

TÖMEG, KÖLTSÉG ÉS KÖRNYEZETI HATÁS MINIMÁLÁSA HEGESZTETT ACÉLSZERKEZETEKNEÉL

MINIMISING THE WEIGHT, COST AND ENVIRONMENTAL IMPACT OF WELDED STEEL STRUCTURES

Dr. Jármái Károly*

ABSTRACT

The article describes how to calculate the environmental impact of steel structures and how different welding technologies cause environmental impacts through the formation of gases during the process. The weight or direct cost of a steel structure can be minimised by optimising the structure.

KIVONAT

Az optimálás segítségével vizsgáljuk a tervezés és a gyártástechnológia, valamint a gazdaságosság kapcsolatát. Ez a három elem együttesen segít kiválasztani a legjobb lehetőséget. A szerkezeti megközelítés csak azokat a költségelemeket veszi figyelembe, amelyek közvetlenül kapcsolódnak a szerkezeti méretekhez. Egy valós szerkezet költségfüggvénye tartalmazhat anyagköltségeket, összeszerelési költségeket és egyéb gyártási költségeket, például hegesztési, felület-előkészítési, festési, vágási, élkösörülés és geometria-alakítási költségeket.

A tömegcsökkenés önmagában is csökkenti a globális környezeti hatásokat, mint a Globális felmelegedési potenciál (GWP), Ozonlebontási potenciál (ODP), a Savasodási potenciál (AP), az Eutrofizációs potenciál (EP), a Fotokémiai ózonképződési potenciál (POCP), valamint az Abiotikus kimerülési potenciál. A hegesztés vonatkozásában a különböző hegesztőhuzalok felhasználásával történő gyártás során adódó gázkibocsátások különbözők. Például fémmagos huzal, valamint az önvédő porbeles huzal esetén eltérő a szén-monoxid (CO), a szén-dioxid (CO₂) és a kén-dioxid (SO₂) gázok mennyisége, így környezeti hatása is.

1. BEVEZETÉS

Ez a tanulmány a különböző hegesztési technológiák költségszámításait hasonlítja össze környezeti és a szerkezeti megközelítéssel. Ezek a költségek a szerkezet optimalizálás célfüggvényei. Az optimalizálás segítségével vizsgáljuk a tervezés és a gyártástechnológia, valamint a

gazdaságosság közötti kapcsolatot. Ez a három tényező együttesen segít megtalálni a legjobb megoldást.

A költséghatékonyság kritikus fontosságú. A szerkezeti megközelítés költségbecslései az anyagköltségeken alapulnak, és a szerkezet méreteit, méreteit vagy alakját közvetlenül befolyásoló gyártási költségekre korlátozódnak. Az anyag-, összeszerelési, hegesztési, felület-előkészítési, festési, vágási, élcsiszolási és a lakítási költségek mind benne vannak a költségfüggvényben, amely a gyártási sorrendnek megfelelően épül fel.

Ez a módszer figyelmen kívül hagyja az egyéb költségeket, például az amortizációt, a beruházást, a szállítást és a karbantartást. A tervezés és az ellenőrzés költségei megbecsülhetők, de általában arányosak a szerkezet súlyával. A költség- és gyártási időadatok a világ számos vállalatától származnak. Ha ugyanazt a konstrukciót különböző országokban összehasonlítjuk, figyelembe kell venni a munkaerőköltségek különbségeit. Ha a gyártástechnológia azonos, akkor az befolyásolja leginkább a szerkezetet. A környezetvédelmi szemléletben figyelembe kell venni az olyan környezeti kérdéseket, mint a globális felmelegedési potenciál, az ózonlebontási potenciál, a savasodási potenciál, az eutrofizációs potenciál, a fotokémiai ózonképződési potenciál és az abiotikus kimerülési potenciál.

2. A SZERKEZETI MEGKÖZELÍTÉS KÖLTSÉGELEMEI

Ebben a megközelítésben csak a szerkezeti méretekkel közvetlenül arányos költségelemeket veszik figyelembe. Az anyagköltségek, az összeszerelési költségek és az egyéb gyártási költségek, mint például a hegesztés, a felület előkészítése, a festés, a vágás, az élcsiszolás és a geometria kialakítása mind beletartozhatnak egy valós szerkezet költségfüggvényébe. Néhány kutató, aki ezen a területen dolgozott, többek között Klansek és Kravanja [1], Farineau és társai [2], valamint Farkas és Jármái [3, 4, 5]. Mela és Heinisuo [6], valamint Kovács és Farkas [7] a na gyszilárdságú a célok esetében.

* egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet

2.1 Az anyagköltség

$$K_M = k_M \rho V, \quad (1)$$

Az acél fajlagos anyagköltsége $k_M=1,0-1,5$ \$/kg lehet a vastagságtól és a minőségtől függően, míg az alumínium fajlagos anyagköltsége $k_M=3,2-4,2$ \$/kg lehet [8]. Az anyagköltséget K_M [kg], az anyagköltségtényezőt k_M [\$/kg], a szerkezeti térfogatot pedig V [mm³] jelöli. Az acél sűrűsége $7,85 \times 10^{-6}$ kg/mm³, míg az alumínium sűrűsége $2,7 \times 10^{-6}$ kg/mm³. Több anyag felhasználása esetén az (1) egyenletben egyszerre több anyagköltségtényezőt is lehet használni.

2.2 A gyártási költség általában

A gyártási költségeket a gyártási idő és a fajlagos gyártási költségek határozzák meg, amelyek országonként eltérőek. A gyártási időt azonos technológia alkalmazása esetén a zonosnak tekintjük.

$$K_F = k_F \sum_i T_i \quad (2)$$

ahol k_F [\$] a gyártási költséget, k_F [\$/perc] a gyártási költségtényezőt, T_i [perc] pedig a gyártási időt jelenti. A k_F értékét egy adott gyártó esetében állandónak feltételezzük. Ha nem, akkor az egyenletben egyszerre különböző gyártási költségtényezőket lehet használni (2).

2.3 A hegesztéshez szükséges gyártási idők

A hegesztés teljes költségének kiszámításakor számos tényezőt kell figyelembe venni. A legnyilvánvalóbb tényező a fogyóanyagok (elektróda és védőgáz vagy védőfolyadék) költsége. A hegesztési folyamathoz kapcsolódó kevésbé nyilvánvaló (és néha figyelmen kívül hagyott) költségek a munkaerő- és a rezsiköltségek. Nem olyan egyszerű, mint amilyennek látszik, hogy a rendelkezésre álló berendezésekhez a legköltséghatékonyabb hegesztési eljárást (FCAW, GMAW, SMAW stb.) és hegesztőelektródát (huzal vagy pálcá) válasszuk ki.

Ha a hegesztőgép maximális kimeneti áramfórási 450 amperes, 60 százalékos munkaszünetű gépek, az elektróda kiválasztására adott válasz nem biztos, hogy olyan egyszerű, mint "használjuk a lehető legszélesebb huzalát méretet a legjobb lera kódási sebesség eléréséhez". A mi megközelítésünkben a hegesztési idő lesz az elsődleges számítási alap. Az előkészítés, az összeszerelés, a hegesztés, a hegesztési idő, az elektródacsere, a salakmentesítés és a forgácsolás a hegesztéssel járó fő idők.

2.4 Az előkészítési, összeszerelési és hegesztési idők számítása

Az alábbi közelítő képlet segítségével becsülhetjük meg az előkészítés, az összeszerelés és a hegesztés idejét: [9]. C_1 a hegesztési technológia paramétere (általában 1), θ_{dw} a nehézségi tényező, és az összeszerelendő szerkezeti elemek száma. A nehézségi tényező értékét a szerkezet összetettsége (sík vagy térbeli), valamint a tagok típusa (lapos, csőszerű) határozza meg. A javasolt értéktartomány 1-4 [10].

Az előkészítés, az összeszerelés és a hegesztés idejének becsüléséhez használja a következő közelítő képletet: [9].

$$T_{w1} = C_1 \theta_{dw} \sqrt{k\rho V}, \quad (3)$$

2.5 A tényleges hegesztési idő becslése

A tényleges hegesztési idő kiszámításához az alábbi képlet használható:

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

ahol a_{wi} a varratméret, L_{wi} a hegesztés hossza különböző hegesztési módszerek esetén, C_{2i} konstans. A C_{2i} nemcsak a hegesztési technológia változásait tartalmazza, hanem a pozíciós (függőleges, felülről történő) és a tipikus, lefelé irányuló kézi helyzetben történő hegesztés közötti időbeli eltéréseket is [11, 12, 13]. Az interneten különböző dokumentumok találhatóak, amelyek felhasználhatók a hegesztési sebesség kiszámításához [14, 15]. Az 1. táblázat a hosszirányú hézagoló hegesztések hegesztési idejét mutatja SMAW, GMAW-CO₂ és FCAW technológiáknál.

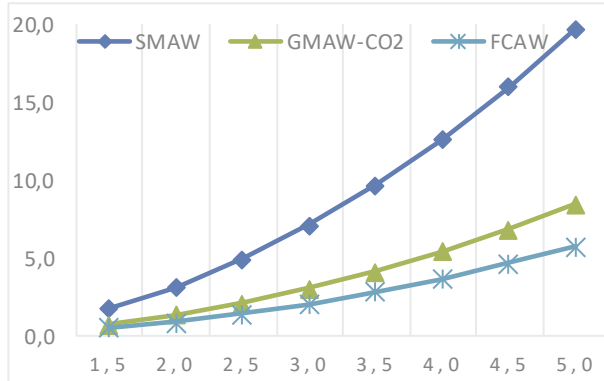
1. táblázat. T_{w2} (min/m) hegesztési idők hosszirányú hézagoló hegesztésekhez lefelé irányuló kézi helyzetben a varratméret a_w (mm) függvényében.

Hegesztési eljárás	a_w [mm]	$10^3 T_{w2}$
SMAW	1-6	$0.7889 a_w^2$
GMAW-CO ₂	1-6	$0.3394 a_w^2$
FCAW	1-6	$0.2302 a_w^2$

A technológiák rövidítései a következők: Az SMAW a bevontelektródás kézi ívhegesztést jelenti, míg a GMAW-CO₂ a CO₂-vel történő ívhegesztést, az FCAW a porbeles ívhegesztést. A hegesztési sebességekről gyűjtött adatok alapján a TableCurve 2D szoftver segítségével közelíteni tudtuk a hegesztési időt a hegesztési technológia és a hegesztett lemez vastagságának függvényében. Az új technológiák a lézeres és a TIG/GTAW hegesztés, ahogyan az 1. ábrán látható. Mint megfigyelhető, a leglassabb hegesztési módszer az SMAW (Shielded Metal Arc Welding), míg a leggyorsabb a lézerhegesztés (feltételezve, hogy a beruházási költségeket figyelmen kívül hagyjuk).

2.6 A további gyártási műveletek idejének kiszámítása

Az elektróda cseréje, a salakmentesítés és a forgácsolás néhány a figyelembe veendő további gyártási műveletek közül. Egy durva becslés, hogy mennyi időt vesz igénybe, a következő:



1. ábra. T_{w2} (perc/m) hegesztési idő hosszirányú hézagoló hegesztéseknél lefelé irányuló kézi helyzetben a varratméret a_w (mm) függvényében.

$$T_{w3} = 0.3 \sum C_{2i} a_{wi}^2 L_{wi} \quad (5)$$

Ez arányos kapcsolatban áll T_{w2} -vel. A teljes mennyiségnek körülbelül 30%-át teszi ki. A két időkomponens a következő: (1. ábra):

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

Minden egyes technológia esetében az 1/2 V, V, K és X hegesztések hegesztési ideje változik

2.7 Termikus és vízsugaras vágás

Az oxigéngáz-, a plazma-, a lézer- és a vízsugaras abráziós vágás a négy legnépszerűbb érintésmentes fémvágási technika. Az első három vágási módszer termikus, míg a vízsugaras módszer koptató erózióval vág. Ezt a négy technikát gyakran használják sík lemezek és lemezek anyagának precíz külső és belső vágásainak létrehozására [16, 17, 18, 19].

2.8. Lemezvágási és élciszolási idők

Eredetileg a termikus vágás oxigéngázzal, főként acetiléngázzal volt az egyetlen lehetőség. Az oxigénüzemű fáklya előmelegítő lángot tartalmaz, amely a vasat vagy szénacélt "gyújtási hőmérsékletre" melegíti, ami nagyjából 480 Celsius-fok. Ezt követően az acél tiszta oxigénáramnak van kitéve, amely gyors égési reakciót vált ki az acél és az oxigén között. Az olvadt anyagot, az úgynevezett salakot a vágó oxigénáram átfújja a fémen, ami viszonylag sima és egyenes vágást eredményez. A vágás és élciszolás többféle technológiával is végezhető, többek között acetilénnel,

stabilizált gázkeverékkel és propánnal, normál és nagy sebességgel. A következő paramétereket adta meg Farkas, Jármai [5]: A vastagságot milliméterben, míg a vágási hosszt milliméterben mérik.

$$T_{CP} = \sum_i C_{CPi} t_i^n L_{Ci} \quad (7)$$

A görbeillesztési számítások megadják az n értékét. A termikus folyamatoknak és az oxigéngázos folyamatoknak egyaránt két hátránya van. A vágás közelében lévő "hőhatású zónákban" a fém szerkezetét először a hő változtatja meg. Egyes metallurgiai jellemzők a vágás szélénél romolhatnak, ami előkezelést vagy vágást tesz szükségessé. Másodszor, a lézervágás kivételével a tűrések kevésbé pontosak lehetnek, mint a megmunkált vágásnál.

A fémek és néhány nem fémes a anyag figyelemreméltó pontossággal vágathatók a lézervágással, amely viszonylag új technika. A lézersugár átmérője 0,2 mm, teljesítménye pedig 1-2 kW. A lézervágás során a fúvókában lévő kis lyukon keresztül nagy sűrűségű fénysugár érkezik. Amikor ez a sugár a munkadarab felületével találkozik, a munkadarab anyaga a zonnal „szeletelődik”. A szén- és rozsdamentes acélok ideális anyagok a lézerrel történő megmunkáláshoz. Az olyan fémeket, mint a alumínium és a rézötvözetek, a lézervágás visszaverésére, valamint a hő elnyelésére és átadására való hajlamuk miatt nehezebb lézerrel vágni.

Acél vízsugaras vágása. A vízsugaras vágógép rendkívül nagy nyomású vízsugárral vagy víz és csiszolóanyag keverékével az anyagok széles skáláját képes vágni [20].

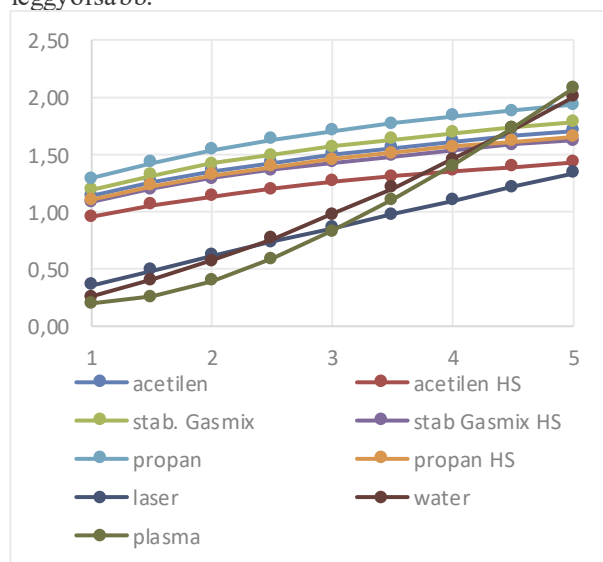
2. táblázat. Lemezvágási idő, T_{CP} (perc/mm) hosszirányú hézagolt hegesztések és T-, V-, 1/2 V tompavaratok esetében a varratméret a_w (mm) függvényében.

Vágási technológia	Vastagság t [mm]	$10^3 T_{CP}$
Acetilén (normál sebesség)	1-6	$1.1388t^{0.25}$
Acetilén (nagy sebesség)	1-6	$0.9561t^{0.25}$
Stabilizált gázkeverék (normál sebesség)	1-6	$1.1906t^{0.25}$
Stabilizált gázkeverék (nagy sebesség)	1-6	$1.0858t^{0.23}$
Propán (normál sebesség)	1-6	$1.2941t^{0.24}$
Propán (nagy sebesség)	1-6	$1.1051t^{0.25}$
Lézer	1-6	$(0,144+0,452 t^{0.5})^2$
Vízsugaras	1-6	$(0,511+0,251 t^{0.5} \ln(t))^2$
Plazma	1-6	$(0,447+0,384 \ln(t^2))^2$

Acél vágása plazmával. A plazmavágás során a fémet magas hőmérsékletű, nagy sebességű ionizált plazmasugárral vágják. A plazma hőmérséklete nagyjából 5500 Celsius-fok és 28 000 Celsius-fok között mozog. A plazmavágandó anyagtól függően a szokásos sűrített műhelylevegő, oxigén, argon és hidrogén, illetve nitrogén és hidrogén is a felhasznált gázok közé tartozik. A gázgát levegőből, vízből vagy szén-dioxidból is

készülhet. A 2. táblázat a különböző vágási technológiák vágási idejét mutatja. Ezeket különböző a datok és a TableCurve2D közelítő szoftver segítségével számították ki. Az idő méterenként percben van megadva, a t lemezvastagság és a varratméret $a_w (=0,7*t$ egyoldali hegesztés esetén) pedig milliméterben.

A 2. ábra a különböző vágórendszerek vágási idejét hasonlítja össze. Vékony lemezeknél (1 mm-nél kisebb) nyilvánvalóan a lézer-, a plazma- és a vízsugaras vágás a leggyorsabb, míg a vastagabb lemezeknél (5-6 mm) a lézervágás és a nagysebességű acetilénvágás a leggyorsabb.



2. ábra. A lemezek vágási ideje, T_{CP} (perc/m) a varrat méret a_w (mm) függvényében a hosszanti hézagolt hegesztések és a T -, V -, $1/2 V$ tompavarratok esetében.

2.9. Felület-előkészítési idő

A felület előkészítése magában foglalja a felület tisztítását homokkal, jéggel és más módszerekkel. A következő képlet használható a felület tisztítási idő kiszámítására a felület területének (A_s [mm²]) függvényében:

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

ahol θ_{as} egy nehézségi paraméter és $a_{sp} = 2 \times 10^{-6}$ perc/mm².

2.10. Festési idő

Az alap- és fedőréteg elkészítése a festéssel jár. A következő képlet segítségével kiszámítható a festési idő a felület (A_s [mm²]) függvényében:

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

ahol $a_{gc} = 2 \times 10^{-6}$ perc/mm² az alapozóréteg paramétere, $a_{tc} = 2,85 \times 10^{-6}$ perc/mm² a fedőréteg paramétere, θ_{dp} a

nehézségi tényező, $\theta_{dp} = 1,2$ vagy 3 vízszintes, függőleges vagy felülről történő festés esetén.

2.11. Teljes költség (szerkezeti megközelítés)

A korábban meghatározott összes költségkategória beletartozik a teljes költségbe.

$$\frac{K}{k_M} = \rho V + \frac{k_F}{k_M} \sum_i T_i \quad (10)$$

Az acél, mint anyag költségei elérhetik a $k_M = 1,0-1,5$ \$/kg/kilogrammot. A gyártási költség K_f [\$], a gyártási költségtényező pedig k_F [\$/perc]. A gyártási idő $k_F = 0-1$ \$/perc és T_i [perc]. Egy adott gyártó esetében a k_F értéke feltételezhetően állandó marad.

A k_F/k_M arány 0 és 2 kg/perc között mozog. Ha $k_F/k_M = 0$, akkor kapjuk a legkisebb tömeget. Ha $k_F/k_M = 2,0$, az jelentős munkaerőköltséggel jár (Japán, USA), $k_F/k_M = 1,0$ fejlett ország munkaerőköltségét jelenti, $k_F/k_M = 0,5$ az elmaradott ország munkaerőköltségét jelenti. Bár a termelési ráták ezekben a helyzetekben azonosak, a különböző munkaerőköltségek miatt a költségkülönbségek jelentősek.

3. KÖRNYEZETI KÖLTSÉGMEGKÖZELÍTÉS

A környezeti hatás megközelítése két pilléren nyugszik: az acél, vagy fém előállítása során adódó környezeti hatások, valamint a hegesztésből adódó környezeti hatások. A hegesztés az iparban a fémek összekapcsolásának legelterjedtebb technikája, de sok mérgező füstöt és vegyi anyagot is termel. A folyamatok gépesítése és automatizálása ellenére a hegesztőgázoknak kitett hegesztők száma folyamatosan nő, mivel új hegesztési módszereket és fogyóanyagokat alkalmaznak. A hegesztési módszer kiválasztásának egyik legfontosabb kritériuma a környezetbarát jelleg, szem előtt tartva, hogy a mérgező gázok és vegyi anyagok időnként túlléphetik az expozíciós határértékeket. A hegesztésnek számos lehetséges hatása van, és az iparág még mindig kutatja a hegesztők rendszeres hegesztési füstöknek és gázoknak való kitettségének és az éghajlati viszonyokra gyakorolt hatását.

A hegesztés során számos gőz és gáz keletkezhet. A hegesztési füstök fémtartalmú aeroszolok, amelyek a hegesztési folyamat összetett gőzölési, kondenzációs és oxidációs folyamatai során keletkező részecskékből állnak. Számos cikk és szabvány foglalkozik ezzel a témával [21], valamint az élettartamra való méretezéssel [22-26].

A fémfüstök egészségügyi következményei a jelen lévő fémektől függően változnak. Még így is féltő, hogy a fémfüstláztól kezdve a hosszú távú tüdőkárosodásig és neurológiai problémákig, beleértve a tüdőrákot és a Parkinson-kórt is, mindent okozhatnak. A hatás meghatározásához mikroötözött acélt hegesztettek két különböző töltőanyaggal (fémszálas huzal és

önárményező huzal) [21]. A hegesztés során megmérték a porkibocsátást, a CO, CO₂, Mn, SO, Al, Ni, Ca, Cr, Cr(VI) és P értékeket. A két töltőanyag eredményeinek vizsgálatakor kiderült, hogy a fémszál huzalban a mangán és a CO magas koncentrációja, valamint az önárményező huzalban a foszfor és az alumínium magas koncentrációja további figyelmet igényel. A felszabaduló füst és gázok mennyisége összefügg az alkalmazott hegesztési technikával.

A gyújtószál huzalok gyártói és feldolgozói még mindig keresik a fémszál hegesztési eljárás javításának lehetőségeit. Mindkét nagy lerakási határfok eléréséhez még egy utolsó akadályt kellett leküzdeniük. A cél az volt, hogy a nagy folyótűs huzal termelékenységét úgy értsék el, hogy közben a szilárd fémhuzalok ívhegesztőhuzal lerafordítási hatékonysága magas maradjon [21]. A különböző hegesztési körülmények között kimutatott csökkentett füstszint az egyik legjelentősebb előrelépés az új generációs fémszál huzaloknál. Olyan alkalmazásokban használhatók, ahol a füstöt csökkenteni kell, mivel a fémhuzalok ezen új generációja a hasonló fémhuzalokhoz képest 20-50 százalékkal a lacsonyabb füstszintet produkál.

A fémhuzalok és az önvédő porbeles (FCAW-S) huzalok között az az elsődleges különbség, hogy az előbbi külső védőgázt igényel, míg az utóbbi nem. Bár az FCAW-S huzalok hegesztett kötésenként jellemzően jelentősebb füstöt termelnek, a hegesztési zóna a füst elszívásával biztonságban tartható. Az FCAW-S huzalok ideálisak kültéri használatra, mivel jól tűrik a szelet/időjárást, még akkor is, ha jellemzően nagyobb füstgáz keletkezik hegesztési varratonként.

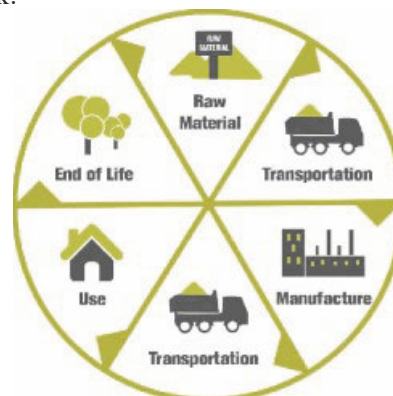
A fémszál huzalok és az önvédő porbeles huzalok viszonylag újszerű töltőanyagok, és elegendő kísérleti adat nem támasztotta alá alkalmazásukat. Bár a fémszál és az önárményező huzalok drágábbak (20-25%-kal), mint a folyósított és tömör huzalok, a velük való munka stabil ívet, intenzív behatolást és minimális szórást tesz lehetővé. Az önárményező huzalok magasabb CO₂-koncentrációja valószínűleg a fluxusban lévő megnövekedett karbonát- és cellulózmennyiségnek köszönhető, amely az égés során gázvédelmet biztosít. A fémszál huzalokból felszabaduló CO-koncentráció tízszerese az önárményező huzalokénak, és háromszorosa a megengedett maximális szintnek. Az ilyen magas CO-koncentráció valószínűleg a nem megfelelő fluxus elégetésének és a CO₂ mint védőgáz-komponens lebomlásának az eredménye. Az ésszerű ipari higiéniai eljárásoknak megfelelően műszaki ellenőrzéseket kell alkalmazni a környezeti koncentrációknak az elfogadható expozíciós szintre való korlátozása érdekében.

3.1. Életciklus-értékelés (LCA)

Az LCA egy tudományosan validált módszer a környezeti hatások becslésére és értékelésére az idő folyamán. Az LCA a nyersanyagtól a végső ártalmatlanításig minden folyamatot elemel, beleértve a gyártást, a forgalmazást és a felhasználást. Az LCA az

üvegházhatású gázok kibocsátásán (vagy a szénlábnyomon) kívül olyan következményeket is elemezhet, mint az ózonréteg csökkenése, az eutrofizáció, az emberi egészségre gyakorolt hatások és még sok más (3. ábra). Az LCA teljesen automatizálható és teljes mértékben beépíthető a munkafolyamatba anélkül, hogy azt megzavarná vagy lelassítaná. Ez lehetővé teszi a költséghatékony teljesítményértékelést.

Ha egy tárgy vagy folyamat beszerzésére, birtoklására, üzemeltetésére, karbantartására és végső soron ártalmatlanítására több, egymással versengő lehetőség is elfogadható műszaki okokból, az életciklus-költség-elemzés (LCCA) olyan módszer, amellyel a legköltséghatékonyabb lehetőséget lehet megtalálni közöttük.



3. ábra. A környezeti hatások rendszere (https://www.researchgate.net/figure/Life-Cycle-Assessment-LCA_fig2_315762443)

3.2. Főbb figyelembe veendő környezeti hatások

Általános számítási módszer

$$impact_{cat} = \sum_i m_i \times charact_factor_{cat,i} \quad (11)$$

ahol m_i az a cél (fém) össztömege és $charact_factor_{cat,i}$ az a adott hatáskategóriára vonatkozó tényezője.

3.3. A lehetséges környezeti hatások kiszámítása

Az életciklus-értékelés célja az elismert inputok és kibocsátások potenciális környezeti hatásainak meghatározása. A következő bekezdések az LCA-ban leggyakrabban használt környezeti kategóriák gyors bemutatását tartalmazzák, az egyszerűsített módszertani vázlatban használt megfelelő számítási módszerrel együtt.

A következő bekezdésekben gyorsan bemutatjuk az LCA-ban leggyakrabban használt környezeti kategóriákat, valamint az ebben a cikkben ismertetett egyszerűsített módszertanban használt megfelelő számítási módszert. Az LCA választható lépéseivel kapcsolatban gyakran van szükség normalizálásra annak szemléltetésére, hogy egy hatáskategória milyen mértékben járul hozzá jelentősen a teljes környezeti

hatáshoz. Az egyes hatáskategóriák normalizált mutatóeredményeihez a súlyozási lépésben több tényezőt rendelnek hozzá a megfelelő fontosságuk alapján.

3.4. Globális felmelegedési potenciál (GWP)

A Föld légkörében természetesen jelen lévő infravörös (IR) aktív gázok (pl. O₃, H₂O és CO₂) elnyelik és visszaverik a Földről távozó földi (infravörös) energia (vagy sugárzás) egy részét, hozzájárulva a felszín és az alsó légkör felmelegedéséhez. Amint a 3. táblázatban látható, az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület a három legjelentősebb üvegházhatású gázra és három időhorizontra -20, 100 és 500 évre - számitott GWP-eket.

3. táblázat. GWP-k bizonyos időszakokra (kg CO₂-egyenértékben kifejezve) [22].

	20 év	100 év	500 év
Szén-dioxid (CO ₂)	1	1	1
Metán (CH ₄)	62	25	7
Dinitrogén-oxide (N ₂ O)	275	298	156

A (11) egyenlet eredményeként a "Globális felmelegedés" mutatót a következőképpen határozzuk meg:

$$Global\ Warming = \sum_i GWP_i \times m_i \quad (12)$$

ahol m_i a kibocsátott i anyag tömege (kg-ban). Ezt a mérőszámot kilogramm CO₂-egyenértékben mérik. A kiválasztott stratégia csak egy 10 éves időhorizontra vonatkozik.

3.5. Savasodási potenciál (AP)

A légszennyező anyagok (főként ammónia (NH₃), kén-dioxid (SO₂) és nitrogén-oxidok (NO_x) savas vegyületekké történő átalakulását savasodásnak nevezzük. A szél a savasító vegyi anyagokat a légkörbe szállítja, ahol savas részecskék, savas eső vagy hó formájában lerakódnak.

A savasodási potenciál kiszámítható az anyagnak a savasodást okozó H⁺-ionok keletkezésére való képessége vagy egy egyenértékű SO₂-kibocsátás alapján. A RAINS-LCA modellt, amely figyelembe veszi a helyszínt, a háttérben lévő lerakódásokat és hatásokat [24], használták a jellemzési változók kidolgozásához ebben a munkában. Ennek eredményeként az 5. táblázat a savasodásra vonatkozó átlagos európai jellemzési tényezőket mutatja.

4. táblázat. - A savasodási potenciálok (kg SO₂-egyenértékben) [24].

	Ammónia (NH ₃)	Nitrogén-oxid (NO _x)	Kén-dioxid (SO ₂)
AP _i	1.60	0.50	1.20

Ennek eredményeképpen az indikátor savasodását a következőkkel határozzuk meg,

$$Acidification = \sum_i AP_i \times m_i \quad (13)$$

ahol m_i a kibocsátott i anyag tömege (kg-ban). Ezt a mérőszámot kilogramm SO₂-egyenértékben mérik.

4. SZEMLELTETŐ PÉLDA

Sokan foglalkoztak az életciklus elemzésekkel, az energia felhasználással, a hegesztési eljárások környezeti hatásaival [27-39]. Az életciklus-értékelés előző bekezdésekben tárgyalt számos fázisának bemutatására egy rövid példát mutatunk be. Feltételezve, hogy a gyártás során különböző hegesztőhuzalokat használtak [21], a leltározási szakaszban a következő kibocsátásokat gyűjtötték össze (lásd a 4. táblázatot):

4. táblázat. A különböző hegesztőhuzalok felhasználásával történő gyártás során összegzett kibocsátások [21].

	Fémmagos huzal	Önvédő porbeles huzal
Kibocsátás	Erték (kg/m ³ -ben)	Erték (kg/m ³ -ben)
szén-monoxid (CO)	0,00181	0,000172
szén-dioxid (CO ₂)	0,03590	0,05760
kén-dioxid (SO ₂)	0,0000209	0,0000262

A számítás eredményeképpen az egyes környezeti kategóriák hatásait úgy határozzák meg, hogy minden egyes hozzájáruló kibocsátást megszoroznak a kategóriába sorolási tényezővel (pl. GWP esetében: 0,00181 x 1,53 + 0,0359 x 1,00 = 0,03869 kg CO₂-egyenérték a fémszálas huzal esetében, 0,000172 x 1,53 + 0,0576 x 1,00 = 0,05786 kg CO₂-egyenérték az önármékolt huzal esetében), ami a 6. táblázatban látható eredményeket eredményezi azonos mennyiségű hegesztés esetén.

6. táblázat. - A kiválasztott környezeti mutatók végső eredményei

	GWP (kg CO ₂ -egyenérték)	AP (kg SO ₂ -egyenérték)
fémmagos huzal	0.03869	0.000025
önvédő porbeles huzal	0.05786	0.0000314

A példa jól mutatja a fémmagos huzal kisebb környezeti hatását. A kérdés, hogyan kapcsoljuk össze a szerkezeti méretek optimalizálását és a globális környezeti hatásokat, valamint a hegesztési technológia és az elektróda környezeti hatását. A szerkezeti méretek optimalizálása esetén akár tömegre, akár költségre végezzük,

a végeredmény tömegcsökkenés a felhasznált acélnál. A globális környezeti hatásonál elsődlegesen a tömeggel arányos összefüggések szerepelnek, tehát a tömegcsökkenés környezeti hatás csökkenést eredményez. A hegesztési technológiánál, illetve elektródánál a környezeti hatáshoz a varrat méretétől függ, vagyis áttételesen a tömegtől. Mivel a tömegtől való függés minden részénél megvan, de eltérő módon, ezért a legjobb megközelítés a többcélű függvényes optimalítás, ahol a három terület részben önállóan, részben együtt szerepel.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A hegesztés során keletkező káros füstöket és gázokat is figyelembe kell venni. A hegesztési technológiától függően a CO₂, CO, CH₄, NO_x stb. mennyisége eltérő lehet. Különböző huzalok, fémmagos és önvédő porbeles huzalok állnak rendelkezésünkre. Az összehasonlított két huzal további szén-monoxid (CO), szén-dioxid (CO₂) és kén-dioxid (SO₂) mennyiséget eredményez. A globális felmelegedési potenciálra és a savasodási potenciálra vonatkozó valós értékük a felhasznált időtől függ. Az energiafelhasználás is nagy lehet, ha hosszabb időt, például évtizedeket veszünk figyelembe. Az ismertetett megközelítéssel a szerkezeti méretek optimalizálását, a globális környezeti hatásokat, valamint a hegesztési technológia és az elektróda környezeti hatását egyaránt figyelembe tudjuk venni. Normált többcélű függvényes optimalizálással elvégezhető a legjobb méretekkel rendelkező és a legkisebb környezeti terhelést jelentő hegesztési technológia és elektróda kiválasztása. Ez még további mintaszámításokat igényel.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutató munka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) támogatásával a K 134358 nyilvántartási számú projekt keretében valósult meg.

7. IRODALOM

- [1] Klansek, U. & Kravanja, S.: Cost Estimation, Optimisation and Competitiveness of Different Composite Floor Systems – Part 1. Self manufacturing cost estimation of composite and steel structures, Journal of Constructional Steel Research, 62(5), 434-448 (2006).
- [2] Farineau T. et al.: Use of Parametric Models in an Economic Evaluation Step During the Design Phase, Int J Adv Manuf Technol (2001) 17: pp. 79–86, 2001 Springer-Verlag London Ltd.
- [3] Farkas, J. & Jármay, K.: Analysis and Optimum Design of Metal Structures. Balkema Publishers, Rotterdam, Brookfield, (1997).
- [4] Farkas, J. & Jármay, K. (2003) Economic design of metal structures, Millpress Science Publisher, Rotterdam, 340p. ISBN 90 7701 799 2
- [5] Farkas, J., Jármay, K. (2008): Design and optimisation of metal structures, Horwood Publishers, Chichester, UK, 2008: 328. ISBN: 978-1-904275-29-9
- [6] Mela, K., Heinisuo, M.: Weight and Cost Optimisation of Welded High Strength Steel Beams, Engineering Structures, 79(15), 354-364 (2014).
- [7] Kovács Gy., Farkas J.: Minimum cost design of overhead crane beam with box section strengthened by CFRP laminates, Structural Engineering and Mechanics 61(4), 475-481 (2017).
- [8] London Metal Exchange, <https://www.lme.com/>, accessed 12 June 2021
- [9] Pahl, G. & Beelich, K.H.: Kostenwachstumsgesetze nach Ähnlichkeits-beziehungen für Schweissverbindungen. VDI-Bericht, Nr. 457, 129-141, Düsseldorf, (1992).
- [10] Jármay, K. & Farkas, J.: Cost Calculation and Optimisation of Welded Steel Structures, Journal of Constructional Steel Research, Elsevier, 50(2), 115-135 (1999).
- [11] Bodt, H.J.M.: The Global Approach to Welding Costs. The Netherlands Institute of Welding, The Hague, (1990).
- [12] COSTCOMP: Programm zur Berechnung der Schweisskosten. Deutscher Verlag für Schweisstechnik, Düsseldorf, (2002).
- [13] Ott, H.H. & Hubka, V.: 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, (1985).
- [14] TIG welding calculator, <https://www.millerwelds.com/resources/weld-setting-calculators/tig-welding-calculator> (last accessed on May 31, 2021).
- [15] Estimating and comparing weld metal costs, http://www.esabna.com/euweb/awtc/lesson9_1.htm (last accessed on May 31, 2021).
- [16] Laser welding: <http://www.autosteel.org/~media/Files/Autosteel/Great%20Designs%20in%20Steel/GDIS%202013/Laser%20Welding%20101%20Case%20Studies%20Part%20I.pdf>
- [17] Dawes, Ch.: Laser Welding: A Practical Guide, Woodhead Publishing, 258p. 1992.
- [18] Laser Comparison – Cutting Speed and Rate of Feed, <http://jmtusa.com/laser-comparison-cutting-speed-and-rate-of-feed/> (last accessed on 12 June, 2021).
- [19] Lincoln Electric Cutting speeds, <https://torchmate.com/metric-measures/Recommended-Cut-Speeds> (last accessed on May 31, 2021).
- [20] KMT Waterjet Calculator for 90,000 PSI - 50,000 PSI Cutting Speeds, <https://www.kmtwaterjet.com/kmt-cut-calculator.aspx> (last accessed on May 31, 2021).
- [21] Olivera Popović et al. Fume and gas emission during arc welding: Hazards and recommendation,

- Renewable and Sustainable Energy Reviews, 37 (2014) pp. 509–516.
- [22] IPCC. 2007. Fourth Assessment Report – Climate Change 2007. IPCC, Geneva, Switzerland
- [23] Heijungs. R., Guinée. J., Huppes. G., Lankreijer. R., Udo de Haes. H., Sleswijk. A., Ansems. A., Egges. P., van Duin. R. and de Goede. H. 1992. Environmental Life Cycle Assessment of products. Guide and Backgrounds. CML. Leiden University. Leiden.
- [24] Huijbregts. M. Uncertainty and variability in environmental life-cycle assessment. PhD. Thesis. University of Amsterdam, 2001, The Netherlands.
- [25] Guinée, J.B. et al. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 2002, 692 pp.
- [26] Charalamos Loukas et al.: A cost-function driven adaptive welding framework for multi-pass robotic welding, Journal of Manufacturing Processes 67 (2021) 545–561, <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.05.004>
- [27] ISO 14040:2006, International Standard 2006-07-01, Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework, 41 p. International Organization for Standardisation
- [28] ISO 14044:2006, International Standard, First edition, 2006-07-01, Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines, 7 p. International Organization for Standardisation
- [29] Pekka Vuorinen: CEN standardisation on sustainability of construction works, ETSI 14-15 May 2012 Finnish Association of Construction Product Industries, CEN/TC350/WG6 "Civil engineering works"
- [30] Pankaj Kumar. J. Mistry: Impact of Welding Processes on Environment and Health, International Journal of Advanced Research in Mechanical Engineering & Technology (IJARMET) Vol. 1, Issue 1 (Apr. - Jun. 2015) ISSN: 2454-4736
- [31] Ya-Ju Chang et al.: Environmental and Social Life Cycle Assessment of welding technologies, Procedia CIRP 26 (2015) 293–298, 12th Global Conference on Sustainable Manufacturing.
- [32] Farideh Golbabaie and Monireh Khadem: Air Pollution in Welding Processes — Assessment and Control Methods, 33 p. <http://dx.doi.org/10.5772/59793> (accessed on 12 June 2021)
- [33] Gunther Sproesser et al.: Sustainable Technologies for Thick Metal Plate Welding, Sustainable Manufacturing, pp 71-84, 2017. in Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management, Springer Verlag.
- [34] Jenkins, N.T., and T.W. Eagar. 2005. Chemical analysis of welding fume particles. Welding Journal 84(6): 87s–93s.
- [35] Mostafa Hashemi Fard, Mohsen Hashemi Fa: Impacts of Welding on Environmental Problems and Health and Solutions to Overcome these Problems, <https://www.semanticscholar.org/paper/Impact-of-Welding-Processes-on-Environment-and-Kumar-Mistry/d0848b8c3bc952fd9bd21ce3bf2a4f03f5d6caf1> (last accessed 12 June 2021)
- [36] Nayara de Souza: Total Fume Emissions and Emission Factors Applicable to Gas Total Fume Emissions and Emission Factors Applicable to Gas Metal Arc Welding, University of New Orleans. Dissertations and Theses Spring 5-23-2019, 89 p.
- [37] Fruehan R. J. et al., "[Theoretical Minimum Energies to Produce Steel](#)," Energetics, Inc., March 2000. <file:///C:/Users/Me/Downloads/fruehan-mar00.pdf>
- [38] Nikolas Martelaro: Energy Use in US Steel Manufacturing, December 4, 2016, <http://large.stanford.edu/courses/2016/ph240/martelaro1/>
- [39] Kun He, Li Wang and Xiaoyan Li: Review of the Energy Consumption and Production Structure of China's Steel Industry: Current Situation and Future Development, Metals 2020, 10(3), 302; <https://doi.org/10.3390/met10030302>