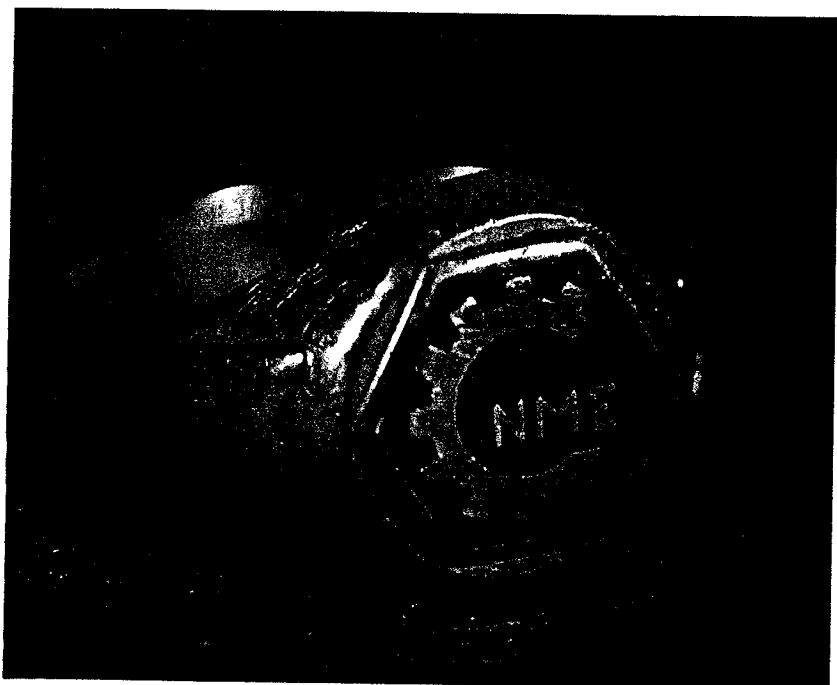


ÉSZAK-

1998. 8

MAGYARORSZÁGI

GAZDASÁG-KULTÚRA-TUDOMÁNY
TÁRSADALOMPOLITIKAI FOLYÓIRAT



A Miskolci Egyetem története 1735-ben kezdődött
Selmecebányán (ma: Banská Stiavnica, Szlovák Köztársaság)

Az első világháborút követően
a Bányászati és Erdészeti Főiskola keretében a
bányamérnöki és kohómérnöki osztályok Sopronba települtek,
ezekből 1949-ben a Nehézipari Műszaki Egyetem
Bányamérnöki Kara és Kohómérnöki Kara jött létre

A Gépészmérnöki Kar 1949-ben alakult

A Miskolci Egyetem műszaki karai
1983-tól az Állami- és Jogtudományi Karral,
1990-től a Gazdaságtudományi Karral,
1997-től a Bölcsészettudományi Karral
egészültek ki

Jelenleg a Miskolci Egyetemnek 13.000 hallgatója van

Ez a szám az

-1953-ban,
-1958-ban,
-1963-ban,
-1968-ban,
-1973-ban,
-1978-ban,
-1988-ban,
végzett

**MISKOLCI
GÉPÉSZMÉRNÖKÖK
TUDOMÁNYOS
TANÁCSKOZÁSA**

KORDOSS JÓZSEF
professzorról való
megemlékezés

valamint
SÁLYI ISTVÁN
és

ZORKÓCZY BÉLA
mellszobrának
koszorúzása
alkalmából jelenik meg

MISKOLCI EGYETEM
1998. augusztus 29.

Szerkezetoptimalás a Miskolci Egyetemen, a fejlődés irányai

Dr. Jármay Károly*

1 BEVEZETÉS

Napjainkban egyre drágább a munkaerő nemcsak az iparilag fejlett országokban, de Magyarországon is. Ezért nagyon fontos, hogy csökkentsük a szerkezetek gyártási költségeit már a tervezés fázisában. Az optimalás azt jelenti, hogy a lehető legjobb eredményt érjük el adott körülmények között. Az optimalás méretezés módszerei a gazdaságos szerkezetek méretezésének hatékony eszközei, amikor különböző költségtényezők mellett történik az optimalás, vagyis a célfüggvények a szerkezet költségtényezőiből tevődnek össze. Általában a gazdaságos szerkezetet minimális költség, illetve tömeg jellemzi, vagy bármely más jellemző, amit a tervező fontosnak tart (pl. gyártási idő, élettartam, alakváltozás, stb.). A Szerkezetoptimalók Nemzetközi Szövetségének, az ISSMO-nak (International Society of Structural and Multidisciplinary Optimization) fő célkitűzése ez.

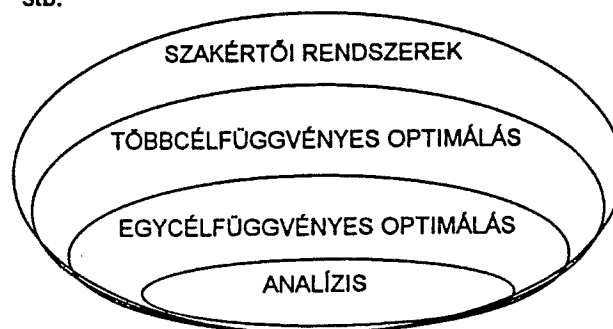
Ha valaki szerkezettervezést végez és nincs megfelelő szakembere, vagy nagy tapasztalatú szakemberei tudását szeretné összefogni, megőrizni, illetve felhasználni, akkor szakértői rendszer használatára, vagy létrehozására szorul. A szakértői rendszer olyan számítógépes rendszer, amely sok tekintetben olyan feladatot lát el, mint az emberi szakértő. Az emberi szakértőhöz hasonlóan kérdez, tanácsokat ad, továbbá elmagyarázza és megindokolja, hogy miért éppen azt a tanácsot adja. Kérdéseket tesz fel, amely a felhasználót a probléma, vagy a cél megfogalmazásában segítik. A felhasználó választát a tudásbázis szabályai szerint kiértékeli, a szükséges közvetkeztetéseket elvégzi és megadja a megoldást. Annyiban különbözik az emberi szakértőtől, hogy a döntéshozatal és a tanácsadás sokszor végigvihető és megismételhető.

A szakértői rendszerek tudásbázison alapulnak és a következtető gépekben (inference engine) használják a mesterséges intelligencia elemeit. A mesterséges intelligencia (Artificial Intelligence, AI) olyan termék, általában számítógépi szoftver, amely emulálja az emberi gondolkodás bizonyos elemeit. A tudásbázis (knowledge base) az egyik fő eleme az összes ilyen típusú rendszernek.

Ha rendszerbe akarjuk állítani az analízist, az egy és többcélűfüggvényes optimalás módszereit, valamint a szakértői rendszereket, akkor az 1. ábra szerinti hierarchiát rajzolhatjuk fel.

A Miskolci Egyetemen végzett vizsgálatok is ennek megfelelően több területre tagozódnak. Az első területen egycélűfüggvényes optimaló algoritmusok adaptálását, átdolgozását és továbbfejlesztését végeztük el. Az egycélűfüggvényes és a többcélűfüggvényes optimaló algoritmusok összekapcsolása szükséges a megalapozott döntés-előkészítési folyamat megvalósításához. A többcélűfüggvényes optimalás akkor válik szükségessé, ha egyszerre több, sokszor konfliktusban álló célfüggvény szélsőértékét keressük. A programrendszer és a gazdaságos szerkezetméretezés logikai struktúrájának összekapcsolása a méretezés rendszerezettebb és tudatosabb végigvitelét teszi lehetővé.

A Miskolci Egyetemen több mint négy évtizede folynak kutatások szerkezetoptimalás területén Farkas József professzor, tanárom és kollégám vezetésével és részvételével. A megvizsgált szerkezetek a következők: futódaruk bordázott szerkenyszelvényű főtartói, darupályák, profilos fedőrétegű szendvicstartók, szálerősítéses műanyagyszerkezetek, bordázott lemezek, cellalemezek, acéllemezkes műanyagbeton kitöltésű tartók, rácsos csőszerkezetek, szállítószalaghidak, tetőszerkezetek, présgépek acélvázai, hajlított, nyomott, nyírt tartók, rudak, silók, bunkerek, hegesztési maradó feszültségek, stb.



1. ábra.

A méretezés analízis fázisában több szerkezettypusnál, (például szendvicstartó, acéllemezkes műanyagbeton, futódaru bordázott főtartója) szükséges volt az elméleti alapok részletesebb vizsgálata, illetve számos statikus és dinamikai méréssel a számítások igazolása, ezért

* egyetemi tanár, a műszaki tudomány doktora, Miskolci Egyetem 1973-78, Géptervezői Szak, Alkalmazott Mechanikai Ágazat tel. +46-565-111, fax. +46-367-828, e-mail: altjar@gold.uni-miskolc.hu

a kutatás célkitűzései között szerepelt ilyenfajta mérések elvégzése is.

Fontos szempont volt a kutatás során, hogy a méretezés a járatos méretek (pl. lemezvastagság) kiválasztásáig terjedjen, vagyis előre megadott diszkrét értéksorok felhasználásával közelebb vigyen a legyárthatósághoz.

A gazdaságos szerkezetek méretezésének folyamata több fázisra tagolható. Az egyes fázisoktól lényegesen függ a méretezés során adódó szerkezet. A gazdaságos szerkezetméretezést hét fő fázison keresztül valósítottuk meg (2. ábra).

Az interaktív, döntéstámogató programrendszer alkalmas a műszaki gyakorlatban előforduló

$$f_j(x^*) = f_j(x) \rightarrow \text{optimum} \quad j = 1, 2, \dots, P \quad (1)$$

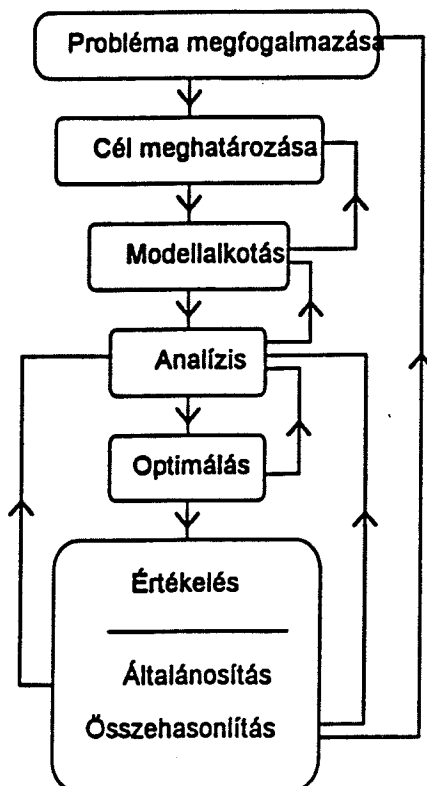
$$x \in X$$

$$g_j(x) \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, M \quad (2)$$

$$h_j(x) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, L \quad (3)$$

típusú feltételes szélsőértékfeladat megoldására, ahol

- $f_j(x)$ - a célfüggvények,
- $g_j(x)$ - az egyenlőtlenségi feltételek,
- $h_j(x)$ - az egyenlőségi feltételek,
- x - a változók vektora,
- x^* - a tényleges optimum vektora,
- X - a megengedett tartomány, ahol a változók vektora elhelyezkedhet.



2. ábra

Az általánosítás és az összehasonlítás az értékelés fő elemeit jelenti.

Egycélűfüggvényes optimalálásnál az optimum a célfüggvénynek a megengedett tartományon felvehető szélsőértékét jelenti, többcélűfüggvényes optimalálásnál az optimum ún. Pareto optimum, amelynél egyik célfüggvény értéke sem csökkenthető szigorúan úgy, hogy a többi értéke ne növekedjék. A megoldás legtöbbször nemcsak egy pontból áll, hanem bizonyos tulajdonságú pontok együttese.

Több egycélűfüggvényes optimaláló algoritmus került beépítésre az interaktív döntéstámogató programrendszerbe: a Box-féle [1] Komplex algoritmus (BO), a Himmelblau-féle [2] rugalmas toleranciák (FT) módszere, a Rosenbrock-féle [3] Hillclimb (HILL) algoritmus, a Weisman-féle [4] direkt-véletlen kereső módszere (DRS), a Pappas-féle [5] direkt kereső- megfelelő irány (DSFD) módszere, a Davidon-Fletcher-Powell módszer (DFP) [6], a Megfelelő Szekvenciális Kvadrátikus Programozás (FSQP, CFSQP, Zhou, Tits [7]) módszere, a Mozgó Aszriptoták Módszerét (MMA, Svanberg [8]) módszer, a Backtrack (Walkner [9]) módszer és a Szekvenciális Feltétel nélküli Minimáló Eljárás (SUMT, Fiacco, Mc.Cormick [10]).

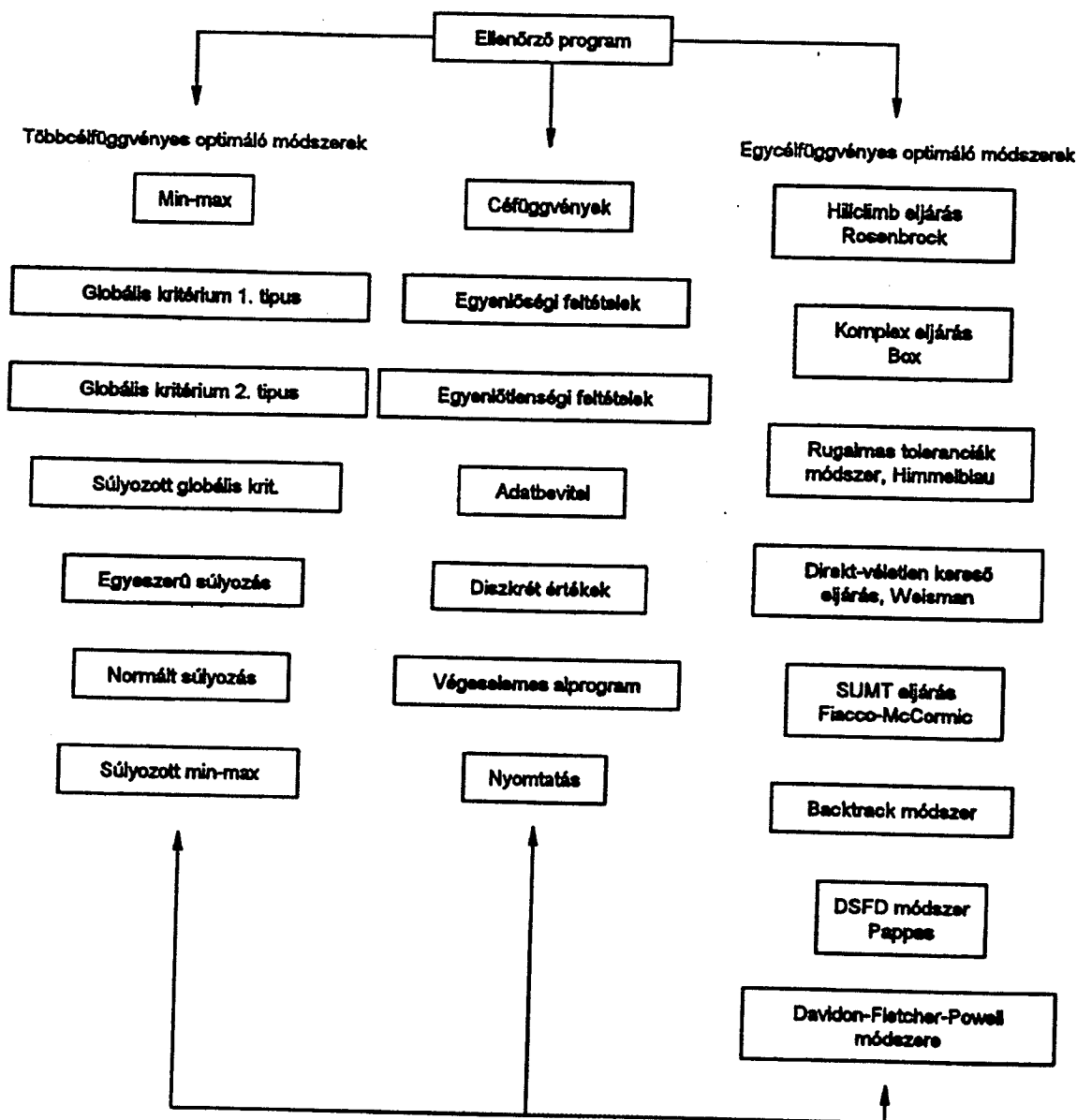
A beépített algoritmusok úgy kerültek kialakításra, hogy azok ugyanazon célfüggvény- és feltételrendszert kezeljék, így a számítás során változtatni lehet a felhasznált algoritmust. Azon algoritmusoknál, amelyeknél szükséges volt, olyan átalakítás történt, hogy nem megfelelő kezdőpontból is indulni tudjanak, továbbá, hogy ha kerekítetlen és így a gyakorlat számára közvetlenül nem használható értékeket határoznak meg, akkor egy pótlólagos eljárással, előre megadott diszkrét értéksorok alapján a szerkezet diszkrét optimális méreteit határozzák meg [11]. A programrendszer felépítése a 3. ábrán látható.

Számos szerkezet, illetve szerkezeti elem optimalálását elvégeztük az elmúlt évtizedekben: futódaruhidak, keretek, C- és O állványú présgépvázak, szállítószalaghidak, bordázott lemezek, cellalamezek, silók, bunkerek, tartályalátámasztó vázak, szendvicstartók, szálerősítéssel műanyag-szerkezetek, nyomott, hajlított, nyírt rudak, I- és szekrényszelvények, stb.

Az alábbiakban bemutatom a szerkezet-optimalálás néhány eredményét a közelműltből.

2 Silók optimalálása

Az emelt silók a következő részekből állnak: tető, hengeres héj, átmeneti gyűrű, kúpos surrantó és oszlopok. A szerkezetet két fő méret határozza meg: a magasság H és a hengeres héj sugara R (4. ábra). A hengeres héj számos vízszintes gyűrűből kerülnek kialakításra. Ezen gyűrűk



3. ábra

szélességét a rendelkezésre álló lemezszélesség határozza meg (pl. 1500 mm).

A hirtelen hőmérsékletváltozás, valamint a dinamikus töltés és ürítés hatásait biztonsági tényezőkkel vesszük figyelembe.

A hengeres héj változó vastagságát helyi horpadásra két hatásra kell ellenőrizni: a) teljes terhelés esetén függőleges nyomóterhelésre, b) üres siló esetén széletterhelésre.

Az átmeneti gyűrűre ható terhelések nyomást, hajlítást és kétirányú nyírást okoznak, valamint csavarást. Mivel a nyitott szelvények csavarási merevsége nagyon kicsi, ezért előnyös hegesztett, zárt szekrényszelvény alkalmazása. (Farkas, Jármái [12]). Az átmeneti gyűrű optimálása a lemezelemek feszültségi és helyi horpadási feltételeivel történik.

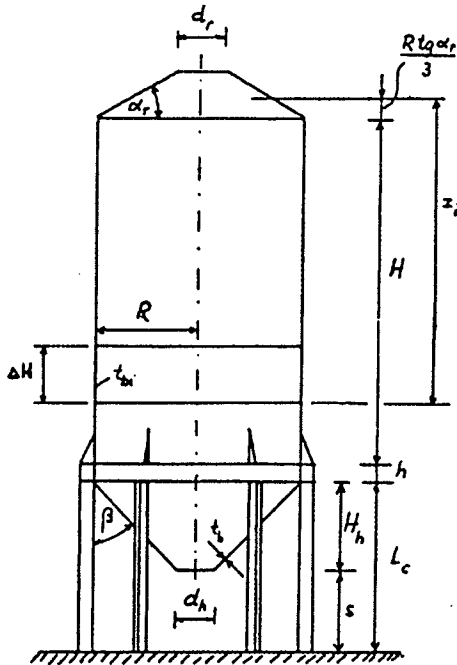
1. táblázat K/k_m (kg) értékei azonos kapacitású, 500 m^3 és különböző méretű silókra $k_r/k_m=1$ esetén

$R(m)$	4.25	3.50	3.15	2.90
$H(m)$	7.50	12.00	15.00	18.00
H/R	1.76	3.43	4.76	6.20
tető	3769	2597	2073	1779
hengeres héj	8853	11627	13240	14295
merevítő gyűrű	6101	4943	4170	3597
surrantó oszlopok	4356	3065	2583	2169
össz	25760	24463	24134	23792

A kúpos surrantó állandó vastagsága meghatározható a feszültségi feltételből. A

surrantó dőlésszöge a tárolt anyag sűrűldási tényezőjéből határozható meg.

A tartóoszlopok száma n változhat egy bizonyos tartományon, melyet a működési feltételek határoznak meg, pl. szükséges oszloptávolság a teherautó rakodás miatt. Az oszlopok négyzög, vagy körcső szelvényűek, melyek tervezésénél a kihajlási és a helyi horpadási feltételek meghatározók.



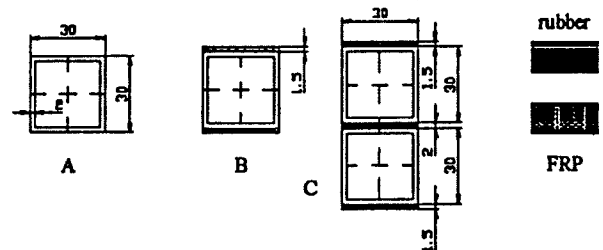
4. ábra

Zárt képletet dolgoztunk ki az SHS vagy CHS oszlopok optimális méretei meghatározására. A célfüggvény (K) költségfüggvény, mely az anyagköltséget (K_m) és gyártási költségeket (K_f) tartalmaz, k_m és k_f a fajlagos anyag- és gyártási költségtényező. Anyagminőségben az Fe 360 és Fe 510 acélokat használtuk, 235 és 355 MPa folyáshatárral. Az eredményeket a 1. táblázat mutatja. A legnagyobb H/R arány esetén adódik a minimális költség.

3 Szálerősítéses kompozit rétegekből álló szendvicstartók optimális méretezése

Az alumíniumtartók általában kis csillapító képességgel rendelkeznek. Ennek növelésére gumiréteg beépítése szükséges. Az így kialakuló szendvicstartók hátránya, hogy relatíve nagy a dinamikus lehajlás, ami a gumiréteg nyírási deformációjából adódik. Ezt a nagy deformációt szálerősítéses műanyag réteg (fiber-reinforced plastic FRP) beépítésével csökkenthetjük. Az alumínium négyzögszelvényekből (SHS), gumi és FRP rétegekből álló szendvicstartó statikus és dinamikus viselkedésének meghatározására 3 próbatestet készítettünk a 5. ábrának megfelelően.

A statikus hajlítási mérések és a dinamikus rezgéscsillapítás mérések arra szolgáltak, hogy meghatározzuk a kidolgozott modell legfőbb jellemzőit, összehasonlítsuk a mért eredményeket a számított értékekkel. A szendvicstartó statikus és dinamikus viselkedésének számításához a vastag héjú szendvicstartó-elméletet alkalmaztuk.



5. ábra. A próbatestek szelvényei

A statikus mérések során a maximális lehajlást mértük a kéttámaszú, középen koncentrált erővel terhelt tartónál. A három próbatest az 5. ábrának megfelelő szelvényű volt.

Azért, hogy meghatározhassuk a tartók sajátfrekvenciáit, csillapítási tényezőjét, rezgésméréseket végeztünk el a tanszéki laboratóriumban a Brüel-Kjaer rezgésmérő műszer-család felhasználásával. A csillapítási tényezőt az Oberst-féle félteljesítményhez tartozó frekvencia-sáv szélesség módszerével határoztuk meg. Az i -edik sajátfrekvenciához tartozó csillapítási tényező meghatározható a következő összefüggéssel $\eta_i = \Delta f / f_i$, ahol f_i , Δf a sajátfrekvencia és a sáv szélesség értékei Hz-ben.

Az SHS szelvényű alumínium statikus hajlítási merevsége jelentősen emelkedik FRP rétegek alkalmazásával. A merevség növekedésének értéke a megvizsgált próbatesteknél 35% körüli anélkül, hogy lényeges súlynövekedést okozna. Az FRP rétegek nem növelik a rezgéscsillapító-képességet, a csillapítási tényező csak 1% körüli. Az SHS profil és az FRP rétegek statikus viselkedését redukált hajlítási merevség alkalmazásával határozhatjuk meg. A rezgéscsillapítás jelentősen növelhető gumirétegek alkalmazásával, mivel a guminak nagy rezgéscsillapító képessége van [13].

Esetünkben a rezgéscsillapítási tényező megnégyszereződött (összehasonlítva az A és C próbatesteket). A lágy gumiréteg miatt a statikus hajlítási merevség 52%-al csökkent. A statikus és dinamikus viselkedés a C próbatestnél megfelelő pontossággal határozható meg a vastag héjú szendvicstartók hajlítási elméletéből. Az optimalás az alumínium csőtartók feszültségkorlátozási, a gerinclemez helyi horpadási, a tartó lehajlás-korlátozási, valamint a tartó rezgéscsillapítási feltételi figyelembevételével történt.

4 Dogbone szelvények

A zárt övű tartó (hollow flange beam HFB) egy függőleges gerinclemezről és két zárt övlemezről áll. Az övlemez alakja lehet háromszög, kör, vagy négyszög. Célunk volt, hogy optimalizáljuk ezen szelvényeket és összehasonlítsuk a hegesztett I-szelvényt. A szelvényméretek optimalizálása jelenti a minimális tömegű szerkezeti elemet, figyelembe véve a méretezési feltételeket mint a hajlításból származó feszültségkorlátozást, a gerinclemez és a nyomott öv helyi horpadását.

A zárt övű tartót az egyszerű lemezövé hegesztett tartók kiváltására lehet használni (6. ábra). A háromszögövé tartó (triangular hollow flange beam TFB), amit kutyacsont „dogbone” szelvénynek is hívják egy ausztrál cég, a Palmer Tube Technologies Ltd fejlesztett ki (Dempsey [14]). A szelvény egy sima lemezről hidegenhajlítással készül. A háromszögöveket egy-egy folytonos varrat zárja le.

Az optimalizálást elvégeztük mind a háromszög (TFB), mind a kör (CFB), mind a négyszög (SFB) övű szelvényekre, mind a hegesztett I-szelvényre. A HFB szelvények előnye az I-szelvényt

szemben a következő: (a) a tartó helyi horpadási szilárdsága nagyobb, ezért a vastagság kisebb lehet; (b) a tartó magasabb, ezért a lehajlása kisebb; (c) a csavarási merevség jóval nagyobb, ezért az elcsavarodási szilárdság nagyobb.

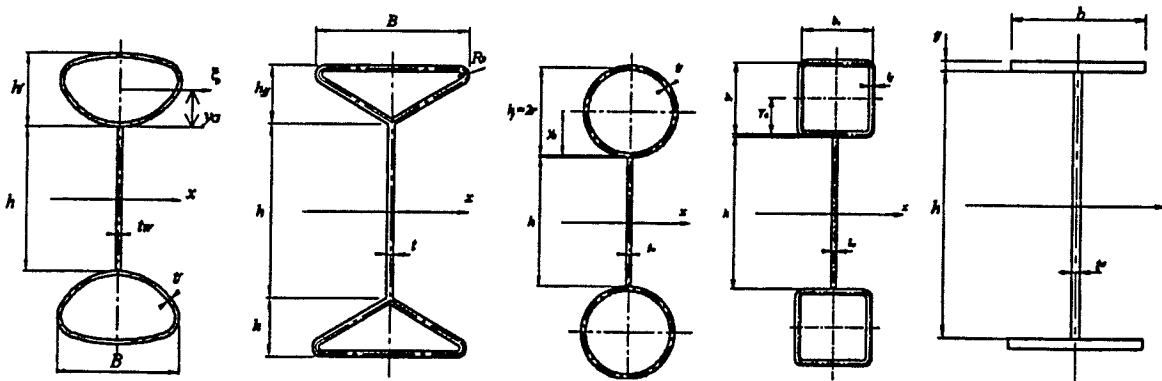
A TFB tartó kifordulását Pi & Trahair vizsgálták [15]. Javasolták a csavarási merevség redukálását a gerinclemez elcsavarodása miatt. Vizsgálatainkkal bemutattuk, hogy az Eurocode 3 (EC3) összefüggései kisebb kifordulási tényezőt adnak, tehát az EC3 számítás alkalmas összehasonlításra.

Az optimalizálás során a szelvényméretek (övszélesség, vastagság, átmérő, dőlésszög, stb.) úgy határozzuk meg, hogy minimális legyen a szelvény területe és a méretezési feltételek (feszültség, horpadás, kifordulás) kielégüljenek.

A kifordulási szilárdságot a horpadási tényező jellemzi L/h függvényében kéttámaszú tartó esetén, ha a fesztáv L és a tartómagasság h egyenletesen megoszló terhelés mellett. A csavarási állandó meghatározását zárt, vékonyfalú szelvényre a Farkas & Jármai könyv tartalmazza [16].

2. táblázat. A sajátfrekvenciák és a csillapítási tényezők mért értékei

Próbatest	A			B			C		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
f_i (Hz)	32	196	536	33	200	543	52	255	648
η_i	0.0125	0.0028	0.0015	0.012	0.0032	0.0028	0.052	0.057	0.053



6. ábra. Különböző keresztmetszetek, HFB, TFB, CFB, SFB és hegesztett I-szelvény

3. táblázat A TFB, CFB, SFB és hegesztett I-tartók keresztmetszet területe és inercianyomatéka

Szelvénytípus	$A_{min} / W_0^{2/3}$	$I_x / W_0^{4/3}$
TFB	0.536347	2.95464
CFB	0.513517	4.12001
SFB	0.536256	3.64304
I-beam	0.554165	2.70677

Látható, hogy a zárt övű szelvények mindegyikénél a kifordulási szilárdság nagyobb,

mint a hegesztett I-szelvényt. A körcső szelvénytél CFB lévő magas érték ζ_{opt} értékéből adódik, ami jóval nagyobb a körcsőnél $\zeta_{opt} = \frac{2h_f}{h} = 0.81$, mint a TFB és SFB szelvényeknél.

A négy különféle szelvény optimális méretezése minimális tömegré maximális hajlításból adódó feszültség és határkarcsúság esetén, összehasonlítást tesz lehetővé a tömeg, a

kifordulási merevség és a lehajlás vonatkozásában (3. táblázat). A zárt övű szelvények (HFB) tömege kisebb, mint az I-tartóé.

4. táblázat A kifordulási tényezők χ_{LT} összehasonlítása

φ	TFB	CFB	SFB	I-szelvény
1	0.5275	0.8974	0.5146	0.3536
2	0.3181	0.8052	0.3153	0.1346
3.33	0.2075	0.7052	0.2068	0.0702
10	0.0769	0.4031	0.0769	0.0216

A HFB főtengeleyére számított inercianyomaték nagyobb, emiatt a lehajlás kisebb, mint az I-szelvénynél. A kihajlási tényező a $\varphi = L/10h$ függvényében nagyobb a HFB szelvények esetén, mint I-szelvényre (4. táblázat). Ezen reális összehasonlítások teszik lehetővé, hogy a tervező a megfelelő szelvényt választhassa ki.

5 Megmunkálási költségek

Régebben szerkezetoptimaláson a minimális tömeget jelentő szerkezeti méretek meghatározását értették. Napjainkban is vannak olyan optimáló módszerek, melyek nem tudják kezelni a költségeket, de más szempontból előnyösek. Ahhoz, hogy gazdaságos szerkezetet tervezzünk egy olyan helyzetben, amikor a megmunkálási költséget jelentősen emelkednek, a lehető legtöbb költségelemet figyelembe kell vennünk. A szerkezet költsége az anyag-, gyártási-, szállítási-, szerelési- és fenntartási költségek összege. Gyártási költségelemek a hegesztési-, vágási-, előkészítési-, összefűzési-, festési-, stb. költségek.

4. táblázat Alkalmazott hegesztési technológiák

SMAW	Bevont elektródás kézi ívhegesztés
SMAW HR	Nagy hozamú bevont elektródás kézi ívhegesztés
GMAW-C	CO ₂ védőgáz ívhegesztés
GMAW-M	Kevertgáz ívhegesztés
FCAW	Porbeles ívhegesztés
FCAW- MC	Fémbeles ívhegesztés
SSFCAW (ISW)	Önvédő porbeles ívhegesztés
SAW	Fedettívű automatikus hegesztés
GTAW	Argon védőgázos wolfram elektródás ívhegesztés

Mivel nem lehet olyan költségadatokhoz jutni, melyek a világ minden részén érvényesek, ezért mi az időt választottuk alapnak, mely az egyes munkafázisokat jellemzi. A gyártási idő függ a technológiai fejlettségi szinttől és a gyártótól és ez áll legközelebb a tényleges gyártási folyamathoz.

Az egyes gyártási fázisokhoz szükséges gyártási idő meghatározása után besorozható a fajlagos gyártási költséggel, mely az ország fejlettségi szintjét képviseli [12].

A költségfüggvény a következő

$$K = K_m + K_f = k_m \rho V + k_f \sum_i T_i \quad (4)$$

ahol K_m és K_f az anyag- és gyártási költségek, k_m és k_f a fajlagos költségek, ρ a sűrűség, V a szerkezet térfogata, T_i a gyártási részidők.

5.1 A hegesztés időigénye

Az (4) képlet írható a következő alakban

$$\frac{K}{k_m} = \rho V + \frac{k_f}{k_m} (T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7) \quad (5)$$

$$\text{ahol } T_1 = C_1 \Theta_d \sqrt{\kappa \rho V} \quad (6)$$

az előkészítés, összeillesztés és összefűzés ideje, Θ_d a bonyolultsági fok, κ az összeszerelt elemek száma.

A (6) összefüggést Lihtarnikov [17] javasolta. Lemezes szerkezet esetén, ha κ a lemezelemek száma, a gyártási részidő arányos a kerülettel, az i -edik elemnél $T_i = c_1 P_i$. Az elem tömege arányos a kerület négyzetével $G_i = c_2 P_i^2$, így $P_i = c_3 \sqrt{G_i}$ és

$$T_i = c_4 \sqrt{G_i}. \text{ A teljes szerkezetre átlagban } G = \kappa G_i \text{ és } T_1 = \kappa T_i = c_5 \kappa \sqrt{G/\kappa} = c_6 \sqrt{G\kappa}.$$

A hegesztés ideje

$$T_2 = \sum_i C_{2i} a_{wi}^{1.5} L_{wi} \quad (7)$$

ahol a_{wi} a varrat mérete, L_{wi} a varrat hossza, C_{2i} az adott hegesztési technológiához tartozó állandó. Fogyóelektródás kézi ívhegesztésnél $C_2 = 0.8 \cdot 10^{-3}$, CO₂ védőgáz ívhegesztésnél $C_2 = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ min/mm}^{2.5}$.

$$T_3 = \sqrt{\Theta_d} \sum_i C_{3i} a_{wi}^{1.5} L_{wi} \quad (8)$$

további gyártási tevékenységekhez szükséges idő, mint elektródacsere, salakolás, sorjázás, stb. $C_3 = 1.2 \cdot 10^{-3} \text{ min/mm}^{2.5}$. A (6,7,8) összefüggéseket Pahl és Beelich [18] javasolta.

Ott & Hubka [19] javasolta a következőt

$$C_3 = (0.2-0.4) C_2 \text{ átlagban } C_3 = 0.3 C_2$$

Így a $T_2 + T_3$ számítására szolgáló módosított összefüggés a következő, elhanyagolva $\sqrt{\Theta_d}$ -t.

$$T_2 + T_3 = 1.3 \sum_i C_{2i} a_{wi}^{1.5} L_{wi} \quad (9)$$

A COSTCOMP [20] szoftver, melyet a Holland Hegesztési Intézet fejlesztett ki, megadta a hegesztési részidőket különböző varratípus, varratméret, hegesztési technológia esetén (4. táblázat) [21]. Felhasználva a (9) képletet egy

általános összefüggést dolgoztunk ki hegesztési idők meghatározására.

$$T_2 + T_3 = 1.3 \sum C_{2i} a_w^n L_{wi} \quad (10)$$

A COSTCOMP program pontokat adott meg az adatok alapján. A közelítő-függvények meghatározásához a Curve Expert programot használtuk (5. táblázat, 7. ábra).

5.2 Lemezegyengetés

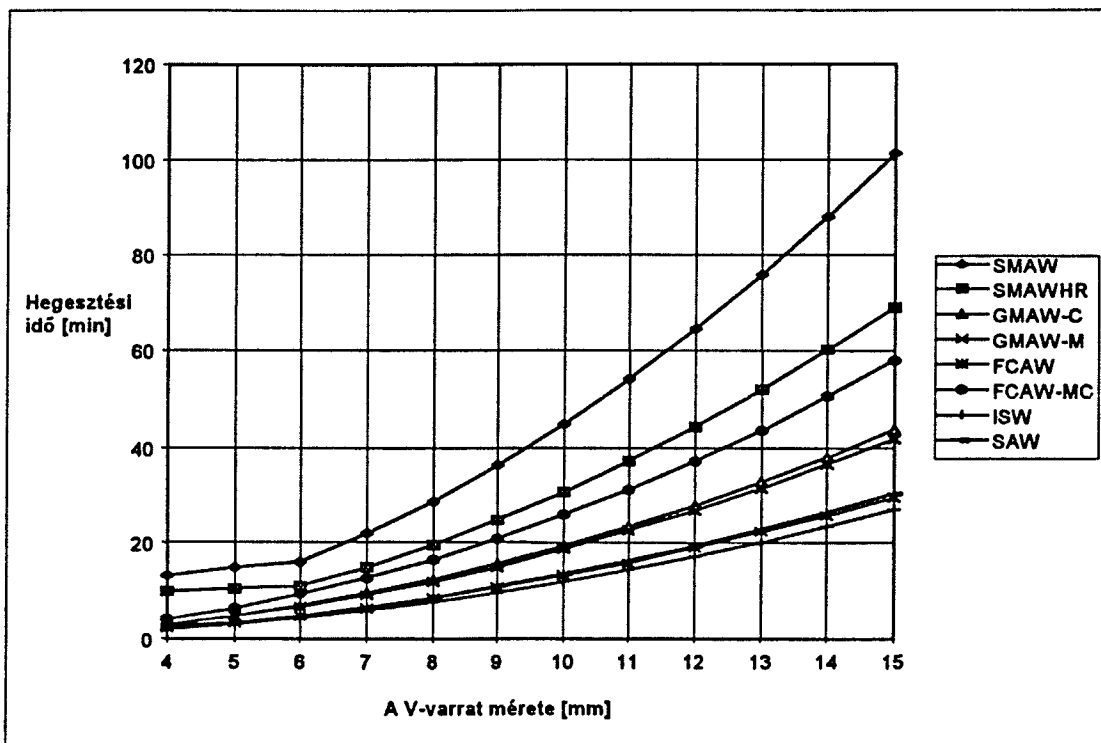
Különböző cégeknél különböző időt adnak meg lemezegyengetésre. T_4 [min] függ a

lemezvastagságtól (t [mm]), a lemez felületétől (A_p [mm²]).

$$T_4 = \Theta_{de} \left(a_e + b_e t^3 + \frac{1}{a_e t^4} \right) A_p \quad (11)$$

ahol $a_e = 9.2 \cdot 10^{-4}$ [min/mm²], $b_e = 4.15 \cdot 10^{-7}$ [min/mm⁵], Θ_{de} a nehézségi fok ($\Theta_{de} = 1,2$ vagy 3). függ a lemez alakjától.

7. ábra Hegesztési idő T_2 (min) V hossz-sarokvarrat esetén a dolgozó méret a_w (mm) függvényében



5. táblázat Hegesztési idők T_2 (min/mm) a varratméret a_w (mm) függvényében hosszirányú 1/2 V és V varratra

Hegesztési technológia	a_w [mm]	$10^3 T_2 = 10^3 C_2 a_w^n$	$10^3 T_2 = 10^3 C_2 a_w^n$
SMAW	4-6 6-15	$3.13a_w$ $0.5214a_w^2$	$2.7a_w$ $0.45a_w^2$
SMAW HR	4-6 6-15	$2.14a_w$ $0.3567a_w^2$	$1.8462a_w$ $0.3077a_w^2$
GMAW-C	4-15	$0.2245a_w^2$	$0.1939a_w^2$
GMAW-M	4-15	$0.2157a_w^2$	$0.1861a_w^2$
FCAW	4-15	$0.1520a_w^2$	$0.1311a_w^2$
FCAW-MC	4-15	$0.2993a_w^2$	$0.2582a_w^2$
SSFCAW (ISW)	4-15	$0.1384a_w^2$	$0.1194a_w^2$
SAW	4-15	$0.1559a_w^2$	$0.1346a_w^2$

5.3 Felületelőkészítési költség

A felületelőkészítés a felület tisztítását jelenti, homokfúvást, stb. Függs a felület méretétől (A_s [mm²]):

$$T_5 = \Theta_{ds} a_{sp} A_s \quad (12)$$

ahol $a_{sp} = 3 \cdot 10^{-6}$ [min/mm²], Θ_{ds} a nehézségi tényező.

5.4 Festési idő

A festés alapozó és fedőfestést jelent. Függs a festett felület méretétől (A_s [mm²]):

$$T_6 = \Theta_{dp} (a_{gc} + a_{lc}) A_s \quad (10)$$

ahol $a_{gc} = 3 \cdot 10^{-6}$ [min/mm²], $a_{lc} = 4,15 \cdot 10^{-6}$ [min/mm²], Θ_{dp} a bonyolultsági tényező, $\Theta_{dp} = 1,2$ vagy 3 horizontális, függőleges vagy fejfeletti festésnél.

5.5 Vágási és lemezköszörülési idő

A vágás és lemezsél köszörülés különféle technológiákkal is megvalósítható. A vágás végezhető acetilén-gáz, stabilizált gázkeverék és propángáz alkalmazásával normál és nagy sebességgel.

A vágási idő meghatározható a COSTCOMP program alkalmazásával. A normál sebességű acetilénnek van a legnagyobb vágási ideje és a nagy sebességű propángáznak van a legkisebb.

A vágási költségfüggvény függ a lemezvastagságtól (t [mm]) és a vágási hosszától (L_c [mm]) adott technológia esetén:

$$T_7 = \sum_i C_{7i} t_i^n L_{ci} \quad (11)$$

ahol t_i a lemezvastagság [mm], L_{ci} a vágási hossz [mm].

5.6 Összköltség

Az összköltség az előbbi költségek összegeként adódik. Csak a gyártással közvetlenül összekapcsolható költségeket tartalmazza. A beruházási költség, ami szintén nagyon fontos, azért marad ki, mert ebben az esetben a teljes gyártmánystruktúrára kellene a költségszámítást elvégezni. Az amortizáció szintén bevehető, de összekapcsolódik a beruházással.

A fajlagos anyagköltség $k_m = 0,5-1$ \$/kg között változik, a fajlagos munkaköltség $k_f = 0-1$ \$/min között változik. k_f/k_m aránya 0 - 2 kg/min között változik. Ha $k_f/k_m = 0$, akkor tömegminimumra méretezünk. $k_f/k_m = 2,0$ nagyon magas gyártási költséget jelent (Japán, USA), $k_f/k_m = 1,5$ és 1,0 egy Nyugat-Európai, $k_f/k_m = 0,5$ egy fejlődő országbeli gyártási költséget jelent.

Azon tervezési példánál, ahol relatíve kevés a hegesztés, mint például futódaruhidak hegesztett szekrénytartójánál, a gyártási költség az összköltség 29 - 35 %-a. Olyan esetben, mint a bordázott lemezeknél, ahol relatíve sok varrat szükséges, a gyártási költség az összköltség 46 - 71 %-a a technológiától függően.

6 Új ígertes területek

A szakértői rendszerek, genetikus algoritmusok, ideghálók új, ígertes területek az optimálás számára. Az optimálási algoritmusok beépíthetők szakértői rendszerbe, a legjobb szerkezetvariáns meghatározására [22,23]. Az ideghálók, neural networks jól alkalmazhatók függvényközelítésre, különösen akkor, ha a függvénymeghatározás számításigényes [24]. A genetikus algoritmusok nagyon hatékonyak nem konvex optimálási problémák megoldására.

6.1 Szakértői rendszerek alkalmazása fémszerkezetek optimális méretezésénél

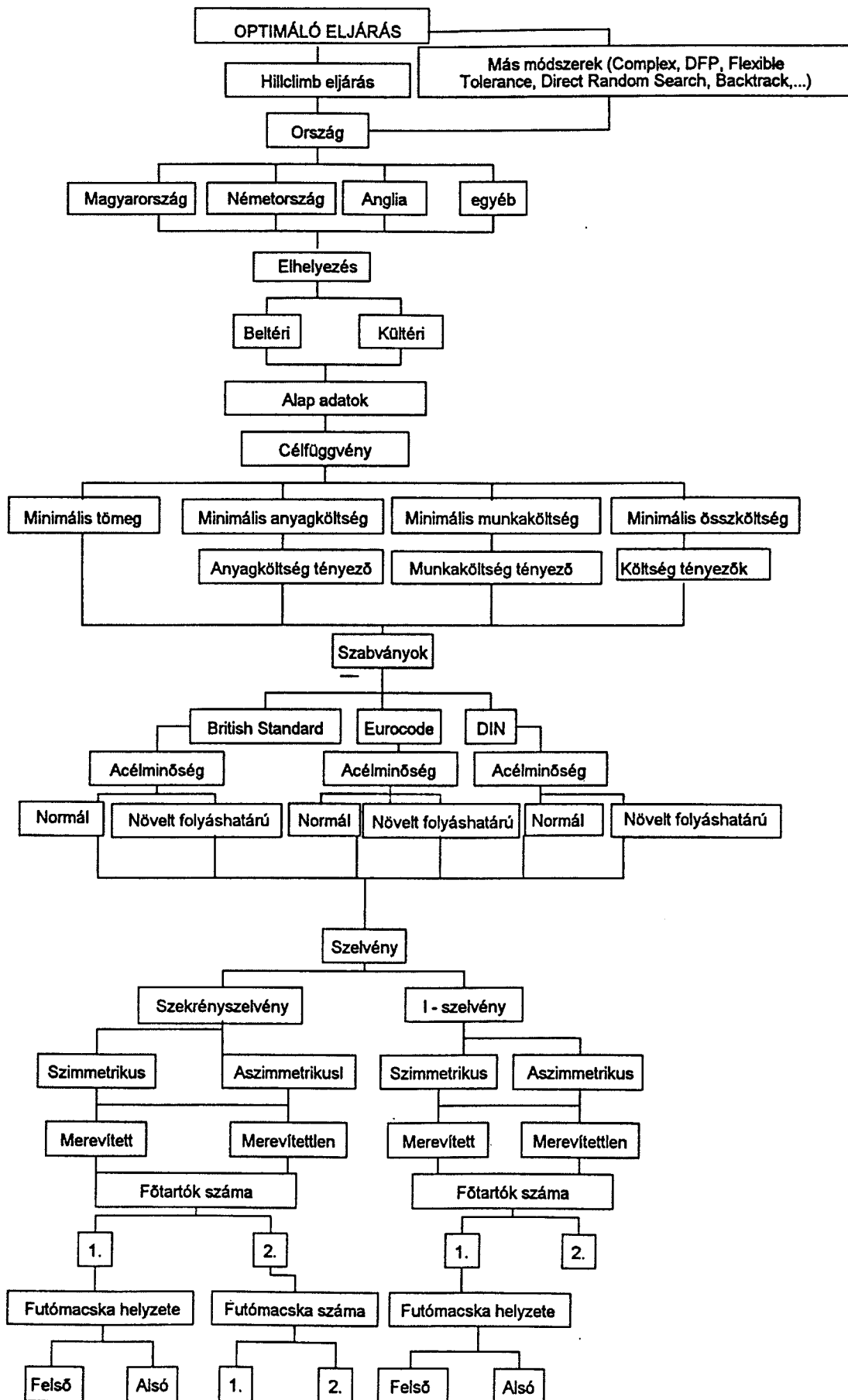
A gépek és szerkezetek tervezése komplex eljárás, amely kreatív gondolkodást, intuitív tudást és pontos analízist igényel. Az elmúlt évtizedekben a számítástechnika jelentős fejlődése volt tapasztalható, mind hardver, mind szoftver oldalon. Egyre gyorsabb és olcsóbb számítógépek számos, főként kvalitatív számítási eljárás segít a tervezők munkáját, mint például a végeles módszer, az optimáló programok, a szimulátorok, stb.

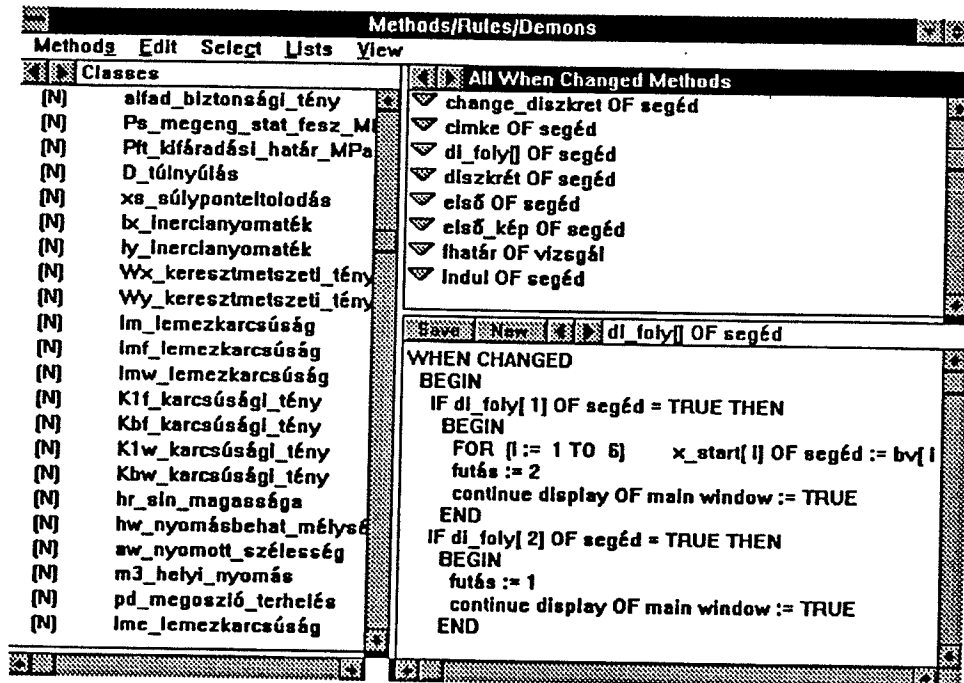
Miközben ezen programok jelentősen segítik a tervezőt a szerkezet "mennyiségi" jellemzőinek vizsgálatában, a kvalitatív eredmények levonásának lehetősége kicsi.

A mesterséges intelligencia és a tudásbázisú rendszerek lehetővé teszik a szerkezet számítógépes kvalitatív vizsgálatát. A tárolt tudásbázis segítségével a fejlett programok egy sor új problémát tudnak megoldani. Amikor a tudásbázis nagysága összemérhető egy szakértő tudásával, akkor szakértői rendszert kapunk. A szakértői rendszerek lehetővé teszik, hogy laikus felhasználó oldjon meg a számítógép segítségével problémákat, felhasználva a rendszer által felajánlott tudást.

A szakértői rendszer olyan eszköz, mellyel tudást lehet átruházni. Az adott terület szakértői ezen eszköz segítségével átadhatják problémamegoldó képességüket a felhasználónak.

A szakértői keretrendszerek azon szoftverek, melyek lehetővé teszik egy szakértői rendszer kifejlesztését anélkül, hogy a mesterséges intelligenciához használatos LISP, vagy PROLOG programnyelveket ismerné a programfejlesztő. Természetesen ezek készülhetnek valamely





9. ábra A szakértői rendszer osztályai, eljárásai

Futódaru optimális tervezése			
File OKI			
Dytemez szélesség	737.43417461	Optimalizálás	0] adatok
Dytemez vastagsága	19.40704933	Diszkortizálás	VEGF
Főperfor. vastagsága	13.9910383		
Másodlagos perfor.vastagsága	11.99954191		
Serlecsvastagság	1596.591908		
Dytemezharpadása	0.34396279	34.39627912	
Főperfor. harpadása	0.34063179	34.06317912	
Másodlagos perfor. harpadása	0.21651468	21.65146779	
Folyási laléte)	50.09579941	32.35117818	
Lahallás	8.35724008	20.05737618	
Kihárado	39.29891675	23.53228548	
Geometriai terhelés	0.46188019	92.37603811	

10. ábra. Futási eredmények

magasszintű programozási nyelv felhasználásával is: FORTRAN, C, PASCAL.

A keretszoftverek előnye, hogy adott metodikát alkalmazva végigkísérik a fejlesztőt a szoftveralkotás útján. Annak ellenére, hogy általában nagy szabadságot adnak, mégis ebben áll hátrányuk is, ha valaki le kíván térni az "ösvényről" [25].

6.2 A LEVEL 5 OBJECT keretrendszer rövid ismertetése

A LEVEL 5 OBJECT (L5O) [26] egy objektum-orientált szakértői rendszer. Interaktív, Windows-bázisú felhasználói felülettel rendelkezik. Saját nyelve van, a Production Rule Language (PRL). A PRL szintaktikai rendszere diagramokat készít a tudásbázis logikájának bemutatására. Automatikusan rendszerosztályokat hoz létre a tudásbázis beépítése során. A felhasználó

széleskörű lehetőségekkel rendelkezik az eszközevezérlés, a filekezelés, az adatbázis felhasználása és egyéb Windows szolgáltatások tekintetében. Számos a felhasználót segítő szolgáltatással rendelkezik:

- relációs adatbázisokat kezel (RDB),
- grafikus fejlesztő rendszere van,
- minden Windows szolgáltatással rendelkezik,
- mind előre-, mind hátraláncolásos következtetőgépe van.

A rendszer nagy előnye, hogy beírva a szükséges számítási összefüggéseket, a további hiányzó információkat, adatokat számítás közben maga kéri be.

A Level 5 Object használata esetén az optimalálás és a szakértői keretrendszer kapcsolata sokkal szervezesebb, az optimáló program beépítésre került a keretrendszer saját nyelvén. A számítás elvégzése során maga a keretrendszer kérdez rá a hiányzó változók értékeire. Ebben az esetben a Hillclimb algoritmus került beépítésre és egycélfüggvényes optimalálást végez tömegminimumra, ami térfogatminimumot jelent adott anyag esetén. A logikai struktúrát a 8. ábra mutatja. A 9-10 ábrák a szakértői rendszer belső felépítését, az objektumokat, az eljárásokat, az adatbevitelt és a végeredményeket mutatják.

A futódaru fő adatai:

Hasznos terhelés $H = 240$ kN, fesztáv $L = 25$ m, futómacska tömegterhelés $G_f = 30$ kN, futómacska keréktáv $k = 2.5$ m, sínmagasság $h_r = 50$ mm, sántékmeg $p_r = 80$ kg/m, Young rugalmassági modulusz $E = 2.06$ GPa, darucsoport A7, acélminőség 43. A gerincmerevítő $120 \times 80 \times 8$ mm szögacél.

Az optimális szelvény méretei a következők:

$$\begin{aligned} h &= 1260 \text{ mm} \\ t_{w1} &= 6 \text{ mm} \\ t_{w2} &= 5 \text{ mm} \\ b &= 700 \text{ mm} \\ t_r &= 18 \text{ mm} \end{aligned}$$

Ez az eredmény az aszimmetrikus gerincmerevítővel ellátott egy futómacskás szekrényszelvény méreteire adódott diszkrét értékekkel.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunkát az OTKA 22864 és 19003 projekteken keresztül támogatta az Országos Tudományos Kutatási Alap. Ezúton is köszönetet mondok egykori tanárainknak, későbbi kollégáimnak akiktől sokat tanultam és tanulok most is.

Hivatkozások

- [1] Box, M. J.: A new method of constrained optimization and a comparison with other methods. *Computer Journal*, 1965, Vol. 8. pp. 42-52.
- [2] Himmelblau, D. M.: Applied nonlinear programming. *Mc Graw-Hill Book Co.* New York. 1971.
- [3] Rosenbrock, H. H.: An automatic method for finding the greatest or least value of a function. *Computer Journal*. 1960, Vol. 3. pp. 175-184.
- [4] Weisman, J.: MINIMAL, a combined optimisation technique Ph. D. Dissertation, University of Pittsburgh. Pittsburgh, Pa. 1968.
- [5] Pappas, M.: An improved direct search numerical optimization procedure. *Computers and Structures*, 1980, Vol. 11. pp. 539-557.
- [6] Powell, M. J. D.: A method for minimising a sum of squares of nonlinear functions without calculating derivatives. *Computer Journal*, 1965, Vol. 7. pp. 303-307.
- [7] Zhou, J.L., Tits, A.: User's guide for FSQP Version 3.0: a Fortran code for solving optimization problems. *Systems Research Center*, University of Maryland, Techn. Report SRC-TR-90-60 rlf, College Park. 1992.
- [8] Svanberg, K.: The method of moving asymptots (MMA) with some extensions. *Optimization of Large Structural Systems*, NATO/DFG ASI Seminar, Berchtesgaden, 1991. Lecture notes, 1991, Vol. 1. pp. 55-66.
- [9] Walkner, R. J.: An enumerative technique for a class of combinatorial problems, *Combinatorial analysis. Proceedings of Symposia in Applied Mathematics*, 1960, Vol. 10. American Mathematical Society, Providence R. I.
- [10] Fiacco, A. V., Mc Cormick, G. P.: Nonlinear programming: sequential unconstrained minimization techniques, *Wiley*, New York. 1968.
- [11] Jármai, K.: Single- and multicriteria optimization as a tool of decision support system. *Computers in Industry*, Elsevier Applied Science Publishers, 1989, Vol. 11, No. 3. p. 249-266.
- [12] Farkas, J., Jármai, K.: Fabrication cost calculation and optimum design of welded steel silos, *Welding in the World*, Pergamon Press, 1996, Vol. 37. No. 5, pp. 225-232.
- [13] Farkas, J., Jármai, K.: Static stiffness and vibration damping of sandwich beams containing rubber and fiber reinforced plastic layers, *Inter-noise 97*, August 25-27, 1997, Budapest, Proceedings Vol. II. pp. 617-

620. Noise Control Engineering Foundation, Poughkeepsie, USA, ISBN 963 8241 64 0.
- [14] Dempsey, R.I.: *Hollow flange beam member design manual*, Palmer Tube Technologies Pty Ltd. Queensland, Australia, 1993.
- [15] Pi, Y.L. & N.S. Trahair: *Lateral-distortional buckling of hollow flange beams*, *J. Struct. Engng ASCE*, 1997, Vol. 123, pp.695-702.
- [16] Farkas, J., Jármai, K.: *Analysis and Optimum Design of Metal Structures*. Balkema Publishers, Rotterdam, Brookfield, 1997, 347 p. ISBN 90 5410 669 7.
- [17] Likhtamnikov, Y.M., *Metal Structures*. (in Russian) 1968, Stroyizdat, Moscow.
- [18] Pahl, G. and Beelich, K.H., *Kostenwachstumsgesetze nach Ähnlichkeitsbeziehungen für Schweissverbindungen*. *VDI-Bericht*, Nr. 457, 1992, pp. 129-141, Düsseldorf.
- [19] Ott, H.H. and Hubka, V.: *Vorausberechnung der Herstellkosten von Schweisskonstruktionen*. *Proc. Int. Conference on Engineering Design ICED*, 1985, Hamburg, pp. 478-487. Heurista, Zürich.
- [20] **COSTCOMP**, *Programm zur Berechnung der Schweisskosten*. 1990, Deutscher Verlag für Schweissttechnik, Düsseldorf.
- [21] Bodt, H.J.M.: *The Global Approach to Welding Costs*. The Netherlands Institute of Welding, 1990, The Hague.
- [22] Jármai, K.: *Szakértői keretrendszer és a szerkezetoptimalás összekapcsolása*. *Géptervezők VIII. Országos Szemináriuma*, Miskolci Egyetem, 1991, május 30-31. Konferencia kiadvány 110-114.old.
- [23] Jármai, K., Farkas, J.: *Application of expert system at the optimum design of tubular trusses of belt-conveyor bridges*. *Tubular Structures VI. International Symposium*, 14-16. Dec. 1994. Monash University, Melbourne, Australia. Proceedings, Balkema Publishers, Rotterdam, Edited by P.Grundy, A.Holgate, B.Wong, 1994, pp. 405-410.
- [24] Jármai, K.: *Expert systems and artificial neural networks in structural optimization*. *International Symposium on Design of Metal Structures*, December 12, 1997. University of Miskolc, Hungary. Publications of the University of Miskolc, Series C, Mechanical Engineering, Edited by K. Jármai, 1997, Vol. 47. pp.111-122. HU ISSN 0237-6016
- [25] Jármai, K., Somogyi, Zs., Mészáros, L.: *Optimization of main girders of overhead travelling cranes by expert systems*. *MicroCAD'94*, Febr. 25-29. 1994. University of Miskolc, Proceedings, Session J. Materials Handling, Logistics and Robotics, pp. 48-55.
- [26] **LEVEL 5 OBJECT**, *Reference Guide*, **FOCUS** Integrated Data and Knowledge-Based Systems, *Information Builders*, 1250 Broadway, New York, 1990.
- [27] Eurocode 3.: *Design of steel structures. Part 1.1. General rules and rules for buildings*. *CEN European Committee of Standardization*, Brussels. 1992.



A G-510-es tanulókör 1978-ban a főépület előtt