

Összefüggés a művelés eredetű tömörödés és a klímakárok között

¹BIRKÁS MÁRTA-¹STINGLI ATTILA-²FARKAS CSILLA-¹BOTTLIK LÁSZLÓ

¹Szent István Egyetem, Gödöllő

²MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest

Összefoglalás

A szakszerűtlenség vagy kényszer folytán keletkezett talajtömörödés környezeti kár, amely a földek művelésbe vonása óta jelen van a talajokban. A címben jelzett témához a Szent István Egyetem Földműveléstani Tanszékén 33 éve tartó, 67 mikro körzetre kiterjedő talajállapot monitor részeredményeit, illetve tömörödéssel közepesen érzékeny csernozjom talajon, hét éve beállított talajminőség-klíma kísérlet eredményeit használtuk fel. A szántóföldi monitor nyomán megállapítottuk, hogy tömör réteg kialakulási helye a talaj fizikai féleségétől függetlenül volt káros, s minél közelebb helyezkedett el a felszínhez, annál több veszteséget okozott. A tömör réteg kialakulási helye, illetve kiterjedése, a talaj nedvességforgalmával összefüggésben klíma-indikátorként is használható. A talajminőség és klíma kísérletünkben, valamint a monitoring során végzett gyökerezési mélység vizsgálatok a tömörödési kár időbeni (növényállományban, tarlón) felismerésének fontosságát támasztják alá. Méréseink a növények művelési mélység igényéről alkotott klasszikus adatok megbízhatóságát nem igazolták. Kimutattuk, hogy a talajlazítás hátrányának tartott rögzösödés bizonyíthatóan az eke- és tárcsatalaj tömörödés következménye. A talajállapot, a nedvességtartalom és művelhetőség kapcsolatát vizsgálva megállapítottuk a tömörödés szántás minőség rontó hatását száraz és nedves viszonyok között egyaránt. Ellenben tömörödéstől mentes, üledett talajon a minőségromlást el lehetett kerülni.

Felhívjuk a figyelmet a klíma prognózisokban jelzett szélsőségekre, amelyek újra a tömörödési kár enyhítésére, a talaj vízbefogadó képességének fenntartására, irányítja a figyelmet. Tíz olyan művelési fogást dolgoztunk ki a tarlóállapottól a vetéssel záruló

időszakra, amelyek a tömörödés kockázata mellett a klímakár kockázatát csökkentik a növénytermesztésben.

Kulcsszavak: tömörödés, művelőtalp, talajminőség, lazultság, klíma indikátor

Interaction between tillage-induced soil compaction and climate damages

¹BIRKÁS, M.–¹STINGLI, A.–²FARKAS, CS.–¹BOTTLIK, L.

¹Szent István University, Gödöllő

²Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences (RISSAC), Budapest

Summary

Soil compaction is a sort of climate damage due to inefficiency or necessity, which is present in soils since the beginning of soil management. In this article the part results of soil condition monitoring of Szent István University Department of Soil Management, covering 67 micro regions in the last 33 years, as well as results of the soil quality-climate experiment set up 7 years ago, are published. The aim of soil condition monitoring is to determine the presence of harmful soil compaction down to the depth of 60 cm. If soil compaction occurs, the exact depth and extension of soil compaction are determined, either. Further task is to evaluate the impact of compaction on soil, environment and plants, especially under droughty and rainy seasons. The soil quality-climate experiment has been set up in the region of Hatvan, Northern-Hungary, on loamy Calcic Chernozem soil in 2002, in four replications. Six tillage variants have been applied, such as soil condition regenerating (loosening), soil condition conserving (cultivating), under unfavourable circumstances tillage-pan forming under 30 cm (ploughing), tillage-pan forming near to soil surface (disking), and low soil disturbance (no-till). The crop sequence is in favour of increasing organic matter content and protecting soil surface. During field monitoring it was determined that the place of compaction was harmful independent of soil texture, the nearer it was to soil surface the more damage was caused. The place and extension of compaction, in relation with soil humidity circulation can be used as climate indicator. The rooting depth investigations carried out in the soil

quality-climate experiment and results of field monitoring emphasize the importance of the early identification of compaction damage (in plant stand and stubble). Our measurements have not proved the reliability of the classical data concerning the needs of crops regarding tillage depth. It was stated that clodding (known as disadvantage of loosening) was provably the consequence of plough- and disc-pan. By investigating the relationship between soil condition, soil humidity content and workability, the deteriorating effect of compaction, affecting the quality of ploughing was proved. On the contrary, in compaction-free, settled soil, further soil quality deterioration can be avoided. The attention is drawn to the extremities forecasted in the climate prognoses that emphasize the alleviation of compaction damage and sustaining water infiltration capability of soils. Ten tillage methods have been developed for the period from stubble condition to seeding that decrease the risk of compaction and climate damage, either.

Key words: compaction, tillage pan, soil quality, looseness, climate indicator

Bevezetés és irodalmi áttekintés

A talajtömörödés természeti folyamatok és emberi tevékenység következménye. Ez utóbbi lehet tudatos, művelési, talajvédelmi célú, és jótékony, ekkor tömörítésről beszélünk. A szakszerűtlenség vagy kényszer folytán keletkezett tömörödés azonban környezeti kár. A földek művelésbe vonása óta mindkettő megtalálható a talajokban (*Soane és Van Ouwerkerk* 1994). A tömörödés kiterjedésére általában nem a mezőgazdálkodás szintje, hanem a talajvédelem megvalósulásának színvonala van befolyással. Térségünkben a gazdasági viszonyok romlása az 1990-es években a művelési kultúra visszaeséséhez, a tömörödött talajok területi növekedéséhez vezetett (*Birkás et al.* 2004). A talajvédelem kiterjesztésének a jelen gazdasági körülmények sem kedveznek, ugyanakkor az aszályos évek tanulságai valós érdeklődést keltenek a kár megelőzés és kárcsökkentés iránt (*Birkás et al.* 2008, *Birkás et al.* 2008, *Makó et al.* 2008). A tömörödés-kutatások kiszélesedését *Van den Akker et al.* (2003) 1980-tól kezeli. A Soil Tillage Research tudományos folyóirat tömörödés témájú különszáma 1994-ben széles kutatói körre támaszkodott (*Hakansson* 1994), s ugyanebben az évben *Soane és Van Ouwerkerk* (1994) gyűjteményes kötetet publikáltak. A fő tömörödés kutatási témák adott térségek problémáihoz kapcsolódnak. A korábbi és az újabb publikációk szerint Nyugat-Európában – az

első éveket leszámítva – a taposás eredetű tömörödés kutatása kiterjedtebb (*Grath 1996, Jones et al. 2003, Spoor et al. 2003, Van den Akker et al. 2003*), a Pannon térségben pedig a művelés eredetű tömörödést kutatják nagyobb számban (*Birkás et al. 2000, 2004, Filipovic et al. 2006, Jug et al. 2007, Tursic et al. 2008, Kisic 2008*). Európában két átfogó program keretében folytak al-talaj tömörödés kutatások, a FAIR (1998–2000) az akkori EU tagállamok kutatóiból szerveződött, az INCO-Copernicus (1999–2001) pedig 15 európai intézmény kutatóiból (*Van den Akker et al. 2003*). A klíma-növény-talaj-víz összefüggéseinek megállapítására modell, és szántóföldi kísérletek folytak. Értékes eredmények születtek a tömörödésnek talaj szerkezetére, vízforgalmára, élőlényekre, művelhetőségére, a trágyák érvényesülésére, a növényekre gyakorolt hatásait illetően. Kimutatták, hogy a tömörödés növénytermesztésre és környezetre gyakorolt hatása erőteljesen függ a klímától, ezért gyakran csak aszályos, illetve belvizes években lehet felfedni. A magyar kutatók – Gödöllőről, Budapestről, Debrecenből és Mosonmagyaróvárról – kísérleti és szántóföldi monitoring eredményekkel járultak hozzá az INCO-Copernicus programhoz (*Birkás és Szalai 2000, Birkás et al. 2000, Van den Akker et al. 2003*). A tömörödés talajra gyakorolt hatása, a kutatók szerint (pl. *Hakansson 1994, 2005, Horn et al. 2000*) a művelés energiaigényének növekedésében is kimutatható, a többlet ráfordítás a tömörödés okozta veszteséget növeli. Összefüggést találtak továbbá az eróziós talajvesztés mértéke és a művelőtalaj tömörödés kiterjedése között (*Gyuricza et al. 2007, Vona et al. 2007, Verbist et al. 2007, Malatinszky 2008, Mesic et al. 2008*). A növények reakcióját tekintve kézenfekvő a termés és a minőség csökkenés, emellett a fejlődésben visszamaradt növény a kártevőkkel, kórokozókkal és gyomokkal szemben is védtelenebb. Mint erre többen (*Sabo et al. 2007, Brocic et al. 2008, Kvaternjak et al. 2008, Juric et al. 2008, Pepó és Balogh 2008*) rámutatnak, a kényszerérés aszályos időszakban nem csak a tartós hőség, hanem a tömör talajra jellemző vízforgalmi zavarok következménye is.

A kutatások során jelentős eredmények születtek a talajtömörödés jellemzésére alkalmas paraméterek, valamint a közöttük lévő összefüggések megállapításában. Ezek egy része szántóföldi, szabadföldi méréseken (*Rátonyi et al. 2007, Bucsi et al. 2008, Neményi et al. 2008*), mások modellezésen alapulnak. Ez utóbbi, vélhetően a kutatási támogatások viszonylagossága miatt egyre kedveltebb világszerte. Sajátos ágát képezi a kutatásoknak a tömörödés és a nedvességforgalom kapcsolatának vizsgálata (*Van den Akker et al. 2003*). Ez a

témakör a klímaváltozás következményei kapcsán – V. ö. enyhe, esős tél, szárazabb nyár, amelyben hosszabb aszályos illetve rövidebb, intenzív esős időszakok váltakoznak – is figyelmet érdemel. A talaj állapota ugyanis befolyásolja a talaj vízbefogadó- és tároló képességét, vagyis adott csapadékból a talajba jutó, és növény rendelkezésére álló vízmennyiséget. A vízmérleg kutatások tehát a talajállapot pontos ismeretében adhatnak reális adatokat (*Farkas et al.* 2009, *Várallyay* 2008).

A szerzők különböző csoportokat képeznek, a művelés eredetű tömörödést a kialakulás helye alapján feltalaj és altalaj kár szerint különítik el (*Canarache* 1991), a kiváltó eszköz szerint pedig tárcsatalp és eketalp tömörödést különböztetnek meg (*Birkás* 2000). A tárcsatalp tömörödés a gyakori tárcsázás mélysége alatt képződik 12–20 cm között (*Birkás* 1987, *Chen és Tessier* 1997). Az eketalp tömörödés a művelt rétegben a szántási mélységtől függően 22 és 35 cm között bárhol kialakulhat (*Birkás* 2000). A talp-tömörödés kialakulását befolyásoló tényezők közé soroljuk a talaj nedvességtartalmát, pl. a hagyományos tárcsa, vagy az éleetlen ekevas a nyirkos állapotú talajt is károsan tömöríti, a járhatóságnál nedvesebb talajt pedig bármely eszköz, leginkább a csonkakúp alakú tárcsa, az eke, illetve a szárnyas művelőelemek (*Birkás et al.* 2000). Ezért a befolyásoló tényezők közé soroljuk a kárt okozó eszközt, a talajt deformáló erő nagyságát, illetve a deformáció ismétlődését. Súlyosbító tényező az azonos mélységben ismételt művelési ráhatás, különösen nedves talajon. A tényezők között a talaj szerkezete (*Huisz et al.* 2008) és érzékenysége a tömörödéssel való érzékenységgel hasonló fontosságú. Szerzők szerint a talajok tömörödéssel való érzékenységét a fizikai tulajdonságok, a szerkezet, a hordképesség és a nedvességtartalom befolyásolják (*Hakansson* 1990, 1994, *Lipiec és Simota* 1994, *Jones et al.* 2003). Ugyanakkor *Soane* (1990) és *Várallyay* (2007) megerősítik, a szervesanyag tartalom is lényeges, mivel ha csökken, a talaj érzékenyebbé válik a tömörödéssel.

Sajátos, de a tömörödéssel az utóbbi évekig többet tudott a tudós, mint a talaj művelője (*Birkás et al.* 2008). *Kirby* (2007) azonban a probléma méretéhez, évenkénti ismétlődéséhez képest kevesli az adaptálható kutatási eredményeket. A klímaváltozáshoz alkalmazkodás szükségessége ehhez újabb lehetőséget kínál. A klímakutatás ugyanis jelenleg még kevés figyelmet fordít a talajállapot és a klímahatás kapcsolatára, noha a tömör réteg kialakulási helye, súlyossága növénytermesztési klímakár indikátorként is használható.

Anyag és módszer

Jelen dolgozat a Szent István Egyetem Földműveléstani Tanszékén 33 éve tartó, 67 mikro körzetre kiterjedő talajállapot monitor részeredményeire, illetve a hét éve beállított talajminőség-klíma kísérlet (Birkás et al. 2004) vonatkozó eredményeire épül. A talajállapot monitoring célja annak felmérése, hogy 60 cm mélységig 1. előfordul-e káros tömörödés, ha igen, 2. milyen mélységben, 3. és milyen kiterjedésben. További feladat a talajra, környezetre, növényekre gyakorolt hatás elbírálása, különös tekintettel az aszályos és a nedves periódusokra. Aszályos időszakok az 1980-as és 1990-es években is előfordultak, kiemelt figyelmet a globális klímaváltozás kapcsán reflektáltakra (2000, 2003, 2007) és azok következményeire fordítottunk. A talajok az agyagtartalom szerint négy csoportba sorolhatók: 26–30, 40–60, 60–70, illetve >70%. A vizsgálat a fontosabb szántóföldi növények tábláin történt, 1976–2001 között: őszi búza (2800 ha), kukorica (4090 ha), cukorrépa (550 ha), napraforgó (1340 ha), egyéb (borsó, lucerna, paradicsom, árpa, 940 ha), amely összesen 9720 ha. A 2002–2007 években: őszi búza (1197 ha), kukorica (1195 ha), cukorrépa (507 ha), napraforgó (717 ha), őszi káposztarepce (715 ha), egyéb (359) ha, amely összesen 4690 ha. Az őszi káposztarepce bevonását a növény vetésterületének kiterjedése indokolta.

A talajminőség-klíma kísérletet Hatvan térségében (Józsefmajori Kísérleti és Tangazdaság), csernozjom talajon (Calcic Chernozem) 2002-ben állítottuk be. A terület GPS koordinátái: N 47°41,219'–269'-E 19°36,187'–462'. Az ismétlések száma 4, sávos, véletlen elrendezésű, a teljes terület 5,19 ha, a parcellák száma 24 (szélesség: 13 m szélesség, hosszúság: 158 m).

A talaj fizikai félesége vályog, tömörödsre közepesen érzékeny, kémhatása kissé savanyú (pH KCl_{0-40} cm: 5,23). A talaj a felső 20 cm rétege 42% vályog és 35% agyagfrakciót tartalmaz ($K_A=40$). A talaj 0–40 cm rétegére vonatkozó humusztartalom 2006-ban 3,25%, a 0–10 cm rétegben átlagosan 3,96%, a 10–20 cm rétegben 3,35%, 20–30 cm rétegben 3,12%, a 30–40 cm rétegben 2,62%. A 0–20 cm talajrétegben az összes nitrogén átlagosan 0,16%, az $AL-P_2O_5 = 92$ mg/kg, az $AL-K_2O = 183$ mg/kg, a C/N arány 11,6. A csapadék sokévi átlaga 580 mm, a mennyisége szerint 2–2 év átlagos, és száraz, és három csapadékos volt, és eloszlás szerint szélsőséges. A hat művelési variáns hatása a talajra- és a növényre eltérő: szántás 28–32 cm, elmunkálva, lazítás 40–45 cm, kultivátoros művelés, 12–16, és 16–20 cm, tárcsás művelés 12–16 cm, és direktvetés (Birkás

2008). A művelések között van talajállapot regeneráló (lazítás), talajállapot kímélő (kultivátoros), kedvezőtlen esetben 30 cm alatt talpképző (szántás), felszínhez közel talpképző (tárcsázás), és csekély bolygatásos (direktvetés). A növényi összetétel a talaj szervesanyag tartalmának növelését, és a talajfelszín védelmét célozza, hatása a talajra közvetett. A sorrend: fehér mustár (talajszerkezet javító, 2002), őszi búza (2002/2003), kukorica (2003), rozs (2003/2004), borsó (másodvetés, 2004), őszi búza (2004/2005), fehér mustár (talajszerkezet javító, 2005), őszi búza (2005/2006), facélia (talajszerkezet javító, 2006), kukorica (2007), napraforgó (2008). A talaj állapotát kezdetben szelvényfeltárással, határoztuk meg, 1990 óta – 10 cm rétegenként, kritikus mélységekben 5 cm-enként – penetrométerrel (*Daróczy* 2005) mérjük. A talajnedvességet a PT-I gyorsmérő (Kapacitív Kft., Budapest) műszerrel mérjük, 60 cm-ig 5 cm rétegenként, és tömeg %-ban. A talajállapot jellemzőket, a növényi reakciókat a vonatkozó szabványok és előírások szerint határozzuk meg (*Birkás* 2000, 2008, *Birkás et al.* 2008, *Farkas et al.* 2009). A rögösség és nedvesség adatok a major F-10 táblája állandó kísérleti, illetve csak megfigyelt területeiről származnak. A biometria értékelést *Sváb* (1981) nyomán végeztük.

A jelen dolgozatban vizsgált témák: 1. A művelés eredetű tömörödés előfordulása és kockázata a klímaszenáriók tükrében. 2. A tömörödés kevésbé ismert következményei. 3. A tömörödés enyhítése a klímakár csökkentés első lépése. Dolgozatunkban olyan mérési eredményeket is prezentálunk, amelyek vonatkozó modellekben indikátorként használhatóak.

Eredmények

A művelés eredetű tömörödés előfordulása és kockázata a klímaszenáriók tükrében

A művelési hiba eredetű tömörödésnek előbb 13, majd 10 és 9, végül 7 jellemző változatát különítettük el (*Birkás* 2000, 2008). A felosztás a következő: kedvező 60 cm mélységig; b) kedvező 40 cm mélységig; c) tömörödés a 28–32 cm rétegben; d) tömörödés a 22–26 cm rétegben; e) tömörödés a 18–22 cm rétegben; f) 2 tömör réteg 16 cm alatt; g) 3 tömör réteg 16 cm alatt (*1. táblázat*). A felosztást a változatok eltérő hatása indokolja. Hasonló felosztással a szakirodalomban nem találkoztunk. A vizsgálati éveket a talajművelés minősítése szerint öt időszakra osztottuk: 1976–1987: *fejlődés szakasza*, 1988–1990:

megtorpanás szakasza, 1991–1997: visszaesés szakasza, 1998–2001: átmeneti szakasz, 2002–2007: újrakezdés szakasza (Birkás 2000, 2008).

1. táblázat. A tömör rétegek kialakulása és aránya (%) magyarországi talajokban (1976–2007) (Birkás, 2008)

Talajállapot (1)	Vizsgálati időszakok (2)					Valószínűsíthető klíma kockázat (4)
	1976– 1987	1988– 1990	1991– 1997	1998– 2001	2002– 2007	
	A felmért terület %-a (3)					
Kedvező 60 cm-ig (5)	14	4	1	0	11	csekély (13)
Kedvező 40 cm-ig (6)	22	12	6	2	21	csekély (13)
Tömör a 28–32 cm rétegben (7)	44	47	42	36	30	kicsi/közepes (14)
Tömör a 22–26 cm rétegben (8)	14	22	23	14	21	közepes (15)
Tömör a 18–22 cm rétegben (9)	6	10	16	22	12	nagy (16)
2 tömör réteg 16 cm alatt (10)	0	3	7	14	5	igen nagy (17)
3 tömör réteg 16 cm alatt (11)	0	2	5	12	0	igen nagy (17)
Vizsgált terület (ha) (12)	2420	2860	2580	1860	4690	

Table 1. Subsoil compaction observed of land during five examination periods in Hungary (1976–2007; Birkás, 2008). (1) Soil condition, (2) Examination periods, (3) Percentage of observed land area, (4) Probable climate risk, (5) Favourable to a depth of 60 cm, (6) Favourable to a depth of 40 cm, (7) Compacted at the depth of 28–32 cm, (8) Compacted at the depth of 22–26 cm, (9) Compacted at 18–22 cm, (10) 2 compacted layers below 16 cm, (11) 3 compacted layers below 16 cm, (12) Total examined area, (13) Negligible, (14) Small/medium, (15) Big, (17) Very big.

A 60 cm-ig lazult talajok aránya 14% az első vizsgálati időszakban, amely egybeesik a mélyebb lazítás szorgalmazásával, ezt követően, a rossz gazdasági körülmények okán visszaesik, majd 11%-ra terjed ki. Ez utóbbi összhangban van a klímakár csökkentés kényszerével. A 40 cm-ig lazult talajok területe bármely időszakban kisebb a kívánatosnál, a mélypont (2%) az 1998–2001

években volt. Az ún. újrakezdés időszakában 21%-ra növekedett a kis kockázattal jellemezhető talajok aránya (előzetes, 2008-ban 27%). A 2000, 2003 és 2007 években kiemelten vizsgált, 1526 mintahely alapján nem lehetett egyértelműen elkülöníteni, hogy a 60 vagy a 40 cm-ig lazult állapot a klímakár enyhítés előfeltétele. Ugyanakkor a mélyebb lazultság a kötöttebb talajokon (agyag % >70) eredményesebben mérsékelte a klímakárt. A 40 cm mély lazult állapot bármely évben kedvezőbb hatású volt, mint a 28 cm-ig lazult, ezért vehető figyelembe indikátorként. A direktvetéseknél semmilyen mélyítés nincs, ugyanakkor más műveléssel csak ott versenyképes a direktvetés, ahol nincs művelőtalp tömörödés. A 40 cm-ig lazult állapot azonban csak akkor kedvező, ha az altalaj sem tömörödött túlzottan, vagyis képes a víz átbocsátására. Hasonló következtetésre jutottak *Van den Akker et al.* (2003) is az altalajtömörödés következményeinek értékelésekor. A 28–32 cm réteg tömörödése az évente ismételt mélyszántás következménye. A talajállapot vizsgálataink szerint, ha az első évben kialakult a tömörödés, a tervezett mélységet ugyanazzal az ekével vagy erőgéppel már a második évben sem érik el. Sajátos, de a 28 cm mély szántások aránya a legnehezebb 4. szakaszban is elérte a 36%-ot. Ezt úgy is értelmezhetjük, hogy mellőzték a vélelem szerint kisebb energiaigényű közép-mély lazítást (amely 35–40 vagy 40–45 cm mélységű), és megtartották az előbbinél sekélyebb, de valójában nagyobb energiaigényű mélyszántást. Az 5. időszakban a vizsgált talajok 30%-a volt eketalp tömörödéssel lerontva 28 cm alatt. Az előző időszakokhoz viszonyított csökkenést a mélyebb forgatás nélküli művelés terjedésének is betudhatjuk (becslés szerint szántást a szántott terület 50–55 %-án alkalmaznak). A 22–26 cm réteg a közép-mélyszántás ismétlése révén tömörödik. Ezt a szántási mélységet korábban kalászosok, borsó, esetleg napraforgó alá végezték, azonban a 3–5. időszakban ilyen különbséget nem találtunk; a tömörödési hiba bármely növény alatt előfordult. Figyelmet érdemel a 18–22 cm rétegben tömörödött talajok növekvő aránya az 1–4 időszakban. Ez a hiba tipikusan a tárcsázott talajokra jellemző, és összefüggésben van nem csak a gazdasági viszonyokkal, hanem a művelési kultúrával is. Ezért tarjuk reményt keltőnek a tárcsatalp tömörödés visszaesését az 5. vizsgálati időszakra. A szakszerűtlenül művelt talajokban két, illetve három tömör réteget is felfedtünk a 2–4. időszakban. Sajátos, de ezek többnyire a korábban szántott, majd később csak tárcsázott talajokban fordultak elő. Ide lehetett sorolni a szántott, majd nedves állapotban tárcsával elmunkált, ezáltal összetömörödött talajokat is.

A talajok leggyakoribb állapot változataiból (*1. táblázat*) a művelési szokásokra, és a várható termesztési kockázatra is következtetni lehet. A tömör réteg kialakulási helye a talaj fizikai féleségétől és agyagtartalmától függetlenül volt káros, vagyis minél közelebb helyezkedett el a felszínhez, annál érzékenyebb volt a talaj és a növény is. Ezért tömör réteg kialakulási helye klíma-indikátor-ként is használhatónak bizonyult. A termés elemzések nyomán úgy láttuk, hogy ha a trágyázás, növényvédelem stb. nincs különleges befolyással, a klíma kockázat a legalább 40 cm-ig lazult talajon a legkisebb. Ilyen állapotot lazító eszközzel lehet kialakítani akkor, ha az utómunkák során nem történik visszátömörödés (*Birkás et al. 2004, Jug et al. 2007*). A 28 cm-ig terjedő lazultság többnyire a tavaszi vetésű növények őszi mélyszántásakor alakul ki, de itt is feltétel a visszátömörítés kerülése. A talaj forgatása a talajra nézve stressz, amelyet az eke gyúrása – a kívánatosnál nedvesebb talajon – tovább súlyosbít. Ugyanakkor, mint *Sabo et al. (2007)* utal rá, a 28–32 cm-ig lazult talaj közepes vagy jó körülményeket biztosíthat a növények fejlődéséhez. Az ún. középmély (22–26 cm) szántás alatt kialakult eketalp tömörödés a sekélyebb lazult réteg okán szélsőséges időnyben klímakár fokozó tényezővé válhat. A tárcsás sekélyművelésnél elmarad ugyan a forgatást kísérő stressz, azonban a felszínhez közeli vízzáró réteg szélsőséges klíma alatt a talaj élőhely értékét és termésre alkalmasságát degradálja. A szerzők (*Van den Akker et al. 2003, Birkás et al. 2008, Juric et al. 2008*) aláhúzzák, a művelőtalp tömörödés stressz hatását a lazult réteg rendszeres beázása növényenként eltérően enyhíti, és előfordulhat – *Pl. 2008-ban* –, hogy a kisebb (10–15%) termésvesztéség nem utal súlyos kárra.

Az előrejelzések (*Bartholy et al. 2008*) szerint a 21. század második évtizedétől térségünkben enyhe és csapadékos tél, meleg és száraz nyár, szélsőséges csapadékeloszlás, több szeles nap és vihar valószínűsíthető. Az enyhe, csapadékos tél után vélhetően több tárolható nedvesség áll rendelkezésre, ugyanakkor ez a lehetőség kihasználatlan marad a felszínhez közel tömörödött talajokon. Ráadásul a növények biztonságos termesztéséhez az elővetemény után a talajban maradt nedvesség megtartása is szükséges. Alapműveléskor olyan állapotot kell kialakítani, amely a víz talajba jutását elősegíti, és minél kisebb időnyen kívüli veszteséget idéz elő. Ezt az elvárást az őszi szántások – óvatos becsléssel is – legfeljebb a szántott talajok felén, míg a lazított talajok 85–90%-án teljesítik. A csapadékos téli félév tehát a talaj nedvességtároló képességének fokozására, a tömörödéstől mentes állapot fenntartására irányítja a figyelmet.

A tömörödés kialakulásának vagy súlyosbodásának veszélye növekszik a késő őszi esők után szántott talajokban. A fagyhatás elmaradása nem lesz hatással a tömörödéssel, mivel a több hónapig fagyott talajokon sem tapasztalnak enyhülést (Hakansson 1994, Van den Akker et al. 2003). Az aktív gyökérszóna – legalább 40 cm mély – megtartása, kialakítása a nyári szárazság minél kisebb termésveszteséggel való átvészélése érdekében lesz ajánlatos. A meleg és száraz nyár a vízvesztő talajművelés elhagyására, a nedvesség- és szénkímélés szükségességére irányítja a figyelmet. A klímakár csökkentés kényszere a nyár végi és őszi vetések alá a talp-mentes állapot elérését sürgeti, ellenben az energiaárak emelkedése vélhetően a sekély alpműveléseket helyezi előtérbe. A szélsőséges nyári csapadékeloszlás, és az intenzív esős periódusok valószínűsége ugyancsak a talaj vízbefogadó képességének fenntartását, művelőtalp tömörödéstől mentes állapot megőrzését, hiba esetén javító művelés elvégzését szorgalmazzák.

A tömörödés kevésbé ismert következményei

Tömörnek a szakirodalmi leírások (pl. Hakansson 1994, Soane és Van Ouwverkerk 1994) szerinti állapotot minősítettük. Ebben a rétegben a talaj térfogattömege 1,59–1,61 t m⁻³ értéket ért el, penetrációs ellenállása pedig nyirkos állapotban meghaladta a 3,0 MPa értéket. A 60, 40, 28, 22, 18, illetve 16 cm-ig lazult talaj csak a jelzett mélységig mutatott ún. kedvező lazultságot, legfeljebb 1,38–1,48 t m⁻³ térfogattömeget, illetve 2,5–2,8 MPa penetrációs ellenállást. A monitorozás első éveiben úgy láttuk, hogy a tömör réteg kiterjedése – a talaj nedvességforgalmával összefüggésben – olyan fontos állapotjelző, amelyről a várható kockázatra és kárra is következtetni lehet. Így 1342 mérési pont értékelésekor négy csoportot képeztünk, vagyis: 0–10 mm tömör réteg vastagság: enyhe, 10–30 mm: közepes, 30–50 mm: súlyos, 50–100 mm: igen súlyos kár. A monitoring alatt azt tapasztaltuk, hogy nyirkos talajon enyhe kár (0–10 mm) magágykészítéskor is bekövetkezhet, közepes kár (10–30 mm) pedig nedvesebb időnyben alpműveléskor, és magágykészítéskor is. Ez utóbbi tavaszi vetésű növények alatt gyakoribb, és 20–30 nap csapadékmentes időszak elegendő ahhoz, hogy kukoricánál kényszerérés tünetet okozzon (2. táblázat). Súlyos (30–50 mm), és igen súlyos kár (60–100 mm) minden esetben sablonos művelési mélység esetén, és a művelhetőség figyelmen kívül hagyásakor következik be.

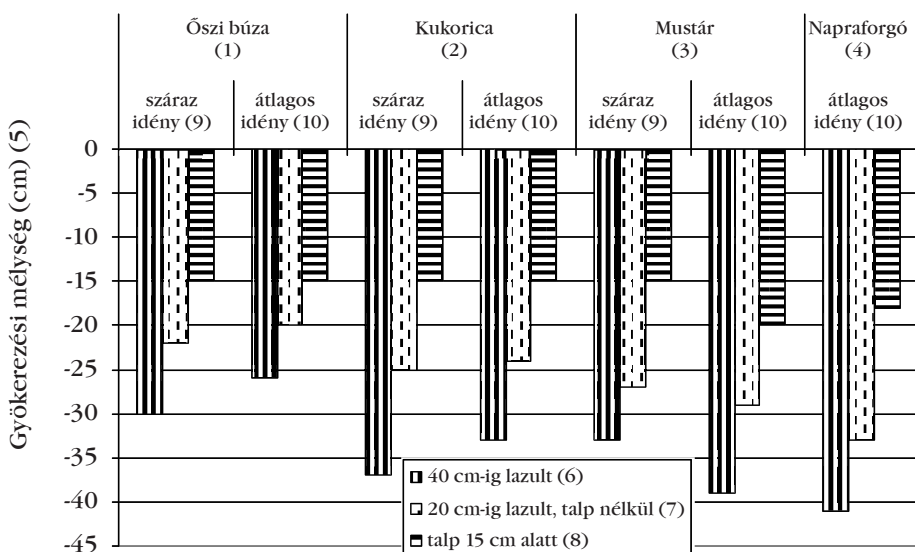
2. táblázat. A tömör réteg kiterjedése, okok és következmények (talajállapot monitor nyomán, 1976–2007)

A tömör réteg kiterjedése a szelvényben (1)	A talaj a nedvessége szerint (2)	Gyakori kár okok (3)	Valószínűsíthető klíma kockázat (4)
0–10 mm	nyirkos (5)	hagyományos tárcsás alapművelés; magágykészítéskor a henger-elem nyomása (1 menet után) (7) szántott talaj hagyományos tárcsás elmunkálása (1 menet után) (8)	kicsi (a talajban kimutatható) (9)
10–20 mm	nyirkos (5) nedves (6)	szántás vagy tárcsázás élelten művelőelemmel (1 menet után) (10) szántás, hagyományos tárcsás vagy szárnyas kultivátoros művelés (1 menet után) (11) szántott/lazított talaj hagyományos tárcsával elmunkálva; magágykészítéskor a henger-elem nyomása (1 menet után) (12)	közepes Pl. erős előtt 10–15 száraz, forró nap minőségi hiba őszi búzánál; augusztusi aszály; kényszerérés kukoricánál (13)
30–50 mm	nedves (6)	azonos mélységű szántás (2–3 alkalom után) (14) hagyományos tárcsás művelés (2 alkalom után) (15) szántott talaj hagyományos tárcsával elmunkálva (1 menet után) (16)	erős Pl. 15–40 % termésvesztésэг növénytől függően, minőségromlás (17)
50–100; > 100 mm	nedves (6)	azonos mélységű szántás (3–4 alkalom után) (18) hagyományos tárcsás művelés (3 alkalom után) (19)	igen erős Pl. >45% termésvesztésэг, erős minőségromlás (20)

Table 2. Extension of the compacted layer; causes and consequences (from soil state monitoring, 1976–2007). (1) Extension of compacted layer in the profile, (2) Soil according to moisture status, (3) Cause of frequent threat, (4) Probable climate risk, (5) Moist, (6) Wet, (7) Traditional disk basic cultivation; pressure of the roller item during seedbed preparation (after one turn), (8) Traditional disk finishing of ploughed soil (after one turn), (9) Low (it can be indicated in the soil), (10) Ploughing or disk cultivation with a blunt cultivation item, (11) Ploughing, traditional disk or winged cultivator application (after one turn), (12) Ploughed/loosened soil finished with traditional disk; pressure of the roller item during seedbed preparation (after one turn), (13) Medium, e.g. 10–15 dry, hot days before ripening mean a quality problem in the case of winter wheat; drought in August; forced ripening in the case of maize, (14) Ploughing of the same depth (after 2–3 turns), (15) Traditional disk cultivation (after 2 turns), (16) Ploughed soil finished with traditional disk (after one turn), (17) Strong, e.g. 15–40% yield loss, depending on the crop, decreasing quality, (18) Ploughing of the same depth (after 3–4 turns), (19) Traditional disk cultivation (after 3 turns), (20) Very strong, e.g. >45% yield loss, strong decrease in quality.

A talajminőség és klíma kísérletünkben szoros összefüggést találtunk a talajállapot és a növények gyökerezési mélysége között (1. ábra). Az ábrán három kifejezetten eltérő talajállapot – lazult 40 cm-ig (lazításos kezelés), lazult 20 cm-ig, de nincs talp-tömörödés (kultivátoros kezelés), illetve talp 15 cm alatt (tárcsás művelés) – hatását hasonlítjuk össze.

1. ábra. A növények gyökerezési mélysége eltérő talajállapot esetén és idényben (Hatvan, 2002–2008).



SzD_{5%}: talajállapot: 0,921; 0,893; 1,212; P<0,01% a gyökerezési mélység és az évek közt.

Figure 1. Rooting depth of plants at different soil condition and growing season (Hatvan, 2002–2008). (1) W. wheat, (2) Maize, (3) Mustard, (4) Sunflower, (5) Rooting depth cm, (6) Loosen soil to a depth of 40 cm, (7) Loosen soil to 20 cm soil is free from pan compaction, (8) Pan compaction below 15 cm, (9) Dry season, (10) Average season. LSD_{5%}: soil condition: 0.921; 0.893; 1.212; P<0,01% between plant rooting and years.

Négy növényt választottunk, amelyek közül a búzát sekélyművelés igényűnek, a kukoricát mélyművelés igényűnek, a mustárt és a napraforgót tömörödésre nem érzékeny növénynek tartják (V. ö. növénytermesztési tankönyvekben írtakkal). Esetünkben a mélyebben lazult állapot bármely növény gyökerezését elősegítette, s ennél a talajállapothoz a kukorica és az őszi búza mélyebben gyökerezett száraz idényben, mint átlagosban. A 20 cm-ig művelt, tömörödéstől mentes talajban matematikailag igazolhatóan sekélyebb a gyökerezés, mint a

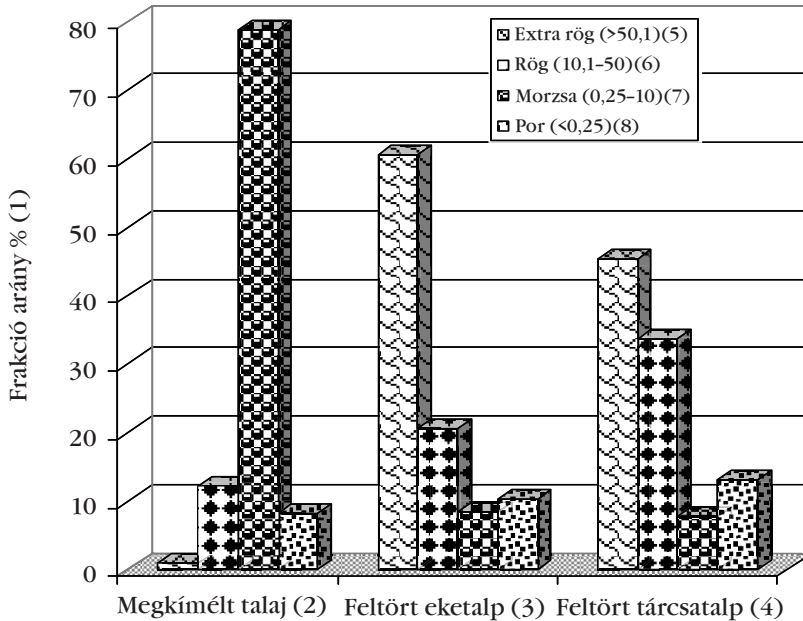
40 cm-ig lazultban, ugyanakkor mélyebb, mint a tömörödéssel lerontott talajban. Emiatt vethető fel, hogy a növények művelési mélység igényéről alkotott klasszikus adatok többsége az új fajokra vagy hibridekre valószínűleg nem vonatkoztatható. A 15 cm alatti tömör talajba csak a mustár és a napraforgó gyökerei hatoltak le ún. átlagos idényben, amikor egy-egy nagyobb eső után nedvesség juthatott a deformált rétegbe. A lazult réteg rendszeres beázása legfeljebb enyhíti művelőtalp káros hatását, ilyenkor a penetrációs ellenállási adatok is alacsonyabbak (V. ö. *Rátonyi et al.* 2007), de a tömörödést nem semlegesíti. További gond, hogy a növények igényéhez adaptált alpművelési mélység vetésre, az elmunkálási hibák folytán jelentősen csökken, emiatt a kívánatosnál sekélyebb lesz a gyökerezés. Ilyen utalásokat a szakirodalomban is találtunk (*Lipiec és Simota* 1994, *Lipiec et al.* 2003, *Tursic et al.* 2008).

Alig kap figyelmet a gyakorlatban, hogy az összepréselődött talpréteg nem csak nagyobb energiával lazítható át, hanem közben nehezen porhanyítható frakciók is keletkeznek. Megvizsgálva az eketalp és a tárcsatalp lazításakor előállt rögösséget, a 10,1–50 mm frakciók aránya 21 és 34%, a >50,1 mm frakcióké (ún. extra rög) 61 és 45%-ot ért el (*2. ábra*). Ülepedett, művelőtalptól mentes talaj lazításakor a kérdéses frakciók aránya legfeljebb 12 és 1%-ot, a morzsa % pedig 79%-ot tett ki. A tömör talp átlazítása után a 0,25–10 mm (morzsa) frakció aránya 10% alatt maradt, s mivel mechanikai, s nem biológiai úton képződött, a morzsa kategóriának csak méret szerint felelt meg. A tömörödés kedvezőtlen hatása pihenő-regenerálódó idő hiányában, a magágyban is kimutatható (*3. ábra*). Az ún. extra rögök aránya feltört eketalp és tárcsatalp esetében ugyan 14 és 11%-ra csökkent, de a 10,1–50 mm frakciók aránya (25 és 31%) kedvezőtlen, előnyös változás a rögtörő menetek ellenére alig történt. A morzsa tartományba esők aránya pedig 50%-kal maradt el az optimálistól. A kedvező és kedvezőtlen állapot közti különbség matematikailag is igazolható. A vizsgálati eredményeket a talajlazítás reálisabb értékelése miatt tartjuk fontosnak. A gyakorlatban ugyanis a rögösséget a szántás esetében elfogadhatónak, lazítás után azonban nem kívánatosnak tartják, figyelmen kívül hagyva a rögösödés és a tömör talajállapot szoros kapcsolatát.

Az előbbi problémára reflektálva vizsgáltuk a talajállapot, a nedvességtartalom és szánthatóság kapcsolatát. A Hatvan térségi vályogtalaj optimális szánthatósági nedvesség tartománya 18–24 tömeg %, ekkor a talaj nyirkos, 24,5–28 tömeg % nedvességnél a talaj nedves, kockázattal járható és szántható, nagyobb nedvességnél egyik sem ajánlott. A talajminőség és klíma kísérletünkben a

szánthatóság nedvességénél végzett forgatáskor nem csak mérsékelt rögösséget regisztráltunk, hanem mérsékelt tömörödést is.

2. ábra. Vályogtalaj agronómiai szerkezete lazításos művelésekor (Hatvan, 2007)

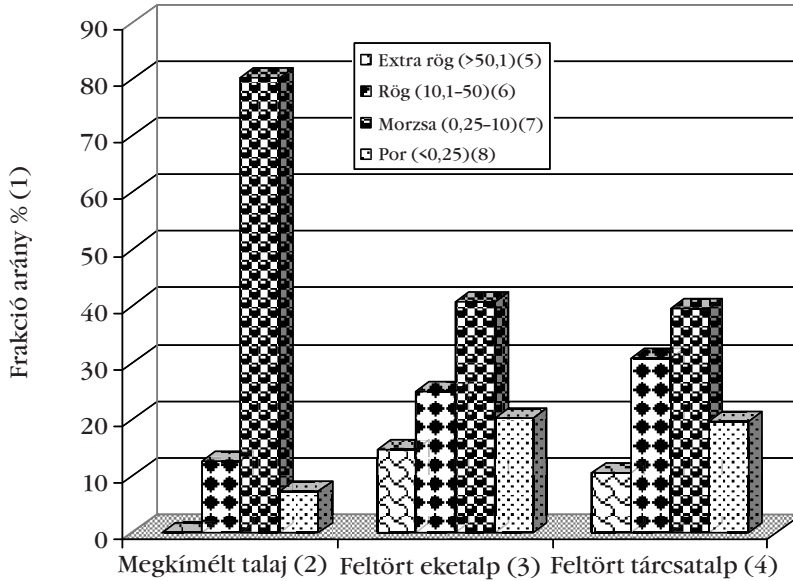


SzD_{5%}: Extra rög: 3,82; rög: 2,385; morzsa: 3,57; por: 1,58; P<0,01% a rossz és a jó talajállapot között.

Figure 2. Agronomical structure of a loamy soil following loosening tillage process (Hatvan, 2007). (1) Fraction rate %, (2) Soil in optimal state, (3) Broken plough pan, (4) Broken disk pan, (5) Extra clod (>50.1 mm) %, (6) Clod (10.1-50.0 mm) %, (7) Crumb (0.25-10.0 mm) %, (8) Dust (<0.25 mm) %. LSD_{5%}: Extra clod: 3.82; clod: 2.385; crumb: 3.57; dust: 1.58; P<0,01% between bad and good soil state.

A kísérleten kívüli, tömör talajú táblarészen ennek ellenkezőjét tapasztaltuk, az ún. extra rögök aránya száraz és nedves körülmények között is elérte a 60%-ot (4. ábra). A száraz talaj felerősítette, a nedves talaj érdemben nem enyhítette a tömörödés szántás minőségét rontó hatását. A megkímélt és a taposott talajra jellemző szerkezet különbsége matematikailag is igazolható. Hasonló eredményről számolt be Birkás (1987), mérései szerint felső talajréteg tömör állapota esetén a szántás erőteljesen rögösödött akkor is, ha a művelhetőség nedvességénél végezték.

3. ábra. *Eltérő állapotú vályogtalaj agronómiai szerkezete magágyban (Hatvan, 2007)*



SzD_{5%}: Extra rög: 3,01; rög: 2,88; morzsa: 3,42 por: 2,36; P<0,01% a rossz és a jó talajállapot között.

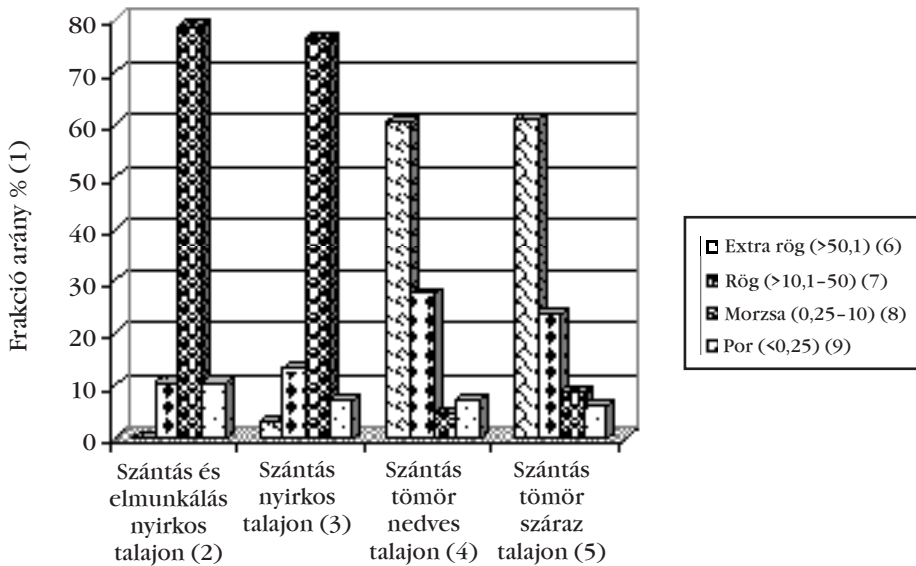
Figure 3. Agronomical structure of a loamy soil in the seedbed (Hatvan, 2007). (1) Fraction rate %, (2) Soil in optimal state, (3) Broken plough pan, (4) Broken disk pan, (5) Extra clod (>50.1 mm) %, (6) Clod (10.1-50.0 mm) %, (7) Crumb (0.25-10.0 mm) %, (8) Dust (<0.25 mm) %. LSD_{5%}: Extra clod: 3.01; clod: 2.88; crumb: 3.42 dust: 2.36; P<0,01% between bad and good soil state.

A tömörödés enyhítése a klímakár csökkentés első lépése

Eddigi ismereteink szerint a talaj klíma érzékenységét nem csak az eredeti tulajdonságok, hanem a gazdálkodás során megváltozott, többnyire kedvezőtlen körülmények (talajminőség romlás) is befolyásolják (Várallyay 2007, 2008). Bár az eddig tapasztalt klíma szélsőségek aggodalomra adnak okot, azonban a talajokat illetően a védekezés eszköztára is széles. Az érintetteknek mielőbb fel kellene ismerni a kárt súlyosbító tényezőket, és alkalmazni a kár megelőzés és csökkentés (alkalmazkodás) lehetséges módszereit.

A talajminőség javítás és klímakár csökkentés érdekében megfogalmazott ajánlásaink szakértelemmel alkalmazva költségkímélők is. A nedvesség- és szénkímélő sekély tarlóművelés alkalmazása lehetőséget ad a talajok művelhetőségének javulására, ezáltal a tömör rétegek nagyobb rögösségtől mentes átlazítására.

4. ábra. A nedvességtartalom befolyása a szántás minőségére eltérő talajállapotnál (Hatvan, 2005–2008)



SzD_{5%}: Extra rög: 0,933; rög: 2,23; morzsa: 2,69; por: 2,487; P<0,01% a rossz és a jó talajállapot között.

Figure 4. Soil moisture level impact on the ploughing quality at different soil state (Hatvan, 2005–2008). (1) Fraction rate %, (2) Ploughing and levelling in moist soil, (3) Ploughing on moist soil, (4) Ploughing on compacted wet soil, (5) Ploughing on compacted, dry soil, (6) Extra clod (>50.1 mm) %, (7) Clod (10.1–50.0 mm) %, (8) Crumb (0.25–10.0 mm) %, (9) Dust (<0.25 mm) %. LSD_{5%}: Extra clod: 0.933; clod: 2.23; crumb: 2.69; dust: 2.487; P<0,01% between bad and good soil state.

A bolygatott talajok zúzott tarlómaradvánnyal takarása nyáron a nedvességveszteség csökkentése révén járul hozzá az alpművelés rögösségének csökkentéséhez akkor is, ha a talaj tömörödött. Kis vízvesztő felszín kialakítására kell törekedni a kritikus hónapokban, azért, hogy az elmunkálással ne kelljen várni a talajok beázásáig, amikor az eszközök nyomása óhatatlan tömörödést okozna. Víz- és szénvesztést csökkentő alpművelés – akár szántás, lazítás, kultivátoros, tárcsás – alkalmazása ajánlott, időnytől függetlenül. A szervesanyag kímélés, ide értve a tarlómaradványok talajba juttatását, ugyanis fontos tényező a talajok tömörödésre való érzékenységének csökkenésében. A mélyszántás alatt kialakult vízforgalmat gátló tömör réteget olyan módszerrel kell átlazítani, amely víz- és szénkímélő felszínt hagy maga után. A talpképző eszközöket alpművelés elmunkáláskor, nyirkos és nedves talajon is mellőzni kell. A talaj

morzsásodását a nedvesség és szénkímélés, továbbá a káros tömörödés megelőzése révén lehet elősegíteni. A klímakár csökkentés érdekében kerülni kell a talaj minőségét leginkább veszélyeztető (tömörödést előidéző, súlyosbító), korábban megszokott módszereket. A magágykészítés és vetés ésszerűsítése nem csak a nedvesség- és szerkezet kímélés, hanem a gyökerezés mélységét korlátozó vastag magágy alap kialakulásának megelőzése érdekében is kívánatos. A talaj tápanyag ellátottságának és az előírásoknak megfelelő trágya adag optimális hasznosulására lazult talajban lehet számítani. A tömörödéstől mentes, morzsásodó, biológiailag aktív talaj kedvezőtlen élettere számos körkózonak. Ugyanakkor a művelés szerepe nem szorulhat háttérbe a kémiai védelem mögött a kártevők és gyomok korlátozásában.

Következtetések

A szántóföldi talajállapot vizsgálatok nyomán megállapítottuk, hogy a reálisan soha nem értékelt egyes művelési szokások nagyban hozzájárultak vízforgalmat gátló tömörödés kialakulásához talajaink rendszeresen művelt rétegében. A tömör réteg kialakulási helye a talaj fizikai féleségétől és agyagtartalmától függetlenül volt káros, minél közelebb helyezkedett el a felszínhez, annál több veszteséget okozott, vagyis tömör réteg kialakulási helye klíma-indikátorként is használható.

A tömör réteg kiterjedése – a talaj nedvességforgalmával összefüggésben – fontos állapotjelző, amelyről a várható kockázatra és kárra is következtetni lehet, ezért alkalmazható klímakár indikátorként.

A klíma prognózisokban jelzett enyhébb és csapadékos tél, valamint száraz és melegebb nyár – benne szélsőségesen száraz és csapadékos periódusokkal – a talaj vízbefogadó képességének fenntartására, a tömörödési kár megelőzésére és enyhítésére irányítja a figyelmet.

A talajminőség és klíma kísérletünkben szoros összefüggést találtunk a talajállapot és a növények gyökerezési mélysége között. Felhívjuk a figyelmet a tömörödési kár időben (növényállományban, tarlón) felismerésére, a következő növény alpművelési mélységének az ellenőrzés eredményéhez való igazítására. Felvetjük, hogy a növények művelési mélység igényéről alkotott klasszikus adatok többsége nem érvényes az új növényfajokra vagy hibridekre.

A talajlazítás hátrányának tartott rögösödés bizonyíthatóan az eke- és tárcsatalp tömörödés következménye.

A talajállapot, a nedvességtartalom és művelhetőség kapcsolatát vizsgálva megállapítottuk, hogy a száraz talaj felerősíti, a nedves talaj alig enyhíti a tömörödés szántás minőségét rontó hatását. Ugyanakkor tömörödéstől mentes, üledett talajon a szánthatóság nedvességéhez való alkalmazkodás esetén a minőségromlás elkerülhető.

A tömörödés enyhítését a klímakár csökkentés első lépéseként értékelve 10 olyan művelési ajánlatot fogalmaztunk meg, amelyeket kísérletünkben, illetve a szaktanácsolt gazdaságokban eredményesen tesztelünk.

Köszönetnyilvánítás

A kutatásokat támogató projektek: OTKA-49.049, HR43/2008, NTTIJM08; vállalatok: GAK Kht. Józsefmajori Kísérleti és Tangazdaság, Agroszen Kft. Szentgál, Mezőhegyesi Ménesbirtok Zrt; Belvárgyulai Mg. Zrt; Róna Kft. Hódmezővásárhely, TerraCoop Kft. Szentes.

IRODALOM

- Bartholy J.–Pongrácz R.–Szépszó G.*: 2008. A PRUDENCE projekt eredményei. Előadás. Budapest. 2008. 05. 20.
- Birkás, M.*: 1987. Az agronómiai tényezők befolyása a talajművelés minőségére. Kandidátusi értekezés. Gödöllő.
- Birkás M.*: 2000. A talajtömörödés Magyarországon. Következmények és enyhítési lehetőségek. Doktori értekezés. Gödöllő.
- Birkás M.*: 2008. Mérési módszerek művelési kísérletekben. Gödöllő. (in press)
- Birkás, M.–Szalai, T.*: 2000. Progress report of the Hungarian participants on subsoil compaction. [In: Birkás, M.–Gyuricza, Cs.–Farkas, Cs.–Gecse, M. (eds.) 2nd Workshop on Subsoil Compaction.] May 29–31 2000. Conf. Proc. Gödöllő. 17–26.
- Birkás, M.–Gyuricza, Cs.–Farkas, Cs.–Gecse, M. (eds.)*: 2000. 2nd Workshop on Subsoil Compaction. May 29–31 2000. Conf. Proc., Gödöllő. 223.
- Birkás, M.–Szalai, T.–Gyuricza, Cs.–Jolánkai, M.–Gecse, M.*: 2000. Subsoil compaction problems in Hungary. [In: Horn, R.–van den Akker, J. J. H.– Arvidsson, J. (eds.) Subsoil compaction. Distribution, processes, and consequences Advances in GeoEcology. 32.] Catena Verlag. Reiskirchen. Germany. 354–362.
- Birkás, M.–Jolánkai, M.–Gyuricza, Cs.–Percze, A.*: 2004. Tillage effects on compaction, earthworms and other soil quality indicators in Hungary. Soil & Till. Res. 78. 2: 185–196.
- Birkás, M.–Jolánkai, M.–Kisic, I.–Stipesevic, B.*: 2008. Soil tillage needs a radical change for sustainability. Agriculturae Conspectus Scientificus. Zagreb. 73. 3: 131–136.

- Birkás, M.–Stingli, A.–Szemők, A.–Kalmár, T.–Bottlik, L.*: 2008. Soil condition and plant interrelations in dry years. *Cereal Res. Commun.* 36. 5: 15–18.
- Birkás, M.–Kisic, I.–Bottlik, L.–Jolánkai, M.–Mesic, M.–Kalmár, T.*: 2008. Subsoil compaction as a climate damage indicator. [In: Blum, W. H. et al. (eds.) Abstracts.] EUROSOIL Congress. 25–29 August. Wien. 33.
- Brocic, Z.–Milosevic, D.–Macák, M.–Tyr, S.*: 2008. The influence of an organic and conventional systems on chemical composition of potato tubers. *Cereal Res. Commun.* 36. 5: 679–683.
- Bucsi, T.–Harrach, T.–Pető, Á.–Barczy, A.*: 2008. Soil micromorphology based evaluation of the level of soil compactness (A case study from a plough-land of a recultivated outcrop mine from Köln). *Cereal Res. Commun.* 36. 5: 1231–1234.
- Canarache, A.*: 1991. Factors and indices regarding excessive compactness of agricultural soils. *Soil & Till. Res.* 19: 145–164.
- Chen, Y.–Tessier, S.*: 1997. Techniques to diagnose plow and disk pans. *Can. Agr. Eng.* 39. 2: 143–147.
- Daróczi S.*: 2005. Talajtömörésmérő műszer. Szarvas. Kézirat. 4.
- Farkas, Cs.–Birkás, M.–Várallyay, Gy.*: 2009. Soil tillage systems, to reduce of extreme weather and hydrological conditions. *Biologia.* 64. 3: 624–628.
- Filipovic, D.–Husnjak, S.–Kosutic, S.–Gospodaric, Z.*: 2006. Effects of tillage systems on compaction and crop yield of Albic Luvisol in Croatia. *J. of Terramechanics.* 43. 2: 177–189.
- Grath, T.*: 1996. Effects of agricultural machinery traffic on pea growth and penetration resistance in the subsoil. Doctoral thesis. Swedish Univ. of Agr. Sci., Uppsala.
- Gyuricza, Cs.–Ujj, A.–Mikó, P.–Nagy, L.–Fenyvesi, L.*: 2007. Long-term soil tillage effects on selected physical and biological parameters under semi-humid climate in Austria. *Cereal Res. Commun.* 35. 2: 433–436.
- Hakansson, I.*: 1990. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. *Soil & Till. Res.* 16: 105–120.
- Hakansson, I. (ed.)*: 1994. Subsoil compaction by high axle load. *Soil & Tillage Res.* 29: 105–306. (special issue)
- Hakansson, I.*: 2005. Machinery-induced compaction of arable soils. Reports from the Division of Soil Management. No. 109. SLU. Uppsala.
- Horn, R.–Van den Akker, J. J. H.–Arvidsson, J. (eds.)*: 2000. Subsoil compaction. *Advances in GeoEcology* 32. Catena Verlag. Reiskirchen. Germany.
- Huisz, A.–Megyes, A.–Németh, T.*: 2008. Effect of soil tillage on water-stability of soil aggregates. *Cereal Res. Commun.* 36. 5: 247–250.
- Jones, R. J. A.–Spoor, G.–Thomasson, A. J.*: 2003. Vulnerability of subsoils in Europe to compaction: a preliminary analysis. *Soil & Till. Res.* 73: 131–143.
- Jug, D.–Stipesevic, B.–Jug, I.–Samota, D.–Vukadinovic, V.*: 2007. Influence of different soil tillage systems on yield of maize. *Cereal Res. Commun.* 35. 2: 557–560.

- Juric, I.–Drenjancevic, M.–Turalija, A.–Jukic, V.–Babic, V.*: 2008. Climatic conditions, soil tillage and nitrogen fertilization of winter wheat in eastern Croatia. *Cereal Res. Commun.* 36. 5: 1775–1778.
- Kirby, M.*: 2007. Whither soil compaction research? *Soil & Tillage Res.* 93: 472–475.
- Kisic, I.*: 2008. Reduced soil tillage – Croatian experience. *Proceedings of New challenges in field crop production. Rogaska Slatina.* 2008. 46–53.
- Kvaternjak, I.–Kisic, I.–Birkás M.–Sajko, K.–Simunic, I.*: 2008. Soil tillage as influenced by climate change. *Cereal Res. Commun.* 36. 5: 1203–1206.
- Lipiec, J.–Simota, C.*: 1994. Role of soil and climate factors in influencing crop responses to soil compaction in Central and Eastern Europe. [In: Soane, B. D.–Van Ouwerkerk, C. (eds.) *Soil compaction in crop production.*] Elsevier Sci. 365–389.
- Lipiec, J.–Medvedev, V. V.–Birkás, M.–Dumitru, E.–Lyndina, T. E.–Rousseva, S.–Fulajtar, E.*: 2003. Effect of soil compaction on root growth and crop yield in Central and Eastern Europe. *International Agrophysics.* 17: 61–70.
- Malatinszky, Á.*: 2008. Relationships between cultivation techniques, vegetation, pedology and erosion on extensively cultivated and abandoned agricultural areas in the Putnok Hills. *Acta Agron. Hung.* 56. 1: 75–82.
- Makó, A.–Máté F.–Sisák, I.–Hernádi, H.*: 2008. Climate sensitivity of the main Hungarian soil types. *Cereal Res. Commun.* 36. 5: 407–410.
- Mesic, M.–Simunic, I.–Basic, F.–Vukovic, I.–Jurisic, A.*: 2008. Soil type influence on drainage discharge and yield of soybean. *Cereal Res. Commun.* 36. 5: 1207–1210.
- Neményi, M.–Milics, G.–Nagy, V.–Stekauerová, V.*: 2008. Limiting factors of precision farming – soil compaction and precipitation. *Cereal Res. Commun.* 36. 5: 1859–1862.
- Pepó P.–Balogh Á.*: 2008. A vízellátás szerepe az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) fajtaspecifikus trágyareakciójában. *Növénytermelés.* 57. 1: 85–94.
- Rátonyi, T.–Megyes, A.–Sulyok, D.*: 2007. Evaluation of the physical conditions of chernozem soil by using penetrometer in a long – term tillage experiment. *Cereal Res. Commun.* 35. 2: 989–993.
- Soane, B. D.*: 1990. The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. *Soil & Till. Res.* 16: 179–201.
- Sabo, M.–Jug, D.–Jug, I.*: 2007. Effect of reduced tillage on quality traits of soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] *Acta Agron. Hung.* 55. 1: 83–88.
- Soane, B. D.–Van Ouwerkerk, C. (eds.)*: 1994. *Soil compaction in crop production.* Elsevier Sci. 661.
- Spoor, G.–Tijink, F. G. J.–Weisskopf, P.*: 2003. Subsoil compaction: Risk, avoidance, identification and alleviation. *Soil & Till. Res.* 73: 175–182.
- Sváb J.*: 1981. *Biometriai módszerek a kutatásban.* Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Tursic, I.–Husnjak, S.–Zalac, S.*: 2008. Soil compaction as one of the causes of lower tobacco yields in the republic of Croatia. *Cereal Res. Commun.* 36. 5: 687–690.

- Van den Akker, J. J. H.–Arvidsson, J.–Horn, R.*: 2003. Introduction to the special issue on experiences with the impact and prevention of subsoil compaction in the European Union. *Soil & Tillage Res.* 73. 1–2: 1–8.
- Várallyay, Gy.*: 2007. Soil resilience (Is soil a renewable natural resource?) *Cereal Res. Commun.* 35. 2: 1277–1280.
- Várallyay, Gy.*: 2008. Extreme soil moisture regime as limiting factor of the plants' water uptake, *Cereal Res. Commun.* 36. 5: 3–6.
- Verbist, K.–Cornelis, W. M.–Schiettecatte, W.–Oltenfreiter, G.–Van Meirvenne, M.–Gabriels, D.*: 2007. The influence of a compacted plow sole on saturation excess runoff. *Soil & Tillage Res.* 96: 292–302.
- Vona M.–Barczi A.–Szász P.–Csihar L.–Centeri Cs.*: 2007. A gazdálkodás jövőbeni lehetőségei a Sárvíz Kistérségi Társulat területén különös tekintettel a talajtani és a vízeróziós viszonyokra. *Növénytermelés.* 56. 4: 187–198.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Dr. Birkás Márta–Stingli Attila–Bottlik László
Szent István Egyetem
Gödöllő
Páter K. u. 1.
H-2103

Dr. Farkas Csilla
MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet
Budapest
Herman O. u. 15.
H-1022