

Ciśnienie i docisk oraz szerokość strefy kontaktu między cylindrami i wałkami w drukującej maszynie offsetowej – przegląd literatury

Wstęp

W poligrafii, a dokładnie w drukowaniu offsetowym, występuje kilka pojęć związanych z oddziaływaniem na siebie z pewną siłą dwóch ciał o kształcie cylindrycznym. Są to: ciśnienie – w polskiej literaturze poligraficznej równoważne naciskowi, ciśnienie liniowe – równoważne naciskowi liniowemu, oraz docisk – zwany czasem dociskiem metrycznym. Pojęcia te w poligrafii nie zawsze rozumiane są tak samo jak w fizyce.

Ciśnienie, w polskiej poligrafii często nazywane naciskiem, rozumiane jest jako siła oddziałująca prostopadłe na powierzchnię, podzielona przez wielkość tej powierzchni i wyrażona najczęściej w jednostce N/cm^2 . W fizyce nacisk zdefiniowany jest jako siła działająca prostopadłe do powierzchni, której jednostką jest N . Pod pojęciem ciśnienia liniowego (w polskiej literaturze poligraficznej nazywanego naciskiem liniowym) w poligrafii kryje się siła oddziałująca na odcinek, podzielona przez długość tego odcinka i wyrażona najczęściej w N/cm . W latach 50. i na początku lat 60. ubiegłego wieku w publikacjach dotyczących badań wykonywanych na maszynach drukujących nazywano ciśnieniem wielkość, której jednostką był kg/cm^2 , a ciśnieniem liniowym – wielkość, której jednostką był kg/cm .

W odniesieniu do drukowania offsetowego docisk jest czymś zupełnie innym niż ciśnienie czy nacisk.

Dla maszyn ze stykającymi się w trakcie drukowania pierścieniami odtaczania docisk, nazywany czasem dociskiem metrycznym [46], dla strefy kontaktu cylindra pośredniego z cylindrem formowym wyliczany jest poprzez zsumowanie wysokości, na jaką forma drukowa wystaje ponad pierścienie odtaczania cylindra formowego oraz wysokości, na jaką obciąż wystaje ponad pierścienie odtaczania cylindra pośredniego. W przypadku maszyn, których pierścienie odtaczania nie stykają się podczas drukowania, od tej sumy odejmuje się jeszcze odległość między nimi. Inaczej: docisk – dla obu stref kontaktu pomiędzy cylindrami drukującymi – jest głębokością, na jaką ugnie się obciąż po dociśnięciu cylindra pośredniego do drugiego cylindra. Docisk może być regulowany na dwa sposoby: poprzez stosowanie odpowiednich podkładów pod obciążeniem gumowym i pod formą drukową oraz poprzez przystawianie i odstawianie cylindra pośredniego do dociskowego lub dociskowego do pośredniego (znacznie rzadziej).

Według Ciupalskiego [4] rozkład ciśnienia na szerokości strefy kontaktu zależy od:

- rodzaju obciążenia i jego właściwości; miękki obciążenie – większa szerokość strefy kontaktu, mniejsza wartość maksymalnego ciśnienia i największa całkowita wartość ciśnienia; twardszy obciążenie – mniejsza szerokość strefy kontaktu i większa wartość maksymalnego ciśnienia,
- prędkości drukowania – większa prędkość daje mniejszą szerokość strefy kontaktu oraz większe ciśnienie.

Według Franklin [16] ciśnienie pomiędzy cylindrami drukującymi jest drugim co do istotności czynnikiem (zaraz po właściwościach papieru) wpływającym na jakość odbitek. Dla jakości odbitek drukowanych na papierze powlekanym ciśnienie to ma większe znaczenie niż dla odbitek drukowanych na papierze niepowlekanym.

Badania eksperymentalne dotyczące ciśnienia i szerokości strefy kontaktu pomiędzy wałkami i cylindrami

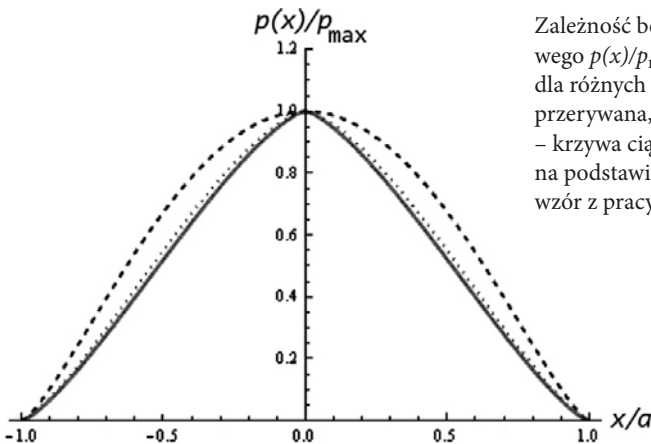
W latach 50. i na początku lat 60. ubiegłego wieku wykonywano badania mające na celu pomiar ciśnienia pomiędzy cylindrami drukującymi [15, 36]. Korzystano wtedy jeszcze z obciążeń niekompresyjnych. W ramach badań modyfikowano cylindry, robiąc w nich zagłębienia i umieszczając w nich czujnik, np. tensometr, tak aby jego górna powierzchnia była na równi z powierzchnią cylindra. Zauważono, że ciśnienie powstające pomiędzy cylindrami ma duży wpływ na jakość odbitek. W latach późniejszych wynaleziono obciążenia kompresyjne, które wyeliminowały wiele problemów pojawiających się w przypadku drukowania z użyciem obciążeń konwencjonalnych. Pierwszy obciążenie kompresyjne opatentowano w roku 1966 [47], a w 1976 [19] roku opatentowano już obciążenie bardzo podobny w swojej budowie do współczesnego. Pierwszy materiał gumopodobny z pęcherzykami powietrza w środku, podobny do warstwy kompresyjnej, opatentowano w roku 1950 [39].

W 1959 roku Nordman i inni [36] opisali doświadczenie dotyczące pomiaru ciśnienia pomiędzy cylindrem pośrednim a cylindrem dociskowym. W celu wykonania pomiaru ciśnienia zamocowali w formie złożonej z kilku metalowych blach skręconych razem przycisk znajdujący się na dwóch kryształach kwarcu. Górna powierzchnia przycisku znajdowała się na równi z górną powierzchnią formy. Przycisk miał szerokość równą 1 mm. Pod wpływem ciśnienia powstającego pomiędzy dwoma ściskanymi cylindrami następowało przyciśnięcie przycisku, który naciskał na dwa równoległe kryształy, w wyniku czego powstawała różnica potencjałów pomiędzy elektrodą a górną i dolną powierzchnią kryształów. Potencjał – proporcjonalny do ciśnienia – był mierzony przez elektrometr sprzężony z transformatorem impedancji. Następnie napięcie było transferowane do oscyloskopu, na którym wyświetlał się wykres napięcia proporcjonalny do ciśnienia. Wykonano pomiary ciśnienia bez papieru oraz z papierem. Użyto różnego rodzaju papieru. Zaobserwowano, że nierówności i struktura papieru mają duży wpływ na odczytane ciśnienie. Maksymalne odczytane ciśnienie dla różnych rodzajów papieru mieściło się w granicach od około 36 kg/cm² do 57 kg/cm². Po pomnożeniu tych wartości przez przyspieszenie ziemskie otrzymano wartość współcześnie używanego ciśnienia

w granicach od około 352 N/cm^2 do około 558 N/cm^2 . Wyliczona z pomiarów szerokość strefy kontaktu wynosiła od $5,9 \text{ mm}$ do $7,0 \text{ mm}$. Stwierdzono, że przy badaniu bez farby kształt krzywej rozkładu ciśnienia jest symetryczny względem środka. Natomiast przy badaniu z farbą krzywa staje się niesymetryczna względem środka strefy kontaktu.

Badania, które przeprowadzono na początku lat 60., były bardzo drogie, gdyż zakładały modyfikację maszyny drukującej [15] – wykonano zagłębienie w cylindrze pośrednim i umieszczono pod obciążeniem konwencjonalnym tensometr. Zmierzono ciśnienie dla różnych prędkości i dla różnych docisków. Drgania powstające w trakcie pracy maszyny powodowały duże błędy w pomiarach. W artykule [15] przyjęto, że liniowe ciśnienie drukujące wyniosło 5 kg/cm , a minimalne ciśnienie liniowe – $2,5 \text{ kg/cm}$. Po przemnożeniu przez przyspieszenie ziemskie otrzymuje się liniowe ciśnienie drukujące w wysokości około 49 N/cm , a minimalne liniowe ciśnienie w wysokości około 25 N/cm . Przedstawiono wykresy rozkładu ciśnienia w zależności od szerokości strefy kontaktu, które uwzględniały zależność rozkładu ciśnienia i szerokości strefy kontaktu przy różnych prędkościach drukowania (od 1 do 6000 obrotów cylindra na godzinę), przy różnych rodzajach obciążu (miękkim, średnim bądź twardym) oraz przy różnym docisku cylindrów. Zakres maksymalnego ciśnienia mieścił się w granicach od 35 g/mm^2 , co po przemnożeniu przez przyspieszenie ziemskie dało około 34 N/cm^2 dla obciążu miękkiego przy najmniejszej prędkości drukowania i przy najmniejszym docisku, do 280 g/mm^2 , co po przemnożeniu przez przyspieszenie ziemskie dało około 275 N/cm^2 dla obciążu twardego, największej prędkości drukowania i dla największego docisku. Szerokość strefy kontaktu zgodnie z tymi badaniami wynosiła od 4 mm do 10 mm . Nie podano informacji, pomiędzy którą parą cylindrów wykonano pomiary.

Podobne badania przy innym sposobie przesłania danych z tensometru i ich wyświetlenia przedstawiono w artykule autorstwa Jin-zhi Wu i Zhong-zhi Gong [66] z 1988 roku. Otrzymane wyniki: rozkład ciśnienia na szerokości strefy kontaktu oraz wartość maksymalnego ciśnienia w zależności od docisku są zbliżone do



Zależność bezwymiarowego ciśnienia kontaktowego $p(x)/p_{\max}$ od bezwymiarowego parametru x/a dla różnych wartości parametru k : $k = 2$ – krzywa przerywana, $k = 1,5$ – krzywa kropkowana, $k = 1,4$ – krzywa ciągła; $n = 1,37$. Wykres sporządzony na podstawie wzoru (1) poprawiającego wzór z pracy Jin-zhi Wu i Zhong-zhi Gong [66]

tych przedstawionych w artykule [15], a mianowicie: dla najmniejszego docisku, równego 0,05 mm, maksymalne ciśnienie wynosi 2 kg/cm² – po pomnożeniu przez przyspieszenie ziemskie daje to około 20 N/cm², a dla maksymalnego docisku, równego 0,225 mm, maksymalne ciśnienie wynosi 18 kg/cm² – po pomnożeniu przez przyspieszenie ziemskie daje to około 177 N/cm². Nie została tu uwzględniona zmiana prędkości drukowania. Jin-zhi Wu i Zhong-zhi Gong nie podali w swojej pracy [66], z jakiego rodzaju obciążu korzystają – można się jedynie domyślać, że użyli obciążu konwencjonalnego.

Jin-zhi Wu i Zhong-zhi Gong [66] wprowadzili wzór na ciśnienie w dowolnym miejscu strefy kontaktu. Wzór ten wymaga poprawienia, tj. wstawienia wartości bezwzględnej $|x|$ w miejsce x . Zatem jego poprawna postać jest następująca:

$$p(x) = p_{\max} \left[1 - \left(\frac{|x|}{a} \right)^k \right]^n \quad (1)$$

gdzie

a – połowa szerokości strefy kontaktu; p_{\max} – maksymalne ciśnienie w strefie kontaktu;
 λ – ogólne odkształcenie cylindrów (zbliżenie cylindrów);
 A, k, n – współczynniki wyznaczone eksperymentalnie.

Po poprawce wzór ten ma sens dla wszystkich wartości x z obszaru kontaktu $-a \leq x \leq a$. Zgodnie z treścią artykułu wyznaczono eksperymentalnie następujące wartości współczynników $p_{\max} = A\lambda^n$, $A = 137,5$, $\lambda = 0,1$ mm, $n = 1,37$ i $k = 1,4$. Współczynnik $k = 1,4$, czyli o wartości mniejszej niż 1,5, powoduje powstanie kąta ostrego w miejscu przecięcia się krzywej z osią ciśnienia, a nie gładkiej funkcji jak na wykresie w artykule [66].

W 1996 roku Lim i inni zajęli się zagadnieniem ciśnienia pomiędzy wałkami w maszynie offsetowej, ale tym razem wykonano badania na wałkach farbowych [37], a nie na cylindrach drukujących. Wałki farbowe są w pewnym stopniu podobne do cylindrów z zamocowanymi obciążami konwencjonalnymi. W zespole farbowym kontakt występuje zawsze pomiędzy dwoma wałkami, z których jeden jest twardy – metalowy, a drugi miękki – o metalowym rdzeniu pokrytym warstwą gumy. W artykule [37] przedstawiono modelowanie numeryczne ciśnienia powstałego z przepływu farby pomiędzy wałkiem twardym a wałkiem pokrytym warstwą gumy, oraz grubości warstwy farby w strefie kontaktu. Dla porównania wyników badacze przeprowadzili eksperyment, w którym badali ciśnienie. Przetworniki ciśnienia umieszczone na wałkach przekazywały sygnał do komputera zaopatrzonego w specjalny system przechwytywania tych sygnałów. Pomiar ciśnienia w strefie kontaktu wskazuje na powstanie ujemnego ciśnienia na końcu strefy kontaktu, czego nie potwierdzają obliczenia numeryczne. Przy prędkości 1 m/s i ugięciu 0,1 mm większe podobieństwo występuje przy module elastyczności gumy 3 MPa, a nie 2 MPa.

Bohan i inni kontynuowali te badania, opisując je w kolejnym artykule [3]. W ramach badań zamocowano dwa przetworniki ciśnienia – jeden we wgłębieniu na wałku metalowym, tak aby nie wystawał on nad jego powierzchnię, a drugi

w rdzeniu metalowym na styku z warstwą gumy pokrywającą ten rdzeń. Wykonane zostały pomiary dla dwóch przypadków: z olejem przypominającym farbę – mokry kontakt, i bez oleju – suchy kontakt. Stwierdzono, że ciśnienie pomiędzy wałkami w zespole farbowym jest mniejsze niż w przypadku pary cylindrów drukujących i wyniosło zgodnie z doświadczeniem dla suchego kontaktu 12 N/cm^2 przy maksymalnym ugięciu wałka miękkiego równym $0,1 \text{ mm}$ oraz prędkości równej $0,2 \text{ m/s}$, co spowodowało powstanie strefy kontaktu o szerokości wynoszącej około $5,5 \text{ mm}$. Po zmianie prędkości na 1 m/s ciśnienie zmalało do około 8 N/cm^2 , co spowodowało zmniejszenie szerokości strefy kontaktu do około $3,5 \text{ mm}$. Przy zwiększeniu głębokości penetracji wałka twardego w miękkim do $0,3 \text{ mm}$ ciśnienie wyniosło około 31 N/cm^2 przy prędkości równej $0,2 \text{ m/s}$, a szerokość strefy kontaktu – około 8 mm . Ciśnienie około 32 N/cm^2 powstało przy większej prędkości, równej 1 m/s , powodując powstanie szerokości strefy kontaktu wynoszącej około $6,5 \text{ mm}$.

Przy kontakcie mokrym maksymalne ciśnienie w strefie kontaktu wynosiło około 16 N/cm^2 przy ugięciu wałka miękkiego o $0,1 \text{ mm}$ i prędkości równej $0,2 \text{ m/s}$, co spowodowało powstanie strefy kontaktu o szerokości około 5 mm . Dla prędkości równej 1 m/s maksymalne ciśnienie wyniosło około 11 N/cm^2 przy ugięciu wałka wynoszącym $0,1 \text{ mm}$, a szerokość strefy kontaktu osiągnęła wtedy około 4 mm . Przy penetracji wałka metalowego do $0,3 \text{ mm}$ maksymalne ciśnienie wyniosło około 32 N/cm^2 przy prędkości równej $0,2 \text{ m/s}$, a szerokość strefy kontaktu – około $8,5 \text{ mm}$. Maksymalne ciśnienie na poziomie 34 N/cm^2 powstało przy większej prędkości, równej 1 m/s , a szerokość strefy kontaktu wyniosła wtedy około 8 mm .

W tym samym artykule [3] opisano obliczenia numeryczne z wykorzystaniem równania Reynoldsa na zależność ciśnienia, grubości warstwy farby, lepkości farby i prędkości powierzchni obracających się wałków. Dla modułu elastyczności gumy 3 MPa wartość maksymalnego ciśnienia obliczona numerycznie jest podobna do tej zmierzonej w eksperymencie z użyciem oleju dla prędkości obracania się wałków na poziomie $0,2 \text{ m/s}$ i przy ugięciu wałka miękkiego $0,1 \text{ mm}$, a także szerokości strefy kontaktu 5 mm . Dla mniejszej wartości modułu elastyczności gumy wartość maksymalnego ciśnienia jest mniejsza niż w eksperymencie. Wartość maksymalnego ciśnienia wyliczona numerycznie przy tym samym ugięciu wynoszącym $0,1 \text{ mm}$ lub $0,3 \text{ mm}$, ale przy różnej prędkości, zmienia się odwrotnie niż w eksperymencie. Tutaj maksymalne ciśnienie nie jest większe dla większej prędkości obracania się wałków.

Wpływ ciśnienia na transport farby na papier gazetowy został przedstawiony także w artykule [53]. Opisano, dlaczego pomimo zastosowania właściwego ciśnienia w strefie drukującej pomiędzy cylindrem pośrednim a dociskowym farba nie pokrywa całej powierzchni punktów drukujących. Stwierdzono, że największe ciśnienie przenosi się na włókna papieru, które są położone najwyżej na powierzchni papieru. One bowiem pierwsze wchodzi w kontakt z farbą i obciążeniem. Na nich farba się nie zatrzymuje, gdyż jest wyciskana na boki. Jeśli takie włókno zapadnie się, tworząc rowek, to nadal jego krawędzie nie będą pokryte farbą. Istnieją również na tyle głębokie wklęsłości pomiędzy włóknami papieru, że nie mają w całości kontaktu z farbą. Został tu wyznaczony wzór na średnie ciśnienie w warstwie farby

w zależności od grubości włókien papieru, początkowej i końcowej grubości warstwy farby na sprawdzanym odcinku oraz od czasu przebywania tego odcinka (fragmentu papieru) w strefie kontaktu. Z przedstawionych wyników wynika, że grubość warstwy farby maleje wraz ze wzrostem ciśnienia. Jednocześnie im grubsze są włókna w papierze, tym mniejszy jest spadek grubości warstwy farby.

W 2006 roku Senthil Vadivu, Sankaranarayana i Mahalakshmi opisali w artykule [54] wynalezione przez siebie urządzenie do pomiaru ciśnienia pomiędzy cylindrami drukującymi. Urządzenie to składa się z tensometrów połączonych mostkiem. Przymocowane są one do korbowodu klejem epoksydowym. Korbowód jest tu elementem mechanizmu dociskającego cylinder pośredni do cylindra formowego. Pomiar nie jest wykonywany bezpośrednio w strefie kontaktu stykających się cylindrów, ale metoda jest tańsza i łatwiejsza w zastosowaniu niż wcześniej stosowane metody wymagające dokonywania modyfikacji.

Istnieją badania z użyciem folii z mikrokapsułkami, pokazujące rozkład ciśnienia pomiędzy wałkami i cylindrami. Mikrokapsułki w takiej folii pękają pod wpływem nacisku. Natężenie koloru w miejscu pęknięcia mikrokapsułek odpowiada rozkładowi ciśnienia. Badania dla strefy kontaktu pomiędzy cylindrami pośrednim i dociskowym przeprowadzone z użyciem takiej folii zostały opisane w artykule [55]. Badania te potwierdzają nierównomierny rozkład ciśnienia oraz szerokości strefy kontaktu wzdłuż osi cylindrów, czyli taki, w którym ciśnienie zmniejsza się wraz ze zbliżaniem się do środka cylindrów wzdłuż ich osi.

Ciupalski w swojej książce [4] twierdzi, że szerokość strefy kontaktu na całej długości wałka nie jest równomierna. Pośrodku stykających się cylindrów jest ona najmniejsza. W celu rozwiązania tego problemu wymyślono wałki o średnicy nierównej na całej ich długości – na końcach wałki te stają się węższe albo pośrodku są szersze. Wadą tej metody jest to, że taki nierównomierny wałek czy obciążenie może zostać użyty tylko w przypadku konkretnego, określonego obciążenia ściskającego go z drugim, kontaktującym się z nim wałkiem. Jeżeli obciążenie ściskające zostanie zmienione, nie będzie on poprawnie stykać się z drugim wałkiem. W takim przypadku musi zostać wymieniony na inny.

W celu rozwiązania tego problemu dotyczącego cylindrów drukujących wymyślono obciążenie o nierównomiernej grubości [64] albo o równomiernej grubości, ale zawierający warstwę kompresyjną o zmiennej grubości – większej pośrodku, a mniejszej i bardziej oddalonej od powierzchni drukującej przy brzegach [1]. Innym rozwiązaniem jest ustawienie dwóch stykających się ze sobą wałków tak, aby ich osie wzdłuż długości nie były do siebie równoległe [62, 63]. Wałki te przecinają się pośrodku swojej długości i im dalej od środka, tym odległość pomiędzy ich osiami jest większa. W zależności od wartości obciążenia tak ustawionych stykających się wałków istnieje możliwość zwiększania bądź zmniejszania kąta pomiędzy ich osiami. Ustawienie wałków pod kątem wykorzystano także jako alternatywę dla stosowania wałków wykonujących ruch posuwisto-zwrotny w zespole farbowym [20]. Mechanizm służący do automatycznego skręcenia osi wałków opisano w patencie [35]. W patencie [23] zaproponowano dla zespołu drukującego guma-guma ustawienie osi cylindra formowego i pośredniego pod pewnym kątem, a nie

równoległe – w celu wyeliminowania problemu związanego z różną prędkością cylindrów wzdłuż ich długości, powodującą problemy z nierównomiernym przesuwem wstęgi papieru. Możliwe są również dodatkowe rozwiązania problemu nierównomiernego ciśnienia na długości kontaktujących się dwóch wałków, wykorzystywane w innych technikach drukowania – np. we wkłesłodruku zaproponowano dodatkowy wałek naciskający na cylindry, który pod warstwą gumy ma metalowy trzpień nierównomiernej grubości – szerszy pośrodku i zwężający się ku końcom [17].

Wykonano badania dotyczące wpływu zmiany kąta pomiędzy osiami wałków (ustawienie nierównoległe wałków) pokrytych warstwą gumy na rozkład ciśnienia wzdłuż ich osi [22]. Celem było znalezienie takiego kąta, aby średnie ciśnienie stało się jak najbardziej jednolite na całej długości wałków. Wykonano modelowanie numeryczne oraz badanie eksperymentalne. Zmiana kąta pomiędzy osiami z 0° na 1° powoduje powstanie odwrotnego rozkładu średniego ciśnienia wzdłuż wałka, czyli wyraźnie większego na brzegach niż w środku. Stąd wiadomo, że kąt musi być mniejszy od 1° . Kąt $0,75^\circ$ powoduje częściowe wypłaszczenie krzywej rozkładu średniego ciśnienia wzdłuż wałka: na brzegach jest ona w miarę płaska, ale pośrodku nadal występuje zagłębienie – z tym, że zdecydowanie mniejsze niż przy równoległym ustawieniu osi. Eksperymentalnie wyznaczono rozkład średniego ciśnienia na całej długości wałków dla kąta 0° i $0,75^\circ$. W tym celu wykorzystano folię z mikrokapsułkami. Pomiar intensywności barwy nadruku na podłożu wykonano densytometrem, mierząc gęstość optyczną warstwy farby z pękniętych mikrokapsułek. Profil średniego ciśnienia wzdłuż osi wałków dla skręcenia tych osi o $0,75^\circ$, wyznaczony eksperymentalnie, miał kształt odwrotny niż wyznaczony metodą numeryczną – przy metodzie numerycznej ciśnienie na środku wałka było mniejsze niż na jego brzegach, a przy badaniu eksperymentalnym pośrodku wałka ciśnienie było większe niż na jego brzegach. Różnica wartości ciśnienia pomiędzy środkiem wałków wzdłuż osi a ich brzegami wynosiła około $0,05$ MPa dla krzywej wyznaczonej numerycznie (przy wartości średniego ciśnienia między $0,27$ MPa i $0,32$ MPa) oraz $0,1$ MPa dla krzywej wyznaczonej eksperymentalnie (przy wartości średniego ciśnienia między $0,17$ MPa i $0,27$ MPa). Natomiast różnica ta przy równoległym ustawieniu osi wynosiła $0,38$ MPa dla krzywej numerycznej (przy wartości średniego ciśnienia między $0,16$ MPa i $0,54$ MPa) oraz $0,17$ MPa dla krzywej eksperymentalnej (przy wartości średniego ciśnienia między $0,15$ MPa a $0,32$ MPa).

Z obliczeń numerycznych [22] wynikało, że szerokość strefy kontaktu przy skręceniu osi o $0,75^\circ$ na brzegach wałka jest w miarę stała, a pośrodku wałków nadal jest mniejsza, ale nie aż tak bardzo, jak przy równoległym ustawieniu osi. Z badań eksperymentalnych uzyskano prawie płaski profil szerokości strefy kontaktu na długości wałków, z lekkim jej zmniejszeniem na obu końcach wałków, czyli na prawie całej długości wałków, poza brzegami, szerokość strefy kontaktu była jednolita. Różnica w szerokości strefy kontaktu dla wyliczeń numerycznych wynosiła około $0,2$ mm przy szerokości strefy kontaktu między $2,7$ i $2,9$ mm, a dla badania eksperymentalnego $0,05$ mm przy szerokości strefy kontaktu między $1,4$

i 1,9 mm. Natomiast różnica ta przy równoległym ustawieniu osi wynosiła 2,3 mm dla krzywej numerycznej (przy szerokości strefy kontaktu między 1,8 i 4,1 mm) oraz 1,5 mm dla krzywej eksperymentalnej (przy szerokości strefy kontaktu między 1,2 i 2,7 mm).

Wartości docisku, ciśnienia i szerokości strefy kontaktu pomiędzy wałkami i cylindrami oraz wartości ugięcia obciążu

Ciśnienie w strefie drukowania zależy m. in. od rodzaju i budowy obciążu. Według [32] powinno wynosić ono:

- pomiędzy płytą i obciążem 0,2–0,3 MPa, a pomiędzy obciążem i cylindrem dociskowym 0,4–0,5 MPa dla obciążu miękkiego,
- dla obciążu półsztywnego odpowiednio 5–1,2 MPa i 0,7–2,0 MPa,
- 1,5 MPa w obu strefach kontaktu dla obciążu twardego.

W pozycji literaturowej z 1982 [18] podane zostały następujące wartości ciśnienia pomiędzy cylindrem dociskowym a pośrednim:

- 0,8 do 1,4 MPa dla niemieckiego obciążu szlifowanego (nie podano, czy jest to obciąż konwencjonalny czy kompresyjny),
- od 1,0 do 2,0 MPa dla obciążu konwencjonalnego firmy Kay,
- od 0,4 do 0,7 MPa dla obciążu konwencjonalnego firmy Vulcan

oraz pomiędzy cylindrem pośrednim a formowym:

- 0,9 MPa dla niemieckiego obciążu szlifowanego (nie podano, czy jest to obciąż konwencjonalny czy kompresyjny),
- 1,0 MPa dla obciążu konwencjonalnego firmy Kay,
- 0,6 MPa dla obciążu konwencjonalnego firmy Vulcan.

Dla drukowania offsetowego arkuszowego przy wstępnym obciążeniu ugięcie obciążu w obu strefach kontaktu powinno wynosić 0,1 mm, a przy braku wstępnego ugięcia taką samą wartość powinno mieć w strefie kontaktu cylindra formowego z pośrednim i 0,2 mm w strefie kontaktu cylindra pośredniego z dociskowym. Natomiast przy drukowaniu zwojowym w systemie guma-guma każdy z dwóch obciążeń powinien być ugięty na głębokość 0,05 mm zarówno w strefie kontaktu dwóch cylindrów pośrednich, jak i cylindrów pośrednich z formowymi.

Marogulowa i Stefonow [38] podali zalecane sumaryczne odkształcenie obciążu w granicach od 4,5% do 10% jego grubości, jednocześnie podając odkształcenie obciążu miękkiego w granicach 0,4–0,5 mm. Jako odkształcenie trwałe podano wartości od 20,9% do 28,3% odkształcenia sumarycznego.

W artykule [7] napisano, że instytuty FOGRA i IGT podają, iż odkształcenie obciążu przy ciśnieniu 100 N/cm² powinno wynosić poniżej 4% pierwotnej grubości obciążu dla obciążeń konwencjonalnych i powyżej 4% dla obciążeń kompresyjnych. Jednocześnie w strefie kontaktu pomiędzy cylindrem pośrednim i formowym powinno występować ciśnienie w granicach 80–100 N/cm².

Ciupalski [4] jako minimalną wartość ciśnienia liniowego podaje 25 N/cm, jako optymalną – 50 N/cm, a jako maksymalną – 300 N/cm². Ponadto twierdzi, że im gładszy papier, im miękniejszy obciąż, tym mniejszy nacisk należy ustawiać podczas

drukowania. Podaje on wartości ściśnięcia obciążeń i potrzebne do tego ciśnienie przy drukowaniu z płyt cynkowych:

- dla miękkich obciążeń przy ściśnięciu 0,4–0,5 mm ciśnienie wynosi 50–60 N/cm²,
- dla średnio twardych obciążeń przy ściśnięciu 0,1–0,2 mm ciśnienie wynosi 70–100 N/cm²,
- dla twardych obciążeń podane jest tylko ściśnięcie, z jakim się drukuje, wynoszące 0,05–0,15 mm,

oraz przy drukowaniu z płyt bimetalowych:

- dla miękkich obciążeń przy ściśnięciu 0,2–0,3 mm ciśnienie wynosi 3,7–4,0 N/cm²,
- dla średnio twardych obciążeń przy ściśnięciu 0,05 mm ciśnienie wynosi 40–50 N/cm²,
- dla twardych obciążeń przy ściśnięciu 0,03–0,05 mm ciśnienie wynosi 30–50 N/cm².

Dla obciążu firmy Vulcan podawana jest wartość ściśnięcia na poziomie 0,145 mm przy ciśnieniu wynoszącym 100 N/cm² oraz 0,23 mm przy ciśnieniu 200 N/cm².

Ciupalski w kolejnej swojej książce [5] podaje wartość ściśnięcia obciążu w granicach od 0,1 mm do 0,2 mm, a w książce [4] – w granicach od 0,05 mm do 0,5 mm. Na jednej z ilustracji dla maszyn arkuszowych można odczytać wartość ściśnięcia obciążu w strefie kontaktu pomiędzy cylindrem formowym a pośrednim od 0,05 mm do 0,1 mm i 0,1 mm w strefie kontaktu pomiędzy cylindrem pośrednim a dociskowym. Dla maszyn zwojowych w systemie guma-guma ściśnięcie obciążu w obu strefach kontaktu wynosi 0,05 mm. Według Ciupalskiego [5] wartość w obu strefach kontaktu powinna być podobna. Oznacza to, że papier powinien powodować podobne ugięcie obciążu jak forma drukowa, co oznacza, że przy ustawieniu docisku powinno się odnieść grubość papieru i odsunięcie cylindra dociskowego od pośredniego do docisku pomiędzy cylindrem pośrednim a formowym.

Według Panaka [46] ściśnięcie obciążu powinno wynosić od 5% do 7% jego pierwotnej grubości. Wynosi ono od 0,098 mm do około 0,14 mm dla obciążu o standardowej grubości 1,96 mm. Ponadto autor ten podaje, że docisk metryczny pomiędzy cylindrem formowym a pośrednim jest mniejszy niż pomiędzy cylindrem pośrednim a dociskowym. Ta zasada obowiązuje szczególnie przy większej gładkości powierzchni i równomierności grubości formy drukowej niż papieru.

Zgodnie z książką [46] w strefie kontaktu pomiędzy nafarbionymi cylindrami maksimum ciśnienia występuje przed środkiem strefy kontaktu, po czym następuje spadek ciśnienia, które osiąga nawet wartość ujemną już za środkiem strefy kontaktu. Ujemna wartość ciśnienia jest spowodowana oddalaniem się od siebie powierzchni cylindrów tuż za strefą kontaktu. W tym miejscu kohezja farby zapobiega jej rozszczepieniu. Ciupalski [4] twierdzi, że maksimum ciśnienia przesuwa się o 0,1–0,4 mm przed środek strefy kontaktu. Rozkład ciśnienia w strefie kontaktu zdeterminowany jest na jej początku i w środku przez obciąż, a na jej końcu przez farbę [43]. Ciśnienie to powoduje nie tylko kompresję papieru, lecz

także wymusza odpowiedni przepływ farby w kierunkach, w których jest to możliwe, czyli na powierzchni papieru oraz w głąb jego porowatej struktury.

W książce Oittinen i Saarelma [44] podano szerokość strefy kontaktu pomiędzy cylindrami w granicach od 5 do 20 mm, a wartość ciśnienia liniowego – od 50 do 300 N/cm. Według Oittinen i Saarelma w początkowej części strefy kontaktu następuje kontakt oraz przyczepienie się farby do papieru, przy czym w części środkowej, w miejscu, gdzie ciśnienie jest największe odbywa się penetracja farby w głąb papieru, a na koniec dochodzi do podziału farby. W artykule Oittinen i Lindqvista [43] założono, że wartość ciśnienia w strefie kontaktu wynosi 4 MPa, czyli 400 N/cm² (przy założeniu, że szerokość strefy kontaktu ma 5 mm, a ciśnienie liniowe wynosi 20 kN/m). W artykule [53] podano średnią wartość ciśnienia pomiędzy cylindrami drukującymi równą 2 MPa. Opisano zachowanie papieru i farby w strefie kontaktu pomiędzy cylindrami drukującymi. Ani w książce, ani w artykułach nie podano sposobu pomiaru ani źródła informacji na temat wartości ciśnienia w strefie kontaktu.

W książce [33] podano zakres od 80 do 200 N/cm² jako optymalną wartość ciśnienia. Zgodnie ze znajdującymi się tam informacjami ugięcie obciążu powinno wynosić od 0,05 mm do 0,15 mm. Docisk metryczny podany w książce [12] kształtuje się w granicach od 0,05 mm do 0,10 mm przy drukowaniu z użyciem obciążu konwencjonalnego i od 0,13 mm do 0,20 mm przy drukowaniu z użyciem obciążu kompresyjnego. Stępień w artykule [57] jako właściwą wartość ciśnienia pomiędzy cylindrem pośrednim a dociskowym podaje 100–200 N/cm². W artykule [53] podano, że średnie ciśnienie w strefie drukującej wynosi 2 MPa.

Zgodnie z danymi przemysłowymi zaprezentowanymi przez R. Szarkowskiego z firmy Böttcher Polska [58] na XXXI Konfrontacjach Poligraficznych w marcu 2015 roku optymalną wartością ciśnienia dla drukowania na maszynach zwojowych jest 185–205 N/cm² dla maszyn z zespołem drukującym czterocylindrowym i sześciocylindrowym typu Y, oraz 145–165 N/cm² dla maszyn z zespołem drukującym dziewięciocylindrowym oraz dziesięciocylindrowym.

Zgodnie z pomiarami wykonanymi pomiędzy cylindrem formowym a pośrednim na maszynie Adast Dominant 515 przy użyciu wcześniej skalibrowanego urządzenia o nazwie Nip Control Pressure Indicator ciśnienie dla właściwie ustawionego docisku wynosiło od 340 do 480 N/cm² [29]. Pomiar wykonano w trzech miejscach wzdłuż osi cylindra – stąd ta różnica w wartości. Aby pomiar pokazywał realne wyniki, wyjęto podkład o grubości czujnika. Nawet większą wartość ciśnienia, bo w granicach od około 536 do około 591 N/cm², zmierzono w czterech zespołach drukujących pomiędzy cylindrem pośrednim a dociskowym za pomocą tego samego urządzenia [41].

Znalezione w literaturze poligraficznej obliczenia dotyczące strefy kontaktu pomiędzy cylindrami

Do obliczenia zbliżenia cylindrów wykorzystywany jest wzór uzależniający je od siły dociskania cylindrów albo od szerokości strefy kontaktu [8]. Do wyprowadzenia wzoru wykorzystano jedynie twierdzenie Pitagorasa.

Założono, że odkształcenie obciążu zamocowanego na jednym z dwóch cylindrów dociskanych do siebie w miejscach osi odbywa się wyłącznie w kierunku promienia. Wzór ten uwzględnia promienie cylindrów. Ogólny wzór na zbliżenie wałków uwzględniający dane materiałowe – współczynnik Poissona i moduł Younga – został przedstawiony w pracy Jurkiewicz, Pyr'yeva [27]. Natomiast wzór analogiczny do przedstawionego przez Čechman i in. [8], ale uwzględniający współczynnik Poissona, został przedstawiony w artykule Jurkiewicz, Pyr'yev [26].

Wartości stałych materiałowych E oraz n charakterystycznych dla rozpatrywanego materiału (w tym przypadku obciążu) i wykres zależności: naprężenie – odkształcenie zostały podane dla różnych obciążeń bez informacji, co to za obciążenia, w pracy [8]. Jedyną informacją, jaką o nich podano, jest ta, że obciąż o numerze 6 nie jest kompresyjny i że najlepszą charakterystykę ma obciąż o numerze 2. Wysunięto tezę, że stałe powinny zawierać się w zakresie $n = 1,2-1,3$, a $E = 35-50$ MPa. Stałe te można wyznaczyć tak, jak opisano w pracy Jurkiewicz, Pyr'yev [28].

Na potrzeby obliczenia siły równoważącej P przypadającej na jednostkę długości cylindra najlepszy wzór otrzymano w pracy Jurkiewicz, Pyr'yev [28]. Jarema [25] oraz Čechman i in. [8] uzyskali wcześniej asymptotyczne przedstawienia dla tych funkcji. W pracy Tira, Rabinoviča, Zovdaka [59] podany został wzór, który jest tylko pewnym przybliżeniem. W pracy Tjurina [60] wykorzystano rozwinięcie funkcji podcałkowej w szereg, ale przedstawione rozwiązanie obarczone było błędami.

W pracy [4] podano zależność pomiędzy szerokością strefy kontaktu a ciśnieniem obciążu. Już na pierwszy rzut oka widać, że wzór ten jest błędny, chociażby ze względu na rachunek jednostek, który się nie zgadza. Poprawna postać tego wzoru została podana w książce [21] i w artykule [56]. We wspomnianym artykule podano sposób wyprowadzenia wzoru. Wzór ten nie uwzględnia danych materiałowych, ale można z niego wnioskować, że szerokość strefy kontaktu jest wprost proporcjonalna do promienia cylindrów (przy założeniu, że oba cylindry mają takie same promienie) i ugięcia obciążu. Dodatkowo w artykule przedstawiono zależność szerokości strefy kontaktu od średniego ciśnienia dla całej długości wałków. Wzór ten uwzględnia moduły sprężystości i średnice cylindrów. Niestety nie podano źródła, z którego zaczerpnięta została ta zależność. Stąd trudno jest ocenić poprawność tego wzoru.

Badania wpływu ciśnienia pomiędzy cylindrami zespołu drukującego na jakość odbitek opisane w literaturze

W wielu książkach podkreśla się, jak istotne jest właściwe ustawienie docisku [12, 13, 33, 46]. Powszechnie uważa się, że wpływa ono na jakość odbitki oraz zużycie materiałów eksploatacyjnych i części maszyn. Murzenie (spowodowane poślizgiem powierzchni cylindrów), smugi na odbitce oraz przyrost wartości tonalnej są podawane jako parametry jakościowe lub błędy powstałe na odbitce w wyniku niewłaściwego ustawienia docisku.

W artykule [48], opublikowanym jeszcze w latach 50. ubiegłego wieku, opisano eksperyment dotyczący ilości farby przetransportowanej z formy na papier

w drukowaniu typograficznym. Zmieniano ilość farby na formie i prędkość drukowania. Stwierdzono, że na współczynnik podziału farby najbardziej wpływają prędkość drukowania oraz ciśnienie pomiędzy cylindrami. W publikacji Olssona i Phila [45] stwierdzono jedynie, że wzrost ciśnienia powoduje wzrost ilości transportowanej farby.

Na początku lat 60. ubiegłego wieku wykonano badania dotyczące m.in. wpływu ciśnienia na głębokość penetracji farby w głąb papieru w trakcie procesu drukowania [24]. Penetrację farby w głąb papieru obliczano z pomiaru odbicia światła od odwrotnej strony odbitki. Badanie wykonano na papierze superkalandrowanym. Drukowano dwoma rodzajami farby o różnej lepkości. Zbudowane zostało specjalne urządzenie drukujące, opisane dokładniej w artykule [6]. Użyto obciążu konwencjonalnego – kompresyjny nie został jeszcze wtedy wynaleziony. Z tych badań wynika, że głębokość penetracji farby w głąb papieru jest wprost proporcjonalna do pierwiastka kwadratowego z ciśnienia i zwiększa się wraz ze wzrostem ciśnienia. Szybkość penetracji również jest większa przy większym ciśnieniu. Badania wykonano dla ciśnienia w zakresie od 650 do 8000 N/cm².

Zależności ciśnienia liniowego [N/cm] od liczby gładkości według Bekka przedstawiono w pracy [15]. Wynika z niej, że wraz ze spadkiem ciśnienia liniowego wzrasta chropowatość papieru.

W książce [60] przedstawiono wykres zależności współczynnika przenoszenia farby od ciśnienia w strefie drukującej. Współczynnik przenoszenia farby rozumiany jest jako iloraz ilości farby na odbitce i ilości farby na obciążu, pomnożony przez 100 i wyrażony w procentach [60]. Z wykresu można odczytać, że wraz z ciągłym wzrostem ciśnienia współczynnik przenoszenia najpierw gwałtownie rośnie, aby osiągnąć maksimum dla współczynnika przenoszenia farby około 66–67%, a następnie lekko maleje, aż do wypłaszczenia krzywej dla współczynnika przenoszenia farby na poziomie około 60%. Do osiągnięcia wartości ciśnienia, dla którego współczynnik przenoszenia farby wynosi około 35%, przenoszenie farby ma charakter przypadkowy. Dla zakresu ciśnienia, dla którego przenoszone jest od 35% do 61% farby, następuje zgniecenie mikronierówności papieru. Nadal widać okiem nieuzbrojonym fragmenty niezadrukowanego papieru w miejscach, gdzie powinien on być zadrukowany. Dla współczynnika przenoszenia farby na poziomie 61% osiągnane jest ciśnienie minimalne, które przechodzi w optymalne przy przenoszeniu około 66–67% farby. Przy ciśnieniu optymalnym następuje najlepsze wypełnienie nierówności i przekazanie największej ilości farby, co powoduje największe nasycenie odbitki farbą, ale jeszcze bez zjawiska tonowania. Następnie ilość przenoszonej farby maleje – ciśnienie krytyczne osiągnane jest przy przenoszeniu około 65% farby. Zmiana ciśnienia z optymalnego na krytyczne ma znikomy wpływ na ilość przeniesionej farby. Przy dalszym wzroście ciśnienia współczynnik przenoszenia maleje asymptotycznie, dążąc do około 60% – następuje wtedy wypchnięcie farby poza punkty drukujące, co pogarsza jakość odbitki. Zgodnie z wartościami ciśnienia minimalnego i sposobem przeliczenia wartości tego ciśnienia na ciśnienie krytyczne podanymi w książce [60] ciśnienie w trakcie drukowania powinno mieścić się w granicach od 100 do 225 N/cm². Podane wartości ciśnienia są warto-

ściami maksymalnymi na całej szerokości strefy kontaktu, przy czym średnie ciśnienie mieści się w granicach od 50 do 75 N/cm².

De Grace i Mangin [9] zbadali, ile procent farby zostaje przetransportowane z cylindra formowego na podłoże papierowe gazetowe i poliestrowe (gładkie i chropowate). Stwierdzili, że wzrost ciśnienia nie wpływa na transport farby na gładkie podłoże poliestrowe oraz na jej podział w strefie kontaktu, ale wpływa na głębokość penetracji w papier i powoduje wzrost ilości transportowanej farby na papier gazetowy i na chropowaty poliestr. Wykonano badania dla trzech różnych wartości ciśnienia: 10,7 kN/m, 15,4 kN/m, 17,8 kN/m. W kolejnym artykule, z 1988 roku, będącym kontynuacją tego z roku 1984 [9], De Grace i Mangin [10] stwierdzili, że wzrost wartości ciśnienia ma znaczenie dla zmniejszenia chropowatości papieru, ale nie wpływa na asymetryczność podziału farby w strefie kontaktu. W badaniu tym ustawiono wartość ciśnienia na poziomie 3,6 MPa. Również w rozprawie doktorskiej [52] Sarela stwierdziła, że większe ciśnienie powoduje penetrację farby w głąb papieru, a jednocześnie lepsze pokrycie farbą oraz odpowiednią gęstość optyczną przy mniejszej ilości farby.

Według Pobboravsky'ego, Pearsona i Daniela [49] duża zmiana docisku pomiędzy cylindrami powoduje niewielką zmianę w przyroście wartości tonalnej oraz w wydłużeniu punktu drukującego w kierunku drukowania. W artykule [11] stwierdzono, że ustawienie docisku przy drukowaniu z użyciem obciążu kompresyjnego nie wpływa na przyrost punktu przy transferze z formy drukowej na papier.

Bohan i inni [2] stworzyli model numeryczny wciskania punktów z farbą w papier. Wynikało z niego, że zwiększenie obciążenia i ciśnienia w strefie kontaktu powoduje wzrost przyrostu wartości tonalnej. Obliczenia wykonano dla wartości ciśnienia 1, 2, 3 i 4 MPa, przy czym za poprawne ciśnienie uznano 2 MPa.

Zależności grubości warstwy farby na odbitce od grubości warstwy farby na formie, od ciśnienia oraz prędkości procesu drukowania zostały uzasadnione w pracach [34, 42, 50, 51]. Analityczny model przenoszenia farby, według pracy [42], najlepiej łączy parametry procesu technologicznego, formy drukowej, podłoża do drukowania i maszyny drukującej. Jest to układ dwóch równań, który przewiduje granicznie dopuszczalne wartości ciśnienia i prędkości [42]:

$$\frac{h_{od}(p)}{0,88h_{od}^*} = 1 - \left(1 - \frac{2p}{p^*}\right) e^{-\frac{2p}{p^*}}, \text{ dla } p_1 \leq p \leq p_2 \quad (2)$$

$$\frac{h_{od}(V_d)}{h_{od}^*(p_d)} = 1 - (1 - k_1) e^{-\frac{2a}{k_0 \mu V_d}}, \text{ dla } V_{\min} \leq V_d \leq V_{\max} \quad (3)$$

gdzie

$h_{od}(p)$, $h_{od}(V_d)$ – grubość warstwy farby na odbitce jako odpowiednio funkcja ciśnienia i prędkości drukowania;

h_{od}^* – maksymalna grubość warstwy farby na odbitce dla ciśnienia p^* ;

p^* – ciśnienie w dowolnym miejscu p_2, p_1 ;

V_{\max} , V_{\min} – wartości graniczne odpowiednio ciśnienia i prędkości;

$2a$ – szerokość strefy kontaktu; p_d – ciśnienie podczas drukowania; μ – lepkość farby;

k_0 – współczynnik, który uwzględnia właściwości zadrukowywanego materiału;

$k_1 = h_f/h_{od}$ – współczynnik, który uwzględnia właściwości formy oraz zadrukowywanego materiału;

h_f – grubość warstwy farby na formie; h_{od} – grubość warstwy farby na odbitce;

V_d – prędkość drukowania.

Dla małego ciśnienia – mniejszego niż p_1 – przeniesienie farby ma charakter przypadkowy. Natomiast dla ciśnienia większego niż p_2 ma miejsce wyciskanie farby poza kontury punktów drukujących oraz ich nadmierne zniekształcanie. Grubości h_{od}^* odpowiada ciśnienie p^* , dla którego występuje największe nasycenie (wypełnienie nierówności oraz porów podłoża) materiału farbą oraz najlepsze przekazanie farby przez formę drukową.

Eriksen i Gregersen napisali w swoim artykule [14], że bez działania zewnętrznej siły pigmenty nie wnikają w głąb papieru. Stwierdzono, że przenikanie pigmentów farby w głąb papieru zwiększa się, gdy wzrasta ciśnienie w trakcie drukowania. Autorzy wykonali drukowanie na urządzeniu laboratoryjnym, ustawiając 5 różnych wartości ciśnienia liniowego: 10 kN/m, 15 kN/m, 20 kN/m, 25 kN/m, 30 kN/m. Drukowano farbą z dodatkiem $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$, a nie czystą farbą offsetową. Po zadrukowaniu paska papieru zanurzano go w żywicy epoksydowej. Zarówno ta czynność, jak i dodatek zastosowany w farbie mogły wpłynąć na wynik. Dodatek do farby zastosowano ze względu na późniejsze obserwacje próbki z użyciem elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM).

Badano także zależność jakości odbitek od struktury powierzchni papieru i jego deformacji pod wpływem różnego obciążenia [65]. W trakcie tych badań zmieniano ciśnienie w urządzeniu pomiarowym od 0 do 5 MPa.

W artykułach [40] i [41] przedstawiono badania dotyczące wpływu różnego ciśnienia pomiędzy cylindrem dociskowym a cylindrem pośrednim na jakość wydruków. W badaniach opisanych w artykule [40] badano wpływ ciśnienia na motling, jakość linii oraz deformację punktów, a w artykule [41] – przyrost wartości tonalnej, balans szarości, gęstość optyczną pól pełnych, kontrast druku dla pól o wartości tonalnej 80% oraz gamut i różnicę barw (deltę E). Drukowano na maszynie 4-kolorowej czterema kolorami CMYK. Ustawiono trzy poziomy ciśnienia: niski, właściwy i zbyt duży. Ciśnienie zmierzono za pomocą urządzenia Nip Control Pressure Indicator. Ciśnienie zmieniano poprzez zmianę odległości pomiędzy cylindrami. Oznacza to, że aby zmienić ciśnienie, trzeba było zatrzymać maszynę, a po zmianie odległości pomiędzy cylindrami ponownie ją uruchomić. Dlatego na odbitki z każdej z tych trzech partii wydruków wpływały trochę inne warunki drukowania. Z przedstawionych w artykule [40] badań wynikało, że najlepsze rezultaty uzyskuje się przy największym ciśnieniu. Z artykułu [41] wynika, że dla każdego z różnych analizowanych parametrów właściwe było inne ciśnienie. Przy czym widać, że w przypadku przyrostu wartości tonalnej mierzonej dla różnych ciśnień i dla różnych kolorów CMYK występuje niewielka różnica w zależności od wartości ciśnienia.

Aby uniknąć zmiany warunków drukowania przy zmianie ciśnienia, Jurkiewicz, Kowalczyk i Pyr'ev wykonali opisane w artykułach [29, 30] i monografii [31] badania, polegające na zamocowaniu na cylindrze pośrednim pod obciążeniem podkładów o różnej długości, połączonych ze sobą w sposób schodkowy. Zostały one sklejone ze sobą na jednym tylko brzegu, aby uniknąć wpływu nierówności warstwy kleju. W ten sposób uzyskano na jednej odbitce efekt drukowania z różnym dociskiem. Otrzymano 6 poziomów docisku. Drukowano w ten sposób zarówno ze zbyt dużym, jak i ze zbyt małym dociskiem, przy czym za mały docisk uzyskano przez wyjęcie spod obciążu jednego z podkładów.

W pracy [61] zbadano 4 obciąża, z użyciem których później drukowano. Zmierzono dla nich 4 różne parametry: twardość, grubość, moduł elastyczności oraz współczynnik Poissona. Ustawiono dwie prędkości drukowania. Na odbitkach pomierzono gęstość optyczną oraz wyliczono przyrost wartości tonalnej. Pomierzono jakąś siłę [N]. Niestety praca nie zawiera informacji o tym, w jaki sposób zmierzono tę siłę ani co to jest za siła.

Wnioski

Jednym z warunków uzyskania odbitek o dobrej jakości jest zastosowanie odpowiedniego nacisku na jednostkę powierzchni kontaktu w obszarze drukowania. Niniejszy artykuł poświęcony jest przeglądowi literatury poligraficznej dotyczącej kontaktu pomiędzy cylindrami i wałkami w zespole drukującym i farbowym drukującej maszyny offsetowej. Przedstawiono zalecane i stosowane w trakcie drukowania wartości ciśnienia, docisku i szerokości strefy kontaktu, które zostały podane do tej pory w literaturze. Opisano także badania dotyczące tych wielkości fizycznych i ich wpływu na jakość odbitek. W latach 50., 60. i 80. ubiegłego wieku wykonano badania ciśnienia pomiędzy cylindrami z użyciem jeszcze obciążów konwencjonalnych. W latach 90. badano strefę kontaktu w zespole drukującym. Dopiero po roku 2000 wrócono do badań dotyczących samego sposobu pomiaru ciśnienia.

Drugim, równoległym torem wykonywano badania wpływu ciśnienia na sposób przenoszenia farby i jej ilość. Jeszcze w latach 50. i 60. ubiegłego wieku naukowcy twierdzili, że ciśnienie w strefie kontaktowej pomiędzy cylindrami ma znaczny wpływ na przenoszenie farby. Natomiast już od lat 80. ich opinie i wyniki badań nie są tak jednoznaczne. Pojawiają się głosy zarówno za tym, że ciśnienie nie wpływa albo wpływa w bardzo niewielkim stopniu na transport farby, przyrost wartości tonalnej czy wydłużenie punktów drukujących w kierunku drukowania, jak również można zauważyć zupełnie odwrotne opinie, tj. że ciśnienie ma istotny wpływ na te parametry. Istnieją również opinie pośrednie, zgodnie z którymi ciśnienie nie ma w tym przypadku znaczenia przy drukowaniu na gładkim podłożu, a ma znaczenie przy drukowaniu na podłożu chropowatym.

Na podstawie przeprowadzonej tu analizy literaturowej można wnioskować, że wynalezienie obciążu kompresyjnego i stosowanie go w miejsce konwencjonalnego rozwiązało bądź zmniejszyło wiele problemów związanych ze znaczeniem zmiennego ciśnienia pomiędzy cylindrami dla jakości wydruków oraz błędów powstających w trakcie drukowania.

Na podstawie przeprowadzonej analizy literaturowej nie da się jednoznacznie stwierdzić, jakie jest zalecane ciśnienie pomiędzy cylindrami. Zakres tego ciśnienia jest duży i zaczyna się od 0,2 MPa dla obciążu miękkiego, a kończy nawet na 4 MPa (tu bez podania rodzaju obciążu). Przy pomiarze ciśnienia pomiędzy cylindrami w trakcie drukowania wykonanym za pomocą urządzenia Nip Control Pressure Indicator otrzymano jeszcze wyższą wartość ciśnienia, równą 5,91 MPa. Nie da się również podać jednej konkretnej wartości docisku czy ugięcia obciążu. Waha się one od 0,03 mm (przy drukowaniu z płyt bimetalowych z użyciem obciążu twardego) do nawet 0,5 mm (dla drukowania z płyt cynkowych z użyciem obciążu miękkiego). Można jedynie stwierdzić, że według źródeł, które podają różne wielkości ciśnienia dla różnych stref kontaktu, ciśnienie pomiędzy cylindrem formowym a cylindrem pośrednim powinno być nie większe niż ciśnienie pomiędzy cylindrem pośrednim a dociskowym.

Bibliografia

- Behne R., Bridges V., Flint W., Byers J., *Method of making a printing blanket with a convex compressible layer*, 1999, US Patent 5,863,367, URL <https://www.google.com/patents/US5863367>.
- Bohan M., Claypole T., Gethin D., Megat Ahmed M., *A model for ink impression in printing contacts*, „Journal of pulp and paper science” 2000, nr 26 (11), s. 414–419.
- Bohan M., Lim C., Korochkina T., Claypole T., Gethin D., Roylance B., *An investigation of the hydrodynamic and mechanical behaviour of a soft nip rolling contact*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J, „Journal of Engineering Tribology 1997”, nr 211 (1), s. 37–49.
- Ciupalski S., *Maszyny offsetowe zwojowe*, Warszawa 2000.
- Ciupalski S., *Maszyny drukujące konwencjonalne*, Warszawa 2001.
- Coupe R., Hsu B., *Penetration of varnishes and inks into paper under pressure*, „JOCCA” 1960, nr 43 (10), s. 720–736.
- Czichon H., Czichon M., *Offsetowe gumy obciążowe*, „Świat Druku” 1998, nr 1.
- Čechman Ja. I., Senkus’ V. T., Didyč V. P., Bosak V. O., *Drukars’ke ustakuvannja*. Pidručnyk, Lwów 2005.
- De Grace J., Mangin P., *A mechanistic approach to ink transfer. part i: Effect of substrate properties and press conditions*, „Advances in Printing Science and Technology” 1984, nr 17.
- De Grace J., Mangin P., *A mechanistic approach to ink transfer. part 2-the splitting behaviour of inks in printing nips*, „Advances in Printing Science and Technology” 1988, nr 21.
- De Paoli A., *The effect of printing conditions on dot gain*, „TAGA Journal of Graphic Technology” 1981.
- Dejidas L. P., Destree T., *Technologia offsetowego drukowania arkuszowego*, Warszawa 2007.
- Destree T., Zak J., *Trudności w arkuszowym drukowaniu offsetowym. Poradnik*, Warszawa 2007.
- Eriksen O., Gregersen O. W., *Ink pigment location measured as the position of clay in yellow coldset ink*, „Nordic Pulp and Paper Research Journal” 2006, nr 21 (4), s. 460.
- Eschenbach W., Wagenbauer K., *Impression forces and pressure distribution in the cylinder contact areas of a sheet offset printing press*, Proceeding of the Fifth International Conference of Printing Research Institutes, Pergum Press, New York, 109–127, 1961.

16. Franklin A.T., *Paper/ink/press relationships*, „Professional Printer” 1980, nr 24 (2), s. 2–5.
17. George H., Oppenheimer R., *Deflection compensating roll for providing uniform contact pressure*, 1984, US Patent 4,487,122, URL <https://www.google.com/patents/US4487122.html>.
18. Germanies E., *Spravočnaja kniga tehnologa poligrafista*, Moskwa 1982.
19. Goossen C., Peterson S., *Compressible printing blanket*, 1976, uS Patent 3,983,287, URL <http://www.google.com/patents/US3983287>.
20. Henry H., *Ink distributing means comprising a bundle of skewed rollers*, 1972, US Patent 3,687,073, URL <https://www.google.com/patents/US3687073>.
21. Hermanies E. (red.), *Polygrafische Technik*, Leipzig 1978.
22. Hinge K., Maniatty A., *The effect of skew angle on the axial pressure distribution between flexible rubber-covered rollers*, „International journal of mechanical sciences” 1995, nr 38 (6), s. 607–619.
23. Hoffmann E., Sameit C., Schmid G., *Method and printing unit for influencing lateral web spreading in particular in rotary presses*, 2006, US Patent 7,127,991, URL <https://www.google.com/patents/US7127991>.
24. Hsu B., *Some observations on the ink-paper relationship during printing*, Printing, Packaging & Allied Trades Research Association, 1961.
25. Jarema S.M., *Mechanika kontaktnoji vzaemodiji frykcijnych par kočennja poligrafičnych system (Mechanics of contact interaction of pairs of rolling friction of printing systems)*, Kijów 2006.
26. Jurkiewicz A., Pyr’jev Y., *Analiza nacisków pomiędzy wałkami w arkuszowej offsetowej maszynie drukującej*, „Opakowanie” 2011, nr 3.
27. Jurkiewicz A., Pyr’jev Y., *Analysis of stress problem between two rollers or two cylinders in sheet-fed offset printing machine*, „Acta Mechanica et Automatica” 2011, nr 5 (4), s. 58–61.
28. Jurkiewicz A., Pyr’jev Y., *Analysis of pressure force between two cylinders*, „Challenges of Modern Technology” 2012, nr 3 (1), 10–14.
29. Jurkiewicz A., Pyr’jev Y., *The change of printouts’ quality depending on pressure of a blanket cylinder against an impression cylinder and a plate cylinder in offset machine*, „Acta Mechanica et Automatica” 2014, nr 8 (1), s. 9–15.
30. Jurkiewicz A., Pyr’jev Y., Kowalczyk J., *Printouts’ quality depending on too small pressure of a blanket cylinder against an impression cylinder and a plate cylinder in offset machine*, „Challenges of Modern Technology” 2013, nr 4 (4).
31. Jurkiewicz A., Pyr’jev Y., Kowalczyk J., *Wpływ zbyt małego nacisku pomiędzy cylindrem pośrednim i jednocześnie cylindrem formowym i dociskowym w maszynie offsetowej na jakość wydruków*, [w:] *Wyzwania współczesnej techniki*, s. 63–74, Warszawa 2014.
32. Kasjanova E.L. *Osnovnye vidy pečati. Učebnoe posobie*, Novosibirsk 2012.
33. Kipphan H. (red.), *Handbook of print media*, Berlin Heidelberg 2001.
34. Kozarovickij L., *Bumaga i kraska v processe pečatanija*, Moskwa, 1965.
35. Kubert V., *Automatic cylinder skewing apparatus*, 1982, US Patent 4,365,552, URL <https://www.google.com/patents/US4365552>.
36. Nordman Lars S., Rolf Ginman R., Olofsson G., Eravuo V., *Piezoelectric measurement of printing pressure*, „TAGA Journal of Graphic Technology” 1959.
37. Lim C.H., Bohan M.F.J., Claypole T.C., Gethin D.T., Roylance B.J., *A finite element investigation into a soft rolling contact supplied by a non-newtonian ink*, „Journal of Physics D: Applied Physics” 1996, nr 29 (7).
38. Marogulowa N., Stefanow S., *Raschodnye materialy dla offsetnoj pečati*, Ruskij uniwersitet, Moskwa 2002.

39. Mcguire C., *Pneumatic cellular structure*, 1950, US Patent 2,503,164, URL <http://www.google.com/patents/US2503164>.
40. Milošević R., Kašiković N., Novaković D., Prica M., Draganov S., *Investigation of the printing pressure level application influence on sheet-fed offset print quality*, „Machine Design” 2013, nr 5 (4), s. 171–176.
41. Milošević R., Kašiković N., Novaković D., Prica M., Draganov S., *The effects of different printing pressure level application on sheet-fed offset print quality*, International „Circular of Graphic Education and Research” 2014, nr 7, s. 54–65.
42. Mitrofanov V., *Analitičeskaja statika pečatnogo processa*, „Izviestija wyższych uczebnych zawiedienij. Problemy poligrafii i izdatielskogo diela” 2000, nr 1–2, s. 5–10.
43. Oittinen P., Lindqvist U., *The behavior of printing ink in an offset printing nip*, „Paperi ja Puu – Paper and Timber” 1981, nr 63 (6–7), s. 432.
44. Oittinen P., Saarelna H., *Papermaking science and technology: Book 13: Printing*, Helsinki [etc.]: Fapet Oy [etc.], 1998.
45. Olsson I., Pihl L., *Printing studies at the swedish graphic arts research laboratory, Stockholm, Sweden*, „TAPPI” 1954, nr 37 (1), s. 42–46.
46. Panak J., Čeppan M. i in., *Poligrafia – procesy i technika*, Warszawa 2009.
47. Peterson S., *Smash-resistant offset printing blanket*, 1966, US Patent 3,285,799, URL <http://www.google.com/patents/US3285799>.
48. Pihl L., *The ink transfer to paper in printing*, „Svensk Papperstidning” 1952, nr 10, s. 358–362.
49. Pobboravsky I., Pearson M., Daniel C., *Application of a dynamic measurement technique for the investigation of the cause of dot gain in web offset lithography*, „TAGA Journal of Graphic Technology” 1989.
50. Poprjaduchin P., *Technologija pečatnych processov*, Moskwa 1968.
51. Raskina A.N. (red.), *Technologija pečatnych processov*, Moskwa 1989.
52. Sarela S., *Uncoated paper surface for coldset web offset printing: set-off studies*, Rozprawa doktorska, Helsinki University of Technology, 2004.
53. Sarela S., Harkonen E., Paulapuro H., *Evaluation of ink transfer theory*, „TAGA Proceedings (2002)”, 2002.
54. Senthil Vadivu K., Sankaranarayanan N., Mahalakshmi N.V., *Design and development of a pressure sensing device in offset printing machine*, „Journal of the Institution of Engineers: Mechanical Engineering Division” 2006, nr 87, s. 12–14.
55. Shuqin W., Yiming W., Chengwen C., Jianjun B., *Research on the methods of the measurement of printing pressure in offset press*, Measuring Technology and Mechatronics Automation, 2009. ICMTMA'09. International Conference on, tom 1, 342–344, IEEE, 2009.
56. Stachowicz S., Kamińska M., *Strefa kontaktu układu drukującego*, „Opakowanie” 2005, nr 12, s. 31–33.
57. Stępień K., *Eksploatacja obciążeń offsetowych*, „Świat Druku” 2005, nr 3.
58. Szarkowski R., *Właściwości i ograniczenia obciążeń w procesie offsetowego drukowania zwojowego (prezentacja)*, XXXI Konfrontacje Poligraficzne, Warszawa 2015.
59. Tir K.V., Rabinovič M.B., Žovdak A.V., *Techničeskaja eksploatacija ploskich mašin s ostanavlivajuščimsja pečatnym cylindrom i tigel'nych mašin*, Moskwa 1952.
60. Tjurin A.A., *Pečatnye mašiny – avtomaty*, Moskwa 1980.
61. Vadivu K.S., Sankaranarayanan N., *Blankets – how they influence print quality*, „Rind Survey” 2013, nr 34 (3), s. 12–23.
62. Varga A., Stott T.F., *Distribution of pressure between a pair of pressure rollers*, 1956, US Patent 2,762,295, URL <https://www.google.com/patents/US2762295.html>.
63. Varga J.M.J., *Pressure rollers*, 1966, US Patent 3,240,148, URL <http://www.google.ch/patents/US3240148>.

64. Vrotacoe J., Hammond C., Gagne D., *Varying profile cylinder blanket*, 2001, US Patent 6,283,027, URL <https://www.google.com/patents/US6283027>.
65. Wanske M., Klein R., Grossmann H., *Assessing the surface structure of printing papers under pressure*, „Wochenblatt fur Papierfabrikation” 2006, nr 134 (19), s. 1109–1114.
66. Wu Jin-zhi, Gong Zhong-zhi, *Printing pressure distribution in contact areas of offset press cylinder*, „TAGA Proceedings” 1988, 251–258.

Projekt został częściowo sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki przyznanych na podstawie decyzji numer DEC-2011/03/B/ST8/06478.

Niniejsza praca jest współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, projekt „Program Rozwojowy Politechniki Warszawskiej”.

Abstract

Pressure, press clamping and width of a contact zone between cylinders and rollers in an offset printing machine – review of the printing literature

The printing literature provides different values of pressure between cylinders in the printing unit and between rollers in the ink unit of the offset printing machine. Very often there is no information on whether a given value of pressure is maximum or average. Another frequent problem referred to in the printing literature is that authors do not reveal the source of theorems, equations or other important information. This article includes a set of values collected for pressure, line pressure, press clamping and the contact zone width that have been presented by other authors in their specific articles and books. It also includes definitions of pressure, line pressure, press clamping, indentation of blanket and metric clamping. In addition, the article briefly presents findings of the experimental research related to the contact zone between cylinders and rollers was carried out in the printing unit and in the ink unit until present. This article also gives publication references which provide for different equations concerned with the clamping force of cylinders, their compression or indentation, the contact zone width and the impact the specific stress-strain has on blankets.