

Wpływ nadruku techniką analogową i cyfrową na parametry wytrzymałościowe tektury falistej

The influence of analog and digital printing on the strength parameters of corrugated board

KACPER ANDRZEJAK, TOMASZ GARBOWSKI

DOI: 10.15199/54.2021.11.2

Tektura falista po wyprodukowaniu poddawana jest dalszej obróbce, zanim zostanie ostatecznie uformowana w konkretny kształt, np. opakowania czy standu. Procesy przetwarzania obejmują m.in. nadruk, kaszerowanie, laminowanie, wycinanie, sklejanie i składanie. Wpływają one w większym lub mniejszym stopniu na parametry wytrzymałościowe tektury falistej. W niniejszym opracowaniu wykazano wpływ dwóch wybranych technik nadruku na stopień przegniecenia tektury. Do porównania wybrano najbardziej popularną, fleksograficzną (analogową) technikę druku oraz nowoczesną, cyfrową. Problem przegniecia jest szczególnie istotny w przypadku stosowania analogowych technik nadruku, gdzie w wyniku stopniowego docisku zginiata jest warstwa pofalowana tektury, co prowadzi do powstania nieodwracalnych mikrouszkodzeń, a w konsekwencji do osłabienia parametrów mechanicznych materiału. W pracy przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych, które wykazują wyraźne spadki m.in. odporności na zginanie kolumnowe (ECT), sztywności w teście 4-punktowego zginania tektury falistej, zadrukowanej techniką analogową, i nieznaczny wzrost tych parametrów w przypadku zastosowania techniki cyfrowej. Przedstawiono również przewidywany wpływ wyznaczonego laboratoryjnie stopnia przegniecenia tektury falistej na nośność wybranych opakowań.

Słowa kluczowe: tektura falista, nadruk fleksograficzny, nadruk cyfrowy, przegniecenie, ECT, sztywność zginania

After production, the corrugated board undergoes further processing before it is finally formed into a specific shape, e.g. a package or a stand. Converting processes include, but are not limited to, printing, laminating, cutting, gluing and folding. All of them affect, to a greater or lesser extent, the strength parameters of the corrugated board. This study shows the influence of two selected printing technologies on the degree of board crushing. The most popular, flexographic (analog) printing technique and modern digital printing technology were selected for comparison. The problem of creasing

is particularly important when using analogue printing techniques, where gradual pressure crushes the corrugated board layer, which leads to the formation of irreversible microdamages and thus weakening of the mechanical parameters of the material. The paper presents the results of laboratory tests that show clear drops, among others, in resistance to edge crush test (ECT), stiffness in the 4-point bending test of corrugated cardboard printed in analog technology and a slight increase in these parameters when using digital printing technology. The paper also presents the expected impact of determined crushing of the corrugated board on the load-bearing capacity of selected packages.

Keywords: corrugated board, flexographic printing, digital printing, crush, ECT, bending stiffness

Wprowadzenie

Wygląd zewnętrzny (często mylący w kontaktach międzyludzkich) jest istotnym elementem działań marketingowych, mających na celu eksponowanie produktów w najróżniejszych opakowaniach na półkach marketów. To właśnie jakość i estetyka opakowania w znacznym stopniu wpływają na pierwsze wrażenie, jakie robi produkt na kupującym. Eleganckie, dobrze zaprojektowane i dobrej jakości opakowanie przyciąga uwagę, natomiast szare, z niewyraźnym nadrukiem, niskiej jakości nie tylko nie wywołuje zainteresowania, ale wręcz wzbudza podejrzenie co do jakości zapakowanego w nim produktu. Oczywiście jest zatem, że opakowania zewnętrzne i zbiorcze, oprócz funkcji ochronnej i transportowej, coraz częściej pełnią role związane z działaniami marketingowymi, takimi jak funkcje informacyjne, reklamowe, czy chociażby wyróżniające od konkurencji. Nowoczesne opakowania charakteryzują się więc ciekawymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi i graficznymi,

Inż. **K. Andrzejak** (kacper.andrzejak@wernerkenkel.com.pl), Werner Kenkel Spółka z o.o., ul. Mórkowska 3, 64-117 Krzycko Wielkie;
 Prof. UPP dr hab. inż. **T. Garbowski** (tomasz.garbowski@up.poznan.pl), Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej, ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań

które prezentują treści i obrazy zgodne z wizerunkiem produktu, co jest coraz częściej bardzo ważnym elementem wyróżniającym i zwiększającym sprzedaż. Dlatego jakość nadruku, jaką oferują różni producenci, coraz częściej decyduje o wyborze konkretnego wytwórcy opakowań – jako dostawcy. Według producentów dóbr konsumpcyjnych, to właśnie opakowanie zbiorcze wpływa na image produktu, a jego jakość w sposób bezpośredni na ocenę znajdującego się w nim produktu.

Jakość nadruku zależy od wybranej techniki, maszyn drukarskich, podłoża (tj. tektury, a w szczególności jej warstw zewnętrznych), form i farb, a także od czynnika ludzkiego (tj. operatorów maszyn i często ich nawyków). Najczęściej stosowaną techniką nadruku jest fleksografia, która zapewnia bardzo skuteczne pokrycie nadrukiem nierównych podłoży, takich jak tektura falista. Im wyższą jakość nadruku chcemy uzyskać, tym wyższe są wymagania wobec podłoża drukarskich (rodzaju fali, rodzaju papieru zewnętrznego) oraz farb. W nadruku triadowym konieczne jest, na przykład, zastosowanie wyjątkowo dobrych papierów pokryciowych, najlepiej powlekanych, które z kolei wymagają innych farb niż stosowane podczas zadrukowywania papierów wsiąkliwych. We fleksograficznej technice nadruku, kolor nakładany jest na podłoże za pomocą polimerowych matryc mocowanych na wałki maszyny drukującej, w wyniku czego w zadrukowywanej tekturze pojawiają się mechaniczne mikrouszkodzenia, które są głównie zlokalizowane w warstwach pofalowanych i powstają wskutek docisku.

Zjawisko to znane jest w literaturze jako przegniecenie [1, 2]. W analogowej technice nadruku, która polega na fizycznym odciśnięciu grafik (przez matrycę i wał) na tekturze falistej, niestety nie jest możliwe wyeliminowanie tego zjawiska. Tektura falista po przegnieceniu, z uwagi na sprężyste właściwości, potrafi szybko odzyskać swój początkowy kształt, dzięki czemu często wydaje się, że nie była w ogóle zgnieciona. Wrażenie to może też potęgować pomiar grubości, który, w pewnych warunkach, nie wskazuje różnicy między tekturą falistą przed i po przerobie. Jest to niestety mylne wrażenie, ponieważ prawie każdy docisk, który powoduje zmniejszenie wysokości przekroju arkusza pozostawia swoje piętno w postaci drobnych rozwarstwień w warstwach pofalowanych tektury. Przy większych wartościach docisku, delaminacje są widoczne gołym okiem, a tektura falista po przegnieceniu nie jest już w stanie powrócić do początkowego kształtu.

W pracy Garbowskiego i innych [3] wykazano, że można precyzyjnie określić laboratoryjnie wielkość zgniecenia, a przez to kontrolować stopień przegniecenia, które generowane jest przez konkretne urządzenie lub konkretnego operatora. Choć sama informacja o wielkości zgniecenia nie zawiera dużej wartości poznawczej, to już możliwość wykorzystania jej w procesie estymacji nośności opakowań wykonanych z przegnieczonej tektury falistej jest bardzo ważnym elementem projektowania pudeł. Badaniami laboratoryjnymi, które wykazują największą wrażliwość na nawet

niewielkie przegniecenie są: sztywność zginania [7], sztywność ścinania [5] i sztywność skręcania [5], a także zgniatanie płaskie [8], natomiast mniejszą – zgniatanie krawędziowe [9] oraz przepuklenie [10].

W pracy przedstawiono wyniki badań porównawczych, polegających na sprawdzeniu wpływu rodzaju nadruku na tekturze falistej na jej właściwości mechaniczne. Wybrane techniki to nadruk fleksograficzny i cyfrowy. Wpływ obu typów nadruku na przegniecenie tektury falistej oraz na poszczególne wyniki badań laboratoryjnych był zawsze odniesiony do wyników badań na próbkach referencyjnych – niezadrukowanych. Następnie przeprowadzono analizy wpływu spadku poszczególnych parametrów wytrzymałościowych na nośność opakowań transportowych o różnych wymiarach.

Metody i materiały

Do badań wpływu techniki druku na parametry wytrzymałościowe tektury falistej zastosowano surowce 3-warstwowe o różnym profilu fali (E, B i C), z kolei papiery użyte do wyprodukowania tektury falistej, służącej jako materiał badawczy, mają jedną wspólną cechę – zostały wykonane z makulatury. Z uwagi na fakt, że drukowanie zarówno techniką fleksograficzną, jak i cyfrową odbywało się bezpośrednio na tekturze falistej, pominięty został proces kaszerowania, a więc w rozwarstwieniu surowca badawczego nie było tektury litej. Do badań wytypowano 6 surowców – po dwa z każdego profilu (tabela 1).

Tabela 1. Materiał badawczy – składy poszczególnych próbek tektury falistej

ID PRÓBK	GRAMATURA [gm ⁻²]	FALA	LINER 1	FLUTING	LINER 2
E-429	429	E	TL 125	WS 135	TL 125
E-435	435	E	TLW 140	WS 120	TL 135
B-387	387	B	TL 125	WS 95	TL 125
B-436	436	B	TLW 140	WS 120	TL 125
C-446	446	C	TL 135	WS 120	TL 135
C-467	467	C	TL 135	WS 135	TL 140

Wybrane badania, które posłużyły analizie, to przede wszystkim odporność na zgniatanie krawędziowe (ECT), które jest obecnie jednym z najpopularniejszych badań. W celu weryfikacji, w jaki sposób proces drukowania wpłynął na strukturę warstwy pofalowanej, wykonano badania zgniatania płaskiego (FCT), które w największym stopniu jest w stanie wykazać wpływ procesu drukowania techniką fleksograficzną na mikrouszkodzenia flutingu. Badania zostały również rozszerzone o testy wytrzymałości na przepuklenie (BST), a także odporności na zginanie metodą 4-punktową w kierunku MD oraz CD.

W celu przeanalizowania wpływu obniżenia wartości poszczególnych parametrów tektury, w szczególności spadku wartości ECT

oraz sztywności zginania w kierunku MD i CD, na wytrzymałość pudła wykorzystano analityczną formułę zaproponowaną przez McKee [5]:

$$BCT_1 = 2 \cdot ECT^{0.75} * (\sqrt{D_{MD}D_{CD}})^{0.25} \sqrt{Z},$$

oraz formułę zaprezentowaną przez Garbowskiego i innych [4]:

$$BCT_2 = ECT^{0.75} ((P_{cr}^B)^{0.25} B' + (P_{cr}^L)^{0.25} L'),$$

gdzie:

Z jest obwodem podstawy pudła:

$$Z = 2(B + L);$$

P_{cr}^B jest obciążeniem krytycznym, powodującym wyboczenie krótszego panelu bocznego pudła:

$$P_{cr}^B = \frac{\pi^2}{B^2} \left(D_{CD} \left(\frac{mB}{H} \right)^2 + k + D_{MD} \left(\frac{H}{mB} \right)^2 \right);$$

P_{cr}^L jest obciążeniem krytycznym, powodującym wyboczenie dłuższego panelu bocznego pudła:

$$P_{cr}^L = \frac{\pi^2}{L^2} \left(D_{CD} \left(\frac{mL}{H} \right)^2 + k + D_{MD} \left(\frac{H}{mL} \right)^2 \right);$$

L – długość dłuższego boku pudła;

B – długość krótszego boku pudła;

L' – zredukowana długość dłuższego boku pudła, $B' = B \cdot \gamma_B$, dla uproszczenia przyjęto $\gamma_B = 1$;

B' – zredukowana długość krótszego boku pudła, $L' = L \cdot \gamma_L$, dla uproszczenia przyjęto $\gamma_L = 1$;

H – wysokość pudła;

m – ilość półfal w kierunku wysokości pudła, dla której siła krytyczna osiąga minimum;

ECT – odporność tektury falistej na zgniatanie krawędziowe;

D_{MD} oraz D_{CD} są sztywnościami zginania, odpowiednio w kierunku MD i CD;

k – współczynnik ortotropii, dla uproszczenia przyjęto $k = 2$.

Wyniki badań

Badania laboratoryjne

W tabeli 2 zestawiono wyniki badań porównawczych odporności na zgniatanie krawędziowe (ECT) próbek niezadrukowanych (BN), zadrukowanych techniką cyfrową (CYFRA) oraz fleksograficznie (FLEXO).

W tabeli 3 zestawiono różnice procentowe odporności na zgniatanie krawędziowe (ECT) próbek niezadrukowanych (BN), zadrukowanych cyfrowo (CYFRA) oraz fleksograficznie (FLEXO).

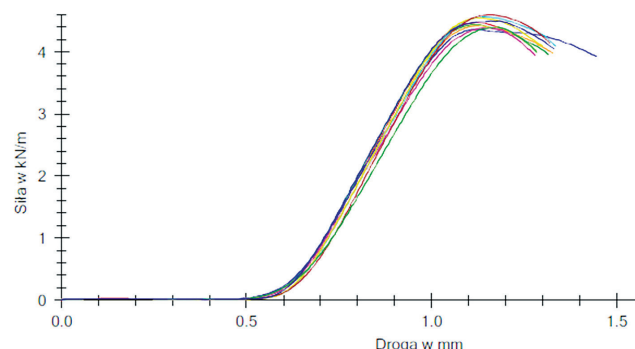
Na rysunku 1 pokazano przykładową serię 10 badań odporności na zgniatanie krawędziowe niezadrukowanej próbki B-436.

Tabela 2. Porównanie wyników ECT [N/m]: Flekso-Cyfra-BN (bez nadruku)

ID	BN	FLEXO	CYFRA	FLEXO vs BN	CYFRA vs BN	CYFRA vs FLEXO
	[N/m]					
B-436	4677	4465	4790	-212	+113	+325
B-387	3901	3687	3923	-214	+22	+236
C-467	4877	4726	4987	-151	+110	+261
C-446	4774	4539	4860	-235	+86	+321
E-435	4608	4517	4677	-91	+69	+160
E-429	4375	3886	4440	-489	+65	+554

Tabela 3. Różnice procentowe ECT próbek zadrukowanych różnymi technikami

ID	FLEXO vs BN	CYFRA vs BN	CYFRA vs FLEXO
B-436	-4,7 %	+2,4 %	+7,3%
B-387	-5,8 %	+0,6 %	+6,4%
C-467	-3,2 %	+2,2 %	+5,5%
C-446	-5,2 %	+1,8 %	+7,1%
E-435	-2,0 %	+1,5 %	+3,5%
E-429	-12,6 %	+1,5 %	+14,3%



Rys. 1. Badanie ECT próbki B-436

W tabeli 4 zestawiono wyniki badań porównawczych przepuklenia (BST) próbek niezadrukowanych (BN), zadrukowanych cyfrowo (CYFRA) i fleksograficznie (FLEXO).

W tabeli 5 zestawiono wyniki badań porównawczych odporności na zgniatanie płaskie (FCT) próbek niezadrukowanych (BN), zadrukowanych techniką cyfrową (CYFRA) oraz fleksograficznie (FLEXO).

W tabeli 6 zestawiono różnice procentowe odporności na zgniatanie płaskie (FCT) próbek niezadrukowanych (BN) oraz zadrukowanych techniką fleksograficzną (FLEXO).

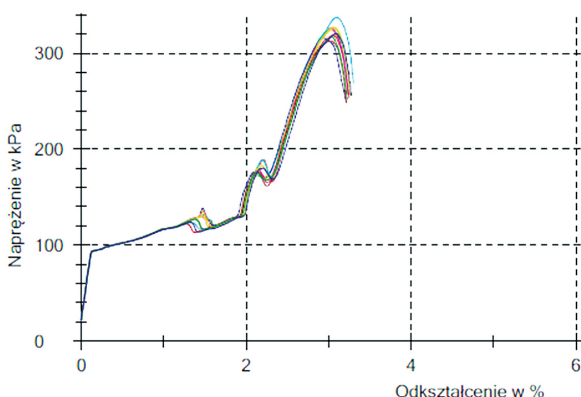
Na rysunku 2 pokazano przykładową serię 10 badań odporności na zgniatanie płaskie próbki B-436, zadrukowanej techniką fleksograficzną.

Tabela 4. Porównanie wyników BST [kPa]: Flexo-Cyfra-BN (bez nadruku)

ID	BN	FLEKO	CYFRA	FLEKO vs BN	CYFRA vs BN	CYFRA vs FLEKO
	[kPa]					
B-436	615,0	596,3	640,3	-18,7	+25,3	+44,0
B-387	630,3	638,5	643,7	+8,2	+13,4	+5,2
C-467	779,9	764,0	769,1	-15,9	-10,8	+5,1
C-446	722,7	703,5	724,9	-19,2	+2,2	+21,4
E-435	461,2	479,0	469,8	+17,8	+8,6	-9,2
E-429	533,0	549,5	518,3	+16,5	-14,7	-31,2

Tabela 5. Porównanie FCT [kPa]: Flexo-Cyfra-BN

ID	BN	FLEKO	CYFRA	FLEKO vs BN	CYFRA vs BN
	[kPa]				
B-436	405	350	399	-55	-6
B-387	387	376	387	-11	0
C-467	491	423	483	-68	-8
C-446	360	323	364	-37	+4



Rys. 2. Badanie FCT surowca o profilu C (gramatura 446 gm²) – nadruk techniką fleksograficzną

Tabela 6. Procentowy spadek FCT [kPa]: Flexo vs BN (bez nadruku)

PROFIL FALI	FLEKO vs BN
B-436	-14%
B-387	-3%
C-467	-14%
C-446	-10%

W tabeli 7 zestawiono wyniki badań porównawczych sztywności zginania (BNT) w kierunku MD próbek niezadrukowanych (BN), zadrukowanych cyfrowo (CYFRA) i fleksograficznie (FLEKO).

W tabeli 8 zestawiono wyniki badań porównawczych sztywności zginania (BNT) w kierunku CD próbek niezadrukowanych (BN), zadrukowanych techniką cyfrową (CYFRA) oraz fleksograficzną (FLEKO).

Tabela 7. Porównanie sztywności zginania metodą 4-punktową w kierunku MD [Nm]: Flexo-Cyfra-BN (bez nadruku)

ID	BN	FLEKO	CYFRA
	[Nm]		
B-436	3,374	3,108	3,455
B-387	3,521	3,368	3,667
C-467	5,795	5,007	5,920
C-446	5,548	4,806	5,773
E-435	1,138	0,98	1,176
E-429	1,136	0,975	1,211

Tabela 8. Porównanie sztywności zginania metodą 4-punktową w kierunku CD [Nm]: Flexo-Cyfra-BN (bez nadruku)

ID	BN	FLEKO	CYFRA
	[Nm]		
B-436	2,039	1,719	2,210
B-387	1,721	1,656	1,822
C-467	3,864	3,219	4,109
C-446	3,251	2,839	3,486
E-435	0,601	0,554	0,632
E-429	0,588	0,541	0,599

W tabeli 9 zestawiono procentowe różnice sztywności zginania (BNT) w kierunku MD próbek niezadrukowanych (BN), zadrukowanych cyfrowo (CYFRA) i fleksograficznie (FLEKO).

Tabela 9. Różnice procentowe wyników sztywności zginania 4-pkt w kierunku MD [Nm]: Flexo-Cyfra-BN (bez nadruku)

ID	FLEKO vs BN	CYFRA vs BN	CYFRA vs FLEKO
B-436	-9%	+2%	+10%
B-387	-5%	+4%	+8%
C-467	-16%	+2%	+15%
C-446	-15%	+4%	+17%
E-435	-16%	+3%	+17%
E-429	-17%	+6%	+19%

W tabeli 10 zestawiono procentowe różnice sztywności zginania (BNT) w kierunku CD próbek niezadrukowanych (BN), zadrukowanych techniką cyfrową (CYFRA) oraz fleksograficzną (FLEKO).

Tabela 10. Różnice procentowe wyników sztywności zginania 4-pkt w kierunku CD [Nm]: Flexo-Cyfra-BN (bez nadruku)

ID	FLEKO vs BN	CYFRA vs BN	CYFRA vs FLEKO
B-436	-19%	+8%	+22%
B-387	-4%	+6%	+9%
C-467	-20%	+6%	+22%
C-446	-15%	+7%	+19%
E-435	-8%	+5%	+12%
E-429	-9%	+2%	+10%

Symulacje BCT

Aby wyznaczyć BCT pudła, poza jego głównymi wymiarami, potrzebne są następujące wartości: ECT, a także sztywność zginania w kierunku MD – D_{MD} oraz w kierunku CD – D_{CD} . W celu sprawdzenia wpływu przegniecenia tektury falistej na nośność różnych pudeł, do analizy wybrano pudła o wymiarach od 200 mm do 800 mm (ze skokiem 200 mm) w każdym wymiarze: B , L i H , co pozwoliło uzyskać w sumie 40 różnych kombinacji.

W tabeli 11 zestawiono procentowe spadki BCT_2 dla opakowań o różnych wymiarach $B \times L$ oraz o wysokości $H=800$ mm, wykonanych z materiału C-467, zadrukowanego techniką fleksograficzną, względem nośności opakowań o tych samych wymiarach, wykonanych z tektury niezadrukowanej.

Tabela 11. Różnice procentowe BCT_2 dla pudła o wysokości $H=800$ mm wykonanego z C-467 – zadruk FLEXO

B / L [mm]	200	400	600	800
200	-6,22 %	-6,38 %	-6,47 %	-6,52 %
400	-	-6,48 %	-6,54 %	-6,58 %
600	-	-	-6,58 %	-6,61 %
800	-	-	-	-6,63 %

W tabeli 12 zestawiono procentowe wzrosty BCT_2 dla opakowań o różnych wymiarach $B \times L$ oraz o wysokości $H=800$ mm, wykonanych z C-467, zadrukowanych techniką cyfrową, względem nośności opakowań o tych samych wymiarach, wykonanych z tektury niezadrukowanej.

Tabela 12. Różnice procentowe BCT_2 dla pudła o wysokości $H=800$ mm wykonanego z C-467 – zadruk CYFRA

B / L [mm]	200	400	600	800
200	+2,70 %	+2,89 %	+2,99 %	+3,06 %
400	-	+3,01 %	+3,08 %	+3,12 %
600	-	-	+3,13 %	+3,16 %
800	-	-	-	+3,19 %

W tabeli 13 zestawiono procentowe spadki BCT_2 dla opakowań o różnych wymiarach $B \times L$ oraz o wysokości $H=200$ mm, wykonanych z E-429, zadrukowanych techniką fleksograficzną, względem nośności opakowań o tych samych wymiarach, wykonanych z tektury niezadrukowanej.

W tabeli 14 zestawiono procentowe wzrosty BCT_2 dla opakowań o różnych wymiarach $B \times L$ oraz o wysokości $H=200$ mm, wykonanych z E-429, zadrukowanych techniką cyfrową, względem

Tabela 13. Różnice procentowe BCT_2 dla pudła o wysokości $H=200$ mm wykonanego z E-429 – zadruk FLEXO

B / L [mm]	200	400	600	800
200	-11,28 %	-10,99 %	-10,83 %	-10,73 %
400	-	-10,80 %	-10,69 %	-10,62 %
600	-	-	-10,61 %	-10,56 %
800	-	-	-	-10,52 %

nośności opakowań o tych samych wymiarach, wykonanych z tektury niezadrukowanej.

Tabela 14. Różnice procentowe BCT_2 dla pudła o wysokości $H=200$ mm wykonanego z E-429 – zadruk CYFRA

B / L [mm]	200	400	600	800
200	+2,25 %	+2,04 %	+1,91 %	+1,84 %
400	-	+1,89 %	+1,80 %	+1,75 %
600	-	-	+1,74 %	+1,71 %
800	-	-	-	+1,68 %

W tabeli 15 zestawiono średnie spadki/wzrosty BCT opakowań (dla wszystkich wymiarów pudeł) wykonanych z tektury zadrukowanej techniką cyfrową i analogową.

Tabela 15. Różnice procentowe wyników BCT: Flexo-Cyfra (w odniesieniu do opakowań bez nadruku)

ID	FLEXO vs BN	CYFRA vs BN	CYFRA vs FLEXO
B-436	-6.20 %	+3.02 %	+9,22 %
B-387	-5.15 %	+1.59 %	+6,74 %
C-467	-6.20 %	+2.67 %	+8,87 %
C-446	-7.03 %	+2.67 %	+9,70 %
E-435	-4.47 %	+2.12 %	+6,59 %
E-429	-11.35 %	+2.31 %	+13,66 %

Omówienie wyników badań

Wyniki badań ECT, zestawione w tabeli 2, wskazują jednoznacznie, że praktycznie dla każdego z badanych surowców odporność na zgniatanie krawędziowe jest najwyższa w przypadku próbek z nadrukiem techniką cyfrową (CYFRA). Są wyższe nie tylko od wyników próbek zadrukowanych w technologii fleksograficznej (FLEXO), ale także nieznacznie od wyników próbek referencyjnych (BN). Dowodzi to, że druk cyfrowy z zastosowaniem utrwalania lampami UV nieznacznie wpływa na wzrost wartości parametru ECT. Biorąc pod uwagę wartość odchylenia standardowego, istotnie statystycznie różnice między drukiem cyfrowym a fleksograficznym występują dla próbek oznaczonych symbolami B-436, C-446 i C-467. Badania próbek zadrukowanych techniką fleksograficzną w odniesieniu do próbek bez nadruku (tabela 3) wskazują za każdym razem spadek parametru ECT, co potwierdza, że siły docisku występujące podczas druku analogowego powodują obniżenie badanego parametru.

Na podstawie wartości przedstawionych w tabeli 4 nie można jednoznacznie stwierdzić wzrostu lub spadku wytrzymałości na przepuklenie (BST) badanych próbek w zależności od zastosowanej techniki druku, w stosunku do prób bez nadruku. Oznacza to, że siły występujące przy druku fleksograficznym nie powodują osłabienia tektury pod kątem przepuklenia. Nie można też stwierdzić, że druk UV w technice cyfrowej ma pozytywny wpływ na parametr BST.

W tabeli 5 zestawiono wyniki badania FCT. Nie zostały w niej ujęte surowce o symbolach E-435 i E-429, ze względu na profil fali, który został zastosowany do ich wyprodukowania. Fala E, nazywana również mikrofalą, nie nadaje się do badania odporności na zgniatanie płaskie. Wyniki zamieszczone w tabeli wskazują na tendencję do osłabienia tektury po zadruku techniką fleksograficzną. Porównując wyniki prób referencyjnych oraz prób zadrukowanych techniką cyfrową nie dostrzega się znacznych różnic parametru FCT, a więc można stwierdzić, że nie wpływa ona w żaden sposób na wyniki tego badania. Jest to dość oczywiste, ponieważ nadruk cyfrowy poprawia właściwości warstwy zewnętrznej (zadrukowanego linera), a nie flutingu, który jest badany w teście odporności na zgniatanie płaskie. Brak wyraźnego trzykrotnego załamania krzywych pokazanych na rysunku 2 oznacza, że fluting został w pewnym stopniu uszkodzony (przegnieciony), co ma przełożenie na osiągnięte wyniki badań laboratoryjnych. Tabela 6 obrazuje w ujęciu procentowym spadek parametru FCT, spowodowany zadrukiem fleksograficznym badanych próbek.

Analizując różnice procentowe sztywności zginania w kierunku CD (tabela 9) i MD (tabela 10), można zauważyć, że najwyższe wartości parametru BNT są osiągnięte po zadruku techniką cyfrową, natomiast najniższe – fleksograficzną. Testy bez nadruku, z kolei, mają wyniki pośrednie. Tendencja taka jest charakterystyczna dla każdego badanego surowca. Jest to kolejny dowód na to, że zadruk cyfrowy UV może wpływać pozytywnie na sztywność tektury falistej, natomiast zadruk fleksograficzny obniża jej sztywność. Różnice parametru BNT (między próbkami zadrukowanymi cyfrowo i analogowo) dla kierunku MD i CD wahają się między 8% a nawet 22%. Tak znacząca różnica wynika z oczywistego efektu przegniecenia (w przypadku zadruku fleksograficznego), który powoduje obniżenie efektywnej grubości tektury, co przekłada się na obniżenie momentu bezwładności. Tektura, która ulega przegnieceniom wskutek nadruku analogowego (nawet jeżeli po jakimś czasie powraca do swojego pierwotnego kształtu), wykazuje stopień przegniecenia, m.in. w badaniach sprawdzających sztywność zginania.

Zauważalny wzrost mierzonych wielkości mechanicznych (prezentowanych w tabelach 2-10) dla próbek zadrukowanych techniką cyfrową najprawdopodobniej wynika z utwardzania zadrukowanego linera lampami UV. Na podstawie przeprowadzonych badań można zauważyć, że utwardzenie nadruku w technice cyfrowej ma pozytywny wpływ na mechanikę tektury falistej i w efekcie powoduje, że nałożona farba ją wzmacnia. Gdy spadki jednego z badanych parametrów wytrzymałościowych tektury falistej przekraczają 10% między próbą referencyjną a próbą zadrukowaną analogowo, możemy mówić już o degradacji badanej tektury. Często tektura falista po nadruku fleksograficznym ma podobne właściwości jak tektura produkowana z innych wsadów, jako produkt o innej (niższej) jakości, co sugeruje potrzebę uważnego doboru jakości tektury do produktów z nadrukami analogowymi.

Wyniki zaprezentowane w tabelach 11-14 stanowią tylko fragment wszystkich analiz, ale w sposób reprezentatywny pokazują procentowe spadki/wzrosty nośności opakowań wykonanych z tektury zadrukowanej fleksograficznie oraz cyfrowo. Spadki BCT opakowań zadrukowanych techniką fleksograficzną, w zależności od wymiaru pudła oraz zastosowanego wsadu, wahają się między -5% a nawet -11%. Natomiast wzrosty nośności opakowań zadrukowanych cyfrowo (w stosunku do opakowań niezadrukowanych) z reguły nie przekraczają 3%. Średnia różnica między nośnością opakowań zadrukowanych w technologii cyfrowej a tych zadrukowanych analogowo (tabela 15) wynosiła od 6 do 13%.

Podsumowanie

W pracy przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych, które jednoznacznie wskazują negatywny wpływ nadruku analogowego na właściwości mechaniczne tektury falistej. Jest to związane z fizycznym dociskiem wałów podczas nadruku. Docisk ten powoduje mikrouszkodzenia flutingu i prowadzi do wyraźnego osłabienia sztywności tektury w obu kierunkach. Zauważalny jest też spadek odporności na zgniatanie krawędziowe i płaskie. Brak bezpośredniego wpływu nadruku techniką fleksograficzną na parametr BST (przepuklenie) badanych próbek związany jest z niską wrażliwością wyników badań BST na właściwości flutingu. Próbkę zadrukowaną cyfrowo, w każdym z prezentowanych badań, wykazują nieznacznie polepszone właściwości mechaniczne w porównaniu do próbek bez nadruku. Jest to związane z utwardzeniem powierzchni drukowanych (w badanym przypadku zadrukowane było 100% powierzchni próbki).

Uzyskane na podstawie badań laboratoryjnych różnice parametrów wytrzymałościowych tektury falistej, zadrukowanej różnymi technikami, w bezpośredni sposób wpływają na nośność opakowań. Na podstawie przeprowadzonych analiz zaobserwowano wyraźne spadki nośności opakowań zadrukowanych analogowo i nieznaczne wzrosty nośności opakowań zadrukowanych cyfrowo. Obserwacja ta stanowi początek ciekawej dyskusji na temat doboru optymalnej jakości, w zależności od stosowanej techniki druku. Oszczędności, jakie mogą płynąć z „odchudzania” tektur stosowanych do druku cyfrowego mogą znacząco wpłynąć na trudne decyzje dotyczące wdrażania i wykorzystania tej techniki w przemyśle opakowań z tektury falistej.

Artykuł recenzowany

LITERATURA

- [1] Gajewski T., Garbowski T., Staszak N., Kuca M. 2021. „Crushing of double-walled corrugated board and its influence on the load capacity of various boxes”. *Energies* 14 (15) : 4321.
- [2] Garbowski T., Gajewski T., Mrówczyński D., Jędrzejczak R. 2021. „Crushing of single-walled corrugated board during converting: experimental and numerical study”. *Energies* 14 (11) : 3203.

- [3] Garbowski T., Czelusta I., Graczyk Ł. 2018. "Computer aided estimation of corrugated board box compression strength. Part 1. The influence of flute crash on basic properties of corrugated board". *Przegląd Papierniczy* 74 (6) : 381-388.
- [4] Garbowski T., Gajewski T., Grabski J.K. 2020. „Role of transverse shear modulus in the performance of corrugated materials”. *Materials* 13 (17) : 3791.
- [5] <http://fematsystems.pl/bse-system/> (dostęp 19.11.2021).
- [6] McKee R.C., Gander, Wachuta 1963. "Compression strength formula for corrugated boxes". *Paperboard Pack* 48 (8) : 1963.
- [7] PN-ISO 5628:1995. Papier i tektura – Oznaczenie sztywności przy zginaniu metodami statystycznymi. Zasady ogólne (dostęp od grudnia 1995).
- [8] PN-EN 23035:1999. Tektura falista dwuwarstwowa i trójwarstwowa – Oznaczenie odporności na zginanie płaskie (dostęp od lipca 1999).
- [9] PN-EN ISO 3037:2000. Tektura falista – Oznaczenie odporności na zginanie krawędziowe. Metoda nieparafinowanej krawędzi (dostęp od października 2000).
- [10] PN-EN ISO 2759:2005. Tektura – Oznaczenie wytrzymałości na przepuklenie (dostęp od grudnia 2005).

ZJAZDY I KONFERENCJE



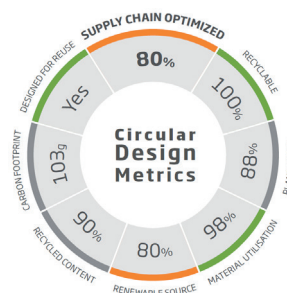
Wskaźniki projektowania dla GOZ – rozpocznij cykl z DS Smith

Podczas webinarium, zorganizowanego 26 października br. przez DS Smith, przedstawiciele tej firmy – Beata Lis-Kozłowska, dyrektor ds. kluczowych klientów i Paweł Mazanka, kierownik działu innowacji i rozwoju produktów – prezentowali uczestnikom ideę gospodarki o obiegu zamkniętym oraz wskaźniki projektowania dla obiegu zamkniętego w praktyce. Dzielili się doświadczeniami z wdrażania GOZ w DS Smith i rekomendowali rozwiązania ułatwiające zrównoważony rozwój. Moderatorem ciekawego spotkania był red. Michał Kokoszkiwicz z „Wiadomości Handlowych”. Miało ono charakter rozmowy, prezentacji i analizy przypadku najlepszych opakowań w obiegu zamkniętym na rynku globalnym. Celem było wskazanie sposobów na wydłużenie używalności materiałów i minimalizowania odpadów. To szczególnie ważne obecnie, gdy model „weź–użyj–wyrzuć” przestaje być wystarczający, a świadomość ekologiczna konsumentów stale rośnie. Obecnie chcą oni zredukować emisję CO₂, wyeliminować tworzywa sztuczne i oczekują, że opakowanie będzie charakteryzowało się optymalnym wykorzystaniem surowca.

Z myślą o zaspokojeniu tych potrzeb, DS Smith proponuje osiem wskaźników projektowania, które pozwalają ocenić opakowanie pod kątem przyjazności dla środowiska. Obejmują one kluczowe wytyczne:

- Zoptymalizowanie pod kątem łańcucha dostaw (*Supply chain optimised*);
- Łatwość recyklingu (*Recyclable*);
- Bezpieczeństwo dla planety, w tym biodegradowalność i kompostowalność (*Planet safe*);
- Wykorzystanie materiałów (*Material utilisation*);
- Zawartość surowców wtórnych (*Recycled content*);
- Ślad węglowy (*Carbon footprint*);
- Możliwość ponownego użycia (*Designed for reuse*).

Wskaźniki te tworzą metrykę (patrz rysunek), która jasno określa kluczowe kryteria, identyfikuje obszary do poprawy i już na etapie projektowania pozwala wydłużyć używalność materiałów oraz, minimalizować ilość odpadów. Ułatwia porównanie rozwiązania pod kątem przyjazności dla środowiska. Ma uniwersalne zastosowanie. Metryka opisuje moment wyprodukowania opakowania i dostarczenia go do odbiorcy. Obecnie jest już używana z powodzeniem przez DS Smith, a firma poleca jej wykorzystanie w całej branży opakowaniowej.



J.W.