

Hegesztett szerkezetek kockázatelemzése*

Rittinger János**

Kulcsszavak: hazard, rizikó, következmény, elemzési szempontok

Keywords: hazardous, risk, consequence, viewpoints of analysis

Bevezetés

A kockázatelemzés a műszaki életben egyre gyakrabban használt fogalom. A kockázatelemzés szakmaspecifikus, másként használja a köznyelv, az orvostudomány, a műszaki élet és a jog világa, ezért gyakoriak az értelmezési problémák.

A kockázatelemzés jelentőségét a II. világháborút követően, a társadalom szemléletváltozása (1960-as évek végén, az 1970-es évek elején) növelte meg. Korábban a társadalom feltétel nélkül elfogadta a technika előnyeit, hiszen jelentős mértékben kényelmét szolgálta. A fogyasztói társadalom pazarlása a termelés növekedéséhez vezetett. 1970-től a társadalom szembesült a technika káros hatásaival, következképpen nem fogadta el annak előnyeit (a kockázatelemzés középpontjába a kockázat kontra előny került). A zöldek tiltakozása politikai hatalommá vált. Az állam a társadalom és a környezet védelmének alkotmányos kötelessége politikai viták középpontjába került. Jelentős technológiafejlesztés kezdődött meg a az emisszió csökkentésére, a szelektív hulladékgyűjtés megszervezésére, a veszélyes anyagok megsemmisítésére, a nano-technológiák alkalmazásáig bezárólag.

A II. világháborúban Európában (a világ más pontján is) az ipari létesítmények (gyárak, vegyipari, szénhidrogén-ipari berendezések, erőművek, hidak, építmények, nem üzemszerű használat következtében megsemmisültek. A gyors helyreállítást, 1960-tól (házánkban később, 1970–1975-től) egy intenzív iparfejlesztés követte. Az említett létesítményeknek, a kor műszaki ismereteinek alapján, a tervezett élettartama 25 – 30 év volt. Magyarországon ezeknek a berendezéseknek a tervezett élettartama az elmúlt évtizedben járt le. A tervezett és a gazdaságos élettartam, illetve a tényleges élettartam jelentősen eltér a tervezés pesszimisztikus megközelítése, az anyagtulajdonságok alulbecslése (nem megfelelő ismerete), a károsodási folyamatok pontatlan ismerete miatt.

Új (zöldmezős) beruházások, a földterületek magántulajdona, a kötelező régészeti feltárások költségei, a szigorú környezetvédelmi előírások, a megszüntetett berendezések környezetének helyreállítása miatt rendkívül drága, adott esetben megvalósíthatatlan.

Ezekből következik a tervezett élettartamon túl üzemelő berendezések kockázatelemzése, az

élettartam hosszabbítás feltételeinek és mértékének meghatározása, a kockázatalapú ellenőrzés (RBI), a kockázatalapú karbantartás (RBM) bevezetése iránti sürgető igény.

A kockázatelemzés eredménye alapján meghatározható:

- a gazdaságos üzemeltetéshez tartozó élettartam, illetve
- döntés hozható (műszaki-gazdasági elemzés alapján) arról, hogy a továbbüzemeléshez egyre gyakoribb ellenőrzések, vagy élettartam-növelő beavatkozások (retrofitt) szükségesek-e.

A kockázatelemzés (RBI, RBM) alkalmazása a berendezések gazdaságos üzemeltetését is elősegíti, ami a tulajdonos számára egyik (talán legfontosabb) meghatározó tényező.

E bevezető gondolatok alátámasztják azt, hogy a kockázatelemzés a műszaki életben nem öncélú, hanem valós igényeket kielégítő tevékenység.

Fogalmak

A fogalmakkal részletesebben az [1, 2] közleményekben foglalkoztam, ezért csak néhányat érintek azok közül.

A **hazard** (veszély), a **rizikó** (kockázat), a **következmény** (károsodás, kár) szigorúan elkülönülő fogalmak! Annak ellenére, hogy neves értelmező szótárak (pl. Oxford English Dictionary) úgy vélik, hogy ezek szinonimák.

A **hazard**: magára vállalt, vagy velejáró veszély. Egy veszély, amely egy helyzetben van *rejtve* és az véletlenül, vagy szándékosan aktív tevékenységgé, vagy sérelemmé fejlődhet.

A **rizikó** a hazardnak (veszélynek, veszedelemnek, veszteségnek, hátránynak, előnyvesztésnek, vagy romlásnak) való kitétel, amely minősíthető (nagy, közepes, kicsi), vagy számszerűsíthető (90%, 50% ..).

A **következmény** a hazard rizikóval való kombinációja, amelynek mértéke minősíthető, vagy számszerűsíthető.

A **kockázatelemzés**, egy azonosított hazard esetén, a rizikó és a következmény viszonyának értékelése

*A IX. Országos Törésmechanikai Szemináriumon, 2006. október 16-án, Miskolctapolcán elhangzott előadás szerkesztett változata

** Dr.; – RITTINGER ENGINEERING

A következmény számszerűsítése

Ennek módzatai lehetnek:

- osztályozás (katasztrófa, nagyon kritikus, ... nagyon kicsi),
- hatása a szerkezetre ($>500 \cdot 10^6 \dots >10^n$, ahol $n < 6$),
- az emberélethez gyakorolt hatás (nagy számú haláleset, egy haláleset, ... nincs sérülés),
- hatása a közvéleményre (széles körű, ... nincs hatása),
- hatása a közvetlen környezet lakosaira (egy, vagy több haláleset, kórházi kezelésre szorul néhány lakos, rossz közérzetről panaszkodnak, ... nincs),
- a társadalom kockázata (jelentős hatás az üzleti életre, jelentős nemzeti szorongás, ... nincs hatása),
- a gyakoriság osztályozása,
- a gyakoriság értékelése.

A hatásokat súlyozással (legalább 1...3, általában 1...6 ponttal) veszik figyelembe.

A kockázatelemzés:

- célorientált (műszaki elemzés, társasági képviselő, a program menedzsment becslései, vállalati kockázati szabályozás, szavatossági kockázat stb.),
- a kockázat áthárítása (a törvényi csillapítás, a jogászai variálhatóság, félreinformálási kampány stb.),
- kiegészítő változók (a kockázatelemzés becslése, kulturális tényezők, a kockázat periodikus újraértékelése).

A hegesztett szerkezetek létesítése, üzemelés közbeni ellenőrzése, karbantartása és az üzemeltetése során az emberi tényező közrehatása nem zárható ki. Folyamatosan törekszenek automatizálás, robotizálás, digitális vizsgáló eszközök, folyamatos megfigyelés, illetve az üzemeltetés során beavatkozási korlátozások (tiltások) alkalmazásával az emberi tényező hatásának mérséklésére. Ennek ellenére az emberi tényező hatása nem zárható ki, ezért figyelembe kell venni a kockázatelemzés során. A kockázatelemzés köréből nem hagyható ki az emberi tényező elemzése. Az emberi tényező kockázatelemzése nagy tapintatosságot, több szakterület együttműködését, több irányú megközelítést igénylő tevékenység. Néhány fontosabb megközelítési mód:

- *fatalista megközelítés*; abból indul ki, hogy a humán hiba a tökéletlen világban elkerülhetetlen;
- *megközelítés a viselkedés alapján*; középpontjában a megbízható ember létezése áll, létezik a nulla hiba,
- *megközelítés az adott helyzet alapján* (meghatározó szempontok: vallási, szoció-technikai, környezeti stb.),
- *megközelítés a gyártó szemszögéből*, meghatározója a gyártó és a fogyasztó kapcsolata.

Hegesztett szerkezetek létesítésének kockázatelemzése

A hegesztett szerkezetek kockázat elemzésével részletesebben, többek között a [3] közlemény foglalkozik. A hegesztett szerkezetek számos gépipari terméktől abban térnek el, hogy:

- a hegesztés hatására a szerkezet egészében, vagy jelentős részében fémes anyagi folytonosság jön létre, ezért a szerkezet jóságát a szerkezet tömegének legfeljebb 2%-át kitevő tömegű hegesztett kötés határozza meg;
- a hegesztett kötés lokális tulajdonságai (a kötésben megengedhető eltérések, ezekkel összefüggésben a kötés alakváltozó képessége, szilárdsága, fáradásbírása) roncsolásmentes vizsgálatokkal ellenőrizhető, és javítható, a hegesztett kötés globális (a szerkezetre gyakorolt hatásai, a rideg törés, ..., a korrózió) kihatása a kész szerkezet esetén nem ellenőrizhető, vagy ha annak káros hatása felismerhető, nem javítható.

A hegesztett szerkezetek sajátosságából és az ellenőrzésből (roncsolásmentes vizsgálatokból) következik, hogy a problémák csak a kockázatelemzés módszereivel oldhatók meg. Ebben jelentős szerepe van az emberi tényezőnek, ezzel függ össze a hegesztő szakemberek minősítésének egységes szabályozása (IWE, EWE, EWT stb.), a hegesztők minősítése (MSZ EN 287-1), a roncsolásmentes anyagvizsgálók minősítése és a minősítés tanúsítása (MSZ EN 473).

A hegesztett szerkezetek létesítésének minőségirányítási rendszerét az MSZ EN ISO 9001 szabvány kiegészítéseként (2006. 07. 01-től) az MSZ EN ISO 3834 szabványsorozat (eddig megjelent 5 lapja) szabályozza. A minőséget nem belevizsgálni, hanem bele kell építeni (tervezéstől a gyártásig) a szerkezetbe. Ez olvasható az MSZ EN ISO 3834-1 szabványban. [Becker István évtizedek óta hangoztatott és ismert bölcs mondása.]

Arról van szó, hogy egy jól működő, természetesen költségesen kiépített és működtetett minőségirányítási rendszer esetén a vizsgálatok terjedelme csökkenthető. Ezt juttatják kifejezésre az új EN termékszabványok (MSZ EN 13445, 13480 stb.) is. Fordított esetben a vizsgálatok (és a javítások) jelentős költségével kell szembenézni, a minőség számottevő javulása nélkül. A hegesztett szerkezetek gyártásának (létesítésének) kockázatelemzési módszere, egyszerűsített formában a következő, a gyártó képességét (ebből a kedvezőtlen hatásokat) kifejező pontértékek (Σx_i) és az ellenőrzés, a vizsgálatok igényét kifejező kedvező hatásokat kifejező (Σy_i) pontértékek viszonyán alapul:

$$Z = (\Sigma x_i + F) / \Sigma y_i$$

Az F tényező a termék előállítására vonatkozó felkészültséget fejezi ki. A termék gyártásával kapcsolatban kellő tapasztalatok (visszatérő termék esetén az F értéke nulla, vagy ahhoz közelítő érték. Új termék, új anyagok, új követelmények, gyártási tapasztalat hiányában, kellő önkritikával célszerű $F \gg 0$ értéket választani. Az elemzéshez segítséget adnak a [3] közleményben ismertetett szempontok. Kedvező eset, ha a $Z \approx 1$. A Z értékét el kell helyezni a termék jelentőségét kifejező kockázati mátrixban. A gyártó ezzel a módszerrel fel tudja mérni képességét és a vállalt kockázatát, a vevő számára pedig biztosíték arra, hogy a termék határidőre, előírt minőségben elkészül.

Egy szerkezet megbízhatósága azon tulajdonságokhoz kapcsolódik, amelyek a gyártást követően, az üzembe helyezés pillanatában fennállnak.

A megbízhatóság: a hibamentesség, a tartósság és a javíthatóság összessége.

A szerkezetek létesítése (az árúk szabad mozgása miatt) és a szerkezetek üzemeltetése (a társadalom és a környezet védelme miatt) szabályozás tekintetében eltér. A gyártó felelősége fennáll a szerkezet tervezett élettartamáig. Ezekből következik, hogy a gyártó érdekelt abban, hogy mind azokat az információkat az üzemeltető rendelkezésére bocsássa, amelyek alapján az üzemeltető megtervezheti a szerkezet ellenőrzési és karbantartási programját, a tervezett élettartam végéhez közeledve felkészülhessen az élettartam-növelő intézkedések megtételére. Ez azt jelenti, hogy nem szabad megelégedni a szabványokban előírt minimális adatszolgáltatással, hanem az üzemeltető által működtetett ellenőrzési és karbantartási rendszerek által megkívánt input adatokat (hibatérkép, méretellenőrzés, mestergörbék, referencia görbék stb.) is meg kell kérni. Ezek az információk a létesítés során könnyen létrehozhatók.

Példák a kockázatelemzésre

A szerkezetek ellenőrzése során fontos kérdés a roncsolásmentes vizsgálat módjának és – elsősorban a vizsgálat számára rendelkezésre álló idő rövidege miatt – a vizsgálat terjedelmének meghatározása. Az ötletszerű döntések helyett a kockázatelemzés alkalmazása megbízható és reprodukálható megoldást jelent [4].

A károsodás következményeit például az ISO 3041 nyomán, az 1. táblázat szerinti négy, T1 – T4 fokozattal vehetjük figyelembe.

1. táblázat. A károsodás következménye

T1	Karasztrófa	0,5
T2	Teljes üzemzavar	0,8
T3	Részleges üzemzavar	1,0
T4	Nincs üzemzavar	1,5

A terhelés hatását a hegesztett kötés tompa vagy merőleges csatlakozása szerint vehetjük figyelembe (2. táblázat). Az ellenőrzés terjedelme I1 – I4 osztályba sorolható (3. táblázat). Mindezeket a fogalmakat és jelöléseiket alkalmazva a **kockázati mátrix**, felállítható, azaz az L – T – I kapcsolata (4. táblázat).

2. táblázat. A terhelés hatása

Igénybevétel	A kötés (varrat) típusa	
	tompá	sarok
L1 – fáradás	Analitikus értékelés	
L2 – dinamikus terhelés, hegesztett állapot	C	B
L3 – statikus terhelés $< 2/3 R_{p0,2}$ hegesztett állapot	D	C
L4 – statikus terhelés $< 1/3 R_{p0,2}$ hőkezelt állapot	E	D

3. táblázat. Az ellenőrzés terjedelme

a – térfogati vizsgálat; b – felületi vizsgálat; c – szemrevételezés

I1	a	100%	Hegesztett kötésekre
	b	100%	
	c	100%	
I2	a	10%	Hegesztőnként
	b	10%	
	c	100%	
I3	a	10%	Hegesztett kötésekre
	b	10%	
	c	100%	
I4	a	0%	Hegesztett kötésekre
	b	0%	
	c	100%	

4. táblázat. Kockázati mátrix

	T1	T2	T3	T4
L1	I1	I1	I1	I3
L2	I1	I1	I2	I3
L3	I1	I2	I2	I3
L4	I1	I2	I3	I4

A nyomástartó edényekre a PED (9/2001) GKM rendelet I – IV csökkenő veszélyességű hazard kategóriát határoz meg, és a károsodás T1 – T4 következményeihez a tervezett élettartam százalékában kifejezett üzemidőt ($t_{\bar{u}}$) rendel, mégpedig:

a T1-hez $t_{\bar{u}} < 25\%$, a T2-höz $25\% \leq t_{\bar{u}} < 60\%$, a T3-hoz $60\% \leq t_{\bar{u}} < 90\%$, a T4-hez $90\% \leq t_{\bar{u}} < 100\%$. A roncsolásmentes vizsgálatok (NDT) sorrendben csökkenő 1 – 5 ellenőrzési fokozatba sorolt terjedelme pedig az 5. táblázat szerint átlósan jobb felé csökken

Az 1 – 5 ellenőrzési fokozat és a sorrendben csökkenő 1 – 5 rizikó index (PIR) függvényében az

állapotellenőrzések időintervallumai becsülhetők a 6. táblázat szerint.

5. táblázat. Az NDT ellenőrzési fokozata

Hazard kategória	Üzemeltetési idő, %			
	(T1)	(T2)	(T3)	(T4)
I	1	1	2	2
II	1	2	2	3
III	2	2	3	4
IV	2	3	4	5

6. táblázat. Az ellenőrzések időintervalluma, (h)

PIR	Ellenőrzési fokozat				
	1	2	3	4	5
5	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000
4	50 000	50 000	50 000	40 000	40 000
3	40 000	40 000	25 000	25 000	12 000
2	25 000	25 000	12 000	6 000	6 000
1	12 000	6 000	6 000	6 000	6 000

Kúszásra igénybevett erőműi hegesztett szerkezeti elemek állapotellenőrzésekor fontos kérdések: mikor kezdődjön és az üzemeltetési idő függvényében milyen ciklusidőkkel és milyen változó vizsgálati terjedelemmel folytatódjon az ellenőrzés? A válaszhoz, illetve a kockázatalapú értékeléshez a következőket kell figyelembe venni:

- A hegesztett kötés kúszási szilárdságot befolyásoló, rendszerint csökkentő hatását, a varrat geometriája és méretei (a varrat szélessége, a leélezési szög), de mindenképp előtt a varrat és a hőhatásövezet alapanyagától eltérő szövetszerkezete miatt. Ez utóbbinál fontos ismerni: hőkezelték-e a varratokat a hegesztést követően vagy sem. A geometria hatását a varratévezővel (Z), míg a kúszási szilárdságot csökkentő hatást a varrat és az alapanyag kúszási jellemzőinek egynél kisebb hányadosával (WSF – a tartamszilárdságok viszonyával, vagy WFT – az élettartamok viszonyával) ajánlják figyelembe venni a szabványok.
- A méretezés módszerét, melyet végezhetnek
- – analitikus összefüggésekkel (DBF – design by formula); ez esetben az is lényeges, hogy a tervezési adatokat üzemelés közben monitorizálják-e vagy sem;
- – analízissel, pl.: FEM – végelem-módszerrel (DBA – design by analysis).
- Az elem szerkezeti megoldásait: a feszültséggyűjtő helyeket és az állapotellenőrzési roncsolásmentes vizsgálatok elvégezhetőségének tervezői figyelembevételét.
- A szerkezeti elem üzembe helyezésétől a tervezett ellenőrzésig eltelt üzemviteli időtartamot viszonyítva a szerkezeti elem tervezett, még inkább becsült élettartamához.

Ez utóbbi lényeges, ugyanis az állandónak tekinthető üzemi hőmérsékleten – a kúszási károsodás mértékével szoros korrelációban lévő –

$da/dt(t)$ kúszássebesség–idő függvény I., rövidebb szakasza csökkenő részben a feszültségcsúcsok leépülése miatt is, míg az élettartam szempontjából meghatározó időtartamú II. szakaszát az állandósult állapot jellemzi, majd a szemcsehatármenti üregképződéssel járó károsodás előrehaladtával a kúszássebesség ismét nő (III. szakasz).

Közvetve: a szemcsehatármenti károsodás mértéke a roncsolásmentes replika módszerrel elég megbízhatóan meghatározható.

Az üzembe helyezéskor makroszkóposan ép szerkezeti elembe, adott, átlagosan állandó üzemi hőmérsékleten a terjedni képes – roncsolásmentes vizsgálatokkal már ki is mutatható méretű – kúszási károsodásból eredő repedés megjelenéséhez egy meghatározott ún. inkubációs idő tartozik. Ennek értéke a szerkezeti elem veszélyes keresztmetszétének igénybevételét jellemző referencia feszültség (σ_{ref}) és K_I feszültségintenzitási tényező ismeretében becsülhető. A szerkezeti elem várható élettartamát pedig a repedés terjedési sebessége határozza meg, melyet a

$$\frac{da}{dt} = D.C^{*q}$$

összefüggés ír le, ahol D és q anyagra jellemző állandók, míg C^* törésmechanikai paraméter (a J -integrál kúszási egyenértékűje; a C^* meghatározását lásd az ASTM 1457 szabványban).

A repedésterjedés elemzése csak akkor hagyható el, ha az ellenőrzésig eltelt üzemidő vagy kisebb az inkubációs időnél, vagy a két ellenőrzés közti időtartam rövidebb mint a $\Delta a < 0,2$ mm repedés-növekedéshez tartozó idő.

A kúszásra igénybevett erőműi hegesztett szerkezetek témakörhöz kapcsolódó fontosabb előírások: BS 7910 (korábban BS PD 6539), R5 (British Energy), A 16:2002 (RCC – MR) és API 579.

Megállapítások

A sikeres kockázatelemzés feltételei: a gyártásból származó használható adatok, az üzemeltetés során végzett ellenőrzések megtervezése és azok eredményeinek befogadhatósága, a szerkezet terhelési katalógusának összeállítása és folyamatos karbantartása. Ezekhez csak akkor lehet hozzájutni, ha a roncsolásmentes vizsgálat területén jelentős szemléletváltásra kerül sor (MSZ EN 473 szerinti MM és EM ipari szakterületek szétválasztásának megértése és megértetése!).

A kockázat alapú elemzés bevezetését nagyban segíti, ha az üzemelő a beszállítóktól elvárt adatszolgáltatást írásban rögzíti („zöld könyv”), amely tartalmazza azt, hogy a szerkezettel kapcsolatban mit vár el a gyártótól, az időszakos ellenőrzések során mit

követel meg a vizsgálótól és a karbantartótól (amennyiben ezeket beszállítók végzik). Ezzel egységes adatbázis hozható létre, amelyre egy jól és gazdaságosan működő kockázatelemzés (RBI, RBM) telepíthető.

Hivatkozások

[1] *Rittinger, J.*: Hegesztett szerkezetek megbízhatóságának elemzése. *Anyagvizsgálók Lapja* 8 46 (1998/2)

[2] *Rittinger, J.*: Házárd, rizikó, következmény a műszaki gyakorlatban. *Gép L* 14 (1999/4)

[3] *Rittinger, J.*: A hegesztett szerkezetek létesítésének kockázatelemzése. XII. Országos Hegesztési Tanácskozás. Budapest, 2006. szeptember 4-15. (CD kiadvány).

[4] *Rittinger, J.*: Szempontok a roncsolásmentes anyagvizsgálat eredményeivel szemben támasztott követelmények meghatározásához. *Gép XL* 235 (1988).