

DUNA-HIDAK FÖLDRENGÉSVIZSGÁLATA

Vigh László Gergely - Dunai László** - Kollár László****

RÖVID KIVONAT

Jelen cikkben a Dunaújvárosi Duna-híd és az M0 Autópálya Északi Duna-híd földrengésre való, Eurocode alapú ellenőrzésének tapasztalatait foglaljuk össze. Ismertetjük a szabványos hátteret, összefoglaljuk a Magyarországra vonatkozó sajátosságokat. A hidak számítása során tapasztalt problémákat röviden bemutatjuk, és javaslatot adunk a vizsgálatok elvégzésének módjára. Elemezzük a földrengésre történő tervezés következményeit a magyarországi hídszerkezetek kialakításában.

I. BEVEZETÉS

Az elmúlt időszakban Magyarországon is egyre fontosabbá vált a földrengési terhekre való méretezés. Ezt a folyamatot felgyorsítja az egységes európai szabvány, az Eurocode folyamatos bevezetése, amely előírja a szerkezetek földrengésre való méretezését is. Emiatt a közelmúltban több magyarországi híd földrengésre való ellenőrzése vált szükségessé.

Bizonytalanságot szül azonban az a tény, hogy jelenleg sem a vonatkozó magyar, sem az Eurocode szabvány nincs érvényben Magyarországon. Ezért az ÚT2-3.401 szabályzat [1] a következőképpen intézkedik:

„A földrengés hatását függőhidak, ferdekábeles hidak, valamint 50 méternél nagyobb nyílású hidak esetében a szakma elismert szabályai szerint figyelembe kell venni.” Ma Magyarországon nincs egyértelműen elfogadott szabályzat, amely alapján egy szerkezetet méretezni kellene földrengésre. Számos hazai és nemzetközi dokumentum szolgálhat azonban a vizsgálatok alapjául. Ilyenek pl. az épületek földrengésvizsgálatára vonatkozó Eurocode 8 1. részének a végső fogalmazványa [2], a hidak földrengésvizsgálatára vonatkozó Eurocode 8 2. részének munkapéldánya [3] vagy az Eurocode 8. 1. részének korábbi változatához [4] elkészült Nemzeti Alkalmazási Dokumentum [5], amely tartalmazza az ország régiókra bontását.

Az M0 Autópálya Északi Duna-híd (továbbiakban M0 híd) és az M8 Autópálya Dunaújvárosi Duna-híd (dunaújvárosi híd) földrengés-vizsgálatát az új (még nem érvényben levő) Eurocode 8 1. és 2. része alapján végeztük el. Jelen cikkben bemutatjuk az Eurocode alapján történő méretezés alapjait, az említett hidak földrengésvizsgálata során alkalmazott numerikus számítás tapasztalatait, illetve elemezzük a földrengésre való méretezés jelentőségét a hidak egyes szerkezeti részleteinek megtervezésében.

* okl. építőmérnök, doktorandusz, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

** okl. építőmérnök, Dr. habil, egyetemi tanár, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

*** okl. építőmérnök, a műszaki tudomány doktora, egyetemi tanár, BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

2. AZ EUROCODE ALAPJÁN TÖRTÉNŐ TERVEZÉS

2.1. A földrengésvizsgálat szabványos háttere

A földrengési számítás a válaszspektrum analízisre épül [6], amelyet az Eurocode-ok (és a magyar Műszaki Irányelv is [7]) javasolnak. Az Eurocode 8 2. része [3] képezi a számítás alapját. A szeizmikus hatásokat az Eurocode 8 1. része [2] alapján vettük figyelembe. A sziklán figyelembe veendő talajgyorsulás tervezési értékét (a_g , továbbiakban alapgyorsulás), mivel nem áll rendelkezésünkre a Nemzeti Függelék, a Nemzeti Alkalmazási Dokumentum [5] alapján vettük figyelembe. A további, a Nemzeti Függelékben előírandó értékekre, ha egyértelmű javaslat található az Eurocode-ban, a javasolt értékeket vettük figyelembe.

2.2. A földrengésvizsgálat elve és kiinduló adatai

A földrengés hatásait számos – helyszíntől, talajtól és szerkezettől függő – tényező befolyásolja. A vizsgálat bemenő paraméterei a következők:

2.2.1. *Alapgyorsulás* Az [5] szerint mind Pest, mind Fejér Megyében a figyelembe veendő alapgyorsulás a g gravitációs gyorsulás függvényében:

$$a_g = 0,08 g \quad (1)$$

2.2.2. *Híd fontossági osztálya* A földrengés-hatás A_{Ed} tervezési értékét az A_{Ek} karakterisztikus értékből egy fontossági tényezővel való szorzással kell számítani:

$$A_{Ed} = \gamma_1 A_{Ek} \quad (2)$$

ahol a γ_1 fontossági tényező [3] értéke 0,85 és 1,3 között változhat (ha a híd fontossága „átlagnál kisebb”, akkor $\gamma_1 = 0,85$, ha „átlag feletti”, akkor $\gamma_1 = 1,3$). A Duna magyarországi szakaszán nincs még egyetlen olyan híd sem, amelyet földrengésre méreteztek volna, ezért a hidak fontosságát „átlag feletti”-nek tekintjük, azaz $\gamma_1 = 1,3$.

2.2.3. *Viselkedési tényező (q)* A hidak esetleges képlékenyedését úgy lehet figyelembe venni, hogy a földrengési teher értékét az ún. viselkedési tényezővel redukáljuk. A hidak tervezését vagy

- „duktilis” vagy
- „korlátozottan duktilis/lényegében rugalmas”

alapon kell elvégezni. Az előbbi esetben a tervezés során a keresztmetszeteket úgy kell kialakítani, hogy a képlékeny csuklók a feltételezett helyeken alakuljanak ki. Jelen hidak tervezése rugalmas méretezési elv alapján történt, tehát nem vizsgálták a képlékeny csuklók kialakulását, ezért a „korlátozottan duktilis/lényegében rugalmas” számítást szabad alkalmazni. Ebben az esetben a viselkedési tényező maximális értéke 1,5 (lásd [3], 2.3.2.2 (1), valamint Table 4.1 a [3], 4.1.6 pontjában).

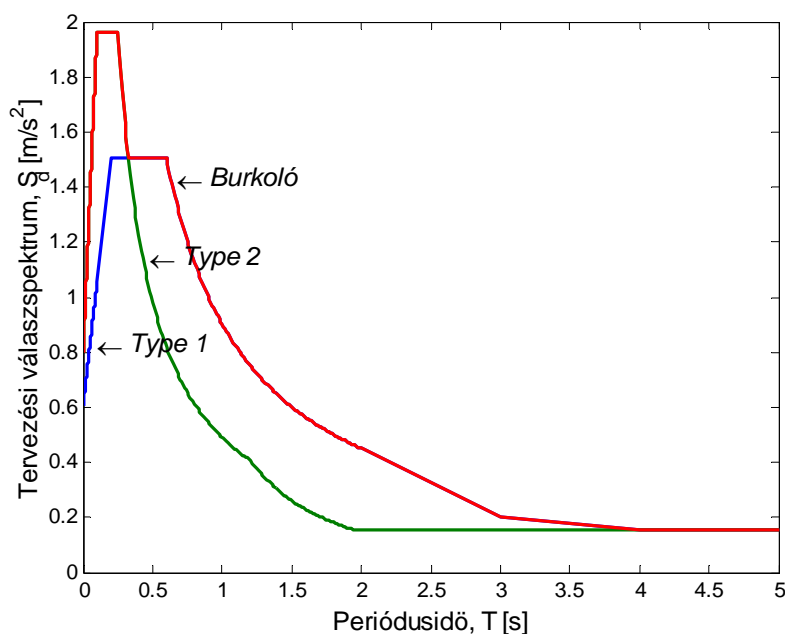
Gerendahidaknál – így a dunaújvárosi híd ártéri szakaszain – a viselkedési tényező akkor vehető maximális értékével figyelembe, ha a pillérek beton keresztmetszeteinek a kihasználtsága kisebb, mint 60%, illetve ha a rezgésalakokhoz tartozó periódusidők nagyobbak 0,03 s-nál. A dunaújvárosi híd ártéri szakaszain

mindkét feltétel teljesül, így a viselkedési tényező $q = 1,5$, vagyis „korlátozottan duktilis/lényegében rugalmas” számítást hajtottunk végre.

Az Eurocode [3] 2.3.2.2 (2) szerint olyan hidaknál, amelyeknél a magasabb sajáthalakok dominálhatnak (pl. ferdekábeles hidaknál), rugalmas viselkedést célszerű feltételezni. Így az M0 híd számításában a $q = 1$ viselkedési tényezőt vettük figyelembe, vagyis rugalmas számítást hajtottunk végre.

2.2.4. Csillapítás Vasbeton pillérekkel többszörösen megtámasztott gerendahidaknál az alépitmény súlya dominál, emiatt a dunaújvárosi híd esetében a vasbeton anyaghoz tartozó viszkózus csillapítási tényezőt tekinthetjük mint a teljes szerkezet csillapítását ([3], 4.1.3): $\zeta = 0,05$. A ferdekábeles hídnál ugyanez a tényező az előfeszített vasbeton szerkezetű pilon miatt ([3], 4.1.3) $\zeta = 0,04$.

2.2.5. Válaszspektrum A válaszspektrum görbéi elsősorban a talajosztálytól függnék. Vízszintes rezgéshez minden talajosztályra kétféle típusú válaszspektrum görbét ad meg a szabvány, amelyek a [2] 3.13-3.16 képletei alapján számíthatók. Az analízisek során – a biztonság javára tett közelítésként – ezen görbék burkolóit használjuk. Példaképpen az 1. ábra mutatja a dunaújvárosi hídhoz tartozó tervezési válaszspektrum görbéit.



1. ábra: Vízszintes gerjesztéshez tartozó válaszspektrum görbék a dunaújvárosi híd esetében

Folytatólagos többtámaszú híd esetében az Eurocode ajánlása alapján függőleges rezgést nem kell figyelembe venni. Ugyan ferdekábeles hidaknál figyelembe kell venni a függőleges gerjesztést egy, a vízszintes rezgéshez tartozó alapgyorsulásnál kisebb értékkel (itt fele értékkel), számításaink azt mutatták, hogy az M0 híd esetében is elhanyagolhatók a függőleges rezgésből eredő hatások.

2.2.4. *Tömeg* Az Eurocode szerint a szerkezet önsúlyának karakterisztikus értékét és a hasznos teher kvázi állandó értékét kell figyelembe venni ([3], 4.1.2). Az utóbbira a magyar előírásban szereplő „üzemi terhet” vettük fel, amely 1 kN/m^2 megoszló teher a teljes pályaszerkezeten és az „A” jelű járműteher 40%-a. Ez kis mértékben nagyobb, mintha az Eurocode-ban szereplő $\psi_{2,1} = 0,2$ értéket vennénk figyelembe.

2.3. A földrengésvizsgálat menete

A földrengésvizsgálat első lépéseként modálanalízist hajtunk végre, kellő számú rezgésalakot meghatározva.

A második lépésben az egyes sajátalakokhoz meghatározzuk a tervezési válaszspektrum értékeit, amely azt mutatja meg, hogy az adott alakban a tömeggel rendelkező elemekre/tömegpontokra milyen gyorsulás hat (numerikus modellekben a tömegeket jellemzően tömegpontokba koncentrálnak).

A harmadik lépésben rezgésalakokként meghatározzuk a kialakuló elmozdulásokat, igénybevételeket. Alapvető annak eldöntése, hogy a végeselemes számítás több ezer rezgésalakjából melyeket vesszük figyelembe. A rezgésalakok „fontosságának” mérésére az Eurocode az ún. „(effektív) modális tömeg” fogalmát használja. Az Eurocode 8 szerint annyi rezgésalakot kell figyelembe venni, hogy a modális tömegek összege elérje a tényleges tömeg 90 százalékát. Amennyiben egy irányban ezt a feltételt nem tudjuk teljesíteni, úgy elegendő a teljes tömeg 70%-át tekinteni, de ekkor a kapott eredményeket (elmozdulásokat, igénybevételeket, stb.) egy „büntetőszorzóval” kell korrigálni (amelynek értéke a teljes tömeg és a modális tömegösszeg hányadosa). Ennek maximális értéke 1,4 (azaz globálisan 40%-kal nagyobb terhet veszünk figyelembe függetlenül attól, hogy egy vizsgált szerkezeti részletre lenne-e hatása a hiányzó tömegnek).

Az Eurocode 8 1. része azt is engedélyezi, hogy csak azokat a rezgésmódokat vegyük figyelembe, ahol a modális tömeg meghaladja a teljes tömeg 5%-át.

A domináns rezgésalakokból származó, földrengést helyettesítő teher a következőképpen számítható:

Ha egyetlen egy tömegpontból állna a híd, akkor a tömegpontban ható erő egyenlő $m \times S_d \times \gamma_1$, ahol m a tömeg, γ_1 a fontossági tényező, S_d pedig a válaszspektrumból a periódusidő függvényében olvasható le. Több tömegpont esetében az erőket rezgésalakokként kell meghatározni; az erők eredője az i -edik rezgésalakra: $M_i \times S_d \times \gamma_1 \times \rho$, ahol M_i a modális tömeg (ρ a módosító tényező, amely azt veszi figyelembe, hogy a modális tömegek összege nem éri el a teljes tömeg 90%-át). Az egyes csomópontok között úgy osztjuk el a terheket, hogy az erő arányos a csomópontban található tömeggel és a rezgésalak csomóponti ordinátájával.

A negyedik lépésben a különböző domináns rezgésalakokból származó hatásokat az SRSS (*Square Root of the Sum of Squares*) vagy a CQC (*Complete Quadratic Combination*) szabállyal kell összegezni. Az SRSS-t lehet alkalmazni, ha két módus periódusidejének aránya nem haladja meg a $0,1 / (0,1 + \zeta)$ értékét. Ez a feltétel egyik vizsgált hidunk esetében sem teljesül, vagyis a CQC módszert kell alkalmazni. Ebben az esetben az egyes módusokból keletkező hatásokat, R_i -t (pl. feszültséget), a következőképpen kell kombinálni:

$$R_a = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N R_i \varepsilon_{ij} R_j} \quad (3)$$

amelyben R_i az i . alakból származó hatást, R_a az eredő hatást jelöli, N a figyelembe vett alakok száma, ε_{ij} a korrelációs mátrix ij eleme, amely függ a csillapítástól és a sajátfrekvenciák arányától. A CQC korrelációs mátrixának számítására [2, 8] Kiureghian egyenletét adja meg.

Utolsó lépésként a különböző irányú földrengések kombinációit kell előállítani. A földrengés hathat a tér három irányába, de ezeket nem kell egyidejűleg a teljes értékükkel figyelembe venni: az egyik irányban a teljes földrengés-hatást működtetjük, a másik két irányban pedig csak a 30%-át. Vagyis három fő tehercsoportosítást kell figyelembe venni (de az egyes földrengések ellenkező irányban is hathatnak):

$$G + H \pm A_{Ex} \pm 0,3A_{Ey} \pm 0,3A_{Ez} \quad (4/a)$$

$$G + H \pm 0,3A_{Ex} \pm A_{Ey} \pm 0,3A_{Ez} \quad (4/b)$$

$$G + H \pm 0,3A_{Ex} \pm 0,3A_{Ey} \pm A_{Ez} \quad (4/c)$$

ahol G , illetve H az önsúly alapértékét és a hasznos teher üzemi értékét jelöli, míg A_{Ex} , A_{Ey} , A_{Ez} rendre az x irányú, y irányú és z irányú gerjesztésből keletkező földrengés-hatás. Ezek rendkívüli tehercsoportosítások, így további biztonsági, illetve egyidejűségi tényezőket nem alkalmazunk.

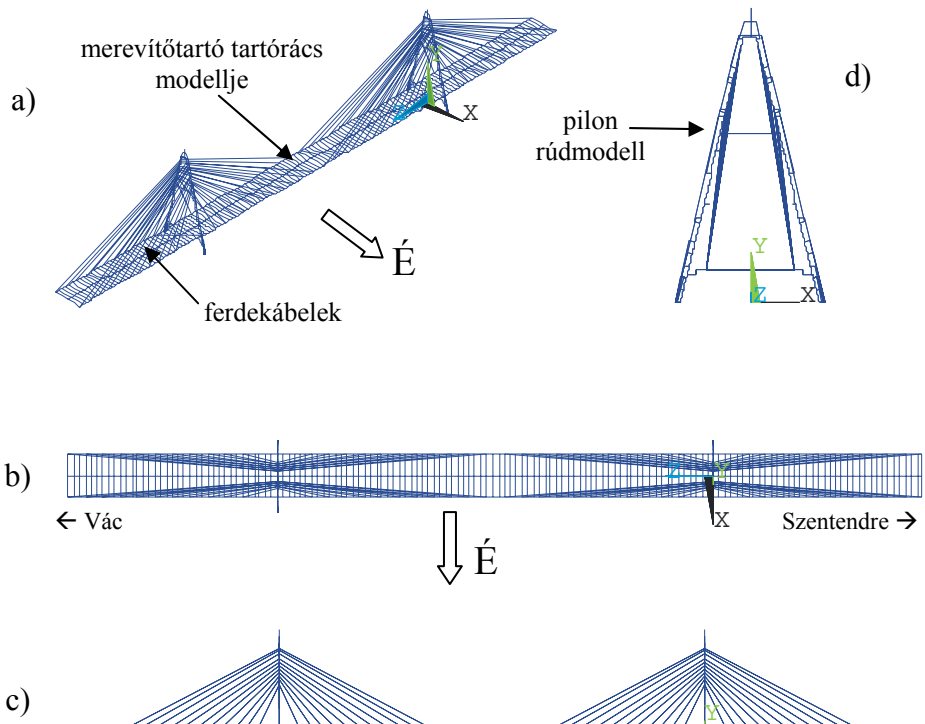
3. A NUMERIKUS SZÁMÍTÁS TAPASZTALATAI

3.1. A numerikus modell

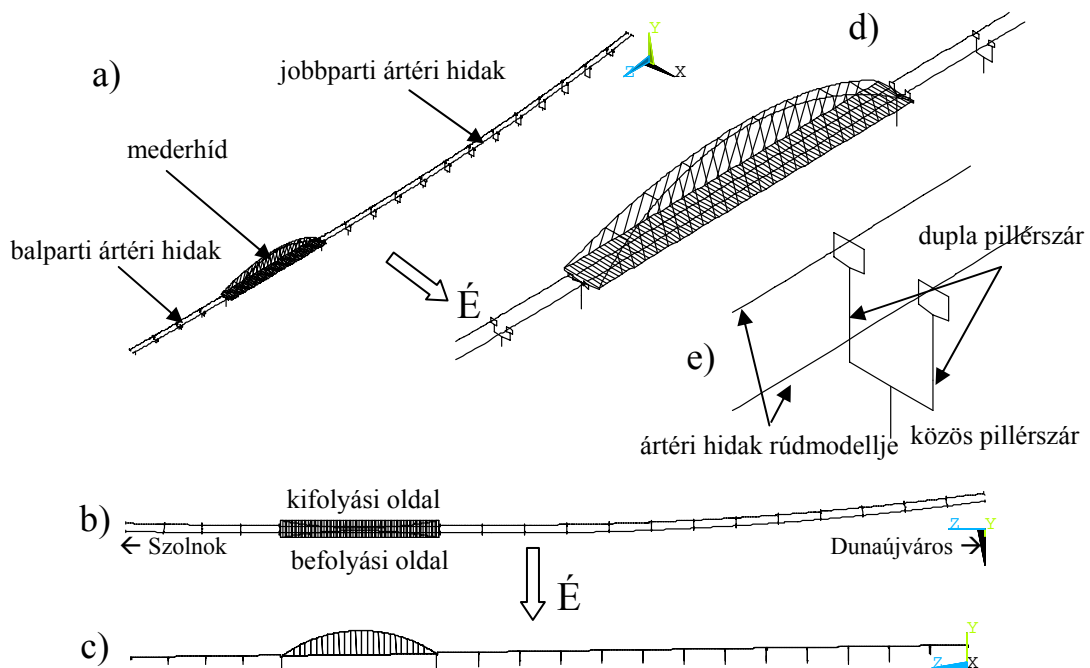
Mindkét hidat térbeli rúdmodellel vizsgáltuk az ANSYS [8] végeelemes program segítségével.

Az M0 híd végeelemes modellje látható a 2. ábrán. A pilonhoz és merevítőtartóhoz tartozó részekhez 2 csomópontos, 6 csomóponti szabadságfokú rúdelemet használtunk. A merevítőtartót tartórácsként modelleztük. A ferdekábeleket és a vasbeton keresztmetszetek feszítését 2 csomópontos rácsrúdelemmel vettük figyelembe. A szerkezet súlyviszonyait figyelembe véve a kábelek ennél pontosabb modellezése nem szükséges, azok szerepe a földrengési hatásokban elhanyagolható.

A dunaújvárosi híd modelljében (3. ábra) a pillérekhez és a felszerkezethez egyaránt az előzőekben említett rúdelemet használtuk. A párhuzamosan futó két ártéri híd két elkülönülő gerendasorral modelleztük. Az ártéri hidak folytatólagos többtámaszú tartók, amelyek azonban kölcsönhatásban állnak egymással az alul összefogott pillérek miatt. A közös mederpilléreken keresztül kölcsönhatásban állnak a mederhíddal is. Ez szükségessé tette a teljes hídsorozat együttes vizsgálatát. A teljes hídsorozatot (egy-egy ártéri és egy mederhíd) a tervezett geometriának megfelelően modelleztük a híd ívességét és lejtését is figyelembe véve. Az ívhíd különböző eloszlású terhekre különbözőképpen viselkedik, ezért egységes helyettesítő gerendaként nem lehet modellezni, térbeli rúdmodell szükséges.



a) axonometrikus kép; b) felülnézet; c) oldalnézet; d) előlnézet.
2. ábra: M0 híd végelelemes modellje



a) teljes híd axonometrikus képe; b) teljes híd felülnézetből; c) teljes híd oldalnézetből;
d) mederhíd részlet; e) ártéri híd pillér részlet.
3. ábra: A dunaújvárosi híd végelelemes modellje

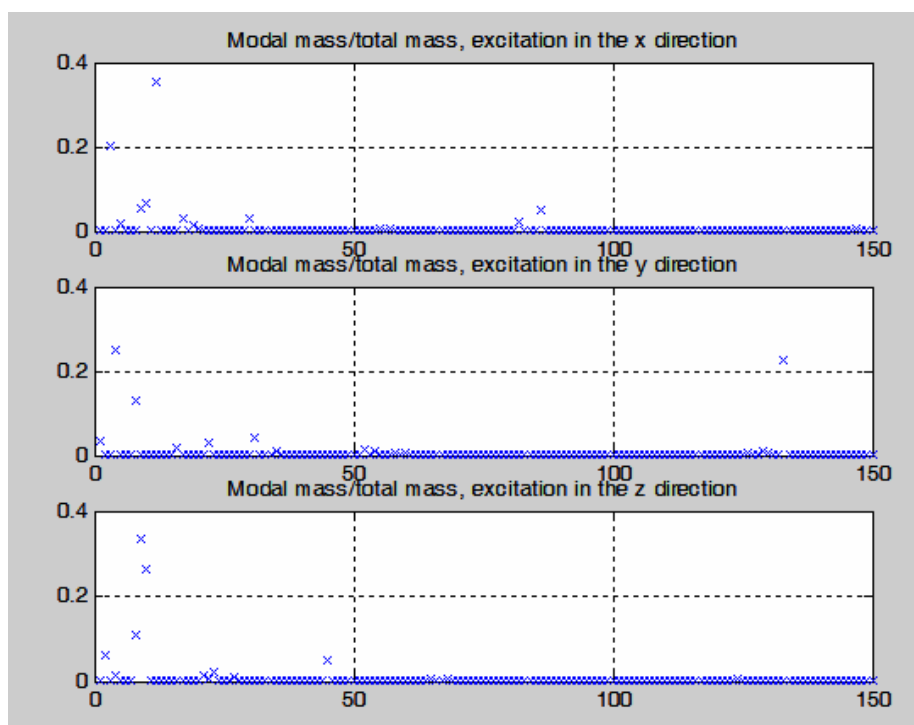
Mindkét szerkezet esetében a szerkezeti súlyokat az elemhez hozzárendelt keresztmetszetek alapján az Ansys számítja és redukálja a csomópontokra, míg a másodlagos önsúly jellegű, illetve a hasznos teherből származó tömegeket a csomópontokkal egybeeső tömegpont-elemekre redukálva adtuk meg.

A modellek fontos jellemzője a nagy elem-, csomópont-, illetve tömegpontszám. A konvergenciavizsgálat igazolta, hogy az M0 híd esetében hozzávetőlegesen 3400, az M8 dunaiújvárosi híd esetében pedig körülbelül 4500 csomópont alkalmazása kielégítő.

3.2. A válaszspektrum analízis

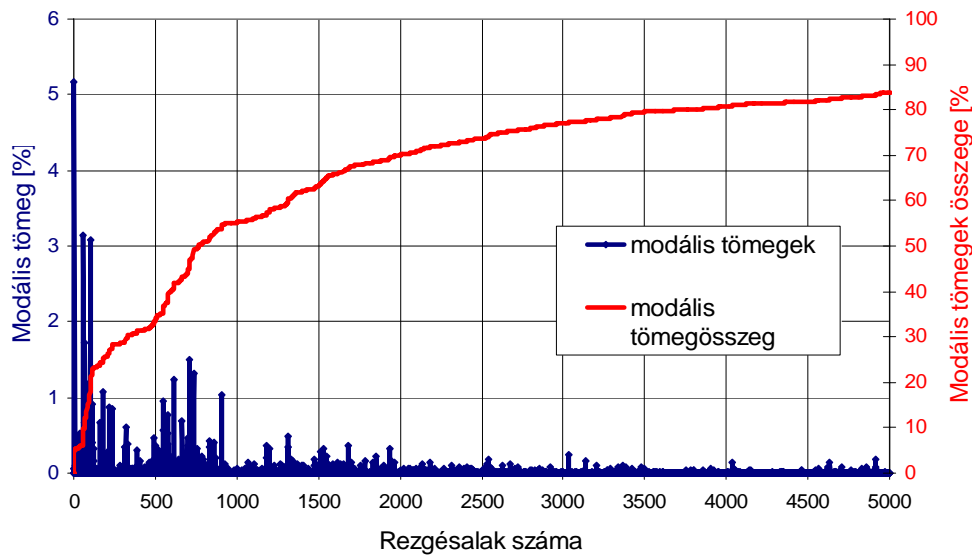
A ferdekábeles híd modálanalízise során összesen 150 lengésalakot számítottunk ki. Érdekes módon összesen 8 olyan rezgésalakot találtunk, amelynél a modális tömeg és a teljes tömeg aránya nagyobb, mint 5% (4. ábra). Ha azonban csak ezeket vesszük figyelembe, akkor lényegesen kisebb a modális tömegek összege, mint a teljes tömeg 90%-a: a híd tengely irányú földrengésre 52%-a, függőleges gerjesztésre 38%-a, míg keresztirányban mindössze 26%-a. Ennek tükrében megkérdőjelezhető az Eurocode 8 1. rész azon előírása, miszerint elegendő az 5% feletti modális tömegű alakokat számításba venni.

A számításban mindazokat a rezgésalakokat figyelembe vettük, amelyeknél a modális tömeg és a teljes tömeg aránya meghaladja a 0,5%-ot. Ennek összesen 34 rezgésalak tett eleget. Ilyen módon a vízszintes rezgések esetén elértük a teljes tömeg 90%-át, de függőleges rezgésre így is csak 80%-ot.

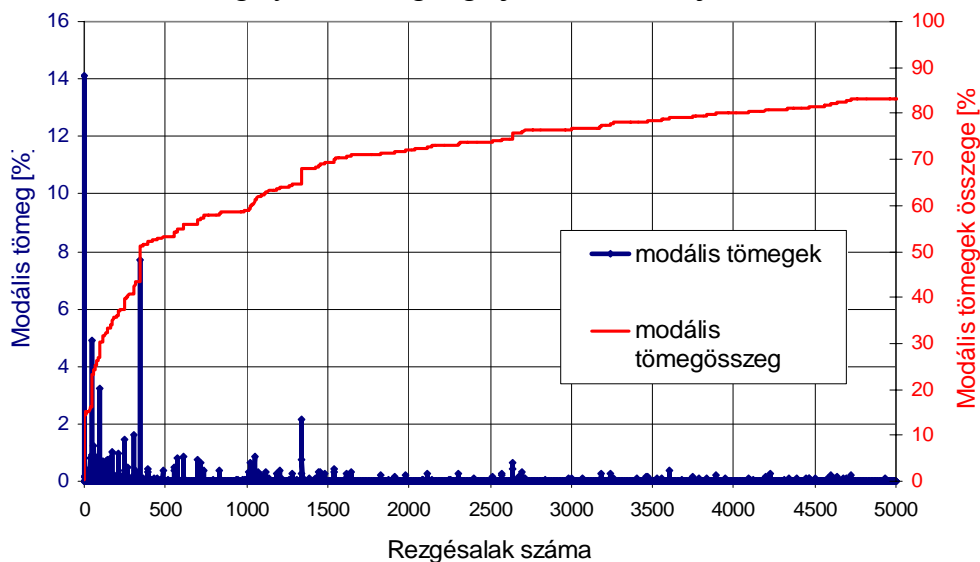


4. ábra. Modális tömeg és teljes tömeg hányadosa az egyes rezgésalakoknál – M0 híd

A dunaújvárosi híd vizsgálatánál még erőteljesebben jelentkezett a vázolt probléma. Merev pillérbefogások feltételezésével 5000 alak sem volt elegendő a teljes tömeg 90%-ának eléréséhez egyetlen irányban sem. Ezt mutatja az 5. és a 6. ábra. Az első 5000 sajátalak között hídtengetyre merőleges irányú gerjesztés esetén (5. ábra) mindössze egy, a hídtengety irányú gerjesztés esetében (6. ábra) pedig csak kettő 5%-nál nagyobb modális tömeggel bíró rezgésalak található. Végeredményben a legalább 0,01%, illetve 0,1% modális tömegű alakok (kb. 1000, illetve 500 alak) figyelembevételével tudtuk elérni a 70%-ot a két irányban. Ez maga után vonja az előzőekben tárgyalt „büntetőszorzó” alkalmazásának szükségességét.



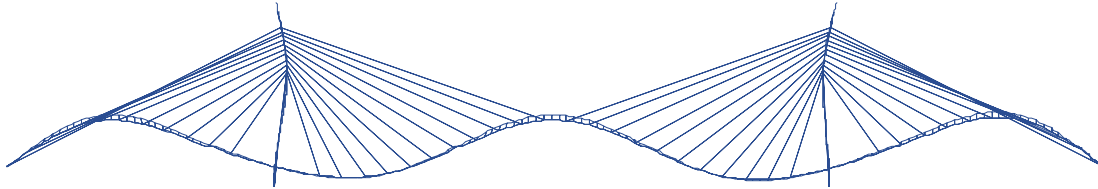
5. ábra. Modális tömeg és teljes tömeg hányadosa az egyes rezgésalakok esetén – hídtengetyre merőleges gerjesztés – dunaújvárosi híd



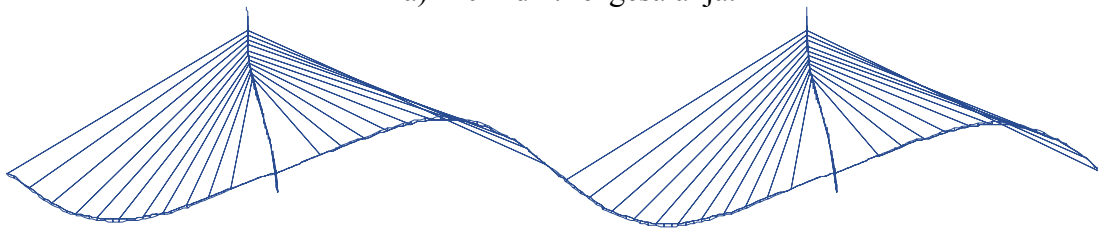
6. ábra. Modális tömeg és teljes tömeg hányadosa az egyes rezgésalakok esetén – hídtengety irányú gerjesztés – dunaújvárosi híd

Azt kaptuk, hogy igen nagyszámú sajátalakokkal sem tudjuk elérni a szükséges modális tömeget. Ez az alábbi két okra vezethető vissza:

- a „meg nem mozgató” tömegek esetére, illetve
- a rezgésalakok „szétesésére”.

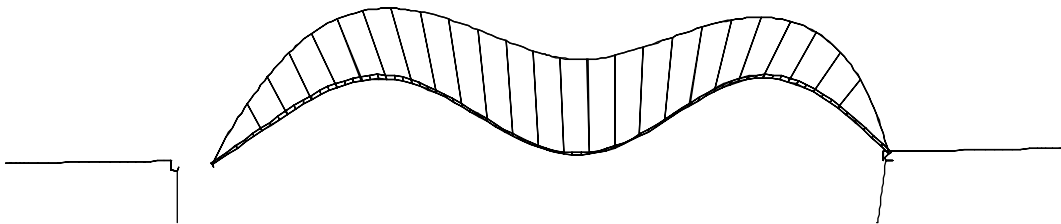


a) M0 híd 4. rezgésalakja.

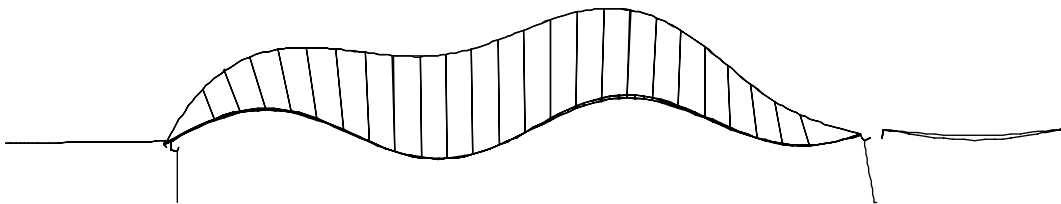


b) M0 híd 2. rezgésalakja.

7. ábra: Rezgésalakok szétesése az M0 híd esetében



a) 7. rezgésalak.



b) 11. rezgésalak.

8. ábra: Dunaújvárosi híd – mederhíd részlet – „szétesett” rezgésalak

A „meg nem mozgató” tömegek esete a következő. Az M0 híd esetében a pilonok tömege domináns a merevítőtartóhoz képest, ráadásul annak nagy része az alsó szakaszon (a merev befogás környezetében) koncentrálódik (felfelé keskenyedő keresztmetszet). Ezeket a tömegeket a merev befogás miatt nehéz megmozgatni, ehhez magasabb módokra is szükség van. Még erősebb a jelenség a dunaújvárosi híd esetében, ahol a dupla szárú pillérek a befogás környezetében vannak összefogva nagytömegű pillérgerendákkal. Itt a pillérek tömege a teljes tömeg 70%-át adja.

A probléma másik oka a rezgésalakok „szétesése”. Az M0 híd esetében észrevehető, hogy hídtengely irányú gerjesztés esetén a pilonok nagyon hasonló deformációja több módon is megjelenik, az eltérést a rezgésalakokban a merevítőtartó gerjesztésre merőleges (függőleges) elmozdulásai adják (7. ábra). A dunaújvárosi híd esetében hasonlóan, hídtengely irányú gerjesztés során több módon is megjelenik ugyanaz a pillér lengésalak különböző felszerkezeti lengésalakokkal kombinálódva (8. ábra). Ez utóbbi esetben a jelenség oka lehet a felszerkezet lejtése, és az, hogy a nagy csomópontszám miatt gyakorlatilag minden pillér-lengésalakhoz lehet találni hasonló sajátfrekvenciájú felszerkezeti rezgésalakot.

A két jelenséget részletesen tárgyaljuk [9]-ben.

4. DUNA-HIDAK ELLENŐRZÉSE

Ebben a fejezetben az elvégzett vizsgálatok összegzéseképpen néhány, a hidak földrengésre való méretezésével kapcsolatos észrevételt fogalmazunk meg.

Általában igaz az az ökölszabály, hogy „minél puhább a szerkezet, annál kisebb a földrengési terhelés”. Ebből az következik, hogy a kisebb merevségű acél merevítőtartó, illetve felszerkezet méretezésében általában nem játszik domináns szerepet a földrengés. (Ez különösen igaz a függőleges gerjesztésre, ahol eleve kisebb a figyelembe veendő alapgyorsulás. A ferdekábeles hidunk esetében például a merevítőtartóban ébredő többletfeszültség sehol sem haladja meg a 7 MPa-t.)

Mindkét híd esetében kijelenthető, hogy a függőleges irányú földrengés a szerkezetek egyetlen eleme esetében sem mértékadó.

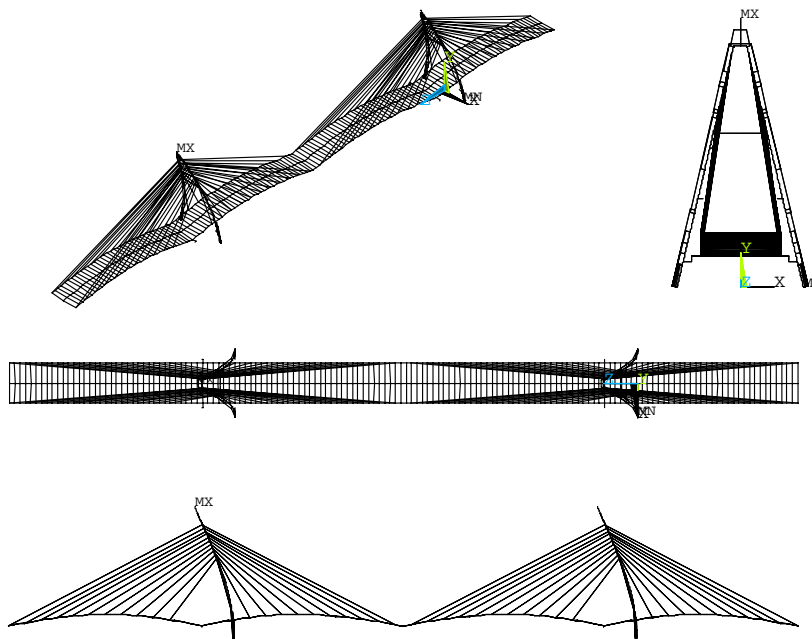
A globális teherviselő elemek méretezésében domináns szerephez juthatnak a tengelyirányú vízszintes földrengések hatásai. Ezek a terhek általában lényegesen nagyobbak, mint a fékezőerőből, sarusúrlódásból, stb. keletkező terhek. Ennek ellenére ezek a terhek általában nem okoznak nagy igénybevétel- (feszültség-) növekedést; ez alól csak az erőbevezetés környezete kivétel. Az M0 híd vasbeton pilonjaira mértékadó kombinációkból (melyekben szerepel a statikus önsúly és hasznos terhelés, illetve a földrengés) például a statikus teherbírási kombinációval összevethető nagyságrendű igénybevételek alakulnak ki. Helyenként kisebb, helyenként nagyobb (20-30%) igénybevételeket is kaptunk, de a hatás sehol sem olyan mértékű, hogy az a szerkezet jelentős áttervezését tegye szükségessé. A saruk környezetében viszont a földrengési terhelés esetén az eredetileg tervezett sarureakció 2-3-szorosa is ébredhet. Hasonló tapasztalatokat szereztünk a dunaújvárosi híd vasbeton pilléreiből kapcsolatban is.

Keresztirányú vízszintes rezgések szolgálatják az acél szerkezeti elemek mértékadó, földrengésből keletkező igénybevételeit. Ezek azonban általában nem érik el a statikus teherbírási állapothoz tartozó határértékeket. A nagyságrend kedvéért említjük meg, hogy például az M0 híd merevítőtartójának hosszemeiben a keresztirányú gerjesztésből hozzávetőlegesen 40 MPa többletfeszültség adódik. Jól érzékelhető tehát, hogy a fő teherviselő elemek méretezésében nem okoz különösebb nehézséget a földrengési terhek figyelembevétele.

A fentiekből következik, hogy a földrengés hatása fontos az egyes szerkezetek között kialakítandó kapcsolatok méretezésében. Az M0 híd merevítőtartója végleges

állapotban csak az egyik pilonhoz van két saruval rögzítve hosszirányban. Földrengési teher esetén az eredetileg tervezett sarureakció 2-3-szorosa is ébredhet. Mindazonáltal ezen saruk tönkremenetele nem jár együtt a szerkezet összeomlásával. A saru tönkremenetele esetén a merevítőtartó átalakul a pilonokra felfüggesztett, lengő szerkezetté (9. ábra). Igazolható, hogy egy ilyen új statikai modell esetén a szerkezet megfelel földrengésre mind erőtani, mind elmozdulási szempontból, sőt a pilon és az acél tartó igénybevételeit tekintve még kedvező is az ily módon betervezett „gyenge elem” részleges károsodása.

Hasonlóan, a dunaújvárosi híd esetében is a pillérek és a felszerkezetek kapcsolatát biztosító saruk jelentik a szerkezet a gyenge pontjait.



9. ábra: M0 híd – saruszakadás utáni „lengő” merevítőtartó

Hangsúlyozzuk, hogy globális támaszok, belső kapcsolatok, illetve bármely szerkezeti elem rugalmasságának figyelembevétele általában kedvező hatással van a földrengésre való tervezésben. A dunaújvárosi híd esetében a rugalmas befogás feltételezésével mind a globális reakciók, mind pedig az igénybevételek jelentős mértékben csökkentek. Ez egyben azt is jelenti, hogy a valóságosnál puhább szerkezet feltételezése alulméretezéshez vezethet, így az egyes elemek merevségének meghatározásakor körültekintően kell eljárni, úgy, hogy bizonyosan a biztonság oldalán maradjunk.

A vázolt vizsgálatok azt mutatják, hogy Magyarországon a hídtervezés során a földrengésre való méretezés kis mértékben megnövelheti a szerkezeti méreteket és jelentős hatása lehet a megtámasztó szerkezetek kialakítására.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

Jelen cikkben a két Duna-híd Eurocode alapján elvégzett, földrengésre való ellenőrzése során szerzett tapasztalatainkat mutattuk be.

Megállapítottuk, hogy a földrengés figyelembevételkor a szerkezetek fő igénybevételei (és a keresztirányú sarureakciók) kis mértékben nagyobbak (20-30%) lehetnek, mint a gyakori tehercsoportosítások során számításba vett terhekből eredők.

A hosszirányú sarureakciók szempontjából egyértelműen a földrengés a mértékadó: a gyakori tehercsoportosításból keletkező erők többszörösét is okozhatja.

Számításaink is mutatták, hogy a szerkezeti elemek alakváltozásképeségének, a megtámasztások rugalmas voltának figyelembevétele általában csökkenti a szerkezet igénybevételeit.

Az analízisek során két – látszólag numerikus, valójában szerkezeti és geometriai okokra visszavezethető – méretezési problémát tártunk fel: a „meg nem mozgott” tömegek esetét és a rezgésalakok „szétesését”. Fontos megjegyezni, hogy ha a feltárt jelenségek következményeit a számításokban nem vesszük figyelembe, akkor az Eurocode betűjét követő számítás esetleg jelentős alul- vagy túlméretezést eredményezhet.

HIVATKOZÁSOK

- [1] ÚT 2-3.401 Közúti hidak tervezése. Általános előírások, Útügyi Műszaki Előírás, 2002.
- [2] Dulácska E. - Kollár L. P.: Földrengési méretezés Magyarországon az európai elvek figyelembevételével, *A Magyar Mérnöki Kamara Kiskönyvtára*, TT-TS 4, 2003.
- [3] prEN 1998-1: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings; Final Draft, December 2003.
- [4] MSZ ENV 1998-1: Tartószerkezetek földrengésállóságának tervezési előírásai. 1.1 rész. Általános hatások. Szeizmikus hatások és a tartószerkezetekre vonatkozó általános követelmények (az angol változat eredeti dátuma: 1994 október).
- [5] Nemzeti Alkalmazási Dokumentum az MSZ ENV 1998-1-hoz, 2002.
- [6] prEN 1998-2: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 2: Bridges; Stage 4 Draft, July 2003.
- [7] Chopra A. K.: Dynamics of Structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering, *Prentice Hall, Upper Saddle River*, New Jersey, 1995.
- [8] ANSYS Structural Analysis Guide, online dokumentáció, *ANSYS Inc.*, 2001.
- [9] Vigh L. G. - Dunai L. - Kollár L.: Szerkezetek modellezése földrengésre – Duna-hidak ellenőrzésének tapasztalatai, *Magyarország Földrengésbiztonsága Konferencia*, pp 241-259, Győr, 2004. november 4-5.