

A.26. Hagyományos és korszerű tervezési eljárások

A.26.1. Hagyományos tervezési eljárások

A.26.1.1. Csuklós és merev kapcsolatú keretek tervezése

Napjainkig a magaspítési tartószerkezetek tervezése a következő lépések végrehajtását jelentette:

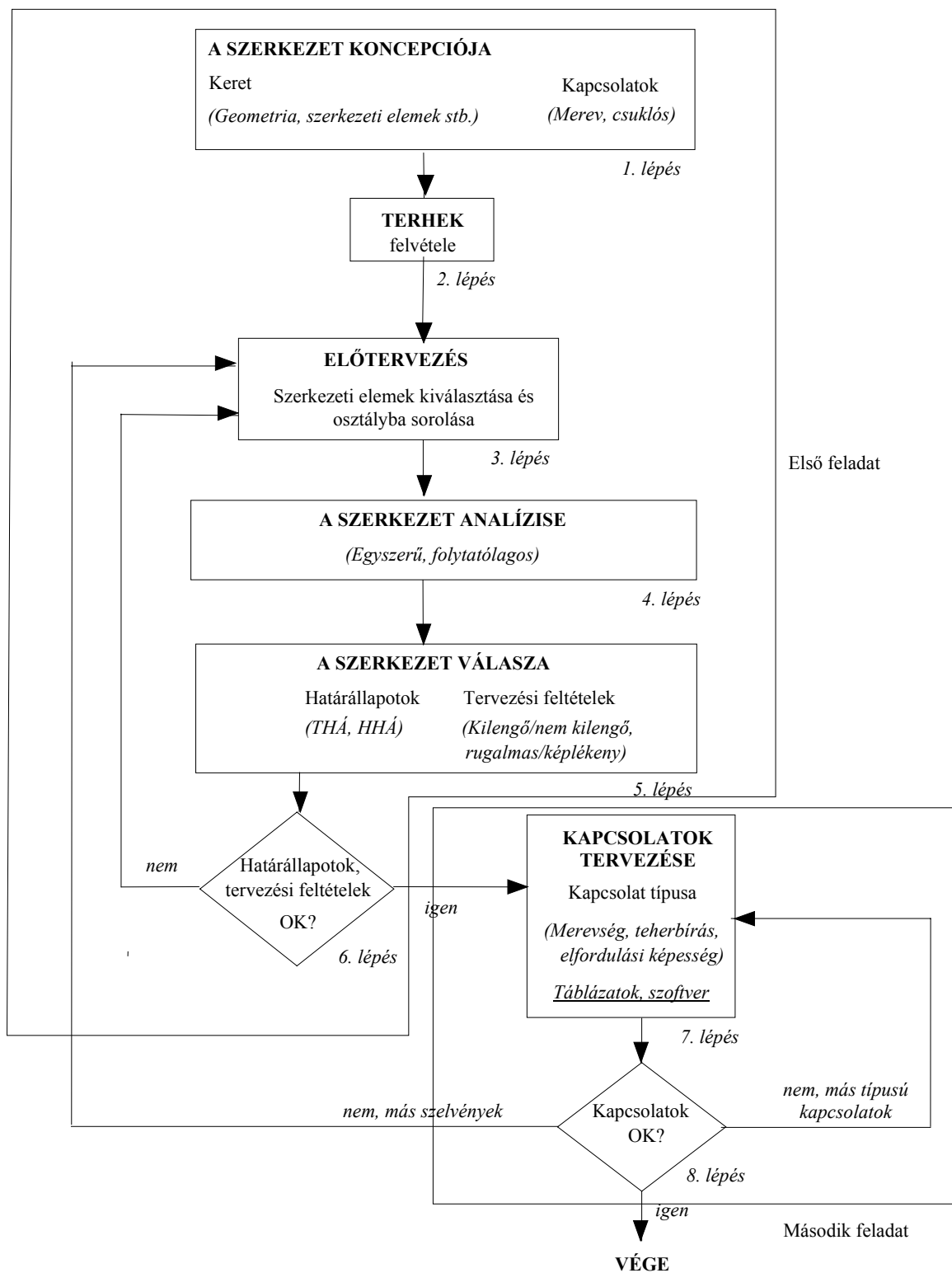
- a keret modellezése, amelynek során eldöntjük, hogy merev vagy csuklós kapcsolatokat kívánunk-e alkalmazni;
- az oszlopok és a gerendák szelvényének előzetes felvétele;
- ezután, valamennyi teherbírási és használhatósági teherkombinációra:
 - az igénybevételek meghatározása;
 - a teherbírási és a használhatósági követelmények ellenőrzése;
- szükség esetén az oszlopok és a gerendák szelvényének módosítása mindaddig, amíg valamennyi követelmény teljesül;
- a már megfelelő szelvényekből összeállított szerkezetre:
 - a kapcsolatok megtervezése az oszlopok és a gerendák végén keletkező igénybevételekre, összhangban a kapcsolatok merevségére vonatkozóan a tervezési folyamat kezdetén, a keretmodell felvételekor tett feltételezésekkel.

Ezt az eljárást szemlélteti folyamatábra formájában az *A.26.1. ábra*. Mivel a kapcsolatok a feltételezések szerint vagy csuklósak (egyszerű keret, amelyben a kapcsolatok nem továbbítanak nyomatékokat), vagy pedig merevek (folytatólagos keret, amelyben a kapcsolatok továbbítanak nyomatékokat), a tervezésük különvlik a tartószerkezeti elemek tervezésétől. A kapcsolatok tervezésére gyakran kerül sor a tervezési folyamat későbbi szakaszában, olyannyira, hogy a kapcsolatok tervezése gyakran más résztvevő félnek, például az acélszerkezet gyártójának a feladata.

Ez a módszer különösen alkalmas merevített, nem kilengő keretek tervezésére, amelyekben az oszlop–gerenda kapcsolatok többsége nem közvetít hajlító nyomatékokot. Ugyanakkor a merevítő rendszerben lévő kapcsolatokat merevként és nagy ellenállásúként tervezzük.

Tetszőleges magasságú és szintszámú keretszerkezetekben a nyomaték átadására képes kapcsolatok alkalmazása gyakran jelent gazdaságos alternatívát azzal a megoldással szemben, amikor az oldalirányú stabilitást a merevítő rendszernek önmagában kell biztosítania. A fődémmagasság csökkenésével adott szintenkénti belmagasság mellett csökken az épület térfogata. A közepes és a magas többszintes épületekben a nyomaték átadására képes oszlop–gerenda kapcsolatok alkalmazását gyakran az indokolja, hogy akadályoktól mentes, gyorsan és olcsón átrendezhető irodai fődémmagasság kialakítása a követelmény. A leggazdaságosabb megoldást azonban nem mindig a merev kapcsolatok alkalmazása jelenti, adott esetben célszerű megvizsgálni, nem kínál-e előnyösebb alternatívát a félmerev kapcsolatok alkalmazása.

Nyomaték átadására képes kapcsolatot igen gyakran alkalmazunk az egyszintes ipari csarnokok kiékelte keretsarkú portálkereteiben. Miközben a kapcsolat továbbra is a „merev” kapcsolat osztályozási határain belül marad, az Eurocode 3 1.1. része szerinti tervezés gazdaságosabb kapcsolati kialakításokat tesz lehetővé, mint az általában használt megoldások. A szokásosnál tehát gazdaságosabb szerkezet kialakítására van lehetőség.



A.26.1. ábra: Merev, illetve csuklós kapcsolatokkal kialakított acél keretszerkezet tervezésének hagyományos módja

A.26.1.2. A szélnyomatékok módszere

A szélnyomatékok módszerében [1] az oszlop–gerenda kapcsolatokról azt feltételezzük, hogy a függőleges terhek hatására nem adnak át nyomatókat az oszlopra, azonban a szélteherre nyomatók átadására képesek kapcsolatként működnek. A módszernek az a nagy előnye, hogy egyszerű oszlop–gerenda kapcsolati kialakításokat tesz lehetővé. A tervezési eljárás jól igazodik a csuklós kapcsolatokat feltételező hagyományos tervezési eljárás folyamatábrájához.

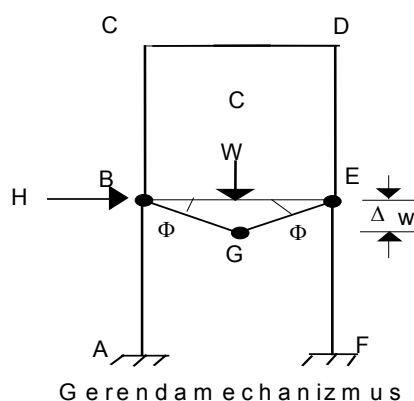
Érdemes megjegyezni, hogy a módszer tulajdonképpen a maga leegyszerűsített módjában számításba veszi a kapcsolatok meglévő, bár meglehetősen kicsiny merevségét és nyomatókkal szembeni ellenállását. Az azonban egyelőre nem nyilvánvaló, hogy a szélnyomatékok módszere milyen keretek között alkalmazható az EC3 szerinti tervezés során. A kapcsolat kialakítását mindenestre bizonyosan úgy kell megválasztani, hogy a viselkedéssel kapcsolatos feltételezések érvényesek maradjanak az EC3 1.1. részében foglaltaknak megfelelően.

A.26.1.3. A részleges szilárdságú oszlop–gerenda kapcsolatok módszere

Bár ez a módszer nem használatos olyan régóta, mint a szélnyomatékok módszere, a gyakorlatban terjedőben van használata [2], és az elvégzendő munka egyes szakaszait tekintve jól illeszkedik az *A.26.1. ábrán* vázolt feladatmegosztási sémához.

Ebben az esetben a tervező kiküszöböli mindazokat a nehézségeket, amelyek a megkívánt nyomatói ellenállású és merevségű kapcsolat tervezéséből adódnak. Ugyanis a merevnek feltételezett kapcsolatok alkalmazása rendszeresen feszültségek forrása az acélszerkezet tervezője és gyártója között.

A módszert általában a merevített, nem kilengő keretek fődémszerkezeteinek tervezése során alkalmazzuk, és az a lényege, hogy oszlop–gerenda kapcsolatként nagy elfordulási képességű, részleges szilárdságú megoldásokat választunk. A gerendát az egyszerű gerendamechanizmus alapján, képlékeny alapon méretezzük, úgy, hogy egy-egy képlékeny csukló a gerenda két végén a kapcsolatokban, egy harmadik pedig a gerenda középső keresztmetszetében helyezkedik el. *A.26.2. ábra* példát mutat a gerendamechanizmusra.



A.26.2. ábra: A részleges szilárdságú kapcsolatok módszerének alkalmazása

A módszer alkalmazásával a gerendák magassága csökken a hagyományos, csuklósnak feltételezett kapcsolatok esetéhez képest, ami gazdaságosabb megoldást jelent. Mivel a kapcsolatok tervezési nyomatói ellenállását általában a kapcsolódó gerenda képlékeny nyomatói ellenállásának 40%-ánál kisebb értékre választjuk, az esetek többségében gazdaságos kapcsolati kialakítás, például a nem túlnyúló homloklemez csavarozott kapcsolat alkalmazható. A tervezési eljárás igen egyszerű és gyorsan elvégezhető. A szélnyomatékok módszeréhez hasonlóan a részleges szilárdságú kapcsolatok módszere is tekinthető a részlegesen folytatlagos kerettervezési filozófia alkalmazásának, amikor is a hangsúly nem a kellő merevségen, hanem a közepes vagy kis teherbírásán és az ezzel együtt járó nagy alakváltozási képességén van.

A.26.1.4. A merev–képlékeny tervezés

Mivel ezt a módszert Európán belül csak bizonyos országokban alkalmazzák, csupán a mérnökök egy része számára tekinthető hagyományos eljárásnak. A leggyakrabban előforduló acél keretszerkezet, az egyszintes portálkeret esetére azonban egy ideje már használatos. Ezt az eljárást a „Keretek számítása és tervezése” című modulban már részletesen ismertettük. A függőleges oszlopokból és vízszintes gerendákból álló keretszerkezetben alkalmazható „részleges szilárdságú kapcsolatok módszerének” ez az egyik egyszerű megjelenési formája. A módszer bizonyos típusú kilengő keretekre is alkalmazható, ám a gyakorlatban többnyire csak egyszintes kilengő keretek esetén használjuk.

A módszer elterjedten használatos Nagy-Britanniában az egyszintes ipari csarnokok portálkereteinek tervezésére. Ezekben a szerkezetekben a képlékeny csuklók a kiékelés miatt nem az oszlop és a gerenda találkozásánál alakulnak ki, továbbá a szokásos terhelési viszonyok mellett a gerenda képlékeny csuklója nem a taréjnál alakul ki.

A módszert ritkán használják más típusú magasépítési szerkezetekben, bár a „részleges szilárdságú kapcsolatok módszerét” néha alkalmazzák többszintes épületekben is. A szélesebb körű alkalmazást valószínűleg az akadályozza, hogy a szelvényeknek 1. vagy 2. osztályúaknak kell lenniük.

A.26.2. A kerettervezés korszerű módszere

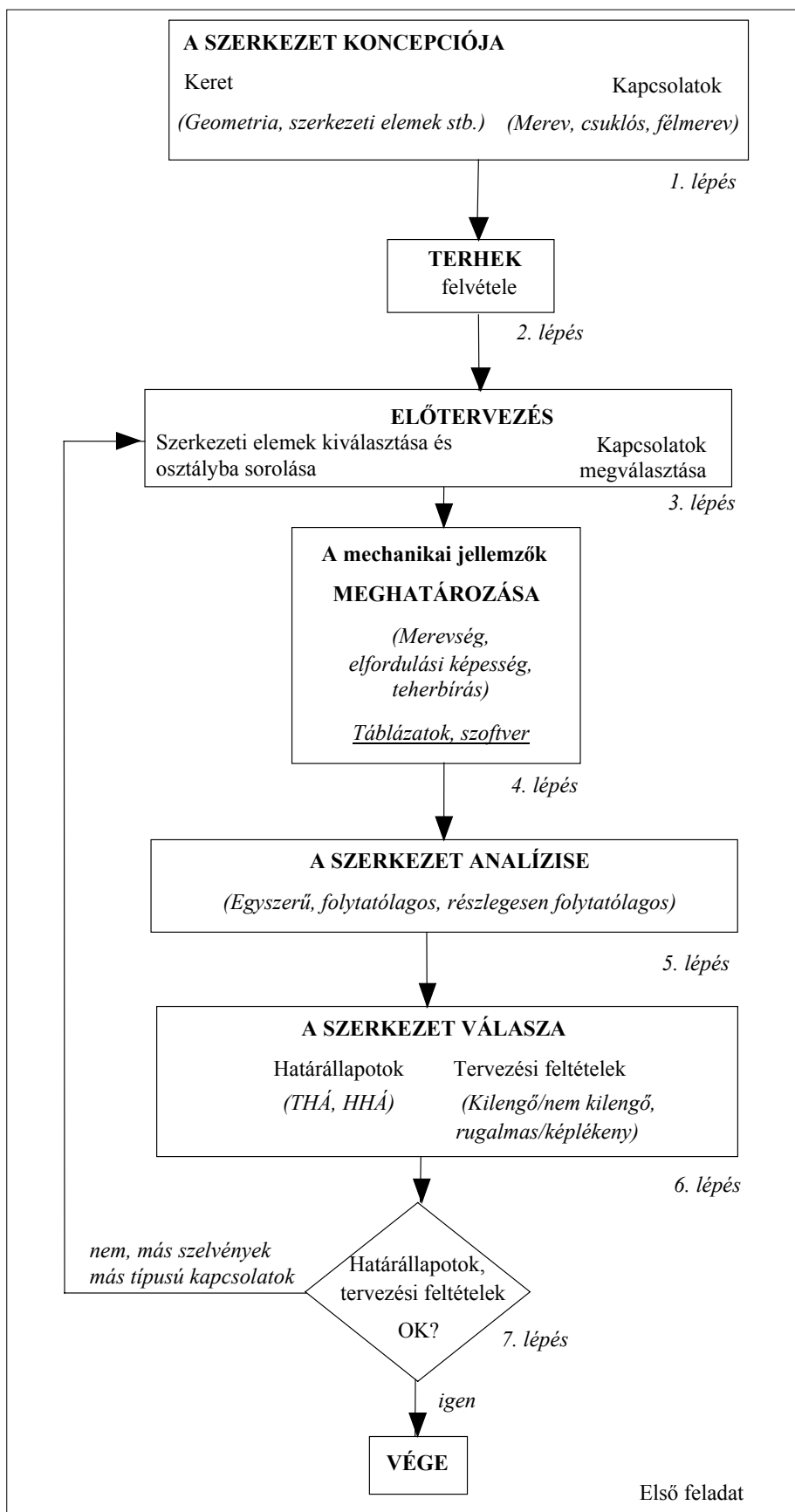
A korszerű szemlélet szerint a merevnek vagy csuklósnak feltételezett kapcsolatok gyakran nem kielégítő pontossággal írják le a valóságot, illetve gyakran nem vezetnek gazdaságos szerkezethez. Az, hogy egy kapcsolat elegendő teherbírással rendelkezik, még nem jelenti azt, hogy egyben merevsége is elegendő ahhoz, hogy merev kapcsolatként legyen figyelembe vehető. Számos kapcsolati kialakítás, közöttük néhány, hagyományosan merevnek tekintett megoldás is, valójában sem nem „merev”, sem nem „csuklós” kapcsolatként viselkedik, hanem valahol a kettő között. Az Eurocode 3 1.1. része ezt felismerve a méretezési szabványok közül az elsők között teszi lehetővé az úgynevezett „félmerev kapcsolatok módszerének” alkalmazását (A.26.3. ábra).

A félmerev kapcsolatok módszerében a kapcsolatok viselkedését már a tervezési folyamat kezdetén számításba vesszük, vagyis a kapcsolatok viselkedését már a szerkezeti elemek előtervezésekor figyelembe vesszük. Az előtervezéshez kapcsolódó szerkezeti analízis során közelítően meg kell becsülni a kapcsolatok egyes jellemzőit (merevségét, teherbírását és elfordulási képességét), amelyek aztán, éppúgy, mint a szelvényméretek, a tervezés későbbi szakaszában finomíthatók. A kapcsolat figyelembevétele a szerkezet analízise során általában egy, a kapcsolat viselkedését leíró és az elemek (általában a gerendák) végén elhelyezkedő csavarrugó segítségével történik. A rendelkezésre álló modellek csak a nyomaték–elfordulás jelleggörbe leírását teszik lehetővé, ami azonban a keretszerkezetek kapcsolatainak leírására általában elegendő.

A módszer megvalósítására különösen a korszerű számítógépes tervezési módszerek és az ezek futását biztosító számítógépek alkalmasak, mert velük a módosított szerkezeten az analízis megismétlése gyorsan elvégezhető.

Ha a kapcsolatokat a szerkezet analízise során tényleges viselkedésük szerint vesszük figyelembe, akkor amellet, hogy realisabb képet kapunk magának a szerkezetnek a viselkedéséről, azt is joggal várhatjuk, hogy számos gyakran előforduló szerkezettípus esetén gazdaságosabb szerkezethez jutunk [2]. Az acélszerkezetek költségeinek jelentős hányada a gyártási költség, amelyen belül a kapcsolatok kialakítása különösen nagy hányadot képvisel. A kérdés túlzott leegyszerűsítése nélkül azt lehet mondani, hogy minél nagyobb nyomaték átadására tervezünk egy kapcsolatot, annál drágább lesz a szerkezet az anyagfelhasználás, a gyártási és a szerelési költségek szempontjából. Mivel félmerev kapcsolatok esetén a kapcsolatban átadandó nyomaték kisebb, csökkennek a költségek is, és ez a csökkenés gyakran ellensúlyozza az esetleg a lehajlási követelmény miatt megnövekedett szelvény következtében felmerülő többletköltségeket.

Mivel azonban a módszer szerint a kapcsolatok és a szerkezet tervezését párhuzamosan kell végezni, alkalmazása egyszerűsített megköveteli, hogy a hagyományosan kialakult feladat- és felelősségmegosztási elveken változtassunk. A kapcsolatok tervezését hagyományosan gyakran az acélszerkezet gyártója végzi a statikus tervező által már megtervezett szerkezetből (szerkezeti elemekből és feltételezett viselkedésből) kiindulva. Az acélszerkezet gyártójának közreműködése már a tervezés kezdeti fázisától kezdődően alapvető jelentőségű, de emellett fontos szerepet játszik az úgynevezett „jó becslés” módszere, amelynek során a kapcsolat merevségét oly módon jósoljuk meg előre, hogy a statikus tervező által felvett szerkezeti modell kellően közel legyen a valóságos szerkezethez.



A.26.3. ábra: A kapcsolati viselkedéssel összhangban lévő, következetes számítási módszer folyamatábrája

A.26.3. A következetes tervezési eljárás

Annak következtében, hogy a szerkezeti analízist a kapcsolatok viselkedésének a lehetőségek szerint valóság-hű figyelembevételével hajtjuk végre, a tervezés folyamata (A.26.3. ábra) több ponton eltér a hagyományos tervezési elvek szerinti tervezés folyamatától (A.26.1. ábra).

A legfontosabb különbségek a következők:

- **A szerkezet koncepciója:** A kapcsolatok viselkedését a mechanikai jellemzők szerint modellezzük a szerkezet analízise során.
- **Előtervezés:** Az előtervezés fázisában a tervező korábbi tapasztalatai alapján megválasztja az alkalmazandó kapcsolat típusát, és felveszi a kapcsolatok alapvető méreteit (homloklemezek vagy bekötő szögacélok, csavarok száma, átmérője és elhelyezkedése, az oszlop és a gerenda övlemezeinek vastagsági mérete, az oszlop gerinclemezeinek vastagsága és magassága stb.).
- **A mechanikai jellemzők meghatározása:** A 3. ábra 4. lépésében a kiválasztott szerkezeti elemek és a kapcsolatok teljes mechanikai viselkedését meg kell határozni. A kapcsolatokat általában egyszerűsített, két vagy három lineáris szakaszból álló (úgynevezett bi- vagy trilineáris) jelleggörbével vesszük számításba.

Nyilvánvaló, hogy ez az eljárás csak akkor alkalmazható, ha a szerkezeti elemeket és a kapcsolatokat ugyanaz a fél tervezi, hiszen a kapcsolatok mechanikai jellemzői a szerkezeti analízis bemenő adatait képezik.

Mivel ez az eljárás tetszőleges kapcsolati viselkedés figyelembevételére alkalmas, akkor is alkalmazható, ha a tervező úgynevezett félmerev kapcsolatokat kíván alkalmazni. Bár az acél keretszerkezetekben alkalmazott kapcsolatok döntő többsége a valóságban többé-kevésbé „félmerev” módon viselkedik, bizonyos kapcsolatok jó közelítéssel modellezhetők csuklós, mások befogott kapcsolatként.

Emlékeztetünk arra, hogy a „félmerev” fogalom a kapcsolat merevségére utal. Merev kapcsolatok (folytatólagos keret) esetén, mivel a kapcsolat merevségét végtelennek tételezzük fel, a keretszerkezet analízise azt adja, hogy az egyes csomópontokban a gerenda- és oszlopvégek elfordulása megegyezik.

Félmerev kapcsolatok (részlegesen folytatólagos keretek) esetén a gerenda- és oszlopvégek elfordulása az egyes csomópontokban nem egyezik meg (lásd az 5., „Keretek osztályozása és a kapcsolati viselkedés leírása” című előadást). Emlékeztetünk arra, hogy amennyiben a kapcsolatot a szerkezet analízisében csavarrugóval modellezzük, az oszlopvég és a kapcsolódó gerendavég elfordulása közötti különbség megegyezik a közöttük lévő kapcsolatban fellépő koncentrált elfordulással.

A A.26.3. ábrán vázolt eljárás akkor is alkalmazható, ha a kapcsolatok csuklósak (egyszerű keret) vagy merevek (folytatólagos keret). Merev, illetőleg csuklós kapcsolatok alkalmazása esetén a kapcsolatok mechanikai jellemzőinek figyelembevétele a szerkezet analízise során nyilván jelentősen egyszerűbb, mint félmerev kapcsolatok esetén, hiszen nem kell meghatározni a kapcsolat jelleggörbéjét.

A.26.3.1. Átmeneti tervezési eljárások

Az előzőekben tárgyalt két módszer, azaz a csuklós és merev kapcsolatok esetén használt, illetőleg a félmerev kapcsolatok esetén használható módszer, valójában két végletet jelent. A két véglet között közbenső, átmeneti eljárások értelmezhetők és követhetők. Az A.26.1. ábrán vázolt eljárás például alkalmazható félmerev kapcsolatok esetén is oly módon, hogy első közelítésként a kapcsolatokat merevnek vagy csuklósaknak tételezzük fel, majd a kapcsolatok tényleges mechanikai jellemzőit második közelítésként (a 8. lépést követően) építjük be a szerkezet analízisébe, és így a szerkezeti analízist már minden alkotóelem (gerendák, oszlopok és kapcsolatok) „valóságos” mechanikai jellemzői alapján hajtjuk végre. A tervezés folyamata ezután hasonló lesz a A.26.3. ábra szerinti esethez.

A.26.4. A tervezés gyakorlati végrehajtása és következményei

A gyakorlatban a tervezés folyamatában vagy egy, vagy két szereplő vesz részt, a következők szerint:

- vagy egy statikus tervezéssel foglalkozó egység (tervező) és az acélszerkezet gyártója (gyártó);
- vagy csak egy tervező;
- vagy csak egy gyártó (tervező-gyártó).

A.26.1. táblázat: Acélszerkezetek tervezésében és gyártásában részt vevő szereplők feladatai

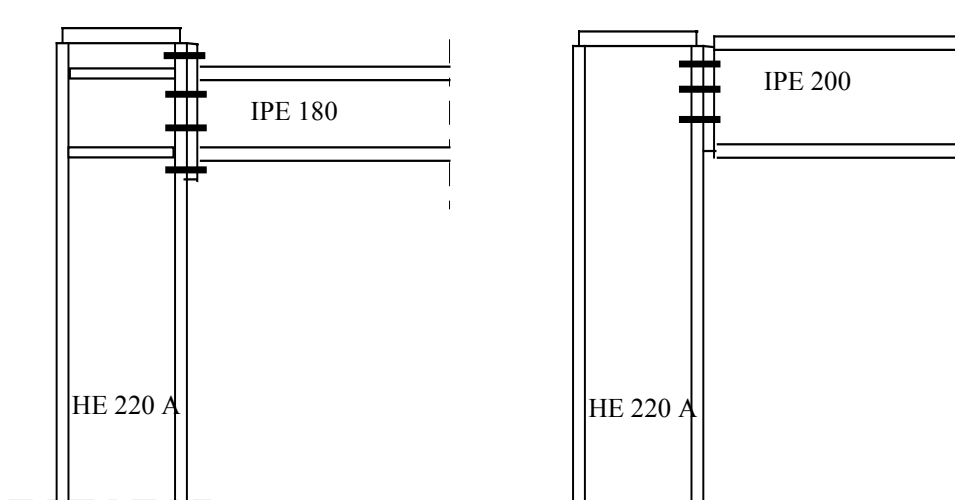
Feladat	A eset	B1 eset	B2 eset
Szerkezeti elemek tervezése	tervező	tervező	gyártó
Kapcsolatok tervezése	gyártó	tervező	gyártó
Gyártás	gyártó	gyártó	gyártó

Az A.26.1. táblázat bemutatja, a három alapesetben hogyan történik a munka és a felelősség megosztása.

A tervezési folyamat célja olyan szerkezet tervezése, amely a lehető legkisebb gyártási, szerelési, felületvédelmi és fenntartási költségek mellett megfelel az építészeti igényeknek, biztonságos, továbbá kielégíti a használhatósági és tartóssági követelményeket. Emellett a tervezésben részt vevő feleknek az is érdeke, hogy a tervezési folyamat költségei a lehető legkisebbek legyenek.

A eset

Az A esetben a tervező tervezi a szerkezeti elemeket, a gyártó pedig a kapcsolatokat. Ebben az esetben a tervező előírja a kapcsolatokkal szembeni mechanikai követelményeket, majd a gyártó e követelményeket szem előtt tartva tervezi meg a kapcsolatokat. A gyártó fokozottan figyelembe veszi a gyárthatósági megfontolásokat is. Mivel azonban a kapcsolat mechanikai jellemzőit a tervező írja elő, előfordulhat, hogy a gyártó által megtervezett kapcsolat nem lesz optimális. A kapcsolat kialakítása alapvetően attól függ, milyen oszlop- és gerendaszelvényeket vett fel a tervező. A tervező gyakran a lehető legkisebb szelvények felvételére törekszik, aminek az a követelménye, hogy a teherbírási és használhatósági követelmények kielégítése végett a kapcsolatokat merevíteni kell. Ez esetben a teljes költség szempontjából kedvezőbb lehet, ha például a tervező valamivel nagyobb gerendaszelvényt választ, és ezáltal egyszerűbb kialakítású kapcsolatok tervezhetők (A.26.4. ábra)



A.26.4. ábra: Két, eltérő költségű megoldás

B1 eset

A B1 esetben a tervező végzi mind a szerkezeti elemek, mind pedig a kapcsolatok tervezését. Ilyenkor tehát lehetőség van arra, hogy a kapcsolatok mechanikai jellemzőit figyelembe vegyük a szerkezeti analízis és a szerkezeti elemek tervezése során, ami lehetővé teszi, hogy a teljes szerkezet optimális voltára törekedjünk. A tervező azonban általában nem eléggé tájékozott a gyártással összefüggő kérdésekben (rendelkezésre álló gépek, raktáron lévő anyagok, csavarkiosztás, hegesztési varratok helyének hozzáférhetősége), aminek következtében megnövekedhetnek a gyártás költségei. A folyamat hatékonysága javítható azáltal, hogy kellő időben konzultálunk a leendő gyártóval, illetve hogy kellő tapasztalattal rendelkező mérnököket vonunk be a munkába.

B2 eset

A B2 eset gazdaságossági szempontból ideális, mert a szerkezeti elemek és a kapcsolatok tervezése egy kézben, a gyártó kezében összpontosul, aki tisztában van az egyes kapcsolati kialakítások gyárthatósági és gyártási költség-vonzataival.

Az acélszerkezet tervezése során a tervező a következő megközelítésmódokat választhatja:

1. Hagyományos megközelítésmód, merev vagy csuklós kapcsolatokkal. Ebben az esetben először a szerkezeti elemeket kell megtervezni, majd pedig ezekhez igazodóan a kapcsolatokat. Ez az eljárás akár az A, akár a B1, akár a B2 esetben alkalmazható, és általánosan használatos szinte valamennyi európai országban.
2. Következetes megközelítésmód, amelyben a kapcsolatok kialakítása és modellezése speciális módon történik.
3. Olyan megközelítésmód, amelyben vagy a szerkezeti elemek és a kapcsolatok tervezését is ugyanaz a fél végzi (B1 vagy B2 eset), vagy amelyben a felek együttműködnek (átmeneti formák).

Az előző megközelítésmódok alkalmazása során a szerkezeti analízis történhet akár rugalmas, akár rugalmas-képlékeny eljárással.