

ERDÉSZETI GÉPPEL TÖRTÉNŐ FAANYAGMOZGATÁS HATÁSA A TALAJTÖMÖRÖDÉSRE BABAT-VÖLGYBEN

FICSOR Csilla¹, CENTERI Csaba¹, KÓNYA Laura¹, GÖNYE Zsuzsanna¹,
MALATINSZKY Ákos¹, BIRÓ Zsolt²

¹Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Természetvédelmi és Tájgazdálkodási Intézet, ²Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Vadvilág Megőrzési Intézet
2100 Gödöllő, Páter K. u. 1., e-mail: csilla.ficsor@gmail.com

Kulcsszavak: közelítés, erdőgazdálkodás, talajtömörödés, talajnedvesség, erdészeti gépek

Összefoglalás: Az erdészeti faanyagmozgatás akár hosszútávon is maradandó károkat okozhat a fakitermeléssel érintett talajok minőségében. Kutatásunk során a faanyag kiszállítását végző gép talajtömörödéssé gyakorolt hatását vizsgáltuk, összesen 7 db, a közelítőnyomon elhelyezett 2×2 m-es kvadrátban, a Gödöllői Dombvidéken belül a Babat-völgyben, a Gudra-oldalban. A közelítőnyomon belül a keréknyomban és a tengelyközben mértük fel a talajellenállás és a -nedvesség értékét, 0–40 cm között 10 cm-ként. Az erdészeti gép által kialakított keréknyomban a talajréteg 0–30 cm közötti mélységben erősen tömörödöttnek (3,12–3,86 MPa) minősült. Ezzel szemben a tengelyközben a talajellenállás legnagyobb mediánja is csak 1,728 MPa ($p < 0,05$), ami kellően lazult talajállapotnak tekinthető.

Bevezetés

A talajszerkezet leromlása és a talajtömörödés globális szinten az egyik leggyakoribb és a legsúlyosabb károkat eredményező, a talaj fizikai állapotát veszélyeztető degradációs folyamat. Magyarország talajainak közel 35%-a kifejezetten érzékeny a tömörödéssel szemben (Várallyay 2005). Hakansson és Voorhees (1997) szerint mechanikai stressz hatására a talaj háromfázisú rendszeréből a levegő egy része kiszorul, és a talaj térfogata csökken, ami tömörödött talajt eredményez. Ezt a sok szempontból kedvezőtlen talajállapotot a természeti tényezők mellett antropogén hatások is előidézhetik (Birkás et al. 2017, Dekemati et al. 2017), továbbá a tömörödés mértéke függ az adott talaj típusától, mechanikai összetételétől, a cementáló anyagoktól és az alkalmazott agrotechnikai módszerektől is (Lipiec et al. 2003, Gómez 2017).

A most bemutatott kutatás egy erdei közelítés helyszínén zajlott. Közelítésnek azt a folyamatot nevezzük, amikor a kitermelt faanyagot a kivágás helyétől olyan helyre szállítják, ahol nagy, hatékony és gyors, közúti közlekedésre alkalmas gépekkel nagymennyiségben szállíthatóvá válik (Keresztes ex verb. 2016). A közelítés végrehajtása során a fennmaradó állományra, az újulatra és a talajra fokozott figyelmet kell fordítani (Firbás 1996). A tömörödöttséget okozó, nagy teljesítményű, nagy tömegű erő- és munkagépek a talajfelszín irányából a mélyebb rétegekre (40–60 cm-ig) is hatással vannak (Birkás et al. 2006). A tömörödöttség térbeli és időbeli kiterjedését, valamint mértékét az erdőgazdálkodás folyamán számos tényező befolyásolhatja:

- talajtani tulajdonságok (szemcseösszetétel, talajnedvesség a fakitermelés idejében és azt megelőzően, szervesanyag-tartalom, talajszerkezet, fizikai féleség, alapközet, szemcsefrakció-összetétel és a pórusméret-eloszlás),
- a közelítő eszköz (súlya, mérete, abroncsok mérete és a levegő nyomása, a fordulók száma és a rakodás időhossza),
- a közelítőnyom körülményei (lejtőszög, a közelítés iránya és a fadöntés módja),
- az erdőállomány jellemzői (az állomány szerkezete, sűrűsége, fajösszetétel és életforma),
- a fakitermelés módszere,

— a szakemberek munkatapasztalata, szakmai képzettsége (Jamshidi et al. 2008).

A legtöbb talajtömörődéssel foglalkozó kutatás a kultúrnövények, az esőerdők és a szántóföldek talajállapotát érinti (Godefroid és Koedam 2004). Az erdők alatt elhelyezkedő talajok sok szempontból különböznek a megművelt talajoktól (Fisher és Binkley 2000), a talajtömörödés és az erdei növényfajok kapcsolata kevésbé ismert (Lipiec és Hakansson 2000, McNabb et al. 2001). Az erdők biológiai diverzitásának védelme érdekében fontos a tömörödés hatásának ismerete, pl. többek között a gypszint fejlődésére nézve (Godefroid és Koedam 2004). A fakitermelési műveleteket érintő tudományos kutatások célkitűzései közé tartozik a fenntartható erdőgazdálkodást támogató eszközök és módszerek meghatározása (Jamshidi et al. 2008).

Az erdőtalajok fenntarthatósága veszélybe kerülhet, mivel a gépesített erdészeti munkafolyamatok talajszerkezet-romlást okoznak (Hutchings et al. 2002). Az erdőtalajok érzékenyek az erdészeti gépek okozta tömörödéssre. A talajszerkezetre a fakitermelés és a közelítés jelentős befolyással van, kimondottan azokon a területeken, ahol a gépek mozgása koncentrálnódik, mint például a közelítőnyomok és a rakodók közelében (Jamshidi et al. 2008).

A fakitermelés következtében fellépő talajtömörödés megváltoztatja a talaj szerkezetét és a vízgazdálkodását, növeli a térfogattömeget, szétbontja az aggregátumokat, csökkenti a levegőzöttség mértékét és a beszivárgás képességét, növeli az eróziót (Kozlowks 1999, Vossbrink és Horn 2004). A talajtömörödés problémaköre a jövő folyamán az erdészeti gépek tömegével egyenes arányosságban növekedhet (Langmaack et al 2002). Habár a tömörödés néhány növényfaj növekedésére nézve előnyt jelent, kedvezőtlen hatása sokkal gyakoribb. A jelentős talajtömörödés megváltoztatja a növényi stresszhormonok mennyiségét és arányát, valamint fiziológiai működési zavarokat okoz a növényekben (Kozlowski 1999).

Wilpert és Schäffer (2006) kimutatta, hogy a nehéz gépekkel való faanyagmozgatás súlyosan csökkentette a talaj levegőzöttségének mértékét, és ezzel együtt rontotta a gyökerek fejlődéséhez szükséges talajszerkezet minőségét. Az egész közelítőnyomon a levegőzöttség és a gyökerezés mértékének csökkenése volt tapasztalható. A levegőzöttség és a gyökérsűrűség a kitermeléskori talajállapothoz képest a keréknyom 4 cm alatti mélységében nem mutatott változást a faanyagmozgatást követő 14 évig. 24 évvel a fakitermelés után szignifikánsan kisebb gyökérsűrűség csak az 54 cm alatti talajrétegekre volt jellemző (Wilpert és Schäffer 2006).

Az erdő talajának erózió és tömörödés elleni védelmére az 2009. évi törvény, az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról 63.§-a is felhívja a figyelmet: „Az erdő talajának védelme érdekében az erdőgazdálkodó köteles az erdőfelújítás, az erdőnevelés, a fakitermelés, a faanyag mozgatása, valamint a feltáró úthálózat kiépítése során az erdő talajának erózió és tömörödés elleni védelméről gondoskodni” ([http1](http://www.erdofelujitas.hu/)).

Hosszútávon az erdészeti gépek mozgásának koncentrálnódása állandó, kiépített útvonalhálózatokon csökkentené a tömörödés területi kiterjedését (Wilpert és Schäffer 2006, Kosztko 2012, Vossbrink és Horn 2004), továbbá az igaerő használata mérsékelné a rövidfás fakitermelési módszer környezetre gyakorolt hatását. Az erdészeti gépek alternatívájaként állatokkal is lehet kisebb mennyiségű faanyagot, rövidtávon, sík területen mozgatni (Jamshidi et al. 2008). Relatív kevés tanulmány foglalkozik az igaerővel való közelítés talajtömörödésre gyakorolt hatásával (Wang 1997, 1999). Shrestha et al. (2008) alapján a lovas/öszvéres közelítés folyamán a mélyen bolygatott talajfelszín is csak 5 vagy annál kisebb százalékot tett ki a közelítéssel érintett területeken. A fakitermelés helyszínének több mint 90%-a vagy érintetlen maradt, vagy csak csekély mértékben lett bolygatott (Shrestha et al. 2008). Jamshidi et al. (2008) kimutatta, hogy az átlagos térfogattömeg az erdészeti gép keréknyomában szignifikánsan nagyobb volt, mint a közelítőnyomon kívül eső területeké. Az átlagos térfogattömeg az állatokkal kialakított közelítőnyomon nem mutatott szignifikáns növekedést.

A hagyományos fakitermelési folyamatok – beleértve az állatokkal való közelítést – kiértékeléséhez több információra van szükség (Jamshidi et al. 2008).

A tömődöttség helyszíni vizsgálatának egyik leggyakoribb és legcélszerűbb módszere a talaj mechanikai ellenállásának (röviden: talajellenállás) mérése, amelyet penetrométerrel végeznek (Szöllösi 2003). A talajellenállás, azt az erőt jelenti (a gyakorlatban MPa használatos), amelyet a függőlegesen behatoló 60°-os kúpszögű penetrométer szondacsúcsával szemben fejt ki a talajréteg (Búzás 1993). A talajellenállást legfőképpen a talaj aktuális nedvességtartalma befolyásolja. Ezért a talajellenállást és a nedvességtartalmat mindig egyszerre, azonos időpontban kell vizsgálni (Rátonyi 1999). A nedvességtartalom növekedésével együtt a talajtömörödéssel való hajlam is növekszik (Birkás et al., 1996). 1,5–2,5 MPa talajellenállás esetében kedvező tömörségi fokról beszélhetünk, ha azonban ez az érték 3,0 MPa vagy annál nagyobb, akkor a talajréteg erősen tömörödöttnek minősül (Birkás 2010, Sinnott et al. 2008). Ebből arra következtetünk, hogy a 2,5–3,0 MPa között átmeneti állapotról van szó.

A kutatás célkitűzései közé tartozik a gépi közelítés talajtömörödéssel gyakorolt hatásának felmérése, megkülönböztetve a gumibroncs által kialakított keréknyomot a tengelyköztől, valamint a jelenlegi módszertan továbbfejlesztési lehetőségeinek meghatározása.

Anyag és módszer

A vizsgálatot a Gödöllői Erdészet működési körzetén belül, a Babat-völgy enyhén lejtős, fakitermeléssel érintett területén, a Gudra-oldalban végeztük 2017 májusában. A mérések aktualitását az adta, hogy az erdőben gyéritésre kijelölt fák kivágása és elszállítása 2016/2017 telén megtörtént.

A Gödöllői-dombság az Északi-középhegység, azon belül a Gödöllő-Irsai dombvidék része. A dombság tengeri-üledék alapzatára (pannóniai homok, homokkő, homokos márga) nagy területeken és vastagságban folyami eredetű durva homok rakódott le. A pleisztocénben homok és lösz (legtöbb területen homokkal elegyedve) települt a területre. A térszín kialakításában jelentős szerepe volt az erózióknak, a deflációnak és az antropogén hatásoknak. A tájra lényegében két alapkőzet jellemző: a homok és a lösz (különböző mértékben homokkal keveredve). A legjellemzőbb talajtípusok: a rozsdabarna erdőtalaj, a Ramann-féle barnaföld, az agyagbemosódásos barna erdőtalaj, a karbonátos futóhomok és a karbonátos földes vázta (Dövényi et al. 2010). A fakitermeléssel és a kutatással érintett erdőállomány talajának textúrája homok, amelynek ismerete elengedhetetlen a talajnedvesség-mérő beállításához. A vizsgálati terület a pannon vegetációrégióhoz tartozik (Fekete et al. 2017).

A területen található gépi közelítőnyom (1. ábra) átlagos szélessége 2,6 méter volt. A reprezentálható mérésekhez a közelítőnyom két szélén 0,3 m szélességű pufferzónát alakítottunk ki (2. ábra). A pufferzóna a keréknyom azon két szélső sávja, amelyet a géppel szemmel láthatóan csak ritkán érintettek, mivel a közelítőnyom és a lábon álló állomány találkozását fedi le, ezért a gép tömörítő hatása az általunk kijelölt és felvételezett jobb és bal oldali keréknyomokban koncentráltabb. A megmaradt faállomány miatt a pufferzónán túl pedig a gépekkel már nem volt lehetséges a közlekedés. A vizsgált kvadrátunk végleges mérete így 2×2 m lett. Összesen 7 db kvadrátban mértük fel a talajtömörödéssel és -nedvesség értékét 0–40 cm között. A kvadrátokat egymás mellett jelöltük ki folyatólágyon, 14 méter hosszú közelítőnyomot vizsgálva. Az első kvadrátot ott helyeztük el, ahol a közelben lévő betonúttól kellő távolság adódott a koncentráltabb, bolygatottabb terület elkerülése érdekében. Ez a 14 méter hosszú közelítőnyom sík területet fedett le, azonban az erdészeti munkálatok során a keréknyomok jelentős mikrodomborzati különbségeket eredményeztek. A kvadrátok

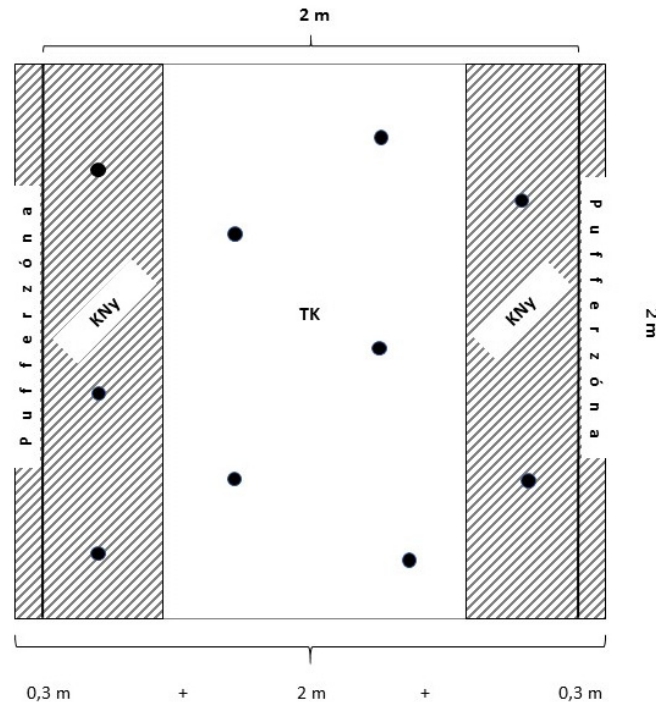
kijelölését addig tartottuk célszerűnek – a fent említett okok miatt –, amíg egy korábbi forduló, illetve rakodó közelségébe nem értünk.

A talajréteg ellenállását mindig egy adott 10 cm-es rétegben vizsgáltuk, tehát a 0–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm és 30–40 cm között. A talajnedvesség mérő műszerrel viszont mindig egy adott mélységben lévő pontnak a nedvességtartalmát mértük 10 cm-ként, így a 10. cm, a 20. cm, a 30. cm és a 40. cm-nél. A terepi mérések során megkülönböztettük a közelítőnyomot kialakító keréknyomot a tengelyköztől. (Mivel gépi közelítésről van szó, egy erózióra nagyon érzékeny területen, a keréknyomot még hónapokkal később is könnyen fel lehetett ismerni.) Egy kvadráton belül 10 db pontban (5-5 db pont keréknyomban és tengelyközben) vettük fel az adatokat, ha a talajállapot engedte, mind a négy különböző mélységben. A keréknyomban a pontokat aszerint jelöltük ki, hogy a keréknyom hosszanti tengelyén helyezkedjenek el, biztosítva az összes forduló behatásának felmérését. A keréknyomban elhelyezett 5 pont felosztása váltakozva került a jobb és a bal oldali keréknyomba. A tengelyközben mért 5 pont tetszőleges kijelöléssel került kiválasztásra, az előforduló fáktól, tuskóktól lehető legtávolabb - hiszen gyökérrendszerük befolyással van a talajellenállásra (Major et al. 2012) -, de még kvadráton belül.



1. ábra A vizsgált közelítőnyom egy része (2017 okt.)

Figure 1. a part of the examined skidding trail (Oct 2017)



2. ábra Egy 2×2 m-es kvadrát elhelyezkedése – az 5-5 elhelyezett felvételi ponttal – a 2,6 m széles közelítőnyomon (KNy: keréknyom, TK: tengelyköz)

Figure 2. 2×2 m quadrat with the 5-5 points examined on the 2.6 m wide skidding trail (KNy: wheel track, TK: between the wheel tracks)

Optimális esetekben egy kvadráton belül a talajellenállást és a talajnedvességet összesen 80 pontban tudtuk megmérni. Ez összesen maximum 280-280 adatot jelent, amelyet az átlagok és a szórások kiszámításával értékeltünk ki.

A talajnedvesség méréshez hordozható, homok-, vályog-, agyagtalaj nedvességének terepen történő meghatározására alkalmas digitális kijelzővel rendelkező, a Kapacitív KKT. által gyártott PT-1 típusú műszert használtuk. A műszer a talaj elektromos vezető képessége alapján méri a talaj nedvességtartalmát, 2–40 tömeg% közti tartományban. A talajellenállás mérése a gyakorlatban elterjedt, 60° kúpszögű, statikus penetrométerrel történt (Uowicz and Lipiec 2009, Yu and Mitchell 1998, Birkás 2010), amely egy adott talajréteg maximum értékét mutatja. A talajellenállás mértékét ez a műszer lbf-ben fejezi ki, az átváltás értéke: 1 lbf = 0,048 MPa (Birkás 2010).

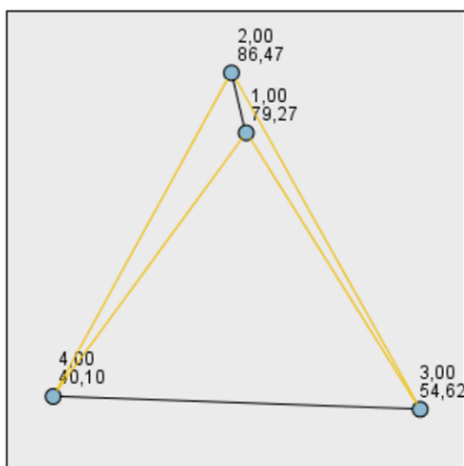
Az adatokat az SPSS 20.0 statisztikai szoftverrel értékeltük ki. Az adatok normál eloszlásának meglétét Kolmogorov-Smirnov teszttel ellenőriztük. Ott, ahol az adatsorok nem normál eloszlást követtek, nemparaméteres Kruskal-Wallis tesztet végeztünk a varianciaanalízis helyett. A keréknyom és a tengelyköz értékeinek összehasonlítására nem normál eloszlás esetén nemparaméteres tesztet, Mann-Whitney U-tesztet alkalmaztunk. Normál eloszlású adatsorok összehasonlításánál kétmintás független t-tesztet végeztünk. Ha a két csoport varianciája szignifikánsan különbözött egymástól - a Levene teszt alapján -, akkor a t-teszt módosított változatát a Welsh tesztet használtuk, ellenkező esetben a kétmintás független t-próbának az alapváltozatát. A talajellenállás és a talajnedvesség kapcsolatát először a keréknyomban vizsgáltuk. Ott, ahol az adatok nem normál eloszlást mutattak, Spearman rangkorrelációt végeztünk.

Eredmények és megvitatásuk

A talajellenállás vizsgálata

A kapott talajellenállás adatokat mélységük (0–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm, 30–40 cm) és a közelítőnyomon való elhelyezkedésük (keréknyom, illetve tengelyköz) alapján elemeztük.

A keréknyomban a Kruskal-Wallis teszt alapján a legnagyobb talajellenállása a felső két rétegnek van, azok szignifikánsan eltérnek az alsó két rétegtől ($KW=31,532$; $df=3$; $p<0,05$). A keréknyomban a felső két réteg talajellenállása szignifikánsan nem különbözik egymástól, ahogyan az alsó két réteg sem tér el egymástól (3. ábra). Ha a mediánokat vizsgáljuk, akkor a legnagyobb talajellenállást (3,84 MPa) a legfelső talajréteg mutatja, viszont ez szignifikánsan nem tér el a második talajréteg értékétől (3,648 MPa; $p<0,05$). Minél lentebbi talajréteget vizsgáltunk, annál kisebb mediánt kaptunk, tehát a mélység és a talajellenállás egymással fordított arányosságban áll. A talajellenállás legkisebb mediánjával (2,592 MPa) a legalsó réteg rendelkezik, de ez szignifikánsan nem különbözik a harmadik rétegtől (3,264 MPa; $p<0,05$). A felső három réteg keréknyomban mért mediánjai (3,84 MPa, 3,648 MPa és 3,264 MPa) meghaladják a 3,00 MPa határértéket (Birkás 2010), emiatt a talaj 0–30 cm-es mélységben erősen tömörödöttnek minősül, azonban a 20-30 cm-es talajréteg szignifikánsan eltér a felső két rétegtől. A legalsó réteg – medián értéke 2,592 MPa – átmenetet képez a kellően lazult és a tömörödött talajállapot között, viszont szignifikánsan nem tér el a fölötte levő, tömörödöttnek minősülő talajrétegtől. Itt fontos megjegyezni, hogy ez a skála szántóföldi mezőgazdálkodással érintett talajokra vonatkozik, az erdőgazdálkodás hatását mérő, erdőtalajokhoz kapcsolódó skála még nem készült el, vagy általunk nem ismert. Azonban ezt a skálát alkalmazza Rásó et al. (2015) akác és nemesnyár ültetvényeket érintő talajtömörödés eredményeinek a kiértékeléséhez (<http2>).



3. ábra A vizsgált talajrétegek keréknyomban mért talajellenállás értékeinek különbsége
Jelmagyarázat: 1,00: 0-10 cm, 2,00: 10-20 cm, 3,00: 20-30 cm, 4,00: 30-40 cm mélységű talajréteg;
sárga vonal: szignifikáns különbség, fekete vonal: nem mutatható ki szignifikáns különbség

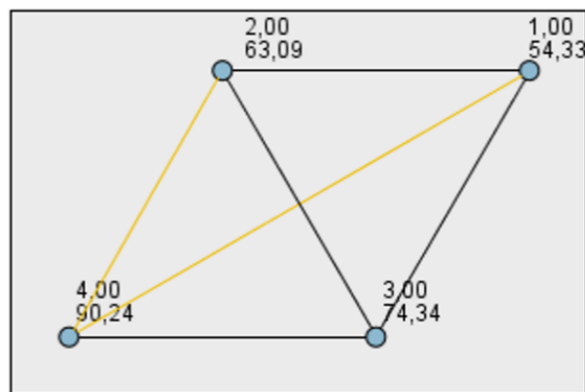
Figure 3. The differences of soil penetration between the examined soil layers

Legend: 1,00: 0-10 cm, 2,00: 10-20 cm, 3,00: 20-30 cm, 4,00: 30-40 cm soil layer;

A tengelyközben a Kruskal-Wallis teszt eredménye szerint a legalsó rétegben szignifikánsan magasabb a talajellenállás, mint a felső kettőben ($KW=15,427$; $df=3$; $p<0,05$). A legalsó réteg a 20–30 cm-es rétegtől nem különül el szignifikánsan, ahogy a felső két réteg sem különül el szignifikánsan ettől a rétegtől, így ez egy átfedő kategóriát jelent a 0-20 cm és a 30-40 cm között (4. ábra). A tengelyközben mért mediánok közül is a legalsó réteg mutatja a legnagyobb talajellenállást (1,728 MPa), bár ez a réteg szignifikánsan nem tér el a

közvetlenül fölötté lévő rétegtől (1,536 MPa; $p < 0,05$). A mediánok beleesnek a 1–2,5 MPa tartományba (Birkás 2010), tehát a tengelyközben 0-40 cm-es rétegben kellően lazult, kedvező talajról beszélhetünk. A tengelyközben mért talajellenállás medián értékei – ellentétben a keréknyomban mért talajellenállás medián értékeivel – egyenes arányosságban állnak a talajréteg mélységével, azaz minél mélyebb réteget vizsgáltunk, annál nagyobb volt az ellenállás mediánja.

Összességében tehát a keréknyomban a legnagyobb talajellenállást a felső két réteg mutatja, amelyek erősen tömörödöttnek számítanak. Ezzel szemben a tengelyközben szignifikánsan magasabb talajellenállása a legalsó rétegnek volt a felső kettőhöz képest, amely kellően lazult talajállapotnak mondható. Tehát az erdészeti gép tömörítő hatása 40 cm mélységig is érvényesült, de legnagyobb mértékben a talajfelszínhez közelebbi rétegeket érintette.



4. ábra A vizsgált talajrétegek tengelyközben mért talajellenállás értékeinek különbsége
Jelmagyarázat: 1,00: 0-10 cm, 2,00: 10-20 cm, 3,00: 20-30 cm, 4,00: 30-40 cm mélységű talajréteg;
sárga vonal: szignifikáns különbség, fekete vonal: nem mutatható ki szignifikáns különbség

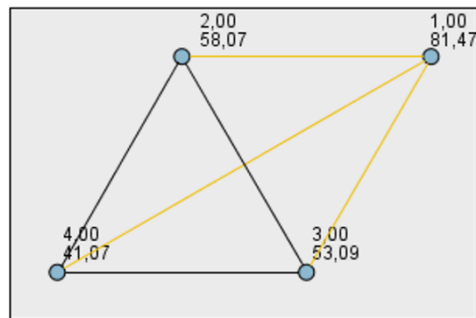
Figure 4. The differences of soil penetration between the examined soil layers
Legend: 1,00: 0-10 cm, 2,00: 10-20 cm, 3,00: 20-30 cm, 4,00: 30-40 cm soil layer;

Ezek után az egyes mélységek szerint vizsgáltuk meg, hogy a talajellenállás különbözik-e a keréknyomban és a tengelyközben. 0-10 cm-es rétegnél erősen szignifikáns különbség mutatható ki a két terület között. A keréknyomban szignifikánsan magasabb volt a talajellenállás, mint a tengelyközben ($U=19,5$; $p < 0,05$; $n_1=33$; $n_2=35$). A 10-20 cm-es rétegnél a két terület közötti különbség erősen szignifikáns volt ($t=15,411$; $df=52,857$; $p < 0,05$), ahogyan a 20-30 cm-es réteg esetében is ($t=11,712$; $df=55,863$; $p < 0,05$). 30-40 cm-en a kétmintás független t-próba alapváltozata alapján a két terület közötti különbség ebben az esetben is erősen szignifikáns volt ($t=4,051$; $df=64$; $p < 0,05$).

Tehát a talaj vizsgált, 0-40 cm-es rétegében a tengelyköz és a keréknyom talajellenállás értékei között erősen szignifikáns különbség mutatható ki, amely alátámasztja a gép talajszerkezetre gyakorolt káros, tömörítő hatását.

A talajnedvesség vizsgálata

A keréknyomban a Kruskal-Wallis teszt szerint a talajnedvesség értéke a talaj vizsgált, legfelső rétegében szignifikánsan magasabb, mint a másik három rétegben, és azok egymástól nem különböznek ($KW=22,522$; $df=3$; $p < 0,05$) (5. ábra).

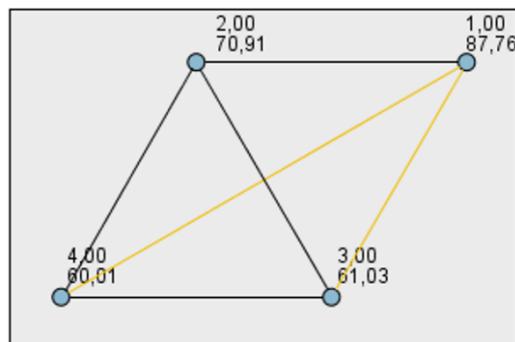


5. ábra A vizsgált talajrétegek keréknyomban mért talajnedvesség értékeinek különbsége
Jelmagyarázat: 1,00: 10 cm, 2,00: 20 cm, 3,00: 30 cm, 4,00: 40 cm mélységű talajréteg;
sárga vonal: szignifikáns különbség, fekete vonal: nem mutatható ki szignifikáns különbség

Figure 5. The differences of soil moisture between the examined soil layers

Legend: 1,00: 10 cm, 2,00: 20 cm, 3,00: 30 cm, 4,00: 40 cm soil layer;

A tengelyközben is a legfelső rétegben legmagasabb a talajnedvesség, ami szignifikánsan különbözik a legalsó két rétegtől ($KW=10,657$; $df=3$; $p<0,05$), de a 20 cm-en lévő talajnedvességtől nem. A 20 cm-es réteg egy átfedő kategóriát képvisel (6. ábra).



6. ábra A vizsgált talajrétegek tengelyközben mért talajnedvesség értékeinek különbsége
Jelmagyarázat: 1,00: 10 cm, 2,00: 20 cm, 3,00: 30 cm, 4,00: 40 cm mélységű talajréteg;
sárga vonal: szignifikáns különbség, fekete vonal: nem mutatható ki szignifikáns különbség

Figure 6. The differences of soil moisture between the examined soil layers

Legend: 1,00: 10 cm, 2,00: 20 cm, 3,00: 30 cm, 4,00: 40 cm soil layer;

A talajnedvesség tengelyközben és keréknyomban mért értékeit is összehasonlítottuk egymással. A kétmintás független t-teszt alapján 10 cm-en erősen szignifikáns az eltérés a két terület között ($t=4,942$; $df=66$; $p<0,05$). A keréknyomban 10 cm-en sokkal magasabb a talajnedvesség értéke, mint a tengelyközben. A keréknyomban 20 cm-en is szignifikánsan magasabb a talajnedvesség, mint a tengelyközben ($U=288,5$; $p<0,05$; $n_1=29$, $n_2=35$), ugyanez mondható el 30 cm-en is ($U=232,5$; $p<0,05$; $n_1=29$, $n_2=35$). 40 cm-en már nincs eltérés a két terület között ($U=331,5$; $p>0,05$; $n_1=27$, $n_2=34$).

Összességében mind a két területen a legmagasabb talajnedvességet 10 cm-en mértük, amely feltételez a mérés előtti csapadékos időszak meglétét.

A talajellenállás és a talajnedvesség kapcsolatának vizsgálata

A talajellenállás és a talajnedvesség kapcsolatát megvizsgáltuk a keréknyomban és a tengelyközben külön-külön, majd egybevetve. A keréknyomban a kettő között szignifikáns összefüggés nem volt kimutatható ($p<0,05$). A tengelyközben is elvégeztük hasonlóan a tesztet. Itt találtunk szignifikáns kapcsolatot ($p=0,012$), de a korrelációs együttható gyenge ($r_s=0,213$).

Az egyes mélységek szerint vizsgálva az összefüggést a két terület között megkaptuk, hogy a felső három pont esetében közepesen erős, szignifikáns kapcsolat van, ellentétben a legalsó ponttal. 10 cm-en közepesen erős a kapcsolat ($r_s=0,518$), ami erősen szignifikáns ($p<0,001$). 20 cm-en hasonló eredményt kaptunk ($r_s=0,434$; $p<0,001$). 30 cm-en szintén közepesen erős a kapcsolat ($r_s=0,497$) és erősen szignifikáns is ($p<0,001$). 40 cm-en viszont már nincs szignifikáns kapcsolat. Ha csak a keréknyomban vizsgáljuk az egyes rétegekben a talajellenállás és a talajnedvesség összefüggését, akkor mindegyik pontban a kettő között nem mutatható összefüggés. Tengelyközben 10 cm-en szintén nincs összefüggés a kettő között, 20 cm-en közepesen erős ($r_s=0,441$), szignifikáns ($p=0,008$) pozitív kapcsolat mutatható ki. 30 cm-en szintén közepesen erős ($r_s=0,397$), szignifikáns ($p=0,018$) pozitív kapcsolat van a talajellenállás és a talajnedvesség között, ahogyan ez a 40 cm-en is elmondható ($r_s=0,365$; $p=0,034$).

Az erdőgazdálkodási műveletek hatása

A hordalék szállításának korábbi lehordását a talajvédelmi beavatkozások sikerrel lassították, így a hordalék nagyobb része elterült az erdőben, nem jutott a kétéltű-hüllő átjáróba (Bolf et al. 2014). Ennek köszönhető, hogy a terelőárkokat farönkökkel kellett szintbe hozni, hogy a szállító járművek közlekedhessenek az erdő és a műút között (7. ábra).



7. ábra A fakitermelés erózióra gyakorolt hatása tavasszal még nem látszódott, a képen a békaterelő farönkökkel való feltöltése látszik, amely a gépek közlekedését tette lehetővé (2017 ápr., Fotó: Centeri Cs.)

Figure 7. The impact of timber extraction on the erosion was not visible in spring, but the frog's channel was barricaded with trunks, making the transport possible for the machinery (Apr 2017, Photo: Cs. Centeri)

Az erdészeti munkák során a szállító járművek áthaladtak a hordalékfogó gátakon, így azok hordalékfogása minimálisra csökkent vagy felgyorsult, a korábban már megfogott hordalék is elkezdett kimosódni a gátak mögötti területről. Ennek köszönhetően a hordalékból nagyobb mennyiség haladt tovább a völgy alján, azon a közelítőnyomon, ahol a gépek haladtak, és ott rakódott le (8. ábra).



8. ábra A hordalékszállítás a közelítőnyomban koncentráldott (2017 szept.)
 Figure 8. The sediment transport concentrated in the skidding trail (Sept 2017)

A hordalékszállításnak már semmi nem állja útját, sőt, a keréknyom egyenesen belevezeti a békaterelőbe, ami már fel is töltődött (9. ábra).



9. ábra A talaj lehordása a műútra, amelytől a vizsgált terület balra található (2017. szept)
 Figure 9. Extension of the erosion, the examined field is to the left side of the road (Sept 2017)

A lejtős területen végzett fakitermelés eróziós hatására jó példa ez a kisebb esettanulmány-terület. A 9. ábrán látható, hogy nem csak a békaterelő telt meg hordalékkal, de a hordalék beborította a műutat is. A gátak átszakításával, és a közelítőút kialakításával sikerült újból annyira megnövelni a hordalékszállítás ütemét, amely már a közlekedésbiztonságra is hatással van.

A munka folytatása

A magyar szakirodalomban nagyon kevés olyan tanulmány található, amely kimondottan az erdészeti gépek talajtömörítő hatásával és vizsgálatával foglalkozik. Angol nyelven több releváns szakirodalom (ld. Irodalom c. fejezet) lelhető fel, amelyek a tömörödés mértékének megállapításához erdőtalajokon leggyakrabban térfogattömeget és talajellenállást

vizsgálják. Sok szerző következtetése is alátámasztja a szakirodalom hiányosságát az erdőtalajokat érintő tömörítő hatások felmérésében (Lipiec és Hakansson 2000, McNabb et al 2001, Godefroid és Koedam 2004).

A kutatás első eredményeit mutattuk be. Nagyobb mintaszámmal és többszöri ismétléssel szükséges további vizsgálatokat is elvégezni, ahhoz, hogy megbízható és általános konzekvenciát lehessen levonni. Ajánlatos különböző lejtőszögek és talajtípusok esetében is elvégezni a terepi méréseket. A közelítés folyamatában pedig elengedhetetlenül fontos a fordulók számát és az adott közelítőnyomon kiszállított faanyag mennyiségét, illetve az időjárási körülményeket is rögzíteni.

Irodalom

- Birkás M. (szerk.) 2007: Földművelés és földhasználat. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Birkás M. 2010: Talajművelők zsebkönyve. Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 66–67.
- Birkás, M., Dekemati, I., Kende, Z., Pósa, B. 2017: Review of soil tillage history and new challenges in Hungary. *Hungarian Geographical Bulletin* 66(1): 55–64.
- Birkás M., Albrecht, L., Holló, S., Nyárai, H. F., Szalai, T., Percze, A. 1996: A tömörödöttség kialakulása a talajban és hatása a kukorica termésére és gyomosodására. *Környezet- és tájgazdálkodási füzetek*. II/1. 6172.
- Bolf, G. B., Szabó, J., Szabó, B., Czakó, B., Németh, A. 2014: Protection measures against gully erosion in the Gödöllő Hillside Landscape Protection District. *Proceedings of the 21st International Poster Day, Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System, Bratislava, 13.11.2014*, p. 24–37.
- Búzás I. 1993: Talaj és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 1. INDA 4231 Kiadó. Budapest
- Dekemati, I., Radics, Z., Kende, Z., Bogunovic, I., Birkás, M. 2017: Responses of maize (*Zea mays* L.) roots to soil condition in an extreme growing season, *Columella* 4(1): 27–34.
- Dövényi Z. (szerk.) 2010: Magyarország kistájainak katasztere, Második, átdolgozott és bővített kiadás, Magyar Tudományos Akadémia, Földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest
- Fekete G., Király G., Molnár Zs. 2017: A Pannon vegetációrégió lehatárolása. *Botanikai Közlemények* 104(1): 85–108.
- Fisher, R. F., Binkley, D. 2000: *Ecology and Management of Forest Soils*. Wiley, New York.
- Firbás, O. 1996: Erdőhasználat I., Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 260 p., 109.p.
- Godefroid, S., Koedam, N. 2004: Interspecific variation in soil compaction sensitivity among forest floor species. *Biological Conservation*, 119: 207–217.
- Gómez, J.A. 2017: Sustainability using cover crops in Mediterranean tree crops, olives and vines – Challenges and current knowledge. *Hungarian Geographical Bulletin* 66(1): 13–28.
- Hakansson, L., Voorhees, W. B. 1997: Soil compaction. In: *Methods for assessment of soil degradation*. CRC Press. New York. 167–179.
- Hutchings, T. R., Moffat, A. J., French, C. J. 2002: Soil compaction under timber harvesting machinery: a preliminary report on the role of brush mats in its prevention. *Soil Use and Management* 18. 34–38.
- Jamshidi, R., Jaeger, D., Raafatnia, N., Tabari, M. 2008: Influence of Two Ground-Based Skidding Systems on Soil Compaction Under Different Slope and Gradient Conditions. *International Journal of Forest Engineering* 19(1): 9–16.
- Keresztes Gy. ex verb. 2016: Kíméletes és környezetkímélő erdészeti faanyagmozgatás. NAIK MGI Traktorkiállítás, Gödöllő, 2016. nov. 9.
- Kosztka, M. 2012: Erdészeti útépités: Erdészeti utak tervezése. Egyetemi tankönyv. Országos Erdészeti Egyesület, Budapest. pp. 319
- Kozłowski, T. T. 1999: Soil compaction and growth of woody plants. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 14: 596–619.
- Langmaack, M., Schrader, S., Rapp-Bernhardt, U., Kotzke, K. 2002: Soil structure rehabilitation of arable soil degraded by compaction. *Geoderma* 105. 141–152.
- Lipiec, J., Hakansson, I. 2000: Influences of degree of compactness and matric water tension on some important plant growth factors. *Soil and Tillage Research* 53: 87–94.
- Lipiec, J., Arvidsson, J., Murer, E. 2003: Review of modeling crop growth, movement of water and chemicals in relations to topsoil and subsoil compaction. *Soil and Tillage Research* 73. 15–29.
- Major T., Szakálosné Mátyás K., Horváth A. L. (2012): A gépesítést befolyásoló talajjellenállás meghatározása erdővel borított területen „3T System” rétegindikátorral. *Erdészettudományi Közlemények* 2 (1): 123–134.

- McNabb D.H., Startsev A.D., Nguyen H. 2001: Soil wetness and traffic level effects on bulk density and air-filled porosity of compacted boreal forest soils. *Soil Science Society of America Journal*. 65:1238–1247.
- Usowicz B., Lipiec J. 2009: Spatial distribution of soil penetration resistance as affected by soil compaction: the fractal approach. *Ecol Complex* 6:263–271.
- Rátonyi T. 1999: A talaj fizikai állapotának penetrométeres vizsgálata talajművelési tartam kísérletben. Doktori (Ph.D) Értekezés. Debrecen
- Shrestha S. P., Lanford B. L., Rummer R., Dubois M. 2008: Soil Disturbances from Horse/Mule Logging Operations Coupled with Machines in the Southern United States. *International Journal of Forest Engineering* 19(1): 17–23.
- Sinnott D., Morgan G., Williams M., Hutchings T. 2008: Soil penetration resistance and tree root development. *Soil Use Manage* 24. 273–280.
- SPSS 20.0, IBM SPSS Statistics
- Szóllósi I. 2003: Talajok tömörödöttségi állapotának jellemzése penetrométeres vizsgálatokkal. Doktori (Ph.D) Értekezés. Debrecen
- Várallyay Gy. 2005: Talajvédelmi Stratégia az EU-ban és Magyarországon. *Agrokémia és Talajtan*, 54. (1–2) 203–216.
- Vossbrink J., Horn R. 2004: Modern forestry vehicles and their impact on soil physical properties. *European Journal of Forest Research* 123: 259–267.
- Wang L. 1997: Assessment of animal skidding and ground machine skidding under mountain conditions. *Journal of Forest Engineering* 8(2): 57–64.
- Wang L. 1999: Environmentally sound timber extraction techniques for small tree harvesting. ASAE meeting presentation no. 995053. 6. p.
- Wilpert K., Schäffer J. 2006: Ecological effects of soil compaction and initial recovery dynamics: a preliminary study. *European Journal of Forest Research* 125: 129–138.
- Yu H., Mitchell J. 1998: Analysis of cone resistance: review of methods. *J Geotech Geoenviron* 124. 140–148.

http1: https://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0900037.TV (letöltve: 2018.02.01.)

http2: <http://erdo-mezo.hu/2015/01/02/talajtomorodottsag-meresere-alapozott-termohely-ertekeles-tapasztalatai-a-nyirseghen/> (letöltve: 2018.02.20.)

AFFECTS OF TIMBER LOGGING WITH FORESTRY MACHINES ON SOIL COMPACTION IN BABAT-VALLEY, HUNGARY

CS. FICSOR, CS. CENTERI, L. KÓNYA, ZS. GÖNYE, Á. MALATINSZKY, ZS. BIRÓ

Szent István University, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, Institute of Nature Conservation and Landscape Management
2100 Gödöllő, Páter K. u. 1., e-mail: csilla.ficsor@gmail.com

Keywords: skidding, logging, forestry, soil compaction, soil moisture, forestry machines

Forest operations such as skidding/logging cause long-term effects on the environment of the area affected by timber harvesting. Soil compaction and vegetation disturbance – mainly the saplings and the herbaceous plants - are the major concerns during forestry. We examined the impact of a forestry machine on the soil compaction along a skid trail. Altogether 7 quadrats were investigated, each had 2x2 meter extension. The soil penetration resistance and soil moisture were surveyed in the wheel track and between the tracks of the machine, separately in 4 different depths (0–10, 10–20, 20–30, 30–40 cm). Within each quadrats 10 points (5-5 respectively) were randomly selected and measured with a cone penetrometer and throughout electron conductivity of the soil. In the wheel track the soil was strongly compacted (3.85–3.14 MPa) between 0–40 cm. In the opposition of this the biggest penetration resistance was only 1.9 MPa between the tracks of the machine which means a proper soil structure.