

HEGESZTÉS TECHNIKA

XXX. ÉVFOLYAM
2019. 3. SZÁM



A MAGYAR HEGESZTÉSTECHNIKAI ÉS ANYAGVIZSGÁLATI EGYESÜLÉS FOLYÓIRATA

Making our world more productive



www.lindegas.hu

TARTALOM

1 MHE Egyesületi és Személyi hírek MHE Association and Personal News MHE Vereinigungs-, und Persönliche Nachrichten

Ginsztler János	3
Beszámoló a C-VIII-as bizottság munkájáról a 2019. évi 72. IIW közgyűlésen	7
Hegesztők, európai szintű, munkaalapú oktatása	8
Folytatódik a Nemzetközi Hegesztőspeciálisták képzése	8
Újabb Nemzetközi Hegesztőtechnológus képzés zárult	9
Szemelvények a Nemzetközi Hegesztési Intézet	10
72. Közgyűléséről és a Nemzetközi Konferenciáról	10
Nemzetközi/Európai kiemelt (IWP/EWP) hegesztő tanfolyam vizsgáról	14
Újlesztett az IAB	15
MHE Akadémia – tervezett tanfolyamok 2019-ben	18
Az MHE társ- és más intézmények folyóiratainak témái	19
3rd International Conference	20
on Vehicle and Automotive Engineering VAE2020	

2 Országos Tanácskozás National Conference Nationale Konferenc

DR. JÁRMAI KÁROLY

Hegesztett szerkezetek költségtakarékos kialakítása	23
Cost-effective production of welded structures	23
Erzeugung von geschweißten Konstruktionen kostengünstig	23

SIMONKAY VERONIKA

A Biodom építése	31
Building the Biodom	31
Der Aufbau den Biodom	31

ERDŐ IMRE

Európai szintű vasúti jármű gyártás, javítás, és karbantartás, európai szintű gyártásfelügyelő képzés	35
Rolling stock production on European level	35
Eisenbahnfertigung auf europäischen Niveau	35

FORGÁCS PÉTER

Intelligens, Ipar 4.0 feltételeihez igazodó XHT-01-es huzalelőtoló fejlesztése a FORTRANS Kft.-nél	37
Intelligent, Industry 4.0 compliant development of XHT-01 wire feeder at FORTRANS Kft.	37
Entwicklung von Drahtvorschubgeräte XHT-01 bei der FORTRANS Kft., konform mit Intelligent, Industrie 4.0	37

BIRÓ TAMÁS

Robothegeztés a darugyártásban	41
Manufacturing crane using robotic welding	41
Roboteranwendung im Kranbau	41

DR. FARKAS ATTILA

A robothegeztés tervezése a hegesztési felelős szemszögéből	47
Ideas for planning robotic welding according to the coordinator's view	47
Entwurf Schweißen mit Roboter wie es sieht der Schweißbeauftragter	47

DR. GREMSPERGER GÉZA PhD

EWF- rendszerű duális hegesztő képzésre vonatkozó leggyakoribb információk kérdés-felelet formában	53
Information based on frequent asked questions about welder dual training according to EWF-system	53
Information über die Dualausbildung nach EWF Lizenz erklärt mit häufig aufgestellten Fragen	53

SZABÓ JÓZSEF

Megjelent a hegesztésfelügyeleti személyzetre vonatkozó MSZ EN ISO 14731:2019	59
Recently published MSZ EN ISO 14731:2019 on welding coordination	59
Die neue Ausgabe von MSZ EN ISO 14731:2019 war ausgelegt	59

VARBAI BALÁZS, MÁJLINGER KORNÉL

A nitrogén szerepe a duplex acélok ivhegesztésekor	63
The role of nitrogen when welding duplex-steels	63
Die Rolle von Nitrogen wenn Duplex-Stähle mit Lichtbogenschweißen werden geschweißt	63

NACSA GERGELY, GYURA LÁSZLÓ

Különböző szilárdságú acélok lánggyengítési tapasztalatai	69
Experiences if using flame-straightening on different steel-grades	69
Erfahrungen wann Stählen mit verschiedenen Festigkeit werden mit Flammrichten behandelt	68

VARGA ZSOLT

Az MSZ EN ISO 15614-1:2017 szabvány adta új lehetőségek és korlátok ismertetése	79
New possibilities and limits of MSZ EN ISO 15614-1:2017	79
Neue Möglichkeiten und Beschränkungen bezüglich von MSZ EN ISO 15614-1:2017	79

3 Kutatás-Fejlesztés Research and Development Forschung und Entwicklung

KÓVÁGÓ CSABA, MÁJLINGER KORNÉL, LEHEL JÓZSEF

A hegesztési füst szilárd részecskéinek egészségügyi hatásai a szakirodalom és saját vizsgálat tükrében	92
---	----

PROF. DR. JÁRMAI KÁROLY, ERDŐS ANTAL

Szemelvények a nemzetközi hegesztési intézet XI, XIII és XV-ös bizottságai munkájából	103
---	-----

4 Sajtóközlemények Press release Pressemitteilungen

How does IIW/EWF educations match with (EN) ISO 14731:2019	96
--	----

STEFANIE NÜCHTERN-BAUMHOFF

SIKERSZTORI – Áramforrások és robotok egy kézről	100
--	-----

Cimlapon: Linde Gáz Ma. Zrt. – Making our world more productive
A Magyar Hegesztéstechnikai és Anyagvizsgáló Egyesülés szakfolyóirata
Periodical of the Hungarian Association of Welding Technology and Material Testing
Zeitschrift der Ungarischen Vereinigung für Schweißtechnik und Material Prüfung

Dr. Jármai Károly*

Hegesztett szerkezetek költségtakarékos kialakítása

1. Bevezetés

Egy szerkezet költségei anyag, gyártási, szállítási, szerelési és fenntartási költségekből állnak. Hegesztett szerkezetek gyártási költségei vágási, előkészítési (összeállítási és fűzési), hegesztési, járulékos (elektroda-csere, salakozás, letisztítás) és festési költségekből tevődnek össze. Nehéz olyan költségfüggvényt megfogalmazni, amely általános érvényű, mert a költségek változnak az időben, erősen függenek az illető ország műszaki fejlettségétől és egy országon belül is az egyes vállalatok felszereltségétől, rezsiköltségeitől stb. Klausek & Kravanja [1], Jalkanen [2], Tímár et al. [3], Happio [4]. Azért, hogy összehasonlítás céljából tudjunk költségeket számolni, alapul vesszük a hegesztési időkre nemzetközileg mért adatokat, és ezeket szorozzuk egy szélesebb tartományban változtatható költségtényezővel. Hegesztési költségek számításával foglalkozott Pahl és Beelich [5], Ott és Hubka [6], továbbá alapul szolgálhatnak a Holland Hegesztési Intézet által kifejlesztett COSTCOMP [7] szoftver (Bodt [8]) adatai.

2. A költségfüggvény

Anyag- és hegesztési költségeket tartalmazó költségfüggvény esetén

$$K = K_m + K_f = k_m \rho V + k_f \sum_i T_i \quad (1)$$

ahol K_m és K_f az anyag- és gyártási költségek, k_m és k_f az anyag- és gyártási költségtényezők, ρ az anyagsűrűség, V szerkezet térfogat, T_i a gyártási idők. (m - material = anyag, f - fabrication = gyártás). Az (1) képlet az alábbi alakban írható

$$\frac{K}{k_m} = \rho V + \frac{k_f}{k_m} (T_{w1} + T_{w2} + T_{w3}) \quad (2)$$

ahol

$$T_{w1} = C_1 \theta \sqrt{\kappa \rho V} \quad (3)$$

az előkészítési, összeállítási és fűzési idő, θ a bonyolultsági tényező, κ az összehegesztendő elemek száma.

A (3) képlet az alábbiak szerint vezethető le (Lihtarnikov [9]). Egy κ számú elemből álló lemezes szerkezet előkészítési (vágási) ideje arányos az elemek kerületével, az i -edik elemre $T_i = c_3 P_i$. Egy elem tömege arányos a kerület négyzetével

Szerkezet	Varratok	60°-os tompavarrat	90°-os sarokvarrat
Síkbeli	Hosszú varratok, vízszintes helyzet	1.0	2.0
Térbeli	Rövid varratok, síkbeli elemek	1.5	2.5
Térbeli	U- és L-szelvények, csövek	2.0	3.0
Térbeli	I- és T-szelvények	2.5	4.0

1. táblázat. A θ bonyolultsági tényező javasolt értékei. Ferdeszögű kötések esetén 1-2 pontot célszerű hozzáadni

$G_i = c_2 P_i^2$, tehát $P_i = c_3 \sqrt{G_i}$ és $T_i = c_4 \sqrt{G_i}$. A teljes szerkezetre átlagosan $G = \kappa G_i$ és $T_1 = \kappa T_i = c_5 \kappa \sqrt{G/\kappa} = c_6 \sqrt{G\kappa}$.

A bonyolultsági tényező a szerkezet térbeli összetettségét, az összeszerelés bonyolultságát fejezi ki, néhány javasolt értéke a 1. táblázatban látható.

A hegesztési idő

$$T_{w2} = \sum_i C_{2i} a_{wi}^n L_{wi} \quad (4)$$

a_{wi} a varratméretek, L_{wi} a varrathosszak, C_{2i} és n az alkalmazott hegesztés-technológiától és varratlaktól függő tényezők. A járulékos hegesztési időkre Pahl és Beelich eredetileg az alábbi képletet javasolta:

$$T_{w3} = \sum_i C_{3i} a_{wi}^n L_{wi} \quad (5)$$

Ott és Hubka [6] szerint

$C_3 = (0.2-0.4)C_2$ átlagban $C_3 = 0.3C_2$. Ezért a $T_{w2} + T_{w3}$ időkre összesen, elhanyagolva a $\sqrt{\theta}$ szorzót

$$T_{w2} + T_{w3} = 1.3 \sum_i C_{2i} a_{wi}^n L_{wi} \quad (6)$$

3. Hegesztési idők

A COSTCOMP által megadott adatok az alábbi hegesztés-technológiákra vonatkoznak:

SMW	Shielded Metal Arc Welding	Bevont elektródás kézi ívhegesztés
SMW-HR	Shielded Metal Arc Welding, High Recovery	Bevont elektródás mélybeolvadású kézi ívhegesztés
GMAW-CO ₂	Gas Metal Arc Welding with CO ₂	CO ₂ védőgázos ívhegesztés
GMAW-Mix	Gas Metal Arc Welding with mixgas	Kevert védőgázos ívhegesztés
FCAW	Flux Cored Arc Welding	Porbeles elektródás ívhegesztés
SAW	Submerged Arc Welding	Fedőporos ívhegesztés
GTAW	Gas Tungsten Arc Welding	Wolfram elektródás ívhegesztés

Az alábbi táblázatokban (3-6) megadtuk a hegesztési időkre vonatkozó C_i és n tényezőket a COSTCOMP adatai alapján.

Hegesztési módszer	a_w (mm)	$10^3 T_{w2} = 10^3 C_2 a_w^n$
SMW	0 - 15	$0.7889 a_w^2$
GMAW-CO ₂	0 - 15	$0.3394 a_w^2$
SAW	0 - 15	$0.2349 a_w^2$
GMAW-Mix	0 - 15	$0.3258 a_w^2$

2. táblázat. T_{w2} (min) hegesztési idők az a_w (mm) varratméret függvényében vályús helyzetben hegesztett hossz-sarokvarratokra

Hegesztési módszer	a_w (mm)	$10^3 T_{w2} = 10^3 C_2 a_w^n$
SMAW	4 – 6	3.13 a_w
	6 – 15	0.5214 a_w^2
GMAW- CO ₂	4 – 15	0.2245 a_w^2
SAW	4 – 15	0.1559 a_w^2
GMAW-Mix	4 – 15	0.2157 a_w^2

3. táblázat. T_{w2} (min) hegesztési idők az a_w (mm) varratméret függvényében 1/2 V hossz-tompavarratokra vályús helyzetben hegesztve

Hegesztési módszer	a_w (mm)	$10^3 T_{w2} = 10^3 C_2 a_w^n$
SMAW	4–6	2.7 a_w
	6–15	0.45 a_w^2
GMAW- CO ₂	4–15	0.1939 a_w^2
SAW	4–15	0.1346 a_w^2
GMAW-Mix	4–15	0.1861 a_w^2

4. táblázat. T_{w2} (min) hegesztési idők az a_w (mm) varratméret függvényében V hossz-tompavarratokra vályús helyzetre

Hegesztési eljárás	a_w (mm)	$10^3 T_{w2} = 10^3 C_2 a_w^n$
SMAW	10 – 40	0.3539 a_w^2
GMAW- CO ₂	10 – 40	0.1520 a_w^2
SAW	10 – 40	0.1053 a_w^2
GMAW-Mix	10 – 40	0.1462 a_w^2

5. táblázat. T_{w2} (min) hegesztési idők az a_w (mm) varratméret függvényében K- hossz-tompavarratokra vályús helyzetre

Hegesztési eljárás	a_w (mm)	$10^3 T_{w2} = 10^3 C_2 a_w^n$
SMAW	10 – 40	0.3451 a_w^2
GMAW- CO ₂	10 – 40	0.1496 a_w^2
SAW	10 – 40	0.1033 a_w^2
GMAW-Mix	10 – 40	0.1433 a_w^2

6. táblázat. T_{w2} (min) hegesztési idők az a_w (mm) varratméret függvényében X-hossz-tompavarratokra vályús helyzetre

Megjegyezzük, hogy a SAW-ra vonatkozó adatok 1.7-tel vannak beszorozva, mert a COSTCOMP-ban a költségtényezőkre különböző értékek vannak számítva.

4. A lemezgyenetés időigénye

A lemezgyenetés időigénye (T_{FP} [min]) elsődlegesen a lemezvastagságtól (t [mm]) és a lemezfelülettől (A_p [mm²]) függ. Vállalatok adatai alapján függvényközelítéssel meghatározható az időigény matematikai alakja.

$$T_{FP} = \theta_{de} (a_e + b_e t^3 + \frac{1}{a_e t^4}) A_p \quad (7)$$

ahol $a_e = 9.2 \cdot 10^{-4}$ [min/mm²], $b_e = 4.15 \cdot 10^{-7}$ [min/mm⁵], θ_{de} a bonyolultsági tényező ($\theta_{de} = 1,2$ vagy 3). A tényező értéke a lemez alakjától függ.

5. Felület-előkészítési időigénye

A felület-előkészítés jelenti a felület tisztítását, rozsdátlanítását, homokszórását, stb. A felület-tisztítási idő értéke a felület nagysága alapján A_s [mm²] meghatározható a következő alakban:

$$T_{SP} = \theta_{ds} a_{sp} A_s \quad (8)$$

ahol $a_{sp} = 3 \cdot 10^{-6}$ [min/mm²], θ_{ds} a bonyolultsági tényező. Itt is a bonyolultsági tényező értékének megválasztása teszi lehetővé a tervezőnek, hogy belátása szerint igazítsa a számítást a valósághoz.

6. Festési idő

A festés legalább két részből áll, alapozás és fedőfestés. A festési idő arányos a felülettel (A_s [mm²]), annak pozíciójával.

$$T_P = \theta_{dp} (a_{gc} + a_{tc}) A_s \quad (9)$$

ahol $a_{gc} = 3 \cdot 10^{-6}$ [min/mm²], $a_{tc} = 4.15 \cdot 10^{-6}$ [min/mm²], θ_{dp} a bonyolultsági tényező, $\theta_{dp} = 1,2$ vagy 3 vízszintes, függőleges és fejeletti festésre.

7. Vágási és él-lekőszőrülési idők

A vágási idő a vastagság és hossz függvényében (t [mm], L_e [m]):

$$T_{CP} = \theta_{dc} (a_{fc} + b_{fc} t^2) L_e \quad (10)$$

ahol

Technológia	a_{fc} [hour/m]	b_{fc} [hour/m/mm ²]
kézi kőszőrülése	$4.12 \cdot 10^{-2}$	$6.82 \cdot 10^{-3}$
lángvágásra	$5.033 \cdot 10^{-2}$	$2.47 \cdot 10^{-4}$
gépi lángvágásra	$3.45 \cdot 10^{-2}$	$2.28 \cdot 10^{-4}$

θ_{dc} bonyolultsági tényező, értékei $\theta_{dc} = 1,2$ vagy 3 .

A lemezvágási vágási idő különböző technológiákkal, különböző varratalakok esetén a vastagság és hossz függvényében (t [mm], L_{ci} [m]) (7-8. táblázat):

$$T_{CP} = \sum_i C_{CPi} t_i^n L_{ci} \quad (11)$$

Vágási technológia	Vastagság t [mm]	$10^3 t T_{CP} = 10^3 C_{CP} t^n$
Acetilén (átlag-sebesség)	2-15	$1.1388 t^{0.28}$
Acetilén (nagy sebesség)	2-15	$0.9561 t^{0.28}$
Stabilizált gázkeverék (átlag-sebesség)	2-15	$1.1906 t^{0.28}$
Stabilizált gázkeverék (nagy sebesség)	2-15	$1.0858 t^{0.28}$
Propán (átlag-sebesség)	2-15	$1.2941 t^{0.28}$
Propán (nagy sebesség)	2-15	$1.1051 t^{0.28}$

7. táblázat. Lemezvágsági idők T_{CP} (min/mm) hossz-sarokvarratokra és I-, V-, 1/2 V tompavarratokra

Vágási technológia	Vastagság t [mm]	$10^3 T_{CP} = 10^3 C_{CP} t^n$
Acetilén (átlag-sebesség)	10-40	$0.8529t^{0.38}$
Acetilén (agy sebesség)	10-40	$0.6911t^{0.38}$
Stabilizált gázkeverék (átlag-sebesség)	10-40	$0.8991t^{0.38}$
Stabilizált gázkeverék (nagy sebesség)	10-40	$0.6415t^{0.44}$
Propán (átlag-sebesség)	10-40	$0.9565t^{0.38}$
Propán (nagy sebesség)	10-40	$0.7870t^{0.38}$

8. táblázat. Lemezvágsági idők TCP (min/mm) X- és K hossz-tompavarratokra

7.1 Csőelemek kézi vágása és élkösörülése

Csőszerkezeteknél a költségek között nagy súlyt jelent a csőelemek kézi vágása és élkösörülése. A következő összefüggést használjuk a gyártási időre (Farkas & Jármái 1997)

$$T_{CG} = \theta_{dc} \sum_i \frac{2\pi d_i}{\sin \phi_i} (4.54 + 0.4229 t_i^2), \quad (12)$$

ahol a gyártási költségtényező Tizani et al. [10] alapján $40 \text{ \$/h} = 0.6667 \text{ \$/min}$, és a bonyolultsági tényező $\theta_{dc} = 3$. A rácsrúd átmérője d_i m-ben, vastagsága t_i mm-ben. ϕ az övrúd és a rácsrúd által bezárt szögét jelenti. Megjegyezzük, hogy Glijnis (1999) javasolt egy összefüggést az oxigénnel történő vágásra CNC géppel:

$$K_{CG}(\text{\$}) = \frac{2.5\pi d_i}{(350 - 2t_i)0.3 \sin \phi_i}, \quad (13)$$

ahol 350 mm/min a vágási sebesség, 0.3 a hatékonysági tényező, d_i és t_i méretek mm-ben.

8. Lézer hegesztés és vágás

8.1 Lézer-hegesztés

A lézer-hegesztésre jellemző a koncentrált energia-bevitel, amely nagy sebességet tesz lehetővé és így csökkenti a vetemedést. Az ívhegesztéshez viszonyítva, a lézer-hegesztés sokkal többféle anyagra alkalmazható és 20 mm lemezvastagságig egy réteggel valósítható meg.

$$S = 1/\ln T = 1/(a + bt^{0.5}) \text{ [mm/min]} \quad (14)$$

$a = -0.05918578241974762$
 $b = -0.02448968345282072$

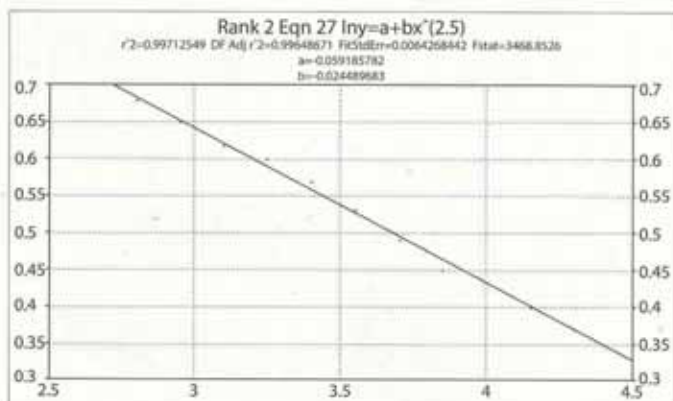
A lézer-hegesztés a GTAW eljárásához hasonló jellemzőkkel rendelkezik. A legtöbb esetben nem igényel járulékos töltőanyagot. Az elektronsugaras hegesztéstől eltérően nem igényel vákuumot, így költsége kisebb.

Acéllemezek lézer-hegesztési sebességét az idő T [min] és a lemezvastagság t [mm] függvényében a 1. ábra adja meg.

8.2 Acél illetve alumínium lézer-vágása (2. ill. 3. ábra)

Vékony acéllemezek lézer-vágása	Vékony alumíniumlemezek lézer-vágása
$S = 1/\ln T = 1/(a + bt^{0.5})$ [min/mm]	$S = 1/T = 1/(a + b/t^2)$ [min/mm]
$a = 2.191688010897978$ $b = -0.2715627600304911$	$a = 1$ $b = 19.04761904761905$

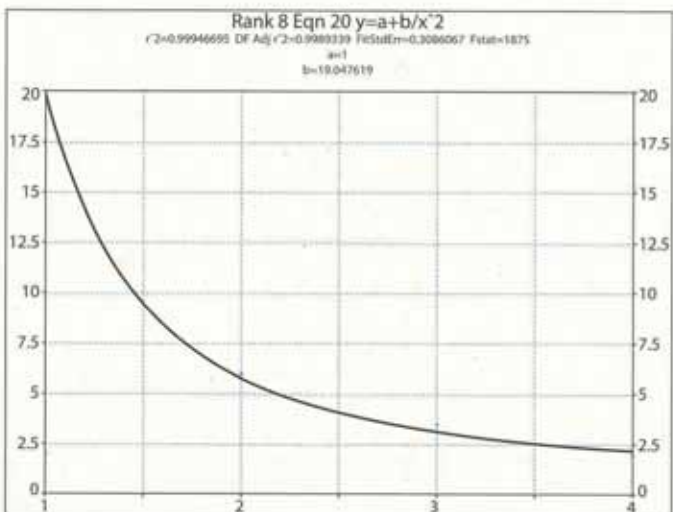
(15)



1. ábra. Lézer-hegesztési sebessége [mm/min] a lemezvastagság t [mm] függvényében

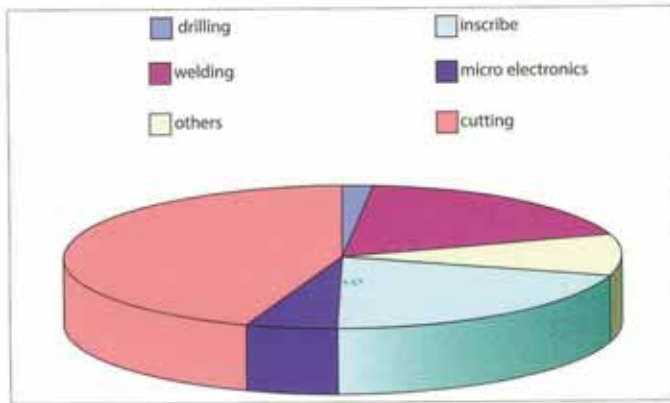


2. ábra. Acél lézer-vágási sebessége [mm/min] a lemezvastagság t [mm] függvényében

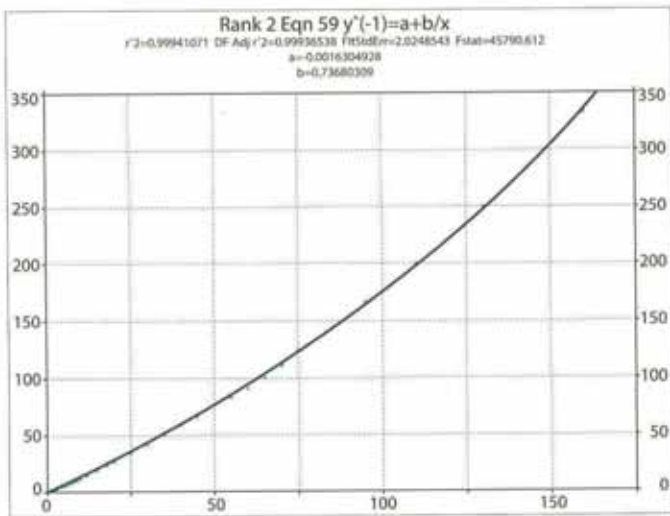


3. ábra. Alumínium lézer-vágási sebessége [mm/min] a lemezvastagság t [mm] függvényében

A lézersugár tipikusan 0.2 mm átmérőjű és $1-2 \text{ kW}$ teljesítményű. A lézer a legjobban a szén- és ausztenites acélokön működik. Az alumínium- és rézötvezetek lézer-vágása nehezebb, mert hajlamosak elnyelni a lézersugarat.



4. ábra. A lézer-alkalmazás arányai különböző gyártási eljárásokban: welding – hegesztés, cutting – vágás, inscribe – bevézés, drilling – fúrás, micro electronics – mikroelektronika, others – egyéb



5. ábra. Acélok vizsugaras vágási ideje a lemezvastagság függvényében [idő/vastagság]

A 4. ábra mutatja a lézer-alkalmazás arányait különböző gyártási eljárásokban. A leggyakrabban a lézer-vágás kerül alkalmazásra.

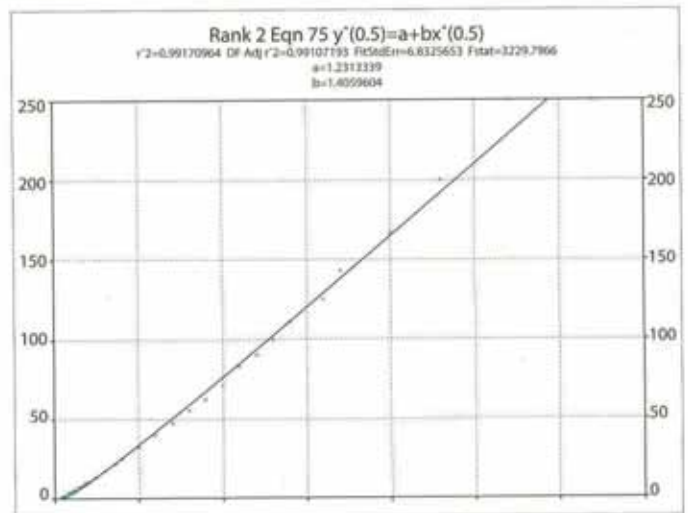
8.3 Acél- illetve ausztenites acél vizsugaras vágása (5. ill. 6. ábra)

A vizsugaras vágás az anyagok széles körére alkalmazható, magas nyomású vizsugárral vagy víz és koptatóanyag sugarával.

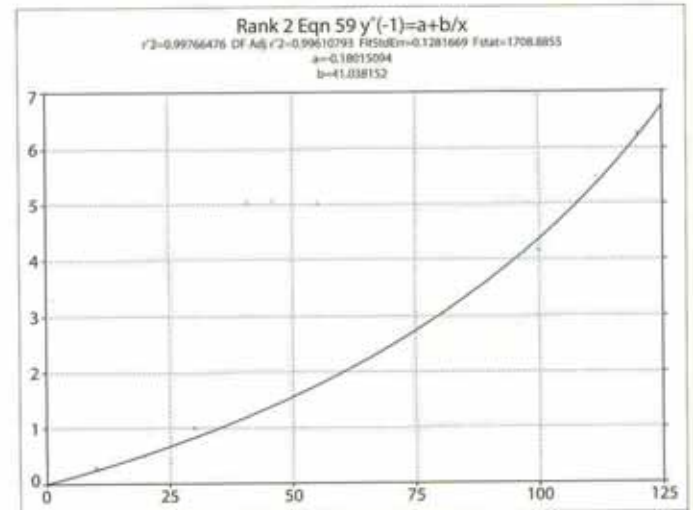
Vizsugaras vágás, szénacél	Vizsugaras vágás, ausztenites acél, 3500 bar	
$S = 1/T = a + b/t$ [m/min]	$S = 1/T^{0.5} = 1/(a + bt^{0.5})$ [m/min]	(16)
$a = -0.001630492750216705$	$a = -1.231333913075542$	
$b = 0.7368030917264656$	$b = 1.405960445076508$	

8.4 Acél- illetve ausztenites acél plazmavágása (7. ill. 8. ábra)

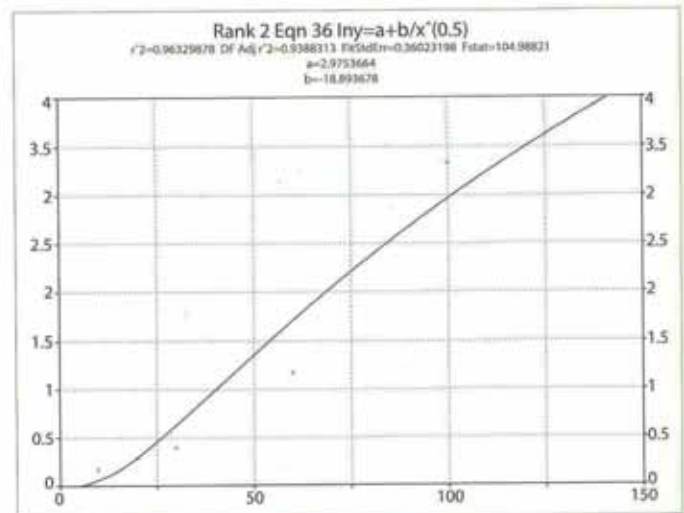
A plazma hőmérséklete 5500 °C -tól 28.000 °C-ig terjedhet. A gázt levegővel, vízzel vagy széndioxiddal használjuk.



6. ábra. Ausztenites acél vizsugaras vágási ideje a lemezvastagság függvényében [idő/vastagság]



7. ábra. Acélok plazma vágási ideje a lemezvastagság függvényében [idő/vastagság]



8. ábra. Ausztenites acél plazma vágási ideje a lemezvastagság függvényében [idő/vastagság]

Auszténites acél plazmavágása Aluminium plazmavágása

$$S=1/T=a+b/t \text{ [m/min]} \quad S=1/\ln T=1/(a+b/t^{0.5}) \text{ [m/min]} \quad (17)$$

$$a=-0.1801509431963638 \quad a=2.97536641707248$$

$$b=41.03815214608195 \quad b=-18.8936784318449$$

9. A lemezelemek hajlítása héj alakra

A lemezelemek hajlítási ideje héj alakra függ a héj alakjától, sugarától és a lemez vastagságától. Ha hengeres a héj, akkor a hajlítási idő számítása egyszerűbb, a következő módon:

$$T_{F0i} = \theta e^{\mu}, \quad (18)$$

$$\mu = 6.8582513 - 4.527217 t_i^{0.5} + 0.009541996 (2R_i)^{0.5}, \quad (19)$$

ahol t_i a héjszegmens vastagsága, R_i a héj sugara, a bonyolultsági tényező értéke $\theta=3$. A közelítés érvényes $R_{\max} = 1500$ és $t = 30$ mm-ig.

Ha a héj kissé kúpos, akkor minden szegmens görbülete eltérő, így az összidő az egyes szegmensek gyártási idejéből tevődik össze

$$K_{F0} = \sum_{i=1}^n k_f T_{F0i} \quad (20)$$

10. Tűzvédelmi bevonat költségei

A tűzvédelmi festékek (intumescent painting) pótlólagos bevonatként kerülnek fel az acél felületére. A hő hatására habosodó festék ára jelentősen szór, már Európában is. Mi a számítások során 20 \$/m², vagy 60 \$/m² értékekkel számoltunk, fél- és egyórás tűzvédelmet figyelembe véve.

$$T_{IP} = \theta_{dp} a_{ip} A_s, \quad (21)$$

ahol a felület nagysága alapján A_s [mm²].

11. Összköltség

Az összköltség az előző költségelemek összeadásából adódik (a szerkezettől függően valamelyik elem zérus lehet természetesen).

$$\frac{x}{k_m} = \rho V + \frac{k_f}{k_m} (T_{W1} + T_{W2} + T_{W3} + T_{W4} + T_{FP} + T_{SP} + T_P + T_{CP} + T_{CG} + T_{IP} \dots) \quad (22)$$

Felvéve a következő tartományokat $k_m = 0.5-1.5$ \$/kg, $k_f = 0-1$ \$/min, a k/k_m arány $0-2$ kg/min között változik. Ha $k/k_m = 0$, akkor kapjuk a tömegminimumot. Ha $k/k_m = 2.0$ ez a magas munkaköltségű országokat jelenti (Japán, USA), $k/k_m = 1.5$ és 1.0 a fejlett országokat jelenti (Nyugat-Európa), $k/k_m = 0.5$ a fejlődő országokat jelenti. Ha a termelékenységi mutatók hasonlóak is, a gyártási költségek a különböző bérköltségek miatt jelentősek az egyes országokban.

12. Optimális méretezés

A szerkezetoptimalálás során a mérnöknek jól kell ismernie a szerkezet viselkedését, a feszültségeket, alakváltozásokat, a stabilitási viselkedést, a sajátfrekvenciát, a rezgés csillapítást, stb. Másik fontos elem a megbízható optimaláló módszer alkalmazása az optimum megtalálása során. A kérdés mindig ugyanaz: melyik a legjobb, a legmegbízhatóbb el-

járás? A válasz az, hogy az a legjobb módszer, amelyiket a felhasználó a legjobban ismer. Egyik algoritmus sem tökéletes. Mindegyiknek van előnye és hátránya is.

Szerkezetoptimalálással kapcsolatos munkánk során számos algoritmust alkalmaztunk az évtizedek alatt. Ezek ismertetésre is kerültek könyveinkben és számos mérnöki alkalmazáson keresztül Farkas és Jármái [11,12,13,14,15]. A legtöbb eljárást módosítani kellett, hogy mérnöki alkalmazásra hatékony legyen.

Nagyszámú egy célfüggvényes optimaláló algoritmus létezik, amint azt ismertettük is a könyvekben. A deriváltat nem igénylő módszerek közül a következők: Komplex, Rugalmas Tolerancia, Hillclimb. Első deriváltat igénylő módszerek: Sequential Unconstrained Minimization Technique (SUMT), Davidon-Fletcher-Powell, stb. Második deriváltat igénylő módszerek: Newton, Sequential Quadratic Programming, SQP, a Feasible SQP. Vannak az optimaláló módszereknek más osztályai is, mint például az Optimalitási Kriteérium módszer (OC), vagy olyan diszkrét módszer, mint a Backtrack, az entrópia-alapú módszerek, és nagy számban metaheurisztikus módszerek, mint a részecskecsoport, a méh, a kakukk, a kulturális, a hangya kolónia [16], stb.

A több célfüggvényes optimaláló módszerek akkor fontosak, amikor több célfüggvény együttes figyelembevétele mellett kompromisszumos megoldást keresünk.

A célfüggvény (több célfüggvényes optimalálásnál több célfüggvény), a tervezési változók, a paraméterek és a méretezési feltételek határozzák meg az optimalálási problémát.

12.1. Tervezési változók, előre megadott paraméterek

A szerkezetet leíró mennyiségek két nagy csoportba sorolhatók: előre megadott paraméterek és tervezési változók. A különbség az közöttük, hogy az első csoport elemei rögzítettek az optimalálás során, a második csoport elemei, a tervezési változók az optimalálás során változnak. Ezek a paraméterek határozzák meg a szerkezet geometriáját, anyagi viselkedését. A tervező joga eldönteni, melyik mennyiség lesz rögzített, melyik változik. Ezek lehetnek a keresztmetszet-területek, az elem méretek, vastagságok, a szerkezeti elemek hossza, az anyag mechanikai és fizikai jellemzői, az elemek száma (topológia), a szerkezet alakja, stb.

Például egy egyszerű tartónál ezen mennyiségek a következők lehetnek: 1. a tartó feszítávja, 2. a keresztmetszet méretei, területe, 3. az alkalmazott anyag jellemzői (rugalmassági modulus, folyáshatár, sűrűség), 4. terhelések, erők, nyomatékok, 5. a tartó alakja, 6. a támaszok jellege, 7. a támaszok száma. Ezek egy része lehet tervezési változó, az összes többi előre megadott paraméter.

12.2. Méretezési feltételek

A szerkezetanalízis írja le a szerkezet viselkedését. Ez összefoglalóan jelentheti a szerkezetben az erőket, a feszültségeket, az alakváltozásokat, a sajátfrekvenciákat, a csillapítási tényezőket, stb. A „viselkedés” ezen jellemzői adják meg a méretezési feltételeket. A tervezési változók értékei jellemzik a tervezés alatt álló szerkezetet. Ha a tervezési változók adott értékei teljesítik a feltételeket (a feszültségek, az alakváltozások, stb. kisebbek, mint a megengedett) akkor a tervezés megfelelő. Ezek a feltételek jelentik az optimális méretezés során a méretezési feltételeket.

12.3. Az optimális méretezés egyenletei

Az egycélfüggvényes optimalálás matematikai megfogalmazása a következő:

Az egycélű függvényes optimálás matematikai megfogalmazása a következő:
minimálja a célfüggvényt

$$f(x) \quad x_1, x_2, \dots, x_N \quad (22)$$

a következő feltételek mellett

$$g_j(x) \leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, P, \quad (23)$$

$$h_i(x) = 0 \quad i = P + 1, \dots, P + M, \quad (24)$$

ahol $f(x)$ egy többváltozós nemlineáris függvény, $g_j(x)$ és $h_i(x)$ nemlineáris egyenlőtlenségi és egyenlőségi feltételek.

13. Példa hegesztett szerkezet optimálására

Az alábbi kéttámaszú, hegesztett I-szelvény optimálásán keresztül mutatjuk be a számítás menetét (9. ábra).

Célfüggvény a gerenda költsége a (2) képlet alapján.

Változók: az I-szelvény méretei, h gerincmagasság, t_w gerincvastagság, b övszélesség, t_f öv vastagság.

Adott: fesztáv $L = 6$ m, koncentrált erő: $P = 100$ kN, anyagminőség: S355JR

Méretezési feltételek: gerinchorpadás, övhorpadás, feszültségkorlátozás.

Az MSZ EN 1993-1-2 a következőt adja az acélminőségre:

$$\epsilon = 0.85 \sqrt{235 / f_y} = 0.8136 \text{ az S355JR acél esetén} \quad (25)$$

Az MSZ EN 1993-1-1, 5.2 táblázata [17], határkacúságra a következőt adja meg:
gerinclemez:

$$\frac{h}{t_w} \leq 69 \epsilon, \quad 69 \epsilon = 56.14 \quad (26)$$

övolemez:

$$\frac{b}{t_f} \leq 28 \epsilon, \quad 28 \epsilon = 22.78 \quad (27)$$

A hajlítónyomaték

$$M = \frac{PL}{4} = 1.5 \times 10^8 \text{ Nmm} \quad (28)$$

Az optimum esetén az aktuális értékek:
gerinclemez horpadás:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{261}{5} = 52.20 < 56.14 \quad (29)$$

övolemez horpadás:

$$\frac{b}{t_f} = \frac{174}{9} = 19.33 < 22.78 \quad (30)$$

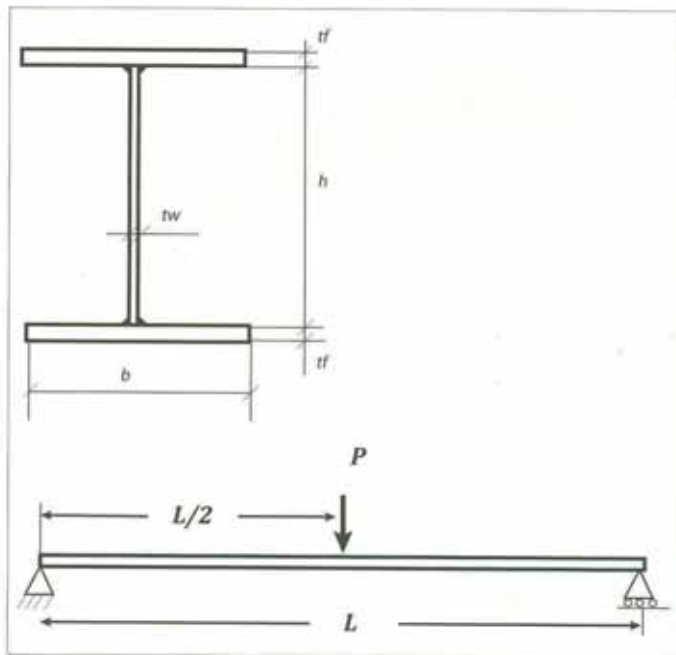
inercianyomaték:

$$I_x = \frac{h^3 t_w}{12} + 2bt_f \left(\frac{h}{2}\right)^2 + 2 \frac{bt_f^3}{12} = 60768042.8 \text{ mm}^4 \quad (31)$$

keresztmetszeti tényező

$$K_x = \frac{I_x}{h} = 465655.5 \text{ mm}^3 \quad (32)$$

normál feszültség



9. ábra. A hegesztett I-tartó terhelése és keresztmetszete

$$\sigma = \frac{M}{K_x} = 322.12 \text{ MPa} < \frac{f_y}{1.1} = \frac{355}{1.1} = 322.72 \quad (33)$$

A költség az anyagköltségből, a hegesztési előkészületi és a tényleges hegesztési időből adódik. A bevontelektrodás kézi, a CO₂ védőgázas és a fedőporos hegesztés esetén a költséget jelentősen különböztetik: 574.5, 399.2 és 358.4 kg a K/k_m értéke $k/k_m = 1$ esetén, mely közepesen fejlett országnak felel meg (9. táblázat).

Költség	SMAW	GMAW-CO ₂	SAW
anyag	208.9	208.9	208.9
heg. előkészítési	57.8	57.8	57.8
tényleges hegesztési	307.7	132.4	91.7
	574.5	399.2	358.4

9. táblázat. Költségeloszlás különböző hegesztési technológiák esetén

14. Összefoglalás

A cikk bemutatja, hogyan célszerű egy előtervezést végezni a költségek figyelembevételével. Látható, hogy a hegesztési és egyéb költségek jelentősek lehetnek egy szerkezetnél és figyelembevételük eltérő optimális méreteket eredményezhet. A hegesztési és vágási technológiák helyes megválasztása csökkentheti a költségeket. A beruházási, amortizációs költségek nem kerültek figyelembevételre, mert ehhez a gyártmánystruktúra ismerete szükséges. Az optimális méretezés matematikai módszerei segítenek a legjobb megoldás megkeresésében, adott feltételek és célfüggvény esetén. Egyszerű számpéldán mutatjuk be a módszer alkalmazhatóságát, ahol egy hegesztett I-szelvény optimálása történt többféle hegesztési technológiával. Optimális méretezéssel megbízhatóan meghatározhatjuk a legkisebb költségű szerkezetet.

Köszönetnyilvánítás

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

Irodalomjegyzék

- [1] Klansek,U. & Kravanja,S. (2006a) Cost estimation, optimization and competitiveness of different composite floor systems – Part 1. Self manufacturing cost estimation of composite and steel structures, *Journal of Constructional Steel Research*, 62 No. 5, pp. 434-448.
- [2] Jalkanen,J. (2008) Multicriteria tubular truss optimization, in Design, fabrication and economy of welded structures: International Conference Proceedings, Miskolc, Hungary, 2008, 24-26 April, Horwood Publishers, Chichester, UK, 2008. pp. 71-78.
- [3] Timár,I., Horváth,P. & Borbély,T. (2003) Optimierung von profilierten Sandwichbalken, *Stahlbau*, 72, No. 2. 109-113.
- [4] Happio J (2012) Feature-based costing method for skeletal steel structures based on the process approach. Tampere University of Technology, Publication 1027. UniPrint TTY, 99 p. ISBN 978-95215-2785-2
- [5] Pahl,G. & Beelich,K.H. (1992) Kostenwachstumsgesetze nach Ähnlichkeits-beziehungen für Schweiss-verbindingen. *VDI-Bericht*, Nr. 457, 129-141, Düsseldorf.
- [6] Ott,H.H. & Hubka,V. (1985) Vorausberechnung der Herstellkosten von Schweiss-konstruktionen (Fabrication cost calculation of welded structures). *Proc. Int. Conference on Engineering Design ICED*, 1985, Hamburg, 478-487. Heurista, Zürich.
- [7] COSTCOMP (2002) *Programm zur Berechnung der Schweisskosten*. Deutscher Verlag für Schweisstechnik, Düsseldorf.
- [8] Bodt,H.J.M. (1990) *The Global Approach to Welding Costs*. The Netherlands Institute of Welding, The Hague.
- [9] Likhtarnikov,Y.M. 1968: *Stalnie konstrukcii*, Stroyizdat, Moszkva.
- [10] Tizani,W.M.K., Yusuf,K.O., Davies,G. & Smith,N.J. (1996) A knowledge based system to support joint fabrication decision making at the design stage – Case studies for CHS trusses. *Tubular Structures VII*. Eds Farkas,J. & Jármái,K. Rotterdam-Brookfield, Balkema, 483-489.
- [11] Farkas,J. & Jármái,K. (1997) *Analysis and Optimum Design of Metal Structures*. Balkema Publishers, Rotterdam, Brookfield.
- [12] Farkas J. & Jármái K. (2003) *Economic design of metal structures*, Millpress Science Publisher, Rotterdam, 340 p. ISBN 90 77017 99 2.
- [13] Farkas,J. & Jármái,K. (2008) Design and optimization of metal structures, Horwood Publisher, Chichester, UK, 300 p. ISBN 978 1-904275-29-9.
- [14] Farkas,J.,Jármái,K. (2013) *Optimum design of steel structures*, Springer Verlag, Heidelberg, 2013. 288 p. ISBN 978-3-642-36867-7, <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-36868-4>
- [15] Farkas József, Jármái Károly (2015) *Fémszerkezetek innovatív tervezése*, Gazdász-Elasztik Kiadó és Nyomda, 2015, 592 old. ISBN 978-963-358-064-6
- [16] Brownlee J. (2011) *Clever Algorithms: Nature-Inspired Programming Recipes*, Lulu, ISBN: 978-1-4467-8506-5.
- [17] EN 1993-1-1: Eurocode 3: Acélszerkezetek tervezése. 1.1. rész: Általános szabályok. Általános és az épületekre vonatkozó szabályok
- [18] EN 1993-1-2: Eurocode 3: Acélszerkezetek tervezése. 1.2. rész: Általános szabályok. Tartószerkezetek tervezése tűzterherre.

Dr. Jármái Károly
egyetemi tanár, Miskolci Egyetem

Minőségbiztosítási kollégát keresünk a KÉSZ csoporton belül az

ARC-Design Kft.

részére az alábbi fő feladatokra Magyarország egész területén történő munkavégzésre:

- Acélszerkezet szerelési munkák minőségellenőrzése
- Helyszíni hegesztések ellenőrzése
- Minőségellenőrzési tervek végrehajtása, végrehajtatása
- Beszállítók rendszeres ellenőrzése
- Beérkező áruk helyszíni átadás-átvételének felügyelete és ellenőrzése
- Előírások betartatása a kivitelezésben dolgozó kollégákkal
- Projekt átadási dokumentációk elkészítésében együttműködés a kivitelező kollégákkal a teljes kivitelezési feladat során
- Helyszíni ellenőrzési jegyzőkönyvek készítése, készíttetése, nyomon követése
- Hegesztési varratérmékek készítése
- Alvállalkozók ellenőrzése
- Helyszíni szereléshez kapcsolódó ellenőrző eszközök hitelességének rendszeres ellenőrzése

Amennyiben a fenti lehetőség érdekes lehet, úgy keresse Seregelly Dalmát az alábbi elérhetőségén:

seregellyd@kesz.hu

További információkat a karrieroldalunkon talál: <https://karrier.kesz.hu/allas/minosegbiztositasi-munkatars-773>