

University of West Hungary
Roth Gyula Doctoral School of Forestry
and Wildlife Management Sciences
Program of Forest Sciences

PAVEMENT MANAGEMENT ON FOREST ROAD NETWORKS

Theses of (PhD) dissertation

Written by:
Primusz Péter

Consultant:
Dr. habil. Péterfalvi József PhD
associate professor



Sopron, 2012.

Roth Gyula Doctoral School of Forestry and Wildlife Management Sciences

Program of Forest Sciences

Consultant: Dr. habil. Péterfalvi József PhD associate professor

Abstract

Forest roads covered with asphalt pavement represent the basis of the forest opening up networks in Hungary. If properly maintained, asphalt pavements offer a high level of service. While traffic load of forest road networks have grown, expenses on their maintenance remained lower than required in the last three decades. As a result, these roads are in poor condition, generally. Renovation projects demand the knowledge of the roads' conditions.

Maintenance is required on forest roads after their construction. To maintain the good serviceability on the road network, its condition and the expected scale of heavy traffic must be known. In view of these two parameters, maintenance work must be (and can be) done in proper time and way. Using informatics and digital technology, an efficient tool can be developed, that allows fast assessment of forest road network condition. The digital subjective condition surveying and assessment system developed makes possible the logging and evaluation of the condition of 20-25 km forest roads daily. If a forestry company possesses a digital road inventory, the condition of its road network can be displayed in a GIS. By combining the condition and expected traffic data, the necessary maintenance treatments, and their expenses can be estimated.

Bearing capacity measurements of roads traditionally were carried out using the Benkelmann beam. Researchers of the Department of Forest Opening Up developed a new method to measure the full deflection basin with the Benkelman beam (Advanced Benkelman Beam Apparatus, ABBA). The ABBA device to be able to 20 or 25 measuring points in 5 meters length of deflection bowl. Falling Weight Deflectometer (FWD) are widely used for deflection measurements of road pavements. The FWDs can measure the vertical deflections of the pavement in several positions, whose distance from the load are optional.

The dissertation introduces a new method for calculating the elastic modulus of the pavement layers. The method requires only two input parameters: the thickness of the upper „bound” layer and the FWD/ABBA measurement data. The author developed a continuously differentiable regression function, which can be applied to describe the shape of the deflection bowl. Additional parameters of the deflection bowl (e.g. radius of curvature, position of the inflexion point) can be calculated based on the regression function. Importance of the radius of curvature in the estimation of the bearing capacity of the pavement is well known. Knowing the maximal curvature we can calculate the extension of the asphalt layer, which strongly correlates to the remaining lifetime of the layer. FWD/ABBA measurements were simulated running the „BISAR” software on different pavement variations. Outputs of the simulations were further processed with own developed software. As a result, a series of diagrams were elaborated, by which the elastic moduli of the pavement layers can be determined.

New results are presented via the case study of a 2nd class opening up forest road. The application of the measuring equipment and calculation processes are supported by the expert's reports and studies about road maintenance.

Theses

1. Thesis

In the first step of the status report and evaluation our goal is to examine the condition of the road network, then a making a rough diagnose. To do this, the author has worked out a modern and cheap digital tool-system and condition evaluating method of the forestry road network's subjective status report. The main parts of the recommended system:

1. calibrated measuring wheel connected to a vehicle,
2. hand computer with data collecting program,
3. evaluating program supporting office procession.

The practical application of the developed subjective procedure proved that it provides rapid, economic and reliable data about the condition of the forest roads. The parameters defined by the author, describing the surface and environmental defects, shows well, where and why it is necessary to interfere, and the expected maintenance expenses can also be estimated.

2. Thesis

The author took part in the further development of the deflection-measuring tool (Advanced Benkelman Beam Apparatus, ABBA) and worked out the foundation of the measuring results' evaluation. He proposes the noise filtering of the data measured by the sensors, and the dropping of stand errors. The developed equipment is able to take over the evolving deforming line along 5 meters and with 20-25 measuring points; therefore it is suitable to cost-effectively substitute the FWD devices in forest environment.

The author examined and compared the rate of the central shifts measured by the Dynatest FWD and the manual deflection-measuring tool. As the result of the comparison he received the following conversion formula:

$$BB = 1,0015 \cdot FWD$$

where:

BB = Benkelman-beam deflection [mm].

FWD = FWD deflection [mm].

$R^2 = 0,822$.

By the statistic analysis, the different measuring methods provide nearly the same results as to the forestry roads' typical pavement structure considering the central deflection values.

3. Thesis

The author proposed a function to mathematically describe the deformation lines measured by the FWD and ABBA equipment:

$$D(x) = D_0 \frac{4r^2}{\alpha x^\beta + 4r^2} = D_0 \frac{d^2}{\alpha x^\beta + d^2}$$

where:

d = the diameter of a circular load area, $d = 2r$.

α, β = shape factors.

The alpha and beta shape factors can be defined by the deflections recorded by the FWD and ABBA devices. With the help of the so parametered function the measuring errors and noises can be dropped, and any kind of deflection bowl parameter can be computed. The author, on the base of the Boussinesq and Odemark equivalent modulus, deduced the approximate function of the deformations appearing outside the load axis:

$$D(x) = D_0 \frac{4r^2}{c \cdot x^2 + 4r^2} = D_0 \frac{d^2}{c \cdot x^2 + d^2}$$

The c shape factor of the function used to estimate the deformation line in case of defining the D_0 and R_0 curve radius can be computed as the following:

$$c = \frac{2r^2}{D_0 R_0}$$

The c form factor parameter can be computed by regression analysis or iteration using the deformations measured by the FWD or ABBA equipment. Then the radius of curvature magnitude is calculated in the following way:

$$R_0 = \frac{2r^2}{c D_0}$$

By the analysis of the deduced function the geometry of the deflection bowl can be described with the help of the load centre and the inflexional point of the bowl.

4. Thesis

The author concluded, that the multi-layered road structures could only be modeled with the help of the surface equivalent modulus in special cases. The homogeneous half-space model with one layer can only be used if the following equality is true to the plate centre deflection and the curve radius:

$$R_0 D_0 = 2r^2$$

The author then proposes the computing method of the equivalent surface modulus:

$$E_e = \frac{2pr}{\sqrt{c D_0}} (1 - \mu^2)$$

The defined surface modulus is to be considered a more reliable status parameter for the PMS systems than the traditional surface modulus.

5. Thesis

The author demonstrated, on the base of the statistical analysis of the calculuses made by the BISAR program, that knowing the D_0 and R_0 parameters it is possible to calculate the modulus of the E_2 granular layers:

$$E_2 = 1224,45 \cdot D_0^{-1,623} R_0^{-0,629}$$

The definition of the asphalt concrete layer modulus is made with the following correspondence:

$$E_1 = 0,0131 \cdot E_2 \left[h^{-1,95} \left(\frac{1,9}{c} - 1 \right) \right]^{1,428}$$

By this, the modulus of a layer has been proved to be clearly computable from the deformation line in case of bilayer pavement structured models.

6. Thesis

The author releases, on the base of the statistical analysis of the calculuses made by the BISAR program, the following correspondences about the strains rising at the bottom of the asphalt concrete layers:

$$\varepsilon_b = 122463 \cdot R_0^{-0,522} \cdot \Delta h^{-0,533} \cdot E_{asphalt}^{-0,1888}$$

where:

ε_b = strain at the bottom of the new reinforcing asphalt layer [$\mu m/m$].

R_0 = pavement radius of curvature of the old pavement [m].

Δh = thickness of the new reinforcing asphalt layer (between 20 and 120 mm).

$E_{asph.}$ = modulus of the new reinforcing asphalt layer (between 5000 and 15000 MPa).

By the correspondence it is enough to know the curve radius of the old road structure to plan the reinforcing asphalt layer.

7. Thesis

The strains rising at the bottom of the asphalt concrete layers can well be estimated if we know the curve radius derivated from the function put onto the deformation line, and the thickness of the surface by the following formula:

$$\varepsilon = \frac{h}{2R_0} = cD_0 \frac{h}{4r^2}$$

The strains defined by this method are much closer to the exact elasticity (BISAR) calculuses, than the results of the regression correspondences proposed by Jansson or Van Gorp.

Publications

Theses, master theses

Primusz Péter (2009): *Digitális terepmodell alkalmazása a mérnöki gyakorlatban*. Gábor Dénes Főiskola, Műszaki Informatika, Alkalmazásfejlesztés Szakirány, Diplomadolgozat, Budapest

Primusz Péter (2005): *Tehergépkocsik tengelysúly növekedésének hatása az erdészeti utak pályaszerkezetére és a pályaszerkezet-gazdálkodására*. NyME, Erdőmérnöki Kar, Erdőmérnöki Szak, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék, Diplomadolgozat, Sopron

Primusz Péter (2001): *A Szentgáli tiszafás*. NyME, Roth Gyula Gyakorló Szakközépiskola és Kollégium, Erdész Szak, Szakdolgozat, Sopron

Hungarian articles

Markó Gergely, Primusz Péter, Péterfalvi József (2012): *Erdészeti utak teherbírásának mérése a továbbfejlesztett kézi behajlásmérővel*. In: Erdészettudományi Közlemények, 2: (1) pp. 106-122 ISSN: 2062-6711

Kisfaludi Balázs, Primusz Péter, Péterfalvi József, Markó Gergely (2012): *Erdészeti utak szubjektív állapotfelvétele és értékelése*. In: Erdészettudományi Közlemények, 2: (1) pp. 89-106 ISSN: 2062-6711

Primusz Péter, Péterfalvi József, Kisfaludi Balázs, Biczó Balázs (2011): *A faanyagmozgatás hatása az erdészeti úthálózatok szállítási és fenntartási költségeire*. In: Erdészettudományi Közlemények, 1: (1) pp. 135-151 ISSN: 2062-6711

Primusz Péter, Markó Gergely (2010): *Kétrétegű pályaszerkezet-modellek paramétereinek meghatározása FWD-mérések alapján*. In: Közlekedésépítési Szemle 60: (7) pp. 8-13.

Primusz Péter, Tóth Csaba (2009): *A behajlási teknő geometriája*. In: Közlekedésépítési Szemle, 59: (12) pp. 8-24, 28

English articles published in Hungary

József Péterfalvi, Miklós Kosztka, Gergely Markó, Péter Primusz (2008): *Experimental Pavements Built on Cohesive Soil*. In: Hungarian Agricultural Engineering 21: pp. 53-54. ISSN: 0864-7410

Papers in Hungarian conference proceedings

Markó Gergely, Kosztka Miklós, Primusz Péter, Péterfalvi József (2011): *Pályaszerkezet-gazdálkodás az erdészeti úthálózatokon*. In: Lakatos Ferenc, Szabó Zília (szerk.) Kari Tudományos Konferencia Kiadvány: Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar. Sopron: NyME, pp. 23-25. ISBN: 978-963-334-041-7

Markó Gergely, Primusz Péter, Péterfalvi József (2011): *Hajlékony útburkolatok élettartamának meghatározása a továbbfejlesztett kézi behajlásmérés alkalmazásával*. In: Lakatos Ferenc, Szabó Zilia (szerk.) Kari Tudományos Konferencia Kiadvány: Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar. Sopron: NyME, pp. 54-59. ISBN: 978-963-334-041-7

Péterfalvi József, Markó Gergely, Primusz Péter, Kisfaludi Balázs (2011): *Feltáráshálózat tervezése szálaló erdőkben*. In: Lakatos Ferenc, Szabó Zilia (szerk.) Kari Tudományos Konferencia Kiadvány: Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar. Sopron: NyME, pp. 60-65. ISBN: 978-963-334-041-7

Péterfalvi József, Kosztka Miklós, Markó Gergely, Primusz Péter (2009): *Korszerű mérés technika az erdészeti utak állapotfelvételénél*. In: Lakatos Ferenc, Kui Biborka (szerk.) Kari Tudományos Konferencia Kiadvány: Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron: NyME pp. 12-15.

Kosztka Miklós, Markó Gergely, Péterfalvi József, Primusz Péter (2008): *Kötött talajon épített erdészeti kísérleti út*. In: Tóth László, Magó László (szerk.) A Magyar Tudományos Akadémia, Agrártudományok Osztálya, Agrárműszaki Bizottság, XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás előadásainak és konzultációs témáinak összefoglalói. Gödöllő: SZIE, 1: (32), pp. 187-191. ISBN 978-963-611-452-7

Kosztka Miklós, Markó Gergely, Péterfalvi József, Primusz Péter, Tóth Csaba (2008): *Erdészeti utak teherbírásának mérése*. In: Tóth László, Magó László (szerk.) A Magyar Tudományos Akadémia, Agrártudományok Osztálya, Agrárműszaki Bizottság, XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás előadásainak és konzultációs témáinak összefoglalói. Gödöllő: SZIE, 3: (32), pp. 75-79. ISBN 978-963-611-452-7

Kosztka Miklós, Markó Gergely, Péterfalvi József, Primusz Péter (2008): *Erdészeti utak forgalom elemzése*. In: Tóth László, Magó László (szerk.) A Magyar Tudományos Akadémia, Agrártudományok Osztálya, Agrárműszaki Bizottság, XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás előadásainak és konzultációs témáinak összefoglalói. Gödöllő: SZIE, 3: (32), pp. 70-74. ISBN 978-963-611-452-7

Papers in foreign conference proceedings

Gergely Markó, Péter Primusz, József Péterfalvi (2012): *Measuring bearing capacity of forest roads with the Advanced Benkelman Beam Apparatus*. In: Pentek, T., Porsinsky, T. & Sporcic, M. (eds.). Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment. Proceedings of the 45th International Symposium on Forestry Mechanisation FORMEC. Forestry Faculty, University of Zagreb, ISBN 978-953-292-025-3

Primusz Péter, Péterfalvi József, Kosztka Miklós, Markó Gergely (2008): *Bearing Capacity of Lime Stabilized Soils*. In: Marián Böhmer [et al.] (eds.) Forest Constructions in the Country and their Recreational Use, Proceedings of the International Scientific Conference. Technical University in Zvolen, Slovak Republic. pp. 96-101 ISBN: 978-80-228-1924-4

Markó Gergely, Kosztka Miklós, Péterfalvi József, Primusz Péter (2008): *Cycle Tracks in Forest Environment*. In: Marián Böhmer [et al.] (eds.) *Forest Constructions in the Country and their Recreational Use*, Proceedings of the International Scientific Conference. Technical University in Zvolen, Slovak Republic. pp. 90-95 ISBN: 978-80-228-1924-4

Miklós Kosztka, Gergely Markó, József Péterfalvi, Péter Primusz (2006): *Appliability of Lime-Stabilization in Forest Road Construction*. In: Miklós Kosztka [et al.] (eds.) *Proceedings of the International Science Conference. Present and Future of Forest Opening-Up and Hydrology*. Sopron, Hungary. pp. 127-138. ISBN: 978-963-9364-78-3

Péter Primusz (2006): *Effects of the allowed axle load increase to the track structure of forest road network*. In: Miklós Kosztka [et al.] (eds.) *Present and Future of Forest Opening-Up and Hydrology*. Proceedings of the International Science Conference. Sopron, Hungary. pp. 139-148. ISBN: 978-963-9364-78-3

Hungarian abstracts

Markó Gergely, Kosztka Miklós, Primusz Péter, Péterfalvi József (2011): *Pályaszerkezet-gazdálkodás az erdészeti úthálózatokon*. In: Lakatos Ferenc, Szabó Zilia (szerk.) *Kari Tudományos Konferencia: a konferencia előadásainak és poszttereinek kivonata*. Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar. Sopron: NyME, p. 11.

Markó Gergely, Primusz Péter, Péterfalvi József (2011): *Hajlékony útburkolatok élettartamának meghatározása a továbbfejlesztett kézi behajlásmérés alkalmazásával*. In: Lakatos Ferenc, Szabó Zilia (szerk.) *Kari Tudományos Konferencia: a konferencia előadásainak és poszttereinek kivonata*. Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar. Sopron: NyME, p. 31.

Péterfalvi József, Markó Gergely, Primusz Péter, Kisfaludi Balázs (2011): *Feltáráshálózat tervezése szálaló erdőkben*. In: Lakatos Ferenc, Szabó Zilia (szerk.) *Kari Tudományos Konferencia: a konferencia előadásainak és poszttereinek kivonata*. Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar. Sopron: NyME, p. 32.

Péterfalvi József, Kosztka Miklós, Markó Gergely, Primusz Péter (2009): *Korszerű mérés technika az erdészeti utak állapotfelvételénél*. In: Lakatos Ferenc, Kui Biborka (szerk.) *Kari Tudományos Konferencia: a konferencia előadásainak és poszttereinek kivonata*. Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron: NyME p. 9.

Kosztka Miklós, Markó Gergely, Péterfalvi József, Primusz Péter (2008): *Kötött talajon épített erdészeti kísérleti út*. In: Tóth László, Magó László (szerk.) *A Magyar Tudományos Akadémia, Agrártudományok Osztálya, Agrárműszaki Bizottság, XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás: az előadások és konzultációs témák tartalmi összefoglalói*. Gödöllő: SZIE (32), pp. 25-26.

Kosztka Miklós, Markó Gergely, Péterfalvi József, Primusz Péter (2008): *Erdészeti utak forgalom elemzése*. In: Tóth László, Magó László (szerk.) *A Magyar Tudományos Akadémia, Agrártudományok Osztálya, Agrárműszaki Bizottság, XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás: az előadások és konzultációs témák tartalmi összefoglalói*. Gödöllő: SZIE (32), pp. 66-67.

Kosztka Miklós, Markó Gergely, Péterfalvi József, Primusz Péter, Tóth Csaba (2008): *Erdészeti utak teherbírásának mérése*. In: Tóth László, Magó László (szerk.) A Magyar Tudományos Akadémia, Agrártudományok Osztálya, Agrárműszaki Bizottság, XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás: az előadások és konzultációs témák tartalmi összefoglalói. Gödöllő: SZIE (32), pp. 67-68.

English abstracts

József Péterfalvi, Gergely Markó, Péter Primusz, Balázs Kisfaludi (2012): *Information System of Forest Roads in Hungary*. In: Pentek, T., Porsinsky, T. & Sporcic, M. (eds.). Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment. Proceedings of the 45th International Symposium on Forestry Mechanisation FORMEC. Forestry Faculty, University of Zagreb, ISBN 978-953-292-025-3

Balázs Kisfaludi, József Péterfalvi, Péter Primusz, Balázs Biczó (2012): *The Effect of Timber Transport on the Maintenance and Carriage Cost*. In: Pentek, T., Porsinsky, T. & Sporcic, M. (eds.). Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment. Proceedings of the 45th International Symposium on Forestry Mechanisation FORMEC. Forestry Faculty, University of Zagreb, ISBN 978-953-292-025-3

Kosztka Miklós, Markó Gergely, Péterfalvi József, Primusz Péter (2007): *Traffic analysis on forest opening up networks*. In: Petr Hruza [et al.] (eds.) Landscape Management - Present and Future, International Scientific Conference Abstracts, pp. 14. Bruno-Krtiny, Czech Republic, Mendel University of Agriculture and Forestry in Brno. ISBN: 978-80-7375-084-8

Kosztka Miklós, Markó Gergely, Péterfalvi József, Primusz Péter (2007): *Experimental pavements built on hard ground*. In: Petr Hruza [et al.] (eds.) Landscape Management - Present and Future, International Scientific Conference Abstracts, p. 15. Bruno-Krtiny, Czech Republic, Mendel University of Agriculture and Forestry in Brno. ISBN: 978-80-7375-084-8

Kosztka Miklós, Markó Gergely, Péterfalvi József, Primusz Péter, Tóth Csaba (2007): *Measuring Bearing Capacity on Forest Roads In Hungary*. In: Petr Hruza [et al.] (eds.) Landscape Management - Present and Future, International Scientific Conference Abstracts, p. 17. Bruno-Krtiny, Czech Republic, Mendel University of Agriculture and Forestry in Brno. ISBN: 978-80-7375-084-8

Poster-presentations in Hungary

Kosztka Miklós, Markó Gergely, Péterfalvi József, Primusz Péter, Tóth Csaba (2008): *Erdészeti utak teherbírásának mérése*. A Magyar Tudományos Akadémia, Agrártudományok Osztálya, Agrárműszaki Bizottság, XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő

Kosztka Miklós, Markó Gergely, Péterfalvi József, Primusz Péter (2008): *Erdészeti utak forgalomelemzése*. A Magyar Tudományos Akadémia, Agrártudományok Osztálya, Agrárműszaki Bizottság, XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő

Poster-presentations in English

József Péterfalvi, Gergely Markó, Péter Primusz, Balázs Kisfaludi (2012): *Information System of Forest Roads in Hungary*. FORMEC, Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment, October 8-12, Dubrovnik (Cavtat), Croatia

Balázs Kisfaludi, József Péterfalvi, Péter Primusz, Balázs Biczó (2012): *The Effect of Timber Transport on the Maintenance and Carriage Cost*. FORMEC, Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment, October 8-12, Dubrovnik (Cavtat), Croatia

Miklós Kosztka, Gergely Markó, József Péterfalvi, Péter Primusz (2006): *Earth-retaining wall reinforced with geogrid*. Present and Future of Forest Opening-Up and Hydrology. Sopron, Hungary

Oral presentations in Hungary

Primusz Péter (2010): *Pályaszerkezetek szilárdsága*. Pályaszerkezetek méretezése, szakmai nap. COLAS, Budapest, Magyarország

Primusz Péter (2010): *A hazai útpályaszerkezetek méretezése és a méretezési rendszerek fejlődése napjainkig*. Szakmérnöki előadás. BME Út és Vasútépítési Tanszék, Budapest, Magyarország

Primusz Péter, Tóth Csaba (2009): *A behajlási teknő geometriája*. II. Nemzetközi TPA Konferencia, Thermál Hotel Visegrád, május 11-12. Visegrád, Magyarország

Kosztka Miklós, Markó Gergely, Péterfalvi József, Primusz Péter (2008): *Erdészeti utak teherbírási mérés*. Országos Erdészeti Egyesület (OEE), Erdőfeltárási Szakosztály, Huszárokélpusztá, Magyarország

English oral presentations

Miklós Kosztka, Gergely Markó, József Péterfalvi, Péter Primusz (2008): *Bearing Capacity of Lime Stabilized Soils*. Forest Constructions in the Country and their Recreational Use, International Scientific Conference, Zvolen

Miklós Kosztka, Gergely Markó, József Péterfalvi, Péter Primusz, Csaba Tóth (2007): *Measuring bearing capacity on forest roads in Hungary*. Landscape Management - Present and Future, 13th – 14th September, International Scientific Conference, Brno, Krtiny, Czech Republic

Péter Primusz (2006): *Effects of the allowed axle load increase to the track structure of forest road network*. Present and Future of Forest Opening-Up and Hydrology. Sopron, 21th – 22th September, Hungary

