

A HIBAFÁ ANALÍZIS ALKALMAZÁSA AZ ÉPÜLETDIAGNOSZTIKAI SZEMREVÉTELEZÉSES VIZSGÁLATOK SORÁN

Molnárka Gergely*

Bevezető

A hibafa elemzési technikát 1962-ben a Bell Telephone Laboratories alkalmazta elsőként, a nemzetközi Minuteman műhold kibocsátási rendszerének biztonsági becsléseiben. A Boeing Company fejlesztette tovább a technikát és számítógépes programokat vezetett be a minőségi és mennyiségi hibafa-elemzés alkalmazásában.

Ma a hibafa-analízis a legáltalánosabban alkalmazott módszer a kockázat és a megbízhatóság területén (ld.még: mérnöki rendszerek megbízhatósági kiértékeléseit). A hibafa-elemzést különös sikerrel alkalmazták a nukleáris erőművek biztonsági rendszerének készítésekor (ld. WASH-1400: US Atomic Energy Commission 1974).

Lehetséges alkalmazását az épületdiagnosztikai vizsgálatok során a módszer elemeinek hasonlósága és az alapos vizsgálati technikája indokolja. Segítségével bonyolult, első megállapításra nem mindig szembetűnő összefüggések térképezhetők fel a meghibásodások ismeretében.

Az elemzés használhatóságát és beépítését az épületdiagnosztikai vizsgálati módszerekbe a CIB W086 Építésspatológiai Bizottsága vetette fel (Dr. Sebestyén Gyula: A műszaki szakértő hibaelemzési módszeréről, p.167, Magyar Építőipar, vol. 4, 1994.)

A hibafa elemzés módszere

A hibafa egy logikai diagram, ami egy rendszeren belül kimutatja egy lehetséges kritikus esemény és az azt elképzelhetően kiváltó okok között a kölcsönös kapcsolatot. Az okok lehetnek környezeti feltételek, humán forrásból származó hibák, természetes események (azok, amelyek a rendszer életében várhatóan bekövetkeznek) és speciális elemek meghibásodásai, hibái. Egy „rendesen” elkészített hibafa változó meghibásodási kombinációkat és más eseményeket mutat be, amelyek a kritikus eseményhez vezetnek. A hibafa könnyedén áttekinthető és

* okl. építészmérnök, PhD hallgató, BME Épületszerkeztani Intézet, Győr SZIF, Építészeti és Szerkezetépítési Tanszék

megérthető azoknak a szakembereknek is, akik előzetesen nem foglalkoztak hibafa-analízissel.

További előnye, hogy az elemzőt rákényszeríti, hogy megismerje a szerkezet hibalehetőségeit, a legalapvetőbb részletek szintjéig. Sok elem gyenge pontja lesz ezáltal felfedhető és kijavítható az elemzés szerkesztése folyamán.

A hibafa statikus képe a hibák kombinációinak és eseményeknek, melyek a kritikus (FŐ) eseményt eredményezhetik. Ezért a hibafa-elemzés nem megbízható módszer dinamikus rendszerek elemzéséhez, viszont kiválóan alkalmas szerkezeti meghibásodások vizsgálata során.

Az elemzés lehet mennyiségi, minőségi vagy mindkettő, a vizsgálat tárgyától függően. (A diagnosztikai vizsgálatok – mivel létező szerkezetek vizsgálata a feladatuk – nem térnek ki a meghibásodás valószínűségének megállapítására, ezért a mennyiségi elemzés alkalmazása értelmét veszti). A lehetséges eredmények, amiket a vizsgálat kimutathat:

- a kritikus (FŐ) eseményt kiváltó környezeti tényezők, humán hibaforrások, stb., azok lehetséges kombinációi;
- egy előre megadott idő intervallumon belül a kritikus esemény bekövetkezésének valószínűsége (a diagnosztikai vizsgálatok során nem felhasználható eredmény).

Egy szerkezet elemzése az említett módszerrel négy lépésben kivitelezhető:

- 1.a probléma definiálása és a határfeltételek megadása
- 2.a hibafa szerkesztése
- 3.a minimális metszet és mező csoportok megnevezése
- 4.a hibafa minőségi elemzése

A probléma definiálása és a határfeltételek

Ez a cselekvés az elemezni kívánt kritikus esemény és az elemezni kívánt határfeltételek definiálását jelenti.

Az elemzés tárgyát képező kritikus esemény, továbbiakban FŐ esemény számára egyértelmű és tiszta definíciót kell megadni. Ellenkező esetben az elemzés korlátolt értékű lesz. Pl. az eseményleírás: „repedés a falon” túlzottan általános és ködös. A FŐ esemény leírásánál a következő kérdésekre kell válaszolni: *mi, hol, mikor*.

Mi?: leírja, hogy milyen típusú a kritikus esemény. Pl. „aktív repedés”

Hol?: leírja, hogy hol következik be a kritikus esemény. Pl. „közbenső szinten, teherhordó falazóblokkos falban”

Mikor?: leírja, hogy mikor következnek be a repedés. Pl. „használatba vétel után két évvel”

Ezáltal a legprecízebb FŐ esemény leírás a következő: „aktív repedés közbenső szinten, teherhordó falazóblokkos falban, használatba vétel után két évvel”.

Ahhoz, hogy megfelelő, következetes elemzést kapjunk, egyértelmű választ kell arra adni, hogy mik az elemzés határfeltételei. A határfeltételek alatt a következőket értjük:

- A vizsgált épületrész fizikai határai. Az épület mely részeit kell az elemzésbe bevonni, melyeket nem?
- A kezdeti feltételek. Az épület melyik élelciklusában (építés, használat) következik be a kritikus esemény?
- Határfeltételek, amelyek a vizsgált épületrészen kívülről érkező hatásokat nevezik meg. Milyen típusú külső hatásokat kell az elemzésbe bevonni? (földrengés, villámlás, talajerózió, stb.)
- A döntés szintje. Milyen részletekig kell a vizsgálatot elkészíteni? Elegendő-e, ha pl. „kivitelezési hiba”-ként jellemezzük az „ALAP” eseményt, vagy további részletekig kell a kivitelezés fázisán túlmenően vizsgálni? Amikor a döntés szintjét határozzuk meg, tisztában kell lenni azzal, hogy a hibafa részletessége az információk elérhetőségével egyensúlyban kell lennie.

A hibafa szerkesztése

A hibafa szerkesztése mindig a FŐ esemény elhelyezésével kezdődik. Ezután be kell azonosítani azokat a hibaeseményeket, amelyek közvetlenül szükségesek és elégségesek ahhoz, hogy a FŐ esemény bekövetkezzen. Ezek a közvetlen okok logikai kapun keresztül kapcsolódnak a FŐ eseményhez. Fontos, hogy az okok első szintjének kialakítása struktúrált legyen. Ezt az első szintet FŐ struktúráként említik a FŐ struktúra okai többnyire a rendszer elsődleges moduljában, vagy funkcióiban hibákként szerepelnek. Ezt követően szintről szintre haladva elemzünk, addig, amíg az összes hibaesemény a döntéshozásnak megfelelő szintre kibontásra nem kerül. Az elemzés gyakorlati megközelítésben deduktív és az ismételt „*mik az okai annak, hogy...?*” kérdés feltevésével lehet szintről szintre eljutni.

A hibafa konstrukció szabályai

- A hibaesemények leírása. Mindegyik hibaeseményt részletesen le kell írni (mi, mikor, hol kérdések).
- A hibaesemények kiértékelése. Kétfajta csoportba lehet sorolni az összetevő hibákat:
 - elsődleges hibák: az elemzett szerkezet fizikai határain belül bekövetkezett hiba, természetes öregedésből származó hiba, anyaghiba, stb. A javítási folyamat (csere) az elem funkciójának teljesítése miatt fontos.
 - másodlagos hibák: a szerkezet hibáját, meghibásodását annak fizikai határain kívülről ért hatások okozzák. Javításuk a szerkezet funkciójának teljesítése miatt fontos.

A „normál” ALAP események a hibafában elsődleges hibák, megnevezve a szerkezetet, elemet, amely felelős a hibaért. A másodlagos hibák közbenső események, amelyek további vizsgálatot igényelnek, hogy az elsődleges okot megtaláljuk.

Egy hibaesemény értékelése során a kérdés: „lehet-e ez az esemény egy elsődleges meghibásodás?”. Ha a válasz „igen”, akkor az eseményt „normál” ALAP eseményként osztályozzuk. Ha a válasz „nem”, akkor a hibát másodlagos ALAP eseményként vagy közbenső eseményként osztályozzuk, amelyeket további elemzésnek veszünk alá. Előfordul, hogy a másodlagos esemény „KI NEM FEJTETT” eseményként szerepel.

A logikai kapcsolatokat (kapukat) teljesen ki kell dolgozni. Minden bemenetnek (input) teljes leírást kell tartalmazni, mielőtt a következő logikai kapcsolatot elkészítjük. A hibafát szintenként be kell fejezni a következő szintre való lépés előtt és minden ágát a következő ág kidolgozása előtt. (A hibafa elemeit mutatja az 1.ábra)

A minimális metszet és mező csoportok megnevezése

A hibafa értékes információkat nyújt a lehetséges hibaesemények kombinációiról, amelyek a rendszer kritikus FŐ hibáját okozhatják. Az ilyen hibaesemény kombinációit nevezték el metszet csoportnak (CUT SET).

A metszet csoport (CUT SET) a hibafában az ALAP események készlete, amelyek (együttes) megjelenése biztos elvezet a FŐ esemény bekövetkezéséhez. Akkor nevezzük ezt minimálisnak, ha a metszet csoport státusza elvesztése nélkül nem redukálható.

A mező csoport (PATH SET) a hibafa azon ALAP eseményeinek készlete, amelyeknek együttes elő nem fordulása biztosítja azt, hogy a FŐ esemény nem következik be. Akkor nevezzük ezt minimálisnak, ha a mező csoport a státusza elvesztése nélkül nem redukálható.

A kicsi és egyszerű hibafák esetén a minimális metszet és mező csoportok megnevezése kivitelezhető vizsgálatok útján, minden formális folyamatábrázolás és algoritmus nélkül. A nagyobb vagy összetettebb hibafa esetén hatékony algoritmusra van szükségünk. A MOCUS (Method for Obtaining Cut Sets) algoritmus a minimális metszet és mező csoportok meghatározásának hatékony algoritmus.

A hibafa minőségi kiértékelése

A minőségi kiértékelés alapja a legkevesebb elemből álló metszet csoporton alapszik. Egy vágó elem fontosságát az eltérő ALAP események száma határozza meg. Ez a szám adja meg a metszet csoport sorrendjét is. Az első számú esemény nagyobb jelentőségű, meghatározóbb esemény, mint a második. Ha csak egy ALAP esemény létezik, akkor a FŐ esemény rögtön bekövetkezik, ha ez az ALAP esemény bekövetkezik. Ha két ALAP esemény került a hibafába, akkor mindkettőnek be kell következnie ahhoz, hogy a FŐ esemény bekövetkezzen.

Másik fontos tényező az alap események típusa. A következő sorrendben rangsorolhatjuk a különböző metszet csoportokat az alap esetek szerint:

1. emberi hiba, mulasztás
2. belső hiba, öregedés, anyaghiba
3. külső elem hibája

Ez a sorrend azon a feltevésen alapul, hogy az emberi mulasztások gyakoribb okok, mint a belső hibák, ami a külső elem meghibásodásai által okozott hibáknál gyakoribb.

A fenti megállapításokat alapul véve egy két ALAP eseményből álló legkevesebb elemből álló metszet csoport rangsora:

Rangsor	1. ALAP esemény	2. ALAP esemény
1	emberi hiba, mulasztás	emberi hiba, mulasztás
2	emberi hiba, mulasztás	belső hiba, öregedés, anyaghiba
3	emberi hiba, mulasztás	külső elem hibája
4	belső hiba, öregedés, anyaghiba	belső hiba, öregedés, anyaghiba
5	belső hiba, öregedés, anyaghiba	külső elem hibája
6	külső elem hibája	külső elem hibája

Homlokzati attikafal repedése

Az előbbieken felvázolt módszer működése példán keresztül bemutatva érthetővé válik. A lakóépület homlokzatán, az attikafalon végigfutó vízszintes repedés kiválóan érzékelteti a hibák komplex mivoltát – és azt is, hogy kijavításukat esetenként átfogó vizsgálat kell, hogy megelőzze, hiszen ránézésre „csupán” egy repedés, ami vakolatjavítás útján rövid időre megszűnik. Azonban a meghibásodást előidéző jelenség továbbra is hat a szerkezetre, és a repedés emiatt újra megjelenik. (a homlokzati repedést mutatja a 2. ábra)

Az említett lépéseken keresztül készül el a meghibásodás elemzése. Elsőként, a probléma leírása és határfeltétei: a homlokzaton, az attikafal és a födém találkozásának síkjában vízszintes, aktív repedés alakult ki, a használatba vétel után. A hibafa szerkesztése ezután, a *mi okozhatja?* ismételt kérdésével juthatunk el a vizsgálat megkívánt szintjéig. (A példaként felhozott repedéskép hibafa-elemzését és a minimális metszet csoport kialakítását ld. a 3. árbrán)

Az elemzés kiértékelése a minimális metszet csoport alapján, szöveges módon történhet. A kiértékelés a repedéskép példájában a következőt eredményezte: az attikafal kialakítása során nem vették figyelembe a fal felületére eső nagymértékű nyári hőterhelést, és az attikafal hőszigetelése vagy elmaradt, vagy az idő során elveszítette hőszigetelő értékét. Emellett az eltérő hőmozgásokból származó feszültségek enyhítését sem oldották meg dilatációs hézagok segítségével. A hiba kialakulását emberi hiba, mulasztás okozta.

Összegzés

A biztonsági rendszereket vizsgáló szakértők és a kockázatelemzéseket készítők a hibafa-elemzés nagy hátrányaként említik azt, hogy minden egyes meghibásodás elemzésekor új hibafát kell készíteni, ami meglehetősen időigényes. Ez igaz, de emellett alkalmazása során elkerülhetők a rutin hátulütői: az elemzés szisztematikus elvégzése minden lépésében a lehetséges okok és okozatok újragondolását segíti elő. Emellett az elkészült hibafa egy összefüggő gondolatmenet grafikus leképezését sugallja. Ezáltal az elemzés során eseleg előforduló hibák kiküszöbölhetőkké válnak, az ok és okozatok közötti – sok esetben nem egyértelműnek tűnő – kapcsolatrendszer világosan kirajzolódik.

A hibafa-analízis alkalmazása az épületdiagnosztikai szakértők számára is egy olyan eszköz lehet, ami a szemrevételezéses vizsgálatok elemzését objektívvé, jól követhetővé teszi.

Irodalomjegyzék

CARA Fault Tree Analysis, GECCO Defence, Norway, 1999.

Publication 155: Introduction, CIB W086 Building Pathology, State-of-the-Art Report, June, 1993.

Billinton, Roy-Allan, Ronald N.: Reliability Evaluation of Engineering Systems, p.133, Plenum Press, New York, 1983.

Székely László: Épületszerkezetek elváltozásainak káros hatásai, disszertáció, Budapest, BME, 1985.