

Magdalena Fietz

Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu
e-mail: fietz.magdalena@gmail.com

MAKULATURA – POCHODZENIE, PRZERÓB, WYKORZYSTANIE*

WASTE PAPER – ORIGIN, PROCESSING, USAGE

DOI: 10.15611/nit.2016.2.01
JEL Classification: Q5, Q53

Streszczenie: W Polsce każdy mieszkaniec wytwarza statystycznie ok. 300 kg śmieci rocznie, w tym ponad 35 kg makulatury. Wtórnemu przerobowi poddaje się tylko jedną trzecią zużytych wyrobów papierniczych. W związku z wejściem w życie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach zaistniała potrzeba odzyskiwania coraz większej ilości surowców wtórnych, w tym makulatury. Wtórne zagospodarowanie makulatury ma na celu zmniejszenie ilości gromadzonych odpadów na wysypiskach, zmniejszenie wycinki drzew potrzebnych do produkcji papieru, a także ograniczenie ilości ścieków i odpadów stałych w papierniach dzięki wykorzystaniu do produkcji papieru wtórnych mas celulozowych. W pracy przedstawiono podstawowe informacje na temat papiernictwa w Polsce i na świecie, a także procesu produkcji papieru. Podano rodzaje i charakterystykę makulatury, zebrano dane dotyczące problematyki przerobu zużytych wytworów papierniczych na makulaturowe masy wtórne, z uwzględnieniem przerobu mechanicznego i mechaniczno-chemicznego, oraz kierunki rozwoju produktów przerobu zużytych wytworów papierniczych.

Słowa kluczowe: papier, makulatura, recykling papieru, tektura falista, celuloza.

Summary: In Poland, every citizen statistically produces about 300 kg of garbage per year, including more than 35 kg of waste paper. Only a third of waste paper products is reprocessed. In connection with the entry into force of the Act on maintaining cleanliness and order in municipalities there is a need to recover more recyclable materials, including recycled paper. Recovery of waste paper intended to reduce the amount of waste in landfill sites, reducing the felling of trees, as well as reducing the amount of sewage and solid waste in paper mills. The paper presents basic information about the paper industry in Poland and worldwide and the paper production process. It also shows types and characteristics of waste paper and collects data on the processing of waste paper products and product development directions for processing of waste paper products.

Keywords: paper, waste paper, paper recycling process, corrugated card board, cellulose.

* Artykuł został opublikowany w wycofanym czasopiśmie „International Journal of Food Science and Bioprocessing” 1(1) 2016, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu.

1. Wstęp

Papier to wytwór powstający w wyniku spłśnienia włókien celulozowych, a następnie ich odwadniania, prasowania, suszenia i wykańczania. W masie włóknistej używanej do produkcji papieru najważniejszym składnikiem jest celuloza mająca postać mocnych, długich i elastycznych włókien. Gorsze gatunki papieru zawierają pewną ilość ścieru drzewnego. Masy celulozowe pochodzą z przerobu drewna metodą chemicznego roztwarzania, podczas gdy ścier otrzymuje się w procesie mechanicznego rozwłókniania drewna nazywanego ścieraniem. Oprócz drewna surowcami do produkcji papieru mogą być też rośliny o dużej zawartości celulozy (bawełna, ramia, len i juta), a także zużyte tkaniny wykonane z włókien celulozowych oraz zużyte wytwory papiernicze [Jakucewicz 2014]. Papier jest najczęściej wytworem jednowarstwowym, o stosunkowo niewielkiej sztywności i małej masie. Ze względu na dostępną bazę surowcową, szeroki zakres zastosowań oraz unikalne właściwości jest powszechnie używany w technice i w życiu codziennym. Wykorzystywany jest w drukarstwie (książek, czasopism, broszur), służy do pisania, jest materiałem opakowaniowym, a także materiałem higienicznym (chusteczki do nosa, ręczniki papierowe, papier toaletowy).

Według normy ISO 4046: 1978 za papier uważa się wyrób papierowy o gramaturze do 225 g/m². Według Polskiej Normy PN-P-50007: 1987 określa się go jako wytwór o gramaturze do 250 g/m² [Jakucewicz 2012]. Utrzymująca się w XXI wieku tendencja wzrostowa zużycia papieru powoduje coraz większe zapotrzebowanie na surowce włókniste. Wytwory papiernicze cechują się przystępną ceną, odnawialną bazą surowcową, biodegradowalnością oraz szerokimi możliwościami kształtowania swoich właściwości [Przybysz, Przybysz, Drzewińska 2006]. Produkcja papieru i tektury na świecie w 2014 r. wyniosła 399,8 mln ton. W Polsce wyprodukowano 3,8 mln ton papieru, co daje 19. miejsce na świecie wśród producentów papieru i tektury [GUS 2015]. Wielkość produkcji mas celulozowych w krajach CEPI w 2014 r. zestawiono w tab. 1.

Papier można podzielić na kilka rodzajów ze względu na zastosowanie [Libiszowski 1986; Godlewska, Żubrzak 2014]:

- papier drukowy: przeznaczony jest do druku jednobarwnego lub wielobarwnego, głównie gazet, czasopism i druków jednorazowych, a także książek; surowce można bielić lub nie w zależności od tego, jakie ma być jego zastosowanie, papier zakleja się głównie w masie,
- papier opakowaniowy: jest przeznaczony do produkcji opakowań i w zależności od zastosowania może być koloru szarego, brązowego lub białego,
- papiery higieniczno-sanitarne: dominującym wyrobem jest papier toaletowy, poza nim do tej grupy zalicza się też chusteczki higieniczne do nosa lub kosmetyczne, ręczniki w rolkach, serwetki i serwety papierowe,
- papier techniczny: ma największą gramaturę spośród wymienionych papierów, może zawierać dodatki, dzięki którym uzyskuje nowe właściwości i zastosowanie, np. powłoka woskowa, warstwa folii, warstwa chroniąca przed wnikaniem wody i tłuszczów.

Tabela 1. Produkcja mas celulozowych w krajach CEPI w 2014 r.**Table 1.** Production of pulp in CEPI countries by 2014

Kraj/Country	Wielkość produkcji [tys. ton]/ Scale of production [thousand tonnes]
Szwecja/Sweden	11 531
Finlandia/Finland	10 329
Portugalia/Portugal	2 626
Niemcy/Germany	2 597
Hiszpania/Spain	1 863
Francja/France	1 655
Austria/Austria	1 496
Polska/Poland	1 049
Norwegia/Norway	912
Holandia/Netherlands	100

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Fornalski 2014b].

Source: own data based on [Fornalski 2014b].

Tabela 2. Największe zakłady przemysłu papierniczego w Polsce**Table 2.** The biggest paper industry plant in Poland

Zakład/Plant	Surowce/Raw materials	Produkty/Products
Arctic Paper Kostrzyn SA GK, Poznań	masy celulozowe kupowane od dostawców zewnętrznych/ <i>cellulose pulp purchased from external suppliers</i>	papier niepowlekany bezdrzewny, podwójnie powlekany papier drzewny, matowy papier powlekany/uncoated woodfree paper; doublecoated wood paper; coated matt paper
Mondi Świecie SA GK, Świecie	masy celulozowe produkowane na własny użytek/ <i>cellulose pulp produced for own use</i>	papiery do produkcji tektury falistej, papier workowy/paper for paperboard production/sack kraft paper
International Paper – Kwidzyn sp. z o.o., Kwidzyn	masy celulozowe zakupowane od pozostałych spółek International Paper/ <i>cellulose pulp purchased from other companies belonging to International Paper</i>	papiery biurowe (kolorowe, białe, drukowe do drukarek laserowych, papier HP), papier gazetowy, tektura powlekana/office stationery (color, white, laser printer paper, paper HP), newsprint, coated packaging
Stora Enso Poland SA, Ostrołęka	masy makulaturowe/ <i>recycled pulp</i>	papiery opakowaniowe/ <i>packaging material</i>
Polska Wytwórnia Papierów Wartościowych SA, Warszawa	najwyższej jakości masy celulozowe/ <i>highest quality cellulose pulp</i>	dokumenty (dowody osobiste, paszporty), banknoty, papiery wartościowe, karty (legitymacje, karty bankowe)/documents (ID cards, passports), banknotes, share certificates, cards (ID, bank IDs)
DS. Smith Packaging GK, Kielce	masy celulozowe kupowane od dostawców zewnętrznych/ <i>cellulose pulp purchased from external suppliers</i>	papiery i tektury opakowaniowe, palety tekturowe, tektura falista/paper and packaging material, cardboard trays, paperboard

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Fornalski 2014a; Arctic Paper S.A. 2015; DS Smith 2015; International Paper – Kwidzyn Sp. z o.o. 2015; Mondi Świecie S.A. 2015; Polska Wytwórnia Papierów Wartościowych S.A. 2015; Stora Enso Packaging Solutions 2015].

Source: own data based on [Fornalski 2014a; Arctic Paper S.A. 2015; DS Smith 2015; International Paper – Kwidzyn Sp. z o.o. 2015; Mondi Świecie S.A. 2015; Polska Wytwórnia Papierów Wartościowych S.A. 2015; Stora Enso Packaging Solutions 2015].

W XX wieku produkcja i zużycie wytworów papierniczych ulegało podwojeniu średnio co 15 lat. Najwięcej tych wyrobów wytwarza się w Europie i Ameryce Północnej. Papiernictwo jest dziedziną przemysłu, która bardzo szybko się rozwija. Zmiany w bazie surowcowej i technologii produkcji papieru pozwalają na otrzymanie produktów wysokiej jakości, przy mniejszej szkodliwości dla środowiska naturalnego [Jakucewicz 2014]. Największe zakłady branży papierniczej w Polsce przedstawiono w tab. 2.

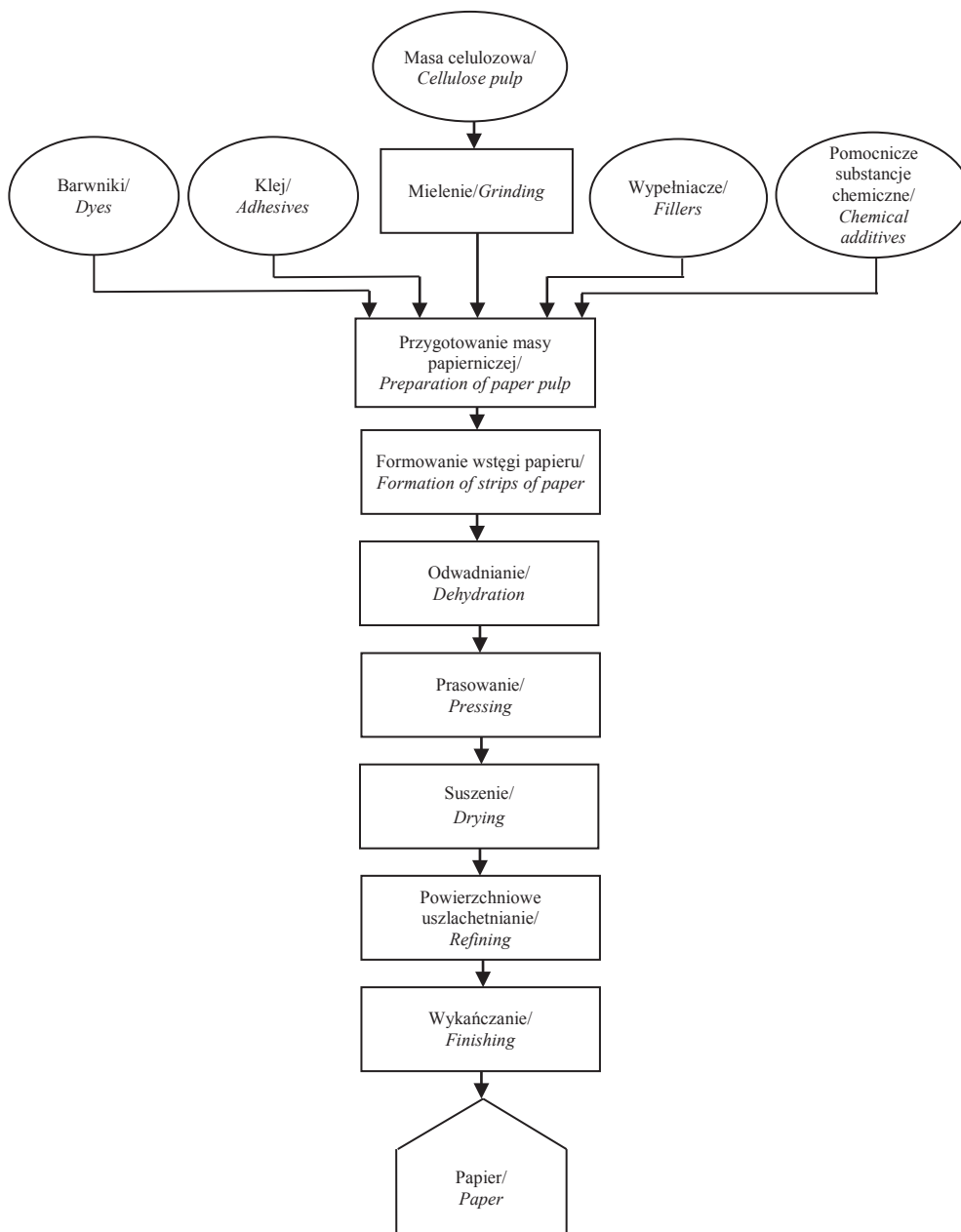
Papier po wykorzystaniu staje się odpadem. W krajowych odpadach komunalnych zawartość papieru i tektury jest znaczna, bo przekracza 1,5 mln ton (podczas gdy łączna masa odpadów komunalnych w Polsce wynosi 12 mln ton). Udział papieru w odpadach komunalnych zależy od miejsca ich powstawania – najczęściej (ponad 1 mln t) powstaje w dużych miastach, gdzie znajdują się różnego typu szkoły, urzędy i instytucje, a najmniej na terenach wiejskich (175 tys. ton). Zgodnie z obowiązującym prawodawstwem odpady papieru i tektury powinny być w coraz większym stopniu zagospodarowywane i używane ponownie. Celem pracy jest przedstawienie podstawowych zagadnień dotyczących pochodzenia, przetwarzania i ponownego wykorzystania odpadów papieru i tektury.

2. Produkcja papieru

Produkcja papieru jest procesem ciągłym. Najważniejszymi surowcami do produkcji papieru są masy włókniste, do których dodaje się kleje, barwniki, wypełniacze, roztwory zaklejające i inne substancje chemiczne, by jakość papieru była wyższa, a proces produkcyjny sprawniejszy do przeprowadzenia [Przedziecka, Węglowski 1989]. Masy włókniste można uzyskać na wiele sposobów. Najczęściej otrzymuje się je ze zrębków drzewnych przez chemiczne roztwarzanie, poza tym stosuje się ścier drzewny. Ważnym surowcem do otrzymywania papieru są też włókna uzyskane z makulatury [Jakucewicz 2014]. Przebieg procesu produkcji papieru przedstawiono na rys. 1.

Oczyszczone surowce włókniste mieli się w młynach stożkowych w celu rozluźnienia ich struktury (fibrylacji). Mielenie ma bardzo niską sprawność, nieprzekraczającą 30%, do tego jest najbardziej energochłonną operacją w trakcie produkcji papieru (zużywa nawet 40% energii elektrycznej wykorzystywanej w papierni) [Przybysz, Przybysz 2013]. Następnie włókna transportuje się do złożonej z trzech części (sitowej, prasowej i suszącej) maszyny papierniczej. Uproszczony schemat budowy maszyny papierniczej przedstawiono na rys. 2.

Formowanie wstęgi papieru następuje w części pierwszej maszyny papierniczej przy użyciu sit. Rozcieńczoną masę podaje się na sito, gdzie zachodzi odwadnianie masy przez zagęszczanie zawiesiny. W miarę upływu czasu i transportu masy zawarte na sicie włókna spilśniają się i tworzą ułożoną poziomo coraz grubszą warstwę. Zagęszczeniu masy w końcowej części sitowej maszyny papierniczej służą skrzynki ssące, które pozwalają odvodnić masę papierniczą jeszcze o 6-14%. Pomiędzy

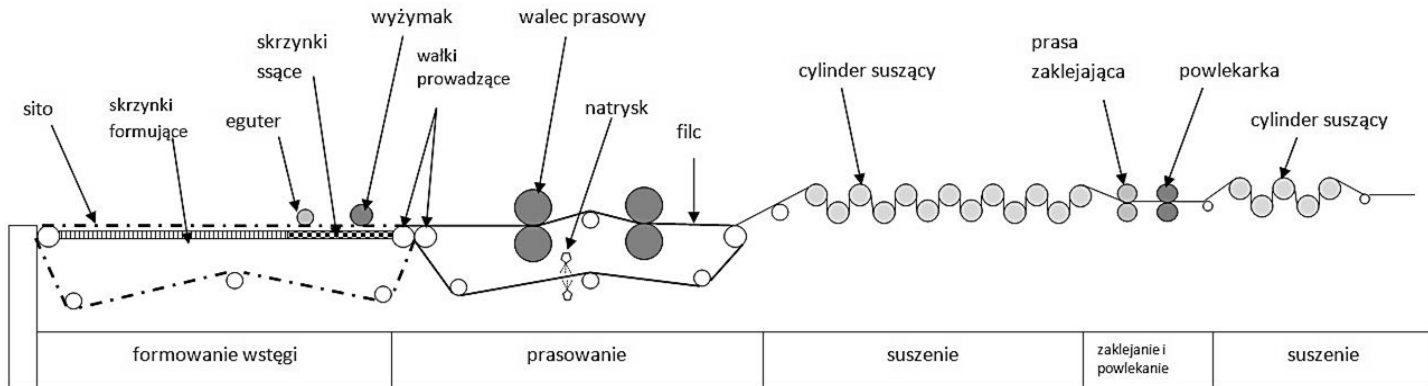


Rys. 1. Schemat ideowy produkcji papieru

Fig. 1. Scheme of the production of paper

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Jakucewicz 2014; Wolak 2013].

Source: own data based on [Jakucewicz 2014; Wolak 2013].



Formowanie wstęgi papieru/*Formation of strips of paper*

Sito/*Seive*

Skrzynki formujące/*Forming boxes*

Eguter/*Dandy roll*

Skrzynki ssące/*Suction boxes*

Wyżymak/*Couch roll*

Waliki prowadzące/*Guide rollers*

Walec prasowy/*Roller press*

Natrysk/*Shower*

Filc/*Felt*

Suszenie/*Drying*

Cylinder suszący/*Drying cylinder*

Zaklejanie i powlekanie/*Sizing and coating*

Prasa zaklejająca/*Size press*

Powlekarka/*Coating machine*

Rys. 2. Uproszczony schemat maszyny papierniczej

Fig. 2. Simplified design of paper machine

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Jakucewicz 2014; Przybysz 1997].

Source: own data based on [Jakucewicz 2014; Przybysz 1997].

skrzynkami ssącymi znajduje się eguter [Przybysz 1997]. Jest to walec obciążony metalowym sitem, który powoduje właściwe rozłożenie się włókien przez wywarcie nacisku na formującą się wstęgę papieru. Eguter powoduje odpowiednie sprasowanie pilśni i wytworzenie pasma papieru o pożądanej grubości. Opuszczająca sito wstęga przechodzi jeszcze przez dwa walce wyżymaka, które powodują wyciśnięcie wody i kończą proces spłisnienia papieru w części mokrej maszyny papierniczej [Miller, Rawdanowicz 1998].

Kolejnym etapem produkcji papieru jest prasowanie wstęgi w części prasowej maszyny papierniczej. Wstęga mokrego papieru przechodzi z sit do układów walców, gdzie następuje dalsze odwodnienie w wyniku przejścia pasma papieru przez wały prasowe [Przybysz 1997]. W trzeciej części maszyny papierniczej zachodzi proces suszenia wstęgi papieru dzięki zespołom suszącym żeliwnych cylindrów, które obracając się wokół własnej osi, transportują wstęgę po swoich rozgrzanych powierzchniach. Puste w środku cylindry ogrzewane są parą wodną do temperatury 80°C, dzięki czemu następuje suszenie kontaktowe [Przedziecka, Węglowski 1989]. Tak wyprodukowany papier poddaje się powierzchniowemu uszlachetnianiu. Najczęściej polega ono na zaklejaniu papieru oraz na jego powlekanii. Dzięki temu papier jest gładki, biały i podatny na drukowanie [Przybysz 1997]. Papier wykańcza się, aby uzyskać ostateczną postać handlową. Najpierw wstędze papieru nadaje się oczekiwaną strukturę oraz nawilża się go w nawilżarkach, które usuwają elektrostatyczność z papieru i sprawiają, że ma on optymalną wilgotność. W kalandrze natomiast przebiega satynowanie papieru, gdzie można uzyskać wygładzanie jedno- lub dwustronne [Libiszowski 1986].

3. Charakterystyka makulatury

Makulatura to zużyte, zniszczone, nienadające się do użytku wyroby papiernicze, które mogą zostać ponownie wykorzystane dzięki odzyskaniu włókien celulozowych zawartych w ich strukturze [Libiszowski 1986]. W Polsce makulaturę zużywa się głównie do produkcji papierów opakowaniowych, gazetowych, sanitarnych i do użytku domowego [Doliwa 2009]. Pozyskuje się ją z przemysłu papierniczego i spożywczego, drukarni, handlu (opakowania), przez selektywne zbiórki, akcje społeczne, a także przez odzysk z wysypisk śmieci [Kawczyński 2007]. Rodzaje makulatury przedstawiono w tab. 3.

Makulatura mocna jest coraz mniej dostępna na rynku światowym, ponieważ większość jej zasobów jest kupowana przez Chiny, co silnie destabilizuje rynek, wpływając na ceny i ilość dostępnej makulatury mocnej [Przybysz 2011a]. Chiny są liderem na świecie nie tylko w produkcji papieru, a także w jego zużyciu, dlatego mają bardzo duży wpływ na ilość papieru z odzysku na rynku światowym [Graczyk 2012]. W Polsce istnieją znaczne rezerwy makulatury, ponieważ produkcja wyrobów papierniczych wynosi obecnie 3,8 mln ton, a określany przez Stowarzyszenie Polskich Papierników wskaźnik odzysku tego surowca wynosi jedynie ok. 35% [Przybysz 2010].

Tabela 3. Rodzaje makulatury
Table 3. Types of waste paper

Rodzaj makulatury/ <i>Recovered paper grades</i>	Charakterystyka/ <i>Characteristic</i>
Makulatura mocna/ <i>High waste paper</i>	Makulatura mocna jest najmocniejsza spośród wszystkich rodzajów makulatury i dominuje na rynku zużytych wytworów papierniczych. Składa się głównie z tektury falistej pochodzącej z odpadów produkcyjnych lub zużytych opakowań. Cechą makulatury mocnej jest duży udział włókien o wysokiej zdolności papierotwórczej i mały udział frakcji drobnej/ <i>High waste paper is the strongest among all types of paper and dominates in the market of used paper products. It consists primarily of corrugated cardboard derived from production waste or used packaging. It is also characterized by a high proportion of fibers with high ability for papermaking and small fine proportion</i>
Makulatura mieszana/ <i>Mixed waste paper</i>	Makulatura mieszana składa się z frakcji różnych rodzajów zużytych wytworów papierniczych (np. gazety, tektury falistej, papieru drukowego, książek). Może być poddana przerobowi bez rozdzielania na poszczególne frakcje, przed obróbką możliwa jest też segregacja zebranej makulatury (proces ten jednak jest bardzo kosztowny)/ <i>Mixed waste paper consists of fractions of different types of waste paper products (eg. news print, corrugated cardboard, printing paper, books). It can be processed without separation into the various fractions, prior to treatment it is also possible to sort collected waste paper (this process is however very expensive)</i>
Makulatura biała/ <i>White waste paper</i>	Makulatura biała pochodzi głównie z biur, sklepów detalicznych, obiektów użyteczności publicznej, magazynów i zalicza się do niej dokumenty, zapisane kartki papieru, wydruki komputerowe. Jest stosunkowo łatwa do pozyskania, szacuje się, że jej zebrana masa wynosi 250-300 tys. ton/ <i>White recycled paper mainly comes from offices, retail stores, public buildings, warehouses and includes the documents, written paper; computer printouts. It is relatively easy to obtain, it is estimated that the accumulated weight is 250-300 thousand tonnes</i>
Makulatura gazetowa/ <i>Newspapers and magazines waste paper</i>	Duże znaczenie na rynku ma makulatura gazetowa, która jest poszukiwana ze względu na swoje właściwości przetwórcze i krótki okres życia gazet. Rocznie udaje się odzyskać tylko 100 tys. ton makulatury gazetowej, dlatego ciągłe trwają prace nad usprawnieniem jej selektywnego zbierania/ <i>An important element in the market consists of newspapers and magazines, which are characterized by high processability and short life span. Annually, only 100 thousand tons of recycled newspaper are recovered, and therefore constant work is needed to improve its separate collection</i>

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Kawczyński 2007; Przybysz 2011a].
Source: own data based on [Kawczyński 2007; Przybysz 2011a].

Zużyty papier można ponownie wykorzystać w procesie produkcyjnym, co sprawia że proces staje się bardziej ekonomiczny. Masa makulaturowa jest tańsza od po raz pierwszy wyprodukowanych mas celulozowych powstałych w wyniku chemicznego roztwarzania czy ścierania drewna. Użycie makulatury w procesie produkcji papieru umożliwia zmniejszenie zużycia drewna, z którego pozyskuje się włókna celulozowe. Recykling makulatury przyczynia się także do zmniejszenia ilości składowanych materiałów na wysypiskach [Doliwa 2009]. System recyklingu papieru

powinien obejmować pozyskanie makulatury, przygotowanie do przerobu, sam przerób, wykorzystanie odzyskanych włókien, a także utylizację odpadów [Przybysz, Wysocka-Robak, Przybysz 2006].

W Krajowym Planie Gospodarki Odpadami dotyczącym lat 2011-2014 i perspektywnie lat 2015-2022 zakłada się, że zużycie papieru do roku 2022 wzrośnie o 250 tys. ton w stosunku do roku 2014, natomiast ilość wszystkich wytwarzanych odpadów na jednego mieszkańca ma wzrosnąć z 329 kg z roku 2013 do 377 kg w roku 2020, przy rocznym tempie wynoszącym 1,2-1,6%. Konieczne będą więc działania w kierunku selektywnego zbierania papieru i tektury oraz rozbudowa infrastruktury przygotowywania do ponownego użycia wyrobów papierniczych [Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r.].

Makulatura przeznaczana do ponownego zużycia musi spełniać normę PN-EN 643:2004, aby wytworzone z mas wtórnych produkty miały wysoką jakość. Odpad spełniający wszystkie wymagania występujące w normie nosi miano makulatury normowanej i może zostać ponownie użyty w procesach produkcyjnych [Godlewska 2010]. Makulaturą nie są wszystkie zużyte wytwory papiernicze. Podczas selektywnej zbiórki odpadów nie zbiera się zdjęć, papieru mokrego i tłustego, papieru woskowego lub pokrytego folią przezroczystą, tapet, jednorazowych naczyń papierowych. Przetwarzane i zbierane są natomiast gazety, magazyny, papier do pisania, katalogi, kartony, pudełka, tektura falista, zeszyty, książki, torebki papierowe. Można wyróżnić dwa strumienie zbieranych odpadów [Wytyczne dotyczące... 2012]:

- odpady z produkcji opakowań i zużyte opakowania, które służą do produkcji opakowań i niektórych papierów technicznych,
- odpady z produkcji materiałów graficznych i zadrukowanego papieru, pochodzące ze zużytych książek, zeszytów, papierów biurowych, broszur, ulotek, gazet i czasopism, które służą do produkcji papierów higieniczno-sanitarnych oraz do papierów graficznych.

Produkty wytwarzane z mas wtórnych, które konkurują z papierem z włókien pierwotnych, muszą spełniać identyczne wymagania użytkowe. Jest to możliwe dzięki rozwojowi technologii przerobu makulatury na masy włókniste, a szczególnie specjalistycznym operacjom, w których usuwa się zanieczyszczenia oraz regeneruje włókna i poprawia ich właściwości papierotwórcze [Wysocka-Robak, Przybysz, Olejnik 2003]. Procesy przerobu makulatury na masy wtórne dzieli się na dwie główne kategorie, biorąc pod uwagę metodę i głębokość oczyszczania (rys. 3) [Jakuciewicz 2014]:

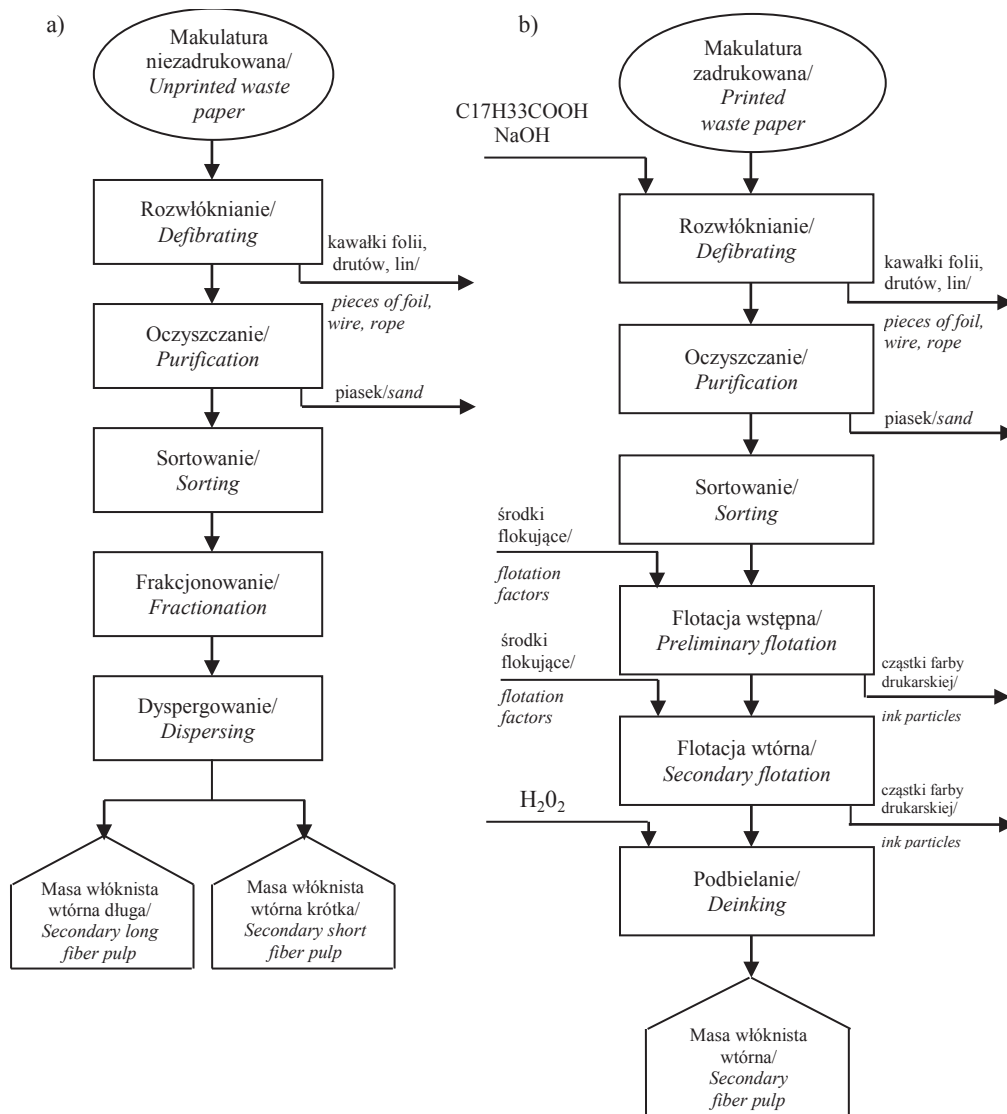
- procesy z zastosowaniem wyłącznie mechanicznego oczyszczania (produkty powstające z tego procesu stosuje się do wyrobu papierów i tektur do celów opakowaniowych),
- procesy obejmujące dodatkowo odbarwianie (produkty powstające z tego procesu stosuje się do wyrobu papierów do pisania, drukowania, a także do produkcji papierów higieniczno-sanitarnych).

4. Przerób makulatury z wykorzystaniem oczyszczania mechanicznego

Do produkcji mas włóknistych wtórnych z zastosowaniem wyłącznie mechanicznego oczyszczania stosuje się makulaturę niezadrukowaną, najczęściej niesortowaną. Masa wtórna z tej makulatury znajduje zastosowanie do produkcji tektur szarych, warstwy środkowej kartonów wielowarstwowych, a także warstwy falowej papierów pakowych. Podczas produkcji mas wtórnych przez mechaniczne oczyszczanie stosowane są następujące operacje technologiczne: rozwłóknianie, oczyszczanie, sortowanie, frakcjonowanie i dyspergowanie masy [Przybysz 1997]. Schemat ideowy procesu przerobu makulatury niezadrukowanej przedstawiono na rys. 3a. Makulatura do operacji rozwłókniania transportowana jest w postaci bel. Rozwłóknianie prowadzi się w rozwłókniaczach bębnowych. W urządzeniach tych bardzo łagodnie oddziałuje się na makulaturę, stosując jej namoczenie w obracającym się bębnie. Zanieczyszczenia pozostają po rozwłóknianiu w stanie nienaruszonym, dlatego mogą być łatwo usunięte, co wpływa w dużym stopniu na efektywność procesów oczyszczania i sortowania. Zastosowanie rozwłókniaczy bębnowych pozwala na wydłużenie okresu eksploatacji urządzeń (sit, wirników, układów pompowych), ponieważ drobne zanieczyszczenia nie przechodzą do dalszych etapów produkcji, tylko są usuwane już na wstępie procesu technologicznego [Błażejewicz 2009].

Celem oczyszczania masy makulaturowej jest wydzielenie z zawiesiny zanieczyszczeń ciężkich najczęściej przez wykorzystanie właściwości reologicznych oraz różnic w gęstości i masie [Przybysz 2011b]. Zanieczyszczenia ciężkie, takie jak piasek i cząstki metaliczne, a także zanieczyszczenia lekkie (tworzywa sztuczne) usuwa się, wykorzystując różnicę gęstości między nimi a surowcami włóknistymi. Oczyszczanie przeprowadza się w hydrocyklonach [Jakucewicz 2014]. Sortowanie polega na oddzieleniu zanieczyszczeń, które różnią się wymiarami i kształtem od włókien [Przybysz 2011c]. Frakcjonowanie ma na celu rozdzielenie masy włóknistej na frakcje, które różnią się długością włókien. Operacja ta poprawia zdolność papierotwórczą masy i pozwala na skierowanie powtórnie wykorzystywanych włókien o określonej długości do formowania produktów (papierów lub tektur). Podczas frakcjonowania z masy wydzielają się dwie frakcje: długowłóknista i krótkowłóknista. Frakcja długowłóknista wykazuje lepsze właściwości wytrzymałościowe i jest wykorzystywana do produkcji mocniejszych papierów, natomiast frakcja krótkowłóknista ma zastosowanie przy produkcji gorszych papierów oraz jest wykorzystywana poza przemysłem papierniczym. Frakcjonowanie ma bardzo duże znaczenie w przetwórstwie makulatury ze względu na ciągle pogarszającą się jakość surowca spowodowaną wielokrotnym wykorzystywaniem włókien [Wysocka-Robak, Przybysz, Olejnik 2003].

Operacja przeprowadzana jest we frakcjonatorach przepływowych, które działają na zasadzie sortowników ciśnieniowych. Wydajność frakcjonowania zależy od stężenia zawiesiny i średnicy rury. Frakcjonatory przepływowe działają zazwyczaj



Rys. 3. Schemat ideowy przerobu makulatury:

- a) przez mechaniczne oczyszczenie
- b) przez mechaniczno-chemiczne oczyszczenie

Fig. 3. Schematic diagram of the processing of waste paper:

- a) by means of mechanical treatment
- b) by mechanical-chemical treatment

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Jakucewicz 2014; Przybysz 1997; Wysocka-Robak, Przybysz, Olejnik 2003].

Source: own data based on [Jakucewicz 2014; Przybysz 1997; Wysocka-Robak, Przybysz, Olejnik 2003].

przy niskim stężeniu zawiesiny. Optymalny zakres stężeń to 0,08-0,3% [Mróz, Wandelt, Perlińska-Sipa 2005]. Kolejną operacją przerobu makulatury niezadrukowanej jest dyspergowanie, które ma na celu rozdrobnienie i zdyspergowanie pozostałych jeszcze w masie wtórnej cząsteczek, takich jak woski czy farby, do rozmiarów, które nie będą wpływały na właściwości produktu. Operacja jest energochłonna, ponieważ polega na ucieraniu masy w dyspergatorze w temperaturze 65-90°C [Jakucewicz 2014].

5. Przerób makulatury przez oczyszczanie mechaniczno-chemiczne

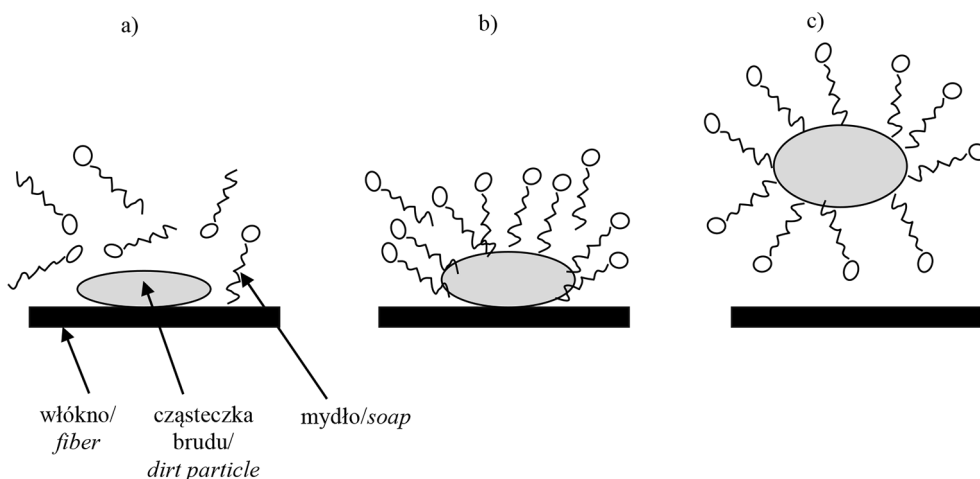
Podczas oczyszczania mechaniczno-chemicznego makulatury największe znaczenie mają operacje rozwłókniania i flotacji, pozostałe etapy zachodzą w sposób analogiczny jak przy przerobie makulatury z zastosowaniem wyłącznie mechanicznego oczyszczenia (rys. 3b). Do przeprowadzenia tego procesu potrzebne są środki chemiczne, które powodują powstanie piany i wydzielenie cząsteczek tuszu i farby drukarskiej z zawiesiny włókien. Jeśli zajdzie potrzeba, po odbarwianiu makulatury można zastosować jeszcze podbielanie w celu zwiększenia jakości produkowanych wtórnych mas włóknistych [Hertl, Knez 2013].

Obróbkę makulatury zadrukowanej, tak samo jak makulatury niezabarwionej, zaczyna się od rozwłókniania, jednak zachodzi ono w nieco inny sposób. W etapie tym dodawany jest wodorotlenek sodu i kwas oleinowy. Mydło, które tworzy się z kwasu oleinowego i wodorotlenku sodowego ma na celu zainicjowanie zjawisk, które występują podczas prania [Jakucewicz 2014]. Cząsteczki utworzonego związku powierzchniowo czynnego tworzą micelle, które skierowane są do wody częściami hydrofilowymi, natomiast do zanieczyszczeń częściami hydrofobowymi. Zaadsorbowane na włóknach cząstki zanieczyszczeń (farb drukarskich) są odrywane od powierzchni włókna i usuwane w kolejnych etapach [Kociołek-Balawejder, Ciechanowska 2013]. Działanie cząsteczek mydła na zanieczyszczenia zawarte w makulaturze przedstawiono na rys. 4.

Po rozwłóknieniu zawiesina włókien podawana jest do urządzeń, w których usuwane są zanieczyszczenia ciężkie i lekkie dzięki działaniu siły odśrodkowej. Poza tym masę sortuje się i oddziela cząsteczki klejów. Procesy te zachodzą podobnie jak przy otrzymywaniu wtórnych mas włóknistych z zastosowaniem tylko mechanicznego oczyszczenia, ale oczyszczanie z wykorzystaniem siły odśrodkowej przeprowadzane jest dwukrotnie, przy czym za drugim razem masa jest bardziej rozcieńczona [Jakucewicz 2014]. Celem operacji odbarwiania jest podwyższenie białości mas celulozowych wtórnych. Odbarwianie polega na oddzieleniu farby drukarskiej od włókien i odseparowaniu jej z masy makulaturowej. Najczęściej odbarwianie prowadzi się metodą flotacji lub przez wymywanie za pomocą środków flokujących [Przybysz 2011c]. W Europie do odbarwiania makulatury stosuje się głównie flotację, w trakcie której skutecznie usuwa się cząsteczki mające średnicę

do 50 mm [Jakucewicz 2014]. Instalacja flotacyjna składa się z 4-5 komór wstępnych i 1-2 komór wtórnych, a także układu do napowietrzania i zbierania odrzutów [Hertl, Knez 2013].

Flotacja wstępna ma za zadanie usunąć z włókien farbę drukarską i spowodować znaczny wzrost białości [Faul, Höke, Lambrecht 2006]. W procesie flotacji wykorzystuje się różnicę w zwilżalności powierzchni hydrofobowych cząstek farby i hydrofilowych włókien [Jakucewicz 2014]. Podczas flotacji włókna zatrzymywane są we frakcji zawiesiny, natomiast farby drukarskie usuwane są z pianą, która zbierana jest w górnej części komory. Masę rozcieńcza się wodą do stężenia 1,0-1,5%, a następnie przepompowuje się do komory flotacyjnej przez zespół elementów napowietrzających. Miesza się ją tam z powietrzem, w wyniku czego powstaje piana. W komorze zawiesina rozkłada się równomiernie, co umożliwia unoszenie się na powierzchnię pęcherzyków powietrza, które są obciążone cząstkami farb. Warstwa ta zbierana jest z górnej części komory i usuwana jako odrzut, a pozostała frakcja masy makulaturowej znajdująca się w komorze pompowana jest do następnej komory flotacyjnej. Zazwyczaj oprócz pierwszego etapu flotacji wstępnej stosuje się również drugi etap, zwany flotacją wtórną. Jeżeli produkt ma mieć wysoką jakość, można zastosować nawet trzy etapy flotacji [Hertl, Knez 2013]. Technologia flotacji wstępnej i wtórnej jest zazwyczaj ta sama [Faul, Höke, Lambrecht 2006].



Rys. 4. Schemat działania mydła podczas rozwłókniania:

- a) zwilżanie włókien, b) odrywanie zanieczyszczeń,
c) solubilizacja cząstek zanieczyszczeń i tworzenie zawiesiny

Fig. 4. Diagram of the soap process during fiberizing:

- a) wetting the fibers, b) detachment of impurities,
c) solubilization of dirt particles and the formation of a suspension

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Kociołek-Balawejder, Ciechanowska 2013].

Source: own data based on [Kociołek-Balawejder, Ciechanowska 2013].

Ze względu na to, że zmieniają się techniki druku i stosuje się coraz nowsze materiały poligraficzne (tonery, farby drukarskie, atramenty), potrzebne są nowe rozwiązania dotyczące odbarwiania makulatury. Oprócz druku czarno-białego powszechny stał się druk kolorowy, do którego potrzeba zaawansowanych technologicznie maszyn i farb drukarskich. Szybkie przemiany w poligrafii mogą znacznie utrudniać wykorzystanie makulatury jako surowca wtórnego w przyszłości. Stosowanie nowoczesnych barwników (utrwalanych nie tylko na zimno, ale też na ciepło i przez promieniowanie UV) może powodować trudności z odbarwieniem, a czasem pozostawiać trwałe, trudne do usunięcia odcienie. W takich przypadkach odbarwioną i bieloną już masę zwraca się, do ponownego oczyszczenia, aby spełniała wysokie wymagania konsumentów, lub wykorzystuje się ją tam, gdzie jej przebarwienie nie będzie miało wielkiego znaczenia [Wandelt 2013].

Aby otrzymać masy makulaturowe wysokiej jakości i białości, należy poddać je operacji bielenia, która polega na usuwaniu i chemicznej modyfikacji substancji barwnych. Uszlachetnione wstępnie masy makulaturowe, które poddaje się bieleniu, nie ustępują obecnie jakością masom pierwotnym. Jest to zgodne z realizacją tzw. up-cyclingu, który polega na wytwarzaniu z surowców wtórnych produktów o lepszej lub podobnej jakości jak produkowane z surowców pierwotnych. Bielenie przeprowadza się najczęściej z użyciem tlenowych środków bielących (tlen, ozon, nadtlenek wodoru, kwasy nadtlenowe) [Wysocka-Robak, Przybysz, Olejnik 2003].

6. Przykłady wykorzystania makulatury

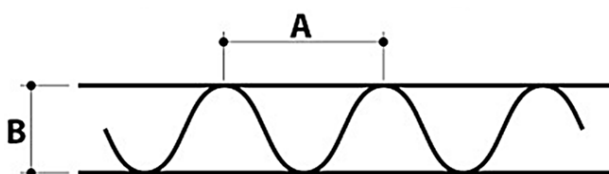
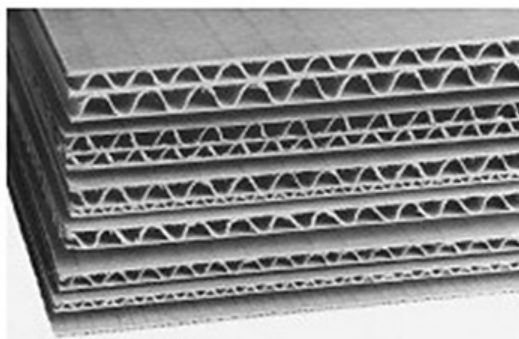
6.1. Tektura falista

Tekturę falistą wytwarza się głównie z masy celulozowej wtórnej, ponieważ do jej otrzymywania przydatne są krótkie włókna celulozowe, stanowiące frakcję drobną masy makulaturowej. Tekturę falistą stosuje się do produkcji opakowań żywnościowych, sprzętu RTV i AGD, kartonów zbiorczych. Obecnie większość przedsiębiorców traktuje tekturę falistą jako główny materiał do pakowania swoich produktów, ponieważ charakteryzuje się zawsze wysoką jakością i możliwością otrzymania z niej ciekawych kształtów [TG 2012]. Właściwości papieru decydują o ostatecznym wyglądzie tektury [Żubrzak 2013].

Tektura falista może mieć wielowarstwową budowę, a poszczególne warstwy składają się z różnych papierów:

- papier pokryciowy, który przeznaczony jest na zewnętrzne i wewnętrzne warstwy płaskie, decyduje on o ostatecznym wyglądzie tektury,
- papier przeznaczony na warstwę pofalowaną, który powinien się charakteryzować porowatością i dużą sztywnością, aby w czasie zderzeń wykazywać dobrą amortyzację i odporność na przepuklenie.

Dzięki swojej budowie tektura falista wykazuje wiele zalet, które spowodowały, że jest ona bardzo powszechna w użyciu, a także nadaje się do późniejszego prze-



A – odstęp między wierzchołkami fali/*distance between the peaks of wave*
B – wysokość fali/*height*

Rys. 5. Budowa tektury falistej

Fig. 5. Construction of corrugated cardboard

Źródło: <http://centrumpakowania.com/c/29-category/tektura-falista-w-arkuszach.jpg>, http://www.opa-kolor.pl/images/strony/v38pam_001.png.

Source: <http://centrumpakowania.com/c/29-category/tektura-falista-w-arkuszach.jpg>, http://www.opa-kolor.pl/images/strony/v38pam_001.png.

twórstwa. Charakteryzuje się lekkością, dobrą amortyzacją i wysokimi właściwościami wytrzymałościowymi [Czechowski 2006]. Kształt oraz wymiary fal, a także jakość ich klejenia decydują bezpośrednio o wytrzymałości opakowań wykonanych z tektury falistej. Duże znaczenie ma też fakt, że tekturę tą można w łatwy sposób zabarwiać, dzięki czemu stanowi ona nieodzowną część wizerunku produktu. Umożliwia to popularyzację marki na rynku przez prezentowanie znaku towarowego firmy [Jakowski 2009]. Dzięki inwestycjom we wzornictwo i poligrafię tektura falista stała się jednym z najbardziej popularnych materiałów opakowaniowych i znajduje się dla niej coraz to nowsze zastosowania. Często dzięki swoim różnorodnym właściwościom stosuje się ją do tworzenia przedmiotów codziennego użytku, po które sięgają ludzie, którzy chcą być nie tylko ekologiczni, ale także nowocześni [TG 2012]. Budowę tektury falistej przedstawiono na rys. 5.

6.2. Palety z tektury falistej

W innowacyjnych przedsiębiorstwach stosuje się palety z tektury falistej, które są tak samo uniwersalne jak standardowe, wykonane z drewna. Charakteryzują się bardzo zbliżoną wytrzymałością. Obróbka tektury jest znacznie prostsza niż drewna, co niewątpliwie jest ich zaletą. Pozwala to na produkcję palet o parametrach idealnie dopasowanych do potrzeb odbiorców, przy czym dalej zachodzi możliwość transportu ich za pomocą wózków widłowych. Największą zaletą palet wykonanych



Rys. 6. Paleta wykonana z tektury

Fig. 6. Pallet made of cardboard

Źródło: [DS Smith 2015].

Source: [DS Smith 2015].

z tektury falistej jest ich masa. Są one o ok. 70% lżejsze od palet wykonanych z drewna. Łatwiejsze jest też manipulowanie nimi, ponieważ nie zawierają drzazg, gwoździ, zszywek co znacznie zmniejsza ryzyko skaleczeń i urazów przy pracy. Obecnie w Polsce jest już kilkunastu producentów, którzy sprzedają takie palety. Największymi odbiorcami tego typu towarów są firmy przemysłu meblarskiego (w tym Ikea), chemicznego, spożywczego i elektrotechnicznego [Żubrzak 2013]. Paletę z tektury wyprodukowaną w DS Smith Packaging GK przedstawiono na rys. 6.

6.3. Masy makulaturowo-pierzowe

W produkcji mas makulaturowo-pierzowych można zagospodarować dwa uciążliwe dla środowiska odpady: przemysłu drobiowego i celulozowo-papierniczego. Odpady z pierza stosuje się jako wkłady do kurtek, pierzyn i poduszek, jako nawozy mineralne, dodatki do kosmetyków, płyt MDF czy jako nowego rodzaju włókna syntetyczne. Badania wykazały, że możliwe jest zastosowanie trudno biodegradowalnych odpadów, jakimi są pióra drobiowe, do produkcji papierów bawełniano-keratynowych, a także do produkcji bioaktywnych kompozytów w połączeniu z włóknami sztucznymi. Z mas makulaturowo-pierzowych, które wypełnione są węglanem wap-



Rys. 7. Doniczki wykonane z masy makulaturowo-pierzowej

Fig. 7. Pots made of paper-feather pulp

Źródło: [Marcinkowska, Potocka 2014].

Source: [Marcinkowska, Potocka 2014].

nia, możliwe jest wytwarzanie jednorazowych doniczek ogrodowych, które zachowują swój pierwotny kształt mimo upływu czasu i widocznych śladów biodegradacji. Poza tym umożliwiają, dzięki porowatej strukturze, przenikanie wody i powietrza. Połączenie makulatury ze zmielonymi piórami drobiowymi może dać jednorodną masę papierniczą [Marcinkowska, Potocka 2014]. Przykładowe zdjęcie doniczek wykonanych z masy makulaturowo-pierzowej przedstawiono na rys. 7.

7. Podsumowanie

Papier jest produktem, który dzięki masowej produkcji jest dostępny w wielu postaciach i ma różnorodne zastosowania. Jest też bardzo szybko zużywany i wyrzucany. Dzięki włóknistej budowie nadaje się nawet do kilkakrotnego przetworzenia, przez co ogranicza się jego składowanie na wysypiskach. Ze zużytych wyrobów papierniczych można wytworzyć ponownie nie tylko papier, ale też ręczniki papierowe, chusteczki higieniczne, bibułkę czy tekturę falistą. Podatność makulatury na ponowne przetwórstwo stwarza ogromne możliwości wdrażania coraz nowszych technologii przerobu zużytych wyrobów papierniczych, a także produkowania wielu innowacyjnych produktów z wtórnej masy celulozowej.

Przemysł celulozowo-papierniczy wywiera bardzo duży wpływ na środowisko. Do jego funkcjonowania potrzebne jest drewno, co powoduje potrzebę pozyskiwania

dużych ilości tego surowca. Produkcja papieru obciąża środowisko, ponieważ w trakcie procesu technologicznego powstają duże ilości odpadów ciekłych i stałych, które są trudne do zagospodarowania. Dużą zaletą procesu produkcji papieru jest to, że baza surowcowa jest odnawialna, a odpowiednio kontrolowany wzrost lasów może przez długi okres zapewniać źródło surowców. Poza tym dodatek do masy papierotwórczej mogą stanowić odzyskane wtórne włókna celulozowe, które są tańsze niż pierwotne masy celulozowe. Dzięki zastosowaniu zużytych wytworów papierniczych obniżają się koszty produkcji papieru oraz wzrasta chęć dodawania makulatury jako surowca włóknistego, ponieważ nie obniża ona właściwości produktu końcowego.

Proces przerobu makulatury jest bardzo ważny ze względu na ochronę środowiska, jak też na ekonomię i gospodarkę surowcami. Wyroby papiernicze używane są kilkakrotnie w procesach produkcyjnych i nie składuje się ich na wysypiskach zaraz po zużyciu. Oszczędza to nie tylko miejsce na wysypiskach śmieci, ale także cenny surowiec do produkcji papieru, jakim jest drewno.

Literatura

- Arctic Paper S.A., <http://www.arcticpaper.com/pl> (25.03.2015).
- Błażejewicz A., 2009, *Postęp w technologii przerobu makulatury*, Przegląd Papierniczy, nr 65 (11), s. 658-659.
- Czechowski J., 2006, *Charakterystyka półproduktów włóknistych do wyrobu tektury falistej*, Przemysł Chemiczny, nr 85 (8-9), s. 1272-1273.
- Doliwa M., 2009, *Makulatura w praktyce*, Przegląd Papierniczy, nr 65 (11), s. 660-661.
- DS Smith, <http://www.dsmith.com/pl/packaging> (25.03.2015).
- Faul A., Höke U., Lamberecht G., 2006, *Odbarwianie makulatury a ekonomiczna produkcja papierów publikacyjnych*, Przegląd Papierniczy, nr 62 (11), s. 651-657.
- Fornalski Z., 2014a, *Przedsiębiorstwa przemysłu papierniczego na „Liście 500” w roku 2013*, Przegląd Papierniczy, nr 70 (5), s. 242.
- Fornalski Z., 2014b, *Zużycie i produkcja papieru i tektury w Polsce w 2014 roku na tle krajów europejskich*, Przegląd Papierniczy, nr 71 (9), s. 485.
- Godlewska K., 2010, *Makulatura – narzędzia wspierające recykling i jakość surowca*, Przegląd Papierniczy, nr 66 (11), s. 633-634.
- Godlewska K., Żubrzak M., 2014, *Papiery higieniczne w Polsce – produkcja, zużycie, trendy*, Przegląd Papierniczy, nr 70 (3), s. 121-123.
- Graczyk T., 2012, *Chiny kształtują popyt na papier i tekturę na całym świecie*, Przegląd Papierniczy, nr 68 (1), s. 21-22.
- GUS, 2015, *Rocznik statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej*, Warszawa.
- Hertl E., Knez S., 2013, *Odbarwianie: kolejna generacja sprawdzonych technologii*, Przegląd Papierniczy, nr 69 (11), s. 580-584.
- International Paper – Kwidzyn Sp. z o.o., <http://www.internationalpaper.com/poland/PL/Company/Facilities/Kwidzyn.html> (25.03.2015).
- Jakowski S., 2009, *Wytyczne dotyczące krajowej produkcji tektury falistej i wykonywanych z niej pudeł*, Opakowanie, nr 7, s. 6-7.
- Jakucewicz S., 2012, *Papier, tektura i karton – co to takiego?*, Opakowanie, nr 12, s. 48-50.
- Jakucewicz S., 2014, *Wstęp do papiernictwa*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Kawczyński K., 2007, *Możliwości finansowego wspierania selektywnej zbiórki odpadów opakowaniowych z papieru i tektury*, Przegląd Papierniczy, nr 63 (10), s. 596-600.

- Kociołek-Balawejder E., Ciechanowska A., 2013, *Związki powierzchniowo czynne*, [w:] Kociołek-Balawejder E. (red.), *Technologia chemiczna organiczna – wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław, s. 155-157.
- Libiszowski S., 1986, *Współczesne polskie introligatorstwo i papiernictwo*. Mały słownik encyklopedyczny, Ossolineum, Wrocław.
- Marcinkowska M., Potocka A.D., 2014, *Badanie możliwości zastosowania mas makulaturowo-pierzonych wypełnionych węglanem wapnia do wywarzania tektur oraz materiałów biodegradowalnych*, *Przegląd Papierniczy*, nr 70 (5), s. 283-289.
- Miller P., Rawdanowicz H., 1998, *Towaroznawstwo wyrobów nieżywnościowych*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa.
- Mondi Świecie S.A., <http://www.mondigroup.com/pl/desktopdefault.aspx/tabid-546> (25.03.2015).
- Mról W., Wandelt W., Perlińska-Sipa K., 2005, *Badanie efektywności frakcjonowania masy makulatury mocnej we frakcjonatorze przepływowym. Wpływ warunków frakcjonowania na jego efekty*, *Przegląd Papierniczy*, nr 61 (4), s. 229-236.
- Polska Wytwórnia Papierów Wartościowych S.A., <http://www.pwppw.pl> (25.03.2015).
- Przedziecka K., Węglowski Z., 1989, *Papyros. Dzieje pewnego wynalazku*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa.
- Przybysz K., 1997, *Technologia celulozy i papieru. Technologia mas włóknistych 2*, Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa.
- Przybysz P., 2010, *Ocena zasobów makulatury w Polsce*, *Przegląd Papierniczy*, nr 66 (11), s. 635-639.
- Przybysz P., 2011a, *Odzysk makulatury. Cz. 1. Ocena odzysku makulatury na świecie i w krajach europejskich (CEPI)*, *Przegląd Papierniczy*, nr 67 (1), s. 31-36.
- Przybysz P., 2011b, *Odzysk makulatury. Cz. 2. Ocena odzysku makulatury w Polsce*, *Przegląd Papierniczy*, nr 67 (5), s. 313-319.
- Przybysz P., 2011c, *Przerób makulatury i wykorzystanie wtórnych papierniczych mas włóknistych*, *Przegląd Papierniczy*, nr 67 (8), s. 483-485.
- Przybysz P., Przybysz K., 2013, *Rozwój poglądów dotyczących procesu mielenia papierniczych mas włóknistych. Cz. I. Rozwój konstrukcji i funkcjonowania urządzeń oraz układów mielenia papierniczych mas włóknistych*, *Przemysł Papierniczy*, nr 69 (6), s. 383-389.
- Przybysz K., Przybysz Z., Drzewińska E., 2006, *Wykorzystanie surowców roślinnych we współczesnym przemyśle papierniczym – stan i perspektywy rozwoju*, *Przemysł Chemiczny*, nr 85 (8-9), s. 1303-1306.
- Przybysz K., Wysocka-Robak A., Przybysz Z., 2006, *Recykling papierniczych mas włóknistych*, *Przemysł Chemiczny*, nr 85 (8-9), s. 1152-1154.
- Stora Enso Packaging Solutions, <http://www.storaensopack.pl> (25.03.2015).
- TG, 2012, *Opakowania z tektury falistej w ankiecie CPI*, *Opakowanie*, nr 12, s. 10.
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach, DzU 2001, nr 62, poz. 628, art. 14 ust. 4.
- Wandelt P., 2011, *Czy wystarczy makulatury mocnej?*, *Przegląd Papierniczy*, nr 67 (2), s. 76-77.
- Wandelt P., 2013, *Co o trudnościach w odbarwianiu makulatury wiedzieliśmy i pisaliśmy*, *Przegląd Papierniczy*, nr 69 (5), s. 301-303.
- Wolak P., 2013, *Drewno – surowiec odnawialny dla przemysłu i energetyki*, [w:] Kociołek-Balawejder E. (red.), *Technologia chemiczna organiczna – wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław, s. 105-116.
- Wysocka-Robak A., Przybysz K., Olejnik K., 2003, *Rozwój technologii przerobu makulatury*, *Przemysł Chemiczny*, nr 82 (8-9), s. 1187-1188.
- Wytyczne dotyczące zapobiegania powstawaniu, zbierania i przetwarzania odpadów komunalnych (aspekty techniczne – instalacje i urządzenia) z dnia 10.12.2012, http://www.sejmik.kielce.pl/temp/zdjecia_kat/35387/wytyczne.doc (06.11.2014).
- Żubrzak M., 2013a, *Co decyduje o właściwościach użytkowych tektury falistej?*, *Przegląd Papierniczy*, R. 69, nr 11, s. 571-572.
- Żubrzak M., 2013b, *Palety z tektury falistej*, *Przegląd Papierniczy*, R. 69, nr 9, s. 472-473.