

MISKOLCI EGYETEM  
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR



EVOLÚCIÓS MÓDSZEREK ALKALMAZÁSA A  
SZERKEZETOPTIMÁLÁSBAN

PH.D. ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Készítette:

**Nagy Szilárd**

villamosmérnök (BSc)

okleveles gépészmérnök

SÁLYI ISTVÁN GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA  
GÉPEK ÉS SZERKEZETEK TERVEZÉSE TÉMATERÜLET  
MÉRNÖKI SZERKEZETEK TERVEZÉSE TÉMACSOPORT

Doktori Iskola vezető:

**Vadászné Prof. Dr. Bognár Gabriella**

a műszaki tudomány doktora, egyetemi tanár

Témacsoport vezető:

**Prof. Dr. Jármái Károly**

egyetemi tanár

Tudományos vezetők:

**Prof. Dr. Jármái Károly**

egyetemi tanár

**Dr. Baksa Attila**

egyetemi docens

Miskolc

2022

## **Bíráló bizottság**

### *Elnök:*

Prof. Dr. Bertóti Edgár      egyetemi tanár, DSc, Miskolci Egyetem

### *Titkár:*

Dr. Kiss László Péter      egyetemi adjunktus, PhD, Miskolci Egyetem

### *Tagok:*

Prof. Dr. Tímár Imre      egyetemi tanár, CSc, Pannon Egyetem  
Dr. Virág Zoltán      egyetemi docens, PhD, Miskolci Egyetem  
Prof. Dr. Égert János      professzor emeritus, CSc, Széchenyi István  
Egyetem

### *Hivatalos bírálók:*

Dr. Mankovits Tamás      egyetemi docens, PhD, Debreceni Egyetem  
Dr. Szabó J. Ferenc      egyetemi docens, PhD, Miskolci Egyetem

# 1. Bevezetés

Az optimalizációs problémák mindenütt jelen vannak mindennapjainkban. Mikor a munkába menet kiválasztjuk az odavezető utat, mikor megpróbálunk bepakolni egy hátizsákba, vagy mikor kiválasztjuk a befektetéseinket a várható hozam maximalizálásának érdekében, akkor lényegében egy optimalizálási problémát oldunk meg. A természeti folyamatokban, állatoknál, növényeknél egy-egy probléma megoldásához nincs szükség formális képzésre. Az optimalizációs problémák gyors megoldása minden faj számára kulcsfontosságú a túléléshez, ezért az idők során ezt az evolúció előnyben részesítette. Nyilvánvaló, hogy ezek heurisztikusan kerülnek megoldásra, nem pedig pontosan, vagyis nem garantált, hogy az így előállított közelítő megoldások pontosak. Egy-egy újonnan felmerülő feladat lehetséges megoldását a természet megpróbálja egy múltbéli megoldásból levezetni. Ezt nevezik analógiával tanulásnak, és addig alkalmazódik iteratívan, míg el nem ér egy célállapotot, vagy a célállapothoz közelebbit.

A heurisztikák (és metaheurisztikák) a földi élet kialakulása óta jelen vannak, de a tudományos vizsgálatukhoz a XX. századig várni kellett [78]. Feltételezhetően annyira természetesenek, hogy meg kellett várni az optimalizálás formális kialakulását.

A napjainkig több mint 192 eljárást dokumentáltak. Új módszerek és eljárások publikálása mellett megjelentek és egyre gyakoribbak azok az irodalmak, melyek az algoritmusok paramétereinek beállításával, vagy az eljárások pontosságának növelésével foglalkoznak. A paraméterek hosszadalmas kézi beállítását lassan felváltják az adaptív módszerek [3, 17, 71, 91]. Pontosság és hatékonyság növelését pedig fokozhatják a különböző eljárások egymással történő többszintű vagy párhuzamos kombinálása [46, 47].

A módszerek kutatásával szinte egyidőben megjelentek azok alkalmazásai és az azokra irányuló kutatások, publikációk. Számos területen alkalmazhatóak hatékonyan. A teljesség igénye nélkül néhányat kiemelve közöljük: szerkezet optimalizálás [11, 39], legrövidebb út probléma [20], óceáni hullámerőművek optimális elhelyezése farmokon [57].

## 2. Irodalmi áttekintés

Az evolúciós számítások (EC) a mesterséges intelligencia részterületét képezik, azon belül is a sztochasztikus kereső eljárások részhalmaza. Ezek olyan iteratív módszerek és eljárások gyűjteménye, melyek a már

korábbi eredményeket felhasználva folyamatosan fejlesztik a lehetséges megoldást, megoldások halmazát [19].

A működésüket elsősorban az újabb és újabb megoldásokat generáló matematikai modell határozza meg. Kialakításuk koncepciója többféle lehet, és többféleképpen lehet őket csoportosítani. BURGOLYA [15] szerint lehetséges csoportosítás:

- *biológiai evolúció ösztönözte módszerek*: evolúciós folyamatokban megfigyelt lépéseket (pl.: szelekció, öröklődés stb.) modellezik matematikai formalizmussal. Ide tartoznak a teljesség igénye nélkül a genetikus algoritmusok (GA) [4, 26], genetikus programozás, evolúciós algoritmusok (EA) [19], evolúciós programozás [24] és evolúciós stratégiák [5];
- *biológiai eljárás, viselkedés alapú módszerek*: ilyenek lehetnek például a különböző raj-intelligenciák [2, 21, 22], fajok élelem keresési módszerei, szaporodási stratégiák és sok más egyéb biológiai viselkedés [13, 28, 55, 87, 92];
- *tisztán matematikai modelleket alkalmazó módszerek*: ebben az esetben elsősorban valamilyen absztrakt lineáris kombináció, vagy valószínűségi modell alkalmazására kell gondolni [27, 71, 79].

Fontos megjegyezni, hogy a szakirodalomban sokszor az evolúciós számításokat (EC) és evolúciós algoritmusokat (EA) egymás szinonimájaként használják. Holott az EA az EC egy részhalmaza. A továbbiakban ezen szinonimakénti értelmezést alkalmazom.

SZABÓ [80, 81] irodalmakban módszert javasol a szükséges iteráció szám (kilépési feltétel) becslésére a konvergencia és iterációs történet elemzésével. Lehetővé téve a sztochasztikus működésből adódó, feladatonként eltérő konvergencia becslését.

A napjainkban folyamatosan jelentkező alapanyag és energia árak emelkedése, a környezetvédelmi irányelvek szigorodása indokolja és szükségessé teszi az optimális gépészeti megoldások, szerkezetek kialakítását. MANKOVITS ÉS TÁRSAI gumi rugó alak-optimalását végez el végeelem-módszert alkalmazva a [30, 51, 52, 53] irodalmakban. Érintkezési feladatokhoz köthető optimalási problémát old meg BAKSA ÉS PÁCZELT a [7, 8] munkájukban, melyhez végeelem-módszert alkalmaznak. Ezeknél a feladatoknál az optimalásnak két lehetséges kimenete lehet. Egyrészt a kinematikai mennyiségek [60], míg másrészt a dinamikai mennyiségek [62, 63] optimalása. Érintkezési feladatok végeelemes formalizmusával foglalkozik BAKSA ÉS TÁRSAI [6, 9, 65].

Szerkezet optimalizáláshoz kapcsolódóan rácsos tartójú távvezeték tornyok optimális kialakítását vizsgálta RAO [70, 72] és SILVA ÉS TÁRSAI [18]. Ezeknél a szerkezeteknél általában szögacél-szelvényeket alkalmaznak TANIWAKI [82], de kis kihajlási merevségük miatt érdeme-  
sebb köröcső-szelvényeket alkalmazni ORBÁN ÉS TÁRSAI [58] szerint. A Távvezeték tornyok tönkremenetelével foglalkozik RAO [73].

VIRÁG ÉS JÁRMAI [83] irodalomban különböző bordakialakítások mellett tekinti át bordázott lemezek optimális kialakítását. VIRÁG ÉS SZIRBIK [84, 85, 86] munkáikban végeelem-modell segítségével vizsgálják optimált bordáslemez paraméterváltozásainak hatását a sajátérté-  
kekre. Egytengelyű terhelést feltételezve, a numerikus vizsgálat során bordákat eltávolítva a stabilitásvesztéshez tartozó sajátértékeket hatá-  
rozzák meg.

Hegesztett szerkezetek tervezése során az egyik legkritikusabb problé-  
ma a stabilitási kérdések. Minimális tömegű szekrény-szelvényű oszlop-  
ok tervezésére mutat be módszert PETRIK ÉS TÁRSAI [66], megvizsgál-  
ják több szabványi előírás és eltérő folyáshatárú acélok alkalmazásának  
hatását a tömegminimumra. A tűzhatás hasonlóan kritikus tervezési  
szempont lehet, mint a stabilitásvesztés. PETRIK ÉS TÁRSAI módszert  
ismertet nyomástartó edények optimális kialakítására tűzterhelés ese-  
tén a [67] irodalomban.

Szerkezetköltség szempontjából optimális kialakítása során a költ-  
ség függvények meghatározása nehéz, mert időben változnak KLAN-  
SEK ÉS KRAVANJA [45], JALKANEN [32], és függenek az adott ország  
adottságaitól TÍMÁR ÉS TÁRSAI [31]. Összehasonlítás céljából alapul  
kell venni a nemzetközileg mért gyártási időket, adatokat, és ezeket kell  
felszorozni egy szélesebb tartományban változtatható költségtényezővel  
JÁRMAI ÉS TÁRSAI [35, 37, 38]. Hegesztési időkkal és költségekkel fog-  
lalkozik PAHL ÉS BEELICH [41], továbbá HUBKA [59]. Egyéb költségeket  
– úgymint festési, darabolási, lemezegyengetési költség stb. – ismertet  
JÁRMAI [35] könyvében és FARKAS ÉS JÁRMAI [33, 34] művekben.

### 3. A feladatok megoldási módszere

Az algoritmusok irodalmi összehasonlítása, teljesítményelemzése a „*no-free lunch*” elméletet is betartva nagy változékonyságot mutat, egy-  
mással nehezen összehasonlítható eredményeket publikálnak. Az álta-  
lam elvégzett szimulációk során törekedtem az egységes tesztkörnyezet  
biztosítására. A kapott eredmények alapján jól megfigyelhető a 11 db

algoritmus konvergenciája az iterációs lépések során összesen 30 teszt-függvény esetén és 5 dimenzió nagyság mellett.

A virágbeporzási algoritmus iterációs lépésen belüli számításainak mátrix és/vagy vektor műveletekre történő átalakításával, továbbá a fitnessfüggvények hierarchikus egyszerű függvényekre történő bontásával az optimalizáció futtatható SIMD architektúrán. A szekvenciális feldolgozáshoz képest jelentős számítási sebességnövekedés érhető el, mely megkívánja mind az algoritmus műveleteinek, mind a fitnessfüggvényhez köthető számítások párhuzamosítását.

A teherautó-plató keresztartóit szilárdsági, stabilitási szempontból leíró egyenletek büntetőfüggvények segítségével fitnessfüggvénybe foglalhatóak tömegminimum-keresés céljából. Az eredetileg tömeg szerint optimalizált RHS szelvényű keresztartók tovább optimalizálhatóak az I-szelvények alkalmazásával és a tartók számának csökkentésével.

Szekrényszelvényű futódaru-főtartójának költség szempontjából szentjánosbogár algoritmussal történő optimalizálása során bemutattam, hogy a jobb minőségű, de drágább acélok alkalmazása nem javasolt. Az optimalizált költség a hasznos horogteher függvényében lineárisan, a feszítáv növekedésénél köbösen, és végül fáradás szempontjából a fáradási görbe szerint nő. Minden esetben a különböző acélokhöz tartózkodó optimalizált költségfüggvények kvázi párhuzamosak egymással.

A rácsos tartók belső erői és a méretezéshez szükséges feszültségek, meghatározhatóak végeelem-módszerrel. A végeelem-módszer elő- és utófeldolgozási műveleteinek optimalizálásával, egyszerűsítésével összekapcsoltam az önadaptív differenciális evolúció algoritmussal. A két módszer kapcsolata egy hatékony numerikus számítási eszközt kínál, melyhez saját végeelem-rendszert készítettem. Távvezetékrony számcsökkentett példáján keresztül, deltoid alakú rácsos esetén, a tömeg szempontjából az optimális topológia – úgymint rácsosítások száma stb. – erősen függ az alkalmazott acél folyáshatárától. A nagyobb folyáshatárú acélok alkalmazása nem jelent feltétlen tömegcsökkenést.

## 4. Célkitűzések

1. **Cél:** A dolgozatban vizsgált evolúciós algoritmusokhoz, úgymint mesterséges méh kolónia (ABC) [40, 42, 43], méh algoritmus (Std-BA) [68, 69], biogeográfia alapú optimalizáció (BBO) [10, 76, 77], differenciális evolúció (DE) [79], adaptív differenciális evolúció (SaDE és SaNSDE) [71, 91], szentjánosbogár algoritmus (FA)

[87, 89], virágbeporzási algoritmus (FPA) [88, 90], harmónia keresés (HS) [25, 74], invazív gyom optimalizáció (IWO) [49, 56], és a részecske-raj optimalizáció (PSO) [14, 75] köthető szakirodalmak egymással nehezen vagy egyáltalán nem összehasonlítható teljesítmény eredményeket közölnek. A teljesítmény értékeléshez használt tesztfüggvények, vagy a szimulációs környezeti beállítások eltérnek.

Célom a felsorolt algoritmusok széles körű szimulációja folytonos tesztfüggvényekkel és egységes környezeti beállításokat használva. Azok rangsorolása a szimulációs eredmények alapján.

2. **Cél:** Napjainkban a grafikus kártyák számítási kapacitása felhasználható általános célú számításokhoz is [16, 29, 36]. Ezzel lehetőséget biztosítva a nagy számítás igényű párhuzamos SIMD és SIMT architektúrát követő adat feldolgozásnak. Elérhetőek kifejezetten a CUDA API-t használó elemi, lineáris algebrahoz köthető és numerikus algoritmusok párhuzamos változatai [44]. Néhány esetben ezek futásidő szerinti optimalizált változatuk is, mint például a párhuzamos redukció [54].

Célom a grafikus kártya adta lehetőségek kihasználásával módszert találni az FPA algoritmus és az általa optimalizált fitness függvény párhuzamos végrehajtására. Különös figyelmet fordítok a párhuzamos redukcióval kiszámítható célfüggvényekre. Célom még a normál szekvenciális futás és a párhuzamos futtatás közötti számítási kapacitások feltárása.

3. **Cél:** Az optimaláláshoz köthető kutatások [1, 48, 53, 66, 84] egyre jelentősebbek. Ezen belül is jelentős szerepet kapnak az evolúciós algoritmusok alkalmazásai a szerkezetoptimalálásban [11, 38, 39, 35].

Célom két gyakorlatban előforduló szerkezet optimalálása evolúciós módszerekkel, úgy, mint a kisteherautó-„plató” keresztartóinak és a futódaru főtartójának optimalálása. A teherautó plató esetén megvizsgálom, hogyan változik az optimalizált tömege, ha eltérünk az eredeti szerkezetben alkalmazott keresztmetszet geometriától, és változik a keresztartók száma. Futódaru-főtartójának optimalálása során megvizsgálom a költségek változását, más és más horogteher, fesztáv és alapanyagok használata mellett.

4. **Cél:** A végeelem-módszer egy különböző variációs elvekre támaszkodó közelítő számítási módszer [12, 23, 30, 61, 64]. Húzott-

nyomott rudakkal modellezett rácsos tartók esetén ez a közelítő számítás az egzakt megoldást adja [61].

Célom módszert találni az evolúciós optimalálás és a húzott-nyomott rúdelemekkel modellezhető szerkezetek végeeselemes megoldásának összekapcsolására. A talált módszerrel gyakorlatban előforduló feladat megoldása. A választott számszerűsített mérnöki probléma egy rúdelemekkel modellezhető, rácsos tartó szerkezetű, csomópont gúla alakú távvezeték torony alsó részének optimalálása. Az optimalálás során megvizsgálásra kerül, hogy miként változik a szerkezet tömege, ha az alapanyag folyáshatára  $f_y = 235$  MPa és  $f_y = 690$  MPa határok között, vagy a rácsosztások száma változik, vagy ha korlátozzuk az eredetileg legnagyobb elmozdulással rendelkező csomópont elmozdulását.

## 5. Új tudományos eredmények – tézisek

1. **Tézis:** Elvégeztem a 11 evolúciós algoritmus tesztelését a [50] teszt függvénykészlettel, azonos szimulációs környezetet (pl.: cél-függvény értékek kiszámításának száma, populáció mérete, stb.) alkalmazva. Az ismert optimumhoz viszonyított átlagos hibaértékek konvergenciája iterációs lépésként, és a hibaértékek eloszlása szemléltetésre került, az algoritmusokat rangsoroltam. A rangsor és a hibaértékeloszlás együttes alkalmazása alapján, a „no-free lunch” elméletét betartva az algoritmusok hatékonysága és teljesítménye becslhetővé vált a jövőbeli feladatok megoldásánál.

Témában megjelent publikációk: ⟨1⟩, ⟨9⟩, ⟨13⟩

2. **Tézis:** Javaslatot tettem a virágbeporzási (FPA) algoritmus, és fitnessfüggvények egy csoportjának párhuzamos feldolgozására grafikus kártyákon.
  - a) Javasolom a virágbeporzási algoritmus párhuzamos feldolgozásához az általa használt paraméterek – véletlen számok, input és output változók – vektorokba és mátrixokba szervezését. A mátrixként szervezett populáció elemei egymástól függetlenül párhuzamosan számíthatóak SIMD, SIMT architektúra szabályait követve.
  - b) Kidolgoztam a *Sphere*, *Ackley's*, *Rastrigin* és futódaru főtartójának optimalálásához szükséges fitnessfüggvények egyszerű



hierarchikus függvényekre történő bontását és azok feldolgozását párhuzamos redukcióval.

- c) Bemutattam, hogy az előzőekben kidolgozott módszerekkel, mekkora dimenziótlanított sebességnövekedés érhető el a vizsgált esetekben a párhuzamos számításokat alkalmazva.

Témában megjelent publikációk: ⟨3⟩, ⟨11⟩, ⟨12⟩

- 3. **Tézis:** Kidolgoztam a teherautó plató kereszttartó optimalálásához szükséges fitnessfüggvényt, és virágbeperzási algoritmust (FPA) alkalmazva kimutattam, hogy tömegminimum szempontjából az I-szelvények alkalmazása előnyösebb az eredeti RHS szelvényekhez képest, és a kereszttartók számának csökkentésével további tömegmegtakarítás érhető el.

Kidolgoztam a szekrényszelvényű futódaru főtartójának optimalizálásához szükséges fitnessfüggvényt, melyet szentjánosbogár algoritmussal (FA) optimaltam, és kimutattam:

- a) nincs értelme nagyobb folyáshatárú, drágább acélt alkalmazni, a költségminimumhoz tartozó függvények kvázi párhuzamosak egymással,
- b) a horogteher függvényében a költségfüggvény lineárisan nő,
- c) a feszítáv függvényében a költségfüggvény köbös függvény szerint nő,
- d) a terhelési ciklusok függvényében a költségfüggvény leköveti a fáradási görbét.

Témában megjelent publikációk: ⟨2⟩, ⟨4⟩, ⟨5⟩, ⟨10⟩, ⟨14⟩, ⟨16⟩

- 4. **Tézis:** Módszert javasoltam az evolúciós optimalizáláshoz szükséges fitnessfüggvény előállítására, részben végeselem-módszert használva, rácsos tartók tömegminimumra történő optimalálásához az önadaptív differenciális evolúcióval. Távvezeték torony alsó részének optimalálásakor deltoid alku rácsolást alkalmazva kimutattam:

- a) a deltoid alakú rácsolás kialakítása akkor a optimális, ha a rácsot alkotó rácsrudak metszéspontja az osztáson belül pont elfelezlik az övrudat, ettől eltérve a tömegnövekedés akár  $\approx 40\%$ -os is lehet,

- b) nagyobb folyáshatárú acélok alkalmazása, a topológia megváltoztatása – úgymint rácsosztások száma – nélkül nem feltétlen eredményez kisebb tömeget,
- c) korlátozva az eredetileg legnagyobb elmozdulással rendelkező csomópont elmozdulását, a megengedett elmozdulás függvényében az optimalizált tömeg hiperbolával közelíthető.

Témában megjelent publikációk: ⟨8⟩, ⟨15⟩, ⟨17⟩

## 6. Továbbfejlesztési irányok, lehetőségek

Az evolúciós algoritmusokkal történő optimalizálás jövőbeni fejlesztési iránya lehet – tekintettel az elvégzendő számítások mennyiségére – a párhuzamos számításokkal történő feldolgozás támogatása.

A fitnessfüggvények hierarchikus felbontásához javasolt módszer legnagyobb hátránya, hogy jelenleg kézzel történik. A megelőző kézi számítások elvégzése fáradtságos, és ha nem rendszeresen előforduló, ismétlődő feladatról van szó, akár nem is éri meg elvégezni. Jövőbeni fejlesztési kutatási irányvonal lehet a szükséges kiegyensúlyozott faszerkezet előállításához algoritmus kifejlesztése, mely a matematikai kifejezésből automatikusan előállítja ezt a szükséges input vektorral együtt.

A rácsos tartók végeelem-módszerrel történő számításai során, az alkalmazott elemmodell tulajdonságaiból adódóan, az elvégzendő műveletek és megoldandó egyenletek száma viszonylag kicsi. A számuk is lassan vagy mérsékelten nő ez elemek számának növekedésével. Önmagában nézve a húzott-nyomott rúd elemekből felépített feladatmegoldását nem feltétlen igényli a párhuzamos számítással történő megoldást. Az optimálási feladatot tekintve, ahol szerkezetileg ugyanazt a csak együtthatóiban eltérő algebrai egyenletrendszert kell megoldani több ezerszer, akár tízezerszer. Jogos elvárás lehet a gyorsabb párhuzamos számítás. Populációs szinten elképzelhető, hogy az egyedenként kis méretű mátrix műveletek összefűzhetőek, utat nyitva ezzel a hatékony párhuzamos feldolgozás előtt.

## 7. Publikációk az értekezés témájában

Magyar nyelven megjelent publikációk:

- ⟨1⟩ Nagy, Sz. & Jármái, K.: Alap, hibrid és többszintű evolúciós algoritmusok, *GÉP*, 69(2), pp.44-51, 2018

- ⟨2⟩ Nagy, Sz. & Jármái K.: Evolúciós algoritmusok és alkalmazásuk futódaru optimalálásán keresztül, *Doktoranduszok fóruma 2018*, Miskolc, Hungary, **2018**
- ⟨3⟩ Nagy, Sz. & Jármái, K.: FPA algoritmus implementálása masszívan párhuzamos architektúrára, *GÉP*, 70(2), pp.16-19, **2019**
- ⟨4⟩ Nagy, Sz. & Jármái, K.: Futódaruhíd optimalálása párhuzamos FPA algoritmussal GPU-n, *GÉP*, 71(2), pp.27-33, **2020**
- ⟨5⟩ Nagy, Sz. & Jármái, K.: Teherautó plató keresztartójának optimalálása evolúciós módszerrel, *GÉP*, 71(3-4), pp.86-90, **2020**
- ⟨6⟩ Nagy, Sz. & Jármái, K. & Petrik, M. & Erdős, A. & Gafil, N. H.: Hegesztett szerkezetek tervezésének kutatása a Miskolci Egyetem, *In Gáti József. XXX. Jubileumi Nemzetközi Hegesztési Online Konferencia*, pp.1-13, **2021**
- ⟨7⟩ Nagy, Sz. & Jármái, K. & Petrik, M.: Miskolci Egyetem kutatási témái hegesztett szerkezetek tervezésében, *Hegesztéstechnika*, 33(1), pp.57-62, **2022**
- ⟨8⟩ Nagy, Sz & Jármái, K. & Baksa, A.: Távvezeték-torony optimalálása evolúciós és VEM technikával, *GÉP*, 73(2), pp.17-23, **2022**

Idegen nyelven megjelent publikációk:

- ⟨9⟩ Nagy, Sz. & Jármái, K.: Application of the firefly algorithm for the optimization of cranes, *In Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies III.*, Tatranské Matliare, Slovakia, **2018**
- ⟨10⟩ Nagy, Sz. & Jármái, K.: Optimum design of overhead travelling crane, *3<sup>rd</sup> International Conference on Engineering Sciences and Technologies: ESAT 2018*, Tatranské Matliare, Slovakia, **2018**
- ⟨11⟩ Nagy, Sz. & Jármái, K.: Massively parallel flower pollination algorithm, *In MultiScience - XXXIII. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference*, Miskolc, Hungary, **2019**
- ⟨12⟩ Nagy, Sz. & Jármái, K.: Reducing computation time using GPU Based Parallelization of FPA Algorithm for Optimization, *16<sup>th</sup> Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium*, Pécs (Online), Hungary, **2020**

- (13) Nagy, Sz. & Soltész, L.: The connection between ADT and evolutionary methods in product development, *Journal of Physics: Conference Series*, 1935(1), p. 012001, **2021**, doi: 10.1088/1742-6596/1935/1/012001
- (14) Nagy, Sz. & Jármai K.: GPU based parallel optimization of members of a truck floor, *Journal of Physics: Conference Series*, 1935(1), p. 012004, **2021**, doi: 10.1088/1742-6596/1935/1/012004
- (15) Nagy, Sz. & Jármai, K. & Baksa, A.: Evolutionary optimization of a transmission line tower with FPA algorithm, *Design of Machine and Structures*, 11(2), pp.36-44, **2021**
- (16) Nagy, Sz. & Jármai, K.: Using a flower pollination algorithm to optimise the cross members of a truck floor, *The 9<sup>th</sup> International Conference on COMPUTATIONAL MECHANICS AND VIRTUAL ENGINEERING*, Brasov, Romania, **2021**
- (17) Nagy, Sz. & Jármai, K & Baksa, A.: Combining evolutionary optimization with finite element method for optimizing transmission-line tower, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1237(1), p. 012017, **2022**, doi: 10.1088/1757-899x/1237/1/012017

## Irodalomjegyzék

- [1] A., K. Jármai, and Gy. Kovács. Optimal design of a light-weight composite sandwich plate used for airplane containers. *Structural engineering and mechanics*, 78(5):611–622, 2021. doi: 10.12989/sem.2021.78.5.611.
- [2] S. M. Abdulrahman. Using swarm intelligence for solving np-hard problems. *Academic Journal of Nawroz University*, 6:46–50, 2017. doi: 10.25007/ajnu.v6n3a78.
- [3] C. Aguilar-Ibanez, F. Qian, M. R. Mahmoudi, H. Parvín, K.-H. Pho, and B. A. Tuan. An adaptive particle swarm optimization algorithm for unconstrained optimization. *Hindawi Complexity*, 2020, 2020. doi: 10.1155/2020/2010545.
- [4] S. M. Almufti, A. Y. Zebari, and H. K. Omer. A comparative study of particle swarm optimization and genetic algorithm. *Journal of*

- Advanced Computer Science and Technology*, 8:40–45, 2019. doi: 10.14419/jacst.v8i2.29402.
- [5] A. Auger. Convergence results for the  $(1, \lambda)$ -sa-es using the theory of  $\phi$ -irreducible markov chains. *Theoretical Computer Science*, 334:35–69, 2005. doi: 10.1016/j.tcs.2004.11.017.
- [6] A. Baksa. Érintkezési feladatok numerikus vizsgálata. Phd értekezés, Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola, Miskolc, 2005.
- [7] A. Baksa and I. Páczelt. Megfogófej érintkezési viszonyainak optimalizálása. In *Proc. Int. Conference on Engineering Design ICED*, pages 478–487, 1985.
- [8] A. Baksa and I. Páczelt. Examination of contact optimization and wearing problems. *Journal of Computational and Applied Mechanics*, 3(1):61–84, 2002.
- [9] A. Baksa, I. Páczelt, and T. Szabó. Solution of 3d contact problems using spline interpolation. *JCAM*, 9(2):125–147, 2014.
- [10] P. D. Barba, F. Dughiero, M. E. Mognaschi, A. Savini, and S. Wiak. Biogeography-inspired multiobjective optimization and mems design. *IEEE Transactions on Magnetism*, 52(3):1–4, 2016. doi: 10.1109/TMAG.2015.2488982.
- [11] Cs. Barcsák and K. Jármái. Optimization with an improved pso algorithm. *XXVI. MicroCAD 2012*, 2012.
- [12] E. Bertóti. Primal- and dual-mixed finite element models for geometrically nonlinear shear-deformable beams – a comparative study. *Computer Assisted Methods in Engineering and Science*, 27(4):285–315, 2020. doi: 10.24423/comes.299.
- [13] T. R. Biyanto, Matradji, M. N. Syamsi, H. Y. Fibrianto, N. Af-danny, A. H. Rahman, K. S. Gunawan, J. A. D. Pratama, A. Mal-windasari, A. I. Abdillah, T. N. Bethiana, and Y. A. Putra. Optimization of energy efficiency and conservation in green building design using duelist, killer-whale and rain-water algorithms. 267(1):012036, nov 2017. doi: 10.1088/1757-899x/267/1/012036.
- [14] D. Bratton and J. Kennedy. Defining a standard for particle swarm optimization. In *2007 IEEE Swarm Intelligence Symposium*, pages 120–127, 2007. doi: 10.1109/SIS.2007.368035.

- [15] I. Burgulya. *Optimalizálás evolúciós számításokkal*. Typotex Kft., 2012. ISBN 978-963-279-680-2.
- [16] J. Cheng, M. Grossman, and T. McKercher. *Professional CUDA C Programming*. John Wiley and Sons Ltd., 2014. ISBN 978-111-873-932-7.
- [17] N. J. Cheung, X.-M. Ding, and H.-B. Shen. Adaptive firefly algorithm: Parameter analysis and its application. *PLOS ONE*, 9(11): 1–12, 2014. doi: 10.1371/journal.pone.0112634.
- [18] J.G.S. da Silva, P.C.G. da S. Vellasco, S.A.L. de Andrade, and M.I.R. de Oliveira. Structural assessment of current steel design models for transmission and telecommunication towers. *Journal of Constructional Steel Research*, 61(8):1108–1134, 2005. ISSN 0143-974X. doi: 10.1016/j.jcsr.2005.02.009. Second Brazilian special issue.
- [19] S. Dan. *Evolutionary Optimization Algorithms - Biologically-Inspired and Population-Based Approaches to Computer Intelligence*. Wiley and Sons Ltd., 2013. ISBN 978-047-093-741-9.
- [20] M. Dorigo and L. M. Gambardella. Ant colonies for the travelling salesman problem. *Biosystems*, 43(2):73–81, 1997. doi: 10.1016/S0303-2647(97)01708-5.
- [21] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Coloni. The ant system: Optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 26:1–13, 1996.
- [22] R. Eberhart and J. Kennedy. A new optimizer using particle swarm theory. In *MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, pages 39–43, 1995. doi: 10.1109/MHS.1995.494215.
- [23] I. Ecsedi and A. Baksa. Deformation of a cantilever curved beam with variable cross section. *Journal of Computational and Applied Mechanics*, 16(1):23–36, 2021. doi: 10.32973/jcam.2021.002.
- [24] D. B. Fogel and L. J. Fogel. An introduction to evolutionary programming. In *Artificial Evolution*, pages 21–33, Berlin, Heidelberg, 1996. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-49948-0.

- [25] Z. W. Geem, J. H. Kim, and G. V. Loganathan. A new heuristic optimization algorithm: Harmony search. *SIMULATION*, 76(2): 60–68, 2001. doi: 10.1177/003754970107600201.
- [26] D. E. Goldberg. *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Addison Wesley, 1989. ISBN 978-020-115-767-3.
- [27] N. Hansen, S. D. Müller, and P. Koumoutsakos. Reducing the Time Complexity of the Derandomized Evolution Strategy with Covariance Matrix Adaptation (CMA-ES). *Evolutionary Computation*, 11(1):1–18, 2003. doi: 10.1162/106365603321828970.
- [28] S. Harifi, M. Khalilian, J. Mohammadzadeh, and S. Ebrahimnejad. Emperor penguins colony: a new metaheuristic algorithm for optimization. *Evolutionary Intelligence*, 12:211–226, 2019. doi: 10.1007/s12065-019-00212-x.
- [29] L. Horrigue, R. Ghodhbane, T. Saidani, and M. Atri. GPU acceleration of image processing algorithm based on matlab cuda. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 18:91 – 99, 06 2018.
- [30] D. Huri and T. Mankovits. Comparison of the material models in rubber finite element analysis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 393:012018, 2018. doi: 10.1088/1757-899x/393/1/012018.
- [31] P. Horváth I. Timár, T. Borbély. Optimierung von profilierten sandwichbalken. *Stahlbau*, 72(2):109–113, 2003. doi: 10.1002/stab.200300330.
- [32] J. Jalkanen. 2.3 - multicriteria tubular truss optimization. In Károly Jármai and József Farkas, editors, *Design, Fabrication and Economy of Welded Structures*, pages 71–78. Woodhead Publishing, 2008. ISBN 978-1-904275-28-2. doi: 10.1533/9781782420484.2.71.
- [33] K. Jármai and J. Farkas. Cost calculation and optimisation of welded steel structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 50(2):115–135, 1999. ISSN 0143-974X. doi: 10.1016/S0143-974X(98)00241-7.

- [34] K. Jármai and J. Farkas. Optimum design and cost calculation of a simple frame with welded or bolted corner joints. *Welding in the World*, 48:1878–6669, 2004. doi: 10.1007/BF03266413.
- [35] K. Jármai and J. Farkas. *Fémszerkezetek innovatív tervezése*. Gazdász Elasztik Kiadó és Nyomda, 2015. ISBN 978-963-358-064-6.
- [36] S. Jason and K. Edward. *CUDA by Example - An Introduction to general-purpose GPU Programming*. Addison-Wesley, 2010. ISBN 978-013-138-768-3.
- [37] K. Jármai and J. Farkas. *Desing and Optimization of Metal Structures*. Horwood Publishing, 2008. ISBN 978-1-904275-29-9.
- [38] K. Jármai and J. Farkas. *Optimum Design of Steel Structures*. Springer-Verlag, 2013. ISBN 978-3-642-36867-7. doi: 10.1007/978-3-642-36868-4.
- [39] K. Jármai, Cs. Barcsák, and G. Z. Marcsák. A box-girder design using metaheuristic algorithms and mathematical test functions for comparison. *Applied Mechanics*, 2(4):891–910, 2021. ISSN 2673-3161. doi: 10.3390/applmech2040052.
- [40] D. K. and B. Akay. On the performance of artificial bee colony (abc) algorithm. *Applied Soft Computing*, 8:687–697, 2007. doi: 10.1016/j.asoc.2007.05.007.
- [41] Beelich K. H. and Pahl G. Kostenwachstumsgesetze nach Ähnlichkeitsbeziehungen für schweißverbindungen. *VDI-Berichte*, 457: 129–141, 1992.
- [42] D. Karaboga and B. Akay. A comparative study of artificial bee colony algorithm. *Applied Mathematics and Computation*, 214: 108–132, 2009. doi: 10.1016/j.amc.2009.03.090.
- [43] D. Karaboga and B. Basturk. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (abc) algorithm. *Journal of global optimization*, 39:359–471, 2007. doi: 10.1007/s10898-007-9149-x.
- [44] V. Kindratenko. *Numerical Computations with GPUs*. Springer International Publishing, Cham, 2014. ISBN 978-3-319-37994-4.



- [45] U. Klansek and S. Kravanja. Cost estimation, optimization and competitiveness of different composite floor systems—part 2: Optimization based competitiveness between the composite i beams, channel-section and hollow-section trusses. *Journal of Constructional Steel Research*, 62(5):449–462, 2006. ISSN 0143-974X. doi: 10.1016/j.jcsr.2005.08.006.
- [46] L. Kota and K. Jármai. Application of multilevel optimization algorithms. In *Advances in Structural and Multidisciplinary Optimization*, pages 710–715, Cham, 2018. Springer International Publishing. ISBN 978-3-319-67988-4.
- [47] L. Kota and K. Jármai. Application of a multilevel firefly algorithm on a large variable number logistic problem. *Advanced Logistic Systems - Theory and Practice*, 13(2):21–28, 2021. doi: 10.32971/als.2020.002.
- [48] T. Kulcsár and I. Tímár. Mathematical optimization and engineering applications. *Mathematical Modeling and Computing*, 3(1): 59–78, 2016. doi: 10.23939/mmc2016.01.059.
- [49] X.-L. Li, J.-S. Wang, and X. Yang. Invasive weed optimization algorithm based on differential evolution operators to solve bin packing problem. In *2020 Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, pages 4141–4145, 2020. doi: 10.1109/CCDC49329.2020.9164817.
- [50] J.-C. Liang, B. Qu, and P. N. Suganthan. Problem definitions and evaluation criteria for the cec 2014 special session and competition on single objective real-parameter numerical optimization. In *2017 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, Beijing, 2014. IEEE.
- [51] T. Mankovits. Basic principles of shape optimization of elastomers. *International Review of Applied Sciences and Engineering*, 2:75 – 78, 2011.
- [52] T. Mankovits and T. Szabó. Finite element analysis of rubber bumper used in air-springs. *Procedia Engineering*, 48:388–395, 2012. ISSN 1877-7058. doi: 10.1016/j.proeng.2012.09.530. Modelling of Mechanical and Mechatronics Systems.

- [53] T. Mankovits, T. Szabó, I. Kocsis, and I. Páczelt. Optimization of the shape of axi-symmetric rubber bumpers. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 60(1):61–71, 2014. ISSN 0039-2480. doi: 10.5545/sv-jme.2013.1315.
- [54] P. J. Martín, L. F. Ayuso, R. Torres, and A. Gavilanes. Algorithmic strategies for optimizing the parallel reduction primitive in cuda. In *2012 International Conference on High Performance Computing Simulation (HPCS)*, pages 511–519, 2012. doi: 10.1109/HP-CSim.2012.6266966.
- [55] S. Mirjalili. Dragonfly algorithm: a new meta-heuristic optimization technique for solving single-objective, discrete, and multi-objective problems. *Neural Computing and Applications*, 27:1053–1073, 2016. doi: 10.1007/s00521-015-1920-1.
- [56] M. Misaghi and M. Yaghoobi. Improved invasive weed optimization algorithm (iwo) based on chaos theory for optimal design of pid controller. *Journal of Computational Design and Engineering*, 6(3):284–295, 2019. doi: 10.1016/j.jcde.2019.01.001.
- [57] M. Neshat, B. Alexander, N. Y. Sergiienko, and M. Wagner. Optimisation of large wave farms using a multi-strategy evolutionary framework. In *Proceedings of the 2020 Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO '20*, page 1150–1158, 2020. ISBN 978-145-037-128-5. doi: 10.1145/3377930.3390235.
- [58] F. Orbán, J. Farkas, and K. Jármai. Optimum design of a transmission line tower: Welded tubular truss structure. In *6th European Conference on Steel and Composite Structures, Eurosteel 2011, ECCS*, pages 2325–2330, 2011. ISBN 978-92-9147-103-4.
- [59] H. H. Ott and V. Hubka. Vorausberechnung der herstellkosten von schweisskonstruktionen (fabrication cost calculation of welded structures). In *Proc. Int. Conference on Engineering Design ICED*, pages 478–487, 1985.
- [60] I. Páczelt. Some optimization problems of contact bodies within the linear theory of elasticity. In S. NEMAT-NASSER, editor, *Variational Methods in the Mechanics of Solids*, pages 349–356. Pergamon, 1980. ISBN 978-0-08-024728-1. doi: 10.1016/B978-0-08-024728-1.50061-6.

- [61] I. Páczelt. *Végeselem-módszer a mérnöki gyakorlatban*. Miskolci Egyetemi Kiadó, 1999. ISBN 963-661-312-5.
- [62] I. Páczelt, Z. Mroz, and A. Baksa. Analysis of steady wear processes for periodic sliding. *JCAM*, 10(2):231–268, 2015.
- [63] I. Páczelt, A. Baksa, and Z. Mróz. Analysis of steady wear state of the drum brake. *Open Access Library Journal*, 7:1–16, 2020. doi: 10.4236/oalib.1106432.
- [64] I. Páczelt, A. Baksa, and T. Szabó. Formulation of p-extension finite elements for solution of the normal contact problems. *Journal of Computational and Applied Mechanics*, 15(2):135–172, 2020. doi: 10.32973/jcam.2020.009.
- [65] I. Páczelt, A. Baksa, and T. Szabó. Formulation of p-extension finite elements for solution of the normal contact problems. *JCAM*, 15(2):135–172, 2020.
- [66] M. Petrik and K. Jármái. Optimization and comparison of different standards for compressed welded box columns. *Pollack Periodica*, 15(1):3–14, 2020. doi: 10.1556/606.2020.15.1.1.
- [67] M. Petrik, A. Erdos, K. Jármái, and G. L. Szepesi. Optimum design of an air tank for fatigue and fire load. *Acta Polytechnica Hungarica*, 18:163–177, 2021.
- [68] D. T. Pham and M. Castellani. The bees algorithm: Modelling foraging behaviour to solve continuous optimization problems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 223:2919–2938, 2009. doi: 10.1243/09544062JMES1494.
- [69] D. T. Pham and M. Castellani. A comparative study of the bees algorithm as a tool for function optimisation. *Cogent Engineering*, 2:1–28, 2015. doi: 10.1080/23311916.2015.1091540.
- [70] N. Prasad Rao, G.M. Samuel Knight, S.J. Mohan, and N. Lakshmanan. Studies on failure of transmission line towers in testing. *Engineering Structures*, 35:55–70, 2012. ISSN 0141-0296. doi: 10.1016/j.engstruct.2011.10.017.
- [71] A.K. Qin and P. N. Suganthan. Self-adaptive differential evolution algorithm for numerical optimization. In *2005 IEEE Congress on*

- Evolutionary Computation*, volume 2, pages 1785–1791, 2005. doi: 10.1109/CEC.2005.1554904.
- [72] G. V. Rao. Optimum designs for transmission line towers. *Computers & Structures*, 57(1):81–92, 1995. ISSN 0045-7949. doi: 10.1016/0045-7949(94)00597-V.
- [73] N. P. Rao, G. M. S. Knight, N. Lakshmanan, and N. R. Iyer. Investigation of transmission line tower failures. *Engineering Failure Analysis*, 17(5):1127–1141, 2010. ISSN 1350-6307. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2010.01.008>.
- [74] M.P. Saka, O. Hasancebi, and Z.W. Geem. Metaheuristics in structural optimization and discussions on harmony search algorithm. *Swarm and Evolutionary Computation*, 28:88–97, 2016. doi: 10.1016/j.swevo.2016.01.005.
- [75] X. H. Shi, Y.H. Lu, C. G. Zhou, H. P. Lee, W. Z. Lin, and Y. C. Liang. Hybrid evolutionary algorithms based on pso and ga. In *The 2003 Congress on Evolutionary Computation, 2003. CEC '03.*, volume 4, pages 2393–2399 Vol.4, 2003. doi: 10.1109/CEC.2003.1299387.
- [76] D. Simon. Biogeography-based optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 12(6):702–713, 2008. doi: 10.1109/TEVC.2008.919004.
- [77] D. Simon. A dynamic system model of biogeography-based optimization. *Applied Soft Computing*, 11(8):5652–5661, 2011. doi: 10.1016/j.asoc.2011.03.028.
- [78] K. Sorensen, M. Sevaux, and F. Glover. A history of metaheuristics. *arXiv preprint arXiv:1704.00853*, 2017.
- [79] R. Storn and K. Price. Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces. *Journal of Global Optimization volume*, 11:341–359, 1997. doi: 10.1023/A:1008202821328.
- [80] F. J. Szabó. Optimumkereső algoritmusok iterációtörténetének vizsgálata. *GÉP*, 69:82 – 85, 2018.
- [81] F. J. Szabó. Iteration history analysis of evolutionary type optimization algorithms. In *Proceedings of the 13th World Congress*

of *Structural and Multidisciplinary Optimization (WCSMO 13)*, Beijing, 2019. Springer.

- [82] K. Taniwaki and S. Ohkubo. Optimal synthesis method for transmission tower truss structures subjected to static and seismic loads. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 26(6):441–454, 2004. doi: 10.1007/s00158-003-0367-7.
- [83] Z. Virág and K. Jármai. Optimum design of stiffened plates for static and dynamic loadings using different ribs. *Structural engineering and mechanics*, 6(2):255–266, 2020. doi: 10.12989/sem.2020.74.2.255.
- [84] Z. Virág and S. Szirbik. Finite element analysis of an optimized hybrid stiffened plate. In *9<sup>th</sup> edition of the International Multidisciplinary Symposium UNIVERSITARIA SIMPRO 202*.
- [85] Z. Virág and S. Szirbik. Modal analysis of optimized trapezoidal stiffened plates under lateral pressure and uniaxial compression. *Applied Mechanics*, 2(4):681–693, 2021. ISSN 2673-3161. doi: 10.3390/applmech2040039.
- [86] Z. Virág and S. Szirbik. Hibrid bordázott lemezek rezonancia vizsgálata végeelem-módszerrel. In *Multidiszciplináris Tudományok*, volume 11, pages 32–37, 2021. doi: 10.35925/j.multi.2021.2.5.
- [87] X.-S. Yang. Firefly algorithms for multimodal optimization. In *Stochastic Algorithms: Foundations and Applications*, volume 5792, pages 169–178, Berlin, 2009. Springer.
- [88] X.-S. Yang. Flower pollination algorithm for global optimization. In Jérôme Durand-Lose and Nataša Jonoska, editors, *Unconventional Computation and Natural Computation*, pages 240–249, Berlin, Heidelberg, 2012. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-32894-7.
- [89] X.-S. Yang. *Cuckoo Search and Firefly Algorithm - Theory and Applications*. Springer International Publishing, 2014. ISBN 978-331-902-140-9.
- [90] X.-S. Yang, M. Karamanoglu, and X. He. Flower pollination algorithm: A novel approach for multiobjective optimization. *Engineering Optimization*, 46(9):1222–1237, 2014. doi: 10.1080/0305215X.2013.832237.

- [91] Z. Yang, K. Tang, and X. Yao. Self-adaptive differential evolution with neighborhood search. In *2008 IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE World Congress on Computational Intelligence)*, pages 1110–1116, 2008. doi: 10.1109/CEC.2008.4630935.
- [92] M. Yazdani and F. Jolai. Lion optimization algorithm (loa): A nature-inspired metaheuristic algorithm. *Journal of Computational Design and Engineering*, 3:24–36, 2015.