

Műtárgyak roncsolásmentes vizsgálata akusztikus módszerekkel

Törös Endre

Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, toros@elgi.hu

Prónay Zsolt

Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, pronay@elgi.hu

ÖSSZEFOGLALÁS: A szeizmikus sebességek, mint anyagjellemzők in situ ismerete, ahogyan a geotechnikai kutatásokban, úgy a roncsolásmentes műtárgy diagnosztikában is egy fontos tényező. Az előző évi előadás folytatásaként külön foglalkozva a beton tulajdonságaival szerzők a műtárgyakon végzett szeizmikus sebesség meghatározási eljárásokat mutatják be gyakorlati példákon keresztül.

Kulcsszavak: szeizmikus sebességek, akusztikus vizsgálatok, műtárgydiagnosztika

1 BEVEZETÉS

Joggal mondhatjuk, hogy a sekélygeofizika ma már hozzátartozik a geotechnika vizsgálatok eszköztárához és ezen belül a szeizmika, amelynél a rugalmas hullámok terjedését az anyagok mechanikai tulajdonságai befolyásolják, fontos szerephez jut. A rugalmas közegben terjedő szeizmikus hullámok *sebessége*, valamint (egy hullámhosszra eső) csillapodásának mértéke a *jósági tényező* anyagspecifikus jellemző értékek, amelyek in situ meghatározásával a közegek jó mechanikai jellemzését kapjuk. Az alakváltozás mértéke és az alakváltozás sebessége szerint összehasonlított in situ és laboratóriumi módszerek szolgáltatva anyagjellemzők ugyan egyenként egymástól is és a szeizmikustól is eltérő értékeket adnak, azonban ezek között jól használható empirikus kapcsolatok léteznek a gyakorlati geotechnikában.

A műtárgyak (pl. földművek, bányavágatok) szeizmikus módszerrel történő vizsgálatának egy része alig különbözik módszertanilag és eredményeit tekintve a talajok és kőzetek esetében tárgyaltaktól. Az épített műtárgyak esetében a kisebb dimenziók miatt, a jobb felbontóképességhez nagyfrekvenciás forrásokra és érzékelőkre van szükség, hiszen a frekvencia növelésével a felbontóképesség növekszik. Az itt alkalmazott források/vevők elnevezésére inkább a szeizmoakusztikus, akusztikus, ultraszónikus, vagy ritkábban a szonár kifejezések használatosak.

A műtárgyak szeizmoakusztikus kutatásánál igen kis beérkezési időket (időkülönbségeket) kell mérni, amely idő alatt a hullámtípusok sokszor nem válnak szét. Ez a különböző hullámtípusok alkalmazásának lehetőségét csökkenti. Az adatgyűjtőnek nagy mintavételi sűrűséggel kell működnie (néhány μ s, vagy néhányszor tíz μ s). A geológiai célú szeizmikus kutatásban használt műszerek erre csak ritkán alkalmasak, ugyanakkor a sokcsatornás mérőrendszer elengedhetetlen a korrekt mérési adatrendszer létrehozásához a roncsolásmentes vizsgálatokban is

Méréstechnikailag számos nehézség merül fel, amely éppen a frekvencia növelésével hangsúlyozottan jelentkezik: ez a forrás és a vevő szondáknak a vizsgált objektumhoz való mechanikai csatolása, amely biztosítja, hogy a szondák tökéletesen együtt rezegjenek a vizsgált objektummal. A mérési geometria az építmény adott geometriája által korlátozott, a vizsgált szerkezet ugyanakkor jelentősen eltér a geo-

fizikában megszokott réteges felépítéstől. Így, az ott rutinszerűen alkalmazott mérési/feldolgozási eljárások többnyire nem alkalmazhatók.

A feladatkör ugyanakkor igen széles és változatos. A szeizmoakusztikus méréseket használják az út-vizsgálati eljárásokban, a cölöpözés jóságának, az alapozás mélységének meghatározására, az épületek szerkezeti elemeinek minőségvizsgálatára. A gyakorlatban célszerűen együtt használják a földradarral, mivel mindkettőnek jó a felbontóképessége és a vizsgált közeg különböző fizikai paramétereire érzékenyek. A következőkben bemutatott esettanulmányok a szeizmoakusztikus mérések alkalmazásainak egy kis szeletét adják.

2 A SZEIZMIKUS SEBESSÉGEK MEGHATÁROZÁSA MŰTÁRGYAKON

2.1 *Betontestek inhomogenitásának vizsgálata*

A betontestek roncsolásmentes vizsgálatának egyik eszköze, a benne terjedő rugalmas hullámok terjedési sebességének meghatározása. Állandó, vagy ismert adó-vevő távolsággal a leggyakrabban a P hullám terjedési sebességét határozzák meg ha lehetséges, a tárgyak egymással ellentétes oldallapjai között mérve. A geofizikai vizsgálat alapvetően nem különbözik a mérnöki gyakorlatban elterjedt első beérkezések idejét rögzítő piezoforrással működő berendezésekkel elvégezhető mérésektől, csupán megbízhatóbb, mert a hullámbeérkezések azonosításában a beérkezési időn kívül a jelalak, vagy a hullámtípusok felismerése is fontos szerepet játszik, nem beszélve a csillapodás mértékének pontos számítási lehetőségéről.

Bár méréstechnikailag nehezebben, a transzverzális hullámsebesség mérése is megvalósítható a betontesteken, sőt éppen a könnyebb mérhetőség miatt azt többnyire a felületi hullámsebességből határozzák meg.

A betonban terjedő rugalmas hullám terjedési sebességét az alábbi tényezők befolyásolják

- a beton összetétele készítésekor (anyag összetétel, cement-víz arány, stb),
- a benne lévő betonvasalás mértéke,
- a beton kora,
- nedvességtartalma,
- hőmérséklete,
- feszültségállapota, valamint a beton aktuális állapotát leginkább befolyásoló érték a

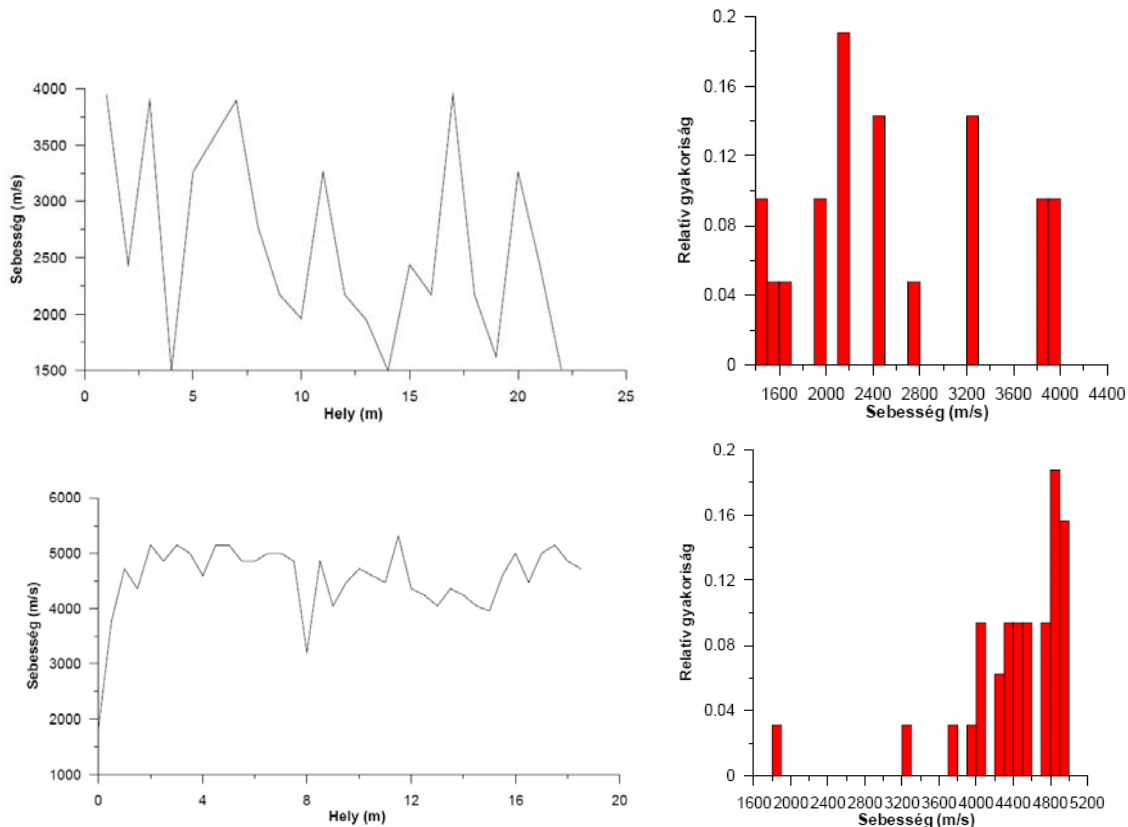
repedezettség, a mechanikai tönkremenetel mértéke.

A betonok inhomogenitás vizsgálatakor a sebességek szelvény menti eloszlását és annak szórását vizsgálják. A mintavétel sűrűsége akkor megfelelő, ha sem a sebességek eloszlás értékei, sem a szórásuk nem változik jelentősen a mintavétel sűrítésével. A nagyobb sebesség jobb minőségű betonra utal, ugyanúgy, mint a kisebb szórás, bár ez utóbbinál figyelembe veendő a beton vastagsága is. Nagy vastagságú betonnál a levegő és víz hatásának kitett részek aránya a teljes vastagsághoz képest kisebb, mint vékony beton esetén, ezért a szórás is kisebb.

Az *1. ábra* egy szennyvíztisztító telep medencéje egymással szemközti falainak vizsgálatából származik. A felső sebességsorozaton határozott trend jelleg nem állapítható meg, inkább csak sejthető. Az alsó sorban bemutatott szelvényre a sebességek nagyobbak és a szórásuk is kisebb.

A fenti medencefalon végzett mérések alapján megállapítható, hogy a beton fizikai paramétereit, mind a sebesség, mind a csillapodás szempontjából erősen inhomogén, ezért a beton anyagának és minőségének nagyfokú változékonyságára kell számítani.

A beton minősítéséről a P hullámterjedési sebesség értékei alapján különböző országok szabványai rendelkeznek, amelyek határértékei minimális mértékben térnek el egymástól (ASTM, DIN), erre vonatkozóan lásd az *1. táblázatot*.



1. ábra. Rossz (fent) és jó minőséget mutató (lent) sebességszelvények, valamint a sebesség-értékek eloszlásai

Beton állaga	P sebesség (m/s)
Kiváló	> 4600
Jó	3500 - 4600
Megfelelő	3000 - 3500
Gyenge	2100 - 3000
Nagyon gyenge	< 2100

1. táblázat. Betontestek minősítési határértékei P sebesség alapján

2.2 A beton szilárdsági paramétereivel kapcsolatos minősítések

A P hullám terjedési körülményeiből fakadóan, tehát hogy kompressziós hullámsebességet mérünk, a szilárdsági paraméterek közül a legszorosabb korrelációt a P hullámsebesség értékekben a nyomószilárdsági értékektől várhatunk. Ezért itt nem foglalkozunk a betonnak sem a húzó, sem a hajlító szilárdsági jellemzőivel, amelyeket némely szakirodalmi leírás szerint jobb híján szintén a nyomószilárdsági adatokból származtatnak. De még magának a nyomószilárdságnak a meghatározása a P hullámsebességből is nyilvánvalóan csak becslés lehet, hiszen az egyes eljárások eltérő alakváltozási állapotokhoz kapcsolódnak, azaz míg a szeizmikus érték a rugalmas alakváltozás tartományában, addig a másik a törési határállapotban megnyilvánuló, az anyagra jellemző értékkel bír.

A nyomószilárdság - P hullámterjedési sebesség függvénykapcsolat pontos megadása betonokra szakirodalmi adatok szerint is kétséges (Popovics, 2008). Ami közös vonás, hogy a gyenge, vagy nagyon gyenge állagú, három évesnél idősebb betonokkal alig foglalkoznak a szerzők, ami jelentősen leszűkíti a többnyire empirikus kapcsolatok gyakorlati használhatóságát. A legfontosabb különbségek, hogy az egyes dolgozatokban a beton eredeti összetétele, a víz-cement arány, a beton kora, a cement minősége és aktuális víztartalma egymástól eltérően is befolyásolhatják a pontos nyomószilárdság becslést.

Összefoglalva, a szerzők általában nem fogadják el az akusztikus sebességadatokból mért szilárdság-becslést. Néhányan, a becslés pontosságát kb. +/- 20%-ra becsülik és elfogadják a 3500- 4500 m/s tartományon belüli sebességértékeket, amelyek kockaszilárdságban a 10-50 N/mm² tartományt fogják át. (Balázs, 1997, Borján, 1981.)

A jó becsléshez az adott konkrét betonra vonatkozó szilárdsági- sebesség kalibrációs összefüggés előzetes meghatározására van szükség.

3 A MŰTÁRGYAK SZERKEZETÉNEK KUTATÁSA

A műtárgyak geofizikai kutatásának célja azok szerkezetének roncsolásmentes feltárása, amelyhez általában egy módszer nem szolgáltat elegendő információt. A szeizmoakusztikus módszerek alkalmazására kifejezetten akkor kerül sor, amikor a műtárgyak mechanikai állagromlása, vagy annak behatárolása a feladat.



2. ábra. Híd lábzatának vizsgálata „kalapácsos szeizmikával”, beton és ágyzatának vizsgálata akusztikus szelvényezéssel

A feladat megoldásához felbontóképességben és behatolókéességben a legjobban illeszkedő szeizmikus forrás és vevő komplexumot célszerű kiválasztani (2. ábra). Közismert tény a geofizikában, hogy jó felbontóképességet nagyfrekvenciás jelekkel lehet elérni, míg a frekvencia növelésével a módszer behatolókéessége növekszik. Megfordítva is igaz, hogy kismfrekvenciás jelekkel mélyre „látunk”, de a felbontóképesség rovására.

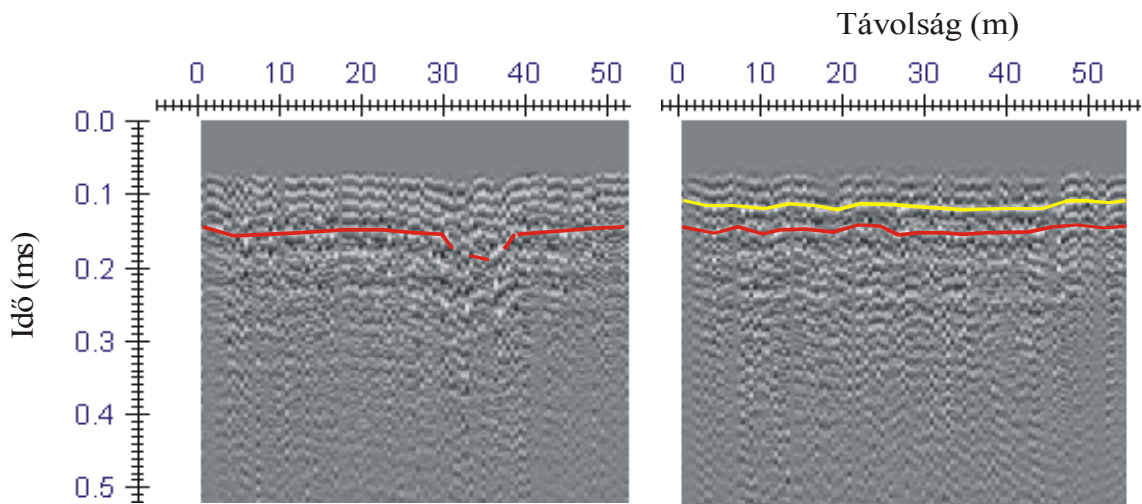
3.1 Szeizmoakusztikus szelvényezések

A szeizmoakusztikus szelvényezések mérési vonal mentén mért különböző típusú szeizmikus méréseket jelentenek. Leggyakorabban a reflexiós mérést alkalmazzák, de hasonlóan a talajok és kőzetek vizsgálatában megszokottakhoz léteznek a refrakciós és a felületi hullámok mérésén alapuló szelvényezések is.

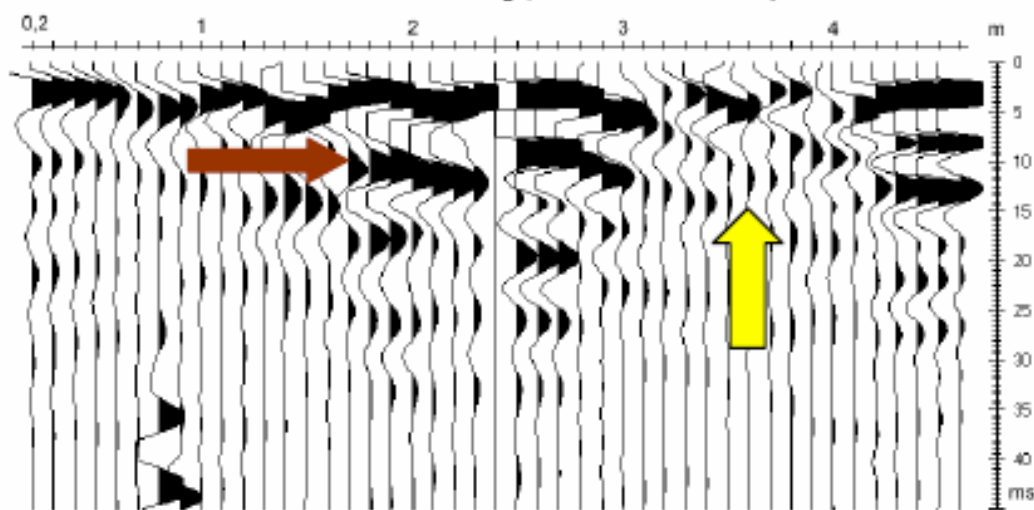
A reflexiós mérésnél a szeizmikus hullám nem közvetlenül, hanem visszaverődés révén jut el a forrástól a vevő(k)ig a kutatás tárgyát képező rétegzett, inhomogén közegen keresztül. A reflektáló felületről visszajövő hullámok egy szelvény mentén a szomszédos érzékelőkhöz közel ugyanabban az időben érkeznek be, ezzel a felület a reflexiók beérkezési idejével „lekövethető”. A szeizmoakusztikus hullámok az akusztikus impedancia megváltozásainak helyeiről reflektálódnak. Onnan, ahonnan a rezgést közvetítő közegben a sűrűség és a hullám sebességének szorzata megváltozik és a változás mértéke kiterjedésben eléri legalább az adott hullámhossz felét. Így a műtárgyakban az egymást elválasztó réteghatárok (ha a rétegződés elegendően vastag), az azokon belüli inhomogenitások (pl. üreg, betonban fészkesedés) mutathatók ki (lásd 3. ábra).

A reflexiós szelvényből mélység-szelvény is készíthető, gyakrabban csak becsülhető, mert a közeg sebessége nem ismert kellő pontossággal.

A kisebb kiterjedésű objektumokról jellegzetes hiperbola formájú reflexiók, ún. diffrakciók érkeznek. A reflexiós szint megszakadása, a hullám alakj jellemzőinek megváltozása a beérkezési időktől függetlenül is hasznos információkkal szolgál a szelvények értékelésénél (4. ábra).



4. sor 11. sor
3. ábra. Réteghatárok és inhomogenitások betonban



4. ábra. Diffrakciós beérkezés és jelamplitúdó jelentős csökkenése reflexiós felvételen

3.2 Műtárgyak szeizmikus átvilágítása, a szeizmikus tomográfia módszere

Egy vizsgált műtárgyon áthaladó szeizmikus hullámok, ha belőlük elegendően sok van megfelelő eloszlásban, leképezhetik a műtárgy belsejét. A szeizmikus tomográfia egy képrekonstrukciós eljárás. A tomográfia alkalmazásával valamilyen fizikai mennyiség eloszlása egy tartományon belül, meghatározható a tartomány kerületén végzett, átvilágítás típusú mérések adataiból, ha a mért értékek a vizsgált fizikai mennyiség vonalintegráljai. A szeizmikában ilyen kapcsolat van:

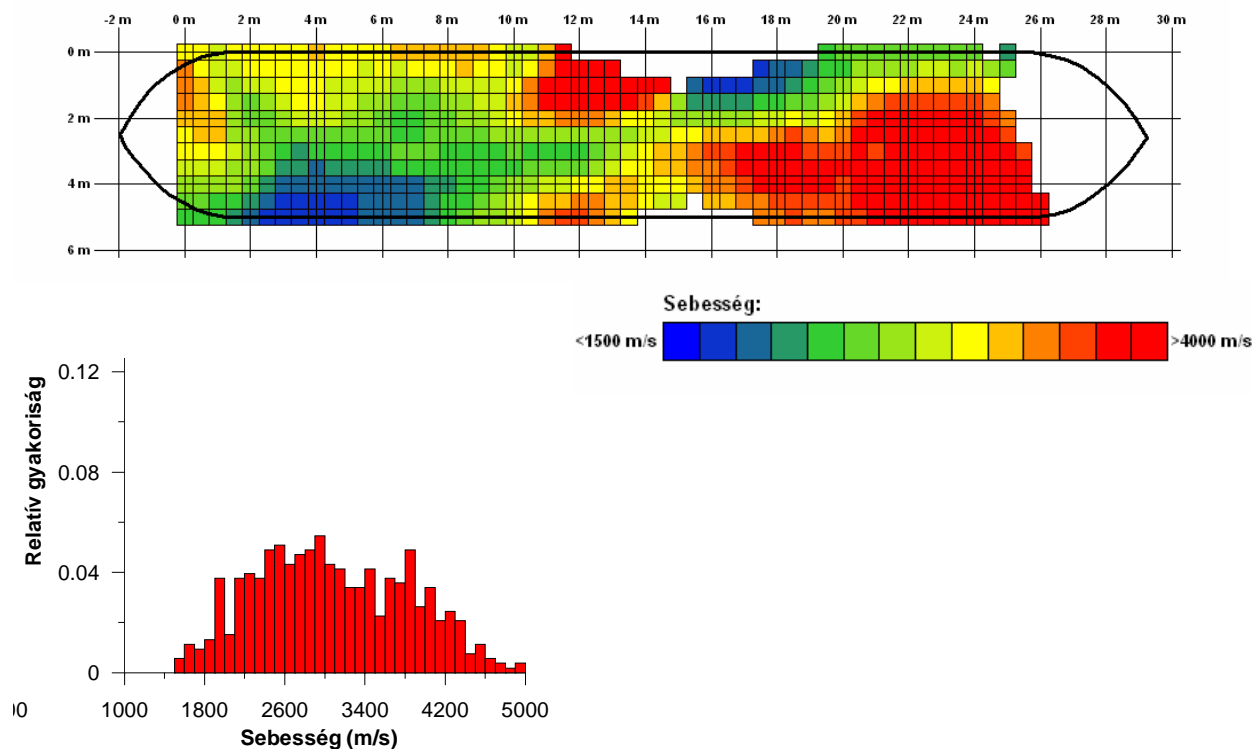
- a hullámterjedési idők és a sebesség reciproka,
- az amplitúdók reciprokjának logaritmus és az abszorpció között.

A szeizmikus tomográfia esetén a vizsgált tartomány kerületén elhelyezett rezgékeltési pontok és vevő pontok között nagy (elvileg végtelen) számú, egymást keresztező sugárúton megmérve a terjedési időket és az amplitúdókat a terület sebesség- és abszorpció-szelvénye számítható. Megbízható és minden irányban megfelelő felbontású eredményszelvényekhez ezért a vizsgált terület nagyszámú sugárral való, irány és sűrűség szerint egyenletes lefedettsége szükséges (Hardage, 1992). A terület „körüljárhatósága” – az orvosi CT-vel szemben – a szeizmikus gyakorlatban általában nem valósítható meg, ezért a kép a sugárutakkal párhuzamos irányban elkenődik. A tomográf feldolgozás tárgyalása, a képrekonstrukciós eljárás kifejtése meghaladja ezen cikk terjedelmi lehetőségeit. A lényeg: a beérkezési időadatokból a hullámok által meghatározott síkban (térben) egy sebesség vagy abszorpciós térkép az eredménye az eljárásnak.

A műtárgyak tomográf vizsgálatában leggyakrabban a longitudinális hullám első beérkezéseket használják. Más típusú hullámok és az abszorpció megvalósítása elméletileg lehetséges és jelentős hozadéka is lehetne, de a gyakorlati megvalósításuk lényegesen nehezebb, mint a longitudinális hullámok esetében. A másik fontos tényező a műtárgyaknak a feldolgozás számára megfelelő pontosságú geo-

metriájának meghatározása, hiszen nagyon kis időkülönbségeket kell mérni, amelyeknél a futási utak is alig változnak és bármelyik megadásában hiba van, az jelentősen befolyásolja az eredményt.

A sebesség tomográfia alkalmazásának illusztrálására álljon itt az egyik budapesti híd pillérének vizsgálati eredménye (5. ábra). Az ábra a hídpillér egy vízszintes síkjának sebesség eloszlását mutatja, tekintve attól a hibától, hogy bár az adó/vevő párok egy síkban vannak, a hullámok kiléphetnek ebből. Mérési nehézségek miatt az adathiányos területek kimaradtak a vizsgálatból. Az értelmezésnél figyelembe veendő még, hogy a híd geometriájából következően a Duna folyásával párhuzamos sugárutak hiánya miatt a képrekonstrukciós eljárás az erre merőleges irányokat kissé simította. A mérés felbontóképessége 0,5 m. A síkheli ábrán jól elkülönülnek a jó és a kevésbé jó állagú részek, ugyanígy a se-



5. ábra. Egy dunai híd sebességtomográf eredménytérképe és a sebességeloszlás histogrammja.

IRODALOM

Popovics S. 2008.

<http://www.asnt.org/publications/Materialeval/basics/feb01basics/feb01basics.htm#dept>

Balázs Gy. 1997. Beton és vasbeton szerkezetek diagnosztikája, *Műegyetem kiadó*

Borjány J. 1981. Roncsolásmentes beton vizsgálatok *Műszaki Könyvkiadó*

Hardage, B.A. 1992. Crosswell Seismology and Reverse VSP Seismic Application series 1, *Geophysical Press Ltd. London p. 304*