

UNIVERSITY OF PÉCS

40TH ANNIVERSARY OF
POLLACK MIHÁLY
COLLEGE OF ENGINEERING
INTERNATIONAL SYMPOSIUM

PROCEEDINGS
VOLUME II.



PÉCS, HUNGARY 2002.

<i>Šperac, Marija:</i>	EFFECT OF URBAN DRAINAGE ON ECOLOGICAL IMPAIRMENT.....	377
<i>Kovács, Anita:</i>	EXPERIENCES ON THE WATER-QUALITY ANALYSIS OF THE RIVER DRAVA AND THE POSSIBLE WAYS OF THE DATA-PROCESSING IN THE FUTURE	387

VOLUME II.

TOPIC 7

BUILDING MATERIALS AND GEOTECHNICS

<i>Orbán, József:</i>	TRAINING OF ARCHITECTS AND CIVIL ENGINEERS WITH THE HELP OF MULTIMEDIA.....	397
<i>Kovács, Károly:</i>	A BETONKÖTÉST-SZILÁRDULÁST BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK FACTORS INFLUENCING THE SETTING AND CONSOLIDATION OF CONCRETE...	406
<i>Zsigovics, István:</i>	ÖNTÖMÖRÖDŐ BETON – A BETONKUTATÁS ÚJ EREDMÉNYEI SELF COMPACTING CONCRETE -NEW RESULTS OF CONCRETE RESEARCH	415
<i>Orbán, Zoltán:</i>	OPTIMISED REHABILITATION PROCEDURES FOR OLD MASONRY ARCH BRIDGES.....	420
<i>Mecsi, József:</i>	BEHAVIOUR OF THE SOIL PLASTICITY ACCORDING TO THE NEW EXPANDED CAVITY THEORY CONCEPT IN SOIL.....	429
<i>Schubert, József; Varga, Tamás:</i>	CPT SZONDÁZÁS / CONE PENETRATION TESTING	447
<i>Balázs, Ferenc:</i>	BEHAVIOUR AND STABILISATION OF LOESS SOIL LÖSZTALAJOK VISELKEDÉSE ÉS STABILIZÁLÁSA	455
<i>Orbán, József; Balázs, Ferenc; Schubert, József; Kaszás, Ferenc:</i>	SOIL 2000 TECHNOLOGY FOR STABILIZATION.....	463
<i>Orbán, József:</i>	MECHANISM OF AQUAPOL ELECTROMAGNETIC WALL DEHYDRATION SYSTEM	471
<i>Orbán, József:</i>	KORROSION DER SPANNSEILE BEI IMS - TRASKELETTKONSTRUKTIONEN	481

<i>Dimter, Sanja:</i> COMPRESSIVE STRENGTH OF STABILIZED MIXTURES CONTAINING FLY ASH	492
--	-----

TOPIC 8**MECHANICAL ENGINEERING**

<i>Betschart, Werner:</i> DIE PASSIVHAUS – TECHNIK.....	505
<i>Farkas, J.:</i> KÉT IRÁNYBAN NYOMOTT, HEGESZTETT BORDÁZOTT NÉGYZETLEMEZ MÉRETEZÉSE KÖLTSÉGMINIMUMRA.....	513
<i>Jármai, K.; Farkas, J.; Gondos, Gy.:</i> HEGESZTETT I-SZELVÉNYŰ KERETEK OPTIMÁLÁSA KÜLÖNBÖZŐ ALGORITMUSOKKAL.....	521
<i>Bühning, Andreas; Heinzl, Angelika; Luther, Joachim; Fritz, Hans-Lorenz:</i> ENERGY SUPPLY FOR LOWEST-ENERGY BUILDINGS: FROM THE SOLAR-ASSISTED EXHAUST AIR HEAT PUMP TO THE FUEL-CELL HEATER.....	535
<i>Élesztős, Pavel; Benča, Štefan:</i> STRENGTH REHABILITATION OF A PIPELINE SYSTEM AT THE CRITICAL POINT BY MECHANICAL PRELOADING.....	545

TOPIC 9**INTEGRATED HERITAGE PROTECTION****DESIGN RESIDENTIAL BUILDINGS****PUBLIC BUILDING DESIGN**

<i>Owen, Stephen:</i> DESIGN IN THE COUNTRYSIDE: THE ROLE OF COMMUNITY INITIATIVES IN FOSTERING LOCAL DISTINCTIVENESS	555
<i>Lončar, Sanja –Vicković; Štajner, Valis:</i> SOME ASPECTS OF URBAN REGENERATION OF TVRDJA, EASTERN CROATIA	558
<i>Aczél, Gábor:</i> A KÖZSZFÉRA ÉS A MAGÁNSZFÉRA EGYÜTTMŰKÖDÉSE A VÁROSFEJLESZTÉSben	565
<i>Lukovich, Tamás:</i> GLOBÁLIS TRENDEK A POSZTINDUSZTRIÁLIS TÁRSADALMAK VÁROSÉPÍTÉSzetÉben	571

IS - APMCE 2002
International Symposium
Anniversary of Pollack Mihály College of Engineering
May 31-June 1, 2002
Pécs, Hungary

HEGESZTETT I-SZELVÉNYŰ KERETEK OPTIMÁLÁSA KÜLÖNBÖZŐ ALGORITMUSOKKAL

Jármai, K., Farkas J., Gondos Gy.

Miskolci Egyetem,
3515 Miskolc Egyetemváros
altjar@uni-miskolc.hu

Key words: structural optimization, genetic algorithm, differential evolution, welded structure

Kulcsszavak: szerkezetoptimalás, genetikus algoritmus, differenciális evolúciós módszer, hegesztett keretek

Abstract: *The purpose of this study is to investigate the suitability of four conceptually different optimization algorithms for specifically the optimal design of welded I-section frames. The cost function to be minimized is the volume of the frame. Constraints on lateral-torsional buckling as well as local buckling of the beam and column webs and flanges are taken into consideration. The algorithms evaluated include a genetic algorithm, a novel leap-frog gradient method without line searches, as well as an orthogonal search method requiring no gradients and the differential evolution technique.*

1 Bevezetés

A vizsgálat célja az, hogy bemutassa négy koncepcionálisan különböző optimáló módszer hatékonyságát egy szerkezetoptimalási problémánál, összehasonlítsa előnyeiket és hibáikat. A vizsgált keretet az 1. ábra mutatja. Nem-lengő, merev (hegesztett) sarok kialakítású keret. A minimálandó célfüggvény a keret tömege. Az oszlop és a gerenda feszültségi feltétele az Eurocode 3 [1] szerint került felírásra a gerinc- és az övlemez horpadása figyelembevételével. A tervezési változók az oszlop- és gerendaszelvények méretei. Az övszélességet azonosnak vesszük a két profilnál $b_1 = b_2 = b$. Továbbá feltételezzük, hogy a helyi horpadási feltétel az övlemeznél aktív, azaz $t_{f1} = t_{f2} = \delta b$, ahol $1/\delta = 28\varepsilon$, $\varepsilon = (235/f_y)^{0.5}$ és f_y a folyáshatár. A tervezési változók vektora így $\mathbf{x} = (h_1, h_2, b, t_{w1}, t_{w2})$, mint ahogy az 1. ábrán látható, h_1, b, t_{w1} az oszlopokhoz, h_2, b, t_{w2} a gerendához.

A méretezési feltételek erősen nemlineárisak és a problémának több lokális minimuma lehet, a négy különböző optimáló algoritmussal megbízhatóan megkereshető az optimum.

Az optimalizációs feladat általánosan a következőképpen írható fel:

Megkeresni az $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \mathbf{R}^n$ változó értékeket,
melyek minimálják az $f(\mathbf{x})$ célfüggvényt, a következő méretezési feltételek mellett
 $g_j(\mathbf{x}) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, m$ (egyenlőtlenségi feltételek),

(1)

$$h_j(\mathbf{x}) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, r \quad (\text{egyenlőségi feltételek}), \quad (2)$$

ahol $f(\mathbf{x})$, $g_j(\mathbf{x})$ és $h_j(\mathbf{x})$ a tervezési változók \mathbf{x} skalár függvényei, \mathbf{R}^n a megengedett tartomány. Az optimális megoldást általában \mathbf{x}^* -al jelölik.

Az elmúlt harminc évben számos hatékony numerikus módszer fejlesztettek ki az fent felírt általános probléma megoldására. Másrészt elmondható, hogy nincs olyan módszer, mely minden szempontból jobb lenne a többinél. Függően a nemlinearitás mértékétől, a célfüggvény zajosságától és diszkontinuitásától, a változók számától és jellegétől (diszkrét vagy folytonos), a számos lokális minimum létezésétől, a célfüggvény meghatározásának időigényétől, különböző módszerek alkalmazása lehet hatékony és megbízható a különböző problémáknál.

2 Optimáló módszerek

2.1 A genetikus algoritmus

A genetikus algoritmus [2] az evolúciós módszerek csoportjába tartozik, mely a természet viselkedését utánozza, mint a kiválasztódás és a szaporodás. Jelen példánkban a keret tömegét minimáljuk. A népesség egyedeit, mint a tervezési változók bizonyos kombinációját adjuk meg. Az egyedek binárisan kódoltak és azonosítójuk a kromoszóma. Minden kromoszómának van egy "jósági foka", mely jelen esetben a minimált tömeg nagyságát jelenti a feltételek mellett és összehasonlításra kerül az összes többi kromoszómával. Más szavakkal minél kisebb a célfüggvény értéke, annál nagyobb a kromoszóma "jósági foka". Az optimalizációs folyamat során minden generációnál a "legjobb" szülők kerülnek kiválasztásra, hogy a

következő generáció utódait adhasák keresztezés és mutáció révén. A cél olyan egyed elérése, melynél a célfüggvény minimális.

A genetikus algoritmusban (GA) alkalmazott kiválasztás, keresztezés és mutáció nem mindig elegendő a feltételes szélsőértékszámítás elvégzésére. További operátorok bevezetése szükséges a konvergencia felgyorsítására és a megbízhatóság növelésére, hogy a globális optimumot találja meg az eljárás. Az irodalomban számos ilyen operátort ismertettek. Mi is bevezettünk új operátorokat, az egyik a klónozó operátor, a másik a laboratórium operátor.

2.1.1 Genetikus operátorok

2.1.2 Kiválasztó operátor (selection)

A kiválasztás mechanizmusa rulettkerék jellegű. A népesség minden egyedének egy-egy hely felel meg a keréken, ami arányos az egyed "jósági fokával". Minél nagyobb a jósági fok (kisebb a minimálandó célfüggvényérték), annál valószínűbb, hogy az egyed átkerül a következő generációba.

2.1.3 Keresztezés operátor (crossover)

A keresztezés a szülők kromoszómainak részleges cseréjét jelenti úgy, hogy az utód kromoszómája a szülők kromoszómájának egy-egy megfelelő részéből áll össze. A másik utód a kromoszómák előzőhöz képest szimmetrikus keresztezését jelenti.

2.1.4 Mutáció operátor (mutation)

A mutáció a kromoszóma véletlenszerű változtatása. Ez az operátor segíti elő a teljes tervezési tér felderítését.

2.1.5 Klónozó operátor

A népesség legjobb egyedét kell kiválasztani. Azért, hogy elkerüljük az elvesztését ennek a jó kromoszómának (hogy nem kerül be a következő generációba), ezért két-három másolatot készítünk róla. Ezek a másolatok a klónok. Az eljárás megfelelő működése miatt a klónok száma nem haladhatja meg a népesség 1-2 %-át.

2.1.6 Laboratórium operátor

Az operátor a népesség legjobb egyedeinek további tökéletesítését jelenti úgy, hogy kiválasztva az egyedeket az adott kromoszómáriszt, ami egy tervezési változót szimbolizál, szisztematikusan változtatjuk a "laboratóriumban". Ilyen módszerrel rengeteg új egyedet lehet létrehozni, de csak kevés bizonyul jobbnak az alanyánál. A számítási időigény miatt ez az operátor csak 5-6 változóig alkalmazható.

2.2 A leap-frog (LFOP) módszer

A dinamikus trajektória módszer, közneven a leap-frog módszer eredetileg skalár függvény $f(x)$ feltétel nélküli minimálására lett kidolgozva [3,4] n változó $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ mellett. Az eljárást nemrég továbbfejlesztették, hogy feltételeket is tudjon kezelni büntetőfüggvények bevezetésével [5].

A büntetőfüggvény módszere az $f(x)$ célfüggvény minimumát keresi $h_i(x) = 0$ ($i=1,2,\dots,r$) egyenlőségi és $g_j(x) \leq 0$ ($j=1,2,\dots,m$) egyenlőtlenségi feltételek mellett, miközben a büntetőfüggvény paramétere $\mu \gg 0$

$$P(x, \mu) = f(x) + \sum_{i=1}^r \mu h_i^2(x) + \sum_{j=1}^m \beta_j g_j^2(x) \quad (3)$$

$$\text{ahol } \beta_j = \begin{cases} 0 & \text{if } g_j(x) \leq 0 \\ \mu & \text{if } g_j(x) > 0 \end{cases} \quad (4)$$

Az algoritmus egységnyi tömeg mozgását modellezi n -dimenziós konzervatív erőterben, ahol a x vektorhoz tartozó potenciális energiát $f(x)$ jelenti.

A módszer csak a függvény *gradiens* információját $\nabla f(x)$ használja, nem igényel vonalmenti keresést. Nagyon robusztus és a függvényeknél adódó mély árkokat, folytonossági hiányokat könnyen lekezeleli. Alacsony *lokális minimumot* keres és így a globális optimalás eljárásának alapkomponenseként is alkalmazható. Nagy pontossági igény esetén nincs olyan megbízható, mint a klasszikus módszerek, amikor sima és közel kvadratikusságú függvényeket vizsgálnak, de különösen hatékony akkor, amikor a célfüggvény és a feltételi függvények numerikusan zajosak. Az eljárás gyorsan konvergál az optimum környezetébe. Ez a módszer fizikai alapelveinek köszönhető, melyeken nyugszik, mely ellenőrzött és stabil konvergenciát jelent a dinamikus trajektóriákon keresztül az optimum irányába.

2.3 Hillclimb módszer

A Hillclimb módszer egy direkt kereső módszer, nem igényel deriválást. Rosenbrock [6] módszere egy iterációs eljárás, mely Hooke and Jeeves-féle kereső eljárás alapul, kis lépéseket téve a keresés során az ortogonális koordináták irányába. Azonban a független változók által megadott irányok koordináta-rendszerében végzett folytonos keresés helyett egy továbbfejlesztést alkalmaz, összekötve a korábbi iteráció általános lépésével a keresési irányokat és a koordináta-rendszert. Így az előző állapotra építi az új kutatási irányokat. A Rosenbrock-féle módszer $x^{(k+1)}$ meghatározását szukcesszív vonalmenti kereséssel végzi az $x^{(k)}$ kezdőpontból az ortonormált irányokban.

Az eljárás a következő: minimalálja a célfüggvényt $f(x_i) \rightarrow \min$.

$$\text{A méretezési feltételek:} \quad \begin{array}{ll} \text{explicit} & x_i^l \leq x_i \leq x_i^u \quad (i = 1, 2, \dots, N), \\ \text{implicit} & g_j(x_i) \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, M). \end{array} \quad (5)$$

(i) A minimalálási eljárás kezdetekor definiál egy 'kezdő' lépésméretet S_j , melyeket az M_j , $i=1,2,\dots,N$ kutatási irányokban vesz fel. A kezdőpontnak ki kell elégítenie a feltételeket és nem eshet a határzónába.

(ii) Minden egyes célfüggvényérték-meghatározás után a következő lépéseket végzi: Definiál egy f^o értéket a legjobb célfüggvényértékből, ahol a méretezési feltételek

.r)
t a

kielégülnek, és $f(x)$ értéket, ahol még ezen kívül a határzónák sem sérülnek. f^o és $f(x)$ értékét egyenlőnek veszi a célfüggvény értékével a kezdőpontnál.

(iii) Az első változó értékét, x_1 , lépteti egy távolsággal, S_1 , párhuzamosan a tengellyel és meghatározza a célfüggvény értékét. Ha a vizsgált pont célfüggvény értéke f , rosszabb (nagyobb vagy kisebb) mint f^o , vagy a méretezési feltételek nem teljesülnek, akkor a vizsgált pont sikertelen és az S_1 lépéstávot csökkenti egy tényezővel β , $0 < \beta \leq 1$, továbbá a mozgás irányát visszafordítja. Ha a mozgás sikeres, akkor az S_1 értékét egy tényezővel növeli, α , $\alpha \geq 1$. Az új pontot megőrzi és a sikert tárolja. α és β értékei általában 3,0 és 0,5.

iol

(iv) Folytatva a keresést, az x_i változót szekvenciálisan lépteti S_i lépéssel, párhuzamosan a tengellyel. Hasonló gyorsító és lassító eljárás kerül alkalmazásra minden változónál mindaddig, amíg legalább egy sikeres és egy sikertelen lépés nem történt mind az N irányban. A változtatások a vizsgált irányban addig folytatódnak, amíg minden irányban egy sikeres lépést egy sikertelen követ, mely idő alatt a k -dik iteráció befejeződik. Ha a célfüggvényérték egyenlő, akkor az sikeres lépésnek minősül, de véglegesen sikeres minden irányban, ha az együtthatók redukálták a lépéstávot. A kiadódó végső pont válik a sikeres iteráció kezdőpontjává $x^{(k+1)} = x^{(k)}$. A normált irány $S_i^{(k+1)}$ az $x_0^{(k+1)} - x_0^{(k)}$ iránnyal párhuzamos irányban kerül megválasztásra és a további irányok egymásra és az $S_i^{(k+1)}$ irányokra ortonormáltan kerülnek megválasztásra.

pti
at
ak
ó,
de
in
ai
a

(v) Kiszámolja az új irányok rendszerét, $M_{i,j}^{(k)}$ elforgatva a tengelyeket a következő egyenleteknek megfelelően. Általában az ortogonális keresési irányok mint a független változók koordinátáinak kombinációi kerülnek meghatározásra.

Az eljárás módosításra került úgy, hogy másodlagos keresést végez a diszkrét értékek meghatározására. Az eljárás a konvergencia kritérium teljesülése, vagy az iterációs szám határának elérése esetén áll meg. Az eljárás nagyon gyors, de hajlamos lokális optimumot adni, ezért célszerű több kezdőpontból indítani. A Hillclimb algoritmus Turbo/Borland C nyelvű számítógépi programja megtalálható a Farkas, Jármái [7] könyvben, illetve magyar nyelvű részletes leírása Jármái, Iványi [8] könyvben.

] s
a
t
i
v
;

2.4 A differenciális evolúció módszere

Price & Storn javasolták a Differential Evolution (DE) módszerét a 90-es években [9,10]. A módszer eredetileg folytonos változókra készült, de továbbfejlesztett változatai mind a diszkrét, mind a vegyes változatokat kezelni tudják.

Az optimalizáló függvény f a következő:

$$f(x_i) \quad i = 1, \dots, D \quad (6)$$

ahol x_i a folytonos tervezési változók

D a változók száma.

Az diszkrét változókra épülő algoritmus működése a következők szerint írható le, az optimalizáló függvény alakja: $f(y_i)$ és $i = 1, \dots, D$, ahol $y_i = x_i$ a folytonos változókhoz és $y_i = DISC(x_i)$ diszkrét változókhoz. $DISC()$ egy olyan függvény, amely a folytonos x értékét diszkrétvé alakítja. A rendelkezésre álló diszkrét értékek halmazát előzetesen töltjük fel.

A kiindulásként létre kell hoznunk az első populációt. Az első populáció P_0 tagjait véletlenszerűen vesszük fel a megadott szélsőértékek között.

$$P_0 = x_{i,j,0} = \text{rand}_j[0,1] \cdot (x_j^{(U)} - x_j^{(L)}) + x_j^{(L)} \quad (7)$$

$i = 1, \dots, NP$, $j = 1, \dots, D$ ahol $\text{rand}_j[0,1]$ egy véletlenszám a következő tartományban: $[0.0, 1.0]$. $x_j^{(U)}$ a felső az $x_j^{(L)}$ az alsó határértéke x_j változónak. $x_j^{(L)}$ értékének kisebbnek kell lennie, mint a legkisebb diszkrétérték. NP a populáció nagysága, amely konstans az eljárás során. Az első generációtól kezdve, a vektorokat az aktuális generációban, P_G , véletlenszerűen kiválasztjuk és kombináljuk azokat, ezáltal új egyedeket hozunk létre a következő generációba, P_{G+1} . Az egyedek létrehozása a soron következő populációba:

$$\text{Ha } \text{rand}_j[0,1] \leq CR \text{ vagy } j=k \text{ akkor } u_{i,j,G+1} = \text{DISC}(v_{i,j,G+1}) \quad (8)$$

$$v_{i,j,G+1} = x_{r_3,j,G} + F \cdot (x_{r_1,j,G} - x_{r_2,j,G})$$

(9)

$$\text{egyébként } u_{i,j,G+1} = x_{i,j,G} \quad (10)$$

ahol $i = 1, \dots, NP$, $j = 1, \dots, D$

$k \in \{1, \dots, D\}$, véletlenszám; I

$r_1, r_2, r_3 \in \{1, \dots, NP\}$, véletlenszerűen választva, kivétel: $r_1 \neq r_2 \neq r_3 \neq i$

$CR \in \{0, \dots, 1\}$, $F \in \{0, \dots, 1+\}$,

figyelembe véve, hogy:

$$\text{ha } u_{i,j,G+1} < x_j^{(L)} \text{ akkor } u_{i,j,G+1} = \text{DISC}(x_j^{(L)}) \text{ vagy} \quad (11)$$

$$\text{ha } u_{i,j,G+1} > x_j^{(U)} \text{ akkor } u_{i,j,G+1} = \text{DISC}(x_j^{(U)}) \quad (12)$$

$$\text{egyébként } u_{i,j,G+1} = u_{i,j,G+1}. \quad (13)$$

F és CR a DE vezérlő paraméterei. Ahogyan az NP , ez a két érték is állandó marad az eljárás során. Az F értékét tapasztalat alapján határozhatjuk meg. CR egy valós számban megadott véletlenszerű érték, amely megadja, hogy a próbavektor paraméterei mekkora valószínűséggel variálódjanak az aktuális vektorral, $x_{i,j,G}$ mutáns vektor, $v_{i,j,G+1}$, létrehozásához. Az F és CR értékei hatással vannak az eljárás sebességére és robusztusságára.

A következő populáció tagjait, P_{G+1} , a létrehozott új egyedek és a választott régi egyedek összehasonlítása után határozzuk meg a következők szerint:

$$\text{Ha } f(u_{i,G+1}) \leq f(X_{i,G}) \text{ akkor } X_{i,G+1} = u_{i,G+1}, \text{ máskülönben } X_{i,G+1} = X_{i,G}. \quad (14)$$

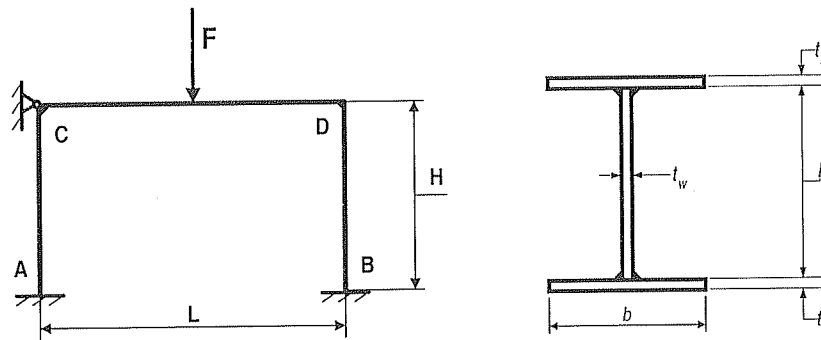
Más szerkezetekre, így rácsos tartók optimalizálására is alkalmazásra került a program Gondos [11].

3 I-szelvényű keret tervezése

A vizsgált keretet az 1. ábra mutatja. Ez nem kilengő (non-sway) keret merev (hegesztett) csomópontokkal. Az erőket és a nyomatékokat meghatározhatjuk Glushkov [12] szerint.

3.1 Szerkezetkialakítás és szelvénytípus

Az egycsarnokos keretet úgy kívánjuk kialakítani, hogy minimális anyagköltsége legyen. Adott fesztáv, magasság és acélminőség mellett ez minimális térfogatot jelent. Normál szerkezeti acélt alkalmazunk. Az 1. ábra mutatja a szelvénygeometriát és a fő csomópontokat. A leírásban az 1-es index az oszlop, a 2-es index a gerenda jelölésére szolgál. Gyártási okokból a szelvények szélessége azonos $b_1=b_2=b$.



1. ábra A keret geometriai kialakítása, az oszlopok és a gerenda szelvénye

3.2 I-szelvényű keret optimális méretezése

Hegesztett I-szelvényű oszlop-gerenda kapcsolatokat már korábban vizsgáltunk (Jármái, Farkas [13]), illetve hengerelt szelvényeket [14]. A keresztmetszet jellemzőinek számítása megtalálható Farkas, Jármái [7] könyvében. Az Eurocode 3 [1] előírásait alkalmaztuk az I-szelvény stabilitásszámításánál.

3.2.1 Méretezési feltétel az oszlop kihajlására és elcsavarodó kihajlására (Constraint 1):

$$\frac{N_1}{\chi_{y1} A_1 f_{y1}} + \frac{k_{LT1} M_C}{\chi_{LT1} W_{x1} f_{y1}} \leq 1 \quad (15)$$

ahol: f_{y1} - folyáshatár, csökkentve a részbiztonsági tényezővel γ_{M1} , ($f_{y1} = f_y / \gamma_{M1}$);

χ_{y1} - kihajlási tényező; k_{LT1} - növelő tényező;

χ_{LT1} - elcsavarodó kihajlási tényező;

M_C - hajlítónyomaték a C pontban; N_1 - rüderő; A_1 - keresztmetszet terület;

W_{x1} - keresztmetszeti tényező;

$$N_1 = \frac{F}{2} \quad (16)$$

$$M_C = \frac{FL}{4D_1} \quad (17)$$

$$D_1 = \frac{H I_{x2}}{L I_{x1}} + 2 \quad (18)$$

$$I_{x1} \cong \frac{h^3 t_w}{12} + b t_f \frac{h^2}{2} \quad (19)$$

$$W_x \cong \frac{h^2 t_w}{6} + b t_f h \quad (20)$$

$$A = h t_w + 2 b t_f \quad (21)$$

$$\chi_{y1} = \frac{1}{\Phi_1 + \sqrt{\Phi_1^2 - \bar{\lambda}_{y1}^2}} \quad (22)$$

$$\Phi_1 = 0.5 [1 + 0.49 (\bar{\lambda}_{y1} - 0.2) + \bar{\lambda}_{y1}^2] \quad (23)$$

$$\bar{\lambda}_{y1} = \frac{0.7 H}{r_1 \lambda_E}; \quad r_1 = \sqrt{\frac{I_{y1}}{A_1}}; \quad \lambda_E = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}}; \quad E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ MPa} \quad (24)$$

$$k_{LT1} = 1 - \frac{\mu_{LT1} N_1}{\chi_{y1} A_1 f_y}; \quad \mu_{LT1} = 0.15 \bar{\lambda}_{y1} \beta_{M1} - 0.15; \quad \beta_{M1} = 2.15 \quad (25)$$

$$\chi_{LT1} = \frac{1}{\Phi_{LT1} + \sqrt{\Phi_{LT1}^2 - \bar{\lambda}_{LT1}^2}} \quad (26)$$

$$\Phi_{LT1} = 0.5 [1 + 0.49 (\bar{\lambda}_{LT1} - 0.2) + \bar{\lambda}_{LT1}^2] \quad (27)$$

$$\bar{\lambda}_{LT1} = \sqrt{\frac{W_{x1} f_y}{M_{cr1}}} \quad (28)$$

$$M_{cr1} = 2.704 \frac{\pi^2 E I_{y1}}{H^2} \sqrt{\frac{I_{\omega1}}{I_{y1}} + \frac{H^2 G I_{t1}}{\pi^2 E I_{y1}}}; \quad \frac{G}{E} = \frac{1}{2.6} \quad (29)$$

$$I_y = \frac{b^3 t_f}{6}; \quad I_{\omega} = \frac{h^2 t_f b^3}{24} \quad (30)$$

$$I_t = 0.5 (h t_w^2 + 2 b t_f^2) \quad (31)$$

3.2.2 Méretezési feltétel az oszlop gerinclemezének helyi horpadására (Constraint 2):

a definíció alapján

$$\psi_1 = \frac{-\frac{M_c}{W_{x1}} + \frac{F/2}{A_1}}{\frac{M_c}{W_{x1}} + \frac{F/2}{A_1}} \quad (32)$$

$$\text{ha } \psi_1 > -1, \text{ akkor } \frac{h_1}{t_{w1}} \leq \frac{42\varepsilon}{0.67 + 0.33\psi_1}; \quad (33)$$

$$\text{ha } \psi_1 \leq -1, \text{ akkor } \frac{h_1}{t_{w1}} \leq 62\varepsilon(1 - \psi_1)\sqrt{-\psi_1} \quad (34)$$

3.2.3 Méretezési feltétel a gerenda kihajlására és elcsavarodó kihajlására (Constraint 3):

$$\frac{N_2}{\chi_{y2} A_2 f_{y1}} + \frac{k_{LT2} M_D}{\chi_{LT2} W_{x2} f_{y1}} \leq 1 \quad (35)$$

$$N_2 = H_A = \frac{3M_A}{H}; \quad M_A = -\frac{M_C}{2}; \quad M_D = \frac{FL}{4} \left(1 - \frac{1}{D_1}\right) \quad (36)$$

Az összes paraméter és számítási képlet azonos az oszlopra felírtakkal, csak az indexet kell 1-ről 2-re cserélni:

$$\bar{\lambda}_{y2} = \frac{L}{r_{y2} \lambda_E} \quad (37)$$

$$\mu_{LT2} = 0.15 \bar{\lambda}_{y2} \beta_{MLT2} - 0.15; \quad \beta_{MLT2} = 1.4 \quad (38)$$

$$M_{cr2} = 1.365 \frac{\pi^2 EI_{y2}}{L^2} \sqrt{\frac{I_{w2}}{I_{y2}} + \frac{L^2 GI_{t2}}{\pi^2 EI_{y2}}} \quad (39)$$

3.2.4 Méretezési feltétel a gerenda gerinclemezőnek helyi horpadására (Constraint 4): a definíció alapján

$$\psi_2 = \frac{-\frac{M_D}{W_{x2}} + \frac{H_A}{A_2}}{\frac{M_D}{W_{x2}} + \frac{H_A}{A_2}} \quad (40)$$

$$\text{ha } \psi_2 > -1, \text{ akkor } \frac{h_2}{t_{w2}} \leq \frac{42\varepsilon}{0.67 + 0.33\psi_2} \quad (41)$$

$$\text{ha } \psi_2 \leq -1, \text{ akkor } \frac{h_2}{t_{w2}} \leq 62\varepsilon(1 - \psi_2)\sqrt{-\psi_2} \quad (42)$$

3.2.4 Méretezési feltétel az övlemezők helyi horpadására (Constraint 5):

$$\frac{b}{t_f} \leq \frac{1}{\delta}; \quad \frac{1}{\delta} = 28\varepsilon \quad (43)$$

Ezt a feltételt aktívnak tekintjük, így $t_f = \delta b$.

3.3 A keret fő adatai

Adatok: (lásd 1. ábra)

magasság $H = 9$ m; fesztáv $L = 12$ m;
koncentrált erő $F = 750$ kN; folyáshatár $f_y = 235$ MPa.

A változók értéktartománya mm-ben:

$$h_1=400-710; \quad h_2=700-1010; \quad b=350-660; \quad t_{w1}=1-16; \quad t_{w2}=1-16 \quad (44)$$

A célfüggvény írható a következő alakban:

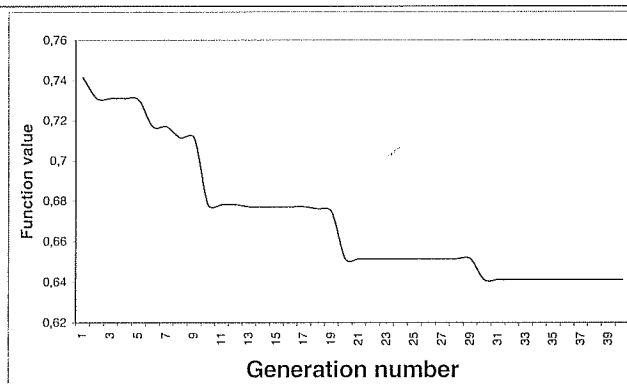
$$V = 2A_1 H + A_2 L \quad (45)$$

3.4 Számítási eredmények

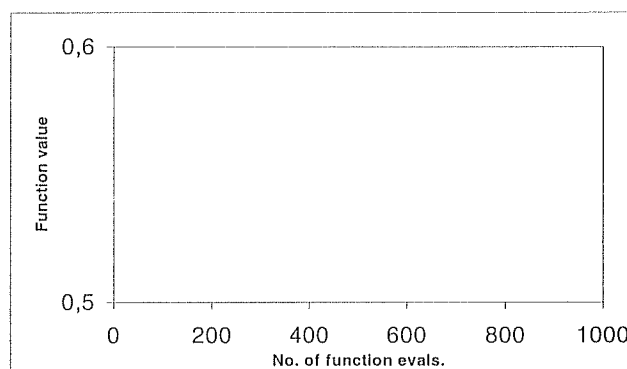
A *legjobb* lokális optimumok értéke a különböző módszerekkel az 1. táblázatban láthatók

1. táblázat A keret optimális méretei a genetikus, a leap-frog, a hillelimb és a differenciális evolúció módszerével

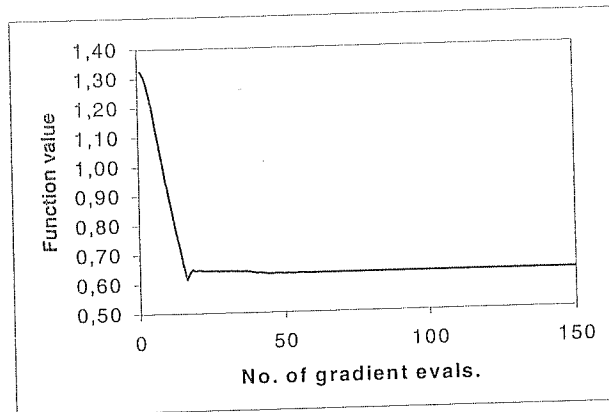
x^*	Genetikus diszkrét megoldás	Leap-frog	Rosenbrock	Rosenbrock diszkrét megoldás	Differenciális evolúció
h_1	650	686	636.1	630	686.6
h_2	950	1003	981.8	980	1010
b	470	463	484.6	490	460
t_{w1}	7	6.6	6.1	7	6.65
t_{w2}	7	7.3	8.6	9	7.75
[mm]					
V	0.6411	0.6288	0.6754	0.6997	0.6296
[m ³]					



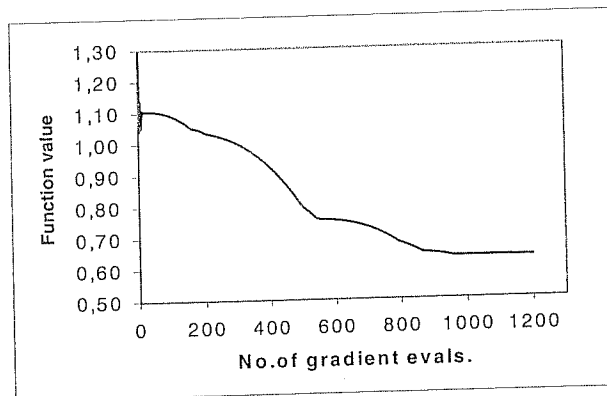
2. ábra A genetikus algoritmus konvergenciája



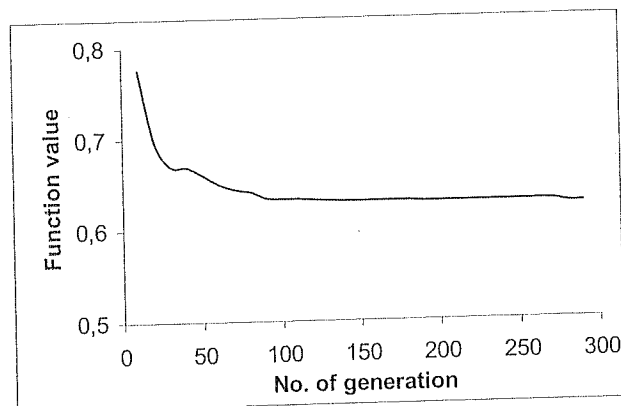
3. ábra Rosenbrock-féle algoritmus konvergenciája $x^0=(700,1000,560,7,9)$ kezdőponttal



4. ábra A leap-frog módszer konvergenciája $x^0=(710,1010,660,16,16)$ kezdőponttal (a változók nincsenek arányosítva)



5. ábra A leap-frog módszer konvergenciája $x^0=(710,1010,660,16,16)$ kezdőponttal (a változók arányosítva vannak)



6. ábra A differenciális evolúció módszerének konvergenciája

A konvergencia eléréséig a célfüggvény meghatározásának száma a genetikus algoritmusnál 5-7 ezer körüli, a leap-frog módszernél a gradiens vektor meghatározásának száma 200-600 közötti (x^* környezetét sokszor már 10-20 iterációval eléri). A Rosenbrock-féle módszernél 700-1000 közötti célfüggvény meghatározás kellett. A differenciális evolúció módszere több mint 12 ezer függvény meghatározást igényelt. Ezen értékek függenek a kezdőponttól, a konvergencia kritériumtól és más az adott módszerre jellemző paraméterektől. A problémának számos lokális minimuma van, mivel a globális minimum körül nagyon lapos a célfüggvény. Ha a célfüggvény meghatározása időigényes, akkor azon módszerek, melyek ezt sokszor igénylik, kevésbé hatékonyak, vagy egyáltalán nem használhatók.

2. táblázat A különböző algoritmusok összehasonlítása

Módszer	Függvény meghatározások	Előnyök	Hátrányok
Genetikus	több ezer	nem-konvex függvényeket is kezel diszkrét értékeket ad	nagy számú célfüggvény meghatározás a feltételek kismértékű megsértése előfordulhat
Leap-frog	50-1200 (csak gradiens meghatározások)	robosztus, nem megfelelő kezdőpontból indítható	érzékeny a változók arányosítására
Rosenbrock-féle	700-2000	gyors, diszkrét értékeket ad nem sérti meg a megoldás a feltételeket	időnként relatíve nagy lokális minimumnál megáll
Differenciális evolúció	12400	vegyes változókat képes kezelni (folytonos/diszkrét)	nagy számú célfüggvény meghatározás

A 2-6 ábrák mutatják az egyes módszerek konvergenciáját. A leap-frog módszernél az arányosított változókkal való számítás (a lemezzavastagságoknál lévő 1-16 mm-es tartományt nagyítjuk fel 100-1600 mm közöttire) jelentős gyorsulást eredményezett.

4 Összefoglalás

A tanulmány célja, hogy koncepcionálisan eltérő optimáló algoritmusok hatékonyságát mutassa be konkrétan hegesztett I-szelvényű keretek optimalálásánál. A minimálandó célfüggvény a keret tömege. A méretezési feltételek a rudak elcsavarodó kihajlására, valamint az oszlop- és a gerendaszelvények gerinclemezőnek és övlemezőnek horpadására vonatkoznak. Az alkalmazott algoritmusok a következők: a genetikus algoritmus, az ún. leap-frog gradiens módszer, mely nem alkalmaz vonalmenti keresést, a differenciális evolúció módszere, valamint a hillclimb módszer, mely gradiens nélküli eljárás. Mind a négy módszer elfogadható megoldást adott. A 2. táblázat mutatja a különböző algoritmusok értékelését. A célfüggvény meghatározása ennél a példánál relatíve gyors és olcsó, így nem emeli meg a

számítási költségeket, ha sokszor számolja a program. A leap-frog módszer tűnik a legrobosztusabbnak, mely könnyen megtalálja a helyi minimumot nem megfelelő kezdőpontból indítva is. Az új operátorokkal (keresztezés több irányban, klónozás, laboratórium) módosított genetikus algoritmus (GA) hatékony volt és felgyorsult. Számos más, új operátor még tovább fokozhatja a GA hatékonyságát. A Rosenbrock-féle algoritmus relatíve gyors, de hajlamos arra, hogy lokális minimumot adjon, ezért több kezdőpontból célszerű elindítani. A módszer mind folytonos, mind diszkrét optimumokat megad. Néhány esetben a genetikus algoritmus optimuma sértheti a méretezési feltételeket. A feltételek megsértése a leap-frog módszernél nem jelentős, de előfordulhat, míg a Rosenbrock-féle módszer mindig garantálja a megfelelő megoldást. Megjegyzendő, hogy a differenciális evolúció módszer előnye, hogy mind folytonos, mind diszkrét optimumokat meg tud határozni.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka az Országos Tudományos Kutatási Alap támogatásával készült OTKA T038058 és T37941 szám alatt, valamint a Felsőoktatási Kutatási - Fejlesztési Program támogatásával FKFP 8/2000 szám alatt.

Hivatkozások

- [1] Eurocode 3: *Design of steel structures*, Part 1.1, CEN. European Committee for Standardization, Brussels, 1992.
- [2] Goldberg D. E.: *Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning*, Addison-Wesley Publ. Company, Inc. 1997.
- [3] Snyman, J.A.: A new and dynamic method for unconstrained minimization, *Appl. Math. Modelling*, **6**, 449-462. 1982.
- [4] Snyman, J.A.: An improved version of the original leap-frog method for unconstrained minimization, *Appl. Math. Modelling*, **7**, 216-218. 1983.
- [5] Snyman, J.A.: The LFOPC leap-frog method for constrained optimization. *Comp. Math. Applic.*, 2000. **40**, 1085-1096.
- [6] Rosenbrock, H.H.: An automatic method for finding the greatest or least value of a function. *Computer Journal*, 1960. **3**, 175-184.
- [7] Farkas, J., Jármái, K.: *Analysis and optimum design of metal structures*. Balkema, Rotterdam-Brookfield, 1997.
- [8] Jármái, K., Iványi, M.: *Gazdaságos fémszerkezetek analízise és tervezése*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2001, 226 p. ISBN 963 420 674 3
- [9] Storn, R., Price, K.: *Differential evolution – simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces*. Technical Report TR-95-012, ICSI, March 1995.
- [10] Storn, R.: *On the usage of differential evolution for function optimization*. NAFIPS 1996, Berkeley, 519-523.

- [11] Gondos, Gy.: Optimum Design of Trusses by Evolutionary Algorithms, 3rd International Conference of PHD Students, University of Miskolc, Hungary, 13-19 August, 2001. Proceedings Vol. I. 149-156.
- [12] Glushkov, G.: *Formulas for design frames*, Moscow, Mir. 1975.
- [13] Jármai, K., Farkas, J.: Optimum design of compression columns of welded I-section and comparison with rolled profiles. In *Computational Steel Structures Technology*, Eds. M. Iványi, J.P. Muzeau and B.H.V. Topping Edinburgh, Civil Comp Press, 2000, 119-129.
- [14] Papp, F., Iványi, M., Jármai, K.: Unified object-oriented definition of thin-walled steel beam-column cross-section, *Journal of Computers and Structures*, Elsevier Science, Vol. 79, 2001, pp. 839-852.