

A.3. Acélszerkezetek tervezése az Eurocode szabványsorozat szerint

A.3.1. Bevezetés

Az Eurocode szabványok (amelyeket gyakran EC-knek is nevezünk) kiadása az Európai Szabványügyi Bizottság (CEN) feladata. A tartószerkezeti Eurocode szabványsorozatot tíz szabvány alkotja, amelyek közül az acélszerkezetek szempontjából a leglényegesebb az EC, az EC1, az EC3 és az EC4. Az Eurocode (EC) tárgyalja a tervezés alapjait. Az Eurocode 1 (EC1) tárgyalja a hatásokat; elsősorban a terhek (közvetlen hatások), másodsorban pedig a tartószerkezet viselkedését ugyancsak befolyásoló úgynevezett közvetett hatások (hőmérsékleti hatások, kényszer-alakváltozások) megadásával foglalkozik. Az Eurocode szabványsorozat a közvetlen és a közvetett hatásokat együttesen hívja „hatásoknak”. Az EC3 az acélszerkezetekkel, az EC4 pedig a betonnal együttműködő acélszerkezetekkel foglalkozik. Az Eurocode szabványsorozat többi része más anyagú szerkezetek tervezésével, illetve a speciális körülményekre való tervezés (földrengésállóság, geotechnikai tervezés) kérdésével foglalkozik.

Az Eurocode szabványsorozat célja az, hogy hiteles, a biztonságot és a gazdaságosságot szem előtt tartó, az egész Európai Unióban egységes iránymutatást adjon a tartószerkezetek tervezésére. A tagállamokban bevezetett egységes szabályozás megkönnyíti a különböző országokban működő gazdasági egységek közötti együttműködést, és lehetővé teszi, hogy a tervezők és a kivitelezők azonos feltételekkel versenyezzenek külföldön is.

Az Eurocode szabványsorozatot egész Európát képviselő nemzetközi szakértői csoportok készítették. A végleges változat, az „európai szabvány” (EN) .

Az EC, az EC1, az EC3 és az EC4 szabványok pontos megjelölése a következő:

EC: EN.1990: Eurocode: A tervezés alapjai

- EC1: EN 1991: Eurocode 1: A tartószerkezeteket érő hatások
- EC3: EN 1993: Eurocode 3: Acélszerkezetek tervezése
- EC4: EN 1994: Eurocode 4: Betonnal együttműködő acélszerkezetek tervezése

Az EC3: Acélszerkezetek tervezése szabvány felépítése a következő:

- 1.1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok
- 1.2. rész: Tervezés tűzterherre
- 1.3. rész: Vékonyfalú hidegen hajlított elemek és burkolati lemezek
- 1.4. rész: Rozsdamentes acél
- 1.5. rész: Síkjukban terhelt lemezes szerkezetek
- 1.6. rész: Héjak
- 1.7.rész: Síkjukra merőlegesen terhelt lemezes szerkezetek
- 1.8.rész: Kapcsolatok
- 1.9.rész: Fáradás
- 1.10. rész: Nagyszilárdságú acélok
- 2. rész: Hidak és lemezes szerkezetek
- 3. rész: Tornyok, antennatornyok és kémények
- 4. rész: Tartályok, silók és csővezetékek
- 5. rész: Szádfalak
- 6. rész: Daruszerkezetek

Az 1.1. rész az általános alapelveket és a szokványos épületekre vonatkozó konkrét tervezési szabályokat tartalmazza. Az EC1: A tartószerkezeteket érő hatások szabvány felépítése a követk

- 1. rész: A tartószerkezeteket érő hatások. Sűrűségek, önsúly és hasznos terhek
- 2. rész: A tűznek kitett tartószerkezeteket érő hatások
- 3. rész: A tartószerkezeteket érő hatások. A hőteher

- 4. rész: A tartószerkezeteket érő hatások. A szél hatásai
- 5. rész: Hőmérsékleti hatások
- 6. rész: Kivitelezéskor keletkező terhek és alakváltozások
- 7. rész: Rendkívüli hatások
- 8. rész: Hidak forgalmi terhei
- 9. rész: A silókra és a tartályokra működő hatások
- 10. rész: Daruk és gépi berendezések okozta hatások

A hőmérsékleti hatásokkal és a kényszer-alakváltozásokkal nem foglalkozunk részletesen, ezért „hatások” helyett gyakran fogunk egyszerűen „terheket” mondani.

Az EC4: Betonnal együttműködő acélszerkezetek tervezése szabvány felépítése hasonló az EC3 felépítéséhez, és a magasépítési együttműködő szerkezetek tervezése szempontjából legfontosabb részei a következők:

- 1.1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok
- 1.2. rész: Tervezés tűzteherre

Az EC4 számos helyütt hivatkozik az EC3-ra, illetőleg a betonszerkezetek tervezésével foglalkozó EC2-re.

Az acélszerkezetek tervezése szempontjából a következő európai szabványok fontosak még:

- EN 10025: Melegen hengerelt termékek ötvözetlen acélokból. Műszaki követelmények
- EN 10113: Melegen hengerelt termékek hegeszhető, finomszemcsés szerkezeti acélokból
- EN 10210: Hőkezelt acél zárt szelvények
- EN 10219: Hidegen alakított szerkezeti zárt szelvények

Az Eurocode szabványok egyes részei fejezetekre, szakaszokra és bekezdésekre tagozódnak, amelyeket konzekvens számozási rendszer azonosít, a következőképpen:

4. fejezet – 4.2. szakasz – 4.2.1. szakasz – 4.2.1.1. szakasz – 4.2.1.1. szakasz (2) bekezdés

Az Eurocode szabványokban a bekezdések kétféleképpen lehetnek:

- alapelvek – általános kijelentések és fogalommeghatározások, amelyek alapvető, kötelezően betartandó követelményeket fogalmaznak meg;
- alkalmazási szabályok – olyan, általánosságban elfogadott szabályok, amelyek kielégítik az alapelvek követelményeit, és amelyek helyett más szabályok is használhatók.

A.3.2. Terminológia és jelölésrendszer

Az Eurocode szabványok általában igen precíz terminológiát és jelölésrendszert alkalmaznak. Ezek jelentős része az egyes Eurocode-okhoz vagy azon belül fejezetekhez, szakaszokhoz kötődik, azonban van néhány általános fogalom és jelölés, amelyet az Eurocode szabványok többsége használ és amelyeket érdemes áttekinteni:

- *A* – Hatás – általános fogalom, amely a szerkezetre működő terheket és egyéb külső behatásokat (például hőmérsékleti hatásokat, kényszer-alakváltozásokat) foglalja magában;
- *E* – Hatás következménye – általános fogalom, amely a hatás következtében a szerkezetben vagy a szerkezeti elemekben fellépő feszültségeket, lehajlásokat, hajlítónyomatékokat stb. foglalja magában;
- *R* – Ellenállás – általános fogalom, amely a szerkezet vagy szerkezeti elem azon képességét írja le, hogy ellenáll a hatások következményeinek (például hajlítási ellenállás, nyomási ellenállás);
- γ – Parciális biztonsági tényezők – a paraméterek (hatások, anyag szilárdsági jellemzői stb.) változatosságát figyelembe vevő szorzótényezők; ezenkívül tartalmaznak egy általános biztonsági tartalékot is.

Az Eurocode 3 kiterjedten használ indexeket is, amelyek a jelölések pontos jelentésének megjelölésére szolgálnak. Valamennyi Eurocode szabvány használja a következő indexeket:

- k – karakterisztikus – egyes változók (például hatások, anyagok szilárdsági jellemzői) karakterisztikus vagy tipikus értékét jelöli;
- d – tervezési – egyes változók (például hatások, anyagok szilárdsági jellemzői) azon értékeit jelöli, amelyeket a tervezés során a számításokban fel kell használni; a tervezési érték a karakterisztikus értékből, parciális biztonsági tényezővel való szorzás vagy osztás révén származtatható.

Indexként használhatók az önálló jelölésként definiált betűjelek is, és az indexek egymással is kombinálhatók. Például:

- Rd – ellenállás tervezési értéke;
- Sd – belső erő vagy nyomaték tervezési értéke.

Ha kettőnél több index áll egymás mellett, akkor ponttal kell őket elválasztani:

- $N_{pl,Rd}$ – a normálerővel szembeni képlékeny ellenállás tervezési értéke.

A.3.3. Az Eurocode szerinti tervezés alapelvei

Az Eurocode szabványok kijelentik, hogy a tartószerkezeteket úgy kell megtervezni, hogy mind rendes, mind különleges körülmények között, az építés és a használat különböző szakaszaiban képesek legyenek feladatukat ellátni. A tervező ezt általában többféleképpen is kimutathatja, de a részletes előíró szabályok a határállapotok elvén alapulnak.

A határállapotok elve szerint a tervező olyan állapotokat vizsgál, amelyek tönkremenetelnek tekinthetők (ezeket nevezzük határállapotoknak), és ezekhez alkalmas számítási modelleket (módszereket) használ. Ezen állapotoknak két csoportját, a teherbírási határállapotokat (ULS) és a használhatósági határállapotokat (SLS) különböztetjük meg. Az egyes határállapotokban meg kell határozni a szerkezet viselkedését, figyelembe véve az adott teherszinten várható szerkezeti viselkedés jellegét.

A teherbírási határállapotok (teherviselő képesség, helyzeti állékonyság stb.) a szerkezet biztonságával függnek össze, és azokat az állapotokat jelentik, amelyekben a szerkezet a terv szerinti célra való használat esetén nem kellően biztonságos. A tervezőnek gondoskodnia kell arról, hogy a szerkezet (vagy valamely szerkezeti elem) elegendő ellenállással rendelkezzen azon legnagyobb hatások (terhek és alakváltozások) viseléséhez, amelyek valamely reális biztonsági tartalék figyelembevételével a szerkezetre működhetnek. Acélszerkezetek tervezése esetén a leglényegesebb az ellenállás (folyás, kihajlás, kifordulás, horpadás, folyási mechanizmus kialakulása) és a félborulással szembeni stabilitás ellenőrzése. Bizonyos esetekben ezeken kívül további lehetséges tönkremeneteli formákat, például a fáradt vagy a rideg törés esetét is meg kell vizsgálni. Ez utóbbi vizsgálatok azonban szokványos magasépítési acélszerkezetek esetén elhagyhatók. A használhatósági határállapotok olyan határállapotokat jelentenek, amelyekben túl ugyan áll a szerkezet, de kedvezőtlen módon kezd viselkedni például a túlzott alakváltozások vagy rezgések miatt. A tervezőnek tehát arról kell gondoskodnia, hogy a szerkezet képes legyen ellátni feladatát a használati (üzemi) terhek esetén.

A viselkedés jellegét különböző állapotokban kell ellenőrizni. Az Eurocode 3 három tervezési állapotot határoz meg: a szerkezet rendes használatához kapcsolódó tartós állapotokat, a például az építési és javítási munkálatokat jelentő átmeneti állapotokat és a rendkívüli állapotokat. Ezekben a tervezési állapotokban esetenként eltérő hatásokat (teherkombinációkat, hőmérsékleti és süllyedési hatásokat stb.) kell figyelembe venni.

Annak ellenére, hogy látszólag nagyszámú esetet kell megvizsgálni, a legtöbb esetben elegendő a szerkezet ellenállásának kimerülésével és a helyzeti állékonysággal összefüggő állapotokra tervezni, majd ellenőrizni, hogy teljesül-e a lehajlási követelmény. A többi határállapot általában vagy nyilvánvalóan nem mértékadó, vagy viszonylag egyszerű számítással megvizsgálható.

A határállapotok elvén történő tervezés tehát a következőképpen foglalható össze:

- kiválasztjuk azokat a határállapotokat, amelyekre a szerkezeti viselkedést ellenőrizni kell;
- az egyes határállapotokhoz meghatározzuk, mely hatásokat és hogyan kell figyelembe venni;
- alkalmas szerkezeti modellek segítségével és a paraméterek (például az anyagjellemzők vagy a geometriai méretek) elkerülhetetlen változatosságának figyelembevételével kimutatjuk, hogy egyik határállapot sem következik be. (A paraméterek változatosságát a parciális tényezőkön keresztül vesszük számításba.)

A.3.4. Parciális biztonsági tényezők

A egységes biztonsági tényező (megengedett feszültségeken alapuló) méretezési eljárás egyetlen biztonsági tényezője helyett a határállapotok elvén történő tervezés során több parciális biztonsági tényezőt veszünk figyelembe, amelyek segítségével az egyes paraméterek (például a terhek vagy a szilárdsági jellemzők) karakterisztikus értékéből származtathatók a tervezési értékek. A parciális biztonsági tényezők nagyságát elvben úgy kell megállapítani, hogy leírják a kérdéses mennyiség (a hatás vagy az anyagjellemző) statisztikai alapon meghatározott bizonytalanságát vagy változatosságát. Bár látszólag erről van szó, a gyakorlatban az alkalmazott parciális tényezők értéke magában foglalja az egységes biztonsági tényező egyes vonásait, és értéküket nem szigorú valószínűség-elméleti alapokon határozták meg.

A teher tervezési értékét (F_d) úgy kapjuk, hogy a hatás karakterisztikus értékét (F_k) megszorozzuk a hatásokra alkalmazandó parciális biztonsági tényezővel (γ_F):

$$F_d = \gamma_F F_k.$$

A szerkezetben a terhek tervezési értékének hatására bekövetkező hatáskövetkezmények (hajlítónyomatékok, nyírőerők stb.) értékét tekintjük tervezési értékeknek (jelölése: E_d).

Az ellenállás tervezési értékét (R_d) úgy kapjuk, hogy a szilárdsági jellemző karakterisztikus értékét (R_k) elosztjuk az ellenállásra alkalmazandó parciális biztonsági tényezővel (γ_R), majd az így kapott értéket szükség esetén, például a kihajlásvizsgálat során, alkalmas módon módosítjuk. A szerkezet akkor felel meg, ha az ellenállás tervezési értéke nagyobb, mint a hatás következményéé.

A paraméterek közül változatosság szempontjából leglényegesebbek a hatások, az anyagjellemzők és a geometriai méretek. E változatosságot formálisan a karakterisztikus értékek megfelelő biztonsági tényezőkkel való osztása, illetőleg szorzása révén vesszük figyelembe.

A.3.4.1. A hatások (terhek) változatossága

A működő hatások nagyságában nyilvánvalóan jelentős a változatosság, ami a parciális biztonsági tényezők nagyságában jelenik meg. Az önsúlyterhekhez például, amelyek viszonylag megbízhatóan előre jelezhetők, kisebb biztonsági tényező tartozik, mint a hasznos terhekhez, amelynek értéke egy, az épület rendeltetésének megfelelő tág kategóriához tartozik.

Ha több hatást veszünk egyszerre figyelembe, akkor kisebb parciális biztonsági tényezők alkalmazhatók, amiatt, mert a különböző hatások maximumának egyidejű megjelenése viszonylag kevésbé valószínű.

Eltérő lehet egy hatás biztonsági tényezője akkor is, ha kedvező következménye van.

A figyelembe veendő esetek száma igen nagy is lehet, de sok esetben néhány, jól megválasztott kritikus teherkombináció vizsgálata elegendő.

A.3.4.2. Az anyagjellemzők változatossága

A.3.4.2.1. Szilárdsági jellemzők

A tartószerkezet anyagának változatossága úgy jelentkezik, hogy a szerkezet egyes elemeinek eltérők a szilárdsági jellemzői. A szerkezeti acélok esetében ebben a vonatkozásban a leglényegesebb anyagjellemző a folyáshatár. A folyáshatár karakterisztikus értéke definíció szerint általában az az érték, amely alá a folyáshatár értéke csak az összes eset egy bizonyos százalékában esik. Gyakorlati megfontolásból a tartószerkezeti tervezés során karakterisztikus értéként névleges értéket, általában az előírt legkisebb folyáshatár értékét használjuk. Így van ez az Eurocode 3-ban is, amely táblázatosan tartalmazza az egyes acélminőségekre a folyáshatár névleges értékét.

Az acélananyag szilárdsági jellemzőjének tervezési értékét úgy kapjuk, hogy a karakterisztikus értéket elosztjuk egy alkalmasan megválasztott parciális biztonsági tényezővel.

A.3.4.2.2. További anyagjellemzők

A többi anyagjellemző (a rugalmassági modulus, a nyírási modulus, a Poisson-tényező, a lineáris hőtágulási együttható és a sűrűség) általában sokkal kisebb változatosságot mutat, mint a szilárdsági jellemzők, ezért tervezési értéküket általában determinisztikus alapon, biztonsági tényezők alkalmazása nélkül vesszük fel.

A számértékükkel figyelembe vett anyagjellemzők mellett van az anyagjellemzőknek egy másik csoportja, amelyeket a tartószerkezeti tervezés során közvetlenül nem veszünk ugyan számításba, de amelyeknek értékét általában elő kell írni annak érdekében, hogy a szabványban előírt tervezési elvek és eljárások alkalmazhatók legyenek. Az Eurocode 3 például előírja, hogy amennyiben képlékeny alapon kívánjuk a szerkezet analízisét elvégezni, akkor a szakítószilárdság és a folyáshatár arányának, a próbapálcán mért szakadási nyúlásnak és a szakadási normálirányú alakváltozásnak legalább mekkorának kell lennie.

A.3.4.3. A geometriai méretek változatossága

A geometriai adatokat általában névleges értékükkel adjuk meg. Tervezés során ezeket az értékeket kell figyelembe venni. E méretek változatosságát (például a keresztmetszeti méreteket) általában a másutt alkalmazott parciális biztonsági tényezők már tartalmazzák. Más imperfekciókat, mint például a függőlegestől való eltérést, az egyenességtől való eltérést, a rossz illeszkedést és a gyakorlatban elkészíthető kapcsolatok kisebb, elkerülhetetlen külpontosságait valamilyen módon figyelembe kell venni. Ezek a pontatlanságok befolyásolhatják a szerkezet analízisét, a merevítő rendszer analízisét vagy az egyes szerkezeti elemek méretezését, és általában maguk a tervezési szabályok már figyelembe veszik őket.

A.3.5. Teherbírási határállapot

Általában a következő feltételeket kell megvizsgálni, mindegyiket a hozzá tartozó hatások esetére:

- helyzeti állékonyság;
- teherbírás;
- másodrendű hatások;
- fáradás.

A továbbiakban ezeket tekintjük át.

A.3.5.1. Helyzeti állékonyság

A helyzeti állékonysági követelmény formálisan a következőképpen írható:

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stab}$$

ahol $E_{d,dst}$ és $E_{d,stab}$ a destabilizáló, illetve a stabilizáló hatások következményeinek tervezési értéke. A statikai egyensúly határállapotáról van szó, és a teljes szerkezet mint egész stabilitására (állékonyságára) vonatkozik (beleértve a felborulással szembeni ellenállást is). Nem tévesztendő össze a szerkezet egyedi elemeinek stabilitási (például kihajlási) problémáival, amelyeket a teherbírás kimerülésének tekintünk.

A.3.5.2. Teherbírás

A kielégítendő feltétel:

$$E_d \leq R_d$$

ahol E_d és R_d a belső hatás, illetve a vele szembeni ellenállás. Ebben az összefüggésben általában a szerkezeti elem többféle ellenállását is meg kell vizsgálni. Ide tartozhat adott esetben a keresztmetszet ellenállása (a lemezhorpadás és a folyás ellenőrzése), a különböző stabilitásvesztési formák (nyomott rúd kihajlása, kifordulás, gerinclemezek nyírási horpadása), valamint annak ellenőrzése, hogy a szerkezet mint egész nem alakul képlékeny mechanizmussá.

A.3.5.3. Másodrendű hatások

Igen fontos követelmény, hogy a másodrendű hatások következtében a szerkezet egyetlen része se váljon instabillá. A gyakorlatban, szokványos típusú magasépítési szerkezetek esetében ez a vizsgálat általában elhagyható, amennyiben a szerkezeti analízis és a tervezési eljárások megfelelő kombinációját választjuk. Ha azonban az épület vagy annak egyes szerkezeti elemei igen karcsúak, akkor ezt a határállapotot külön is meg kell vizsgálni.

A.3.5.4. Fáradás

Fáradás következtében nem léphet fel a szerkezet törési határállapota. Szokványos típusú magasépítési szerkezetekben ez a követelmény a gyakorlatban általában nem mértékadó, és csak különleges körülmények között igényel külön vizsgálatot. Ilyen eset akkor áll elő, ha ismétlődő terhek működnek, például nehéz gépeket megtámasztó szerkezetekben vagy nehéz gépjárművek okozta terhek esetén.

A.3.6. Használhatósági határállapot

A használati határállapot vizsgálata során általában arról győződünk meg, hogy rendes használati körülmények között a bekövetkező alakváltozások (pl. lehajlások) nem túlságosan nagyok. Bizonyos esetekben arról is meg kell győződni, hogy a szerkezet nincs kitéve túlzott rezgéseknek. Ez utóbbi követelmény például olyan esetekben érdekes, amikor a szerkezetet jelentős mértékű dinamikus terhek terhelik, vagy amikor az épület igen érzékeny berendezéseket tartalmaz. Mind az alakváltozások, mind pedig a rezgések a szerkezet merevségétől, nem pedig szilárdságától függenek. Acélszerkezetek esetében általában akkor megfelelő a merevség, ha a számított alakváltozások nem haladják meg az előre felvett határértékeket. A rezgéseket külön csak speciális esetekben kell vizsgálni.