



**BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM
ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR**

Dr. Kollár Lajos

MÉRNÖKI SZERKEZETEK TERVEZÉSE

Műegyetemi Kiadó

- 5 -

1. BEVEZETÉS

Az építmények kialakítását általában a rendeltetésük (funkciójuk), a formai (esztétikai) kívánalmak, valamint a szerkezeti (erőtani) lehetőségek határozzák meg. Vannak olyan építmények, amelyeknél sokféleképpen oldhatjuk meg a funkcionális igényeket, és az erőtani követelmények kielégítésének is többféle lehetősége van, azaz ez utóbbi nem függ szorosan össze a funkcionális megoldással és általában nem is okoz alapvető problémát. Ilyenek például a lakóépületek.

Más építményfajták funkcionális kialakításának lehetőségeit viszont meghatározzák illetve erősen korlátozzák az erőtani lehetőségek. A funkcionális igényeket itt tehát csak az erőtani szempontok messzemenő figyelembevételével lehet kielégíteni. Ezt úgy is megfogalmazhatjuk, hogy ezekben az építményekben a tartószerkezet dominál. Ide tartoznak a hidak, távvezetékoszlopok, hűtőtornyok stb. Ezek a **méRNÖKI ÉPÍTMÉNYEK**. Mivel nagyrészt tartószerkezetből állnak, így **méRNÖKI SZERKEZETEK**nek is szokták őket nevezni.

A most elmondottakon kívül méRNÖKI SZERKEZETEKnek nevezzük azokat a nagynyílású ill. nagy terhelésű szerkezeteket is, amelyek egy-egy építmény vagy épület részét képezik. Ilyenek pl. a nagynyílású (kiállítási, sport- stb.) csarnokok lefedőszerkezetei, vagy a magasházak merevítő- és

tartószerkezetei. Ezek megtervezésében természetesen szintén alapvető szerepe van az erőtani szempontoknak. (Tágabb értelemben az utóbbiakhoz sorolhatunk minden tartószerkezetet is, amely valamilyen építmény részét képezi.)

Mivel a továbbiakban mindkét csoportról kívánunk beszélni, összefoglaló néven mérnöki szerkezeteknek fogjuk nevezni őket, beleértve ebbe a mérnöki építményeket is.

2. A MÉRNÖKI SZERKEZETEK TERVEZÉSÉRŐL ÁLTALÁBAN

2.1. A mérnöki szerkezetek helye az építési tervezésben

Az építményekkel szemben háromféle követelményt kell felállítanunk: a funkcionális, a szerkezeti és a formai követelményt. A **funkcionális követelmény** az építmény használhatóságára vonatkozik, a **szerkezeti követelmény** a műszaki előírásoknak és követelményeknek való megfelelést jelenti, beleértve természetesen a statikai állékonysági szempontokat is, a **formai szempont** pedig az építmény megjelenését, esztétikai képét foglalja magában. Attól függően, hogy e három követelmény közül melyek dominálnak, beszélhetünk jellegzetesen **építészeti alkotásokról**, ahol a funkció és a formai követelmény az elsődleges, valamint jellegzetesen **mérnöki alkotásokról**, ahol a szerkezeti és a funkcionális követelmény együttesen kerül előtérbe. Az építményeket a funkció, a szerkezet és a forma relatív súlya szerint sorba rendezhetjük, ahogy az 1. ábra is mutatja. Minél inkább dominál a szerkezet egy építményben, annál inkább mérnökinek nevezhetjük.

2.2. A mérnöki szerkezetek tervezésének folyamata

Mivel a mérnöki építmények lényeges része a tartószerkezet, ezért a legegyszerűbb, ha a tartó-

szerkezetek tervezésének folyamatát ismertetjük.

A tartószerkezetek tervezése azzal kezdődik, hogy **tanulmányoznunk kell a feladatot**, elsősorban a funkcionális követelményeket, valamint a geometriai adottságokat, a környezetet, stb. Utána kerül sor a **konceptió meghatározására**, ami azt jelenti, hogy alapvetően el kell döntetnünk, milyen elrendezést és milyen szerkezetet választunk. Így például egy szemesanyag raktárhoz alkalmazhatunk silót, padozatos tárházat, vagy olyan tárolót, amelyben halomba rakjuk az anyagot. Ez a tároló ugyancsak többféle lehet: köralaprajzú vagy hosszúka. Az ezek közötti választás jelenti a konceptió meghatározását. Ezután következik a **vázlaterv**, amikor már eldöntjük, hogy például a köralaprajzot milyen módon fedjük le és milyen anyagból. Mindehhez természetesen nem szükséges és nem is lehetséges részletesen és pontosan kiszámítani a tartószerkezetet, hanem más hasonló feladatok megoldása alapján, vagy adatgyűjteményekből határozzuk meg, hogy milyen anyagmennyiséggel és milyen méretekkel tudjuk lefedni a tárolót. A méretek meghatározásához közelítő számításokat is végezhetünk. Ha megvan a vázlaterv és néhány könnyesebb csomópont megoldása, akkor **egyeztetnünk kell** a beruházóval, a kivitelezővel és az engedélyező hatóságokkal. Csak utána foghatunk hozzá a **részletes tervek** (kiviteli tervek) elkészítéséhez, amihez természetesen már pontos számításokat kell végeznünk.

FUNKCIÓ, FORMA
(építészet); üzemi technológia; stb)

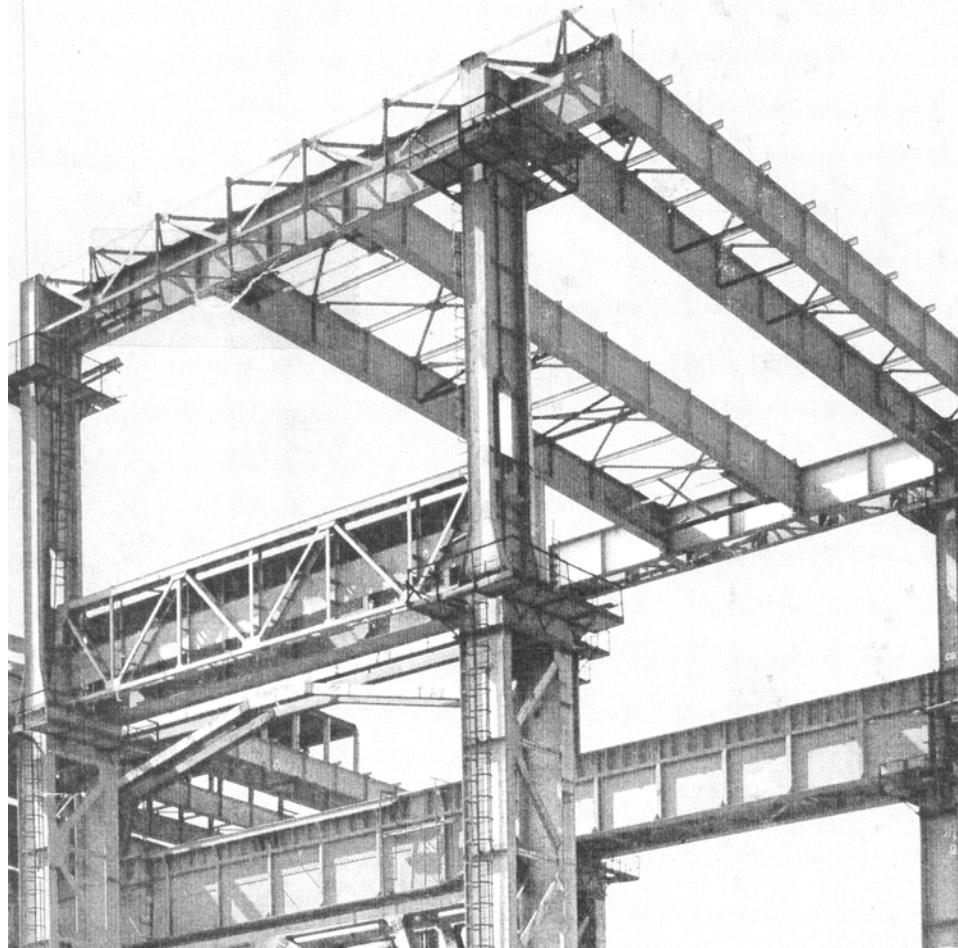
SZERKEZET
(statika, építésmód)

Emlékmű Szobor	Lakóház Kommunális épület Kulturális épület	Magasház Nagyterű csarnok (kiállítás, sport)	Sátor Ipari építmények (csarnokok, stb) Parkolóház	Híd Siló Tartály Kémény Hűtőtorony Tűvezetékoszlop Víztorony TV-torony Szalaghíd Csővezeték Naperráma Kőlépálya	Gépalap Gépi berendezések Állvány Vízépítési műtárgyak Völgyszorogót Mélyépítési műtárgyak (támla, földalatti tároló, stb.) Fűtőtornyok
-------------------	---	--	---	--	---

1. ábra

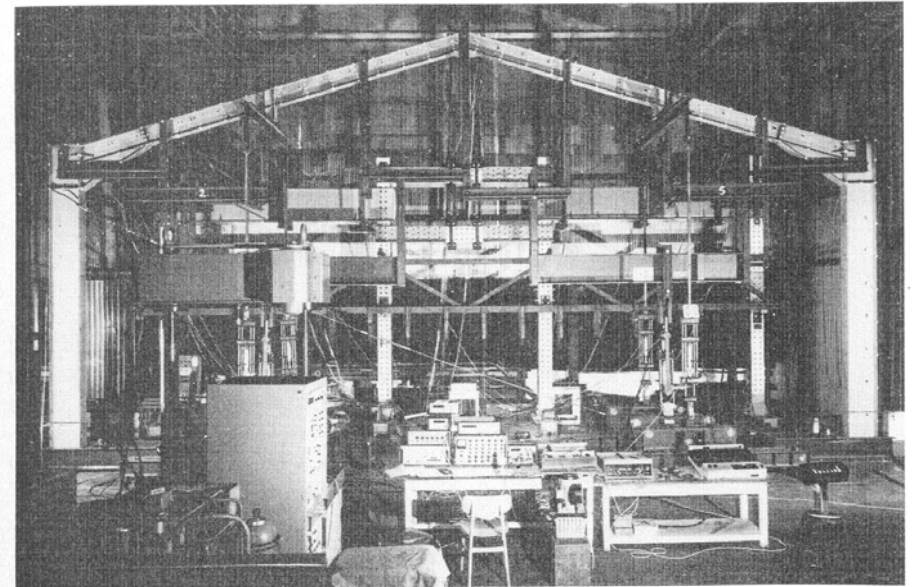
ACÉL- SZERKEZETEK

HALÁSZ OTTÓ
PLATTHY PÁL

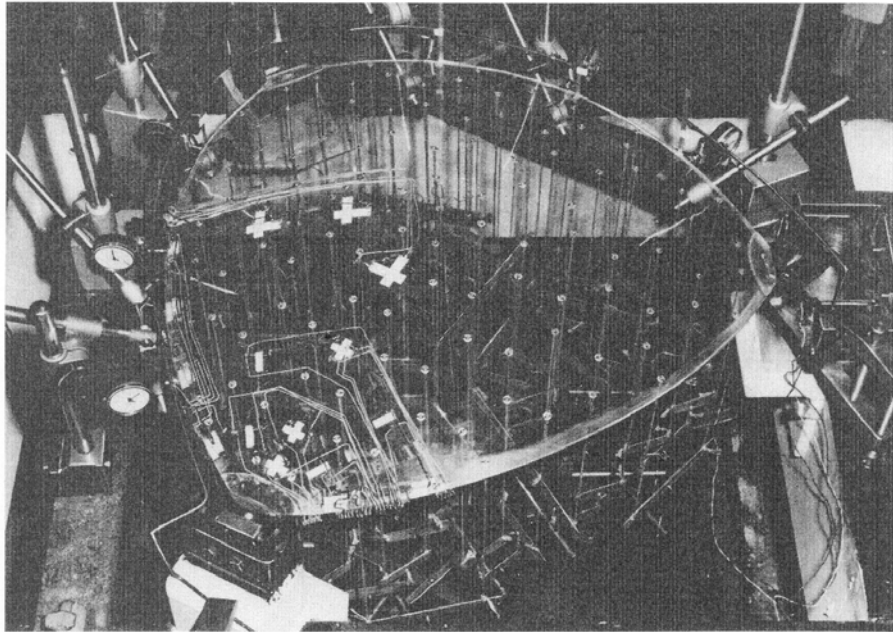


7. Acélszerkezetek méretezésének elvei

Teherhordó szerkezetek tervezése során igazolni kell, hogy az – a felvett méretekkel – a tervezett élettartam (építése és rendeltetésszerű használata) során kellő biztonsággal tesz eleget a vele szemben támasztott erőtani követelményeknek. Az igazolás általában erőtani számítással, esetenként (vagy részben) a szerkezet kicsinyített modelljén, illetve a kész szerkezeten végzett kísérletek (7.1. 7.2. és 7.3. fénykép) vagy akár hasonló szerkezetekkel korábban szerzett tapasztalatok rendszerezése útján végezhető el. Mivel e követelmények betartása emberélet és lényeges értékek megóvásával kapcsolatos, az igazolás módját kötelező előírások határozzák meg. Ilyenek pl. az építmények teherhordó szerkezeteinek erőtani tervezésére vonatkozó szabványok, illetve a vasúti és közúti hidakra vonatkozó szabályozások [7.1.], [7.2.] [7.3.] [7.4.] [7.5.] [7.6.] [7.7.] [7.8.] [7.9.].



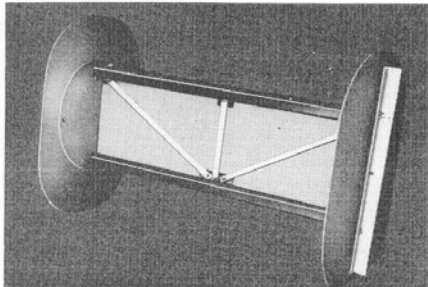
7.1. fénykép. Eredeti nagyságú keretszerkezet teherbírás-vizsgálata a BME Acélszerkezetek Tanszék laboratóriumában



7.2. fénykép. Kicsinyített léptékű szerkezet (modell) vizsgálata a BME Acélszerkezetek Tanszék laboratóriumában

Az erőtan követelményeket a létesítmény céljából és használatának körülményeiből kell levezetni. Általában két csoportra oszthatók, és kimondják, hogy

– a teherhordó szerkezet legyen képes a reá ható terheket hordani, a külső hatásoknak ellenállni, anélkül, hogy üzemképtelenséget okozó károsodások lépnének fel (I. csoport), emellett



7.3. fénykép. Független modelljének szélcsatorna-kísérlete a Budapesti Műszaki Egyetemen

– ne lépjenek fel a létesítmény használatát, fenntartását zavaró, tartósságát csökkentő jelenségek sem (II. csoport).

Az első csoport általában a teherhordó szerkezet teherbírásával, a második annak merevségével kapcsolatos.

A „kellő biztonság” meghatározás arra utal, hogy a követelmények teljesülését akkor is meg kívánjuk, ha a létesítendő szerkezet geometriai felépítése, viselkedése, terhei, anyagának tulajdonságai – amint az egyébként elkerülhetetlen is – kismértékben kedvezőtlen értelemben eltérnek attól, amit a tervezés során feltételeztünk.

7.1. A követelmények számszerű megfogalmazása. A határállapotok

A követelmények számszerű megfogalmazása érdekében feltételezzük az alábbiakat:

- Vizsgálatainkban megfelelő részletességgel nyomon tudjuk követni a teherhordó szerkezet időben változó állapotát, és azt a szerkezetre ható terhek és hatások, valamint a belőlük számítható igénybevételek, feszültségek, elmozdulások, alakváltozások stb. nagyságával számszerűen jellemezni is tudjuk. Előbbi mechanikai mennyiségeket állapotjellemzőknek, a terhek és hatások időbeli változását terhelési folyamatnak nevezzük.
- A szerkezetek felépítésének, anyagának és terhelési körülményeinek ismeretében a lehetséges állapotok közül ki tudjuk választani azokat az ún. határállapotokat, melyeken túl az előírt követelmények már nem teljesülnek (pl. a szerkezet leszakad, rezgésbe jön stb.). Ekkor az egyes határállapotokhoz tartozó valamelyik, alkalmasan kiválasztott állapotjellemző olyan *számszerű korlátot* szolgáltat, melyet a követelmények megsértése nélkül túllépni nem lehet.

Így a követelmények teljesítésének igazolása annak kimutatásából állhat, hogy a szerkezet megfelelő állapotjellemzői kellő biztonsággal a határállapotokból levezethető korlátaik alatt maradnak.

A követelmények I. és II. csoportjával kapcsolatos határállapotokat teherbírási, ill. használati (üzemi) határállapotoknak nevezzük. A teherbírási határállapotok és a belőlük adódó korlátok megfogalmazása elvileg tisztább feladat, mert rendszerint markáns, a szerkezet állapotát minőségileg módosító jelenségekhez kapcsolódnak. A használati határállapotok ezzel szemben gyakran megállapodásos, a használatra vonatkozó gazdaságossági megfontolásokon alapuló korlátokat jelentenek (lásd a 7.9. pontot). Acélszerkezetek esetén állapotjellemzőként legtöbbször a feszültségeket és elmozdulásokat használjuk, így az említett korlátok is általában ezekre vonatkoznak.

SZALAI KÁLMÁN

Vasbeton- szerkezetek

TANKÖNYVKIADÓ

2.1 Bevezetés

2.11 A biztonságról általában

Az építmények létesítésében, környezeti feltételeiben és használatában meglévő bizonytalanságok miatt a tartószerkezeteket — ezen belül a vasbetonszerkezeteket — biztonsággal kell építeni. A biztonság mértéke és értelmezése a mérnöki tevékenység történetében sokat változott.

Kezdetben a szerkezeteket általában tapasztalati alapon és az „abszolút” biztonságra törekedve építették. Az abszolút biztonságon azt értették, hogy a szerkezet nem kívánt állapota (használatatlanná válása vagy használatának korlátozott volta) semmilyen körülmények között nem alakul ki. Az építési és használati tapasztalatok gyarapodásával, illetve az építéstudomány fejlődésével párhuzamosan bebizonyosodott, hogy ilyen törekvés fölösleges, de meg sem valósítható.

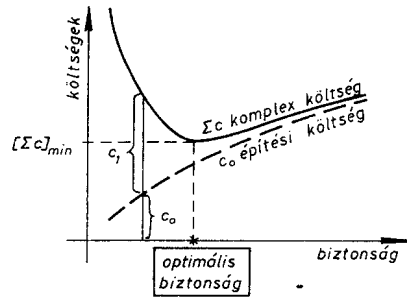
A vasbetonépítés kezdetén a szerkezeteket viszonylag nagy biztonsággal építették. A biztonságot ekkor úgy fogták fel, mint a szerkezeti ellenállás és az arra ható terhek várható értékeinek hányadosát. A kedvező tapasztalatok után és a szilárdságtani ismeretek bővülésével — elsősorban gazdasági megfontolásokból — a biztonságot (pl. kisebb méretek alkalmazásával) fokozatosan csökkentették. Az építési és használati tapasztalatok alapján fölöslegesnek mutakozó biztonság csökkentése az egymást követő méretezési eljárások révén valósult meg.

Az 1940-es években kialakult megfontolások eredményeként az 1950-es évek elején a szerkezeteket egyenlő biztonságra törekedve tervezték, amely felváltotta a hagyományos megengedett feszültségeken alapuló méretezési eljárást. Az egyenlő biztonság azt jelentette, hogy a teherbírás határértékét alapul véve, a hasznos teher várható értékéhez kimutatható biztonsági tényező a szerkezet minden elemében azonos értékű.

Az építési tapasztalatok és tudományos kutatások eredményeként később bebizonyosodott, hogy a korábban nagy előrehaladást jelentő egyenlő biztonságra való tervezés még nem eredményezi a leggazdaságosabb megoldást.

A szerkezet biztonságán ma a nem kívánt állapotok elkerülésének megbízhatóságát, illetve a nem kívánt állapot kialakulásának kockázatát értjük (l. a 2.2. pontot). A gazdasági tényezőkre is tekintettel a méretezés feladata napjainkban az, hogy a szerkezet optimális biztonságú legyen.

Az optimális biztonságot a szerkezet tervezett gazdaságos élettartama alatt jelentkező valamennyi költség tényezőt (anyagi és erkölcsi károkat is) magába foglaló komplex költségek minimuma határozza meg (2.1. ábra). A komplex költségeket a C_0 építési és C_1 fenn-



2.1. ábra. Az optimalis biztonság egyszerűsített értelmezése

tartási költségek alkotják. A C_1 költségek a szerkezet normális üzemeltetése mellett törvényszerűen, de esetlegesen kialakuló meghibásodásaival, továbbá a kis valószínűséggel bekövetkező tönkremenettel járó károkat is tartalmazzák.

2.12 A tartószerkezetek erőjátékában szerepet játszó paraméterek sztochasztikus jellege

A szerkezet erőjátékában szerepet játszó paraméterek, hasonlóan minden fizikai jelenséghez, általában nem jellemezhetők egyetlen számadattal. A jellemzés csak sztochasztikusan lehetséges. A méretezés számára fontos sztochasztikus jellemzéshez szükség van az adott paraméter, mint valószínűségi változó eloszlásfüggvényének minél pontosabb ismeretére. A gyakorlatban a konkrét eloszlásfüggvények helyett legtöbbször meg kell elégednünk a valószínűségi változók várható értékének (átlagának), szórásának vagy varianciájának és esetleg az eloszlásfüggvény ferdeségének, lapultságának stb. ismeretével. Ugyanis a pontos eloszlásfüggvények analitikus vagy empirikus meghatározásához nincsen elegendő információ. A felsorolt mennyiségek — amelyeket statisztikai módszerekkel többnyire kellő pontossággal és megbízhatósággal meg tudunk határozni — általában elegendő alapot adnak arra, hogy a vizsgált valószínűségi változóra vonatkozó néhány kvalitatív kiegészítő információ figyelembevételével is használható helyettesítő eloszlásfüggvényt (normál, log-normál, gamma- stb. eloszlás) vehessük fel.

Mivel az ellenállás és a teher mint valószínűségi változó kezelendők, ezért a létrejövő szerkezeti meghibásodások és a károk is csak sztochasztikusan jellemezhetők.

Ennek megfelelően újabbban előtérbe kerültek a valószínűségelméletre épülő, a matematikai statisztikát felhasználó méretezési eljárások.

A továbbiakban összefoglaljuk a vasbetonszerkezetek méretezésmélettének alapjait.

2.2 A méretezési követelmények

2.2.1 A méretezés célja

A méretezés célja olyan szerkezetek létesítése, amelyek a tervezett gazdaságos élettartamon belül alkalmasak a velük szemben támasztott követelményeknek megfelelni. Ennek megfelelően a szerkezetet úgy kell méretezni, hogy optimalis biztonsága legyen

- az építése és rendeltetészerű használata során rá ható valamennyi teherrel és hatással,
- helyi tönkremenetelt előidéző rendkívüli hatás (pl. robbanás) esetén keletkező a progresszív összeomlással

szemben. Továbbá a szerkezet a tervezett élettartamán belül

- rendeltetésének megfelelően használható,
- megfelelő tartósságú,
- tűz esetén kellő állékonyosságú legyen.

E követelmények teljesülése végett meg kell követelni, hogy

- a terveket megfelelő tervezői jogosultságú mérnökök készítsék,
- a kivitelezést kellően ügyes és tapasztalt szakemberek végezzék,
- a szerkezet használatának tényleges körülményei ne térjenek el a tervezettől,
- a szükséges ellenőrzés megvalósuljon a tervezés, kivitelezés és használat teljes időtartama alatt,
- a szerkezet karbantartása biztosítva legyen a tervezett élettartam alatt.

Ilyen feltételek megteremtéséhez mindenképp azért is szükség van, hogy a durva hanyagság és a nem véletlen jellegű hibák elkerülhetők legyenek. A tervezőre, kivitelezőre és üzemeltetőre vonatkozó előírások ugyanis nem nyújtanak védelmet a durva hanyagság és hibák hatásának következményeivel szemben.

Az építési tevékenység teljes menetében egyértelműen meg kell határozni a felelős személyt, ill. személyeket és a felelősség mértékét.

Ezen túlmenően a fenntartási tervekben meg kell határozni a karbantartás pontos feltételeit és a felelősség mértékét is.

2.2.2 A szerkezet megbízhatósága és a kockázat

Az elegendő költségráfordítás mellett a tervezőnek ügyelnie kell arra, hogy a szerkezet töréssel szemben, továbbá a használhatóságot illetően megfelelő biztonságu legyen.

A biztonságon általánosságban a szerkezet azon képességét értjük, hogy a vele szemben támasztott követelményeket a tervezett élettartamon belül egy adott p kockázattal teljesíti. A kockázat az előírt követelmények nem teljesülésének (más szóval a nem kívánt állapot kialakulásának) valószínűsége. Az optimalis biztonsággal megépített szerkezet $M = (1 - p)$ megbízhatósággal üzemel.

Egy és ugyanazon építmény különböző szerkezeti elemeire a kockázatnak különböző foka mértékadó attól függően, hogy az adott elem a nem kívánt állapotok fellépése minőségi és mennyiségi értelemben milyen veszteségekkel jár.

2.23 A nem kívánt állapotok és kialakulásuk következményei

Kockázat nélküli építmény nincs, mert valamilyen kis valószínűséggel a szerkezet tönkremenetele mindig kialakulhat. A tönkremenetel végbemehet a rendeltetés szerinti használati feltételek és a környezeti hatások következtében vagy különleges esetekben a rendkívüli hatások (pl. tűz, robbanás) következtében. A tervezett élettartamon belül esetlegesen kialakuló állapot következményeit illetően az alábbi minőségi csoportok képezhetők :

- I. — az emberi élet veszélyeztetése csak véletlen jellegű és/vagy a gazdasági következmény csekély, ill. elhanyagolható ;
- II. — az emberi élet veszélyeztetése fennáll és/vagy a gazdasági következmények jelentékenyek ;
- III. — az emberi élet veszélyeztetése nagy és/vagy a gazdasági következmények igen nagyok.

A következmények ilyen osztályozása lehetővé teszi a biztonság különböző mértékének tervezését.

A következmények a meghibásodás módjától is függenek, különösen akkor, ha az emberi élet vagy sérülés veszélyeztetettsége fennáll. Az előrejelzés nélküli ún. rideg törés veszélye esetén magasabb biztonsági szintet kell tervezni.

A tönkremenetellel összefüggő nem kívánt állapot kialakulása mellett olyan elváltozás is létrejöhet, ami a szerkezet használhatóságát rontja, ill. veszélyezteti vagy annak élettartamát csökkenti. Ilyen használhatósági akadály vagy korlátozási kényszer alakulhat ki

1. túlzott alakváltozások következtében, amelyek akadályozzák a szerkezet használatát vagy rontják esztétikai megjelenését ;
2. helyi károsodások (pl. repedések kialakulása, kapcsolódó épületek károsodása) miatt, amelyek fokozott karbantartást igényelnek, korrózióhoz vagy kártérítési igényhez vezetnek ;
3. túlzott mértékű rezgés, amely miatt az emberi tarózkodás kényelmetlen vagy a normális üzemeltetés nem lehetséges, illetve gazdaságtalan.

A nem kívánt állapot kialakulása jelentkezhet a szerkezet élettartamának nagymértékű csökkenésében is, azaz amikor a szerkezet tartóssága a tervezettnél rövidebb lesz. A szerkezet tartósságának csökkenése előállhat :

- a) a fárasztó jellegű igénybevételek esetén, amikor a szerkezet, ill. szerkezeti anyag kifáradása jelentkezik ;
- b) a tartósan működő terhek esetében, amikor a szerkezet, ill. szerkezeti anyag tartós szilárdságának kimerülése következik be ;
- c) korrózió következtében, amikor a szerkezet teherbírása idő előtt kimerül.

A tervező és a kivitelező feladata olyan megbízhatóságú szerkezet kialakítása, amelynél a nem kívánt állapot kialakulásának valószínűsége a vállalható kockázatnak megfelelő mértékű.