

VARIATION OF THE BOX COMPRESSION TEST ACCORDING TO THE DIMENSIONS OF THE CARTON BOX AND ITS QUALITY

DUMITRESCU (POPA) Clara – Maria

Facultatea: IIR, Specializarea: TSP, Anul de studii: II, e-mail: clarampopa@gmail.com

Conducător științific: Conf. dr. ing. **Viorica CAZAC**

ABSTRACT: Depending on the dimensions, weight and characteristics of the product to be packaged, the methods of stacking and transport, the size of the packaging, the material used and the ideal construction of the box must be decided. For increased efficiency, the packaging must be chosen so as to comply with all conditions of strength, safety and aesthetic conformity, made with minimal effort and consumables. The use of a formula for calculating the strength of cardboard packaging, as well as the realization of a program for calculating the BCT (Box Compression Test) value according to the dimensions of the box and the quality of the corrugated cardboard used in its production is both to the advantage of economic agents and users. reduces material consumption. At the same time, testing the strength of the boxes on special machines that simulate the possible causes of damage reduces the risk of further damage.

CUVINTE CHEIE: carton, ambalaj, Box Compression Test, optimizare.

1. Introducere

Pentru ca un ambalaj să fie potrivit produsului, modului de depozitare și transportare trebuie să îndeplinească mai multe cerințe, fiecare dintre acestea având o deosebită importanță. Este evident că dacă se folosește, de exemplu, un carton foarte gros pentru un obiect mic și ușor, este afectat esteticul și va exista o risipă de material și un cost suplimentar, însă pierderi similare vor fi și dacă folosim un carton care nu poate susține greutatea obiectului de transportat. În acest context, trebuie avute în vedere atât necesitatea gradului de protecție la solicitări mecanice, cât și calitatea materialelor din care sunt realizate produsele necesare de ambalat și fragilitatea acestora. În stivuirea ambalajelor în depozit sau la transportarea lor trebuie avută în vedere rezistența ambalajului de la baza stivei, aceasta evident fiind cea mai solicitată, dar și modalitatea de așezare, atât pentru rezistență, cât și pentru stabilitate.

Un calculator al BCT – ului (Box Compression Test-ului / rezistenței la compresiune a cutiilor) în funcție de dimensiunile ambalajului și caracteristicile cartonului ondulat (grosime și ECT – Edgewise Compression Test / rezistența la compresiune pe cant) este util firmelor producătoare de cutii de carton ondulat care nu dispun de laboratoare de teste și încercări.

2. Stadiul actual

Există numeroase studii și teste aplicabile atât ambalajelor din carton, cât și materialului de bază al acestora.

Evaluarea rezistenței ambalajelor de carton se bazează pe formula McKee (1) (nume preluat de la unul dintre creatorii ei) apărută în anul 1963. Întrucât în acea perioadă tehnica de calcul nu era foarte evoluată, ecuația a suferit mai multe simplificări. În practică, încă se folosește această formulă, deși au mai fost încercări de a o îmbunătăți.

$$BCT = 5,87 \cdot ECT \cdot \sqrt{(\text{perimetrul bazei cutiei}) \cdot (\text{grosimea plăcii CO})}, [\text{kN}] \quad (1)$$

Ceva mai fidele în determinarea rezistenței ambalajelor de carton sunt mașinile de încercări mecanice pentru testul de strivire și stivuire a acestora. Există astfel de mașini și testul se poate face indiferent de geometria ambalajului, dar și acestea au dezavantaje: • puțini producători de ambalaje dețin un astfel de echipament; • cutia se distruge în perioada de testare; • echipamentul are limite fizice pentru dimensiunea ambalajului (bază de maximum $1,5 \times 1,5$ m).

Cartonul ondulat este unul dintre cele mai solide și ecologice materiale de ambalare, fiind format din mai multe foi din carton, un material netoxic, reciclabil și ecologic (fig. 1).

Cartonul este ușor, igienic, uneori flexibil, alteori rigid, rezistent și apt a fi folosit pentru ambalarea alimentelor, rezistent la grăsimi, gaze, hidrocarburi, acizi (hârtia tratată prin acoperire și laminare).



Fig. 1. Straturile cartonului ondulat [21]

Pentru a putea analiza rezistența ambalajelor trebuie inițial studiate materialele folosite pentru obținerea lor (tipurile de carton, compoziția și caracteristicile acestora).

Cartonul ondulat este un material ușor, alcătuit din minimum un strat de carton gofrat și minimum un strat de carton neted.

Hârtia pentru stratul ondulat, denumită curent *hârtie miez*, reprezintă componenta principală a structurii de rezistență a cartonului ondulat, prin forma sinusoidală și punctele de lipire rigide cu straturile de hârtie netedă. Ea se opune aplatizării (strivirii) și conferă capacitate de amortizare șocurilor exercitate pe fețele cartonului. Ondulele din hârtie miez contribuie și la creșterea rezistenței la strivire pe cant a cartonului ondulat. Prin forma lor specifică și profilul identic, care se repetă practic nelimitat, ondulele asigură forma dreaptă, plană a plăcilor de carton ondulat, iar prin capacitatea de a se deforma fără a afecta integritatea cartonului, ele permit biguirea și plierea, operații principale în procesul de fabricare a ambalajelor. Datorită aerului conținut în structura sa, cartonul ondulat este și un bun izolator termic și fonic [23].

Hârtia strat neted, denumită obișnuit *hârtie capac*, este cel de-al doilea component major al cartonului ondulat care îi definește structura prin poziționarea sa atât la cele două fețe cât și intermediară straturilor de hârtie ondulată și prin formarea, împreună cu acestea, a liniilor de lipire rigide. Hârtia strat neted trebuie să confere proprietăți de rezistență cartonului ondulat și să permită imprimarea, cerințe care impun caracteristicile acestui tip de carton [23].

Primul rol, acela de a asigura soliditate cartonului, este îndeplinit prin intermediul valorilor indicelui de plesnire și rezistenței la strivire pe inel. Indicele de plesnire ridicat asigură protecția conținutului, în timp ce a doua caracteristică influențează rezistența la compresiune a cutiilor [23].

A doua cerință, aceea de a permite imprimarea, solicită hârtiei capac următoarele caracteristici: încliere, absorbție a apei, netezime, rezistență la smulgere, porozitate, planitate, etc. Aceste proprietăți trebuie să le îndeplinească la nivelul solicitat numai hârtia capac de la fața cartonului ondulat în timp ce celelalte straturi de hârtie (interior și de la spatele cartonului) trebuie să satisfacă numai caracteristicile de rezistență și cele legate de comportarea pe mașina de carton ondulat [23].

În funcție de numărul de straturi (carton de tip II, III, V, VII, IX) și de grosimea și tipul ondulei (F, G, N, E, B, C, A și K) se diferențiază mai multe tipuri (fig. 2). Numărul de straturi de hârtie și calitatea hârtiilor componente sunt principalii indicatori care definesc sortimentul cartonului ondulat.

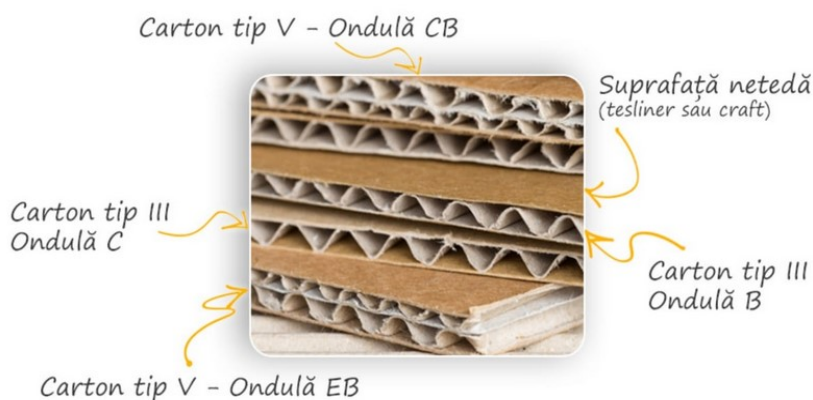


Fig. 2. Tipuri de carton ondulat [22]

Pe lângă acestea, există tipuri speciale de carton: Zenit, Duplex, Mucava (carton de legătorie) etc. Oricare dintre tipurile de carton poate fi cașerat, astfel îmbunătățindu-i-se nu doar aspectul, ci și rezistența.

Fiecare tip de carton are caracteristici proprii ce îl caracterizează și diferențiază: gramaj, grosime, umiditate, rezistența la stivuire (ECT), rezistența la plesnire (Mullen) etc.

În afară de tipul de material folosit, o mare importanță în stabilirea rezistenței ambalajului o are geometria cutiei și dimensiunea acesteia. Federația Europeană a Producătorilor de Cutii de Carton Ondulat (FEFCO) a stabilit un mare număr de ambalaje clasice.

Modalitățile de stivuire și de transport a cutiilor induc necesitatea unei rezistențe optime a ambalajelor.

Deosebit de importantă este și natura obiectelor ambalate: greutate, fragilitate, formă etc.

Condițiile ambientale de transport și depozitare (temperatură și umiditate) pot diminua rezistența ambalajului.

Astfel, pentru a construi ambalajul ideal din punctul de vedere al caracteristicilor tehnice, trebuie ținut cont de toți factorii implicați. La toate acestea se poate adăuga necesitatea ambalajului atractiv, cu un design plăcut, la cererea clientului.

Există diverse modalități de verificare ale ambalajelor, stabilite prin standarde și norme internaționale, pentru a garanta protecția adecvată și depozitarea corespunzătoare a produselor și o logistică fără probleme. Acestea nu pot fi aceleași pentru toate cazurile, variind în funcție de cerințele și funcțiile respectivelor ambalaje.

3. Metode de evaluare a rezistenței ambalajelor

Ambalajele pot fi supuse diverselor solicitări de natură mecanică, climatică, chimică, biologică și combinații ale acestora extrem de complexe ca intensitate.

Solicitările mecanice asupra ambalajului sunt solicitările cu cea mai mare varietate. Acestea pot fi provocate de mediul exterior al cutiei sau de produsul ambalat. În fazele de transport, manipulare și depozitare apar solicitări mecanice diferite substanțial ca intensitate și ca mod de exercitare a forțelor. Astfel, există riscul ca în etapele de manipulare, ambalajul să cadă sau să se lovească de suprafețe sau corpuri dure, sau, dacă nu a fost proiectat și realizat bine, să se deterioreze ca rezultat al suprasolicitării greutății conținutului sau a încărcării defectuoase. În cazul depozitării, dacă stiva este formată din cutii similare și este stivuită suprapus corect, cea mai solicitată este cutia de la baza stivei asupra căreia solicitarea de compresiune este mai mare decât solicitarea exercitată asupra celorlalte cutii de deasupra ei. În cazul stivuirii suprapuse, apare pericolul stabilității precare, cu risc de răsturnare a stivei, ceea ce duce la deteriorarea cutiilor. Altfel, dacă este stivuită întrepătruns sau stivuirea suprapusă este făcută defectuos, solicitarea de compresiune se exercită diferențiat și cu risc mai mare de deteriorare pentru unele ambalaje. Proiectantul ambalajelor trebuie să poată preciza câte cutii se pot suprapune, care este înălțimea maximă de stivuire și modul de suprapunere.

Solicitările climatologice sunt considerate solicitările datorate diferențelor mari de climă (temperatură / umiditate) apărute în timpul unui transport realizat între două zone terestre sau în cazul unei depozitări îndelungate în aer liber sau în depozite fără condiții de aclimatizare. De asemenea, radiațiile infraroșii și ultraviolete ale energiei solare sunt factori distructivi ai ambalajelor din carton, întrucât pot determina îmbătrânirea hârtiilor și adezivilor, însă cel mai agresiv parametru care afectează rezistența cutiilor de carton este umiditatea, fie ea în deficit sau în exces.

Solicitările chimice sunt cauzate de factori agresivi de natură chimică fie din mediul ambiental, fie generați de produsul care trebuie ambalat. Acești factori pot fi vapori de acizi, vapori de apă, oxigen, ozon, dioxid de sulf, umezeală sub formă de micropicături, particule solide, solvenți, vapori corozivi sau substanțe lichide. Folosirea unui alt tip de carton sau ambalarea suplimentară a produselor pot fi soluții de protecție a cutiei și, implicit, de menținere a rezistenței acesteia [3].

Solicitările biologice sunt cauzate de acțiunea microorganismelor (bacteriilor), ciupercilor și mușcăturilor. Acestea sunt accentuate de anumite condiții de temperatură, umiditate și ventilație [4].

În producerea ambalajelor, stabilirea cerințelor și funcțiilor este esențială pentru testările necesare ale ambalajelor. Pentru a putea obține rezultate realiste și standardizate, domeniul ambalajelor se orientează către standardele și normele internaționale DIN. Astfel, au fost generate câteva servicii de laborator:

1. *Măsurarea rezistenței la explozie a cartonului ondulat* se realizează un test pentru stabilirea parametrilor de stabilitate. Unei mostre de carton i se aplică o presiune în creștere, până explodează, numită presiune de explozie (John W. Mullen). Vechimea cartonului și deteriorarea lui mecanică sau de altă natură duc la scăderea rezistenței la explozie. Pentru carton, norma este reglementată de DIN EN ISO 2759 [17].

2. *Măsurarea rezistenței la compresie a cartonului / marginilor cutiei* oferă informații despre posibilitatea de încărcare a acestuia perpendicular pe ondule. Valoarea ECT a testului de rezistență la compresie a marginilor este o caracteristică a cartonului din care este construită cutia, fiind una dintre cele mai importante verificări ale cartonului. Se exprimă în kN/m.

3. *Măsurarea rezistenței la compresie prin stivuire a cutiei* se realizează în condiții climatice standard, conform DIN EN ISO 12048. BCT – testul de rezistență la compresie prin stivuire este un test care se face în laboratorul de încercări, cu o mașină de probă de tensiune. BCT indică forța pe care o cutie o poate suporta înainte de a se rupe și se exprimă în kN.

4. *Măsurarea rezistenței la transport a cutiei* constă în verificarea rezistenței la vibrații, șocuri și lovituri. Măsurarea se realizează în camere climatice.

5. *Măsurarea rezistenței la cădere a cutiei* se realizează prin testul de rezistență la cădere (Falltest). Acesta constă în simularea căderii libere a unui ambalaj atât pe colțuri, cât și pe muchii sau suprafețe, în condiții similare celor reale. Cutiile sunt pline cu produse cu aceeași greutate și volum cu cele pe care ar trebui să le protejeze și se simulează căderea liberă de la diferite înălțimi. De asemenea, se fac teste de simulare a unor frâne bruște [17].

4. Formule de evaluare a rezistenței ambalajelor

Valoarea BCT a rezistenței la compresiune a cutiilor se poate afla prin calcul. Pentru aceasta avem nevoie să cunoaștem: • ECT - rezistența la compresiune pe cant a cartonului ondulat, exprimată în N/m; • Sb - rigiditatea cartonului ondulat, pe direcția mașinii și pe direcția transversală (Sb_{MD}, respectiv Sb_{CD}); exprimată în Nm; • Z - perimetrul bazei cutiei, exprimat în m.

Acești parametri compun ecuația a lui McKee, care are forma generală:

$$BCT = a \cdot ECT^b \cdot Sb^{a-b} \cdot Z^{2b-1}, [N] \quad (2)$$

în care *a* și *b* sunt constante determinate experimental.

În cazul cutiilor din carton ondulat, formula lui McKee se particularizează:

$$BCT = a \cdot ECT^{0,75} \cdot Sb^{0,25} \cdot Z^{0,5}, [N] \quad (3)$$

în care:

$$Sb = \sqrt{Sb_{MD} \cdot Sb_{CD}}, [Nm] \quad (4)$$

În forma simplificată, formula McKee devine:

$$BCT = a \cdot ECT \cdot \sqrt{T \cdot Z}, [N] \quad (5)$$

în care T este grosimea cartonului, exprimată în m.

Valoarea constantei *a* s-a stabilit la valoarea de 5,87, care aproximează cel mai bine valorile calculate cu cele determinate în laborator. Astfel, valoarea BCT poate fi calculată conform unei formule matematice, formula practică a lui McKee – relația (6) sau cu relația (1):

$$BCT = 5,87 \cdot ECT \cdot \sqrt{T \cdot Z}, [N] \quad (6)$$

Relația (1) se folosește uzual pentru determinarea prin calcul a valorii BCT a cutiilor, indiferent de geometria acestora, fabricate din diferite tipuri de carton ondulat. Se observă că formula include doar un singur parametru de rezistență a cartonului ondulat, determinat în laborator, rezistența la compresiune pe cant (ECT). Formula McKee are și limite, de exemplu nu ține seama de înălțimea cutiilor, ori este cunoscut faptul că valoarea BCT scade cu înălțimea (la cutiile din același carton și cu același perimetru) [1].

5. Optimizarea evaluării rezistenței ambalajelor

Formula McKee nu este complicată, dar aplicarea ei cu un calculator de buzunar sau, și mai complicat, cu creionul pe hârtie poate consuma timp. Un simplu program, de exemplu realizat în C++, poate rezolva problema într-un mod elegant.

Fără a necesita instalarea unor programe specifice, folosind un compilator on-line (https://www.onlinegdb.com/online_c++_compiler) este suficientă simpla introducere (cu copy-paste) a programului:

```
#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
float BCT, ECT, t, t1, a, b, Z;
int main()
{
    cout<<"Introducerea zecimalelor se va face folosind separatorul '.', de exemplu 4.5, nu 4,5."<<endl;
    cout<<"Valoarea BCT va fi exprimată în kN/m."<<endl;
    cout<<"Introceti valoarea ECT exprimată în kN/m: ";    cin >> ECT;
    cout<<"Introceti valoarea grosimii cartonului exprimată în mm: ";    cin >> t;
```

```

    t1=t/1000;
    cout<<"Introuceti valoarea lungimii bazei cutiei exprimită în mm: ";   cin >> a;
    cout<<"Introuceti valoarea lăţimii bazei cutiei exprimită în mm: ";   cin >> b;
    Z=2*(a+b)/1000;
    if(ECT<3 or ECT>12) cout<<"Valoarea ECT introdusă poate fi greşită, fapt care va conduce la o
    valoare BCT eronată. Verificaţi unitatea de măsură!"<<endl;
    if(t<1 or t>7) cout<<"Valoarea introdusă pentru grosimea cartonului poate fi greşită, fapt care va
    conduce la o valoare BCT eronată. Verificaţi unitatea de măsură!"<<endl;
    if(a<10 or a>2000) cout<<"Valoarea introdusă pentru lungimea bazei cutiei poate fi greşită, fapt care
    va conduce la o valoare BCT eronată. Verificaţi unitatea de măsură!"<<endl;
    if(b<10 or b>2000) cout<<"Valoarea introdusă pentru lăţimea bazei cutiei poate fi greşită, fapt care
    va conduce la o valoare BCT eronată. Verificaţi unitatea de măsură!"<<endl;
    BCT=5.87*ECT*sqrt(t1*Z);
    cout << "BCT=" << BCT;
    return 0;
}

```

Apoi acesta poate fi rulat prin apăsarea butonului „Run”. Se introduc valorile solicitate, iar programul va calcula valoarea BCT-ului corespunzător, conform formulei McKee.

Programul calculează BCT-ul pentru orice valori introduse, semnalând totuşi posibilele erori de introducere, ca în exemplul din figura 3.

Valorile trebuie introduse conform unităţilor de măsură specificate, programul realizând transformările necesare.

```

16 cout<<"Introucerea zecimalelor se va face folosind separatorul '.', de exemplu 4.5, nu 4,5."<<endl;
17 cout<<"Valoarea BCT va fi exprimită în kN/m."<<endl;
18 cout<<"Introuceti valoarea ECT exprimită în kN/m: ";   cin >> ECT;
19 cout<<"Introuceti valoarea grosimii cartonului exprimită în mm: ";   cin >> t;
20 t=t/1000;
21 cout<<"Introuceti valoarea lungimii bazei cutiei exprimită în mm: ";   cin >> a;
22 cout<<"Introuceti valoarea lăţimii bazei cutiei exprimită în mm: ";   cin >> b;
23 Z=2*(a+b)/1000;
24 if(ECT<3 or ECT>12) cout<<"Valoarea ECT introdusă poate fi greşită, fapt care va conduce la o valoare BCT eronată. Verificaţi unitatea de măsură!";
25 if(t<1 or t>7) cout<<"Valoarea introdusă pentru grosimea cartonului poate fi greşită, fapt care va conduce la o valoare BCT eronată. Verificaţi unitatea de măsură!";
26 if(a<10 or a>2000) cout<<"Valoarea introdusă pentru lungimea bazei cutiei poate fi greşită, fapt care va conduce la o valoare BCT eronată. Verificaţi unitatea de măsură!";
27 if(b<10 or b>2000) cout<<"Valoarea introdusă pentru lăţimea bazei cutiei poate fi greşită, fapt care va conduce la o valoare BCT eronată. Verificaţi unitatea de măsură!";
28 BCT=5.87*ECT*sqrt(t1*Z);
29 cout << "BCT=" << BCT;
30

```

input

```

Introucerea zecimalelor se va face folosind separatorul '.', de exemplu 4.5, nu 4,5.
Valoarea BCT va fi exprimită în kN/m.
Introuceti valoarea ECT exprimită în kN/m: 2.7
Introuceti valoarea grosimii cartonului exprimită în mm: 10.3
Introuceti valoarea lungimii bazei cutiei exprimită în mm: 2021
Introuceti valoarea lăţimii bazei cutiei exprimită în mm: 2020
Valoarea ECT introdusă poate fi greşită, fapt care va conduce la o valoare BCT eronată. Verificaţi unitatea de măsură!
Valoarea introdusă pentru grosimea cartonului poate fi greşită, fapt care va conduce la o valoare BCT eronată. Verificaţi unitatea de măsură!
Valoarea introdusă pentru lungimea bazei cutiei poate fi greşită, fapt care va conduce la o valoare BCT eronată. Verificaţi unitatea de măsură!
Valoarea introdusă pentru lăţimea bazei cutiei poate fi greşită, fapt care va conduce la o valoare BCT eronată. Verificaţi unitatea de măsură!
BCT= 4.57278
...Program finished with exit code 0
Press ENTER to exit console

```

Fig. 3. Exemplu de calcul al BCT-ului (introducerea unor valori posibil eronate)

În mod similar, în Excel, dacă, de exemplu în celulele unei foi de calcul se introduc valorile necesare (după cum urmează: • în C3 am introdus valoarea ECT exprimată în kN/m; • în C4 am introdus valoarea t a grosimii cartonului ondulat exprimată în mm; • în C5 am introdus valoarea L a lungimii bazei cutiei exprimată în mm; • în C6 am introdus valoarea l a lăţimii bazei cutiei exprimată în mm) atunci în C7 se poate calcula perimetrul bazei cutiei: „ = 2 × (C5 + C6) / 1000”, iar în C8, prin introducerea formulei „ = 5,87 × C3 × SQRT(C4 / 1000 × C7)”, se va obţine valoarea BCT a cutiei de carton ondulat cu caracteristicile introduse în celulele C3, C4, C5 şi C6.

În formula introdusă în celula C8 au fost făcute toate transformările de unităţi de măsură necesare astfel încât utilizatorul să introducă valorile care îi sunt comode, așa cum am specificat. Rezultatul BCT-ului se obţine în kN.

6. Variația BCT-ului cutiilor în funcție de modificarea caracteristicilor ambalajelor

6.1. Pentru a evidenția variația BCT-ului în funcție de calitatea cartonului folosit (oferită de grosimea acestuia), în studiu au fost incluse 5 tipuri de carton ondulat, dintre care trei în 3 straturi (CO3 / tip III) cu ondulă E, B și, respectiv C, și alte două în 5 straturi (CO5 / tip V) cu ondulă E + B și, respectiv C + B. S-au folosit cartoane alcătuite din materiale similare (T200-120 / WE00-090 / T300-120, respectiv T200-120 / WE00-090 / SR00-090 / WE00-090 / T300-120, în funcție de numărul de straturi ale cartonului). A fost

ales un ambalaj paralelipipedic din carton (FEFCO 202) cu laturile de 150 × 100 mm, pentru ca dimensiunile să nu genereze variații ale valorii BCT-ului, iar diferențele de valori să fie generate doar de construcția / grosimea cartonului ondulat folosit.

În tabelul 1, pe coloane sunt incluse cele 5 tipuri de carton, iar pe linii atât valorile caracteristice cartonului ondulat necesare calculului BCT-ului cu ajutorul formulei McKee, cât și dimensiunile cutiei.

Tabelul 1. Valorile BCT pentru primul lot de cutii

	E	B	C	EB	CB
ECT = rezistența la strivire pe cant [kN/m]	4,15	4,2	4,26	6,86	6,62
t = grosimea cartonului ondulat [mm]	1,45	2,8	3,8	5,15	6,56
a = lungimea bazei cutiei [mm]	150	150	150	150	150
b = lățimea bazei cutiei [mm]	100	100	100	100	100
Z = perimetrul bazei cutiei [mm]	500	500	500	500	500
BCT = rezistența la stivuire a cutiei [kN]	0,66	0,92	1,09	2,04	2,23

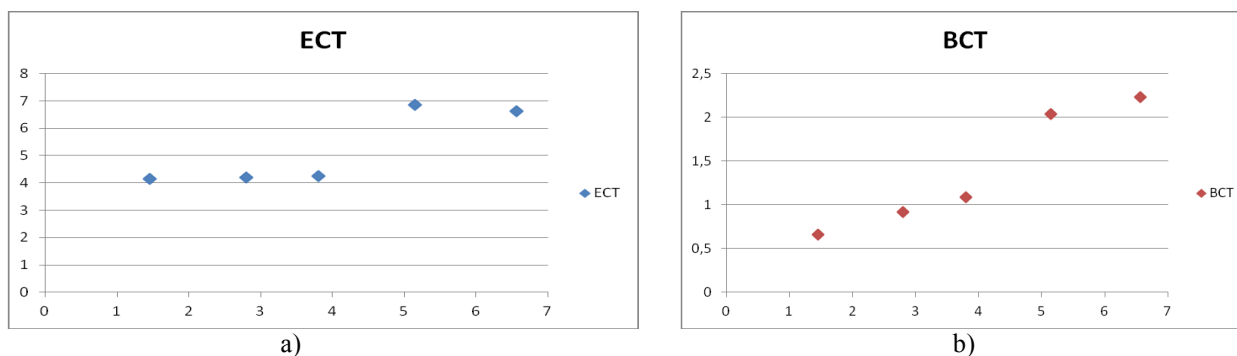


Fig. 4. Variații în funcție de grosimea cartonului: a) a valorilor ECT ale cartonului, b) a valorilor obținute BCT

În fig. 4 se observă variația ECT-ului și BCT-ului în funcție de grosimea cartonului, pentru ambalajele de aceleași dimensiuni (cu baza de 100 × 150 mm), conform calculului din tabelul 1. Se poate constata un salt al valorilor ECT și BCT odată cu trecerea de la cartonul de tip III la cartonul de tip V. De asemenea, se observă că deși ECT-ul cartonului cu ondule E+B are valoarea mai mare decât ECT-ul cartonului cu ondule C+B, diferența de grosime suplinește deficitul și BCT-ul rămâne crescător în funcție de grosimea cartonului.

6.2. Pentru a evidenția variația BCT-ului în funcție de calitatea cartonului folosit (oferită de calitatea hârtiilor componente: hârtiile capac și hârtia miez), în studiu au fost incluse 5 tipuri de carton ondulat, toate în 3 straturi (tip III) cu ondulă B. Din 39 tipuri de cartoane de tip III cu ondulă B au fost alese 5 (toate cu grosimea de 2,80 mm) și ordonate după valorile crescătoare ale ECT-ului. A fost ales un ambalaj paralelipipedic din carton (FEFCO 202) cu laturile de 150mm și 100mm, pentru ca dimensiunile să nu genereze variații ale valorii BCT-ului, iar diferențele de valori să fie generate doar de materialul din care a fost format cartonul ondulat utilizat în studiu.

```

https://www.onlinegdb.com/online_c++_compiler
main.cpp
14 int main()
15 {
16     cout<<"Introducerea zecimalelor se va face folosind separatorul '.', de exemplu 4.5, nu 4,5."<<endl;
17     cout<<"Valoarea BCT va fi exprimată în kN/m."<<endl;
18     cout<<"Introduceti valoarea ECT exprimată în kN/m: "; cin >> ECT;
19     cout<<"Introduceti valoarea grosimii cartonului exprimată în mm: "; cin >> t;
20     t=t/1000;
21     cout<<"Introduceti valoarea lungimii bazei cutiei exprimată în mm: "; cin >> a;
22     cout<<"Introduceti valoarea lățimii bazei cutiei exprimată în mm: "; cin >> b;
23     Z=(a+b)*1000;
24     if(ECT<3 or ECT>12) cout<<"Valoarea ECT introdusă poate fi greșită, fapt care va conduce la o valoare BCT eronată. Verificati unitatea de măsură";
25     if(t<1 or t>7) cout<<"Valoarea introdusă pentru grosimea cartonului poate fi greșită, fapt care va conduce la o valoare BCT eronată. Verificati unitatea de măsură";
26     if(a<10 or a>2000) cout<<"Valoarea introdusă pentru lungimea bazei cutiei poate fi greșită, fapt care va conduce la o valoare BCT eronată. Verificati unitatea de măsură";
27     if(b<10 or b>2000) cout<<"Valoarea introdusă pentru lățimea bazei cutiei poate fi greșită, fapt care va conduce la o valoare BCT eronată. Verificati unitatea de măsură";
28     BCT=5.87*ECT*sqrt(t*Z);
29     cout << "BCT= " << BCT;
30     return 0;
31 }
input
Introducerea zecimalelor se va face folosind separatorul '.', de exemplu 4.5, nu 4,5.
Valoarea BCT va fi exprimată în kN/m.
Introduceti valoarea ECT exprimată în kN/m: 4.15
Introduceti valoarea grosimii cartonului exprimată în mm: 1.45
Introduceti valoarea lungimii bazei cutiei exprimată în mm: 150
Introduceti valoarea lățimii bazei cutiei exprimată în mm: 100
BCT= 0.655927
...Program finished with exit code 0
Press ENTER to exit console.

```

Fig. 5. Exemplu de calcul al BCT-ului (valori reale – cazul cartonului cu ondulă E)

În tabelul 2, pe coloane sunt incluse cele 5 tipuri de carton, iar pe linii atât valorile caracteristice cartonului ondulat necesare calculului BCT-ului cu ajutorul formulei McKee, cât și dimensiunile cutiei.

Tabelul 2. Valorile BCT pentru al doilea lot de cutii

	SR00-090 / WE00-090 / SR00-090	T200-120 / WE00-090 / T300-120	K000-135 / WE00-100 / T300-120	K000-135 / WE00-100 / K000-135	KI03-135 / WE00-100 / KI03-135
ECT = rezistența la strivire pe cant [kN/m]	2,93	4,2	4,47	4,73	5,5
t = grosimea cartonului ondulat [mm]	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
a = lungimea bazei cutiei [mm]	150	150	150	150	150
b = lățimea bazei cutiei [mm]	100	100	100	100	100
Z = perimetrul bazei cutiei [mm]	500	500	500	500	500
BCT = rezistența la stivuire a cutiei [kN]	0,64	0,92	0,98	1,04	1,21

În fig. 6 se observă că variația BCT-ului, în funcție de ECT, este liniară pentru ambalajele de aceeași dimensiuni (cu baza de 100 × 150 mm) și aceeași grosime a cartonului utilizat conform calculului din tabelul 2, ceea ce era de așteptat din studiul formulei McKee.

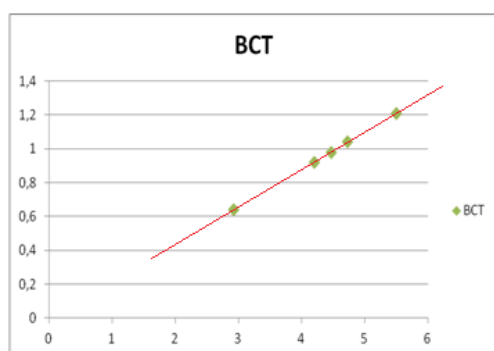


Fig. 6. Variația BCT în funcție de valorile ECT-ului

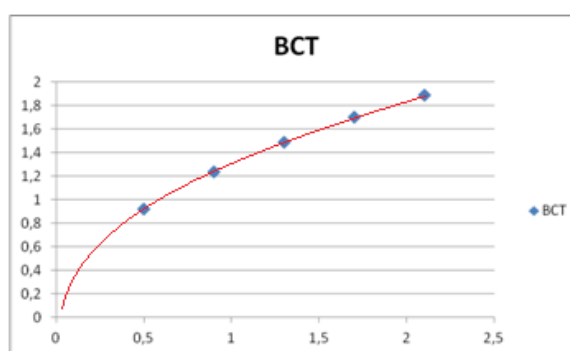


Fig. 7. Variația BCT în funcție de dim. cutiei de carton

6.3. Alegând un tip de carton ondulat, de exemplu tip III cu ondulă B, și studiind cutii paralelipipedice de carton (FEFCO 202) cu laturile de dimensiuni diferite, putem studia cum variază valoarea BCT-ului în funcție de dimensiunea cutiei (tabelul 3). Au fost alese ambalaje pentru care perimetrul bazei crește în progresie aritmetică (cu rație fixă de 40 de cm, adică crescându-se și lungimea și lățimea bazei cu câte 100 mm) pentru a se putea vedea mai bine dependența (fig. 7).

Tabelul 3. Valorile BCT pentru al treilea lot de cutii

	10x15	20x25	30x35	40x45	50x55
ECT = rezistența la strivire pe cant [kN/m]	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
t = grosimea cartonului ondulat [mm]	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
a = lungimea bazei cutiei [mm]	150	250	350	450	550
b = lățimea bazei cutiei [mm]	100	200	300	400	500
Z = perimetrul bazei cutiei [mm]	0,5	0,9	1,3	1,7	2,1
BCT = rezistența la stivuire a cutiei [kN]	0,92	1,24	1,49	1,70	1,89

S-a remarcat că valorile BCT obținute în funcție de perimetrul bazei cutiei respectă graficul funcției radical, ceea ce era de așteptat dacă studiem formula McKee de determinare a BCT-ului.

Conform formulei McKee, forma bazei cutiei nu este importantă. Indiferent de aceasta, decisivă este valoarea perimetrului bazei. Au existat și studii care au demonstrat cu ajutorul echipamentelor că, la perimetru constant, forma secțiunii nu influențează semnificativ valoarea BCT-ului [20].

Tot studii fizice au evidențiat că dublarea înălțimii cutiei reduce rezistența acesteia la compresiune cu circa 8%, deși în formula McKee nu intervine deloc înălțimea cutiei [20].

7. Concluzii

Ambalajele reprezintă produsele ce, în funcție de predestinație, necesită asigurarea multifuncțională axată pe soluții estetice atractive și prietenoase cu mediul, soluții constructive ce ar asigura

închiderea/deschiderea ușoară, conformitatea ergonomică a ambalajului cu produsul, rezistența la factorii climaterici, rezistența la solicitări mecanice etc.

Ambalajele nu pot fi concepute ca elemente separate de produs, ele se integrează și la conceperea lor trebuie luate în considerare produsele pentru care sunt predestinate și așteptările funcționale în raport cu acestea. Caracteristicile multifuncționale care trebuie asigurate ambalajelor sunt determinate de o multitudine de factori de influență interni sau externi, necesar de studiat, examinat și evaluat.

În cadrul experimentărilor prezentate în cap. 6, se evidențiază faptul că valoarea BCT crește odată cu creșterea grosimii cartonului ondulat folosit pentru construcția cutiei de carton, este liniar dependentă de valoarea ECT și crește repede, pentru valori mici, și mai lent, pentru valori mari ale perimetrului bazei cutiei de carton, în funcție de dimensiunile ambalajului, conform graficului funcției radical.

O firmă productoare de ambalaje de carton poate calcula valoarea BCT prin aplicarea formulei McKee. Cu ajutorul computerelor calculul este unul simplu, ușor realizabil. Stabilirea acestor valori permite îmbunătățirea soluțiilor constructive ale ambalajelor de tipul cutiilor din carton pentru a satisface mai bine cerințele clienților și oferă criterii obiective pentru stabilirea factorilor de siguranță.

8. Bibliografie

- [1] Gavrilescu D. – *Cu privire la rezistența la stivuire a cutiilor din carton ondulat*, Celuloză și hârtie, vol. 62, nr. 1, 2013, pp. 35 – 44.
- [2] Besen A.H. – *Design and Production of Corrugated Packaging and Displays*, Jelmar Publishing Co, 1990.
- [3] Maltenford G.G. – *Performance and Evaluation of Shipping Containers*, Jelmar Publishing Co, 1989.
- [4] * * * - TEGEWA: *Germ Load on Packaging Paper and Board*, Corrugated Internat., nr. 3, 1999.
- [5] Markstrom H. – *Testing Methods and Instruments for Corrugated Board*, Lorentzen – Wettre Stockholm, 1988.
- [6] Twedee D., Selke S.E.M. – *Cartons, Crates and Corrugated Board. Handbook of Paper and Wood Packaging Technology*, DEStech Publications, Lancaster, PA, USA, 2005.
- [7] Toth A., Gavrilescu D. – *Factors Affecting Corrugated Board Box Strength*, Proceedings of the 13th International Symposium on Cellulose Chemistry and Tehnology, Iași, 2003.
- [8] Butnaru P., Perju A., Gavrilescu D. – *Hârtii pentru cartonul ondulat din maculatură. Unii factori care influențează proprietățile de rezistență*, Celuloză și Hârtie, vol. 55, nr. 2, 2006.
- [9] FEFCO – Testing methods for corrugated board, www.fefco.org.
- [10] *Corrugated design factors*, Module 5, Part 1, <https://www.msu.edu/course/pkg/322/>
- [11] Gavrilescu D., Toth S., *Cartonul Ondulat*, Editura 3T, Sf. Gheorghe, 2007.
- [12] FCBM 37:06 *International Rules for Corrugated Board and Cases*, http://www.fcbm.org/pdf/fcbm_standa rd_37-06.pdf
- [13] * * * – *Note Tehnice – Cercetări noi privind rezistența la compresiune a lăzilor din carton ondulat*, Celuloză și Hârtie, nr. 10, 1971, p. 462.
- [14] Boonyasarn A., Harte B.R., Twede D., Lee J. L., *Tappi J*, nr. 10, 1992, p. 79.
- [15] Van Hung D., Nakano Y., Tanaka F., Hamanaka D., Uchino T. – *Preserving the strength of corrugated cadrboard under high humidity condition using nano-sized mists*, Composites Science and Technology, Vol. 70, Iss. 14, pp. 2123-2127, 2010.
- [16] Silva L.C.C.B., Oliveira A.B., Silva D.C., Paschoarelli L.C., Coury H.J.C.G. – *Evaluation of reusable cadrboard box designs: Biomechanical and perceptual aspects*, International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 43, Iss. 2, 2013, pp. 154-160.
- [17] <https://www.thimm.ro/produse-servicii/servicii/testarea-ambalajelor/>, accesat în 14.01.2020.
- [18] <http://www.rossmann.ro/tipuri-de-carton-ondulat/>, accesat în 14.01.2020.
- [19] <http://www.rbi.gatech.edu/sites/default/files/documents/The%20BCT%20of%20Copy%20Paper%20Boxes.pdf>, accesat în 03.05.2020.
- [20] <http://omicron.ch.tuiasi.ro/~thmalu/ArticolDGav.pdf>, accesat în 07.05.2021.
- [21] <https://ambalajultau.ro/tipuri-de-carton/> accesat în 09.05.2021.
- [22] <https://carton.ro/despre-carton/>, accesat în 09.05.2021.
- [23] Gavrilescu D. – *Considerații cu privire la testarea cartonului ondulat și ambalajelor*, Celuloză și hârtie, vol. 61, nr. 3, 2012, pp. 15 – 23.