



Projektowanie wytrzymałościowe opakowań z tektury falistej – modele numeryczne a rzeczywistość?

Strength-Based Design of Corrugated Board Packaging – Numerical Models vs. Reality?

TOMASZ GARBOWSKI

DOI: 10.15199/54.2025.9.1

Opakowania z tektury falistej odgrywają kluczową rolę w ochronie i transporcie produktów w wielu sektorach – od ciężkich dóbr przemysłowych, przez artykuły spożywcze i farmaceutyczne, świeże owoce i warzywa, aż po dynamicznie rozwijający się rynek e-commerce. Zapewnienie ich niezawodności mechanicznej wymaga podejścia interdyscyplinarnego, obejmującego zarówno proste reguły empiryczne i modele analityczne, jak i zaawansowane symulacje numeryczne. Choć wzory predykcyjne, takie jak równanie McKee czy jego modyfikacje, dostarczają wartościowych oszacowań nośności opakowań, w praktyce często obserwuje się istotne rozbieżności pomiędzy wynikami obliczeń a pomiarami siły zgniatania (BCT). Źródłem tych różnic są detale, które pozornie wydają się drugorzędne – anizotropia papieru, lokalne imperfekcje, jakość połączeń klejowych czy obecność nacięć i perforacji – lecz w praktyce decydują o realnej nośności. Dodatkowo, nieprecyzyjne składanie czy bigowanie mogą prowadzić do znacznego obniżenia wytrzymałości w porównaniu z wartościami teoretycznymi. Artykuł koncentruje się na wybranych szczegółach materiałowo-strukturalnych opakowań z tektury falistej, które w sposób istotny wpływają na nośność. Poprzez zestawienie metod obliczeniowych z eksperymentalnymi wynikami BCT, celem pracy jest przybliżenie różnic między modelem a praktyką oraz wskazanie kluczowych czynników, które należy uwzględnić w procesie projektowania wytrzymałościowego.

Słowa kluczowe: tektura falista, opakowania transportowe, wytrzymałość, test zgniatania pudła (BCT), równanie McKee, modelowanie numeryczne, projektowanie konstrukcyjne, opakowania e-commerce

Corrugated board packaging plays a central role in the protection and transportation of products across multiple sectors, including heavy industrial goods, food and beverages, pharmaceuticals, fresh produce, and the rapidly growing e-commerce industry. Ensuring the mechanical reliability of packaging requires a multidisciplinary approach that spans from empirical design rules and semi-analytical models to advanced numerical simulations. While predictive models such as the McKee formula or its extensions provide a useful baseline for estimating box compression strength (BCT), significant discrepancies often arise between calculated and experimentally measured capacities. These deviations are strongly influenced by details that may appear minor – such as material anisotropy, local imperfections, adhesive bonding, or geometric irregularities of cut-outs and creases – but collectively determine the effective load-bearing capacity of the package. Furthermore, inaccuracies in folding, gluing, or assembly processes can lead to strength reductions far beyond the tolerance margins assumed in theoretical design. This article addresses selected material-structural features of corrugated board packaging that critically impact compressive strength. By analyzing both the methodological frameworks for strength assessment and the practical aspects of box manufacturing, we aim to bridge the gap between theoretical prediction and real-world performance, ultimately advancing the reliability of strength-based packaging design.

Keywords: corrugated board, packaging strength, box compression test, McKee formula, numerical modeling, structural design, e-commerce packaging

Wprowadzenie

Opakowania stanowią nieodzowny element współczesnej logistyki, gwarantując bezpieczne, efektywne i zrównoważone dostarczanie produktów. W szczególności opakowania z tektury

Introduction

Packaging has become an indispensable component of modern logistics, ensuring that products are delivered safely, efficiently, and sustainably. Corrugated board packaging, in particular, is

Dr hab. inż. **T. Garbowski**, prof. UPP (tomasz.garbowski@up.poznan.pl; ORCID: 0000-0002-9588-2514), Uniwersyteckie Centrum Ekomateriałów, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu



falistej zdominowały rynek dzięki swojej lekkości, zdolności do recyklingu i elastyczności projektowej. Ich znaczenie jest szczególnie widoczne w wielu obszarach zastosowań – od dużych pudeł transportowych ciężkich maszyn i sprzętu elektronicznego, przez opakowania typu shelf-ready (SRP), stosowane w dystrybucji artykułów spożywczych, aż po delikatne opakowania farmaceutyczne, tacki na owoce i warzywa oraz coraz bardziej popularne pudełka e-commerce, dostosowane do tzw. „ostatniej mili” dostaw. Każde z tych zastosowań stawia przed konstruktorami odmienne wymagania, nie tylko w zakresie ochrony towaru, ale także nośności, układalności w stosach, aspektów środowiskowych oraz estetyki.

Projektowanie opakowań z tektury falistej przez wiele dekad opierało się na podejściach empirycznych i półanalitycznych. Klasyczne formuły, takie jak równanie McKee [40], wniosły ogromny wkład w rozwój branży, umożliwiając szybkie szacowanie nośności na podstawie parametrów papieru i geometrii opakowania. Wraz z rosnącą różnorodnością wymagań i zastosowań ujawniają się jednak ograniczenia tych metod – nie uwzględniają one chociażby anizotropii papieru, jego wrażliwości na wilgotność, czy nieliniowych interakcji między warstwami linii i flutingu. W odpowiedzi rozwinięto metody analityczne oraz numeryczne [1, 2, 6], w tym modele elementów skończonych [8, 34, 35], pozwalające uchwycić bardziej złożone zjawiska, takie jak wpływ perforacji, wycięć [3, 4] czy konstrukcji wielowarstwowych [5, 36-39, 41-45].

Mimo tych postępów wciąż pozostaje wyzwanie polegające na różnicach między obliczeniami a pomiarami wytrzymałości na zgniatanie (BCT) [7]. Z pozoru nieistotne szczegóły – od jakości bigowania, przez dokładność sklejania, po lokalne defekty w narożnikach – mogą decydować o kilkuno- lub kilkudziesięcioprocentowych różnicach w wynikach. Podobne rozbieżności pojawiają się również w przypadku materiału. Tektura badana bezpośrednio po wyprodukowaniu może znacząco różnić się od tej, która została już przetworzona w procesie wycinania, nadruku czy laminacji.

W niniejszym artykule skoncentrowano się na materiałowo-strukturalnych aspektach opakowań z tektury falistej, które przesądzają o ich nośności. Analizując zarówno metody obliczeniowe, jak i praktyczne wyniki testów laboratoryjnych, pokazano, w jaki sposób detale często pomijane w prostych obliczeniach stają się decydujące w praktyce przemysłowej. Celem pracy jest tym samym wskazanie kluczowych czynników, które muszą być uwzględniane w procesie projektowania wytrzymałościowego, aby obliczeniowe przewidywania lepiej odzwierciedlały rzeczywistą wytrzymałość gotowych opakowań.

Dociekliwy czytelnik, który regularnie sięga po „Przegląd Papierniczy”, z pewnością zauważy, że niniejszy tekst jest naturalną kontynuacją wcześniejszych rozważań autora nad mechaniką i konstrukcją tektury falistej – a jeśli nie, to i tak prędzej czy później trafi na jeden z takich artykułów [9-33], bo na łamach miesięcznika ten temat pojawia się równie często, jak sama tektura w magazynach.

a dominant solution due to its lightweight structure, recyclability, and versatility in design. Its role is especially critical in diverse applications: from large transport boxes for heavy machinery or electronic equipment, through shelf-ready packaging (SRP) for food distribution, to delicate pharmaceutical products, fruit and vegetable trays, and increasingly, e-commerce shipping boxes designed for the last mile of delivery. Each application places unique demands on packaging, not only in terms of protection but also in terms of stackability, sustainability, and consumer interaction.

The design of corrugated packaging has traditionally relied on empirical or semi-empirical approaches. Classic formulas such as the McKee equation, or its numerous modifications, have provided valuable guidance for decades. However, as supply chains evolve and the complexity of packaging applications increases, these formulas reveal their limitations. For instance, they rarely account for the anisotropic behavior of paper, humidity sensitivity, or the nonlinear interaction between liners and fluting. In parallel, analytical approaches and modern finite element models have been developed [8, 34, 35], offering higher accuracy and flexibility. Numerical modeling [1, 2, 6] allows designers to capture complex geometries, cut-outs [3, 4], perforations, or multi-layered configurations [5, 36-39, 41-45], which strongly influence compressive performance.

Despite these advancements, a recurring challenge remains: the gap between calculated and experimentally observed strength, particularly in Box Compression Tests (BCT) [7]. Seemingly minor structural or technological details often account for these differences. The quality of adhesive joints, precision of folding and gluing, or even small geometric imperfections in creases and cut-outs may lead to significant underperformance compared to theoretical predictions. These discrepancies highlight the importance of integrating structural mechanics with practical manufacturing knowledge in the design process.

This article focuses on the material-structural details of corrugated board packaging that determine its strength capacity. We emphasize how specific features – often overlooked in simplified calculations – translate into real-world deviations from idealized strength predictions. By combining insights from empirical methods, analytical frameworks, and numerical simulations with experimental evidence from BCT testing, we aim to provide a more comprehensive foundation for strength-based packaging design. Ultimately, the paper argues that sustainable and reliable packaging design requires not only advanced modeling but also precise control over production processes, ensuring that theoretical strength values align with practical performance.

The attentive reader of *Przegląd Papierniczy* will surely recognize that this article is a natural continuation of the author's earlier explorations into the mechanics and design of corrugated board – and if not, sooner or later they will come across one of



(Nie)zwykłe pudła klapowe

Transportowe pudła klapowe z tektury falistej stanowią najpowszechniejszy rodzaj opakowań, a jednocześnie są niezwykle złożonym obiektem inżynierskim (rys. 1). Choć ich konstrukcja wydaje się prosta, to rzeczywista nośność zależy od wielu subtelnych czynników, które często wymykają się prostym formułom obliczeniowym. Kluczowym elementem jest oczywiście materiał – tektura falista – ułożona na ściankach pionowych w kierunku poprzecznym do fali (CD). Taki układ zapewnia względnie stabilną odpowiedź strukturalną – nie obserwuje się gwałtownych utrat stateczności, a ściany pracują głównie w ściskaniu. Jednak, nawet przy prawidłowym układzie materiału, nośność opakowania może znacząco się różnić, w zależności od szeregu detali produkcyjnych i konstrukcyjnych.

Pierwszym z nich są **wstępne imperfekcje ścian** – najczęściej powstające na skutek składania pudeł. Wygięte boczne ścianki mają obniżoną sztywność, a im większe odchylenia od geometrii idealnej, tym szybciej dochodzi do lokalnych ugięć i spadku nośności. Równie istotny jest **cykl procesów technologicznych**, przez które przechodzi tektura: wycinanie, druk, laminacja, kaszerowanie. Materiał, który tuż po wyjściu z maszyny falcującej wykazuje pełne właściwości wytrzymałościowe, po dalszej obróbce staje się częściowo przegnieciony i zdegradowany. Badanie próbek z gotowego opakowania ujawnia zatem istotne różnice w stosunku do wyników uzyskanych na czystej tekturze.

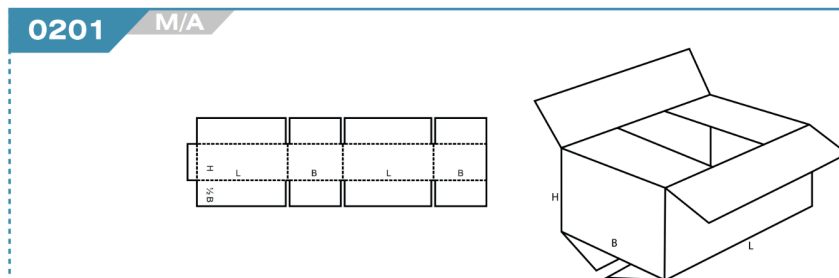
Kolejnym czynnikiem jest **jakość wykonania bigów (crease)**, zarówno pionowych, jak i poziomych. Stosowane podczas procesu produkcji, gumy zabezpieczające chronią materiał przed przedarciem, ale jednocześnie powodują jego lokalne osłabienie. W efekcie narożniki, które w dużym stopniu odpowiadają za nośność pudła, stają się słabsze i bardziej podatne na inicjację wyboczeń. W przypadku klap problem nasila się dodatkowo – źle wykonany big powoduje, że zamykanie opakowania prowadzi do nadmiernego wyężenia ścian bocznych, przyspieszając moment, w którym ściany przechodzą z pracy czysto ściskanej w zginanie, a tym samym obniżając nośność całego pudełka.

Nie można pominąć **perforacji i otworów wentylacyjnych**, które, choć funkcjonalne, wprowadzają lokalne osłabienia konstrukcji. Ich wpływu nie da się poprawnie uchwycić jedynie na podstawie pola powierzchni wycięcia. Kluczowe znaczenie mają kształt, rozmiar i dokładna lokalizacja. Dopiero pełne odwzorowanie tych szczegółów w modelach numerycznych pozwala wiarygodnie oszacować spadek wytrzymałości.

these papers [9-33] anyway, since in this journal the topic appears almost as often as corrugated board itself does in warehouses.

(Un)ordinary Regular Slotted Containers

Regular slotted corrugated containers are the most common type of transport packaging, yet at the same time they represent highly complex engineering objects (fig. 1). Although their construction may seem simple, the actual load-bearing capacity depends on many subtle factors that often escape straightforward analytical formulas. The key element is, of course, the material itself – corrugated board – arranged on the vertical walls in the cross-direction (CD). This orientation ensures a relatively stable structural response: no sudden loss of stability is observed, and the walls predominantly work in compression. However, even with



Rys. 1. Pudło klapowe (201). Źródło: <https://www.fefco.org/technical-information/fefco-code>
Fig. 1. Slotted box (201). Source: <https://www.fefco.org/technical-information/fefco-code>

a proper material orientation, the box strength can vary significantly depending on a number of production and structural details.

The first of these is **initial wall imperfections**, most often resulting from the folding process. Bowed or bent side walls exhibit reduced stiffness, and the greater the deviation from the ideal geometry, the quicker local deflections and strength reductions occur. Equally important is the **sequence of technological processes** through which the corrugated board passes: die-cutting, printing, lamination, or coating. A board that immediately after corrugation exhibits its full mechanical properties becomes partially crushed and degraded after further processing. Testing samples from finished boxes thus reveals notable differences compared to results obtained on fresh, unprocessed board.

Another crucial factor is the **quality of creases**, both vertical and horizontal. Protective rubbers used in creasing help prevent material tearing but simultaneously cause local weakening. As a result, corners – which play a major role in building the overall strength of the box – become weaker and more prone to buckling initiation. In the case of flaps, the problem becomes even more critical: poorly executed creases mean that closing the box imposes excessive stresses on the side walls, accelerating the transition



Ostatnim elementem o istotnym znaczeniu jest **sposób sklejenia zakładów (laszów)**. Różnice jakości klejenia mogą prowadzić do odchyłek nośności, sięgających kilku procent. Modele analityczne pomijają ten aspekt całkowicie, a w modelach numerycznych konieczne jest jawne odwzorowanie geometrii i własności spoin klejowych, aby uchwycić rzeczywisty efekt.

Dodatkowo, istotny wpływ na nośność pudeł mają również **czynniki sezonowe w produkcji tektury falistej**. Choć do jej wytwarzania używa się tych samych papierów i maszyn, to warunki atmosferyczne – jesienna wilgoć, zimowe mrozy czy letnie upały – oddziałują na proces produkcyjny i właściwości końcowe. W konsekwencji materiał wyprodukowany w grudniu może różnić się od tego wytworzonego w lipcu, mimo identycznych parametrów nominalnych. Jeśli w obliczeniach przyjmuje się średnie wartości parametrów mechanicznych uśrednione w skali całego roku, a w praktyce stosuje się opakowanie wykonane z materiału pochodzącego z konkretnego dnia czy pory roku, różnice w przewidywanej nośności mogą sięgać nawet kilkunastu procent.

Podsumowując, nawet najprostsze pudła klapowe skrywają w sobie liczne zjawiska materiałowe i technologiczne, które decydują o ich wytrzymałości. W praktyce każdy „drobiazg” – od jakości bigów, poprzez rodzaj perforacji, sposób sklejenia, aż po porę roku produkcji – może w istotny sposób obniżyć realną nośność w stosunku do wartości przewidywanych analitycznie.

Od magazynu na półkę – wytrzymałość opakowań SRP

W przypadku opakowań typu *shelf ready* (SRP) projektowanie wytrzymałościowe staje się szczególnie wymagającym zadaniem (rys. 2). Producenci prześcigają się w coraz bardziej finezyjnych rozwiązaniach: konstrukcje klejone i składane, wersje z wkładkami różnego typu wyjmowanymi jednym ruchem bez naruszania integralności opakowania, czy też warianty z odrywaną górną częścią, usuwaną za pomocą specjalnych taśm. Wszystkie te koncepcje powstają z myślą o wymaganiach dużych sieci handlowych, które oczekują zarówno maksymalnej funkcjonalności, jak i atrakcyjnej ekspozycji.

Kolorowe nadruki, laminacje i wielowarstwowe procesy uszlachetniania sprawiają, że SRP przyciąga uwagę klienta i staje się nośnikiem reklamy. Jednakże każdy taki zabieg – od bigowania, po drukowanie i kaszerowanie – w istotny sposób zmienia strukturę materiału, powodując przegniecenia, osłabienia i lokalne zmiany parametrów. W efekcie materiał badany w laboratorium tuż po produkcji na tekturnicy różni się od tego, który trafia do sklepu po szeregu procesów przerobowych. Dla konstruktorów oznacza to konieczność posługiwania się informacjami o przegnieceniu powstającym na poszczególnych etapach produkcji i przekształcania ich w parametry „poprzerobowe”.

from purely compressive behavior to bending-dominated deformation, and thus lowering the compressive strength.

Perforations and ventilation holes must also be taken into account. While they add functionality, they introduce local weaknesses into the structure. Their effect cannot be reliably captured using only the total area of the cut-outs – shape, size, and exact placement are decisive. Only detailed representation of these features in numerical models allows for a realistic assessment of the strength reduction.

Equally important is the **method of flap gluing**. Differences in glue application or bonding quality may lead to deviations in compressive strength of several percent. Analytical models completely neglect this factor, while numerical models require explicit geometric and material representation of adhesive joints in order to capture their real impact.

In addition, **seasonal variability in corrugated board production** significantly affects packaging strength. Even when the same paper grades and machines are used, environmental conditions – autumn humidity, winter frost, or summer heat – alter the production process and the final properties of the material. As a result, board manufactured in December may differ from that produced in July, despite identical nominal specifications. If calculations are based on annual average values of mechanical parameters, but the packaging is manufactured from material produced on a specific day or in a particular season, the resulting differences in predicted strength may reach several dozen percent.

In summary, even the simplest regular slotted containers conceal a variety of material and technological phenomena that determine their strength. In practice, every “detail” – from crease quality, perforations, and glue joints to seasonal conditions during production – can significantly reduce the real compressive strength compared to analytically predicted values.

From Warehouse to Shelf – The Strength of SRP Packaging

In the case of shelf-ready packaging (SRP), strength-based design becomes particularly demanding (fig. 2). Manufacturers compete in increasingly sophisticated solutions: glued and folded constructions, inserts that can be removed in one motion without damaging the integrity of the package, or variants with detachable top parts removed with special tear tapes. These solutions are tailored to the requirements of large retailers, who expect both functionality and attractive presentation.

Colorful prints, laminations, and multi-layer finishing processes make SRP packaging eye-catching and a medium of advertising. However, each such step – from creasing to printing and lamination – modifies the material structure, leading to local crushing and weakening. As a result, board tested in the laboratory imme-



Dodatkowym problemem są niewielkie rozmiary samych opakowań SRP – wycięcie reprezentatywnych próbek do badań laboratoryjnych graniczy z cudem. Co więcej, geometryczna złożoność konstrukcji sprawia, że niektóre ścianki składają się z kilku warstw tektury nachodzących na siebie, podczas gdy inne elementy konstrukcji – pozorne drugorzędne – w trakcie badania mogą przeciwdziałać imperfekcjom i wyboczeniom, nieoczekiwanie

zwiększając nośność. Takie przypadki praktycznie uniemożliwiają precyzyjne odwzorowanie w prostych modelach obliczeniowych.

Największe wyzwania powstają jednak w sytuacji, gdy w konstrukcji pojawia się **wkładka wspierająca w miejscu wyciętej ścianki**. W zależności od sposobu montażu, rodzaju zamka, jakości dopasowania i wielu drobnych detali, wkładka może skutecznie usztywnić całość albo – przeciwnie – pozostać biernym elementem, nieprzenoszącym obciążeń. W tym przypadku każdy milimetr i każdy szczegół montażu może zadecydować o ostatecznej nośności.

Dwa dodatkowe powody komplikujące analizę:

Asymetria geometrii i kierunku fali – SRP bardzo często mają asymetryczne wycięcia oraz układy ściśle związane z funkcją ekspozycyjną. Jeśli fala tektury przebiega w różnych kierunkach w poszczególnych elementach (np. boczne ścianki vs. górna odrywana część), uzyskana nośność jest sumą lokalnych, nierównomiernych odpowiedzi strukturalnych, co utrudnia jednoznaczną predykcję.

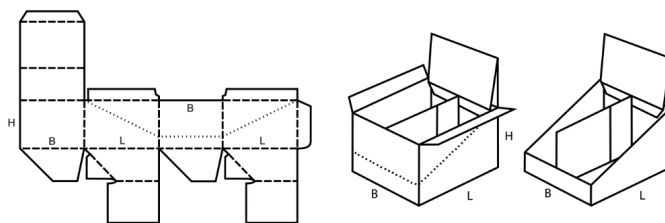
Interakcje podczas transportu i składowania – opakowania SRP zazwyczaj nie są projektowane wyłącznie pod kątem wytrzymałości transportowej. Zanim trafią na półkę, są sztaplowane (układane piętrowo), przenoszone i często narażone na częściowe uszkodzenia perforacji lub zamków. Nawet minimalne naruszenie integralności perforacji osłabia wytrzymałość konstrukcji w stopniu, którego modele teoretyczne nie są w stanie poprawnie uchwycić.

Pakowanie w erze e-commerce – wytrzymałość pod presją logistyki

Dynamiczny rozwój handlu internetowego wymusił nową jakość projektowania opakowań z tektury falistej. Pudła e-commerce (rys. 3) muszą łączyć w sobie funkcje transportowe, estetyczne i użytkowe: chronić produkt w trudnych warunkach, pełnić rolę wizytówki sprzedawcy i jednocześnie zapewniać łatwość obsługi dla konsumenta. To sprawia, że są jedną z najbardziej wymagających kategorii w projektowaniu wytrzymałościowym.

0716

M



Rys. 2. Opakowanie SRP (716). Źródło: <https://www.fefco.org/technical-information/feeco-code>
Fig. 2. SRP box (716). Source: <https://www.fefco.org/technical-information/feeco-code>

diately after corrugation differs from the final packaging, which has already undergone multiple processing stages. Designers are thus forced to rely on data about material degradation at successive production stations and translate it into “post-processing” mechanical parameters.

Small package dimensions make it nearly impossible to extract representative samples for mechanical testing. Moreover, geometric complexity often means that some walls consist of several overlapping board layers, while other elements – though not originally designed to bear loads – may, during testing, prevent buckling and unexpectedly increase the overall strength. Such effects are practically impossible to reflect in simplified analytical models.

The most critical challenges occur when a **supporting insert is added in place of a cut-out wall**. Depending on how it is fitted, the locking system used, and many other details, the insert may significantly reinforce the structure – or remain inactive. In such cases, every millimeter and every design detail determines the final strength.

Two additional complicating factors:

Geometric asymmetry and flute orientation – SRP often contain asymmetric cut-outs and configurations dictated by display requirements. When flute direction varies between components (e.g., side walls vs. tear-off top), the final strength is a non-uniform sum of local structural responses, complicating prediction.

Handling and transport interactions – SRP packaging is not designed solely for transport strength. Before reaching the shelf, it is stacked, handled, and often suffers minor perforation or lock damage. Even small disruptions of these features can weaken the structure in ways that theoretical models cannot reliably capture.

Packaging in the E-commerce Era – Strength Under Logistic Pressure

The rapid growth of e-commerce has redefined corrugated board packaging. E-commerce boxes (fig. 3) must simultaneously serve as protective transport containers, branding tools, and user-



Założenia projektowe a rzeczywistość transportowa

W procesie projektowania często przyjmuje się warunki laboratoryjne – równomierne obciążenia, stałą wilgotność względną na poziomie 50% i temperaturę pokojową. Jednak rzeczywistość logistyczna wygląda inaczej. Opakowania e-commerce w trakcie drogi do klienta doświadczają **nagłych zmian wilgotności** (np. transport w deszczu, przechowywanie w wilgotnych magazynach), a także **ekstremalnych temperatur** – od zimowych mrozów po letnie upały – w samochodach dostawczych. Tektura falista jest materiałem higroskopijnym, a zatem jej właściwości mechaniczne mogą zmieniać się o kilkanaście, a nawet kilkadziesiąt procent w stosunku do wartości wyjściowych. W efekcie różnice między nośnością przewidywaną obliczeniowo a tą uzyskaną na prasie BCT bywają znaczące.

Na przykład, pudełko zaprojektowane z wykorzystaniem średnich parametrów materiałowych (pochodzących z testów laboratoryjnych) w warunkach wysokiej wilgotności może osiągnąć nawet o 20-30% niższą nośność niż zakładano. Podobnie działają niskie temperatury, które początkowo zwiększają sztywność papieru, ale po pewnym czasie sprzyjają jego kruchości i przedwczesnym pęknięciom.

Rola klejenia i jakości spoin

Opakowania e-commerce, w odróżnieniu od klasycznych pudeł transportowych, wymagają często większej liczby połączeń klejowych. Klej nie tylko scala elementy konstrukcji, ale w wielu przypadkach pełni też funkcję uszczelniającą i estetyczną. **Ilość kleju, jego równomierne rozprowadzenie oraz technologia aplikacji** (np. klejenie punktowe, liniowe, termiczne) mają bezpośredni wpływ na nośność. Zbyt mała ilość kleju może powodować rozwarstwienia w narożach, natomiast jego nadmiar prowadzi do lokalnych przebiegnięć, które osłabiają materiał.

Analizy wytrzymałościowe zazwyczaj pomijają ten aspekt, a w modelach numerycznych przyjmuje się idealne połączenia krawędziowe. W praktyce jednak różnice w jakości klejenia mogą odpowiadać za kilka do kilkunastu procent odchyłek w wynikach BCT. Jest to szczególnie istotne w sytuacjach, gdy opakowania są sztaplowane i obciążenia skupiają się na niewralgicznych połączeniach bocznych.

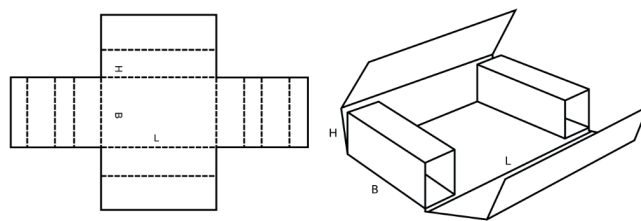
Różnice między modelem a testami BCT

W projektowaniu przyjmuje się, że pudełko przenosi obciążenia w sposób równomierny, a wszystkie ściany pracują w stanie idealnym. Tymczasem w badaniach BCT często obserwuje się zjawiska, których modele analityczne nie uwzględniają:

- **lokalne wyboczenia ścian** inicjowane przez minimalne imperfekcje,

0403

M



Rys. 3. Pudełko e-commerce (403). Źródło: <https://www.fefco.org/technical-information/fefco-code>
Fig. 3. E-commerce box (403). Source: <https://www.fefco.org/technical-information/fefco-code>

friendly solutions for the final customer. This dual role makes them one of the most challenging categories in strength-based design.

Design Assumptions vs. Logistic Reality

In packaging design, laboratory conditions are usually assumed: uniform loads, constant relative humidity at 50%, and room temperature. In reality, the logistic chain exposes e-commerce boxes to far harsher conditions. They frequently undergo **sudden humidity changes** (e.g., storage in damp warehouses, exposure to rain during delivery) and **extreme temperatures** – from freezing cold to scorching heat in delivery trucks. Since corrugated board is a hygroscopic material, its mechanical properties can shift dramatically, sometimes by 20–30% compared to nominal values.

For example, a box designed using average laboratory-tested parameters may exhibit significantly lower strength when tested under high humidity. Similarly, very low temperatures initially stiffen paper but over time promote brittleness, leading to premature cracks and failures. This discrepancy between design assumptions and real-world performance explains why compressive strength measured in BCT tests often diverges sharply from predicted values.

The Role of Adhesive Bonding

Unlike standard transport boxes, e-commerce packaging typically requires a higher number of glued joints. Adhesives not only secure the construction but also contribute to sealing and aesthetics. **The amount of glue, its distribution, and the application technique** (e.g., point gluing, line gluing, hot-melt methods) directly affect structural capacity. Too little glue results in delamination at corners, while excess glue locally crushes the board, weakening it.

Analytical and numerical models often assume perfect bonding, ignoring these imperfections. In practice, however, variations in adhesive quality can cause several to over ten percent differences in BCT results – an effect especially critical when packages are stacked and loads concentrate in glued regions.

Discrepancies Between Models and BCT Tests

Strength predictions assume that all walls share the load uniformly and maintain ideal geometry. In BCT tests, however, several phenomena appear that analytical models typically neglect:

- **local wall buckling** triggered by small imperfections,



- **nierównomierne osiadanie klap i zakładek,**
- **współdziałanie perforacji i nacięć** powodujące wcześniejsze obniżenie sztywności,
- **różne zachowanie w narożnikach,** gdzie kumulują się naprężenia.

W rezultacie, wartości siły zgniatania zmierzone na prasie mogą być istotnie niższe niż przewidywane, a rozbieżności rosną wraz ze złożonością konstrukcji.

Wnioski

Opakowania e-commerce stanowią wyzwanie z powodu **zmiennych warunków środowiskowych, zróżnicowanych wymagań użytkowych i skomplikowanej geometrii**. Ich wytrzymałość zależy nie tylko od jakości użytej tektury, ale także od klejenia, sposobu składania, perforacji i realnych warunków transportu. Oznacza to, że projektowanie wytrzymałościowe w tym przypadku musi łączyć klasyczne obliczenia z podejściem probabilistycznym i symulacjami uwzględniającymi różne scenariusze użytkowe. Tylko takie podejście pozwala zbliżyć się do przewidywania rzeczywistej nośności opakowań e-commerce.

Tacki na owoce i warzywa – cienka granica między wentylacją a wytrzymałością

Tacki z tektury falistej przeznaczone do pakowania owoców i warzyw stanowią szczególną kategorię opakowań, w których **funkcjonalność i wytrzymałość muszą iść w parze** (rys. 4). Z jednej strony wymagane są: lekkość, estetyka, wentylacja i możliwość szybkiego układania w stosy; z drugiej strony – tacki muszą zapewnić ochronę delikatnym produktom w transporcie i magazynowaniu.

Wentylacja i jej konsekwencje

Najbardziej charakterystyczną cechą tacek są liczne otwory wentylacyjne. Ich zadaniem jest utrzymanie odpowiedniej cyrkulacji powietrza, co wydłuża świeżość produktów. Jednak każdy otwór to lokalne osłabienie struktury – im większa liczba i powierzchnia perforacji, tym mniejsza nośność opakowania. Rozmieszczenie otworów decyduje o tym, czy ścianki tracą sztywność równomiernie, czy lokalnie – prowadząc do przedwczesnych wyboczeń.

Klejenie i dokładność składania

W tackach na warzywa klejenie odgrywa jeszcze większą rolę niż w klasycznych pudłach. To właśnie narożniki, klejone lub zszywane, odpowiadają za stabilność konstrukcji. **Ilość kleju, sposób jego rozprowadzenia, czas schnięcia i docisk** decydują o tym, czy narożnik będzie pracował jako sztywny węzeł, czy też stanie się miejscem inicjacji uszkodzeń. Niewielkie niedokładności w składaniu mogą powodować skośne

- **uneven settling of flaps and overlaps,**
- **interaction between perforations and tear lines,** which lowers stiffness earlier than expected,
- **stress concentration in corners,** where failures frequently initiate.

As a result, measured box strength is often significantly lower than predicted, and discrepancies grow with design complexity.

Conclusions

E-commerce packaging presents unique challenges due to **variable environmental conditions, diverse functional requirements, and complex geometries**. Their strength depends not only on board properties but also on gluing quality, folding accuracy, perforation layout, and real transport conditions. Therefore, strength-based design in this context cannot rely solely on deterministic formulas. It requires a probabilistic approach, advanced simulations, and modeling of realistic logistic scenarios. Only such methods can narrow the gap between theoretical predictions and actual compressive strength of e-commerce packaging.

Fruit and Vegetable Trays – The Thin Line Between Ventilation and Strength

Corrugated trays for fruits and vegetables represent a special packaging category where **functionality and strength must co-exist**. On one hand, they must be lightweight, visually appealing, ventilated, and easy to stack. On the other, they need to protect delicate produce during storage and transportation.

Ventilation and Its Consequences

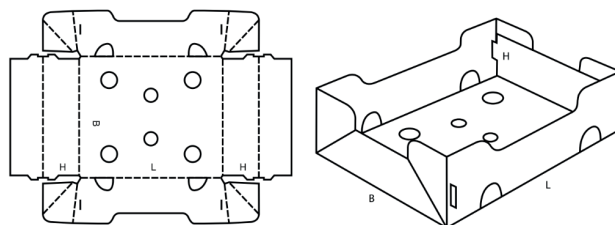
The defining feature of trays is the presence of numerous ventilation holes. These maintain airflow and prolong freshness but also weaken the structure. The more perforations, the lower the overall capacity. Placement of the holes determines whether stiffness is lost uniformly or locally – potentially triggering premature buckling.

Adhesive Bonding and Assembly Accuracy

In trays, adhesive bonding plays an even greater role than in conventional boxes. The glued or stapled corners carry most

0772

M



Rys. 4. Tacka na owoce (772). Źródło: <https://www.fefco.org/technical-information/fefco-code>
Fig. 4. Fruit tray (772). Source: <https://www.fefco.org/technical-information/fefco-code>



ustawienie ścian, co obniża nośność i sprzyja nierównomiernemu rozkładowi obciążeń.

Warunki środowiskowe: wilgoć i temperatura

Tacki często przechowywane są w warunkach chłodniczych, gdzie **wilgotność względna powietrza przekracza 90%**. W połączeniu z możliwością kontaktu z sokami (wypływającymi z uszkodzonych owoców) prowadzi to do zawilgocenia spodu tacki i gwałtownego spadku jej sztywności. Nawet kilkugodzinny kontakt z wilgocią może obniżyć nośność o kilkanaście procent. Z kolei w wyższych temperaturach (np. w trakcie transportu letniego) tektura ulega uplastycznieniu, co ułatwia lokalne ugięcia i odkształcenia trwałe.

Obciążenie spodu tacki i nierównomierne rozłożenie ładunku

Kolejnym wyzwaniem jest sposób, w jaki owoce i warzywa oddziałują na tackę. Zwykle są one różnej wielkości i kształtu, co powoduje punktowe obciążenie spodu. W miejscach koncentracji nacisku tacka ulega lokalnym odkształceniom, które mogą inicjować proces utraty sztywności. Efekt ten rzadko bywa w pełni odzwierciedlony w testach laboratoryjnych, gdzie stosuje się równomierne, płaskie obciążenie.

Rozbieżności między obliczeniami a testami

Projektując tacki, przyjmuje się wartości materiałowe zmierzone w warunkach laboratoryjnych. Jednak realna praca konstrukcji – przy zawilgoceniu, nierównomiernym obciążeniu, niedokładnym klejeniu czy deformacjach powstałych w produkcji – prowadzi do istotnych rozbieżności w porównaniu z wynikami BCT. Oznacza to, że modele muszą być kalibrowane nie tylko na podstawie badań materiałów „dziewiczych”, lecz także z uwzględnieniem efektów przerobu i użytkowania.

Wnioski

Analiza różnych typów opakowań z tektury falistej pokazuje, że ich nośność nie jest prostą funkcją parametrów papieru i wymiarów geometrycznych. W praktyce każdy detal – od jakości bigów, przez perforacje, laminacje, wkładki, sposób klejenia – w istotny sposób zmienia wytrzymałość konstrukcji. Co więcej, sezonowość produkcji, warunki logistyczne i zróżnicowane wymagania użytkowe sprawiają, że rozbieżności między wartościami obliczeniowymi a pomiarami BCT są nieuniknione. Aby je ograniczyć, niezbędne jest integrowanie wiedzy materiałowej, technologicznej i numerycznej, a także uwzględnianie rzeczywistych scenariuszy użytkowych. Tylko takie podejście pozwala tworzyć opakowania, które są jednocześnie funkcjonalne, ekonomiczne i niezawodne.

Artykuł recenzowany

of the structural loads. **The amount of glue, its spread, curing time, and pressure during assembly** determine whether the joint works as a rigid node or as a weak spot where failure initiates. Even small inaccuracies in folding can cause misalignment of walls, leading to reduced capacity and uneven stress distribution.

Environmental Conditions: Moisture and Temperature

Trays are often stored in cold-chain environments with **relative humidity exceeding 90%**. Combined with juice leakage from damaged produce, this causes the tray bottom to become wet and lose stiffness rapidly. Even a few hours of exposure may reduce strength by more than ten percent. High summer temperatures, in contrast, soften the paper and increase susceptibility to local deflections and permanent deformations.

Bottom Loading and Uneven Weight Distribution

The irregular size and shape of fruits and vegetables mean that loads are often point-concentrated on the tray bottom. Such pressure creates local indentations that can initiate overall structural failure. Standard laboratory tests, based on uniform load distribution, rarely capture this effect, resulting in discrepancies between predicted and real performance.

Discrepancies Between Calculations and Tests

Design assumptions typically rely on material properties measured under controlled laboratory conditions. In practice, however, real trays are exposed to **moisture, uneven loads, assembly imperfections, and degradation from processing**. These factors cause significant divergence between predicted and BCT-measured strength. Consequently, models must be calibrated not only on virgin board data but also with consideration of post-processing and in-use conditions.

Conclusions

The analysis of different corrugated board packaging types demonstrates that their strength is not a simple function of paper parameters and geometric dimensions. In practice, every detail – from crease quality to perforations, laminations, inserts, or gluing – significantly affects structural capacity. Moreover, seasonal production variability, logistic conditions, and diverse user requirements mean that discrepancies between calculated values and BCT test results are inevitable. To reduce these gaps, it is essential to integrate material knowledge, production technology, and advanced numerical modeling, while also considering real-world usage scenarios. Only such a holistic approach enables the design of packaging that is simultaneously functional, economical, and reliable.

Peer-reviewed article



LITERATURA

- [1] Aduke R.N., Venter M.P., Coetzee C.J. 2023. "An Analysis of Numerical Homogenisation Methods Applied on Corrugated Paperboard". *Mathematical and Computational Applications* 28 (2) : 46.
- [2] Aduke R.N., Venter M.P., Coetzee C.J. 2024. "Numerical Modelling of Corrugated Paperboard Boxes". *Mathematical and Computational Applications* 29 (4) : 70.
- [3] Berry T.M., Defraeye T., Ambaw A., Coetzee C.J., Opara U.L. 2022. "Exploring novel carton footprints for improved refrigerated containers usage and a more efficient supply chain". *Biosystems Engineering* 220 : 181-202.
- [4] Berry T.M., Defraeye T., Shrivastava C., Ambaw A., Coetzee C., Opara U.L. 2022. "Designing Ventilated Packaging for the Fresh Produce Cold Chain". *Food and Bioprocesses Processing* 134 : 121-149.
- [5] Chalmers I.R. 2007. "The use of MD shear stiffness by the torsional stiffness technique to predict corrugated board properties and box performance". *Appita Annual Conference* 1 : 145-150.
- [6] Cillie J., Coetzee C. 2022. "Experimental and Numerical Investigation of the In-Plane Compression of Corrugated Paperboard Panels". *Mathematical and Computational Applications* 27 (6) : 108.
- [7] Coffin D.W., Wade K., Hussain S. 2019. "Links between BCT and lifetime for corrugated boxes". *Paper Conference and Trade Show, PaperCon 2* : 1334-1348.
- [8] Di Russo F.M., Desole M.M., Gisario A., Barletta M. 2023. "Evaluation of wave configurations in corrugated boards by experimental analysis (EA) and finite element modeling (FEM): the role of the micro-wave in packaging design". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 126 (11-12) : 4963-4982.
- [9] Garbowski T. 2025. "Smart transport packaging design -how to optimize safety and cost? | Inteligentne projektowanie opakowań transportowych – jak optymalizować bezpieczeństwo i koszty?". *Przegląd Papierniczy* 81 (7) : 351-358. DOI: 10.15199/54.2025.7.1.
- [10] Garbowski T. 2025. "Intelligent Corrugated Board in the Era of Industry 5.0 | Inteligentna tektura falista w erze Przemysłu 5.0". *Przegląd Papierniczy* 81 (6) : 297-307. DOI: 10.15199/54.2025.6.1.
- [11] Garbowski T. 2025. "Numerical analysis of transverse shear in corrugated board with non-standard fluting geometry | Numeryczna analiza ścinania poprzecznego płyt z tektury falistej z warstwą pofalowaną o nie-standardowej geometrii". *Przegląd Papierniczy* 81 (5) : 249-257. DOI: 10.15199/54.2025.5.1.
- [12] Garbowski T. 2025. "Flat crush analysis of corrugated board with futuristic fluting geometries | Analiza zgniatania płaskiego tektury falistej z warstwą pofalowaną o futurystycznych kształtach". *Przegląd Papierniczy* 81 (4) : 205-212. DOI: 10.15199/54.2025.4.1.
- [13] Garbowski T., Rutkowski J. 2024. "Corrugated board as a versatile material for packaging and engineering structures – an overview of applications | Tektura falista jako wszechstronny materiał do opakowań i konstrukcji inżynierskich - przegląd zastosowań". *Przegląd Papierniczy* 80 (12) : 678-682. DOI: 10.15199/54.2024.12.3.
- [14] Garbowski T., Pośpiech M. 2024. "The Impact of Scientific Research on Corrugated Board on the Lifecycle of Packaging | Wpływ badań nad tekturą falistą na cykl życia opakowań". *Packaging Review* 4 : 6-17. DOI: 10.15199/42.2024.4.1.
- [15] Garbowski T., Borecki P. 2024. "Analysis of the impact of futuristic corrugated layer shape on mechanical properties and cost of single-wall corrugated board | Analiza wpływu futurystycznych kształtów warstwy pofalowanej na parametry mechaniczne i koszt trójwarstwowej tektury falistej". *Przegląd Papierniczy* 80 (11) : 609-615. DOI: 10.15199/54.2024.11.1.
- [16] Garbowski T. 2024. "The role of homogenization in predicting the load-bearing capacity of corrugated packaging – a short review of methods and applications | Rola homogenizacji w predykcji nośności opakowań z tektury falistej – przegląd metod i zastosowań". *Przegląd Papierniczy* 80 (5) : 271-278. DOI: 10.15199/54.2024.5.1.
- [17] Garbowski T. 2023. "Evaluating safety factors in corrugated packaging for extreme environmental conditions | Ocena czynników bezpieczeństwa opakowań z tektury falistej w ekstremalnych warunkach środowiskowych". *Packaging Review* 4 : 6-15. DOI: 10.15199/42.2023.4.1.
- [18] Garbowski T. 2023. "Safety Factors in the Design of Corrugated Board Packaging | Współczynniki bezpieczeństwa w projektowaniu opakowań z tektury falistej". *Packaging Review* 3 : 16-22. DOI: 10.15199/42.2023.3.2.
- [19] Garbowski T. 2023. "The most common mistakes when estimating the load-bearing capacity of corrugated board packaging | Najczęściej popełniane błędy podczas szacowania nośności opakowań z tektury falistej". *Przegląd Papierniczy* 79 (9) : 485-488. DOI: 10.15199/54.2023.9.1.
- [20] Garbowski T. 2023. "The use of artificial intelligence for the optimal production of corrugated board | Zastosowanie sztucznej inteligencji do optymalnej produkcji tektury falistej". *Przegląd Papierniczy* 79 (5) : 279-288. DOI: 10.15199/54.2023.5.2.
- [21] Garbowski T. 2022. "Digitization of corrugated board | Digitalizacja tektury falistej". *Przegląd Papierniczy* 78 (12) : 683-686. DOI: 10.15199/54.2022.12.2.
- [22] Garbowski T. 2022. "Optimal corrugated board – what does it mean? | Optymalna tektura falista - czyli jaka?". *Przegląd Papierniczy* 78 (9) : 517-524. DOI: 10.15199/54.2022.9.1.
- [23] Garbowski T. 2022. "Influence of initial imperfections on edge crush resistance of corrugated board | Wpływ wstępnych imperfekcji na odporność tektury falistej na zgniatanie krawędziowe". *Przegląd Papierniczy* 78 (6) : 337-341. DOI: 10.15199/54.2022.6.1.
- [24] Garbowski T., Gajewski T. 2020. "Transverse shear modulus in corrugated materials | Moduł ścinania poprzecznego tektury falistej". *Przegląd Papierniczy* 76 (2) : 103-108. DOI: 10.15199/54.2020.2.1.
- [25] Garbowski T., Nizialek-Łukawska M., Kuca M. 2019. "Analytical verification of popular McKee's formula | Analityczna weryfikacja popularnej formuły McKee". *Przegląd Papierniczy* 75 (12) : 767-773. DOI: 10.15199/54.2019.12.2.
- [26] Garbowski T., Garbowska L. 2018. "Computer aided estimation of corrugated board box compression strength. Part 3. Laboratory-numerical procedure for an identification of elastic properties of corrugated board | Komputerowo wspomagane wyznaczanie nośności opakowań z tektury falistej. Cz.3. Laboratoryjno-numeryczna procedura identyfikacji sprężystych parametrów materiałowych tektury falistej". *Przegląd Papierniczy* 74 (9) : 577-585. DOI: 10.15199/54.2018.9.2.
- [27] Garbowski T., Garbowska L. 2018. "Computer aided estimation of corrugated board box compression strength. Part 2. The sensitivity analysis in selected laboratory tests of corrugated board | Komputerowo wspomagane wyznaczanie nośności opakowań z tektury



- falistej. Cz.2. Analiza wrażliwości w wybranych testach laboratoryjnych tekstury falistej". *Przegląd Papierniczy* 74 (8) : 503-508. DOI: 10.15199/54.8.1.
- [28] 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 | Komputerowo wspomaganie wyznaczanie nośności opakowań z tekstury falistej. Cz.1. Wpływ zgniecenia tekstury falistej na jej podstawowe parametry". *Przegląd Papierniczy* 74 (6) : 381-388. DOI: 10.15199/54.6.1.
- [29] Garbowski T., Przybyszewski G. 2015. "The Sensitivity Analysis of Critical Force in Box Compression Test | Analiza wrażliwości siły krytycznej w teście zgniatania pudła z tekstury falistej". *Przegląd Papierniczy* 71 (5) : 275-280. DOI: 10.15199/54.2015.5.1.
- [30] Garbowski T., Imbierowicz R. 2014. "Sensitivity Analysis of Edge Crush Test | Analiza wrażliwości w teście krawędziowego zgniatania". *Przegląd Papierniczy* 70 (9) : 559-564.
- [31] Garbowski T., Borysiewicz A. 2014. "The Stability of Corrugated Board Packages | Stateczność opakowań z tekstury falistej". *Przegląd Papierniczy* 70 (8) : 452-458.
- [32] Garbowski T., Jarmuszcak M. 2014. "Numerical Strength Estimate of Corrugated Board Packages. Part 2. Experimental tests and numerical analysis of paperboard packages | Numeryczne wyznaczanie wytrzymałości opakowań z tekstury falistej. Cz. 2. Badania eksperymentalne i analizy numeryczne opakowań papierowych". *Przegląd Papierniczy* 70 (5) : 277-281.
- [33] Garbowski T., Jarmuszcak M. 2014. "Numerical Strength Estimate of Corrugated Board Packages. Part 1. Theoretical Assumptions in Numerical Modeling of Paperboard Packages | Numeryczne wyznaczanie wytrzymałości opakowań z tekstury falistej. Cz. 1. Założenia teoretyczne w modelowaniu numerycznym opakowań papierowych". *Przegląd Papierniczy* 70 (4) : 219-222.
- [34] Gilchrist A.C., Suhling J.C., Urbanik T.J. 1999. "Nonlinear finite element modeling of corrugated board". American Society of Mechanical Engineers, Applied Mechanics Division, AMD 231 : 101-106.
- [35] Haj-Ali R., Choi J., Wei B.-S., Popil R., Schaepe M. 2009. "Refined non-linear finite element models for corrugated fiberboards". *Composite Structures* 87 (4) : 321-333.
- [36] Hoon M.L., Park J.M. 2004. "Flexural stiffness of selected corrugated structures". *Packaging Technology and Science* 17 (5) : 275-286.
- [37] Jamsari A., Nevins A., Kueh C., Gray-Stuart E., Dahm K., Bronlund J. 2020. "Modelling the Edge Crushing Performance of Corrugated Fibreboard Under Different Moisture Content Levels". *Mechanisms and Machine Science* 75 : 609-620.
- [38] Jamsari M.A., Kueh C., Gray-Stuart E.M., Dahm K., Bronlund J.E. 2020. "Modelling the impact of crushing on the strength performance of corrugated fibreboard". *Packaging Technology and Science* 33 (4-5) : 159-170.
- [39] Kmita-Fudalej G., Szewczyk W., Kotakowski Z. 2020. "Calculation of honeycomb paperboard resistance to EDGE crush test". *Materials* 13 (7) : 1706.
- [40] McKee R.C., Gander R.J., Wachuta J.R.. 1963. "Compression strength formula for corrugated boxes". *Paperboard Pack.* 48 (8) : 149-159.
- [41] Łęcka M., Mania R., Marynowski K. 2006. "New method of the ECT index of corrugated board determination | Nowa metoda wyznaczania odporności na zgniatanie krawędziowe tekstury falistej". *Przegląd Papierniczy* 62 (4) : 207-210.
- [42] Mikami E., Ibaraki T., Kodaka I. 2005. "Optimum design of flute structure for edgewise compression of corrugated fiberboard". *Kami Pa Gikyoshi/ Japan Tappi Journal* 59 (10) : 94-100.
- [43] Schramper K.E., Whitsitt W.J. 1988. "Faster, alternative ECT test procedure". Corrugated Containers Conference, Proceedings of the Technical Association of the Pulp and Paper Industry : 65-69.
- [44] Szewczyk W. 2008. "Edge crush test of corrugated board | Odporność tekstury falistej na zgniatanie krawędziowe". *Przegląd Papierniczy* 64 (2) : 93-96.
- [45] Tutak D., Özakhun C., Akgul A. 2007. "The examination of the impact of humidity on cardboard endurance in the offset printed and laminated packages". Proceedings of the Technical Association of the Graphic Arts, TAGA : 575-584.

WYDAWNICTWO SIGMA-NOT

Jesteś eko Korzystamy z zielonej energii

wybierając prenumeratę
"Przeglądu Papierniczego"

Warianty prenumeraty czasopism na 2025 r.

PRENUMERATA cyfrowa - czasopismo wyłącznie w wersji cyfrowej dostępne na Portalu Informacji Technicznej www.sigma-not.pl, prenumerator otrzyma link aktywacyjny do zaprenumerowanego tytułu;

Pakiet PLUS - czasopismo w wersji papierowej (bez doliczanej opłaty za jej dostarczenie) oraz w wersji cyfrowej, wraz z dostępem do archiwum zaprenumerowanego tytułu na Portalu Informacji Technicznej www.sigma-not.pl; prenumerator otrzyma link aktywacyjny do zaprenumerowanego tytułu;

PRENUMERATA papierowa - czasopismo tylko w wersji papierowej (za jego dostarczenie doliczamy opłatę).

więcej informacji: 22 840 30 86, prenumerata@sigma-not.pl
portal@sigma-not.pl