

Ignacy BOMBA, Katarzyna KWIECIEN

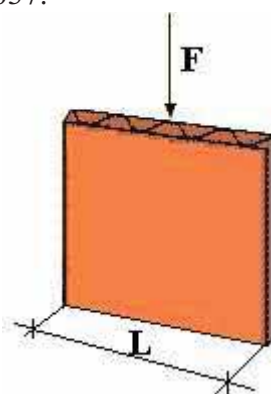
TEORETYCZNA FORMUŁA WYZNACZANIA ODPORNOŚCI TEKTURY NA ZGNIATANIE KRAWĘDZIOWE

Streszczenie

W artykule przedstawiono procedurę oraz wyniki poszukiwania teoretycznej formuły opisującej zależność odporności tektury falistej na zgniatanie kolumnowe. W celu wyznaczenia funkcji najlepiej dopasowanej do wartości rzeczywistych wykorzystano metodę regresji liniowej.

WSTĘP

Wiele opakowań ładunków jest wykonywanych z tektury falistej. Wypełnianie funkcji ochronnej przez opakowanie zależy od wytrzymałości materiału, z którego jest wykonane. Jednym z podstawowych parametrów charakteryzujących wytrzymałość tektury jest odporność na zgniatanie krawędziowe ECT (z ang. Edge Crush Test). W różnych częściach świata są stosowane różne laboratoryjne metody oznaczania ECT. Pomiar wykonywany jest w przyrządach do ściskania, wyznaczających wartości siły F odniesionej do długości L krawędzi tektur (wyniki pomiarów wyrażane są w kN/m), działającej równoległe do kierunku fal i powodującej załamanie próbki tektury (rys.1). Szczegóły sposobu pomiaru ECT w Polsce reguluje PN-EN ISO 3037.



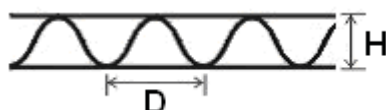
Rys. 1. Zasada pomiaru ECT

Analizując literaturę przedmiotu nie znaleziono formuły matematycznej, opisującej zależność ECT od parametrów technicznych tektury. Istnieje natomiast formuła McKee, służąca do wyliczenia odporności opakowania tekturowego na ściskanie BCT (z ang. Box Compression Test).

Postawiono wobec tego cel – aby wyznaczyć formułę obliczania ECT na podstawie parametrów technicznych tektury. Do postawienia i rozwiązania problemu naukowego przyjęto metodę obserwacji i statystycznego prognozowania. Do weryfikację wyznaczonej formuły przyjęto metodę ex post – badając odchylenie obliczonych teoretycznych od rzeczywistych wartości.

1. CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA TEKTURY

W branży logistycznej występuje wiele rodzajów opakowań towarów, wykonanych z różnych tektur falistych. Tektura falista składa się z zewnętrznych gładkich arkuszy papieru i arkuszy pofalowanych – wewnętrznych (rys.2.). Każda z nich różni się parametrami technicznymi, a co za tym idzie właściwościami wytrzymałościowymi.



Rys. 2. Budowa arkusza tektury: H - wysokość fali, D - odstęp między wierzchołkami fali

Tekturę klasyfikuje się między innymi w zależności od liczby warstw, z których jest zrobiona. Najczęściej na opakowania stosuje się między innymi tektury:

– 2-warstwowe:



- fala E – o średniej wysokości ok.1,5mm,
- fala B – o średniej wysokości ok.2,75mm,
- fala C – o średniej wysokości ok.3,35mm.

– 3-warstwowe:

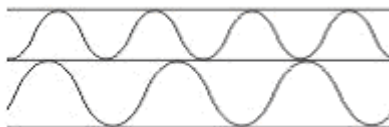


- fala E – o średniej wysokości ok.1,5mm,
- fala B – o średniej wysokości ok.2,75mm,
- fala C – o średniej wysokości ok.3,5mm.

– 5-warstwowe:



- fala E – o średniej wysokości ok.5mm,



- fala BC – o średniej wysokość fali ok. 6,5mm.

– 7-warstwowe – składają się na nią cztery arkusze papieru gładkiego i trzy pofalowane.

Kolejnym czynnikiem mającym wpływ na jakość i wytrzymałość tektury jest gramatura (przykłady w tab.1), czyli masa 1m² wyrobu papierniczego - podawana w g/m². Gramatura i rodzaj papierów użytych do produkcji tektury falistej decydują o jakości i wytrzymałości opakowania.

Tab. 1. Gramatura tektury w zależności od rodzaju tektury i fali.

Fala B:	300g/m ² - 510g/m ²
Fala C:	345g/m ² - 530g/m ²
Fala E:	340g/m ² - 480g/m ²
Fala B+C:	570g/m ² - 940g/m ²
Fala C+E:	570g/m ² - 940g/m ²
Tektura 7-warstwowa:	~900g/m ² - 1500g/m ²

Źródło: [2]

2. MODEL MATEMATYCZNY OPISUJĄCY ECT

W poszukiwaniu modelu matematycznego przyjęto, iż zmienną zależną jest parametr **ECT**. Natomiast do ustalenia zbioru zmiennych niezależnych wykorzystano: **gr** - gramaturę, **w** - liczbę warstw, **f_{sr}** - średnią wysokość fali tektury.

Wybór argumentów zmiennej zależnej wykonano w oparciu o współczynnik korelacji liniowej Pearsona, który określa stopień zależności pomiędzy dwiema własnościami. Korelację między zmiennymi wyliczono na podstawie danych, uzyskanych od producentów opakowań tekturowych (tab.2).

Tab. 2. Parametry techniczne wybranych rodzajów tektur

Lp.	Fala	Wysokość fali <i>f</i> [mm]	Gramatura <i>gr</i> [g/mm ²]	ECT [kN/m]
tektura 2-warstwowa				
1.	E	1,1 – 1,7	300 - 320	1,67 – 1,8
	B	2,5 – 3,0	300 - 320	2,94 – 3,0
	C	3,0 – 3,7	330 - 340	3,1
tektura 3-warstwowa				
2.	E	1,1 – 1,7	330 - 450	4,0 – 5,9
	B	2,5 – 3,0	340 - 500	4,1 – 5,2
	C	3,0 – 3,7	350 - 660	4,2 – 7,8
tektura 5-warstwowa				
3.	EB	3,6 – 4,7	570 - 785	6,8 – 9,0
	BC	5,5 – 6,7	555 - 810	6,6 – 9,3

Wyniki obliczeń współczynników korelacji najbardziej zbliżone do wartości 1, przedstawiono w tab.3.

Tab. 3. Korelacja liniowa między zmienną zależną a zmiennymi niezależnymi

Lp.	Zmienna niezależna	Zmienna zależna	Współczynnik korelacji <i>r</i> Pearsona.	Korelacja rang Spearmana
	1.	2.	3	4
1.	<i>w · f_{sr}</i>	ECT	0,83	0,837
2.	<i>gr</i>		0,96	0,976
3.	<i>f_{sr} · gr</i>		0,86	0,893

Zmienne niezależne z kolumny 1 tab.3 przyjęto jako potencjalne argumenty poszukiwanej funkcji ECT.

W procedurze poszukiwania modelu matematycznego opisującego zmienną ECT wykorzystano metodę trendu, wyniki obliczeń ilustruje tab.4.

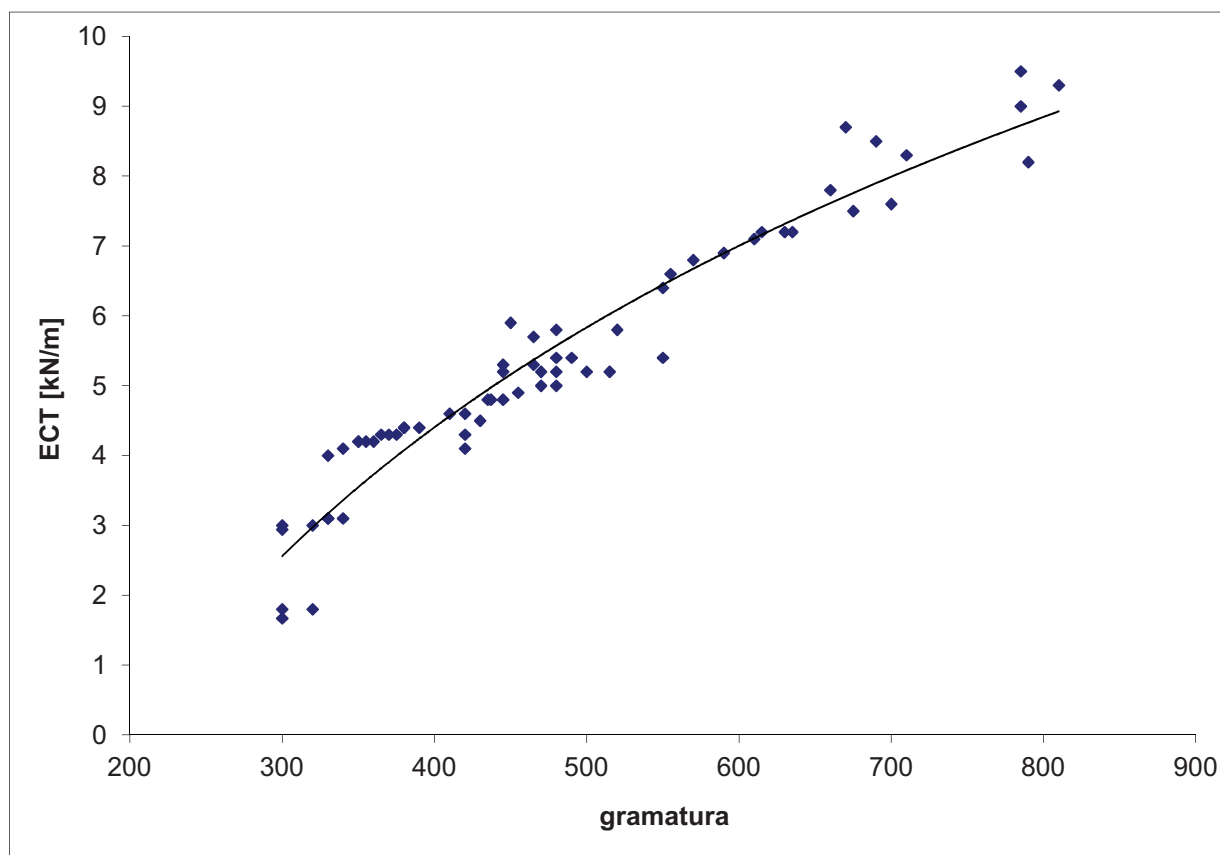
Tab. 4. Podstawowe miary dopasowania linii regresji do danych rzeczywistych

Zmienna niezależna	Wyznaczona funkcja	Współczynnik determinacji R^2	Wariancja resztowa S_e^2	Odchylenie standardowe reszt S_e	Współczynnik zmienności resztowej W [%]
$w \cdot f_{sr}$	$ECT = 0,171(w \cdot f_{sr}) + 3,294$	0,6840	1,0836	1,041	19,50
gr	$ECT = 6,41 \ln(gr) - 34$	0,9334	0,2284	0,478	8,95
$f_{sr} \cdot gr$	$ECT = 0,0013(f_{sr} \cdot gr) + 3,12$	0,7464	0,87	0,933	17,47

Analizując dane zawarte w tab.4, możemy stwierdzić iż najlepsze dopasowanie teoretyczne stanowi funkcja (rys.3):

$$ECT = 6,41 \ln(gr) - 34 \text{ [kN/m]} \quad (1)$$

gdzie: gr – gramatura [g/m^2]



Rys. 3. Teoretyczna i rzeczywista odporność tektury na zgniatanie kolumnowe.

PODSUMOWANIE

Wyznaczona funkcja opisująca zależność odporności na zgniatanie kolumnowe od gramatury tektury falistej jest dobrze dopasowana do wartości rzeczywistych, ponieważ charakteryzuje się:

- najwyższym współczynnikiem determinacji i o wartości z przedziału, dla którego dopasowanie uznawane jest za bardzo dobre;
- najmniejszą wartością średniego błędu szacunku – odchylenie standardowe reszt;
- najmniejszym współczynnikiem zmienności resztowej oraz $0 \leq W \leq 20\%$ - to oznacza, iż szacowanie nieznanymi wartości cechy ECT na podstawie linii regresji jest dopuszczalne.

Zastosowanie teoretycznej formuły do szacowania parametru ECT może dać wymierne efekty finansowe, wynikające z ograniczenia konieczności wykonywania kosztownych badań laboratoryjnych.

BIBLIOGRAFIA

1. PN-EN ISO 3037. Oznaczanie odporności na zgniatanie krawędziowe.
2. <http://www.kapak.pl/poradnik.html>.
3. Józwiak J., Podgórski J.: Statystyka od podstaw. Wyd. VI zmienione, PWE, Warszawa 2006.

THEORETICAL FORMULA FOR DETERMINING RESISTANCE TO CRUSHING CARDBOARD EDGE

Abstract

The paper presents the results of the search procedure and formula describing the dependence of the theoretical resistance to crushing cardboard edge. To determine the function of best fit to the actual values of the linear regression method is used.

Autor:

dr inż. **Ignacy Bomba** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki

mgr inż. **Katarzyna Kwiecień** – studentka studiów doktoranckich, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Wydział Transportu i Elektrotechniki