

TEHERAUTÓ PLATÓ KERESZTTARTÓJÁNAK OPTIMÁLÁSA EVOLÚCIÓS MÓDSZERREL

OPTIMISATION OF CROSS MEMBER OF TRUCK FLOOR WITH EVOLUTIONARY METHOD

Nagy Szilárd PhD hallgató, Dr. Jármai Károly egyetemi tanár

ABSTRACT

Grillage – formally lattice like – structures are built of longitudinal beams, cross-members. Vehicle frames, bus floor frames or complete vehicle can be modeled as grillage. The optimization of cross-member of this structure is shown in this paper. The optimization method is a nature inspired metaheuristic evolutionary method, the flower pollination algorithm. The objective function is the total weight of the optimized cross member. The un-knowns are typical dimensions of cross-sections of cross-member. The design constraints are local buckling and fatigue. Inspection was made with aluminum alloy.

1. BEVEZETÉS

A mesterséges intelligencia heurisztikus ágához tartozó evolúciós algoritmusok kutatása az elmúlt években nagy hangsúlyt kapott. Ez nem meglepő, hiszen jól használhatók nem lineáris, sokváltozós bonyolult keresési, optimalizációs feladatok megoldására.

Olyan esetekben is képesek eredményesek lenni, amikor a tradicionális gradiens alapú módszerek nehézkesen, vagy egyáltalán nem alkalmazhatók. További nagy előnyük, hogy képesek a célfüggvényt fekete dobozként kezelni. Nem kell ismerni a függvény konkrét belső felépítését elég csak a bemeneteket és az azokra adott választ. Számos előnyük mellett működésükből következően hátrányuk, hogy nem lehet eldönteni a kapott eredményről, hogy az lokális vagy globális minimum. Rengeteg evolúciós algoritmus közül mi a virág beporzási (FPA) algoritmust fogjuk bemutatni és alkalmazni.

Tartórácsot, tartórácsos szerkezeteket, sok helyen alkalmaznak a jármű iparban. Ilyen szerkezettel modellezhető például teherautók, buszok alváza vagy akár a hajók cellalemezes kialakítása.

Jelen cikkben egy meglévő háromrétegű teherautó plató optimalizálását végeztük el, evolú-

ciós algoritmussal. A kereszttartó optimális méretének meghatározására törekedtünk. A plató további részegysége változatlan maradt. Ez azt is jelenti, az új geometriájú kereszt tartó egy az egyben beépíthető a régi helyére.

2. FPA ALGORITMUS

A virág beporzási algoritmust (flower pollination algorithm; röviden: FPA), mint ahogyan a neve is mutatja a növények beporzási folyamata inspirálta. Fiatal evolúciós algoritmusról van szó, amit először Xin-She Yang javasolt 0.

A természetben a növények reprodukciós folyamatára a különböző beporzási módszerek jellemzőek. Az adott növényre jellemző virágpor, pollen átkerül egy másik növényre, rovarok, madarak, denevérek, egyéb állatok vagy a szél segítségével. Van néhány növény, ami ettől eltérő speciális beporzási módszert választott.

Általánosságban megfogalmazható négy domináns szabály, melyek alapján modellezhető a folyamat, és az algoritmus matematikai alapját képezik:

- **globális-beporzás** (kereszt-beporzás) során a pollen átkerül az egyik egyedről egy másik egyedre. A beporzók mozgása modellezhető Lévy eloszlást követő véletlen számmal.
- **helyi-beporzásnál** a pollen ugyanabból a virágból, vagy ugyanazon növény másik virágából származik.
- adott fajból származó pollen csak az ugyanabba a fajba tartozó növényt tudja beporozni. Az FPA vonatkozásában ez azt jelenti, hogy a beporzás csak akkor történik meg, ha utána a meglévőnél jobb eredmény jön létre.
- helyi- és globális-beporzás bekövetkezésének valószínűségét egy normál eloszlású véletlen valós szám fejezi ki.

A kereszt-beporzás matematikai formája:

$$\bar{x}_i^{(G+1)} = \bar{x}_i^{(G)} + L \left(\bar{g}^* - \bar{x}_i^{(G)} \right) \quad (1)$$

ahol \bar{g}^* a G generációig megtalált globális minimum, L pedig a Lévy-szám, ami közelíthető az alábbi formulával 00:

$$L \approx \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin\left(\frac{\pi\lambda}{2}\right)}{\pi} \frac{1}{s^{1+\lambda}} \quad (2)$$

ahol λ egy konstans (ajánlott értéke: $\lambda = 1,5$), $\Gamma(\lambda)$ gamma eloszlási függvény, s pedig $s > 0$ véletlen lépés.

A helyi-beporzást pedig a differenciál evolúcióból [9] jól ismert mutációs formulával lehet kifejezni:

$$\bar{x}_i^{(G+1)} = \bar{x}_i^{(G)} + \epsilon \left(\bar{x}_{r_1}^{(G)} - \bar{x}_{r_2}^{(G)} \right) \quad (3)$$

$$r_1 \neq r_2 \neq i$$

ahol $\epsilon \in [0; 1] \cup \mathbb{R}$ normál eloszlású véletlen szám, r_1 és r_2 véletlen egész számok. A teljes algoritmus pszeudokódját a 1. ábra szemlélteti.

$P^{(0)}$ populáció inicializálása véletlenszerűen

\bar{g}^ legjobb megoldás kiválasztása $P^{(0)}$ -ből*

$P \in [0; 1]$ valószínűség meghatározása

ciklus míg $G < \text{maximum generáció}$

ciklus $i = 1: n$ (összes egyedre)

ha $\text{rand} < P$

L Lévy eloszlású véletlen szám generálása (2)

globális beporzás (1) alapján

egyébként

ϵ véletlen szám generálása

helyi beporzás (3) alapján

ha vége

új függvényérték meghatározás

ha a kapott eredmény jobb, új egyed megtartása

ciklus vége

ciklus vége

1. ábra FPA algoritmus pszeudokódja

Az FPA, mint a legtöbb evolúciós algoritmus folytonos problémák megoldására lett kitalálva. A mérnöki gyakorlatban előforduló problémák viszont korlátosak.

$$\begin{aligned} \min \mathcal{F}(\bar{x}) \quad \bar{x} &= [x_1, x_2 \dots x_i \dots x_D] \\ \text{ha} \quad g_j(\bar{x}) &\leq 0 \quad 1 \leq j \leq q \\ h_k(\bar{x}) &= 0 \quad q + 1 \leq k \leq r \end{aligned} \quad (4)$$

$$x_A \leq x_i \leq x_F$$

ahol D a probléma változóinak száma, x_A és x_F alsó és felső határok. A korlátos, nem folytonos problémát szükségszerű folytonossá alakítani. A gyakorlatban a leggyakoribb módszer, hogy ha nem teljesül az egyenlőtlenségi vagy egyenlőségi feltétel a minimálandó fitnessz $\mathcal{F}(\bar{x})$ függvényhez hozzá adódik egy büntető paraméter. Célszerű úgy felvenni a büntető függvényt, hogy ha teljesülnek a feltételek a fitnessz értéke ne változzon, illetve elhanyagolható legyen a

változás. Ha pedig nem teljesülnek a hozzá adott érték nagyságrendekkel változtassa meg (jelen cikkben ez az érték 10^6).

$$\alpha(x) = \begin{cases} 0 & \text{ha } x \leq 0 \\ 10^6 & \text{egyébként} \end{cases} \quad (5)$$

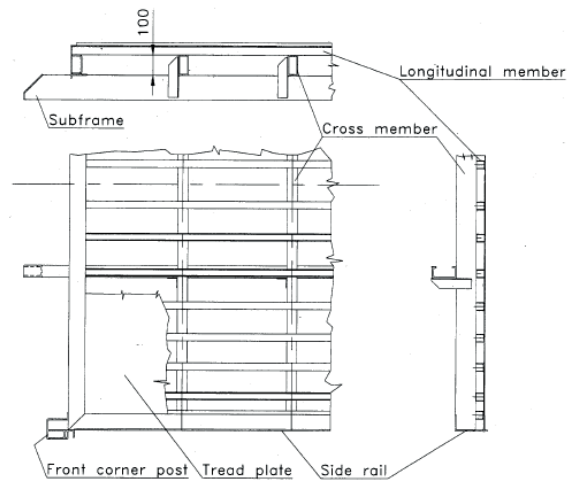
Ha a programozási, szimulációs környezet támogatja, szokás a végtelent is hozzá adni, de ez a módszer nem a legjobb. Előfordulhat, hogy a kezdeti populáció nem tartalmaz minden korlátot kielégítő egyedet, és ekkor az optimálás nem folytatható. Az egyenlőségi feltételekhez büntető függvényt nem definiálunk, mivel a továbbiakban optimálandó probléma ezt nem igényli.

A büntető függvénnyel kiegészített folytonos optimálási probléma:

$$\min \mathcal{F}(\bar{x}) + \sum_{j=1}^q \alpha(g_j(\bar{x})) \quad (6)$$

3. TEHERAUTÓ PLATÓ

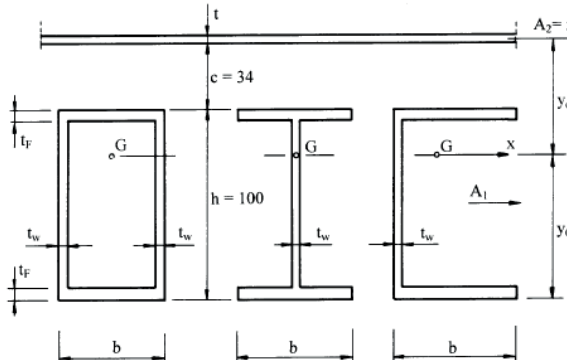
Jelen esetben vizsgált teherautó alváza két hosszirányú acél gerendából áll. Ehhez csatlakozik egy köztes tartón keresztül a három rétegű plató (2. ábra). Név szerint a három réteg keresztartók, hossz irányú tartók és padlólemez. A kereszt- és hosszartók anyaga AIMgSi0.7 [1], a padlólemez pedig AIMg2.5 [2]. A szerkezetet körbe öleli az oldalsó keret, mely közvetíti a további felépítményekből (tető, oldalfalak, ajtó) adódó terheléseket.



2. ábra Teherautó padlózatának szerkezete [4]

Az optimálás célja a teherautó plató anyag költségének csökkentése, a keresztartók keresztmetszeti méreteinek változtatásán keresztül. A keresztmetszeti méretek jelölését és magyarázatát a 3. ábra tartalmazza. A [4] korábbi számításai kimutatták, hogy az eredeti

zárt szelvény (RHS szelvény), a vizsgált I és C szelvény közül tömeg szempontjából a legkedvezőbb eredményeket az I-szelvény adja. Ezért a továbbiakban a számításokat az utóbbival végeztük csak el.



3. ábra Kereszttartók keresztmetszeti méretei [4]

A padlólemez effektív szélessége $50t$, ahol t a lemez vastagsága. A geometriai jellemzők I-szelvény esetén, úgymint keresztmetszeti terület, súlyponti távolságok és másodrendű nyomaték:

$$A = A_1 + A_2 \quad A_1 = ht_w + 2bt_f \quad (7)$$

$$A_2 = 50t^2$$

$$y_G = \frac{A_1}{A} \left(\frac{h+t}{2} + c \right) \quad (8)$$

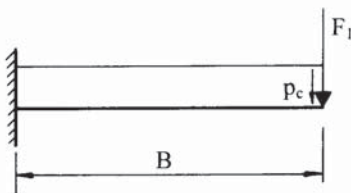
$$y_C = h + c + \frac{t}{2} - y_G$$

$$I_x = \frac{h^3 t_w}{12} + \frac{bt_f h^2}{2} + A_1 \left(y_C - \frac{h}{2} \right)^2 + A_2 y_G^2 \quad (9)$$

A (7)-(9) jelöléseivel és korábban megfogalmazott célok alapján az optimalás fitness függvénye:

$$\mathcal{F}(\bar{x}) = \rho A_1 L_c n_c; \quad \bar{x} = [b, t_f] \quad (10)$$

ahol $\rho = 2,7 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ az alumínium sűrűsége, $L_c = 2440 \text{ mm}$ egy kereszt tartó hossza, és n_c a kereszt tartók száma. Látható, hogy csak az övlemez jellemző méretei változnak. A gerinclemez magassága $h = 100 \text{ mm}$ megegyezik az eredeti RHS szelvény magasságával. A $t_w = 3,4 \text{ mm}$ vastagság pedig a gyárthatóságot még biztosító minimális érték.



4. ábra Kereszttartók félkonzolos mechanikai modellje [4]

A kereszt tartók terhelése, két erőrendszer szuperpozíciójaként értelmezhető hajlító nyomaték és nyíróerő (4. ábra). Első erőrendszer hasznos teher súlyából adódó megoszló terhelés.

$$p = \frac{F_p n_p}{BL} \quad (11)$$

ahol $F_p = 8500 \text{ N}$ a feltételezett raklapok súlya, $n_p = 5$ a felhelyezett raklapok száma, $B = 720 \text{ mm}$ és L a félkonzolos plató felület jellemző méretei. Az egy kereszt-tartóra jutó vonal mentén megoszló terhelés:

$$p_c = \frac{pL}{n_c - 1} \quad (12)$$

A második erőrendszer a felépítmény súlyából adódó $F_1 = 1946 \text{ N}$ koncentrált erő. Vízszintes helyzetben a hajlító nyomaték

$$M_h = \frac{p_c B^2}{2} + F_1 B = \frac{F_p n_p B}{2(n_c - 1)} + F_1 B \quad (13)$$

a nyíróerő

$$Q = \frac{F_p n_p}{n_c - 1} + F_1 \quad (14)$$

és a feszültségek

$$\sigma = \frac{M_h}{I_x} \max(y_G, y_C) \quad (15)$$

$$\tau = \frac{Q}{ht_w} \quad (16)$$

Az optimalás korlátait a tönkremeneteli határállapotokból lehet származtatni. Az első ilyen korlát a hegesztési varratok fáradása határból adódik. A [3] és [7] szerint a megengedett feszültség $\sigma_c = 28 \text{ MPa}$, és $\tau_c = 28 \text{ MPa}$ nyírófeszültség 2×10^6 ciklusszám mellett. Ebből származtatható a tényleges $N = 2 \times 10^5$ ciklusszámhoz tartozó érték.

$$\log \Delta \sigma_N = \frac{1}{3} \log \frac{2 \times 10^6}{N} + \log \sigma_c \quad (17)$$

$$\log \Delta \tau_N = \frac{1}{3} \log \frac{2 \times 10^6}{N} + \log \tau_c \quad (18)$$

a korlátok pedig kifejezve (15)-(18) egyenletekből

$$g_1(\bar{x}) = \frac{\gamma_{Mf} \sigma}{\Delta \sigma_N} - 1 \leq 0 \quad (19)$$

$$g_2(\bar{x}) = \frac{\gamma_{Mf} \tau}{\Delta \tau_N} - 1 \leq 0 \quad (20)$$

ahol $\gamma_{Mf} = 1.25$ biztonsági tényező.

További korlátok adódnak a stabilitási feltételekből. Gerinclemez horpadási feltételéből adódó

$$g_3(\bar{x}) = \frac{\beta h}{22 t_w \varepsilon} - 1 \leq 0 \quad (21)$$

ahol β és ε az alábbiak szerint számolható

I. táblázat Optimalizálás eredménye

	Eredeti RHS szelvény [4]			Optimált I-szelvény				
n_c	14	12	10	16	14	12	10	8
b [mm]	55,0	115,0	120,0	73,9	66,1	80,8	78,1	74,3
t_f [mm]	5,4	3,0	3,4	4,6	5,9	5,6	7,0	9,4
A_1 [mm ²]	1274	1370	1496	1019,88	1116,36	1246,57	1437,52	1738,32
Tömeg [kg]	117,50	108,31	98,56	107,50	102,96	98,55	94,70	91,62
Anyag költség [\$]	202,10	186,28	169,51	184,90	177,09	169,50	162,89	157,58

$$\beta = \begin{cases} 0,65 + 0,35 \frac{y_0}{y_c} & \text{ha } 1 > \frac{y_0}{y_c} \geq 0 \\ 0,65 + 0,30 \frac{y_0}{y_c} & \text{ha } 0 > \frac{y_0}{y_c} \geq -1 \end{cases} \quad (22)$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{250}{\sigma/\gamma_{M1}}} \quad (23)$$

$$y_0 = y_G - \frac{t}{2} - c \quad (24)$$

az övlemezek horpadási feltétele pedig

$$g_4(\bar{x}) = \frac{b}{14t_f\varepsilon} - 1 \leq 0 \quad (25)$$

4. OPTIMÁLÁS EREDMÉNYE

Az optimalást $n_c = 8,10,12,14,16$ darab keresztartó mellett végeztük el. Az eredményeket a 1. táblázat foglalja össze. I-szelvény optimált méretekkel tömeg csökkenést és költségmegtakarítást eredményez az eredeti RHS szelvényhez képest.

A feltüntetett anyagköltség az összes szükséges keresztartó költségét jelenti.

$$K_m = k_m m_c = k_m \rho A_1 n_c L_c \quad (26)$$

ahol $k_m = 1,72 \$/kg$ [8] a fajlagos anyag költség. A szerszámzási költség el lett hanyagolva, mert [4][6] korábbi számításai alapján egy tartóra vetítve, az anyagköltséghez viszonyítva elhanyagolható.

A keresztartók számának növelésével a keresztmetszeti terület csökken az össztömegük pedig nő. Az eredeti $n_c = 10,12,14$ számhoz képest a tartók számát tovább csökkentve még nagyobb megtakarítás érhető el.

Optimálás során a mértékadó korlát a varratok fáradási feltétele volt.

5. KONKLÚZIÓ

A bemutatott optimalás során egy húzott, alumínium profilokból hegesztett kamion plató keresztartói keresztmetszeti méreteinek meghatározása történt meg. Korlátnak a varratok fáradási feltétele és helyi horpadási feltételek voltak

figyelembevétel. Az eredeti RHS szelvényű szerkezethez képest minden keresztartó számnál megtakarítást eredményezett mind tömegben, mind költségben. Ez nem csak a gyártási költségeket csökkenti, hanem az üzemeltetési költségeket is.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

7. IRODALOM

- [1] DIN 1725-1983: Aluminiumlegierungen. Knetlegierungen, Knetlegierungen 1983
- [2] DIN 1748-1983: Strangpressprofile aus Aluminium und Aluminium-Knetlegierungen. Eigenschaften, Zulässige Abweichungen, 1938
- [3] Eurocode 3 Part 1.1.: Design of steel structures. General rules and rules for buildings, European Committee for Standardization, Brussels, 2005
- [4] Farkas J., Jármái K., Dúl R.: Minimum cost design of a truck floor welded from aluminium-alloy profiles, *Welding in the World*, Pergamon Press, Vol. 45, No. 9-10, (2001), pp. 19-22, ISSN 0043-2288
- [5] Farkas J. Jármái K.: Optimum design of steel structures, Springer Verlag, Heidelberg, 2013
- [6] Farkas J., Jármái K.: Truck floor design for minimum mass and cost using different materials, *Vehicle and Automotive Engineering*, Springer 2017, ISBN 978-3-319-51188-7
- [7] Hobbacher A.: IIW Recommendations for fatigue design of welded joints and

components, IIW-doc, IIW-1823-07, ex XIII-2151r3-07/XV-1254r3-07

- [8] London Metal Exchange, www.lme.com/metals, megnézve: 2020.03.05
- [9] Storn R., Price K.: Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces, *Journal of Global Optimization*, Vol. 11, (1997), pp 341-359, doi.org/10.1023/A:1008202821328

[10] Xin-She Y.: Flower pollination algorithm for global optimization, *Unconventional Computation and Natural Computation*, Vol. 7445, (2012), pp. 204-249

[11] Xin-She Y.: *Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms Second Edition*, Luniver Press, Frome, 2010