Útpályaszerkezetből vett fúrt magminták szemrevételezése és értékelése CT-vel

Lublóy Éva

okl. építőmérnök (BME Építőmérnöki Kar 2002), adjunktus a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéken (2002). Fő érdeklődési területei: vasbetonszerkezetek viselkedése tűz hatására, tűzkárok mérnöki tanulmányai. A fib Magyar Tagozat tagja.

Földes Tamás

okl. geológus (ELTE 1979) 2005-ig a Kőolajkutató vállalatnál majd pedig a MOL Rt-nél dolgozott. 2006-tól a Kaposvári Egyetem Diagnosztikai Intézetének munkatársa. 1999-től végez CT és MR mérési értékeléseket élettelen vizsgálati anyagokon, elsősorban közeteken. Fő érdeklődési területe: szénhidrogén rezervoár geológiai modellezés, nagyfelbontású képalkotó roncsolásmentes mérések (CT, microCT, MR) élettelen anyagvizsgálati módszerek kiértékelése. Magyarhoni Földtani Társulat, Geofizikai Társulat és az EAGE tagja.

Ambrus Dávid

okl. építőmérnök (BME Építőmérnöki Kar 2008), mérnök a BME Út és Vasútipítési Tanszéken (2012). Fő érdeklődési terület: aszfalt mechanika, aszfalt technológia, úttervezés.

Kapitány Kristóf

Építőmérnöki (térinformatikus) BSc diplomáját 2009-ben szerezte meg, majd Földmérő- és térinformatikai mérnök MSc diplomáját 2012-ben. Azóta PhD tanulmányait folytatja a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Fotogrammetria és Térinformatika Tanszéken, Objektumrekonstrukció orvosi képekből témában, mely keretén belül orvosi felvételesorozatok automatikus kiértékelésével foglalkozik.

Barsi Árpád

a BME Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék vezetője, egyetemi tanár. Diplomáját 1994-ben szerezte a BME Építőmérnöki Karán, 1998-ban PhD fokozatot szerzett, 2004-ben habilitált. Tagja az IEEE Computer Society-nek, a német Fotogrammetria és Távérzékelési Társaságnak (DGPF), az MTA Geodéziai Tudományos Bizottságának, a Nemzetközi Fotogrammetria és Távérzékelési Társaság (ISPRS) közgyűlési tagja. Érdeklődési területe: digitális képfeldolgozás, mesterséges intelligencia, lézerszkennelés, navigáció, térinformatikai elemzések.

LUBLÓY ÉVA • Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék • lubloy.eva@epito.bme.hu

FÖLDES TAMÁS • Kaposvári Egyetem Diagnosztikai Intézet

AMBRUS DÁVID • Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Út és Vasútipítési Tanszék • ambrus.david@epito.bme.hu

KAPITÁNY KRISTÓF • Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék

BARSÍ ÁRPÁD • Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék

Érkezett: 2014. 04. 20. • Received: 20. 04. 2014. • <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag.jsbcm.2014.13>

Computed tomography analysis and visual inspection of asphalt core samples

The air void and aggregate content of asphalt core samples could be determined by direct and indirect methods. Direct methods are destructive since they determine the air void and aggregate content by decomposing the mix into its individual components. The computed X-ray tomography (CT) makes it possible to create a 3D image of the complete inner structure. This paper demonstrates the CT method for determining the air void content in asphalt. It shows that the proposed method can determine the air void and aggregate content and gives multiple additional information about other features by showing the distribution along the vertical axis of the core sample. Keywords: computed tomography, CT, asphalt, non-destructive testing, air void content, aggregate content. Kulcsszavak: computer tomográfia, CT, aszfalt, roncsolásmentes vizsgálat, légzárvány-tartalom, adalékanyag-tartalom

1. Bevezetés

Helyszínen vett minták szemrevételezése elengedhetetlen és nagyon jól kiegészíti a laboratóriumi méréseket. A számítógépes tomográfiás (Computed Tomography – CT) vizsgálatokkal a minták háromdimenziós elemzése válik lehetővé. A különböző hibákra a CT-felvételeken és azok elemzése során előbb felfigyelhetünk, mint a laboratóriumi mérések során, hiszen ha a hiba a réteghatáron belül van, akkor az szabad szemmel nem látható. A CT-vel történő elemzés során viszont ezek a hibahelyek is kimutathatóak.

2. Az útpályaszerkezetek felépítése

Az útpályaszerkezet a következő fő részekből áll (1. ábra):

- burkolat, ami tartalmazza a kopó- és a kötőréteget,
- alap,
- ágyazat,
- javított talajréteg.

Megkülönböztetünk hajlékony, azaz bitumen kötőanyagú, illetve merev, azaz cement kötőanyagú pályaszerkezeteket.

Jelen cikkben belül az aszfalt burkolati rétegekkel és azok hibáinak kimutatási lehetőségeivel foglalkozunk. Az aszfalt bitumen kötőanyagból és adalékanyagból áll.

A bitumennel szemben támasztott követelmény, hogy ne legyen hőérzékeny, lassan öregedjen és vonja jól körbe az adalékanyagot.

Az aszfaltban alkalmazott ásványi adalékanyagok és azok szemcse nagysága:

- zúzott kövek >20 mm,
- zúzalék 4-20 mm,
- zúzott homok 0,1-4 mm,
- kőliszt <0,1mm.

1. ábra Az útpályaszerkezet felépítése
Fig. 1. Structure of pavement

A kopórétegben a zúzott anyagok bazaltból, illetve andezitből készülnek, a kőliszt pedig mészkőből.

Az adalékanyaggal szemben támasztott követelmények:

- megfelelő ütőszilárdság,
- megfelelő kopószilárdság,
- megfelelő időállóság.

3. Miért fontos a hibahelyek kiszűrése?

A burkolat hibái a pályaszerkezet leromlását eredményezik. A burkolatból kifúrt magminták szemrevételezésével megállapítható több, a szállítás és beépítés körülményeire jellemző esemény. Az elvárható beépítési követelmények betartása esetén elsősorban a réteg alsó része a kritikus, mert az találkozik a fogadó réteg hidegebb felületével, és az ott bekövetkező gyors lehűlés hatására a tömörítés hatékonysága csökken. Azonban a belső térbeli struktúráról nem kapunk valós képet; ahhoz háromdimenziós elemzés lenne szükséges, ami a CT felvételek segítségével lehetséges [1].

A hibák többségének okozója a burkolati réteg helytelen kivitelezése, ezért annak vizsgálatát kiemelten fontosnak tartjuk.

A kutatás során aszfaltburkolatú útpályaszerkezetekből fúrt magmintákat szemrevételeztünk és vizsgáltunk CT-vel. A cél az egyes aszfalt pályaszerkezeti rétegek hibáinak és hibahelyeinek meghatározása volt. Kutatásunkkal azt vizsgáltuk, hogy a CT mérések pontosabb eredményt adnak-e és ezeket hol és hogyan tudjuk hasznosítani.

A kutatás során összesen 2 db fúrt magmintát vizsgáltunk meg részletesen. A minták magyarországi aszfalt pályaszerkezetű út teherbírás-növelése érdekében megerősített szakaszairól származnak. Az egyik minta esetében a megerősítés során az eredeti burkolat felső 2 cm-ét marással eltávolították, és erre került rá két rétegben az új aszfalt burkolat. A másik minta esetében pedig teljes elbontás után három új aszfaltreteg került beépítésre. A fúrt magminták az alaprétig tartalmazzák az új és az eredeti pályaszerkezeti rétegeket.

A CT felvételek segítségével az egyes rétegek szerkezete, hézagtartalma részletesen elemezhető és az esetleges hibahelyek kiszűrhetőek.

4. Vizsgálati eredmények

A CT (Computed Tomography) a szakirodalomban gyakran számítógépes tomográfia néven ismeretes, amely a radiológiai diagnosztika egyik ága.

A CT készülékek röntgensugárzást használnak a felvételek elkészítéséhez, de a sugarak nem filmet exponálnak, hanem detektorok segítségével érzékelik a röntgensugarakat, majd a detektorokból nyert elektromos jelekből készül el számítógép segítségével a rekonstruált keresztmetszeti kép. A tomográfias felvétel esetében vékony, síkszerű röntgensugár-nyalábbal világítják át a vizsgált objektumot. A modern CT-berendezések két röntgen csövet tartalmaznak és egy körülfordulás alatt egyszerre több szeletet vizsgálnak. A vizsgálat a szükséges számításokkal együtt néhány perc alatt elvégezhető [2]. A teljes kiértékelés további feladatokat jelent.

A mérés az anyagok eltérő sugárgyengítési tulajdonságain alapul. A μ sugárgyengítési együttható az anyagra jellemző tulajdonság, ami az anyag sűrűségétől és a röntgensugárzás spektrumától függ.

A kép minden egyes pixele ekkor egy-egy értékkel rendelkezik, ami az adott térfogatelem relatív lineáris sugárgyengítését mutatja.

A skála fix pontjai a víz ún. Hounsfield értéke (Hounsfield Unit – HU), ami 0, valamint a levegő Hounsfield értéke, ami -1000. A pozitív oldalon általában 3000-ig tart a skála. A modern készülékeken lehetséges van a skála kiterjesztésére, ezáltal

részletesebb felosztásra is. A digitális képfeldolgozás során az egyes voxelekhez (= volume pixel – három dimenziós képpont) rendelt érték tehát -1000 és +3000 között lehet [2].

4.1 Kopóréteg

A 2. ábrán 4 cm vastagságban beépített kopóréteg aszfalt magminta darabja látható. Az oldalnézetben nem látunk különösebb problémára utaló jeleket, csupán a réteg alsó harmadában látható néhány kisebb légzárvány.

2. ábra Az 1. minta kopórétegének metszete (felül: a furat magminta egy szelete; alul: a furat magminta felülnézete)

Fig. 2. A section of the 1st sample's surface course (above: a section of the asphalt core; below: the top-view of the asphalt core)

A magminta aljáról készült felvételen viszont már több probléma állapítható meg. Láthatóan szétosztályozódott a keverék (ez lehet a hosszabb szállítási út következménye). A fogadó felület alacsony hőmérséklete miatt gyors lehűlés következett be és a réteg alján finom anyaggal kitöltetlen üregek, légzárványok keletkeztek.

A szétosztályozódás miatt a durvább (nagyobb szem-nagyságú) zúzalékszemcsék közötti kitöltetlen üregek mérete és mennyisége nagy. Az ilyen összefüggő, nagy hézagok részben lecsökkentik a rétegtapadást, az együttdolgozást, másrészt lehetőséget adnak a bejutó víz felhalmozódására és transzportjára.

A burkolati réteg minőségének megítélése szempontjából – mivel a réteg felületével kapcsolatban lévő üregek a hagyományos aszfaltsűrűség-méréssel nem mutathatók ki – problémát jelent, hogy a ténylegesnél lényegesen kisebb hézagtartalom kerül meghatározásra, tehát egy látszólag jó minőségű réteg mehet idő előtt tönkre.

A 3. ábrán megadtuk az 1. minta kopórétegének Hounsfield-érték eloszlását és sűrűségeloszlását (jobb alsó ábrarész). Jól látható, hogy a kopóréteg alján és tetején nagyobb a hézagtartalom (bal alsó és középső ábrarész), amit a tömörítéssel tudunk magyarázni. A réteghatárig nem egyenletes a sűrűség- és a hézagtartalom eloszlása. A mintán belül két metszet mentén vizsgáltuk a hézagtartalmat és a Hounsfield-értéket (jobb alsó ábrarész): az 1. metszet esetén kis hézagtartalom és nagy Hounsfield-érték, a 2. metszet esetén nagy hézagtartalom és kis Hounsfield-érték volt megfigyelhető. A hézagtartalom növekedése a szétosztályozódásra utal.

3. ábra Az 1. minta kopórétegének elemzése CT-vel (bal felső: Egy vizsgált mintametszet bal alsó: A szeleten belüli hézagterfogat és Hounsfield érték eloszlás; jobb felső: CT-s felvételek egymáshelyezésével nyert modell; jobb középső Egy szelet a próbatestből; jobb alsó A szelet 3D-s képe)

Fig. 3. The CT analysis of the 1st sample's surface course (upper left: A section of the sample; lower left: The distribution of air voids' volume and Hounsfield units in the section; upper right: sequence of CT images; middle right: A cut face of the sample and the relevant CT slice; lower right: The 3D view of the section.)

A metszetről készült fényképen és a CT-felvételeken is jól látszik, hogy a felszíntől mintegy 4 cm távolságban a szem-szerkezet eltér, ami a már korábban említett szétosztályozódással, tömörítéssel magyarázható.

A 4. ábrán bemutatott kopóréteg az előzővel azonos építéshelyről származik, azonban a mintavétel helyén nem 4 cm, hanem 6 cm vastagságban történt a kopóréteg beépítése. A szállított anyag homogenitása lényegesen jobb, a durva szemek eloszlása egyenletesebb, ezért a réteg aljának lehülése is kisebb problémát okozott; azt lehet mondani, hogy a szokásos nagyságrendet nem haladja meg a kialakult üregek mérete és mennyisége.

A 5. ábrán megadtuk a 2. minta kopórétegének Hounsfield-érték eloszlását és sűrűségeloszlását. Jól látható, hogy a kopóréteg alján és tetején nagyobb a hézagtartalom, amit a tömörítéssel tudunk magyarázni. A réteghatárig azonban egyenletes a sűrűség és a hézagtartalom-eloszlás. A mintán belül két metszetet készítettünk, és elemeztük a hézagtartalmat valamint a Hounsfield-értéket: az 1. metszet esetén kis hézagtartalom és nagy Hounsfield-érték; a 2. metszet esetén nagy hézagtartalom és kis Hounsfield-érték volt megfigyelhető.

A metszeteken jól látszik, hogy a szem-szerkezet a különböző metszetekben nem tér el egymástól, ez a réteg jól bedolgozott, egyenletesnek tekinthető. A 2. rétegben tapasztalható nagy hézagtartalom a két réteg összedolgozásakor keletkezett, amit az eltérő hőmérsékletű aszfaltok összedolgozásával tudunk magyarázni.

4. ábra A 2. minta kopórétegének metszete (felül: a furat magminta egy szelete; alul: a furat magminta felülnézete)

Fig. 4. A section of the 2nd sample's surface course (above: a section of the asphalt core; below: the top-view of the asphalt core)

5. ábra A 2. minta kopórétegének elemzése CT-vel

Fig. 5. The CT analysis of the 2nd sample's surface course

Mivel a digitális kiértékelés során nem tudtuk kimutatni a szétosztályozódást, ezért megvizsgáltuk a minták adalékanyag és aszfalttartalom eloszlását is. Mindkét mintában közel azonos adalékanyag- és kötőanyagtartalmat állapítottunk meg. A 6. és 7. ábrán a bekeretezett terület a kopórétegben található adalékanyag, kötőanyag és hézagtartalom eloszlását mutatja. Megállapíthatjuk, hogy az adalékanyag tartalom 30-40%, a kötőanyag tartalom 60-70% között változott.

A 6. ábrán a pirossal bekeretezett terület a kopórétegben található adalékanyag, kötőanyag és hézagtartalom eloszlását ábrázolja. Megállapíthatjuk, hogy az adalékanyag-tartalom kisebb, a kötőanyag-tartalom pedig nagyobb, mint a kopórétegben.

6. ábra Az 1. mintában az adalékanyag-, a hézag- és a kötőanyag-tartalom eloszlása

Fig. 6. The distribution of aggregate-, air void-, and binder content in the 1st sample

7. ábra A 2. mintában az adalékanyag-, a hézag- és a kötőanyag-tartalom eloszlása
Fig. 7. The distribution of aggregate-, air void-, and binder content in the 2nd sample

4.2 Kötőréteg

Nagyobb, 8 cm vastagságban beépített kötőréteg-aszfaltot mutat a 8. ábra. A zúzalék eloszlása megfelelő, a réteg alján is csak kis számban figyelhető meg üreg. A fényképek érdekessége, hogy jól látható a kisebb szilárdságú zúzalékszemek törése. A törésvonal mentén szintén hézag keletkezik. Az ilyen törések miatt kialakuló hézagnövekedést, ha az a minta belsejében van, a hagyományos sűrűségmérés nem tudja kimutatni.

8. ábra Az 1. minta kötőrétegének metszete (felül: a furat magminta egy szelete; alul: a furat magminta felülnézete)
Fig. 8. The section of the 1st sample's binder course (above: a section of the asphalt core; below: the top-view of the asphalt core)

A 9. ábrán megadtuk az 1. minta kötőrétegének Hounsfield-érték eloszlását és sűrűségeloszlását. A réteghatáron belül a sűrűség és a hézagtartalom eloszlása sem egyenletes. A mintán belül egy metszetet készítettünk, ahol kis hézagtartalmat és nagy Hounsfield-értéket figyeltünk meg.

A sűrűség és a Hounsfield-érték eloszlások alapján megállapítható, hogy a szemszerkezet egyenletes, ez a réteg jól bedolgozott, egyenletesnek tekinthető. A Hounsfield-értékek és vele egyidejűleg a sűrűségértékek eloszlásának ingadozása a berepedt adalékanyag szemcsékkel magyarázható, ami a metszeten is jól látszik.

9. ábra Az 1. minta kopórétegének elemzése CT-vel
Fig. 9 The CT analysis of the 1st sample's binder course

5. Összefoglalás

Aszfaltburkolatból kifűrt magminták szemrevételezésével megállapítható több, a szállítás és beépítés körülményeit jellemző esemény. Az elvárható beépítési követelmények betartása esetén elsősorban a réteg alsó része a kritikus, mert az találkozik a fogadó réteg hidegebb felületével, az ott bekövetkező gyors lehűlés hatására a tömörítés hatékonysága csökken. A belső térbeli struktúráról valós képet kaphatunk, ha CT-felvételek háromdimenziós elemzését elvégezzük.

A CT-felvételek alapján megállapítottuk az egyik vizsgált aszfaltminta szétosztályozódását. Megállapítottuk, hogy a kopórétegben az adalékanyag-tartalom 30-40%, a kötőanyag-tartalom 60-70% között változott. Megállapítottuk továbbá, hogy a kötőrétegben az adalékanyag-tartalom kisebb, a kötőanyag-tartalom pedig nagyobb volt, mint a kopórétegben.

Másik aszfalt mintán megállapítottuk, hogy a kopóréteg alján és tetején nagyobb a hézagtartalom, amit a tömörítéssel tudunk magyarázni. A réteghatárig egyenletes sűrűség- és a hézagtartalom-eloszlást találtunk.

Hivatkozások

- [1] Kisgyörgy L., Földes T., Lublőy É., Oszkó L., Ambrus D. (2013): Aszfalt próbatetek vizsgálata CT-vel, *Magyar Építőipar*, 2013. év 1. szám, pp. 14-19.
- [2] Berényi, E., Bogner, P., Horváth, Gy., Repa, I. (1997): *Radiológia*, Springer Hungarica, Budapest.
- [3] Ambrus Kálmán: Közlekedési Pályaszerkezetek, "Az útpályaszerkezetek felépítési rendje, típusai. Útpályaszerkezeti alapgörmök, élettartam, főbb tönkremeneteli jelenségek" előadás

Ref.:

Lublőy É. – Földes T. – Ambrus D. – Kapitány K. – Barsi Á.:
Útpályaszerkezetből vett fűrt magminták szemrevételezése és értékelése CT-vel
Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials,
Vol. 66, No. 3 (2014), 64–67. p.
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2014.13>