkt styku osnowa-wątek i tam wykorzystane na skokowe przemieszczanie tego punktu. Biorąc pod uwagę przewidywany asortyment grubości wątku $0,3$ - $0,6\text{ mm}$, wymagana amplituda ruchu wibracyjnego płochy wyniosłaby $0,15$ - $0,3\text{ mm}$.

Powyższe oszacowanie zakresu dwóch parametrów ruchu vibracyjnego: częstotliwości $250-1000\text{ Hz}$ oraz amplitudy $0,15-0,3\text{ mm}$ (skoku płochy $0,3-0,6\text{ mm}$) jest wyjściowe do zaprojektowania urządzenia wibrującego.

1.3. Warianty koncepcji mechanizmu vibracyjnego oparte na podatnej płosze tkackiej

Zaproponowano nową podatną płochę tkacką, która wibruje, uginając się jak belka sprężysta przytwierdzona do bidła na dolnym grzbiecie (rys. 1.2a). Siła wzбудzająca ruch wibrujący jest przyłożona do górnego swobodnego grzbietu płochy. Układ wibrujący stanowi tylko płocha, sama będąc w nim elementem sprężystym. Wtedy trzciniki płochy (i to nie w całości) i jej górny grzbiet to jedyne masy drgające.

Druga z rozważanych koncepcji mechanizmu vibracyjnego opartego na podatnej płosze zakłada podcięcie trzciniek płochy u dołu [46] (rys. 1.2b). Ma to na celu zmodyfikowanie linii ugięcia trzciniek (zwiększenia ugięcia trzciniek na wysokości krawędzi tkaniny). Sztywność układowi takiej płochy nadaje dodatkowy element sprężysty oddziałujący na górny grzbiet płochy.



Rys. 1.2. Schemat obciążenia wibrującej płochy w fazie dobicia: a) trzcinika jako belka sprężysta, b) trzcinika podcięta z dodatkowym elementem sprężystym, c) trzciniki płochy

P_w , Q_d – chwilowa siła wzбудzająca ruch vibracyjny płochy, chwilowa siła dobicia,
 a , e , b , h , s , I_p , m_t – wymiary geometryczne, moment bezwładności przekroju, masa-trzciniki,
 B , H , L , I_s , m_s – wymiary geometryczne, moment bezwładności przekroju, masa-sprężyny,
 y' , y – ugięcie trzciniki pełnej w układzie belki sprężystej, ugięcie trzciniki podciętej

Podcięcie u dołu prawie zupełnie pozbawia trzciniki płochy sztywności na zginanie. Nie jest możliwa praca takiej płochy w układzie belki sprężystej. W tych warunkach sztywność układu vibracyjnego musi zapewnić dodatkowy element

sprężysty. Warunki geometryczne zabudowy bidła w krośnie oraz pożądane parametry ruchu wibracyjnego płochy predysponują do zastosowania sprężyny płaskiej lub talerzowej.

1.3.1. Statyczna linia ugięcia trzcinki płochy

Siła wzbudzająca ruch wibracyjny z założenia jest przyłożona do górnego grzbietu płochy. Krawędź tkaniny podczas dobicia znajduje się około połowy wysokości płochy. Określenie geometrycznych zależności pomiędzy amplitudami ruchu wibracyjnego płochy: górnego grzbietu i na wysokości krawędzi tkaniny jest istotne. W tym celu określono statyczną linię ugięcia. Linia ugięcia pozwoliła również przeanalizować wpływ siły dobicia na geometrię odkształcaną trzcinki. W rozdziale 1.3.2 wykazano, że w przypadku ograniczonego zakresu częstotliwości ruchu wibracyjnego płochy (250-600 Hz), dynamiczna linia ugięcia trzcinki nie odbiega znacząco od statycznej [12].

Stosując metodę Clebsch'a [60], można określić równanie linii ugięcia pojedynczej trzcinki pełnej, działającej w układzie belki sprężystej (rys. 1.3a):

$$y' = \frac{1}{EI_t} \left[P \frac{x^3}{6} \Big|_0^a + Q_d \frac{(x-a)^3}{6} + cx + d \right] \quad (1.1)$$

gdzie:

c i d – stałe całkowania:

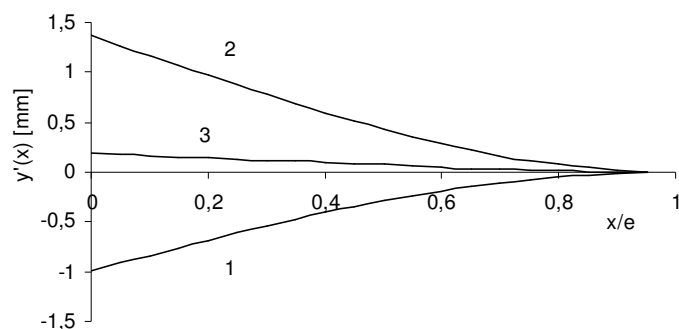
$$\begin{aligned} c &= P \frac{e^2}{2} - Q_d \frac{(a-e)^2}{2} \\ d &= Q_d \left(\frac{e(e-a)^2}{2} - \frac{(e-a)^3}{6} \right) + P \frac{e^3}{3} \end{aligned} \quad (1.2)$$

W warunkach podciętej trzcinki płochy, jak na rysunku 1.2b, założono jej ugięcie jedynie w obszarze podcięcia. Ponieważ sztywność na zginanie podcięcia jest mała relatywnie do pozostałej części trzcinki, założono, że punkt o wysokości $x = e - s$ funkcjonuje jak przegub. Wtedy względne przemieszczenie trzcinki na wysokości krawędzi tkaniny $x = a$ wynosi:

$$\frac{y_0}{y_a} = \frac{e-s}{e-a-s} \quad (1.3)$$

Siła dobicia działa jednostronnie, przeciwnie do ruchu bidła. Zależy od przemieszczenia krawędzi tkaniny oraz od przemieszczenia wątku względem osnowy. Siła ta zasadniczo ma charakter sprężysto-tłumienny [46, 53, 61, 79] i jest nieliniowo zmienna w czasie. Za składową tłumiącą odpowiada plastyczny charakter układu osnowa- tkanina i opór tarcia związany z przemieszczeniem wątku względem osnowy. Integralną częścią jest również szczepność. Sprężysta część siły dobicia jest związana ze sprężystością układu osnowa- tkanina.

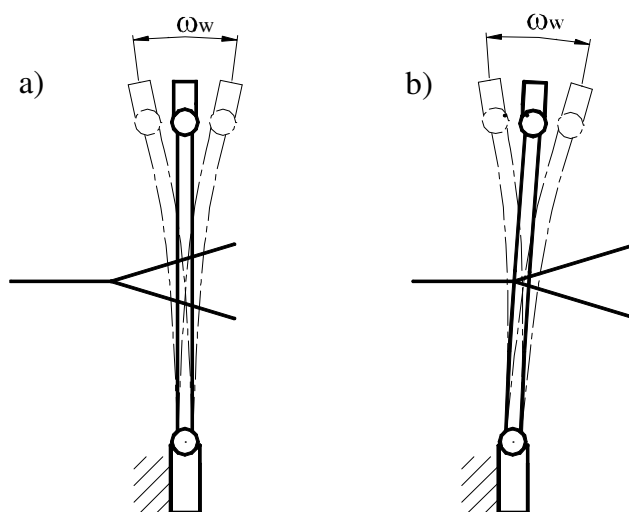
Określone na podstawie zależności (1.1) statyczne linie ugięcia płochy z trzciniek pełnych w kierunku zgodnym z siłą dobiecia, przeciwnym do siły dobiecia oraz od samej siły dobiecia przedstawiono na rysunku 1.3. Analiza rysunku wskazuje na to, że zakres ugięć płochy dzieli na połowę linia związana tylko z siłą dobiecia.



Rys. 1.3. Statyczne linie ugięcia trzciniki

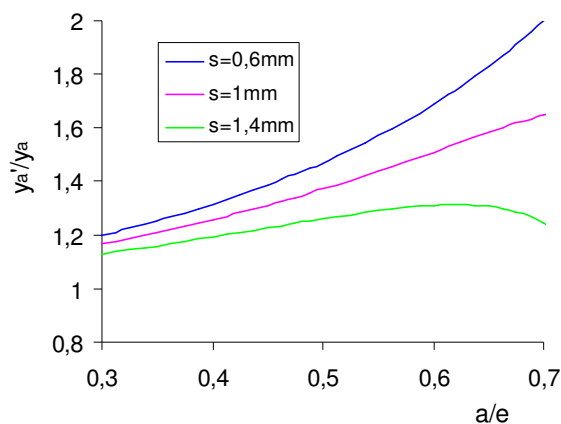
1 – w kierunku przeciwnym do siły dobiecia, 2 – w kierunku zgodnym z siłą dobiecia,
3 – pod obciążeniem tylko siłą dobiecia ($h = 4 \text{ mm}$, $q_d = 0,5 \text{ N}$)

Na fazę dobiecia przypada co najmniej kilka cykli ruchu wibracyjnego płochy. W zakresie jednego cyklu tego ruchu, siła dobiecia jest zmienna w niewielkim zakresie. Jeśli założyć, że nie następuje odrywanie płochy od krawędzi tkaniny, siła, którą krawędź tkaniny działa na płochę, jest jednostronna i w przybliżeniu stała. Stała siła dobiecia spowoduje pewne odgięcie płochy, na które nałożony jest dopiero ruch wibracyjny, wyjaśnia to rysunek 1.4. Takie założenie upoważnia do uwzględnienia w analizie ruchu wibracyjnego płochy siły dobiecia jedynie jako źródła tłumienia.



Rys. 1.4. Ruch wibracyjny płochy podatnej pełnej: a) poza fazą dobiecia, b) w fazie dobiecia

W dalszym etapie porównano ugięcia trzcinki podciętej i pełnej na podstawie zależności (1.3). Stosunek tych ugięć pokazano na rysunku 1.5 dla różnych wariantów geometrycznych podcięcia (rys. 1.2).



Rys. 1.5. Stosunek ugięcia trzcinki podciętej i pełnej w funkcji wysokości trzcinki s – położenie podcięcia

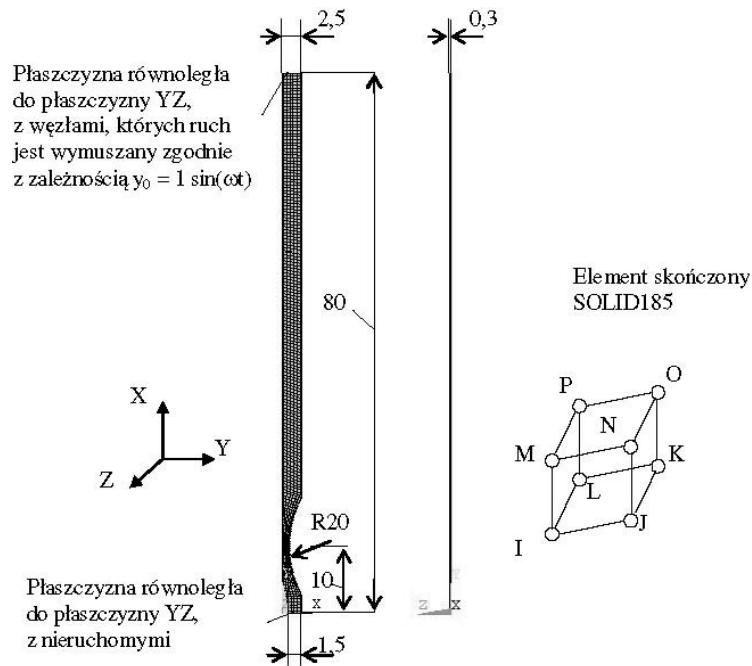
1.3.2. Dynamiczna linia ugięcia trzcinki płochy, postać drgań

Do analizy wymuszonego harmonicznego ruchu wibracyjnego płochy wykorzystano model pojedynczej trzcinki podciętej [46] (rys. 1.2b). Przyjęto, że wpływ częstotliwość ruchu wibracyjnego jest większy na linię ugięcia trzcinki podciętej. Pominięto analizę trzcinki pełnej. Przyjęto, że siła wymuszająca ruch płochy jest równomiernie rozłożona na wszystkie trzcinki. Założono, że siła dobitcia jest stała w obrębie pojedynczego cyklu ruchu wibracyjnego. Siła dobitcia powoduje quasistatyczne wygięcie płochy (rys. 1.3) i nie ma istotnego wpływu na jej ruch wibracyjny. Założono, że pojedyncza trzcinka jest wykonana ze stali o następujących własnościach fizycznych: moduł Younga $E = 210000 \text{ MPa}$, liczba Poissona $\nu = 0,3$, gęstość $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$.

Analizę ruchu trzcinki płochy wykonano przy użyciu programu ANSYS [3]. Do analizy użyto ośmiowęzłowego przestrzennego elementu skończonego SOLID185. Stopniami swobody jego węzłów są przemieszczenia w kartezjańskim układzie współrzędnych XYZ. W objętości pojedynczej trzcinki wprowadzono maksymalną gęstość elementów skończonych, generowaną domyślnie przez program (SMARTSIZING=1 w dziesięciopunktowej skali zagęszczenia elementów).

Wprowadzono następujące warunki brzegowe:

Dolną płaszczyznę, równoległą do płaszczyzny ZY (rys. 1.6), modelowanej trzcinki unieruchomiono.



Rys. 1.6. Geometria modelowanej trzcinkei, siatka elementów skończonych i warunki brzegowe

Węzłom leżącym w górnej płaszczyźnie, równoległej do płaszczyzny ZY, modelowanej trzcinkei nadano ruch wymuszony harmonicznym według zależności:

$$y_0 = 1 \cdot \sin(\omega_w t) \quad (1.4)$$

Odształcenia ϵ_i i – tego elementu skończonego można wyznaczyć z zależności:

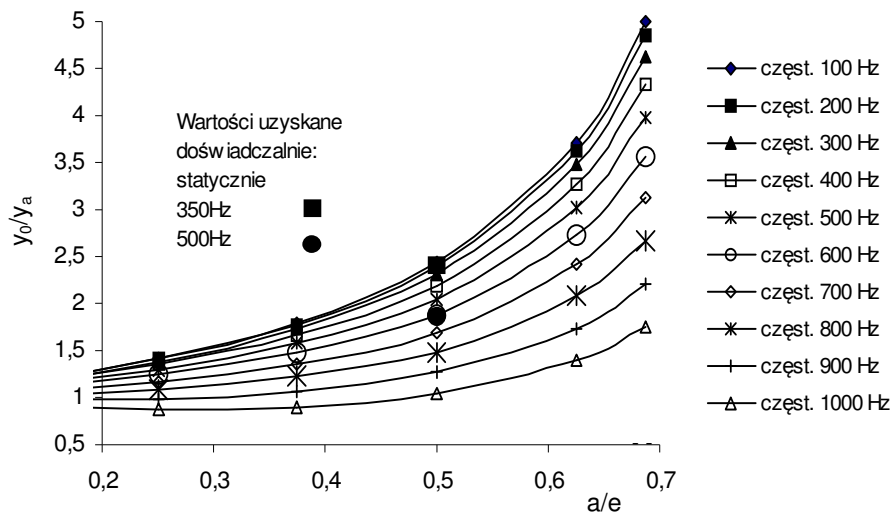
$$\{\epsilon_i\} = [B_i] \cdot \{u_i\} \quad (1.5)$$

gdzie: $\{\epsilon_i\}$ – wektor odkształceń i-tego elementu skończonego,

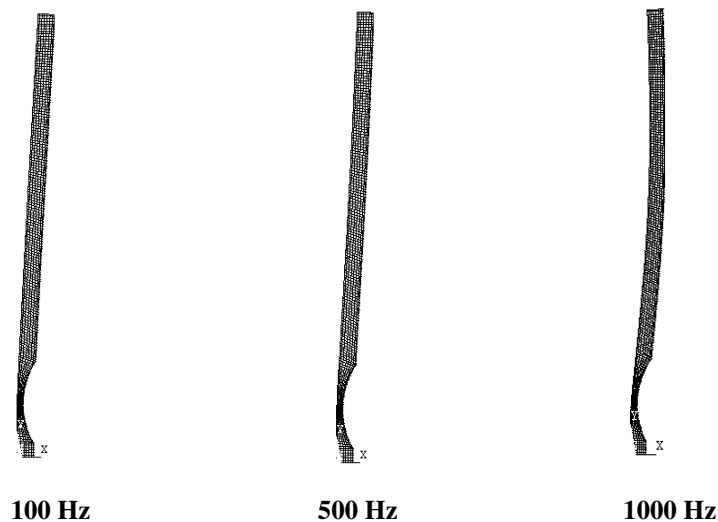
$[B_i]$ – macierz powiązań odkształcenie-przemieszczenie w i-tym elemencie skończonym, uzależniona od funkcji kształtu elementu skończonego,

$\{u_i\}$ – wektor przemieszczeń węzłów i-tego elementu.

Przedstawione na rysunku 1.7 krzywe obrazują linie względnego ugięcia trzcinkei płochy poddanej zginaniu okresowemu o częstotliwości ruchu wibracyjnego płochy. Stosunek ugięcia górnego grzbietu do ugięcia na wysokości krawędzi tkaniny maleje wraz ze wzrostem częstotliwości wibracji. Dzieje się tak na skutek zmiany postaci drgań płochy, co zobrazowano na rysunku 1.8.



Rys. 1.7. Określone analitycznie względne ugięcia trzcinki dla różnych częstotliwości wymuszenia i ich weryfikacja doświadczalna



Rys. 1.8. Odształcenie trzcinki podczas wibracji, o różnych częstotliwościach

Trzeba pamiętać, że w MES-ie odwzorowanie odkształceń i elementów nie jest identyczne [3]. Przeliczone do jednej skali odkształcenie maksymalne w połowie wysokości płochy wynosi: dla 100 Hz-0,55 mm, dla 500 Hz-0,63 mm, dla 1000 Hz-1,11 mm. Do obliczeń przyjęto założenie, że amplituda wymuszenia na górnym grzbiecie trzcinki wynosi 1 mm.

1.3.3. Wytężenie materiału trzcinki podciętej

Płochy, a ściślej ich trzcinki, wykonuje się z różnych gatunków stali. Trzcinka poddana okresowemu (wibracyjnemu) zginaniu musi charakteryzować się odpowiednią wytrzymałością. Tylko takie materiały wzięto pod uwagę w rozważaniach. W tabeli 1.2 przedstawiono dostępne materiały na trzcinki o wysokiej wytrzymałości zmęczeniowej [92].

Tabela 1.2. Stale, z których wykonuje się trzcinki płochy

<i>Materiał</i>	<i>Wytrż. zmęcz. Z_o</i>
Stal wysokowęglowa hartowana (C60)	360 MPa
Stal chromowo niklowa (36CrNiMo4)	450 MPa
Stal chromowa (41Cr4)	600 MPa

Napężenia σ_i i-tego elementu skończonego można wyznaczyć z zależności (1.6)

$$\{\sigma_i\} = [D_i] \cdot \{\varepsilon_i\} \quad (1.6)$$

gdzie:

$\{\sigma_i\}$ – wektor naprężeń i-tego elementu skończonego,

$[D_i]$ – macierz sztywności i-tego elementu skończonego.

Naprężenia zredukowane σ_{zred} w elemencie skończonym można wyznaczyć z zależności (1.7)

$$\sigma_{zred} = E \cdot \varepsilon_{zred} \quad (1.7)$$

gdzie:

E – moduł Younga, ε_{zred} – odkształcenia zredukowane.

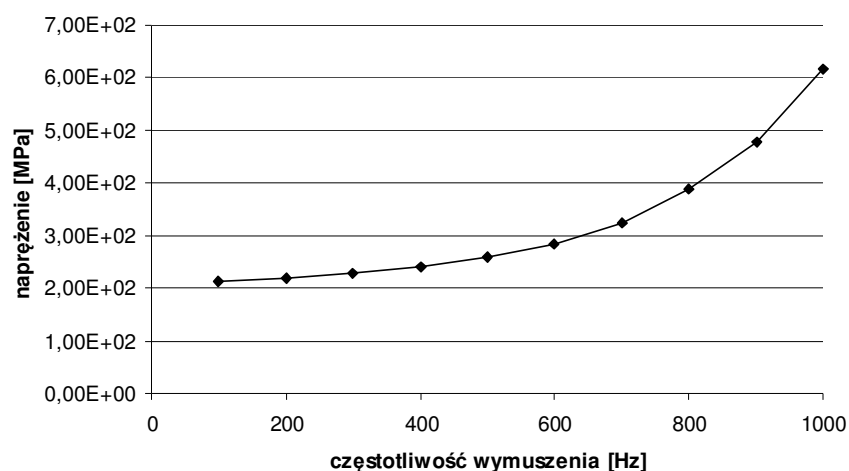
Naprężenia zredukowane ε_{zred} są obliczane z kryterium von Misesa [3, 60], z zależności (1.8).

$$\varepsilon_{zred} = \frac{1}{\sqrt{2(1+\nu)}} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + (\varepsilon_y - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_x - \varepsilon_z)^2 + \frac{3}{2}(\gamma_x^2 + \gamma_y^2 + \gamma_z^2)} \quad (1.8)$$

gdzie γ – kąt odkształcenia postaciowego.

Jak można się było spodziewać, maksymalne wartości naprężeń zredukowanych wystąpiły w rejonie podcięcia trzcinki. Zależność maksymalnych naprężeń obliczonych według kryterium von Misesa, w funkcji częstotliwości wymuszenia, przedstawiono na rysunku 1.9. Porównując uzyskane wyniki z dopuszczalnymi wartościami naprężeń zmęczeniowych na zginanie przedstawionych w tabeli 1.2, można założyć bezpieczne użytkowanie podciętej płochy w zakresie niższych częstotliwości (do 600 Hz). Jednak w zakresie wyższych częstotliwości,

rzędu (800-1000 Hz), dopuszczalne wartości naprężeń zmęczeniowych dla niektórych gatunków stali są przekroczone.



Rys. 1.9. Zależność maksymalnych naprężeń zredukowanych w materiale trzcinki w funkcji częstotliwości wymuszenia

1.3.4. Niebezpieczeństwo zwichrzenia (deplanacji) trzcinki pełnej

Jeśli trzcinka pełna ma być belką sprężystą w układzie wibrującym, należy zwrócić uwagę na fakt, iż trzcinki stanowią zespół belek wspornikowych o przekroju w kształcie wąskiego prostokąta. Z założenia taka trzcinka wygina się wokół osi obojętnej równoległej do krótszego z boków przekroju. Należy w takim wypadku rozpatrzyć niebezpieczeństwo utraty stateczności polegające na tzw. deplanacji belki, nazywanej również jej zwichrzeniem [60].

Na ogół płochy tkackie są typu zamkniętego od góry. Posiadają tzw. grzbiet, który wiąże ze sobą trzcinki. Tym samym pojedyncze trzcinki mają w pewnym stopniu utrudnione skręcanie górnego przekroju. Istnieje duża różnorodność płoch zamkniętych [92] (lutowane, klejone, smołowane). Bywają również płochy typu otwartego od góry. Taka płocha wyginająca się podczas wibracji szczególnie narażona jest na zwichrzenie.

Do rozważań nad zwichrzeniem przyjęto model płochy otwartej, jako najbardziej niekorzystny. Nawet w przypadku płochy zamkniętej górny grzbiet jedynie w pewnym stopniu zabezpiecza przed skręceniem przekroje pojedynczych trzcin. Przyjęty do obliczeń model pozwala mieć jednak pewną dozę tolerancji, w odniesieniu do płochy zamkniętej grzbietem.

Dla trzcinki pełnej zginanej jako belka sprężysta (rys. 1.2a), obciążonej na końcu siłą krytyczna wynosi:

$$P_{kr} = \frac{4,013}{e^2} \sqrt{BC}, \quad (1.9)$$

gdzie:

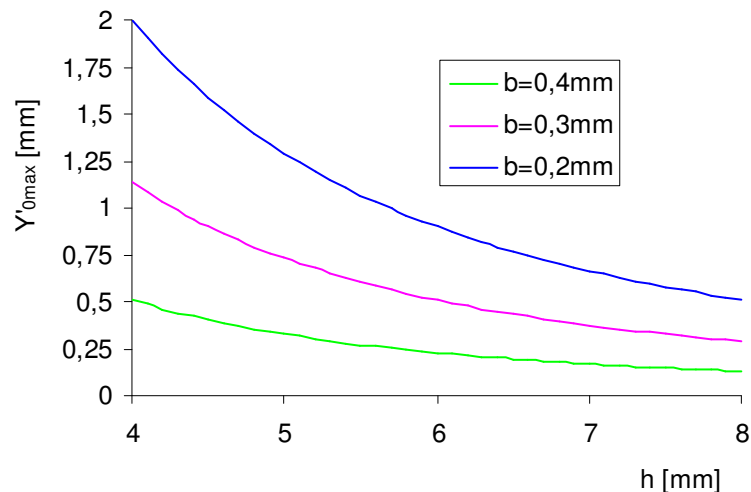
$$B = \frac{hb^3}{12} E, \quad C = \frac{hb^3}{3} \left(1 - 0,63 \frac{b}{h} \right) G, \quad (1.10)$$

G – moduł sprężystości postaciowej dla stali.

Ugięcie końca trzcinki w warunkach obciążenia siłą krytyczną wynosi:

$$Y'_{0\max} = \frac{P_{kr} e^3}{3EI}. \quad (1.11)$$

Na podstawie powyższych zależności przeprowadzono szereg symulacji, których wyniki w postaci przebiegów ugięcia górnego grzbietu płyty przedstawia rysunek 1.10.



Rys. 1.10. Krytyczne ugięcia płyty ze względu na zwichrzenie trzcin. Wysokość trzcin przyjęto $e = 0,08$ m

Biorąc pod uwagę przewidywany zakres odkształceń ($Y'_0 = 0,5$ mm), ryzyko deplanacji występuje w ograniczonym zakresie jedynie dla płyt z trzcinami względnie głębokich i jednocześnie cienkich.

Wnioski

1. Scharakteryzowane właściwości statyczne i dynamiczne podatnej płyty tkackiej wskazują na możliwość jej zastosowania w mechanizmie realizującym wibracyjne zagęszczanie tkanin.
2. Modyfikacja linii ugięcia trzcinki poprzez wykonanie podcięcia zwiększa ugięcie na wysokości krawędzi tkaniny co najmniej 1,5-krotnie.

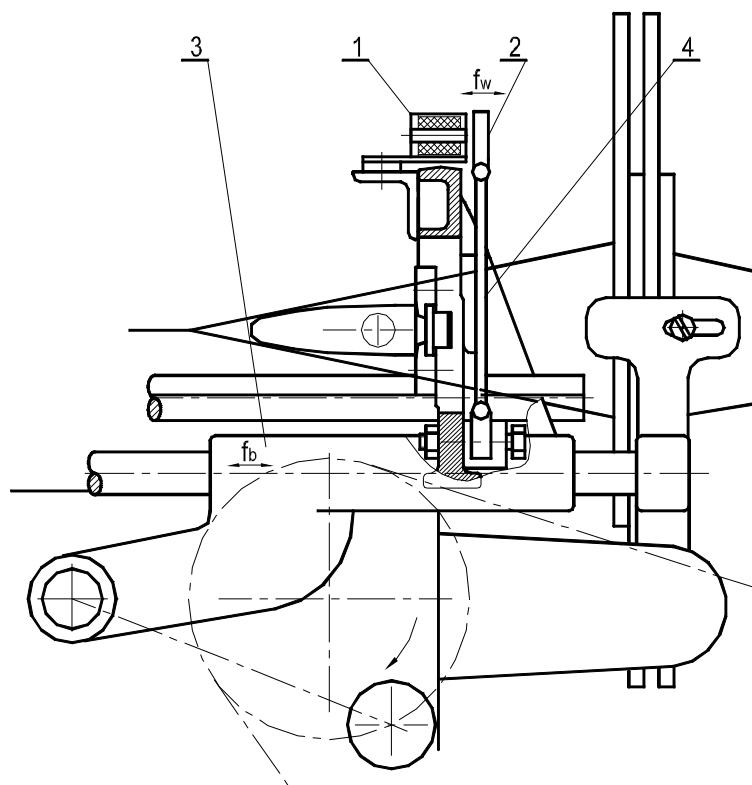
3. Składową sprężystą siłę dobiecia, czyniąc przybliżenie, można pominąć w analizie drganiowej płochy wibrującej.
4. Postać drgań płochy do częstotliwości wymuszenia 600 Hz można uznać za zbliżoną do statycznego ugięcia płochy, przy wyższych częstotliwościach, rzędu 1 kHz , postać drgań giętych się zmienia.
5. Naprężenia w materiale trzciniek nie przekraczają wytrzymałości zmęczeniowej w przewidywanym zakresie częstotliwości pracy (do 600 Hz).
6. W *WMB* korzystniejsze jest zastosowanie rozwiązania z płochą podciętą.
7. W przewidywanym zakresie ugięć płochy występuje niebezpieczeństwo deplacji trzciniek płoch pełnych w ograniczonym zakresie.

1.4. Warianty konstrukcji wzbudnika ruchu wibracyjnego płochy

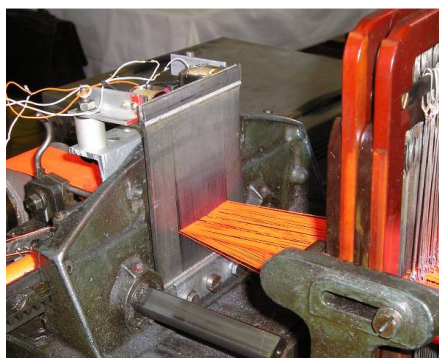
Sformułowano następujące kryteria doboru konstrukcji wzbudnika ruchu wibracyjnego płochy: parametrowe, masowe i cenowe. Jak wynika z rozdz. 1.2, wysoka wymagana częstotliwość, do $f_w = 800\text{ Hz}$, duża amplituda generowanej siły, do $P = 50\text{--}70\text{ N}$, amplituda generowanych drgań, do $Y_a = 0,6\text{ mm}$, przy jednocześnie jak najmniejszej masie wzbudnika, takiej by nie zachodziła potrzeba zmiany (wzmocnienia) konstrukcji bidła, skłoniła do zastosowania rozwiązania elektromagnetycznego. Żadne z innych znanych rozwiązań konstrukcyjnych wzbudników, takich jak: napędy pneumatyczne, piezoelektryczne, silniki liniowe czy zastosowane już wzbudzenie dynamiczne [84], nie spełniały jednocześnie wszystkich stawianych wymagań. Dotyczyło to zwłaszcza zbyt dużych gabarytów i mas tych urządzeń. W przypadku aktuatora magnetostrykcyjnego ważna była również cena zestawu.

1.4.1. Wzbudzenie elektromagnetyczne

Najprostsza rozważana konstrukcja *WMB* jest oparta na podatnej płosze tkackiej wzbudzanej zespołem klasycznych elektromagnesów (rys. 1.11). Elektromagnesy *1* oddziałują zmiennym polem magnetycznym na górny grzbiet płochy *2*, wykonany ze stali magnetycznie miękkiej [29]. Płocha u swojego dołu jest mocowana sztywno do bidła *3* i wykonuje ruch wibracyjny w układzie belki sprężystej o częstotliwości f_w . Bidło wykonuje ruch unoszenia f_b zgodny z cyklem pracy krosna. Trzciniki płochy *4* są źródłem siły restytucyjnej ruchu drgającego i wraz z grzbietem stanowią masę drgającą. Przedstawioną na rysunku 1.11 konstrukcję stanowiska badawczego z takim rozwiązaniem *WMB* wykonano i przetestowano. Rozważano dwa warianty posadowienia zespołu elektromagnesów: na bidle i niezależnie od bidła, na korpusie krosna. Obydwa warianty przedstawiono na fotografiach na rysunkach 1.12 i 1.13.



Rys. 1.11. Stanowisko badawcze z *WMB* z elektromagnesami posadowionymi na bidle



Rys. 1.12. *WMB* z elektromagnesami posadowionymi na bidle

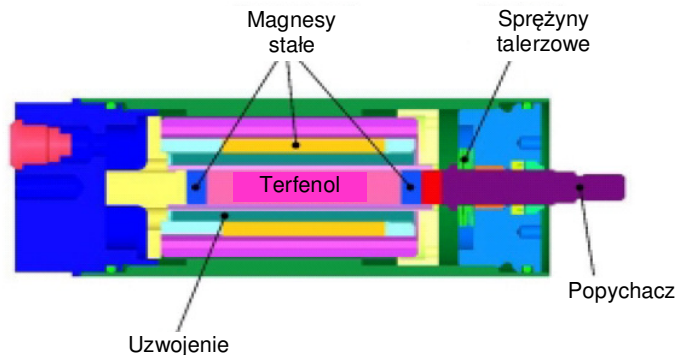


Rys. 1.13. *WMB* z elektromagnesami posadowionymi stacjonarnie

Działanie mechanizmów, pokazanych na fotografiach, zweryfikowano doświadczalnie. *WMB* z elektromagnesami na bidle potwierdził możliwość zastosowania. Uzyskano korzyści w zakresie zmniejszenia siły docisku zarówno na bidle, jak i na osnowie [50].

1.4.2. Wzbudzenie magnetostrykcyjne

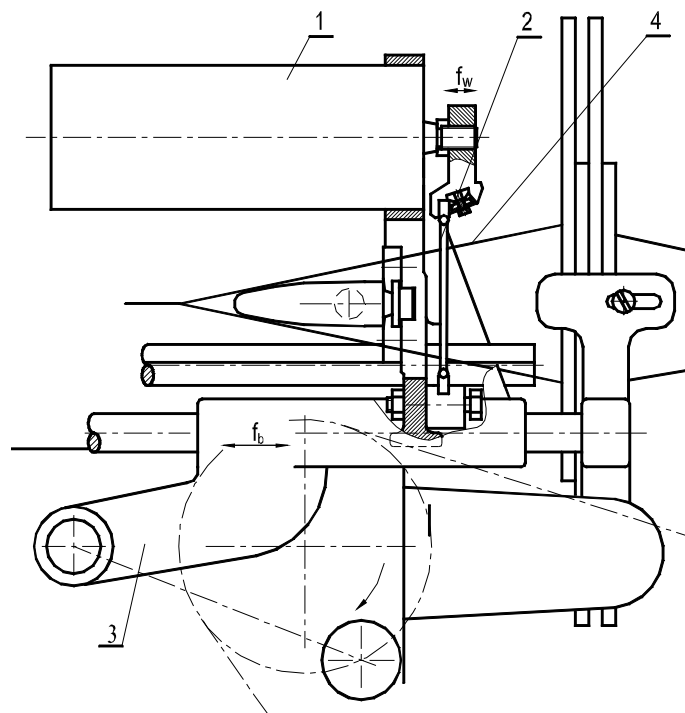
Rozważono możliwość zastosowania wzbudzenia ruchu wibracyjnego płochy siłownikiem magnetostrykcyjnym (tzw. aktuatorem). Takie nowoczesne urządzenia są dostępne na rynku. Budowę aktuatora przedstawiono na rysunku 1.14. Urządzenie elektryczne oprócz rdzenia magnetostrykcyjnego i uzwojeń składa się dodatkowo z elementów sprężystych i magnesów stałych. Zasilane specjalnym generatorem z zasilaczem stanowi zespół mechatroniczny. Ze względu na złożoność konstrukcji i brak doświadczeń w tej dziedzinie, a także ograniczenia patentowe – odrzucono samodzielne wykonanie zespołu aktuatora magnetostrykcyjnego.



Rys. 1.14. Budowa aktuatora magnetostrykcyjnego według oferty firmy ETREMA

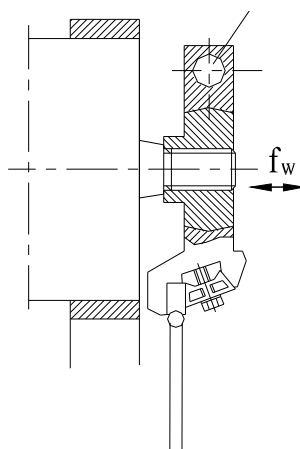
Producentem aktuatorów magnetostrykcyjnych jest amerykańska firma ETREMA. Według oferty [91], wymiary i masy aktuatorów są duże relatywnie: do amplitudy wzbudzanego ruchu wibracyjnego i do pręta aktywnego magnetostrykcyjnie (materiał TERFENOL B). Nawet najmniejszy z aktuatorów, o niewielkiej amplitudzie wzbudzanych wibracji ($Y_0 = 0,5 \text{ mm}$), jest kłopotliwy do zabudowy na stanowisku badawczym. Związanie z bidłem urządzenia o takich wymiarach i masie pociąga za sobą zmianę jego konstrukcji i konstrukcji całego krosna. Zabudowa bidła tak ciężkim wzbudnikiem wiąże się również ze zmniejszeniem częstotliwości wątkowania krosna.

Pomimo wymienionych ograniczeń podjęto próbę opracowania konstrukcji WMB ze wzbudzeniem magnetostrykcyjnym. Przykładowe rozwiązanie konstrukcyjne z aktuatorem posadowionym na bidle przedstawiono na rysunku 1.15. Aktuator magnetostrykcyjny 1, zabudowany na bidle 3, jest źródłem ruchu wibracyjnego o częstotliwości f_w . Z drgającym trzpieniem aktuatora sprzężona jest płocha 2. Ruch wibracyjny płochy jest przekazywany na watek i osnowę 4 w fazie dobicia.



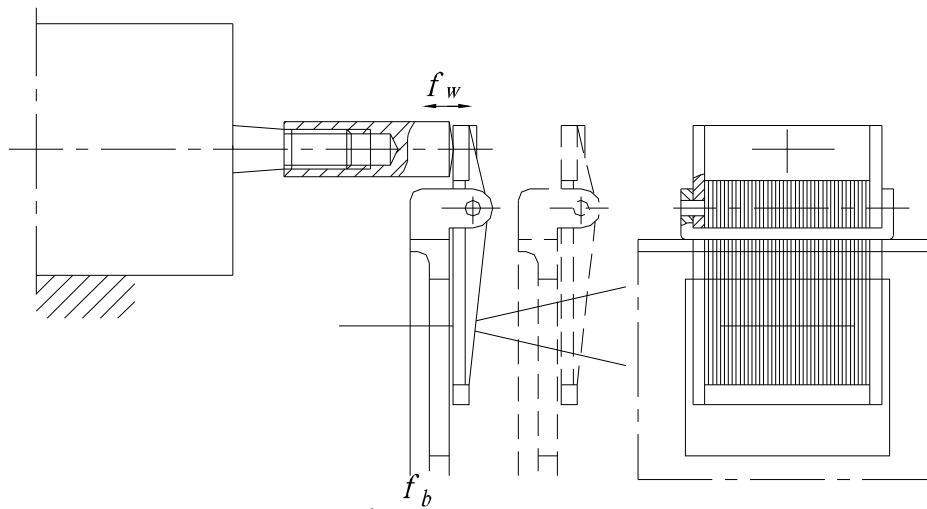
Rys. 1.15. Stanowisko badawcze z *WMB* z akuatorem magnetostrykcyjnym

Rozpatrzono wariant z przełożeniem mechanicznym, tak aby zwiększyć amplitudę ruchu vibracyjnego na wysokości krawędzi tkaniny, w stosunku do amplitudy wibracji końcówki akuatora. Rozważane rozwiązanie konstrukcyjne przedstawiono na rysunku 1.16.



Rys. 1.16. *WMB* z akuatorem i z przełożeniem mechanicznym

Rozpatrywano również stacjonarne wzbudzenie akkuratorem magnetostrykcyjnym. Przykładowe rozwiązanie konstrukcyjne przedstawiono na rysunku 1.17. Rozwiązanie nadaje się do krosien pasmanteryjnych z krótkimi płochami. Nie ma walorów aplikacyjnych na krosna szerokie.



Rys. 1.17. WMB z akkuratorem posadowionym na ramie krosna, niezależnie od bidła

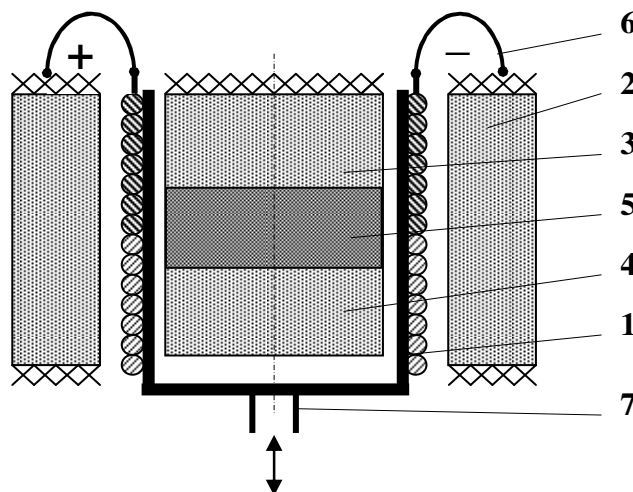
Podsumowując, koncepcję napędu ruchu wibracyjnego płochy opartej o akuator magnetostrykcyjny odrzucono.

1.4.3. Wzbudzenie magnetoelektryczne

Napęd magnetoelektryczny, opatentowany w 2001 roku [32], został zaprojektowany i wykonany do zadawania ruchu wibracyjnego płochy. Wcześniej tego typu napęd stosowano do sterowania zaworami rozrządu silnika spalinowego [31, 37] oraz do napędu grzebienia igielnicowego krosna tkackiego z wirującym konfuzorem [34]. Doświadczenia uzyskane przy budowie wspomnianych napędów pozwoliły na skonstruowanie magnetoelektrycznego siłownika, który działa jako wzbudnik do niniejszego układu wibracyjnego. Założone dynamiczne parametry ruchu układu wibrującego płochy wskazały na możliwość jego zastosowania także i w tym przypadku.

Koncepcja działania wzbudnika magnetoelektrycznego

Koncepcja działania wzbudnika magnetoelektrycznego jest przedstawiona na rysunku 1.18.



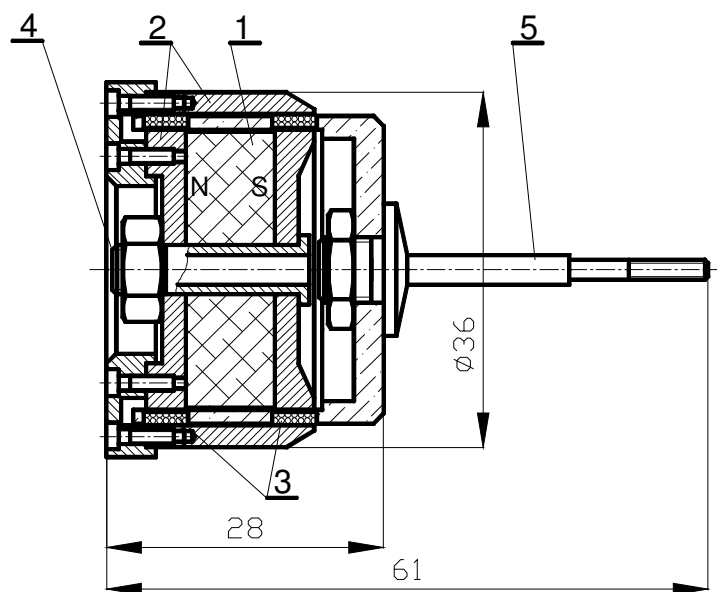
Rys. 1.18. Schemat wzbudnika magnetoelektrycznego

Wzbudnik składa się z magnesu stałego 5, nabiegunników 3 i 4, płaszcza 2, ruchomej cewki 1 nawiniętej na karkasie oraz elementów sprężystych 6 doprowadzających prąd do cewki. Karkas cewki posiada popychacz 7 do połączenia cewki z elementem maszyny. Magnes stały, nabiegunniki i płaszcza są nieruchome i służą do wytwarzania silnego pola magnetycznego w szczelinie między rdzeniem a nabiegunnikami. Szczelina jest stała i musi być na tyle duża by mógł przesuwać się w niej przewodnik z prądem, czyli cewka. Ruchoma cewka o niewielkiej masie jest umieszczona w tej szczelinie i oddziałuje na nią istniejące tam silne pole. Cewka, połączona z elementem maszyny, jest podzielona na dwie części – górną i dolną – nawinięte w przeciwnych kierunkach. Dzięki temu przepływ prądu powoduje powstanie siły o jednakowym zwrocie zarówno w górnej, jak i w dolnej części.

Siła napędowa powstaje w wyniku oddziaływania pola magnetycznego na płynący w cewce prąd. Ponieważ pole magnetyczne wytworzone przez magnes stały istnieje cały czas, to siła może być generowana natychmiast po pojawieniu się prądu i znika natychmiast po jego wyłączeniu. Taki układ charakteryzuje się relatywnie bardzo małą bezwładnością mechaniczną i bardzo krótkimi elektrycznymi stałymi czasowymi.

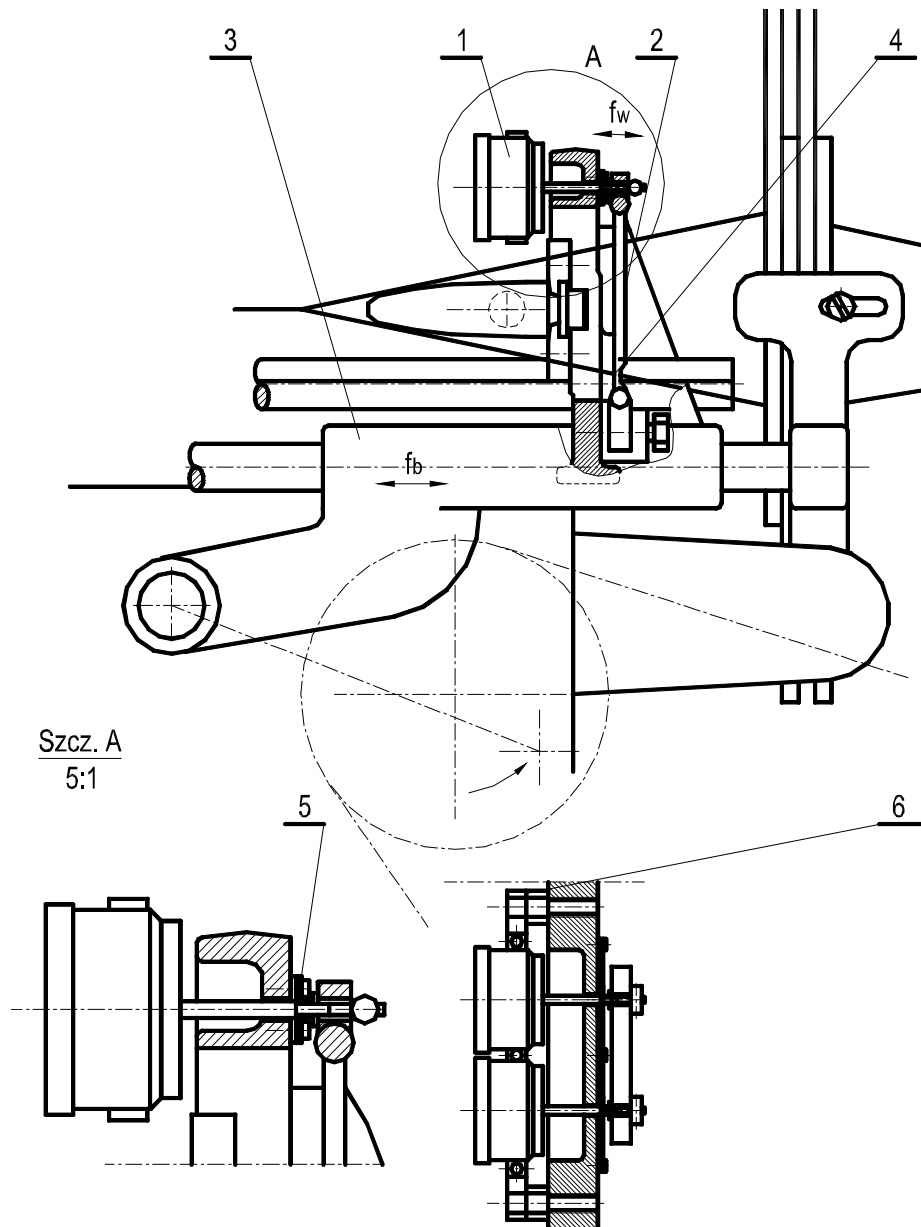
Konstrukcja wzбудnika magnetoelektrycznego

Na podstawie powyższej koncepcji oraz w oparciu o dotychczasowe doświadczenia konstrukcyjne został zaprojektowany i wykonany siłownik, oznaczony symbolem QW19, o parametrach zgodnych z postawionymi wymaganiami [33, 35]. Konstrukcję siłownika, przedstawiono na rysunku 1.19. W jego skład wchodzi: magnes trwały na bazie neodymu 1, nabiegunniki 2, dwa segmenty cewek na wspólnym karkasie 3, rdzeń 4, popychacz 5.



Rys. 1.19. Konstrukcja magnetoelektrycznego wzбудnika drgań płochy

Elementami ruchomymi, związanymi z płochą są: uzwojenie na karkasie, popychacz oraz częściowo elementy sprężyste doprowadzające prąd. Elementami nieruchomymi, związanymi z bidłem są: magnes stały, nabiegunniki, płaszcz, podstawa oraz częściowo elementy sprężyste doprowadzające prąd. Należy tu zaznaczyć, że bidło, traktowane jako nieruchome, wykonuje w trakcie pracy ruch posuwisto zwrotny względem całej maszyny, jednak jego częstotliwość jest blisko 100-krotnie mniejsza niż częstotliwość wymuszanych przez siłownik drgań płochy względem bidła. Konstrukcję WMB ze wzbudzeniem magneto-elektrycznym przedstawiono na rysunku 1.20.



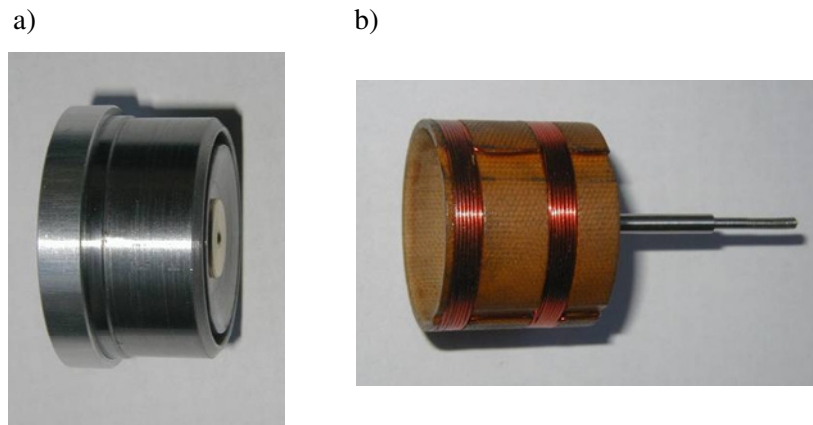
Rys. 1.20. Stanowisko badawcze z WMB ze wzбудnikami magnetoelktrycznymi posadowionymi na bidle

Zespół wzбудników 1, oddziałuje siłą okresowo zmienną na górny grzbiet płochy 2. U dołu płochy, mocowanej dolnym grzbietem sztywno do bidła, wykonane jest podcięcie 4. Płochy wykonuje ruch wibracyjny, o częstotliwości f_w , w układzie z dodatkową sprężyną płaską 5. Bidło 3 wykonuje ruch unoszenia f_b

zgodny z cyklem pracy krosna. Źródłem siły restytucyjnej ruchu drgającego układu wibracyjnego jest głównie sprężyna płaska. Płocha wraz z górnym grzbietem i część ruchoma wzbudników stanowią masę drgającą układu. Przedstawioną na rysunku 1.20 konstrukcję stanowiska badawczego wykonano i przetestowano. Ponieważ płocha uzyskiwała zakładane parametry ruchu wibracyjnego, przy relatywnie niewielkiej masie, konstrukcję uznano za zadowalającą.

Budowa wzbudnika magnetoelektrycznego

Wykonany zgodnie z powyższą konstrukcją wzbudnik, oznaczony symbolem QW19 [33], pokazany jest na rysunku 1.21.

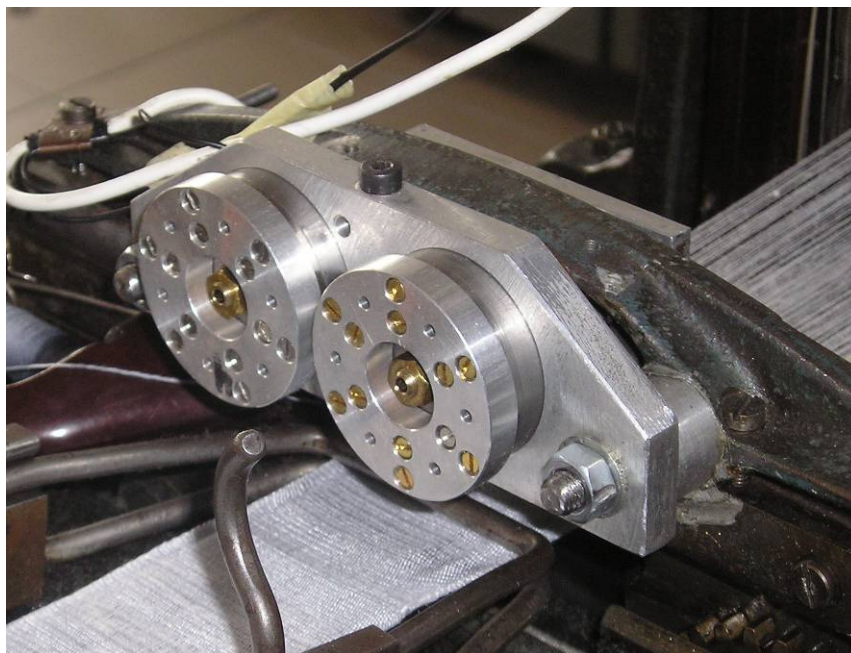


Rys. 1.21. Wzbudnik magnetoelektryczny QW19: a) część nieruchoma z obwodem magnetycznym, b) ruchoma cewka

Podstawowe dane techniczne

Napięcie zasilania	5-20 V
Maksymalna amplituda generowanych drgań	$\pm 0,6$ mm
Zakres częstotliwości generowanych drgań	0-1000 Hz
Zakres generowanych sił (dla jednego siłownika)	0-50 N

Do wprowadzenia w ruch wibracyjny modułu 10-centymetrowego odcinka płochy zostały wykorzystane dwa siłowniki magnetoelektryczne QW19, pracujące równolegle. Układ taki daje znacznie równomierniejszy rozkład sił wymuszających drgania niż układ z jednym siłownikiem umieszczonym centralnie. Na rysunku 1.22 pokazany jest zamontowany na stanowisku badawczym zespół wzbudników.



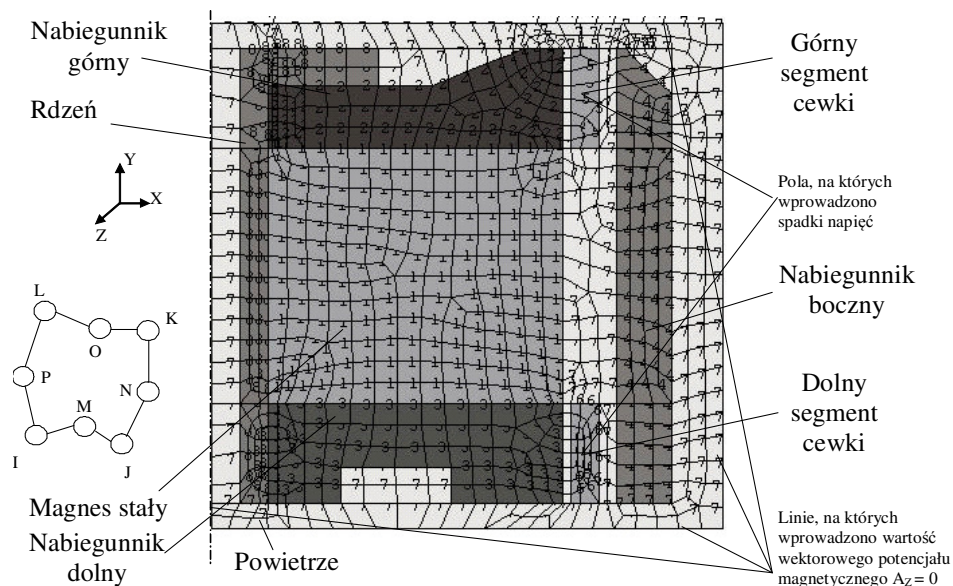
Rys. 1.22. Magnetoelektryczny układ wzbudzenia ruchu wibracyjnego płochy

Wyznaczanie siły elektrodynamicznej wzbudnika ruchu wibracyjnego płochy

Przebieg wartości siły oddziałującej na cewkę (rys. 1.21b) napędu płochy w funkcji czasu wyznaczono numerycznie, za pomocą metody elementów skończonych (MES). Rysunek 1.23 przedstawia model geometryczny elementu napędowego (wzbudnika), którego opór cewki wynosił $0,233 \Omega$. Użyte magnesy *Nd-Fe-Br* miały niemal liniowy charakter krzywej od magnesowania $B(H)$ [29], remanencję magnetyczną $Br = 1,1 \text{ T}$; natężenie koercji $Hc = 850 \text{ kA/m}$. Nabiegunniki wykonano z niskowęglowej litej stali wyżarzonej, której charakterystykę $B(H)$ podaje producent [35]. Rdzeń wykonano z brązu. Obliczenie siły generowanej przez napęd przeprowadzono dla przekroju osiowosymetrycznego. Ośią symetrii była oś Y . W celu uproszczenia obliczeń, zaniedbano wpływ ruchu cewki względem magnesu, rdzenia i nabiegunników na fakt generowania w cewce sił elektromotorycznych pochodzących od samoindukcji. Wspomniana siła elektromotoryczna, w rzeczywistym układzie, wpływa na chwilowe wartości prądu w cewce, zmieniając go jedynie o kilka procent. W obliczeniach założono, że na przepływ prądu w cewce w funkcji czasu wpływa przebieg wartości napięcia przyłożonego do cewki oraz przebieg zmian impedancji cewki w funkcji czasu. Ponadto w rdzeniu i nabiegunnikach generowane są prądy wirowe, które wpływają na indukcję magnetyczną, w obwodzie złożonym z rdzenia, promieniowych szczelin powietrznych, nabiegunników i magnesów stałych. Zmiany indukcji magnetycznej

w tym obwodzie, w funkcji czasu, wpływają na wartość generowanych sił Lorentza w napędzie.

Do obliczeń użyto elementu skończonego typu PLANE 53 [3]. Element ten posiadał osiem węzłów: 4 wierzchołkowe I, J, K, L i 4 wewnętrzne M, N, O, P (rys. 1.23). Podstawowymi stopniami swobody węzłów były wartości wektorowego potencjału magnetycznego w kierunku osi Z . Kierunek osi Z pokrywa się z kierunkiem wektorowego iloczynu wektorów $X \times Y$. Obciążeniem elementu skończonego, jednakowym w poszczególnych węzłach, była wartość prądu. Wartość tego prądu, w przypadku dynamicznych zmian napięcia przyłożonego do cewki, była obliczana na podstawie wprowadzonej wartości spadku napięcia na cewce, rezystywności materiału cewki i parametrów geometrycznych cewki. Dodatkowymi stopniami swobody elementu były indukcja magnetyczna B i natężenie pola magnetycznego H oraz składowe siły Lorentza F_x, F_y, F_z . Siatka elementów została wygenerowana automatycznie przez program ANSYS.



Rys. 1.23. Schemat geometrii magnetoelektrycznego napędu płochy, siatka elementów skończonych, element skończony, wprowadzone obciążenie w schemacie napędu płochy

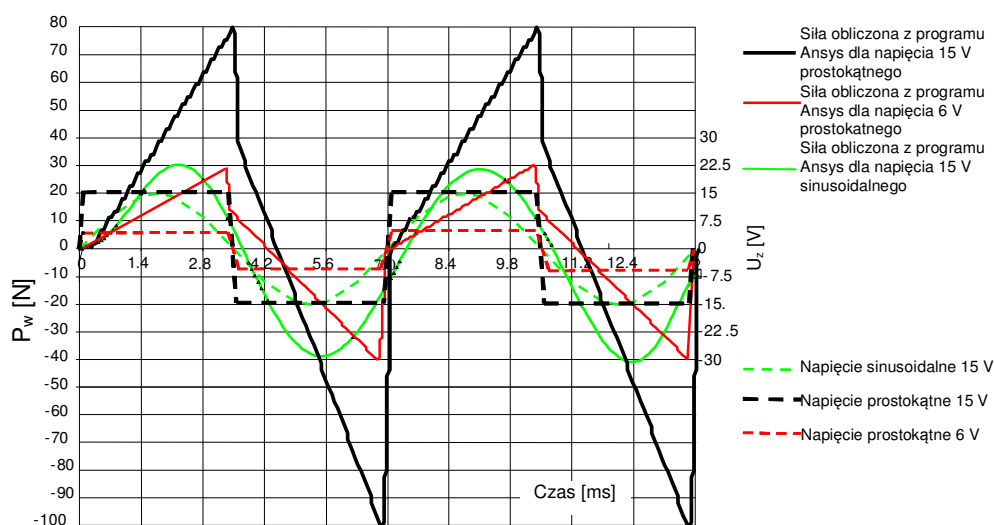
Wprowadzono następujące warunki brzegowe:

- w węzłach elementów skończonych, leżących w polu przekroju elementów cewki, wprowadzono wartości spadku napięcia równomiernie rozłożonego na wszystkie węzły. Wartość spadku napięcia zmieniała się względem czasu, w sposób sinusoidalny lub quasiprostokątny, zależnie od analizowanego przypadku,
- w węzłach elementów, leżących na zewnętrznych liniach ograniczających obszar powietrza, wprowadzono wartości wektorowego potencjału magnetycznego $A_z = 0$.

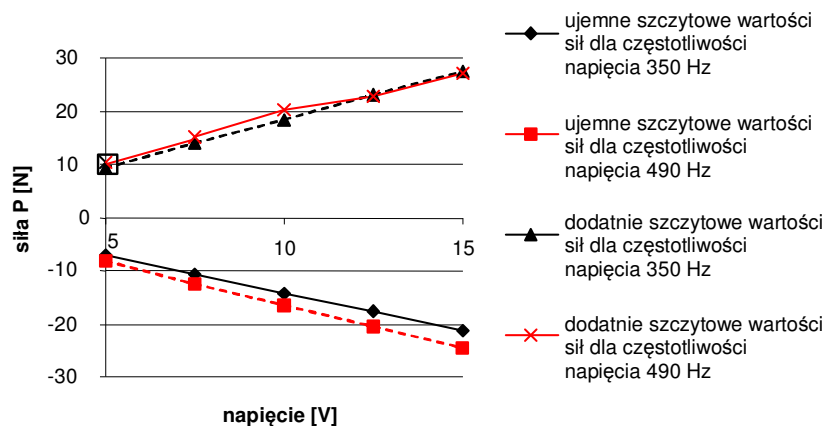
Na drodze numerycznej zostały wyznaczone wartości węzłowe wektorowego potencjału magnetycznego A i prądu i (w obrębie każdego elementu skończonego). Wartości wyjściowych stopni swobody elementów skończonych też zostały obliczone przez program. Daje to wyjściowe dane do określenia sił generowanych przez wzбудnik.

Dyskusja wyników

W oparciu o uzyskane wyniki obliczeń wyznaczono przebieg siły elektrodynamicznej w funkcji czasu, wyniki przedstawiono na rysunku 1.24. Jest to siła napędowa ruchu wibracyjnego płytki. Można zauważyć pewną asymetrię amplitudy generowanej siły P względem osi czasu sięgającą do 20%. Wynika ona z geometrii napędu, w szczególności z kształtów nabiegunków i ruchomej cewki, wpływających na kształt pola magnetycznego pochodzącego z magnesu stałego. Pole to charakteryzujące się pewną niejednorodnością, oddziałuje na cewkę z prądem usytuowaną w szczelinie powietrznej między nabiegunkami. W wyniku tego powstaje niejednorodny rozkład sił działających na poszczególne zwoje cewki. Oba segmenty cewek oddziałują na siebie poprzez indukowanie w poszczególnych zwojach obu segmentów dodatkowych sił elektromotorycznych, zmiennych w czasie i zależnych od płynącego prądu w cewce. Występowanie takiej niewielkiej asymetrii sił może mieć pozytywny skutek, zwłaszcza gdy wymagane są większe wartości sił w ruchu roboczym niż w ruchu jałowym, na przykład w fazie dobicia wążku. Siła generowana w cewce jest natomiast liniowo zależna od pobieranego prądu, stosunek ten waha się w granicach 2-2,1 N/A.



Rys. 1.24. Przebieg napięcia i odpowiadającej siły (MES) generowanej w cewce w funkcji czasu, dla napięcia o charakterze: quasiprostokątnym i sinusoidalnym



Rys. 1.25. Porównanie obliczonych szczytowych wartości sił elektrodynamicznych P działających na ruchomą cewkę wzbudnika w funkcji amplitudy quasiprostokątnego napięcia zasilania, dla częstotliwości napięcia $f_w = 350 \text{ Hz}$ i 490 Hz

Na podstawie analizy rysunków 1.24 i 1.25 stwierdzono, że szczytowa siła generowana w analizowanym wzbudniku magnetoelektrycznym niemal liniowo wzrasta przy wzroście napięcia, praktycznie niezależnie od częstotliwości i jego charakteru.

Konkluzja

Zespół wzbudzający ruch wibracyjny płochy, w którego skład wchodzi siłowniki magnetoelektryczne z układem sterującym, wykonano i przetestowano. Wzbudniki magnetoelektryczne realizują najskuteczniej wzbudzenie, z dotychczas rozważanych koncepcji, w stopniu wystarczającym do wibracyjnego zagęszczania wątku. Wzbudniki spełniają założone w rozdz. 1.2 parametry ruchu wibracyjnego płochy. Na tym etapie zakończono poszukiwanie koncepcji wzbudzenia. Nie analizowano innych konstrukcji, uznając wzbudzenie magnetoelektryczne za zadowalające.

1.5. Rozbudowa układu kontroli napięcia osnowy

Jednym z najistotniejszych parametrów wpływających na zagęszczenie wątków jest wstępne napięcie osnowy [70]. Badania nad wpływem wibracyjnego dobicia wątku na obciążenie płochy i osnowy oraz na własności wytwarzanej tkaniny wymagają możliwości regulacji, zachowania na stałym poziomie oraz powtarzalności tego parametru.

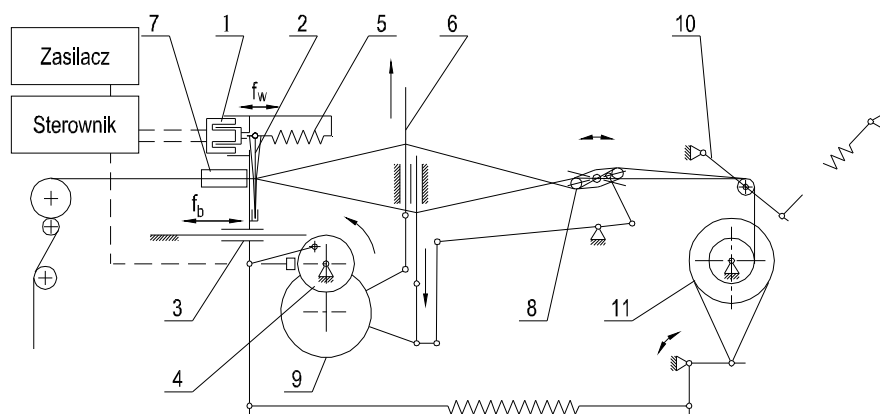
1.5.1. Układ pasywny zasilania osnową strefy tkania

Stanowisko z *WMB* początkowo było wyposażone w stałonapięciowy hamulec wału osnowowego [71]. W trakcie badań wstępnych stwierdzono, że osiągnięta siła

napięcia osnowy jest zbyt mała i nieadekwatna do tkania w warunkach silnych zagęszczeń. Na przebiegach napięcia osnowy podczas tkania zidentyfikowano niepowtarzalność poziomów poszczególnych cykli. Uznano potrzebę zmodernizowania istniejącego hamulca. Zbudowano system zasilania osnową, który składa się ze sterowanego hamulca wału osnowowego, podatnego przeważu i uchylnego krzyżulca (rys. 1.26).

Sterowany ruchem bidła hamulec wału osnowowego różnicuje intensywność hamowania w cyklu pracy krosna. Skutecznie zwiększa hamowanie, szczególnie w fazie dobicia. Sterowany ruchem nicielnicy uchylny krzyżulec (rozwiązanie znane z krosien produkcji czeskiej) napina na przemian gałęzie przesmyku. Obydwa mechanizmy pozwalają zwiększyć siłę napięcia osnowy, szczególnie podczas dobicia. Działanie mechanizmów w konsekwencji ma wyeliminować niekontrolowane poślizgi wału podczas dobicia. Ma to zapewnić stabilność napięcia osnowy w ramach wielu cykli.

Uchylny, sprężysto podwieszony przewał (rozwiązanie znane z niektórych współczesnych krosien [54, 77]) dodatkowo ma zmniejszyć różnice w napięciu osnowy w obrębie cyklu pracy krosna. Układ z założenia miał zapewnić optymalne warunki zasilania osnową strefy tkania.



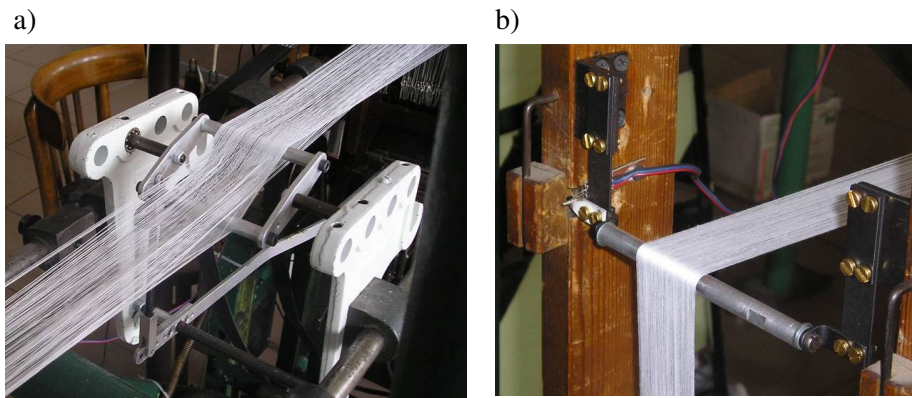
Rys. 1.26. Schemat stanowiska badawczego z mechanizmami pasywnego podawania osnowy

- 1 – wzbudnik, 2 – płyta, 3 – bidło, 4 – wał główny, 5 – element sprężysty, 6 – nicielnice,
7 – mechanizm przerzutowy, 8 – uchylny krzyżulec, 9 – mechanizm nicielnicowy,
10 – uchylny przewał, 11 – sterowany hamulec wału osnowowego

System został tak zaprojektowany, by była możliwość działania w różnych konfiguracjach. Możliwość wyłączenia każdego z mechanizmów pozwala na określenie wpływu jego działania na stabilność zasilania osnową i skuteczność dobicia wibracyjnego.

Podczas badań zauważono, że ten złożony system zasilania osnową strefy tkania pozwolił na zwiększenie napięcia osnowy, ale nadal nie zapewnia jego stabilności w obrębie wielu cykli tkackich. Poziom poszczególnych cykli na

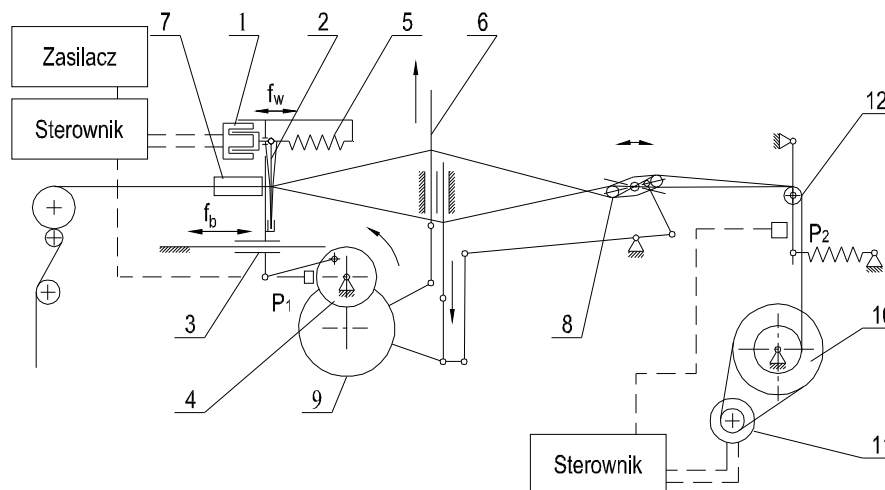
zarejestrowanych przebiegach napięcia osnowy różnił się w niewielkim stopniu, zakłócając pomiar sił dobicia. Na fotografii 1.27 przedstawiono uchylny krzyżulec i uchylny przewał.



Rys. 1.27. Elementy pasywnego układu zasilania osnową: a) uchylny krzyżulec, b) podatny przewał

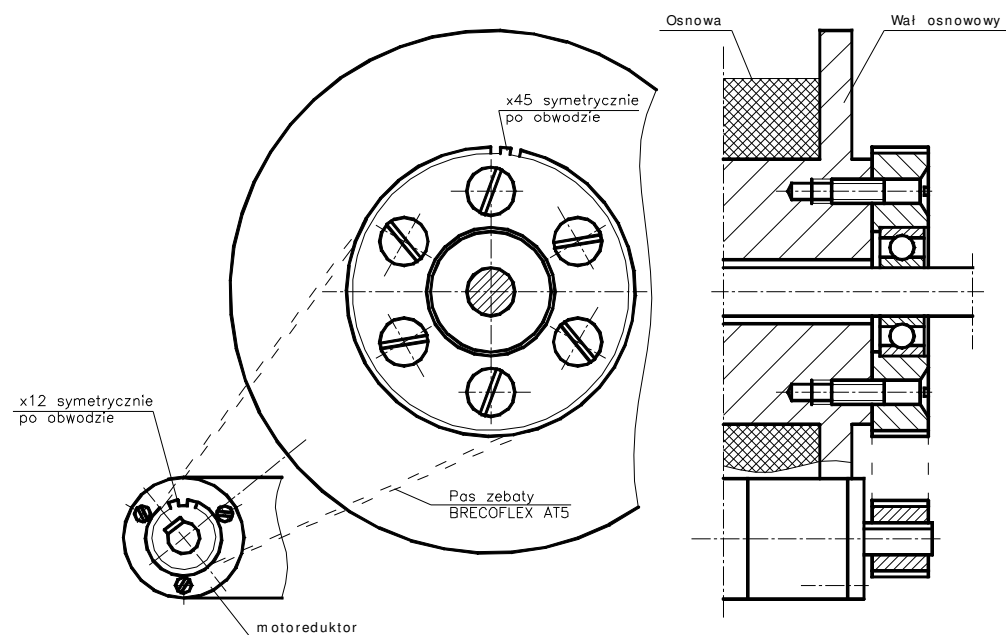
1.5.2. Układ aktywny zasilania osnową strefy tkania

Dla zapewnienia stabilności napięcia osnowy w trakcie tkania, został zaprojektowany i wykonany aktywny układ napędu wału osnowowego z kontrolą napięcia osnowy i sprzężeniem zwrotnym. Schemat stanowiska badawczego z aktywnym zasilaniem osnową przedstawiono na rysunku 1.28.

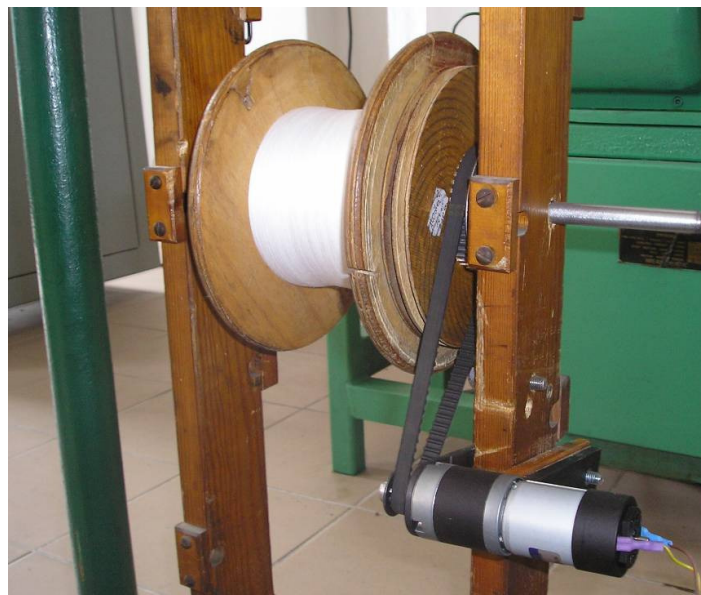


Rys. 1.28. Schemat stanowiska badawczego z mechanizmem aktywnego zasilania osnową
 1 – wzбудnik, 2 – płyta, 3 – bidło, 4 – wał główny, 5 – element sprężysty, 6 – nicielnice,
 7 – przewał, 8 – krzyżulec, 9 – mechanizm nicielnicowy, 10 – wał osnowowy,
 11, 12 – mechanizmy kontroli napięcia osnowy
P1 – wyzwalacz napędu wibracyjnego, *P2* – czujnik ugięcia przewału

Układ aktywny, oparty o niezależny elektryczny napęd z dwustopniową przekładnią, zbudowano i sprawdzono jego działanie. Konstrukcję napędu wału osnowowego przedstawiono na rysunku 1.29.

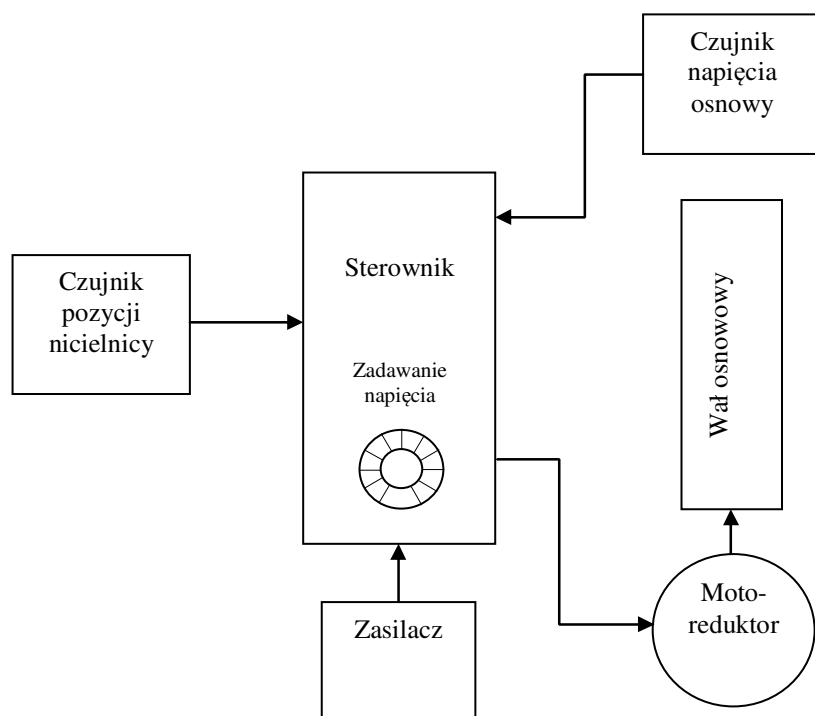


Rys. 1.29. Układ kontroli napięcia osnowy – konstrukcja



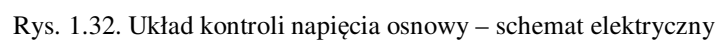
Rys. 1.30. Aktywny układ napędu wału osnowowego

Do istniejącego wału osnowowego przymocowano koło, stanowiące część przekładni pasowej zębatej. Oś wału osnowowego łożyskowano tocznie. Drugi stopień przełożenia stanowi przekładnia planetarna w motoreduktorze. Osiągnięto przełożenie całkowite 1:2400 i w konsekwencji samohamowność napędu. Ostatni człon napędu stanowi silnik elektryczny prądu stałego. Układ pokazano na fotografii na rysunku 1.30.



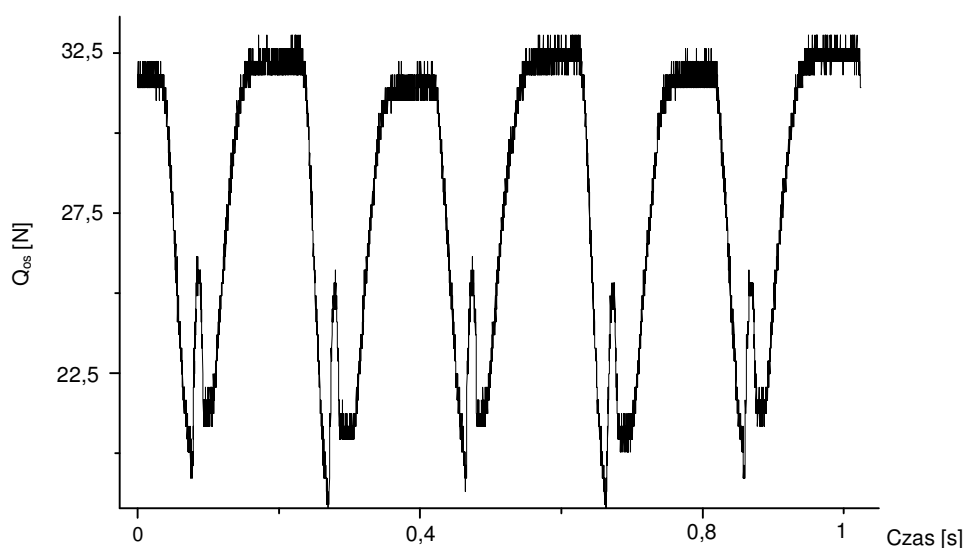
Rys. 1.31. Układ kontroli napięcia osnowy – schemat ideowy

Układ sterujący, którego schemat blokowy przedstawiony jest na rysunku 1.31, a schemat elektryczny na rysunku 1.32, składa się z czujnika naprężenia osnowy zamontowanego na uchylnym przewale (fot. 1.27b), sterownika, czujnika położenia nicielnicy oraz zasilacza. W skład sterownika wchodzi elementy służące do ustawiania wymaganego naprężenia, komparacji wielkości mierzonej i wymaganej oraz mostek tranzystorowy typu H, służący do sterowania napięciem zasilającym motoreduktor.



Działanie układu jest następujące. Pod wpływem zmian naprężenia nici osnowy następuje niewielkie, sprężyste odkształcenie mocowania przeważu. Jest ono odczytywane przez czujnik i w postaci sygnału napięciowego przesyłane do sterownika. Odkształcenie to podlega dwójakiego rodzaju zmianom [30]. Krótkotrwałym, zachodzącym w ramach jednego cyklu tkackiego, związanym z ruchem bidła i nicielnicy oraz długotrwałym, związanym z odbieraniem wykonanej tkaniny i odwijaniem osnowy z wału osnowowego (rys. 1.34). Zadaniem układu kontroli jest tylko kompensacja zmian długotrwałych, bez uwzględniania zmian krótkotrwałych. Z tego względu zastosowany został czujnik położenia nicielnicy, pozwalający na synchronizację odczytu naprężenia z pracą krosna, tak by wyeliminować wpływ zmian krótkotrwałych.

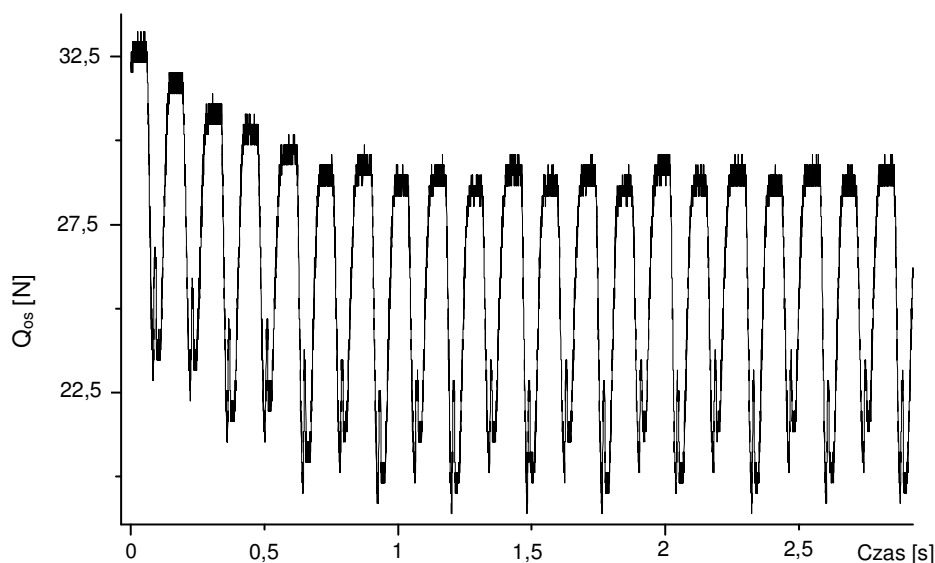
Wzrost odczytanego naprężenia osnowy, wynikający z odebrania odcinka wykonanego materiału, powyżej wartości zadanej, powoduje krótkotrwałe wystrojenie silnika w kierunku odwijania, aż do chwili zrównania obu wartości. Zbyt mała wartość naprężenia, wynikająca np. z warunków początkowych lub zwiększenia wartości zadanej, spowoduje chwilowe działanie silnika w kierunku nawijania osnowy, aż do zrównania wartości mierzonej i zadanej.



Rys. 1.33. Napięcie osnowy utrzymywane na stałym poziomie przez układ aktywny

Aktywny układ napędu wału osnowowego, przedstawiony na fotografii (rys. 1.30), został uruchomiony na stanowisku badawczym. Celem jego weryfikacji przeprowadzono rejestrację czujnikiem napięcia osnowy obejmującą szereg cykli tkackich (rys. 1.33). Widać prawidłowe działanie układu, który utrzymuje napięcie osnowy na stałym poziomie, pozostawiając zarazem cykl wynikający ze zmian krótkotrwałych.

Inne rejestrowane próby układu polegały na zadawaniu zmian napięcia osnowy w trakcie pomiaru. Jak widać na jednym z zarejestrowanych przebiegów (rys. 1.34), układ dopasowuje się w obrębie kilku cykli i dalej utrzymuje napięcie na stałym poziomie.



Rys. 1.34. Zadane napięcie osnowy regulowane układem aktywnym do stałego poziomu

Konkluzja

Aktywny układ podawania osnowy ustabilizował jej napięcie w obrębie wielu cykli dobiecia. W poszczególnych cyklach napięcie osnowy mierzone przy otwartym przesmyku nie różni się w sposób widoczny.

1.6. Instrumentarium do realizacji pomiarów na stanowisku badawczym

Realizacja celów naukowych pracy wymagała rozbudowy stanowiska badawczego o odpowiednie instrumentarium badawcze. Stanowisko wyposażono w następujące tory pomiarowe: położenia płochy względem bidła, bidła względem korpusu krosna, napięcia osnowy i prądu zasilającego wzbudnik. Wartości poszczególnych parametrów rejestrowano w trakcie procesu zagęszczania wátku. Tory pomiarowe sprzęgnięto z komputerem rejestrującym dane, poprzez kartę analogowo-cyfrową o symbolu USB-9117 [89] i częstotliwości próbkowania $10 \mu s$. W konsekwencji wykorzystania 5 kanałów (dwa punkty pomiarowe na płosze) karta umożliwiała pomiar poszczególnych wielkości w odstępie $50 \mu s$. Ponieważ większa z częstotliwości rezonansowych wibrującej płochy wynosi $f_w = 500 \text{ Hz}$, 40 punktów pomiarowych w jednym cyklu ruchu wibracyjnego płochy uznano za wystarczające do scharakteryzowania jej dynamiki. Pozostałe mierzone wielkości zmieniały się wolniej.

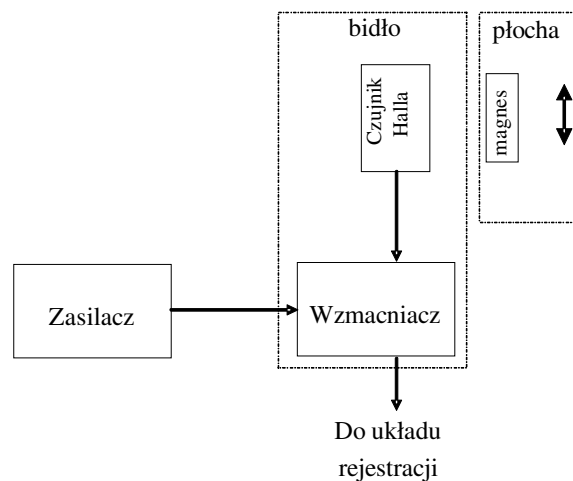
1.6.1. Instrumentarium badawcze do pomiarów ruchu wibracyjnego płochy

Celem rejestracji wibracji płochy uznano potrzebę pomiaru chwilowych ugięć płochy na wysokości jej górnego grzbietu – w miejscu wymuszenia drgań i na wysokości krawędzi tkaniny – w miejscu dobicia. Przedmiotem pomiaru było ugięcie płochy względem bidła, z czego wynikała konieczność powiązania czujnika z bidłem, a także ograniczenie masy ruchomych elementów czujnika, tak by nie wpływały na wynik pomiaru.

Celem realizacji pomiarów przeanalizowano możliwość zastosowania czujników przemieszczeń hallotronowych i optycznych. Ze względu na prawidłowość odwzorowania ruchu płochy względem bidła czujnik powinien zapewnić liniowość pomiaru w zakresie $\pm 1\text{ mm}$ – dla górnego grzbietu płochy i $\pm 0,5\text{ mm}$ dla pomiaru ugięcia na wysokości krawędzi tkaniny, rozdzielczość lepszą niż $10\text{ }\mu\text{m}$ i pasmo przenoszenia o zakresie co najmniej $0\text{--}2\text{ kHz}$.

Metoda hallotronowa

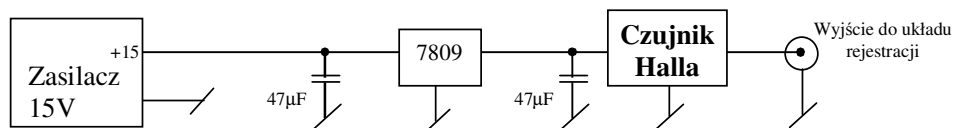
Żaden z dostępnych handlowo czujników nie spełnia wszystkich powyższych wymagań, co spowodowało konieczność opracowania specjalnego czujnika dla tego stanowiska. W oparciu o dotychczasowe doświadczenia, uzyskane przy konstrukcji układów pomiarowych [40], skonstruowany został czujnik, którego schemat blokowy przedstawiono na rysunku 1.35.



Rys. 1.35. Czujnik położenia płochy względem bidła

Czujnik jest zbudowany na bazie czujnika Halla i współpracującego z nim magnesu stałego. Ponadto w jego skład wchodzi: układ wzmacniający, wyjścia do układu rejestracji oraz układu zasilania. Czujnik Halla jest związany z bidłem, a magnes z drgającą płochą. Działanie czujnika opiera się na pomiarze, przez czujnik Halla, pola magnetycznego wytworzonego przez magnes stały. Pozwala na

pomiar wibracji o amplitudzie do $0,5\text{ mm}$ i częstotliwości do około 20 kHz . Sygnałem wyjściowym, informującym o wzajemnym położeniu, jest napięcie w przedziale $0,5\text{V}-4,5\text{V}$. Odczytana wartość jest zależna od wzajemnego położenia obu elementów, zatem przemieszczenie płyty wraz z bidłem nie powoduje zmian sygnału wyjściowego. Dopiero wprowadzenie płyty w wibracje powoduje zmiany wzajemnego położenia i generowanie odpowiedniego sygnału wyjściowego. Na rysunku 1.36 przedstawiony jest schemat elektryczny połączeń czujnika.



Rys. 1.36. Schemat elektryczny połączeń czujnika położenia płyty względem bidła

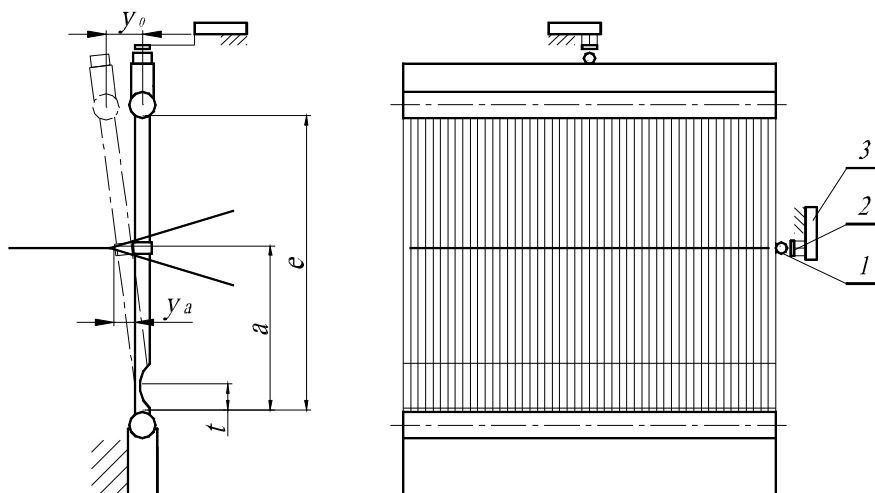
Zaprojektowany czujnik został wykonany i zamontowany na stanowisku badawczym.

Pozostałe parametry czujnika:

- Poziom szumów 6 mV , co odpowiada przemieszczeniu $1,5\text{ }\mu\text{m}$
- Masa magnesu $< 0,1\text{ g}$
- Masa czujnika Halla ze wzmacniaczem $< 20\text{ g}$
- Wskazania czujnika są praktycznie liniowe w przedziale przesunięć $\pm 1/4$ wysokości magnesu od położenia środkowego.

Uzyskane parametry zapewniają prawidłowy pomiar przemieszczeń wynikających z ugięcia płyty względem bidła, przynajmniej na wysokości jej górnego grzbietu.

W pierwszym etapie zaprojektowano i wykonano układ pomiarowy ugięcia płyty oparty na dwóch czujnikach hallotronowych (rys. 1.37). Czujnik składa się: z części stałej (elementu magnetycznie aktywnego -2 i układu wzmacniającego -3) oraz z części ruchomej (magnes pomiarowy -1).



Rys. 1.37. Pomiar ugięcia płyty w oparciu o dwa czujniki hallotronowe

Podczas dobicia trzcinki płochy odchylają się na wysokości tkaniny w sposób stochastyczny – jedna bardziej, inna mniej. Odpowiedzialna jest za to nierównomierność napięcia poszczególnych nitek osnowy. Można zatem mówić o pewnym zbiorze zdarzeń oraz o średnim ugięciu. Dlatego pomiar ugięcia na pojedynczej trzcinie płochy jest nie w pełni reprezentatywny.

Pomiar ugięcia płochy metodą hallotronową wymaga umieszczenia magnesu pomiarowego na trzcinie. Trzcinki obciążone siłą dobicia nie nadają się do montażu na nich żadnych elementów pomiarowych. Magnes przeszkadza swobodnemu przemieszczaniu osnowy pomiędzy nimi, co zakłóca proces technologiczny. Magnes pomiarowy można związać jedynie z jedną z trzcinek swobodnych. Są to trzcinki skrajne w płosze, pomiędzy którymi nie przechodzi nitka osnowy. Trzcinka swobodna jako nieobciążona siłą dobicia wygina się inaczej od pozostałych. Dokładna analiza zjawiska jest kłopotliwa, ponieważ trzcinki trwale związane są ze sobą grzbietem płochy, ich wzajemne oddziaływanie jest trudne do określenia. Ponadto wibrująca trzcinka pomiarowa pracuje w warunkach dodatkowego obciążenia dynamicznego pochodzącego od masy magnesu umieszczonego na wysokości krawędzi tkaniny. Amplituda tego obciążenia wynosi:

$$F_m = m_m \omega^2 Y_a \quad (1.12)$$

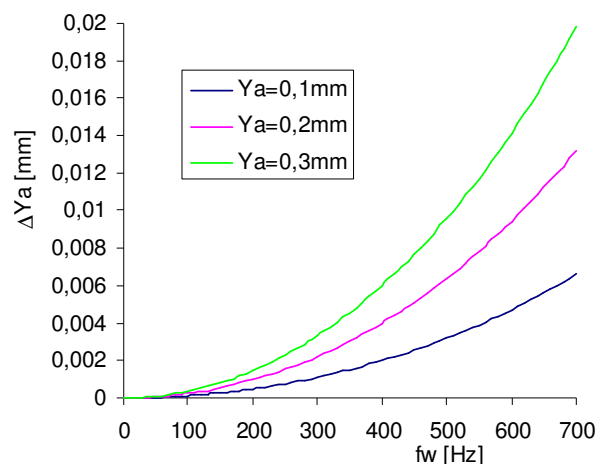
gdzie m_m – masa magnesu pomiarowego.

Na podstawie znanych zależności na amplitudę ruchu drgającego z wymuszeniem harmonicznym oraz na ugięcie belki podpartej obustronnie [12] określono maksymalne ugięcie trzcinki pomiarowej względem pozostałych trzcin swobodnych (1.13). W rozważaniach pominięto wpływ tłumienia drgań zakłócających trzcinki.

$$\Delta Y_a = \frac{F_m}{m_m (\omega_{0t}^2 - \omega_w^2)}, \quad \omega_{0t}^2 \approx 109,7 \frac{EJ}{(e-s)^3 m_m}, \quad (1.13)$$

gdzie ω_{0t} – częstość kołowa własna trzcinki.

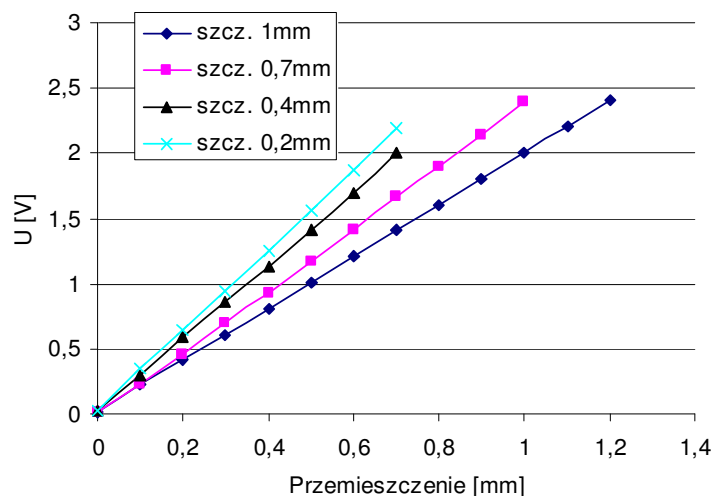
Wyniki przedstawiono w postaci wykresu (rys. 1.38).



Rys. 1.38. Maksymalne ugięcie trzcinki pomiarowej na wysokości krawędzi tkaniny z tytułu obciążenia dynamicznego związanego z masą magnesu pomiarowego w funkcji częstotliwości ruchu vibracyjnego płochy

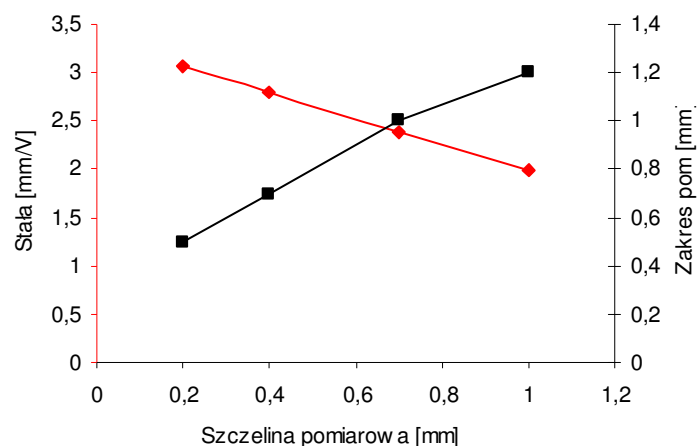
Szacunkowo, w warunkach stanowiska badawczego (płochą o szerokości trzcinki $h = 2,5 \text{ mm}$, częstotliwość ruchu vibracyjnego $f_w = 500 \text{ Hz}$) błąd ugięcia płochy nie przekracza $\Delta Y_a = 0,005 \text{ mm}$. Dodatkowo istnieje możliwość sklejenia kilku trzcinek swobodnych. Wtedy błąd będzie odpowiednio mniejszy.

Pomiar odchylenia płochy na wysokości jej górnego grzbietu (rys. 1.37) nie jest obarczony wyżej wymienionymi wadami. Przyjęto, że tam rejestracja drgań czujnikiem hallotronowym odpowiada chwilowym wartościom ugięć płochy. Wykonane wzorcowanie czujnika hallotronowego przedstawiono w postaci wykresu na rysunku 1.39.



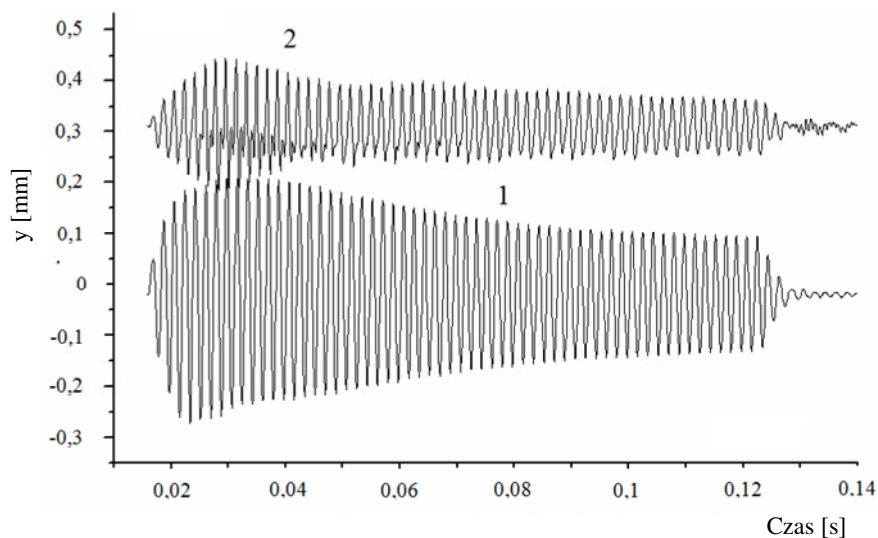
Rys. 1.39. Wzorcowanie czujnika hallotronowego dla różnych odległości czujka od magnesu pomiarowego

Liniowy zakres pomiarowy czujnika hallotronowego przedstawiono na wykresie w funkcji szczeliny pomiarowej na rysunku 1.40. Na tym samym rysunku na wykresie czerwonym przedstawiono stałą czujnika. Jak widać, aby rozszerzyć zakres pomiarowy, należy zwiększyć szczelinę pomiarową, ale należy liczyć się z mniejszą czułością przyrządu.



Rys. 1.40. Stała – czerwony i zakres pomiarowy – czarny w funkcji szczeliny pomiarowej czujnika hallotronowego

Zakres pomiarowy wzorcowanego czujnika odpowiada przewidywanemu zakresowi przemieszczeń górnego grzbietu wibrującej płochy.



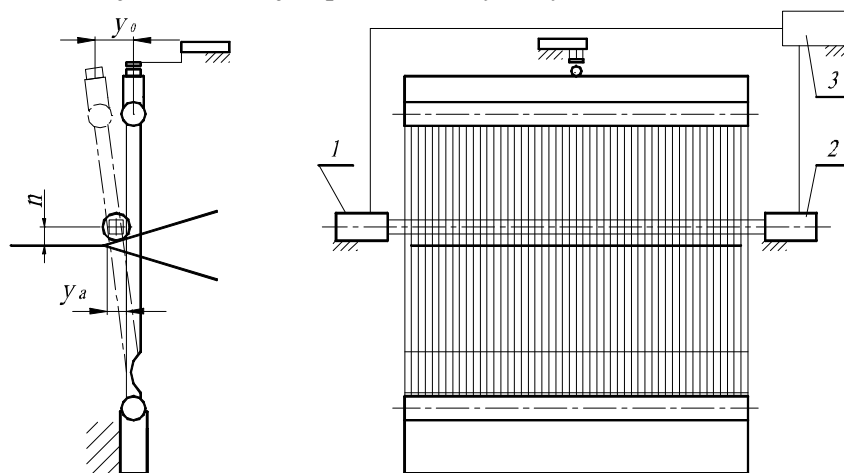
Rys. 1.41. Porównanie przebiegów wibracji płochy uzyskanych z czujników hallotronowych
1 – na wysokości górnego grzbietu płochy, 2 – na wysokości krawędzi tkaniny

Celem weryfikacji porównano zarejestrowane przebiegi z obu punktów pomiarowych (rys. 1.41). Z uwagi na zminimalizowanie wpływu innych zakłóceń, rejestracji drgań płochy dokonano na niepracującym krośnie. Jeśli założyć, że pomiar na wysokości górnego grzbietu płochy jest właściwy, to wskazanie czujnika na wysokości krawędzi tkaniny w niewielkim stopniu odbiega od niego, szczególnie w początkowej fazie rejestracji.

Metoda hallotronowo-optyczna

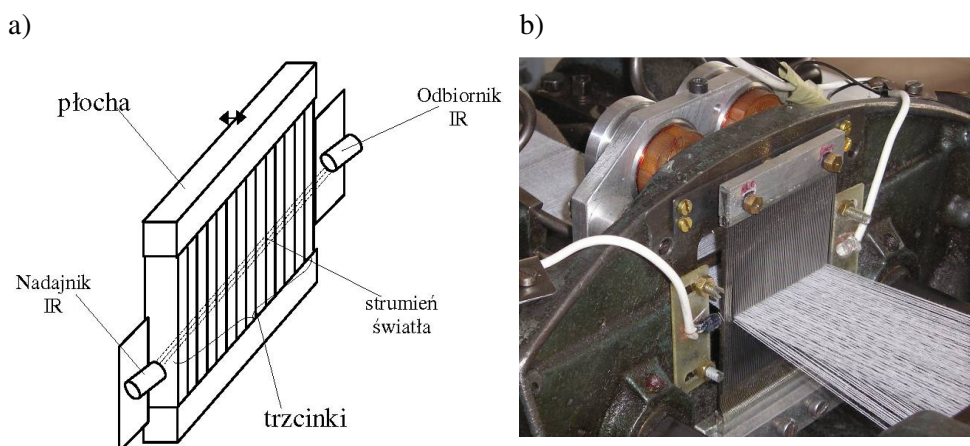
Dotychczas opracowany czujnik magnetyczny z elementem Halla i magnesem pozwalał na punktową obserwację przemieszczeń górnej krawędzi płochy. Duża sztywność tej części płochy pozwalała na umieszczenie magnesu bez obawy o wpływ jego masy na charakter drgań. Nie ma takiej możliwości na wysokości dobijania wątku, ze względu na zbyt małą sztywność pojedynczej trzcinki, do której siłą rzeczy musi być mocowany magnes.

Pomiar drgań wibrującej płochy na wysokości krawędzi tkaniny niezależnie na wszystkich trzcinkach jest trudny. Wyłącznie w sferze teorii można rozpatrywać taki pomiar oddzielnym czujnikiem na każdej trzcince niezależnie. Rozpatrzono natomiast pomiar przez wszystkie trzcinki. Zaprojektowany i zbudowany czujnik optoelektroniczny pozwala na obserwację drgań płochy w obszarze bardzo bliskim wysokości dobijania wątku i jest przedstawiony na rysunku 1.42.



Rys. 1.42. Pomiar ugięcia płochy na wysokości krawędzi tkaniny czujnikiem optycznym i na wysokości grzbietu czujnikiem hallotronowym
1 – nadajnik IR, 2 – odbiornik IR, 3 – układ zasilający

Obserwacja ugięcia dokładnie w miejscu dobijania nie jest możliwa ze względu na przysłanianie tego obszaru przez nitki osnowy. Czujnik, którego idea działania przedstawiona jest na rysunku 1.43, jest zbudowany z następujących elementów: płytki nadajnika IR (promieniowania podczerwonego), płytki odbiornika IR, oraz układu zasilającego oba elementy. Nadajnik i odbiornik wyposażone są w soczewki skupiające.

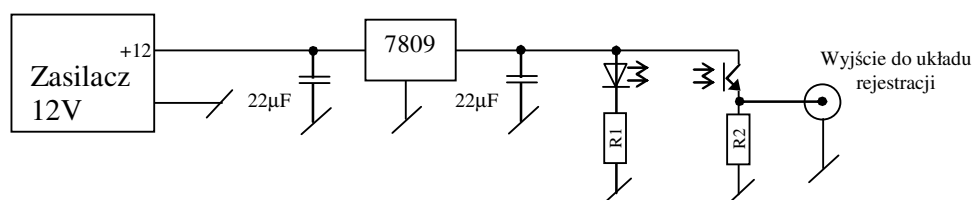


Rys. 1.43. Badanie przemieszczeń płochy czujnikiem: a) schemat ideowy, b) zainstalowany układ pomiarowy

Nadajnik i odbiornik są przymocowane do bidła i umieszczone po przeciwnych stronach płochy. Nadajnik wysyła w kierunku odbiornika wiązkę światła. Wiązka ta jest częściowo przesłonięta przez płochę. Drgania płochy względem bidła powodują zmianę stopnia przesłonięcia wiązki światła. Zmiana strumienia świetlnego padającego na odbiornik powoduje proporcjonalną zmianę płynącego prądu, a w konsekwencji zmianę napięcia wyjściowego. Napięcie to, odpowiadające przemieszczeniu płochy, może być rejestrowane.

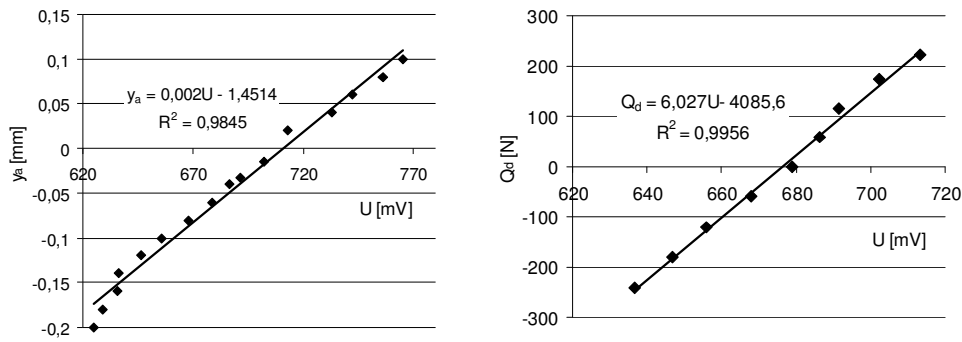
Czujnik pozwala na pomiar vibracji o amplitudzie do $0,7\text{ mm}$ i częstotliwości do około 20 kHz . Sygnałem wyjściowym, informującym o wzajemnym przesunięciu, jest napięcie w przedziale $0,5\text{--}1,5\text{ V}$. Pasmo przenoszenia czujnika wynosiło $0\text{--}20\text{ kHz}$.

Odczytana wartość jest zależna od wzajemnego położenia obu elementów, zatem przemieszczenie płochy wraz z bidłem nie powoduje zmian sygnału wyjściowego. Dopiero wprowadzenie płochy w vibracje powoduje zmiany wzajemnego położenia i generowanie odpowiedniego sygnału wyjściowego. Schemat elektryczny połączeń czujnika jest przedstawiony na rysunku 1.44.



Rys. 1.44. Schemat elektryczny optoelektronicznego czujnika przemieszczeń płochy

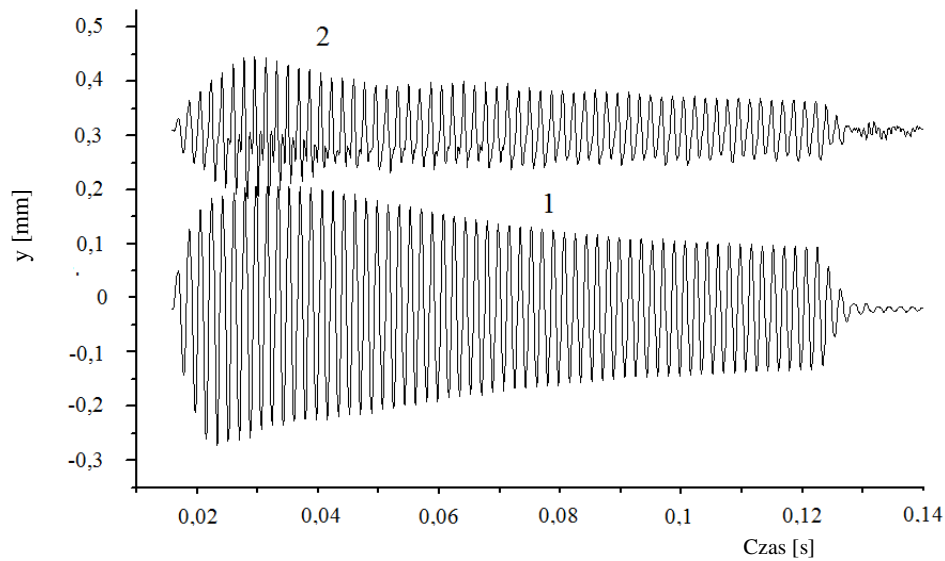
Zaprojektowany czujnik optoelektroniczny został wykonany i zamontowany na stanowisku badawczym, co przedstawiono na zdjęciu na rysunku 1.43b. Wykonano wzorcowanie czujnika względem przemieszczenia płochy oraz siły zginającej płochę [28]. Wyniki wzorcowania przedstawiono na rysunku 1.45.



Rys. 1.45. Wzorcowanie czujnika optoelektronicznego względem przemieszczenia i siły

W metodzie optoelektronicznej pomiar ugięcia płochy na wysokości krawędzi tkaniny jest realizowany poprzez przesłonięcie strumienia świetlnego przez trzcinki (rys. 1.43a). Zatem pomiar wskazuje wychylenie trzcinki maksymalnie ugiętej. Należy przypuszczać, że będzie to jedna z trzcinek obciążona siłą dobiecia. Korzystny jest fakt braku elementów ruchomych czujnika.

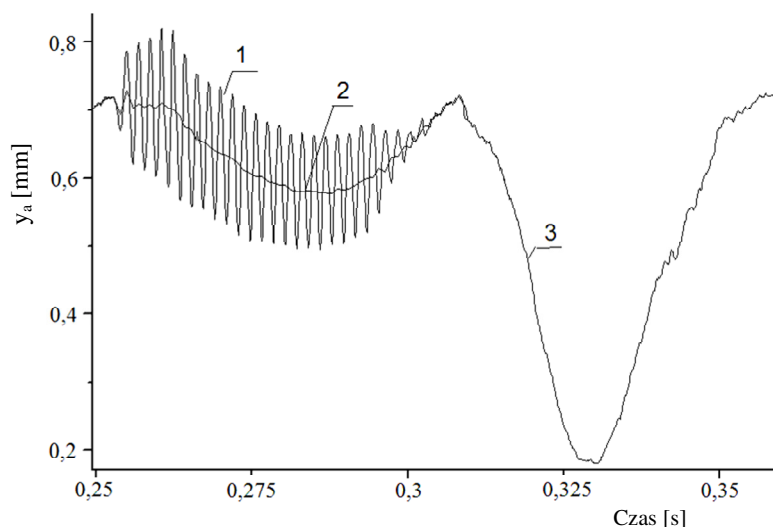
Przebieg drgań płochy na niepracującym krośnie rejestrowany czujnikiem optycznym odpowiada przebiegowi drgań rejestrowanych na grzbiecie płochy (rys. 1.46). Widać znacznie lepszą korelację między przebiegami niż w przypadku metody hallotronowej. Przeprowadzono wzorcowanie czujnika optycznego. Wykazano liniowość czujnika w przewidywanym zakresie pomiarowym (ok. 0,4-0,5 mm).



Rys. 1.46. Porównanie przebiegów wibracji płochy

1 – na wysokości górnego grzbietu płochy czujnikiem hallotronowym, 2 – na wysokości krawędzi tkaniny czujnikiem optoelektronicznym

Pomiar drgań płochy w fazie dobicia musi odbywać się powyżej krawędzi tkaniny o niewielką, ustaloną doświadczalnie wysokość – n (rys. 1.42). Poprawkę z tego tytułu należy uwzględnić w określaniu chwilowych ugięć płochy na wysokości krawędzi tkaniny.



Rys. 1.47. Fragment przebiegu chwilowych położenia płochy w trakcie tkania, zarejestrowany czujnikiem optoelektronicznym na wysokości krawędzi tkaniny

1 – ruch vibracyjny płochy, 2 – ugięcie płochy spowodowane siłą dobicia, 3 – zakłócenie spowodowane przesłonięciem strumienia pomiarowego przez gałąź przesmyku

Na rysunku 1.47 nałożono na siebie przebiegi drgań płochy wibrującej i ugięć tej samej płochy bez wibracji podczas tkania. Widać wibrację płochy 1 wokół pewnej wyobrażalnej krzywej 2, wynikającej z ugięcia płochy siłą dobicia. Dalsza część przebiegu 3 obrazuje zakłócenie związane z minięciem strumienia świetlnego czujnika przez osnowę z tytułu tworzenia przesmyku.

Konkluzja

Optyczna metoda pomiarowa lepiej odzwierciedla rzeczywiste ugięcia trzcin na wysokości krawędzi tkaniny od metody hallotronowej. Należy jednak liczyć się z ograniczeniem w stosowaniu metody do stosunkowo wąskich płoch (np. w krosnach pasmanteryjnych).

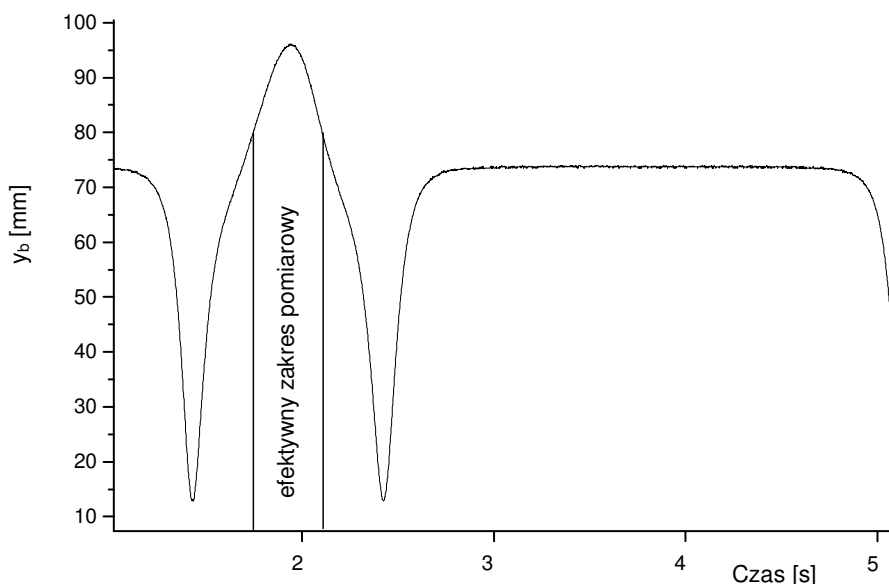
Wnioski

1. Metoda optyczna pomiaru drgań płochy dobrze odzwierciedla rzeczywiste, chwilowe ugięcia płochy na wysokości krawędzi tkaniny, nadaje się do rejestracji przebiegów drgań płochy o wyższych częstotliwościach (nawet do 1 kHz) ale tylko w fazie dobicia i w przypadku stosunkowo krótkich płoch.

2. Metoda hallotronowa jest uniwersalna, daje przebieg drgań płochy w pełnym cyklu pracy krosna, ale o charakterze poglądowym, jest mniej dokładna, nadaje się do rejestracji przebiegów drgań płochy o częstotliwości poniżej 300 Hz.

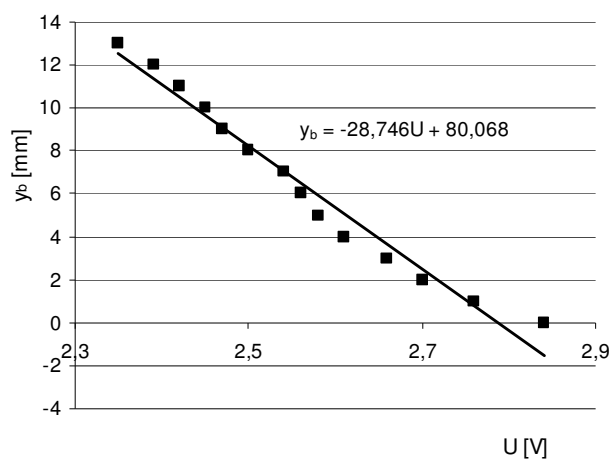
1.6.2. Instrumentarium badawcze do pomiaru przemieszczenia bidła podczas dobicia

Na stanowisku badawczym ruch posuwisto-zwrotny bidła w całym zakresie dobrze przybliża sinusoida. Szczególnie interesujący z uwagi na określanie energii był ruch bidła w trakcie dobicia. Ze względu na prawidłowość odwzorowania ruchu bidła czujnik powinien zapewnić liniowość pomiaru w zakresie $\pm 10\text{ mm}$, rozdzielczość lepszą niż $0,1\text{ mm}$ i pasmo przenoszenia o zakresie co najmniej $0\text{--}20\text{ Hz}$. Wykorzystano metodę hallotronową. Czujnik ma budowę analogiczną do czujnika rejestrującego ruch wibracyjny płochy (p. 3.1.1). Z uwagi na znacznie większy zakres pomiarowy dobrano odpowiednio duży magnes. Ze względu na znaczną masę bidła i niewielką częstotliwość jego ruchu (do $6\text{--}8\text{ Hz}$) nie zachodzi obawa o wpływ masy magnesu na ruch biła. Magnes trwały o długości przekraczającej dwukrotnie przewidywany zakres pomiarowy zamontowano na bidle. Do korpusu krosna przymocowano element Halla. Rysunek 1.48 przedstawia przykładowy przebieg.



Rys. 1.48. Efektywny zakres pomiarowy czujnika położenia bidła na tle uzyskanego przebiegu

Wzorcowanie czujnika przemieszczenia bidła przedstawiono na rysunku 1.49.

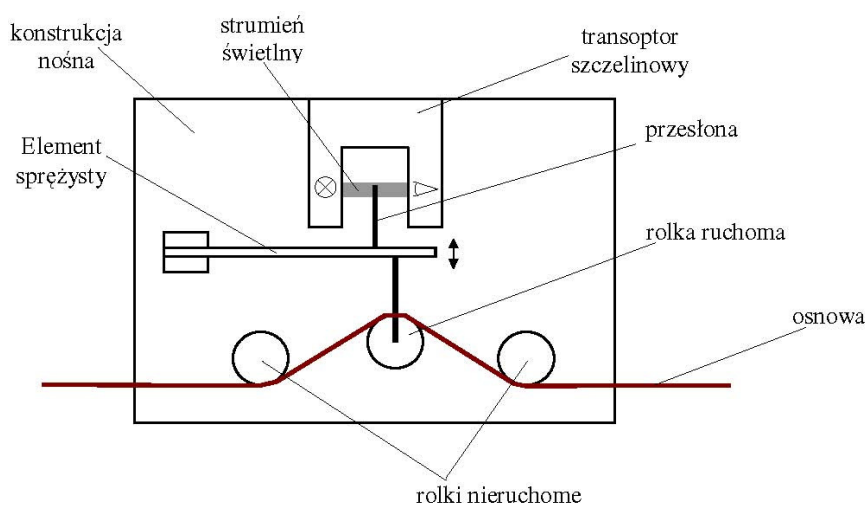


Rys. 1.49. Wzorcowanie czujnika hallotronowego położenia bidła w fazie dobicia

Czujnik potwierdził poprawność swojego działania w zakresie przewidywanych przemieszczeń bidła.

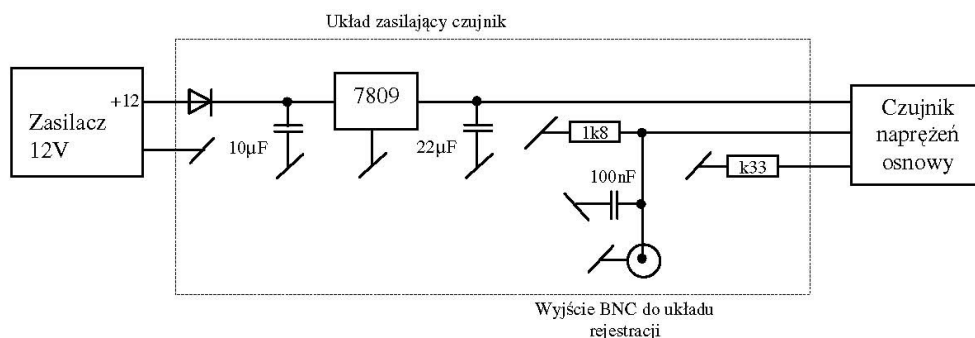
1.6.3. Instrumentarium badawcze do pomiaru napięcia osnowy

Przedmiotem pomiaru były zmiany naprężenia nitek osnowy powodowane drganiami płochy generowanymi przez ruch bidła i przez wzbudnik magneto-elektryczny. Przyrząd składa się z zasilacza sieciowego 12 V, układu stabilizacji napięcia oraz czujnika naprężeń zawieszanego na nitkach osnowy. Czujnik, którego idea działania przedstawiona jest na rysunku 1.50, jest zbudowany z następujących elementów: transoptora szczelinowego, przesłony, elementu sprężystego, rolki ruchomej, dwóch rolek nieruchomych oraz konstrukcji nośnej.



Rys. 1.50. Idea działania optoelektronicznego czujnika napięć nitek osnowy

Zmiana napięcia w osnowie powoduje zmianę odkształcenia elementu sprężystego i zmianę położenia przesłony, co w konsekwencji powoduje zmianę strumienia świetlnego przechodzącego od nadajnika do odbiornika transoptora. Zmiana strumienia świetlnego powoduje zmianę napięcia na wyjściu czujnika. Schemat elektryczny połączeń przyrządu przedstawiony jest na rysunku 1.51.



Rys. 1.51. Schemat elektryczny przyrządu do pomiaru napięć osnowy

Sygnałem wyjściowym jest napięcie w zakresie 0,7-1,5 V, wyprowadzone na złącze BNC. Zaprojektowany przyrząd został wykonany i zamontowany na stanowisku badawczym.

Parametry przyrządu:

- Zakres mierzonych napięć osnowy 0-15 N
- Napięcie 0,7 V odpowiada naprężeniu 0 N
- Czułość 50 m V/N

2. IDENTYFIKACJA DYNAMIKI UKŁADU WIBRACYJNEGO PŁOCHY

2.1. Model dynamiczny układu wibracyjnego płochy

Do rozważań przyjęto odcinek płochy przypadający na jeden wzbudnik (moduł powtarzalny). Przeprowadzono redukcję układu ciągłego, jaki stanowią wibrujące trzciniki płochy, do układu o jednym stopniu swobody [12, 62]. Przyjęto liniowe równanie ruchu drgającego z tłumieniem wiskotycznym i wymuszeniem harmonicznym (rys. 2.1):

$$\ddot{y}_0 + 2h_d \dot{y}_0 + \omega_0^2 y_0 = P \sin(\omega_w t), \quad (2.1)$$

gdzie:

ω_w , ω – częstość kołowa siły wymuszającej, częstość kołowa własna,
 t – czas.

$$p = \frac{P}{M + m_z}, \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{M + m_z}}, \quad h_d = \frac{c_w}{2(M + m_z)}, \quad (2.2)$$

gdzie:

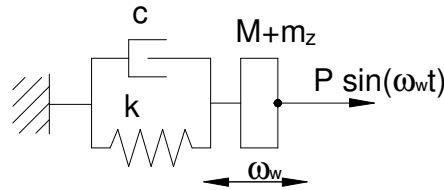
P – amplituda siły wzbudzającej,

M – inne masy wibrujące z amplitudą wzbudzenia: grzbietu płochy, elementów napędowych, dodatkowych elementów sprężystych (może być również M'),

m_z – masa zastępcza trzciniek (może być również m_z'),

k – sztywność układu wibracyjnego (może być również k'),

c – współczynnik tłumienia ruchu wibracyjnego trzciniek płochy podczas dobiecia.



Rys. 2.1. Model zredukowany wibrującego odcinka płochy przypadającego na jeden wzbudnik

2.2. Sztywność i częstotliwość rezonansowa układu wibrującego

2.2.1. Trzcinka w układzie belki sprężystej

Bazując na równaniu statycznej linii ugięcia (1.1) oraz na rysunku 1.2 (wielkości geometryczne), określono masę zastępczą trzciniek w układzie belki sprężystej. Masa zastępcza stanowi równoważnik masy uginającej się trzciniki, która jako skupiona porusza się z amplitudą wymuszenia [12]. Przyrównując energie kinetyczne, otrzymano:

$$0,5 \frac{m'}{m_t} m_t' \omega_0^2 y_0^2 = 0,5 i \rho b h \omega_0^2 \int_e y'(x)^2 dx, \quad (2.3)$$

gdzie: $m_t' = i \rho b h e$ – masa trzciniek, i – liczba trzciniek przypadająca na jeden wzбудnik (przyjęto 50).

Ostatecznie uzyskano stosunek mas:

$$\frac{m'}{m_t} = \frac{\int_0^e y'^2(x) dx}{y_e'^2 e} = 0,227. \quad (2.4)$$

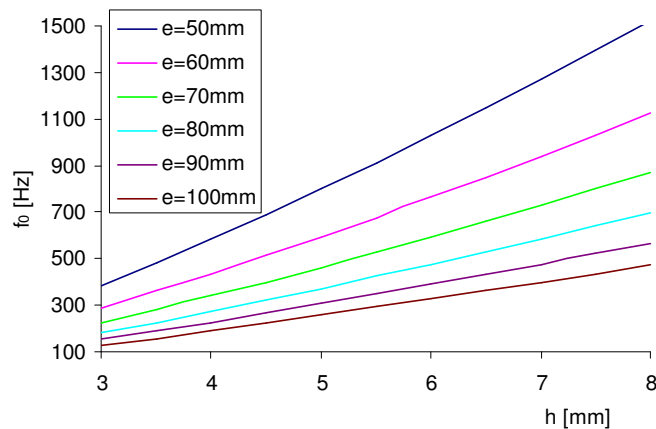
Sztywność układu wibrującego płochy jako belki sprężystej jest sumą sztywności poszczególnych trzciniek. Czyniąc założenie, że poruszamy się w zakresie małych ugięć, gdzie przyrost ugięcia jest proporcjonalny do obciążenia, sztywność trzciniek wyraża się zależnością:

$$k' = \frac{3EI}{e^3} \quad (2.5)$$

Sztywność trzciniki na zginanie jest jednym z parametrów kształtującym częstość drgań własnych układu wibracyjnego. Przyjęto statyczną linię ugięcia jako funkcję kształtu. Biorąc pod uwagę (2.2) i (2.2.2), można łatwo wyprowadzić zależność na częstość własną trzciniki jako belki sprężystej:

$$\omega_0' = \sqrt{\frac{3EI}{(M + 0,227m_t')e^3}} \quad (2.6)$$

Wyznaczono częstotliwości rezonansowe dla trzciniek pełnych o różnej geometrii, wyniki przedstawiono na rysunku. 2.2.



Rys. 2.2. Częstość własna trzciniek pełnych płochy (przyjęto masę grzbietu $M = 0,5$ g/trzcinę)

2.2.2. Trzcinka podcięta w układzie z dodatkowym elementem sprężystym

Stosunek masy zastępczej do masy trzcinki podciętej (zakładając ugięcie jedynie w obszarze podcięcia), przeprowadzając podobne rozumowanie jak w rozdz. 2.2.1 i biorąc pod uwagę (1.3), wynosi:

$$\frac{m_z}{m_t} = 0,25, \quad m_t = i\rho b h(e - s), \quad (2.7)$$

gdzie: m_t , m_z – masy trzciniek podciętych, masy zastępcze trzciniek podciętych.

Za sztywność układu wibracyjnego płochy z trzcinkami podciętymi odpowiada w praktyce element sprężysty. W układzie jak na rysunku 1.2b przewidziano sprężynę płaską działającą siłą sprężystą na taką samą liczbę trzciniek płochy jak wzbudnik. Biorąc pod uwagę przewidywaną linię ugięcia sprężyny, stosunek masy zastępczej sprężyny płaskiej do masy sprężyny wynosi:

$$\frac{m_{sz}}{m_s} = 0,25, \quad (2.8)$$

gdzie: m_s , m_{sz} – masa sprężyny płaskiej, masa zastępcza sprężyny płaskiej.

Przy założeniach takich jak w p. 2.2.1 określono zależności na:

– sztywność układu wibracyjnego:

$$k = \frac{192EI_s}{L^3}, \quad (2.9)$$

– częstość drgań własnych układu wibracyjnego:

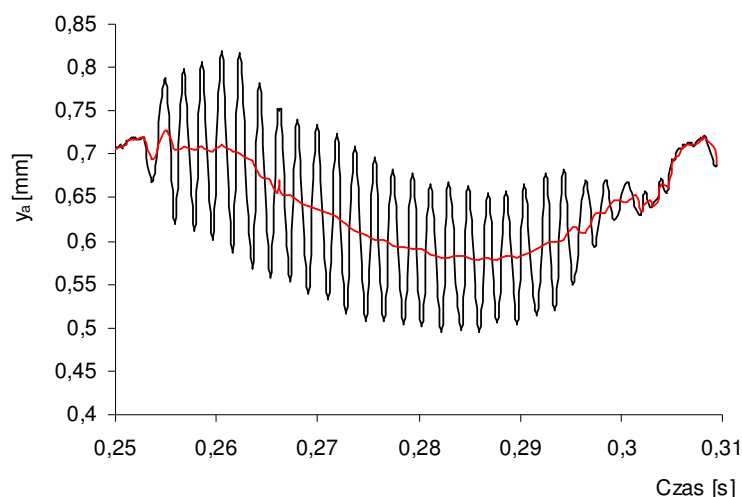
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{192EI_s}{(M' + m_z)L^3}}, \quad M = m_{sz} + m_n = 0,25 m_s + m_n, \quad (2.10)$$

gdzie m_n – masa elementów napędowych.

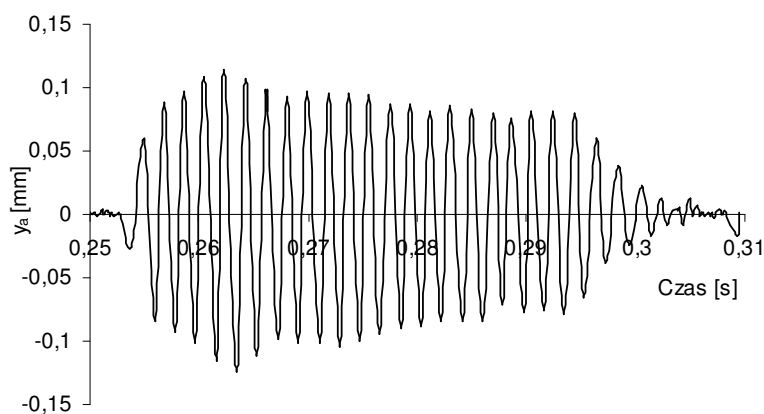
2.3. Badania tłumienia układu wibracyjnego

Określenie tłumienia jest kluczowe w procesie identyfikacji układu dynamicznego. W przypadku wibrującej płochy podczas dobicia, oprócz czynników technologicznych (tłumienie układu osnowa-tkanina, opory przemieszczania wątku względem osnowy) udziały innych czynników tłumiących są znaczące (opory brodzenia w powietrzu, straty związane z emisją hałasu, opory ruchu elementów napędowych, dyssypacja energii wewnątrz elementów sprężystych) [35, 37, 39, 44, 46]. Z uwagi na złożoność tłumienia (mnogość ewentualnych źródeł) kłopotliwe lub

wręcz niemożliwe jest jego szacowanie na drodze teoretycznej. Dlatego tłumienie wibrującej płochy w fazie dobicia określono na drodze eksperymentalnej.



Rys. 2.3. Przebieg wibracji płochy w trakcie dobicia: ruch wibracyjny płochy – czarny, średnie ugięcie płochy spowodowane siłą dobicia – czerwony. Wątek 50 *tex* (2x25)



Rys. 2.4. Drgania układu wibracyjnego płochy w trakcie dobicia

Podczas wytwarzania próbek tkanin z relatywnie dużymi zagęszczeniami określono poziom tłumienia ruchu wibracyjnego płochy. Zastosowano dwie metody wyznaczenia wartości współczynnika tłumienia, za każdym razem wykorzystując zarejestrowane przebiegi wibracji płochy na wysokości krawędzi tkaniny:

- wykorzystując zależność pomiędzy siłą wzbudzającą a amplitudą [62, 63],
- metodę analizy drgań swobodnych gasnących [8].

Przeanalizowano zarejestrowany przebieg ruchu wibrującego płochy w fazie dobicia, taki jak na rysunku 2.3. Płochą podatną podczas procesu dobicia wykonuje wibracje wokół pewnej krzywej, wynikającej ze średniego ugięcia płochy siłą

dobicia. Analizując tłumienie, wyeliminowano wpływ średniego ugięcia płochy, pozostawiając same vibracje, jak na rysunku 2.4. Określono amplitudy ruchu vibracyjnego płochy w fazie dobicia. Porównując ich wielkości, stwierdzono, że tłumienie nieznacznie wzrasta wraz z ze zbliżaniem się do skrajnego położenia ruchu bidła. Minimalne amplitudy zaobserwowano około skrajnego położenia bidła do momentu wyłączenia napędu ruchu vibracyjnego. Założono tłumienie o charakterze wiskotycznym oraz rezonansowy charakter ruchu układu. W tych warunkach przyrównano energię tłumienia i siły wymuszającej dla jednego okresu ruchu vibracyjnego:

$$E_p = \pi c_w \omega_w Y_0^2 = \pi P Y_0, \quad c = \frac{P}{\omega_w Y_0} = \frac{P}{2\pi f_w Y_0}, \quad Y_0 = \frac{Y_a}{0,429} \quad (2.11)$$

gdzie:

Y_0, Y_a – amplituda ruchu vibracyjnego na wysokości górnego grzbietu płochy, krawędzi tkaniny,

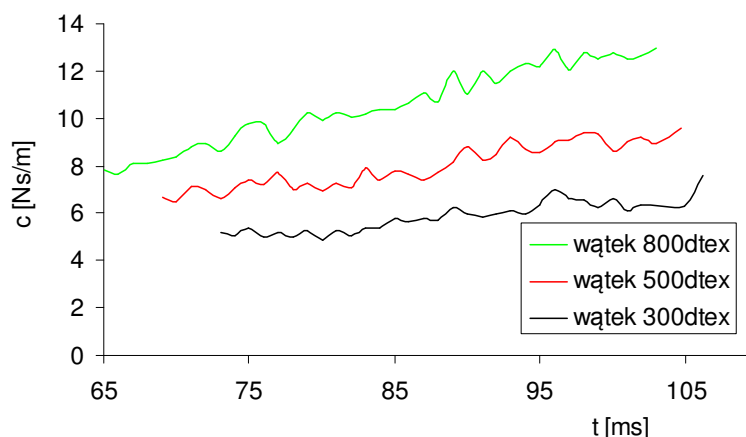
0,429 – stosunek amplitudy na górnym grzbiecie płochy do amplitudy na wysokości krawędzi tkaniny, obliczona z zależności 1.3,

C – współczynnik tłumienia wiskotycznego ruchu vibracyjnego trzcinek płochy (na wysokości górnego grzbietu),

P – amplituda siły wymuszającej,

ω_w, f_w – częstość kołowa, częstotliwość ruchu vibracyjnego.

Współczynnik tłumienia wiskotycznego określono w trakcie całej fazy dobicia dla trzech wątków o różnej grubości.



Rys. 2.5. Współczynnik tłumienia wibrującej płochy w czasie trwania fazy dobicia

Na rysunku 2.4. widać wyraźnie chwilę wyłączenia napędu vibracyjnego i dalszy przebieg drgań swobodnych płochy. Na podstawie wielkości kolejnych amplitud przebiegu drgań swobodnych określono dekrement tłumienia wiskotycznego, a na jego podstawie współczynnik tłumienia:

$$\Delta = \ln \frac{Y_{01}}{Y_{02}} = \ln \frac{Y_{02}}{Y_{03}} \dots = Th_d = \frac{h_d}{f_w}, \quad (2.12)$$

$$c_w = 2h_d m, \quad (2.13)$$

$$m = M + m_{zp} + m_s \quad (2.14)$$

gdzie:

$Y_{01}, Y_{02}, Y_{03} \dots$ – kolejne amplitudy drgań gasnących,

h_d – wykładnik tłumienia wiskotycznego,

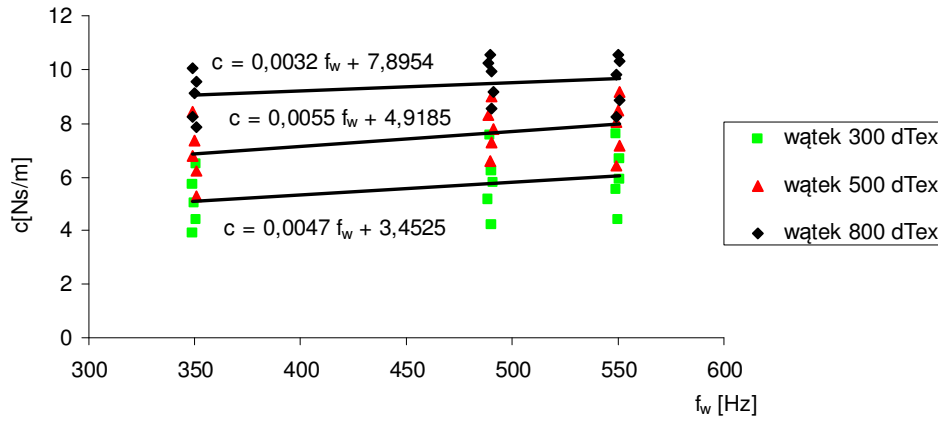
T – okres ruchu wibracyjnego płochy,

M – masa elementów napędowych związanych z płochą,

m_s – masa zastępcza sprężyny płaskiej,

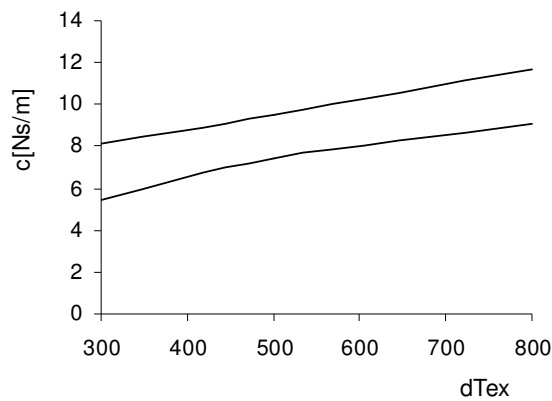
m_{zp} – masa zastępcza płochy.

Procedurę określania współczynnika tłumienia powtórzono wielokrotnie, analizując kilka zarejestrowanych przebiegów. Określono, oboma opisanymi metodami, współczynniki tłumienia przy dobiegu trzech wątków o różnej grubości (rys. 2.5). Zaobserwowano duży rozrzut uzyskanych wyników. Materiał badawczy zebrano i przedstawiono na rysunku 2.6.



Rys. 2.6. Wartości maksymalne współczynnika tłumienia wiskotycznego ruchu wibracyjnego płochy w fazie dobiegu

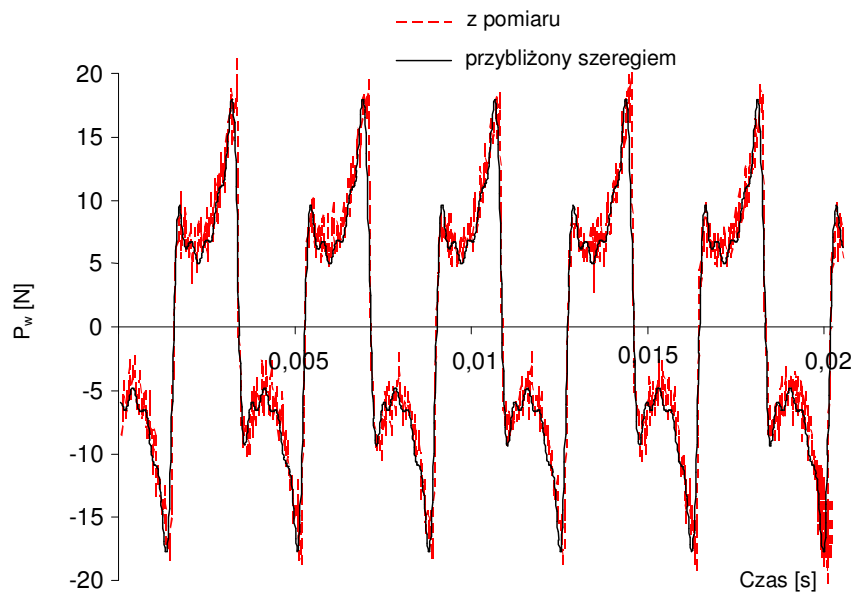
Bazując na zebranych materiale badawczym, określono zakresy zmian współczynnika tłumienia. W przypadku trzech grubości wątku i różnych częstotliwości wzbudzenia ruchu płochy zakres zmian był porównywalny i wynosił ok. 25-30%. Zakres zmienności współczynnika dla częstotliwości rezonansowej $f_w = 350 \text{ Hz}$ pokazano na rysunku 2.7.



Rys. 2.7. Zakres współczynnika tłumienia w funkcji grubości wątku ($f_w = 350 \text{ Hz}$)

2.4. Badanie i analiza siły wzbudzającej ruch wibracyjny

Do wzbudzania ruchu wibracyjnego płyty zastosowano siłowniki magneto-elektryczne. Wzbudniki podczas pracy były zasilane z generatora napięciem okresowo zmiennym o charakterze prostokątnym. Wzbudnik magnetoelektryczny charakteryzuje się względnie stałym stosunkiem generowanej siły do pobieranego prądu ($2\text{-}2,1 \text{ N/A}$). Zarejestrowane przebiegi prądu wzbudnika podczas wibracji płyty, po przeskalowaniu przez stosunek siły do prądu, utożsamiono z przebiegiem siły. Przykładowy taki przebieg przedstawiono na rysunku 2.8.



Rys. 2.8. Przebieg siły wymuszającej w czasie, napięcie zasilania $U_z = 12 \text{ V}$

Stosując analizę Fouriera [15], zarejestrowany przebieg rozłożono na szereg harmoniczny. Biorąc pod uwagę pięć pierwszych wyrazów szeregu, funkcja siły wymuszającej ma postać:

$$P_w(t) = \sum_k P_k \cos(\omega_k t + \delta_k), \quad k = 1, 2, \dots, 5. \quad (2.15)$$

gdzie:

ω_k , δ_k – poszczególne krotności częstości kołowej własnej, kąty przesunięć fazowych,

P_k – amplitudy kolejnych harmonicznym wymuszenia.

Porównanie funkcji opisanej zależnością (2.15) z zarejestrowanym przebiegiem siły (prądu) przedstawiono na rysunku 2.8. Jak widać, pięć pierwszych wyrazów szeregu przybliża zarejestrowany przebieg w stopniu zadowalającym. Amplitudy, częstości i kąty przesunięć fazowych poszczególnych harmonicznym wzbudzenia przedstawiono w tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Parametry poszczególnych harmonicznym wzbudzenia

k	$P_k [N]$	$\omega_k [rad/s]$	$\delta_k [deg]$
pierwsza harmoniczna	10,36539	3323	-33,30
druga harmoniczna	4,09683	9970	-3,27
trzecia harmoniczna	1,84278	16618	58,03
czwarta harmoniczna	1,04767	23265	132,37
piąta harmoniczna	0,59291	29912	201,58

Układ wibrujący płochy zredukowano do układu o jednym stopniu swobody i modelowano liniowym równaniem ruchu drgającego z tłumieniem wiskotycznym, z wymuszeniem okresowym (rys. 2.1). Zgodnie z zasadą superpozycji [62] równanie ruchu układu (2.1) można zapisać w postaci:

$$\ddot{y}_0 + 2h_d \dot{y}_0 + \omega_0^2 y_0 = \sum_k P_k \cos(\omega_k t + \delta_k), \quad k = 1, 2, \dots, 5. \quad (2.16)$$

Rozwiązanie równania (2.16) jest sumą rozwiązań: ogólnego, równania jednorodnego i szczególnego równania niejednorodnego. Rozwiązanie ogólne zależy od warunków początkowych ruchu. Ruchy, które opisuje rozwiązanie ogólne, zanikają po kilku cyklach (szczególnie w warunkach silnego tłumienia w fazie dobiecia). Dalej drgania układu opisuje jedynie rozwiązanie szczególne. Rozwiązanie szczególne, odpowiadające prawej stronie równania (2.16), opisuje wymuszony ruch drgający o stałej amplitudzie. W warunkach liniowych rozwiązaniem równania szczególnego jest suma rozwiązań odpowiadających każdemu wyrazowi szeregu:

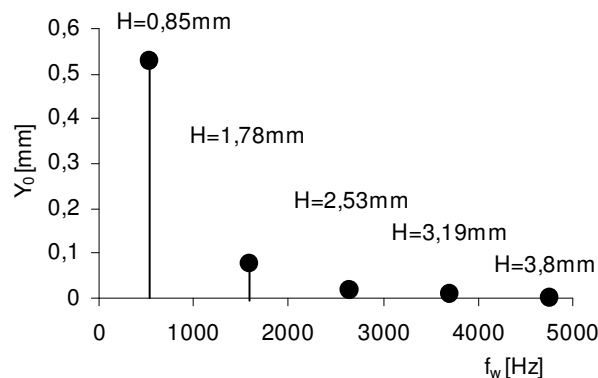
$$y_0(t) = \sum_k Y_{0k} \cos(\omega_k t + \delta_k - \Psi_k). \quad (2.17)$$

Amplitudy poszczególnych harmoniczných ruchu i kąty przesunięć fazowych określają zależności [12, 62]:

$$Y_{0k} = \frac{P_k}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega_k^2)^2 + (2h_d \omega_k)^2}}, \quad p_k = \frac{P_k}{m}, \quad \Psi_k = \frac{2h_d \omega_k}{\omega_0^2 - \omega_k^2} \quad (2.18)$$

gdzie ω_0 – częstość kołowa własna.

Na podstawie zależności (2.17) i (2.18) określono ruch układu wibracyjnego pod wpływem wzbudzenia opisanego funkcją (2.15). Jako parametr zmienny przyjęto sztywność układu wibracyjnego. Grubość sprężyny płaskiej H (rys. 1.2b) dobierano tak, by sztywność układu wibracyjnego kształtowała poszczególne krotności częstości własnej ω_k . Określone amplitudy ruchu wibracyjnego w rezonansie z kolejnymi harmonicznymi wzbudzenia przedstawiono w formie wykresu (rys. 2.9).



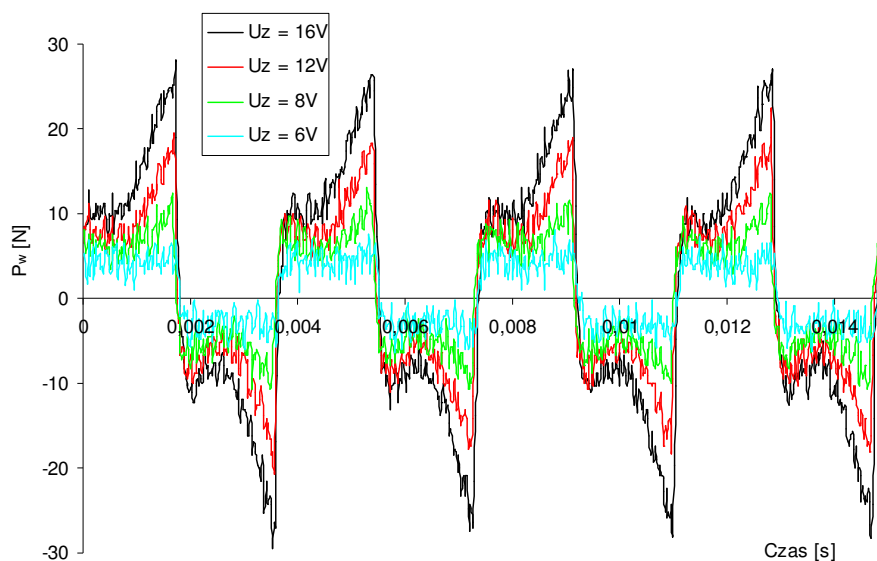
Rys. 2.9. Poszczególne amplitudy rezonansowe w funkcji częstości własnej układu

Amplituda ruchu wibracyjnego w rezonansie z pierwszą harmoniczną wzbudzenia zdecydowanie przeważa nad pozostałymi. Na ruch składa się, zgodnie z (2.17), suma ruchów harmoniczných. Poza pierwszym, pozostałe ruchy harmoniczne mają częstość zdecydowanie większą od rezonansowej. Jak wynika z tabeli 2.2, ich amplitudy są pomijalnie małe. Zakładając pracę rezonansową układ wibracyjny płochy można opisywać, biorąc jedynie pod uwagę pierwszą harmoniczną siły wzbudzającej.

Tabela 2.2. Amplitudy poszczególnych harmoniczných ruchu wibracyjnego – Y_{0k}

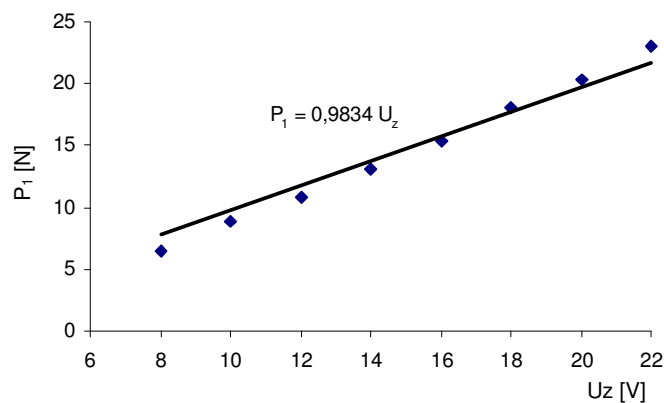
<i>pierwszy rez.</i>	<i>drugi rez.</i>	<i>trzeci rez.</i>	<i>czwarty rez.</i>	<i>piąty rez.</i>
5,379 e-4	2,835e-6	9,133e-7	4,465e-7	2,620e-7
1,146 e-6	6,151e-5	5,405e-7	2,113e-7	1,148e-7
1,720 e-7	2,485e-7	1,919e-5	1,588e-7	6,647e-8
4,910 e-8	5,692e-8	9,262e-8	7,808e-6	6,611e-8

W dalszym etapie zarejestrowano natężenie prądu wzbudnika zasilanego napięciem zmiennym o prostokątnym charakterze. Dokonano kilku rejestracji, zmieniając wartość amplitudy napięcia. Po przeskalowaniu przez stosunek siły do prądu, przebiegi prądu utożsamiono z przebiegami siły wzbudzającej. Celem porównania nałożono na siebie przebiegi, wynik przedstawiono na rysunku 2.10.



Rys. 2.10. Przebiegi siły wzbudzającej w czasie, dla kilku wartości napięcia zasilającego

Następnie każdy z zarejestrowanych przebiegów rozłożono na szereg harmoniczny. Określono wpływ napięcia zasilania wzbudnika na wartości pierwszych harmonicznych siły wzbudzającej. Wynik przedstawiono w postaci wykresu na rysunku 2.11. Zwiększenie napięcia zasilania powoduje liniowy wzrost amplitudy pierwszej harmonicznej wzbudzenia.



Rys. 2.11. Wpływ napięcia zasilania na amplitudę pierwszej harmonicznej siły wzbudzającej

2.5. Krzywe rezonansowe układu wibracyjnego

Poprawne działanie mechanizmu wibracyjnego wiąże się z osiągnięciem przez trzcinę płochy odpowiednich, opisanych w rozdziale 1.2, wartości parametrów: amplitudy ugięcia oraz częstotliwości ruchu wibracyjnego. Ruch wibracyjny płochy powinien odbywać się w warunkach rezonansowych. Wtedy jest możliwe osiągnięcie zakładanej amplitudy przy stosunkowo małych wartościach sił wymuszających. Z rozwiązania szczególnego przyjętego równania ruchu trzcin (2.16) wynika zależność na amplitudę ruchu na wysokości krawędzi tkaniny (2.19) (dotyczy obydwu koncepcji płochy podatnej, w przypadku płochy z trzcinami pełnymi $-Y_0', \omega_0', \omega_w'$):

$$Y_a = \frac{pr}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega_w^2)^2 + (2h_d \omega_w)^2}}, \quad (2.19)$$

gdzie:

r – współczynnik korygujący, wynikający z ugięcia podatnej płochy na przewidywanej wysokości krawędzi tkaniny (przyjęto $x = 0,571e$, według rozdz. 1.3.1):

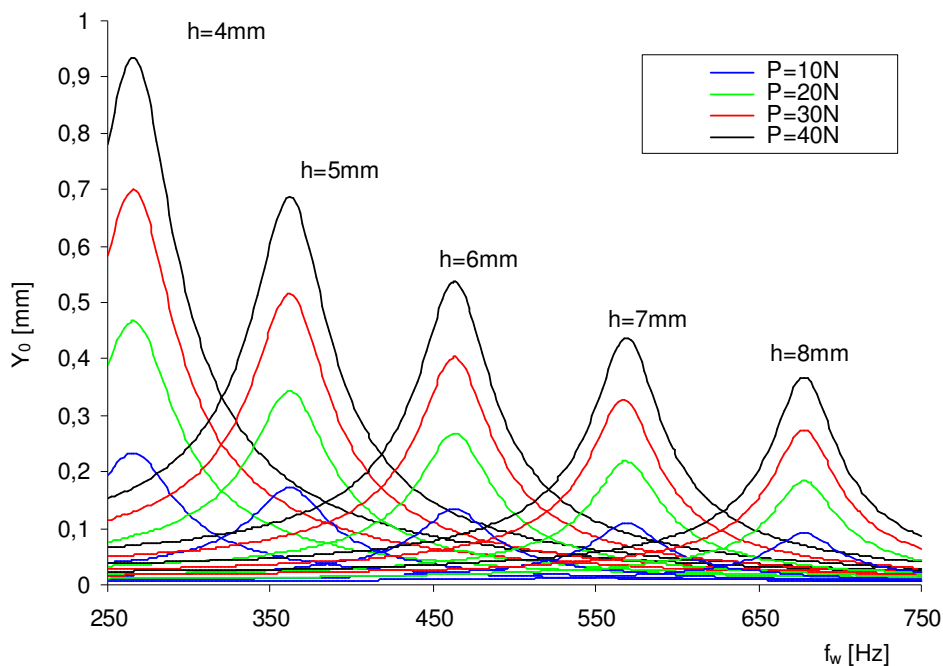
$r = 0,313$, dla płochy jako belki sprężystej, obliczono na podstawie krzywej ugięcia (równanie 1.1),

$r = 0,429$, dla płochy podciętej (równanie 2.11).

Do rozważań przyjęto pierwszą harmoniczną siły wymuszającej (rozdz. 2.4). Ruch wibracyjny płochy podczas dobicia wątku odbywa się w warunkach tłumienia. Wartość wykładnika tłumienia h_d określono na podstawie badań stanowiskowych (rozdz. 2.3).

2.5.1. Płochy z trzcinami pełnymi wibrującymi w układzie belki sprężystej

Na podstawie zależności (2.19) i (2.18) wyznaczono krzywe rezonansowe wibrującej trzcinę pełnej, krzywe przedstawiono na rysunku 2.12. Poszczególne krzywe są wyznaczone dla trzcin o innej grubości h (rys. 1.2a) i różnych sił wzbudzących o amplitudzie P . Krzywe wyznaczono, biorąc pod uwagę jedynie pierwszą harmoniczną siły wzbudzącej.

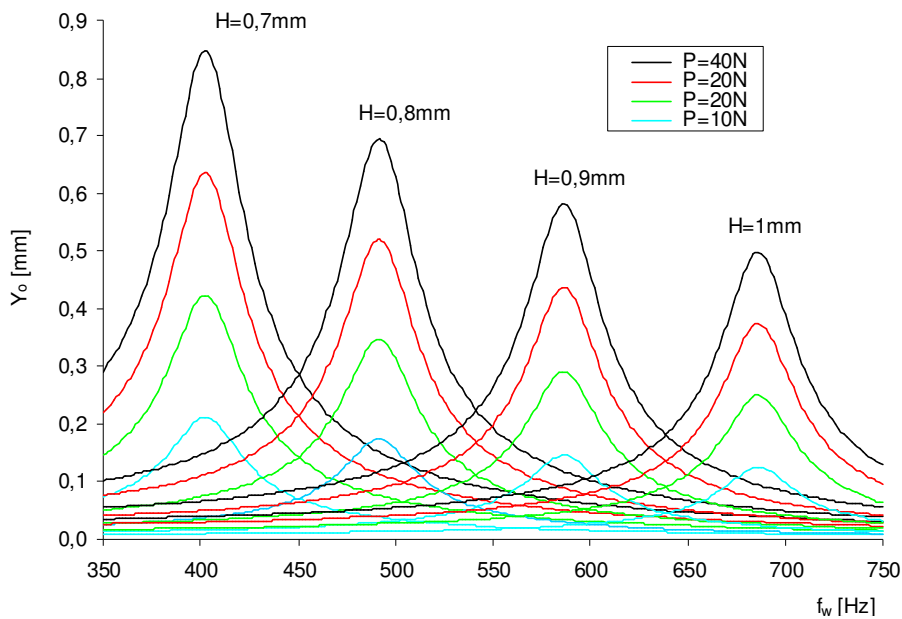


Rys. 2.12. Krzywe rezonansowe układu wibracyjnego płyty z trzcinami pełnymi dla różnej szerokości w funkcji częstotliwości wzbudzenia

Dla relatywnie cienkich trzcin, przy mniejszej częstotliwości jest możliwe osiągnięcie zakładanej wartości amplitudy drgań płyty przy udziale stosunkowo małych wartości sił wzbudzających. Osiągnięcie dużych wartości amplitud w warunkach wyższych częstotliwości ruchu wibracyjnego wymaga szerszych trzcin i silniejszego wzbudzenia.

2.5.2. Płochy z trzcinami podciętymi i z dodatkowym elementem sprężystym

W sposób podobny jak w rozdziale 2.5.1 wyznaczono krzywe rezonansowe wibrującej płyty z trzcinami podciętymi w układzie ze sprężyną płaską. Krzywe przedstawiono na rysunku 2.13. Poszczególne krzywe wyznaczono dla sprężyn o różnej grubości H (rys. 1.2b). Jako stałe założono wymiary geometryczne płyty i wymiary poprzeczne sprężyny. Założono ponadto, że sztywność układu wibrującego pochodzi jedynie od sprężyny. Krzywe rezonansowe wyznaczono, biorąc pod uwagę jedynie pierwszą harmoniczną siły wzbudzającej.

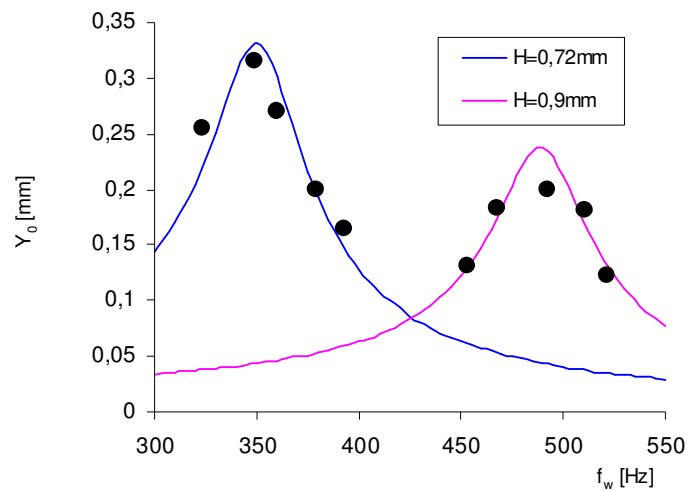


Rys. 2.13. Krzywe rezonansowe układu wibracyjnego płyty z trzcinami podciętymi w układzie ze sprężynami płaskimi o różnych grubościach

Dla cienkich sprężyn, przy mniejszej częstotliwości, osiągnięcie zakładanej wartości amplitudy drgań płyty uzyskano przy udziale stosunkowo małych wartości siły wzbudzającej. Osiągnięcie dużych wartości amplitud, w warunkach wyższych częstotliwości ruchu wibracyjnego, wymaga szerszych sprężyn i silniejszego wzbudzenia. Jest ono jednak realne w warunkach stanowiska badawczego.

2.6. Weryfikacja doświadczalna modelu dynamicznego

Określone współczynniki tłumienia i analizę siły wzbudzającej układu wibracyjnego zweryfikowano na stanowisku badawczym. Ruch wibracyjny płyty odbywał się w założonych warunkach tłumienia (dobicie wątku 50 tex) i wzbudzenia (nap. zasilania $U_z = 9\text{ V}$). Korzystano z jednej z dwóch przygotowanych sprężyn płaskich ($H = 0.9\text{ mm}$ i 0.7 mm), co kształtuje częstotliwości rezonansowe układu wibracyjnego na $f_w = 350\text{ Hz}$ i $f_w = 490\text{ Hz}$. Wartości mierzonych amplitud ruchu wibracyjnego płyty, na wysokości krawędzi tkaniny, przedstawiono na rysunku 2.14 w postaci czarnych punktów. Na rysunku naniesiono również krzywe rezonansowe wyznaczone na drodze teoretycznej, biorąc pod uwagę jedynie pierwszą harmoniczną siły wzbudzającej.



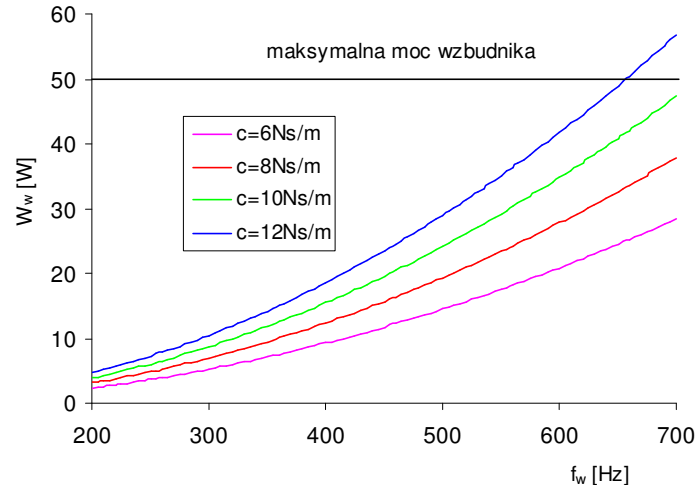
Rys. 2.14. Weryfikacja doświadczalna krzywych rezonansowych.
Czarne punkty – wyniki uzyskane na drodze doświadczalnej

2.7. Zapotrzebowanie na moc wzbudnika vibracji płochy

Założono wymaganą amplitudę vibracji na wysokości krawędzi tkaniny Y_a oraz że układ vibracyjny pracuje w rezonansie. Wtedy energia rozproszona przez tłumienie w czasie jednego okresu równa się pracy wykonanej przez siłę wzbudzającą, więc wymagana moc mechaniczna wzbudnika ruchu vibracyjnego wynosi:

$$W_w = 2\pi^2 c f_w^2 Y_a^2 \quad (2.20)$$

gdzie W_w – moc mechaniczna wzbudnika.



Rys. 2.15. Wymagana moc wzbudnika przy złożonym tłumieniu

Wychodząc z zależności (2.20) i zakładanych parametrów ruchu, określono zapotrzebowanie na moc układu wibracyjnego. Moce policzono dla kilku częstotliwości w przewidywanym zakresie pracy i przedstawiono w postaci przebiegu na rysunku 2.15.

Wnioski

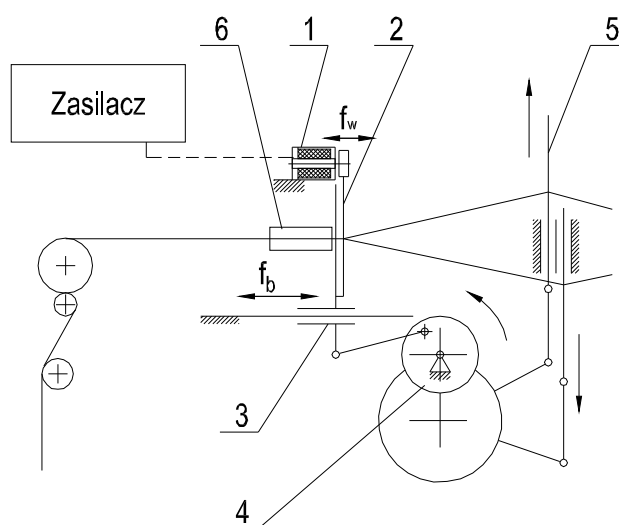
1. Potwierdzono doświadczalnie możliwość zastosowania układu podatnej płochy w wibracyjnym mechanizmie bidłowym.
2. Zakres pracy rezonansowej podciętej płochy wibrującej wynosi około: $360\text{ Hz} \pm 10\text{ Hz}$ oraz $490\text{ Hz} \pm 10\text{ Hz}$ – w zależności od zastosowanej sprężyny płaskiej.
3. Zweryfikowano moc wzbudnika ruchu wibracyjnego płochy.
3. Określony przedział wartości siły wzbudzającej ($P = 10\text{--}40\text{ N}$) oraz moc maksymalna, pozwala na zastosowanie wzbudnika o niewielkich wymiarach, możliwego do posadowienia na bidle.
4. Układ wibrujący płochy pełnej można stosować, zakładając pracę rezonansową w dolnej granicy przyjętego przedziału częstotliwości. Uzyskanie wyższych częstotliwości rezonansowych wymagałoby płochy z trzinkami nienaturalnie szerokimi.
5. Do pracy z częstotliwościami powyżej $f_w = 400\text{ Hz}$ należy zastosować układ płochy z dodatkowym elementem sprężystym.
6. Zidentyfikowano znaczny rozrzut wartości współczynnika tłumienia układu wibracyjnego z tendencją wzrostową wraz z grubością zagęszczanego wątku.
7. Pierwsza harmoniczna siły wzbudzającej jest liniowo proporcjonalna do napięcia zasilającego, charakter przebiegu siły odbiega od charakteru przebiegu napięcia.
8. Układ wibracyjny dobrze opisuje liniowe równanie ruchu z wymuszeniem w postaci pierwszej harmonicznej siły wzbudzającej.

3. BADANIA STANOWISKOWE WIBRACYJNEGO ZAGĘSZCZANIA WĄTKÓW

3.1. Badania obciążenia bidła i osnowy oraz osiągniętego zagęszczenia wątków, mechanizm bidłowy z elektromagnetycznym wzbudzeniem vibracji płochy

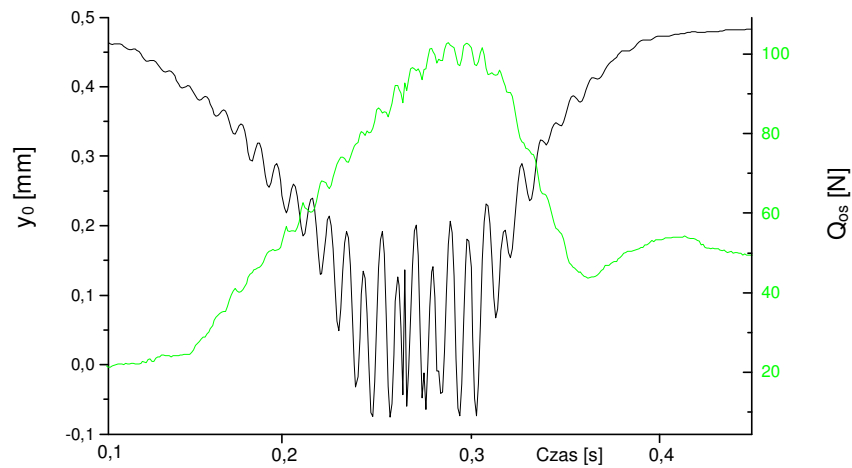
3.1.1. Statyczne posadowienie wzbudników

Rozważono możliwość posadowienia zespołu wzbudników nadających płosze ruch wibrujący statycznie przytwierdzone do ramy krosna, niezależnie od bidła. Zespół elektromagnesów generujący zmienne pole magnetyczne przymocowano do korpusu krosna. Górny grzbiet płochy, wykonany ze stali magnetycznie miękkiej, żelaza Armco, wraz z bidłem, zbliżając się do strefy dobicia, wchodził w strefę oddziaływania pola magnetycznego i generował vibracje płochy. Schemat krosna z takim WMB zaprezentowano na rysunku 3.1.



Rys. 3.1. Schemat WMB ze wzbudzeniem elektromagnesami posadowionymi statycznie
1 – wzbudnik, 2 – płocha, 3 – bidło, 4 – wał główny, 5 i 6 – mechanizmy: nicielnicowy i przerzutowy

Poprawność działania mechanizmu zweryfikowano doświadczalnie. Podjęto próbę wzbudzenia vibracji płochy podczas tkania. Przykładowy przebieg drgań płochy i napięcia osnowy podczas dobicia przedstawiono na rysunku 3.2.



Rys. 3.2. Przebiegi: ruchu górnego grzbietu płochy – czarny, napięcia osnowy – zielony

Zarejestrowano przebiegi z szeregu przeprowadzonych prób. Wzięto pod uwagę parametry, które charakteryzują skuteczność wzbudzenia ruchu wibracyjnego płochy. Wyniki zebrano w tabeli 3.1.

Tabela 3.1. Parametry ruchu wibracyjnego płochy w przypadku statycznego posadowienia elektromagnesów

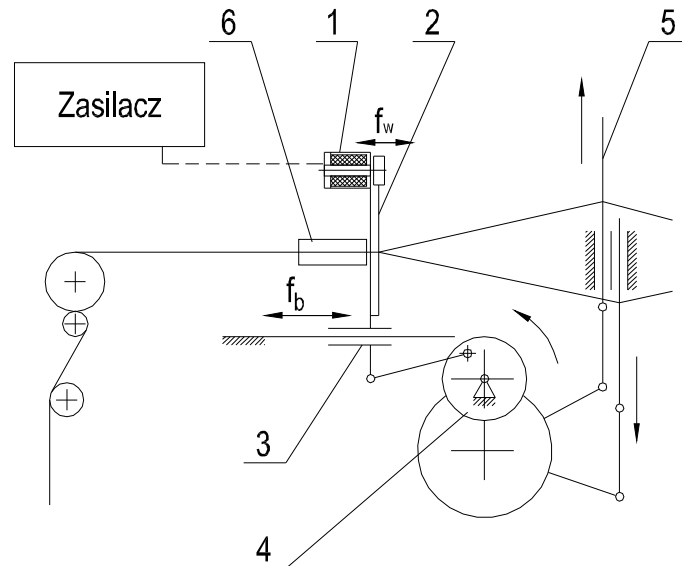
<i>Napicie zasilające wzbudnik [V]</i>	<i>Amplituda ruchu wibracyjnego grzbietu płochy [mm]</i>	<i>Udział czasu efektywnych wibracji do czasu dobiecia [%]</i>	<i>Ruch krawędzi tkaniny [mm]</i>	<i>Strefa efektywnego generowania wibracji [mm]</i>
17	0,1	40%	0,47	0,09
15	0,07	25%	0,47	0,06
10	0,05	17%	0,47	0,03
17	0,1	45%	0,4	1,1
10	0,06	21%	0,4	0,05

Konkluzja

W dopuszczalnym zakresie napięcia zasilającego wzbudnik drgania płochy okazały się zbyt małe. Zakres efektywnego oddziaływania pola magnetycznego na grzbiet płochy był zbyt krótki w stosunku do ruchu krawędzi tkaniny. Prezentowaną konstrukcję można zastosować do wzbudzania wibracji płochy jedynie przy dużo większej mocy wzbudników. Należy się wtedy liczyć z kłopotliwą zabudową krosna ze względu na masy i gabaryty tych urządzeń. Ostatecznie koncepcję odrzucono.

3.1.2. Wzbudniki posadowione na bidle

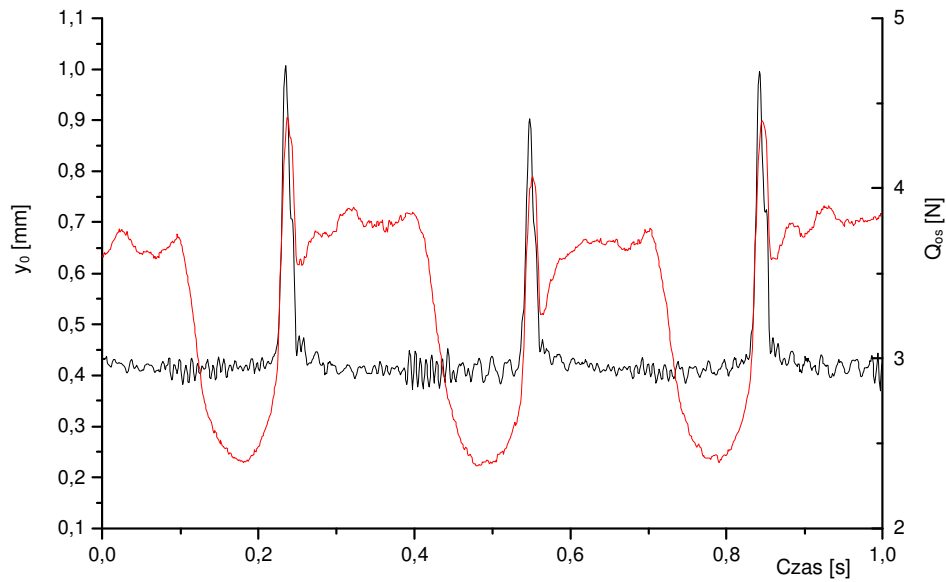
Zbudowano stanowisko badawcze którego schemat przedstawia rysunek 3.3, z zespołem elektromagnesów jako wzbudnikiem ruchu wibracyjnego płochy [50]. Przeprowadzono badania, które miały na celu ocenę obciążenia bidła i osnowy podczas tkania. Zastosowano pomiar czujnikami: chwilowego położenia górnego grzbietu płochy względem bidła oraz chwilowego napięcia osnowy.



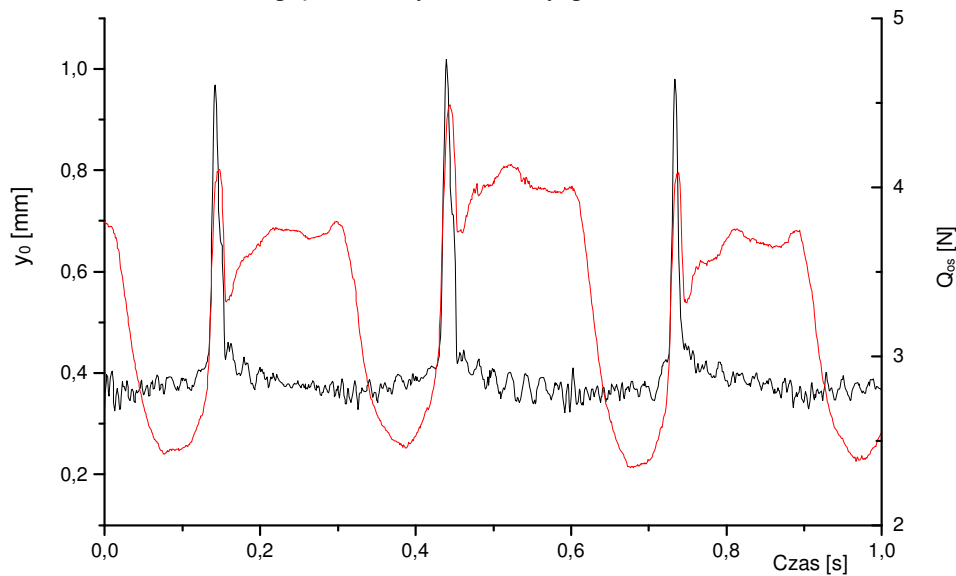
Rys. 3.3. Schemat WMB ze wzbudzeniem elektromagnesami posadowionymi na bidle

1 – wzbudnik, 2 – płocha, 3 – bidło, 4 – wał główny, 5 i 6 – mechanizmy: nicielnicowy i przerzutowy

Przeprowadzono analizę porównawczą przebiegów przemieszczeń płochy y_0 i napięcia osnowy Q_{os} . Przeanalizowano szereg przebiegów zarejestrowanych podczas tkania *PS* oraz *PW* na przykład, takich jak na rysunkach 3.4 i 3.5. Ponieważ elektromagnesy oddziałują zmiennym polem magnetycznym na górny grzbiet płochy, w całym cyklu tkackim największe wibracje obserwowano poza strefą dobicia. Wyniki analizy materiału badawczego przedstawiono w postaci tabeli 3.2.



Rys. 3.4. Przeszyczenia płochy sztywnej względem bidła – czarny i napięcie osnowy – czerwony, podczas tkania



Rys. 3.5. Przeszyczenia płochy wibrującej względem bidła – czarny i napięcie osnowy – czerwony podczas tkania

Analiza przebiegów wskazuje na mniejsze ugięcia płochy podczas dobicia w przypadku płochy wibrującej, szczególnie w zakresie mniejszych zagęszczeń. Mniejsze ugięcia świadczą o mniejszej sile obciążającej bidło podczas dobicia [27]. Należy przy tym wspomnieć, że nie zaobserwowano istotnych zmian liczności wątków w wytwarzanej podczas badań tkaninie. A skoro tak, to fakt wibracji

płochy nie powoduje zmniejszenia intensywności dobicia. Jednocześnie nie generuje większych obciążeń mechanizmu bidłowego, przeciwnie zmniejsza je. Innymi słowy, wibracja płochy przejmuję część obciążenia efektywnego dobicia. Zaobserwowane zjawisko jakościowo weryfikuje tezę o odciążeniu mechanizmu bidłowego w krośnie przy dobiciu *PW*.

Zaobserwowano znaczne zmniejszenie amplitudy wibracji na odchylonej w fazie dobicia płosze wobec amplitudy wibracji na pozostałej części cyklu pracy krosna (rys. 3.5). Widoczne jest to, szczególnie w zakresie większych zagęszczeń wątków, tam gdzie następuje znaczne odchylanie płochy. Niewątpliwie, podczas dobicia, pod wpływem nacisku dobijanego wątku na płochę, następuje powiększenie szczeliny powietrznej między elektromagnesem, będącym siłownikiem ruchu wibrującego, a płochą, której grzbiet jest zworą magnetowodową tego układu. Powiększenie szczeliny powietrznej pociąga za sobą słabsze działanie elektromagnesów. Wskazuje to na potrzebę opracowania innej koncepcji modułu wymuszenia ruchu wibracyjnego płochy, gdyż właśnie podczas dobijania, gdy ruch wibrujący jest efektywnie wykorzystywany, jego amplituda jest zmniejszana. Zmniejszana nie tylko z wyżej przedstawionej przyczyny, ale i z powodu szczególnie w tym krótkim przedziale czasu dużego tłumienia pochodzącego od krawędzi tkaniny, z którą płocha jest w styczności. Próbą rozwiązania tego problemu może być zastosowanie sztywnego ograniczenia odchylenia płochy.

Tabela 3.2. Maksymalne wartości odchylenia grzbietu płochy i siły napięcia osnowy podczas dobicia (dot. 10 nitek osnowy)

	Odchylenie [mm]		Siła dobicia, mierzona zmianą napięcia osnowy [N]		Zagęszczenie* [nitek/cm]
	<i>PS</i>	<i>PW</i>	<i>PS</i>	<i>PW</i>	
Obszar w pobliżu nadrabiania tkaniny	0,59	0,45	1,258	1	23
	0,48	0,69	1,123	0,838	
	0,57	0,52	1,204	0,915	
Obszar o dużym zagęszczeniu wątków	0,62	0,57	1,06	0,82	21
	0,77	0,62	1,19	0,87	
	0,61	0,58	1,02	0,82	
Niewielkie zagęszczenie wątków	0,704	0,65	0,8	0,74	18
	0,57	0,46	0,47	0,74	
	0,68	0,62	0,94	0,65	
					17
	0,72	0,63	0,68	0,63	
	0,63	0,48	0,63	0,58	
	0,6	0,64	0,67	0,72	

*liczność wątków przypadająca na 1 cm tkaniny,
PS, *PW* – płocha sztywna, płocha wibrująca.

Już na etapie badań wstępnych zaobserwowano wpływ ruchu vibracyjnego płochy na zmniejszenie napięcia osnowy podczas dobicia. Szczególnie znaczny wpływ dotyczy obszaru dużych zagęszczeń wątków, bliskim tzw. nadrabianiu tkaniny [1, 5] (tab. 3.2). Nadrabianie to zjawisko występujące wtedy, gdy mechanizm bidłowy nie zagęszcza wątków w stopniu adekwatnym do długości odcinka odbieranej tkaniny w cyklu tkackim, odcinek ten jest zbyt mały. Tkanina podczas dobicia fałduje się, a w konsekwencji, po wielu cyklach tkackich, zluźnia się [55, 70]. Występujące w pobliżu warunków granicznych duże siły dobicia ulegają redukcji z chwilą włączenia vibracji płochy. W obszarze mniejszych zagęszczeń wpływ vibracji płochy zanika. Należy pamiętać, że osnowa ma właściwości lepko-sprężyste, wytłumia wibrację o małej amplitudzie i dużej częstotliwości. Wskutek tego przy małych zagęszczeniach uzyskuje się przebieg napięcia osnowy podczas tkania *PW* zbliżony do przebiegu charakterystycznego dla tkania *PS* bez vibracji.

Wnioski

1. Uzyskano doświadczalne potwierdzenie możliwości wykorzystania samej płochy jako elementu sprężystego w układzie płochy vibracyjnej.
2. Wykazano zwiększenie zagęszczenia wątku przy mniejszym obciążeniu płochy siłą dobicia dla przypadku *PW* niż dla *PS*.
3. Wykazano zmniejszenie napięcia osnowy podczas dobijania wątku *PW* wobec *PS*.

3.2. Badania obciążenia bidła i osnowy oraz osiągniętego zagęszczenia wątków, mechanizm bidłowy z magnetoelektrycznym wzbudzeniem vibracji płochy

W dalszym etapie badań oprócz wzbudzenia magnetoelektrycznego stosowano wyłącznie płochę podciętą, jako źródło efektywniejszych vibracji. Celem przeprowadzonych badań porównawczych było określenie wpływu dobicia *PW* na obciążenie bidła i osnowy siłą dobicia oraz na osiągnięte zagęszczenia wytwarzanej tkaniny o splocie płóciennym.

Podczas prób wytwarzano tkaninę mocno zagęszczoną, również w pobliżu granicznego zagęszczenia (rozdz. 5), w pobliżu obszaru nieustabilizowanego nadrabiania tkaniny. Dzięki temu wytwarzano próbki tkanin z relatywnie dużymi siłami dobicia, możliwymi do zmierzenia i porównywania w warunkach tkania *PS* i *PW*. Po włączeniu vibracji płochy podczas tkania, zagęszczanie stawało się skuteczniejsze, a warunki wytwarzania tkaniny na krośnie stabilizowały się szybciej.

Parametry, takie jak napięcie zasilania wzbudnika, częstotliwość vibracji płochy, uznano za stałe ($U_z = 12\text{ V}$, co odpowiada amplitudzie pierwszej harmonicznej siły wzbudzającej $P = 10\text{ N}$, oraz amplitudzie vibracji płochy w fazie

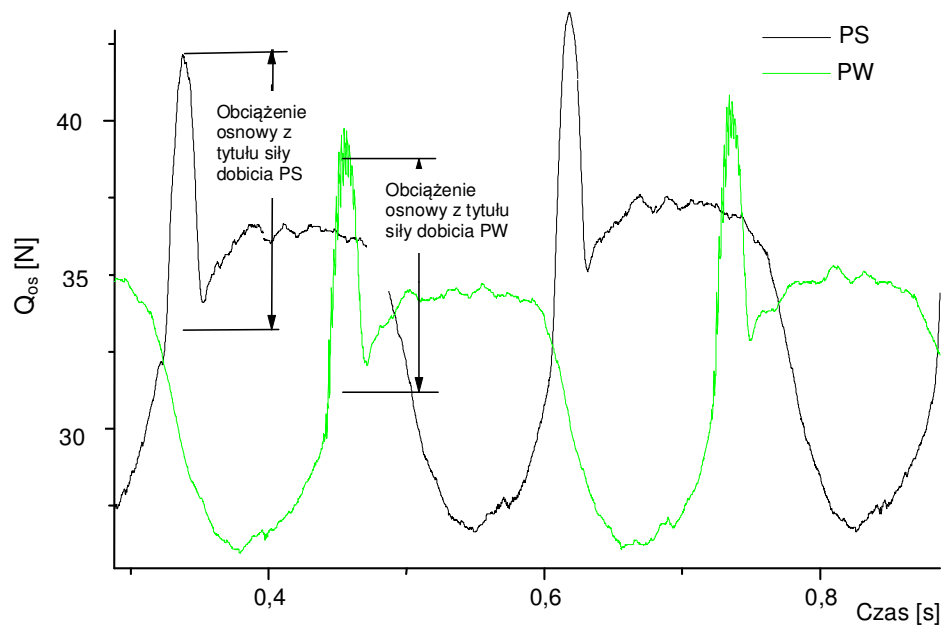
dobicia $Y_a = 0,2 \text{ mm}$, częstotliwość rezonansowa układu wibracyjnego $f_w = 350 \text{ Hz}$). Wstępne napięcie osnowy mierzono w stanie przesmyku zamkniętego, poza fazą dobicia. Założono w badaniach następujące parametry zmienne tkania: wielkość strefy dobicia S , wstępne napięcie osnowy Q_0 i sposób zasilania osnową strefy tkania.

Badania zrealizowano w oparciu o następujący schemat. Rejestrację siły dobicia na bidle oraz na osnowie przeprowadzono podczas ustalonej pracy krosna z PS . W określonej fazie cyklu pracy krosna (w fazie przesmyku zamkniętego) zmierzono położenie krawędzi tkaniny względem płochy. Zmierzono również za pomocą mikroskopu pomiarowego zagęszczenie wątków w wytworzonej tkaninie. Następnej rejestracji siły dobicia dokonano podczas tkania w warunkach PW po ustaleniu przez krosno warunków pracy. Przy tym samym odcinku odbieranej tkaniny zmierzono położenie przesuniętej do przodu krawędzi tkaniny względem płochy. Następnie tkano ze zmniejszonym odcinkiem odbieranej tkaniny tak, by krawędź tkaniny cofnęła się do położenia takiego jak podczas tkania PS i po raz drugi zmierzono zagęszczenie wytwarzanej tkaniny. Taki tok postępowania pozwala na ocenę efektywności dobicia PW względem dobicia PS . Za efektywność dobicia wątku przyjęto osiągnięcie jak największego zagęszczenia tkaniny przy jak najmniejszym obciążeniu osnowy i bidła, czyli jak najmniejszej sile dobicia [51, 72].

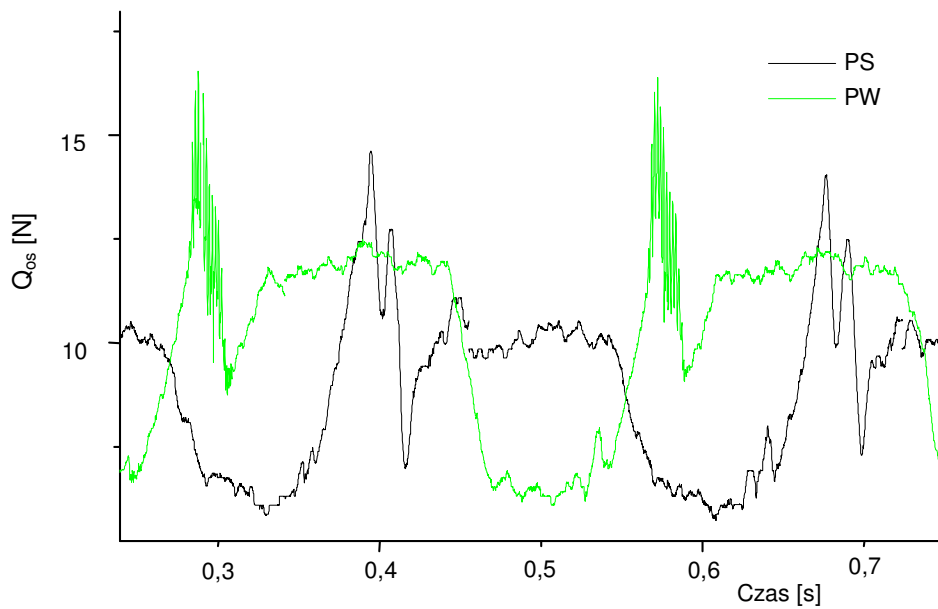
Przeprowadzono próby w dwóch wariantach zasilania osnową strefy tkania: pasywnym i aktywnym.

3.2.1. Układ pasywny zasilania osnową strefy tkania

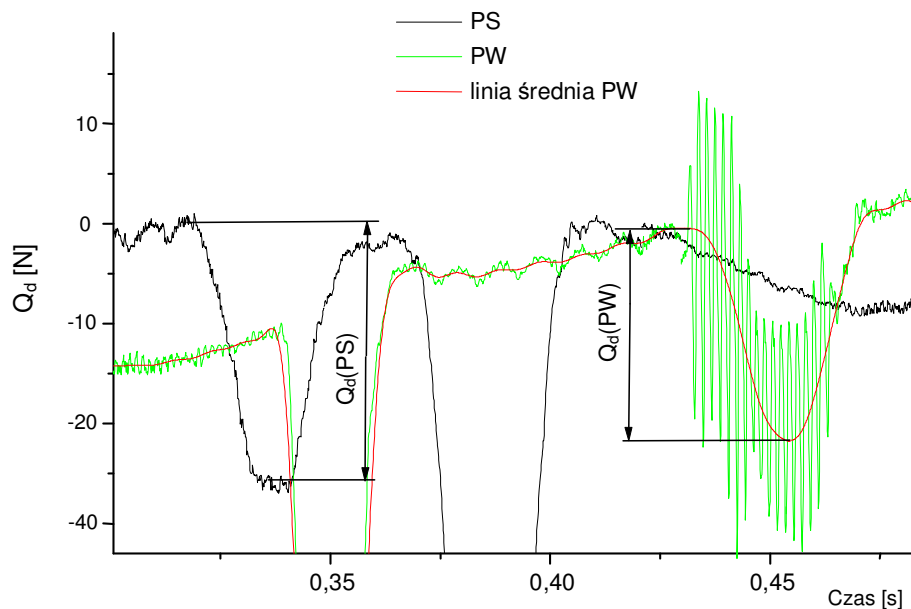
Wykonano szereg prób stanowiskowych zagęszczania PS i PW z układem pasywnego zasilania osnową strefy tkania, którego schemat przedstawiono na rysunku 1.26. Rejestrowano przebiegi: napięcia osnowy i położenia płochy względem bidła dla każdej z możliwych konfiguracji. Przykładowe przebiegi napięcia 100 nitek osnowy pokazano na rysunkach 3.6 i 3.7. Przykładowy przebieg położenia płochy względem bidła przedstawiono na rysunku 3.8. Podczas prób różnicowano sposób podawania osnowy. Uaktywniano kolejno w różnych konfiguracjach, opisane w rozdz. 1.5.1, mechanizmy wchodzące w skład układu pasywnego zasilania osnowy: sterowany ruchem bidła hamulec wału osnowowego H , sprężysty przewał Prz i uchylony, sterowany ruchem nicielnicy krzyżulec K . Każdy przypadek zasilania osnową opisano i oznaczono numerem.



Rys. 3.6. Napięcie osnowy podczas tkania *PS* i *PW* w funkcji czasu, przypadek 6



Rys. 3.7. Napięcie osnowy podczas tkania *PS* i *PW* w funkcji czasu, przypadek 2



Rys. 3.8. Obciążenie bidła siłą dobicia podczas tkania PS i PW w funkcji czasu, przypadek 6

Charakterystyczne ostre zmiany napięcia nitek osnowy z tytułu dobicia [27, 30] znajdowały się w okolicy przesmyku zamkniętego. Ich wielkość, po przeskalowaniu przez współczynnik (stała czujnika napięcia osnowy), reprezentowała obciążenie 100 nitek osnowy siłą dobicia. Siła ta, powtórnie przeskalowana przez stosunek sztywności tkaniny względem osnowy, jako szczytowa siła dobicia była przedmiotem badań porównawczych dla dobicia PW względem dobicia PS.

Tabela 3.3. Szczytowa siła dobicia mierzona na bidle i zmianą napięcia osnowy oraz osiągnięte zagęszczenia tkanin wytwarzanych PS i PW

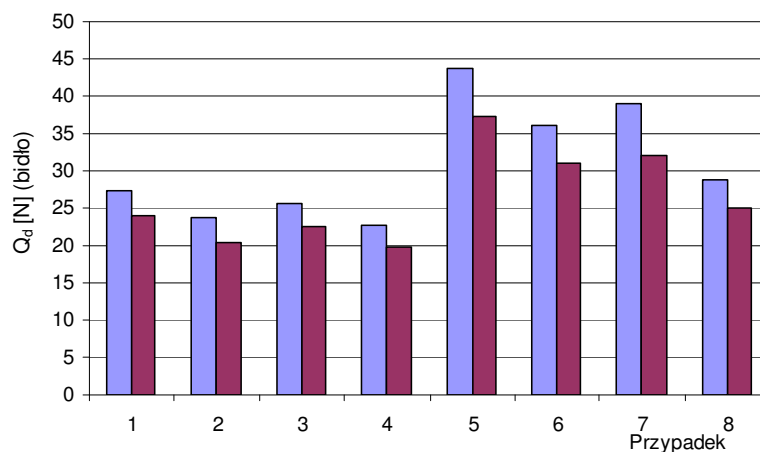
Przypadek*		$Q_d(PS) - \text{bidło [N]}$	$Q_d(PW) - \text{bidło [N]}$	$Q_d(PS) - \text{osnowa [N]}$	$Q_d(PW) - \text{osnowa [N]}$	$Z(PS) \text{ [w/cm]}$	$Z(PW) \text{ [w/cm]}$
1	K+, Prz+, H+	27,3	24	—	—	21,37	21,9
2	K+, Prz+, H-	23,8	20,4	—	—	20,9	21,27
3	K-, Prz+, H+	25,6	22,5	—	—	21,47	22
4	K-, Prz+, H-	22,7	19,8	—	—	20,97	21,63
5	K-, Prz-, H+	43,8	37,3	44,2	37	23,73	24,8
6	K+, Prz-, H-	36	31	33,5	28,6	23,13	24,03
7	K+, Prz-, H+	39	32,2	39,8	32,5	23,7	24,73
8	K-, Prz-, H-	28,8	25	39,4	34,2	22,33	22,97

*H-, H+ – stałonapięciowy hamulec wału osnowowego, sterowany hamulec wału osnowowego,
K-, K+ – sztywny krzyżulec, sterowany uchylny krzyżulec,
Prz-, Prz+ – sztywny przewał, uchylny sprężysty przewał.

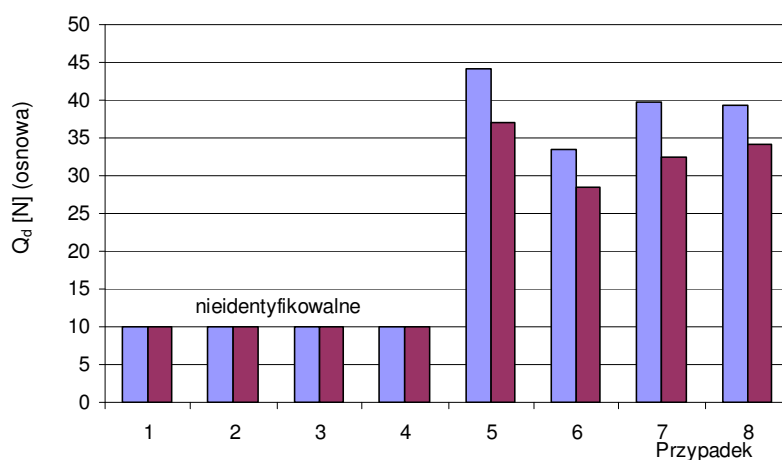
Użyte do celów porównawczych, przykładowe, nieprzeskalowane przebiegi rejestrowanych wielkości pokazano w załączniku 1 i 2. Każdą próbę powtórzono kilkakrotnie, z otrzymanych wyników wyciągnięto średnią arytmetyczną. Zgromadzony materiał badawczy w postaci uśrednionych wyników przedstawiono w postaci tabeli 3.3.

Uchylny przewał wprowadza na przebiegach napięcia osnowy zaburzenie siły dobiecia. Reakcja przewału na nagły wzrost napięcia następuje z pewnym opóźnieniem i nie jest jednoznaczna. Uchylny przewał uniemożliwia dokładne określenie wielkości siły dobiecia, która obciąża osnowę. Dlatego pominięto ją w analizie.

Uśrednione wyniki z przeprowadzonych badań przedstawiono w postaci wykresów na rysunkach 3.9 i 3.10.



Rys. 3.9. Szczytowa siła dobiecia, mierzona ugięciem płochy na bidle dla kolejnych przypadków (niebieski – PS, bordowy – PW)

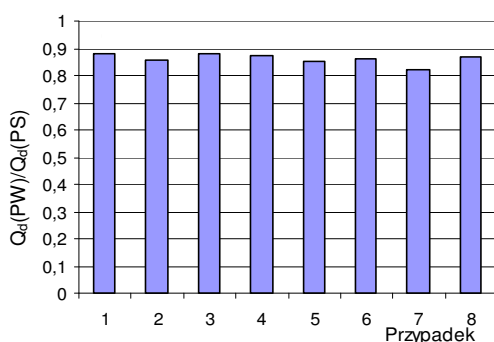


Rys. 3.10. Szczytowa siła dobiecia, mierzona zmianą napięcia osnowy dla kolejnych przypadków (niebieski – PS, bordowy – PW)

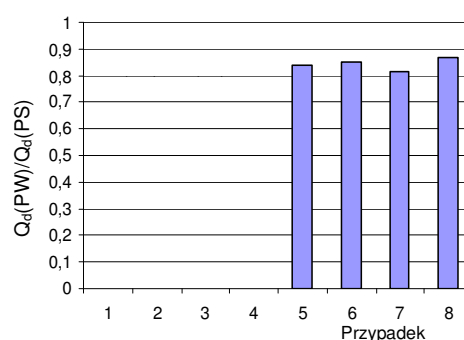
W każdym z przypadków uzyskano zmniejszenie siły dobicia podczas tkania *PW*. Chociaż wyniki nie są w pełni jednoznaczne, największe szczytowe siły dobicia obserwowano dla przypadków ze sztywnym przewalem i sterowanym hamulcem wału osnowowego. Stwierdzono niewielki wpływ sterowania krzyżulcem. Uchylny przewał generalnie powodował zmniejszenie sił dobicia.

Na podstawie zarejestrowanych przebiegów stwierdzono, że pomimo złożonego układu, pasywne zasilanie osnową nie spełnia w pełni oczekiwań. Układ nie stabilizuje napięcia osnowy w dostatecznym stopniu. Pokazane na przykładowych rysunkach przebiegi siły w osnowie widoczne są na różnych poziomach w poszczególnych cyklach tkackich.

Szczytową siłę dobicia, podczas tkania *PS* porównano ze szczytową siłą dobicia podczas tkania *PW*. Stosunek tych sił przyjęto jako miarę odciążenia bidła i osnowy. Tak zdefiniowane względne zmniejszenie zagęszczenia *PW* przedstawiono w postaci wykresów na rysunkach 3.11 i 3.12.



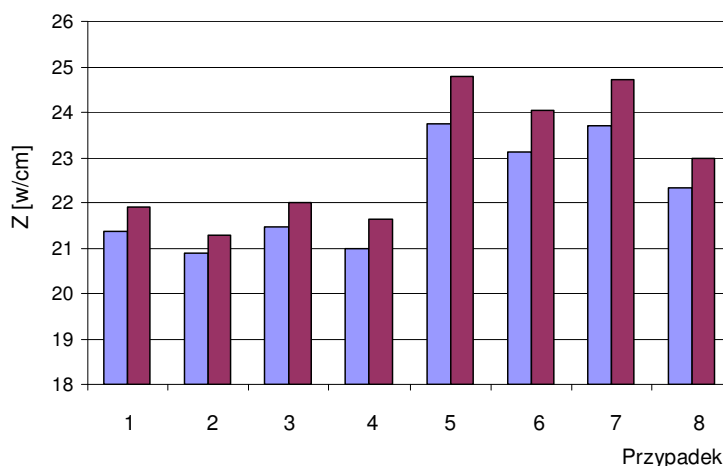
Rys. 3.11. Względne zmniejszenie obciążenia bidła siłą dobicia *PW* w stosunku do *PS*



Rys. 3.12. Względne zmniejszenie sił dobicia *PW* i *PS* mierzonych zmianą napięcia osnowy

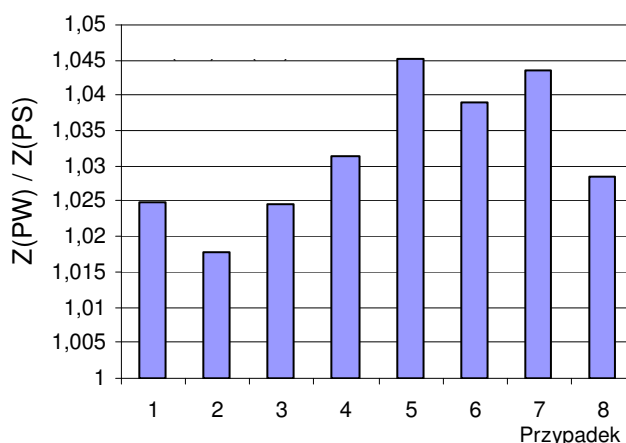
Na podstawie przeprowadzonych badań, stwierdzono największe zmniejszenie siły dobicia z tytułu tkania *PW*, do 20%, dla przypadków, w których siły dobicia są największe, czyli przy sztywnym przewale i sterowanym hamulcu wału osnowowego.

Powstałe podczas badań próbki tkanin posłużyły do określenia osiągniętych zagęszczeń. Pomiaru zagęszczenia próbek dokonano za pomocą mikroskopu pomiarowego. Wyniki pomiarów zebrano w postaci tabeli 3.3 i wykresu 3.13.



Rys. 3.13. Zagęszczenia próbek tkanin dla poszczególnych przypadków

Miarą skuteczności zagęszczania wibracyjnego przyjęto stosunek osiągniętych zagęszczeń *PW* względem zagęszczeń osiągniętych *PS* (rys. 3.14). Wibracyjnie uzyskano niewielki wzrost zagęszczenia (mniej niż 5%). Tłumaczy się to faktem wytwarzania podczas prób przede wszystkim tkanin gęstych, w pobliżu zagęszczeń granicznych. Największy wzrost zagęszczenia obserwowano w próbkach, w procesie tkania których siły dobitcia były największe.



Rys. 3.14. Względne zwiększenie zagęszczenia w próbkach tkanych *PW* w stosunku do *PS* dla poszczególnych przypadków

Wnioski

1. Pomimo skomplikowanego, pasywnego sposobu zasilania osnową strefy tkania nie udało się ustabilizować jej napięcia. Na przestrzeni kilkunastu – kilkudziesięciu cykli napięcie wstępne osnowy jest różne.

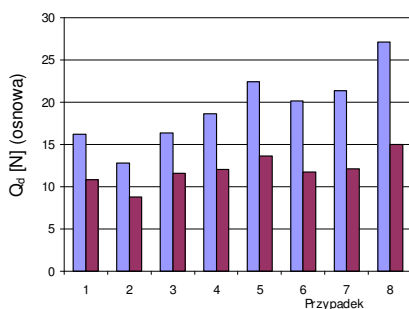
2. Zagęszczanie *PW* wpływa na zmniejszenie obciążenia bidła i osnowy najbardziej w przypadkach dużych sił dobicia, czyli w przypadkach sztywnego przeważu i sterowanego hamulca osnowowego.
3. Wibracyjnie udało się uzyskać tylko nieznacznie większe zagęszczenie tkaniny w przypadkach dużych sił dobicia.

3.2.2. Kwestia doboru wątku

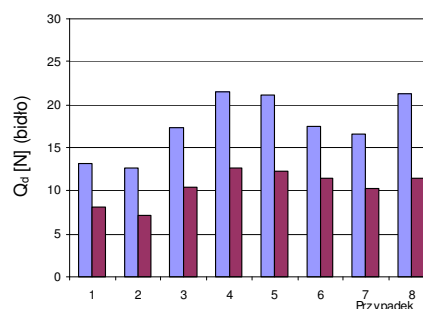
Odpowiedni dobór materiału włókiennego podczas badań nad wibracyjnym dobiciem ma kluczowe znaczenie. Podczas przemieszczania mało czepliwego wątku po śliskiej osnowie zagęszczenie graniczne w tkaninie jest osiągalne stosunkowo łatwo i w warunkach niewielkiej siły dobicia. Wówczas wpływ *PW* na poprawę warunków tkania jest niewielki, trudny, a niekiedy niemożliwy do identyfikacji.

Zasadniczo do prób wykorzystano wątek z przędzy bawełnianej $2 \times 25 \text{ tex}$, który charakteryzował się dużą włochatością i czepliwością [20, 45]. Wraz z podobną bawełnianą osnową wątek generował znaczny opór podczas zagęszczania tkaniny. Warunki pracy krosna udało się doprowadzić do stanu nadrabiania i nie osiągnięto jeszcze zagęszczenia granicznego wytwarzanej tkaniny. W obrazie mikroskopowym obserwowano niewypełnione przestrzenie pomiędzy wątkami. Dzięki temu uwidocznił się wpływ dobijania tkaniny w warunkach *PW*. Skuteczniejsze, wibracyjne dobicie pozwalało osiągnąć większe gęstości wątków w wytwarzanej tkaninie.

Przeprowadzono badania porównawcze z wibracyjnym dobiciem z innym wątkiem. Cewiono mniej czepliwą, cienką przędzę wiskozową 15 tex w nawoje wątkowe. Rejestrowano (podobnie jak w p. 3.2.1) obciążenia siłą dobicia osnowy i bidła w poszczególnych ośmiu przypadkach konfiguracji pasywnego układu zasilania osnową. Zidentyfikowano i porównano szczytowe siły dobicia podczas tkania z *PS* i *PW*. Przeprowadzono próby kilkakrotnie. Użyta do celów porównawczych, przykładową serię zarejestrowanych, nieprzeskalowanych przebiegów przedstawiono w załączniku 3. Uśrednione wyniki przedstawiono w formie wykresów na rysunkach 3.15-3.20.

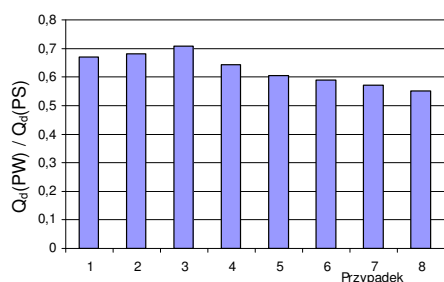


Rys. 3.15. Szczytowe siły dobicia mierzone ugięciem płochy na bidle

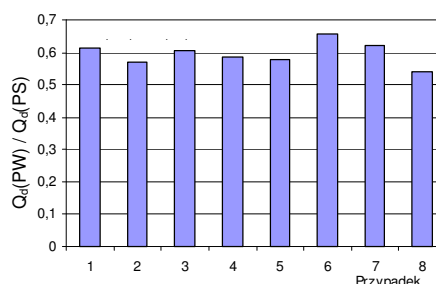


Rys. 3.16. Szczytowe siły dobicia mierzone zmianą napięcia osnowy

Porównując wykresy z odpowiednimi wykresami dotyczącymi wątku zasadniczego (rys. 3.9 i 3.10), zauważono, że redukcja sił dobicia jest większa w przypadku wątku cienkiego (sięgająca nawet do 40%). Przy zdecydowanie mniejszych nominalnie siłach dobicia, identyfikowalne stały się przebiegi napięcia osnowy z uchylnym przewalem.

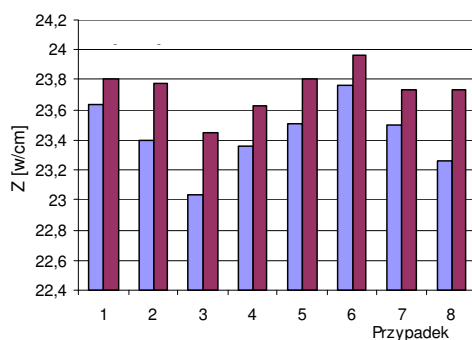


Rys. 3.17. Względne zmniejszenie obciążenia bidła siłą dobicia *PW* i *PS*, wątek cienki

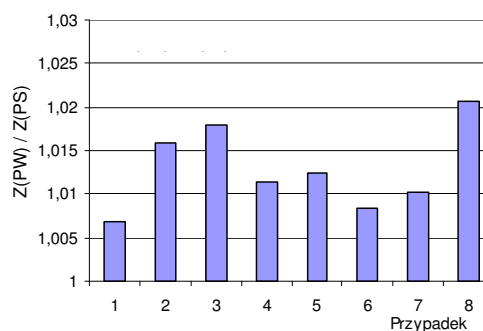


Rys. 3.18. Względne zmniejszenie sił dobicia *PW* i *PS* mierzonych zmianą napięcia osnowy, wątek cienki

Za pomocą mikroskopu pomiarowego zmierzono zagęszczenia na wytworzonych próbkach tkanin. Miarą skuteczności zagęszczania wibracyjnego przyjęto stosunek osiągniętych zagęszczeń *PW* względem *PS*.



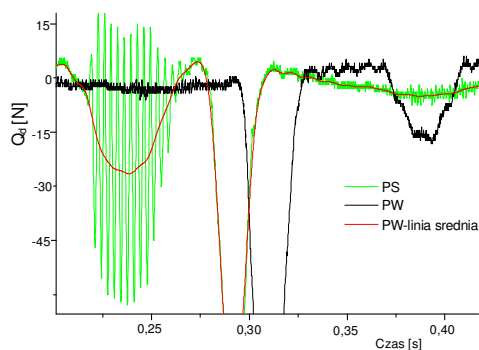
Rys. 3.19. Zagęszczenia w próbkach tkanin z wątkiem cienkim (*PS* – niebieski, *PW* – bordowy)



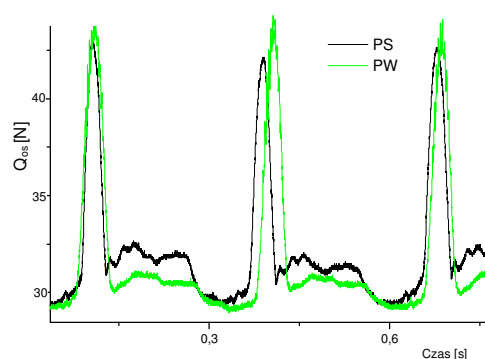
Rys. 3.20. Względne zwiększenie zagęszczenia w próbkach tkanych *PW* i *PS* z wątkiem cienkim

Wibracyjnie, w przypadku cienkiego wątku, uzyskano niewielki wzrost zagęszczenia (mniej niż 2%). Jest to poziom, który nie nadaje się do identyfikacji. Przyczyn niewielkiego wzrostu zagęszczenia podczas dobicia wibracyjnego upatruje się w osiągnięciu stanu zagęszczenia granicznego. Cienka śliska przędza wiskozowa daje się łatwiej zagęszczać i szybciej osiąga stan graniczny (na wytworzonych próbkach tkanin nie obserwowano wolnych przestrzeni międzywątkowych).

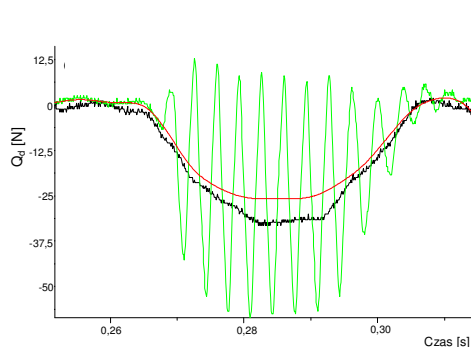
W dalszym etapie przeprowadzono badania porównawcze z wibracyjnym dobiciem z wątkiem grubym bawełnianym *180 tex*. Zidentyfikowano (podobnie jak w p. 3.2.1) i porównano siły dobicia podczas tkania z *PS* i *PW*. Przeprowadzono próby kilkakrotnie, przykładowe zarejestrowane przebiegi przedstawiono na rysunkach od 3.21 do 3.24. Na podstawie uzyskanych wyników nie zidentyfikowano jednoznacznego wpływu dobicia wibracyjnego na obciążenie bidła i osnowy.



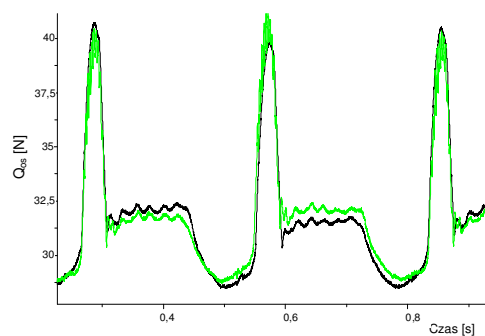
Rys. 3.21. Przebieg obciążenia bidła podczas tkania z wątkiem grubym *PS* i *PW* (przypadek 5)



Rys. 3.22. Przebieg napięcia osnowy podczas tkania z wątkiem grubym *PS* i *PW* (przypadek 5)



Rys. 3.23. Przebieg obciążenia bidła podczas tkania *PS* i *PW* z wątkiem grubym (przypadek 8)



Rys. 3.24. Przebieg napięcia osnowy podczas tkania *PS* i *PW* z wątkiem grubym (przypadek 8)

Wątek gruby pochłaniał drgania płóchy i w konsekwencji eliminował wpływ dobicia *PW*. Ewentualne zmniejszenie sił dobicia na osnowie było poza zakresem identyfikacji stosowanymi metodami. Nieznaczne zmniejszenie siły dobicia obserwowano jedynie na bidle (rys. 3.23).

Wnioski

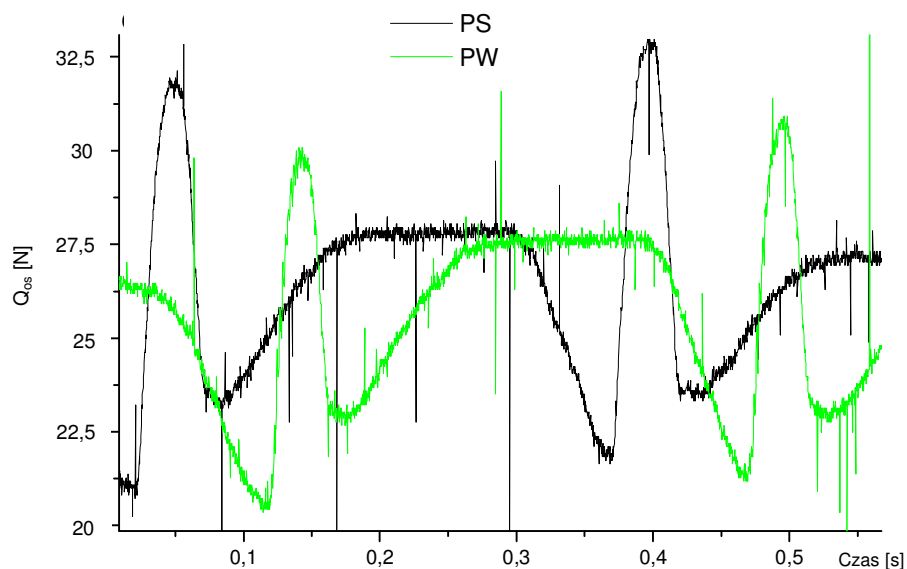
1. Konfiguracja pasywnego układu zasilania nie ma większego wpływu na skuteczność zagęszczania *PW* ze zróżnicowanymi wątkami.
2. Podczas zagęszczania *PW* wątku cienkiego uzyskano znaczną redukcję sił dobicia, większą niż w przypadku wątku zasadniczego.
3. Podczas zagęszczania *PW* wątku cienkiego nie zidentyfikowano zmiany zagęszczenia wytwarzanej tkaniny.
4. Podczas zagęszczania *PW* tkaniny z wątkiem grubym nie uzyskano poprawy warunków pracy krosna.

3.2.3. Układ aktywny zasilania osnową strefy tkania

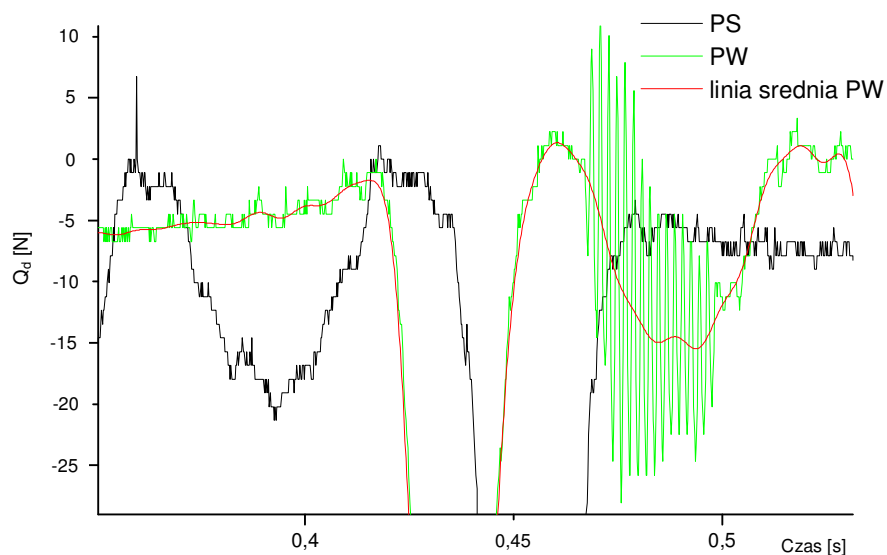
Układ aktywny zasilania osnową strefy tkania (rys. 1.28) utrzymywał jej napięcie, mierzone w określonym punkcie cyklu tkackiego, na stałym poziomie w obrębie wielu cykli. Układ nie redukował zmian napięcia osnowy w obrębie pojedynczego cyklu tkackiego. Na przykładowych zarejestrowanych przebiegach napięcia osnowy (rys. 3.25) widać zmiany związane z tworzeniem przesmyku oraz zmiany związane z zagęszczaniem wątków. Charakterystyczne ostre zmiany napięcia nitek osnowy z tytułu dobicia znajdowały się w okolicy przesmyku zamkniętego. Ich wysokość po przeskalowaniu przez współczynnik (stała czujnika napięcia osnowy) reprezentowała obciążenie 100 nitek osnowy siłą dobicia. Siła ta, powtórnie przeskalowana przez stosunek sztywności tkaniny względem sztywności osnowy, jako siła dobicia była przedmiotem badań porównawczych dla dobicia *PW* względem dobicia *PS*.

Podobny charakter zmian związanych z dobiciem obserwowano na przebiegach ugięcia płochy (rys. 3.26). Charakterystyczne skoki siły, zbliżone swoim kształtem do trójkąta, po przeskalowaniu przez współczynnik (stała czujnika optoelektronicznego) reprezentowały obciążenie bidła. Ich wielkość była przedmiotem badań porównawczych.

Rejestrowano przebiegi ruchu płochy względem bidła oraz napięcia osnowy. Na przebiegach ruchu płochy i napięcia osnowy zidentyfikowano skok siły z tytułu dobicia. Porównano szczytową siłę dobicia podczas tkania *PS* – przyp. 1, oraz *PW* bez zmiany innych warunków tkania – przyp. 2. Zauważono zmniejszenie siły i strefy dobicia podczas tkania *PW*. Następnie tkano *PW* i ze zmniejszonym odcinkiem odbieranej tkaniny, tak aby siła i strefa dobicia była taka sama jak w przypadku dobicia *PS* – przyp. 3. Taki schemat badawczy pozwolił na weryfikację *WMB* pod kątem postawionej tezy naukowej pracy. Określono wpływ tkania *PW* na szczytową siłę dobicia, mierzoną dwójako: ugięciem płochy na bidle oraz zmianą napięcia osnowy. Wytworzone próbki tkanin pozwoliły na pomiar zagęszczenia wątków za pomocą mikroskopu pomiarowego.



Rys. 3.25. Napięcie osnowy podczas tkania *PS* i *PW* w funkcji czasu,
 $Q_0 = 22,3$, $S = 20 \text{ mm}$



Rys. 3.26. Obciążenie bidła siłą dobicia podczas tkania *PS* i *PW* w funkcji czasu,
 $Q_0 = 22,3$, $S = 18 \text{ mm}$

Przeprowadzono szereg prób stanowiskowych według opisanego schematu badawczego. Użyte do celów porównawczych przykładowe, nieprzeskalowane zarejestrowane przebiegi przedstawiono w załączniku 4. Próby przeprowadzono dla parametrów zmiennych tkania: wstępnego napięcia osnowy i wielkości strefy

dobicia, którą regulowano długością odcinka odbieranej tkaniny. Trzy różne nastawy wielkości strefy dobicia dobrano w zakresie znacznych zagęszczeń wytwarzanej tkaniny, a w przypadku największego badanego napięcia osnowy zaczęły pojawiać się jej zrywy. Każdą próbę powtórzono trzykrotnie, uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 3.4.

Tabela 3.4. Szczytowa siła dobicia mierzona na bidle i zmianą napięcia osnowy oraz osiągnięte zagęszczenia tkanin wytwarzanych *PS* i *PW*

Q_0 [N]	S [mm]	Nr próby	$Q_d(PS)$ bidło [N] przyp. 1	$Q_d(PW)$ bidło [N] przyp. 2	$Q_d(PS)$ osnowa [N] przyp. 1	$Q_d(PW)$ osnowa [N] przyp. 2	Zagęszczenie	
							Przyp.	Z [w/cm]
22,32	20	1	28,8	22,46	28,89	21,66	1	17,4
		2	27,36	22,24	28,92	22,11	2	17,5
		3	27,36	21,49	28,91	21,44	3	18,7
	18	1	24,15	18,72	22,49	17,05	1	17,4
		2	23,04	18,50	22,17	16,25	2	17,5
		3	22,06	17,92	22,33	18,35	3	18,2
	16	1	19,98	15,48	17,85	14,20	1	17,0
		2	18,72	15,08	17,08	14,56	2	17,0
		3	18,86	15,48	17,47	12,28	3	17,8
24,96	20	1	31,32	24,48	28,99	23,07	1	17,8
		2	29,52	25,66	28,99	22,43	2	17,7
		3	30,42	24,48	29,53	22,75	3	18,8
	18	1	26,92	22,06	22,27	17,37	1	17,6
		2	24,91	20,95	21,34	17,05	2	17,7
		3	26,42	21,6	21,80	17,21	3	18,4
	16	1	19,62	16,99	18,20	14,27	1	16,8
		2	20,55	16,59	17,72	14,46	2	16,9
		3	19,62	15,66	17,96	13,47	3	17,5
28,56	20	1	31,68	27,72	33,44	26,52	1	18,4
		2	29,52	23,58	32,38	25,50	2	18,3
		3	28,8	24,91	32,41	26,01	3	19,2
	18	1	25,92	21,88	24,76	20,73	1	18,3
		2	25,27	21,31	24,76	19,36	2	18,4
		3	25,45	22,06	25,31	20,04	3	19,0
	16	1	21,6	18,50	20,38	17,088	1	17,6
		2	20,736	17,17	20,19	17,504	2	17,7
		3	20,95	17,92	20,28	15,36	3	18,2
32,4	20	1	35,28	29,23	33,37	25,98	1	19,0
		2	33,84	30,38	32,76	28,73	2	19,1
		3	34,56	27,93	33,07	27,74	3	19,7
	18	1	30,96	27,54	27,16	22,78	1	18,7
		2	33,12	28,29	26,88	23,2	2	18,7

Tabela 3.4(cd.)

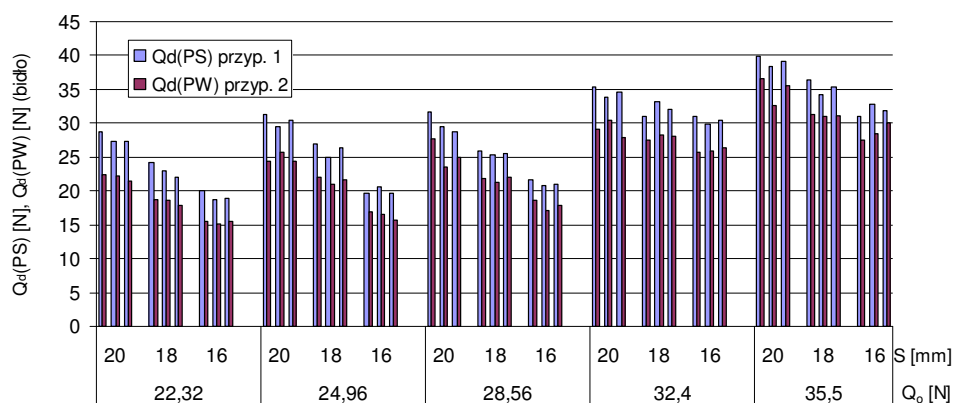
	16	3	32,04	28,11	26,33	23,40	3	19,3
		1	30,96	25,66	20,8	18,20	1	17,8
		2	29,88	25,92	20,60	17,37	2	17,8
		3	30,42	26,42	21,40	18,20	3	18,4
35,5	20	1	39,96	36,61	36,8	30,4	1	19,7
		2	38,52	32,65	34,94	30,91	2	19,8
		3	39,24	35,46	35,87	31,00	3	20,4
	18	1	36,36	31,32	29,15	26,24	1	19,4
		2	34,2	30,92	28,89	23,77	2	19,3
		3	35,28	31,14	29,02	26,01	3	20,0
	16	1	30,96	27,54	20,64	19,2	1	18,7
		2	32,76	28,47	20,86	18,20	2	18,7
		3	31,86	29,98	20,75	17,44	3	19,3

Przyp. 1 – zagęszczenie tkaniny wytworzonej *PS* w danych warunkach.

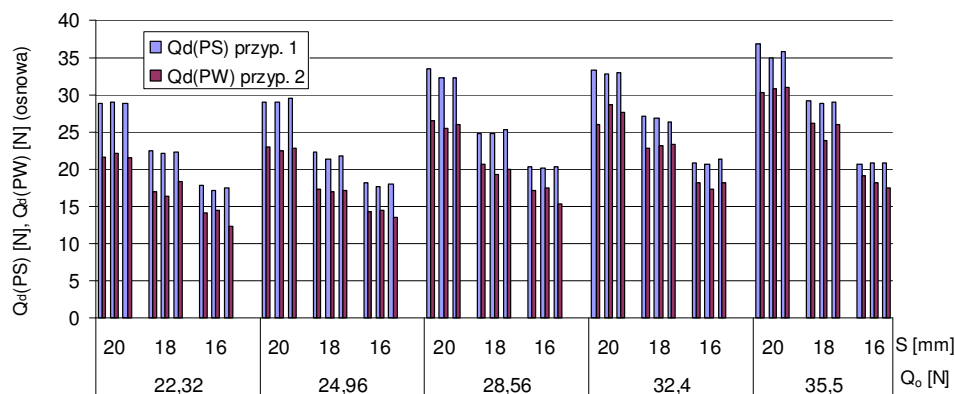
Przyp. 2 – zagęszczenie tkaniny wytworzonej *PW* bez zmiany innych warunków.

Przyp. 3 – zagęszczenie tkaniny wytworzonej *PW* ze zmniejszeniem odcinka odbieranej tkaniny, tak aby siła dociskania była taka sama jak w przypadku *PS*.

Zebrany w tabeli materiał badawczy przedstawiono w postaci wykresów (rys. 3.27-3.34).



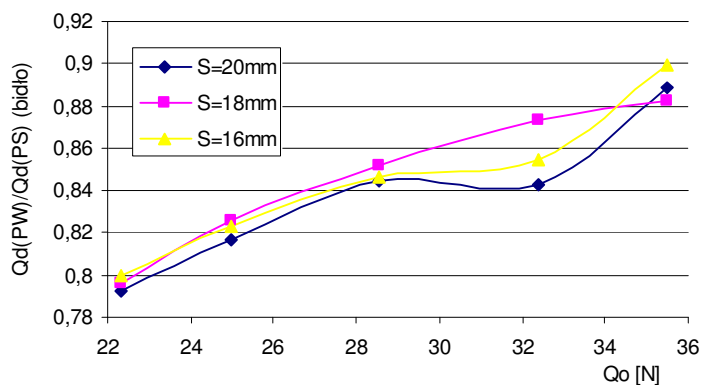
Rys. 3.27. Obciążenie bidła szczytową siłą dociskania mierzoną na bidle ugięciem płochy



Rys. 3.28. Szczytowa siła dociskania mierzona zmianą napięcia osnowy

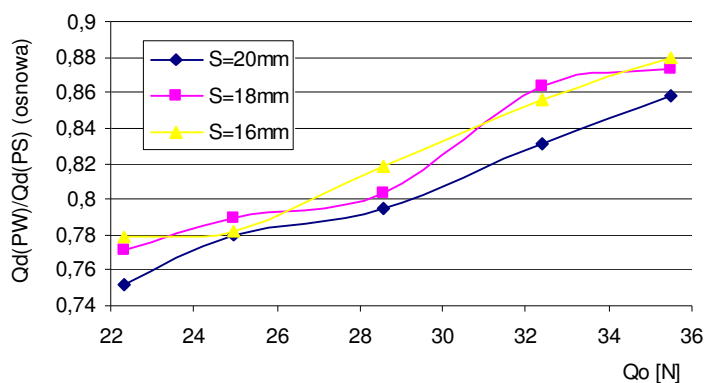
Dla każdej grupy trzech wyników policzono średnią arytmetyczną. Na podstawie uśrednionych wartości sił dociskania PS i PW określono skutek zagęszczania wibracyjnego. Zmniejszenie siły dociskania z tytułu tkania PW jest zauważalne zarówno na przebiegach obciążenia bidła, jak i napięcia osnowy, co więcej, względem napięcia osnowy ma zbliżony charakter.

Względne zmniejszenie obciążenia PW względem PS (przyp. 2 i 1), mierzone na bidle i na osnowie, przedstawiono w funkcji wstępnego napięcia osnowy na rysunkach 3.29 i 3.30. Każdemu napięciu wstępnemu nitki osnowy przyporządkowane są trzy wielkości stref dociskania ($S = 20$ mm, 18 mm, 16 mm).



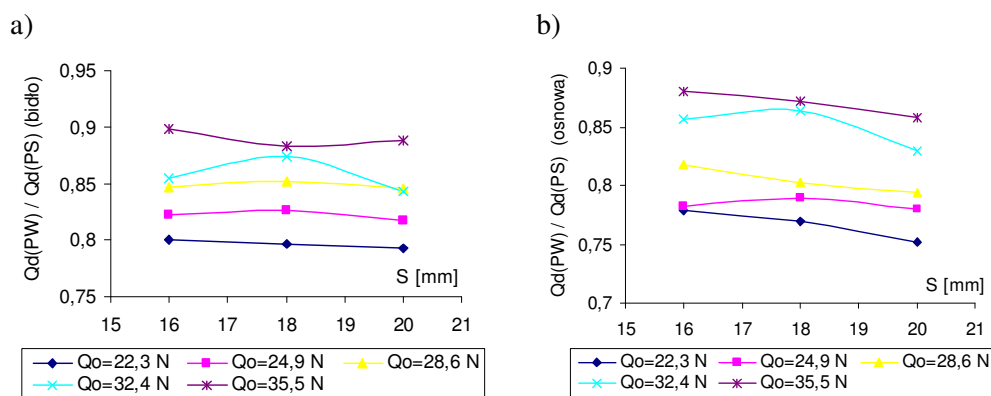
Rys. 3.29. Względne zmniejszenie obciążenia bidła siłą dociskania w funkcji wstępnego napięcia osnowy

Wyznaczenie siły dociskania na bidle odkształceniem płochy jest obarczone pewnym błędem, spowodowanym oporami ruchu wzbudnika. Stąd zauważalna na rysunkach 3.27 i 3.28 różnica w wynikach pomiarów.



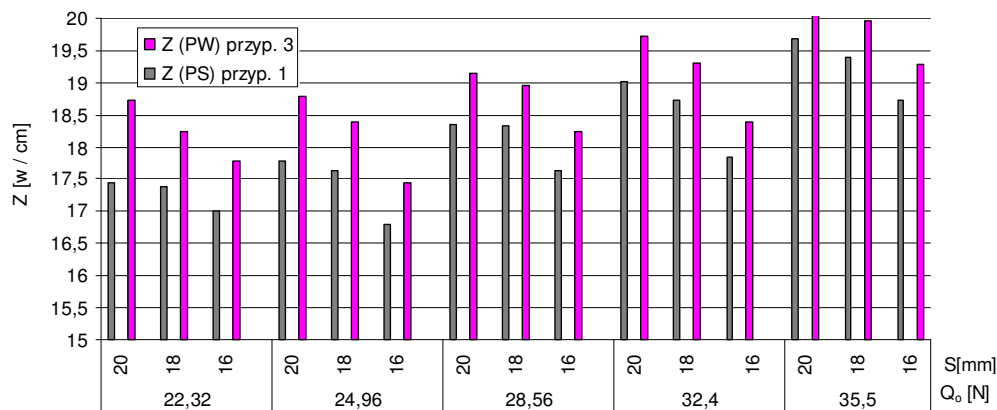
Rys. 3.30. Względne zmniejszenie siły dobowia mierzone zmianą napięcia osnowy w funkcji wstępnego napięcia osnowy

Zidentyfikowano pewien niewielki wpływ wielkości strefy dobowia na względne zmniejszenie siły dobowia *PW* (przyp. 1 i 2). Chociaż otrzymano wyniki niejednoznaczne (rys. 3.31), to w większości prób uwidoczniło się zmniejszenie siły dobowia *PW* wraz ze zwiększaniem strefy dobowia. Dotyczy to zarówno obciążenia bidła, jak i osnowy. Może to być spowodowane większą ilością cykli vibracji płochy, odpowiadającą większej strefie dobowia.



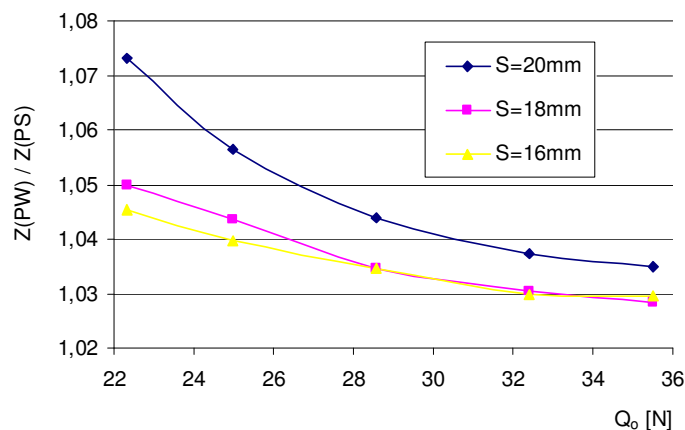
Rys. 3.31. Względne zmniejszenie siły dobowia: a) na bidle, b) mierzone zmianą napięcia osnowy w funkcji strefy dobowia

Na wytworzonych próbkach tkanin zauważono zwiększenie gęstości podczas tkania *PW* względem tkania *PS* w przypadku badawczym 1 i 3 (rys. 3.32). Sam fakt wprowadzenia w proces tkacki *PW*, bez zmiany wielkości odcinaka odbieranej tkaniny (przyp. 2), nie spowodował zauważalnej zmiany zagęszczenia wątków (tab. 3.4). Zwiększenie zagęszczenia obserwowano na próbkach tkanych *PW* i ze zmniejszoną długością odcinka odbieranej tkaniny (przyp. 3). Wyniki przedstawiono w postaci wykresów (rys. 3.32-3.34).



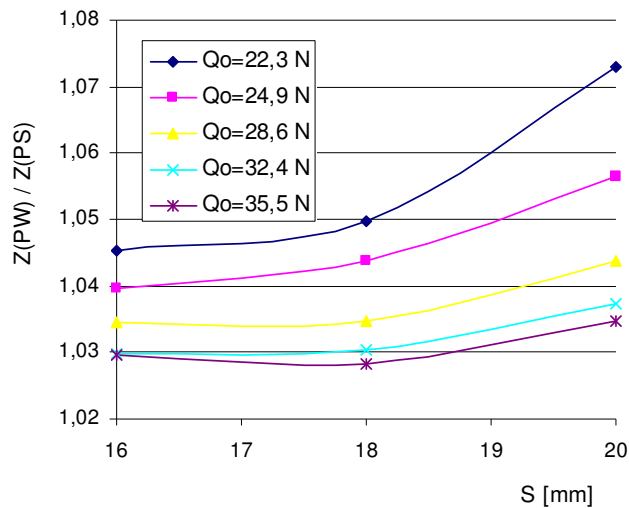
Rys. 3.32. Zagęszczenie wątków w tkaninach dobijanych *PS* i *PW* dla różnych napięć osnowy i stref dobicia

Względne zagęszczenie *PW* w stosunku do zagęszczenia *PS* (przyp. 3 i 1) pokazano na rysunku 3.33. Zasadniczo, aby tkać gęściej, należy zwiększyć napięcie osnowy. Ograniczeniem jest wzrost zrywności nitek osnowy spowodowany jej wytrzymałością [70]. Jak wynika z wykresu, wraz z napięciem osnowy maleje efektywność zagęszczania *PW* (w przebadanym zakresie 30%-15%). Charakter wykresu na rysunku 3.33 świadczy o zbliżaniu się do zakresu zagęszczenia granicznego dla większych napięć osnowy. Szczególnie widoczny wzrost zagęszczenia względnego *PW* obserwuje się natomiast dla mniejszych napięć osnowy.



Rys. 3.33. Względne zagęszczenie wątków dobijanych *PW* względem dobijanych *PS* w funkcji wstępnego napięcia osnowy

Odwrótną tendencję obserwowano na przebiegach względnego zagęszczania *PW* względem zagęszczenia *PS* w funkcji wielkości strefy dobicia pokazanych na rysunku 3.34. Wraz ze strefą dobicia wzrasta zagęszczanie względne *PW*. Jak widać, zagęszczenie względne rośnie wraz z wielkością strefy dobicia.



Rys. 3.34. Względne zagęszczenie wątków dobijanych *PW* względem dobijanych *PS* w funkcji wielkości strefy dobicia

Konkluzja

W trakcie czasochłonnych prób stanowiskowych ustalono szereg spostrzeżeń z zakresu eksploatacji i technologii tkackiej:

- Badany mechanizm wibracyjny poprawnie realizuje drgania płochy w całym zakresie napięć osnowy. Na przebiegach ruchu płochy widać jedynie niewielkie zmniejszenie amplitudy drgań płochy przy największych napięciach osnowy. Fakt ten nie powoduje zauważalnych skutków technologicznych w wytwarzanej tkaninie.
- Po zmianie parametrów tkackich warunki pracy krosna ustalają się po wytworzeniu 20-30 cm tkaniny, to jest po 400-600 cyklach tkackich. Istotnym spostrzeżeniem jest duży rozrzut rejestrowanych wyników. Dotyczy to zarówno pomiarów siły dobicia, jak i zagęszczenia tkaniny.
- Istotnym z punktu widzenia eksploatacji jest fakt dużej wrażliwości proponowanej konstrukcji mechanizmu wibracyjnego na tzw. przesztynienia (szczególnie w obrębie węzła wzbudnik-płocha). Zastosowanie elementów podatnych (w postaci gumowych podkładek) znacznie poprawiło niezawodność mechanizmu.
- Istotną wadą mechanizmu rezonansowego jest wrażliwość na zmęczenie materiału elementu sprężystego (częste pęknięcia). Dopiero zastosowanie wysokowytrzymałej stali sprężynowej (65G) z reżimem obróbki cieplnej poprawiło niezawodność mechanizmu.
- Ruch wibracyjny płochy w niewielkim stopniu przenosi się na osnowę. Na przebiegach napięcia osnowy widoczne „szarpnięcia” związane z wibracją płochy można zidentyfikować, ale w przedziale o wiele mniejszym niż na bidle.

Wnioski

1. Podczas prób zagęszczania wątków *PW* z aktywnym zasilaniem osnową strefy tkania uzyskano zmniejszenie dynamicznego obciążenia siłą dobitcia mechanizmu bidłowego i osnowy w zakresie 15-30% względem zagęszczania *PS*.
2. Podczas prób dobitcia *PW* i aktywnym zasilaniem osnową osiągnięto gęstość wątków w tkaninie do 7% większą względem dobitcia *PS*.
3. W warunkach silnych zagęszczeń stabilizacja warunków pracy badanego krosna następuje po 300-500 cyklach tkackich.
4. Charakter wykresów osiąganych zagęszczeń *PW* względem zagęszczeń uzyskanych *PS* świadczy o zbliżaniu się do zakresu zagęszczenia granicznego dla większych napięć osnowy.

4. BADANIA SYMULACYJNE WIBRACYJNEGO ZAGĘSZCZANIA WĄTKÓW

4.1. Modelowanie oporów ruchu wątku w strefie zagęszczania

Siłę dobicia Q_d , utożsamiono z siłą oddziaływania płochy na przemieszczający się po osnowie wątek podczas zagęszczania tkaniny na krośnie. W procesie tym rozróżnia się dwie strefy oddziaływań [55]. Pierwsza, to strefa tworzenia tkaniny, gdzie dochodzi do przemieszczenia się wątku po osnowie y_1 . Drugą, jest strefa, gdzie dochodzi do przemieszczania krawędzi tkaniny w ramach sprężystości układu tkanina-osnowa y_2 . Przemieszczenie sumaryczne krawędzi tkaniny z obu stref, równe przemieszczeniu płochy y , powoduje ta sama siła oddziaływania płochy na wątek Q_d . Obie strefy stanowią pewien sprężysto tłumieny układ dynamiczny o dwóch stopniach swobody.

$$y = y_1 + y_2. \quad (4.1)$$

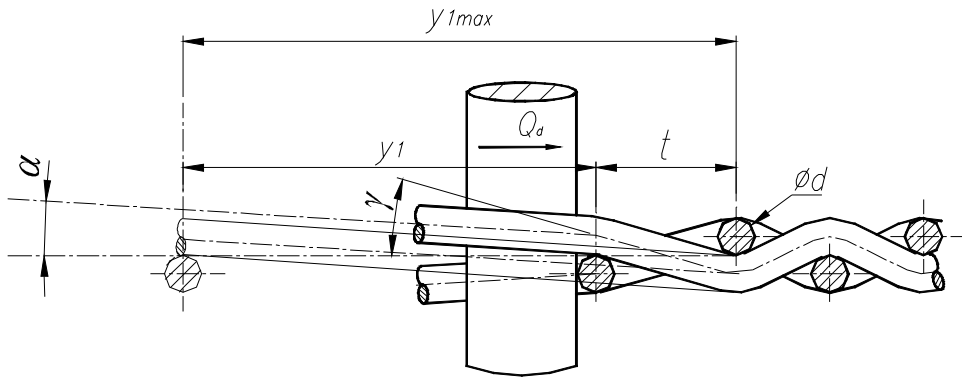
Podczas modelowania siły dobicia przyjęto następujące założenia:

- splot płócienny wytwarzanej tkaniny,
- proces dobicia odbywa się przy otwartym przesmyku podczas jego zamykania, tak jak w większości współczesnych krosien [77, 81],
- prędkość zamykania przesmyku traktuje się jako stałą i relatywnie niewielką, kąt przedniej części przesmyku α nie zmienia się podczas całej fazy dobicia,
- współczynnik tarcia wątku po osnowie μ traktuje się jako stały w czasie całej fazy dobicia,
- średnice wątku i osnowy ($d = 0,3 \text{ mm}$), są takie same, kołowe przekroje nitek są nieodkształcalne,
- nie rozpatrzono przemieszczenia osnowy w oczku struny nicielnicowej, założono odkształcalną strunę w zakresie strefy dobicia.

4.1.1. Strefa tworzenia tkaniny

Pokazana na rysunku 4.1 odległość $y_{1 \max}$, od zetknięcia się nowo wprowadzanego wątku z osnową, rozpiętą w przesmyku na kącie α , do poprzednio wprowadzonego wątku, stanowi maksymalną teoretyczną drogę wątku po osnowie w strefie tworzenia tkaniny. Oczywiście, faktyczne przemieszczenie wątku podczas procesu dobicia jest mniejsze z uwagi na podziałkę wątków w tkaninie. Pomijając podziałkę wątków, długość tak określonej strefy tworzenia tkaniny wynosi:

$$y_{1 \max} = \frac{d}{\tan \alpha}. \quad (4.2)$$



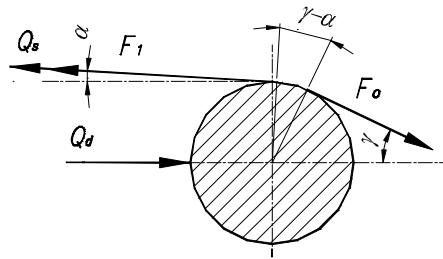
Rys. 4.1. Geometria wprowadzania wątku w tkaninę

W oparciu o rysunek 4.1 można ponadto założyć, że:

$$\gamma(y_1) = \arctg \frac{d}{y_{1max} - y_1} = \arctg \frac{d}{t}, \quad (4.3)$$

gdzie t – chwilowa podziałka wątków w wytwarzanej tkaninie.

Dobijany wątek stanowi kołową barierę cierną dla wycinka osnowy [56]. Rozpa-
trując układ, otrzymano rozkład sił przedstawiony na rysunku 4.2.



Rys. 4.2. Rozkład sił na dobijanym wątku

Z rozkładu sił na rysunku 4.2 wynika, że:

$$\frac{F_1(y_1)}{F_0(y_1)} = e^{\mu(\gamma(y_1) - \alpha)}, \quad (4.4)$$

oraz

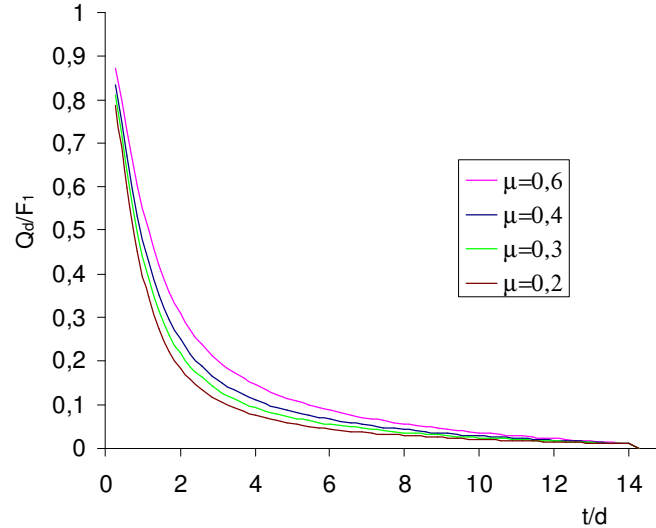
$$Q_d(y_1) = (F_1(y_1) + Q_s) \cos \alpha - F_0(y_1) \cos \gamma(y_1), \quad (4.5)$$

gdzie Q_s – siła szepności pomiędzy nitkami osnowy i wątkiem.

Ostatecznie, biorąc pod uwagę (4.5) i (4.4), przyjęto:

$$\frac{Q_d}{F_1}(y_1) = \cos \alpha - \frac{\cos \gamma(y_1)}{e^{\mu(\gamma(y_1) - \alpha)}} + \frac{Q_s}{F_1} \cos \alpha \approx \cos \alpha - \frac{\cos \gamma(y_1)}{e^{\mu(\gamma(y_1) - \alpha)}} \quad (4.6)$$

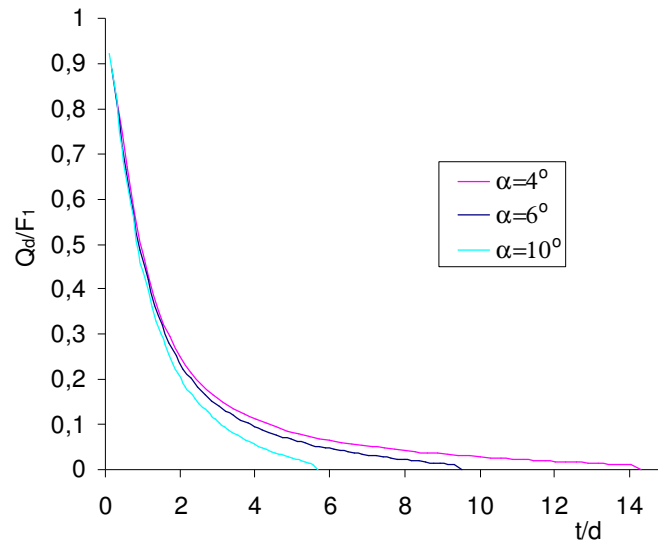
Rozwiązanie równania 4.6 dla różnych wartości współczynnika tarcia pomiędzy nitkami [9, 57, 86] przedstawiono w postaci przebiegów bezwymiarowych na rysunkach 4.3 i 4.4.



Rys. 4.3. Stosunek chwilowej siły dobiecia do napięcia nitek osnowy w funkcji chwilowej podziałki odniesionej do średnicy wątków, dla różnych współczynników tarcia pomiędzy nitkami, $\alpha = 4^\circ$, $Q_s/F_1 = 0,01$

W pracy [45] badano charakter i przykładowe wartości siły szczepności dla nitek czepnych, włochatych. Oceniono, że siła ta ma wymierny, ale niewielki wpływ na opory ruchu wątku względem osnowy. Odgrywa pewną rolę jedynie w początkowej fazie dobiecia. Siła szczepności może być modelowana na stałym poziomie, tak jak w pracach [44, 55]. Ostatecznie, jako uproszczenie modelowe, założono stały stosunek Q_s/F_1 .

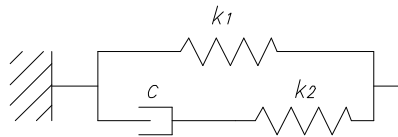
Na podstawie przebiegów zależności $Q_d/F_1(y_1)$ stwierdzono, że stosunek ten zależy w głównej mierze od geometrii przesmyku i chwilowego położenia wątku względem osnowy. Natomiast w niewielkim stopniu zależy on od właściwości ciernych nitek osnowy i wątku. Przy zmianie kąta przedniej części przesmyku (rys. 4.4), charakter przebiegów $Q_d/F_1(y_1)$ w zakresie mniejszych podziałek jest zbliżony. Różnica wynikająca z różnych odległości y_{1max} dotyczy głównie zakresu oddziaływania.



Rys. 4.4. Stosunek chwilowej siły dobiecia do napięcia nitek osnowy w funkcji chwilowej podziałki odniesionej do średnicy wątków dla różnych kątów początkowych przedniej części przesmyku, $\mu = 0,4$, $Q_s/F_l = 0,01$

4.1.2. Strefa oddziaływań układu osnowa-tkanina na wątek

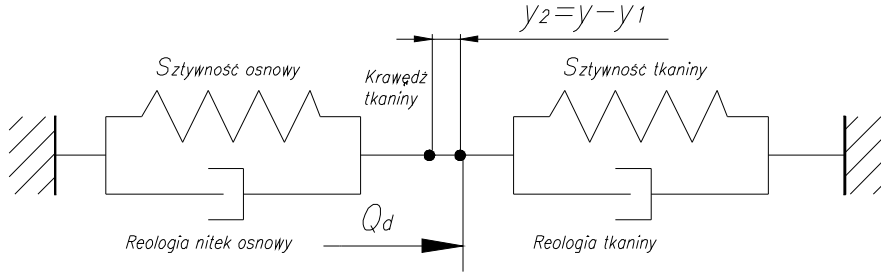
Model reologiczny rozciągania nitki przeważnie przedstawia się jako połączenie równoległe członu Maxwela i dodatkowej sztywności [7, 14, 53, 67, 79]. Taki model rozciągania nitek osnowy zaproponował S. Nosek [61]. Model pokazano na rysunku 4.5.



Rys. 4.5. Reologiczny model rozciągania nitek

W pracy [87] analizowano efekt relaksacji w nitkach, opierając się na modelu z rysunku 4.5. Na podstawie otrzymanych wyników oceniono, że stałe czasowe dla członu tłumiącego są rzędu sekund lub nawet dziesiątek sekund. Natomiast częstotliwość zmian obciążenia nitek osnowy podczas zagęszczania wątków *PW* jest na tyle duża, że człon tłumiący praktycznie nie porusza się, zachowując się jak ciało o dużej sztywności. Wtedy model z rysunku 4.5 redukuje się do pojedynczej sztywności.

Wyniki przeprowadzonych doświadczeń przy cyklicznym rozciąganiu nitek, w pracach [18, 50, 51, 37, 40, 57, 76], jak również w niniejszej, świadczą o tym, że przy większych częstotliwościach zmian obciążenia musi istnieć jakiś człon tłumiący. W pracy [57] jako reologiczny model nitki zaproponowano człon tłumiący równoległy do sztywności (model Kelvina-Voigta). Taki model rozciągania osnowy i tkaniny przyjęto również w niniejszej pracy. Ostatecznie przyjęto, że osnowa wraz z tkaniną stanowi układ równoległy dwóch sztywności i tłumienia. Układ stanowiący strefę sprężysto-plastycznych oddziaływań układu tkanina-osnowa przedstawiono schematycznie na rysunku 4.6.



Rys. 4.6. Schemat układu równoległego stanowiącego strefę sprężystości tkanina-osnowa

Biorąc po uwagę schemat, siła oddziaływania płochy na watek opisana jest zależnością:

$$Q_d(y_2) = y_2 \cdot (k_o + k_t) + \dot{y}_2 \cdot (c_o + c_t), \quad (4.7)$$

gdzie:

k_o, k_t – sztywność osnowy, sztywność tkaniny,

c_o, c_t – współczynnik tłumienia osnowy, współczynnik tłumienia tkaniny.

Siła w nitce osnowy w przedniej części przesmyku F_l stanowi sumę: napięcia wstępnego nitek osnowy Q_0 , siły wynikającej ze sztywności osnowy oraz siły wynikającej z reologii osnowy [27, 55].

$$F_l(y_2) = Q_0 + \frac{y_2 \cdot k_o}{\cos \alpha} + \frac{\dot{y}_2 \cdot c_o}{\cos \alpha} \quad (4.8)$$

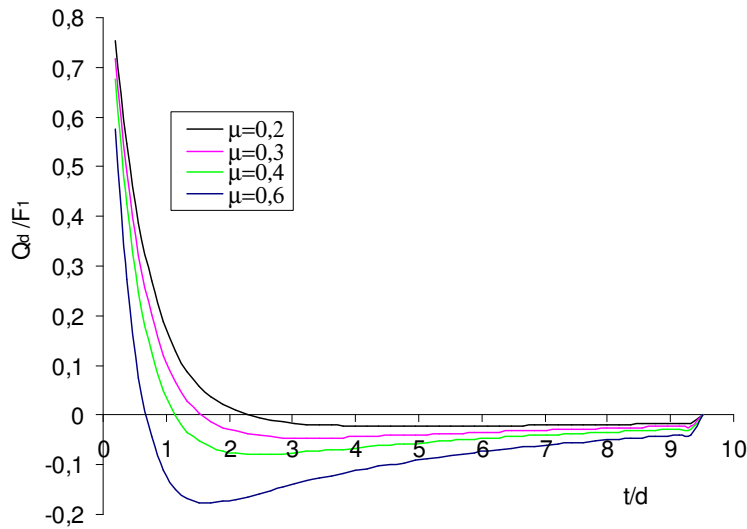
Biorąc po uwagę równania (4.1), (4.6), (4.7) i (4.8), otrzymano układ czterech równań z czterema niewiadomymi Q_d, F_l, y_1, y_2 . Niewiadome w równaniach występują w postaci uwikłanej. Dwa z równań to równania różniczkowe, gdzie niewiadome występują w postaci pochodnych po czasie. Rozwiązanie numeryczne układu otrzymano za pomocą modeli symulacyjnych przedstawionych w rozdziałach następnych.

4.1.3. Oddziaływania płochy na wążek podczas wycofywania płochy po dobieciu

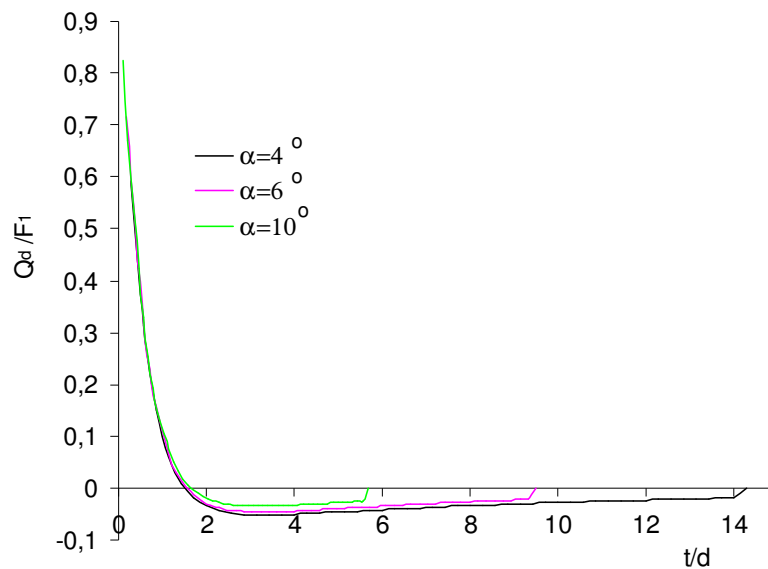
Po cyklu dobiecia nowo wprowadzonego wążka istnieje możliwość wypchnięcia go z przesmyku w trakcie cofania się płochy. Część siły dobiecia ma charakter sprężysty, nie pochodzi od tarcia, tylko wynika ze sprężystości osnowy i tkaniny oraz z chwilowej geometrii przesmyku. Na drodze analitycznej można określić próg samohamowności wążka, określany jako jego drogę po osnowie, przy której nie istnieje ryzyko jego cofnięcia. Przeprowadzając podobną analizę co w rozdziale 4.1.1 dla cofającej się po dobieciu płochy, otrzymano zależność:

$$\frac{Q_d}{F_1}(y_1) = \cos \alpha(y_1) - \cos \gamma(y_1) \cdot \left(e^{\mu(\gamma(y_1) - \alpha(y_1))} \right) - \frac{Q_s}{F_1} \cos \gamma \quad (4.9)$$

Rozwiązania równania (4.9) w postaci przebiegów stosunku sił Q_d/F_1 w funkcji podziałki względnej t/d , przedstawiono na rysunkach 4.7 i 4.8. Obserwując przebiegi, zauważono, że znaczna część wartości leży po stronie ujemnej. Wartości ujemne interpretuje się jako zapewnienie samohamowności wążka w przesmyku. Wartości dodatnie to teoretyczna możliwość samoczynnego wysuwania się wążka po dobieciu. Najmniejsze wartości podziałki względnej, przy której nie występuje ryzyko cofania się wążków przy wycofywaniu płochy (krzywe zmieniają znak), określono jako umowną granicę samohamowności wążka po dobieciu $(t/d)_{sh}$.

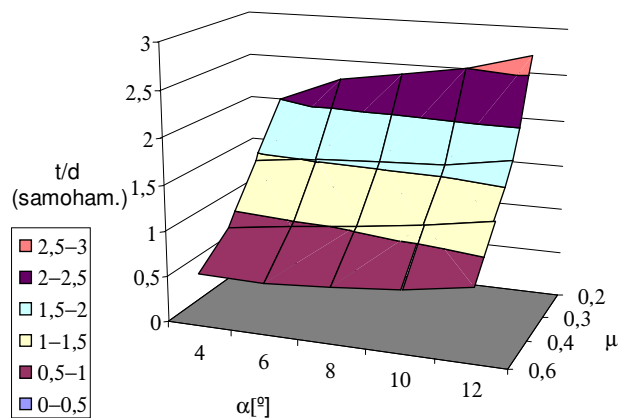


Rys. 4.7. Stosunek chwilowej siły dobiecia do siły napięcia osnowy w funkcji podziałki względnej wążków w tkaninie podczas wycofywania płochy, dla różnych współczynników tarcia pomiędzy nitkami, $\alpha = 6^\circ$, $Q_s/F_1 = 0,01$



Rys. 4.8. Stosunek chwilowej siły docisku do siły napięcia osnowy w funkcji podziałki względnej wtków w tkaninie podczas wycofywania płochy, dla różnych kątów przedniej części przesmyku, $\mu = 0,4$, $Q_s/F_1 = 0,01$

Na rysunku 4.9 przedstawiono teoretyczne wartości granicy samohamowności $(t/d)_{sh}$. Wartości granicy samohamowności mają tendencję do narastania wraz z kątem przedniej części przesmyku podczas cofania się płochy. Wartości te zmniejszają się wraz z narastaniem wartości współczynnika tarcia pomiędzy nitkami. Należy zauważyć, że praktycznie wszystkie z uzyskanych wartości $(t/d)_{sh}$ leżą poniżej zagęszczenia granicznego. Przyjęto, że zagęszczeniu granicznemu odpowiada wartość podziałki względnej $t/d_{gr} = 2,5$.



Rys. 4.9. Podziałka względna, przy której nie występuje ryzyko cofnięcia się wтку przy wycofywaniu płochy

Biorąc pod uwagę możliwość wysuwania się wątku z przesmyku należy pamiętać, że:

- przyjęty w analizie model nie zakładał zmiany kształtu kołowego przekroju poprzecznego wątku i osnowy. W rzeczywistości nitki odkształcają się, dopasowując kształty przekrojów wzajemnie do siebie (rys. 5.1 i 5.2) [1].
- założono stały kąt przedniej części przesmyku α , w rzeczywistości przesmyk zamyka się w trakcie trwania fazy dobicia oraz bezpośrednio po niej podczas cofania się płochy.

Te czynniki powodują dodatkowe zmniejszenie sił wysuwających nowo wprowadzony wątek z przesmyku.

W przeprowadzanych dalszych symulacjach dynamicznych procesu zagęszczania wątków pominięto możliwość wysuwania się wątku z przesmyku.

4.2. Opis numerycznych, symulacyjnych modeli zagęszczania

Zagęszczanie wibracyjne symulowano w dwóch wariantach zadawania ruchu wibracyjnego płochy: dynamicznym i kinematycznym.

4.2.1. Wariant z dynamicznym wzbudzeniem ruchu wibracyjnego płochy

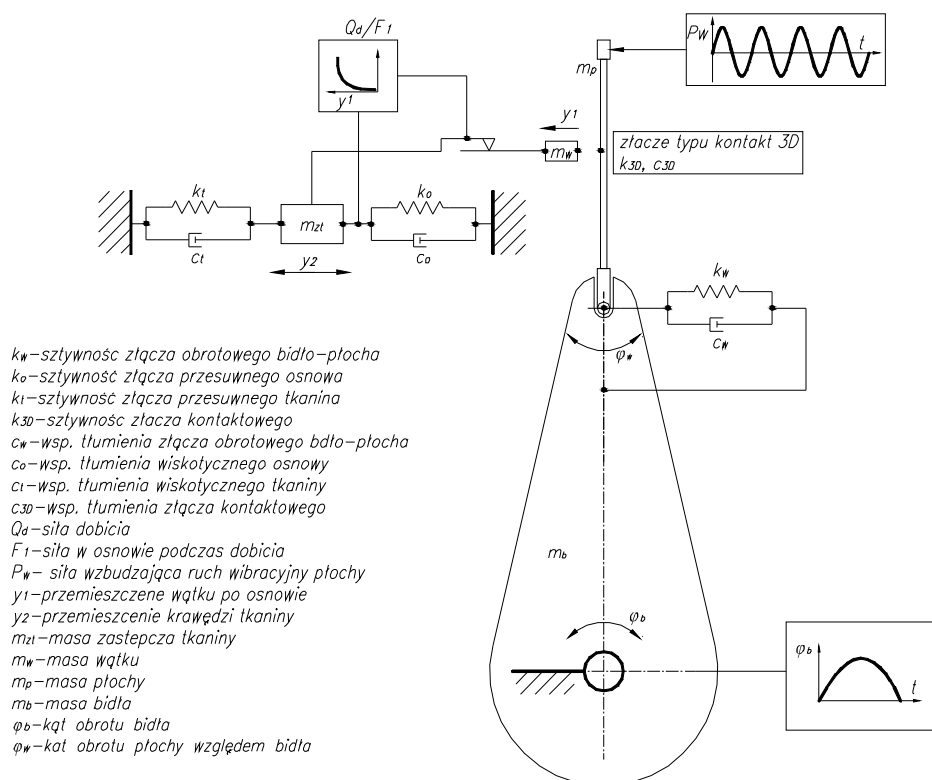
Model bidła z podatną płochą wraz z modelem strefy zagęszczania tkaniny pokazano na rysunku 4.10. Wariant z dynamicznym wzbudzeniem ruchu wibracyjnego płochy zakłada sinusoidalnie zmienną siłę P_w , przyłożoną w okolicy górnego grzbietu płochy. Moment wzbudzający drgania płochy, przyjmując oznaczenia z rysunku 1.2, jest opisany równaniem:

$$M_w = P_w e + Q_d (e - a), \quad (4.10)$$

Poza fazą dobicia, czyli bez kontaktu płochy z krawędzią tkaniny, siła dobicia $Q_d = 0$.

Model strefy zagęszczania powstał w oparciu o analizy oddziaływań z rozdziału 4.1. Model składa się: z układu równoległego oddziaływań osnowa-tkanina powiązanego szeregowo z członem odpowiedzialnym za opory tarcia przemieszczania wątku po osnowie. Model strefy zagęszczania wraz ze schematem układu bidła z wibrującą płochą pokazano na rysunku 4.10 i 4.11.

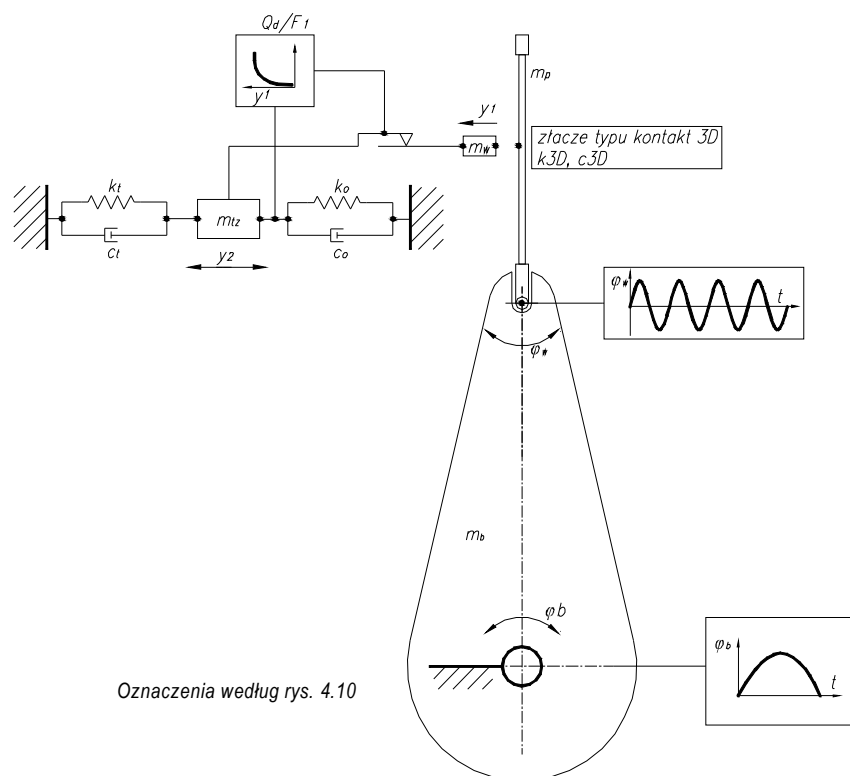
Ponieważ wariant z dynamicznym wzbudzeniem ruchu wibracyjnego płochy, przedstawiony na rysunku 4.10, jest zbliżony do warunków rzeczywistych, panujących na stanowisku badawczym, posłużył on celom weryfikacyjnym. Zakłada on rezonansowy charakter ruchu wibracyjnego płochy, gdzie sztywność kątowa złącza obrotowego, masa płochy i częstotliwość oddziaływania siły wzbudzającej odpowiadały częstości własnej drgań układu wibracyjnego płochy.



Rys. 4.10. Model strefy zagęszczania wątku i bidła z podatną płochą przy dynamicznym wzbudzeniu ruchu wibracyjnego płochy – wariant 1

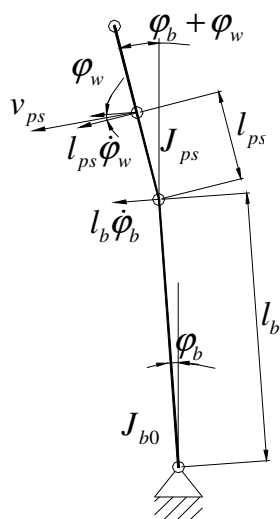
4.2.2. Wariant z kinematycznym wzbudzeniem ruchu wibracyjnego płochy

Próby stanowiskowe z wibracyjnym zagęszczaniem tkanin ze zmienną częstotliwością ruchu wibracyjnego płochy są trudne do przeprowadzenia. Takie próby wymuszałyby konieczność zastosowania wzbudnika z dużym nadmiarem mocy. Z założenia układ nie pracowałby wtedy w warunkach rezonansowych [12, 42, 62]. Jednak takie próby pozwalają ocenić wpływ częstotliwości ruchu wibracyjnego płochy lub ilości uderzeń płochy w czasie dobicia na efektywność wibracyjnego dobicia. Stąd drugi symulowany wariant, który zakłada kinematyczne zadanie płosze sinusoidalnie zmiennego ruchu wibracyjnego, bez analizy wzbudzenia siłowego. Wariant nie przewiduje rozpatrywania dynamiki ruchu wibracyjnego płochy. Takie podejście pozwala traktować częstotliwość ruchu wibracyjnego płochy jako parametr zmienny w symulacjach. Model symulacyjny z drugim wariantem wzbudzenia ruchu wibracyjnego płochy przedstawia rysunek 4.11.



Rys. 4.11. Model strefy zagęszczania wątku i bidła z podatną płochą przy kinematycznym wzbudzeniu ruchu vibracyjnego płochy – wariant 2

4.2.3. Modelowanie dynamiki bidła z podatną płochą



Rys. 4.12. Schemat kinematyczny układu dynamicznego, złożonego z bidła i płochy

Bidło z podatną (wibrującą) płochą, jako układ dynamiczny o dwóch stopniach swobody, schematycznie przedstawiono na rysunku 4.12 i opisano równaniem Lagrange'a drugiego rzędu [15, 82] (4.11):

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial U}{\partial \dot{\varphi}_i} \right) - \left(\frac{\partial U}{\partial \varphi_i} \right) + \left(\frac{\partial V}{\partial \varphi_i} \right) + \left(\frac{\partial D}{\partial \varphi_i} \right) = M_i(\varphi), \quad i = 1, 2 \quad (4.11)$$

gdzie: U – energia kinetyczna, V – energia potencjalna, D – moc tłumienia, M – moment napędowy.

Energia kinetyczna układu dynamicznego jest opisana zależnością (4.12):

$$U = \frac{1}{2} J_{b0} \dot{\varphi}_b^2 + \frac{1}{2} J_{ps} (\dot{\varphi}_w + \dot{\varphi}_b)^2 + \frac{1}{2} m_p v_{ps}^2. \quad (4.12)$$

J_{b0} – moment bezwładności bidła zredukowany do osi obrotu bidła,

J_{ps} – moment bezwładności płochy w środku ciężkości.

Na podstawie rysunku 4.12 określono prędkość

$$v_{ps} = (l_b \dot{\varphi}_b)^2 + (l_{ps} (\dot{\varphi}_w + \dot{\varphi}_b))^2 + 2l_b \dot{\varphi}_b l_{ps} \dot{\varphi}_w \cos \varphi_w. \quad (4.13)$$

Biorąc pod uwagę (4.12) i (4.13)

$$U = \frac{1}{2} J_{b0} \dot{\varphi}_b^2 + \frac{1}{2} J_{ps} (\dot{\varphi}_b + \dot{\varphi}_w)^2 + \frac{1}{2} J_{b0} l_b^2 \dot{\varphi}_b^2 + \frac{1}{2} m_p l_{ps}^2 (\dot{\varphi}_b + \dot{\varphi}_w)^2 + m_p l_b l_{ps} (\dot{\varphi}_b + \dot{\varphi}_w) \dot{\varphi}_b \cos \varphi_w. \quad (4.14)$$

Energia potencjalna układu jest opisana zależnością (4.15)

$$V = \frac{1}{2} k_b \varphi_b^2 + \frac{1}{2} k_w \varphi_w^2. \quad (4.15)$$

Funkcja (moc) tłumienia jest opisana równaniem (4.16)

$$D = \frac{1}{2} c_b \dot{\varphi}_b^2 + \frac{1}{2} c_w \dot{\varphi}_w^2. \quad (4.16)$$

Biorąc pod uwagę (4.12-4.15), poszczególne składniki równania (4.11) przedstawiają się następująco:

$$\frac{\partial U}{\partial \dot{\varphi}_b} = J_b \dot{\varphi}_b + m_p l_b^2 \dot{\varphi}_b + m_p l_b l_{ps} (\dot{\varphi}_w + \dot{\varphi}_b) \cos \varphi_w, \quad (4.17)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial U}{\partial \dot{\varphi}_b} \right) &= (J_{b0} + m_p l_b^2) \ddot{\varphi}_b + m_p l_b l_{ps} (\ddot{\varphi}_w + \ddot{\varphi}_b) \cos \varphi_w + \\ &+ m_p l_b l_{ps} (\dot{\varphi}_w + \dot{\varphi}_b) \dot{\varphi}_b \sin \varphi_w, \end{aligned} \quad (4.18)$$

$$\frac{\partial U}{\partial \varphi_b} = m_p l_b l_{ps} (\dot{\varphi}_w + \dot{\varphi}_b) \dot{\varphi}_b \sin \varphi_w, \quad (4.19)$$

$$\frac{\partial V}{\partial \varphi_b} = -k_w \varphi_w, \quad (4.20)$$

$$\frac{\partial D}{\partial \dot{\varphi}_b} = c_b \dot{\varphi}_b - c_w \dot{\varphi}_w, \quad (4.21)$$

gdzie c_b – tłumienie kątowe bidła na osi.

$$\frac{\partial U}{\partial (\dot{\varphi}_w + \dot{\varphi}_b)} = J_{ps} (\dot{\varphi}_w + \dot{\varphi}_b) + m_p l_{ps}^2 (\dot{\varphi}_w + \dot{\varphi}_b) + m_p l_b l_{ps} \dot{\varphi}_b \cos \varphi_w, \quad (4.22)$$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial U}{\partial (\dot{\varphi}_w + \dot{\varphi}_b)} \right) &= (J_{ps} + m_p l_{ps}^2) (\ddot{\varphi}_w + \ddot{\varphi}_b) + m_p l_b l_{ps} \ddot{\varphi}_b \cos \varphi_w + \\ &- m_p l_b l_{ps} (\dot{\varphi}_w + \dot{\varphi}_b) \dot{\varphi}_b \sin \varphi_w, \end{aligned} \quad (4.23)$$

$$\frac{\partial U}{\partial (\varphi_w + \varphi_b)} = -m_p l_b l_{ps} (\dot{\varphi}_w + \dot{\varphi}_b) \dot{\varphi}_b \sin \varphi_w, \quad (4.24)$$

$$\frac{\partial V}{\partial (\varphi_w + \varphi_b)} = k_w \varphi_w, \quad (4.25)$$

$$\frac{\partial D}{\partial (\dot{\varphi}_w + \dot{\varphi}_b)} = c_w \dot{\varphi}_w. \quad (4.26)$$

Biorąc po uwagę (4.17-4.26) w równaniu (4.11) i po zlinearyzowaniu układu ($\cos \varphi_w = 0$), otrzymano równania ruchu układu dynamicznego bidła i płochy (4.27).

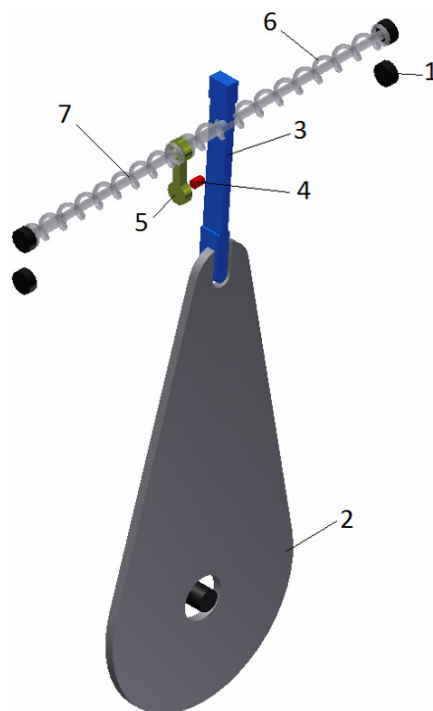
$$\begin{aligned} (J_{b0} + m_p l_b^2) \ddot{\varphi}_b + m_p l_b l_{ps} (\ddot{\varphi}_w + \ddot{\varphi}_b) + k_w \varphi_b + (c_b + c_w) \dot{\varphi}_b - k_w (\varphi_w + \varphi_b) - c_w (\dot{\varphi}_w + \dot{\varphi}_b) &= \\ = M_b - M_w \\ (J_{ps} + m_p l_{ps}^2) (\ddot{\varphi}_w + \ddot{\varphi}_b) + m_p l_b l_{ps} \ddot{\varphi}_b + k_w (\varphi_w + \varphi_b) + c_w (\dot{\varphi}_w + \dot{\varphi}_b) - k_w \varphi_b - c_w \dot{\varphi}_b &= M_w \end{aligned} \quad (4.27)$$

gdzie

M_b – moment napędowy bidła.

4.2.4. Opis modelu numerycznego symulacji dynamicznych

Przedstawiony na rysunku 4.13 bryłowy model bidła z podatną płochą wraz z symbolicznie zamodelowaną częścią włókienniczą pozwolił na numeryczne rozwiązanie równań ruchu odnoszących się do strefy zagęszczania wątków i części mechanicznej modelu. W skład równań opisujących strefę zagęszczania wchodzi równania (4.1), (4.6), (4.7) i (4.8). Część mechaniczną modelu opisują równania ruchu bidła i płochy (4.27).



Rys. 4.13. Bryłowy model *WMB*

1 – rama krosna, 2 – bidło, 3 – płocha, 4 – wątek, 5 – krawędź tkaniny, 6 – osnowa, 7 – tkanina

Symulacje zagęszczania zarówno *PS*, jak i *PW* zrealizowano za pomocą modułu symulacji dynamicznej programu Inventor 2009 [88]. Moduł korzysta z programu ANSYS WORKBENCH [3] i służy do numerycznej symulacji dynamiki zespołów sztywnych części obciążonych siłami uogólnionymi, zmiennymi w czasie. Moduł działa w oparciu o algorytm rozwiązania układów równań różniczkowych zwyczajnych metodą iteracyjną Rungego-Kutty [42, 69] oraz wykorzystuje kryterium zbieżności poszczególnych iteracji Gaussa [15]. Program przewiduje dwa rodzaje elementów: części i złącza. Części definiowane są jako masa uogólniona wraz ze środkiem ciężkości określającym położenie części

w przestrzeni. Złącza są bezmasowe i definiują charakter wzajemnego oddziaływania części poprzez określenie sztywności, tłumienia oraz tarcia. Na wygenerowanym w programie bryłowym modelu układu, przedstawionym na rysunku 4.13, części oraz złącza z części strefy zagęszczania przedstawiono w sposób symboliczny. Złącze symbolizujące sprężysto-plastyczny układ tkanina-osnowa przedstawiono w postaci sprężyn i amortyzatorów. Krawędź tkaniny zastąpiono elementem o małej masie. Rama krosna, w postaci krążków, symbolizuje element nieruchomy.

Model symulacyjny strefy zagęszczania, przedstawiony na rysunkach 4.10 i 4.11, zakłada dwa stopnie swobody, odpowiadające opisanym wcześniej dwóm strefom oddziaływań. Pierwszy stopień swobody wynika z przemieszczenia wątku po osnowie y_1 . Drugi stopień swobody wynika z przemieszczenia krawędzi tkaniny względem ramy krosna y_2 . Rama krosna jest traktowana jako nieruchoma. Suma tych przemieszczeń stanowi przemieszczenie wywołane ruchem płochy na wysokości krawędzi tkaniny y , a wartość maksymalna przemieszczenia krawędzi tkaniny y_2 stanowi strefę dobiecia S .

Pierwszy stopień swobody, ruch wątku po osnowie, odbywa się przy udziale siły oporowej opisaną równaniem (4.6) i chwilowej siły napięcia osnowy. Masa wątku m_w , w rzeczywistości jest pomijalnie mała, jednak do celów symulacyjnych zachodzi konieczność przyjęcia jej na niewielkim poziomie, praktycznie niemającym wpływu na wyniki symulacji. W modelu ruch wątku po osnowie zadeklarowano jako złącze przesuwne pomiędzy członem związanym z masą wątku m_w i członem związanym z masą zastępczą tkaniny m_{zt} .

Drugi stopień swobody, ruch krawędzi tkaniny w zakresie strefy dobiecia, odbywa się w warunkach zmiennych parametrów w funkcji przemieszczenia y_2 : sztywności układu osnowa- tkanina $k_t + k_o$ i dodatkowych oporów ruchu. Opory te, na które składa się ewentualne tarcie osnowy w oczku struny nicielnicowej, w modelu pominięto. Jako masę zastępczą, skupioną m_{zt} , przyjęto połowę masy tkaniny, licząc od krawędzi tkaniny do wałka tarkowego na tzw. przedpiersiu krosna. W modelu ruch krawędzi tkaniny zadeklarowano jako złącze przesuwne pomiędzy członem m_{zt} i korpusem krosna.

Pomiędzy wątkiem a płochą zadeklarowano złącze typu kontakt 3D. Złącze charakteryzuje relatywnie duża sztywność k_{3D} oraz współczynnik tłumienia c_{3D} .

Ruch obrotowy bidła o masie m_b względem osi związanej z ramą krosna założono jako sinusoidalny, kinematycznie wymuszony. Ruch ϕ_b odpowiada połowie cyklu pracy bidła. Zadeklarowano go jako złącze obrotowe, bez momentu oporowego z wymuszeniem kinematycznym.

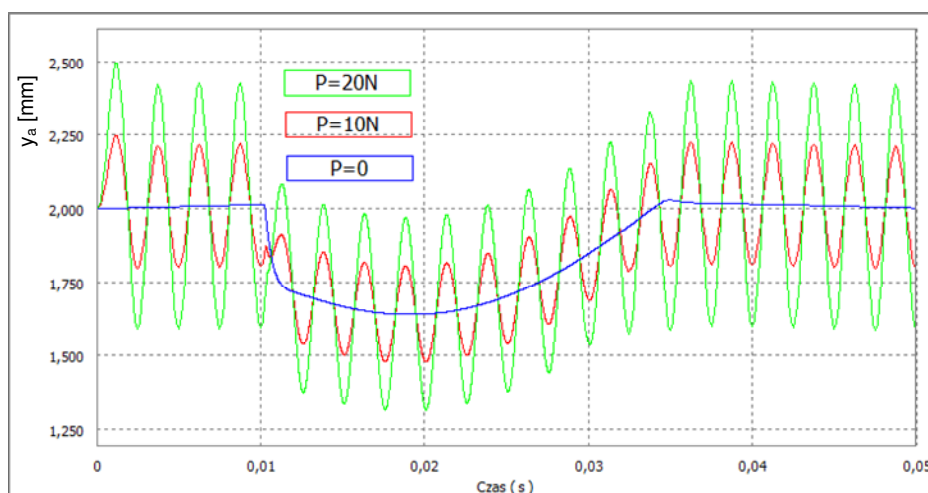
Pomiędzy płochą a bidłem zadeklarowano złącze obrotowe w okolicach dolnego grzbietu płochy. Złącze posiada cechy sztywności kątowej k_w i współczynnika tłumienia wiskotycznego kątowego c_w . Złącze modeluje rzeczywistą możliwość uginania się płochy w celu realizacji ruchu vibracyjnego.

4.3. Identyfikacja i weryfikacja dynamicznego modelu symulacyjnego w oparciu o wyniki badań stanowiskowych

Identyfikację parametrów modelu symulacyjnego dobicia przeprowadzono w warunkach dynamicznych odpowiadających przeprowadzonym badaniom na stanowisku badawczym.

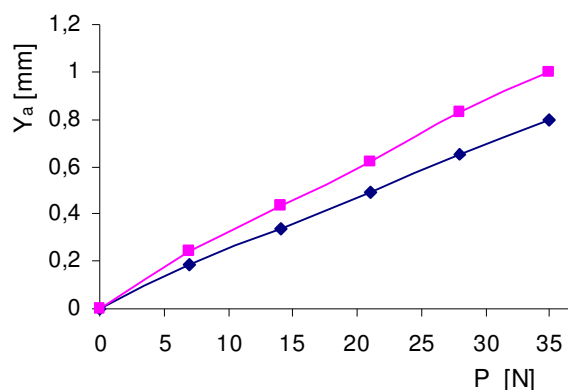
4.3.1. Identyfikacja modelu ruchu wibracyjnego płochy

Rezonansowa częstotliwość ruchu płochy wynosiła $f_w = 350 \text{ Hz}$. Symulowane przebiegi ruchu płochy podczas dobicia zarówno *PS*, jak i *PW* przedstawiono na rysunku 4.14.



Rys. 4.14. Przebiegi ruchu wibracyjnego płochy względem bidła mierzone na wysokości krawędzi tkaniny, wzbudzone siłą zmienną o różnej amplitudzie

Porównując przebiegi symulacyjne z rysunku 4.14 i analogiczne przebiegi zarejestrowane z badań stanowiskowych na rysunku 2.3, weryfikuje się działanie modelu symulacyjnego w zakresie ruchu płochy. Stwierdza się pewną zgodność. Z rysunku wynika, że najmniejsze amplitudy płocha osiągnęła w otoczeniu największych sił dobicia. Zmniejszenie amplitudy ruchu wibracyjnego płochy w fazie dobicia jest spowodowane dodatkowym tłumieniem z tytułu przemieszczania wątku po osnowie.



Rys. 4.15. Wpływ amplitudy siły wzbudzającej na amplitudę ruchu wibracyjnego płochy, mierzonej na wysokości krawędzi tkaniny: w fazie dobiecia – niebieski, bez kontaktu płochy z wątkiem – różowy, $f_w = 350 \text{ Hz}$

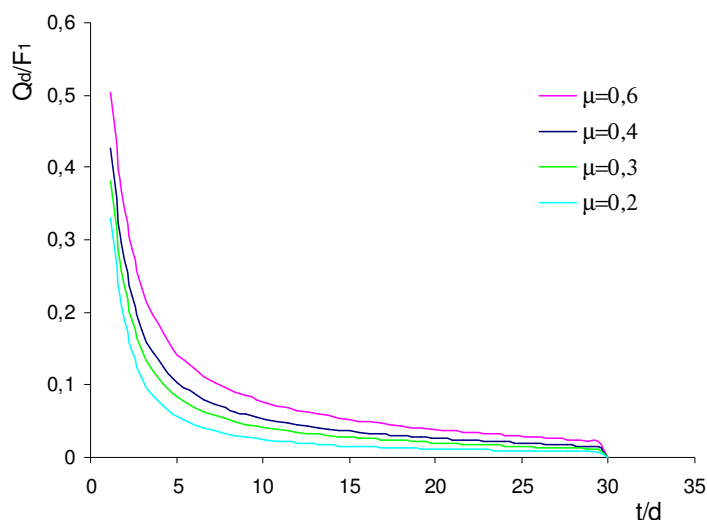
Istotnym z punktu widzenia użytkowego jest osiągnięcie odpowiednich parametrów ruchu wibracyjnego płochy, w szczególności amplitudy, podczas dobiecia [46]. Rysunek 4.15 przedstawia symulowane najmniejsze osiągalne amplitudy ruchu wibracyjnego Y_a , w funkcji amplitudy siły wzbudzającej P . Wartości amplitud uzyskano na drodze symulacji dynamicznej ruchu płochy w warunkach dodatkowego tłumienia panującego w fazie dobiecia oraz poza fazą dobiecia, bez kontaktu płochy z wątkiem.

Porównując symulowane amplitudy z rysunku 4.15 z amplitudami zarejestrowanymi z badań stanowiskowych na rysunku 2.14, stwierdza się pewną zgodność otrzymanych wyników. Weryfikuje to model dynamiczny pod względem poprawności swojej budowy i doboru parametrów w zakresie ruchu płochy.

4.3.2. Identyfikacja modelu strefy zagęszczania wątków

W oparciu o rysunek 2.11 określono amplitudę pierwszej harmonicznej siły wzbudzającej $P = 10 \text{ N}$ dla napięcia zasilania wzbudnika $U_z = 12 \text{ V}$. Dysponując amplitudą siły wzbudzającej, na podstawie przebiegu z rysunku 4.15 określono amplitudę ruchu wibracyjnego płochy podczas dobiecia $Y_a = 0,2 \text{ mm}$.

Identyfikację parametrów modelu [42, 79] strefy zagęszczania przeprowadzono w oparciu o dane pozyskane z badań stanowiskowych. Skok bidła na stanowisku badawczym wynosi 112 mm, przy czym założono sinusoidalny charakter jego ruchu (rys. 1.20). Wielkość strefy dobiecia PS określono na $S = 18 \text{ mm}$. Jak wynika z przebiegu siły napięcia osnowy na rysunku 3.25, dobiecie odbywało się przy skrzyżowanym przesmyku na kącie w zakresie od $\alpha = 0^\circ$ do $\alpha = -4^\circ$. W chwili skrzyżowania przesmyku, wątek znajdował się w odległości od krawędzi tkaniny ok. 6 mm, odległość tę przyjęto za maksymalną teoretyczną drogę wątku po osnowie y_{lmax} . W warunkach skrzyżowanego przesmyku oraz stałej odległości y_{lmax} , stosunek siły dobiecia do napięcia nitek osnowy określono na podstawie zależności (4.6). W tych warunkach przebieg Q_d/F_l , przedstawia rysunek 4.16.



Rys. 4.16. Stosunek chwilowej siły dobicia do napięcia osnowy, dla różnych współczynników tarcia między nitkami w funkcji chwilowej podziałki względnej

Ustalono parametry dynamiczne modelu, takie jak w trakcie badań stanowiskowych $f_b = 3 \text{ Hz}$, $f_w = 350 \text{ Hz}$, $Q_0 = 22\text{-}35 \text{ N}$. Przyjęte do celów identyfikacji wyniki badań stanowiskowych, zaczerpnięte z tabeli 3.4, przedstawiono w tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Parametry dobicia pozyskane z badań stanowiskowych i parametry obliczone na ich podstawie

Q_0	S	$Z (PS)$	$Z (PW)$	$t/d (PS)$	$t/d (PW)$	$Q_d (PS)$	$Q_d (PW)$	$k_o + k_t$	k_o	k_t
$[N]$	$[mm]$	$[w/cm]$	$[w/cm]$	$[mm]$	$[mm]$	$[N]$	$[N]$	$[N/mm]$	$[N/mm]$	$[N/mm]$
22,32	18	17,38	18,24	2,877	2,741	22,34	17,22	1,241	0,496	0,745
24,96	18	17,63	18,38	2,836	2,720	21,81	17,22	3,029	1,212	1,817
28,56	18	18,32	18,96	2,729	2,637	24,95	20,05	3,465	1,386	2,079
32,40	18	18,73	19,30	2,670	2,591	26,80	23,13	3,722	1,489	2,233
35,50	18	19,40	19,95	2,577	2,506	29,02	25,34	4,031	1,612	2,419

Osiągnięte zagęszczenie wątków w tkaninie Z , obliczono na podstawie osiągniętej podziałki z zależności (4.28):

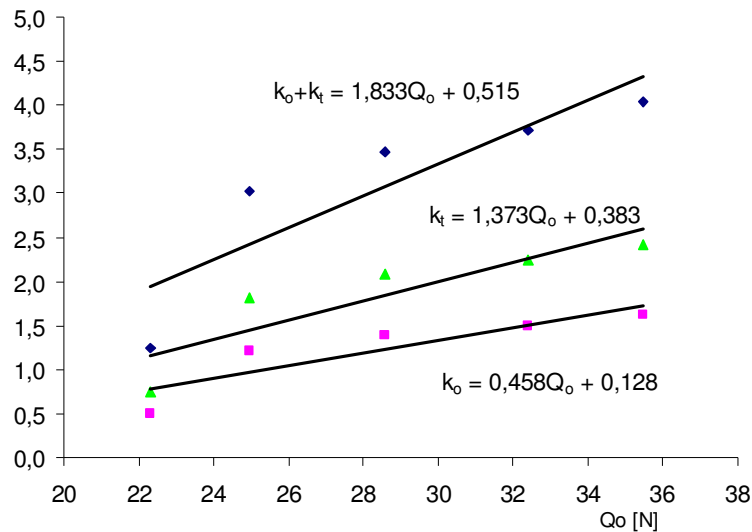
$$Z = \frac{L}{y_{1\max} - Y_1} = \frac{L}{t}. \quad (4.28)$$

gdzie:

Y_1 – osiągnięte, maksymalne przemieszczenie wątku po osnowie podczas dobicia,
 L – długość odcinka pomiarowego zagęszczenia wątków w tkaninie ($L = 10 \text{ mm}$).

W tabeli (4.1) przedstawiono sztywności tkaniny i osnowy obliczone na podstawie danych z badań stanowiskowych. Na podstawie zmierzonych wielkości stref dobiecia S oraz wartości szczytowych sił dobiecia PS Q_d , określono sztywności układu osnowa- tkanina $k_o + k_t$. Założono, że sztywności osnowy oraz tkaniny są odwrotnie proporcjonalne do ich długości [57]. Wychodząc z geometrii stanowiska badawczego (rys. 1.20), określono podział sztywności układu osnowa- tkanina na sztywność osnowy k_o oraz sztywność tkaniny k_t w stosunku 6:4.

Na podstawie danych z tabeli 4.1 poszczególne sztywności w funkcji napięcia wstępnego osnowy Q_o przedstawiono na rysunku 4.17. Jak widać z przebiegów, napięcie wstępne osnowy wpływa na wzrost sztywności układu tkanina- osnowa. Świadczy to o nieliniowym charakterze sztywności tego układu. W badaniach symulacyjnych założono stałą sztywność osnowy i tkaniny. Założono stałe napięcie wstępne osnowy Q_o dla każdej przeprowadzanej symulacji. Jedyna zmiana napięcia osnowy w symulacjach następowała w fazie dobiecia.

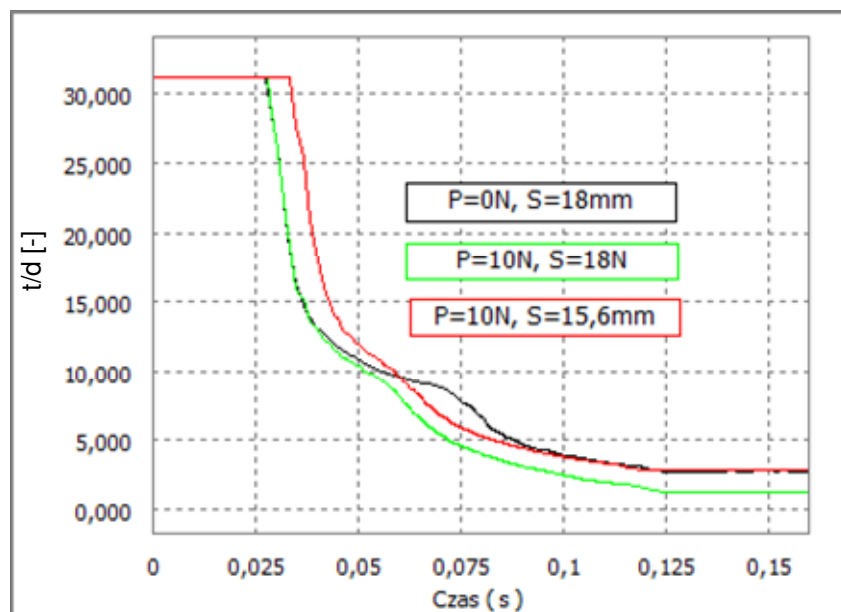


Rys. 4.17. Sztywności osnowy, tkaniny oraz układu tkanina- osnowa w funkcji napięcia wstępnego osnowy (na podstawie badań stanowiskowych)

Z uwagi na znaczną pracochłonność identyfikację modelu przeprowadzono dla dwóch przypadków napięcia wstępnego osnowy $Q_o = 22,32 \text{ N}$ i $Q_o = 32,4 \text{ N}$ (w tabeli 4.1 wiersze zaznaczono na żółto). Na drodze iteracyjnej dobrano współczynniki tłumienia układu osnowa- tkanina tak, aby uzyskać odpowiednie zagęszczenia i siły dobiecia. Wyniki przedstawiono w tabeli 4.3. Schemat postępowania podczas identyfikacji parametrów był następujący: Najpierw symulowano dobiecie PS . Osiągnięto zagęszczenie $Z(PS)$, obciążając dynamicznie osnowę i płochę siłą dobiecia $Q_d(PS)$ (przebiegi czarne). Następnie symulowano dobiecie PW , przy udziale siły dobiecia $Q_d(PW)$, przy tym samym osiągniętym zagęszczeniu (przebiegi czerwone). Ruch vibracyjny płochy wzbudzała, przyłożona do jej górnego grzbietu, okresowo zmienna siła o amplitudzie $P = 10 \text{ N}$.

Następnie symulowano dobicie PW przy zwiększonym zagęszczeniu $Z(PW)$, takim by wartość maksymalna siły dobicia była taka sama jak w przypadku dobicia PS , czyli $Q_d(PS)$ (przebiegi zielone).

Przykładowe przebiegi z przeprowadzonych symulacji przedstawiono na rysunkach 4.18-4.20. Rysunek 4.18 przedstawia przebieg chwilowej podziałki względnej t/d podczas dobicia. Odpowiednie sztywności przyjęto dla wartości napięcia wstępnego osnowy $Q_0 = 22,32 \text{ N}$. Różnymi kolorami oznaczono przebiegi dla opisanych wyżej przypadków dobicia PS i PW .

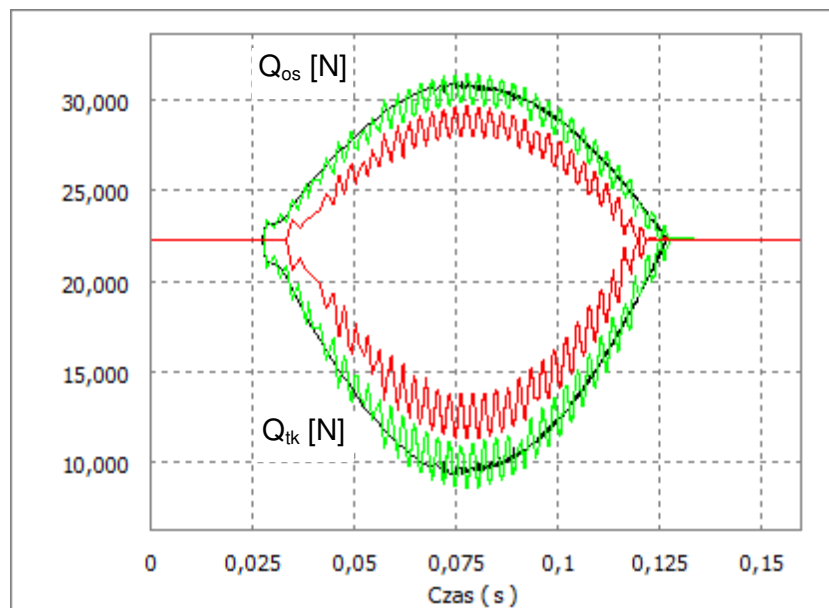


Rys. 4.18. Chwilowa podziałka względna podczas dobicia
 $f_w = 350 \text{ Hz}$, $f_b = 3 \text{ Hz}$

Widać, że osiągnięta podziałka dla dobicia PW (zielony) wyraźnie różni się od podziałki osiągniętej podczas dobicia PS (czarny). Wartości zagęszczeń na podstawie osiągniętych podziałek określono na podstawie zależności (4.28). Podczas symulacji zagęszczania PW przy zmniejszonej sile dobicia (czerwony) osiągnięto podziałkę t/d , taką samą jak dla dobicia PS (czarny), ustalaną na drodze iteracyjnej.

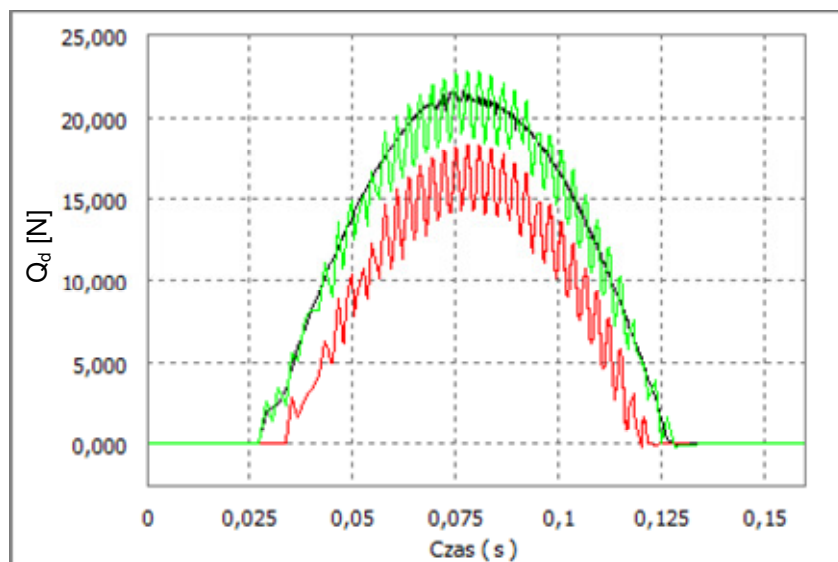
Na rysunku 4.19 przedstawiono przebiegi chwilowych sił napięcia osnowy Q_{os} i napięcia tkaniny Q_{tk} podczas dobicia. Odpowiednie kolory oznaczają poszczególne przypadki dobijania PS i PW , takie jak na rysunku 4.18. Z przebiegów sił Q_{os} widać różnicę w obciążeniu osnowy dla przypadku dobicia PW przy zwiększonym zagęszczeniu (czerwony), w stosunku do dobicia PS (czarny).

Rysunek 4.19 tłumaczy potrzebę stosowania relatywnie dużych napięć wstępnych osnowy. Napięcie w tkaninie, które spada podczas dobicia, jest wstępnie takie samo jak napięcie osnowy. Przy założeniu tkania przy dużych wartościach siły dobicia, ale z tkaniną napiętą (bez zluźniania) podczas całej fazy dobicia, istnieje potrzeba odpowiednio dużego napięcia wstępnego osnowy. Podczas dobicia napięcie w osnowie rośnie w stosunku do napięcia wstępnego. Obciążenie to wchodzi w skład siły dobicia. Jednak większą część siły dobicia generuje zmniejszenie napięcia w tkaninie. Dzieje się tak z uwagi na większą sztywność tkaniny niż osnowy [72]. Sztywności te są odwrotnie proporcjonalne do długości odpowiednio: tkaniny i osnowy i tworzą układ równoległy. Z punktu widzenia dynamicznego obciążenia osnowy siłą dobicia należy przewidywać geometrię krosna, tak by stosunek długości osnowy do tkaniny był jak największy.



Rys. 4.19. Chwilowa siła w osnowie oraz w tkaninie podczas dobicia
 $f_w = 350 \text{ Hz}, f_b = 3 \text{ Hz}, Y_d = 0,2 \text{ mm}$

Różnica chwilowych sił napięcia: osnowy i tkaniny podczas dobicia daje siłę dobicia Q_d . Przebieg chwilowej siły dobicia przedstawiono na rysunku 4.20. Odpowiednie kolory oznaczają poszczególne przypadki dobijania *PS* i *PW*, takie jak na rysunku 4.18.



Rys. 4.20. Chwilowa siła dobiecia, $f_w = 350 \text{ Hz}$, $f_b = 3 \text{ Hz}$, $Y_a = 0,2 \text{ mm}$

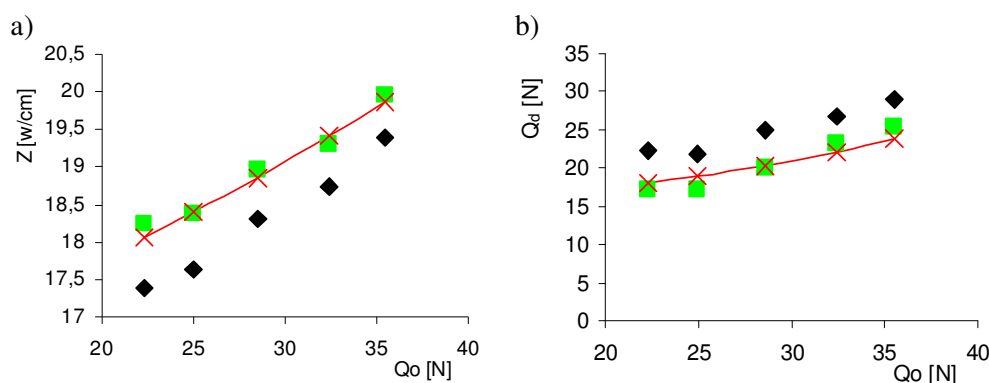
Celem weryfikacji przyjętych wartości parametrów dynamicznych modelu strefy zagęszczania, przeprowadzono inne symulacje dynamiczne dobiecia. Symulacje przeprowadzono dla pozostałych, wymienionych w tabeli 4.1, sztywności tkaniny i osnowy, adekwatnych do poszczególnych wartości napięć wstępnych osnowy. Symulowano dobiecie *PS* i *PW* w podobnym schemacie do opisywanego wyżej. Otrzymane w wyniku symulacji wartości zagęszczeń oraz maksymalnych sił dobiecia przedstawiono w tabeli 4.2.

Tabela 4.2. Wartości osiągniętych zagęszczeń oraz szczytowych wartości sił dobiecia podczas dobiecia *PS* i *PW*, uzyskane z badań stanowiskowych oraz na drodze symulacji dynamicznej,
 $P = 10 \text{ N}$, $Y_a = 0,2 \text{ mm}$, $f_w = 350 \text{ Hz}$, $f_b = 3 \text{ Hz}$

Q_o	$Z (PS)$	$Z (PW)$	$Z (PS)^*$	$Z (PW)^*$	$Q_d (PS)$	$Q_d (PW)$	$Q_d (PS)^*$	$Q_d (PW)^*$
[N]	[w/cm]	[w/cm]	[w/cm]	[w/cm]	[N]	[N]	[N]	[N]
22,32	17,38	18,24	17,3	18,1	22,34	17,22	22,6	18,0
24,96	17,63	18,38	17,6	18,4	21,81	17,22	22,0	19,0
28,56	18,32	18,96	18,3	18,9	24,95	20,05	25,0	20,3
32,40	18,73	19,30	18,7	19,4	26,80	23,13	26,8	22,0
35,50	19,40	19,95	19,4	19,9	29,02	25,34	29,1	23,9

* wartości parametrów uzyskane jako wyniki numerycznej symulacji dynamicznej zaznaczono w na żółto

Weryfikację zidentyfikowanych parametrów modelu przeprowadzono poprzez porównanie wyników uzyskanych zagęszczeń oraz maksymalnych sił dobicia, pozyskanych w wynikach symulacji dynamicznej i w wyniku badań stanowiskowych. Porównanie przedstawiono na rysunku 4.21 w postaci przebiegów tych parametrów w funkcji napięcia wstępnego osnowy.



Rys. 4.21. Wartości osiągniętych zagęszczeń: a) szczytowej siły dobicia, b) uzyskane w wyniku zagęszczania *PS* na stanowisku badawczym (czarne kwadraty), *PW* na stanowisku badawczym (zielone kwadraty), *PW* na drodze symulacji dynamicznych (czerwony przebieg)

Porównując wartości parametrów pozyskane z symulacji z wartościami z badań stanowiskowych, stwierdza się zgodność otrzymanych wyników. Weryfikuje to model dynamiczny pod względem poprawności swojej budowy i doboru parametrów w zakresie strefy dobicia.

Konkluzja

Obciążenie osnowy pochodzące od siły dobicia jest relatywnie, w stosunku do jej wymaganego napięcia wstępnego, jak również innych zmian jej napięcia, niewielkie. Zmniejszenie tego obciążenia, przez zastosowanie dobicia *PW*, nie zmniejszy w sposób znaczący obciążeń osnowy podczas tkania. Należy jednak pamiętać że obciążenie z tytułu dobicia ma charakter dynamiczny, który intensyfikuje zrywność nitek [58, 40, 56]. Z tego punktu widzenia istotnym jest możliwość jego zmniejszenia. Poza tym zmniejszenie siły dobicia, dzięki zastosowania zagęszczania *PW*, pozwoli na zmniejszenie napięcia wstępnego osnowy.

4.4. Parametry dynamiczne numerycznego modelu symulacyjnego

Generalnie przedmiotem analiz symulacyjnych był wpływ wartości parametrów ruchu vibracyjnego płochy, głównie amplitudy i częstotliwości, na efektywność vibracyjnego zagęszczania (dobicia) wątków. Za efektywność dobicia przyjęto osiągnięcie jak największego zagęszczenia tkaniny przy jak najmniejszym

obciążeniu dynamicznym osnowy i płochy, czyli jak najmniejszej sile dobicia [16, 26, 50, 51, 61, 76].

Ponadto przedmiotem analiz symulacyjnych był bilans energetyczny dobicia *PS* i *PW*. W tym celu określono zapotrzebowanie na chwilową moc do napędu zarówno bidła, jak i wzbudnika ruchu wibracyjnego płochy w trakcie dobicia [34].

Przyjęte w analizach symulacyjnych sztywności i współczynniki tłumienia zarówno strefy zagęszczania (tkanina, osnowa, wątek), jak i elementów mechanicznych (płocha, bidło) przyjęto na podstawie identyfikacji przedstawionej w rozdziale 4.3. Wielkości geometryczne i masy elementów mechanizmu bidłowego (rys. 4.13) odpowiadają typowym współczesnym krosnom. Odpowiednie masy, sztywności i współczynniki tłumienia zredukowano do szerokości płochy odpowiadającej 100 nitkom osnowy. Przewidziano, że odcinek płochy odpowiadający 100 nitkom osnowy, będzie napędzany jednym wzbudnikiem ruchu wibracyjnego (rozdz. 1.4.3). W tabeli 4.3 podano wartości parametrów dynamicznych przyjęte w numerycznym modelu symulacyjnym.

Tabela 4.3. Wartości parametrów dynamicznych w symulacyjnym modelu dobicia

<i>masy</i>		<i>sztywności</i>		<i>wsp. tłum</i>	
m_b	0,43 kg	k_{3D}	250 N/mm	c_{3D}	0,2 N s/mm
m_p	0,007 kg	k_w	2000 N mm/deg	c_w	1,6 N mm s/deg
m_w	0,0001 kg	k_o	0,46 N/mm	c_o	0,0015 N s/mm
m_{zt}	0,003 kg	k_t	0,8 N/mm	c_t	0,001 N s/mm

Większość współczesnych krosien dobija wątek przy otwartym przesmyku, podczas jego zamykania [81]. Symulacje dobicia zarówno *PS*, jak i *PW* przeprowadzono, przyjmując kąt przedniej części przesmyku w chwili nawiązania kontaktu wątku z osnową $\alpha = 6^\circ$, co zgodnie z zależnością (4.2), przy średnicy wątku $d = 0,2$ mm, odpowiada maksymalnej teoretycznej drodze wątku po osnowie $y_{1max} = 1,9$ mm. Z uwagi na fakt, że dobicie *PW* jest przewidziane do zagęszczania tkanin z nitek trudno zagęszczających się, wartość współczynnika tarcia pomiędzy nitkami osnowy i wątkiem przyjęto na poziomie $\mu = 0,4$.

Symulacje dobicia przeprowadzono w warunkach dynamicznych odpowiadającym częstotliwości wątkowania $f_b = 10$ Hz, co odpowiada wydajności współczesnych krosien [77, 81]. Amplitudę ruchu bidła oszacowano na $\varphi_{max} = 9^\circ$.

Rezonansową częstotliwość ruchu wibracyjnego płochy ustalono na $f_w = 400$ Hz, co w przybliżeniu odpowiada warunkom panującym na stanowisku badawczym.

We wszystkich symulacjach przyjęto wyjściową wartość podziałki względnej po dobiciu *PS* $t/d = 3$. Uznano, że mniejsza podziałka względna podczas prób, jak np. podczas prób przedstawianych w rozdz. 5.3, groziłaby osiągnięciem wartości zagęszczeń granicznych i zbytnim odkształceniem przekrojów wątku i osnowy (przyjęto $t/d_{gr} = 2,5$).

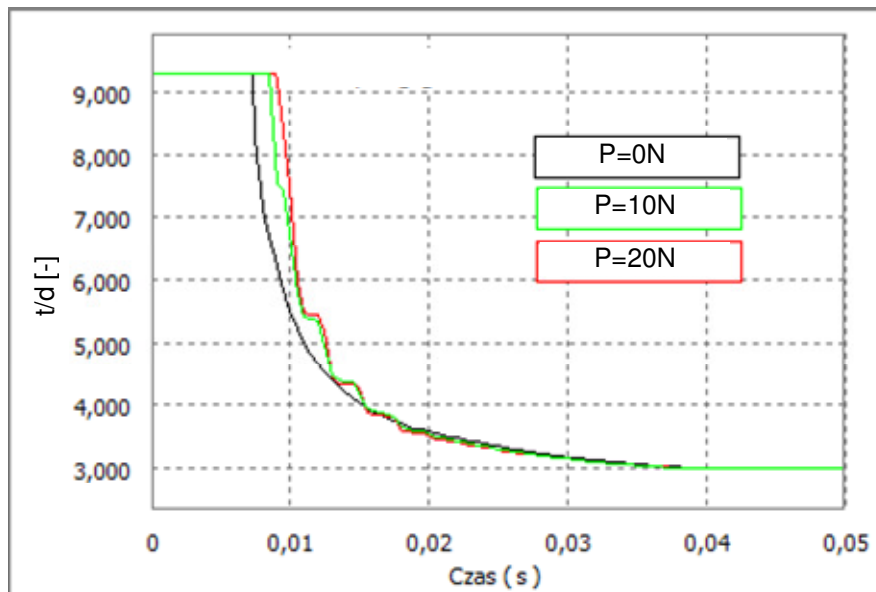
Pozostałe parametry dynamiczne modelu są zmienne w zależności od wariantu lub też są wynikiem symulacji.

4.5. Analiza symulacyjna wpływu siły wzbudzającej ruch vibracyjny płochy na efektywność zagęszczenia tkaniny

Jest to pierwszy symulowany wariant wzbudzenia ruchu płochy który wiąże się z rozpatrzeniem jej dynamiki w fazie dobicia. Wariant ten zakładał przyłożenie sinusoidalnie zmiennej siły wzbudzającej w okolicy górnego grzbietu płochy, tak jak pokazano to schematycznie na rysunku 4.10. Wpływ wartości amplitudy siły wzbudzającej P rozpatrzono w dwóch aspektach: na dynamiczne obciążenie osnowy i płochy siłą dobicia oraz na osiągnięte zagęszczenie wątków w tkaninie zagęszczanej PW .

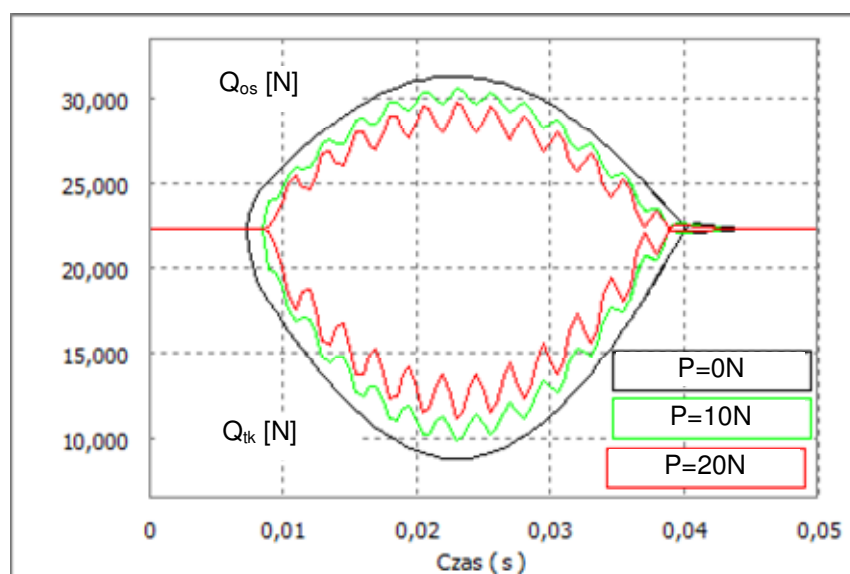
4.5.1. Wpływ siły wzbudzającej ruch vibracyjny płochy na obciążenie osnowy

W oparciu o opracowany model, przeprowadzono szereg symulacji dynamicznych dobicia zarówno PS , jak i PW . Kolejno zmieniano wartość amplitudy siły wzbudzającej ruch vibracyjny płochy P , przy ustalonych innych parametrach dynamicznych dobicia. Za każdym razem na drodze iteracyjnej osiągnęto taką samą wartość zagęszczenia jak po dobiciu PS . Zagęszczenie po dobiciu identyfikowane było za pośrednictwem osiągniętej podziałki względnej $t/d = 3$. Na rysunkach pokazano niektóre wyniki symulacji w postaci przebiegów. Chwilowe podziałki względne podczas dobicia pokazano na rysunku 4.22.

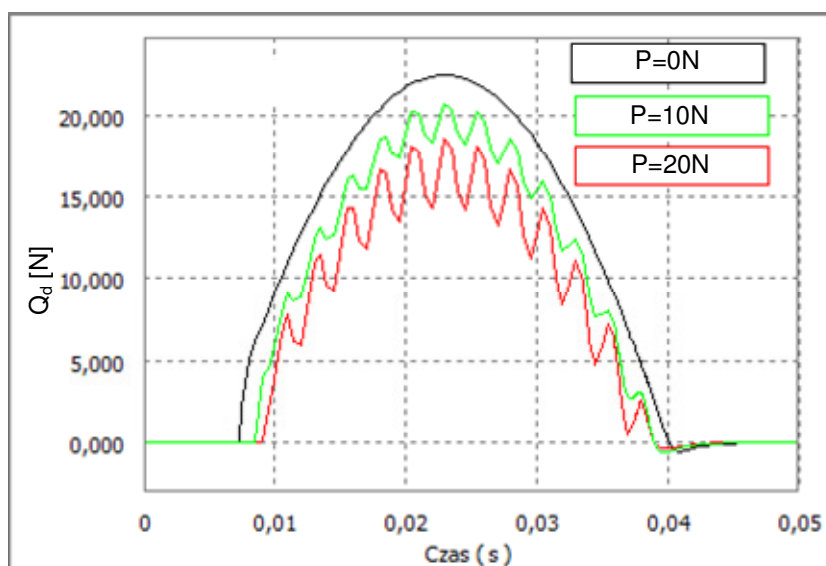


Rys. 4.22. Chwilowa podziałka względna podczas dobicia ze stałym osiągniętym zagęszczeniem PS i PW wzbudzaną dynamicznie siłą zmienną o różnej amplitudzie, $f_w = 400 \text{ Hz}$, $f_b = 10 \text{ Hz}$

Odpowiadające im chwilowe napięcia osnowy Q_{os} oraz tkaniny Q_{tk} pokazano na rysunku 4.23. Chwilowe wartości siły dobowia Q_d , jako różnica w napięciu osnowy oraz tkaniny, pokazano na rysunku 4.24.



Rys. 4.23. Chwilowe siły w osnowie oraz w tkaninie podczas dobowia ze stałym osiągniętym zagęszczeniem PS i PW wzbudzaną dynamicznie siłą zmienną o różnej amplitudzie, $f_b = 10 \text{ Hz}$, $f_w = 400 \text{ Hz}$



Rys. 4.24. Chwilowe siły dobowia ze stałym osiągniętym zagęszczeniem PS i PW wzbudzaną dynamicznie siłą zmienną o różnej amplitudzie, $f_b = 10 \text{ Hz}$, $f_w = 400 \text{ Hz}$

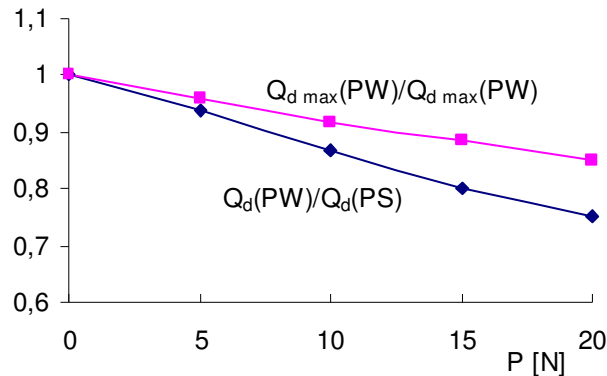
Szczytowe wartości siły dobiecia PW w badaniach symulacyjnych określano dwójako. W ujęciu maksymalnym $Q_{d\ max}(PW)$ z uwzględnieniem oscylacji siły oraz w ujęciu średnim $Q_d(PW)$ jako średnią wartość z oscylacji siły, tak jak w przypadku badań stanowiskowych.

Na podstawie wyników przeprowadzonych symulacji stwierdzono zmniejszenie szczytowej wartości siły dobiecia PW względem dobiecia PS , wraz ze zwiększeniem amplitudy siły wzbudzającej ruch wibracyjny płochy. Zmniejszenie obciążenia osnowy i bidła oszacowano na kilkanaście do kilkudziesięciu procent. Wyniki przeprowadzonych symulacji przedstawiono w postaci tabelarycznej (tab. 4.4) i w postaci wykresu.

Tabela 4.4. Szczytowe wartości siły dobiecia uzyskane w wyniku dobiecia PS i PW wzbudzaną dynamicznie siłą zmienną o różnej amplitudzie, przy stałym osiągniętym zagęszczeniu tkaniny

P	$Q_d(PS), Q_d(PW)$	$Q_{d\ max}(PS), Q_{d\ max}(PW)$	$Q_d(PW)/Q_d(PS)$	$Q_{d\ max}(PW)/Q_{d\ max}(PS)$
[N]	[N]	[N]	–	–
0	22,42	22,42	1	1
5	21,00	21,50	0,94	0,96
10	19,43	20,57	0,87	0,92
15	17,98	19,86	0,80	0,89
20	16,86	19,08	0,75	0,85

Zmniejszenie szczytowej wartości siły dobiecia podczas zagęszczania PW przedstawiono na rysunku 4.25 w ujęciu względnym. Z wykresu, widać zmniejszenie szczytowej wartości siły dobiecia w funkcji amplitudy siły wzbudzającej ruch wibracyjny płochy. Szczególnie duży spadek obserwuje się dla relatywnie dużych amplitud siły wzbudzającej ($P = 20\ N$). Już w zakresie małych amplitud siły wzbudzającej ($P = 5-10\ N$) stwierdzono pewne zmniejszenie szczytowej wartości siły dobiecia.

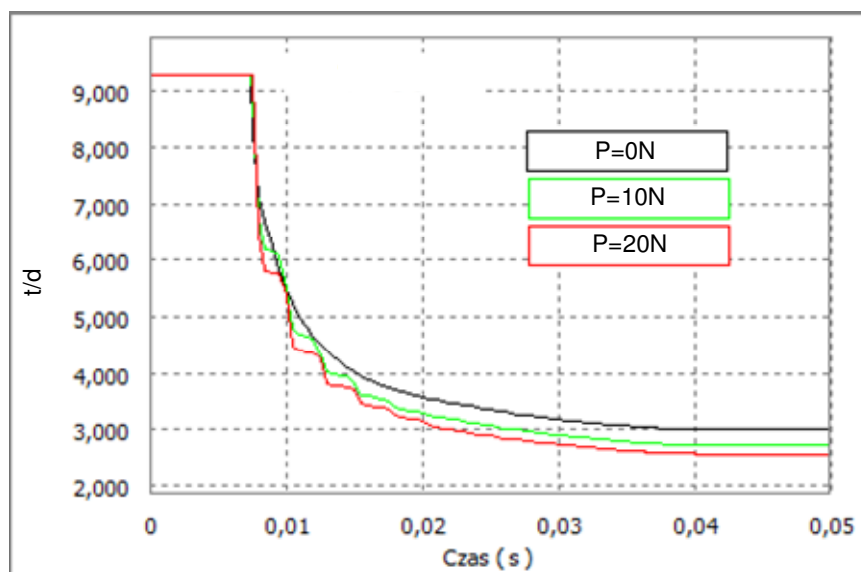


Rys. 4.25. Względne zmniejszenie (w stosunku do dobiecia PS) szczytowych wartości siły dobiecia PW wzbudzaną dynamicznie siłą zmienną o różnej amplitudzie, przy stałym osiągniętym zagęszczeniu

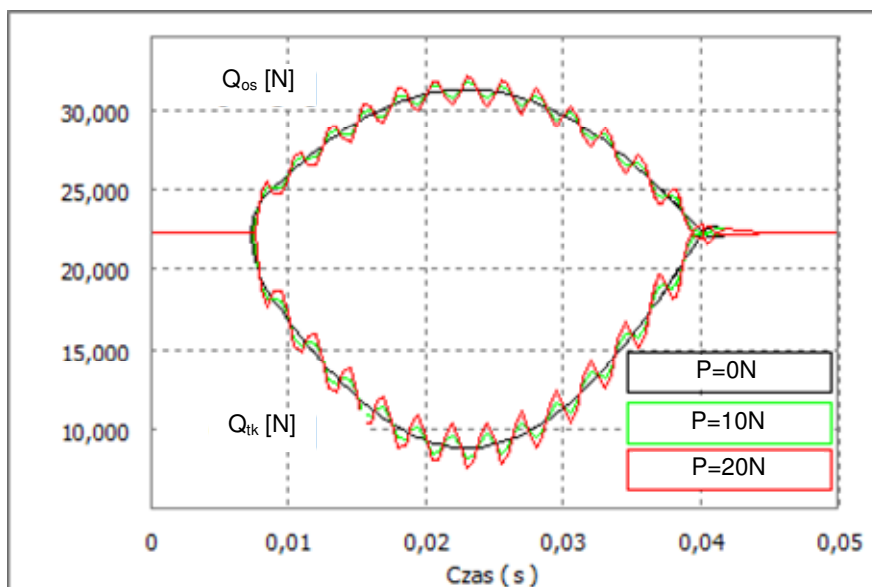
4.5.2. Wpływ siły wzbudzającej ruch vibracyjny płochy na osiągnięte zagęszczenie wątków w tkaninie

W oparciu o opracowany model przeprowadzono szereg symulacji dynamicznych dobicia, zarówno *PS* jak i *PW*. Kolejno zmieniano wartość amplitudy siły wzbudzającej ruch vibracyjny płochy *P* przy ustalonych innych parametrach dynamicznych dobicia. Za każdym razem osiągnęto inną wartość przemieszczenia wątku po osnowie w warunkach ustalonej maksymalnej wartości siły dobicia, takiej samej jak dla *PS*.

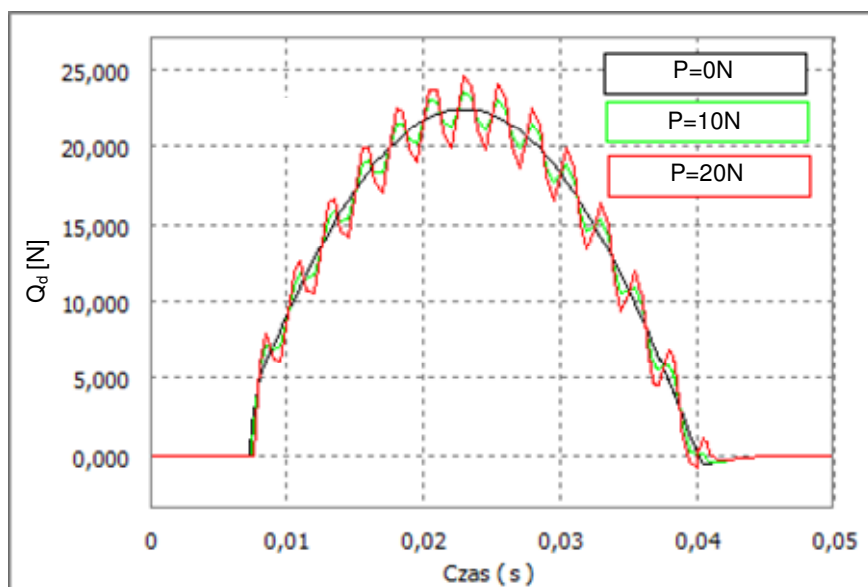
Na rysunkach pokazano niektóre wyniki symulacji w postaci przebiegów. Chwilowe osiągnięte podziałki względne tkaniny t/d podczas dobicia pokazano na rysunku 4.26. Odpowiadające im chwilowe napięcia osnowy Q_{os} oraz tkaniny Q_{tk} pokazano na rysunku 4.27. Chwilowe wartości siły dobicia Q_d , jako różnicę w napięciu osnowy oraz tkaniny, pokazano na rysunku 4.28.



Rys. 4.26. Chwilowa podziałka względna podczas dobicia, przy ustalonej szczytowej wartości siły dobicia *PS* i *PW* wzbudzaną dynamicznie siłą zmienną o różnej amplitudzie, $f_w = 400 \text{ Hz}, f_b = 10 \text{ Hz}$



Rys. 4.27. Chwilowe siły w osnowie oraz w tkaninie, przy ustalonej szczytowej wartości siły dociskania PS i PW wzbudzaną dynamicznie siłą zmienną o różnej amplitudzie, w funkcji czasu, $f_b = 10 \text{ Hz}$, $f_w = 400 \text{ Hz}$



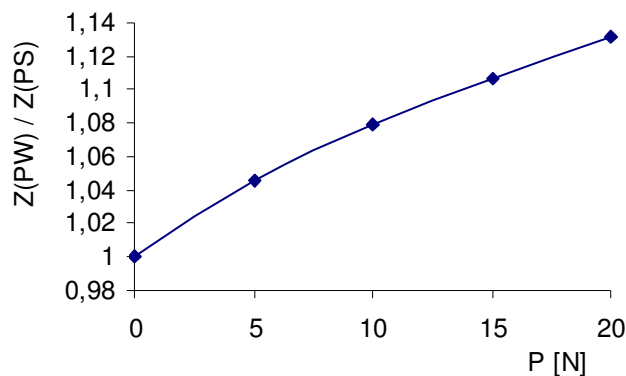
Rys. 4.28. Chwilowe siły dociskania, przy ustalonej szczytowej wartości siły dociskania PS i PW wzbudzaną dynamicznie siłą zmienną o różnej amplitudzie w funkcji czasu, $f_b = 10 \text{ Hz}$, $f_w = 400 \text{ Hz}$

Na podstawie wyników przeprowadzonych symulacji stwierdzono, że stosując dobicie PW można zwiększyć zagęszczenie w tkaninie przy ustalonej wartości siły dobicia. Ustalając szczytową wartość siły, brano pod uwagę uśrednioną wartość jej oscylacji wynikłych z tytułu wibracji płochy. Zwiększenie zagęszczenia PW , względem zagęszczenia PS zw. Z , następowało wraz ze zwiększeniem amplitudy siły wzbudzającej ruch wibracyjny płochy P . W zależności od amplitudy siły wzbudzającej, względne zwiększenie zagęszczenia osiągnięto od kilku do kilkunastu procent. Wyniki przeprowadzonych symulacji przedstawiono w postaci tabelarycznej (tab. 4.5) i w postaci wykresu.

Tabela 4.5. Osiągnięte zagęszczenie wątku w tkaninie uzyskane w wyniku zagęszczania PW wzbudzaną dynamicznie siłą zmienną o różnej amplitudzie, przy stałej szczytowej sile dobicia

P	t/d	Z	$Z(PW)/Z(PS)$
$[N]$	$[-]$	$[w/cm]$	
0	3,00	16,667	1
5	2,87	17,422	1,05
10	2,78	17,986	1,08
15	2,71	18,450	1,11
20	2,65	18,868	1,13

Względne zwiększenie osiągniętego zagęszczenia wątków z tytułu dobicia PW przedstawiono na rysunku 4.29 w funkcji amplitudy siły wzbudzającej P . Szczególnie duży wzrost zagęszczenia obserwowano dla relatywnie dużych amplitud siły wzbudzającej ruch wibracyjny płochy ($P = 20 N$). Już w zakresie małych amplitud siły wzbudzającej ($P = 5-10 N$) stwierdzono kilkuprocentowy wzrost zagęszczenia.



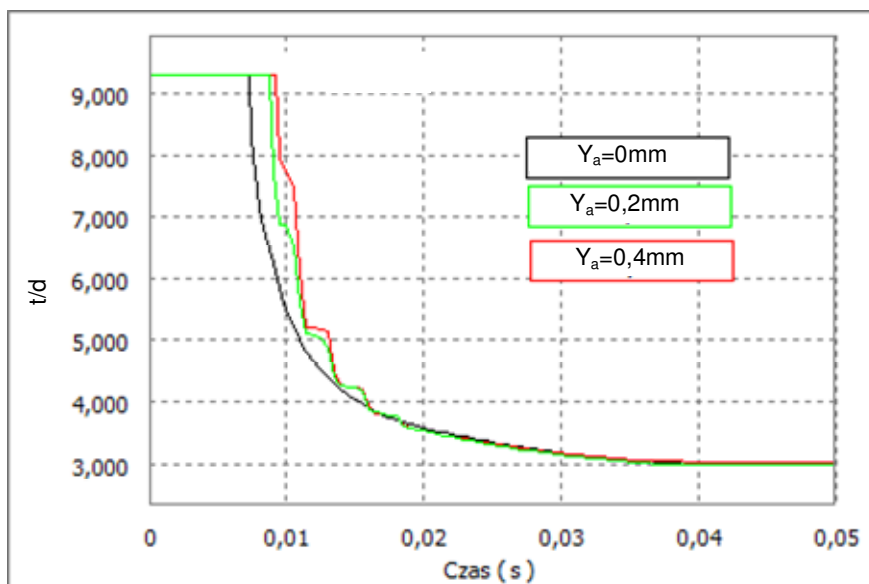
Rys. 4.29. Względne zwiększenie (w stosunku do dobicia PS) osiągniętego zagęszczenia wątków PW wzbudzaną dynamicznie siłą zmienną o różnej amplitudzie, przy stałej szczytowej wartości siły dobicia

4.6. Analiza symulacyjna wpływu amplitudy ruchu vibracyjnego płochy na efektywność zagęszczania tkaniny

Analizie poddano wpływ amplitudy ruchu vibracyjnego płochy na efektywność vibracyjnego dobicia bez rozpatrywania dynamiki płochy w czasie dobicia. Jest to drugi symulowany wariant wzbudzenia ruchu vibracyjnego płochy, który zakładał kinematyczne zadanie płosze sinusoidalnie zmiennego ruchu vibracyjnego, tak jak pokazano na rysunku 4.11. Wpływ amplitudy tego ruchu rozpatrzono w dwóch aspektach: na dynamiczne obciążenie osnowy i płochy siłą dobicia oraz na osiągnięte zagęszczenie tkaniny.

4.6.1. Wpływ amplitudy ruchu vibracyjnego płochy na obciążenie osnowy

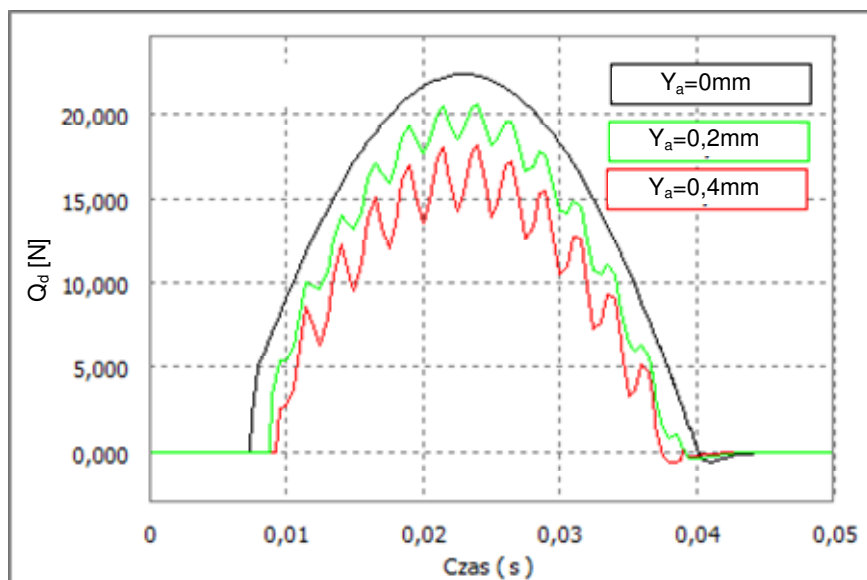
W oparciu o opracowany model przeprowadzono szereg symulacji dynamicznych dobicia zarówno *PS*, jak i *PW*. Kolejno zmieniano wartość amplitudy ruchu vibracyjnego płochy Y_a , przy ustalonych innych parametrach dynamicznych dobicia (m.in. $f_w = 400 \text{ Hz}$). Za każdym razem na drodze iteracyjnej osiągnęto taką samą wartość zagęszczenia jak po dobiciu *PS*. Zagęszczenie identyfikowane było za pośrednictwem osiągniętej podziałki względnej $t/d = 3$. Na rysunkach pokazano niektóre wyniki symulacji w postaci przebiegów. Chwilowe podziałki względne podczas dobicia pokazano na rysunku 4.30.



Rys. 4.30. Chwilowa podziałka względna podczas dobicia ze stałym osiągniętym zagęszczeniem *PS* i *PW* wzbudzaną kinematycznie wymuszonym ruchem zmiennym o różnej amplitudzie, $f_w = 400 \text{ Hz}$, $f_b = 10 \text{ Hz}$

Szczytowe wartości siły dobiecia PW określano w ujęciu maksymalnym $Q_{d\ max}$ (PW) (z uwzględnieniem oscylacji siły z tytułu wibracji płochy) oraz w ujęciu średnim Q_d (PW) (jako średnią wartość z oscylacji siły). Na podstawie wyników przeprowadzonych symulacji, stwierdzono zmniejszenie szczytowej wartości siły dobiecia PW względem dobiecia PS , wraz ze zwiększeniem amplitudy ruchu wibracyjnego płochy. Odciążenie osnowy i płochy oszacowano na kilkanaście do kilkudziesięciu procent. Wyniki przeprowadzonych symulacji przedstawiono w postaci tabelarycznej (tab. 4.6) i w postaci wykresu.

Odpowiadające im chwilowe wartości siły dobiecia Q_d , pokazano na rysunku 4.31.

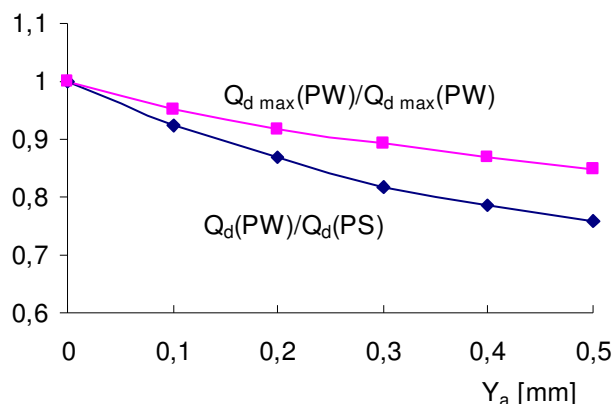


Rys. 4.31. Chwilowe siły dobiecia ze stałym osiągniętym zagęszczeniem PS i PW wzbudzaną kinematycznie wymuszonym ruchem zmiennym o różnej amplitudzie, $f_b = 10\ Hz$, $f_w = 400\ Hz$

Tabela 4.6. Szczytowe wartości siły dobiecia uzyskane w wyniku zagęszczania PS i PW wzbudzaną kinematycznie wymuszonym ruchem zmiennym o różnej amplitudzie, przy stałym osiągniętym zagęszczeniu

Y_a	$Q_d(PS), Q_d(PW)$	$Q_{d\ max}(PS), Q_{d\ max}(PW)$	$Q_d(PW)/Q_d(PS)$	$Q_{d\ max}(PW)/Q_{d\ max}(PS)$
[mm]	[N]	[N]	–	–
0	22,42	22,42	1	1
0,1	20,69	21,32	0,92	0,95
0,2	19,52	20,59	0,87	0,92
0,3	18,36	20,00	0,82	0,89
0,4	17,59	19,52	0,78	0,87
0,5	17,00	19,06	0,76	0,85

Zmniejszenie szczytowej wartości siły dobiecia podczas zagęszczania *PW* w ujęciu względnym przedstawiono na rysunku 4.32. Z wykresu widać zmniejszenie siły dobiecia w funkcji amplitudy ruchu vibracyjnego płochy. Szczególnie duży spadek obserwowano dla relatywnie dużych amplitud ruchu ($Y_a = 0,5 \text{ mm}$). Już w zakresie małych amplitud siły wzbudzającej ($Y_a = 0,1-0,2 \text{ mm}$) stwierdzono pewne zmniejszenie maksymalnej wartości siły dobiecia.

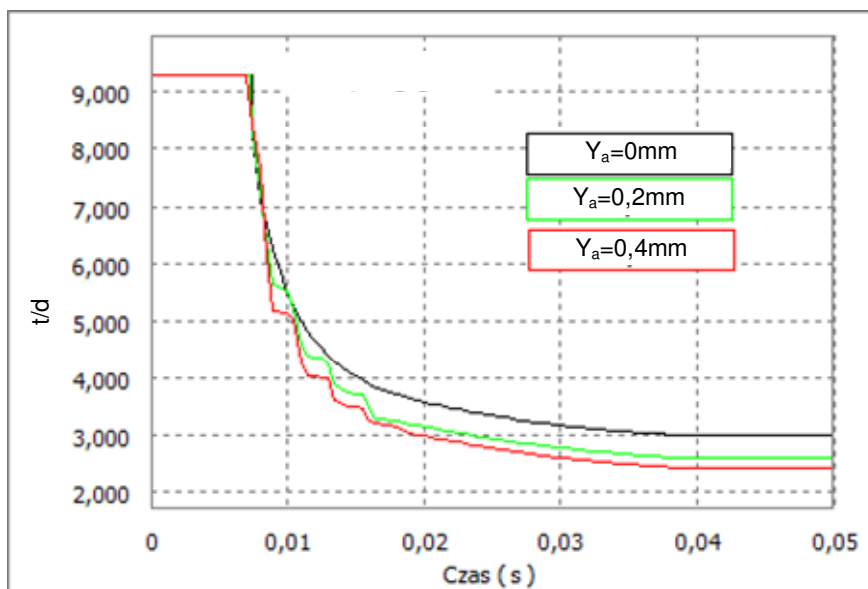


Rys. 4.32. Względne zmniejszenie (w stosunku do dobiecia *PS*) szczytowych wartości siły dobiecia *PW* wzbudzaną kinematycznie wymuszonym ruchem zmiennym o różnej amplitudzie, przy stałym osiąganym zagęszczeniu tkaniny

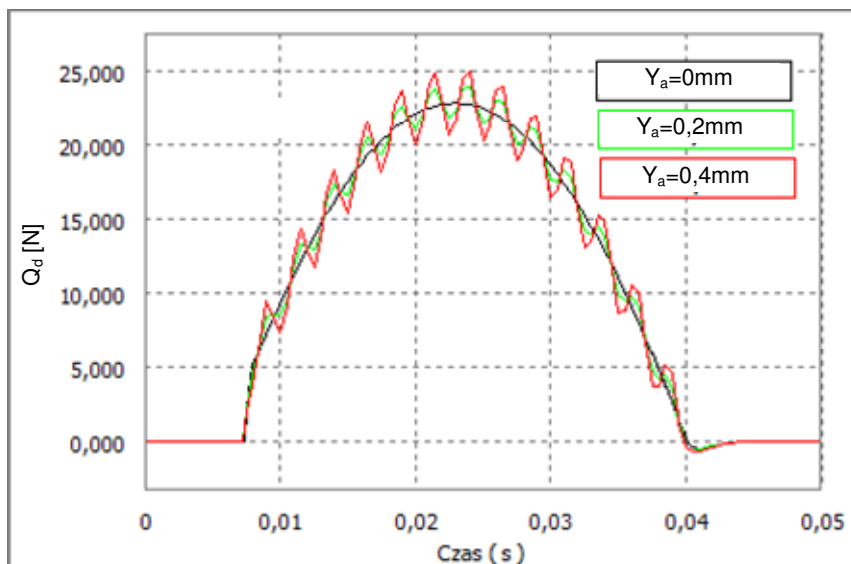
4.6.2. Wpływ amplitudy ruchu vibracyjnego płochy na osiągnięte zagęszczenie wątków w tkaninie

W oparciu o opracowany model przeprowadzono szereg symulacji dynamicznych dobiecia zarówno *PS*, jak i *PW*. Kolejno zmieniano wartość amplitudy ruchu vibracyjnego płochy Y_a , przy ustalonych innych parametrach dynamicznych dobiecia. Za każdym razem osiągnęto inną wartość zagęszczenia wątków w tkaninie, w warunkach ustalonej szczytowej siły dobiecia, takiej samej jak w czasie zagęszczania *PS*. Wartości siły dobiecia określano w symulacjach jako średnią wartość oscylacji siły z tytułu vibracji płochy.

Na rysunkach 4.33 i 4.34 pokazano niektóre wyniki symulacji w postaci przebiegów chwilowej podziałki względnej podczas dobiecia i odpowiadającym im chwilowym obciążeniom osnowy Q_d .



Rys. 4.33. Chwilowa podziałka względna podczas dobicia z ustaloną szczytową wartością siły dobicia PS i PW wzbudzaną kinematycznie wymuszonym ruchem zmiennym o różnej amplitudzie, $f_w = 400 \text{ Hz}$, $f_b = 10 \text{ Hz}$



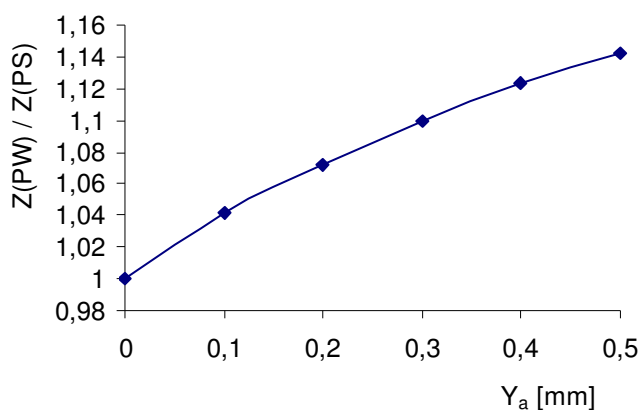
Rys. 4.34. Chwilowa siła dobicia PS i PW wzbudzaną kinematycznie wymuszonym ruchem zmiennym o różnej amplitudzie, $f_w = 400 \text{ Hz}$, $f_b = 10 \text{ Hz}$

Z przeprowadzonych symulacji stwierdzono zwiększenie uzyskanego zagęszczenia wątków w tkaninie Z, wraz ze zwiększeniem amplitudy ruchu wibracyjnego płochy Y_a . Wyniki symulacji zaprezentowano w postaci tabelarycznej (tab. 4.7) i w postaci wykresu.

Tabela 4.7. Osiągnięte zagęszczenia tkaniny uzyskane w wyniku dobicia PW wzbudzaną kinematycznie wymuszonym ruchem zmiennym o różnej amplitudzie, przy ustalonej szczytowej sile dobicia

Y_a	t/d	Z	zw. Z
[mm]	[-]	[w/cm]	–
0	3,00	16,67	1
0,1	2,88	17,37	1,04
0,2	2,80	17,86	1,07
0,3	2,73	18,33	1,10
0,4	2,67	18,73	1,12
0,5	2,63	19,03	1,14

Na wykresie (rys. 4.35) przedstawiono względne zwiększenie zagęszczenia wątków uzyskane po dobiciu PW , odniesione do zagęszczenia po dobiciu PS , w funkcji amplitudy ruchu wibracyjnego. Dla większych amplitud ($Y_a = 0,4-0,5$ mm) uzyskano zwiększenie zagęszczenia, nawet do kilkunastu procent. W zakresie małych amplitud ruchu płochy ($Y_a = 0,1-0,2$ mm) stwierdza się kilkuprocentowe zwiększenie zagęszczenia wątków.



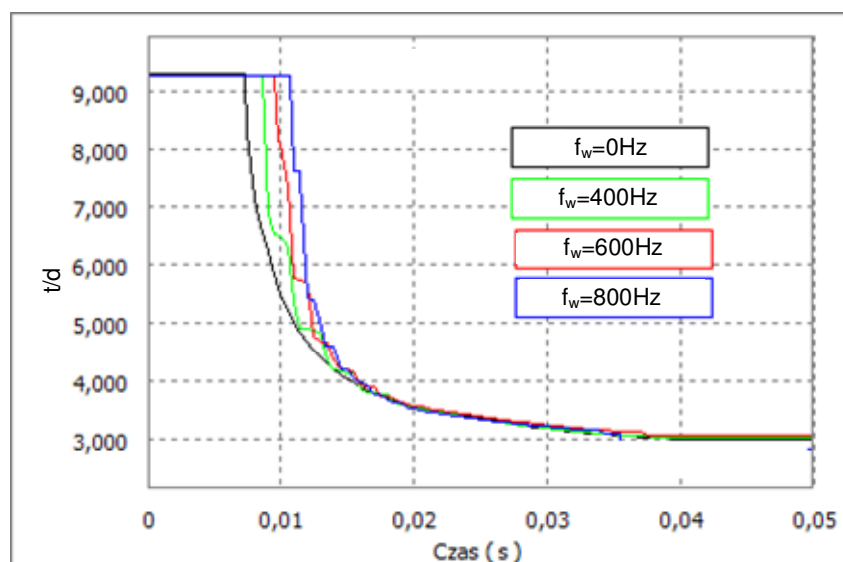
Rys. 4.35. Względne zwiększenie (w stosunku do dobicia PS) osiągniętego zagęszczenia wątków PW wzbudzaną kinematycznie wymuszonym ruchem zmiennym o różnej amplitudzie, przy ustalonej szczytowej wartości siły dobicia

4.7. Analiza symulacyjna wpływu częstotliwości ruchu wibracyjnego płochy na efektywność zagęszczania tkaniny

Analizie poddano wpływ częstotliwości ruchu wibracyjnego płochy, lub ilości uderzeń płochy w czasie dobicia, na efektywność wibracyjnego dobicia. Jest to drugi symulowany wariant, który zakłada kinematyczne zadanie płosze sinusoidalnie zmiennego ruchu wibracyjnego. Wpływ częstotliwości tego ruchu rozpatrzono w dwóch aspektach: na siłę dobicia oraz na osiągnięte zagęszczenie tkaniny.

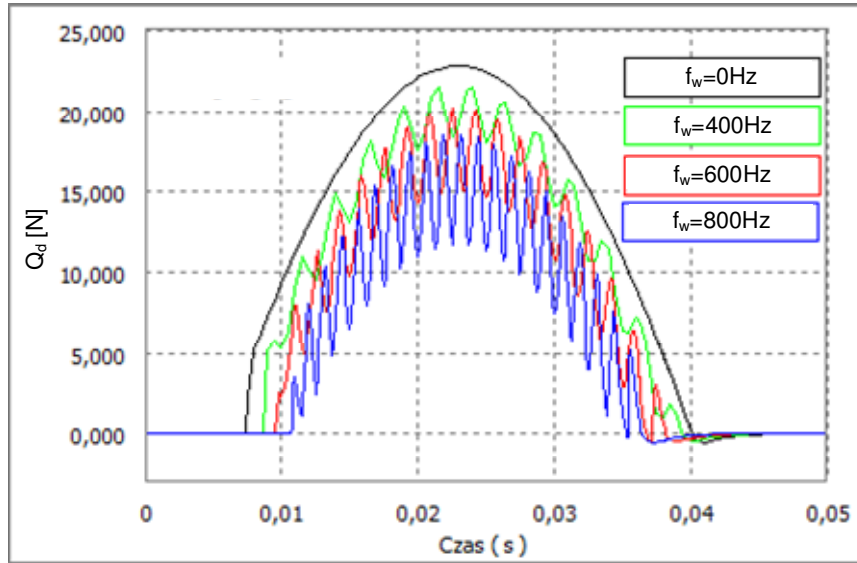
4.7.1. Wpływ częstotliwości ruchu wibracyjnego na obciążenie osnowy

W oparciu o opracowany model, przeprowadzono szereg symulacji dynamicznych dobicia zarówno *PS*, jak i *PW*. Kolejno zmieniano wartość częstotliwości ruchu wibracyjnego płochy f_w , przy ustalonych innych parametrach dynamicznych dobicia (m.in. $Y_a = 0,3 \text{ mm}$). Za każdym razem na drodze iteracyjnej, osiągnano tę samą wartość zagęszczenia jak po dobiciu *PS*. Zagęszczenie było identyfikowane za pośrednictwem osiągniętej podziałki względnej $t/d = 3$. Na rysunkach pokazano niektóre wyniki symulacji w postaci przebiegów. Chwilowe podziałki względne podczas dobicia pokazano na rysunku 4.36.



Rys. 4.36. Chwilowa podziałka względna podczas dobicia ze stałym osiągniętym zagęszczeniem *PS* i *PW* wzbudzaną kinematycznie wymuszonym ruchem zmiennym o różnej częstotliwości, $Y_a = 0,3 \text{ mm}$, $f_b = 10 \text{ Hz}$

Odpowiadające im chwilowe wartości siły dobiecia Q_d , pokazano na rysunku 4.37.



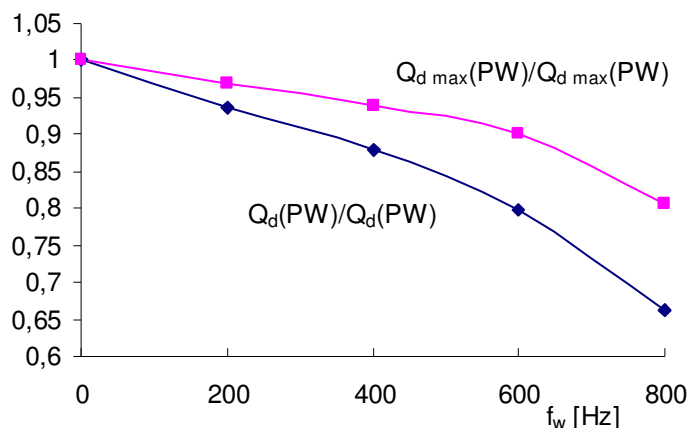
Rys. 4.37. Chwilowe siły dobiecia PS i PW wzbudzaną kinematycznie wymuszonym ruchem zmiennym o różnej częstotliwości, $Y_a = 0,3 \text{ mm}$, $f_b = 10 \text{ Hz}$

Na podstawie uzyskanych wyników przeprowadzonych symulacji stwierdzono zmniejszenie szczytowej wartości siły dobiecia PW względem dobiecia PS , wraz ze zwiększeniem częstotliwości ruchu wibracyjnego płochy, nawet o kilkanaście procent. Wyniki symulacji przedstawiono w postaci tabelarycznej (tab. 4.8) i w postaci wykresu.

Tabela 4.8. Szczytowe wartości siły dobiecia, uzyskane w wyniku zagęszczania PS i PW wzbudzaną kinematycznie wymuszonym ruchem zmiennym o różnej częstotliwości, przy stałym osiągniętym zagęszczeniu

f_w [Hz]	$Q_d(PS), Q_d(PW)$ [N]	$Q_{d \max}(PS), Q_{d \max}(PW)$ [N]	$Q_d(PW)/Q_d(PS)$	$Q_{d \max}(PW)/Q_{d \max}(PS)$
0	22,42	22,42	1	1
200	21,00	21,7	0,94	0,97
400	19,71	21,06	0,88	0,94
600	17,88	20,19	0,80	0,90
800	14,86	18,05	0,66	0,81

Zmniejszenie szczytowej wartości siły dobiecia podczas zagęszczania *PW* przedstawiono na wykresie w ujęciu względnym (rys. 4.38). Z wykresu widać nieliniowy spadek wartości siły dobiecia, szczególnie duży dla relatywnie dużych częstotliwości ruchu wibracyjnego płochy ($f_w = 600-800 \text{ Hz}$). Wymierny, kilkuprocentowy, spadek maksymalnego obciążenia osnowy podczas dobiecia stwierdzono dopiero po przekroczeniu pewnej częstotliwości ruchu wibracyjnego płochy ($f_w > 200 \text{ Hz}$).

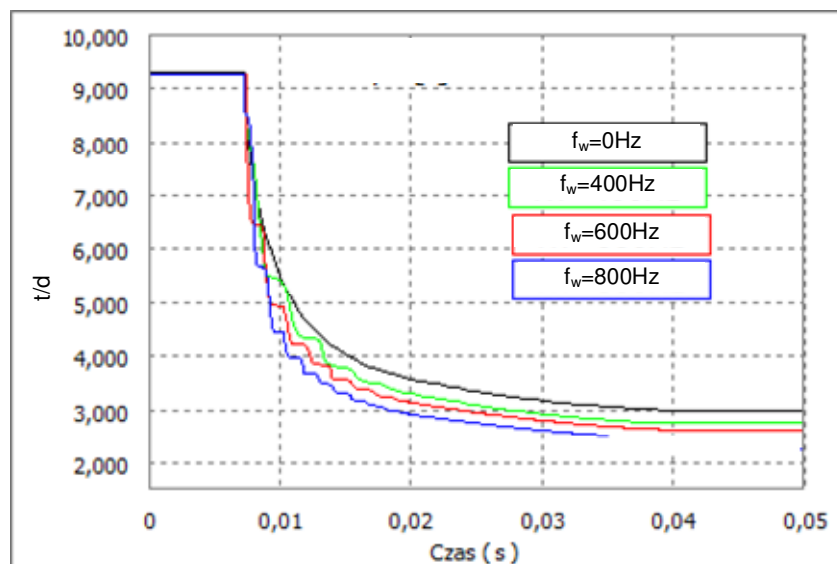


Rys. 4.38. Względne zmniejszenie (względem dobiecia *PS*) szczytowych wartości siły dobiecia *PW* wzbudzaną kinematycznie wymuszonym ruchem zmiennym o różnej częstotliwości, przy stałym osiągniętym zagęszczeniu

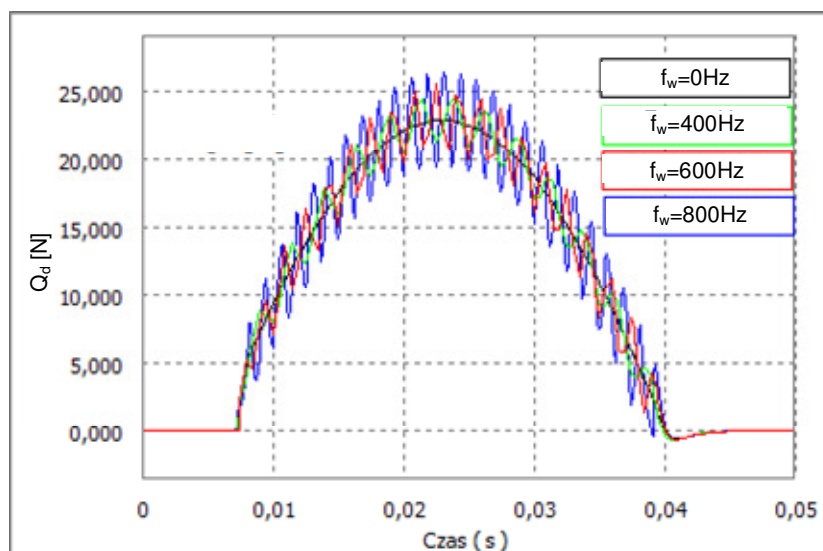
4.7.2. Wpływ częstotliwości ruchu wibracyjnego na osiągnięte zagęszczenie wątków w tkaninie

W oparciu o opracowany model przeprowadzono szereg symulacji dynamicznych dobiecia zarówno *PS*, jak i *PW*. Kolejno zmieniano wartość częstotliwości ruchu wibracyjnego płochy f_w , przy ustalonych innych parametrach dynamicznych dobiecia (m.in. $Y_a = 0,3 \text{ mm}$). Za każdym razem osiągnęto inną wartość zagęszczenia, przy ustalonej wartości szczytowej wartości siły dobiecia, takiej samej jak dla *PS*.

Na rysunkach 4.39 i 4.40 pokazano niektóre wyniki symulacji w postaci przebiegów chwilowej podziałki względnej podczas dobiecia t/d i odpowiadającym im chwilowym siłom dobiecia Q_d .



Rys. 4.39. Chwilowa podziłka względna podczas dobicia z ustaloną szczytową wartością siły dobicia PS i PW wzbudzaną kinematycznie wymuszonym ruchem zmiennym o różnej częstotliwości, $Y_a = 0,3 \text{ mm}$, $f_b = 10 \text{ Hz}$



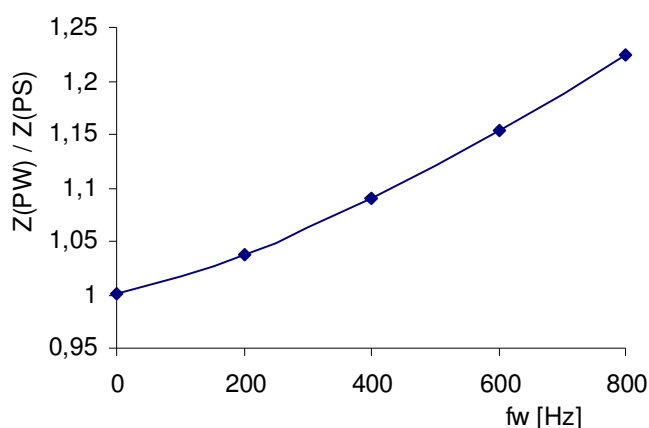
Rys. 4.40. Chwilowe siły dobicia PS i PW wzbudzaną kinematycznie wymuszonym ruchem zmiennym o różnej częstotliwości, $Y_a = 0,3 \text{ mm}$, $f_b = 10 \text{ Hz}$

Na podstawie wyników z przeprowadzonych symulacji stwierdzono zwiększenie zagęszczenia wątków w wytwarzanej tkaninie wraz ze zwiększeniem częstotliwości ruchu wibracyjnego płochy. Wyniki symulacji zaprezentowano w postaci tabelarycznej (tab. 4.9) i w postaci wykresu.

Tabela 4.9. Osiągnięte zagęszczenia tkaniny uzyskane w wyniku dobicia *PW* wzbudzaną kinematycznie wymuszonym ruchem zmiennym o różnej częstotliwości, przy ustalonej szczytowej wartości siły dobicia

f_w	t/d	Z	$Z(PW)/Z(PS)$
[Hz]	[-]	[w/cm]	–
0	3,00	16,67	1
200	2,89	17,30	1,04
400	2,75	18,18	1,09
600	2,60	19,23	1,15
800	2,45	20,41	1,22

Na wykresie (rys. 4.41) przedstawiono względne zwiększenie zagęszczenia wątków, uzyskane po dobiciu *PW*, odniesione do zagęszczenia po dobiciu *PS*, w funkcji amplitudy ruchu vibracyjnego płochy. Dla większych częstotliwości ($f_w = 600-800$ Hz), uzyskano zwiększenie zagęszczenia, nawet do kilkunastu procent. Wymierne, kilkuprocentowe, zwiększenie zagęszczenia w wytwarzanej tkaninie stwierdzono dopiero po przekroczeniu pewnej częstotliwości ruchu vibracyjnego płochy ($f_w > 200$ Hz).



Rys. 4.41. Względne zwiększenie (w stosunku do dobicia *PS*) osiągniętego zagęszczenia wątków *PW* wzbudzaną kinematycznie wymuszonym ruchem zmiennym o różnej częstotliwości, przy ustalonej szczytowej wartości siły dobicia

4.8. Bilans energetyczny i zapotrzebowanie na moc podczas zagęszczania *PW*

Jednym z podstawowych parametrów technicznych charakteryzujących zagęszczanie tkaniny *PW* jest energia dobicia i chwilowe zapotrzebowanie na moc podczas dobicia. W odróżnieniu od klasycznego zagęszczania *PS*, gdzie jedynym źródłem mocy jest bidło, podczas zagęszczania *PW*, oprócz bidła źródłem mocy jest mechanizm wzbudzenia ruchu vibracyjnego płochy [34, 46, 50, 71].

Zapotrzebowanie na chwilową moc wzbudnika określono za pomocą zależności (4.29):

$$W_w(t) = M_w(t) \cdot \omega_w(t), \quad (4.29)$$

gdzie

$\omega_w(t)$ – częstość kołowa ruchu wibracyjnego płochy.

Zapotrzebowanie na chwilową moc bidła określa się na podstawie zależności (4.30):

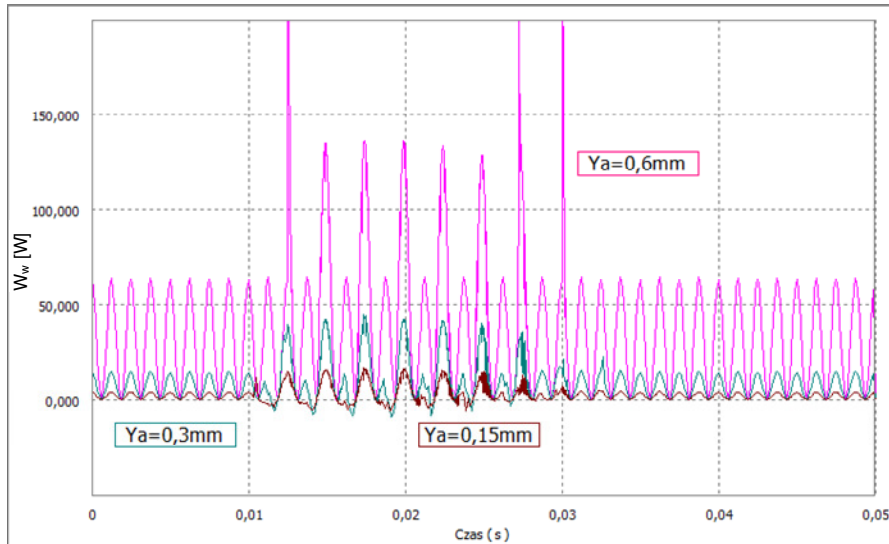
$$W_b(t) = M_b(t) \cdot \omega_b(t), \quad (4.30)$$

gdzie

$\omega_b(t)$ – częstość kołowa ruchu bidła.

4.8.1. Energia dobicia i chwilowa moc w warunkach zmiennej amplitudy *PW*

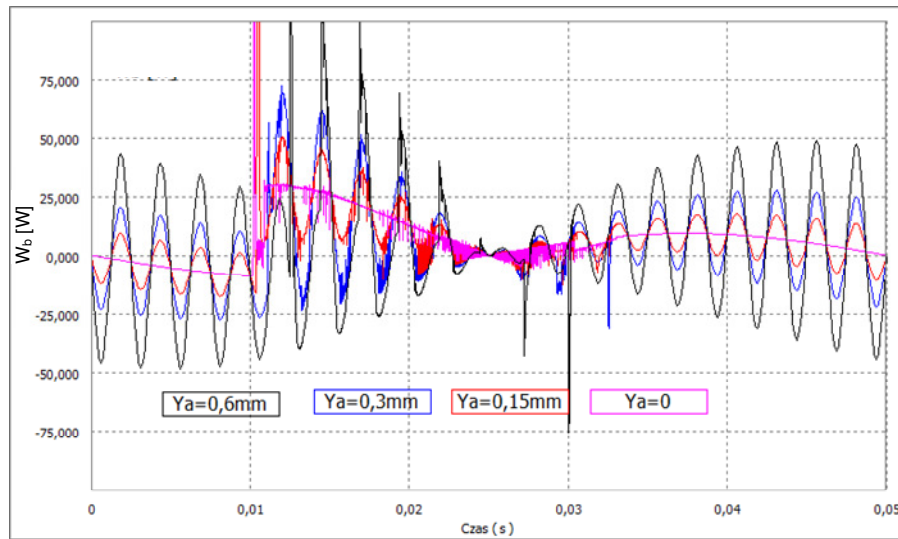
Analizie poddano przypadek wytwarzania tkaniny *PS* i *PW* o stałym zagęszczeniu, przy założeniu kinematycznie wymuszonego ruchu wibracyjnego płochy. Chwilowe wartości wielkości z zależności (4.29) i (4.30) dostarcza przeprowadzona numeryczna symulacja dynamiczna. Rysunek 4.42 przedstawia, wyznaczone na podstawie zależności (4.29), chwilowy pobór mocy do wzbudzania *PW*, zapewniającego jej ruch ze stałą amplitudą podczas całej fazy dobicia wążku.



Rys. 4.42. Chwilowe zapotrzebowanie na moc wzbudnika ruchu wibracyjnego płochy podczas zagęszczania *PW* dla różnych amplitud Y_a , $f_w = 400 \text{ Hz}$, $f_b = 10 \text{ Hz}$

Nałożone na siebie przebiegi, pokazane innymi kolorami, odpowiadają różnej amplitudzie PW . Oscylacje mocy w fazie dobicia są znacznie większe niż w przedziałach, w których płocha nie ma kontaktu z krawędzią tkaniny.

Rysunek 4.43 przedstawia wyznaczone na podstawie zależności (4.30) chwilowe zapotrzebowanie na moc napędu bidła.



Rys. 4.43. Chwilowe zapotrzebowanie na moc napędu bidła podczas zagęszczania PW ze stałą amplitudą, $f_w = 400 \text{ Hz}$, $f_b = 10 \text{ Hz}$

Przebiegi wyznaczonych mocy wzbudnika i mocy bidła uśredniono w zakresie czasu, w którym odbywa się dobicie. Po przemnożeniu średnich mocy przez czas dobicia otrzymano energie dobicia. Energię napędu ruchu wibracyjnego w jednym cyklu dobicia obliczono z zależności (4.31):

$$E_w = W_{w \text{ } \acute{s}r} \cdot T_w \quad (4.31)$$

gdzie:

$W_{w \text{ } \acute{s}r}$ – uśredniona moc wzbudzenia ruchu wibracyjnego płochy,

T_w – czas, w którym odbywa się dobicie.

Energię bidła w jednym cyklu dobicia obliczono z zależności (4.32):

$$E_b = W_{b \text{ } \acute{s}r} \cdot T_w \quad (4.32)$$

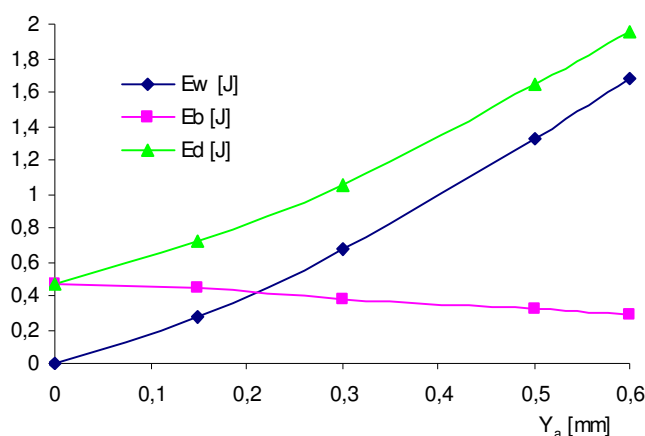
Wyniki obliczonych mocy i energii przedstawiono w postaci tabelarycznej.

Tabela 4.10. Uśrednione moce oraz energie jednego cyklu dobicia
(dot. 100 nitek osnowy)

Y_a	Δt	$W_{w \text{ śr.}}$	E_w	$W_{b \text{ śr.}}$	E_b	E_d
[mm]	[s]	[W]	[J]	[W]	[J]	[J]
0	0,024	0	0	19,76	0,474	0,474
0,15	0,023	12,28	0,279	19,66	0,446	0,725
0,3	0,019	34,8	0,675	19,56	0,379	1,055
0,5	0,017	78,02	1,326	18,96	0,322	1,649
0,6	0,015	108,8	1,676	18,38	0,283	1,959

W efekcie przeprowadzonej analizy na rysunku 4.44 przedstawiono przebiegi obliczonych energii wzbudzenia ruchu vibracyjnego płochy oraz energii bidła na jeden cykl tkacki w funkcji amplitudy ruchu vibracyjnego płochy podczas dobicia. Sumaryczną energię dobicia obliczono na podstawie zależności (4.33):

$$E_d = E_b + E_w \quad (4.33)$$



Rys. 4.44. Energie: bidła, wzbudnika ruchu vibracyjnego płochy oraz sumaryczna energia dobicia w jednym cyklu tkackim w funkcji amplitudy ruchu vibracyjnego płochy,
 $f_b = 10 \text{ Hz}, f_w = 400 \text{ Hz}$

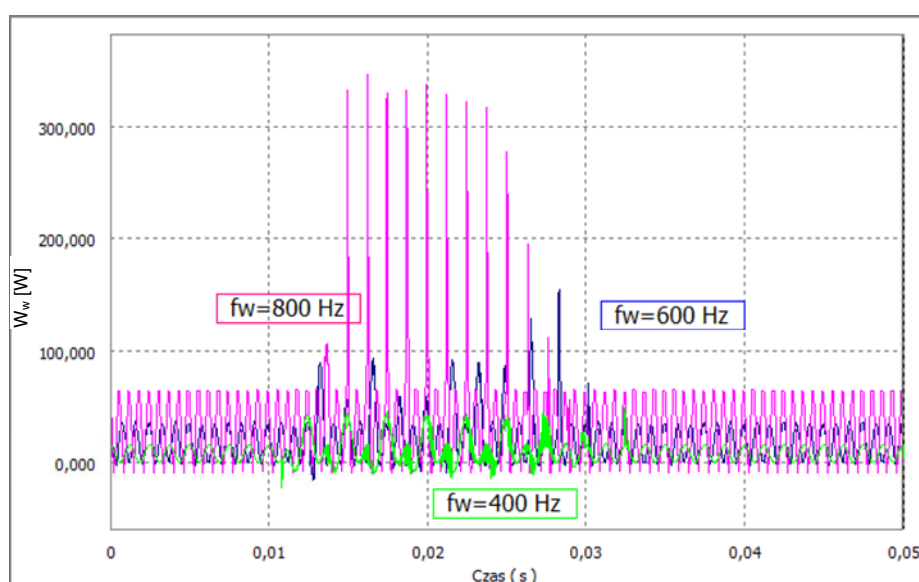
Analizując przebiegi z rysunku 4.44, stwierdzono, że energia dobicia *PS*, która pochodzi tylko od bidła, jest mniejsza od sumarycznej energii dobicia *PW*, na którą składa się energia wzbudnika i energia bidła, bez względu na amplitudę ruchu vibracyjnego płochy. Wraz ze zwiększaniem się amplitudy ruchu vibracyjnego płochy energia bidła nieznacznie zmniejsza się. Jednocześnie energia wzbudzenia ruchu vibracyjnego płochy rośnie. Dla większych amplitud ruchu vibracyjnego płochy energia jej wzbudzenia jest większa od energii pochodzącej od bidła.

Na podstawie przebiegów na rysunku 4.43 stwierdzono, że zapotrzebowanie na chwilową moc napędu bidła podczas zagęszczania *PW* wzrasta w stosunku do zagęszczania *PS*. W praktyce może oznaczać to barierę w zmniejszeniu masy bidła z *PW* pomimo zmniejszenia energii dobicia pochodzącej od bidła.

4.8.2. Energia dobicia i chwilowa moc w warunkach zmiennej częstotliwości *PW*

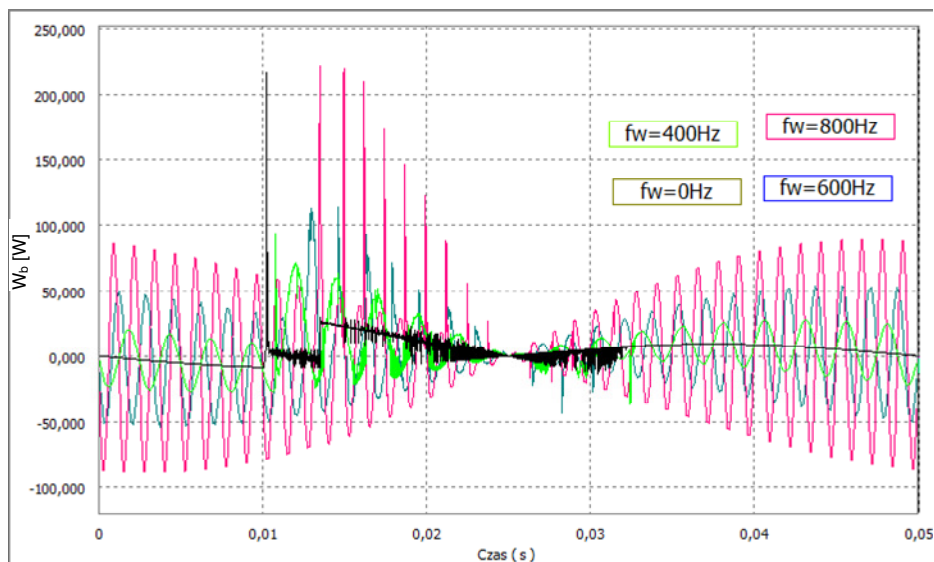
Analizie poddano przypadek wytwarzania tkaniny *PS* i *PW* o stałym dynamicznym obciążeniu osnowy, przy założeniu kinematycznie wymuszonego ruchu wibracyjnego płochy. Rysunek 4.45 przedstawia wyznaczone, chwilowe zapotrzebowanie na moc do wzbudzenia *PW*. Różne krzywe oscylacji mocy odpowiadają różnym częstotliwościom ruchu wibracyjnego płochy o stałym, dynamicznym obciążeniu osnowy podczas dobicia

Nałożone na siebie przebiegi, pokazane innymi kolorami, odpowiadają różnej częstotliwości *PW*. Oscylacje mocy w fazie dobicia są znacznie większe niż w przedziałach, w których płocha nie ma kontaktu z krawędzią tkaniny. Ma to związek ze zwiększonym zapotrzebowaniem na moc na pokrycie oporów przemieszczania wątku po osnowie. W pozostałych przedziałach moc pokrywa tylko straty związane z ruchem wibracyjnym płochy.



Rys. 4.45. Chwilowe zapotrzebowanie na moc wzbudnika ruchu płochy podczas zagęszczania *PW* o kilku różnych częstotliwościach, $Y_a = 0,3 \text{ mm}$, $f_b = 10 \text{ Hz}$

Rysunek 4.46 przedstawia wyznaczone, chwilowe zapotrzebowanie na moc napędu bidła.



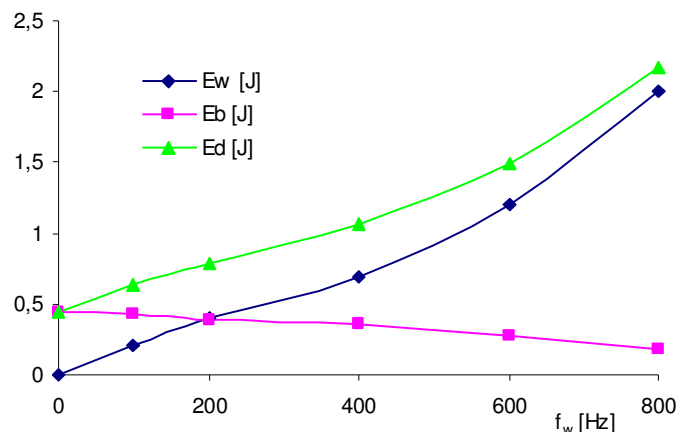
Rys. 4.46. Chwilowe zapotrzebowanie na moc napędu bidła podczas zagęszczania PW o kilku różnych częstotliwościach, $Y_{a3} = 0,3 \text{ mm}$, $f_b = 10 \text{ Hz}$

Przebiegi wyznaczonych mocy wzbudnika i mocy bidła uśredniono w zakresie czasu w którym odbywało się dobicie. Wyniki obliczonych chwilowych mocy i energii przedstawiono w postaci tabelarycznej.

Tabela 4.11. Uśrednione moce oraz energie jednego cyklu dobicia (dot. 100 nitek osnowy)

f_w	Δt	$W_{w \text{ śr.}}$	E_w	$W_{b \text{ śr.}}$	E_b	E_d
[Hz]	[s]	[W]	[J]	[W]	[J]	[J]
0	0,024	0	0	18,42	0,442	0,442
100	0,024	8,58	0,206	17,88	0,429	0,635
200	0,023	17,5	0,403	16,92	0,389	0,792
400	0,022	31,24	0,697	16,3	0,363	1,060
600	0,018	66,28	1,206	15,44	0,281	1,487
800	0,017	114,8	1,998	10,06	0,175	2,173

W efekcie przeprowadzonej analizy, na rysunku 4.47 przedstawiono przebiegi obliczonych energii wzbudzenia ruchu wibracyjnego płochy oraz energii bidła na jeden cykl tkacki w funkcji częstotliwości ruchu wibracyjnego płochy podczas dobicia.



Rys. 4.47. Energie: bidła, wzbudnika ruchu wibracyjnego płochy oraz sumaryczna energia dobicia w jednym cyklu tkackim w funkcji częstotliwości ruchu wibracyjnego płochy, $f_b = 10 \text{ Hz}$, $Y_a = 0,3 \text{ mm}$

W rozdziale 4.8 przedstawiono bilans energetyczny podczas dobicia *PW* o kinematycznie wymuszonym ruchu zarówno bidła, jak i płochy. Dwa wybrane przypadki: zmiana amplitudy i częstotliwości ruchu płochy wybrano jako najbardziej charakterystyczne, najwięcej mówiące o energii wibracyjnego dobicia w odniesieniu do intensywności ruchu *PW*. Ponieważ w obydwu przypadkach charakter zmian składników energii dobicia, jak i sumarycznej energii dobicia w funkcji intensywności ruchu *PW* jest podobny, uznaje się, że jest on reprezentatywny dla każdego przypadku dobicia wibracyjnego.

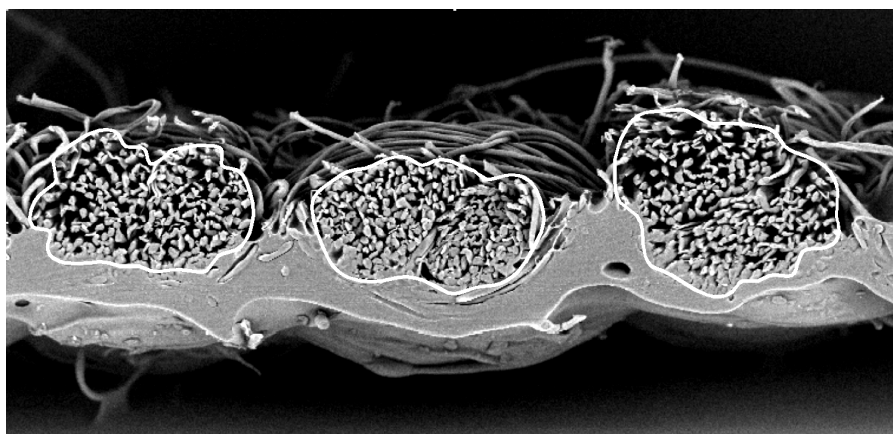
Wnioski

1. Siła oporu przemieszczania wątku po osnowie zależy w głównej mierze od geometrii przesmyku i napięcia wstępnego osnowy, w mniejszym stopniu od właściwości ciernych nitek osnowy i wątku.
2. Amplituda ruchu wibracyjnego płochy wzrasta wraz z amplitudą siły wzbudzającej ten ruch, amplituda tego ruchu maleje w fazie dobicia wątku.
3. Proces zagęszczania *PW* intensyfikuje, zarówno pod względem uzyskanych zagęszczeń, jak i zmniejszenia obciążeń siłami dobicia, amplituda ruchu wibracyjnego płochy oraz częstotliwość ruchu wibracyjnego płochy.
4. Dzięki zastosowaniu zagęszczania *PW* można uzyskać większe zagęszczenia tkanin oraz zmniejszyć obciążenie bidła, nawet do 30%.
5. Siła dobicia wywołuje w większym stopniu zmniejszanie napięcia tkaniny niż wzrost napięcia w osnowie. Dynamiczne obciążenie osnowy podczas zagęszczania wątków jest więc zasadniczo mniejsze niż bidła. Głównym czynnikiem obciążającym osnowę podczas tworzenia tkaniny jest jej napięcie wstępne.

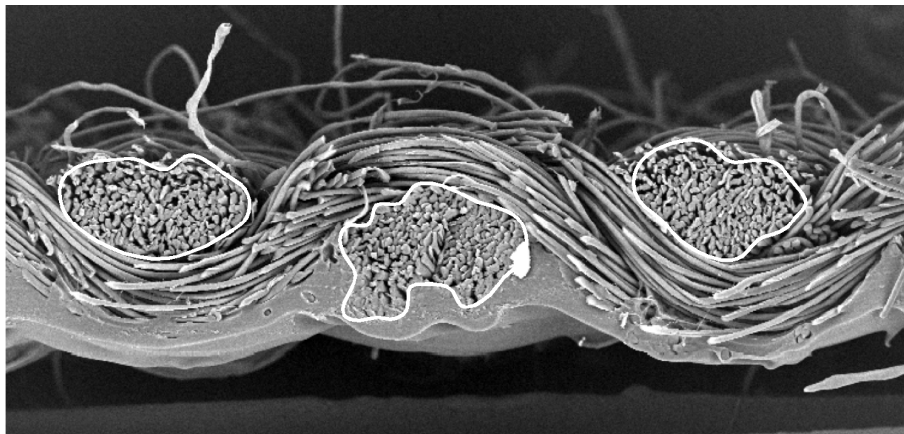
6. Nie zaobserwowano znaczących korzyści energetycznych związanych z zagęszczaniem *PW*. Energia sumaryczna procesu dobicia *PW* jest większa od energii dobicia *PS*.
7. W niewielkim stopniu zagęszczanie *PW* zmniejsza energię wydatkowaną przez bidło podczas procesu zagęszczania. Jednocześnie rośnie chwilowe zapotrzebowanie na moc, co może być barierą w zmniejszaniu masy bidła.

5. BADANIA MIKROSKOPOWE PRZEKROJÓW TKANINY ZAGĘSZCZANEJ PS I PW

Wytworzone na stanowisku badawczym próbki tkanin, z wątkiem 2x25 tex, pozwoliły na analizę przekroju wątku w tkaninie za pomocą mikroskopu [2, 5]. Porównano przekroje wątków dla trzech przypadków tkanin, podczas tkania których wielkość strefy dobicia PS wynosiła $S = 20\text{ mm}$. Przypadek 1, to tkanina dobijana PS w warunkach granicznych, zbliżonych do nadrabiania tkaniny. Przypadek 2, to tkanina dobijana PW ($Y_a = 0,2\text{ mm}$, $f_w = 350\text{ Hz}$) bez zmiany innych warunków tkania. Przypadek 3 to tkanina dobijana PW, ze zmniejszonym odcinkiem odbieranej tkaniny, takim by siła i strefa dobicia była taka sama jak w przypadku 1. Celem scharakteryzowania zjawiska dokonano porównania kilku próbek wytworzonych w warunkach różnie napiętej osnowy.



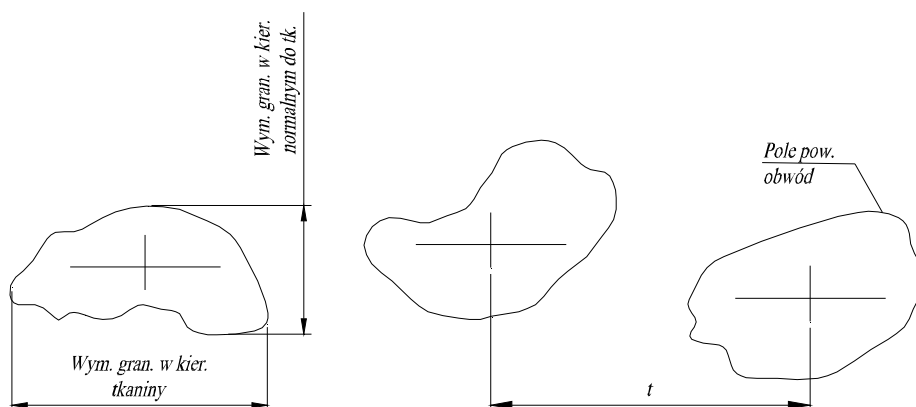
Rys. 5.1. Przekroje poprzeczne wątków w tkaninie dobijanej PS (przyp. 1), $Q_0 = 32,4\text{ N}$



Rys. 5.2. Zniekształcone przekroje wątków dobijanej PW (przyp. 3), $Q_0 = 32,4\text{ N}$

Analizy przekrojów wątków dokonano na podstawie szeregu fotografii wykonanych techniką mikroskopii skaningowej (mikroskop JSM-50-200LV firmy JEOL). Mikroskopia skaningowa, z uwagi na znacznie większą głębię ostrości w porównaniu do klasycznej mikroskopii optycznej, pozwala na lepsze zaobserwowanie kształtu przekroju wątku w tkaninie [10, 23, 25, 26, 83]. Podatne wątki podczas cięcia tworzą bowiem nie w pełni prostą linię przekroju. Na rysunkach 5.1 i 5.2 przedstawiono przykładowe fotografie przekrojów tkaniny wykonane za pomocą mikroskopu skaningowego.

Do analizy porównawczej przyjęto pole powierzchni i obwód przekroju poprzecznego wątku oraz jego wymiary graniczne w obu kierunkach. Na rysunku 5.3 zaznaczono wykorzystywane do analizy parametry geometryczne opisujące przekroje.



Rys. 5.3. Parametry geometryczne przekrojów wątków

Na sfotografowane przekroje wątków naniesiono obwiednie, tak jak pokazano na rysunkach 5.1 i 5.2. Na podstawie obwiedni określano parametry geometryczne poszczególnych przekrojów. Procedurę powtórzono w przypadku każdej z próbek tkanin 24 razy (wykonano odpowiednią ilość fotografii), z otrzymanych wyników określono średnie arytmetyczne. Zebrany materiał badawczy przedstawiono w postaci tabeli 5.1 oraz wykresów.

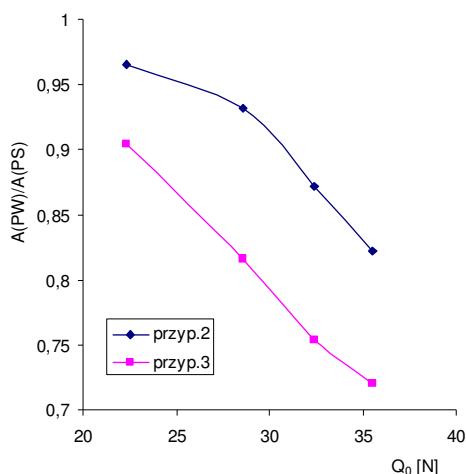
Tabela 5.1. Uśrednione parametry przekrojów wątków, dla tkanin zagęszczanych ze strefą dobicia, $S = 20 \text{ mm}$

$Q_0 [N]$	22,3	28,6	32,4	35,5
$A - \text{Pole powierzchni przekroju poprzecznego wątku} \times 10^{-4} [\text{mm}^2]$				
Przyp. 1	694,7	710,0	787,0	608,4
Przyp. 2	670,5	661,4	692,1	500,1
Przyp. 3	628,3	569,6	546,4	325,5
$O - \text{Obwód powierzchni przekroju poprzecznego wątku} \times 10^{-2} [\text{mm}]$				
Przyp. 1	106,8	102,5	110,0	98,0
Przyp. 2	105,7	99,7	104,2	90,7

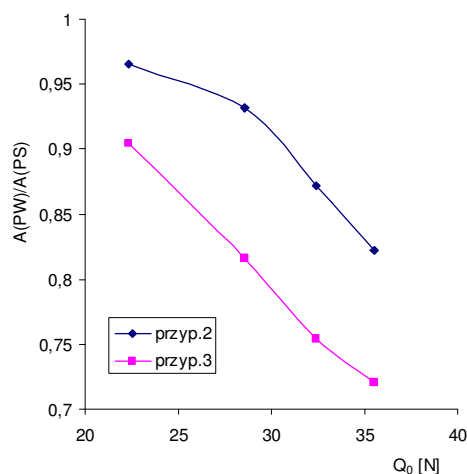
Tabela 5.1(cd.)

Przyp. 3	101,0	94,2	93,2	80,6
Wymiar graniczny przekroju wzdłuż tkaniny $\times 10^{-2}$ [mm]				
Przyp. 1	41,2	41,1	42,4	39,4
Przyp. 2	40,0	40,4	41,2	38,0
Przyp. 3	38,6	38,4	37,9	36,2
Wymiar graniczny przekroju w poprzek tkaniny $\times 10^{-2}$ [mm]				
Przyp. 1	27,1	26,5	27,2	25,8
Przyp. 2	26,4	25,7	26,4	24,9
Przyp. 3	25,8	23,6	24,5	24,2
A/O – Pole/obwód $\times 10^{-2}$ [mm]				
Przyp. 1	6,498	6,925	7,159	6,205
Przyp. 2	6,341	6,63	6,641	5,509
Przyp. 3	6,218	6,046	5,861	4,034
t/d – Względna podziałka wątków [-]				
Przyp. 1	2,87	2,72	2,63	2,54
Przyp. 2	2,88	2,73	2,62	2,54
Przyp. 3	2,67	2,61	2,53	2,45

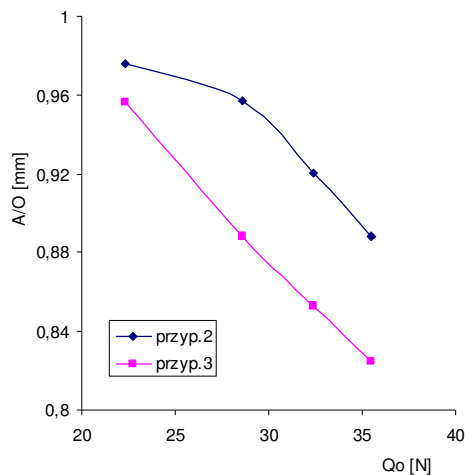
Wielkości geometryczne dla przekrojów próbek tkanin zagęszczanych PW przedstawiono w postaci względnej w odniesieniu do analogicznych wielkości dla próbek tkanin zagęszczanych PS. Taki sposób postępowania pozwolił pominąć wpływ niejednorodności i zmian grubości przędzy wątku, a skupić się jedynie na zmianach zachodzących w jego przekroju pod wpływem działania PW.



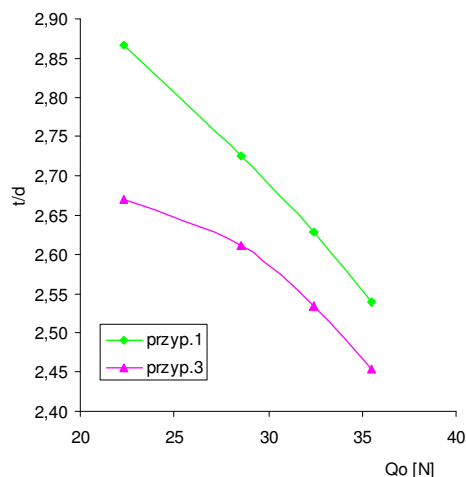
Rys. 5.4. Względne pole powierzchni przekroju wątku w tkaninie zagęszczanej PW w odniesieniu do tkaniny zagęszczanej PS



Rys. 5.5. Względny obwód przekroju wątku w tkaninie zagęszczanej PW w odniesieniu do tkaniny zagęszczanej PS



Rys. 5.6. Względny stosunek pola powierzchni wątku do obwodu przekroju



Rys. 5.7. Podziałka względna wątków w wytworzonych próbkach tkanin

Dla rozpatrywanych przypadków tkanin następuje monotoniczne zmniejszenie pola przekroju wątku i jego obwodu w wyniku dobicia *PW* (przyp. 2). Dalsze zmniejszenie pola i obwodu zaobserwowano dla przypadku dobicia *PW* i zmniejszonego odbioru tkaniny (przyp. 3). Niezależnie zmniejszenie pola i obwodu przekroju kształtowane też jest napinaniem osnowy, które, jak wiadomo, sprzyja zwiększaniu siły dobicia, a tym samym zdolności zagęszczania wątków (do 27% dla pola powierzchni i do 14% dla obwodu). To dzięki wibracyjnemu zagęszczaniu, włókna w przekrojach nitek mogą ułożyć się bliżej siebie, a cieńsze wskutek tego wątki pozwalają osiągnąć mniejsze podziałki a większe zagęszczenia wątków w wytwarzanej tkaninie.

Podczas analizy przekrojów stwierdzono, że przekrój wątku w tkaninie dobijanej *PS* jest bardziej zbliżony do przekroju okrągłego niż przekrój w tkaninie zagęszczanej *PW* (rys. 5.1 i 5.2). Spłaszczenie i widoczne charakterystyczne postrzępienia przekroju wątku analizowano na podstawie obserwacji wartości stosunku jego pola powierzchni do obwodu. Wartości takiego wskaźnika w postaci względnej, w funkcji napięcia wstępnego osnowy przedstawiono na rysunku 5.6. Stwierdzono, że deformacja przekroju wzrasta wraz z siłą napięcia wstępnego osnowy i zagęszczeniem. W badaniach obserwowano zmniejszenie stosunku pola do obwodu przekroju do 18%.

Analiza wymiarów granicznych przekrojów wątków zarówno w kierunku tkaniny *X*, jak i w kierunku poprzecznym *Y* niewiele wniosła. Wyniki są superpozycją zbyt wielu składowych, nie tworzą zauważalnej tendencji w funkcji napięcia wstępnego osnowy.

W literaturze [1, 5, 71] i w rozdziale 3 niniejszej pracy użyto pojęcia podziałki granicznej wątków w tkaninie. Podziałka wątków osiąga wartość graniczną wtedy, gdy w przekroju tkaniny nie ma już niewypełnionych przez wątki lub osnowę miejsc. W takim obszarze identyfikowano podziałki w przypadku niektórych

wytworzonych *PS* podczas badań próbek tkanin. Jednak przy użyciu znacznych sił dobicia lub zagęszczanych *PW* można jeszcze w niewielkim stopniu zmniejszyć podziałkę, zwiększając zagęszczenie wątków w wytwarzanej tkaninie. W próbkach zagęszczanych *PW* podziałka zmalała na rzecz deformacji i zmniejszeniu przekrojów wątków. Zdjęcie na rysunku 5.1 przedstawia przekrój tkaniny dobijanej *PS* z podziałką zbliżoną do granicznej. Zdjęcie 5.2 przedstawia tę samą tkaninę dobijaną *PW*. Tkanina ma jeszcze zmniejszoną podziałkę a wątki bardziej zdeformowane.

Na rysunku 5.7 pokazano wpływ siły napięcia wstępnego osnowy na osiągnięte podziałki wytwarzanych tkanin *PW* względem tkanin wytwarzanych *PS*. Wraz z napięciem osnowy zagęszczanie *PW* zmniejsza podziałkę względną tkaniny w coraz mniejszym stopniu.

Wnioski

1. Wyniki oględzin struktury tkaniny i struktury wątków w wytworzonych próbkach dowodzą, że w zakresie zagęszczania tkaniny klasyczną drogą dosuwania do siebie wątków możliwości struktury tkaniny wyczerpały się. Użycie dodatkowo podczas zagęszczania wątków płochy wibrującej pozwoliło na nieznaczne zwiększenie zagęszczenia wątków a zmniejszenie podziałki, o kilka procent.
2. Pomiar przekrojów wątków przed i po zastosowaniu wibracji płochy wykazuje, że przyrost zagęszczenia wątków ma swoją przyczynę w zmniejszaniu się pól oraz zmianie kształtu przekrojów wątków.

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zaproponowana w niniejszej pracy konstrukcja *WMB*, oparta na podatnej płosze tkackiej i wzbudniku magnetoelektrycznym, potwierdziła możliwość zastosowania w krośnie do realizacji procesu wibracyjnego zagęszczania wątków. Pomimo iż analizowany mechanizm posiadał ograniczoną szerokość (mierzoną na szerokości płochy), ma on walory aplikacyjne na krosno szerokie. Należy traktować go jako moduł powtarzalny na pełnej szerokości krosna. Konstrukcja została zaprojektowana tak, by można ją było aplikować na klasyczne krosno bez znaczącej ingerencji w budowę mechanizmu bidłowego. Podatna, podcięta u dołu płocha tkacka wraz z dodatkowym elementem sprężystym stanowiła odpowiedni element roboczy do wibracyjnego zagęszczania wątków. Mechanizm osiągnął założone parametry ruchu wibracyjnego zarówno co do częstotliwości, jak i amplitudy. Sztywność elementu sprężystego, biorąc pod uwagę masy drgające wraz z masą części ruchomej wzbudnika, zapewnia pracę w warunkach rezonansowych. Warunki te są najbardziej energetycznie wydajne z punktu widzenia napędu elektrycznego. Wzbudnik ruchu wibracyjnego płochy zapewniał pracę w odpowiednim zakresie wartości częstotliwości, sił i amplitud ruchu wibracyjnego.

Istotnym z punktu widzenia zagęszczania wątków w wytwarzanej tkaninie jest utrzymywanie na stałym poziomie napięcia wstępnego osnowy. Napięcie osnowy utrzymywane na relatywnie wysokim, stałym poziomie zapewnia tworzenie gęstej tkaniny z odpowiednio dużą siłą dobicia, w stanie ustalonym bez nadrabiania tkaniny. Stąd potrzeba rozbudowy systemu kontroli napięcia osnowy, najlepiej o układ aktywny (ze sprzężeniem zwrotnym), monitorujący i regulujący napięcie osnowy w sposób ciągły.

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że poprawa warunków zagęszczania wątków poprzez zastosowanie *PW* jest większa dla mniejszych napięć osnowy, przy relatywnie dużych siłach dobicia. Wraz ze wzrostem napięcia osnowy maleje wpływ wibracji płochy, ale równocześnie rośnie liczba zrywów spowodowana wytrzymałością nitek osnowy. Taką samą skuteczność zagęszczania wątków można uzyskać z mniejszymi siłami dobicia, w warunkach mniejszych napięć osnowy, dzięki zastosowaniu *PW*.

Zagęszczając wątki *PW* można zmniejszyć dynamiczne obciążenie bidła siłą dobicia w stosunku do zagęszczania *PS*. W niektórych, badanych na stanowisku badawczym przypadkach odnotowano zmniejszenie siły dobicia mierzonej na bidle o 20%. Analiza symulacyjna procesu zagęszczania *PW* wykazała możliwość zmniejszenia obciążenia bidła siłą dobicia, przy zachowaniu odpowiednich parametrów ruchu wibracyjnego płochy, nawet o 30%. Umożliwia to skuteczne zagęszczanie wytwarzanej tkaniny w warunkach adekwatnego zmniejszenia wstępnego napięcia osnowy.

Zagęszczając wątki *PW*, można zwiększyć osiągnięte zagęszczenie wątków w wytwarzanej tkaninie. Badania stanowiskowe potwierdziły możliwość zwiększenia zagęszczenia w wytwarzanych próbkach tkanin do 7%, w zależności od rodzaju i grubości wątku. Największe korzyści osiągnięto dla wątków cienkich,

czepliwych i tym samym trudno zagęszczających się. Analiza symulacyjna procesu zagęszczania wątków *PW*, przy zachowaniu odpowiednich parametrów ruchu wibracyjnego płochy, wykazała możliwość zwiększenia osiągniętego zagęszczenia nawet do 12%.

Opracowany model reologiczny strefy zagęszczania pozwolił na analizę obciążeń dynamicznych osnowy podczas procesu zagęszczania wątków. Podstawowym elementem modelu są sprężysto-plastyczne człony osnowy i tkaniny w układzie równoległym. Analiza wykazała, że przy założeniu zagęszczania wątków bez zluźniania tkaniny dynamiczne obciążenie osnowy siłą dobicia jest mniejsze niż bidła. Podczas tworzenia tkanin gęstych potrzeba odpowiedniego, wstępnego napięcia osnowy jest głównym czynnikiem wpływającym na obciążenie osnowy. Z uwagi na różnice w sztywnościach siła dobicia wywołuje w większym stopniu zmniejszanie napięcia tkaniny, a w mniejszym wzrost napięcia w osnowie. Warunek napiętej tkaniny podczas zagęszczania wymusza wstępne napięcie osnowy na odpowiednim, relatywnie wysokim poziomie. Zastosowanie zagęszczania *PW* zmniejsza dynamiczne obciążenie osnowy adekwatnie w stosunku do zmniejszenia siły dobicia, jak również umożliwia odpowiednie zmniejszenie napięcia wstępnego osnowy.

Analizując bilans energii wydatkowanej na proces tworzenia tkaniny, nie obserwowano korzyści związanych z zagęszczaniem *PW*. Wykazano na drodze symulacyjnej, że energia sumaryczna procesu zagęszczania *PW* jest większa od energii procesu zagęszczania *PS*. W niewielkim stopniu zagęszczanie *PW* zmniejsza energię wydatkowaną przez bidło, co pozwala na pewną redukcję jego masy i związaną z masą redukcję mocy napędu bidła.

Pomiar i analiza geometrii przekrojów wątków w wytworzonych podczas badań próbkach tkanin pozwoliły na precyzyjne określenie zagęszczenia granicznego. Porównanie geometrii przekrojów w próbkach zagęszczanych *PS* i *PW* wykazało, że wzrost zagęszczenia w niektórych przypadkach ma swą przyczynę w zmniejszaniu się pól oraz zmianie kształtu przekrojów wątków. Pozwala to wysnuć wniosek, że przypadki te dotyczą zagęszczeń w obszarze granicznym. Wyniki oględzin struktury tkaniny i struktury wątków w wytworzonych próbkach dowodzą, że w zakresie zagęszczania tkaniny *PS*, drogą klasycznego dosuwania do siebie wątków, możliwości struktury tkaniny wyczerpały się. Użycie podczas zagęszczania wątków dodatkowo *PW* pozwoliło na nieznaczne zwiększenie zagęszczenia wątków do kilku procent.

Wnioski wynikające z przeprowadzonych badań stanowiskowych i symulacyjnych potwierdzają postawioną tezę naukową.

7. SUGEROWANE KIERUNKI PRZYSZŁYCH BADAŃ NAD WIBRACYJNYM ZAGĘSZCZANIEM WĄTKÓW

W dalszym etapie badań nad vibracyjnym dobiciem wątku w krośnie tkackim przewidziano trzy możliwe kierunki.

W pierwszym, technologicznym, przewidziano możliwość zmiany przetwarzanego materiału. Sugeruje się wytwarzanie tkanin zagęszczanych *PW* z materiału bardzo trudno zagęszczającego się, czepliwego, cechującego się relatywnie dużą sztywnością lub z materiału delikatnego, niekoniecznie włókienniczego. Badania należy przeprowadzić podczas wytwarzania pewnych rodzajów tkanin technicznych, jak np.: tkaniny na osłony balistyczne, z włókien aramidowych, cechujące się znacznymi zagęszczeniami, tkaniny filtracyjne z nitek cechujących się włóchatością, a zarazem czepliwością. Odrębną grupę badań należy przeprowadzić podczas wytwarzania siatek metalowych, stosowanych w budownictwie. Z uwagi na relatywnie dużą sztywność drutu wytwarzanie siatek wymaga dużych sił dobicia podczas zagęszczania. Ich redukcja wydaje się ważnym aspektem w budowie mechanizmów bidłowych.

Drugi kierunek badań, z zakresu budowy i dynamiki maszyn tkackich, przewiduje prace badawcze nad konstrukcją oraz eksploatacją *WMB* opartego o ruch rezonansowy zarówno bidła, jak i płochy. Bidło wraz z płochą tworzyłyby układ drgający o dwóch stopniach swobody. Model dynamiczny takiego układu opisano już w niniejszej pracy. Eliminuje to bidłowy mechanizm korbowy na rzecz mechanizmu rezonansowego, opartego o element sprężysty.

Trzeci kierunek badań, również z zakresu budowy i dynamiki maszyn tkackich, przewiduje badania nad konstrukcją podatnej płochy tkackiej na krośnie szerokim. Płocha, wykonując drgania, na swojej długości tworzy falę. Koncepcja ta eliminuje potrzebę regularnego rozłożenia wielu wzbudników ruchu vibracyjnego na całej długości płochy. Wystarczającym wydają się dwa wzbudniki o większej mocy na końcach płochy. Dzięki takiemu rozwiązaniu przewiduje się zmniejszenie obciążenia dynamicznego bidła, pochodzącego od drgań wzbudzanych *PW*.

LITERATURA

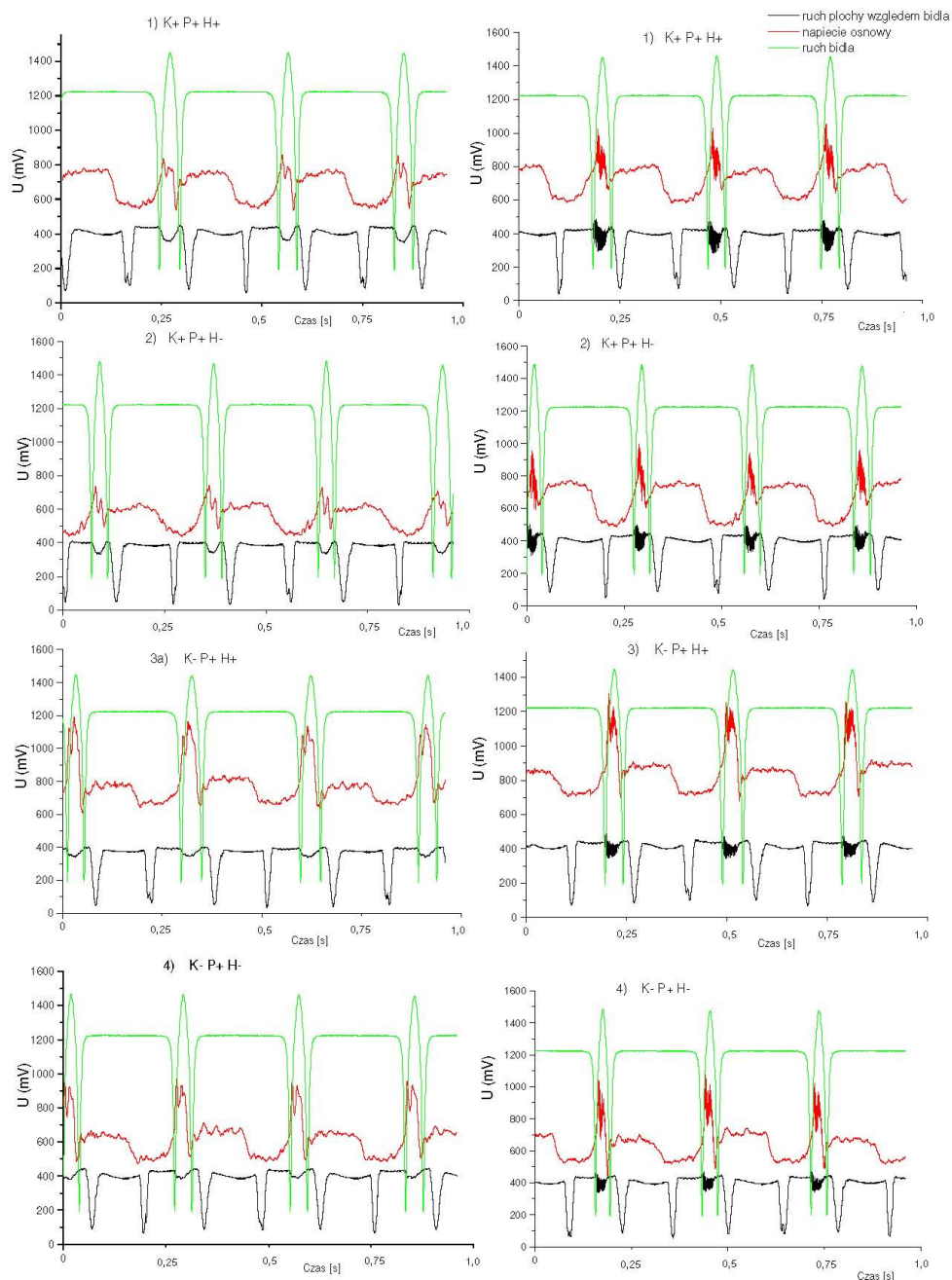
1. Adomaitiene A., Kumpikaite E.: Effect of Raw Material on Changes in the Weft Setting of Fabric. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2009, Vol. 17, No. 5 (76), pp. 49-51.
2. Adomaitiene A., Lazarevičiute L., Kumpikaite E.: Effect of Raw Material on the Geometrical Properties of Fabrics. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2011, Vol. 19, No. 3 (86), pp. 44-47.
3. Ansys Documentation Help online version 8.0, 2004.
4. Azarschab M.: Stresses Acting on Warp Threads in Weaving Meliand Textilber. 1981, nr 8, pp. 627-631.
5. Barburski M., Masajtis J.: Modelling of the Change in Structure of Woven Fabric under Mechanical Loading. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, January/March 2009, Vol. 17, No. 1 (72), pp. 39-44.
6. Barella A., Bona A.: Attempt to predict the weaving performance of sized wool yarns Invest Inform Textil 10/1967, pp. 316-319.
7. Barnes H., Hutton J.F., Walters K.: An Introduction to Rheology. Elsevier, Amsterdam 1989.
8. Burcan J., Kuchar M.: Wpływ szczeliny powietrznej na tłumienie oraz sztywność magnetycznych łożysk wzdłużnych. IV Konferencja Problemy niekonwencjonalnych węzłów łożyskowych, Łódź 1999, s. 24-30.
9. Celichowski G., Psarski M., Wiśniewski M.: Elastic Yarn Tensioner with a Noncontinuous Antiwear Nanocomposite Pattern. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, January/March 2009, Vol. 17, No. 1 (72), pp. 91-96.
10. Czaplicki Z.: Properties and Structure of Polish Alpaca Wool. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2012, 20, 1(90), 8-12.
11. Cvrkal A.: Measuring and research methods in the weaving process. *Vlákna a textil* 3/1998, s. 91-96.
12. Den-Hartog J.P.: Drgania mechaniczne, PWN, Warszawa 1974.
13. Dietrich M.: Podstawy Konstrukcji Maszyn. PWN, Warszawa 1988.
14. Ferguson J., Kembłowski Z.: Reologia stosowana płynów. Wydawnictwo Marcus, Łódź 1995.
15. Fichtenholz G.M. Rachunek różniczkowy i całkowy, t. 2. PWN, Warszawa 1980.
16. Frontczak I., Snyckerski M.: Bariera drgająca jako sposób zmniejszania oporu tarcia nitki. *Przegląd Włókienniczy* 1993.
17. Frydrych I., Cybulska M., Goswami B.: Theoretical model and experimental verification of tensile properties of staple yarns. Sustainability and recycling of textile materials, University of Minho Guimaraes – Portugal, 2000.
18. Greenwood K., Mc Loughlin W.T.: The design an operation of the weawing process, *Journal of the Textile Institute* Vol. 56, No. 6, 1965, Transactions.

19. Hahn H.: Simulation der Kettfaden beanspruchung in der Webmaschine Textiltechnik 10/1986.
20. Hasani H., Tabatabaei S.A.: Optimizing Spinning Variables to Reduce the Hairiness of Rotor Yarns Produced from Waste Fibers Collected from the Ginning Process. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2011, Vol. 19, No. 3 (86), pp. 21-25.
21. Hebda M., Wachab A.: Tribologia. WNT, Warszawa 1980.
22. Jurasz J.: Assessment, choice and utilization of selvedge in non-classical weaving, Fibres and Textiles in Eastern Europe Vol. 8, No 2, (29) 2000, s. 50-53.
23. Jurasz J.: Dyskusja natury destrukcji zewnętrznej nitek osnowy w krośnie. Przegląd Włókienniczy 4/2003.
24. Jurasz J.: Kryteria oszacowania zrywności nitek osnowy. Przegląd Włókno, Odzież, Skóra 3/2002.
25. Jurasz J.: Nowy sposób identyfikacji zmian w geometrii przestrzennej nitek. Przegląd Włókno, Odzież, Skóra 7/2002.
26. Jurasz J.: Skutki zewnętrzne wymuszeń nitki osnowy w tkaniu. Przegląd Włókno, Odzież, Skóra 5/2002.
27. Jurasz J.: Szczepność nitek osnowy w trakcie tworzenia przesmyku. Praca doktorska, IMTW, Politechnika Łódzka, 1977.
28. Katunskis J.: Theoretical and Experimental Beat-up Investigation FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe July / October 2004, Vol. 12, No. 3 (47).
29. Krakowski M.: Elektrotechnika teoretyczna, tom II Pole elektromagnetyczne. PWN, Warszawa – Poznań, 1980.
30. Korycki L.: Wyznaczenie siły dobicia wątku w krośnie tkackim. Technik Włókienniczy, 1961 nr 12.
31. Kossowski Z.: Badanie ruchu zaworu rozrządu wymuszonego elektromagnetycznie. Praca doktorska, Politechnika Łódzka, maj 2001.
32. Kossowski Z.: Zgłoszenie patentowe Nr P339870. Układ napędu zaworów tłokowego silnika spalinowego. Data zgłoszenia 20.04.2000.
33. Kossowski Z.: Siłownik magnetoelektryczny QW19. Opracowanie koncepcji, konstrukcja, wykonanie, badania wstępne. Polmatex CENARO. Łódź 2005.
34. Kossowski Z., Kopias K.: Magnetolectric Driving Device for Displacements of a Guide Needle Bar in a Weaving Loom. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe April / Juni 2006, Vol. 14, No. 2 (56).
35. Kossowski Z., Kuchar M., Siczek K.: Analiza mocy układu magneto-elektrycznego wzbudnika ruchu drgającego w warunkach pracy przerywanej. Przegląd Elektrotechniczny, 2007/7-8, s. 20-25.
36. Kossowski Z., Kuchar M., Siczek K.: Analiza wydatkowanej pracy w procesie wibracyjnego zagęszczania wątków podczas tkania, Przegląd Włókno, Odzież, Skóra, 12/2010, s. 28-32.
37. Kossowski Z., Wajand J.A., Zbierski K.: Doświadczalny silnik z magneto-elektrycznym rozrządem, 27th International Scientific Conference on

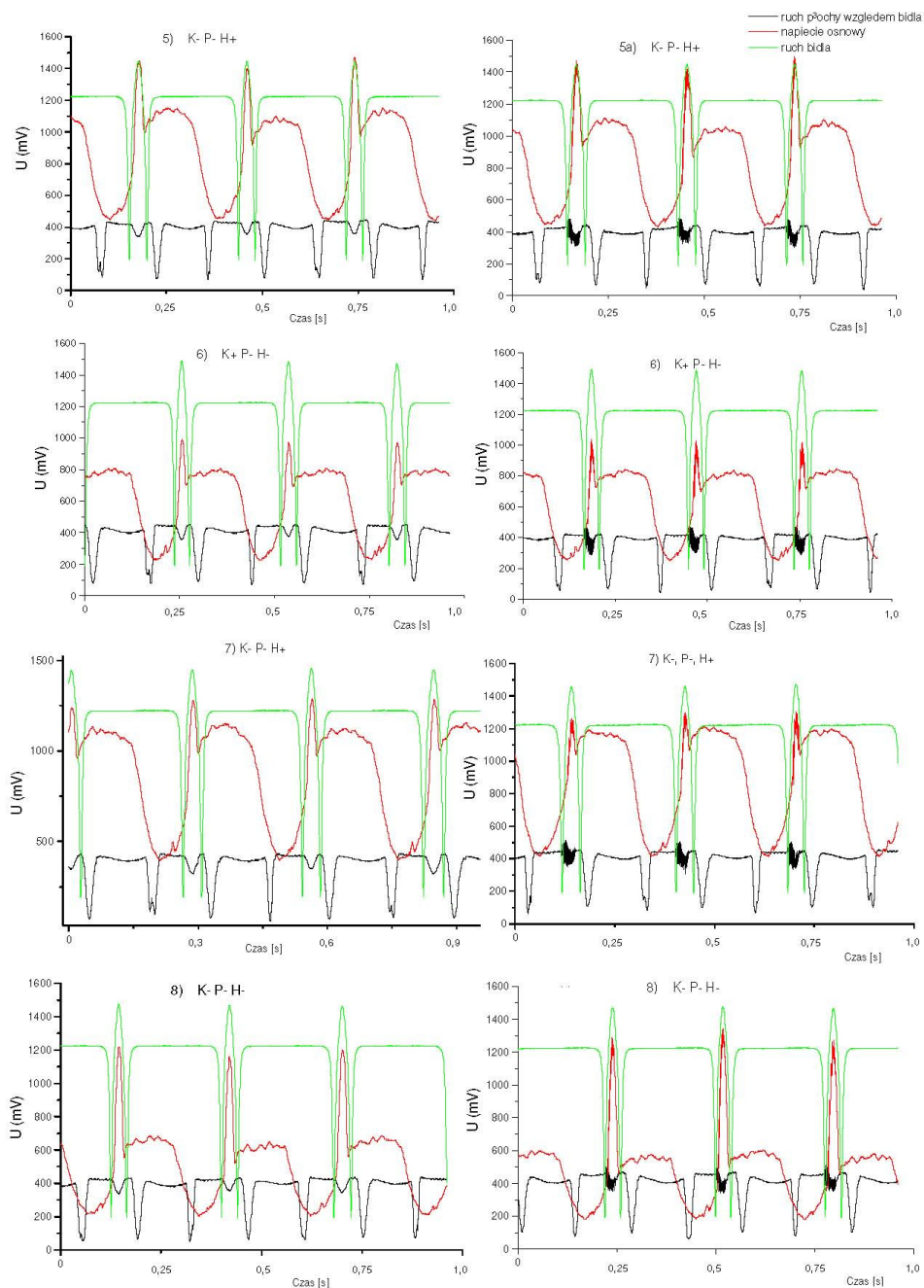
- Internal Combustion Engines. KONES – 2001. Jastrzębia Góra 9-12.09.2001.
38. Kowalski K.: Identyfikacja dynamicznych sił w nitkach na szydełkarkach na podstawie symulacji komputerowej i cyfrowej techniki pomiarowej, Politechnika Łódzka, 1991.
 39. Kowalski K.: Identyfikacja procesu dziania na szydełkarkach, Polska Akademia Nauk, Łódź 2008.
 40. Kowalski M., Kossowski Z.: Zastosowanie czujnika Halla w sterowaniu układem napędowym. Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Modelowanie, Symulacja i Zastosowania w Technice MSiZwT'11”, ISBN 978-83-927653-4-9, strony 103-106, Kościelisko, 13-17 czerwca 2011.
 41. Kowalski K., Włodarczyk B., Kowalski T.M.: Probabilistic Model of Dynamic Forces in Thread in the Knitting Zone of Weft Knitting Machines, Allowing for the Heterogeneity of Visco-Elasticity Yarn Properties. FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2010, Vol. 18, No. 4 (81) pp. 61-67.
 42. Krupowicz A.: Metody numeryczne zagadnień początkowych równań różniczkowych zwyczajnych. PWN, Warszawa 1986.
 43. Kuchar M.: Zastosowanie rezonansu w mechanizmie tworzącym przesmyk do poprawy jego kinetyki. Praca doktorska, Politechnika Łódzka, 2002.
 44. Kuchar M.: Modelowanie oporu mijania gałęzi przesmyku, Tribologia 4/2003, s. 265-277.
 45. Kuchar M., Michalak A.: Szczepność nitek jako parametr towarzyszący technologicznym oporom tkania. Przegląd Włókno, Odzież, Skóra, 7/2012, s. 19-22.
 46. Kuchar M.: Sprawozdanie z projektu badawczego KBN nr 4T07C 02628 pt.: Badania teoretyczne i eksperymentalne mechanizmu bidłowego zagęszczającego wątek wibracyjnie. Politechnika Łódzka, 2007.
 47. Kuchar M., Siczek K.: Badania teoretyczne i doświadczalne zachowania się podatnej płochy w wibracyjnym mechanizmie bidłowym. Problemy eksploatacji, 3/2006, s. 143-155.
 48. Kuchar M., Podsiedlik W., Słodowy J., Wiśniewski M.: Metoda tworzenia nowych bezspłotowych struktur tekstylnych. Problemy eksploatacji 4/2011, s. 195-204.
 49. Kuchar M., Podsiedlik W., Wiśniewski M.: Kulowy popychacz obrotowy. Zgłoszenie patentowe nr P394865 z dnia 14-05-2011.
 50. Kuchar M., Słodowy J.: Elektromagnetyczne urządzenie do wibracyjnego zagęszczania wątków podczas tkania. Problemy eksploatacji, 1/2006, s. 71-81.
 51. Kuchar M., Słodowy J.: Eksploatacyjne i technologiczne aspekty wibracyjnego zagęszczania wątków. Przegląd Włókno, Odzież, Skóra, 4/2011, s. 26-28 i 5/2011, s. 23-25.
 52. Kuchar M., Słodowy J.: Wyznaczanie i badanie siły oporu mijania gałęzi przesmyku, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2002, April/June, s. 39-41.

53. Li, L., Yan, H.: Tensile Properties of Regenerated Bamboo Yarn. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2012, 20, 1(90) 20-22.
54. Liute D., Racu C.: Technological Calculation Relations for Computer Control of the Revolutions of the Driving Motors of a Band Warping Cylindrical Drum. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2010, Vol. 18, No. 3 (80), pp. 47-50.
55. Masajtis J.: Statyka tworzenia i autoregulacja struktury tkaniny, wg teorii S. Noska. SWP, Łódź 1978.
56. Mikołajczyk Z.: Modeling of the Knitting Process with Respect to the Optimisation of the Construction Parameters of Warp-Knitting Machines. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2009, Vol. 17, No. 2 (73), pp. 76-81.
57. Mikołajczyk Z.: Optimisation of the Knitting Process on Warp-Knitting Machines in the Aspect of the Feeding Zone Geometry. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2011, Vol. 19, No. 4 (87), pp. 81-88.
58. Mustata A.: Mechanical Behaviour in the Wet and Dry Stage of Romanian Yarns made from Flax and Hemp. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2010, Vol. 18, No. 3 (80), pp. 7-12.
59. Namiranian R., Etrati S.M., Najar S.S.: Investigation of the Physical and Mechanical Properties of Fine Polyester/Viscose-Elastic Composite Rotor-Spun Yarn. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2011, Vol. 19, No. 6 (89), pp. 28-32.
60. Niezgodziński M.E., Niezgodziński T.: Wytrzymałość materiałów. PWN, Warszawa 1979.
61. Nosek S.: Problemy quasi-dynamicznego procesu tkania. *Przegląd Włókienniczy*, 1971, s. 20-28.
62. Osiński Z.: Teoria drgań. PWN, Warszawa 1980.
63. Osiński Z. i inni: Tłumienie drgań. PWN, Warszawa 1997.
64. Pawłowski W.: Wibracyjne szlifowanie wgłębne wałów. Praca habilitacyjna Politechnika Łódzka, Łódź 2010.
65. Pierpelkin E. i inni: Kompleksowe metody oceny nitek, *Przegląd Włókienniczy* R42, 7/1989, s. 283-286.
66. Sekerden F.: Investigation on the Unevenness, Tenacity and Elongation Properties of Bamboo/Cotton Blended Yarns. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2011, Vol. 19, No. 3 (86), pp. 26-29
67. Shi F-J, Xuling J.: Modelling the Tensile Properties of Modal/Polyurethane Core-spun Stretch Yarn. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2012; 20, 3(92): 30-32 (model
68. Strazd G., Viba J., Vojtesonok A.: Analiza efektu wibracyjnego dobijania wątku. *Przegląd Włókienniczy*, 1986.
69. Szopa R.: Numeryczne rozwiązywanie równań różniczkowych zwyczajnych. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2005.
70. Szosland J.: Optymalizacja kinetyki tkania. SWP, Łódź 1982.
71. Szosland J.: Podstawy budowy i technologii tkanin, WNT, Warszawa 1979.

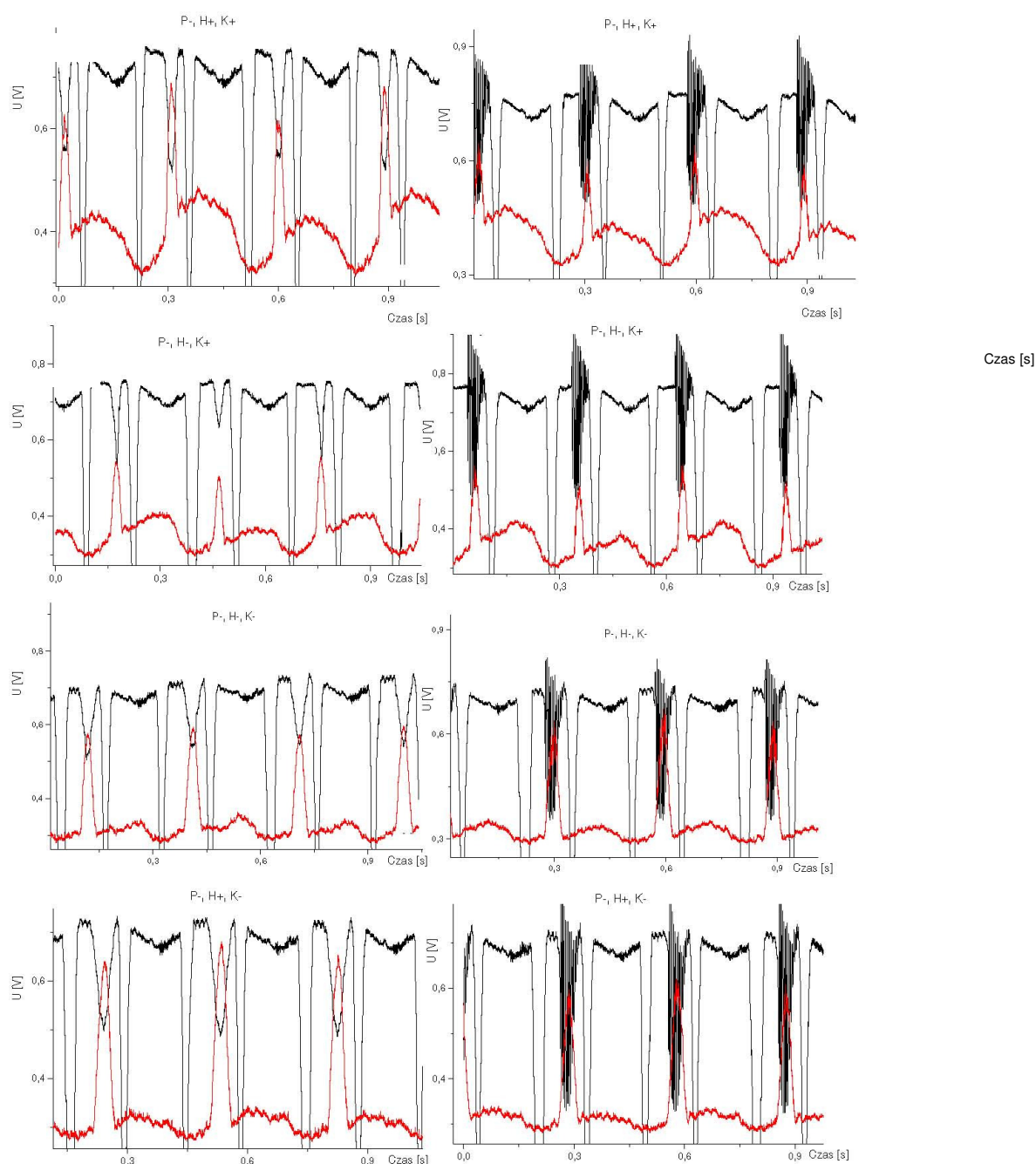
72. Szosland J.: Badania nad redukcją dynamicznych wymuszeń dla poprawy warunków eksploatacji krosien oraz rozszerzenia asortymentu tkanin. *Problemy Eksploatacji*. 2001, Vol. 41, nr 2, s. 239-245.
73. Szosland J.: Marking Method for Evaluation of Dynamic Tension Irregularity in Warp Threads in Weaving, *Przegląd Włókienniczy* 5/1990.
74. Szosland J., Słodowy J., Snycerski M.: Diagnostyka technologicznej przydatności osnowy z wykorzystaniem kwalitologii dynamicznej, *Przegląd Włókienniczy* 10/1997.
75. Szosland J. i in.: Destruction and Degradation of Linear Textile Products in Manufacturing Processes, *Scientific Bulletin of Łódź Technical University* No. 736, 1995.
76. Szosland J., Wrocławski Z.: Vibrationsblattanschalg – ein neues, wirksames Schussanschlagverfahren, *Deutsche Textiltechnik*, 1972 nr 5.
77. Święch F.: Tendencje rozwoju technik tkackich, *Przegląd Włókienniczy*, 1999/12, s. 33-37.
78. Święch T., Święch F.: Zmiany wybranych własności nitek osnowy poddanych częściowemu zniszczeniu jako kryterium ich zachowania się w tkaniu. Seminarium nt. Metody oceny jakości technologicznej przędzy, Łódź 1999.
79. Tumajer P., Ursíny P., Bílek M., Moučková E.: Research Methods for the Dynamic Properties of Textiles. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2011, Vol. 19, No. 5 (88), pp. 33-39.
80. Urbańczyk G.: *Fizyka Włókna*, WNT, Warszawa 1974.
81. Wilk E.: Postęp w zakresie rozwoju krosien, *Przegląd Włókno, Odzież, Skóra*, 4/2004, s. 15-28.
82. Wiśniakowski P.: *Mechanika teoretyczna*. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, 2007.
83. Wojtysiak J.: System diagnozowania operacji cząsteczkowych we włókienniczych procesach wytwórczych. *Biblioteka Problemów Eksploatacji*, Radom-Łódź 2001r.
84. Wrocławski Z.: Wibracyjne dobicie wątku. Praca doktorska, recenzent J. Szosland, Politechnika Łódzka, 1968.
85. Wrocławski Z.: Wibracyjne dobicie wątku. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 4/1997, s. 78-80.
86. Zhang H.-W., Guo X.-F., Li Y.-L.: Mechanical Properties of Ring-spun Yarn and its Strength Prediction Model. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2011, Vol. 19, No. 3 (86), pp. 17-20.
87. Zou, Z.-Y.: Study of the Stress Relaxation Property of Vortex Spun Yarn in Comparison with Air-jet Spun Yarn and Ring Spun Yarn. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2012, 20, 1(90), 28-32.
88. Inventor Professional 2009. Help on-line.
89. Karta analogowo-cyfrowa USB-9117, instrukcja obsługi.
90. Norma PN-91/P-04601 Wyznaczanie wilgotności.
91. www.etrema-usa.com
92. www.zat-artech.com.pl



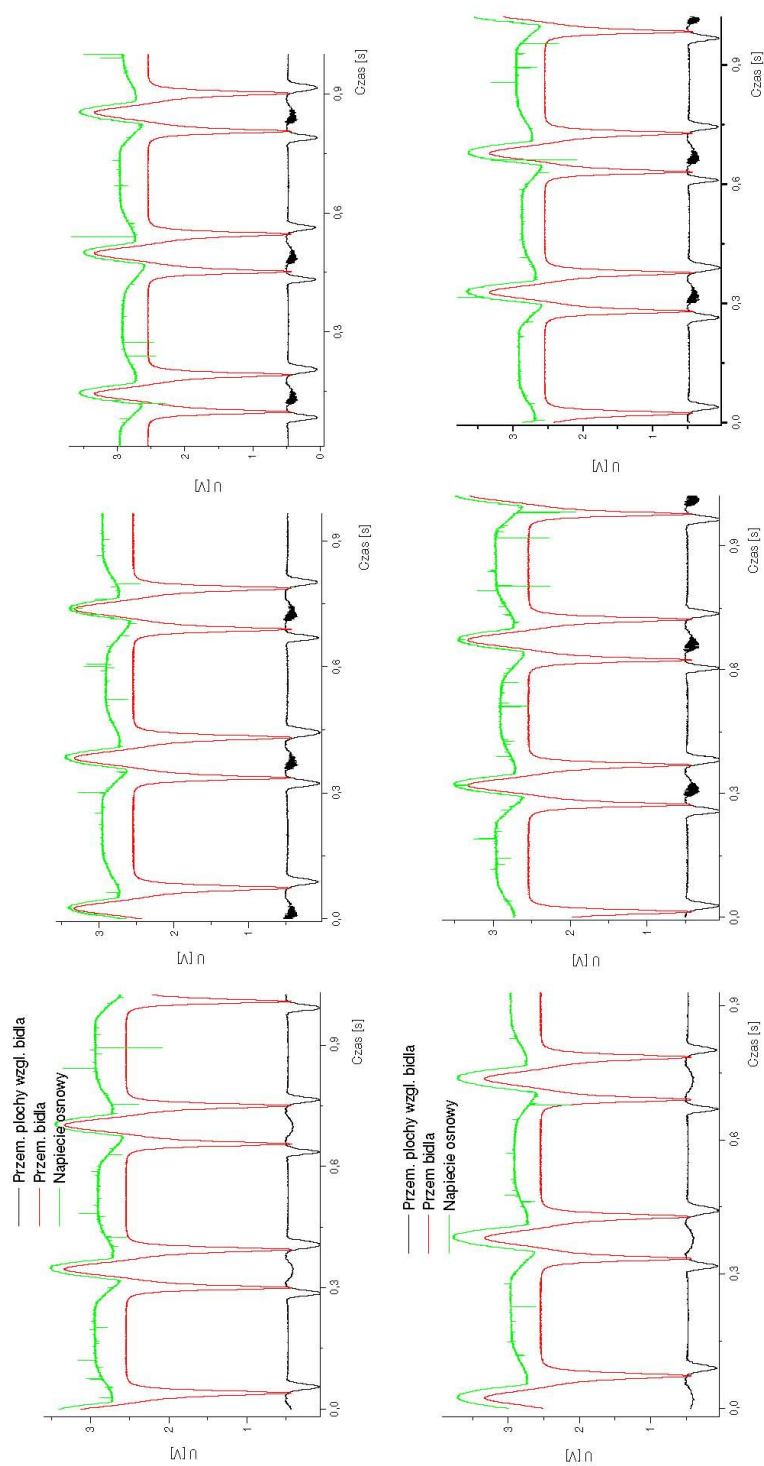
Załącznik 1. Zestaw nieprzeskalowanych wyników badań z jednej serii pomiarowej, pasywne zasilanie osnową strefy tkania, przebiegi: siły napięcia osnowy – czerwony, położenia płytki względem bidła – czarny i położenia bidła – zielony, w funkcji czasu. Zagęszczanie *PS* – przebiegi lewe i *PW* – przebiegi prawe, przypadek: 1, 2, 3, 4



Załącznik 2. Zestaw nieprzeskalowanych wyników badań z jednej serii pomiarowej, pasywnie zasilanie osnową strefy tkania, przebiegi: siły napięcia osnowy – czerwony, położenia płyty względem bidła – czarny i położenia bidła – zielony, w funkcji czasu. Zagęszczanie *PS* – przebiegi lewe i *PW* – przebiegi prawe, przypadek: 5, 6, 7, 8.



Załącznik 3. Zestaw nieprzeskalowanych wyników badań z jednej serii pomiarowej, pasywne zasilanie osnową strefy tkania, przebiegi: położenia płochy względem bidła – czarny i napięcia osnowy – czerwony, w funkcji czasu. Wątek cienki 15 *tex*. Zagęszczanie PS – przebiegi lewe i PW – przebiegi prawe, przypadek: 5, 6, 7, 8.



Załącznik 4. Zestaw nieprzeskalowanych wyników badań z jednej serii pomiarowej, aktywne zasilanie osnową strefy tkania, przebiegi: położenia płochy względem bidła – czarny, napięcia osnowy – zielony, położenia bidła – czerwony, w funkcji czasu.

($Q_0 = 22,3 \text{ N}$, $S = 20 \text{ mm}$ – wiersz górny i $S = 18 \text{ mm}$ – wiersz dolny)

W kolumnie pierwszej przebiegi PS , w kolumnie drugiej – PW , w kolumnie trzeciej – PW ze zmniejszeniem odcinka odbieranej tkaniny

THE VIBRATION BEAT-UP IN THE WEAVING LOOM

Summary

The subject of the work covers the problem of significant improvements of the production of fabric, particularly of the high density of cloth, throughout use of the vibrating motion of reed.

The state of art of the subject is currently limited. The subject has not been sufficiently described in the literature. There exists a gap of information beginning from research carried out in the last century. The up to date operation factors of the weaving machines, especially in the range of velocity, have changed fundamentally since then. Therefore, upgrade and extension of knowledge in that field had been inspiring, requiring research to be done. The research work has been addressed in – depth knowledge of the physical and rheology phenomena occurring during the process of thickening wefts by reed vibrating motion.

Research of the thickening wefts by reed vibration motion was carried out in two ways; as bench testing and simulation studies. The result of research conducted was, the description of the process of thickening wefts by reed vibrating motion and its comparison to the classical process by rigid reed.

In this paper, the possible option for moving vibrating reed driver, since the eldest known, in available literature, until the resent solutions based on mechatronics, was considered. The behavior of the specially adopted for the vibrating thickening process weaving reed was analyzed. The basic dynamic parameters of the vibrating system, condition for proper operation as well as the limitations were determined. The results were verified at the research stand.

Based on the results of the bench tests it has been demonstrated that the vibration of reed during the thickening process allows reducing the dynamic loads on the warp and on the reed. It decreases the load on the beat-up mechanism and leads to its lighter construction. The vibration thickening allows also achieving higher thicknesses of the produced fabric. A simulation model of the beat-up mechanism and a weaving zone has been worked out. The values of the unknown parameters of motion, difficult to estimate, were achieved from the bench tests' results. On the basis of the model, multiparametre analyze of vibration thickening were conducted. The process has been technologically characterized. The impact of the parameters of the vibration thickening process on the beat- up force and the possibility to attain higher thickness of the wefts of fabric has also been analyzed. Simulation studies in the field not covered by the bench tests were conducted.

The process of vibration thickening was considered at an angle of energy. The components of the energy lost to the vibrating beat-up were determined based on a simulation model. The slay energy and vibrating reed driver energy were separated. The values of these energies versus parameters of vibration motion were considered. The instantaneous slay power and the vibrating reed driver power demand has been determined.

Based on the microscopic examination of the highly thickened fabrics, produced during test bench, changes of the geometry of the cross section of wefts were observed. Measurement of the cross section of wefts before and after the vibration thickening shows that increase in the thickness in samples produced using the vibrating reed has its reason in decrease of the area and the shapes of the cross section of wefts.

CHARAKTERYSTYKA ZAWODOWA AUTORA

Maciej Kuchar ukończył studia w roku 1992 na Wydziale Mechanicznym, uzyskując dyplom magistra inżyniera ze specjalnością maszyn włókienniczych. Temat pracy magisterskiej brzmiał: *Układ zasilający zgrzeblarki pokrywkowej* i ukierunkowany był na rozwój konstrukcji maszyn przędzalniczych. Jeszcze w okresie studiów zdobył pierwsze praktyczne doświadczenie zawodowe, z zakresu budowy i eksploatacji samochodów, pracując w firmie motoryzacyjnej na stanowisku specjalisty do spraw części zamiennych. Pracę na Politechnice Łódzkiej rozpoczął w 1993 r. w charakterze nauczyciela akademickiego jako asystent w Instytucie Konstrukcji Maszyn PŁ. W ramach pracy w Instytucie, którą kontynuuje obecnie w Katedrze Pojazdów i Podstaw Budowy Maszyn PŁ, prowadzi wykłady, ćwiczenia, zajęcia projektowe i laboratoryjne dla studentów z różnych lat studiów i wydziałów: Mechanicznego i Elektrycznego (wcześniej wydziałów: Organizacji i Zarządzania i Inżynierii Środowiska). Przedmioty, które prowadzi, obejmują: grafikę inżynierską, podstawy konstrukcji maszyn, komputerowe wspomaganie projektowania i modelowanie przestrzenne w systemach CAD. Zdobył certyfikaty z ukończenia kilku kursów programów do modelowania przestrzennego. W roku 2011 otrzymał nagrodę rektora PŁ za osiągnięcia w działalności dydaktycznej. Równolegle prowadzi prace naukowo-badawcze oraz rozwojowe z zakresu budowy i dynamiki maszyn, głównie: włókienniczych i pojazdów. Brał udział w trzech projektach badawczych KBN, w jednym był kierownikiem.

Prace rozwojowe z zakresu maszyn włókienniczych Maciej Kuchar prowadził w obszarze dynamiki mechanizmu nicielniczego krosna. Prace te zaowocowały w roku 2002 obroną pracy doktorskiej zatytułowanej *Wykorzystanie rezonansu w mechanizmie tworzącym przesmyk do poprawy jego kinetyki*. W ramach projektu KBN pt. *Badania teoretyczne i eksperymentalne wibracyjnego mechanizmu bidłowego w krośnie tkackim*, w którym był kierownikiem, prace rozwojowe nakierowane były na dynamikę mechanizmu bidłowego krosna. W ramach projektu KBN pt. *Metoda tworzenia bezspłotowych struktur tekstylnych*, prowadzone prace rozwojowe dotyczyły opracowania technologii wytwórczej. Jest autorem projektu konstrukcyjnego zgrzewarki do wyrobu siatek budowlanych metodą bezspłotową. Prace rozwojowe z zakresu pojazdów prowadził w ramach projektu KBN pt. *Problemy tribologiczne bezkrzywkowego napędzania zaworów rozrządu tłokowego silnika spalinowego*. Prace obejmowały dynamiką układu rozrządu silnika spalinowego. W ramach badań własnych zajmował się amortyzatorami samochodowymi w aspekcie dynamiki drgań nadwozia oraz rekuperacji energii. Maciej Kuchar jest współautorem dwóch zgłoszeń patentowych z obszaru budowy maszyn, zatytułowanych: *Nicielnica* i *Kulowy popychacz obrotowy*.

W ramach prac dodatkowych Maciej Kuchar zdobył praktyczne doświadczenie inżynierskie w przemyśle energetycznym. Pracował w charakterze projektanta w biurze projektów. Zajmował się pracami projektowymi i kontrolno-pomiarowymi związanymi z technologią cieplną. Zdobył uprawnienia SEP z zakresu prac

kontrolno-pomiarowych urządzeń energetycznych. Jest autorem lub współautorem projektów, między innymi: rurociągów wysokoprężnych, kanałów spalin czy wielkogabarytowej armatury ciepłowniczej, nie tylko dla Zespołu Łódzkich Elektrociepłowni.

Maciej Kuchar jest autorem lub współautorem 23 publikacji w czasopismach, również o zasięgu międzynarodowym i również z listy filadelfijskiej, m.in. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, *Journal of KONES Powertrain and Transport*, *Combustion Engines*, *Przegląd Elektrotechniczny*, *Tribologia*, *Przegląd Włókienniczy*. Brał aktywny udział w kilkunastu konferencjach o zasięgu międzynarodowym.

