

Włodzimierz KAWKA, Mariusz RECZULSKI

e-mail: wlkawka@p.lodz.pl

Instytut Papiernictwa i Poligrafii, Politechnika Łódzka, Łódź

Konsolidacja wstęgi papieru w prasie powietrznej. Cz. II

Wprowadzenie

W pierwszej części pracy [1] przedstawiono budowę stoiska badawczego. Badano na nim proces odwadniania i odkształcania papieru o gramaturze 120 g/m^2 przeznaczonego do filtracji powietrza i oleju dla motoryzacji [2, 3].

Skład masy był następujący:

- 50% celuloza siarczanowa bielona sosnowa,
- 50% celuloza bukowa wiskozowa.

Jako dodatki do masy zastosowano:

- *Melaform PM 80*,
- siarczan glinu.

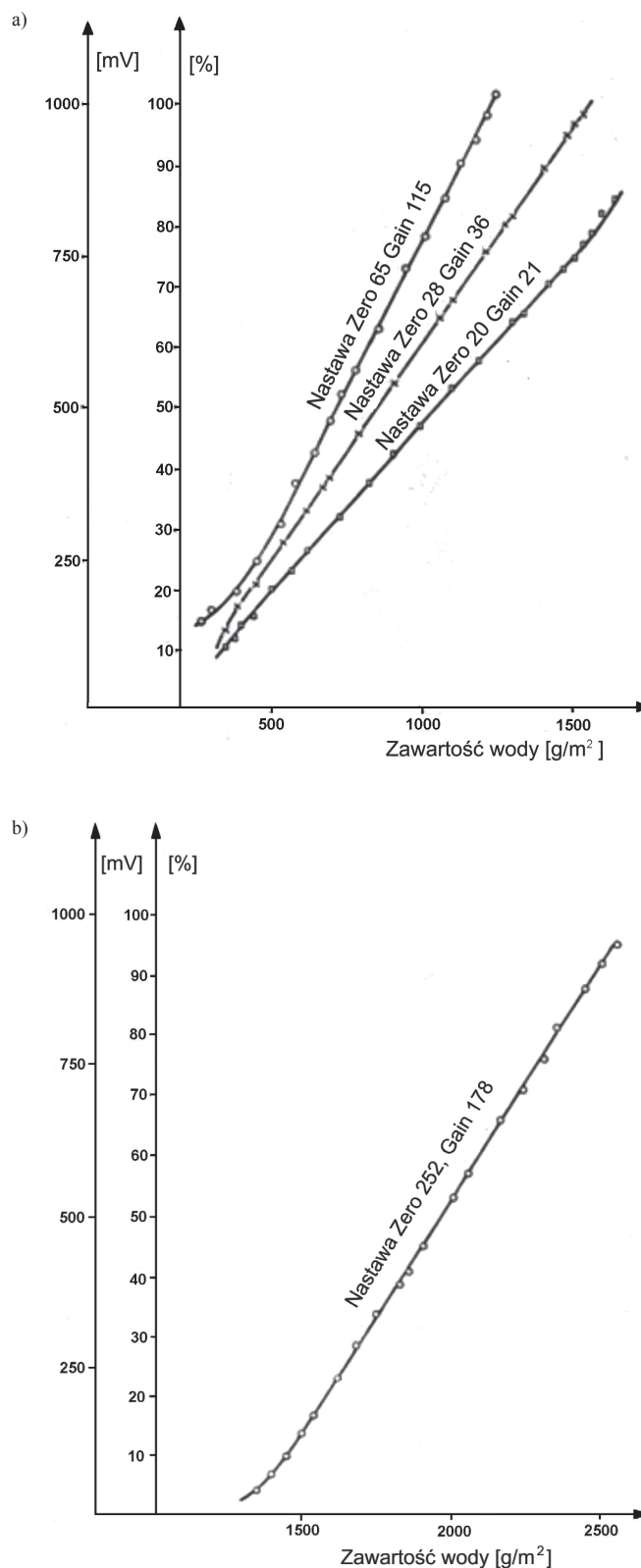
Próbki papieru z tej masy były formowane w aparacie do dynamicznego formowania papieru firmy *Allimand*.

Metodyka wyznaczania charakterystyk odwadniania próbek $Q_w = f(t)$

Charakterystyki $Q_w = f(t)$ wyznaczono na podstawie pomiaru ilości wody odprowadzanej z tych próbek w czasie ich przedmuchowego odwadniania przy stałym spadku ciśnienia $\Delta p = \text{const}$. Do pomiarów ciągłych stosowano aparat typu *M/K Systems* (USA) o czułości $500 \text{ mV}/(\text{kg/m}^2)$ i częstotliwości własnej 1 kHz . Czujnik tego aparatu typu *M/K Systems 400 R* zainstalowano bezpośrednio pod badaną próbką papieru. Sygnał z czujnika kierowano poprzez wzmacniacz do oscyloskopu i zarejestrowano w jego pamięci. Na czujniku umieszczony był bardzo higroskopijny papier o gramaturze 900 g/m^2 , który wchłaniał (bardzo szybko i równomiernie) wodę usuwaną z próbki. Papier ten formowano w aparacie *Rapid – Köthen* z masy otrzymanej po rozwłóknieniu papieru chromatograficznego *Whatmana*, który charakteryzuje się bardzo szybkim i równomiernym wchłanianiem wody w postaci rozproszonej w strumieniu powietrza. Dla odpowiednich ilości wody wchłanianej przez papier higroskopijny (stanowiących wzorowanie ilości wody usuwanej z badanej próbki papieru) ustalono wcześniej właściwe nastawy wzmacniacza aparatu *M/K Systems* tak, aby zachowana była liniowość pomiędzy ilością wchłoniętej wody w g/m^2 a sygnałem napięciowym, przekazywanym z czujnika wilgotności do odpowiedniego kanału pamięci oscyloskopu. Odpowiednie charakterystyki czujnika podano na rys. 1 a i b.

Nad ekranem oscyloskopu umieszczono skalę w g/m^2 , za pomocą której można było określić zawartość wody w papierze higroskopijnym w dowolnej chwili czasu. Przebieg odwadniania badanej próbki (odwzorowany na papierze higroskopijnym) rejestrowano w pamięci oscyloskopu, następnie odtwarzano i fotografowano przy użyciu specjalnej nakładki na ekran oscyloskopu. Przy odczycie (ze zdjęć) ilości wody w g/m^2 , odprowadzonej z próbki papieru, odejmowano początkową zawartość wody w papierze higroskopijnym (powietrze suchym). Na podstawie tych pomiarów wyznaczono charakterystyki $Q_w = f(t)$ dla wszystkich badanych papierów przy różnych wartościach różnicy ciśnień po obu stronach próbek.

Dla każdego rodzaju papieru i każdej wartości Δp rejestrowano w pamięci oscyloskopu przebieg odwadniania 10 próbek w zakresie suchości od $s_p = 10\%$ do suchości teoretycznej tzw. możliwej do uzyskania bez doprowadzania ciepła ($s_k = s_p$). Suchość początkową s_p mokrych arkuszy papierów, z których wycinane były próbki do badań, określano metodą wagową wg normy PN-53/p-04013 a ich gramaturę zgodnie z normą PN-53/p-4007.



Rys. 1. Charakterystyka czujnika aparatu M/K Systems typu MK 401 do pomiaru zawartości wody w papierze, a) w zakresie od 400 do 1500 g/m^2 , b) w zakresie od 1450 do 2540 g/m^2

W dalszych rozważaniach brano pod uwagę tylko próbki wycięte z arkuszy o suchości $s_p = 10\%$ z tolerancją $\pm 0,3\%$. Odnośnie gramatury stosowano tolerancję $\pm 0,001 \text{ kg/m}^2$. Przy ustalonych warunkach pracy urządzenia formującego nie było problemów z uzyskaniem co najmniej pięciu takich próbek.

W czasie badań procesu przedmuchiowego odwadniania tych próbek po ustaleniu określonej wartości ciśnienia p_o w komorze ciśnieniowej, urządzenia przedmuchiowego, przy przepływie powietrza przez materiał wzorcowy, wprowadzano do urządzenia ramkę pomiarową z badaną próbką papieru. Ramka zajmowała położenie początkowe, a powietrze przepływało chwilowo przez materiał wzorcowy założony w pierwszej części ramki (o podobnej przepuszczalności). Po ustaleniu się i zmierzeniu wartości ciśnienia p_o po przesuwano ramkę. Zajmowała ona teraz położenie robocze. W ten sposób unikano wpływu fali uderzeniowej powietrza na wyniki pomiarów. Przednia krawędź ramki, uderzając w ramię mikrołącznika, powodowała włączenie elektronicznego regulatora czasu, sterującego zaworem elektromagnetycznym na rurociągu, doprowadzającym powietrze do komory ciśnieniowej. Wyłączał on dopływ powietrza do tej komory po określonym czasie t_o . W tej części pomiarów (przy ciągłej rejestracji odwodnienia) stosowano długie czasy przedmuchu $t_o = 2 \div 10 \text{ s}$.

Przez cały czas czujnik ciśnienia aparatu firmy Kistler przesyłał sygnał do odpowiedniego kanału pamięci oscyloskopu tak, że wartość ciśnienia p_o w komorze ciśnieniowej była znana z dokładnością do 1%.

Oprócz opisanych wyżej pomiarów ciągłych ilości wody odprowadzanej z próbek wykonano szereg pomiarów okresowych suchości próbek przed i po operacji ich przedmuchiowego odwadniania.

Pomiary suchości wykonano tradycyjną metodą ważenia próbek. Z mokrego arkusza papieru wycinano w tym celu próbki do pomiaru suchości początkowej s_p i gramatury q oraz próbki (o wymiarach 92×142), które umieszczano na sicie ramki pomiarowej urządzenia przedmuchiowego i poddawano procesowi odwadniania przy różnych wartościach różnicy ciśnień Δp po obu stronach próbki, Δp w zakresie $10 \div 60 \text{ kPa}$ oraz w różnych czasach t_o w zakresie $0,1 \div 10,0 \text{ s}$. Czas przedmuchu powietrza o określonym ciśnieniu przez próbkę ustalono za pomocą elektronicznego regulatora czasu. Po wyłączeniu dopływu powietrza do komory ciśnieniowej urządzenia przedmuchiowego wyjmowano ramkę pomiarową i określano suchość próbki s_k metodą wagową.

Ilość wody odprowadzonej z próbki o określonym czasie t_o obliczano ze wzoru:

$$Q_w = \frac{q \cdot 100}{\rho_w} \left(\frac{1}{s_p} - \frac{1}{s_k} \right) \quad (1)$$

A ilość wody swobodnej pozostałej w próbce (tylko dla $s_k \leq s_T$) z zależności:

$$V_w = \frac{q \cdot 100}{\rho_w} \left(\frac{1}{s_k} - \frac{1}{s_T} \right) \quad (2)$$

Przy wartościach $s_k > s_T$ parametr ten będzie miał znak „-” i określa wodę związaną usuniętą z próbki na drodze jej suszenia. Te wartości nas nie interesują, więc nie będą obliczane.

Z przeprowadzonej analizy obliczeń wynika, że:

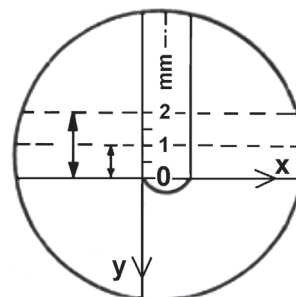
- Średnie odchyłki pomiaru suchości były równe $\pm 0,35\%$, a maksymalny błąd względny wynosił $2,0\%$;
- Średnie odchyłki obliczeń odwodnienia Q_w wynosiły od $\pm 0,005 \cdot 10^{-3}$ do $0,008 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m}^2$ w zależności od gramatury próbki, a maksymalny błąd względny zawierał się w granicach od $0,6$ do $1,4\%$.

Metodyka wyznaczania charakterystyk odkształcenia próbek $b = f(t)$

W celu wyznaczenia zależności $b = f(t)$ dla danego papieru, przy różnych wartościach Δp filmowano proces przedmuchiowego odwadniania próbek tych papierów w urządzeniu przedmuchiowym. Układ optyczny wyregulowany był w taki sposób, aby obraz szczeliny (w przesłonie) na sicie ramki pomiarowej w położeniu roboczym tworzył bardzo ja-

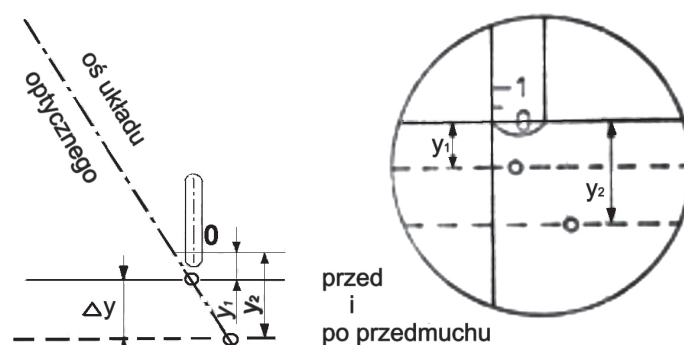
sną i wyraźną linię o długości $1 \div 2 \text{ mm}$. Obiektyw kamery (oś obiektywu uchylona była od płaszczyzny poziomej o 5°) zapewniał widoczność poprzez pryzmat zarówno punktu odniesienia na wyskalowanym wskaźniku, jak i wyświetlanej przez układ optyczny kreski pomiarowej. Wskaźnik oraz powierzchnię próbki oświetlano lampą mikroskopową w taki sposób, że najwyraźniej odznaczała się kreska pomiarowa. Częstotliwość pracy kamery ustalono na 1000 zdjęć w ciągu sekundy. Kamerę włączano tuż przed uruchomieniem silnika przesuwu ramki. Podczas procesu przedmuchiowego odwadniania próbki, kamera rejestrowała obniżenie się kreski pomiarowej wyświetlanej na jej powierzchni. Na brzegu taśmy filmowej rejestrowano czas procesu za pomocą elektronicznego znacznika czasu. Umożliwiało to bardzo dokładne (z dokładnością do $0,001 \text{ s}$) ustalenie czasu, w jakim zachodziły sfilmowane etapy obniżania się powierzchni próbki.

Po wywołaniu taśmy zarejestrowany obraz analizowano przy użyciu analizatora mikroskopowego. Najpierw ustalono skalę pomiarową i filmu (Rys. 2). Krzyż obiektywu ustawiono za pomocą śrub mikrometrycznych w układzie współrzędnych prostokątnych w taki sposób, aby pionowa linia krzyża pokrywała się z krawędzią boczną wskaźnika, a linia pozioma przechodziła przez punkt zerowy podziałki, naniesionej na tym wskaźniku. Znając rzeczywiste wartości odległości pomiędzy kreskami podziałki na wskaźniku odczytywano kilkakrotnie odpowiadające im wartości na bębnie analizatora. Ustalono, że skala pomiarowa i wynosi $1 \div 1,25$.



Rys. 2. Schemat do określenia skali pomiarowej filmu

Sposób odczytu wielkości deformacji wstęgi Δy na poszczególnych klatkach filmu wyjaśniono na rys. 3.



Rys. 3. Schemat do określenia wielkości odkształcenia próbki z filmu

Odczytywano wartość odległości plamki wyświetlanej na powierzchni próbki od kreski zerowej zaznaczonej na skali wskaźnika. Ponieważ badano próbki o suchości początkowej $s_p \geq 10\%$, a więc nigdy na powierzchni próbki nie występowało lustro wody i zmiany położenia plamki pomiarowej obrazowały zmiany grubości próbki z dokładnością zależną od chropowatości jej powierzchni. Wielkość odkształcenia próbki określano z zależności:

$$\Delta b = (y_2 - y_1) i \quad (3)$$

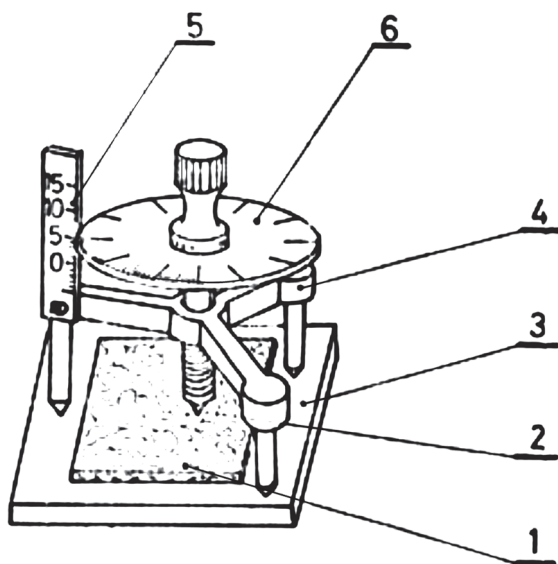
a wartość parametru b ze wzoru:

$$b(t) = b_p - \Delta p \quad (4)$$

Odczyty wartości parametru y (z dokładnością do 0,005 mm) wykonano z klatek filmu w odstępach czasowych co 0,025 s. Odpowiadało to długości taśmy filmowej, równej 195 mm. Do dalszych rozważań brano średnią wartość odczytów z dwóch sąsiednich klatek filmu. Różnica czasu między tymi odczytami (klatkami filmu) wynosiła zaledwie 0,002 s. Dla tego rodzaju papieru filmowano proces odkształcania dziesięciu próbek przy zmianie ich suchości od wartości początkowej $s_p = 10\%$ do końcowej $s_k > s_T$, podobnie jak to zrobiono w przypadku rejestracji odwodnienia próbek.

W każdym arkuszu papieru o suchości początkowej $s_p \approx 10\%$ mierzono grubość b_p w dziesięciu miejscach na całej jego powierzchni. Do dalszych rozważań brano średnią wartość z tych pomiarów.

Pomiaru grubości mokrego papieru dokonywano za pomocą odpowiednio przystosowanego sferometru (Rys. 4). Na końcu śruby mikrometrycznej sferometru zamocowano pisak – 2, który po zetknięciu z powierzchnią mokrego papieru, leżącego na szklanej płytce, powodował powstawanie bardzo wyraźnego śladu. Umożliwiało to określenie właściwej chwili odczytu wartości mierzonej b_p . Ten sposób pomiaru grubości mokrego papieru zapewniał dokładność odczytu $\pm 0,01$ mm przy dokładności przyrządu równej $\pm 0,001$ mm.



Rys. 4. Sferometr, 1 – próbka papieru, 2 – pisak, 3 – podstawa, 4 – stojak, 5 – listwa pomiarowa, 6 – tarcza pomiarowa

Niezależnie od ciągłej rejestracji na taśmie filmowej zmian grubości próbek papierów w urządzeniu przedmuchowym, dokonywano okresowych pomiarów (za pomocą sferometru) grubości próbek wyjmowanych z tego urządzenia po odpowiednim odwodnieniu. Umożliwiało to kontrolę prawidłowości wykonywania pomiarów odkształcania próbek metodą ciągłą i okresową, jak również określenie wielkości ewentualnych odkształceń sprężystych próbek wewnątrz komory ciśnieniowej.

Wnioski

W oparciu o analizę wyników uzyskanych w czasie badań materiału doświadczalnego można sprecyzować szereg wniosków końcowych:

1. Grubość wstęgi papieru w czasie procesu jej przedmuchowego odwadniania zmienia się zgodnie z zależnością:

$$b(t) = b_k + \psi V_w(t) \quad (5)$$

przy czym ψ oznacza współczynnik odkształcenia zależny głównie od elastyczności włókien.

2. Wartość tego współczynnika dla badanych próbek papieru filtracyjnego wyniosł ok. 0,4.
3. Nie stwierdzono występowania odkształceń sprężystych papieru filtracyjnego w czasie ich przedmuchowego odwadniania przy różnicy ciśnień nie większej od 60 kPa. Po odciążeniu próbka nie rozpręża się (nie pęcznieje). Odkształcenie wstęgi powstaje przede wszystkim od przesunięć względnych i przemieszczeń poszczególnych włókien. Mokre włókna zmieniają swój kształt, ale ich objętość pozostaje niezmienną dopóki nie występuje skurcz charakterystyczny dla suszenia wstęg włóknistych.
4. Grubość papieru podczas jego przedmuchowego odwadniania maleje ze zmienną szybkością. Początkowo szybkość ta jest dość znaczna, stopniowo maleje, osiągając wartość bliską zera przy suchości papieru zbliżonej do wartości teoretycznej s_T , przy czym grubość papieru zmniejsza się do stałej wartości, równej b_k , niezależnie od wartości różnicy ciśnień Δp .
5. Intensywność przedmuchowego odwadniania badanych papierów maleje w miarę wzrostu ich suchości. Bez względu na wartość różnicy ciśnień po obu stronach odwadnianej wstęgi, minimalna (bliska zera) wartość tego parametru występuje przy tej samej suchości papieru $s_k \approx s_T$. Wzrost wielkości różnicy ciśnień powoduje zwiększenie średniej intensywności odwadniania.
6. Za pomocą nieogranzonego powietrza można całkowicie usunąć z papieru wodę swobodną, uzyskując jego suchość na poziomie suchości teoretycznej s_T . Wartość tego parametru może być z wystarczającą dokładnością określona w oparciu o wskaźniki WRV wg *Jayme'a*. Konieczną i wystarczającą wartość czasu przedmuchu t , można określić analitycznie [1].
7. Dla badanych próbek papieru filtracyjnego parametr ten zawiera się w szerokich granicach od 0,5 do 3,0 s w zależności od wielkości różnicy ciśnień Δp . Dalszy wzrost suchości papieru wymaga jego suszenia przy użyciu powietrza o podwyższonej temperaturze.
8. Intensywność odwadniania badanych próbek papieru filtracyjnego była bardzo duża i zawierała się w zależności od różnicy ciśnień $\Delta p = 0,5 \cdot 10^{-3} \div 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$. Są to wielkości dziesięciokrotnie większe w porównaniu z konwencjonalnymi metodami odwadniania tych papierów, co umożliwia ich wytwarzanie w optymalnych warunkach gwarantujących wysoką jakość wytworów, tzn. stosowanie początkowego stężenia włókien w wodzie rzędu 0,05%. Wysoka efektywność procesu przedmuchowego odwadniania papierów i kartonów wynika z przetłaczania przez nie powietrza o zwiększonej gęstości oraz wyeliminowania zjawiska wtórnego nawodnienia wstęgi.
9. Dane uzyskane podczas badań dają podstawę do zaproponowania nowego systemu urządzeń w maszynach papierniczych wytwarzających papiery i kartony chłonne o najwyższej jakości z zastosowaniem pras lub odwadniarek powietrznych, a następnie urządzeń suszących papier metodą przepływu odpowiednio ogrzanego powietrza.

LITERATURA

- [1] *W. Kawka, M. Reczulski*: Inż. Ap. Chem. **48**, nr 2, 63 (2009).
- [2] *W. Kawka*: Archiwum Budowy Maszyn **48**, nr 2, 161 (2001).
- [3] *W. Kawka W., R. Rogut, A. Szymański*: Przegląd Papierniczy **64**, nr 8, 457 (2008).