



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2021 00694**

(22) Data de depozit: **18/11/2021**

(41) Data publicării cererii:
30/05/2023 BOPI nr. **5/2023**

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN
CLUJ-NAPOCA, STR.MEMORANDUMULUI
NR.28, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;
• TAPARO S.A., SAȚ BORCUT NR.198,
D.J.182, TÂRGU LĂPUȘ, MM, RO

(72) Inventatori:
• CIUPAN CORNEL, STR.MESTECENILOR,
NR.6, BL.E9, SC.1, AP.2, CLUJ-NAPOCA,
CLUJ, RO;
• FILIP IOAN, STR. MORII NR. 26A,
TÂRGU LĂPUȘ, MM, RO;

• CIUPAN EMILIA, STR.MESTECENILOR,
NR.6, BL.E9, SC.1, AP.2, CLUJ-NAPOCA,
CJ, RO;

• CIUPAN MIHAI, STR. MESTECENILOR,
NR.6, SC.1, BL.9E, AP.2, CLUJ- NAPOCA,
CJ, RO

(74) Mandatar:
CABINET DE PROPRIETATE INDUSTRIALĂ
CIUPAN CORNEL, STR. MESTECENILOR
NR. 6, BL. 9E, SC.1, AP. 2, CLUJ NAPOCA,
CJ

(54) **METODĂ DE SELECȚIE A MATERIALULUI COMPOZIT
TERMOPLAST PENTRU ALIMENTAREA UNEI LINII
AUTOMATE DE TERMOFORMARE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de selecție a materialului compozit termoplast pentru alimentarea unei linii automate de termoformare a unor repere cu suprafețe complexe, pe criterii tehnico-economice. Metoda, conform invenției, constă în împărțirea produselor în clase având un reper reprezentativ, realizarea studiilor clasice prin metoda elementelor finite, determinarea grosimii minime a peretelui astfel încât să fie satisfăcute simultan cerințele impuse de factorul de siguranță și deformația admisibile, pentru fiecare material compozit admisibil, determinarea costului de secție al reperului repre-

zentativ pentru fiecare material disponibil și selectarea compozitului care oferă costul de secție minim, iar pentru oricare alt reper din grupa reperului reprezentativ, efectuarea analizei FEA numai cu materialul selectat pentru reperul reprezentativ și determinarea grosimii peretelui care satisface restricțiile tehnice, apoi determinarea numărului de straturi suprapuse și transmiterea datelor la linia automată de termoformare.

Revendicări: 1
Figuri: 23



70

Metoda de selecție a materialului compozit termoplast pentru alimentarea unei linii automate de termoformare

Invenția se referă la o metodă de selecție a materialelor compozite termoplaste, în vederea alimentării unei linii automate de termoformare a unor repere cu suprafețe complexe.

Metoda este destinată alegerii celui mai potrivit materialul compozit luând în considerare cerințele piesei, proprietățile și costul materialului precum și costurile de fabricare.

Metoda a fost dezvoltată pentru alegerea eficientă a unui compozit termoplast sub formă de strat fibros care va fi consolidat termic în piese, pe o linie automată de termoformare, dar poate fi ușor adaptată și pentru alegerea altor tipuri de compozite.

Termoformarea este un proces de fabricație în care un material plastic este încălzit la o temperatură la care devine flexibil, apoi este format într-o matriță în care se consolidează prin răcire luând forma acesteia. După consolidare, piesa termoformată este extrasă din matriță și tăiată pe contur, pentru a obține forma finală a piesei.

Scopul metodei este de a selecta materialul disponibil care satisface cel mai bine cerințele tehnico-funcționale ale piesei la un cost cât mai scăzut.

US 2021347124/2021 „3D printed package material selection based upon forecast exposure at delivery location” prezintă o metodă și un program de calculator pentru selecția materialului pentru realizarea unor ambalaje fabricate prin tipărire 3D, pe baza unor restricții care includ expedierea la furnizor, condițiile meteo la destinație, durata de expunere la precipitații, UV și temperatura etc. Programul calculează un scor pentru fiecare material și face recomandări pentru cel mai potrivit, în funcție de factorii analizați.

Metoda prezentată nu este adecvată pentru selecția materialului compozit deoarece nu analizează factorii tehnologici și de cost.

Problema pe care o rezolva prezenta invenție este de a oferi o metodă eficientă de selecție a cel mai potrivit material compozit destinat termoformării unui produs dat pe o linie automată.

Metoda conforma invenției presupune împărțirea produselor în clase și alegerea unui reper reprezentativ pentru fiecare clasă, apoi se realizează studii statice prin metoda elementelor finite și se determină grosimea minimă a peretelui reperului reprezentativ astfel încât să satisfacă simultan cerințele impuse de factorul de siguranță și deformația admisibile, pentru fiecare material compozit disponibil, după care se determină costul de selecție a reperului reprezentativ pentru fiecare material disponibil și se selectează compozitul care

oferă costul de secție minim, iar pentru oricare alt reper din grupa reperului reprezentativ se va face analiza FEA numai cu materialul selectat pentru reperul reprezentativ și se va determina grosimea peretelui care satisface factorul de siguranță și deformația admisibile, iar apoi se va determina numărul de straturi suprapuse, date care vor fi transmise pentru alimentarea liniei automate de termoformare.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură cu figurile 1 și 2, care reprezintă:

- Figura 1, Structura liniei automate de termoformare
- Figura 2, Program experimental pentru studiul factorului de siguranță al reperului reprezentativ
- Figura 3, Program experimental pentru studiul deformației maxime a reperului reprezentativ
- Figura 4, Determinarea grosimii peretelui care asigură factorul de siguranță minim admisibil (FOS_{adm})
- Figura 5, Determinarea grosimii peretelui care asigură deformația maximă admisibilă (δ_{adm})
- Figura 6, Determinarea grosimii a peretelui (g^*) care satisface restricțiile impuse de factorul de siguranță admisibil (FOS_{adm}) și deformația admisibilă (δ_{adm})
- Figura 7, Masa netă a reperului pentru fiecare (g^*)
- Figura 8, Prețul materialului compozit în funcție de proprietățile acestuia (E_i, RM_j)
- Figura 9, Norma de timp pe fazele operației de consolidare termică
- Figura 10, Reper reprezentativ - laterala de canapea TAPCOMP, vedere izometrică
- Figura 11, Laterala TAPCOMP pregătită pentru simulare (mesh, solicitări și rezeme)
- Figura 12, Analiza FEA - factorul de siguranță pentru $g=3\text{mm}$; $Rm=15\text{MPa}$
- Figura 13, Analiza FEA - deformația maximă pentru $g=2.5\text{ mm}$; $G=1000\text{ Mpa}$
- Figura 14, Program experimental pentru laterala TAPCOMP – factorul de siguranță minim (FOS_{min})

- Figura 15, Program experimental pentru laterala TAPCOMP – deformația maximă (δ_{max})
- Figura 16, Grosimea minimă $g(R_{m_j})$ care asigură (FOS_{adm})
- Figura 17, Grosimea minimă $g(E_i)$ care asigură (δ_{adm})
- Figura 18, Determinarea grosimii a peretelui (g^*) care satisface restricțiile impuse de (FOS_{adm}) și (δ_{adm})
- Figura 19, Masa netă a lateralei TAPCOMP, pentru (g^*)
- Figura 20, Masa brută a lateralei TAPCOMP, pentru (g^*)
- Figura 21, Prețul materialului compozit în funcție de proprietățile acestuia (E_i, R_{m_j})
- Figura 21, Costul de secție al reperului reprezentativ (laterala TAPCOMP)
- Figura 22, O altă laterală de canapea TAPCOMP2– vedere izometrică
- Figura 23, Costul de secție al lateralei TAPCOMP2.

Metoda este destinată pentru a selecta cel mai potrivit material compozit 1 destinat realizării unei piese ale cărei proprietăți referitoare la forțele la care este supusă și deformația maximă admisă se cunosc.

Material compozit 1, rulat pe un tambur de alimentare 2 este montat pe masa de croit și șpanuit 3. În funcție de forma și dimensiunile piesei materialul este derulat și suprapus în mai multe straturi (șpanuit), în funcție de grosimea finală a peretelui piesei. După șpanuire are loc croirea materialului în funcție de dimensiunile piesei finale. Materialul croit este transferat în cuptorul 4, unde este încălzit între benzile perforate 4a și 4b, până ajunge la o temperatură mai mare decât temperatura de topire a matricei termoplaste. Un mecanism de alimentare 6 preia materialul și îl transferă în presa de formare 7 unde se consolidează prin răcire într-o matriță. După formare, piesa consolidată este preluată de celula robotizată 8, pentru finisarea conturului.

Linia poate lucra și fără croirea materialului, caz în care mecanismul de croire 3b nu este acționat. În această situație, materialul avansează secvențial, pas cu pas prin cuptor, iar după consolidarea unei piese în presa 7, acesta este debitat cu o ghilotină 5, înainte de a fi preluat de celula robotizată 8.

Pentru selectarea materialului compozit cel mai potrivit pentru realizarea unei piese s-a elaborat o metodă având drept criteriu de optimizare costul de secție al produsului. Metoda constă din următoarele etape:

- a. Selectarea unor produse reprezentative R și realizarea modelului 3D CAD al acestora;
- b. Stabilirea programului experimental:
 - i. alegerea parametrilor de material, a valorilor și a modului de variație a acestora;
 - ii. stabilirea datelor de simulare: sarcina de încărcare, factorul de siguranță admisibil (FOS_{adm}), deformația maximă admisibilă (δ_{adm});
- c. Analiza FEA conform programului experimental și înregistrarea datelor pentru modelele reprezentative:
 - i. Factorul de siguranță minim (FOS_{min}) în funcție de grosimea peretelui și rezistența materialului (R_{mj});
 - ii. Deformația maximă (δ_{max}) în funcție de grosimea peretelui și modulul de elasticitate (E_i);
- d. Interpretarea rezultatelor și extragerea datelor necesare pentru determinarea costului:
 - i. stabilirea factorului de siguranță minim acceptat (FOS_{adm}) și a deformației maxime acceptate (δ_{adm});
 - ii. Reprezentarea grafică a variației factorului de siguranță (FOS_{min}) în funcție de rezistența materialului (R_{mj}) și de grosimea peretelui reperului g și stabilirea grosimii $g(R_{mj})$ care satisface (FOS_{adm});
 - iii. Reprezentarea grafică a variației deformației maxime (δ_{max}) în funcție de modulul de elasticitate (E_i) și de grosimea peretelui reperului g și stabilirea grosimii $g(E_i)$ care satisface (δ_{adm});
 - iv. Determinarea grosimii a peretelui (g^*) care satisface restricțiile impuse de (FOS_{adm}) și (δ_{adm});
 - v. Determinarea greutateii materialului pentru valorile (g^*) determinate anterior.
- e. Determinarea costului de secție a fiecărui reper reprezentativ, pe baza rezultatelor obținute prin simulări numerice
 - i. Stabilirea setului de materiale compozite disponibile și a prețului acestora în funcție de proprietățile fizicomecanice ale compozitului consolidat termic;
 - ii. Determinarea costului de secție pentru fiecare reper reprezentativ consolidat, pe baza greutății stabilite în etapa d (v) și selectarea materialului care conferă costul minim.
- f. Determinarea grosimii peretelui ($g2^*$) pentru un alt reper (k) din grupa reperului reprezentativ și a numărului de straturi suprapuse la șpanuire, în urătorii pași:

- Se realizează modelul 3D al reperului (k);
- Se face analiza FEA numai cu datele materialului selectat pentru reperul reprezentativ în etapa e;
- Se modifică grosimea peretelui în analiza FEA până ce se obține grosimea (g_k^*) care satisface factorul de siguranță și deformația admisibile (FOS_{adm} , δ_{adm}),
- Se determină numărul de straturi care se suprapun la operația de șpanuire ținând seama de grosimea benzii de material pe balot și de coeficientul de comprimare la termoformare.

a. Selectarea unor produse reprezentative și realizarea modelului 3D CAD al acestora

Selectarea produselor se face luând în considerare complexitatea, dimensiunile și cerințele de exploatare ale produsului. Se recomandă a se lua câte un produs reprezentativ pentru fiecare grupă de produse finale (scaune, fotolii, canapele etc.).

b. Stabilirea programului experimental

Programul experimental, în cazul acesta un program de simulări numerice, va fi conceput în funcție de scopul urmărit. Se aleg parametrii de material necesari pentru analiza FEA, studiu static (rezistența la rupere, modulul de elasticitate, coeficientul Poisson), pentru materialele cunoscute și folosite. Studiul se va face pentru același produs reprezentativ, care va avea aceeași formă exterioară, dar la care variază grosimea peretelui (g) și calitatea materialului (Rezistența la rupere R_m și modulul de elasticitate E). Fiind vorba de folosirea unor compozite pe baza de fibre vegetale, a căror proprietăți sunt mai puțin cunoscute, dacă se preconizează o evoluție a proprietăților acestor materiale, se face un scenariu de evoluție a caracteristicilor fizico-mecanice.

În această etapă se stabilesc și datele de simulare, specifice standardelor sau testelor de acceptare a produselor. Aceste teste definesc valoarea încărcărilor (forțele), locul și suprafața de acționare a acestora. Suprafețele de fixare-rezemare se stabilesc în funcție integrarea reperului analizat în produsul final.

Programul experimental va conține pentru fiecare produs reprezentativ o mulțime de studii statice, având ca parametrii variabili, datele de material și grosimea peretelui.

Din punct de vedere funcțional ne interesează ca valoarea factorului de siguranță să fie peste o valoare minim admisibilă notată (FOS_{adm}). Factorul de siguranță este influențat de rezistența la rupere a materialului R_{m_j} și de grosimea peretelui g_n .

De asemenea, un alt parametru funcțional al produsului este dat de rigiditatea sa, care poate fi apreciată prin limitarea deformației maxime. Deformația maximă rezultată din analiza FEA va fi influențată de modulul de elasticitate al materialului E_i și de grosimea peretelui g_n .

c. Analiza FEA conform programului experimental și înregistrarea datelor pentru modelele reprezentative

Analiza FEA constă în realizarea studiilor statice conform programului experimental din etapa b. Pentru fiecare simulare, rezultatele de interes se vor completa în tabelele din figura 2 (FOS_{min}) și figura 3 (δ_{max}).

d. Interpretarea rezultatelor și extragerea datelor necesare pentru determinarea costului

Rolul acestei etape este de a stabili grosimea peretelui și greutatea reperului în funcție de caracteristicile materialului compozit folosit și de restricțiile impuse de factorul de siguranță (FOS_{min}) și deformația maximă admisă (δ_{adm}).

Extragerea datelor necesare pentru determinarea costului se face în următorii pași:

- i. Se stabilesc factorul de siguranță minim acceptat (FOS_{adm}) și a deformația maximă acceptată (δ_{adm});
- ii. se reprezintă grafic variația factorului de siguranță în funcție de proprietățile fizicomecanice ale materialului (Rm_j), (figura 4);
- iii. pentru un factor de siguranță minim admisibil (FOS_{adm}) se va determina grosimea minimă a peretelui care asigură acest factor, $g(Rm_j)$ (figura 4);
- iv. se reprezintă grafic variația deformației maxime în funcție de proprietățile fizicomecanice ale materialului (E_i), (figura 5);
- v. pentru o deformație maximă admisibilă ($\delta_{adm} = URES_{max}$) se va determina grosimea minimă a peretelui care asigură această deformație, $g(E_i)$, (figura 5);
- vi. se determină grosimea peretelui g^* , care satisface ambele restricții (Figura 6), pe baza relației:

$$g^*(i, j) = \max\{g(E_i), g(Rm_j)\}, \forall i \in I; j \in J$$

- vii. se determină masa netă a reperului reprezentativ, pentru grosimea peretelui $g^*(i, j)$ determinată de la pasul vi (figura 7);

Din experiența dobândită prin folosirea acestei tehnologii de obținere a reperelor prin termoformare s-a constatat ca masa brută de material compozit folosită pentru termoformarea unui reper este cu 15-20% mai mare decât masa netă, datorită tunderii pe contur. Ca urmare, masa brută a materialului se determină cu relația:

$$m_{i,j} = c \cdot mn_{i,j}$$

unde coeficientul c ia valorile c=1.15-1.2.

e. Determinarea costului de secție a reperului reprezentativ pe baza rezultatelor obținute prin simulări numerice

Costul de secție $CS_{i,j}$ al reperului reprezentativ se determina cu relația:

$$CS_{i,j} = M_{i,j} + S_{i,j} \cdot \left(1 + \frac{Rs}{100}\right)$$

în care:

$M_{i,j}$ = costul materialelor [lei/buc], în cazul folosirii unui materialul compozit având modulul de elasticitate E_i și rezistența la rupere Rm_j .

$S_{i,j}$ = cheltuielile cu manopera directă [lei/buc], în cazul folosirii unui materialul compozit având modulul de elasticitate E_i și rezistența la rupere Rm_j .

Rs = regia secției, [%].

Costul materialului folosit pentru reperul reprezentativ se determina cu relatia:

$$M_{i,j} = m_{i,j} \cdot p_{i,j} - (m_{i,j} - mn_{i,j}) \cdot pd_{i,j}$$

în care:

$m_{i,j}$ = masa bruta a materialului folosit pentru un reper [lei/kg]

$mn_{i,j}$ = masa neta a reperului [lei/kg]

$p_{i,j}$ = prețul unitar al materialului [lei/kg]

$pd_{i,j}$ = prețul deșeurilor, [lei/kg]

Într-un prim pas (i.) se va stabili pe baza unor date reale sau a unui scenariu de evoluție, costul compozitului consolidat mecanic în funcție de proprietățile acestuia (figura 8).

În tabelul din figura 8 se consideră existența a $i \times j$ materiale, i fiind numărul materialelor având module de elasticitate diferite (E_i), iar j este numărul de materiale cu rezistența la rupere diferită (Rm_j). S-a ales ca scenariu de evoluție a prețului compozitului brut să fie influențat atât de rezistența la rupere Rm_j , deoarece acest parametru influențează

factorul de siguranță, cât și de modulul de elasticitate (E_i), care dă rigiditatea reperului, adică deformația maximă.

În cazul în care nu se cunoaște prețul tuturor materialelor din tabelul 2, acestea se pot estima pornind de la prețul unui material cunoscut, pe baza unui scenariu. Să considerăm cunoscut prețul materialului $p_{1,1}$ din tabelul 2 și în ipoteza în care costul materialelor $p_{i,j}$ crește proporțional cu caracteristicile, prețul materialelor se poate determina cu formula:

$$p_{i,j} = p_{1,1} \cdot a^{i-1} \cdot b^{j-1}$$

Unde a și b reprezintă coeficienți de creștere a costurilor în funcție de îmbunătățirea proprietăților acestora (E_i , respectiv Rm_j).

Pentru a stabili costul de fabricație a reperului, pe lângă cheltuielile materiale este necesar să se determine și cheltuielile directe cu manopera. Determinarea costurilor cu manopera presupune cunoașterea timpilor pentru fiecare fază a operației de transformare a compozitului consolidat mecanic în produs finit (figura 9).

Se cunoaște că tehnologia de consolidare termică a compozitului în repere presupune operațiile din tabelul din figura 9. Consolidarea termică presupune încălzirea materialului peste temperatura de topire a matricei termoplaste (polipropilena) urmată de presarea și răcirea în matriță, iar durata acestor operații este influențată de grosimea peretelui reperului, cu cât peretele este mai gros cu atât timpii de încălzire și răcire sunt mai mari.

Pentru stabilirea costului reperului se consideră următoarele ipoteze simplificatoare:

- Timpul de încălzire a materialului compozit la temperatura necesară termoformării și timpul necesar răcirii și consolidării sunt direct proporționali cu grosimea peretelui în stare consolidată termic;
- Timpuri pentru celelalte operații (șpanuire, croire, tundere etc.) nu sunt influențați de grosimea peretelui piesei finite
- Cantitatea de material consolidat mecanic (masa materialului brut) este cu 15-20% mai mare decât greutatea finală a reperului (masa netă).

Cheltuielile cu manopera directă ($S_{i,j}$) se determină cu relația:

$$S_{i,j} = \frac{T_{op_{i,j}} \cdot S_k}{60}$$

în care:

$T_{op_{i,j}}$ = timpul total de prelucrare a reperului reprezentativ folosind materialul cu proprietățile E_i și Rm_j ;

S_k = tariful orar al operației.

După determinarea costului de secție pentru fiecare reper reprezentativ consolidat, cu fiecare dintre materialele disponibile (figura 8) pe baza greutatei (g^*) stabilite în etapa d (v), se va selecta materialul care conferă costul minim. Acest material se va folosi pentru toate produsele din grupa reperului reprezentativ.

f. Determinarea grosimii peretelui (gk^*) pentru un alt reper (k) din grupa reperului reprezentativ

Grosimea peretelui unui alt reper (k) din grupa reperului reprezentativ se face în următorii pași:

- Se realizează modelul 3D al reperului (k);
- Se face analiza FEA numai cu datele materialului selectat pentru reperul reprezentativ (etapa e);
- Se modifică grosimea peretelui în analiza FEA până ce se obține grosimea (gk^*) care satisface factorul de siguranță și deformația admisibile (FOS_{adm} , δ_{adm}),
- Se determină numărul de straturi care se suprapun la operația de șpanuire ținând seama de grosimea benzii de material pe balot și de coeficientul de comprimare la termoformare. Cunoscând greutatea specifică a stratului fibros de material compozit γ [kg/m²], se determină numărul de straturi cu relația:

$$N = \frac{m_k}{\gamma * S_k}$$

Unde: m_k reprezintă masa brută a materialului compozit, în [kg]; γ reprezintă greutatea specifică, în [kg/m²]; S_k reprezintă suprafața totală a materialului croit (inclusiv deșeurile). S_k se determină pe baza modelului 3D, din care rezultă suprafața exterioară a piesei. Marginile de depășire a conturului piesei finite, care vor fi îndepărtate după termoformare, prin tundere se aproximează la 15-20% din suprafața piesei.

- Se transferă datele pentru alimentarea liniei automate de termoformare: tipul materialului și numărul de straturi.

Aplicarea metodei pentru alegerea materialului pentru o laterala de canapea

a. Selectarea unor produse reprezentative și realizarea modelului 3D CAD al acestora

S-au analizat lateralele de canapea care se realizează în prezent din materiale compozite cu fibre vegetale, produse de companiei TAPARO, și s-a selectat, ca produs reprezentativ, laterala de canapea TAPCOMP, prezentată în figura 10.

b. Stabilirea programului experimental

Programul experimental s-a bazat pe rezultatele și experiența acumulată pe baza cercetărilor anterioare [1, 2, 3]. S-a ales pentru materiale următorii parametri de variație:

- Patru valori pentru modulul de elasticitate E_i : 1000, 1500; 2000; 2500 MPa;
- Patru valori pentru rezistența la rupere a materialului R_m : 15; 25; 35; 45 MPa;
- Pentru coeficientul lui Poisson s-a adoptat valoarea $\mu=0.4$ [2].

c. Analiza FEA conform programului experimental și înregistrarea datelor pentru modelele reprezentative

În scopul eficientizării procesului de simulare numerică în aplicația SolidWorks Simulation, modelul 3D al lateralei din figura 10 a fost simplificat față de varianta tehnologică fără a se pierde caracteristicile originale. Laterala a fost modelată ca fiind o singură piesă, fapt ce nu influențează rezultatele simulării, dar reduce timpul de calcul. Realizarea lateralei dintr-o singură piesă nu este posibilă prin termoformare, procedeu tehnologic acceptat de producător. În figura 11 se prezintă laterala de canapea, cu suprafețele de fixare și cu forțele aplicate. Suprafețele considerate fixe (fixed geometry) s-au ales la locul de îmbinare cu rama canapelei, în timp ce baza se sprijină pe podea și a fost lăsată să alunece (roller/slider). Forțele și locul de aplicare al acestora s-au stabilit conform standardelor internaționale. În urma unor simulări numerice inițiale cu scop de verificare a desfășurării analizei și acurateții rezultatelor s-a constatat că testul care produce cele mai mari tensiuni și cele mai mari deformații este cel de apăsare pe verticală la o forță de 700 N, deoarece acesta provoacă cele mai mari tensiuni și deformații.

În figura 12 se prezintă factorul de siguranță pentru laterala cu grosimea peretelui de 3 mm și rezistența $R_m=15$ MPa, iar în figura 13 este redată starea de deformații pentru laterala cu grosimea de 2.5 mm și materialul compozit cu modulul de elasticitate $E=1000$ MPa.

S-au efectuat simulări FEA pentru toate cazurile stabilite în etapa b, iar rezultatele se prezintă sintetic în tabelele din figurile 14 și 15.

d. Interpretarea rezultatelor și extragerea datelor necesare pentru determinarea costului

Pentru această etapă s-au parcurs următorii pași:

- i. S-au stabilit factorului de siguranță minim acceptat ($FOS_{adm}=2$) și deformația maximă acceptată ($\delta_{adm}=3.8$ mm);
- ii. S-a reprezentat grafic a variația factorului de siguranță (FOS_{min}) în funcție de rezistența materialului (Rm_j) și de grosimea peretelui reperului g și s-au stabilit grosimile $g(Rm_j)$ care satisface (FOS_{adm}): $g(Rm1)=5$ mm, $g(Rm2)=3.6$ mm, $g(Rm3)=3.2$ mm, $g(Rm4)=3$ mm (Figura 16);
- iii. S-a reprezentat grafic a variația deformației maxime (δ_{max}) în funcție de modulul de elasticitate (E_i) și de grosimea peretelui reperului g și s-au stabilit grosimile $g(E_i)$ care satisface (δ_{adm}): $g(E1)=5.45$ mm, $g(E2)=4.24$ mm, $g(E3)=3.71$ mm, $g(E4)=3.32$ mm (Figura 17);
- iv. Determinarea grosimii a peretelui (g^*) care satisface restricțiile impuse de (FOS_{adm}) și (δ_{adm}) (Figura 18);
- v. Determinarea greutateii materialului pentru valorile $g^*(i,j)$ determinate anterior (Figura 19 - masa netă, Figura 20 – masa brută).

e. Determinarea costului de producție al lateralei TAPCOMP pe baza rezultatelor obținute prin simulări numerice

Timpii pe operația de realizare a reperului reprezentativ s-au calculat pe baza relațiilor prezentate la etapa d, etapă generală de aplicare a metodei, în care s-au ales următoarele valori: $t1=0.5$ min; $t2=1$ min; $t5=1.5$ min.

Pentru calculul timpilor la operațiile de încălzire, respectiv de presare s-au considerat timpii folosiți de beneficiar pentru un reper cu grosimea $g'=5$ mm: ($t3'=6$ min, $t4'=3$ min).

Timpul $t3_{i,j}$ și $t4_{i,j}$ se determină cu relațiile:

$$t3_{i,j} = t3' \cdot \frac{g^*(i,j)}{g'}$$

$$t4_{i,j} = t4' \cdot \frac{g^*(i,j)}{g'}$$

Pe baza relațiilor de mai sus și a asumpțiilor anterioare s-au calculat timpii pe operație (figura 21).

Pretul materialului compozit, sub formă de strat fibros consolidat mecanic, se prezintă în tabelul din figura 22, iar costul de secție în figura 22.

Din analiza rezultatelor prezentate în figura 22 se constată că cel mai mic cost al reperului reprezentativ (laterală TAPCOMP), în valoare de 7.47 Euro/buc. se obține folosind materialul cu $R_m=35$ MPa și modulul de elasticitate $E=2500$ MPa.

Acest material se va folosi pentru toate produsele din grupa laterale de canapea.

f. Determinarea grosimii peretelui (g_k^*) pentru o altă laterală de canapea (k), din grupa reperului reprezentativ

S-a ales o altă laterală, TAPCOMP2 (figura 23) și s-au parcurs pașii descriși la aplicarea generală a metodei.

După modelarea 3D a noului produs, s-a determinat prin simulări numerice că grosimea $g_k^*(i,j)$ care satisface restricțiile impuse de $FOS_{min}=2$ și $\delta_{max}=3.8$ mm este de 3 mm. Pentru această grosime, cunoscând densitatea materialului consolidat termic (900 kg/m³) s-a obținut greutatea netă a materialului de 1.58 kg, iar masa brută (incluzând deșeurile) este de $m_k=1.89$ kg.

Din modelul 3D, se determină suprafața exterioară a piesei și suprafața totală a materialului croit care este de S_k 0.48 m².

Cunoscând greutatea specifică a stratului fibros de material compozit $\gamma=1$ kg/m², se determină numărul de straturi:

$$N = \frac{m_k}{\gamma * S_k} = 3.95 \text{ straturi}$$

Se transferă datele pentru alimentarea liniei automate de termoformare:

- Materialul cu proprietățile $R_m=35$ MPa; $E=2500$ MPa; $\gamma=1$ kg/m²
- șpanuire în patru straturi.

Prin aplicarea invenției se obțin următoarele avantaje:

- o metodă eficientă de selectare a materialului compozit pentru un reper oarecare, pe baza costului unor repere reprezentative;
- reducerea considerabilă a numărului de simulări numerice la analiza cu elemente finite (FEA) pentru toate celelalte repere din grupa reperului reprezentativ;
- posibilitate automatizată de transfer a datelor către linia de fabricație.

Bibliografie

1. Ciupan C., Pop E., Filip I., Ciupan E., Câmpean E., Cionca I., Hereş V. A new approach of the design process for replacing wooden parts of furniture The 13th Modern Technologies in Manufacturing, Cluj-Napoca, 2017. MATEC Web of Conference 137, 06002 (2017), DOI: 10.1051/mateconf/201713706002
2. Ciupan E., Lăzărescu L., Filip I., Ciupan C., Câmpean E., Cionca I., Pop E. Characterization of a thermoforming composite material made from hemp fibers and polypropylene. The 13th Modern Technologies in Manufacturing, Cluj-Napoca, 2017. DOI: 10.1051/mateconf/ 201713708003
3. Ciupan E., Ciupan C., Câmpean E., Stelea L., Lungu F., Policsec C., Jucan D. Opportunities of Sustainable Development of the Industry of Upholstered Furniture in Romania. A Case Study. Sustainability, vol. 10, doi:10.3390, 2018.

REVENDICARI

1. Metoda de selecție a materialului compozit termoplast pentru alimentarea unei linii automate de termoformare constând dintr-o etapă de împărțire a produselor în clase și alegerea unui reper reprezentativ (R) pentru fiecare grupă și determinarea costului de realizare a acestuia cu fiecare material compozit disponibil și selectarea materialului care oferă costul cel mai mic, **caracterizată prin aceea că**, pentru reducerea volumului de simulări numerice pentru celelalte produse din grupa reperului (R), se parcurg următoarele etape:

a. **Selectarea unor produse reprezentative (R) pentru fiecare grupă de produse și realizarea modelului 3D CAD al acestora;**

b. **Stabilirea programului experimental de simulări numerice prin metoda elementelor finite:**

i. Se aleg parametrii de material, valorile și a modul de variație al acestora;

ii. Se stabilesc datele de simulare: sarcina de încărcare, factorul de siguranță admisibil (FOS_{adm}), deformația maximă admisibilă (δ_{adm}).

c. **Analiza FEA conform programului experimental și înregistrarea datelor pentru modelele reprezentative:**

i. Se înregistrează factorul de siguranță minim (FOS_{min}) în funcție de grosimea peretelui și rezistența materialului (R_m);

ii. Se înregistrează deformația maximă (δ_{max}) în funcție de grosimea peretelui și modulul de elasticitate (E_i).

d. **Interpretarea rezultatelor și extragerea datelor necesare pentru determinarea costului:**

i. Se stabilesc factorul de siguranță minim acceptat (FOS_{adm}) și a deformația maximă acceptată (δ_{adm});

ii. Se reprezintă grafic variația factorului de siguranță (FOS_{min}) în funcție de rezistența materialului (R_m) și de grosimea peretelui reperului g și stabilirea grosimii $g(R_m)$ care satisface (FOS_{adm});

iii. Se reprezintă grafic variația deformației maxime (δ_{max}) în funcție de modulul de elasticitate (E_i) și de grosimea peretelui reperului g și stabilirea grosimii $g(E_i)$ care satisface (δ_{adm});

iv. Se determină grosimea peretelui (g^*) care satisface restricțiile impuse de (FOS_{adm}) și (δ_{adm});

v. Se determină greutatea materialului compozit pentru valorile (g^*) determinate anterior.

e. **Determinarea costului de secție a fiecărui reper reprezentativ, pe baza rezultatelor obținute prin simulări numerice:**

i. Stabilirea setului de materiale compozite disponibile și a prețului acestora în funcție de proprietățile fizicomecanice ale compozitului consolidat termic;

ii. Determinarea costului de secție pentru fiecare reper reprezentativ consolidat, pe baza greutatei stabilite în etapa d (v) și selectarea materialului care conferă costul minim.

f. Determinarea grosimii peretelui (g_2^*) pentru un alt reper (k) din grupa reperului reprezentativ și a numărului de straturi suprapuse la șpanuire, în urătorii pași:

i. Se realizează modelul 3D al reperului (k);

ii. Se face analiza FEA numai cu datele materialului selectat pentru reperul reprezentativ în etapa e;

iii. Se modifică grosimea peretelui în analiza FEA până ce se obține grosimea (g_k^*) care satisface factorul de siguranță și deformația admisibile (FOS_{adm} , δ_{adm}),

iv. Se determină numărul de straturi care se suprapun la operația de șpanuire ținând seama de grosimea benzii de material pe balot și de coeficientul de comprimare la termoformare

v. Se transferă liniei de termoformare tipul materialului și numărul de straturi suprapuse la operația de șpanuire.

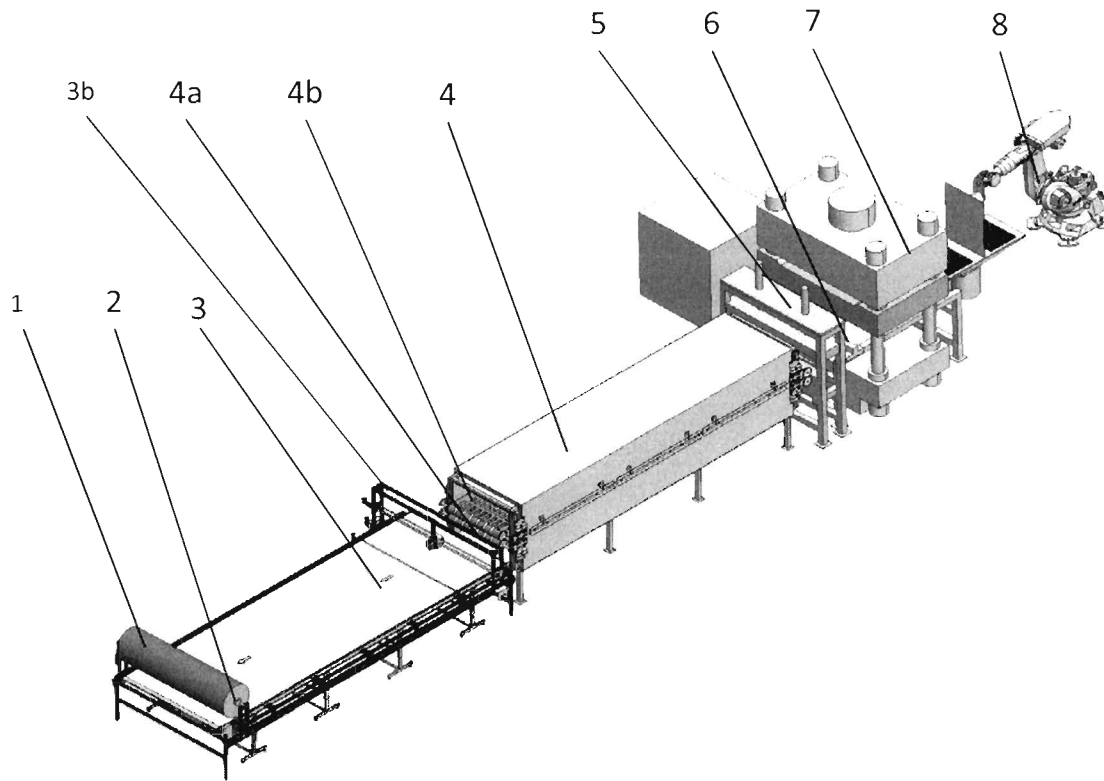


Figura 1

Nr. crt.	Grosimea peretelui g [mm]	Rezistența la rupere Rm_j [MPa]			
		Rm_1	Rm_2	...	Rm_j
Factorul de siguranță minim FOS					
1	g1	$FOS_{1,1}$	$FOS_{1,2}$	...	$FOS_{1,j}$
2	g2	$FOS_{2,1}$	$FOS_{2,2}$	...	$FOS_{2,j}$
...
n	gn	$FOS_{n,1}$	$FOS_{n,2}$	...	$FOS_{n,j}$

Figura 2

Nr. crt.	Grosimea peretelui g [mm]	Modulul de elasticitate E_i [MPa]			
		E_1	E_2	...	E_i
		Deformatia maxima $\delta = URES$ [mm]			
1	g_1	$\delta_{1,1}$	$\delta_{1,2}$	...	$\delta_{1,i}$
2	g_2	$\delta_{2,1}$	$\delta_{2,2}$	...	$\delta_{2,i}$
...
n	g_n	$\delta_{n,1}$	$\delta_{n,2}$	...	$\delta_{n,i}$

Figura 3

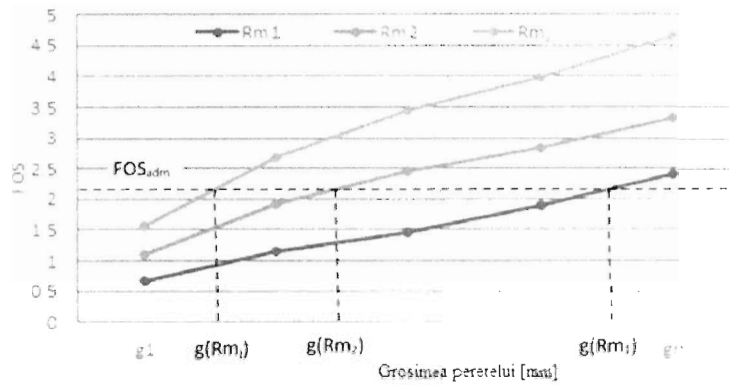


Figura 4

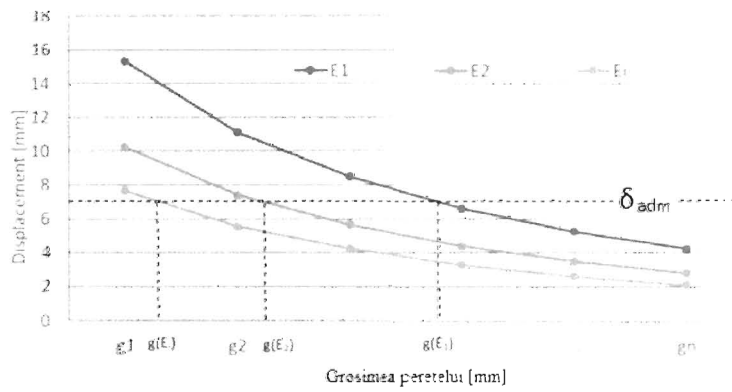


Figura 5



Nr. crt.	Modulul de elasticitate E_i [MPa]	Grosimea peretelui $g(E_i)$ [mm]	Grosimea peretelui $g(R_{mj})$ [mm]			
			R_{m_1}	R_{m_2}	...	R_{m_j}
			$g(R_{m_1})$	$g(R_{m_2})$		$g(R_{m_j})$
Grosimea peretelui $g^*(i,j)$ [mm]						
1	E_1	$g(E_1)$	$g^*(1,1)$	$g^*(1,2)$	...	$g^*(1,j)$
2	E_2	$g(E_2)$	$g^*(2,1)$	$g^*(2,2)$	...	$g^*(2,j)$
3	...	...	...	...	...	...
4	E_i	$g(E_i)$	$g^*(i,1)$	$g^*(i,2)$	...	$g^*(i,j)$

Figura 6

Nr. crt.	Modulul de elasticitate E_i [MPa]	Grosimea peretelui $g(R_{mj})$ [mm]			
		R_{m_1}	R_{m_2}	...	R_{m_j}
		Masa neta a reperului $mn_{i,j}$ [Kg]			
1	E_1	$mn_{1,1}$	$mn_{1,2}$	...	$mn_{1,j}$
2	E_2	$mn_{2,1}$	$mn_{2,2}$	...	$mn_{2,j}$
3	...	...	...	...	...
4	E_i	$mn_{i,1}$	$mn_{i,2}$	...	$mn_{i,j}$

Figura 7

Modulul de elasticitate E_i [MPa]	Direct material costs [Euro/kg]			
	Rezistența la rupere R_{mj} [Mpa]			
	R_{m_1}	R_{m_2}	...	R_{m_j}
E_1	$p_{1,1}$	$p_{1,2}$		$p_{1,j}$
E_2	$p_{2,1}$	$p_{2,2}$	...	$p_{2,j}$
...
E_i	$p_{i,1}$	$p_{i,2}$	...	$p_{i,j}$

Figura 8

Nr. fazei	Faze	Grosimea materialului $g^*(i,j)$			
		$g^*(1,1)$	$g^*(1,2)$	...	$g^*(i,j)$
1.	Spanuire (1 muncitor) [min/buc]	t_1	t_1	...	t_1
2.	Croire (1 muncitor) [min/buc]	t_2	t_2	...	t_2
3.	Incalzire presa (2 muncitori) [min/buc]	$t_{3,1,1}$	$t_{3,1,2}$	...	$t_{3,i,j}$
4.	Presare în matrita (2 muncitori) [min/buc]	$t_{4,1,1}$	$t_{4,1,2}$	...	$t_{4,i,j}$
5.	Tundere (1 muncitori) [min/buc]	t_5	t_5	...	t_5
	Timp total pe operatie	$Top_{1,1}$	$Top_{1,2}$		$Top_{i,j}$

Figura 9

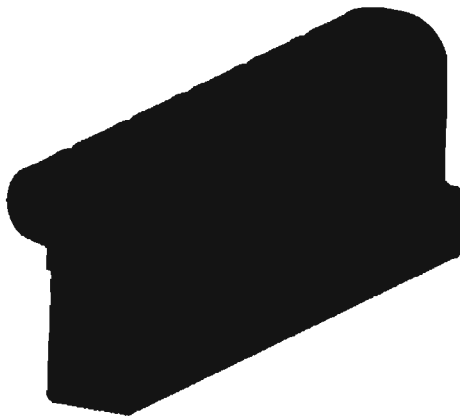


Figura 10

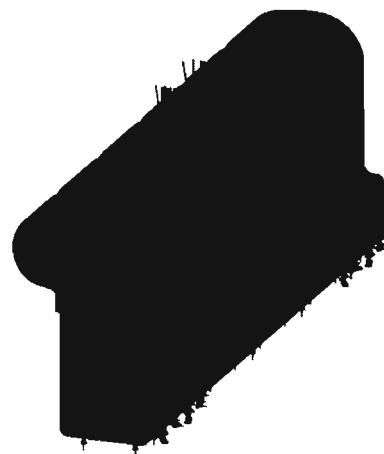


Figura 11

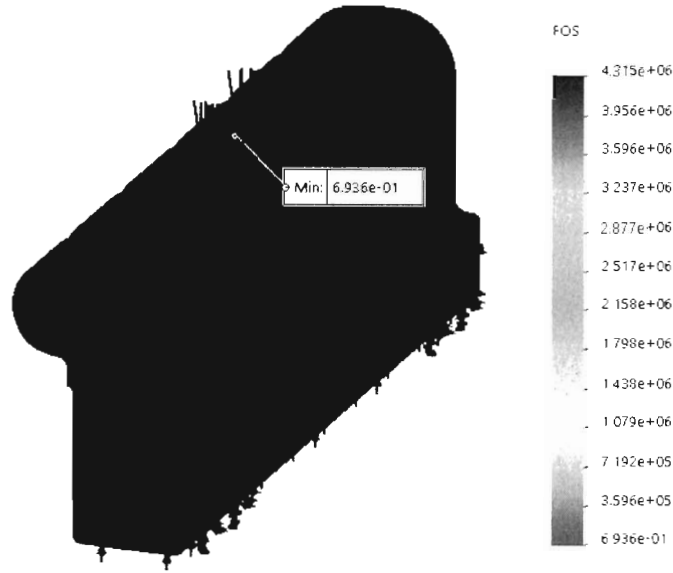


Figura 12

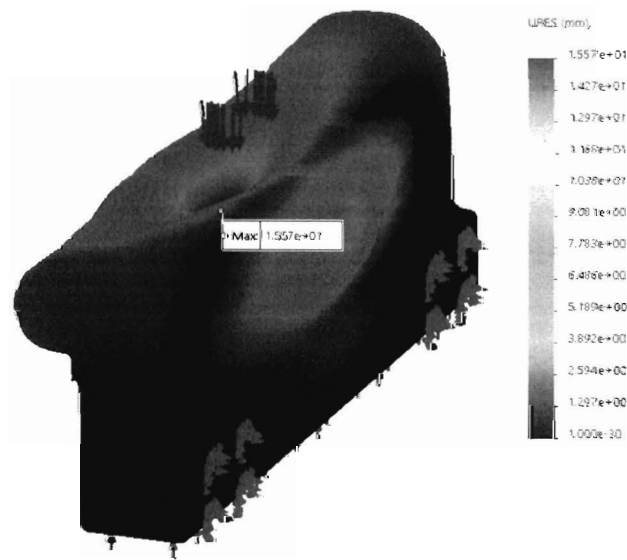


Figura 13

Nr. crt.	Grosimea peretelui g [mm]	Rezistența la rupere R_{mj} [MPa]			
		15 MPa	25 MPa	35 MPa	45 MPa
		Factorul de siguranță minim FOS_{min}			
1	2.5	0.61	1.01	1.42	1.82
2	3	0.69	1.1	1.55	1.99
3	3.5	1.14	1.90	2.67	3.43
4	4	1.47	2.46	3.45	4.43
5	4.5	1.7	2.84	3.98	5.11
6	5	1.98	3.31	4.64	5.96

Figura 14

Nr. crt.	Grosimea peretelui g [mm]	Modulul de elasticitate E_i [MPa]			
		1000	1500	2000	2500
		Deformația maximă δ_{max} [mm]			
1	2.5	15.57	10.23	7.67	6.14
2	3	11.11	7.4	5.55	4.44
3	3.5	8.48	5.65	4.24	3.39
4	4	6.61	4.4	3.30	2.64
5	4.5	5.23	3.49	2.61	2.05
6	5	4.23	2.82	2.11	1.69

Figura 15

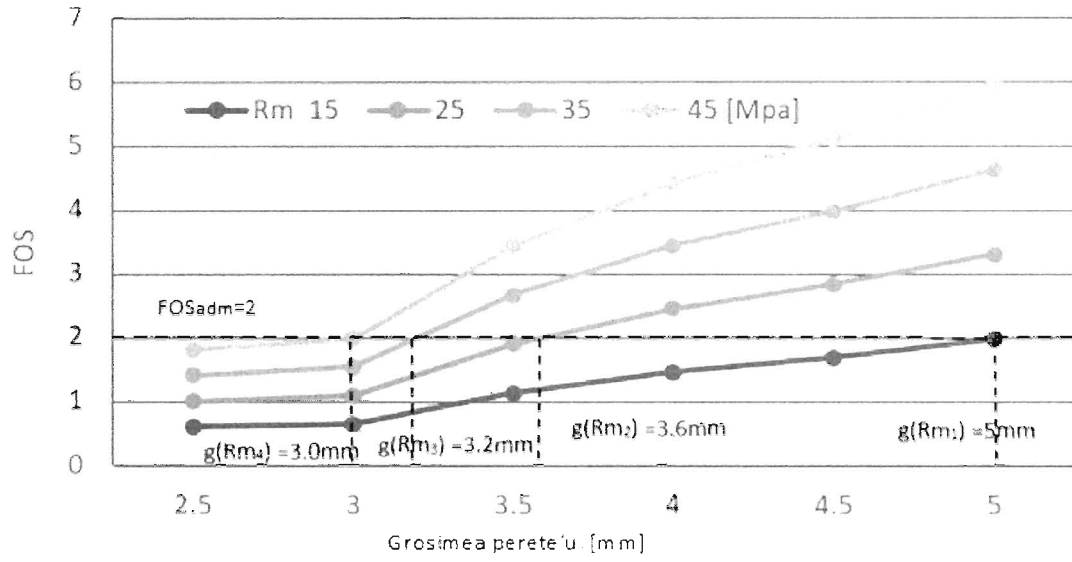


Figura 16

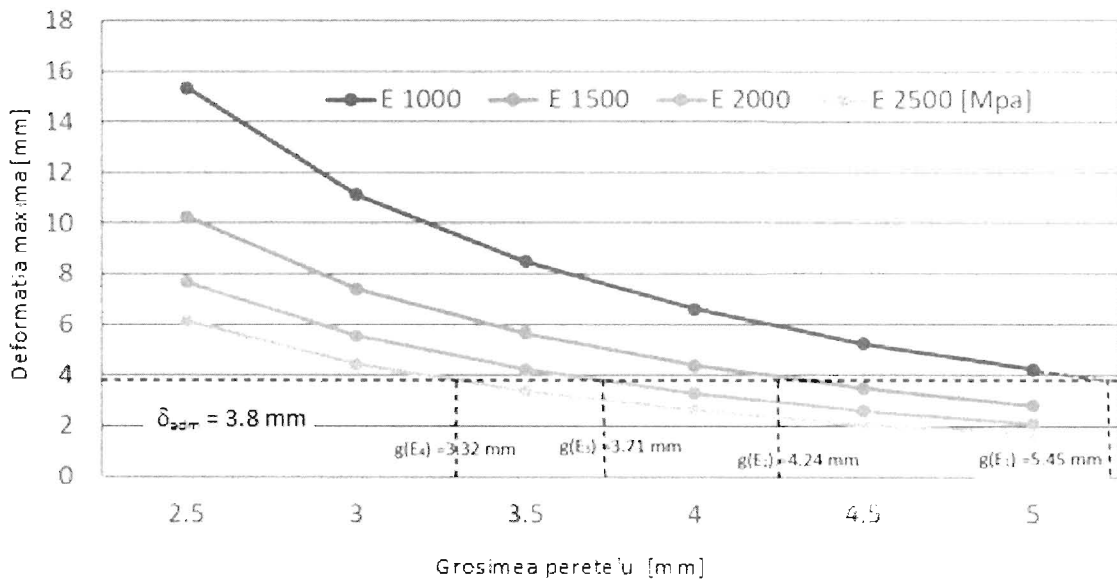


Figura 17

Nr. crt.	Modulul de elasticitate E_i [MPa]	Grosimea peretelui $g(E_i)$ [mm]	Rezistența la rupere a materialului (R_{mj})			
			15 MPa	25 MPa	35 MPa	45 MPa
			Grosimea peretelui $g(R_{mj})$ [mm]			
			5	3.6	3.2	3
Grosimea peretelui $g^*(i,j)$ [mm]						
1	1000	5.45	5.45	5.45	5.45	5.45
2	1500	4.24	5	4.24	4.24	4.24
3	2000	3.71	5	3.71	3.71	3.71
4	2500	3.32	5	3.6	3.32	3.32

Figura 18

Nr. crt.	Modulul de elasticitate E_i [MPa]	Rezistența la rupere R_{mj} [MPa]/ $g(R_{mj})$			
		15 MPa	25 MPa	35 MPa	45 MPa
		Masa netă a reperului $m_n(i,j)$ [Kg]			
1	1000	3.41	3.41	3.41	3.41
2	1500	3.13	2.67	2.67	2.67
3	2000	3.13	2.34	2.34	2.34
4	2500	3.13	2.27	2.10	2.10

Figura 19

Nr. crt.	Modulul de elasticitate E_i [MPa]	Rezistența la rupere R_{mj} [MPa]/ $g(R_{mj})$			
		15 MPa	25 MPa	35 MPa	45 MPa
		Masa brută a reperului $m(i,j)$ [Kg]			
1	1000	4.02	4.02	4.02	4.02
2	1500	3.69	3.15	3.15	3.15
3	2000	3.69	2.76	2.76	2.76
4	2500	3.69	2.68	2.48	2.48

Figura 20

Modulul de elasticitate E_i [MPa]	Pretul materialului [Euro/kg]			
	Rezistența la rupere R_{mj} [Mpa]			
	15	25	35	45
1000	1.50	1.58	1.65	1.74
1500	1.61	1.69	1.77	1.86
2000	1.72	1.80	1.89	1.99
2500	1.84	1.93	2.03	2.13

Figura 21

Nr. crt.	Modulul de elasticitate E_i [MPa]	Grosimea peretelui $g(E_i)$ [mm]	Rezistența la rupere a materialului (R_{mj})			
			15 MPa	25 MPa	35 MPa	45 MPa
			Grosimea peretelui $g(R_{mj})$ [mm]			
			5	3.6	3.2	3
			Costul de secție al reperului reprezentativ $CS(g^*(i,j))$ [Euro/buc]			
1	1000	5.45	12.81	12.81	12.81	12.81
2	1500	4.24	12	10.632	10.632	10.632
3	2000	3.71	12	9.678	9.678	9.678
4	2500	3.32	12	9.48	8.976	8.976

Figura 22



Figura 23