

UNIVERSITY OF WEST HUNGARY
Roth Gyula Doctoral School of Forestry and Game Management
Forestry Mechanics Programme

**MECHANIZATION DEVELOPMENT FOR SOIL
TILLAGE AT STUMPY FOREST AREAS**

Theses of doctoral (PhD) dissertation

:

Tamás Major

M.Sc. forestry engineer, teacher

Scientific advisor:

Prof. Dr. Béla Horváth

University professor

Sopron

2014.

TABLE OF CONTENTS

1. IMPORTANCE OF THE RESEARCH.....	3
2. AIMS OF THE RESEARCH	5
3. APPLIED METHODS	6
4. SUMMARY OF NOVEL SCIENTIFIC RESULTS	8
5. THE AUTHOR'S PUBLICATIONS CONCERNING THE DISSERTATION.....	10
5.1 Books, chapters in books	10
5.2 Scientific publications	10
5.3 Scientific lectures	13
5.4 Poster presentations	13

1. IMPORTANCE OF THE RESEARCH

Respecting the circumstances of Hungarian forests, effective afforestation can only be achieved in most of the stands by appropriate soil tillage works. Among the afforestation operations the two most expensive ones are the site preparation and the soil tillage. (In a national average, about 50-60% of the costs connected with afforestation are spent for soil tillage). The most significant site preparation activity is the removal of the stumps, which is usually avoided when possible. Leaving the stumps unextracted is favoured by the concept of natural afforestation approach too. The development of special cultivation technologies for stumpy areas could also contribute to this approach. In the recent years the development of technical solutions for the soil tending of stumpy forest stands has become especially important, mainly as a result of striving for a better cost efficiency.

The currently applied tools were mostly designed by practical considerations and lack of fundamental theoretical description. There are indeed partial data for some instruments, however these are not detailed enough.

In modern agriculture detailed analysis is an important part of the design and development process of state-of-the-art machines. Results indicate the usefulness of the machines, the quality of the labour under given circumstances as well as possible operational defects and constructional imperfections. Experimental data also present a basis for the development of new machines and for the upgrading of existing models.

With these results machine developers and operators have sufficient information to solve and to overcome minor and major difficulties that can occur during machine operation, thus machines can be operated more professionally, efficiently and energy-savingsly.

In the case of changed circumstances the modification and adaptation of machines is only possible if those equipment were designed and built regarding known theoretical aspects. Without the knowledge of the forces and stress acting upon the machines, professional repair cannot be accomplished either.

The main goal is to operate the machinery with the highest possible performance at optimum quality parameters and with an energy consumption as low as possible.

The knowledge of fundamental theory makes it possible to achieve the aforementioned goals by determining optimum size, arrangement, revolutions per minute, pulling- and driving power requirements and other technical features of the designed tools and machines.

The release of new equipment is always preceded by several years of laboratory and

field tests and experiments. By modelling the relationship between the soil and equipment the time and cost of the development process can essentially be shortened. Owing to the recent rapid development of high performance computers and effective numerical methods these modelling calculations can easily be accomplished nowadays.

While the theoretical aspects of the most frequently used agricultural machines have already been established, there are hardly any results for most of the equipment used in forestry practice. Nevertheless, the machines used in agriculture cannot always be adapted to forest environments, because of the special requirements and circumstances of silviculture.

It is also indispensable that investigations be carried out concerning not only the reliability and quality of the labour of the machines but also the physical and mechanical properties of the soil. In order to get acquainted with the theoretical aspects of the working principles of the machines, fundamental knowledge on soil mechanics is highly required, as most of the forestry and agricultural machines work in direct contact with the soil: some of them work with the soil itself, while power machines run on it. During the working operations of a cultivator the machine changes the physical properties of the soil, and in turn, the soil also affects the machine and its working tools.

It can be concluded that the design and development of soil cultivation machinery is inconceivable without the thorough knowledge of the properties of the soil.

The biggest difficulty in the modelling of the machine-soil interaction is the establishment of the computer model of the soil. Indeed, soil is a complex and complicated system which cannot be described with only a few simple parameters. The complex structure and inhomogeneity of soils makes the establishment of their general mechanical principles and the choice of the right mechanical features extremely difficult. The parameters, currently used for soil characterization are not suitable to describe the mechanical features of the soils precisely under any circumstances. The relationships calculated from the experimental data cannot be generalized without restrictions.

Moreover, in forest areas the presence of stumps and roots sets additional problems. Heavy root systems can increase the solidity of the soil significantly. The relationships between soil liquid content and soil resistance are hitherto unknown in the case of stumpy areas which justifies the importance of research in this field especially.

2. AIMS OF THE RESEARCH

For the tillage of stumpy areas basically such equipment is applied (deep ploughs with recurving blades, heavy disc ploughs) which were especially developed for these types of soils. Recently, specially designed disc ploughs and rotating strip ploughs are also available on the market. Due to their specially designed blades, these equipment are capable to pass across stumps and stones without damaging the structural parts of the machine. Nevertheless, the theoretical and scientifically based description of these equipment is still lacking.

At the beginning of his research the author has set the following aims:

- assessment of the level of mechanization in stumpy forest areas in Hungary;
- evaluation of the mechanical features of forest soils;
- investigation of the effect of the root system on soil resistance;
- evaluating labour quality and mechanical features of a specially designed soil tiller with rotating knives (BPG-600);
- modeling and analysis of rotating tillage tools.

3. APPLIED METHODS

In the course of his research the author has studied and evaluated the relevant national and international scientific literature. He has reviewed publications specially dealing with the theory of soil mechanics and the root system of wood plants. He has also acquired the knowledge of the application of numerical methods, primarily of the finite element method.

The author has carried out field data survey at various forestry enterprises, concerning their experience with soil tillage at stumpy forest areas. He has also analyzed the constructional and operational parameters of the currently applied machines.

The author has thoroughly analyzed various soil samples and also carried out soil resistance measurements using the 3T System soil layer indicator in order to evaluate the mechanical properties of forest soils and to reveal possible relationships with the analyzed soil parameters.

The equipment used for measuring soil resistance is a handheld device, which is suitable for the determination of soil liquid content and soil compactness continuously, in 1 cm steps. The device indicates the water content of the soil related to the field capacity (pF 2,5) in volume percent. The compactness of the soil was determined from the penetration resistance of the probe (cone, 60°; 12,5 mm diameter) and was given in kPa unit. The device stores all the measured data which can be evaluated using a computer. For the proper use of the device the clay content of the soils has to be known precisely. The clay content has to be fed into the device by the use of special codes.

Three stems were chosen at each of the measurement sites. Soil resistance was recorded around the assigned trees along concentric circles. The radius was increased in 0,5 meter steps up to 3 meters (in total 6 circles and 72 sampling points for each stem). As there were no sites available with similar soil conditions, yet without stems, control measurements have also been carried out at the centre of gravity of the three stems, assuming that roots have no more influence in that point. The exact positions of the measurements have been determined which will make a later reconstruction and repeating of the investigations possible.

Altogether eight measurement sites with 24 stems were assigned for the analysis. Experiments were designed so as to cover the complete diameter range of the trees of the stands. In mixed forest stands experiments were designed to include only sessile oaks.

The author has carried out his evaluation using a large number of measurements (8 x 3

x 72 = 1728 in total) as the variance of the pointwise measurements was rather high. The accuracy of the measurements was significantly influenced by the presence of intact roots, remaining from previous loggings (carried out during forest tending works) and also by stones.

The data collected with the 3T System device has been evaluated using a statistical software (STATISTICA). With the software a surface has been fitted using the measured data, which predicts the tendency of soil resistance change as a function of the species, the stem diameter and the distance from the stem.

The complete analysis of the soil involved the determination of porosity, differential porosity and clay content.

For the mechanical and dynamical analysis of the soil tiller with rotating knives the operation of the equipment was carried out using a MTZ-82 type power machine. The measuring probes were set up at the cardan shaft near the engine. The operation of the ploughs was initiated when such stumps were spotted in the ground which could normally not be extracted by the machine. With these measurements the torque as well as the alterations of the swinging/vibration forces at the cardan shaft could be determined during the operation.

In order to evaluate the quality of labour of the machine the author has measured soil resistance in front of the tractor as well as in the tilled strips using the 3T System device.

During the numerical analysis of the soil tiller with rotating knives the geometrical model of the equipment has been created using the Solid Edge software and the numerical analysis has been accomplished with the Ansys 13 finite element software. Soil stress parameters have been modelled using the Drucker-Prager material model. The author has applied combined FEM-SPH simulation method for the characterization of the soil-equipment interaction.

4. SUMMARY OF NOVEL SCIENTIFIC RESULTS

1. The author has surveyed the current state of mechanization of soil tillage at stumpy areas as well as the applying technical and operating conditions. According to his survey carried out at the national level, he has concluded that the level of mechanization is low and not solved yet.

2. Using test measurements a new method has been implemented which is suitable for obtaining results relatively fast about the effect of the root system on soil resistance.

3. According to the author's results it has been concluded that the compactness of the soil is nearly constant as a function of depth (excluding the topmost humic layers of the soil).

4. Using mathematical statistical methods the author has fitted a surface to the soil resistance data which specifies the change of soil resistance as a function of stem diameter and distance from the stems. It has been established that around the stems in a radius of 1-1,5 meters the higher soil resistance can be attributed to the presence of roots. In the case of stems having a diameter at breast height less than 30 cm, the influence of the root system on the soil resistance has not been indicated.

5. The author has proven that in the case of forest soils the higher soil resistance values measured near the stems can be attributed to the dense root system, as this hinders the deformation and the sideways movements of the soil in front of the tillage equipment.

6. The author has established that the values of soil resistance vary between $(24 - 37) \times 100$ kPa in the case of forest soils. For the areas tilled with a soil tiller with rotating knives this value ranges between $(12 - 20) \times 100$ kPa.

7. As the result of field experiments it has been concluded that the maximum torque of the BPG-600 type soil tiller is 950 Nm, while the average torque is 300 – 400 Nm. For the BMP-900 type machine the maximum torque is 1250 Nm.

8. During the kinematic analysis of the soil tiller with rotating knives the width of the cut soil sections, as well as the waviness of the bottom of the furrows and the force acting on the hoes has been determined and evaluated.

9. A novel simulation method has been implemented which is applicable not only for the modeling of static tools, but also of rotating tools. This method will provide an adequate basis for the numerical analysis of other rotating tools in the future.

Using the combined FEM/SPH simulation method the horizontal force acting upon the rotating tool has been determined as a function of time with two different speeds of the tractor. Using the functions fitted on the simulation results the author has calculated the maximum and the average values of horizontal force. Moreover, the distribution of the normal tension in the soil has also been determined.

5. THE AUTHOR'S PUBLICATIONS CONCERNING THE DISSERTATION

5.1 Books, chapters in books

Horváth B. - Major T. (2003): Erdősítés speciális gépei. In. Horváth B. szerk. (2003): Erdészeti gépek. Szaktudás Kiadó ház, Budapest. 221-271. p. ISBN 963 9422 76 2.

Horváth B. - Major T. (2003): Az erdőművelés gépei. In. Szendrő P. szerk. (2003): Géptan. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 673-681. p. ISBN 963 286 021 7.

5.2 Scientific publications

Major T. (1999): ETS-2 erdészeti sorközművelő tárcsa. Gépesítési információ, 14. Soproni Egyetem, Sopron. 20 p.

Dózsa G. - Major T. (2000): Tuskózás és teljes talaj-előkészítés nélküli környezet- és energiakímélő pásztás talaj-előkészítésen alapuló természetes és mesterséges erdőfelújítás. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás témáinak összefoglalói, Gödöllő. 23.

Major T. - Horváth B. (2000): A számítógépes modellezés lehetőségei az erdészeti gépesítés fejlesztésében. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás témáinak összefoglalói, Gödöllő. 54.

Dózsa G. - Major T. (2000): Tuskózás és teljes talaj-előkészítés nélküli környezet- és energiakímélő pásztás talaj-előkészítésen alapuló természetes és mesterséges erdőfelújítás. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozásának kiadványa, Gödöllő. 1:305-308.

Major T. - Horváth B. (2000): A számítógépes modellezés lehetőségei az erdészeti gépesítés fejlesztésében. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozásának kiadványa, Gödöllő. 3:146-149.

Major T. (2000): A talaj-előkészítés gépesítésének fejlesztése a talaj-gép kapcsolatának modellezésével. Az Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap 1998-1999, Baja - Kecskemét - Sopron. 182-185.

Major T. - Horváth B. (2000): Application of computer aided modelling in development research of forest mechanization. Hungarian Agricultural Engineering. Nr. 13. 76-77.

Czupy I. - Horváth B. - Major T. (2000): Hazai gyártású erdészeti gépek. Gépesítési információ, 15. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron. 96 p.

- Major T. - Horváth B.** (2001): A gyökérzet hatása a talajjellenállásra. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás témáinak összefoglalói, Gödöllő. Nr. 25:51.
- Major T. - Horváth B.** (2001): A gyökérzet hatása a talajjellenállásra. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozásának kiadványa, Gödöllő. 3:208-211.
- Major T. - Horváth B.** (2001): The Influence of Root System on Soil Resistance. Hungarian Agricultural Engineering. Gödöllő. 14:59-60.
- Horváth B. - Major T.** (2001): Analyse der Bodenbearbeitungswerkzeuge für Klotzflächen. Trendy Lesníckej, Drevárskej a Environmentálnej Techniky a Jej Aplikácie Vo Vyrobnom Procese, Zvolen. 293-299.
- Horváth B. - Major T.** (2002): Die Entwicklung der Bodenbearbeitungswerzeuge. Tagungsbericht Treffen der „Sektion Forsttechnik“ des Verbandes Deutscher Fortlicher Versuchsanstalten, Sopron. 155-160.
- Horváth B. - Major T.** (2002): Talajművelő szerszámfejlesztések tuskós területekre. Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap kiadványa. Gyula. 112-119.
- Major T. - Horváth B.** (2003): Erdészeti talajok gépesítést befolyásoló jellemzői. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás témáinak összefoglalói, Gödöllő. Nr. 27:60.
- Major T. - Horváth B.** (2003): Erdészeti talajok gépesítést befolyásoló jellemzői. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozásának kiadványa, Gödöllő. 3. kötet: 120-124.
- Major T.** (2003): Erdészeti talajművelő szerszámok fejlesztése. Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap kiadványa. Kecskemét. 99-107.
- Horváth B. - Major T.** (2004): Erdészeti talajművelő szerszámok elemzése. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozásának kiadványa, Gödöllő. 4:323-326.
- Horváth B. - Major T.** (2004): Erdészeti talajelőkészítő gépek fejlesztése. XXX. Óvári Tudományos Napok témáinak összefoglalói, Mosonmagyaróvár. 146.
- Horváth B. - Major T.** (2004): Erdészeti talajelőkészítő gépek fejlesztése. XXX. Óvári Tudományos Napok CD kiadványa, Mosonmagyaróvár.
- Major T.** (2006): Talaj-előkészítés gépesítésének fejlesztése az erdőgazdálkodásban. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás témáinak összefoglalói, Gödöllő. Nr. 30:73.
- Major T.** (2006): Talaj-előkészítés gépesítésének fejlesztése az erdőgazdálkodásban. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozásának kiadványa, Gödöllő. 3:74-78.

- Major T.** (2007): Tuskós területek talaj-előkészítő gépei. Mezőgazdasági Technika, XLVIII. évf. 2:5-7.
- Major T.** (2007): Tuskós területek talaj-előkészítésének gépesítési helyzete, fejlesztési lehetőségei. Erdészeti Lapok, CXLII. évf. 2:43-44.
- Major T.** (2007): Talajok gépesítést befolyásoló jellemzőinek vizsgálata. Erdészeti Tudományos Konferencia a szekcióülések előadásainak és posztereinek kivonata. Sopron. 11. p.
- Major T.** (2007): Talajok gépesítést befolyásoló jellemzőinek vizsgálata. Erdészeti, Környezettudományi, Természetvédelmi és Vadgazdálkodási Tudományos Konferencia kiadványa, Sopron. 116-117.
- Major T.** (2008): Erdészeti talajok talajfizikai jellemzőinek meghatározása. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás témáinak összefoglalói, Gödöllő. Nr. 32:66.
- Major T.** (2008): Erdészeti talajok talajfizikai jellemzőinek meghatározása. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozásának kiadványa, Gödöllő.
- Major T.** (2009): Forgó késrendszerű talajművelő szerszámok elemzése. Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Napjának kiadványa. Nyíradony-Gúthpuszta. 83-88.
- Major T.** (2009): Talaj-gép kapcsolat modellezése. Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar. Kari Tudományos Konferencia a konferencia előadásainak és posztereinek kivonata. Sopron. 25. p.
- Major T.** (2009): Talaj-gép kapcsolat modellezése. Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar. Kari Tudományos Konferencia kiadványa. Sopron. 67-71.
- Major T.** (2011): Talajjellenállás értékek változása erdővel borított területeken. Tudományos Tanácskozás Dr. h.c. Dr. Sitkei György professzor, akadémikus 80. születésnapja alkalmából. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron. 78-81. ISBN:978-963-334-007-3.
- Major T.** (2011): Defining Physical Properties of the Soil that Influence Mechanization in Forests. Hungarian Agricultural Engineering. Gödöllő. 23:9-12.
- Major T. - Szakálosné Mátyás K. - Horváth A. L.** (2012): A gépesítést befolyásoló talajjellenállás meghatározása erdővel borított területen "3T SYSTEM" rétegindikátorral. Erdészettudományi Közlemények 2. évf. 1:123-134.
- Major T.** (2013): Talajművelő szerszám végeelem modellezése. Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Napjának kiadványa. Lakitelek. 106-109.
- Major T.** (2013): Talajművelő szerszám numerikus analízise. Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar. Kari Tudományos Konferencia a konferencia előadásainak és posztereinek kivonata. Sopron. 139. p.

Major T. (2013): Talajművelő szerszám numerikus analízise. Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar. Kari Tudományos Konferencia kiadványa. (Megjelenés alatt).

5.3 Scientific lectures

Dózsa G. - Major T. (2000): Tuskózás és teljes talaj-előkészítés nélküli környezet- és energiakímélő pásztás talaj-előkészítésen alapuló természetes és mesterséges erdőfelújítás. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás. Gödöllő, 2000. január 18-19.

Horváth B. - Major T. (2001): Analyse der Bodenbearbeitungswerkzeuge für Klotzflächen. Trendy Lesníckej, Drevárskej a Environmentálnej Techniky a Jej Aplikácie Vo Vyrobnom Procese, Zvolen, 2001. november 4-6.

Horváth B. - Major T. (2002): Die Entwicklung der Bodenbearbeitungswerzeuge. Treffen der „Sektion Forsttechnik“ des Verbandes Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten, Sopron, 2002. március 6-8.

Horváth B. - Major T. (2002): Talajművelő szerszámfejlesztések tuskós területekre. Az Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatónapja, Gyula, 2002. ápr. 18.

Horváth B. - Major T. (2004): Erdészeti talajelőkészítő gépek fejlesztése. XXX. Óvári Tudományos Napok, Mosonmagyaróvár 2004. október 7.

Major T. (2007): Talajok gépesítést befolyásoló jellemzőinek vizsgálata. Erdészeti, Környezettudományi, Természetvédelmi és Vadgazdálkodási Tudományos Konferencia, Sopron, 2007. december 11.

5.4 Poster presentations

Major T. - Horváth B. (2000): A számítógépes modellezés lehetőségei az erdészeti gépesítés fejlesztésében. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2000. január 18-19.

Major T. - Horváth B. (2001): A gyökérzet hatása a talajjellenállásra. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2001. január 23-24.

Major T. - Horváth B. (2003): Erdészeti talajok gépesítést befolyásoló jellemzői. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2003. január 21-22.

Horváth B. - Major T. (2004): Erdészeti talajművelő szerszámok elemzése. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2004. január 20-21.

- Major T.** (2006): Talaj-előkészítés gépesítésének fejlesztése az erdőgazdálkodásban. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2006. január 24.
- Major T.** (2008): Erdészeti talajok talajfizikai jellemzőinek meghatározása. MTA Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2008. január 22.
- Major T.** (2009): Talaj-gép kapcsolat modellezése. Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar. Kari Tudományos Konferencia, Sopron, 2009. október 12.
- Major T.** (2013): Talajművelő szerszám végeselem modellezése. Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Napja, Lakitelek, 2013. november 15.
- Major T.** (2013): Talajművelő szerszám numerikus analízise. Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar. Kari Tudományos Konferencia, Sopron, 2013. december 10.