



Magyarországi hídadatbázis alkalmazhatósága meglévő közúti hidak földrengésvizsgálatához

Simon József, Vigh László Gergely¹

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Hidak és Szerkezetek
Tanszék

E-mail: vigh.l.gergely@epito.bme.hu

KIVONAT

Az elmúlt évek tapasztalatai azt mutatják, hogy a földrengési határállapot mértékadó lehet hídjaink jelentős részénél. Meglévő hídjaink szeizmikus viselkedése nem ismert, meghatározásához szükséges a hidak szerkezetének pontos leírása. A meglévő közúti hídadatbázis alacsony ismereti szintet biztosít, azonban elegendő a hidak tipizálásához, mely alapján paraméteres vizsgálattal meghatározhatóak az egyes szerkezeti típusok kritikus kialakításai, elemei. A vizsgálatok pontosításához az adatbázis bővítésére van szükség, melynek rendszerét kidolgoztuk és bemutatjuk. A cikkben a hidak osztályba sorolása, valamint a sűrűbordás típusú hidak közelítő, teljes hídállományra kiterjedő szeizmikus kiértékelése is bemutatásra kerül.

Kulcsszavak: alacsony vagy moderált szeizmicitás, földrengési teher, hídadatbázis, modális válaszspektrum analízis, szeizmikus hatás

ABSTRACT

Experiences show that seismic loads may be dominant for a large majority of bridges in Hungary. The seismic behavior of existing bridges is not known, the detailed description of the structures is essential to determine the seismic performance. The existing road bridge database provides only low knowledge level, however it is sufficient for bridge classification on which the estimation of critical layouts and components through parametric study may be based. More sophisticated analyses require the extension of the database, which is elaborated and presented in the paper as well as the bridge classification and the nationwide seismic evaluation of multi-girder bridges.

Simon József

Okleveles építőmérnök (MSc), a BME Hidak és Szerkezetek Tanszék doktorandusz hallgatója. Érdeklődési terület: hidak szeizmikus viselkedése, falazott szerkezetek diszkrét elemes analízise, bordával merevített lemezek teherbírásának vizsgálata. Doktori kutatásában mérsékelt szeizmicitású övezetekben épülő hidak fejlett szeizmikus analízisével és méretezésével foglalkozik. Publikációinak száma: több mint 10.

Vigh László Gergely

Okleveles építőmérnök, PhD. A BME Hidak és Szerkezetek Tanszéken egyetemi docens. Ösztöndíjas kutatóként három évet az Osaka University-n, egy évet a Stanford University-n töltött. Hazai és nemzetközi szakmai szervezetek tagja: ECCS TC13, MAGÉSZ, MMK Szabványügyi Bizottság. Az MMK Fiatal Statikusok Szakosztálya alapító tagja; Közlekedéstudományi Egyesület Mérnöki Szerkezetek Szakosztálya elnökségi tagja, a Menyhárd István Alapítvány kuratóriumi tagja, az Eurosteel 2011 Tudományos Bizottság titkára. Kutatási területei: acél és alumínium vékonyfalú szerkezetek és kapcsolatai; valós és virtuális kísérleten alapuló tervezés; szerkezetek földrengésvizsgálata; extrém terhekre való méretezés (földrengés, tűz, szél); új generációs szélterelőművek; új generációs hűtőtornyok;

gyalogos hidak dinamikai vizsgálata. Részt vett több jelentős hazai híd (Pentele híd, Megyeri híd, Szabadság híd, stb.) független ellenőrzésében és próbaterhelésében. Publikációinak száma: több mint 60.

1. BEVEZETÉS

A hatályos Eurocode 8 (CEN 2008a,b) szabvány előírja minden új vagy megerősítendő hídszerkezet teljeskörű szeizmikus vizsgálatát. Az utóbbi időben számos új híd vagy megerősítés kapcsán kerültek elő olyan problémák, melyek a földrengési teher miatt adódtak. Zsarnóczay és m.társai (2014) munkájukban tipikus magyarországi gerendahidak szeizmikus teljesítőképességét vizsgálták, mellyel a kritikus kialakítások és szerkezeti elemek köre körvonalazódott, azonban a teljes meglévő hídállomány tekintetében még mindig nem rendelkezünk átfogó vizsgálati eredményekkel. Az eddigi eredmények alapján valószínűsíthető, hogy az Eurocode 8 által előírt intenzitású földrengés esetén még a szerkezetileg megfelelő hidakban is jelentősebb károsodások keletkezhetnek. Ezeknél a hidaknál megerősítésre vagy szeizmikus szigetelés beépítésére van szükség (lásd Hárosi híd megerősítését Simon és Vigh (2015a) munkájában, illetve megerősítési esettanulmányokat Simon és Vigh (2013a) cikkében).

Ez ösztönözte kutatásunk megkezdését, melynek két fő célja van: 1) a meglévő hídállomány vizsgálata (a kritikus hídszerkezetek és szerkezeti részletek körének megállapítása, a várható károsodások becslése és javaslattevél lehetséges megerősítési módokra); 2) javaslattevél új szerkezetek esetén alkalmazható tervezési koncepcióra, mellyel a földrengési hatásokkal szembeni ellenállás hatékonyan és gazdaságosan elérhető.

A teljes hídállomány szeizmikus teljesítőképességének meghatározásának céljából szükséges a teljes hídállomány többszempontú leírása, statisztikai kiértékelése. Ehhez olyan adatbázisra van szükség, mely hidanként megfelelő információval szolgál számunkra különböző modellezési szintek kidolgozásához, egyszerűsített vagy pontosabb földrengésvizsgálat elvégzéséhez.

A felépített adatbázisnak tartalmaznia kell a híd alapadatait (név, helyszín, milyen közúti vagy vasúti vonalon van, építés éve stb.), geometriai adatokat a geometriai modell felépítéséhez (támaszközök száma, nyílások mérete, statikai rendszer, ívesség, ferdeség, pillérmagasságok, keresztmetszetek, alapozás kialakítása stb.), az anyagmodellek felvételéhez anyagtulajdonságokat (beton és betonacél minőség, acél osztály, talaj besorolása stb.), illetve egyéb statikai rendszert vagy terhelést meghatározó adatokat (saruk típusa, kiosztása, dilatációk megléte, mérete, rétegrend az önsúly számításához stb.).

Jelen cikkben elemezzük a már meglévő hídadatbázisokat Magyarországon, ellenőrizzük, hogy mely szükséges adatokat tartalmazzák, melyek amik hiányoznak, de elengedhetetlenek a földrengésvizsgálat végrehajtásához. Ezután javaslatot teszünk az adatbázis meglévő rendszerének kibővítésére úgy, hogy az ne csak üzemeltetői igényeket elégítsen ki, hanem szerkezeti analízisre, földrengésvizsgálatra is alkalmazható legyen. A kibővítéssel akár a teljes meglévő hídállományon (hidanként) elvégezhető a kívánt statikai vagy földrengésvizsgálat is.

A 3. pontban látni fogjuk, hogy a meglévő adatbázis jelen állapotban nem alkalmas egyedi hidak vizsgálatára, hiszen a szolgáltatott ismereti szint alacsonynak bizonyul, így a hídállomány szeizmikus teljesítőképessége típushidak vizsgálatával hajtható végre. A cikkben bemutatjuk hogyan értékeltük ki a meglévő adatbázist, hogyan választottunk ki típusszerkezeteket parametrikus földrengési vizsgálatokhoz. Egy ilyen típusszerkezet, a sűrűbordás hidak esetére megmutatjuk hogyan lehet a paraméteres vizsgálatokat végrehajtani, kritikus szerkezeti elrendezéseket meghatározni, valamint hogyan lehet egy közelítő becslést adni a teljes állomány szeizmikus teljesítőképességére.

2. MEGLÉVŐ HÍDADATBÁZISOK MAGYARORSZÁGON

2.1. KÖZÚTI HÍDADATBÁZIS

A Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ (KKK) megbízásából a Cartosoft Kft. (<http://www.cartosoft.hu/>) 2001 óta fejleszti a Híd Alrendszer nevű adatbázist. A Híd Alrendszer kezdetekben a közúti nyilvántartás alrendszereként foglalkozott a közúti hidak műszaki nyilvántartásával. A szakmai igények szerinti folyamatos bővítésnek köszönhetően ma már önálló rendszerként üzemel, megteremtve az alapjait az országos szintű Egységes Hídnyilvántartási Rendszer (EHR) kialakításának (KKK 2001). Az adatbázis elérhető a <http://www.hidadatok.hu> webcímen.

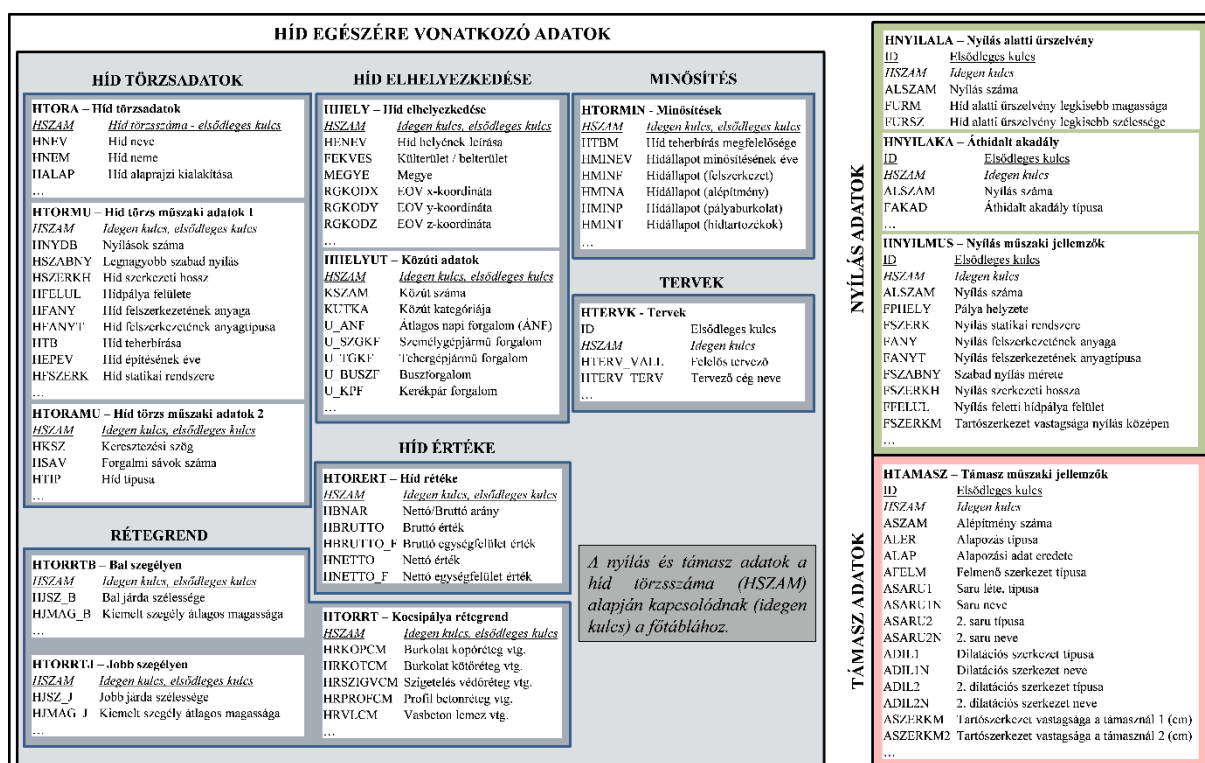
A meglévő EHR üzemeltetési céllal jött létre, csak a legszükségesebb műszaki tartalmakkal van ellátva. Az adatbázis felépítését az 1. ábra mutatja, melyen csak azokat az adatokat jelöltük, amelyek alkalmazhatóak a földrengésvizsgálatokhoz, illetve azt megelőzően a hídállomány statisztikai értékeléséhez és típusszerkezetek kiválasztásához.

Az adatbázisban rögzített hidak mindegyike rendelkezik a legalapvetőbb adatokkal, melyek egyszerűen a nyilvántartás miatt szükségesek, leltárszerűen jellemzik az állományt. Ilyen adatok: a híd helye, fő méretei, szerkezeti kialakítása, anyaga stb. Az adatbázis törzsadatok, törzs műszaki adatok (HTORA, HTORAMU, HTORMU adatbázis táblák) tartalmazzák a legfontosabb geometriai és műszaki adatokat is: támaszközök száma, felszerkezet anyaga, típusa, szerkezeti rendszer, nyílások mérete, hídpálya felülete, hídszélesség, sávok száma stb.

A teljes hidat jellemző további adatbázis táblák a híd elhelyezkedését (HHELY: megye, EOY koordináta stb.), a közúti kategóriát (HHELYUT: közútkategória, forgalmi adatok), a híd értékét (HTORERT: bruttó és nettó teljes és fajlagos értékek), a tervezői adatokat (HTERV: tervező cég, felelős tervező), a híd minősítését (HMIN: minősítés éve, hídállapot), valamint a rétegrendeket (HTORRTB, HTORRTJ, HTORRT: rétegrendek a bal és jobb szegélyen, a kocsi pályán) tárolják. Ezek a táblák 1:1 kapcsolatban állnak a törzsadatok tartalmazó fő táblával (HTORA), ahol a híd törzsszáma (HSZAM) szolgáltatja az idegen kulcsot minden egyes tábla esetén.

Az EHR adatbázis a szokásos üzemeltetői adatbázisoknál, mint például a National Bridge Inventory (FHWA 2002), többet nyújt műszaki tartalom szintjén. Az adatbázis mind a nyílásokról (HNYILALA, HNYILAKA, HNYILMUS), mind a támaszokról (HTAMASZ) külön adatokat tárol. Ennek segítségével részletesebb képet kapunk a híd geometriájáról, külön az egyes nyílások kialakítása, hossza, szerkezeti rendszere, szerkezeti magassága megismerhető, a támaszok tekintetében pedig a saruk, dilatációk kialakításáról, a felmenő szerkezeti rendszerről, az alapozás típusáról kaphatunk információt. A táblák ez esetben 1:N kapcsolatban vannak a fő táblával, ahol az idegen kulcsot itt a híd törzsszáma nyújtja (HSZAM).

A meglévő EHR adatbázis földrengésszámításhoz való alkalmazhatóságáról, illetve az adatbázis felépítési rendszeréről bővebben a 3. pontban írunk.



1. ábra: A meglévő EHR adatbázis (KKK 2001) struktúrája. Az ábra csak a hídállomány kiértékeléséhez és földrendésvizsgálat elvégzéséhez szükséges egyedeket és attribútumokat tartalmazza. Az egyedek nevei vastag betűvel, az elsődleges, illetve idegen kulcsok aláhúzással, illetve dőlt betűvel vannak jelölve

2.2. VASÚTI HÍDADATBÁZIS

A nemzeti infrastruktúra jelentős részét teszi ki a vasúti hálózat, mely állami tulajdonú, a személyforgalom mellett jelentős áruforgalom zajlik, így a rendszer legfontosabb csomópontjai, azaz a hidak károsodása nagy mértékű nemzetgazdasági problémákat kelthet. A kutatás jelenlegi fázisában csak közúti hidak földrendésvizsgálatával foglalkozunk, azonban a vasúti hidak vizsgálata is kulcsfontosságú, így ebben a pontban bemutatjuk a meglévő vasúti hídadatbázist, valamint tömören összefoglaljuk a vasúti hidakkal kapcsolatos eddigi tapasztalatainkat.

A Magyar Államvasutak (MÁV) egy műszaki és gazdasági adatokat egyaránt tartalmazó hídgazdálkodási rendszert (MÁV-HGR) fejlesztett (MÁV 1990). A hídnyilvántartás tartalmazza a hidak pontos helyét (vonat, szelvény), leltári adatait, a híd típusát, geometriai jellemzőit, nyílások számát, szerkezeti elemei anyagát, méretezési terhet, a tényleges teherbírást, a vasúti felépítmény adatait (rendszer, vágányszám), és a híd élete során említésre, rögzítésre méltó minden eseményt, beavatkozást (Erdődi 2003).

Tájékoztató jelleggel (Erdődi 2003) alapján bemutatjuk a MÁV által kezelt hidak megoszlását híd típus szerint (1. táblázat). Látható, hogy a hidak közel 90%-a beton, vasbeton (esetleg kő és tégl), szerkezeti rendszerük főleg lemezhid, teknőhid, tartóbetétes vb. híd, átereszt, keretszerkezet. Ezek túlnyomórészt integrált szerkezetek, támaszközüik legtöbb esetben 5-10 méter között mozog. A hidak több, mint 90%-a egy nyílású. Ez földrendés szempontjából kedvezőbb, hiszen az általában kritikus elemként kezelt pillérek itt elmaradnak.

1. táblázat: Kincstári tulajdonú, MÁV Rt. által kezelt, üzemeltetett hidak megoszlása híd típus szerint (Erdődi 2003).

Hídtípus	Tényleges szám szerint		Nyilvántartási szám szerint		Vágánynyílás szerint	
	db	%	db	%	vnyfm	%
Tartónélküli nyílt átereszt	61	0,71	64	0,56	33	0,06

Fatartós átereszt, fahíd	15	0,17	15	0,13	11	0,02
Kőfedlapos átereszt	81	0,94	125	1,09	96	0,18
Kő, tégl, beton, vb. hidak, átereszt	7736	89,95	10696	93,65	27930	52,73
Feszített vb. hidak	18	0,20	19	0,17	1848	3,49
Rácsos acélhidak	136	1,58	87	0,76	9088	17,16
Egyéb acélszerkezetű hidak	438	5,1	312	2,73	7656	14,46
Gyalogos felüljárók	79	0,92	77	0,67	5572	10,52
Ideiglenes hidak (provizórium)	35	0,41	26	0,23	727	1,37
Pályavasúti hídállag összesen	8599		11421		52960	

A fentebb vázolt vasbeton szerkezeti rendszerek a kis támaszköz, illetve a túlnyomórészt egyenylású kialakítás és integrált szerkezeti megoldás miatt feltehetően nem érzékenyek földrengési hatásokra.

A hidak kisebb részét képező, de jelentős számban jelen lévő gerinclemezes és rácsos acélhidak egyenylású kialakítással már nagyobb támaszközökkel vannak jelen, így a felszerkezeti tömeg esetlegesen elegendően nagy lehet ahhoz, hogy földrengési hatásokra a saruban, hídfőben károsodás keletkezzen. A hosszirányú vizsgálatok esetén támpont lehet a hidat egyszabadságfokú rendszerként vizsgálva, a teljes felszerkezeti tömeget figyelembe véve becsülni a földrengés során kialakuló erőket, majd ezt összevetni a híd építéskor (vagy felújításakor) hatályos szabványban foglalt fékezőerővel.

Többszármű, nagyobb nyílású ($L > 40-50$ m) acélhidak esetén a tapasztalatok azt mutatják, hogy a földrengésvizsgálat mértékadó lehet mind a saruk, mind a pillérek és alapozásuk szempontjából. Ennek tükrében a későbbiekben mindenképp célként kell kitűzni legalább a kulcsfontosságú, nagy fesztávú, többszármű acélhídjainak földrengésvizsgálatát, melyet a teljes rendszer, a többi (feltehetőleg földrengésre kevésbé érzékeny) szerkezet vizsgálata követhet.

A 3. pontban a meglévő EHR közúti adatbázis földrengésszámításhoz való alkalmazhatóságával, illetve az adatbázis felépítési rendszerének kibővítésével kapcsolatban tett megállapítások, ajánlások a későbbiekben adaptálhatóak egy továbbfejlesztett vasúti hídadatbázis esetére is.

3. MEGLÉVŐ HÍDÁLLOMÁNY FÖLDRENGÉSVIZSGÁLATÁNAK KÉRDÉSEI

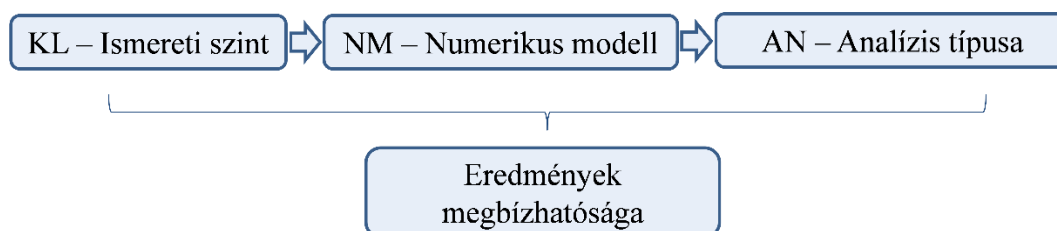
Az EHR-ben, illetve annak elődjében az Országos Közúti Adatbankban (OKA) tárolt adatok már egy korábbi kutatásban, vizsgálatban is felhasználásra kerültek szerkezeti analízisre. Vigh és Kollár (2006) kutatásában közúti hidak közelítő analízisét dolgozták ki nehézjárművek útvonal-engedélyeztetéséhez, illetve ehhez egy felhasználói programot is készítettek. A vizsgálatok csak a felszerkezet analízisére térnek ki, az alépítménnyel nem foglalkoznak. Már ebben a vizsgálatban is kiderült, hogy egyes esetekben (ilyenek például az ívhidak, boltozatok) a tárolt adatok nem elégségesek, feltételezéseket kell tenni ezen hiányos adatok tekintetében, majd konzervatív módon becsülni a szerkezet teherbírását.

Földrengésvizsgálat esetén az eredményeket döntően befolyásolja az alépítmény kialakítása, az egyes szerkezeti elemek tömege és merevsége. Az eredményeinek megbízhatósága nagyban függ a vizsgált híddal kapcsolatos meglévő ismereti szinttől (KL). Az alkalmazott numerikus modell kidolgozása során fontos a modellezendő híd geometriájának és anyagtulajdonságainak ismerete, melyből a tömeg- és merevségi viszonyok számíthatóak, az ismereti szint és a numerikus modell (NM) együttesen pedig az alkalmazott analízis típust (AN) határozza be (2. ábra).

Fejlettebb numerikus modellek és magasabb szintű analízis általában megbízhatóbb eredményekre vezet, ám alacsony ismereti szinten a túl részletes modellezés éppen ellenkező tendenciát mutathat. Alacsonyabb ismereti szinten ezért lehetőség szerint többféle alternatívát kell vizsgálni minden olyan esetben, ahol feltételezésekre, egyszerűsítésekre van szükség.

A geometriával és anyagtulajdonságokkal kapcsolatos ismereti szinteket vázoltuk fel a 2. táblázatban, a lehetséges modellezési szinteket a 3. táblázat, míg az alkalmazható földrengési analízis típusokat pedig a 4. táblázat mutatja. Ezeket a következő pontokban részletesen bemutatjuk, majd elemezzük, hogy a meglévő adatok alapján milyen vizsgálati szint javasolt a teljes hídállomány elemzéséhez (3.4. pont),

majd meghatározzuk a vizsgálatok pontosításához szükséges adatok körét, az adatbázis bővítésének struktúráját a 4. pontban.



2. ábra: Az eredmények megbízhatóságának származtatása.

3.1. ISMERETI SZINTEK (KL)

A geometria és kialakítás tekintetében komponenstől függően két vagy három ismereti szintet határoztunk meg, ahogyan azt a 2. táblázat is mutatja.

Első ismereti szint

Az első ismereti szinten a minimálisan ismert adatok körét úgy határoztuk meg, hogy elegendőek legyenek tipikus szerkezetek elemzésével, az építési idő és az építéskor hatályos szabványban foglalt terhek alapján megbecsülni a szerkezet valódi geometriáját, kialakítását. Ilyenek a globális geometriai adatok (a híd statikai rendszere, támaszközök száma és mérete, a felszerkezet anyaga); a hídfők és pillérek kialakítása, magassága; az alapozás kialakítása. A saruk és dilatációk ismeretének hiányát szintén első ismereti szintbe soroltuk, hiszen az általános gyakorlatban a saruk kiosztása könnyen feltételezhető, a dilatációs hézag nagysága pedig egyszerű számításokkal megbecsülhető. Az anyagminőségeket ezen a szinten feltételeznünk kell, melynek alapja itt is az építési év és a szerkezeti rendszer lehet. A talajjellemzőket, a talaj megtámasztó hatását konzervatív módon kell becsülni a hiányos adatok miatt.

Második ismereti szint

Ezen a szinten a globális geometria pontosítására kerül sor. Ismertek a keresztezési szögek, a saruk állása. A szerkezeti elemek (hídfő, pillérek, felszerkezet, alapozás) kialakítása ismert, a keresztmetszeteket már nem becsüljük, az elemek átlagos keresztmetszettel jellemezhetőek. A saruk és dilatációk mérete, kialakítása tervből ismert. Az anyagjellemzők tervből ismertek, a talajbesorolás rendelkezésre áll a földrengésvizsgálat végrehajtásához.

Harmadik ismereti szint

Harmadik szinten a pontos felszerkezeti geometria, vonalvezetés ismert, az elemeket nem átlagos, hanem szegmensenként egyedi keresztmetszettel tudjuk jellemezni. Az anyagjellemzők helyszíni mérések alapján vesszük fel, míg a talaj rétegződése, a talajjellemzők fúrások útján ismertek.

2. táblázat: Meglévő hidak geometriájával és anyagtulajdonságaival kapcsolatos ismereti szintek.

GEOMETRIA		
Szint	Leírás	Megjegyzés
Globális geometria		
KL-G1	Felszerkezet pontos geometriája nem, csak a támaszközök száma és nagysága ismert	Íves hidak nem modellezhetőek, keresztezés merőlegesnek feltételezve
KL-G2	Keresztezési szög (hídfők és pillérek állása, saruk iránya ismert)	Íves hidak nem modellezhetőek
KL-G3	Felszerkezet pontos geometriája ismert	–
Felszerkezet		
KL-SS1	Felszerkezet típusa, támaszköze ismert (esetleg ismertek a szerkezeti magasságok is)	Keresztmetszet feltételezése, konstans keresztmetszet

KL-SS2	Tervek alapján átlagos keresztmetszet	Konstans keresztmetszet a híd hossza mentén
KL-SS3	Tervek alapján pontos keresztmetszetek (szegmensek)	–
Saruk		
KL-B1	Nincs, nem ismert	Feltételezett típus és kiosztás
KL-B2	Típus, kiosztás tervből ismert	–
Dilatáció		
KL-EJ1	Nem ismert	Becsült méret
KL-EJ2	Tervből ismert/mért	–
Hídfők		
KL-AB1	Hídfő kialakítása, típusa, magassága ismert	Keresztmetszet feltételezése, konstans keresztmetszet
KL-AB2	Tervek alapján átlagos keresztmetszet, vasalás	Konstans keresztmetszet magasság mentén
KL-AB3	Tervek alapján pontos keresztmetszetek (szegmensek)	–
Pillérek		
KL-P1	Pillér kialakítása, típusa, magassága ismert	Keresztmetszet feltételezése, konstans keresztmetszet
KL-P2	Tervek alapján átlagos keresztmetszet, vasalás	Konstans keresztmetszet magasság mentén
KL-P3	Tervek alapján pontos keresztmetszetek (szegmensek)	–
Alapozás		
KL-F1	Alapozás típusa ismert	Kialakítás feltételezése
KL-F2	Alapozás részletei tervből ismertek	–
ANYAGTULAJDONSÁGOK		
Szint	Leírás	Megjegyzés
Szerkezeti anyagok		
KL-M1	Feltételezett	Tipikus anyagjellemzők felvétele
KL-M2	Tervből ismert	–
KL-M3	Mérésekkel meghatározott	–
Talajjellemzők		
KL-S1	Nem ismert	A helyszínrre jellemző talajtulajdonságok feltételezése
KL-S2	Talajbesorolás ismert (A, B, C stb.)	Földrengésjellemzőkhöz szükséges
KL-S3	Pontos rétegződés ismert	Alapozás pontosabb figyelembe vétele lehetséges

3.2. NUMERIKUS MODELLEZÉSI SZINTEK (NM)

A szerkezet modellezése (3. táblázat) és a rajta végrehajtott analízis típusa (4. táblázat) szorosan összefügg egymással. A felszerkezet és a pillérek kétszintű modellezése történhet rugalmas, illetve képlékeny viselkedést is követni képes gerendaelemekkel. Az esetek túlnyomó többségében a felszerkezet rugalmas viselkedése, míg a pillérek esetén képlékeny viselkedés várható.

A hídfők modellezése a hídfő elhagyásától a teljes hídfő héjelemekkel történő megépítéséig sokféle szinten lehetséges. Hosszabb gerendahidak esetén a hídfő és háttöltés hatásának elhanyagolása nem befolyásolja jelentősen a szerkezeti viselkedést. A hídfők általában merev tömbként viselkednek, modellezésük történhet lineáris vagy képlékeny viselkedést követni tudó gerendaelemmel. A hídfő és a

szárnyfalak kiterjedt felületét gerendaráccsal, a csomópontokba elhelyezett tömegpontokkal modellezhetjük.

Jelen mérnöki gyakorlatban a saruk modellezése a megfelelő szabadságfokok összekötésével (felszerkezeti és pillér csatlakozási pontban) történik, azonban a saruk tényleges viselkedése megadható lineáris vagy nemlineáris rugókarakterisztikával is. Magasabb szintű modellezés esetén lehetőség van a meglévő dilatációs hézag beépítésére a modellbe. Ilyen esetben a dilatáció záródásával a dilatáció által elválasztott két elem (pl. ártéri és mederhíd felszerkezete) között ütközés jön létre, melyet numerikusan is tudunk kezelni megfelelő erő-elmozdulás karakterisztika megadásával.

Az alapozás modellezése gyakorlati esetekben koncentrált lineáris rugókkal történik. Az alapozás geometriája, kialakítása és a talajjellemzők függvényében ezek a rugóállandók meghatározhatóak. Lehetőség van azonban nemlineáris rugókkal az alapozás nemlineáris viselkedését is közelítőleg figyelembe venni (Simon 2013), illetve cölöpalapozás esetén az egyedi cölöpöket modellezni rugalmas vagy képlékeny gerendaelemekkel.

A talaj megtámasztó hatását lineáris vagy nemlineáris karakterisztikájú rugókkal modellezhetjük, mellyel a talpnál és köpenynél lévő függőleges, illetve a köpenynél lévő vízszintes erő-elmozdulás karakterisztika vehető figyelembe.

A háttöltés modellezése szorosan összefügg a hídfő modellezésével. Már említettük, hogy hosszú gerendahidaknál a modellezés elhagyható. A talaj megtámasztó hatása, a passzív földnyomás erő-elmozdulás karakterisztikája modellezhető egyszerűbb esetben lineáris, magasabb modellezési szinten pedig nemlineáris rugókkal.

Hidak földrengésvizsgálatokhoz szükséges modellezéséről bővebben a (Simon 2012)-ben található információ.

3.3. ANALÍZIS TÍPUSOK (AN)

Az analízis anyagi linearitását (lineáris, nemlineáris) az alkalmazott elemek határozzák meg (nemlineáris gerenda, dilatációnál modellezett ütközés, képlékeny háttöltés stb.). Másik szempont az analízis megválasztásánál, hogy idő- vagy frekvenciaterben kívánjuk-e végrehajtani azt.

A gyakorlatban leggyakrabban alkalmazott analízis a modális válaszspektrum analízis, melyet csak rugalmas modellen hajthatunk végre. Ez az eljárás többszabadságfokú rendszerek esetén (ilyenek a hidak is) általában konzervatív eredményeket szolgáltat. Az eredmények pontosabb meghatározására lineáris analízis esetén időtörténeti analízis segítségével juthatunk. Ez esetben a frekvencia-tér helyett már időben vizsgáljuk a földrengés hatását, amely során egyidejű, ezzel együtt kevésbé konzervatív igénybevételeket kapunk.

Nemlineáris elemek esetén lehetőség van visszavezetni a feladatot lineáris vizsgálatra (Simon és Vigh 2013b). Ebben az esetben effektív merevségekkel és effektív csillapítással kell dolgoznunk, mely során a kompatibilitás fenntartására iterációs lépésekre lehet szükség, illetve másik megközelítés szerint lehetőség van az elemek képlékeny viselkedésének figyelembe vételére a már gyakorlatban is ismert q – viselkedési tényezővel eljárással.

A nemlineáris vizsgálatokhoz is alkalmazhatunk időtörténeti analízist. A képlékeny halmazódó alakváltozás, valamint a ciklikus viselkedés nagy mértékben függ az alkalmazott földrengési teheről. A szabvány szerint (EC8-1) elvégezhetjük az analízist a szabványos rugalmas spektrumra illesztett mesterségesen generált földrengéssel, vagy a tervezési helyszínre vonatkozó földrengési paraméterek alapján, az adott helyszínre legjobban jellemző meglévő rögzített földrengési rekordokat választhatunk a vizsgálatokhoz.

3. táblázat: Hídkomponensek modellezési szintjei.

ALKALMAZOTT ELEMOK		
Szint	Leírás	Megjegyzés
	Felszerkezet	

NM-SS1	Rugalmas gerendaelem	Megfelelő modellezés, felszerkezet képlékenyedése nem várható
NM-SS2	Nemlineáris gerendaelem	Az esetek túlnyomó többségében nem szükséges
<i>Saruk</i>		
NM-B1	Lineáris rugók (fix saru merev, mozgó saru nulla merevség)	Jelen gyakorlatban alkalmazott megoldás
NM-B2	Lineáris rugók	Figyelembe veszi a saruk rugalmasságát, effektív merevséggel
NM-B3	Nemlineáris rugók	Figyelembe veszi a saru tényleges, ciklusos viselkedését
<i>Dilatáció</i>		
NM-EJ1	Nincs modellezve	Egyszerűen a dilatáció utólagos ellenőrzése
NM-EJ2	Nemlineáris rugókarakterisztika	Elemek közötti ütközés modellezése
<i>Hídfők</i>		
NM-AB1	Rugalmas gerendaelem + merev gerendarács a felület modellezésére	Megfelelő modellezés, általában merev tömbként viselkedik
NM-AB2	Nemlineáris gerendaelem + merev gerendarács a felület modellezésére	Az esetek túlnyomó többségében nem szükséges
NM-AB3	Héjelem a teljes felület modellezésére (talaj-szerkezet kapcsolat)	Pontosabb geometria (pl. szárnyfalak) modellezése
<i>Pillérek</i>		
NM-P1	Rugalmas gerendaelem	Lineáris vizsgálatokhoz
NM-P2	Nemlineáris gerendaelem, képlékeny csukló a pillér aljában	A képlékeny csukló karakterisztikája fenomenológiai modell alapján
NM-P3	Nemlineáris gerendaelem, "fiber-section"	N+M interakció dinamikus kezelése, képlékenyedés akár kiterjedt szakaszon is
<i>Alapozás</i>		
NM-F1	Lineáris rugókkal	Alapozási síkra számított lineáris rugóállandókkal
NM-F2	Nemlineáris rugókkal	Alapozási síkra számított nemlineáris rugókarakterisztika
NM-F3	Lineáris gerendaelemek + lineáris rugók	Teljes cölöpalapozás modellezése, talaj-szerkezet kölcsönhatás lineáris rugókkal modellezve
NM-F4	Nemlineáris gerendaelem + nemlineáris rugók	Teljes cölöpalapozás modellezése (képlékeny csukló kialakulhat a cölöpben is), talaj-szerkezet kölcsönhatás nemlineáris rugókkal modellezve
<i>Háttöltés</i>		
NM-BF1	Nincs modellezve	Hosszabb gerendahidaknál elhanyagolható
NM-BF2	Lineáris rugók	Háttöltés megtámasztó hatása lineáris rugókarakteristikával
NM-BF2	Nemlineáris rugók	Háttöltés megtámasztó hatása nemlineáris rugókarakteristikával

4. táblázat: Földrengésvizsgálat során alkalmazható analízis típusok.

ANALÍZIS TÍPUSOK

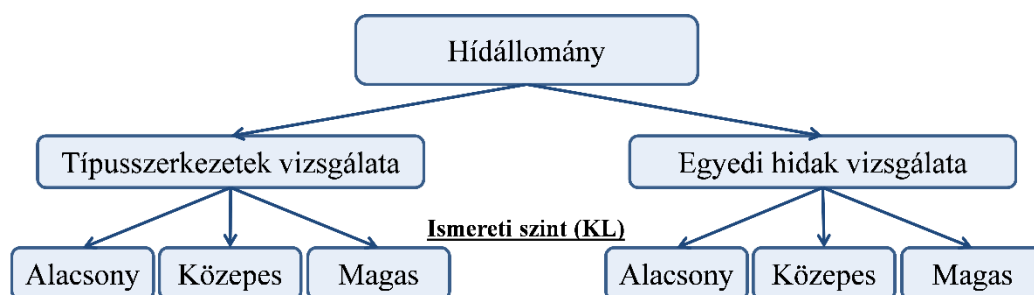
Szint	Leírás	Megjegyzés
AN1-MMRSA	Lineáris válaszspektrum analízis	Lineáris elemek, gyakorlatban alkalmazott analízis
AN2-ELA	Ekvivalens lineáris analízis	Nemlineáris elemek effektív merevséggel modellezve
AN3-LTHA	Lineáris time-history analízis	Lineáris elemek, időtörténeti vizsgálat
AN4-NLTHA	Nemlineáris time-history analízis – mesterséges rekordok	Nemlineáris elemek, ciklikus viselkedés követése
AN5-NLTHA	Nemlineáris time-history analízis – valós rekordok	Nemlineáris elemek, ciklikus viselkedés követése

3.4. HÍDÁLLOMÁNY VIZSGÁLATÁNAK LEHETŐSÉGEI

Egy egyedi híd vizsgálata esetén lehetőség van igen magas ismereti szint elérésére viszonylag kis erőforrások mozgósításával (pl. tervek alapján a pontos geometria, keresztmetszeti méretek és anyagjellemzők begyűjtése). Teljes hídállomány esetén ezt csak egy nagyszabású projekt keretein belül lehet véghez vinni. A meglévő adatbázis a 2.1. és a 3.1. pont összevetése alapján első (alacsony) ismereti szintet biztosít (illetve a pillérek esetén néhol azt sem, mert a pillérmagasság csak közvetett módon, a híd alatti szabad űrszelvény által tárolt). Ennek értelmében nem érdemes egyedi hidakat vizsgálni (3. ábra), hiszen az eredmények jelentősen függnék az ismerethiányból fakadó feltételezésektől. Természetesen egyedi hidakat is vizsgálhatunk ilyen módszerrel, ekkor azonban a feltételezett paraméterek széles skáláját kell meghatároznunk, mely paraméteres vizsgálatra vezet, majd az eredményeket mérlegelve konzervatív módon kell eljárunk az egyedi híd teljesítőképességének kiértékelése során.

Az állomány hídról hídra való vizsgálata közepes, illetve magas ismereti szint esetén ajánlott. Jelen alacsony szinten, melyet az EHR adatbázis biztosít kézenfekvőbb statisztikai módszerekkel elemezve az adatbázis által olyan típus szerkezeteket meghatározni, melyek a hídállományt jól reprezentálják (3. ábra). Ezen szerkezeteken elvégzett közelítő paraméteres földrengésvizsgálat alapján becsülni lehet nagyságrendileg a teljes hídállomány földrengési veszélyeztetettségét. Ez az eljárás erős alapot nyújt a későbbi adatgyűjtés irányának meghatározásához, megmutatja, hogy mely hidak esetén érdemes részletesebb vizsgálatot végrehajtani, mely paraméterektől függ leginkább a hidak érzékenysége.

A 3. ábrán bemutatott megközelítési módok egyikére példa az USA keleti államaiban elvégzett átfogó vizsgálat (Nielson 2005), ahol típushidak törékenységi görbéit állították elő az EHR-hez hasonló meglévő adatbázis, a National Bridge Inventory (FHWA 2002) statisztikai elemzése alapján. Egyedi hidak országos szintű földrengési érzékenysége elemzésére Olaszországban került sor nemrégiben (Borzi és m.társai 2014), ahol hídról hídra magas szintű vizsgálati szinten végezték el a hidak törékenységi analízisét. A magas ismereti szint előfeltétele volt ezen projekt végrehajtásának, így a munkát előzetes nagyszabású információgyűjtés és a meglévő hídadatbázis kibővítés előzte meg.



3. ábra: Teljes hídállomány vizsgálatának lehetőségei.

A teljes hídállomány vizsgálatához egy háromszintű vizsgálati rendszert dolgoztunk ki, mely az ismereti szinteken alapszik (5. táblázat). Ez a három szint előre vetíti egy kibővített adatbázis irányába támasztott követelményeket is. Az 5. táblázatban látható, hogy egyes esetekben magas vizsgálati

szintnél sem követeljük meg olyan információk begyűjtését melyek az elfogadhatónál nagyobb ráfordítással járnak. Ilyen például a pontos talajrétegződés, valamint a szerkezeti anyagminőségek mintavételezésen alapuló ismerete. A táblázatban összefoglaltuk azt is, hogy mely vizsgálati szinteken milyen numerikus modell és analízis típus alkalmazható, illetve vastagon jelöltük, hogy melyek azok, melyek alkalmazása ajánlott a megbízható eredmények érdekében. Itt figyelembe vettük az információhiány és az analízis és numerikus modell fejlettségének ellentmondását, melyet már korábbi fejezetekben is említettünk.

5. táblázat: A három vizsgálati szinthez (alacsony, közepes, magas) tartozó ismereti (KL), numerikus modell (NM) és analízis típus (AN) szintek a 2., 3. és 4. táblázat alapján. Vastag betűvel az adott vizsgálati szinthez minimálisan alkalmazandó vagy ajánlott esetek vannak feltüntetve.

VIZSGÁLATI SZINT				
		Alacsony	Közepes	Magas
KL – ISMERETI SZINT	Globális geometria	G1	G2	G3
	Felszerkezet	SS1	SS2	SS3
	Saruk	B1	B2	B2
	Dilatációk	EJ1	EJ2	EJ2
	Hídfők	AB1	AB2	AB3
	Pillérek	P1	P2	P3
	Alapozás	F1	F2	F2
	Szerkezeti anyag	M1	M2	M2, M3
	Talajminőség	S1	S2	S2, S3
NM – NUMERIKUS MODELL	Felszerkezet	SS1	SS1, SS2	SS1, SS2
	Saruk	B1, B2, B3	B1, B2, B3	B1, B2, B3
	Dilatációk	EJ1, EJ2	EJ1, EJ2	EJ1, EJ2
	Hídfők	AB1, AB2, AB3	AB1, AB2, AB3	AB1, AB2, AB3
	Pillérek	P1, P2, P3	P1, P2, P3	P1, P2, P3
	Alapozás	F1, F2, F3, F4	F1, F2, F3, F4	F1, F2, F3, F4
	Háttöltés	BF1, BF2, BF3	BF1, BF2, BF3	BF1, BF2, BF3
AN – ANALÍZIS TÍPUSOK	Lineáris	AN1	AN1	AN1
		AN2	AN2	AN2
		AN3	AN3	AN3
	Nemlineáris	AN4	AN4	AN4
		AN5	AN5	AN5

4. JAVASLAT A MEGLÉVŐ ADATBÁZIS BŐVÍTÉSÉRE

A 2.1. pontban bemutatott KKK által fejlesztett meglévő közúti hídadatbázist, az EHR-t, valamint annak felépítéséről is szó esett. A 3. pontban felvázoltuk a teljes hídállomány vizsgálatának lehetőségeit, a vizsgálati szinteket, valamint azt, hogy jelen adatbázis adatai alapján melyik szint alkalmazható, mik a hiányosságok.

A hídadatbázis kibővítése rendkívül nagy ráfordításokkal jár, így többszintű kibővítést javasolunk, mellyel lépésenként növelhető az ismereti és így a vizsgálati szint is. A 6. táblázatban összefoglaltuk, hogy mely adatok szükségesek egy adott szint eléréséhez. A legtöbb adat meglévő tervek alapján beszerezhető, így az ismereti szint jelentősen növelhető egy szervezett adatgyűjtéssel, mely nem igényel helyszíni munkát, vizsgálatokat.

4.1. TÖBBSZINTŰ ADATGYŰJTÉS MEGHATÁROZÁSA

Alacsony vizsgálati szint

Alacsony vizsgálati szint esetén a legfontosabb gyűjtendő adat a pillérek kialakítása, felmenő szerkezet típusa (egyedi, portál stb.) és magassága. Rövid gerendahidak, illetve sűrűbordás, lemez- és kerethidak esetén a hídfő kialakítása, méretei jelentősen befolyásolhatják a viselkedést, így még alacsony vizsgálati szinten is javasolt a hídfők kialakításának és legalább magasságának az ismerete. Az adatgyűjtés része kell, hogy legyen az adatbázisban már meglévő, de esetleg hiányos adatok feltöltése. Ilyen adatok: dilatációk megléte; saruk megléte, típusa; alapozás típusa. Vizsgálható hidak az adatok alapján: egy egyenes felszerkezettel rendelkező két- vagy többtámaszú gerenda, lemez vagy sűrűbordás hidak. Íves hidak, illetve speciálisabb felszerkezettel rendelkező hidak (ívhid, függőhid, ferdekábeles híd stb.) nem vizsgálhatóak, viszont ezen szerkezetek a hídállomány igen kis részét teszik ki, valamint a legtöbb íves híd esetén az ívesség elhanyagolása nem befolyásolja jelentősen a földrengésvizsgálat eredményeit.

Alacsony vizsgálati szinten a meglévő adatok alapján az egyes híd típusok statisztikailag megfelelően kiértékelhetőek. Típushidak vizsgálatával az állomány kiértékelhetővé válik. Ez a szint már elegendő akár egyedi hidak vizsgálatához is, ám ekkor feltételezéseket kell tennünk, melyek gondos előzetes vizsgálatokat (pl. meglévő hidak vizsgálatát, tipikus tervezési szabályok vizsgálatát) igényelnek.

Közepes vizsgálati szint

Közepes vizsgálati szinten a globális geometria pontosításra kerül. Vizsgálhatóak több felszerkezettel (tipikusan kettő) rendelkező hidak is, melynél fontos adat a felszerkezetek távolsága. A felszerkezet ez esetben is csak egyenes lehet, azonban a felszerkezet és aléptípus, valamint a felszerkezet és saruk egymáshoz viszonyított irányultsága modellezhető. A felszerkezet, pillér és hídfő keresztmetszete átlagos keresztmetszettel van figyelembe véve, a keresztmetszet típusától függően különböző konstansokra lehet szükség. Ilyen konstans lehet a téglalap keresztmetszet két oldalának hossza, kör keresztmetszet esetén az átmérő, felszerkezet szekrénykeresztmetszete esetén pedig a felső lemez szélessége, vastagsága, gerinc magassága, vastagsága stb. Ezeket a későbbiekben definiálni kell, majd ennek függvényében meghatározni az egyes hidakra, keresztmetszetekre ezeket a konstansokat. Ezen a szinten megkövetelt még a saruk típusának és a dilatációk meglétének és méretének ismerete. A pontosabb modellezéshez szükség van az alapozás típusára, valamint megint a típustól függően konstansokra, melyek síkalap esetén az alap méreteit, cölöpalap esetén a cölöpök számát, méretét, kiosztását jelölhetik. A földrengési teher pontosításához a híd tervezési helyszínén el kell végezni a talajbesorolást (A, B, C, D stb.). Minden szerkezeti elem esetén meg kell határozni meglévő tervek alapján a szerkezeti anyag típusát, anyagjellemzőket.

6. táblázat: Meglévő adatbázis kibővítéséhez szükséges gyűjtendő adatok listája vizsgálati szintenként besorolva.

VIZSGÁLATI SZINT			
	Alacsony	Közepes	Magas
Globális geometria	–	Felszerkezetek száma	Felszerkezetek száma
		Felszerkezet tengelyek távolsága (ha kettő van)	Felszerkezet tengelyek távolsága (ha kettő van)
		Felszerkezet tengelye és támaszok (pillér és hídfő) által bezárt szög	Felszerkezet tengelye és támaszok (pillér és hídfő) által bezárt szög
		Felszerkezet tengelye és saruk által bezárt szög	Felszerkezet tengelye és saruk által bezárt szög
			Támaszok helyzete (X) koordináta
			Támaszok helyzete (Y) koordináta
			Támaszok helyzete (Z) koordináta
			A felszerkezet vízszintes értelmű ívsugara (nyílásonként)
Felszerkezet	–	Keresztmetszet típusa	Szegmens lokális koordinátái a nyíláson belül

		Konstans 1	Keresztmetszet típusa
		Konstans ..	Konstans 1
		Konstans n	Konstans ..
		Anyagminőségek	Konstans n
			Anyagminőségek
Saruk	–	Típus besorolás	Típus besorolás
			Konstans 1
			Konstans ..
			Konstans n
Dilatáció	–	Megléte	Megléte
		Méret	Méret
Hídfők	Típus	Típus	Típus
	Magasság	Konstans 1	Konstans 1
		Konstans ..	Konstans ..
		Konstans n	Konstans n
		Anyagminőségek	Anyagminőségek
Pillérek	Rendszer	Rendszer	Rendszer
	Magasság	Közös?	Közös?
		Keresztmetszet típusa	Szegmens lokális koordinátái magasság mentén
		Konstans 1	Keresztmetszet típusa
		Konstans ..	Konstans 1
		Konstans n	Konstans ..
		Anyagminőségek	Konstans n
			Anyagminőségek
Alapozás	–	Típus	Típus
		Konstans 1	Konstans 1
		Konstans ..	Konstans ..
		Konstans n	Konstans n
		Anyagminőségek	Anyagminőségek
Talajminőség	–	Talajbesorolás	Talajrétegződés
			Rétegek száma

Ha az adatbázis közepes vizsgálati szintnek megfelelő adatokkal fel van töltve, akkor a megjelölt hidakon akár egyedileg, hidanként is elvégezhető magasabb szintű vizsgálat, pontosabb analízis (pl. nemlineáris időtörténeti analízis) felhasználásával. A kevesebb feltételezett bemenő adat miatt az eredmények megbízhatóbbak, az egyedi, vizsgált hídra jellemzőbbek lesznek, így a teljes állomány kiértékelése is pontosabbá válik.

Magas vizsgálati szint

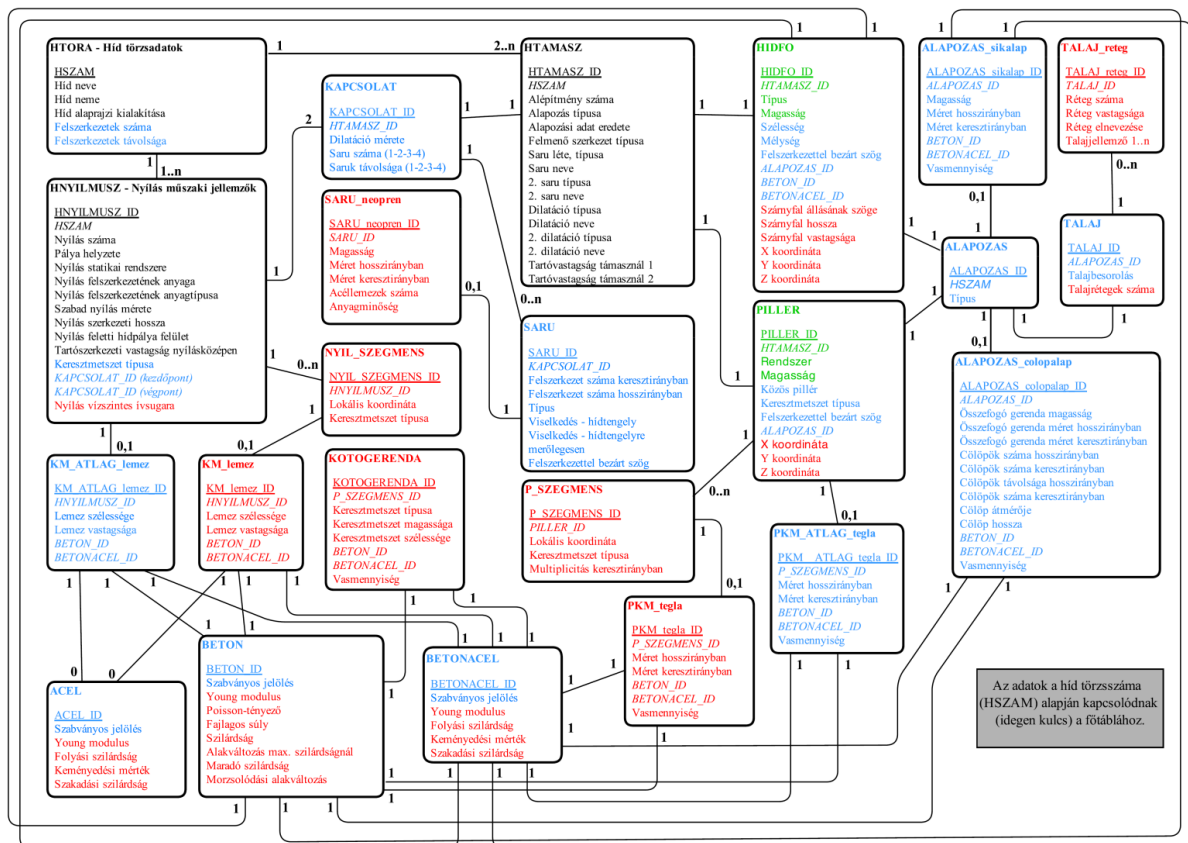
Magas vizsgálati szinthez a felszerkezet pontos geometriája szükséges, mellyel már íves hidak is modellezhetőek, illetve lehetőség szerint bővíthető akár a típushidak köre is pl. rácsos felszerkezetű hidak vizsgálatával. Ehhez az egyes támaszok pontos helyzetét meg kell adnunk egy tetszőlegesen (lehetőleg a híd kezdőpontjában) felvett koordinátarendszerben, illetve a támaszok közti ívek sugarát is rögzíteni kell az adatbázisban. Pontosításra kerül a felszerkezet, a pillérek, valamint a hídfők keresztmetszete is. Az átlagos keresztmetszet helyett minden keresztmetszet váltás (illetve, ahol mérlegelés alapján indokolt) esetén meg kell adni a keresztmetszet adatait. Mivel a saruk viselkedése nagyban befolyásolja a viselkedést, ha lehetséges meg kell adni a saru típusán kívül a főbb geometriai adatokat, esetleg anyagminőségeket (pl. neoprén saru esetén szélesség, magasság, acéllemezek száma, ha van stb.). A talaj esetén, ha rendelkezésre állnak fúrési adatok meg kell adni a talajrétegződést.

Az anyagminőségek pontosítása helyszíni vizsgálatokkal történhet. Ha ez nem lehetséges, meg kell adni, hogy az adatok tervből származnak.

Magas vizsgálati szinten a pontosabb geometria miatt bővül a vizsgálható hidak száma (íves hidak, speciális felszerkezetű hidak), valamint az adatok pontosításával az egyedi híd károsodása pontosabban meghatározható. Az eredmények megbízhatóságát növeli a saruk viselkedésének mélyebb ismerete (mellyel a saruk károsodása, a felszerkezet esetleges leesése pontosabban modellezhető), valamint a talajjellemzők és így a földrendési teher pontosabb ismerete.

4.2. A KIBŐVÍTETT ADATBÁZIS TERVEZETT STRUKTÚRÁJA

A hiányzó adatok adatbázisba való feltöltéséhez az adatbázis rendszerét is ismernünk kell. A többszintű bővítéshez különböző struktúrákat adtunk meg, melyet a 4. ábra mutat.



4. ábra: A meglévő EHR adatbázis többszintű kibővítésének (1. szint: zöld; 2. szint: kék; 3. szint: piros) tervezete.

Az új táblákat úgy határoztuk meg, hogy a meglévő adatbázishoz könnyen hozzáilleszthető legyen, valamint a többszintű bővítés során fokozatosan adódnak új táblák vagy attribútumok a meglévő struktúrához. Az ábrán a meglévő adatokat feketével, míg az első, második és harmadik szintű bővítést rendre zöld, kék és piros színnel jelöltük. Az egyed-kapcsolat diagramon vastag betűvel a tábla neve, aláhúzással az elsődleges kulcs, dőlt betűvel pedig az idegen kulcsok vannak jelölve. A kapcsolati vonalakon feltüntettük a kapcsolódás fokszámát is (egy hídnak pl. min. 2, max. n támasza van). Olyan esetekben, ahol több tábla közül is választhatunk a kialakítás függvényében (pl. a felszerkezet vagy pillér keresztmetszet típusa), ott csak egy példát adtunk meg a 4. ábrán, de természetesen későbbi mérlegelést követően további táblák definiálhatóak (pl. nem a példában bemutatott lemez, hanem szekrény keresztmetszet a megfelelő konstansokkal).

5. FELHASZNÁLÁS

Már említésre került, hogy jelen adatok ismeretében, alacsony ismereti szinten a meglévő adatbázis statisztikai elemzésével típusszerkezetek parametrikus vizsgálata adhat első lépésként közelítő képet a problémás szerkezetek köréről.

A meglévő EHR adatait a KKK-val együttműködve kaptuk meg kutatási célból, majd ezeket az adatokat SQLite (<http://www.sqlite.org/>) és Matlab segítségével rendeztük egy statisztikai kiértékeléshez, majd később szerkezeti analízishez is használható adatbázisba. A módszerünk előnye, hogy lehetőség van az adatbázisból hidanként kinyert adatokat Matlab segítségével bemenő adatként felhasználva megépíteni a híd numerikus modelljét. Ezzel közvetlen kapcsolatot teremtettünk a híd fizikai adatai és a modellezés között. Jelen esetben az adatok hiányossága miatt ez a megközelítés még nem alkalmazható, azonban egy későbbi adatbázis bővítés után lehetőség van a teljes hídállomány bármely hídjának egyedi automatikus analízisére.

5.1. TÍPUSHIDAK KIVÁLASZTÁSA

A hídállomány típushidak szerinti osztályozása több szempontból is hasznos: 1) azonos osztályba tartozó hidak azonos szerkezeti komponensekkel bírnak; 2) adott osztályon belül szűkíthető, kompaktabb paraméterteret vehető figyelembe; 3) feltételezhető, hogy egy osztályba tartozó hidak esetén közel azonos meghatározó paraméterekkel rendelkező hidak viselkedése azonos, így egy paraméteres vizsgálat eredményeiből becsülni lehet az egyes hidak viselkedését.

A típushidak kiválasztásánál négy fő szempontot vettünk figyelembe. Egyrészt a vizsgálatokat lesűkítettük a magasabb rendű utakra: autópálya, autótűt, első és másodrendű főút. Ezen hidak száma körülbelül 3200. Ezt követően az egyes hidakat szerkezeti rendszer és anyag szerint, valamint előfordulási számuk és relatív értékük szerint soroltuk be. Ezeket az adatokat mutatja be a 7. táblázat.

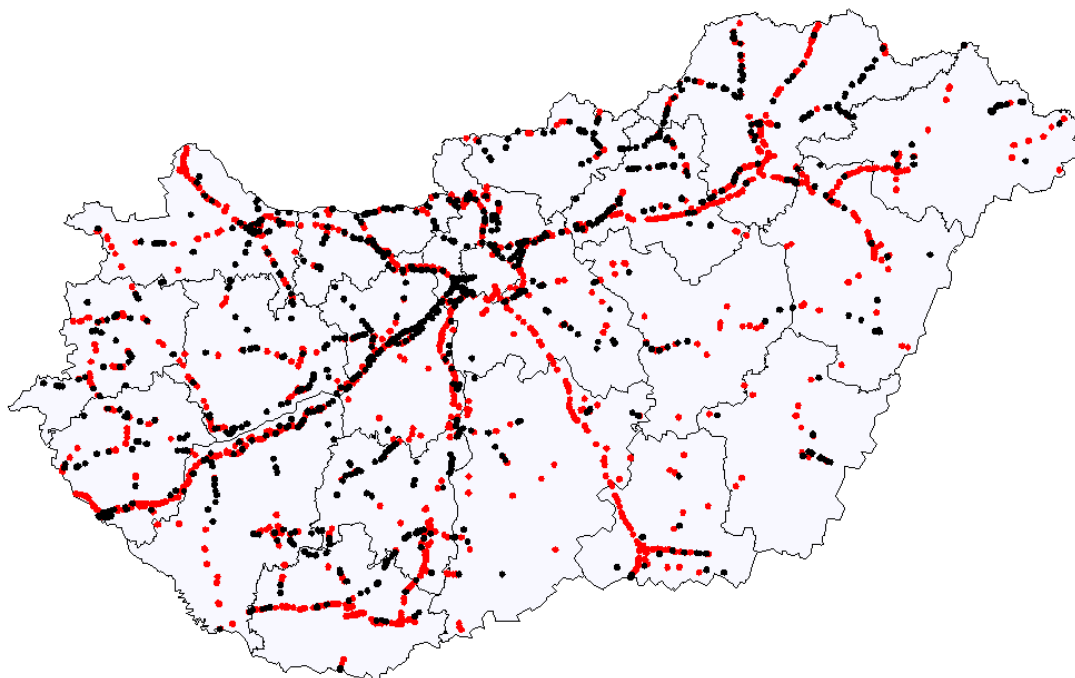
7. táblázat: Magasabb rendű utakon meglévő közúti hidak besorolása. A bemutatott értékek %-ban értendők.

Felszerkezet típusa, rendszere	Db	Érték	
		Bruttó	Nettó
Beton és vasbeton	83.1	44.4	45.3
Monolit vasbeton lemez	24.1	5.5	4.4
Monolit vasbeton keret	7.6	0.8	0.6
Egy- vagy kétcéllás vasbeton szekrény	0.7	1.3	1.2
Előfeszített sűrűborda	49.9	32.6	34.4
Szakaszosan betölt feszített vasbeton	0.7	4.2	4.8
Acél	1.0	12.4	10.4
Hegesztett, gerinclemezes gerenda	0.4	3.5	3.6
Szegecselt rácsos tartó	0.4	4.7	1.6
Hegesztett szekrénytartó ortotróp lemezzel	0.2	4.2	5.2
Öszvér	1.3	5.7	4.7
Öszvér gerinclemezes gerenda	1.0	1.7	1.7
Öszvér szekrénytartó	0.3	4.0	3.0
Beton, vasbeton, téglá boltozat és cső, hullámlémezes cső	9.0	1.2	1.2
Beton, vasbeton cső	3.0	0.2	0.1
Kő vagy téglá boltozat	1.0	0.1	0.0
Tubosider	5.0	0.9	1.1
Egyedi nagy hídszerkezetek (pl. Duna hidak)	2.3	33.9	37.2
Különböző szerkezeti rendszer	2.3	33.9	37.2

A csoportosítás alapján látható, hogy a magasabb rendű utakon lévő hídjaink többsége (>83%) vasbeton híd, emellett a vasbeton hidak relatív értéke meghaladja a teljes hídállomány értékének 40%-

át. Értéküket tekintve nagy súllyal vannak jelen acél és öszvér, valamint speciális nagy hídszerkezetek, úgy mint Duna hidak, völgyhidak. Ezek nagyban hozzájárulnak a teljes állomány összértékéhez, azonban számuk viszonylag kicsi (<5%). Nagy számban (9%), de kis értékkel vannak jelen a különböző beton és vasbeton csövek, átereszek. Mivel ezek földbe ágyazott szerkezetek, a későbbiekben ezek vizsgálatától eltekintünk a kutatásunk során.

A speciális hídszerkezeteket leszámítva tíz típushidat határoztunk meg végül, melyek száma 85%-át fedti le a magasabb rendű utakon lévő hidaknak. Az látható, hogy a leggyakrabban alkalmazott szerkezeti típus a sűrűbordás híd (kb. 1600 híd, ~50%), illetve a vasbeton lemez híd (24.1%). A többi híd egy- vagy többnyílású folytatólagos gerendahíd különböző felszerkezettel. A hídállomány kiértékeléséhez kiválasztott hidakat az 5. ábra mutatja, melyen a leggyakrabban alkalmazott sűrűbordás hidak pirossal vannak kiemelve.



5. ábra: Szeizmikus analízishez kiválasztott hidak magasabb rendű utakon. Piros pontokkal a sűrűbordás hidak vannak jelölve.

5.2. TÍPUSSZERKEZETEK TOVÁBBI ELEMZÉSE, ANALÍZISE

A továbbiakban a legnagyobb számban előforduló típusszerkezetre, a sűrűbordás hidakra mutatjuk be, hogyan végezhető el az adott típusszerkezet pontosabb elemzése, a paraméteres vizsgálat paraméterterének felvétele, majd az állomány közelítő kiértékelése.

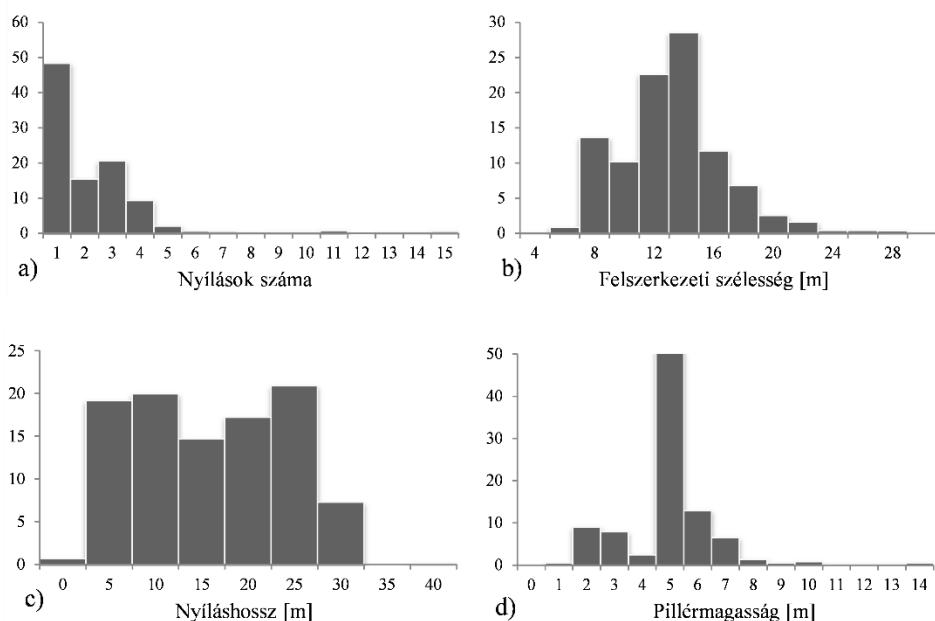
Az analízis elvégzéséhez első lépésként meg kell ismerni a pontos szerkezeti rendszert, az építéstechnológiát, a kialakítást. A modellezési szint kiválasztásakor figyelembe vettük a meglévő alacsony ismereti szintet. Ennek értelmében minden elemet lineárisan rugalmas elemekkel vagy rugókkal modelleztünk, illetve lineáris válaszspektrum analízist hajtottunk végre. Sűrűbordás hidak esetén modellezési kérdés lehet a felszerkezet aléptítmény kapcsolat, a cölöpalapozás, valamint a háttöltés hídfő kapcsolata. A felszerkezetet folytonosnak, az aléptítménnyel való kapcsolatát keresztengelyben felvett csuklóssal vettük figyelembe. Mind a cölöpalapozás, mind a háttöltés megtámasztó hatását ekvivalens, lineáris rugókkal modelleztük. A modellezéssel kapcsolatos kérdésekről részletesebben a (Simon és Vigh 2015b)-ben találunk információt.

A következő lépés a paraméteres vizsgálat paramétereinek meghatározása. A legfontosabb paramétereket, a globális geometriát az adatbázis statisztikai elemzésével határoztuk be. A nyílások számának, felszerkezet szélességének, támaszköznek, illetve pillérmagasságnak a hisztogramjai láthatóak a 6. ábrán.

A legtöbb híd egynyílású, míg többnyílású esetben a három nyílás a leggyakrabban alkalmazott kialakítás. Ezek a hidak többnyire autópálya aluljáróként funkcionálnak. Érdekes megemlíteni, hogy ezzel a szerkezeti rendszerrel találunk akár 15 nyílású hidat is hazánkban. Az ábra alapján a vizsgálatokat 1-4 nyílásra szűkítettük.

A felszerkezet szélessége általában minimum 8 méter, mely kisebb jelentőségű utak autópálya aluljárójaként használt hidaknál jelenik meg, azonban általában a szélesség 10 és 20 m között mozog, míg a leggyakoribb a 14 m. A szélességet végül három értéknél fixáltuk: 8, 14 és 20 m.

A legfontosabb paraméterek, a támaszköz mérete és a pillérmagasság nagy különbséget mutat hídról hídra, így ezek paraméterterét finomabban kellett lefedni.



6. ábra: Sűrűbordás hidak legfontosabb geometriai paramétereinek fajlagos eloszlásai [%]: a) támaszközök száma; b) felszerkezeti szélesség; c) támaszköz mérete; d) pillérmagasság.

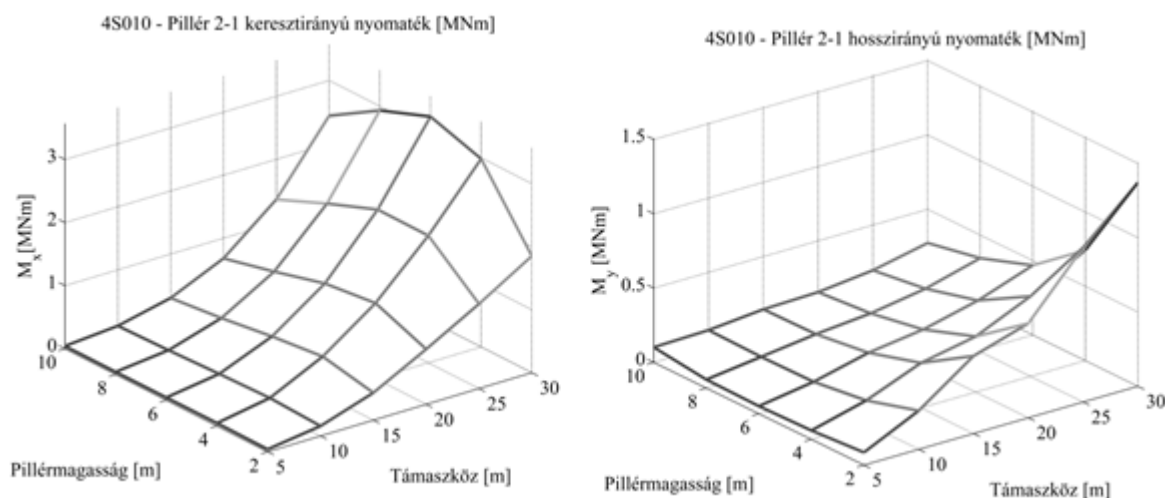
A pillérek általában áttört szerkezetű, többpilléres megoldással és pillérösszefogó fejgerendával készülnek, így ilyen kialakítású szerkezeteket vizsgáltunk csak. Mivel ezek a hidak tömegesen jelennek meg autópálya aluljáróként, a pillérek, pillérösszefogó fejgerenda, hídfők keresztmetszete és kialakítása többé kevésbé azonos. A pillérek távolsága 3-4 méter közé esik. Az alapozás többnyire cölöpalapozás, melynek kiosztása is tipizálható.

Ezek alapján a változó és fixált paraméterek a következők. Változók: nyílások száma (1-4), támaszköz (5-30 m), felszerkezet szélessége (8, 14 and 20 m), pillér magasság (2-10 m); fix paraméterek: pillér keresztmetszet (0.6 x 0.9 m), pillérösszefogó gerenda keresztmetszet (1.0 x 1.2 m), hídfő kialakítása, cölöpalapozás kialakítása. A felszerkezet magasságát ekvivalens lemezkeresztmetszetet feltételezve a meglévő hidak elemzése alapján a támaszköz függvényeként határoztuk meg, figyelembe véve merevségi és tömegi szempontokat.

A vizsgálatokat végrehajtva a támaszköz, pillérmagasság és szerkezeti szélesség függvényében rendelkezésünkre áll minden hídkomponens mértékadó igénybevétele, deformációk, mozgások. Ilyen vizsgált komponensek voltak a felszerkezet igénybevétele és mozgásai; a felszerkezet és alépítmény közötti kapcsolatban ébredő nyíróerő, majd az ebből számítható szükséges vasalás mértéke, megfelelősége; a hídfő maximális mozgásai, stabilitásvesztési veszélye; a háttöltésben ébredő maximális földnyomás; a pillér igénybevételei; alapozás igénybevételei.

A pillérek maximális hossz- és keresztirányú hajlítónyomatékait mutatja a 7. ábra 14 méteres szélesség esetén a támaszköz és pillérmagasság függvényében. Az igénybevételekre jellemző, hogy a támaszköz növelésével, a szélesség növelésével, azaz nagyobb tömeg bevonásával növekednek minden

komponens esetén. A pillérmagasság növelésével csökkennek a pillérnyomatékok, mely a pillér lágyulásának következménye. Ugyanez mondható el a pilléralapozás igénybevételeire is, azonban a hídfő, hídfőalapozás esetén, illetve a háttöltésnél fordított tendenciát mutat. A pillér lágyításával a hídfőnél alakulnak ki nagyobb belső erők. További részletek a (Simon és Vigh 2015b)-ben találhatóak.



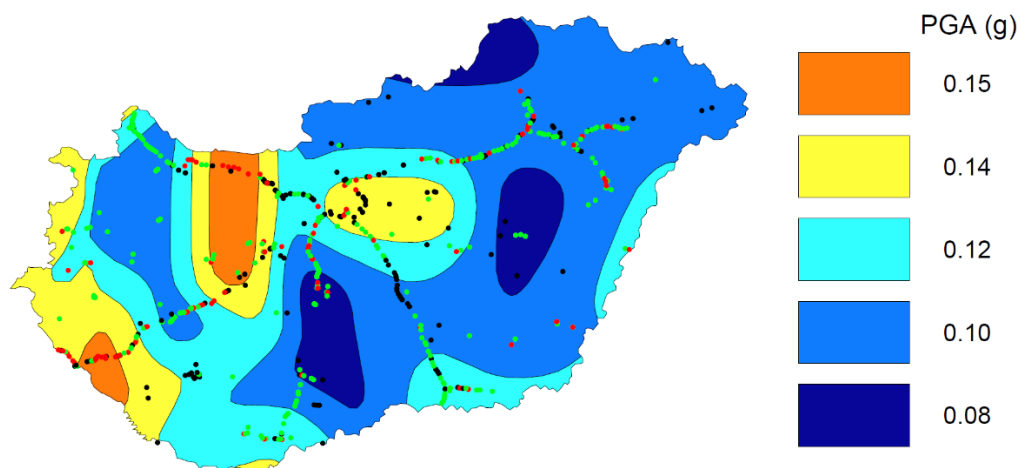
7. ábra: Paraméteres vizsgálat eredményei: hossz- és keresztirányú nyomatékok a pillérmagasság és a támaszköz hosszának függvényében 14 m széles 4 nyílású sűrűbordás hidak esetén.

5.3. A HÍDÁLLOMÁNY ÉRTÉKELÉSE

A számított igénybevételek alapján az egyes komponensek (felszerkezet, hídfő, pillérek stb.) megfelelősége kiértékelhető. A teherbírás oldalán adatok hiányában feltételezéseket kell tenni, úgy mint: a pillérek vasalása és betonminősége, a felszerkezet és alépítmény kapcsolatánál meglévő lekötővasalás mennyisége, a cölöpök teherbírása stb. Ezek megbecslése tapasztalatok alapján történhet, további ismeretek hiányában általában konzervatív módon. Egy ilyen kiértékelést mutat a 8. ábra, ahol a meglévő sűrűbordás hidak pillérének megfelelősége látható a maximális talajgyorsulási zónatérképen (Tóth és m.társai 2006) ábrázolva. A paramétertér adatai alapján meghatároztuk a pillérkihasználtságokat kétirányú hajlítás és nyomás esetére az EC2 (CEN 2005) szabványos vizsgálata alapján, majd az egyes hidakat egyenként kiértékeljük a meglévő alapvető információk paramétertérben való lineáris interpolációja segítségével.

A vizsgálatok azt mutatták, hogy a többnyílású hidak 27%-a nem felel meg ezen közelítő kiértékelés alapján. Ezek a hidak néhány kivételtől eltekintve a magasabb maximális talajgyorsulással rendelkező zónákba esnek. Meg kell említeni, hogy az adatbázis számos híd esetén nem ad meg pillérmagasságot, így azok kiértékelése nem történt meg, viszont a járatos 4-6 méteres autópálya aluljáróknál alkalmazott pillérmagasságot feltételezve a károsodások mértéke akár jelentős is lehet ezen hidak esetén is.

A további komponensek (pl. pillér nyírási teherbírásának megfelelősége, lekötővasalás mennyiségének megfelelősége) hasonló módon kiértékelhetőek, illetve új hidak esetére a betervezendő szükséges vasmenyiségek, betonminőségek megadhatóak. További részletek a komponensek kielemezésével kapcsolatban (Simon és Vigh 2015b)-ben találhatóak.



8. ábra: Sűrűbordás hidak közelítő kiértékelése a pillér megfelelősége alapján a magyarországi zónatérképen (Tóth és m.társai 2006) megjelenítve. Jelölések: fekete pontok – nincs adat pillérmagasságra; zöld pontok – megfelelő hidak; piros pontok – nem megfelelő

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Számos utóbbi időben épült, illetve megerősített, megerősítésre váró gerendahíd földréngésvizsgálata azt mutatta, hogy bizonyos kialakítások esetén a földréngési határállapot válik mértékadóvá, bizonyos komponensek (saruk, pillérek, alapozás stb.) tönkremenetele várható egy esetleges erősebb intenzitású földréngés esetén.

Meglévő hídjaink szeizmikus teljesítőképessége nem ismert, a földréngés során bekövetkező károsodások, esetleges összeomlás jelentős nemzetgazdasági következményekkel járhat. Ez indokolja, hogy az új hidakat a földréngési hatást figyelembe véve tervezzük, a meglévő hidak esetén pedig próbáljuk megbecsülni a károsodásokat, illetve azok mértékét.

A vizsgálatok rendszerszintű, teljes hídállományra történő elvégzéséhez szükségünk van egy olyan adatbázisra, mely az egyes hidakat megfelelően jellemző adatokat (geometriai, anyagjellemzők stb.) tartalmazza.

A károsodások elemzéséhez szükség van a hidak magasabb szintű modelljeinek kidolgozására, melyhez az adatbázis bővítése, új adatok gyűjtése (keresztmetszeti adatok, anyagjellemzők stb.) a meglévő hidakhoz elengedhetetlen. Jelen cikkben egy többszintű bővítési folyamatot vázoltunk fel, melyben az egyes szinteket a ráfordítások mértékéhez igazítottuk. Így első szinten elegendő néhány adat beszerzése a meglévő tervekről, magasabb szinten pedig már részletesebb tervi adatgyűjtés, illetve esetlegesen helyszíni mérések is szükségesek.

A gyűjtendő adatok körének meghatározásán felül megadtuk, hogy a meglévő adatbázis milyen struktúrával bővíthető. A bővítés megtervezésekor figyelembe vettük a meglévő adatbázis felépítését, az újonnan felvételre kerülő adatok könnyedén a meglévő rendszerhez illeszthetők ezáltal.

A jelenleg rendelkezésre álló közúti hídadatbázis, az EHR útüzemeltetői célokkal lett kifejlesztve, csak a legfontosabb műszaki adatokat (támaszközök száma, szerkezeti rendszer, felszerkezet anyaga stb.) tartalmazza. Ezen alacsony ismereti szinten az egyedi hidak vizsgálata helyett a hidak osztályba sorolását javasoljuk, majd ezen osztályokban típus szerkezetek kiválasztásával, azok földréngési analízisével célszerű a vizsgálatokat elvégezni.

Egy rövid példán bemutattuk, hogy a meglévő alapadatok segítségével hogyan határozhatóak meg a teljes országos hídállományt jól reprezentáló híd típusok, illetve bemutattuk egy híd típus részletesebb statisztikai elemzésével hogyan vehető fel az a paraméterter, mellyel parametrikus földréngés vizsgálatot végrehajtva a kritikus kialakítások és komponensek meghatározhatóak. A meglévő adatbázis segítségével egy közelítő kiértékelést is végre tudunk hajtani a parametrikus vizsgálatok alapján, a hidak elhelyezkedésének ismeretében pedig nem csak a kritikus hidak száma, de helyzete is megadható, így segítve egy esetleges beavatkozáshoz, megerősítési tervhez szükséges döntéseket.

A jelenlegi adatbázis (illetve annak elődjének) rendszerszintű alkalmazására bemutattunk egy korábbi kutatást, felhasználást. Már ebben az esetben is felmerültek a bemenő adatokkal kapcsolatos hiányosságok. Az általunk javasolt kibővített adatbázis az általunk elkészített numerikus modellekkel összekötve egy olyan hatékony rendszert biztosít, mellyel nem csak földrengésvizsgálat, de bármely szerkezeti analízis elvégezhető az egyes hidak pontosított modelljén, így alkalmazható lehet akár nehézgépjárművek útvonaltervének számításához, egyszerű statikai számításokhoz, megfelelőség kimutatásához, rendszerszinten pedig ezáltal optimális döntések megtételéhez egy esetleges megerősítési, beavatkozási terv során.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet illeti Sitku Lászlót (Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ) és Pásztó Gábort (Cartosoft Kft.) az EHR adatainak szolgáltatásáért és a meglévő közúti adatbázissal kapcsolatos kérdések megválaszolásáért. A cikk a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

8. HIVATKOZÁSOK

Borzi B., Ceresa P., Franchin P., Noto F., Calvi G.M. and Pinto P.E. (2014). Seismic Vulnerability of the Italian Roadway bridge stock, Earthquake Spectra, (megjelenés alatt).

Erdődi L. (2003). MÁV hídgazdálkodási rendszer fejlesztése. Sínek világa, 46.(185) , 30-38.

European Committee for Standardization (CEN) (2005). EN 1992-2:2005 Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 2: Concrete bridges – Design and detailing rules, CEN.

European Committee for Standardization (CEN) (2008a). EN 1998-1:2008 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, CEN.

European Committee for Standardization (CEN) (2008b). EN 1998-1:2008 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 2: Bridges, CEN.

FHWA (2002). National Bridge Inventory Data.

KKK (2001). EHR: Egységes Hídnnyilvántartási Rendszer.

MÁV (1990). MÁV-HGR: MÁV Híd gazdálkodási Rendszer.

Nielson B.G. (2005). Analytical Fragility Curves for Highway Bridges in Moderate Seismic Zones, PhD dissertation, School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology.

Simon J. (2012). Numerical model development for seismic assessment of continuous girder bridges, in: Proceedings of the Conference of Junior Researchers in Civil Engineering, Budapest, Hungary, pp. 216-224. ISBN:978-963-313-061-2.

Simon J. (2013). Parameter identification for dynamic analysis of pile foundation using non-linear p-y method, in: Proceedings of the Second Conference of Junior Researchers in Civil Engineering, Budapest, Hungary, pp. 161-170.

Simon J., Vigh L.G. (2013a). Hidak megerősítése szeizmikus hatásokkal szemben, in: Építményeink védelme 2013, Ráckeve, Magyarország, pp. 1-15. ISBN:978-963-89016-5-1.

Simon J., Vigh L.G. (2013b). Response spectrum analysis of girder bridges with seismic isolators using effective stiffness, in: WASET 2013 World Academy of Science, Engineering and Technology: International Conference on Civil, Structural and Earthquake Engineering, Istanbul, Turkey, pp. 1353-1362.

Simon J., Vigh L.G. (2015a). Application and assessment of equivalent linear analysis method for conceptual seismic retrofit design of Háros M0 highway bridge, Periodica Polytechnica, (elfogadva).

Simon J., Vigh L.G. (2015b). Parametric seismic analysis of multi-girder bridges in Hungary, Final Report, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Hidak és Szerkezetek Tanszék.

Tóth L., Győri E., Mónus P., Zsíros T. (2006). Seismic Hazard in the Pannonian Region, The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics, and Hazards, Springer Verlag, NATO ARW Series 61, 369-84.

Vigh, A., Kollár, L.P. (2006). Approximate analysis of bridges for the routing and permitting procedures of overweight vehicle, Journal of Bridge Engineering, 11(3). 282-292.

Zsarnóczy Á., Vigh L.G., Kollár L.P. (2014). Seismic Performance of Conventional Girder Bridges in Moderate Seismic Regions, Journal of Bridge Engineering, 19(5), 9 p. Paper 04014001.