

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Nagy Vilmos

Mosonmagyaróvár

2004

**NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM
MEZŐGAZDASÁGI- ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI KAR
MOSONMAGYARÓVÁR**

**AGRÁRMŰSZAKI, ÉLELMISZERIPARI ÉS KÖRNYEZETTECHNIKAI
INTÉZET**

Doktori Iskola vezető: Prof. Dr. Kuroli Géza

Egyetemi tanár, az MTA doktora

Témavezető: Prof. Dr. Neményi Miklós

Egyetemi tanár, az MTA doktora

**Termőhely-specifikus növénytermesztés
hidrológiai alapjai, különös tekintettel
Csallóközre és Szigetközre**

Készítette: Nagy Vilmos

Mosonmagyaróvár

2004

TERMŐHELY-SPECIFIKUS NÖVÉNYTERMESZTÉS HIDROLÓGIAI ALAPJAI,
KÜLÖNÖS TEKINTETTEL CSALLÓKÖZRE ÉS SZIGETKÖZRE

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében
a Nyugat-Magyarországi Egyetem „Precíziós növénytermesztési módszerek” Doktori Iskolája
„Termőhely-specifikus precíziós növénytermesztés műszaki feltételrendszere”
alprogramjához tartozóan.

Írta:
Nagy Vilmos

A jelölt a doktori szigorlaton % -ot ért el,

Mosonmagyaróvár
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

Második bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr.))
igen /nem

(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el

Mosonmagyaróvár,
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

Az EDT elnöke

Tartalom

Ábrajegyzék	viii
Táblázatok jegyzéke.....	xviii
Abstract.....	xx
1. Bevezetés.....	1
2. Irodalmi áttekintés és elméleti háttér – A probléma megoldás jelenlegi állapota	6
2.1 Áttekintés a hidrológiai fogalmak, talajnedvesség mérések és metódusok technológiájáról	6
2.1.1 A talaj vízháztartásának alapvető elemei	6
2.1.2 A probléma időszerű állapota	9
2.1.3 A talaj alapvető fizikai és hidrofizikai jellemzői	10
2.2 A talaj vízháztartása	17
2.2.1 A talajvíz háztartásának meghatározása (mérlege)	17
2.2.2 A talajmetszet vízháztartásának mérlege	18
2.2.3 A talaj vízháztartását befolyásoló tényezők	19
2.2.4 A vízháztartási rendszer osztályozása	21
2.3 A vízháztartás meghatározásának a mennyiség meghatározási módszerei	27
2.4 A talajnedvesség mérés módszerei	27
2.4.1 Gravimetrikus módszer	28
2.4.2 Elektromos ellenállási módszer	29
2.4.3 A kapacitásmérési metódus	29

2.4.4 γ sugár gyengítésével való mérési módszer	31
2.4.5 A talajnedvesség neutronsondás módszerrel való meghatározása.....	32
2.4.6 Egyéb módszerek.....	34
2.4.7 A hullámok talajban való terjedési sebességének mérésén alapuló módszerek	35
3. A disszertáció célkitűzései.....	38
3.1 A talajnedvesség mérési módszerek összehasonlítása	38
3.2 A talajnedvesség alakulásának kiértékelése	38
4. Az összehasonlításra, megfigyelésre kiválasztott helyek meghatározása és leírása.....	40
4.1 Csallóközi megfigyelési pontok leírása	44
4.1.1 Cilizska Radvan – Csilizradvány	44
4.1.2 Baka – Baka	45
4.1.3 Královská Lúka – Királyrét	46
4.1.4 Bács – Bácsfa.....	46
4.1.5 Bodíky – Nagybodak	47
4.2 Szigetközi megfigyelési pontok leírása	49
4.2.1 Dunasziget	49
4.2.2 Halászi	50
4.2.3 Dunaremete sorjási legelő	51
4.2.4 Ásványráró	52
4.2.5 Nyugat-Magyarországi Egyetem területe	53

5. A három talajnedvesség mérési módszer összehasonlítása	54
5.1 A neutronszondás és kapacitásmérési módszerek összehasonlítása	57
5.2 A neutronszondás, kapacitásmérési és az I szenzoros mérési módszerek összehasonlítása	65
5.3 A neutronszondás és az I szenzoros mérési módszerek összehasonlítása az újra mért hidrofizikai tényezők és az I szenzor korrigálása után.....	74
6. A csallóközi és szigetközi mérőpontok vízháztartásának talajnedvesség forgalmának és szezonális dinamikájának összehasonlítása	85
6.1 Gyökérzet	85
6.1.1 A gyökérzóna mélysége	88
6.1.2 A gyökerek térbeli elhelyezkedése	89
6.1.3 A gyökerek vertikális eloszlása	89
6.2 A vízháztartás vegetációs időszakbeli összehasonlítása a nagybodaki (Bodíky) és a dunaszigeti mérőpontokon	101
6.3 A vízháztartás vegetációs időszakbeli összehasonlítása a bácsfai (Bač) és a halászi mérőpontokon	113
6.4 A vízháztartás kiértékelése a talajnedvesség függőleges eloszlása és alakulása szempontjából a 2002-es év vegetációs időszaka alatt a szigetközi négy megfigyelési pontban	122
6.4.1 Tenziós görbék a négy szigetközi mérési pontban	123
6.4.2 Redukált térfogattömeg a négy szigetközi mérési pontban	131
6.4.3 A neutronszonda kalibrációja a négy szigetközi mérési pont számára	135

6.4.4 A talajnedvesség függőleges eloszlása a négy szigetközi mérési pontban a 2002-es év vegetációs időszakában	139
6.4.5 A talajvíz szint alakulása a négy szigetközi mérési pontban a 2002-es év vegetációs időszakában	143
6.4.6 Az integrált víztartalom kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek szempontjából a négy szigetközi mérési pontban a 2002-es év vegetációs időszakra	144
7. Összefoglalás.....	155
8. Publikációs jegyzék és felhasznált irodalom	158
8.1 Saját publikációk jegyzéke	158
8.2 Felhasznált irodalom	162
9. Köszönetnyilvánítás.....	181

Ábrajegyzék

1. ábra: *A csallóközi mérési és megfigyelési pontok elhelyezkedése (1955-2003)*
2. ábra: *A szigetközi mérési és megfigyelési pontok elhelyezkedése (1955-2003)*
3. ábra: *A neutron szonda kalibrációs görbéje a mosonmagyaróvári mérési helyszín számára*
4. ábra: *A neutronszondás és kapacitásmérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.05.24. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
5. ábra: *A neutronszondás és kapacitásmérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.06.06. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
6. ábra: *A neutronszondás és kapacitásmérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.06.20. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
7. ábra: *A neutronszondás és kapacitásmérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.07.19. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
8. ábra: *A neutronszondás és kapacitásmérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.08.03. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*

9. ábra: *A neutronszondás és kapacitásmérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.09.18. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
10. ábra: *A neutronszondás és kapacitásmérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.10.11. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
11. ábra: *A neutronszondás és kapacitásmérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.11.15. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
12. ábra: *A neutronszondás, kapacitásmérési és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.05.24. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
13. ábra: *A neutronszondás, kapacitásmérési és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.06.06. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
14. ábra: *A neutronszondás, kapacitásmérési és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.06.20. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
15. ábra: *A neutronszondás, kapacitásmérési és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.07.19. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
16. ábra: *A neutronszondás, kapacitásmérési és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.08.03. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*

17. ábra: *A neutronszondás, kapacitásmérési és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.09.18. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
18. ábra: *A neutronszondás, kapacitásmérési és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.10.11. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
19. ábra: *A neutronszondás, kapacitásmérési és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.11.15. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
20. ábra: *A neutronszondás és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.05.24. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
21. ábra: *A neutronszondás és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.06.06. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
22. ábra: *A neutronszondás és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.06.20. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
23. ábra: *A neutronszondás és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.07.19. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*

24. ábra: *A neutronszondás és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.08.03. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
25. ábra: *A neutronszondás és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.10.11. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
26. ábra: *A neutronszondás és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.11.15. (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában).*
27. ábra: *A vegetációs időszak alatt felvett víz mennyisége a gyökérmélység függvényében.*
28. ábra: *Durant 1973 - Dél Anglia - félnehéz talaj: A növény által elpárologtatott vízfelvétel a talaj rétegeiből 50 és 100 %-os mennyiségben.*
29. ábra: *14-féle haszonnövény gyökérzónája a maximális gyökérmélység szempontjából [m]*
30. ábra: *Kukorica gyökérzetének növekedésdinamikája dekádokra osztva*
31. ábra: *A leszálló ágak a nagybodaki mérési pont számára lemérve és Van Genuchten féle módszerrel közelítve*
32. ábra: *A dunaszigeti mérési hely retenciós görbe ágai.*
33. ábra: *A talajvízszint mozgása a bodíkyi (Nagybodak) és dunaszigeti mérőpontokban a 2002-es évben.*

34. ábra: *A talajnedvesség potenciál alakulásának grafikus kiértékelése a neutronsondás mérések alapján Dunaszigeten a 2002-es évben.*

35. ábra: *A talajnedvesség potenciál alakulásának grafikus kiértékelése a neutronsondás mérések alapján Bodiky (Nagybodak) mérőponton a 2002-es évben.*

36. ábra: *Talajvíz összegzése a 0 -30 cm mélységű talajrétegre, mindkét mérési helyet összehasonlítva a vegetációs időszak alatt történt változások szempontjából.*

37. ábra: *Talajvíz összegzése a 30 - 60 cm mélységű talajrétegre, mindkét mérési pontot összehasonlítva a vegetációs időszak alatt észlelt változások szempontjából.*

38. ábra: *Talajvíz összegzése a 60 - 90 cm mélységű talajrétegre, mindkét mérési pontot összehasonlítva a vegetációs időszak alatt észlelt változások szempontjából.*

39. ábra: *Talajvíz összegzése a 0 - 100 cm-es mélységű talajrétegre, mindkét mérési pontot összehasonlítva a vegetációs időszak alatt észlelt változások szempontjából.*

40. ábra: *Nedvesség tenziós görbéket (görbeköteget) összefoglaló grafikon a litológiai táblázatok alapján meghatározott homogén talajrétegek számára, a talajszinttől egészen a 300 cm-es mélységig.*

41. ábra: *A talajvízszint mozgása a bácsfai és a halászi mérőpontokban*

42. ábra: *A talajnedvesség függőleges eloszlása és alakulása a bácsfai mérőpontban a 2002-es év vegetációs időszaka alatt. Neutronszondás mérés 10 cm-es megkülönböztetéssel.*
43. ábra: *A talajnedvesség függőleges eloszlása és alakulása a halászi mérőpontban a 2002-es év vegetációs időszaka alatt. Neutronszondás mérés 10 cm-es megkülönböztetéssel.*
44. ábra: *Talajvíz összegzése a 0 - 30 cm-s mélységű talajrétegre, mindkét mérési pontot összehasonlítva a vegetációs időszak alatt észlelt változások szempontjából.*
45. ábra: *Talajvíz összegzése a 30 - 60 cm-s mélységű talajrétegre, mindkét mérési pontot összehasonlítva a vegetációs időszak alatt észlelt változások szempontjából*
46. ábra: *Talajvíz összegzése a 60 - 90 cm-s mélységű talajrétegre, mindkét mérési pontot összehasonlítva a vegetációs időszak alatt észlelt változások szempontjából.*
47. ábra: *Nedvesség tenziós görbéket (görbeköteget) összefoglaló grafikon a litológiai táblázatok alapján meghatározott homogén talajrétegek számára a talajszinttől egészen a 210 cm-es mélységig.*
48. ábra: *Nedvesség tenziós görbéket (görbeköteget) összefoglaló grafikon a litológiai táblázatok alapján meghatározott homogén talajrétegek számára a talajszinttől egészen a 180 cm-es mélységig.*
49. ábra: *Nedvesség tenziós görbéket (görbeköteget) összefoglaló grafikon a litológiai táblázatok alapján meghatározott homogén talajrétegek számára a talajszinttől egészen a 150 cm-es mélységig.*

50. ábra: Nedvesség tenziós görbéket (görbeköteget) összefoglaló grafikon a litológiai táblázatok alapján meghatározott homogén talajrétegek számára a talajszinttől egészen a 300 cm-es mélységig.
51. ábra: Redukált térfogattömeg alakulása a függőleges talajmetszetben az ásványrári mérőpont számára.
52. ábra: Redukált térfogattömeg alakulása a függőleges talajmetszetben a dunaremetei mérőpont számára.
53. ábra: Redukált térfogattömeg alakulása a függőleges talajmetszetben a dunaszigeti mérőpont számára.
54. ábra: Redukált térfogattömeg alakulása a függőleges talajmetszetben a halászi mérőpont számára.
55. ábra: A neutronszonda kalibrációja az ásványrári mérőpontban.
56. ábra: A neutronszonda kalibrációja a dunaremetei mérőpontban.
57. ábra: A neutronszonda kalibrációja a dunaszigeti mérőpontban.
58. ábra: A neutronszonda kalibrációja a halászi mérőpontban.
59. ábra: A talajnedvesség függőleges eloszlása és alakulása az ásványrári mérőpontban a 2002-es év vegetációs időszaka alatt. Neutronszondás mérés 10 cm-es megkülönböztetéssel.
60. ábra: A talajnedvesség függőleges eloszlása és alakulása a dunaremetei mérőpontban a 2002-es év vegetációs időszaka alatt. Neutronszondás mérés 10 cm-es megkülönböztetéssel.

61. ábra: *A talajnedvesség függőleges eloszlása és alakulása a dunaszigeti mérőpontban a 2002-es év vegetációs időszaka alatt. Neutronsondás mérés 10 cm-es megkülönböztetéssel.*
62. ábra: *A talajnedvesség függőleges eloszlása és alakulása a halászi mérőpontban a 2002-es év vegetációs időszaka alatt. Neutronsondás mérés 10 cm-es megkülönböztetéssel.*
63. ábra: *A talajvízszint mozgás alakulása az ásványrári, dunaremetei, dunaszigeti és a halászi mérőpontokban a 2002-es év vegetációs időszaka folyamán.*
64. ábra: *A meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából a 2002-es év vegetációs időszakára a 0-100 cm-es rétegben, az ásványrári megfigyelő pontban.*
65. ábra: *A meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából a 2002-es év vegetációs időszakára a 100-200 cm-es rétegben, az ásványrári megfigyelő pontban.*
66. ábra: *A meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából a 2002-es év vegetációs időszakára a 0-200 cm-es rétegben, az ásványrári megfigyelő pontban.*

67. ábra: *A meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából, a 2002-es év vegetációs időszakára a 0-60 cm-es rétegben, a dunaremetei megfigyelő pontban.*
68. ábra: *A meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából, a 2002-es év vegetációs időszakára a 0-160 cm-es rétegben, a dunaremetei megfigyelő pontban.*
69. ábra: *A meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából, a 2002-es év vegetációs időszakára a 0-100 cm-es rétegben, a dunaszigeti megfigyelő pontban.*
70. ábra: *A meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából, a 2002-es év vegetációs időszakára a 100-150 cm-es rétegben, a dunaszigeti megfigyelő pontban.*
71. ábra: *A meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából, a 2002-es év vegetációs időszakára a 0-150 cm-es rétegben, a dunaszigeti megfigyelő pontban.*
72. ábra: *A meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából, a 2002-es év vegetációs időszakára a 0-100 cm-es rétegben, a halászi megfigyelő pontban.*

73. ábra: A meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából, a 2002-es év vegetációs időszakára a 100-200 cm-es rétegben, a halászi megfigyelő pontban.

74. ábra: A meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából, a 2002-es év vegetációs időszakára a 0-200 cm-es rétegben, a halászi megfigyelő pontban.

Táblázatok jegyzéke

1. táblázat: *Hidrolimitek (hidrológiai határérték) összefoglaló táblázata*
2. táblázat: *Agronómiai talajvízháztartás osztályozása típusok szerint*
3. táblázat: *Neutronszoonda kalibrációhoz megadott gyári értékek*
4. táblázat: *A mezőgazdaságilag művelt talaj felosztása a Csallóközben. (1993)*
5. táblázat: *A talaj típus (szerkezeti elosztás) szerinti összetétel a Csallóközben. (1993)*
6. táblázat: *A mezőgazdaságilag művelt talaj felosztása a Szigetközben.*
7. táblázat: *A Szigetköz és a Csallóköz éghajlatának összehasonlító táblázata.*
8. táblázat: *Talajszelvény leírás Cilizska Radvan – Csilizradvány*
9. táblázat: *Talajszelvény leírás Baka*
10. táblázat: *Talajszelvény leírás Královská Lúka – Királyrét*
11. táblázat: *Talajszelvény leírás Báč – Bácsfa*
12. táblázat: *Talajszelvény leírás Bodíky – Nagybodak*
13. táblázat: *Talajszelvény leírás Dunasziget*
14. táblázat: *Talajszelvény leírás Halászi*
15. táblázat: *Talajszelvény leírás Dunaremete sorjási legelő*
16. táblázat: *Talajszelvény leírás Ásványráró*
17. táblázat: *A mosonmagyaróvári mérési helyszín számára érvényes koefficiensek*
18. táblázat: *Korrelációs összefüggések a három mérési módszer közt a talajtani laboratóriumi adatok aktualizálása előtt.*
19. táblázat: *A mosonmagyaróvári mérési pont bolygatatlan mintáinak a Hidrológiai Intézet Talajtani Laboratóriuma által aktualizált hidrofizikai értékei.*
20. táblázat: *A neutronszondás és I szenzor által mért értékek korrelációs koefficiens értékei.*

21. táblázat: *Empirikusan megállapított száradáspontok.*
22. táblázat: *Minimális és maximális gyökérmélység mezőgazdasági termények számára (Bratislava Talajtani és Hidromeliorációs Intézet)*
23. táblázat: *A főbb mezőgazdasági növényfajok havi átlagos vízigénye*
24. táblázat: *A gyökérzóna mélységének alakulása a vegetációs időszak alatt.*
25. táblázat: *A gyökér által felvett vízmennyiség a teljes vízfelvétel százalékában.*
26. táblázat: *A talajvíz optimális mélysége az egyes növények számára, különböző talajokban.*
27. táblázat: *A növények kritikus (legnagyobb) vízfogyasztási időszaka a fejlődés és a termés hozam szempontjából.*
28. táblázat: *Optimális víz és levegő arány az összporozítás százalékában.*
29. táblázat: *Talajszelvény leírás Nagybodak (Bodíky) .*
30. táblázat: *Talajszelvény leírás Dunasziget*
31. táblázat: *A bácsfai talajszelvény rétegei*
32. táblázat: *A halászi talajszelvény rétegei*
33. táblázat: *A talajnedvesség rétegenkénti határértékei az ásványrárói mérőpontban*
34. táblázat: *A talajnedvesség rétegenkénti határértékei a dunaremetei mérőpontban*
35. táblázat: *A talajnedvesség rétegenkénti határértékei a dunaszigeti mérőpontban*
36. táblázat: *A talajnedvesség rétegenkénti határértékei a halászi mérőpontban*

Abstract

The present work has been carried out with the aim of investigating soil moisture measurement technology methods emphasising on the neutron probe methodology and the hydro-molecular polarization methodology.

Using the hydro-molecular polarization method a new instrument, the so called intelligent sensor has been developed by SINÓROS-SZABÓ B. and colleagues.

The first part of the work was to compare the data of soil moisture collected by the neutron probe method and the intelligent sensor and compare them to find out whether the intelligent sensor comply with the requirements of a modern instrument. It has been found out the data measured by the new instrument correlated (0.85-0.94) with the data measured by the neutron probe method as well as the data measured by the gravimetric analysis method. According to the result of the comparison of data the intelligent sensor meets the requirements.

The second aim was to compare the two area, the Csallóköz and Szigetköz (Mid-Danube Basin) from the aspect of hydrology and agriculture in addition to appraise the results of changes in soil moisture in the year of 2002 from the view of precision agriculture. Analyzing the measured tension of soil moisture, it has been revealed which days or periods showed shortage of water, extra water or ideal circumstances for different plants in the investigated area.

Using the results in the future the precision agriculture will be able to find the appropriate plant for different locale in the Szigetköz region.

Abstract

The present work has been carried out with the aim of investigating soil moisture measurement technology methods emphasising on the neutron probe methodology and the hydro-molecular polarization methodology.

Using the hydro-molecular polarization method a new instrument, the so called intelligent sensor has been developed by SINÓROS-SZABÓ B. and colleagues.

The first part of the work was to compare the data of soil moisture collected by the neutron probe method and the intelligent sensor and compare them to find out whether the intelligent sensor comply with the requirements of a modern instrument. It has been found out the data measured by the new instrument correlated (0.85-0.94) with the data measured by the neutron probe method as well as the data measured by the gravimetric analysis method. According to the result of the comparison of data the intelligent sensor meets the requirements.

The second aim was to compare the two area, the Csallóköz and Szigetköz (Mid-Danube Basin) from the aspect of hydrology and agriculture in addition to appraise the results of changes in soil moisture in the year of 2002 from the view of precision agriculture. Analyzing the measured tension of soil moisture, it has been revealed which days or periods showed shortage of water, extra water or ideal circumstances for different plants in the investigated area.

Using the results in the future the precision agriculture will be able to find the appropriate plant for different locale in the Szigetköz region.

Termőhely-specifikus növénytermesztés hidrológiai alapjai, különös tekintettel

Csallóközre és Szigetközre

- Talajvízszint és nedvesség viszonyok -

*Mottó: A Dunakiliti-víztároló
illetve a Bősi vízierőmű a
Csallóköz és a Szigetköz talajvíz
dinamikáját alapvetően
meghatározza.*

Az erőmű és a hozzá tartozó létesítmények hatással vannak a talajvízszint ingadozására és a vízmozgás jellemzőire. Ezért ezen létesítmények közvetve a mezőgazdasági termelés feltételrendszerét is megváltoztatták. Jelenleg a számos monitoring tevékenység ellenére sincs pontos információk arról, hogy ezt a különleges ökológiai egységet - a mezőgazdasági termelés irányításával - hogyan lehet egyensúlyban tartani.

Dolgozatomban közel tíz év kutatási eredményeit foglalom össze. Ebben a földrajzi-ökológiai egységben a talajvízre illetve a talajnedvesség változására vonatkozó adatok gyűjtése és kiértékelése egy évtizede a feladatom. Ugyanakkor azt tapasztalom, hogy a rendelkezésünkre álló adatbázis gyakorlati hasznosítása nem kielégítő.

Célom, hogy a termőhely specifikus mezőgazdasági termelés feltételrendszerét elsősorban műszaki oldalról közelítve vizsgáljam, majd a hidrológiai jellemzők értékelésével javaslatot tegyek az adatok gyakorlati életben való alkalmazására.

1. Bevezetés

A víz életet jelent. Ezt a mondatot olyan gyakran halljuk, hogy jelentésének mélységét már nem érezzük és nem is értelmezzük. A növények 80-95%-a vizet tartalmaz. A víz az élőlények szerves része és így

a növényi élet elengedhetetlen hozzátartozója. A víz nem csak alkotó eleme a növényeknek, hanem feltétlenül szükséges az anyagok és az energia mozgatásához is az élet során, hiszen a növényi szervezeten keresztül rengeteg víz áramlik át mint hajtó erő az egyes tevékenységekhez. Ezért alapvető követelmény a korlátozott (nálunk ma még bőven rendelkezésre álló) vízkészlet minél gazdaságosabb felhasználása illetve az új gazdálkodási módszerek lehetőségének feltárása.

Azt a tudományágat, amely a vízmozgás törvényeinek felderítésével foglalkozik hidrológiának nevezzük. A hidrológia rész tudományágai az oceanográfia, ami az óceánok; a felszíni vizek hidrológiája az, amelyek a felszíni folyók, tavak; és a talajvizek hidrológiája a felszín alatti vizek tanulmányozásával foglalkozik. A felszín alatti és talajvizek hidrológiája a víz talajrétegben való áthaladásával a talajban való kötődését és a talajban lévő nedvesség készlet alakulását tanulmányozza. Ehhez szorosan kapcsolható a növények e nedvességekészlethez való viszonyának vizsgálata. Kihangsúlyozva a talajvizek azon különlegességét, hogy a talaj – növény – atmoszféra rendszer részévé váljon, mert az részben atmoszferikus vízből formálódik, és a növénytakaró nagymértékben befolyásolja mennyiségét.

A talajban előforduló vízmennyiség meglepően magas, mert egy méter vastagságú réteg akár 30-60 cm talajvizet is tartalmazhat. Elmondható, hogy átlagosan 25 cm víz található a talajban, ebből megállapítható, hogy mind Szlovákiában mind Magyarországon a legtöbb vizet a talaj tartalmazza. Többet, mint az összes folyó, vízduzzasztó, és tó együtt véve (kb. 11 szerese). További tulajdonsága a talajvíznek, hogy nem használható fel sem ipari, sem ivóvízként, mert a talajból való kivonása sok technikai akadályba ütközik. Viszont ezek az akadályok egyes körülmények közt nem léteznek a növények számára, mivel azok rendelkeznek a megfelelő berendezéssel (gyökérzet) a talajvíz felvételére. A növények számára általában a talajban lévő víz az egyetlen vízforrás. Mivel

általánosan a talajvíz csak néhány gramm oldott ásványi sót tartalmaz, fizikálisan nem sokban különbözik a tiszta víztől.

A talajvíz mozgásával a talajhidrológia foglalkozik. A bilanciális (vízmérleg) egyenlet szempontjából nézve növényi kipárolgással (evapotranspirációval) az atmoszférába a csapadék $\frac{2}{3}$ - a visszakerül, és csak $\frac{1}{3}$ – a folyik el a felszíni vizekkel. Az evapotranspiráció egyik legnagyobb forrása a talajvíz, ami a gyökérzetten keresztül részt vesz a növények tápanyag ellátásában, a fotoszintézisben, amely a biomassa képződését eredményezi. A biomassa egy részét nevezzük mezőgazdasági terménynek, ami az emberiség táplálékforrása. Az tény, hogy a vízkészlet a Földön állandó, létfontosságúvá válik ezen készletek mind gazdaságosabb kihasználása .

A hidrológus és a mezőgazdász elsődleges feladatai közé tartozik azon feltételek kutatása és megteremtése, hogy az egyes termények optimális körülmények között maximális hozammal a talajvíz készletek minél gazdaságosabb felhasználásával növekedjenek. Ez csak akkor lehetséges, ha minél tökéletesebben ismerjük a talajvízkészlet évszakos változásait a talajban és ezen ismeretek birtokában tudunk optimális megoldásokat javasolni, konkrét talajok és termények számára.

A MEZŐGADASÁG LEGFONTOSABB TERMELŐ ESZKÖZE A TALAJ. Minden termelési folyamat szorosan összefügg a vízzel, mivel a víz meghatározó tényező a termékenységnél (hozamnál). Éppen ezért a talajvíz rendszer szabályozása és a vele való gazdálkodás az egyik módja a termőképesség fokozásának.

Az élőlények vizet tartalmaznak, a növények 85-95%-ban. A víz jelenléte egyik alapfeltétele az életfunkciók működésének. Vízzel nincs fotoszintézis, tápanyag szállítás, tápanyag felvétel, illetve a talajban nincs hidratáció, hígítás, és más fontos lejátszódó folyamatok.

A VIZET SEMMIVEL SEM TUDJUK PÓTOLNI. A mai társadalom égető problémái közé tartozik az élelmiszer fogyasztás növekedése az emberi szaporodással arányosan , legfőképpen a harmadik világban. Ha csak egy lépéssel is előrébb szeretnénk jutni e téren a közeljövőben minimálisan meg kell duplázunk a termelést, hogy lépést tudjunk tartani a növekvő igényekkel és pótoljuk a mai hiányt. A jövő érdekében olyan módot kell találni, amely sem közvetve sem közvetlen nem

vonja maga után az ökológiai egyensúly megbontását, sem a talajvíz körforgási rendszerének megváltozását, szennyezését, elsavasodását, vagy a talaj elszikesedését, szerkezet változását, sem a növény betegségek elszaporodását.

Szlovákia és Magyarország talaja a legnagyobb víztározó mindkét ország területén. Szlovákiában 1.48 millió ha, addig Magyarországon 4.8 millió ha szántóföld van (1992. évi adatok szerint).

Szlovákiában 0,270 ha mezőgazdasági termőterület jut egy személyre, Magyarországon 0,480 ha. Szlovákiában tehát minden hektár termőföldnek több mint 3,7 embert kell eltartania, míg Magyarországon több, mint 2 főt. Az 1 főre jutó mezőgazdasági termőterület az USA-ban 2,31 ha, tehát az 5-8,5-szöröse a szlovák illetve a magyar értéknek. Ez bennünket azon országok közé sorol, ahol ez az arány a legkisebb, és ez minden évben tovább csökkenő tendenciát mutat, nem is beszélve az intenzív környezet szennyezésről ami tovább rontja a meglévő és már eléggé szennyezett talaj minőségét (ipari szennyezés, hőerőművek, mérgező anyagok, nehézfémek, olajtermékek stb.). Az utolsó évek során jelentősen nőtt a nagyüzemi mezőgazdaság által szennyezett talaj mennyisége ami időzített bombaként működve azonnal nem észlelhető. Természetesen tovább működik a szél, a víz eróziója és a globális klímaváltozás hatásai már ma sem hanyagolhatók el, idővel az intenzitásuk geometriai sorozattá válhat.

E MUNKA CÉLJA KETTŐS:

Az első: az I szenzor (intelligens) nedvességmérő műszer megvizsgálása, mint talajnedvesség mérési módszer, a mai kor követelményeinek és a mérések pontosságának szempontjából. Összehasonlítani más módszerekkel, kiértékelni előnyeit és hátrányait.

A második: A csallóközi és szigetközi hasonló helyszínek talajnedvesség háztartásának szezonális alakulásának összehasonlítása, valamint a Szigetközben kiválasztott négy helyszínen a talajnedvesség mérés eredményeit kiértékelni és megtalálni ezen eredmények hasznosítási módját a mezőgazdaság számára.

A talajnedvességgel összefüggő fizikai jelenségek az általános fizikából és hidrológiából nem egyértelműek, az utóbbi 10-15 évben nagyon bővültek, és továbbfejlődött a tudományos feltárásuk. Ezért szükséges e fogalmak és a használt módszerek igen részletes leírása, mivel e magyarázatok nélkül az új fogalmak vagy kétértelműek, vagy másként vannak használva, és értelmezésük, tartalmuk az utóbbi időben jelentősen bővült. Második használt fogalomcsoport a talajhidrológiánál a növényekben való áramlások, a gyökérszónával összefüggő táplálék és talajvíz felvétel, mely a talajvíz dinamika kiértékeléséhez szükséges, és nélkülözhetetlen az egyes folyamatok megértéséhez. Ezeknek a nagyon bonyolult folyamatoknak a feltárása az újabb és tökéletesebb műszerek segítségével állandóan folyamatban van, és szinte évről évre változik, mert a tudományág igen gyors, folyamatos fejlődésben van. Épp ezért van szükség az ezzel összefüggő folyamatok és a használt fogalmak ilyen részletes leírására, hogy az elvégzett talajnedvesség dinamikai vizsgálatok érthetők legyenek és tudatosíthassuk, hogy mely befolyásoló tényezők figyelembe vétele szükséges az új szempontok megértéséhez. Érthetőbbé és feltárhatóbbá tegyék e folyamatok eredményeit, és felhasználhatóságát a mezőgazdaság számára. A növényvilág táplálék és talajvíz háztartásának törvényeinek megértése és ezen összefüggések felhasználása, főleg a táplálék előállítás, a precíziós mezőgazdasági termelés számára elengedhetetlen.

E kutatások eredményeként jobbat, egészségesebbet és többet tudunk termelni ugyanazon – vagy még inkább a fokozatosan csökkenő termőföld területen, ami még a rendelkezésünkre áll, vagy fog állni a jövőben.

2. Irodalmi áttekintés és elméleti háttér – A probléma megoldás jelenlegi állapota

2.1 Áttekintés a hidrológiai fogalmak, talajnedvesség mérések és metódusok technológiájáról

2.1.1 A talaj vízháztartásának alapvető elemei

A víz természeti egyensúly állapotának az állandó körforgás a feltétele. Ennek köszönhetően beszélünk a vízről, mint mindig megújuló és gyakorlatilag kifizegyhatatlan energiaforrásról. A megújuló ciklusban csak a tulajdonságok változnak, fizikailag nem használódik el. Ennek a körforgási ciklusnak, elpárolgás az óceánból, lecsapódás csapadék formájában a szárazföldön, elfolyás vissza az óceánba. Ha ezt aprólékosan vizsgáljuk, sok kis összetevője akad ennek a ciklusnak, ami mind befolyással bír a körforgás egyensúlyára és könnyen megbonthatja azt. Az utóbbi időben az emberiség tevékenysége dominánsan befolyásolja az egyes biociklusi elemeket. Mivel az egyik oldalon a pozitív befolyáshoz a feltételek eléggé korlátozottak, addig az emberi beavatkozás negatív hatásai jobban kidomborodnak. A talajvíz körforgás negatív irányba való elmozduláshoz vezet a légkör és a benne lévő víz változása.

Ebben a kölcsönhatásban meghatározó szerepet játszik az aerációs zóna vízdinamikája. Aerációs zónának nevezzük geometriailag a talajfelszín és a talajvízszint közti réteget. A benne lévő vízkészletet az elfolyó és az adalék víz határozza meg. Ha ezen vízkészlet alakulását az aerációs zónában a megfigyelés ideje alatti változások szemszögéből vizsgáljuk, akkor a talajvíz gazdálkodásáról beszélünk. Az aerációs réteg (zóna) vízgazdálkodásának a mérlegét a sok éves megfigyelések alapján lehet megadni. Statisztikai jellemző, visszatükrözi a

lejátszódó folyamatok jellemzőit, ciklusait, és ezek alapján lehetséges egy hely vagy régió vízháztartásának a besorolása:

- Hidrológiai szempontból - a hidrológiai ciklus szempontjából a víz mozgás iránya és intenzitása a meghatározó
- Ökológiai szempontból - a rétegződés szempontjából a víz mennyiség egészének a növénytakaróhoz való hasonlításával
- Agronómiai szempontból - a növények számára felhasználható talajvíznek a potenciális és valós aránya a növénytermesztési gyökér zónában.

Az aerációs talaj zóna vízháztartása főleg a bevételtől (csapadék, talajvíz) és az eltávozott víz (evapotranszpiráció) nagyságától függ. A bevett vizet a síkságon az infiltráció (csapadék, öntözés) és a kapillárisosan a talajvízből felvett víz (ha ez eléri az aerációs zónát) alkotják. Az eltávozott vizet a kipárolgás (földfelszínről, vagy növénytakaróból) és a talajvízbe távozott – elfolyt víz alkotja.

Általában az aerációs zóna vízháztartásának több befolyásoló tényezője van, ezek közül a legfontosabbak:

- domborzati viszonyok
- talaj hidrofizikális tulajdonságai
- talajvíz
- éghajlati tényezők
- vegetáció
- antropogén hatás

Az aerációs zóna vízháztartásának fontos tényezője a víz mennyiség változása, a talajnedvesség változása, mely bizonyos időre vonatkoztatva kiértékelhető. Ez a nedvesség háztartás kiértékeléséhez bizonyos hely vagy régió számára több éves

megfigyelés szükséges. Az aerációs zóna nedvesség tartalmának kiértékelését, meghatározását, vagy :

- helybeli szisztematikus (lehető legsűrűbb) mérések alapján, ezeket egy vagy több kiválasztott hely (vertikális) alapján a kiválasztott jellemző helyeken végezzük (monitoring).
- rendelkezésünkre álló adatok alapján matematikai modell segítségével gerjesztett feltételek alapján kiszámítjuk a talajnedvesség háztartásának a változásait (prognosztizálni-előnye hogy folyamatos változásokat kapunk, napi értékekkel de a pontosság rovására).

A talajnedvesség monitoringja műszer és munkaerő igényes, de az eddigi tapasztalatok és lehetőségek alapján nem helyettesíthető semmi más egyszerűbb módszerrel. A mérések által megfelelő pontosságú áttekintést kapunk konkrét adatokkal alátámasztva a talajnedvesség egész évi változásairól. Ez a matematikai modellek ellenőrzéséhez és hitelesítéséhez is elegendő. A talajnedvesség több éves monitoring vizsgálata alapján kiszámítható a talaj integrális vízkészletének fejlődési iránya. Az egyes horizontok (egyforma összetételű rétegek) számára, vagy az olyan rétegek számára, amelyek valamilyen szempontból fontosak (gyökér zóna). Továbbá meghatározhatjuk az alsó határt, amely általában a talajvíz szintje, de az olyan esetekben, ahol a kavics réteg magasabban van, mint a vízszint, elhanyagolható a talajvíz hatása a vízháztartásra. Ha olyan hosszú a megfigyelés – adatgyűjtés időtartalma, hogy egy referenciás időszak (összehasonlítható) segítségével hitelesített matematikai modellel előre jelezhetjük az egyes nedvesség profilok várható változásait, vagy vízkészlet változásait a jövőre való tekintettel (előrejelzések).

A várható globális változások szempontjából érthető, hogy milyen előnyt jelent ha kéznél van egy olyan metódus amely segítségével előre jelezzük a várható hatást az aerációs talajzóna víz készletére. Ez irányú kutatás a szakirodalom területen mai napig hiányos.

2.1.2 A probléma időszerű állapota

A talaj egy természeti képződmény a litoszféra és az atmoszféra határán. A hidroszféra és a pedogenetikai folyamatok segítségével alakult ki. A talaj biológiailag aktív és rétegzett képződmény [Kutilek. 1978].

A pedogenetikus folyamat magába foglalja azokat a történéseket, melyek a létezés ideje alatt lejátszódnak benne [Velebny 2000]. A talajképződés több olyan folyamatból áll, mint pl.: porladás, humuszképződés, tözegesedés, transzlokáció, akkumuláció, melyek részarányaként alakulnak ki a talaj különböző fajtái, mint a csernozjom, barna erdőtalaj, lösz, öntött talaj stb.

Ezen komponensek végeredménye a kialakulásra hosszú időn át ható tényezők: éghajlat, talaj élőlények, domborzat, emberi állati tevékenység és az idő.

A víz mozgása szempontjából beszélhetünk:

- felszíni vízmozgás (folyók, tavak, tengerek)
- aerációs zónarétegben levő vízszivárgás
- talajvíz szint alatti vízmozgás.

E tényezők és az atmoszférában történő mozgás okozza a talaj nedvesség kialakulását. A talaj nedvesség kialakulása szempontjából a talajvíz dinamikája kulcsfontosságú szerepet játszik a aerációs zónában. [Sutor1980].

Az aerációs zónában végbemenő kölcsönhatások a lejátszódó folyamatokon belül és ezek összefüggései a vízzel, talajfelszínnel és a talajvíz alatti folyamatok ismeretében. A felmerülő problémák megoldására jó alapot képez, ha a telítetlen rétegeket mint rendszert vizsgáljuk.

2.1.3 A talaj alapvető fizikai és hidrofizikai jellemzői

- a, Talaj sűrűség – fajsúly
- b, Térfogattömeg
- c, Vizzel telített és telítetlen talaj
- d, Talaj porozitása
- e, Talajnedvesség
- f, Talajvíz potenciál
- g, Nedvesség retenciós görbe

- a, Talaj sűrűség – fajsúly

A talaj fajsúly (ρ_s) a száraz tömeg (m_s) és a talaj szilárd egységnyi térfogatának (V_s) hányadosa:

$$\rho_s = m_s / V_s \text{ [kg. m}^{-3}, \text{ g.cm}^{-3}\text{]}$$

Mivel a legtöbb talaj ásványi eredetű és magas kvarctartalmú, ezért a fajsúlya közeli a kvarchoz (2,65 g. cm⁻³). Nagyobb fajsúlyúak a humusz mentes talajok (2,6 – 2,7 g. cm⁻³), kisebb fajsúlyúak a humuszosak (2,5 – 2,65 g. cm⁻³). A szerves eredetűek (tőzeg) fajsúlya jóval kisebb a szervetleneknél (0,18 – 1,6 g. cm⁻³), a hamu és a tőzeg arányától függően (a tőzeg felbomlási aránya oxidáció).

- b, Térfogattömeg

A talaj térfogat tömegén az egységnyi térfogatú, nedvességmentes talajtömeget értjük. A meghatározás bolygatatlan szerkezetű talajmintákon történik. A meghatározás a nedves talajon nem redukált térfogat tömeget ad, a szárító szekrényes (105°C fokon) kiszáritott talaj redukált térfogat tömegét értjük. A térfogattömeg a fajsúly és a porozitás függvénye. Mivel egyszerű méréssel állapítjuk meg, a porozitás megállapításához alap érték redukált térfogat tömeg:

$$\rho_d = m_s / V \text{ [kg. m}^{-3}, \text{ g. cm}^{-3}\text{]}$$

ahol: m_s = szárított talajsúly és V = egységnyi térfogat .

Nem redukált térfogat tömeg ρ_w a következő összefüggéssel írható le:

$$\rho_w = m/V = m_s + m_w/V \text{ [kg. m}^{-3}, \text{ g. cm}^{-3}]$$

ahol: m = talajnedvesség súlya, m_s = a szárított talaj súlya, m_w = a víz súlya és V = egységnyi térfogat.

A térfogat tömeg nem konstans és a megfigyelési időszak (év) szakaszaitól függ a nedvesség változásával arányos. Továbbá befolyásolja a talaj szerkezet változásait, pl., fagy művelés, és gyökér szerkezet fejlődése stb. 0,2 g.cm⁻³-től (tőzeg) és – 1,8 g.cm³ (sűrített talaj)közt változik. Merőleges irányban lefelé növekvő tendenciát mutat.

c, Vízrel telített és telítetlen talaj

A talaj térfogatának azon részét, mely nincs hézag mentesen kitöltve, pórusoknak nevezzük. Az egységnyi térfogatú talaj hányada, amelyet nem szilárd fázis és nem biológiai fázis (mikroorganizmusok és gyökök) [Várallyay] foglal el. Nagy részük különösen összekötődik, ami lehetővé teszi a folyékony anyagok és a bennük oldott anyagok átvitelét. Mivel a pórusok méretei általában kicsik, a kapilláris folyamatok vannak túlsúlyban. Ezért a talajt porózus kapilláris közegnek is hívjuk. Abban az esetben, ha minden pórus telítve van vízzel, vízzel telített talaj területről beszélünk. Ezt kétfázisos rendszernek nevezzük. Ez azonban szántóföldi körülmények közt nagyon ritka, mert általában majdnem telített szintet szoktunk elérni, ami 85-95 %-os víz telítettsége a pórusoknak. A többi pórus levegővel van telítve, mert a víz számára hozzáférhetetlen.

További leggyakoribb jelenség, hogy a pórusok csak részben vannak feltöltve, tehát a talajnedvesség kisebb, mint a pórusosság, ekkor nem telített területről

beszélünk. A talaj ekkor 3 fázisos rendszert alkot – szilárd, folyékony és gáz összetevőkkel.

d, Talaj porozitása

A talajban lévő pórusoknak különböző nagysága és alakja van. Az egyszerűség szempontjából henger alakot fogadtunk el. Ez az idealizálás megfelelő mennyiségű henger alakú, százalékos arányos pórust képzelünk el egyenértékű átmérővel. A víz áthelyezéséhez keletkező kapilláris erők ugyanolyanok legyenek, mint a természetes tartományú pórusokban megelőzően létezők. Porozitás fogalma P - olyan térfogatú pórus V_p -a talaj térfogatában V - a térfogat tömeg ρ_d -és a fajsúly ρ_s -er segítségével számoljuk

$$P = V_p/V = P_s - P_d / P_s = 1 - P_d / P_s$$

Porozitás számot ebből úgy kapjuk, hogy a porozitást (V_p) elosztjuk az egységi térfogattal (V_s).

$$e = V_p/V_s$$

A porozitás és a porozitás szám közti összefüggés a következő:

$$P = e / 1+e \quad \text{illetve} \quad e = P/1-P$$

A talaj pórus viszonyait a legegyszerűbben és legszemléletesebben a vízzel szembeni viselkedésével jellemezhetjük. Nagyságukkal, alakjukkal és térfogatukkal hatnak a víz tulajdonságaira és a mozgás sebességére, továbbá befolyásolják az egyes ásványi anyagok felvételének mozgását. Ezzel a pedogenézis folyamatára is hatnak. Hasonlóan összefüggésben van a levegő vagy gáz mozgása is és ezt is meghatározza. A porozitás lehetővé teszi a CO_2 diffúzióját a talajból a levegőbe, ez azt eredményezi, hogy a talajban lévő levegő összetételét is befolyásolja. A pórusok

jelenléte szintén meghatározó a mikroorganizmusok tevékenységére is. Elégséges pórus pozitívan hat a gyökerek kialakulására. Általában a porozitás a mélységgel csökken, de ezt a tendenciát az egyes rétegek változása is befolyásolja és aránytalanná teszi.

A talaj porozitásának a nagysága a szemcsézettségtől, a humusz mennyiségtől, a talaj struktúrától a képződés által kialakított talajrétegektől függ. Mivel ezek a tényezők sok kombinációt képeznek, a porozitás értéke 20-90 % közt mozog. [Kutilek, Várallyay 1978]. A porozitás időben változó, és az évszakokban főleg a nedvesség és a hőmérséklet befolyásolja.

e, Talajnedvesség

E fogalom alatt a talajban lévő víz mennyiségét értjük. Kétféle talajnedvességet ismerünk: az un. tömeg alapon kifejtett nedvességtartalom és a térfogat alapon kifejezett nedvesség tartalom. A víz tömegének (M_w) a talaj szilárd fázisának tömegéhez (m_s) való arányát a tömeg nedvességnek (W) nevezzük.

$$W = m_w / m_s$$

A térfogat nedvesség (θ) a víz térfogatának (V_w) a talaj térfogatához (V) való aránya.

$$\theta = V_w / V$$

A két egyenlet közötti összefüggést a következően fejezzük ki:

$$\theta = w \cdot \rho_d / \rho$$

ahol: ρ = a víz fajsúlya, ρ_d = a kiszáritott talaj fajsúlya, w = tömeg nedvesség, θ = térfogat nedvesség

A talajvíz meghatározására az olyan talajokban, melyek változtatják térfogatukat, a nedvességszám meghatározást használjuk, amely a talaj folyékony fázisának (V_w) és a talaj szilárd fázisának (V_s) az aránya.

$$\theta = V_w / V_s$$

$$\theta = (1+e) \cdot V_w / V = (1+e) \cdot \theta$$

A továbbiakban feltételezzük, hogy a talaj duzzadó, homogén és a víz áramlása a talajban nem izotermikus.

f, Talajvíz potenciál

Az izotermikus rendszerbe a víz mozgását, szállítását a helyzet gradiense határozza meg. A talajvíz potenciálja (potenciális energiája) az az energia szükséglet, amit a rá ható külső erők reverzibilisen izotermikusan elvégeznek, mint munkát, hogy az összehasonlítható referens szintről, ahol 0 potenciállal rendelkezik egy meghatározott szintre helyezzük át.

A potenciális energia tehát a talajvíz energetikai állapotát mutatja azon erőkkel szemben melyek rá hatnak a talajban. A talajvíz összpotenciálja három vízpotenciálból tevődik össze:

H_p = nyomás potenciál (tenziométeres nyomás potenciál)

H_o = ozmotikus potenciál

H_g = gravitációs potenciál

$$H_c = H_p + H_o + H_g$$

A nyomás potenciál H_p szintén három összetevőből áll :

H_w = nedvesség potenciál

H_a = pneumatikus potenciál

H_l = megterhelési (duzzadási, nyomási) potenciál

A pneumatikus potenciált a különböző légnyomás változások határozzák meg az aerációs zónában. A duzzadási, nyomási potenciál konszolidációs tulajdonságoktól, és a külső nyomástól függ. A mi esetünkben feltételezzük, hogy $H_a = 0$, $H_l = 0$, tehát a nyomás potenciál egyenlő a nedvesség potenciállal. ($H_p = H_w$)

A szabad vízfelületre atmoszferikus nyomás hat, amit 0-val egyenlővé teszünk. A telítetlen rétegekben a nedvesség potenciál negatív. A szabad víz alatti részben a hidrosztatikus nyomás hatására a nyomás potenciál H_p pozitív. A nyomás potenciál nagysága a szabad vízszint felett és a szabad vízszint alatt különböző erők eredménye. Ezt egy összefüggő mennyiségnek fogjuk feltüntetni, mely folyamatosan áttér a telített rétegből a telítetlenbe. A gravitációs potenciál az az Energia, amit a gravitációs tér ad. Ha a g – gravitációs gyorsulás, akkor az az energia amit m tömegű anyag z horizontba való elhelyezéséhez (a referenciás szintről) szükséges $m \cdot g \cdot z$, ahol g konstans. Tehát a talajvíz összpotenciálja $H_c = (H_p, H_w + H_g)$ és mint hidraulikai magasság ekvivalenst fejezzük ki.

g , Nedvesség retenciós görbe

A nedvesség potenciál és az egyensúlyi talajnedvesség közti összefüggést fejezi ki, ami általában nem egyértelmű. Azt az összefüggést experimentálisan kétféle módon kapjuk meg:

- 1, a talajnedvesség fokozatos csökkentésével
- 2, a talajnedvesség fokozatos növelésével.

1, Telített mintákból fokozatosan elvonjuk a vizet a nedvességpotenciál emelésével és így megkapjuk a nedvességsökkentési retenciós görbét.

2, A víztelenített mintát fokozatosan nedvesítjük a nedvességi potenciál fokozatos csökkentésével és így megkapjuk a nedvességnövelési retenciós görbét.

Mind a két módszerrel egy összefüggő görbét kapunk, melyek azonban nem azonosak. Az egyensúlyi talajnedvesség egy adott nedvességpotenciálnál nagyobb a csökkenésnél, mint a nedvesítésnél. Ezt a jelenséget *histerézisnek* nevezzük. Elsőnek HAINES (1930) foglalkozott e jelenséggel és a pórusokat záró vízfilm különböző konfigurációjának tulajdonította a különbséget. (Az atomok más helyezkedése, amikor elzárják a pórusokat.) Mivel a fokozatosan felnedvesített mintán szerzett retenciós görbén sokkal komplikáltabban lehet mérni, mint a telített minta nedvességtartalmának a csökkentésével, ezért a gyakorlatban az utóbbit használjuk.

A fokozatosan víztelenített nedvességgörbén léteznek olyan karakterisztikus pontok, amelyeket a mezőgazdaságban fel tudunk használni a növények számára szükséges vízmennyiség elbírálására vagy meghatározására. Ezeket *hidrolimiteknek* (hidrológiai határértékeknek) nevezzük (víznyomás határ). A legtöbbet használt pontok közé tartozik a telített vízkapacitás, amely a talajnedvesség azon fokát fejezi ki, amikor minden pórus telített vízzel egyenlő a porozitással. Jelölése: Θ_f

Ezek a vízlimitek olyan értékek, amelyek bizonyos feltételeket határoznak meg. Többségüknek nincs pontos fizikai jelentőségük, nem jellemeznék dinamikus alakulási tényezőket. De a vízmérleg megállapításánál van jelentőségük, segítenek megállapítani, mennyi a növényzet számára felvehető víz van a talajban. Ilyen a szántóföldi vízkapacitás, ez az adott talajban azt a matematikai vízmennyiséget határozza meg, amely a gravitációs és kapillaris erők határán van kötve természetes körülmények között. Ez a pF görbén a pF_{pvk} 2-2,9 intervallumba tartozik. A csökkentett hozzáférhetőségű víz (θ_{bzd}) tehát azzal jellemezhető, hogy amikor a víz mozgása a talajban lényegesen korlátozott és a növények számára is fokozott energiát emészt fel a felvétel (már nehezebben hozzáférhető). A nedvességpotenciál pF_{bzd} 3,1-3,5 tartományába tartozik. Hervadásponthoz θ_{bv} ez egy olyan határ, amikor a

növények tartósan nem tudnak elég nedvességet felvenni, mivel a felvett vízmennyiség intenzitása tartósan az elpárologtatott vízmennyiségnél kevesebb. Ennek a hatására a növények kiszáradnak és elpusztulnak. A nedvességpotenciál küszöb a pF_{bv} 4,18 körül van. Ahhoz, hogy a talajvíz tartalékokat meg tudjuk határozni, talajnedvesség monitoring szükséges. A konkrét mérések és a víz határértékek alapján meg lehet állapítani, hogy a jelenlévő talajnedvesség meddig lesz elegendő.

2.2 A talaj vízháztartása

2.2.1 A talajvíz háztartásának meghatározása (mérlege)

A talajvíz háztartásának meghatározására a nedvesség alakulását használjuk. Mindkét rendszer kiértékelésére a következő jellemzők szükségesek:

1. A talajnedvesség rendszerének elosztásakor: A nedvesség alakulása adott időszakban az aerációs zóna egyes rétegeiben (szintjeiben). A talajnedvesség függőleges eloszlása az aerációs zónában a kiválasztott időszintekben az adott időszakra nézve.

2. A talajvíz háztartásához: Az összegzett (integrált) víztartalom alakulása az aerációs zóna egyes horizontjaiban az elemzett időszakban. Az integrált vízmennyiség viselkedése az aerációs sávban meghatározott vastagságban az egyes időszintek között.

2.2.2 A talajmetszet vízháztartásának mérlege

A talaj vízháztartás meghatározó módszere a víz (összehasonlítása) mérlegelése a talajban. Összehasonlítjuk a bejövő és eltávolodó vízmennyiségeket. A vízháztartási mérleg egyenlet bevételi oldalán lévő aktív összetevőit vagy a befolyó víz összetevőit

Aktív tényezők:

- A csapadék, az öntözést beleértve a növénytakaró által felfogott (interszekciós) vízmérték.
- A felszíni vízlefolyás – magasabb területekről gravitáció által a felszínen befolyt víz, az ártéren az áradáskor befolyt víz, a hófűvészekből keletkezett víz.
- A talajvízi vízszintes befolyás (az összefüggő talajvíz mozgásából származó víz)
- Vertikális befolyás – oldalról való folyás, a talajvízszint emelkedéséből felvett víz.

Passzív tényezők - az elfolyás, eltávozás összetevői:

- Evaporáció – talajból való kipárolgás – növényekből való párolgás és általuk felvett megtartott víz.
- Felszíni elfolyás: elfűjt, elhordott hó
- Felszín alatti elfolyás – talajvíz elfolyás.

A talajvíz háztartási egyenletét a következőképpen írhatjuk le (Kutilek 1984).

$$W_1 + Z + K + P_{pv} + P_{pz} = E + O_{pv} + O_{pz} + W_2$$

ahol:

W_1 = értékelés elején lévő vízkészlet a talajban (mm)

Z = a talaj felszínére érkező csapadék (öntözéssel bevitt víz is) az értékelt időszak alatt, de interszepeció nélkül (mm)

K = a talajvízből származó befolyás

P_{pv} = felszíni befolyás más területről

P_{pz} = felszín alatti befolyás idegen területről

E = evapotranspiráció – a talajfelszíni és a növények által való elpárolgás

O_{pv} = felszíni elfolyás

O_{pz} = felszín alatti elfolyás

W_2 = értékelés végén lévő vízkészlet a talajban (mm)

A vízháztartási egyenlet egyes tagjait szinte lehetetlen mérni. Ezért az egyenlet néhány tagja elhanyagolható és ezeket kihagyjuk az egyenletből. Ezen kívül a mért tagokat kombináljuk a kiszámítottakkal. Például az evapotranspirációt kiszámítjuk, a mellette valót pedig mérjük (felszíni elfolyást). Az egyenlet összes elemét ugyanazon időszakra vonatkozóan állapítjuk meg és a mérleget is erre az időszakra vonatkoztatjuk. Ha a befolyás egyenlő az elfolyással, akkor egyensúlyi helyzetről beszélünk. Abban az esetben, ha a bevétel túltesz a kiadáson aktív, ellenkező esetben passzív a mérleg. Vagyis a nedvességtartalom által megállapított vízmennyiség a talajban növekszik vagy csökken.

2.2.3 A talaj vízháztartását befolyásoló tényezők

a, A talaj lokalitása (helye) a domborzattól függően.

b, A talaj hidrofizikális tulajdonságai és az alatta levő réteg

c, talajvíz

d, éghajlati feltételek

e, vegetáció

f, antropogén tényezők

a, A talaj lokalitása, a talajvízháztartás mérleg figyelésére kiválasztott terület klimatikus hidrológiai szempontból meg kell hogy feleljen, hogy reprezentatív egységet adjon. Lehet úgy szituálva, hogy valamelyik elem az egyenletben meghatározó, ha speciális szempontból szemléljük. A hely kiválasztásánál főleg a felszíni folyásokat vesszük figyelembe, az akkumulációt a mélyedésekben, talajvízszint mélységét a terep alatt és annak változásait.

b, A talaj hidrofizikális tulajdonságai függenek a talaj összetételétől, rétegződésétől és struktúrájától (belső felépítés). Fontos tényező a talaj beszivárgási képessége, hogy milyen mértékben képes a csapadék felvételére. Egyik legfontosabb tényező a talaj vízáteresztő képessége (Permeabilitás), ami a víz mozgási sebességét-intenzitását határozza meg. Valamint meghatározza a talajvízből gyökérzónába felvett víz felemelkedési sebességét.

c, A talajvíz jelentősen befolyásolja a vízháztartást. Főleg akkor, ha nincs mélyen a felszín alatt (1-3 m). A talajvíz vízháztartásra gyakorolt hatása szempontjából a következő esetek figyelhetők meg:

- A talajvíz szint olyan mélyen a felszín alatt van, hogy nincs hatással a vízháztartásra. Kapillaris sáv nem éri el a gyökérzónát és a talajnedvesség általában nem lépi túl a szántóföldi vízkapacitást.
- A telített sáv periodikusan megjelenik a talajrétegben, általában a hóolvadás vagy kiadós esőzés után, de rövid időtartamú. A gyökérzet hatásától, kipárologástól, vagy a talajvíz elfolyása végett a talajvízszint gyorsan csökken. A talajnedvesség gyorsan változik a szántóföldi vízkapacitástól a nehezen felvehető víz és a hervadáspont értékei közt.
- A kapillaris sáv állandóan létezik a gyökérzóna alsó részében. A talajvízszint periodikusan beleér a talajzónába, a talajnedvesség a telítettség és a szántóföldi vízkapacitás sávjában mozog. Ritkán kerül ez alá és a talajban lévő víz a talaj aerációját csökkenti.
- A kapillaris sáv állandóan létezik a talajban és a talajvíz gyakran a felszínre ér, ezért a talajréteg általában telített állapotban van.

d, Az éghajlati feltételek: a vízháztartás szempontjából a legfontosabb éghajlati tényezők közé tartozik a csapadék, elpárolgás és a hőmérséklet. A klimatikus és meteorológiai tényezők hatását például az öntözési koefficienssel lehet meghatározni. Az öntözési hányados az évi csapadékmennyiség és a szabad vízfelületről való elpárolgás viszonyát fejezi ki. Használatos még a Konček-féle öntözési index, amely Szlovákiában nagyon bevált (HEINIGE et al. 1998).

e, A vegetáció a talajvíz háztartást főleg a gyökérszónájával befolyásolja. A gyökerek a talajból intenzíven vonják ki a vizet és elérik azokat a rétegeket, amelyeket a felszíni elpárolgás egyébként nem befolyásol. A növénytakaró azzal is hat a talajvíz háztartásra, hogy árnyékolja a felszínt, ami a beszivárgás (infiltráció) szempontjából hasznos.

f, Antropogén hatás. Az ember ősidők óta aktívan hat a talajvízháztartás mérlegére. Az erdők kiirtása nem csak a felszíni vízfolyásokra van hatással, hanem a többi tényező is változik. Kedvezőtlen hatással bír a legelők, rétek elhanyagolása. Negatív hatással van a nagy vízigényű mezőgazdasági kultúrák termesztése a kevés talajvízzel rendelkező régiókban. A földművelés döntő hatással van a vízáteresztő és elpárolgási tényezőkre. A hidromeliációs beavatkozások szintén befolyásolják a lecsapolási vagy éppen öntözési rendszereikkel a talajvíz háztartást, hogy egyes kultúrák számára megfelelővé váljon.

2.2.4 A vízháztartási rendszer osztályozása

Többfélét ismerünk, de általában 3 féle szempontból osztályozzuk:

- a, hidrológiai – a vízmozgás intenzitása szempontjából a hidrológiai évben
- b, ökológiai – a talajnedvesség állapotának sztratifikáció (rétegzettség) alapján.
- c, mezőgazdasági-agrónómiai – a mezőgazdaságban termesztett növények gyökérszónájában a valós és a ténylegesen felhasználható talajvíz mennyiség aránya alapján. (Antal 1994)

a, Az első ilyen komplett osztályzás 1934-ből Visockij-tól származik. Visockij 4 típusát határozza meg a rendszernek:

- átmósó
- periodikusan átmósó
- nem átmósó
- elpárolgó

Két talajnedvesség alapján osztályoz.

- 1, az egész évi vízkörforgalom csak a talaj felső rétegében történik (nem átmósó), vagy az egész talajréteg és az alapréteg is részt vesz (átmósó és elpárolgó)
- 2, túlsúlyban van a lemenő (leemosó), vagy az emelkedő (párolgó) mozgás a talaj és a kőzetkomplexumban (alaprétegben) több éves ciklusban.

Visockij osztályzását Rode 1956-ban 3 új jellemzővel bővítette:

- talajnedvesség eredete
- talajnedvesség foka
- jég részvétele a talajban

Ezek figyelembe vételével osztályzás szempontjából, a talajt az alatta lévő alapréteggel együtt értékeljük. Ha a vízzáró réteg megfelelő mélységű három zóna vagy sáv keletkezik.

Az első a vízzel telített réteg, melyben a talajvíz tartózkodik. A kapilláris vizet tartalmazó második réteg a talajvízszint felett van. A harmadik réteg egészen a felszínig a beszivárgott (infiltrált) vizet tartalmazza. Éghajlati szempontból az öntözési koefficiens a legfontosabb. (A csapadék Z és az elpárolgás E evapotranszpiráció aránya.) Ha Z/E nagyobb, mint 1 akkor átmósó, ha Z/E kisebb,

mint 1 akkor nem átmosó, ha $Z=E=1$ azt jelenti, hogy a csapadékos évben átmosó, nem csapadékos évben elpárolgó a rendszer.

Rode 8 típust határozott meg a talajvíz rendszerben:

- 1, Örök jég talajvíz rendszer
- 2, átmosó rendszer
- 3, periodikusan átmosó rendszer
- 4, nem átmosó rendszer
- 5, elpárolgási rendszer
- 6, nívás rendszer
- 7, mocsaras rendszer
- 8, öntözéses rendszer

b, A fő megkülönböztetési szempontok a következők:

- talajbenedvesítésének foka
- benedvesítésének az időtartama
- a nedvesség sztratifikációja (rétegződése)

Mivel az egyes rétegekben lévő víz mennyiségét értékeljük, ebből ki kell számolnunk a víztartalom (W) időbeni (T) vízháztartási vízkészletét. Nagyobb ingadozás esetén jobb a talaj nedvességtartalom határvonalát összegezve értelmezni. Az integrál alsó és felő határa a gyökérmélységre való tekintettel a szántóföldi kultúráknál 0-30 cm, az erdőknél 0-50 cm-re szorul.

$$W = \int_{z_1}^{z_2} \theta dz$$

A nedvesség összterjedelmét tartományokra osztjuk, a határok a hidrolimitek (hidrológiai határértékek) vagyis a hidrolimitekkel határolt vízmennyiségek. Ezeket a következő 6 csoportra osztjuk (Kutílek 1978):

- 1, aquasztikus állapot – nedvességtartalom a teljes vízkapacitás Θ_s ($pF < 1,3$ - mocsaras talaj)
- 2, uvidikus állapot – teljes vízkapacitás Θ_s – szántóföldi vízkapacitás Θ_{pk} ($pF = 2,4-1,3$ - vizes talaj)
- 3, semi-uvidikus állapot (intervallum) – szántóföldi vízkapacitás Θ_{pk} – nehezen felvehető víz Θ_{zd} ($pF = 3,3-2,4$ – nedves talaj)
- 4, semi-arid állapot – félsivatagi, nehezen hozzáférhető Θ_{zd} – hervadásponthoz Θ_v ($pF = 4,18-3,3$ – félszáraz talaj)
- 5, arid állapot (intervallum) – száraz, sivatagi, hervadásponthoz Θ_v – higroszkopicitás Θ_h ($pF = 4,78-4,18$ – száraz talaj)
- 6, hyper-arid állapot (intervallum) – nagyon száraz, kisebb nedvesség mint a higroszkopicitás Θ_h (vízfilm a talajszemcse körül) ($pF > 4,78$ extrém éghajlati feltételek mellett)

1, aquasztikus állapot – Csak ritkán fordul elő a felső rétegben, akkor is általában erős rétegződés. A talajvízszint extrém emelkedése nem elégséges belső drénelés, vagy az örökké fagyos (permafroszt) esetében fordul elő. Az alsóbb rétegekben, a talajvízszint alatti rétegekben, vagy a réteg felett, vagy a vízzáró réteg felett rosszul drénelt rétegben fordul elő.

2, uvidikus állapot – A felső rétegben csak rövid ideig van jelen, hacsak nem olyan talajról van szó, ahol a belső lefolyás nem működik, vagy a talajban periodikusan változik az aquasztikus és az uvidikus állapot. Hasonló az előfordulás az alsóbb rétegben is.

3, semi-uvidikus állapot – nagyon gyakran fordul elő a felső vagy az alatta levő rétegekben egészen az alaprétegig.

4, semi-arid állapot – Az intervallumok inverziója és a rétegek váltakozása gyakran előfordul.

5, arid állapot – gyakrabban a felső rétegben fordul elő. Normál körülmények között függőlegesen gradiálódik az arid-semiarid irányba. Hosszabb időtartalom folyamán előfordulhat a felső rétegben, hogy a semiaridtól a semiuidikus állapotba való átmenet és ettől függetlenül az alsóbb rétegekben arid állapot uralkodik.

6, hyper-arid állapot – csak ritkán fordul elő az extrém klímájú területeken.

Talajnedvesség	pF	Talajnedvesség tartomány	Tartomány neve	Növények rendelkezésére álló víz	Talajvíz kategória	Pórusok ekvivalens átmérője [μm]
mocsaras	< 1,3	ΘS	aquasztikus	főlösleges	gravitációs	> 150
vizes	1,3 - 2,4	ΘS - ΘPK	uvidikus	főlösleges	gravitációs	150 - 12
nedves	2,4 - 3,3	ΘPK - ΘZD	semi-uvidikus	könnyen hozzáférhető	kapilláris	12 - 1,5
frissen nedvesített	3,3 - 4,18	ΘZD - ΘV	semi-arid	nehezebben elérhető	kapilláris	1,5 - 0,2
száraz	4,18 - 4,78	ΘV - ΘH	arid	nehezen elérhető	adszorpciós	0,2 - 0,02
nagyon száraz	> 4,78	< ΘH	hiperarid	nem elérhető	adszorpciós vagy abszorpciós	< 0,05

1.táblázat: Hidrolimitek (hidrológiai határérték) összefoglaló táblázata (Forrás: Kutilek 1978)

A talajok vízrendszerének ökológiai osztályozása a talajnedvesség változás alapján történik, amit a komponensek karakterizálnak (határoznak meg).

1, különböző ideig való tartalom

2, a nedvesség változás ugyanabban a rétegben az egyik állapotból a másikba

3, a nedvesség sztratifikációja, vagyis egyes intervallumok hosszának a különbsége a felső és az alsó rétegben.

c, A vízháztartás osztályozása mezőgazdasági (agronómiai) szempontból.

Agronómiai szempontból 10 osztályt különböztetünk meg a talajvízháztartási rétegben, vagy gyökérszónában, amelyek a (2. számú táblázat) van feltüntetve. A következő szerzők (Benetin-Soltész 1988) által felállított képlet szerint.

$$A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\Theta_i - \Theta_v}{\Theta_{pk} - \Theta_v}$$

ahol:

A - osztályzó koeficiens,

Θ_i - az átlagos valós nedvesség az i-ik napon a gyökérzóna számára. [$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$]

Θ_v - a hervadásponthoz az aktív gyökérzónában. [$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$]

Θ_{pk} - az aktív gyökérzóna szántóföldi vízkapacitása.

n - a napok száma az értékelt időszakban

	A	A talajvízháztartás típusa az értékelt időszakban
Elégtelen talajvíz	< 0,1	Teljesen száraz
	0,11-0,20	Nagyon száraz
	0,21-0,30	Jelentősen száraz
	0,31-0,40	Száraz
Optimális mennyiségű talajvíz	0,41-0,50	Váltakozóan száraz
	0,51-0,60	Váltakozóan nedves
	0,61-0,75	Nedves
	0,76-0,90	Nagyon nedves
	0,91-1,00	Vizes
Felesleges talajvíz (túltengés)	> 1,00	Mocsaras

2.táblázat: Agronómiai talajvízháztartás osztályzása típusok szerint

2.3 A vízháztartás meghatározásának a mennyiség meghatározási módszerei

A vízháztartás meghatározására a talajnedvesség alakulását használjuk fel. A talajnedvesség alakulását közvetlen rendszeres mérésekkel (monitoring) lehet figyelemmel követni, meghatározni. Ezek a mérések rendszeresen több megfelelően kiválasztott helyen és megfelelően választott vertikális rétegben történnek. A lehető legkisebb (a szempontoknak még megfelelő) időközökben az areációs zónában.

A következő módszer matematikai modellek segítségével a vízháztartás alakulásának a szimulációja. A szimulációs becslés előnye, hogy kontinuálisan megmutatja a talajnedvesség alakulását az egyes rétegek közt napi lépéssel, de néha a pontosság rovására. Viszont lehetséges a napi átfolyások azonnali kiszámítása az aerációs réteg és a talajvíz határán, ami a monitorozásnál nem lehetséges. (Sútor-Stekauerova 1999, Sútor et. al. 2001, Stekauerova et. al. 2001) Aránylag széles skálája van a különböző matematikai modelleknek, melyeket sok helyen különböző célokra használnak.

A talajnedvesség monitoring nagyon idő, és emberigényes, de eddig nem helyettesíthető semmilyen más módszerrel hosszabb időre. Segítségével begyűjtött adatsor az egész évi talajnedvesség mozgást a lehető legpontosabban leírja. A kapott értékeket a matematikai modellek verifikációjára (hitelesítésére) használjuk és ha több éves adatsorunk van, ebből következtetéseket vonhatunk le az összegzett talajnedvesség irányának az alakulására az elkövetkező időszakra nézve, az egyes rétegeket érintő pontossággal.

2.4 A talajnedvesség mérés módszerei

A módszereket két nagy csoportra osztjuk: laboratóriumi és helyszíni.

Aszerint, hogy milyen állapotú talajból kapjuk az eredményt (bolygatott mintából, bolygatatlan mintából) és hogy mit mérünk közvetlen és közvetve. A közvetlen módszerrel a víz mennyiségét mérjük a talajban, a közvetett módszer olyan fizikai jellemzőt mér, mely szoros összefüggésben van a víz mennyiségével a

talajban. Ezek: elektromos ellenállás, elektromos kapacitás, a sugárzás elnyelése, a gyors részecskék lassulása, az elektromágneses hullámzás terjedési sebessége, és még rengeteg más és más módszer, és szempont, mint például más anyagban való nedvességmérési módszer mint pl. a fa, élelmiszer, mezőgazdasági termények, stb. Ebben a részben a mérési módoknak csak egy szűk részét vizsgáljuk, melyeket a talajnedvesség mérésére pillanatnyilag a legelterjedtebbek közé sorolunk. A mérések célja, hogy minél pontosabb adatokkal szolgáljunk a hidrológia és a precíziós mezőgazdaság számára, hogy szélesebb körben legyenek felhasználhatóak.

2.4.1 Gravimetrikus módszer

A szárítószekrényes módszerből kifejlesztett módszer a leggyakrabban használt és egyik legfontosabb, mert pontossága igen jó és mérlegeléssel állapítjuk meg a nedvességet, ezért néha mérlegelési módszernek is nevezzük. A Kopecki-féle hengerekbe vett 100 cm^3 űrtartalmú bolygatatlan mintákat használunk, melyeket szárítószekrényben 105°C kiszárítunk körülbelül 24+6 óráig (Ha meg akarjuk gyorsítani, akkor vákuumos szárítószekrényt használunk.) Organogén, bomló anyagok jelenlétekor, vagy a meleg hatására bomló anyagok jelenlétekor oxigátorban, vagy 60°C -on szárítjuk a mintákat. (A mérés pontossága 0.01 %.)

Előnye:

- Univerzális metódus
- A legpontosabb és általában a többi közvetett módszer kalibrációjára szoktuk használni.

Hátránya:

- Nem lehet megismételni, mert a mérés destruktív.
- Laboratóriumi módszer (nem lehet a helyszínen mérni). A mintavételnél a metszetet deformáljuk úgy, hogy ha újra mérünk, akkor megváltozik a hely,

és így számolni kell a talaj heterogenitásával főleg hosszan tartó megfigyelések alkalmával.

2.4.2 Elektromos ellenállási módszer

A talaj vezetőképessége nedvességfüggvény a következő összefüggés szerint:

$$\gamma = a \cdot w^b$$

ahol: γ = vezetőképesség (ellenállás), a és b konstansok a talaj ásványi összetételétől függően, w = a talaj tömegnedvessége.

Előnye:

- Olcsó és a kezelése egyszerű. Gyors mérésekre használjuk (legtöbbször a fa nedvességének a meghatározására)

Hátránya:

- A hőmérséklet ingadozása befolyásolja. Nagyon függ a hőmérséklet változástól, 1 °C körülbelül 1 %-kal változtatja a mért adatokat. A vezető felület geometriája befolyásolja a mért adatokat.
- Nem megfelelő a homokos és a dagadó talajok számára.
- Minden mérés előtt kalibrációs görbét kell készíteni.
- Nem megfelelő a gyorsan változó folyamatok követésére.
- Érzékeny a hiszterézisre (egyforma nedvességnél más ellenállás a kiszáradásnál és más a nedvesítésnél). A magasabb nedvességtartalomnál a lineális összefüggés változik, és a görbe meredekségét veszíti.

Egyébként egyirányú változásnál (nedvesítés vagy csak kiszáradás) és nagyon precíz mérésnél sem csökken a hiba 5% alá.

2.4.3 A kapacitásmérési módszer

Ismert, hogy a talaj és a levegő relatív termitivitása (dielektromos állandó) ($\epsilon=1$) a 18-20 °C-os hőmérsékleten, míg a víz dielektromos állandója 18°C-nál $\epsilon=81$. Ebből kifolyólag állandó nagyságát a talajnedvesség határozza meg és egyenes arányban változik a talajban lévő víz mennyiségével. Tehát a kapacitásmérési módszerrel ezt az állandót, vagy a vele összefüggő más mutatót fogjuk mérni. A készülék kalibrációs görbéje lineárisnak tekinthető különböző mechanikai összetételű, szerves anyag tartalmú és 0,3%-nál kisebb sókoncentrációjú talajok esetében a +5 - +30°C hőmérséklet tartományban. A sókoncentráció nem haladhatja meg a 0,3%-ot, mivel a szabad ionok nagyobb mennyisége befolyásolja az állandó értékét. Ez csak azzal küszöbölhető ki, ha az adott talajból kalibrációs görbét készítünk.

Előnye:

- a módszer megfelel a gyors és ismételhető mérésekre, elsősorban szabad földi körülmények közt.
- Nincs szükség a közvetlen kontaktusra a mért talaj és a műszer közt.
- Relatív pontosság, ha csak a talaj nedvességtartalom változását mérjük, ami a mezőgazdasági gyakorlatban gyakran elegendő.
- A műszer emlékezetébe 99 kalibrációs grafikon helyezhető be.
- A mért értékek könnyen digitalizálhatók.

Hátránya:

- minden mérés előtt szükséges a kalibráció a különböző anyagok számára.
- a mért értékek pontossága nagyban függ a talaj sűrűségétől és a hőmérsékletétől.
- a víz kötöttségi energiájának a változása különböző értékeket ad, ugyanúgy a talaj heterogenitása (mert az átlagot méri a két elektróda közt).
- A mért értéket befolyásolja a talaj granulometrikus és kémiai összetétele.

A mérés pontossága kb. 3%.

2.4.4 γ sugár gyengítésével való mérési módszer

Közvetett a talaj sűrűségének a meghatározásán alapuló laboratóriumi és szabadföldi körülmények közt használható eljárás. Tudjuk, hogyha a γ sugárzás szilárd anyagon hatol át, az anyagban lévő atomok a sugárzás egy részét elnyelik. A sugárzás csökkenés egyenes arányban van az anyag sűrűségével. Ismert tény, hogy a talajnedvesség növekedésével csökken a sűrűség, ami jól felhasználható összefüggés a talajnedvesség méréséhez. A mérést két egymástól bizonyos távolságban levő csőben végezzük. Az egyikben a sugárzó anyag (konstans sugárzó ^{60}Co , vagy ^{137}Cs), a másikban a detektor (számlálócsöves szonda) található. A Kopecki hengerekben (patronokban) vett bolygatatlan mintákon megállapítjuk a talaj sűrűségét. Ha a mért helyen a talaj sűrűsége nem változik másként csak a nedvességgel, akkor a sugárzás intenzitásának a változása segítségével meghatározható a nedvességtartalom.

Előnye:

- gyors változásokat lehet érzékelni
- kis mennyiségű munka elégséges
- pontosabb az elektromos méréseknél

Hátránya:

- a mért eredmények pontossága a sűrűség meghatározásától, kémiai és granulometriai összetételétől függ.
- A különböző összetételű talajokra kalibráció szükséges (anyagösszetétel)
- A mérőműszerek nagy súlytömege, nehezen szállíthatósága, komplikált kezelhetősége a szűk sugárnyaláb előállítására.
- Radiációs veszély a személyzet számára.
- Hibaforrás a hasadó anyag félidejének az elhanyagolása, a mérés geometriai változói és az ismételt kalibrációk.

2.4.5 A talajnedvesség neutronszondás módszerrel való meghatározása.

A gyorsneutronok a könnyű elemek atomjaival (proton) ütközve lelassulnak. Az energiavesztés az atomok súlyától függ, a legnagyobb a hidrogénatomnál, mivel a súlyuk közeli (egyenlő). Mint sugárforrás, az ^{241}Am a legmegfelelőbb (más sugárforrásoknak a másodlagos sugárzás magas). A lassú neutronok detektoraként a legjobban a BF_3 vagy ^3He felel meg. A neutronok termalizációjában viszonylag nagy átmérőjű gömb (30 cm) vesz részt és fontos, hogy a neutronok bekerüljenek a levegőbe. Ezért a neutronszondás módszert bővítjük a felső rétegben vett bolygatatlan minták gravimetrikus vizsgálatával. Mivel a talajban lévő anyagok kristályos rácsában hidrogén csak kevés mennyiségben található, a talaj moderációs tevékenysége nagyban függ és arányos a benne lévő víz mennyiségétől. Tehát a neutronszondás mérési módszer alapja az az ismeret, hogy az érzékelő által felfogott lassú neutronok száma egyenes arányban van a talaj által tartalmazott hidrogén ionok számával. A kifejezés a következő:

$$W=m.R/R_w+c$$

ahol:

W	- a talajnedvesség térfogatszázalékban (%)
R	- az érzékelő által mért impulzusok száma
R_w	- a tiszta vízben mért impulzusok száma
m és c	- konstansok

A vízben mért standard impulzusok számát a R_w -t minden mérés előtt ellenőrizzük, a laboratóriumban az erre a célra előkészített kalibrációs edényben (hordó) az útmutató szerint. Ez az érték állandó, és nagyon lassan, csak a sugárzó anyag felezési ideje szerint változik. Ennek az értéknek a változása a mérőműszer meghibásodását jelezné. Az m és a c konstansok, regressziós összefüggések

a térfogattömeg és az R/R_w arány közt. Ez minden talajra vonatkozóan más és más. A gyártó által megadott adatok a következők:

Konstans	Agyag, tőzeg	vályog	Homok-kavics
m	0.958	0.867	0.790
c	-0.012	-0.016	-0.024

3. táblázat: Neutronszoonda kalibrációhoz megadott gyári értékek

Ezen koeficiensek pontos meghatározására a kalibráció során kerül sor. Ezt részletesen a következőkben a különböző módszerek összehasonlításánál fogjuk látni. Részletes, sok munkával és méréssel járó feladat. A különböző nedvességtartalmaknál vett bolygatatlan mintát igényel. A minták laboratóriumi kivizsgálásával kapjuk meg a koeficienseket. A neutronszoonda nedvességmérési módszer kis mélységeknél nem pontos, ezért 20 cm mélységig gravimetrikus mérésekkel egészítjük ki, melyet a laboratóriumi mintákból kapunk.

Előnye:

- a metódus gyors, alkalmas nehéz szabadföldi körülmények közti mérésekre és tetszés szerint ismételhető.
- Az időbeli gyors változások mérésénél pontos
- Mérés előtt könnyen kalibrálható

Hátránya:

- a mérőműszer átlag értéket mutat egy 30 cm átmérőjű gömbben (a gömb átmérőjének a nagysága a talaj szárazságától függően változik). Ez a mezőgazdaság számára előnyt jelent.
- A mérőműszert kalibrálni kell az egész metszet számára.
- A kapott eredmények függenek a talaj sűrűségétől és kémiai összetételétől abban az esetben, ha a talaj könnyű protonokat tartalmaz.

- Radiációs veszély a személyzet számára.

2.4.6 Egyéb módszerek

Amióta a különböző körülmények közt megpróbáljuk a nedvességtartalmat és a talajnedvességet is mérni, a módszerek széles skálája van használatban. Ezeknek a fejlesztése és az újak kifejlesztése ma is még intenzíven folyik a követelményeknek és a különböző feltételeknek megfelelően, hogy minél olcsóbb és pontosabb módszerek keletkezzenek. Az új követelmények a mérés technikára ösztönzően hatnak és a ma még drága módszer holnapra az elektronika egyes ágainak rohamos fejlődésével sokkal racionálisabbá, olcsóbbá, hozzáférhetőbbé válik.

E gyors fejlődés illusztrálására egy pár sor az új módszerekről:

- koncentrációs módszer – a vizsgálandó talajmintához egy ismert koncentrációjú vegyületet adunk melynek a segítségével koncentráció változása alapján megállapítható, hogy mennyi volt a talajnedvesség tartalom a vegyület hozzáadása előtt.
- Reakciós hőfok – olyan anyagot adunk a talajmintához, hogy a keveredés utáni hőfokból az ismert grafikonon (monogramok) megállapítjuk a nedvességtartalmat.
- Karbidos módszer – a mintához karbidot keverünk és ez a vízzel reagálva acetilén gázt fejleszt. Ha zárt a rendszer, akkor a gáz nyomásából táblázatok segítségével, ha nyitott, a súlycsökkenéséből tudunk következtetni a nedvességtartalomra.
- Klorimetrikus módszer – ismert talajtulajdonság, hogy a talajnedvesség változásával változik a talaj színeződése is. Ezt

az ismert spektrális analízis segítségével az űrkutatás használja fel a műhold felvételek segítségével való talajnedvesség térkép készítéséhez.

- A talaj hővezető képességének mérésén alapuló módszerek. A módszer alapja, hogy állandó körülmények esetén a talaj hővezető képessége és a talaj nedvességtartalma közt összefüggés van. A mérés alatt a talajba konstans teljesítményű fűtőtestet helyeznek, mely különböző nedvességtartalomnál különböző fokra hevül fel. A talaj nedvességtartalmának a megállapítására az a fizikai törvény, hogy nagyobb nedvességtartalomnál a test kisebb hőmérsékletre melegszik fel. Kalibrációs görbe segítségével a fölmelegedés mértékéből a nedvességtartalomra lehet következtetni.

2.4.7 A hullámok talajban való terjedési sebességének mérésén alapuló módszerek

- a TDR (Time Domain Reflectometry) – a rádiófrekvenciás elektromágneses hullám terjedési sebességének meghatározása alapján. A módszer család tagjai közül ez tűnik a legígéretesebbnek. A lényeg, hogy precíziós elektronikus berendezéssel meghatározható, hogy a talajminta ismert hosszán mennyi idő alatt halad oda-vissza (reflektálódik) az elektromágneses hullám, és ez által megállapítható a terjedési sebesség. Ha ezt összehasonlítjuk a vákuumban való terjedési sebességgel, egyértelműen kapjuk, hogy a terjedési sebesség a víz dielektromos konstansától-vagyis a talajban létező vízmennyiségtől függ. Kifejezve:

$$K_a = c^2 \cdot t^2 / l^2$$

ahol:

K_a - a talaj látszólagos (relatív) dielektrikus konstansa

C - a fény (elektromágneses hullám) terjedési sebessége vákuumban

T - a rádiófrekvencia jel visszatérési ideje

L - az elektróda hossza

A méréshez kalibrációs görbe szükséges, melyet ismert nedvességtartalmú talajokon való mérések eredményeiből kapunk meg. A műszer nagyon drága, de a Magyar Tudományos Akadémia Talajtani Kutató Intézetében továbbfejlesztették, és Dr. Rajkai K. részlegén a modifikált változat előállítási költsége jelentősen csökkent.

- mikrohullámú sugárzás mérésén alapuló módszer -
A távérzékelési módszerek közé tartozik. A víz szabad molekulái 1,4 GHz-es hullámhosszon észlelhető mikrohullámú sugárzásnak a mérése. Kalibrációs görbét igényel, de ha kész van a görbe a műszerrel nagy területek nedvességállapotáról kaphatunk gyors információt.
- a mag mágneses rezonanciájának a mérésén alapuló módszer -
Nagyon költséges módszer, mert a mérőberendezés igen drága és összetett. A hidrogénben lévő oszcilláció elektromágneses térben mérhető energiaelnyelésnek és ennek következtében való rezonancia mérésén alapul. A rezonancia görbéből lehet következtetni a hidrogénatomok számára (mennyiségére).
- Nedvszívó anyagok alapján való mérés – a talajba ismert tömegű teljesen száraz vagy ismert nedvességű (de a talajnál jóval kisebb

a nedvesség) nedvszívó anyagot keverünk.

A nedvességpotenciálok (nedvességtartalmak) kiegyenlítődnek.

A nedvességtartalmat a talajból való kiemelés után laboratóriumi mérlegen való újraméréssel a tömegnövekedésből határozzuk meg.

- A talajnedvesség meghatározása penetrométerrel – azon alapul, hogy a talaj azonos nyomás alatt a nedvességtartalmától függően tömörül, illetve a meghatározott tömörségű talajban az idegen test (kúp alakú) behatolása esetén mért ellenállás a talaj nedvességtartalmától függően változik. A nyomóerő nagyságától való nedvességtartalom megállapításához kalibrációs görbék szükségesek.
- Intelligens szenzor – talajnedvesség mérő műszer. Az eddig ismert metódusok továbbfejlesztésével több hazai új műszer is ki lett fejlesztve, az ismert új követelmények szempontjának a kielégítésére. Ezek közül egy az Intelligens Szenzor néven a Debreceni Agrártudományi Egyetemen kifejlesztett műszer Sinóros-Szabó munkájának eredménye.

Az állandó termőhelyi térponton működő talajnedvesség mérő rendszer a mérésekhez az egyébként általánosan ismert hidromolekuláris polarizáció elvét alkalmazza. Ennek gyakorlati alkalmazása egy állandó, stabilizált energiájú elektromos teret jelent, melynek a polaritását – meghatározott feltételek mellett változtatjuk. A polaritás változásának viszonyrendszerében a vízmolekulák mennyisége megállapítható. Ennek alapja az, hogy a polarizációs idő arányos a vízmolekulák számával (mennyiségével), vagyis a hosszabb polarizációs idő nagyobb nedvességtartalmat, míg a rövidebb polarizációs idő alacsonyabb nedvességtartalmat jelent, a stabilizált energiájú elektromos erőterpolaritás változtatása előre meghatározott frekvenciaszinten történik.

A talajnedvességmérő rendszer gyakorlati kiviteléhez speciálisan szerkesztett szonda szükséges. E szonda testében helyezkednek el a mérőegységek, a szenzorok. A szenzorok kettős szigeteléssel vannak ellátva, a talajjal közvetlenül nem érintkeznek. Folyamatosan mérnek, hogy az időben folyamatosan mért elektronikus adathalmaz aktuális értéke bármely időpillanatban megállapítható legyen. Ez utóbbi teljesítéséhez nyújt segítséget a szondatestre épített elektronikus kiértékelő rendszer. A termőhelyi térpontban telepített szondán lévő szenzorok adatai a számítógéphez moduláris formában, vagy rádióhullám segítségével jutnak el. A mért értékek térfogatszázalékban a szántóföldi vízkapacitás részarányaként (százalékban) kerülnek kifejezésre. A műszer előnyei és hátrányai a későbbi fejezetben lesznek értékelve.

3. A disszertáció célkitűzései

3.1 A talajnedvesség mérési módszerek összehasonlítása

A Nyugat-Magyarországi Egyetem, Mezőgazdasági és Élelmiszertudományi Kar által kiválasztott első mérési helyszínen összehasonlítani, és összehangba hozni az intelligens szenzor és a neutronsondás módszer által mért értékeket úgy, hogy a Duna mindkét oldalán felhasználhatók legyenek. Az intelligens szenzor által mért értékeket megítélni és a mérési módszert kiértékelni, hogy megfelelő-e, mint új mérési metódus. Kiértékelni:

- pontosságát
- alkalmazhatóságát
- gazdaságosságát
- gyorsaságát, stb.

Egyszóval, hogy a műszer teljesíti-e a modern műszer iránt támasztott követelményeket.

3.2 A talajnedvesség alakulásának kiértékelése

A csallóközi és szigetközi hasonló helyszínek talajnedvesség háztartásának szezonális alakulásának összehasonlítása, valamint a Szigetközben kiválasztott négy helyszínen a talajnedvesség mérés eredményeit kiértékelni és megtalálni ezen eredmények hasznosítási módját a mezőgazdaság számára.

Minkét feladat teljesítéséhez a mérőműszereket a Szlovák Tudományos Akadémia (SzTA) Hidrológiai Intézete bocsátotta rendelkezésre. Mind az öt mérőhelyen a csövek telepítése közös munka eredménye. Míg a Nyugat-Magyarországi Egyetem a lerakandó horgonyzott csöveket megvásárolta és a műszaki rajz szerint előkészítette a méréshez, addig a SzTA saját fűróberendezésével elvégezte az előfűrást és lerakta a csöveket 2 X 2,6 m és 3 X 4,0

méter mélységre. Ezek után közös harmonogram szerint körülbelül kéthetenként a Szlovák Tudományos Akadémia műszereivel méréseket végeztünk a vegetációs időszakban egészen 2002. év végéig. A hidrológiai intézet laboratóriumában elvégeztük a miáltalunk vett bolygatatlan mintákon (kb. 10-cm-enként az egész metszetben) a neutronszonda kalibrálásához szükséges méréseket. Az első számú helyszínen, ahol a 3 módszer összehasonlítása folyt, a vett mintákon még külön megállapítottuk a szántóföldi vízkapacitást az egész metszet számára. Ez azért volt szükséges, mivel az intelligens szenzor által mért értékek nem térfogatszázalékban, hanem szántóföldi vízkapacitás százalékában vannak megadva. A NYME Palkovits Gusztáv által vezetett részlegen rendelkezésünkre bocsátotta a talajszelvény vizsgálatának eredményeit a pF görbe számára 8 pontos változatban, melyeket a munka során felhasználtunk az egyes számításokhoz.

4. Az összehasonlításra, megfigyelésre kiválasztott helyek meghatározása és leírása.

A kiválasztás két munkatalálkozón történt. Az első találkozón az NYME és a SAV Hidrológiai Intézet munkatársai közt Palkovits Gusztáv vezette részleg által kidolgozott térkép segítségével és a többi rendelkezésünkre álló adat alapján részletesen elemeztük a Szigetköz és a Csallóköz hidrológiáját. Második találkozás alkalmával kiválasztottuk azt az öt helyet, ahol a közös kutatást végeztük. Ezek a következő kritériumok figyelembevételével történtek.

Ha ránézünk a térképre megállapítjuk, hogy a Duna határfolyó a szlovák és a magyar határszakaszon Pozsonytól Párkányig. Ennek ellenére szembeötlő a hasonlóság a Csallóköz és a Szigetköz között. A Duna csak államhatár és az éghajlati és termőtalaji feltételek (ezt nem nagyon vesszük figyelembe) hasonlóak mindkét oldalon. Mind a két természeti képződmény hasonlósága szembeötlő, és ez adta azt az ötletet, hogy a két kutatócsoport összehangolt kutatása és a meglévő eredmények közös felhasználása új dimenziót nyisson e régió számára, mivel az államhatár lassan elveszti jelentőségét az Eu-ban való egyesülés által, ami a 2004 évvel kezdődik, mikor Magyarország és Szlovákia is az Európai Unió tagja lesz. A Csallóköz és a Szigetköz hasonlóságát mutatja, hogy mindkét terület közös határa a Duna, a Csallóközt a Kis-Duna határolja északról, míg a Szigetközt a Mosoni-Duna délről. Mind két területet hidromeliorációs csatornák tömege szabdalja szét, melyeknek a feladata a talajvízszint szabályozása.

Tavasszal a hóolvadás és a tavaszi eső alatt, és közvetlen utána a fölösleges feszíteni és talajvíz elvezetése a szerepük. A talajvízszint csökkentése és ezzel a talajnedvesség viszonyok javítása (mint tudjuk, ha a talaj a szántóföldi víz kapacitáson túl van telítve az sem jó a növények számára). Kora nyáron, nyár és ősszel, ha víz és talajnedvesség hiány van, akkor ezeknek a javítása öntözéssel, és talajvízszint emeléssel történik. Mindkét területen (Szigetköz – Csallóköz) intenzív mezőgazdasági termelés folyik. Mindkét területen az ártéri erdők aránya eléri a 12-16%-ot.

Ezen kívül az 1992-es évtől a Gabčíkovo (Bösi) vízierőmű üzembehelyezésével szintén új helyzet állt elő. A Duna régi medrében Čunovo (Dunacsúny) és

Medved'ovo (Medve) közt a vízhozam 2000 m³-es átlag helyett 50 később 100 és 200 m³ között ingadozik. A többi víz a tározón és a felvízcsatornán keresztül megy az erőmű felé, majd az alvízcsatornán keresztül újra a régi mederbe (Medvénél) torkollik. Ez mindkét oldalon a talajvízszint változását hozta magával. A szlovák oldalon a tározó környékén (nincs szigetelve talajvízszivárgás ellen) Bratislavától egész Bakáig emelkedett a talajvízszint (ez Csallóköz felső harmada), az alsóbb részen változatlan. Egy aránylag kis részen (Gabcikovo környéke) a felvízcsatorna és az erőmű szivárgás elleni szigetelése következtében pedig csökkent a talajvízszint.

A felvízi-, alvízi csatorna és az Öreg-Duna által határolt területen (három község Dobrohost - Doborgaz, Vojka - Valka, Bodiky - Nagybodak) megmaradt ártéri erdők holtágrendszere a Doborgazi zsilipen keresztül 180 m³ maximális vízmennyiséggel elárasztható, vagy emelhető a talajvízszint. Ez azért szükséges, hogy az itt elhatárolt főleg ártéri erdőkkel borított rész ne szenvedjen a talajvízszint csökkenés és a talajnedvesség csökkenés hiányában, és a régi meder által elvezetett talajvíz pótolható legyen.

A szigetközi oldalon a talajvízszint változás egyértelműen negatív. E folyamat megakadályozására használta fel a magyar fél a Dunacsúnyi tározóból jött 50 m³-nyi plusz vizet, és a Dunakiliti-i fenékküszöb (a régi mederben kb. 3 m-rel megemelt vízszint) által adott lehetőséget, és e víz a Dunakiliti-i zsilipen keresztüli elvezetését az ártéri holtágrendszerbe hasonlóan a Doborgazi zsilip működéséhez.

Tehát összegezve: a talajvízszint a Felső-Csallóközben emelkedett, és ezzel a talajnedvesség viszonyok javultak, a Csallóköz többi részén nem változott a talajvízszint. A szigetközi részen a talajvízszint csökkent és ez a talajnedvesség csökkenését hozta magával.

Csallóköz

Területe körülbelül 2000 km², azaz 200 000 ha. Ebből 144 000 ha a mezőgazdaságilag művelt szántóföld.

Szántóföld	113 378 ha	78,8 %
Szőlő	3249 ha	2,2 %
Kert	3633 ha	2,5 %
Gyümölcsös	1980 ha	1,4 %
Rét	2472 ha	1,7 %
Legelő	2518 ha	1,8 %
Erdei talaj (ártéri erdő)	16722 ha	11,6 %

4. táblázat: A mezőgazdaságilag művelt talaj felosztása a Csallóközben. (1993)

	Csallóköz		Szigetköz	
Könnyű talaj	7198 ha	5%	3080 ha	14 %
Közepesen nehéz talaj	95009 ha	66%	13860 ha	63 %
Nehéz talaj	33109 ha	23%	3740 ha	17 %
Agyagos nehéz talaj	8637 ha	6%	1320 ha	6 %
összesen	143953 ha	100%	22000 ha	100 %

5. táblázat: A talaj típus (szerkezeti eloszlás) szerinti összetétel a Csallóközben és a Szigetközben (1993)

Szigetköz

Területe 400 km², azaz 40 000, ha, melynek az elosztása a következő:

szántóföld	77%
Szőlő, kert, gyümölcsös	3%
Rét, legelő	4%
Ártéri erdő	16%

6. táblázat: A mezőgazdaságilag művelt talaj felosztása a Szigetközben.

A két terület nagysága ugyan különböző, de a termőtalaj felosztása és a intenzív mezőgazdasági termelésre való felhasználása mind két területen ugyanaz. Az éghajlati feltételek nagyon hasonlóak, mert csak a Duna választja el a két természeti képződményt egymástól. Ez jól látható a következő táblázatból.

Terület	Évi átlag hőmérséklet (°C)	Évi átlag csapadék (mm)	Átlag hőmérséklet a vegetációs időszak alatt (°C)	Potenciális évi átlagevapotranszspiráció (mm)	Évi átlagos napsütés (h)
Szigetköz	9, 5	590	16-16, 6	840	1950
Csallóköz	9, 5	588	15, 5-16	832	1900

7. táblázat: A Szigetköz és a Csallóköz éghajlatának összehasonlító táblázata.

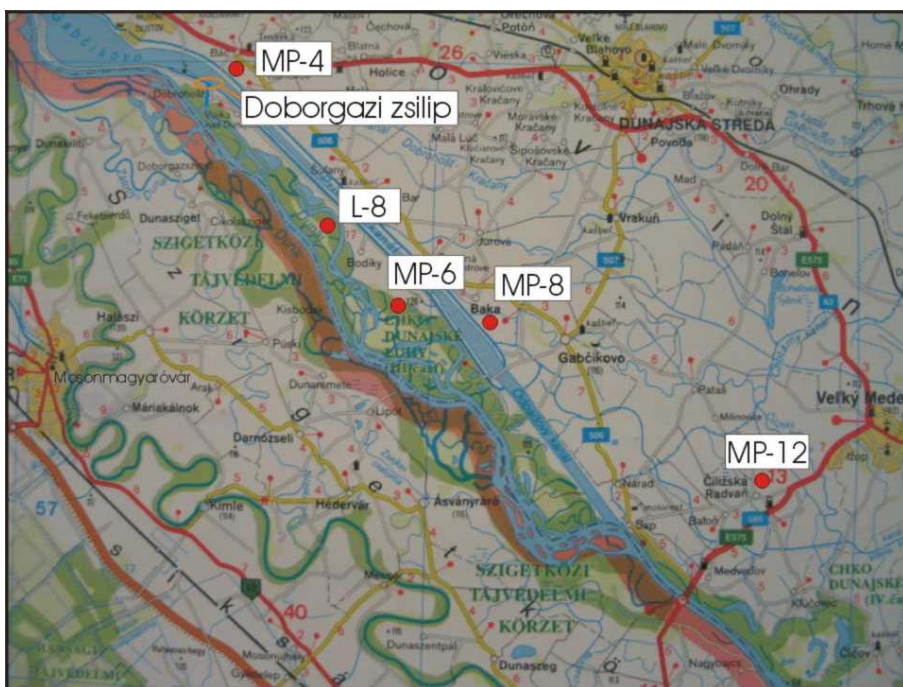
A talajvízszint évi átlaga 1-4 m között mozog. A kavics és a homok réteg felett elhelyezkedő termőréteg vastagsága, szintén 1-4 m.

Ezen tények és a Csallóközi hosszú megfigyelésekből szerzett megfigyelések alapján úgy döntöttünk, hogy a Szigetközi talajok hidrológiai jellemzőinek a megállapítására Szigetközben elegendő ugyanúgy 5 helyszín, mint Csallóközben mégpedig azokon a részeken, ahol a tipikus talaj típus képviselve van. Ezek a tipikus talajok a következők:

- a) nehéz agyagos talaj
- b) közepesen nehéz vályogos talaj
- c) könnyű homokos talaj
- d) az ártéri erdők üledékes talaja

Ez természetesen össze van kötve a megfigyelési pontokhoz tartozó talajvízszint változások megfigyelésével. Az ötödik megfigyelési pont az Egyetem területén van. Itt az egyes mérési adatok közös nevezőre való hozásának és az új mérési módszer (intelligens szenzor) összehasonlításának céljából lett kiválasztva. Az ok, hogy a beszerelt új műszer némileg védve legyen a megrongálás vagy eltulajdonítás ellen. Az új mérési módszernek az a célja, hogy bevezetése után használható legyen a precíziós mezőgazdaság által támasztott követelmények kielégítésére.

4.1 Csallóközi megfigyelési pontok leírása



1. ábra: A Csallóközi mérési és megfigyelési pontok elhelyezkedése (1955-2003)

4.1.1 Čilizka Radvan - Čsilizradvány

A mellékelt térképen az MP12 számmal van jelölve. Szántóföld, intenzív mezőgazdasági termelés alatt álló terület. Termények:

2000-2001 búza

2002 repce

2003 kukorica

Alluviális síkság 110 m t.sz.f.m. Nehéz – félnehéz karbonátos, volt ártéri tőzeges üledék. A talajvízszint 0, 8-1, 7 m mélység között váltakozik az év folyamán. A humusz réteg vastagsága 70 cm. A talaj egész metszetében karbonátokat tartalmaz. A talaj szelvény leírását a következő táblázat mutatja.

Rétegvastagság (cm)	A talajszelvény leírása
0-25	Nagyon szilárd, agyagos, tőzeges vályoggal kevert öntvény
25-50	Nedves, prizmatikus, agyagos, vályogos öntvény
50-70	Nedves, poliberikus, agyagos, rozsdás foltokat tartalmazó üledék
70-120	Nedves, közepesen poliberikus, agyag

8. táblázat: Talajszelvény leírás Cilizska Radvan - Csilizradvány

4.1.2 Baka

A mellékelt térképen az MP8 számmal van jelölve. Mezőgazdaságilag intenzíven használt terület. Több éves gyógynövénytermesztés (2002, 5 éve citrom fű, 2003, őszi árpa). Közepesen nehéz – fél nehéz vályogos talaj. A talaj vízszint 2-3 m között ingadozik. A humuszos talajréteg vastagsága 60 cm. Az egész metszetben előfordulnak a karbonátok. A talaj szelvényt leíró táblázat mutatja.

Réteg	A talajszelvény leírása
-------	-------------------------

vastagság (cm)	
0-28cm	Kevésbé plastikus, rögzös vályog
28-67cm	Nedves, kevésbé plastikus rögzös vályog
67-120cm	Karbonátokkal kevert, alluviális kavicsos homok

9. táblázat: Talajszelvény leírás Baka

4.1.3 Královská Lúka – Királyrét

A mellékelt térképen MP6-os számmal van jelölve. Alluviális síkság, ártéri erdő terület, fiatal, 2001-ben kanadai jegenyével telepített, melyet intenzív ipari feldolgozás céljából telepítettek.

Az előző kitermelés 1999 és 2000 között volt. A talajvízszint 1, 3-2, 25 m mélység közt váltakozik az év folyamán. A Talajvízszint elárasztással változtatható, művileg egészen az 1 m-es szintig. Nagy árvizek esetén kb. 1, 5-2 m-es rétegű vízzel borított a terület. A talaj szelvény réteg leírását a táblázat mutatja.

Réteg vastagság (cm)	A talajszelvény leírása
0-10	Vályogos agyag humusszal keverve
10-50	Vályogos agyag
50-90	Vályogos agyag szerves keverékkel
90-110	Homokos vályog
110-150	Agyagos homok
150-190	Agyagos homok, vályoggal keverve
190-470	Kavicsos homok, agyag betétekkel a 2, 1 m, a 2, 5 m 4, 1 m 4, 25 m-es mélységekben
470-630	Kavicsos homok

10. táblázat: Talajszelvény leírás Královská Lúka – Királyrét

4.1.4 Báč – Bácsfa

A mellékelt térképen az MP4-es számmal van jelölve. Alluviális síkság. Intenzív mezőgazdaságilag művelt termelésre használt terület. Termelés:

2000 – kukorica

2001 – napraforgó

2002 – repce

2003–búza

Könnyű homokos talaj. A talajvízszint 2. 8 – 4 m közt mozog az év folyamán.

A humusz réteg vastagsága 70 cm. talajszelvény réteg leírását a táblázat mutatja:

Réteg vastagság (cm)	A talajszelvény leírása
0-35	Szürkés, barna vályog, poros szerkezetű
35-50	Szürkés, barna vályog
50-70	Sárgás vályog
70-100	Szürke, homokos vályog
100-160	Sárgás, finom, homokos vályog
160-210	Sárga, homokos vályog
210-255	Sárgás, szürkés, vályogos homok
255-320	Szürkés, tarka homok
320-400	Szürkés, sárgás finom homok
400-450	Szürkés durva homok

11. táblázat: Talajszelvény leírás Bács – Bácsfa

4.1.5 Bodíky - Nagybodak

A mellékelt térképen az L8-as számmal van jelölve. A nagybodaki ártéri erdők jellemző talaja az agyagos homokos erdei talaj, ami az egész alluviális síkságon megtalálható. Jellegzetes fafaj a Kanadai nyár melyet a fafeldolgozó ipar hasznosít. Az itt lévő erdő ma 20 éves. A talajvíz szintjellelmezően 210-310 cm közt mozog. Az ártér extrém árvíz esetén kb. 2 méteres vízszlappal van elárasztva. A 2002-es évben ez a terület kétszer volt elárasztva művileg vagy természetesen. A művi árasztás Dobrohostnál (Doborgaz) a fő holtágon keresztül beeresztett víz mennyiségével határozható meg. Ez elméletileg 0-180 m³/s lehet. Eddig a legnagyobb felhasznált

vízmennyiség $139 \text{ m}^3/\text{s}$ volt. A hatás növelhető, ha a mederben lévő keresztgátakat lezárjuk. Ezzel tetszés szerint 1-1, 5 m vízszintemelkedést tudunk kiváltani. Ha mindkét módot egyszerre használjuk, elérjük hogy a holtágban lévő víz kiömlik az ártérre, és helyenként feltölti a száraz, mélyebben fekvő részeket és a volt holtágakat, melyek máskülönben szárazak maradnának.

A nagybodaki talajszelvény rétegeit az 1. táblázat mutatja:

0-55 cm	homokos agyag
55 – 151 cm	finom löszös homok
151 – 205 cm	homokos kavics
205 – 215 cm	homok
215 – 245 cm	homokos kavics
240 – 265 cm	homok
265 – 630 cm	kavics homokkal keverve
580 – 590 cm	homok

12. táblázat: Talajszelvény leírás Bodíky - Nagybodak

4.2 Szigetközi megfigyelési pontok leírása



2. ábra: A Szigetközi mérési és megfigyelési pontok elhelyezkedése (1955-2003)

4.2.1 Dunasziget

A mellékelt térképen a mérési pont 9499-es számmal van jelölve.

A dunaszigeti ártéri erdők jellemző talaja az agyagos homokos erdei talaj, ami az egész alluviális síkságon megtalálható. Jellegzetes fafaj a Kanadai nyár, melyet a fafeldolgozó ipar hasznosít. A talajvíz szintjellemzően 267-310 cm közt mozog. Az ártér extrém árvíz esetén kb. 2 méteres vízoszloppal, van elárasztva.

0 - 30 cm	lössös barnás szürke agyag
30 – 60 cm	szürke homokos agyag
60 – 190 cm	agyagos homok rozsdás foltokkal
19 – 280 cm	finom homok rozsdás foltokkal
280 – 345 cm	durva homok homokos kavicsal keverve
345 – 400 cm	homokos kavics

13. táblázat: Talajszelvény leírás Dunasziget

4.2.2 Halászi.

A mellékelt térképen a mérési pont a 2605 ös számmal van jelölve.

Alluviális síkság, intenzíven mezőgazdaságilag művelt terület. Termelés:

2002- búza

2003- árpa

Könnyű, homokos üledett talaj. A talajvízszint 3, 3- 3, 7 m között mozog az év folyamán. Humusz réteg vastagsága 45 cm.

Rétegvastagság (cm)	A talajszelvény leírása
0-30	Szürkésbarna vályog, porosan morzsás szerkezetű
30-45	Szürkésbarna vályog, porosan morzsás szerkezetű, átmenet éles
45-70	Sárga porózus vályog (löss) határa hullámos
70-100	Glejszürke-vörös tarka vályog, tömődött
100-120	Glejszürke-vöröses, tarka vályog, tömődött, átmenet határozott
120-150	Szürke-vörös tarka vályog, nagy vaskiválás foltokkal
150-180	Szürke-vöröses sárga tarka vályog vaskiválásokkal
180-210	Szürke-vöröses sárga tarka homokos vályog vaskiválásokkal
210-240	Szürke-vöröses sárga tarka homokos vályog vaskiválásokkal
240-270	Szürke-sárga tarka homok
270-300	Szürke-sárga tarka homok

14. táblázat: Talajszelvény leírás Halászi

4.2.3 Dunaremete sorjási legelő

A mellékelt térképen a mérési pont a 2630-as számmal van jelölve.

Mezőgazdaságilag állattenyésztésre használt, kaszált, legeltetett rét. Félnehéz humuszos öntés.

A talajvíz szint 270 cm körül mozog, de gyorsan reagál az extrém vízállásokra. Pl. 2002. augusztusában bekövetkezett nagy árvízkor a talajvíz gyorsan emelkedett az árvízzel. Az elvonulás után kb. augusztus 30. körül a 270 cm szinten volt mérve.

Ez azt jelenti, hogy a humuszos pórész talajban a talajvíz áramlási sebessége igen nagy, mihez a magasan lévő homok és kavicsréteg (150 cm) is hozzájárul. A talajvízszint gyors változásaival azért követi az árvizet, mivel a mérési hely a gáthoz közel helyezkedik el (100-150 m). A humusz réteg vastagsága 90 cm. A talaj szelvény leírását az alábbi táblázat mutatja.

Rétegvastagság (cm)	A talajszelvény leírása
0-10	Barnás, szürke, szemcsés szerkezetű vályog
10-30	Glejszürke- vöröses sárga, tarka vályog
30-60	Szürke – vöröse sárga, tarka vályog, 50cm től humuszos, szerkezete szemcsés.
60-90	Sötét, szürke vályog, szemcsés szerkezetű eltemetett réteg 5%kaviccsal
90-120	Szürkés, sárga tarka homokos vályog, kevés kavics és humuszos foltok található
120-150	Sötét szürke vályog, második eltemetett humuszos réteg, sárga humuszmentes foltokkal, kevés kavics
150-180	Sárga homok 10% kavics, 180 cm től a kavicsréteg nem fúrható

15. táblázat: Talajszelvény leírás Dunaremete sorjási legelő

4.2.4 Ásványráró

A mellékelt térképen a mérési pont a 7920-as számmal van jelölve. Nehéz, mély humuszos rétegű, tőzeges öntési agyagos talaj. Intenzív mezőgazdasági termelés:

2002- búza

2003 – szója.

Hullámos terület mélyebb részén fekszik. A talajvízszint 0, 5-2, 3 m között ingadozik az év folyamán. A nagy árvíz erősen befolyásolta a talajvízszintet. A 2002. évi augusztusi árvíznél a talaj vízszint helyenként elérte a felszínt (belvíz). A kútnál egy nappal a tetőzés előtt 40 cm-es szintet mértünk. A humuszréteg vastagsága 85 cm. A talaj szelvény leírását az alábbi táblázat mutatja.

Réteg vastagság (cm)	A talajszelvény leírása
0-25	Szürkés, barna agyagos vályog, rögös szerkezetű, vas kiválások találhatók
25-55	Sötét szürke agyagos vályog, poliédes szerkezetű, vas borsó, és apró csigahéjak találhatók
55-85	Világos, barnás, szürkés sárga, agyagos vályog, poliédes szerkezetű, vas kiválások, és mészgöbcecsek találhatók
85-110	Vöröses, sötét sárga agyagos vályog, erősen tömődött, sok vas kiválás
110-130	Világos szürke vályog, vas kiválás foltokkal, erősen nedves
130-150	Világos szürke homokos vályog, omlósan laza, sárosan nedves, vas kiválás foltok találhatók
150-180	Világos szürkés sárga vályog, vas kiválásokkal
180-210	Világos szürkés sárga vályog, vas kiválásokkal

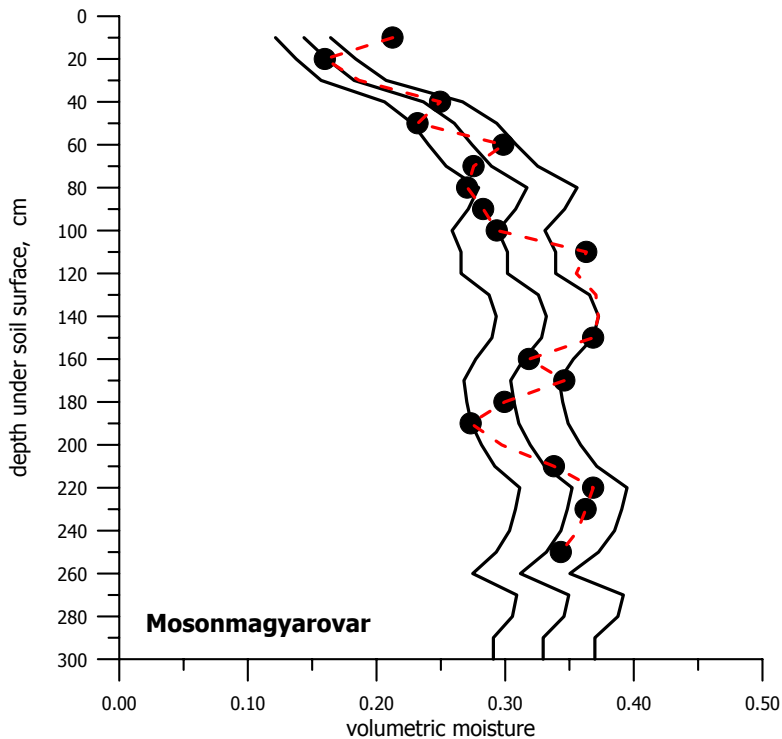
16. táblázat: Talajszelvény leírás Ásványráró

4.2.5 Nyugat-Magyarországi Egyetem Mezőgazdasági- és Élelmiszertudományi Kar területe.

A mérési pont a mellékelt térképen ponttal van jelölve. Agrár szempontból műveletlen területen található. A nedvesség mérés 260 cm-es mélységig volt elvégezve, mivel az I. szenzor csak 240 cm-ig figyelte a talajnedvesség alakulását. A talajszelvény vizsgálatot a Hidrológiai Intézet Talajtani (Pedológiai) laboratóriumában végezték el, az ott vett bolygatatlan mintákon egészen a 250 cm-es mélységig 5-10 cm-es szakaszonként, két különböző időpontban. A megállapított hidro-pedológiai (hidro-talajtani) jellemzők segítségével kiértékeljük a talajnedvesség alakulását. Ezek alapján összehasonlítottuk az I. szenzorral mért adatokkal, és az Agrárműszaki, Élelmiszeripari és Környezettechnikai Intézet által megadott adatokkal, melyeket a Szigetköz Kutatási Központ mosonmagyaróvári részlegén Palkovits Gusztáv osztályvezető, intézeti főmunkatárs, egyetemi főtanácsos Koltai Gábor tudományos munkatárssal bocsátottak rendelkezésünkre.

5. A három talajnedvesség mérési módszer összehasonlítása

Az Egyetem területén kiválasztott ponton történt. Az egyes grafikonokon összehasonlítottuk a 2002-es évben mért értékek alapján az egyes műszerek által megállapított talajnedvesség adatait. Az értékek feldolgozása után megkaptuk a korrelációs összefüggéseket. Ehhez szükséges volt, hogy a talajnedvességet térfogat százalékban kapjuk meg, hogy összehasonlítható legyen az Agrárműszaki, Élelmiszeripari és Környezettechnikai Intézet által mért adatokkal. Szükségessé vált a neutron szonda kalibrálása, ezért a mérési helyen 10 cm-es rétegekként vett bolygatatlan minták a Hidrológiai intézet földtani laboratóriumában tett részletes kivizsgálása. Az ábra e kalibrációs görbét mutatja, melynek a segítségével a megállapított koeficiensok lehetővé teszik a mért impulzusok alapján a talajnedvességnek térfogat százalékra való átszámolását.



3. ábra: A neutronsonda kalibrációja a mosonmagyaróvári mérőpontban. Az összekötő vonal a kalibrációs görbét ábrázolja az adott mérőpont számára. A görbét a bolygatatlan minták gravimetrikus kiértékelésével kaptuk.

A képen a gyártó által megadott három kalibrációs alapgörbe látható, homok, vályog és agyag számára. A pontokkal jelölt szaggatott vonal jelzi az adott helyszín számára kiszámolt kalibrációs görbét. E görbe segítségével értékeljük ki a neutron szondás mérést. A teli vonalak azt a talajnedvességet ábrázolják, mely a tiszta homok, vályog, vagy agyag számára volnának megfelelőek. A pontokkal jelölt értékek, és az őket összekötött szaggatott vonal a gravimetrikus módszerrel megállapított reális értékeket ábrázolják. A következő táblázat a mosonmagyaróvári mérőpont számára megállapított koeficienset tartalmazza.

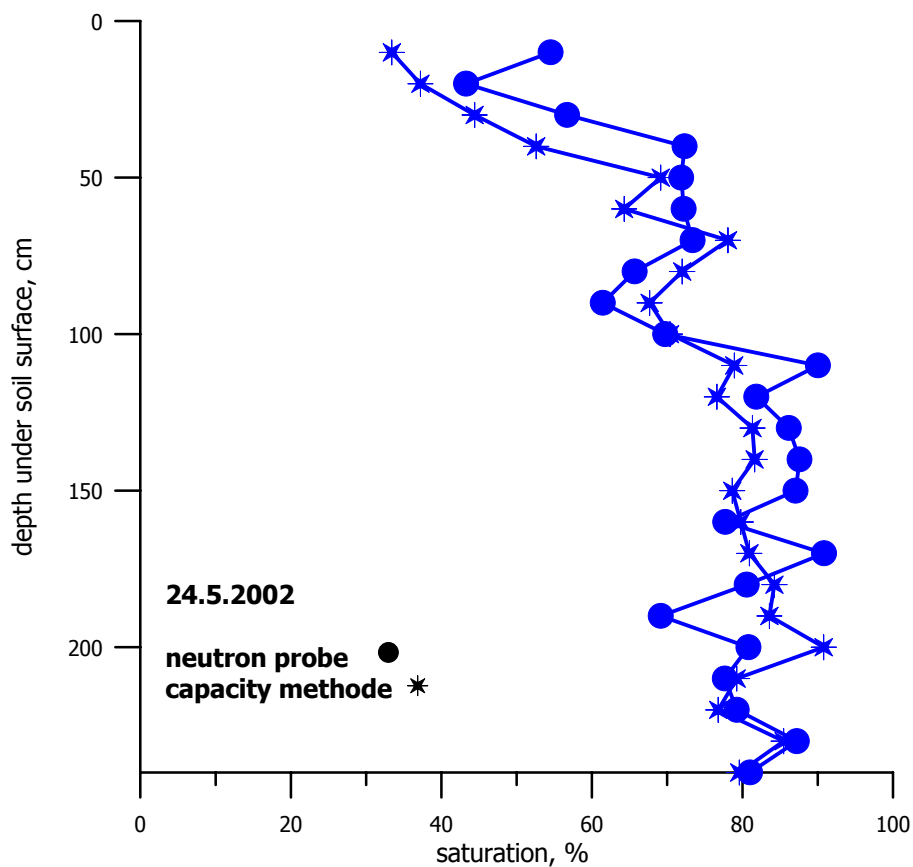
Talajszint (cm)	„b” Koeficiens	„c” Koeficiens
-----------------	----------------	----------------

10	0.999	0.029
20	0.867	-0.017
30	0.88	-0.015
40	0.9	-0.013
50	0.8	-0.023
60	0.93	-0.013
70	0.83	-0.017
80	0.785	-0.031
90	0.805	-0.018
100	0.86	-0.014
110	0.999	-0.003
120	0.98	-0.004
130	0.958	-0.007
140	0.95	-0.009
150	0.958	-0.012
160	0.87	-0.013
170	0.958	-0.008
180	0.845	-0.015
190	0.79	-0.024
200	0.82	-0.020
210	0.88	-0.014
220	0.9	-0.014
230	0.9	-0.016
240	0.895	-0.015
250	0.89	-0.014

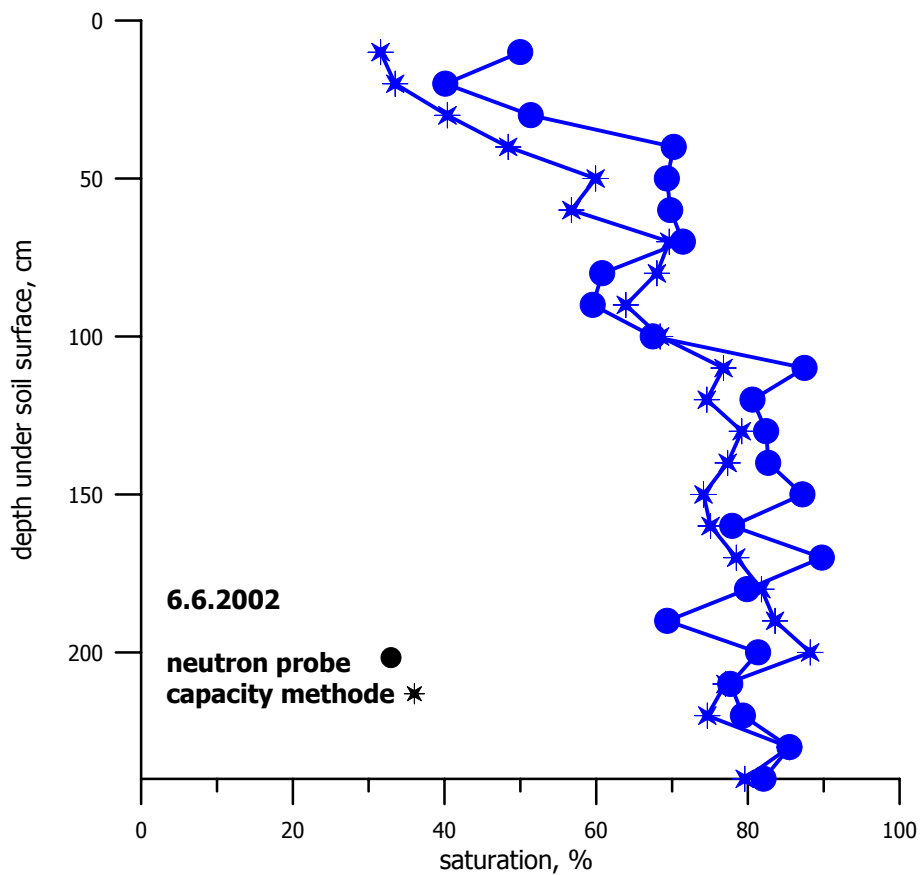
17.táblázat: A mosonmagyaróvári mérési helyszín számára érvényes koeficiensok

5.1 A neutronszondás és kapacitásmérési módszerek összehasonlítása

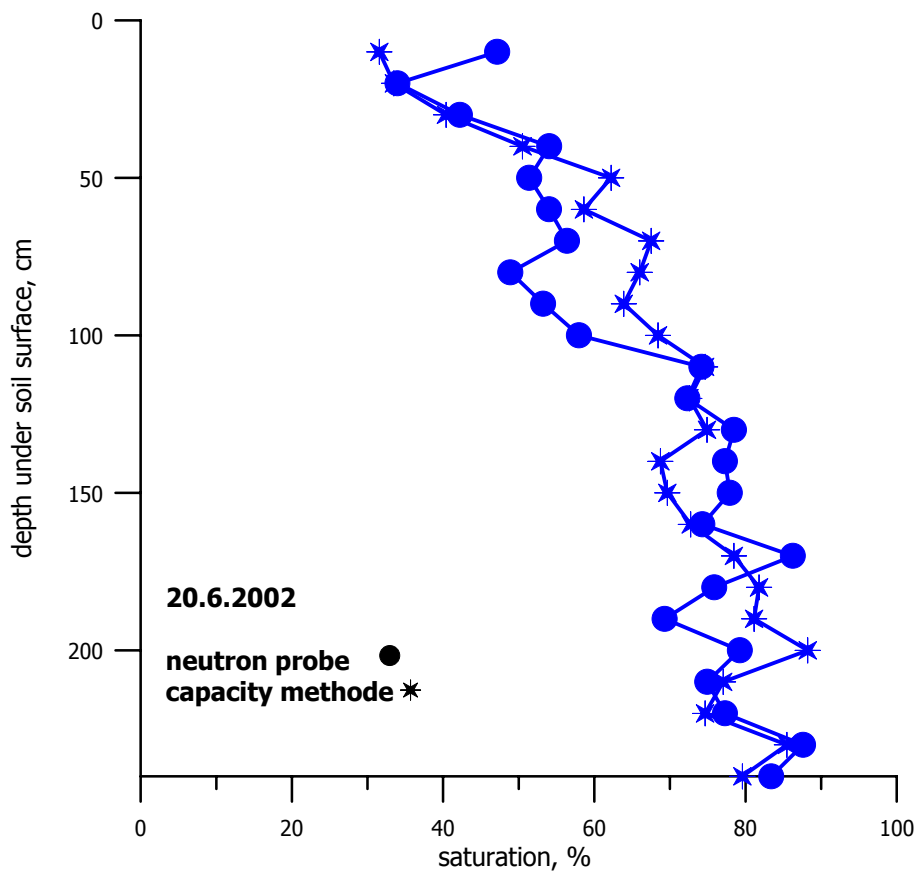
A következő ábrákon a kapacitásmérési módszer és a neutronszondás mérés által mért értékek összehasonlítása látható a 2002-es év vegetációs időszakában. A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában van megadva eltérően a térfogatszázaléktól, mivel az I szenzoros mérések ebben az adatbázisban dolgoznak.



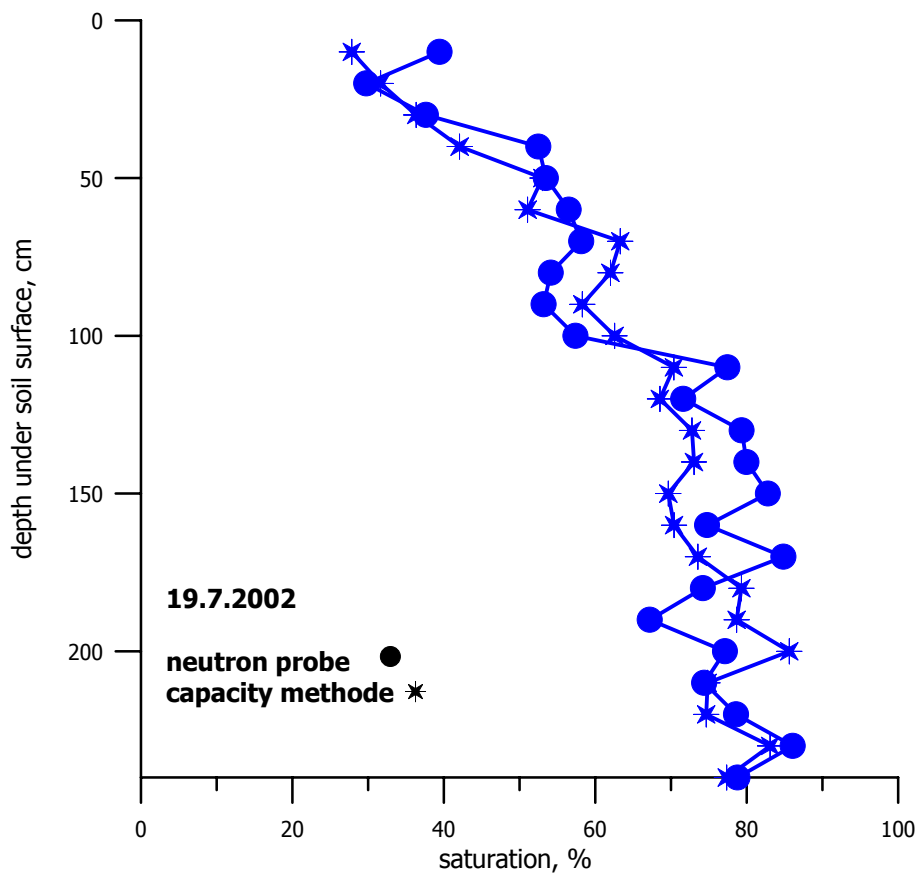
4. ábra: A neutronszondás és kapacitásmérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.05.24.
(A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



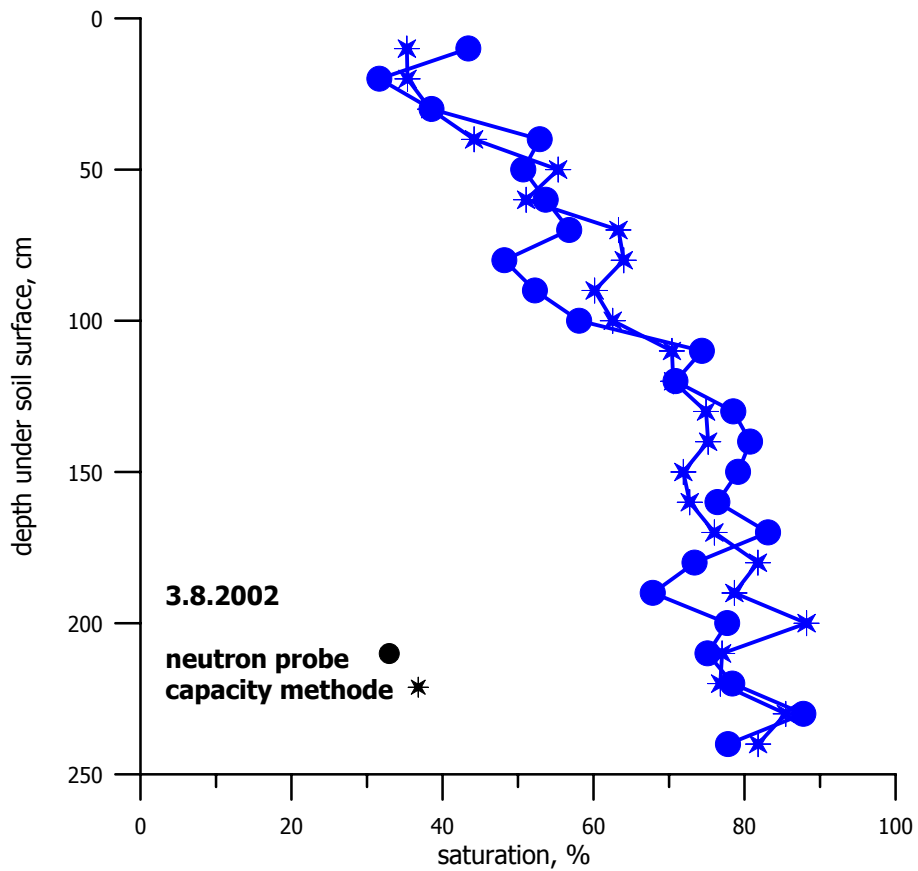
5. ábra: A neutronszondás és kapacitásmérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.06.06.
(A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



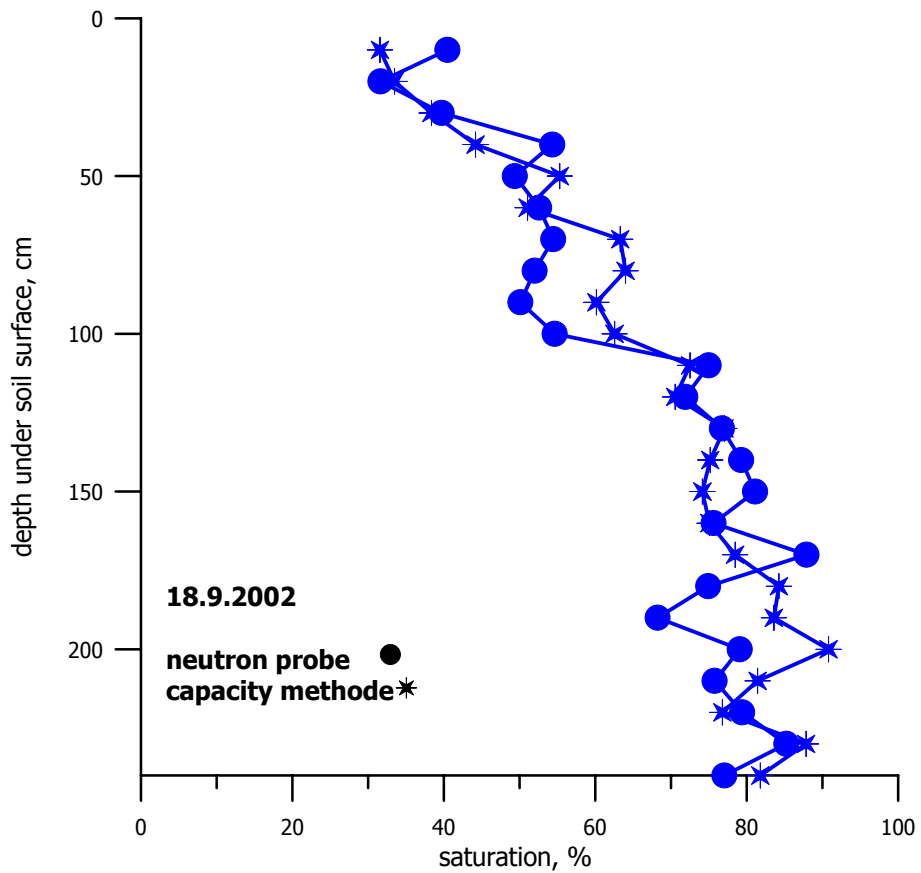
6. ábra: A neutronsondás és kapacitásmérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.06.20.
(A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



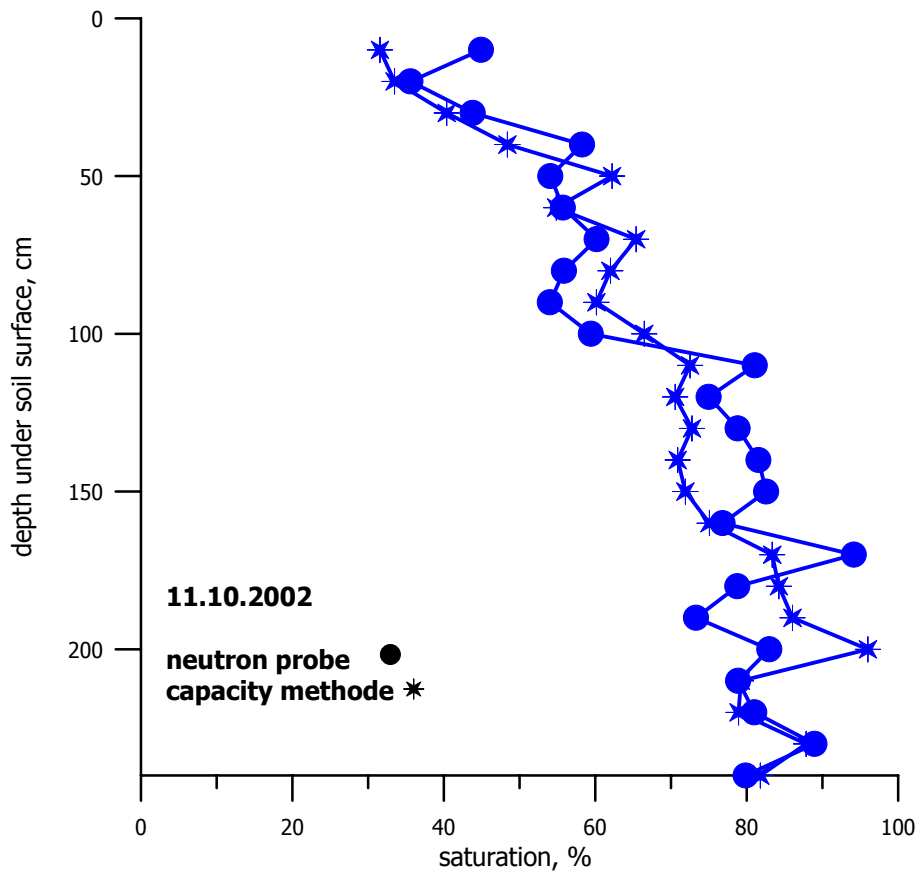
7. ábra: A neutronszondás és kapacitásmérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.07.19.
(A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



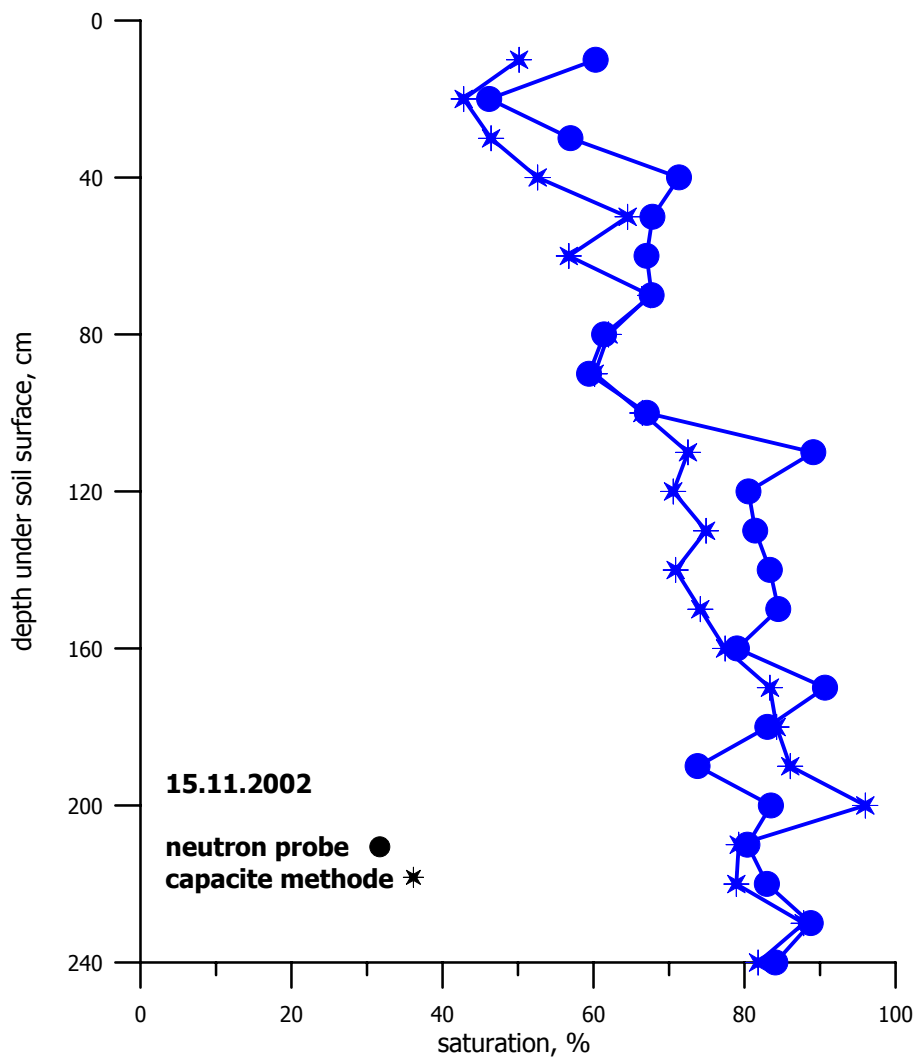
8. ábra: A neutronsondás és kapacitásmérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.08.03.
(A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



9. ábra: A neutronszondás és kapacitásmérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.09.18.
 (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



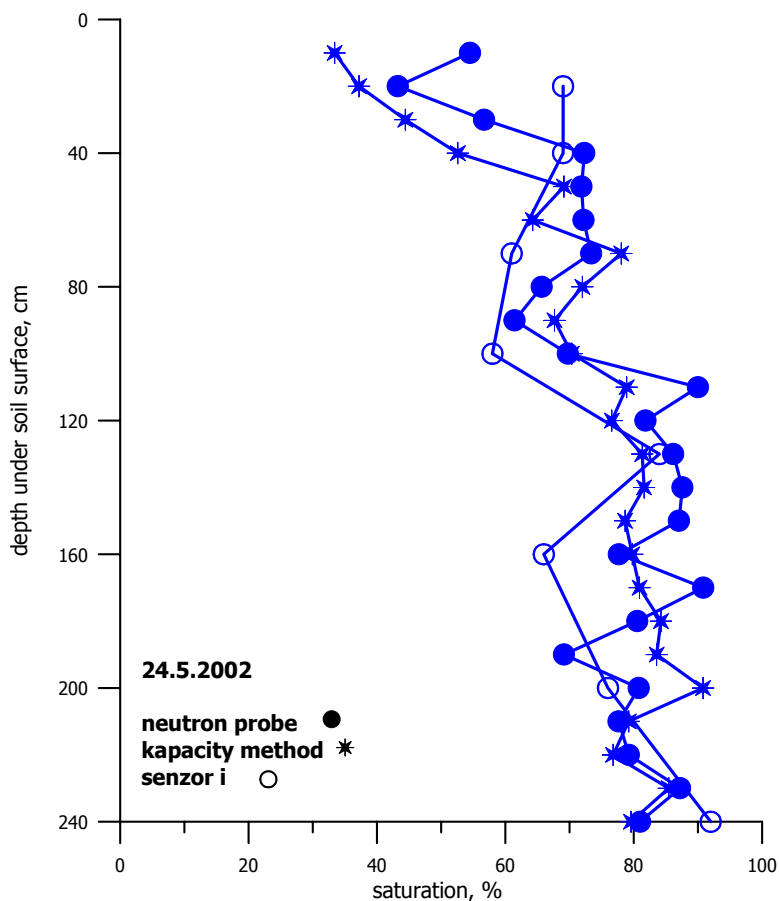
10. ábra: A neutronsondás és kapacitásmérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.10.11.
(A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



11. ábra: A neutronszendás és kapacitásmérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.11.15.
(A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)

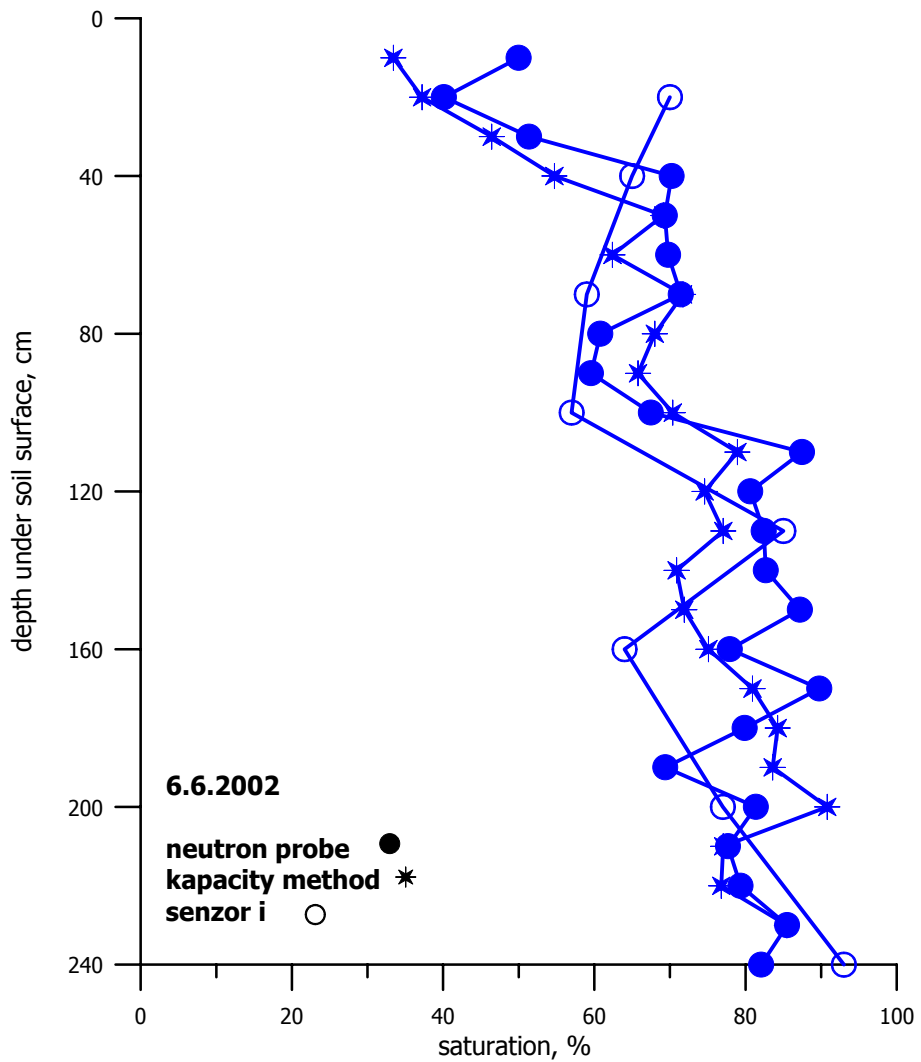
5.2 A neutronszondás, kapacitásmérési és az I szenzoros mérési módszerek összehasonlítása

A következő ábrákon a neutronszondás, kapacitásmérési módszer és az I szenzoros (hidromolekuláris polarizáció) mérési módszer által mért értékek összehasonlítása látható a 2002-es év vegetációs időszakában, az I szenzoros mérések korrigálása és a mérőműszer meghibásodott részének kijavitása előtt.

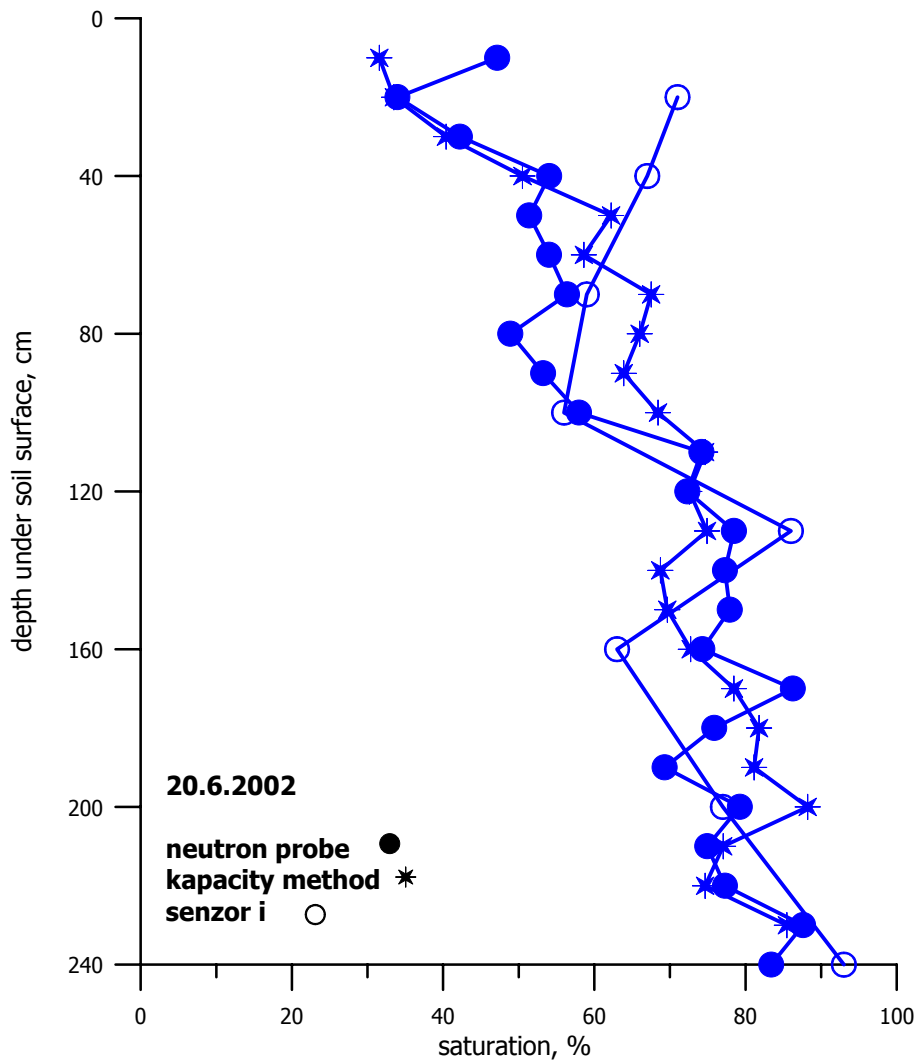


12. ábra: A neutronszondás, kapacitásmérési és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.05.24.

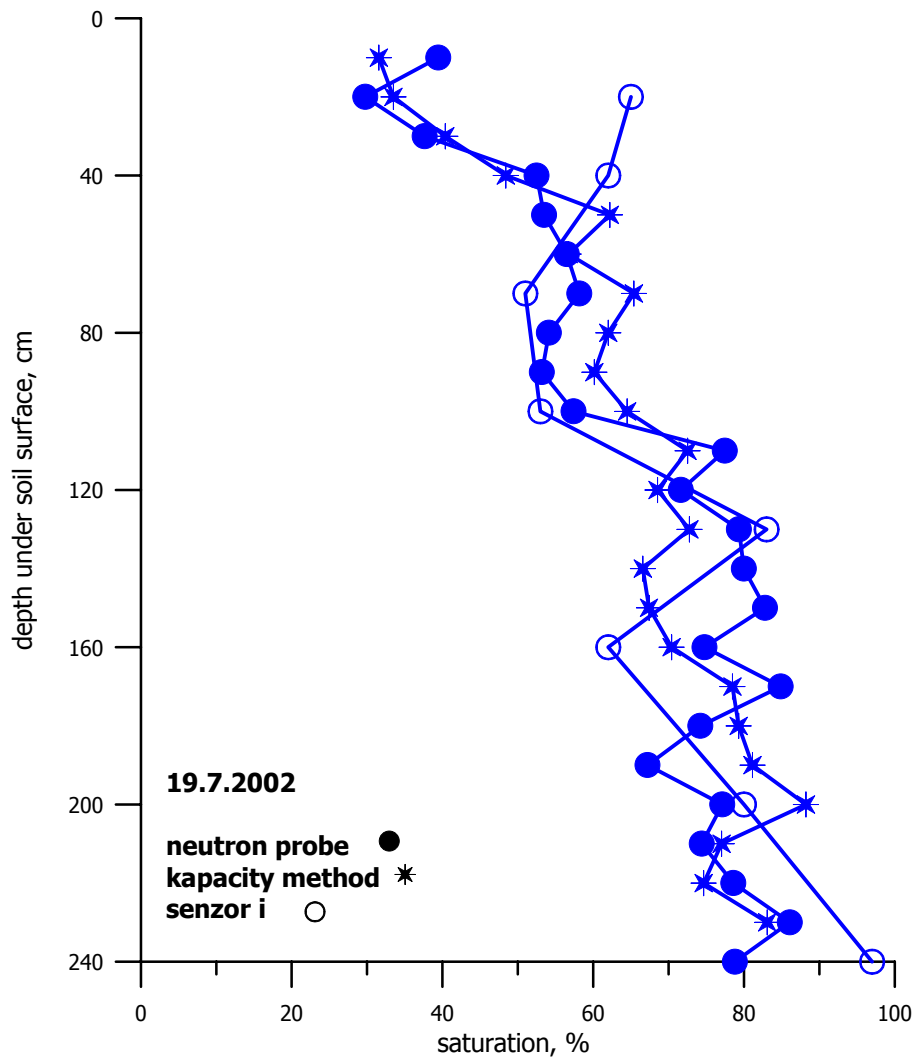
(A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



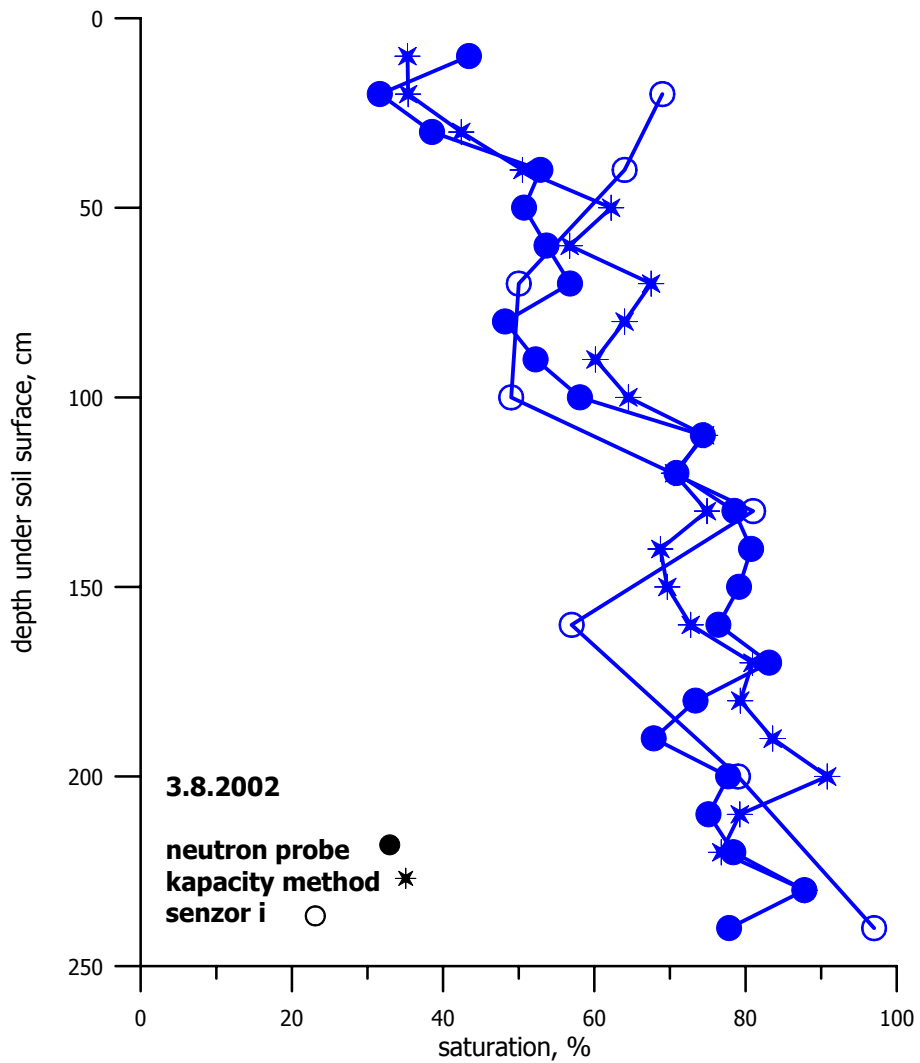
13. ábra: A neutronszendás, kapacitásmérési és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.06.06.
 (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



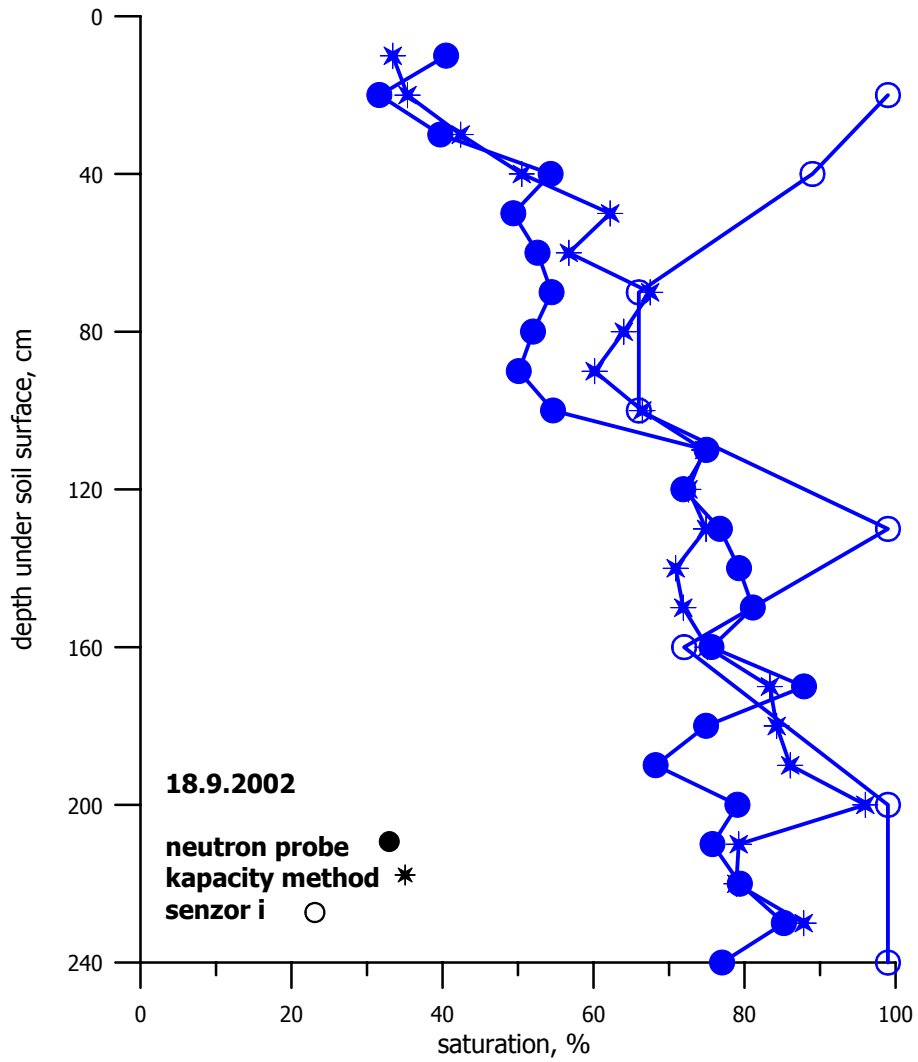
14. ábra: A neutronszonálás, kapacitásmérési és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.06.20.
 (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



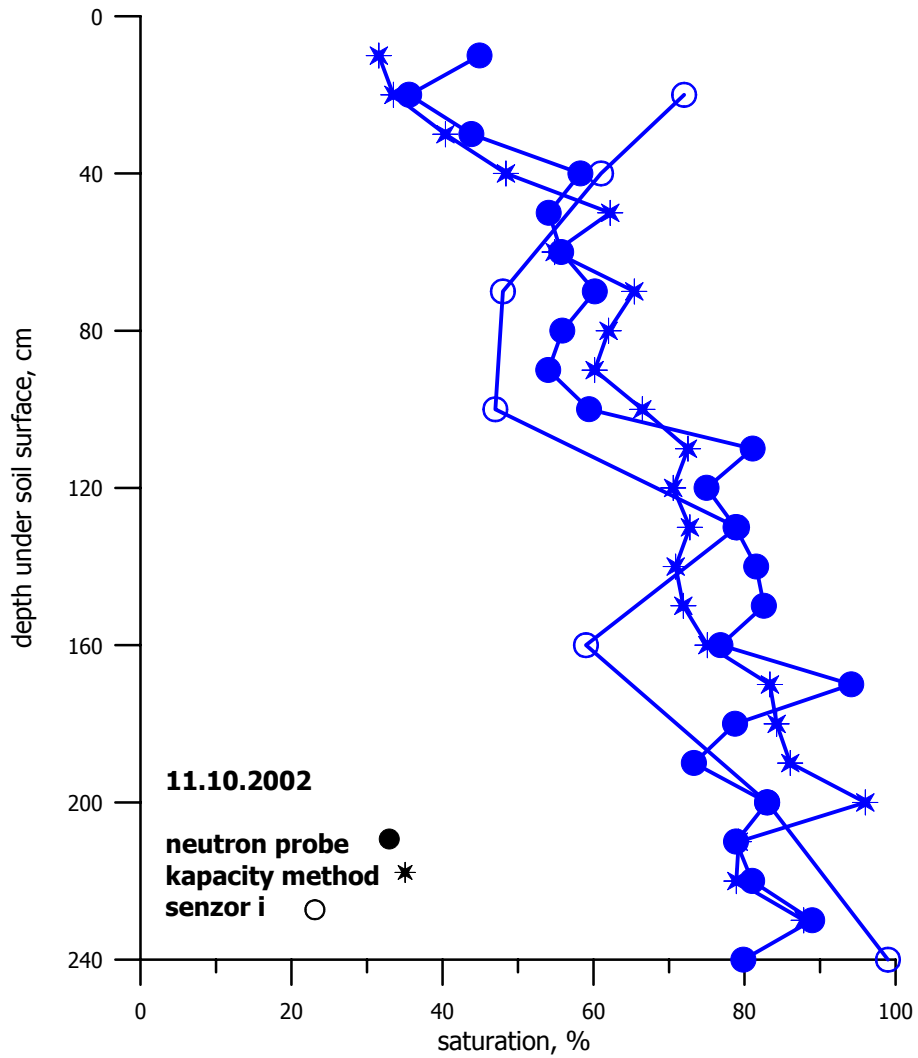
15. ábra: A neutronszondás, kapacitásmérési és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.07.19.
(A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



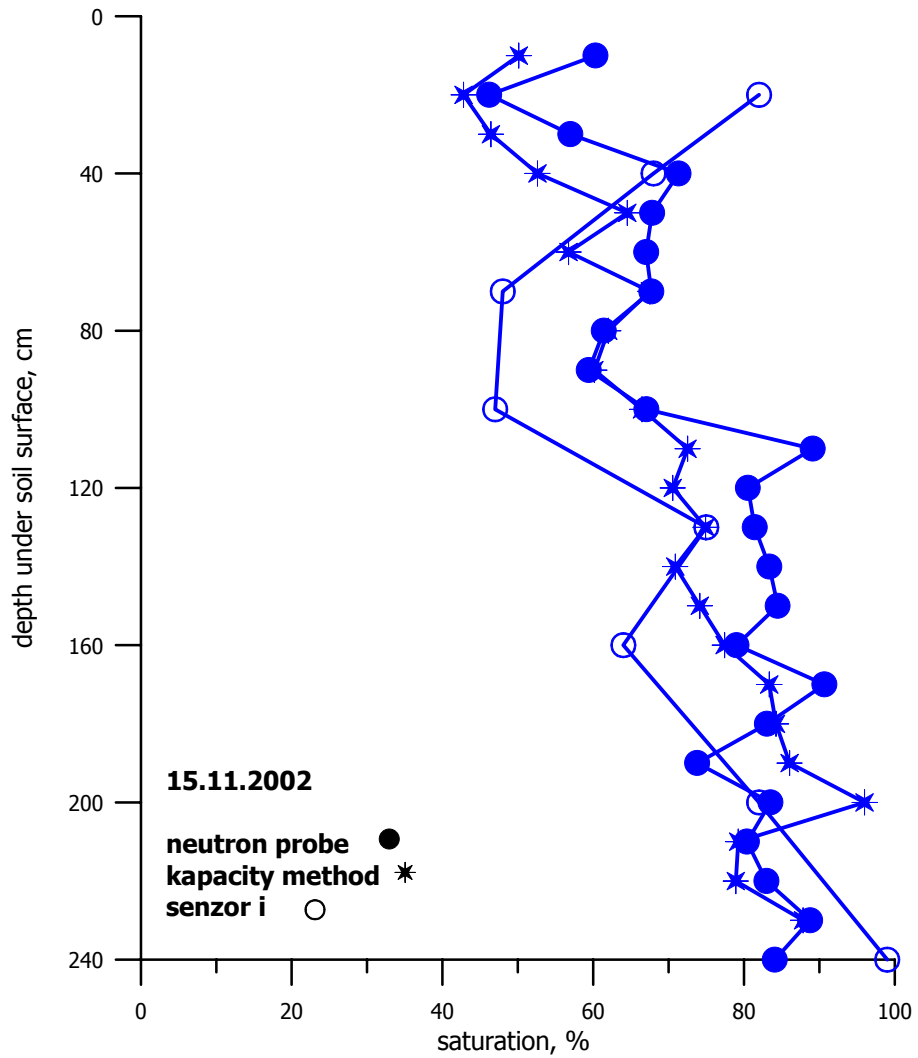
16. ábra: A neutronszonálás, kapacitásmérési és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.08.03.
(A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



17. ábra: A neutronszendás, kapacitásmérési és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.09.18.
 (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



18. ábra: A neutronszondás, kapacitásmérési és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.10.11.
 (A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



19. ábra: A neutronszonálás, kapacitásmérési és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.11.15.

(A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)

Az eddigi mérések – 4. ábrától a 19. ábráig - korrelációs összefüggései a következő táblázatban láthatók:

Mérések időpontja	Neutron szonda I Szenzor	Neutron szonda Kapacitási mérési metódus
	Korrelációs koeficiens r	Korrelációs koeficiens r
24. 05. 2002	0. 426387	0, 826594
06. 06. 2002	0. 398587	0. 850506
20. 06. 2002	0. 562325	0. 859911
04. 07. 2002	0. 512537	0. 894080
19. 07. 2002	0. 577428	0. 909511
03. 08. 2002	0. 434090	0. 909127
16. 08. 2002	0. 516001	0. 906805
30. 08. 2002	0. 467179	-
18. 09. 2002	0. 162641	-
11. 10. 2002	0. 446955	0. 892831
26. 10. 2002	0. 205721	-
15. 11. 2002	0. 247998	0.837918

18.táblázat: Korrelációs összefüggések a három mérési módszer közt a talajtani laboratóriumi adatok aktualizálása előtt.

Mint látható, a kapacitásmérés és a neutron szondás módszerrel megállapított értékek közt szoros összefüggés van, és a korrelációs arány is megfelelő. Spanyol tudósok által a Barcelonai Intézetben 1990- és 1995-ös évben összehasonlított

értékek korrelációja 0,85 és 0,90 közt mozgott. A nálunk elért 0,82 – 0,91 érték megfelel az irodalom által közöltekkel.

5.3 A neutronszondás és az I szenzoros mérési módszerek összehasonlítása az újra mért hidrofizikai tényezők és az I szenzor korrigálása után

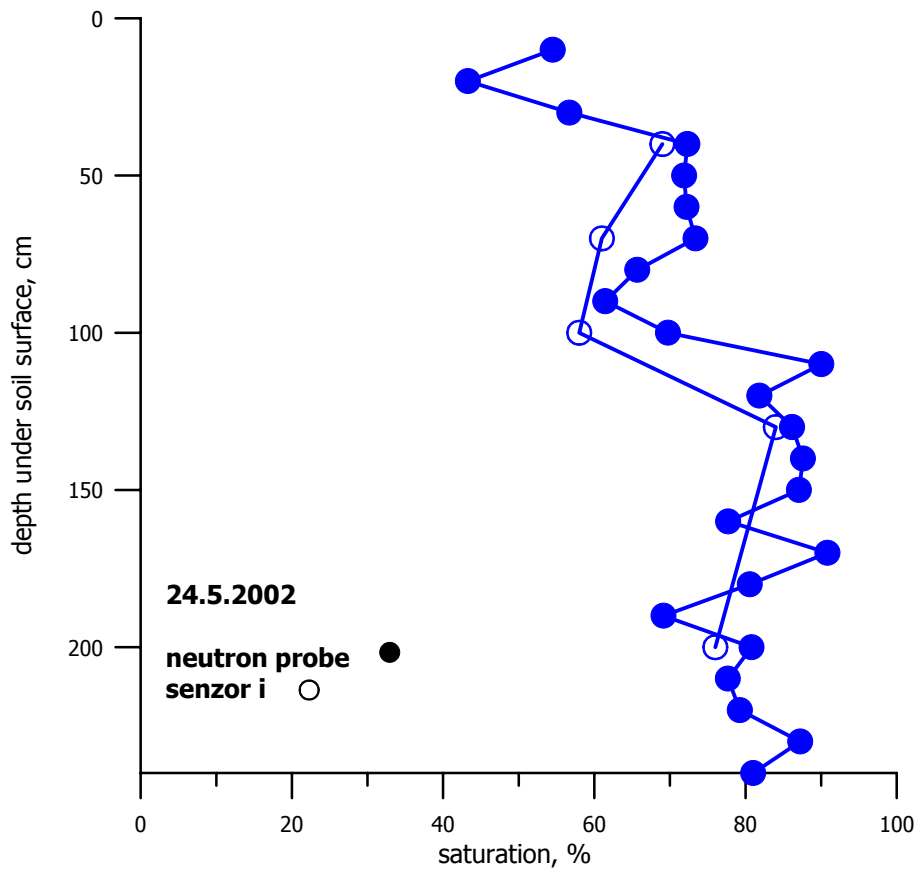
Mivel az I szenzoros mérési módszer a neutron szondással 2002-es évben lett először kiértékelve és összehasonlítva a Hidrológiai Intézet Talajtani Laboratóriuma által aktualizált hidrofizikai értékek nélkül, ez és az elemek meghibásodása is befolyásolta az eredményeket.

Rétegvastagság Talajszint (cm)	Θ (talajnedvesség térfogat %-ban)	ρ_d sűrűség (g/cm ³)	Θ_s Szántóföldi vízkapacitás (térfogat %-ban)	Szántóföldi vízkapacitás (%-a)
0-5	0,3594	0,8927	0,5724	63
5-10	0,2938	1,1819	0,5387	55
11-16	0,2632	1,1138	0,5665	47
16-21	0,2934	1,1277	0,5374	55
26-31	0,3153	1,3199	0,4954	64
31-36	0,2262	1,3725	0,4990	45
42-47	0,3176	1,4424	0,4616	69
47-52	0,3592	1,5187	0,4339	83
55-60	0,3014	1,2042	0,5288	57
60-65	0,3645	1,3907	0,4557	80
68-73	0,3640	1,5360	0,4739	77
73-78	0,3379	1,4507	0,4648	73
83-88	0,3125	1,1920	0,6049	52
88-93	0,3739	1,3550	0,5320	70
103-108	0,3639	1,4371	0,5028	72
108-113	0,3656	1,4569	0,4688	78
118-123	0,3571	1,4849	0,4960	72
123-128	0,3502	1,4924	0,4672	75

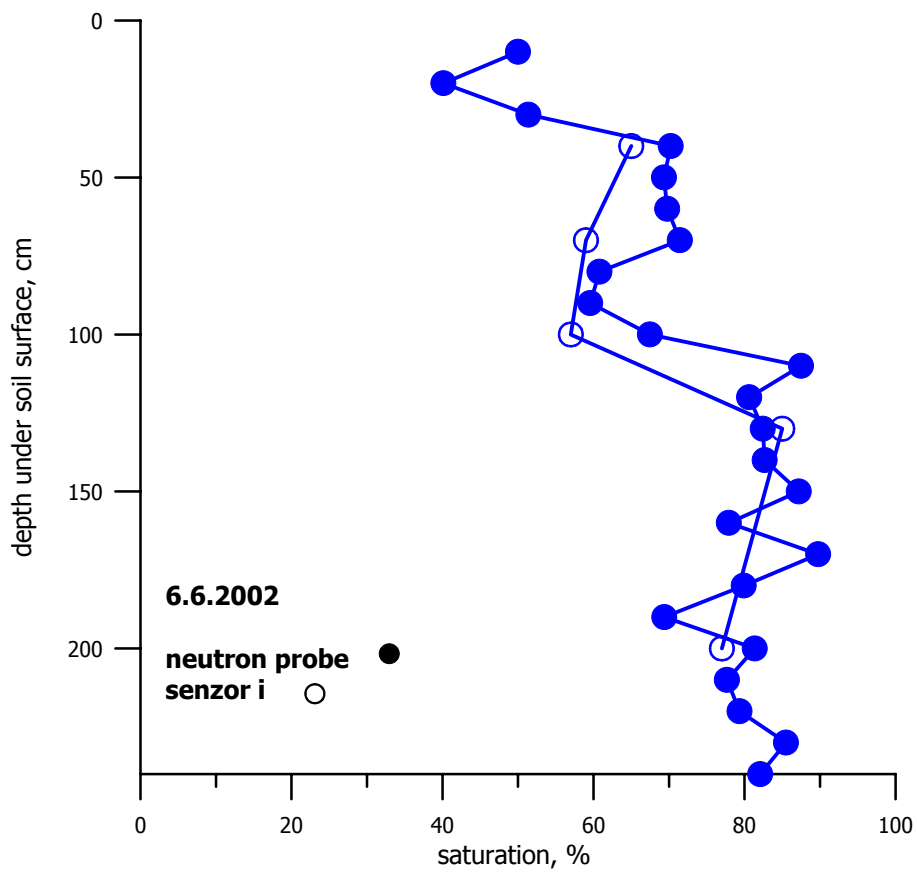
<i>Folytatás az előző oldalról</i>				
137-142	0,4000	1,5713	0,4655	86
142-147	0,4013	1,5428	0,4761	84
156-161	0,3500	1,5584	0,4261	82
161-166	0,3745	1,5302	0,4271	88
167-172	0,3058	1,6010	0,4078	75
172-177	0,3280	1,7844	0,4028	81
190-195	0,3409	1,8491	0,4067	84
195-200	0,3277	1,7787	0,3854	85
208-213	0,3352	1,6505	0,4543	74
220-225	0,3321	1,6128	0,4688	71
225-230	0,3258	1,6054	0,4212	78
232-237	0,3304	1,6237	0,4523	73

19.táblázat: A mosonmagyaróvári mérési pont bolygatatlan mintáinak a Hidrológiai Intézet Talajtani Laboratóriuma által aktualizált hidrofizikai értékei.

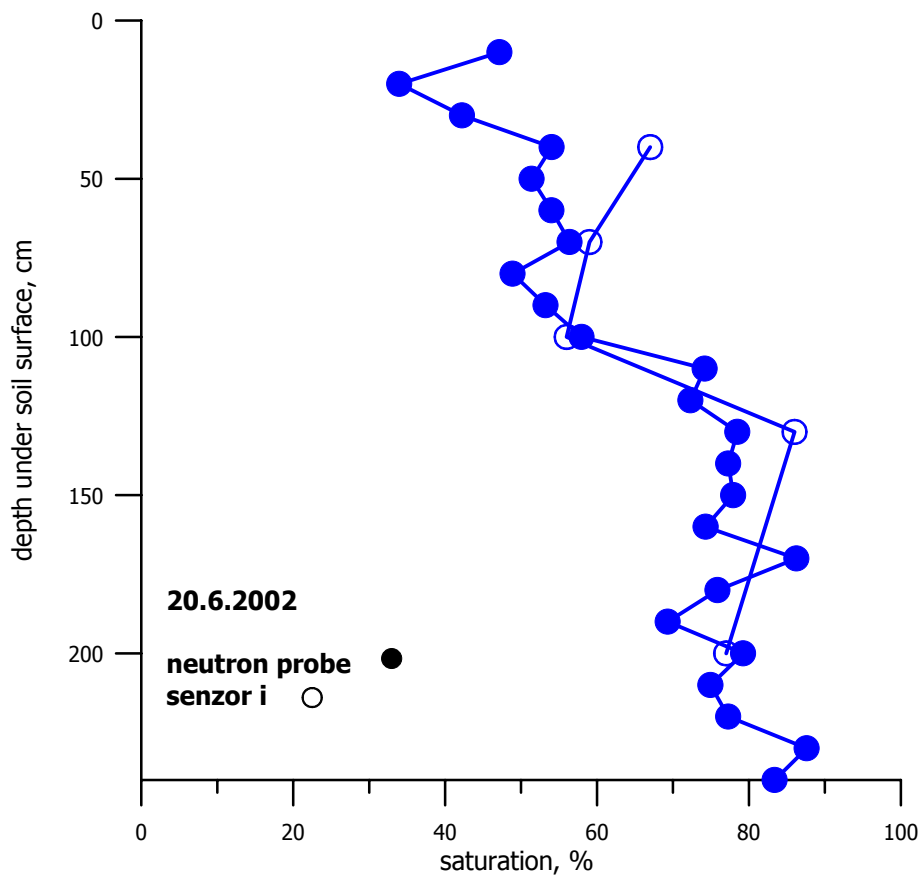
Az összehasonlított értékeket a következő grafikonok mutatják.



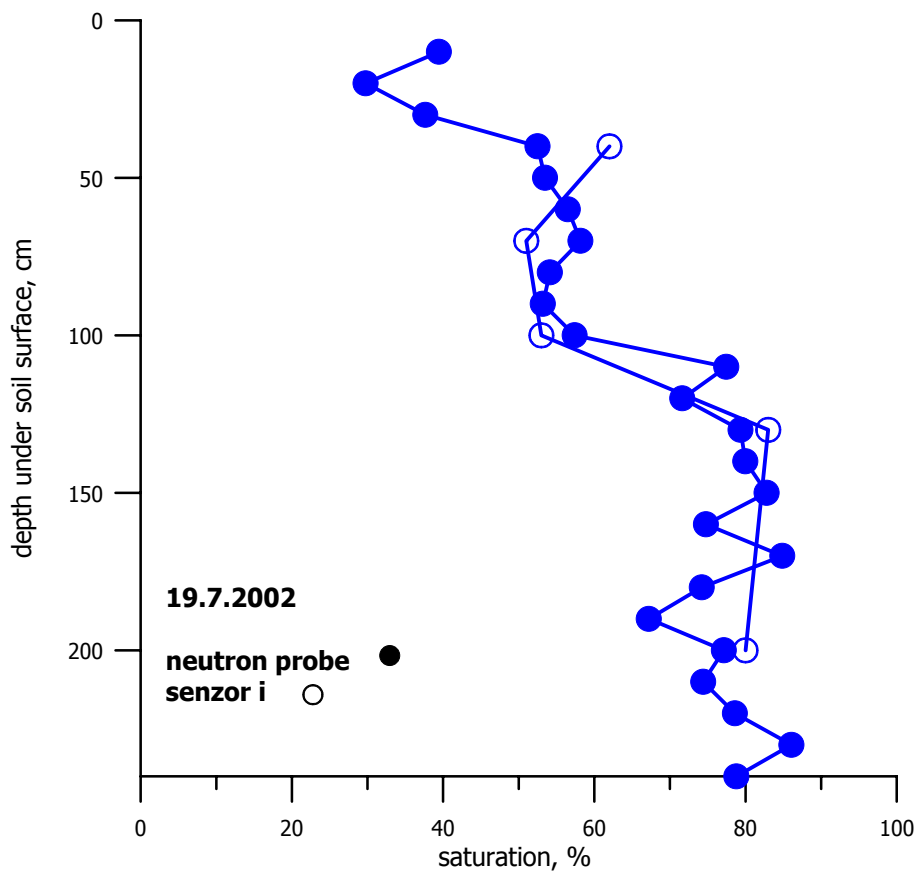
20. ábra: A neutronszoondás és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.05.24.
(A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



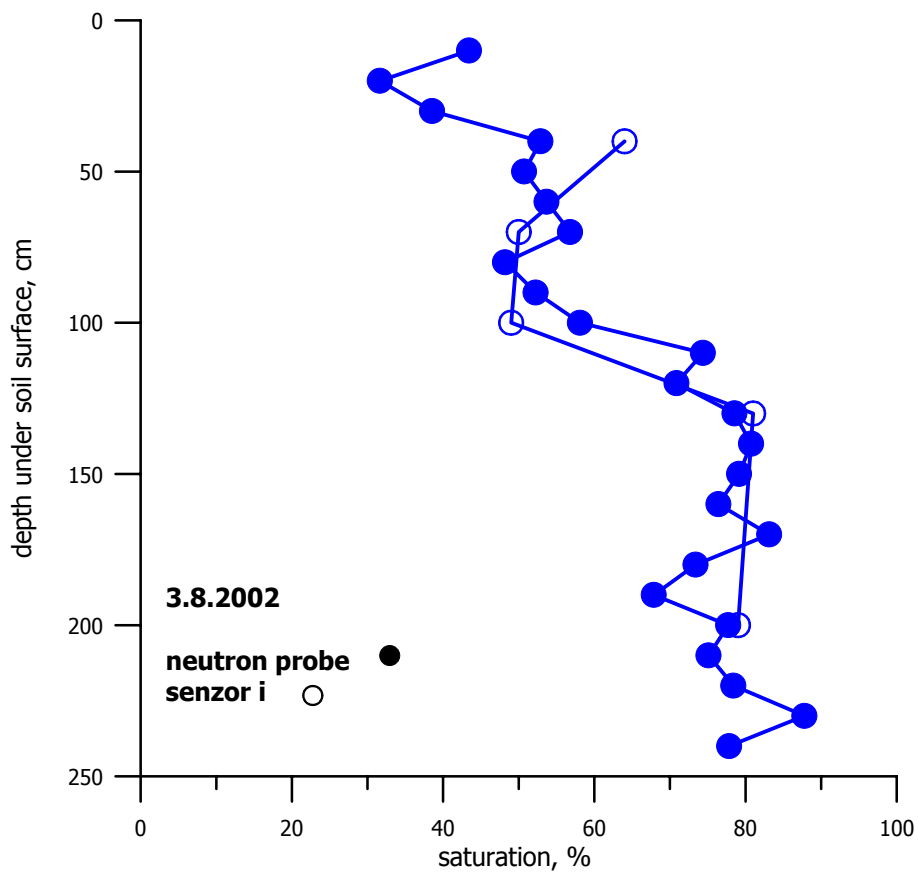
21. ábra: A neutronszendás és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.06.06.
(A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



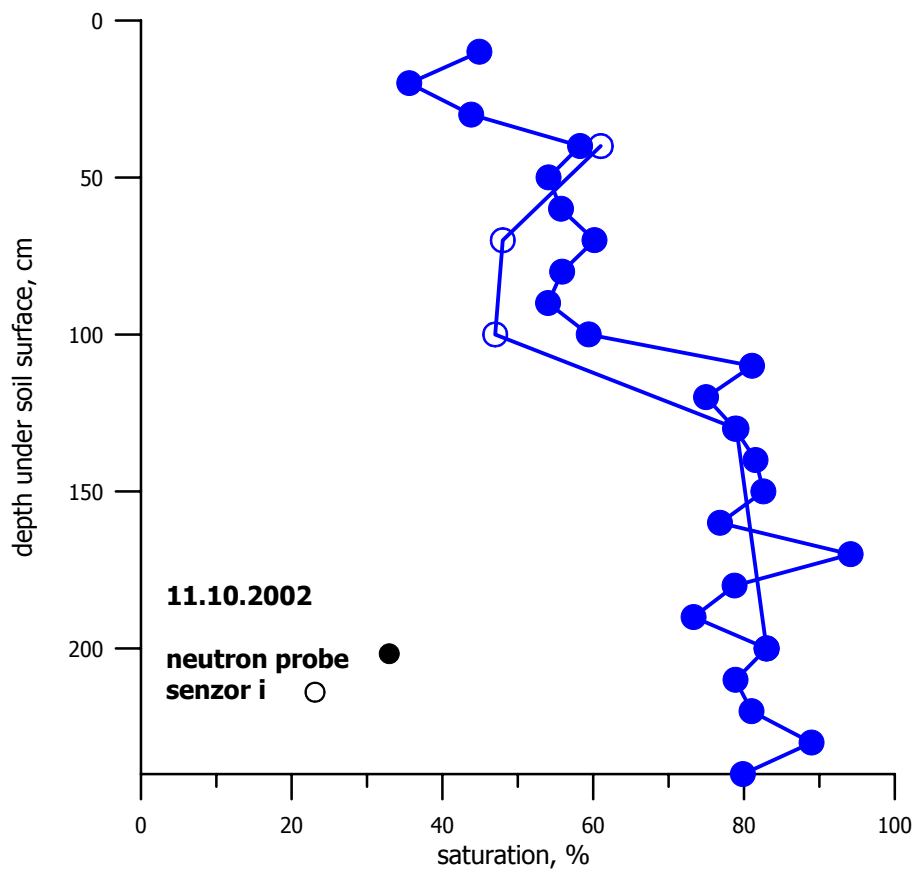
22. ábra: A neutronszoondás és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.06.20.
(A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



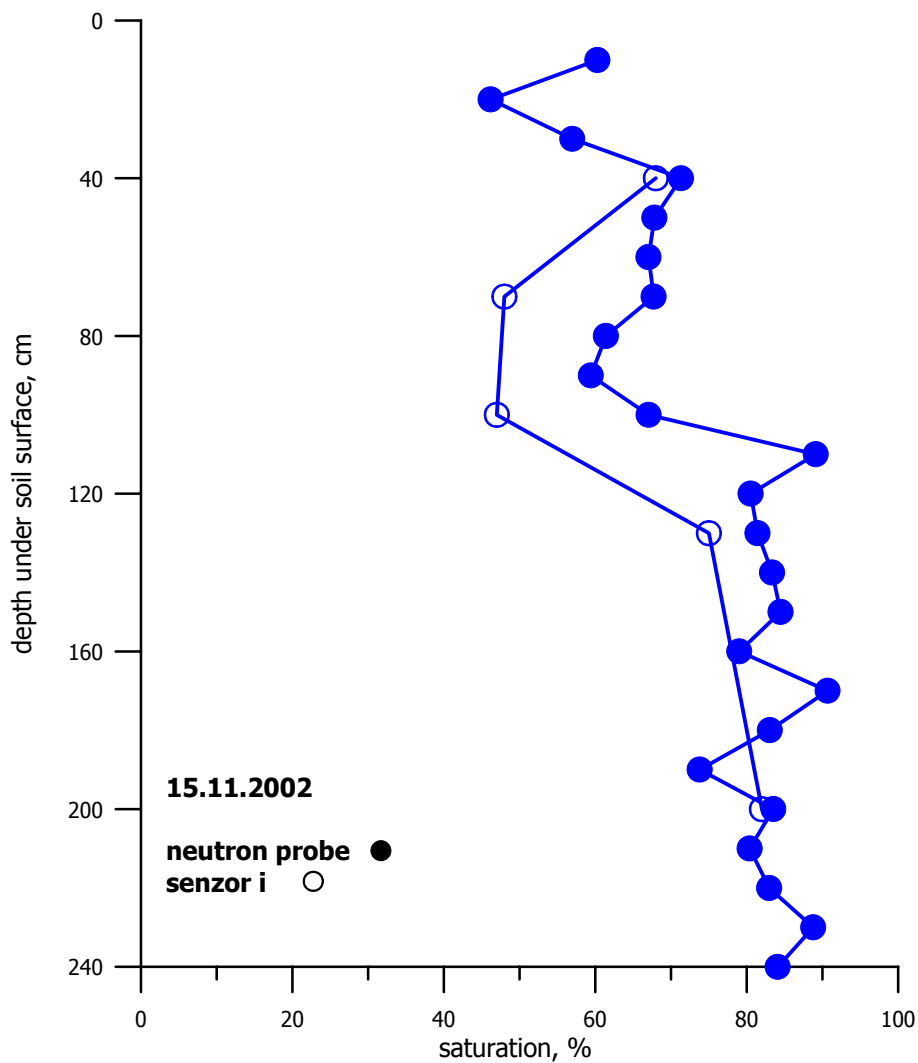
23. ábra: A neutronszoondás és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.07.19.
(A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



24. ábra: A neutronszoondás és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.08.03.
(A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



25. ábra: A neutronszondás és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.10.11.
(A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)



26. ábra: A neutronszoondás és I szenzoros mérési módszerek grafikus összehasonlítása 2002.11.15.
(A nedvességtartalom szántóföldi vízkapacitás százalékában)

A következő táblázat az I szenzor kijavítása és a bolygatatlan minták laboratóriumi kiértékelése utáni korrigált értékek összehasonlítását a neutronszondával mért talajnedvesség adatokkal való összehasonlítását mutatja. A szántóföldi vízkapacitás új értékei az egyes rétegek számára a Szlovák Tudományos Akadémia Hidrológiai Intézetének Talajtani (Pedológiai) Laboratóriumában lettek megállapítva az egyetem területén lévő pont számára (19. táblázat). Ezek az adatok aktualizálva lettek az előző két összehasonlításban használt adatokkal szemben (melyek a 80-as évekből származnak (12-19. ábra, 18. táblázat)) és a bolygatott mintákon megállapított értékekkel szemben is, mert ismereteink alapján tudjuk, hogy 5-10 évenként változnak, ezért szükséges volt őket újra mérni és aktualizálni.

A mérések dátuma	Neutron szonda I szenzor	Neutron szonda I szenzor
	Korrelációs koeficiens r^2	Korrelációs koeficiens r
24. 5. 2002	0, 891114	0, 943988
6. 6. 2002	0, 910078	0, 935980
20. 6. 2002	0, 748203	0, 864987
19. 7. 2002	0, 805232	0, 897347
3. 8. 2002	0, 722822	0, 850189
18. 9. 2002	Meghibásodott a mérőműszer	
11. 10. 2002	0, 857483	0, 926600
15. 11. 2002	0, 878511	0, 937290

20. táblázat: A neutronszondás és I szenzor által mért értékek korrelációs koeficiens értékei

A hibák eltávolítása után korrigált korrelációs koeficiensok a 0,85 és 0,94-es tartományban mozognak, ami szintén nagyon szoros összefüggésre utal.

A három mérési módszer összehasonlítása mutatja, hogy a hidromolekuláris polarizációs mérési módszer megfelel a pontossági követelményeknek. A mérő műszer azon tulajdonságai, hogy az eredmények a memória egységben tárolhatóak egész éven át, és nem igényel minden mérésnél külön szállítást sem mérő személyzetet, és a mért eredmények átvihetők a számítógépes feldolgozások. A mérések időpontja tetszés szerint előre meghatározható, rádióhullámok segítségével bárhova eljuttatható, a két másik módszer elé helyezi és a mai kor technikai követelményeivel szemben megfelelőnek ítéli. A mérési módszer alkalmas számítógéppel való összekötésre, és egy talajnedvesség szabályozó program részeként képes irányítani az egész komplexumot a kívánt értékek irányába.

A hidromolekuláris polarizációs mérési módszer (I-szenzor) hátrányai közé tartozik, hogy az egyszeri befektetés igen magas. Szükséges a szántóföldi vízkapacitás meghatározása, ami többletmunkát igényel. A mérőműszert a helyszínen kell hagyni, ami egy bizonyos rizikót von maga után, hiszen azt eltulajdoníthatják, megrongálhatják. Külön csőrendszer talajba helyezése szükséges, amit védeni kell a talajművelés és betakarítás ideje alatt használt gépek által okozott rongálásoktól.

6. A csallóközi és szigetközi mérőpontok vízháztartásának talajnedvesség forgalmának és szezonális dinamikájának összehasonlítása

6.1 Gyökérzet

Mind a két ártéri mérőpontban elvégzett talajvíz háztartás összehasonlításából jól látható, hogy a talajvíz felvétel, és felhasználás a növényzet számára, függ a gyökérszétől. A növények élet feltételeinek fontos meghatározója a nedvesség és a tápanyagok felvétele a talajból, ezek feldolgozása a fotoszintézisen keresztül, valamint a széndioxid – CO_2 , és az oxigén – O_2 felvétele és leadása a fotoszintézis ideje alatt.

Ezek a transzport folyamatok csak megközelítő jelleggel írhatóak le. Ez egyrészt azzal magyarázható, hogy az élő növényvilág nagyon sokrétű, bonyolult felépítésű, sokféle hajtópotenciál létezik, és ezeknek az áramlásoknak és ellenállásoknak a mérése igen bonyolult. Sokszor még technikailag megoldatlan és az ilyen irányú kutatások csak az utóbbi évtizedekben kerültek a világ technikailag legfejlettebb és leggazdagabb országaiban előtérbe. A növények méretei is több nagyságrendben eltérnek egymástól. A mikroszkopikus méretektől a 130 méteres magasságig. Tehát az egyes kérdések tárgyalásánál ettől függően kell a statikus nyomás magasságot figyelembe venni, vagy elhanyagolni. Ezt figyelembe véve a szállítási feladatokat három szintben tárgyaljuk.

- Sejten belüli szállítás (sejt falon elhelyezkedő membrán)
- Közepes távú szállítás (sejtek közti szállítás)
- Nagy távolságú szállítás (a fa részben – xilem és a hancs részben – phloen történő szállítás)

E három szint természetesen kölcsönhatással van egymásra, és szorosan összefügg.

A víz potenciál összetevői:

- turgor nyomás
- ozmózis nyomás
- magasság különbség okozta nyomás
- mátrix potenciál (anyagszerkezetéhez kötődő kapilláris és adszorpciós nyomás összege).

Az ozmózis nyomás létrejöttének a legfontosabb követelménye a növények turgor nyomása. A tápanyagok és a fotoszintézis által előállított anyagok szállításával a növényekben a xilem és a phloem szállító rendszer foglalkozik.

A sejtmedvek vizes környezetben a membránon keresztül vizet vesznek fel. A belső nyomás növekszik, de a sejtmedv hígítása lassítja az ozmózist. A víz potenciál nő (negatívról a 0 felé tart) a turgor nyomás ekkor a legmagasabb. Ha a sejt nagy koncentrációjú (0,3 – 0,4 mol) oldatban van, akkor a sejtanyag vizet veszít, csökken a turgor nyomás. A phloem szállító rendszerben szintén hidraulikus nyomás alakul ki. A fotoszintézis alatt keletkező anyagok (kloroplaszt sejtekben) a levél ereiben, majd a hancs szállító elemeibe kerülnek, ezek a rosta cső sejtek biztosítják a nagy távolságra való szállítást, raktározást, vagy a felhasználás helyére való juttatást. A rosta cső sejtekben hiányzik a belső membrán, de a külső a cytoplazma meg van, tehát az ozmózis itt is létre jöhet. Az áramlást a gravitációs erő is fenn tartja, mert lefelé történik. Az áramlás sebessége a phloem rendszerben 50-100 cm/óra. A phloem és a xilem egyensúlyban van éjszaka, mert az áramlás minimális. Xilem ozmózis potenciál 0,5 – 1,0 bar között ingadozik. Tölgyfa 0,4 – 0,6 bar. A xilem szállító rendszer a vizet és a tápanyagokat ionok formájában szállítja a fotoszintézis színhelyére (levelekbe). E szállítás hajtó potenciálja a negatív nyomás (tenzió). A talaj tenzióval tartja a vizet, és ezért csak akkor vehető fel a növény számára, ha ez a tenzió a növény gyökerénél a nagyobb. E nyomás forrása a levegő vízpotenciálja, amely még 95 százalékos relatív páratartalom esetében is – 69 bar, ami bőven elég a ható potenciálhoz a legnagyobb fák esetében is.

Praktikus szempontból szemlélve a víz csak 9, 75 méter mélységről emelhető fel, és ha a nyomás 0, 023 bar-ra csökken, a víz már 20 °C forrni kezd és így a nyomás tovább sem csökken. Ennek az oka az, hogy a víz mindig tartalmaz kis buborékokat, és ez csökkenti a víz húzó szilárdságát. A xilemben, vagy a gyökéren felvett víz nem tartalmaz levegő buborékot, és így nincs szabad felszín, víz nem tud párologni. A kapilláris csövekben adhéziós erők hozzájárulásával a víz 100-200 bar húzó szilárdsággal rendelkezik.

A nagy negatív nyomás már károsítaná a növényt (sejtroppanás), akkor működésbe lép a növény védekező mechanizmusa, vagyis a nyomás kiszívja a levelek pórusaiból (0, 05 – 0, 1µm) a vizet, és levegő jut a rendszerbe, mely megszünteti a negatív nyomást (kavitáció). A száraz talaj tenziója – 15 bar (pF 4, 2) a száradás pont (WP) közelébe süllyed. A 0, 1 µ m átmérőjű pórusban a kapillaritás 30 bar, és ha a szívás ennél nagyobb, akkor elsárgul a növény felső része (fenyők). (SITTKEI 1997) Ezen adatok szemléltetésére táblázatok az irodalomból empirikusan megállapított egy pár ismert adat.

Növény	$K_f \text{ cm}^2/\text{h. bar}$	$K_L \text{ cm}^2/\text{h. bar}$
Bab	$2 \cdot 10^{-4}$	Nincs adat
Napraforgó	$2, 6 \cdot 10^{-4}$	Nincs adat
Kukorica	$3 - 5 \cdot 10^{-4}$	$0, 9 - 1 - 5 \cdot 10^{-4}$
Paradicsom	$10 - 15 \cdot 10^{-4}$	Nincs adat
Membrán edényes növényeknél	$2 - 50 \cdot 10^{-4}$	Nincs adat
sejtfal	Nincs adat	$1, 8 - 18 \cdot 10^{-4}$

21. táblázat: Empirikusan megállapított száradáspontok.

Tehát ha összegezzük a vízfelvételt a talajból a gyökérzetten keresztül ez nagyon bonyolult folyamat, sok tényező befolyásolja, a talaj – növény és atmoszféra részéről (TNA). Ezek a tényezők változnak a növény ontogenezise (egyedi fejlődése) folyamán. Azon kutatók, akik ezzel a témával foglalkoznak (Weatherlay,

Taylor, Klepper 1975, Kohl, Kolár 1976, Novák 1980-2003) megegyeznek abban, hogy a legnagyobb ellenállás a talaj és a gyökér határán van. Ez csak többszörösen megállapított hipotézis, mert konkrét méréssel nincs alátámasztva. Ez csak a száraz talaj esetében nem érvényes, mert itt a hidraulikus vezetés a meghatározó tényező (Tinker 1976, Passioura 1981, és Kozinka 1984), az oldott sók és vegyszerek különböző koncentrációjának a hirtelen növekedésével a gyökér és a talaj érintkezési határán. A gyökér és a talaj is ezen a területen összezsugorodik, megszakad a kontaktus, ezzel a feszültség (nyomás) átvitel is. Például Cole, Alston 1974 bebizonyította, hogy a -0,2 MPa-ról a -1 MPa-ra való változáskor a gyökér az átmérőjét 50 %-al csökkentette. A gyökér kérgesedése és leválása vízszigetelő réteget alkot.

A hajszál gyökök az egész gyökérzetnek csak kb. 5%-át képezik, de a vízfelvételnél 25 %-ot képesek ellátni (Coldwell 1976). Mivel a hajszálgyökök átmérője 0,1 – 0,25 mm és a hosszuk 0,7-0,8 mm között mozog, élettartalmuk napokban van meghatározva (Budagovskij 1981). A tápanyagok nagyobb részének a felvétele az idősebb gyökérzetten keresztül történik az 1 éves növényeknél (Kramer 1969). Ezért ha talajvíz háztartás mérlegét készítünk, egyszerűsítő feltételeket kell elfogadni:

- a) az egész gyökérzet hidraulikus tulajdonságai azonosak
- b) a vízfelvétel a gyökérzet felszínével egyenes arányban van.

6.1.1 A gyökérzóna mélysége

A fejlődése során változik, és pedig standardkörülmények közt fokozatosan növekszik. Nagyjából elérheti a 180 cm-es mélységet, és a 120 cm-es szélességet.

Ahogy Glinski és Lipec (1990) állítja, a növény fejlődése tetőpontján naponta képes 14000 új gyökérrel bővíteni a meglevőt, és a domináns (fő) gyökök 8 cm-es növekedést mutatnak. Ez természetesen függ a növényfajtától és a talaj tulajdonságaitól is. Például a fűfélék naponta 12 cm-es, a boróka 0,25 cm-es, a kukorica 6 cm-es sebességet is elérhet.

A gyökerek élettartalma is különböző. A fő gyökerek élettartalma egyenlő a növényével, az oldalgyökerek néhány hétig, a hajszálgyökerek néhány napig élnek.

6.1.2 A gyökerek térbeli elhelyezkedése

A fejlődés első fázisában a gyökerek a talajt nem hálózzák be egyenletesen, de mivel a gyökerek mindig a nagyobb nedvesség, a növény tengelye irányában növekednek, először a közeli részek nedvességtartalma csökken. A hidrológiai intézet kutatásai [Novák 1980-2002] által szerzett tapasztalatok eredményeként a kukoricánál már 2 hónap után nem találunk nedvesebb részeket, sem a növény közelében, sem távolabb. Ez azt mutatja, hogy a sűrűn vetett növények közt ez a homogenitás hamar kialakul. Ez természetesen nem érvényes az öntözésnél, és ha a talajrétegek fizikai tulajdonságaik számottevően változnak, pl. dőngölt talaj, vízszigetelő réteg, stb.

6.1.3 A gyökerek vertikális eloszlása.

Több szerző megállapította (Gerwitz, Age 1974), hogy a vertikális elosztás 101 kísérletből 71-ben exponenciális, vagyis exponenciálisan csökken a mélységtől függően. Ez főleg a kultúrnövényeknél érvényes. Erre a megállapításra jutott egymástól függetlenül Bauer 1975, Al Knafat 1977, Gregory 1978, Santa, Zápotocny 1983. Ez nem érvényes olyan talajokon, ahol a talajvíz szint magas, vagy egy szilárd réteggel van elválasztva, és ez mechanikusan akadályozza a gyökérrendszer kialakulását. A megfigyelések alapján megállapítható, hogy a gyökerek optimális fejlődéséhez szükséges, hogy a talajban egy bizonyos mennyiségű levegő legyen. A kultúrnövények gyökérzete nem képes hosszabb ideig elárasztott talajban fejlődni, vagy egyáltalán életben maradni. Ez az idő különböző fajonként, és 2-6 nap közt mozog. Tovey 1964-ben bebizonyította, hogy a lucerna 4 napi elárasztás után kezdte redukálni a gyökérzetét és ez 11 napi elárasztás után megszűnt működni. Kuchenbuch és Barber 1988 megállapította, hogy a kukorica gyökérzetének a hossza a 0-15-cm-es rétegben egyenesen arányos a vegetációs

időszak alatt lehullott csapadék mennyiségével. Bajtulin (1987) tanulmányozta a cukorrépa gyökereinek a súlyát és hosszúságát 50, 60, 70 %-os szántóföldi vízkapacitásnál. Kiderült, hogy minél nagyobb a talajnedvesség, annál fejlettebb a gyökérzet. A mélység viszont nem különbözik, és exponenciális eloszlást mutat.

Fontos tényező a növények alkalmazkodó képessége, mégpedig úgy, hogy azon növények, melyek ideális körülmények közt fejlődnek a vegetációs időszak elején, a száraz időszakban kondicionálisan gyengébbek, mint azok, amelyek relatív elégtelen körülmények közt kezdtek fejlődni. A nedvesség fokozatos csökkenésével a gyökér zóna az egy éves növényeknél egyre mélyebbre hatol a talajban a nedvesség után. Ha a nedvesség a száradás pontig csökken (WP), a növény felső résszel egy időben megszűnik a gyökér növekedése.

A talaj mechanikus tulajdonságai is hatnak a gyökér zóna kialakulására. A szántóföldön kialakult szántási mélység alatti tömődött talaj réteg hatására általában a nem száraz vegetációs időszakban a gyökérzet 80 %-a a művelt rétegben alakul ki, viszont a kísérletekben megállapították, hogy a -0,77 MPa nedvességpotenciál már befolyásolja a gyökerek fejlődését. A talaj tömegsúlya mindig befolyásolja a gyökerek növekedését, és a gyökér zóna kialakulását. A tömődöttség a gyökerek fejlődését, és növekedését csak 0,75 MPa nagyságú ellenállás fölötti értékek kezdik befolyásolni, ez alatt a gyökerek több mint 80 %-a nő át a rétegbe. A 3,3 MPa-nál nagyobb ellenállású talajban már csak a gyökerek 20 %-a alatti része volt képes behatolni (a nedvesség fok nem befolyásolja). Tehát a mechanikus ellenállás egyenes arányban van a gyökérzet csökkenésével. A talaj hőmérséklete egyenes arányban van a gyökérzet mélységével, a víz, és a tápanyag felvétel intenzitásával. Negatívan hat a gyökérzetre a tápfolyadék hirtelen lehűlése, például a 25°C-ról 5 °C-ra való lehűlés tartósan károsította a paradicsom, napraforgó és a bab ültetvényeket (Danielson 1967).

A gyökérzet által felvett víz mennyiségének a megállapításával több kutató foglalkozott intenzíven, Rosse, Stern 1967, Stekauerová, Novák, Sutor 1980-2003, vagy még a mai napig is folytatja a kutatásait.

A probléma megoldásához két összetevő szükséges:

A) az ismert differenciál egyenletek, és a hozzá tartozó képletek

B) szabadföldi mérések eredményeinek a feldolgozása ezen ismeretek segítségével.

A gyökér által felvett víz (talajnedvesség) $S(z_t)$ kiszámítása az elementáris réteg d_z elementáris idő alatt d_t a következő

θ – térfogat nedvesség

V_v – a víz vertikális mozgás sebessége $m \cdot s^{-1}$

A megoldás: $Sz_t = V_s / \delta z \cdot \delta t$

A gyökerek által elvont víz intenzitása.

Ezen ismeretek alapján mért és megállapított értéket publikálta az intézet (Novák 1986).

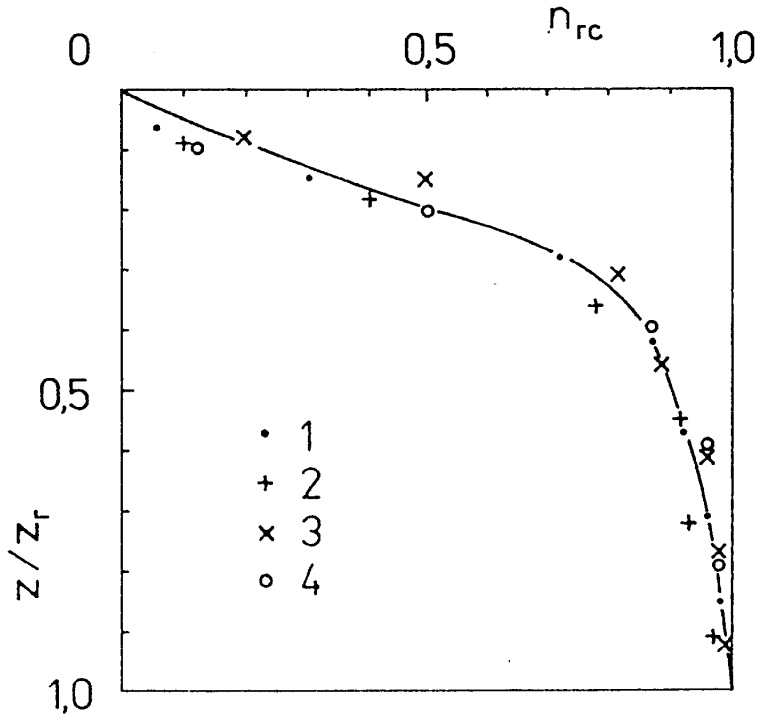
A gyökérzet által felvett talajnedvesség intenzitásának a megállapításához szükséges volt szabadföldi mérésekkel megállapítani:

- a nedvesség eloszlását a talajszeletben 5-21 napos intervallumokban (legalább két egymást követő mérési időszak csapadék nélkül)

- a nedvesség potenciál eloszlását ugyanazon időszakra, mint a nedvesség elosztást.

- a hidraulikus vezetés és a nedvességpotenciál, a nedvesség potenciál valamint a talajnedvesség közti összefüggéseket.

Ezen adatok alapján grafikus kiértékelés keletkezett, mely a következő ábrán látható.

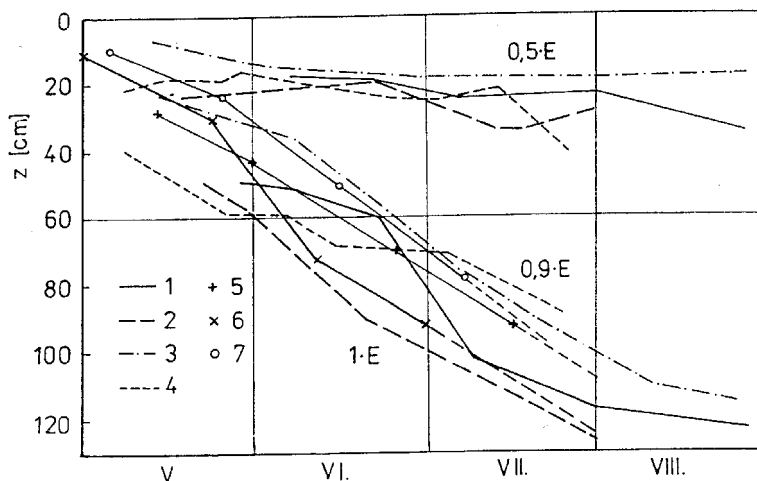


27. ábra: A vegetációs időszak alatt felvett víz mennyisége a gyökérmélység függvényében.

1: Cukorrépa, 2: Búza, 3: Kukorica, 4: Árpa

A kép jól mutatja, hogy a felső művelt rétegből (0-25 cm) a gyökerek az öszsvíz 60 %-át és a 60 cm-től mélyebbi rétegekből csak a 10 %-át veszik fel a vegetációs időszakban.

A következő ábrán pedig azok a rétegek vannak ábrázolva melyekből a növények a szükségletük 50 %-át vették fel a vegetációs időszak tartalma alatt.



28. ábra: Durant 1973 - Dél Anglia - félnehéz talaj. A növény által elpárologtatott vízfelvétel a talaj rétegeiből 50 és 100 %-os mennyiségben.

1,7: Cukorrépa, 2: Búza, 3: Kukorica, 4: Árpa, 5: Burgonya, 6: Lucerna

Az E 1,0 a maximális gyökérmélység az egyes növényeknél. Az adatok egy része burgonya (5), lucerna(6), cukorrépa(7).

Az első adatok 20 nappal a vetés után vannak, jól látni a gyökérszóna mélyülését, mely június végéig lineáris. A kapás növények, mint a kukorica, cukorrépa, burgonya a későbbi fejlődési fázisban már nem mélyítik a gyökérzetüket.

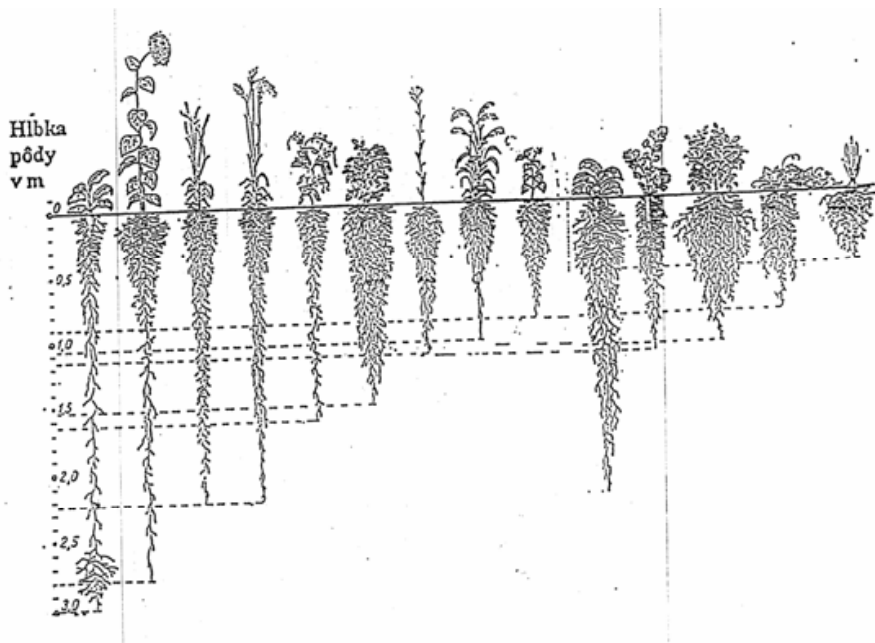
A tavaszi árpa a vízszükséglet 90 %-át a 0-40 cm-es rétegből nyeri. Viszont a cukorrépának ehhez a mennyiséghez (90%) 70 cm-es talajrétegre van szüksége, mivel a cukorrépa vegetációs időszaka hosszabb, mint a tavaszi árpáé, és ekkorra már a talaj felső rétegeiben csökken a víz mennyisége. Ezen adatok alapul szolgálnak a talajvíz dinamika feldolgozásához.

A bratislavai Talajtani és Hidromeliorációs Intézet által mért adatokat a következő táblázatok mutatják, melyekből jól látható a minimális és maximális gyökérmélység. (Ing. dr. Vrbensky)

Termény	Min.-Max. gyökérmélység (cm)	Termény	Min.-Max. gyökérmélység (cm)
Lucerna	200-1000	Cukorrépa	Karógyökere 250 cm-ig
Bükköny	200-1000	Burgonya	Normálisan 40-45 cm hüvelyesek után 120 cm-ig
Sárgalóbab	60-232	Rozs	Normálisan 40 cm hüvelyesek után 90-100 cm-ig
Lóhere	102-200	Bükköny	30-90
Csillagfűrt	110-195	Lednek	66-84
Kéklóbab	66-128	Szöszös bükköny	30-50
Borsó	80-126	Takarmányborsó	30-40
Kalászosok	30-35-100	Komlós lucerna	10-35
Zab	88% 58 cm-ig	Bíborhere	17,5
Búza	A főgyökérzet 25 cm-ig		

22. táblázat: Minimális és maximális gyökérmélység mezőgazdasági termények számára (Bratislava Talajtani és Hidromeliorációs Intézet)

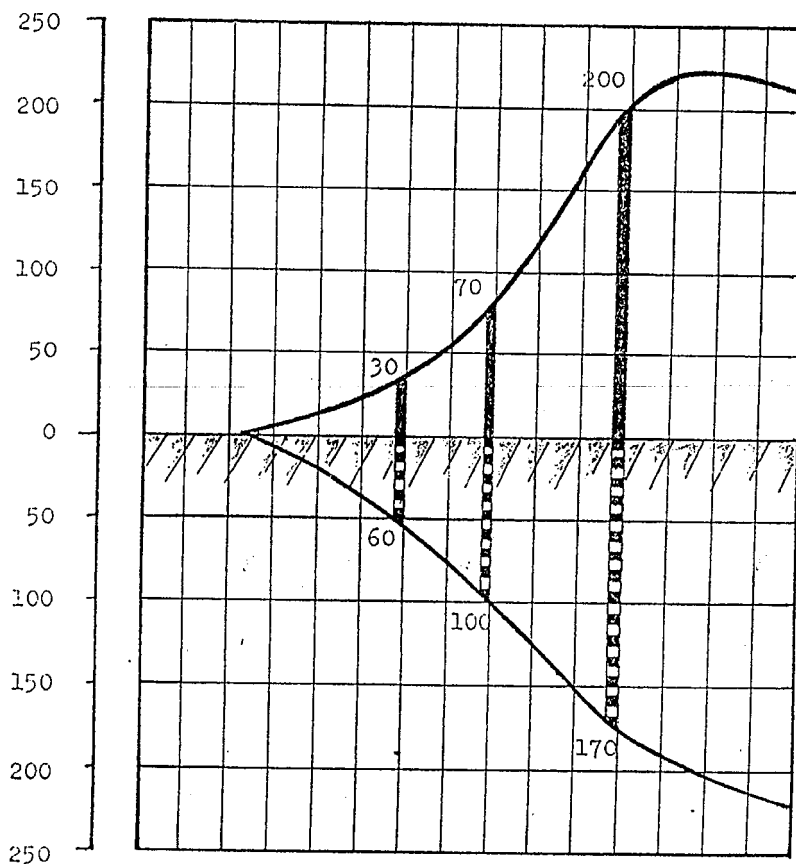
A következő képen 14-féle haszonnövény gyökérszámát látható a maximális gyökérmélység szempontjából.



29. ábra: 14-féle haszonnövény gyökérzónája a maximális gyökérmélység szempontjából [m]

1-Cukorrépa, 2-Napraforgó, 3-Búza, 4-Rózsa, 5-Borsó, 6-Burgonya, 7-Len, 8-Proso, 9-Bab, 10-Cékla, 11-Sárgarépa, 12-Paradicsom, 13-Uborka, 14-Hagyma

A következő ábra a kukorica gyökérzetének a növekedésdinamikáját ábrázolja, a talaj fölötti rész magasságának függvényeként.



Dekáda	I.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	II.	III.
Mesiac	apríl			máj			jún			júl			august		

30. ábra: kukorica gyökérzetének növekedésdinamikája dekádokra osztva

A következő táblázatok és megállapítások a Nyugat-Magyarországi Egyetem Agrárműszaki-, Élelmiszeripari és Környezettechnikai Intézetének, valamint a Szigetköz Kutatási Központ (Mosonmagyaróvár) Palkovits Gusztáv osztályvezető, intézeti főmunkatárs, egyetemi főtanácsos megállapított adatai.

Növény	Vízfogyasztás hónap (mm)							Összfogyasztás	Legnagyobb dekád
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX		
Őszi kalászos	10	33	66	93	-	-	-	202	31.0
Kukorica	-	-	50	88	110	112	59	419	36.3
Napraforgó	-	-	60	93	132	102	-	387	42.6
Burgonya	-	-	60	106	121	102	-	389	39.2
Cukorrépa	-	-	75	108	135	136	72	526	43.8
Lucerna	-	36	91	115	135	113	66	556	43.5

23. táblázat: A főbb mezőgazdasági növényfajok havi átlagos vízigénye

A legintenzívebb ontogenezis (fejlődés) idején a virágzás és terméskötés táján a maximális vízfogyasztás 3,5-5 mm/nap, a kukoricánál júliusban 5-6,4 mm/nap.

Növény	Hónap gyökérszóna mélysége (cm)						
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Őszi búza	30	50	80	100	115	-	-
Őszi árpa	40	50	110	120	120	-	-
Tavaszi árpa	35	50	110	120	120	-	-
Kukorica	-	30	50	80	100	110	115
Napraforgó	-	10	30-70	80-120	140	145	-
Burgonya	0	30	40	50	60	60	-
Cukorrépa	-	20	50	80	100	100	100
Álló lucerna	-	100	100	100	100	100	100
Borsó	15	35	60	90	95	-	-

24. táblázat: A gyökérszóna mélysége az idő során.

A gyökérzet által felvett vízmennyiség eloszlása rétegmélység szerint (%)

Mélység (cm)	Kukorica	Burgonya	Cukorrépa	Álló lucerna
0-30	42	57	62	47
30-60	28	23	19	15
60-90	19	13	12	15
90-120	11	7	7	12
120-180	-	-	-	7
180-270	-	-	-	4

25. táblázat: A gyökér által felvett vízmennyiség a teljes vízfelvétel százalékában.

A gyökérzóna a 60 cm-es mélységig a legaktívabb. Itt ugyanis a vízfelvétel 62-81 %-a történik. Átlagos körülmények közt a szántóföldi növények közül csak a lucerna, lóhere, búkköny, csillagfürt és a lóbab képes vízigényének egy részét 120 cm-nél mélyebbről pótolni, hogy teljesen el ne pusztuljon, de a fejlődés ekkor minimális.

A talajvíz optimális mélysége egyes növények számára különböző talajokban a következő táblázatból látható.

Szántóföldi növények	A talaj fizikai félesége		
	Homok	Vályog	Agyag
Sekély gyökérzetű	50-70	70-110	80-120
Közepes gyökérzetű	60-90	80-120	90-130
Mély gyökérzetű	70-100	80-120	90-140
Gyepek	30-50	50-70	60-90
Ültetvények	150-210	190-260	210-270

26. táblázat: A talajvíz optimális mélysége egyes növények számára különböző talajokban.

Evapotranspirációs mérésekkel kimutatták, hogy a terepszint alatti 50,100,150 cm-es talajvízszintnél a cukorrépa 43,4-2,3%-a a lucernánál 56,8-30,9 %-a származott a talajvízből. A talajvízszint feletti kapilláris zóna elméletileg 1-2 m és több is lehet. Gyakorlatilag maximálisan 1-1,2 m és általában a legtöbb esetben 0,5-0,6 m lehet a növények számára felhasználható kapilláris magasság, mivel az intenzitás csak ilyen magasságra jelentős.

A növények kritikus (legnagyobb) vízfogyasztási időszaka a fejlődés és a termés hozam szempontjából a következő:

Növény	Kritikus időszak	Legnagyobb vízfogyasztási hónap
Őszi kalászos	Máj. 15 - Jún. 15	Máj. 15 - Jún. 15
Tavaszi kalászos	Jún. 1 - Jún. 15	Június
Kukorica	Jún. 25 - Aug. 15	Augusztus
Napraforgó	Jún. 20. - Aug. 10	Júl. 15 – Aug.15
Burgonya	Jún. 20 - Aug. 20	Július
Cukorrépa	Jún. 20 - Aug. 31	Augusztus
Lucerna	Máj. 15 - Aug. 31	Július
Borsó	Máj. 15 - Jún. 15	Május
Szója	Jún. 10 - Júl. 25	Június
Másodvetések	-	Augusztus
Gyep	Máj. 20 - Aug.20	Június

27. táblázat: A növények kritikus (legnagyobb) vízfogyasztási időszaka a fejlődés és a termés hozam szempontjából.

A növény fejlődése szempontjából nem hanyagolható el az sem, ha túl sok a víz a talajban, mert ez károsan hat a fejlődésére. Egy bizonyos optimális víz és levegő arány az összporozítás százalékában kifejezve a legideálisabb fajonként és ezt a következő táblázat mutatja:

Növény	Víz : Levegő
Kukorica	69 : 31
Cukorrépa	80 : 20
Lucerna	80 : 20
Kalászos	74 : 26

28. táblázat: Optimális víz és levegő arány az összporozítás százalékában.

Tehát nem érvényes az a néphiedelem, hogy a kukorica akkor fejlődik a legjobban, ha a feje a tűzben, a lába a vízben van, mert a kukoricának van a legtöbb levegőre szüksége a gyökérzónában.

6.2 A vízháztartás vegetációs időszakbeli összehasonlítása a nagybudaki (Bodíky) és a dunaszigeti mérőpontokon

Mindkét mérőpont az ártéri erdőkben van a Duna jobb és bal oldalán, tehát Szlovákia (Csallóköz) és Magyarország (Szigetköz) területén. A talaj telítetlen rétege a legfontosabb, de egyben a legösszetettebb része is a hidrológiai ciklus alatt való vízmozgás értékelése szempontjából. A talaj alapvető hidrofizikális tulajdonságai közé tartozik a nedvességretenációs görbe és a telítetlen hidraulikus vezetőképesség meghatározása. A preferált utak létezése ezen tulajdonságok meghatározását nagyon befolyásolja, (Stekauerová 1997, 2000, Lichner 1994) mely a matematikai modellezésnél kulcsfontosságú.

A nedvesség tenziós görbék felhasználása a hidrolimitek (hidrológiai határérték) (jellemző pontok a pF görbén) kiszámítására nagyon előnyös. Abban az esetben, ha a talaj nem homogén, hanem függőleges metszetben különböző összetételű rétegekből áll, szükséges a retenciós (tenziós) görbék meghatározása minden réteg számára. Ezek a hidrolimitek (hidrológiai határértékek) a talaj egy bizonyos meghatározott nedvesség tartalmai, melyeket bizonyos körülmények határoznak meg. Legtöbb esetben nem lehet őket fizikai tulajdonságaikkal meghatározni (nem lehet őket az áramlás dinamikus folyamatával meghatározni). Előnyös a talajnedvesség által meghatározott vízmennyiség mérlegelésével használni, pl. a növény számára felhasználható vízmennyiség meghatározására.

A szántóföldi vízkapacitás (FC Field Capacity) olyan hidrológiai határérték, mely a talajnedvesség egy olyan fokát határozza meg, amikor a talajban lévő víz olyan mennyiségben van jelen, amit a talaj gravitációsan még meg tud tartani. A pF görbén $p_{FPVK} \in (2.0; 2.9)$ potenciál által használt tartományba tartozik. A nehezen felvehető víz p_{FBZD} (PDA Point of Decreased Availability) egy olyan hidrolimit

(hidrológiai határérték), amikor a víz mozgása a talajban erősen korlátozott és a növények számára már nehezen hozzáférhető (a növény a levelei által felvett napfény energia részét nem a növekedésre hanem a vízfelvételre használja fel). A pF görbén a pFBZD e (3.1;3.5) tartományban van meghatározva. Hervadás pont pFBV (wilting point), a talajnedvesség olyan fokát határozza meg, amikor a növény elégtelenül van vízzel ellátva, illetve nem képes elég vizet felvenni, a párolgás nagyobb, mint a felvett víz mennyisége. Ennek következtében a növények hervadnak, fonnyadnak és elpusztulnak. A pFBV = 4.18 (wilting point) görbén ezzel az értékkel van a pFBV meghatározva.

E hidrolimitek (hidrológiai határértékek) segítségével meg lehet határozni, hogy a talaj egy bizonyos rétegében lévő vízmennyiség elegendő e az ott termesztett növényzet számára, vagy mennyi a belőle felhasználható víz, és meddig lesz utánpótlás csapadék nélkül stb.. E munka célja is az, hogy a nedvesség mérésekből (monitoring) kiszámítsa az egyes rétegekben lévő integrált víztartalmat és megállapítsa, hogy a 2002-es évben a nagybodaki és a dunaszigeti körzetben mennyi volt az ártéri erdők vízszükséglete valamint hogy ez milyen mértékben volt kielégítve.

A nagybodaki ártéri erdők jellemző talaja az agyagos homokos erdei talaj, ami az egész alluviális síkságon megtalálható. Jellegzetes fafaj a Kanadai nyár, melyet a fafeldolgozó ipar hasznosít. A talajvízszint jellemzően 210-310 cm közt mozog. Az ártér extrém árvíz esetén kb. 2 méteres vízszlappal van elárasztva. A 2002-es évben ez a terület kétszer volt elárasztva művileg vagy természetesen. A művi árasztás Dobrohostnál (Daborgaz) a fő holtágon keresztül beeresztett víz mennyiségével határozható meg. Ez elméletileg 0-180 m³/s lehet. Eddig a legnagyobb felhasznált vízmennyiség 139 m³/s volt. A hatás növelhető, ha a mederben lévő keresztgátakat lezárjuk. Ezzel tetszés szerint 1-1,5 m vízszintemelkedést tudunk kiváltani. Ha mindkét módot egyszerre használjuk, elérjük, hogy a holtágban lévő víz kiömlik az ártérre és helyenként feltölti a száraz, mélyebben fekvő részeket és a volt holtágakat, melyek máskülönben szárazak maradnának.

A nagybodaki talajszelvény rétegeit a következő táblázat mutatja:

0-55 cm	homokos agyag
55 – 151 cm	finom löszös homok
151 – 205 cm	homokos kavics
205 – 215 cm	homok
215 – 245 cm	homokos kavics
240 – 265 cm	homok
265 – 630 cm	kavics homokkal keverve
580 – 590 cm	homok

29. táblázat: Talajszelvény leírás Nagybodak (Bodíky) .

A dunaszigeti ártéri erdők jellemző talaja az agyagos homokos erdei talaj, ami az egész alluviális síkságon megtalálható. Jellemzőes fafaj a Kanadai nyár, melyet a fafeldolgozó ipar hasznosít. A talajvízszint jellemzően 267-310 cm közt mozog. Az ártér extrém árvíz esetén kb. 2 méteres vízoszloppal van elárasztva.

A dunaszigeti talajszelvény rétegeit a következő táblázat mutatja:

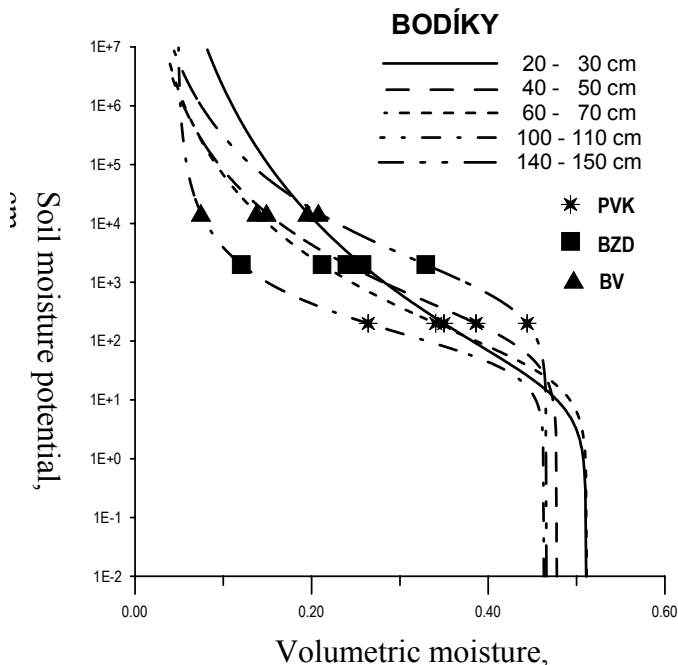
0 -30 cm	lössös barnás szürke agyag
30 – 60 cm	szürke homokos agyag
60 – 190 cm	agyagos homok rozsdás foltokkal
19 – 280 cm	finom homok rozsdás foltokkal
280 – 345 cm	durva homok homokos kavicsal keverve
345 – 400 cm	homokos kavics

30. táblázat: Talajszelvény leírás Dunasziget

A 2002-es évben a két kijelölt pontban Bodíky (Nagyabodak) és Dunaszigeten neutronszondás módszerrel történt a talajnedvesség mérése. A talajvízszint változásának nyomon követése közvetlen a mérőpont közelében lévő kútban történik. Mindkét mérési pont ártéri – erdei ökorendszerhez tartozik.

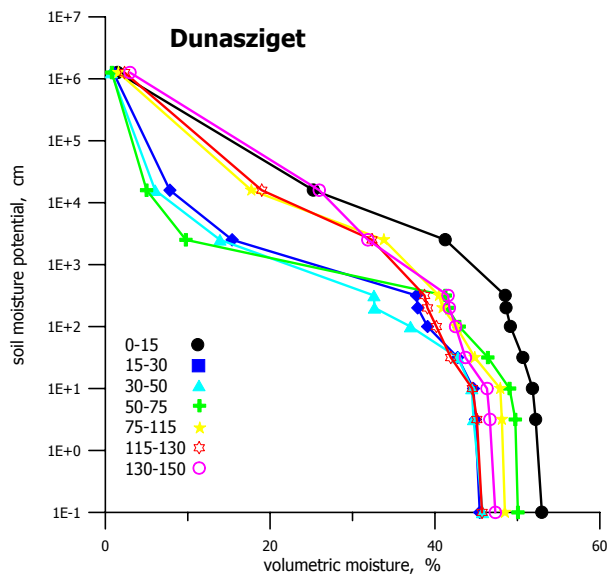
A retenciós görbe leszálló ága (nedvesség csökkentési) Bodíky (Nagyabodakon) a Szlovák Tudományos Akadémia Hidrológiai Intézetének Talajtani (Pedológiai) Laboratóriuma által vett bolygatatlan mintákon az Egyesült Államok-béli Santa Barbarai Soil Moisture Equipment márkájú túlnyomásos fazekakban lettek megállapítva. A hidrolimitek (hidrológiai határértékek) Van Genuchten (1980) egyenletei alapján a következő megközelítő értékekre lettek meghatározva: $pF_{PVK} = 2.3$, $pF_{BZD} = 3.3$ a $pF_{BV} = 4.18$.

A nagybodaki mérési pont retenciós görbéjének leszálló ágait a következő ábra mutatja. A görbe leszálló ágai az egyes rétegek számára a Szlovák Tudományos Akadémián mért értékek alapján lettek meghatározva Van Genuchten módszerével.

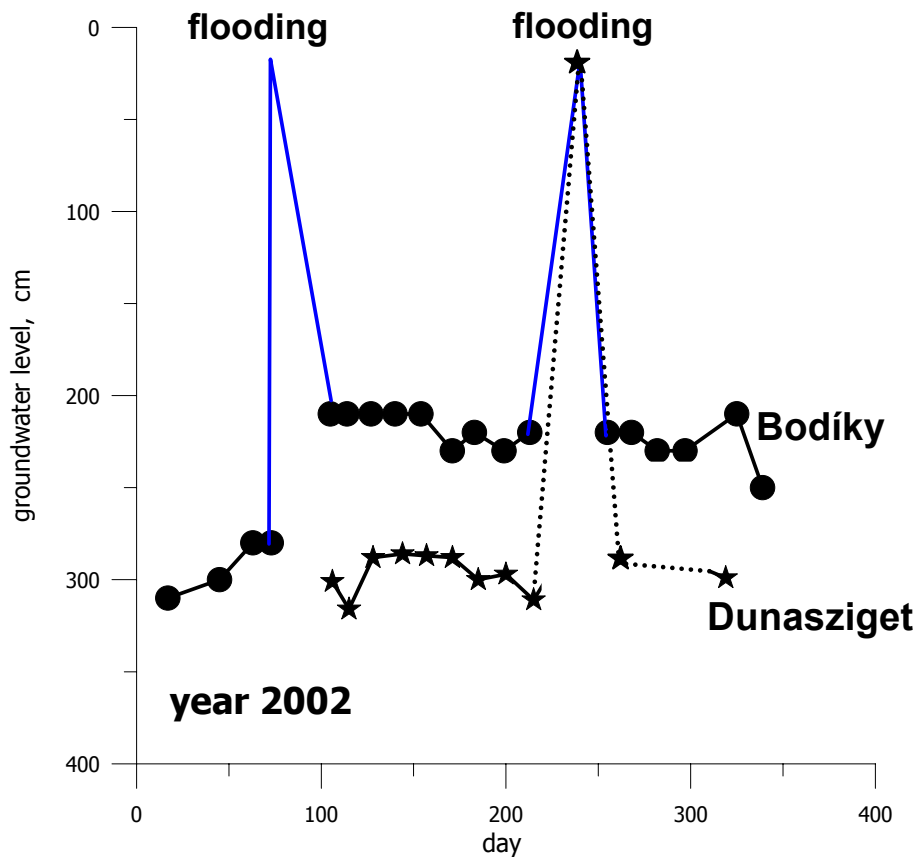


31. ábra: A leszálló ágak a nagybodaki mérési pont számára le mérve és Van Genuchten féle módszerrel közelítve

A dunaszigeti retenciós görbe leszálló ágai a Palkovits Gusztáv osztályvezető (Nyugat-Magyarországi Egyetem, Szigetközi Kutatási Központ, Mosonmagyaróvár) által átadott adatok alapján lettek a Van Genuchten módszerrel meghatározva.

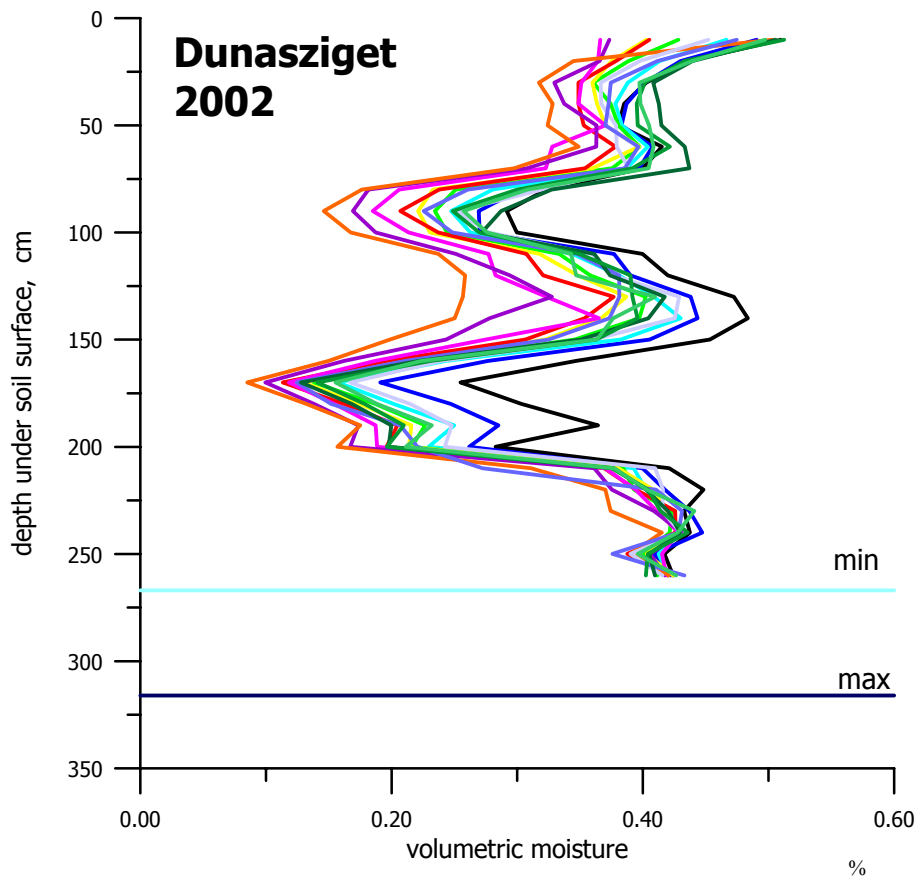


32. ábra: A Dunaszigeti mérési hely retenciós görbe ágai.

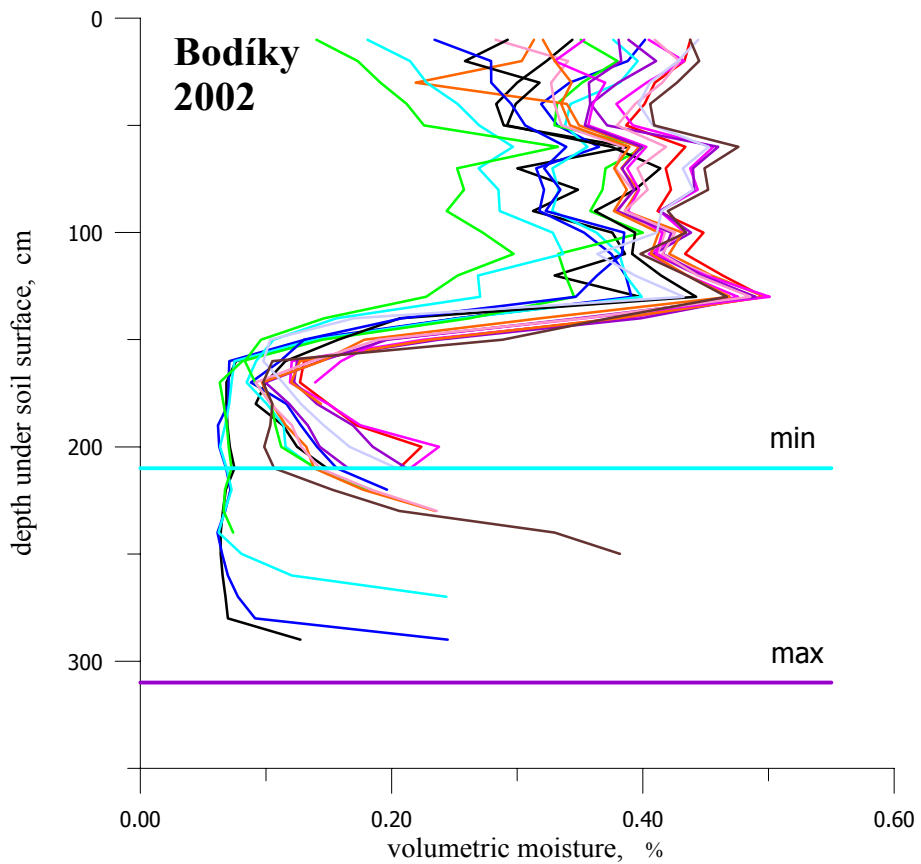


33. ábra.: A talajvízszint mozgása a Bodíky (Nagybodak) és Dunaszigeti mérőpontokban a 2002-es évben.

A talajvízszint Nagybodakon a 210-310 cm-es szintek között mozgott, míg Dunaszigeten 267-316 cm szintek között ingadozott. Az ábrán jól látható, hogy a Nagybodaki pont kétszer volt elárasztva. A Dunaszigeti pont mérési adatainak gyűjtése csak az első árvíz levonulása után kezdődött. Azt tudjuk azonban, hogy mindkét elárasztásra reagált. Ez azért volt lehetséges, mert a természetes árvíznek köszönhetően az Öreg-mederben is volt elárasztás. Az ábrán az is megfigyelhető, hogy a talajvízszint mindkét alkalommal 1,5 métert meghaladó mértékben emelkedett.

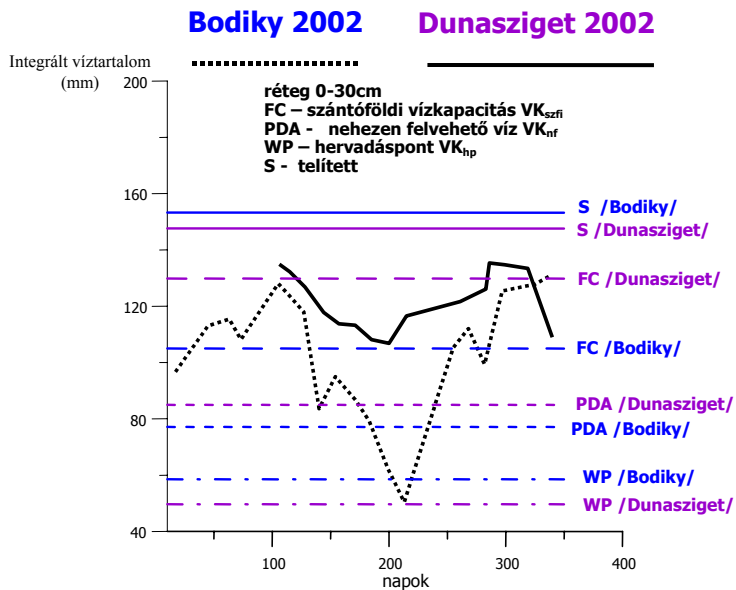


34.ábra: A talajnedvesség potenciál alakulásának grafikus kiértékelése a neutronszondás mérések alapján Dunaszigeten a 2002-es évben.

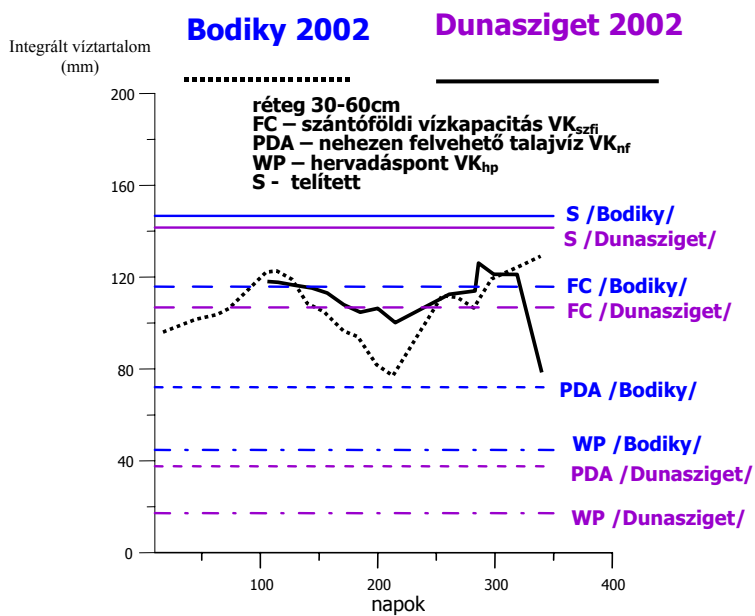


35. ábra: A talajnedvesség potenciál alakulásának grafikus kiértékelése a neutronsondás mérések alapján Bodíky (Nagybodak) mérőponton a 2002-es évben.

A kiértékelésből jól látható, hogy a mérőleges profilban a rétegződést mindkét esetben mutatják a grafikonon lévő törések.



36. ábra: Talajvíz összegzése a 0 -30 cm mélységű talajrétegre mindkét mérési helyet összehasonlítva a vegetációs időszak alatt történt változások szempontjából. Az ábrán a 3 hidrolimit (hidrológiai határérték) (szántóföldi vízkapacitás, nehezen felvehető víz, és a hervadásponthoz) látható.

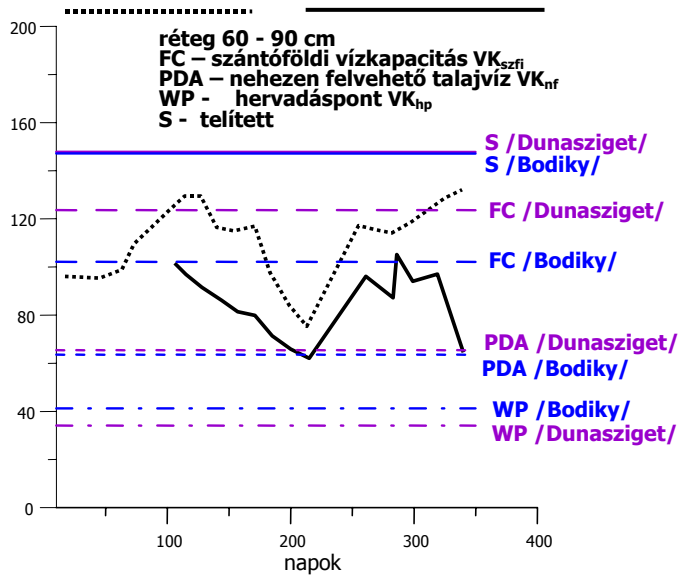


37. ábra: Talajvíz összegzése a 30 - 60 cm mélységű talajrétegre mindkét mérési pontot összehasonlítva a vegetációs időszak alatt észlelt változások szempontjából. Az ábrán a 3 hidrolimit (hidrológiai határérték) (szántóföldi vízkapacitás, nehezen felvehető víz, és a hervadáspont) látható.

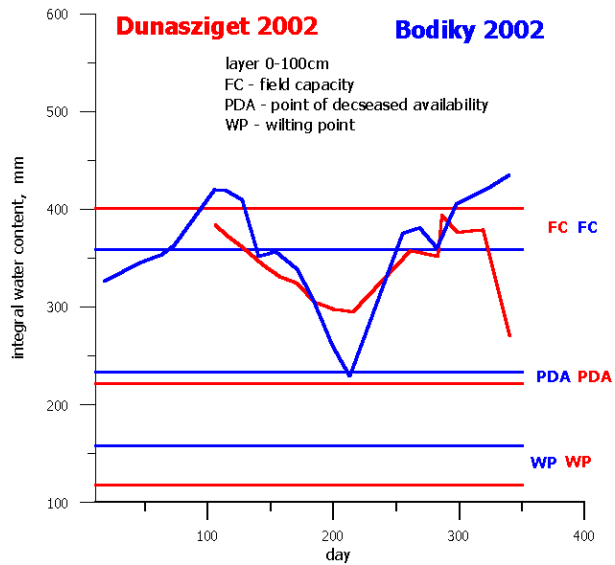
Integrált víztartalom
(mm)

Bodiky 2002

Dunasziget 2002



38. ábra. Talajvíz összegzése a 60 - 90 cm mélységű talajrétegre mindkét mérési pontot összehasonlítva a vegetációs időszak alatt észlelt változások szempontjából. Az ábrán a 3 hidrolimit (hidrológiai határérték) (szántóföldi vízkapacitás, nehezen felvehető víz, és a hervadásponthoz) látható.



39. ábra. Talajvíz összegzése a 0 - 100 cm-s mélységű talajrétegre mindkét mérési pontot összehasonlítva a vegetációs időszak alatt észlelt változások szempontjából. Az ábrán a 3 hidrolimit (hidrológiai határérték) (szántóföldi vízkapacitás, nehezen felvehető víz, és a hervadáspon) látható.

Az előző ábrákon látható a talajvíz összegzett mennyisége az egyes tartományokban, melyek mindkét mérőponton a 0-30, 30-60 és 60-90 cm-es sávokban vannak ábrázolva és összehasonlítva. Az ábrákon fel vannak tüntetve a hidrológiai határértékek (hidrolimitek) és az összegzett vízmennyiségek. Ezek az értékek lettek összehasonlítva vagy az egész évre vagy a vegetációs időszakra. Ez attól függ, hogy mit akarunk követni. Az egész évben jól látható a merőleges profil nedvességtartalmának rétegenkénti fokozatos feltöltődése a késő őszi, téli és kora tavaszi időszakban. Ez fordítva érvényes a vegetációs időszakra – vagyis a feltöltődés az alapja a következő évi vízháztartásnak.

Ezen kívül e négy ábrán jól látható, hogy a talajnedvesség a 0-30 cm-es rétegben jóval magasabb Dunaszigeten, mint Nagybodakon, a 30-60 cm-es rétegben közelednek az értékek, és a 60-90 cm-es rétegben a nagybodaki magasabb, mint a dunaszigeti. Ennek egyik elfogadható magyarázata az, hogy a nagybodakinak a nyári művi árasztás alatt van módja feltöltődni kapillárisan a megemelkedett talajvízszintből, vagypedig egy tömődött réteg által feltartott talajnedvesség változtatja meg a réteg vízháztartását.

Ezek a megfigyelések azt mutatják, hogy a mért értékek alapján levonható következtetések felhasználhatók mind az erdei ökoszisztéma védelmére, mind pedig a mezőgazdasági termelés növelésére. A probléma csak az, hogy a mai magas árak és alacsony támogatás mellett hiányzik a mérések anyagi fedezete.

6.3 A vízháztartás vegetációs időszakbeli összehasonlítása a Bač (Bácsfa) és a halászi mérőpontokon.

A talajvíz (talajnedvesség) növények által való felhasználhatóságának az összehasonlítását a nagybodaki és dunaszigeti ártéri erdei pontok után folytatjuk a bácsfai és a halászi mérőpontokban. Ezek a pontok mezőgazdaságilag intenzíven kihasznált területeken fekszenek, tehát termőföldek összehasonlítása következik a talajnedvesség forgalom szezonális dinamikája szempontjából. Vagyis megvizsgáljuk a talajnedvesség alakulását az egyes rétegek szempontjából.

A bácsfai mérőpont rétegei:

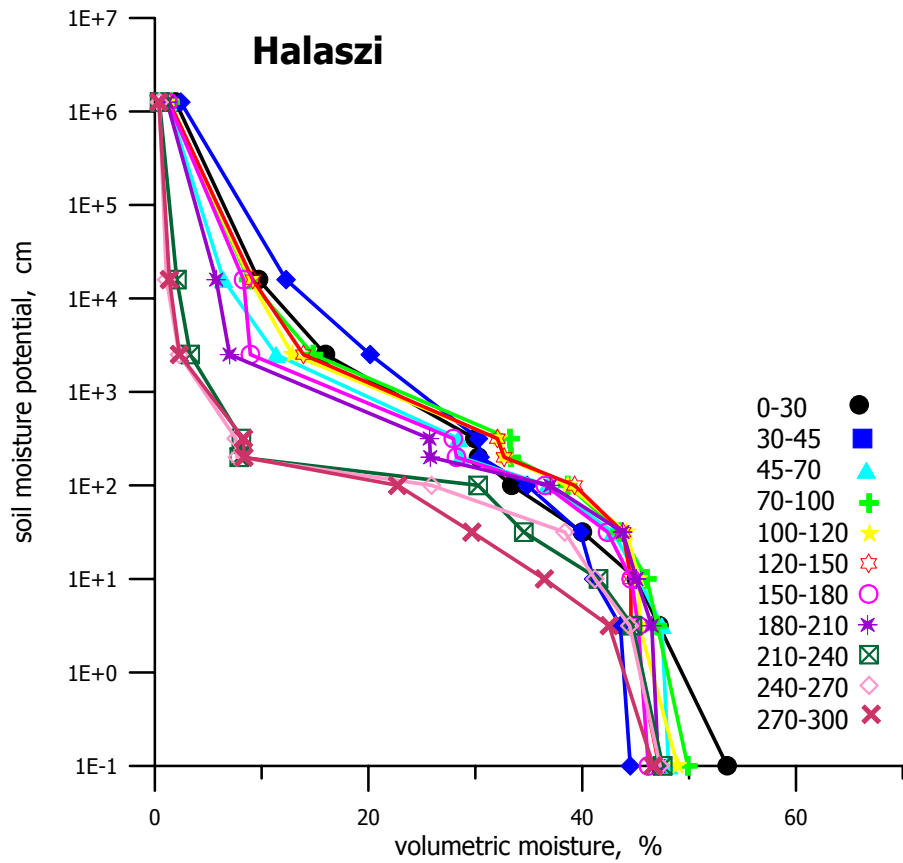
Réteg vastagság (cm)	A talajszelvény leírása
0-35	Szürkés, barna vályog, poros szerkezetű
35-50	Szürkés, barna vályog
50-70	Sárgás vályog
70-100	Szürke, homokos vályog
100-160	Sárgás, finom, homokos vályog
160-210	Sárga, homokos vályog
210-255	Sárgás, szürkés, vályogos homok
255-320	Szürkés, tarka homok
320-400	Szürkés, sárgás finom homok
400-450	Szürkés durva homok

31. táblázat: A Bácsfai talajszelvény rétegei

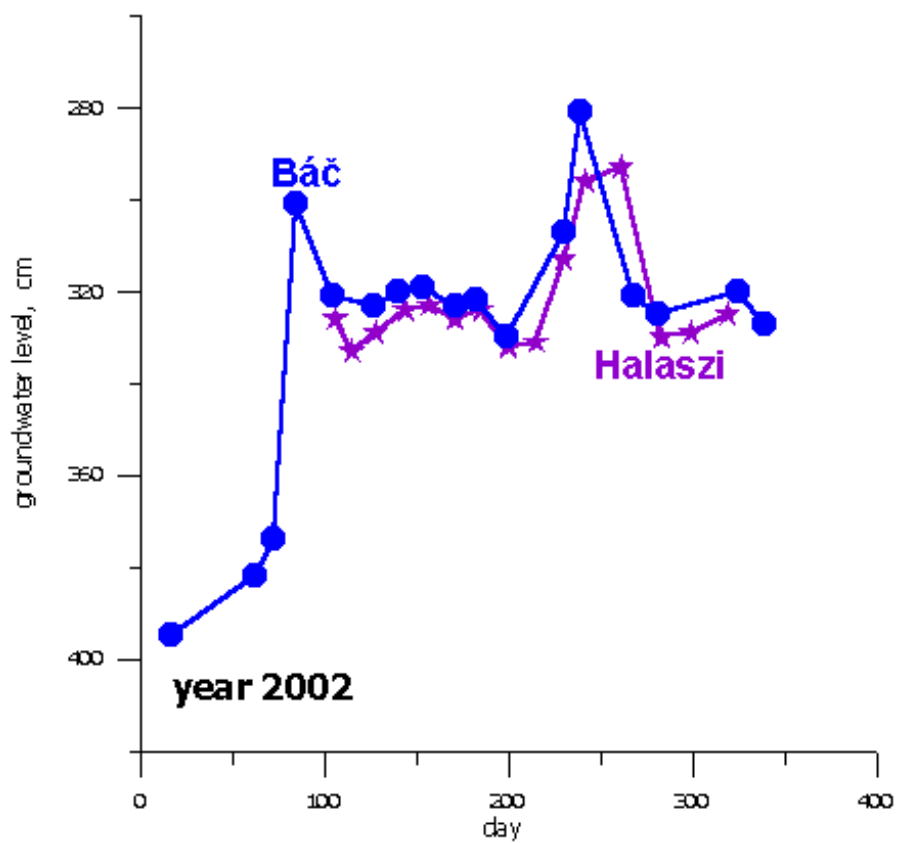
Réteg vastagság (cm)	A talajszelvény leírása
0-30	Szürkésbarna vályog, porosan morzsás szerkezetű
30-45	Szürkésbarna vályog, porosan morzsás szerkezetű, átmenet éles
45-70	Sárga porózus vályog (lössz) határa hullámos
70-100	Glejszürke-vörös tarka vályog, tömődött
100-120	Glejszürke-vöröses, tarka vályog, tömődött, átmenet határozott
120-150	Szürke-vörös tarka vályog, nagy vaskiválás foltokkal
150-180	Szürke-vöröses sárga tarka vályog vaskiválásokkal
180-210	Szürke-vöröses sárga tarka homokos vályog vaskiválásokkal
210-240	Szürke-vöröses sárga tarka homokos vályog vaskiválásokkal
240-270	Szürke-sárga tarka homok
270-300	Szürke-sárga tarka homok

32. táblázat: A Halászi talajszelvény rétegei

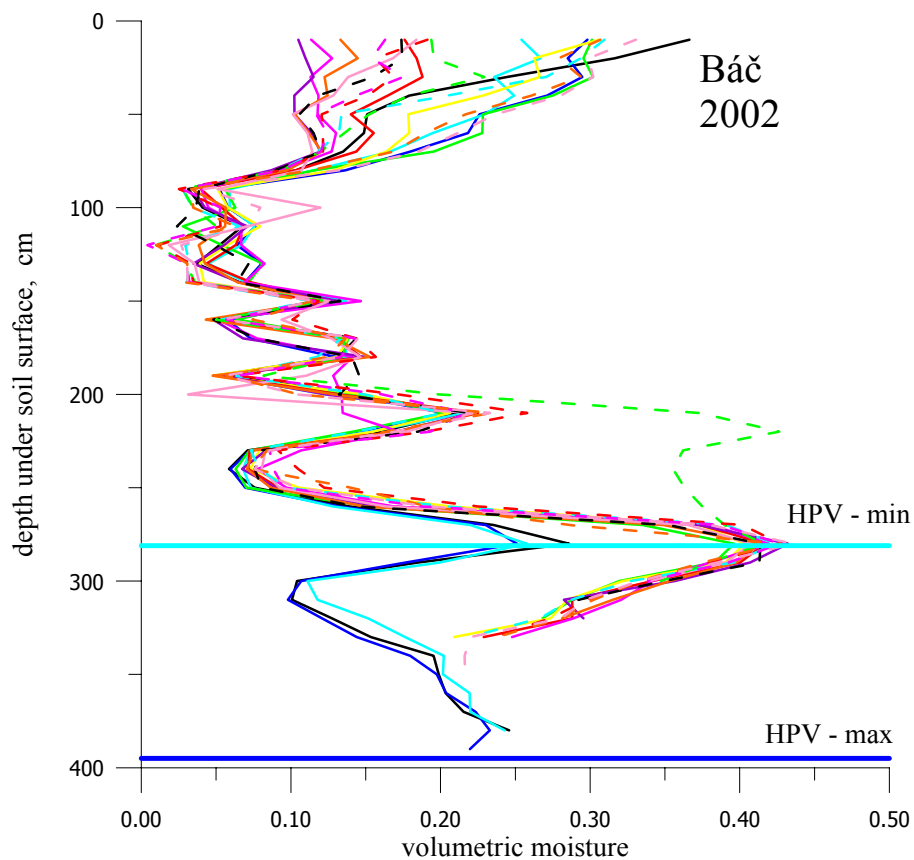
A talajszelvény litológiai leírását a Nyugat-Magyarországi Egyetem, Szigetköz Kutatási Központja bocsátotta rendelkezésemre (Palkovits Gusztáv főmunkatárs). A hiányzó adatokat mérésekkel kiegészítettük, majd az így kapott teljes adatbázisból a Van Genuchten illetve a Szlovák Tudományos Akadémia Hidrológiai Intézetében kifejlesztett módszer segítségével megállapítottuk a nedvességtenziós görbeköteget.



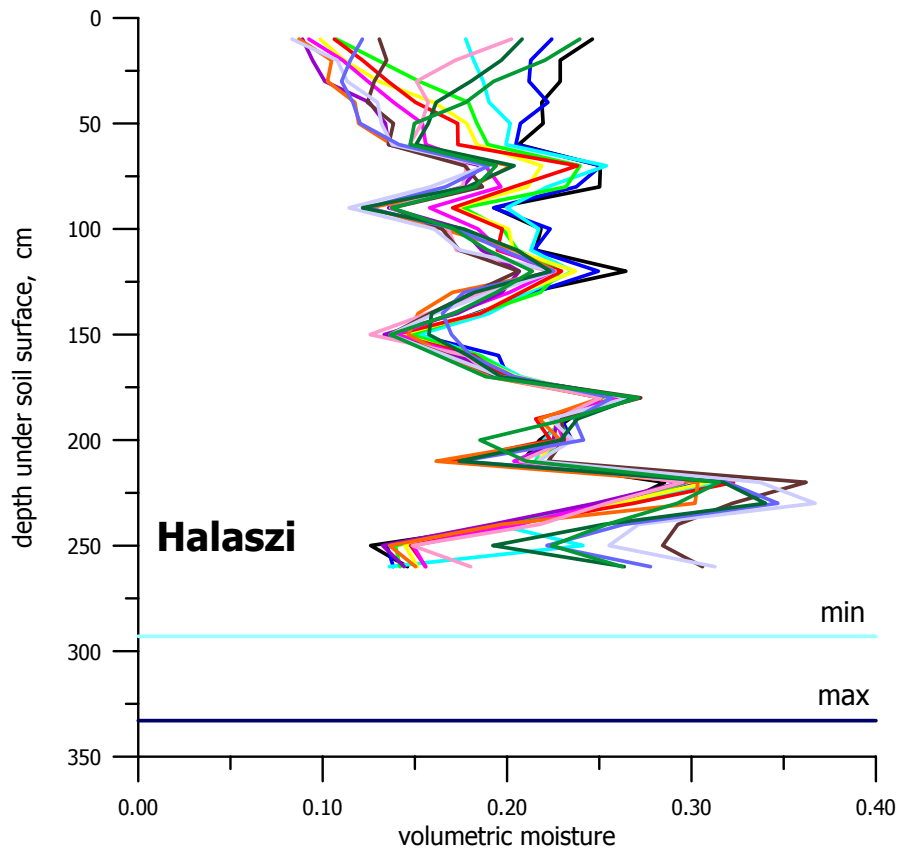
40. ábra: Nedvesség tenziós görbéket (görbéköteget) összefoglaló grafikon a litológiai táblázatok alapján meghatározott homogén talajrétegek számára a talajszinttől egészen a 300 cm-es mélységig. Az egyes tartományok kijelölése a talajréteg leírás alapján történt. A mélység számára meghatározó, hogy a talajnedvesség e mélységben megközelítően konstans legyen.



41. ábra: A talajvízszint mozgása a bácsfai és a halászi mérőpontokban



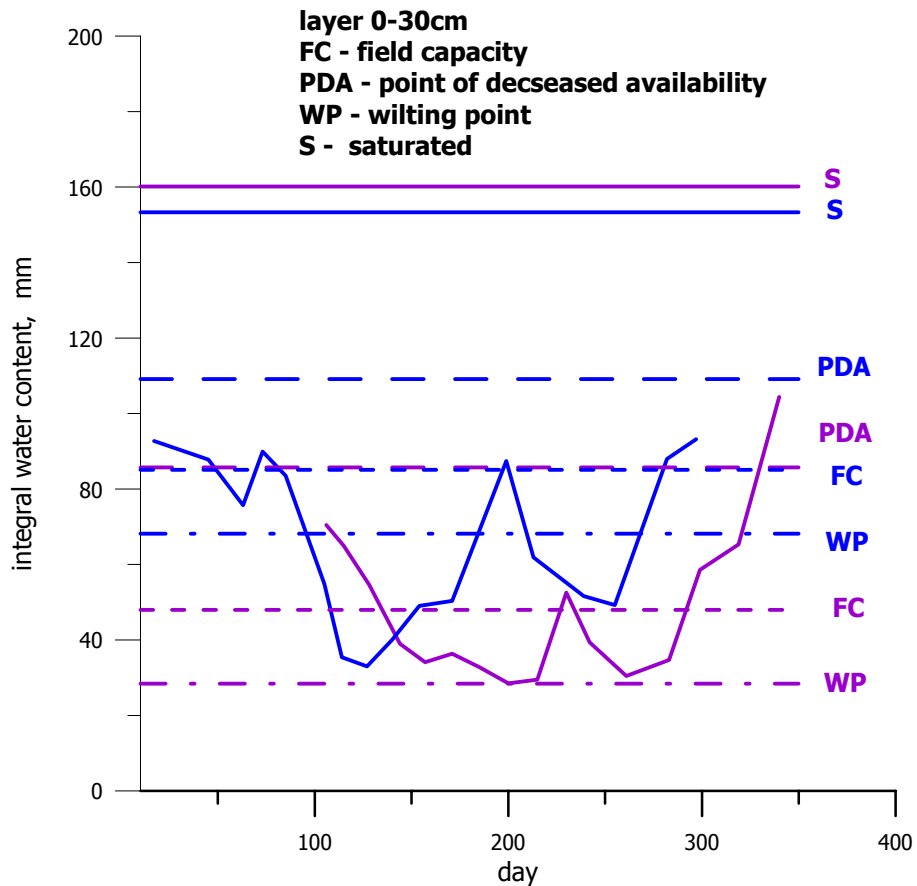
42. ábra: A talajnedvesség függőleges eloszlása és alakulása a bácsfai mérőpontban a 2002-es év vegetációs időszaka alatt. Neutronsondás mérés 10 cm-es megkülönböztetéssel.



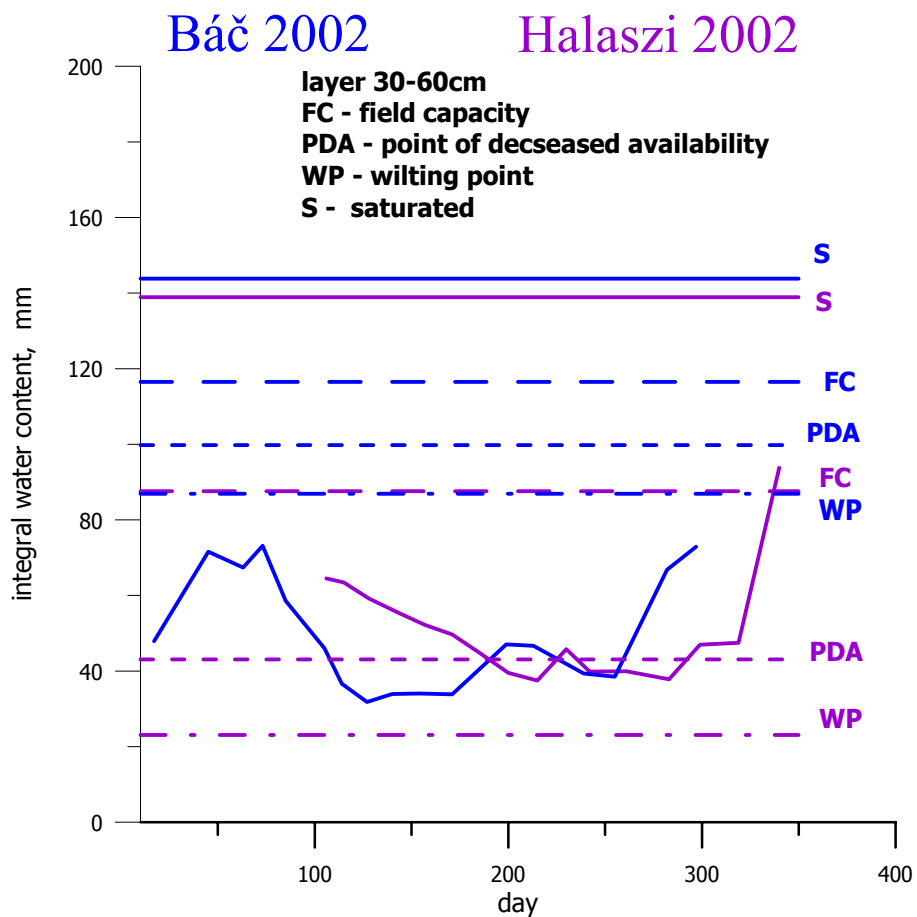
43. ábra: A talajnedvesség függőleges eloszlása és alakulása a halászi mérőpontban a 2002-es év vegetációs időszaka alatt. Neutronsondás mérés 10 cm-es megkülönböztetéssel.

Báč 2002

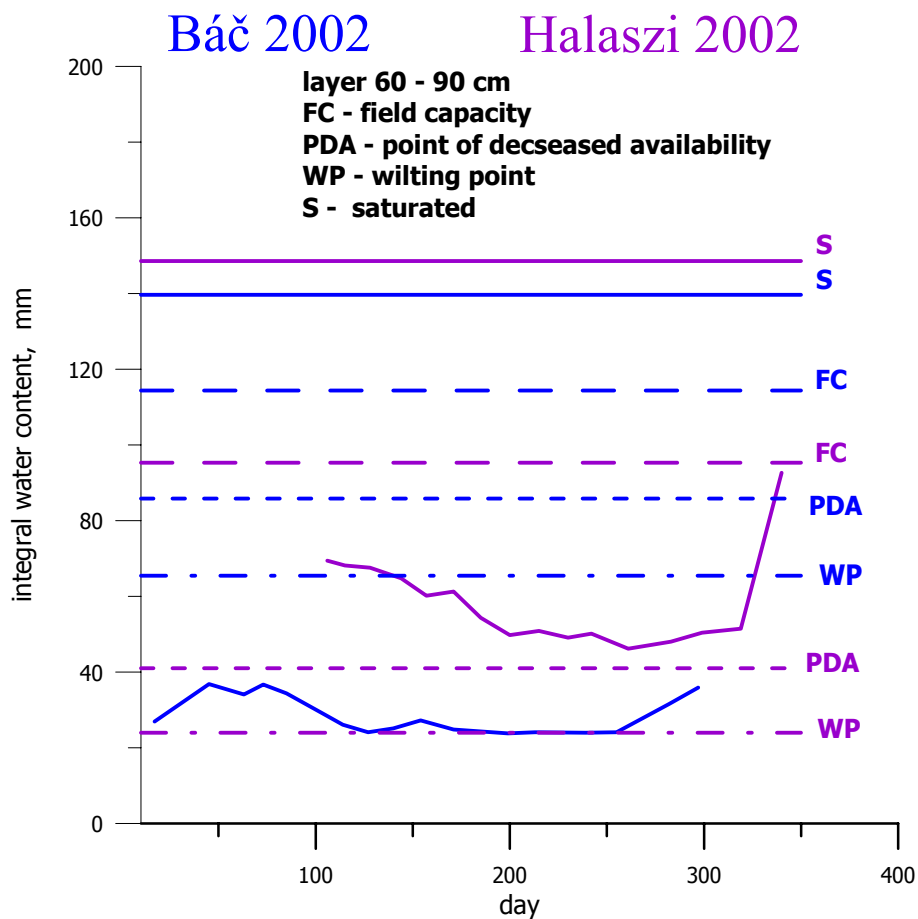
Halaszi 2002



44. ábra: Talajvíz összegzése a 0 - 30 cm-s mélységű talajrétegre mindkét mérési pontot összehasonlítva a vegetációs időszak alatt észlelt változások szempontjából. Az ábrán a 3 hidrolimit (hidrológiai határérték) (szántóföldi vízkapacitás, nehezen felvehető víz, és a hervadáspon) látható.



45. ábra: Talajvíz összegzése a 30 - 60 cm-s mélységű talajrétegre mindkét mérési pontot összehasonlítva a vegetációs időszak alatt észlelt változások szempontjából. Az ábrán a 3 hidrolimit (hidrológiai határérték) (szántóföldi vízkapacitás, nehezen felvehető víz, és a hervadáspon) látható.



46. ábra: Talajvíz összegzése a 60 - 90 cm-s mélységű talajrétegre mindkét mérési pontot összehasonlítva a vegetációs időszak alatt észlelt változások szempontjából. Az ábrán a 3 hidrolimit (hidrológiai határérték) (szántóföldi vízkapacitás, nehezen felvehető víz, és a hervadáspon) látható.

Mivel Halászában 70-120 cm mélységben tömődött tarka vályogos réteg van, ez akadályozza a talajnedvesség vertikális mozgását nagyobb mértékben, mint a bácsfai homokos vályog, ahol a filtrációs sebességek sokkal nagyobbak, ez eredményezi a

60-90 cm-es réteg számára több nedvesség megtartását és ezekben a részekben a talajnedvesség magasabb szintet ér el, mivel nem szívároghat át az alsóbb rétegekbe. A képeken kiértékeljük és összehasonlítottuk a két területen a talajnedvesség alakulását a termesztett növényfajok szempontjából, tehát a gyökérzóna feltételezett alakulása szempontjából, a maximális vízfelvétel időszakai szempontjából több alternatívát választottunk, és ki lett választva a termesztett növények szempontjából a legrosszabb kombináció, azaz a legvékonyabb réteg és a legnagyobb vízfelvétel. Ha összehasonlítjuk a három ábrán a nedvesség alakulását szezonálisan a hasonlóság szembetűnő.

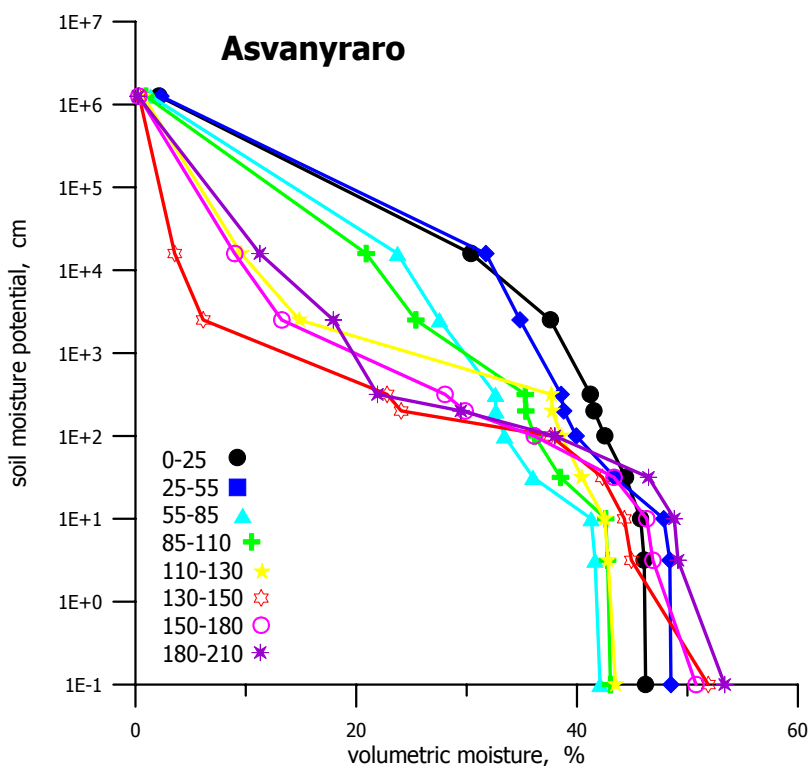
Ezen összehasonlítások alapján megállapíthatjuk, hogy ha visszamenőleg megvizsgáljuk a nedvesség alakulását, – ami az adott mérésekből elég pontosan megállapítható, – akkor meg lehet állapítani melyik időszakban mennyi volt a nedvességhiány, vagy mennyi vízre lett volna szükség ahhoz, hogy még elégséges, vagy esetleg ideális legyen a nedvesség állapota a növények számára. Más szempontból módot ad a meglévő aktuális helyzet alapján kiértékelni, hogy meddig van megfelelő tartalék (meddig lesz a nedvesség elég a konkrét növény számára). Azt is meg lehet állapítani, hogy a feltételek milyen növények termesztésére teszik alkalmassá, vagy a fajon belül melyik fajtát érdemesebb itt termesztetni, szükséges-e öntözés, milyen mennyiségben, és mikor várható ez a szükséglet, stb.

6.4 A vízháztartás kiértékelése a talajnedvesség függőleges eloszlása és alakulása szempontjából a 2002-es év vegetációs időszaka alatt a szigetközi négy megfigyelési pontban

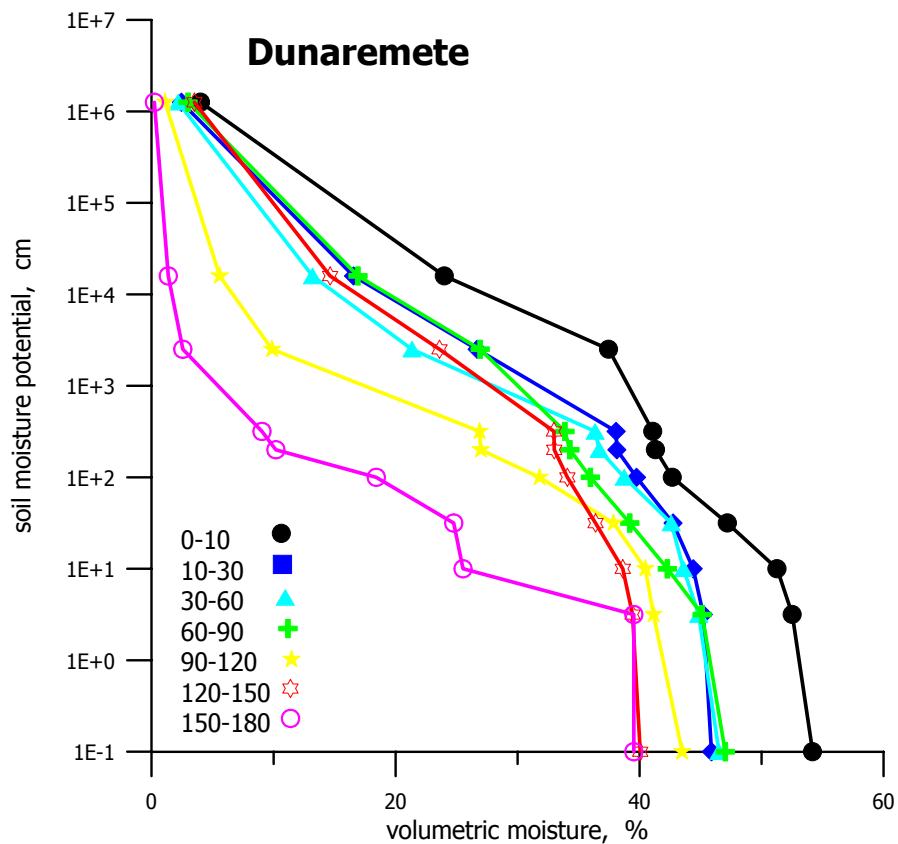
A kiértékelt talajrétegek vastagsága a meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt réteg szempontjából van összehasonlítva, mely rétegek határait a neutronsondás mérések töréspontjai és a redukált térfogattömeg talajmetszetbeli alakulásai adnak. A talajszelvény leírások és azok összefoglaló táblázatai a 4. fejezetben lettek felsorolva, így azok bővebb kifejtése itt már nem szükséges.

6.4.1 Tenziós görbék a négy szigetközi mérési pontban

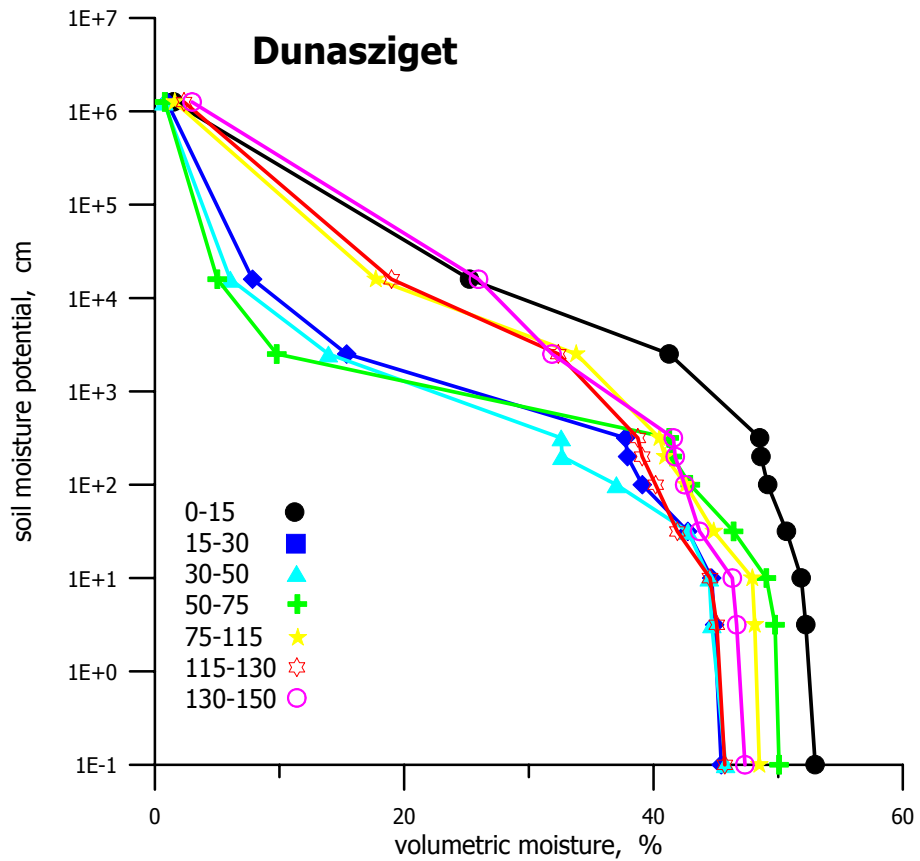
A Tenziós görbék megrajzolása a Nyugat-Magyarországi Egyetem, Szigetközi Kutatási Központja által rendelkezésünkre bocsátott adatok alapján történt (Palkovits Gusztáv főmunkatárs). A hiányzó adatokat mérésekkel egészítettük ki, majd az így kapott teljes adatbázisból a Van Genuchten illetve a Szlovák Tudományos Akadémia Hidrológiai Intézetében kifejlesztett módszer segítségével szerkesztettük meg.



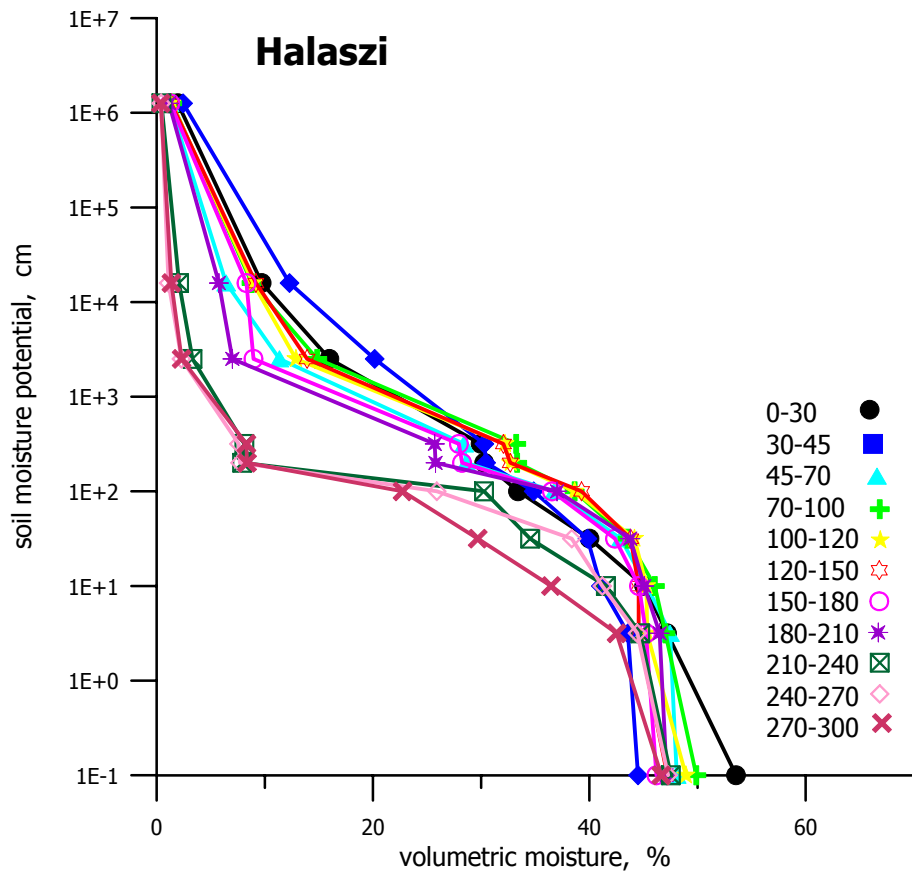
47. ábra: Nedvesség tenziós görbéket (görbéköteget) összefoglaló grafikon a litológiai táblázatok alapján meghatározott homogén talajrétegek számára a talajszinttől egészen a 210 cm-es mélységig. Az egyes tartományok kijelölése a talajréteg leírás alapján történt. A mélység számára meghatározó, hogy a talajnedvesség e mélységben megközelítően konstans legyen.



48. ábra: Nedvesség tenziós görbéket (görbéköteget) összefoglaló grafikon a litológiai táblázatok alapján meghatározott homogén talajrétegek számára a talajszinttől egészen a 180 cm-es mélységig. Az egyes tartományok kijelölése a talajréteg leírás alapján történt. A mélység számára meghatározó, hogy a talajnedvesség e mélységben megközelítően konstans legyen.



49. ábra: Nedvesség tenziós görbéket (görbekerőteget) összefoglaló grafikon a litológiai táblázatok alapján meghatározott homogén talajrétegek számára a talajszinttől egészen a 150 cm-es mélységig. Az egyes tartományok kijelölése a talajréteg leírás alapján történt. A mélység számára meghatározó, hogy a talajnedvesség e mélységben megközelítően konstans legyen.



50. ábra: Nedvesség tenziós görbéket (görbekerőket) összefoglaló grafikon a litológiai táblázatok alapján meghatározott homogén talajrétegek számára a talajszinttől egészen a 300 cm-es mélységig. Az egyes tartományok kijelölése a talajréteg leírás alapján történt. A mélység számára meghatározó, hogy a talajnedvesség e mélységben megközelítően konstans legyen.

A következő táblázatok a talajnedvesség határértékeket mutatják a meghatározott rétegek számára az egyes mérőpontokban.

Horizont (cm)	PVK = FC Szántóföldi vízkapacitás pF = 2,3	BZD = PDA Nehezen felvehető talajvíz pF = 3,4	BV = WP Fonnyadáspont pF = 4,2
0-25	41,54	37,59	30,41
25-55	38,79	34,83	31,75
55-85	32,64	27,54	23,74
85-110	35,36	25,40	20,90
110-130	37,76	14,85	9,57
130-150	24,07	6,14	3,56
150-180	29,86	13,26	9,00
180-210	29,48	17,93	11,27

33. táblázat: A talajnedvesség rétegenkénti határértékei az ásványrárói mérőpontban

Horizont (cm)	PVK = FC Szántóföldi vízkapacitás pF = 2,3	BZD = PDA Nehezen felvehető talajvíz pF = 3,4	BV = WP Fonnyadáspont pF = 4,2
0-10	41,31	37,47	24,01
10-30	38,14	26,68	16,55
30-60	36,69	21,35	13,19
60-90	34,29	26,93	16,92
90-120	26,99	9,88	5,59
120-150	33,01	23,60	14,64
150-180	10,19	2,56	1,37

34. táblázat: A talajnedvesség rétegenkénti határértékei a dunaremetei mérőpontban

Horizont (cm)	PVK = FC Szántóföldi vízkapacitás pF = 2,3	BZD = PDA Nehezen felvehető talajvíz pF = 3,4	BV = WP Fonnyadáspont pF = 4,2
0-15	48,63	41,26	25,25
15-30	37,91	15,39	7,84
30-50	32,66	13,92	6,05
50-75	41,49	9,78	5,01
75-115	40,93	33,80	17,72
115-130	39,09	32,36	18,99
130-150	41,47	31,86	25,96

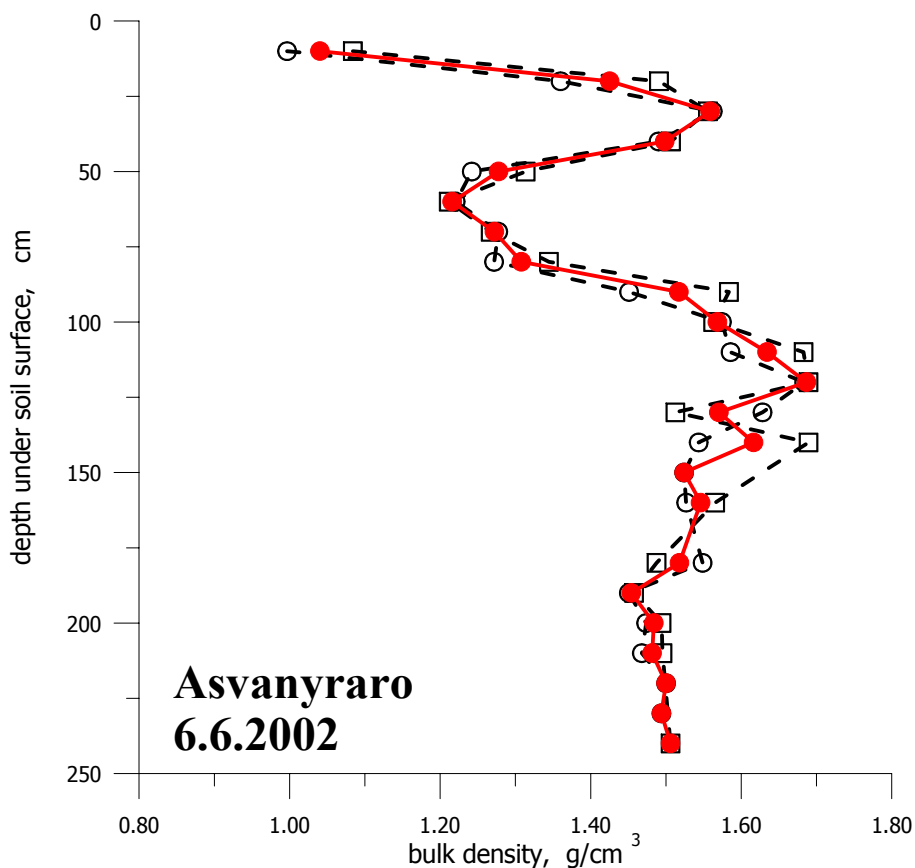
35. táblázat: A talajnedvesség rétegenkénti határértékei a dunaszigeti mérőpontban

Horizont (cm)	PVK = FC Szántóföldi vízkapacitás pF = 2,3	BZD = PDA Nehezen felvehető talajvíz pF = 3,4	BV = WP Fonnyadáspont pF = 4,2
0-30	30,29	15,98	9,71
30-45	30,44	20,16	12,28
45-70	28,61	11,35	6,42
70-100	33,34	14,84	8,78
100-120	32,73	12,88	8,91
120-150	32,69	13,90	9,17
150-180	28,23	8,94	8,30
180-210	25,78	6,99	5,75
210-240	7,90	3,31	2,06
240-270	7,70	2,28	1,09
270-300	8,35	2,30	1,36

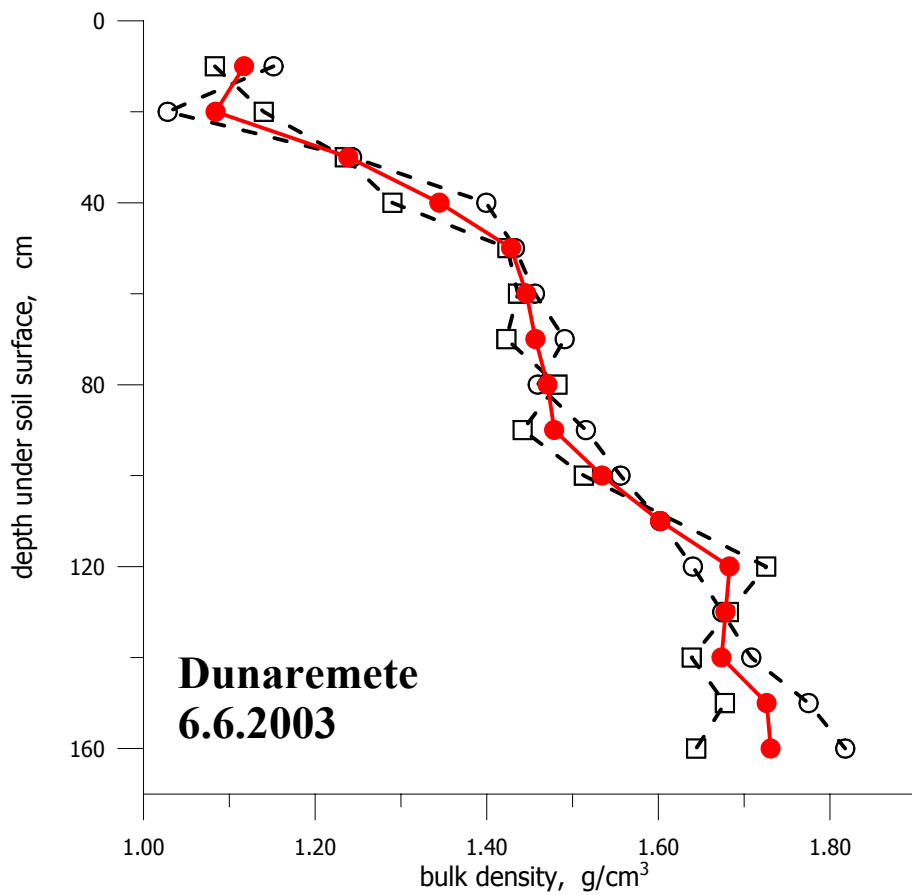
36. táblázat: A talajnedvesség rétegenkénti határértékei a halászi mérőpontban

6.4.2 Redukált térfogattömeg a négy szigetközi mérési pontban

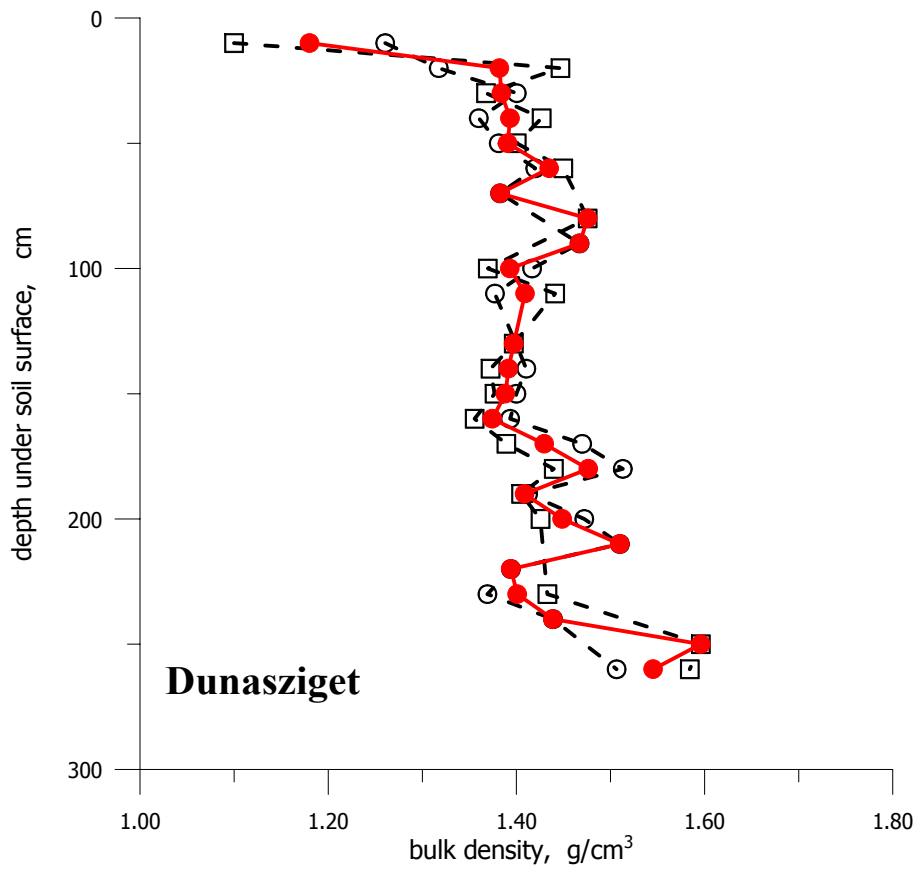
A redukált térfogattömeg ábrázolásához szükséges adatbázist a Szlovák Tudományos Akadémia Hidrológiai Intézetének munkatársai által vett bolygatatlan minták segítségével az Intézet Talajtani (Pedológiai) Laboratóriumában végzett mérések kiértékelése alapján alakítottuk ki, és az Intézetében kifejlesztett módszer segítségével szerkesztettük meg.



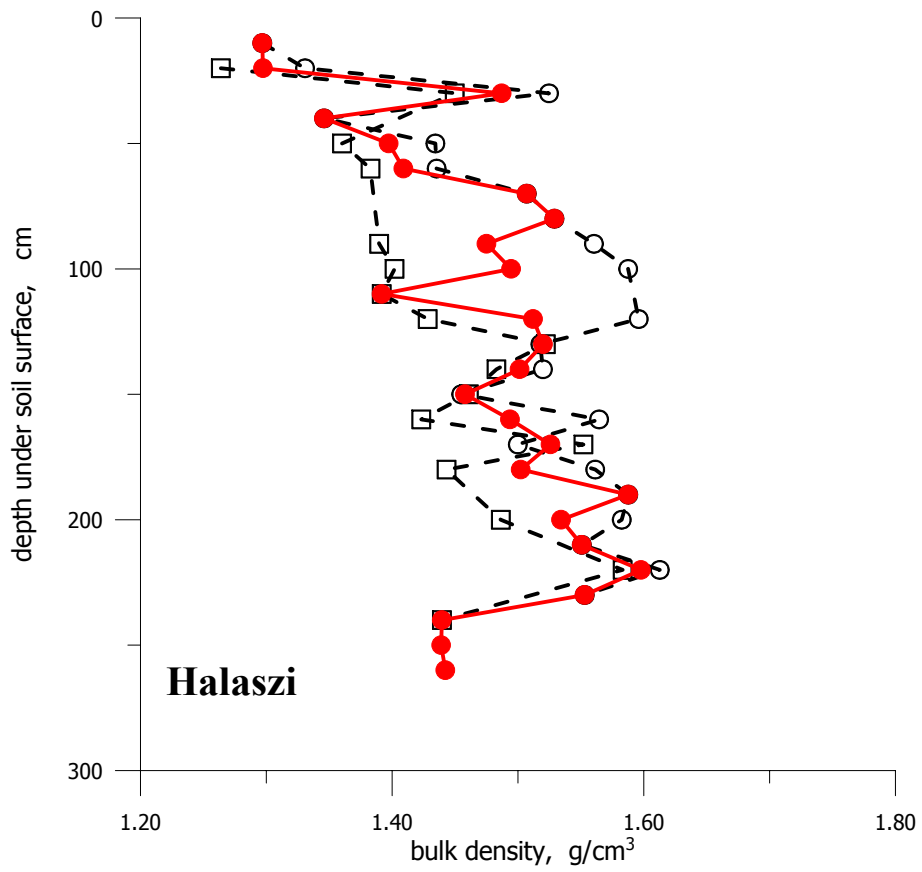
51. ábra: Redukált térfogattömeg alakulása a függőleges talajmetszetben az ásványrárói mérőpont számára. (Az üres alakzatok a mérési eredményeket, a teli alakzatok az átlagot jelölik.)



52. ábra: Redukált térfogattömeg alakulása a függőleges talajmetszetben a dunaremete mérőpont számára. (Az üres alakzatok a mérési eredményeket, a teli alakzatok az átlagot jelölik.)



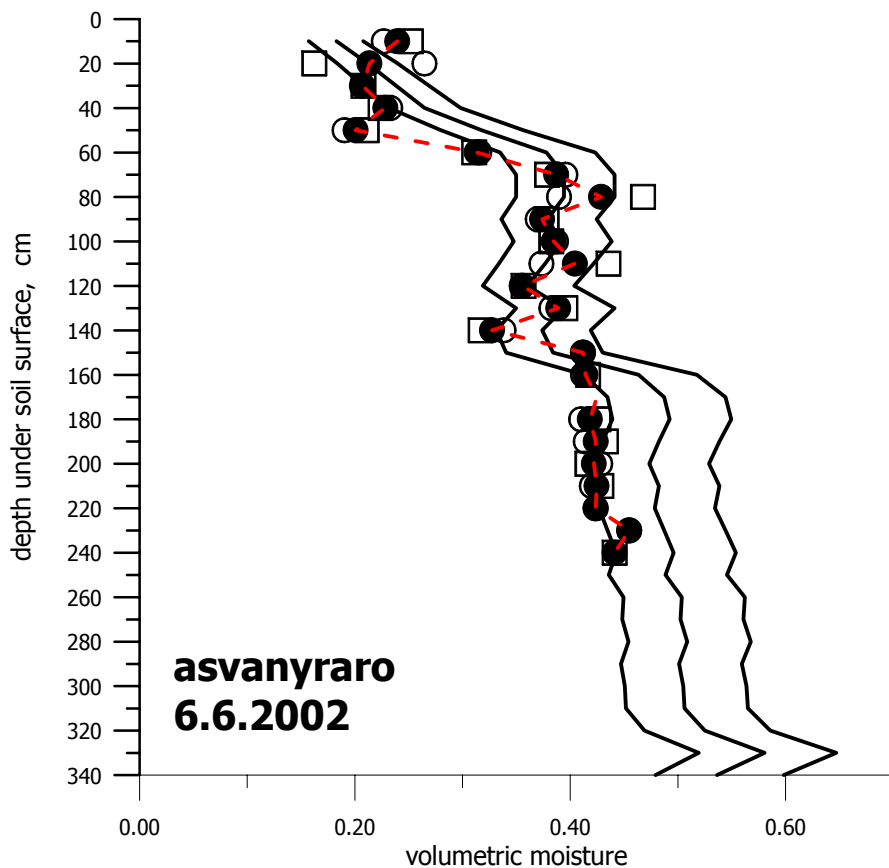
53. ábra: Redukált térfogattömeg alakulása a függőleges talajmetszetben a dunaszigeti mérőpont számára. (Az üres alakzatok a mérési eredményeket, a teli alakzatok az átlagot jelölik.)



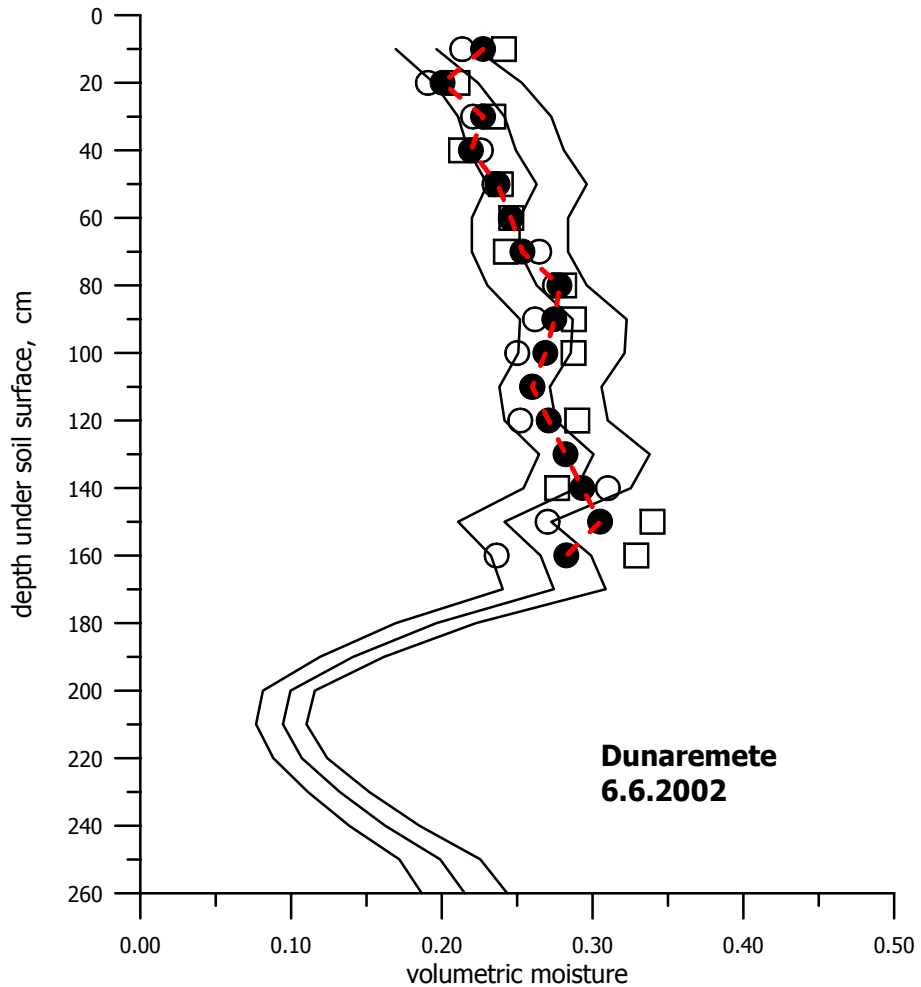
54. ábra: Redukált térfogattömeg alakulása a függőleges talajmetszetben a halászi mérőpont számára. (Az üres alakzatok a mérési eredményeket, a teli alakzatok az átlagot jelölik.)

6.4.3 A neutronszonda kalibrációja a négy szigetközi mérési pont számára

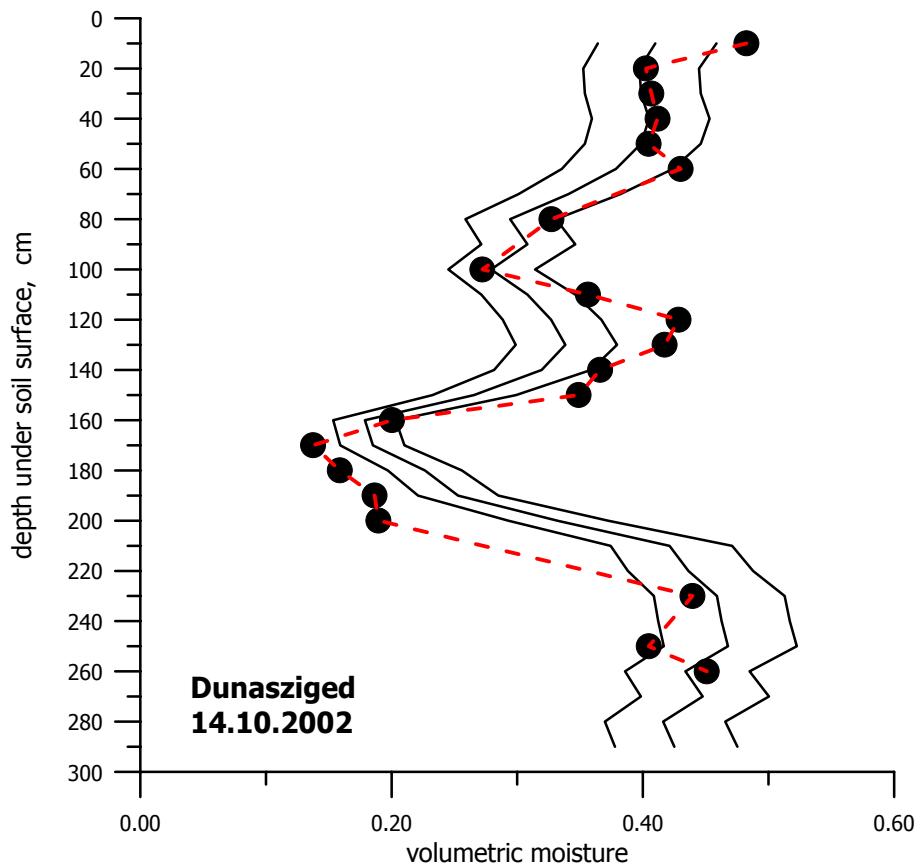
A neutronszonda kalibrációját a Szlovák Tudományos Akadémia Hidrológiai Intézetének munkatársai által vett bolygatatlan minták segítségével az Intézet Talajtani (Pedológiai) Laboratóriumában végzett mérések kiértékelése alapján alakítottuk ki, és az Intézetében kifejlesztett módszer segítségével szerkesztettük meg az egyes pontokban végzett mérések kiértékeléséhez szükséges kalibrációs görbét és koefficienseket.



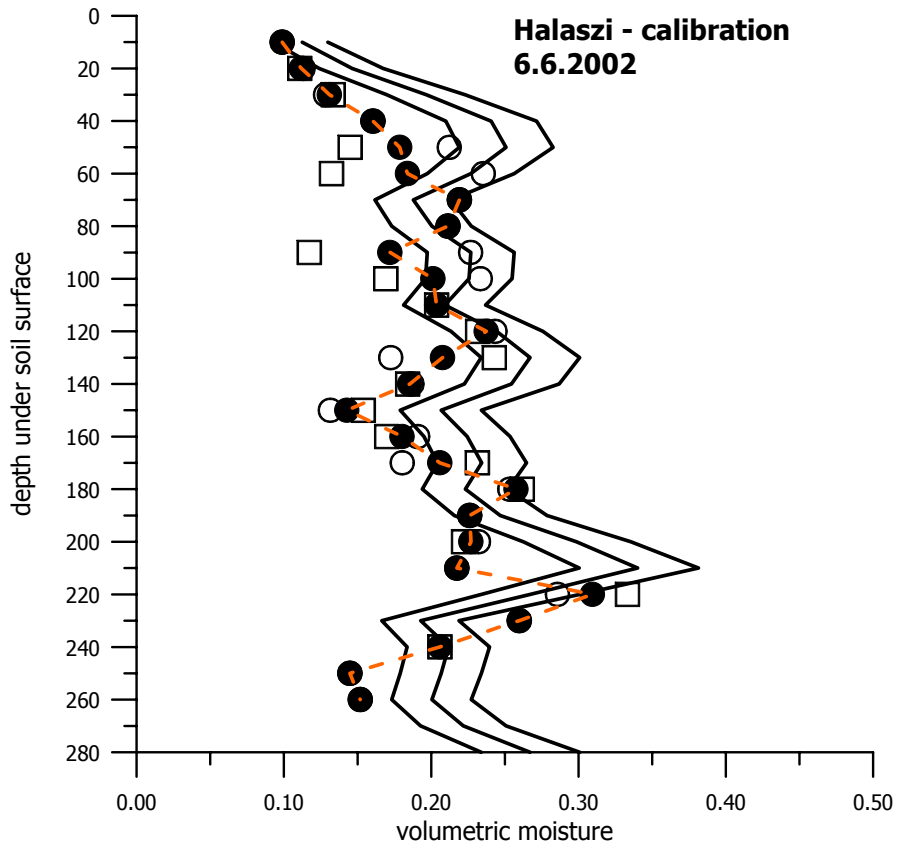
55. ábra: A neutronszonda kalibrációja az ásványrárói mérőpontban. Az összekötő vonal a kalibrációs görbét ábrázolja az adott mérőpont számára. A görbét a bolygatatlan minták gravimetrikus kiértékelésével kaptuk. (Az üres alakzatok a mérési eredményeket, a teli alakzatok az átlagot jelölik.)



56. ábra: A neutronszonda kalibrációja a dunaremete mérőpontban. Az összekötő vonal a kalibrációs görbét ábrázolja az adott mérőpont számára. A görbét a bolygatatlan minták gravimetrikus kiértékelésével kaptuk. (Az üres alakzatok a mérési eredményeket, a teli alakzatok az átlagot jelölik.)



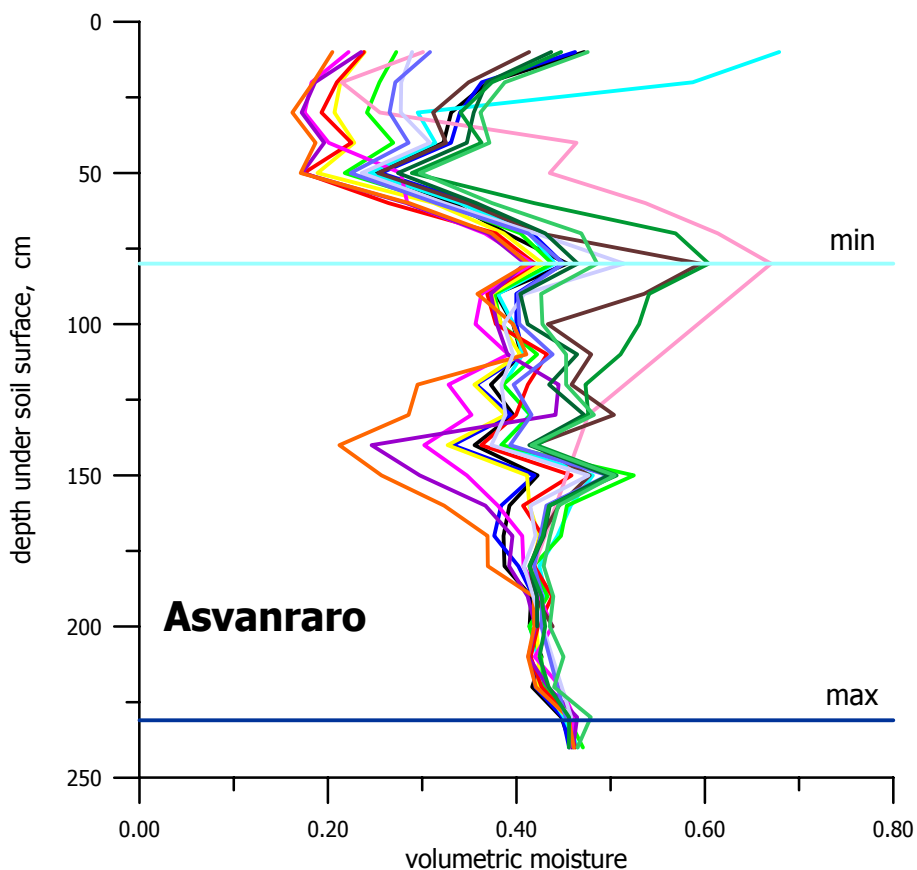
57. ábra: A neutronszoonda kalibrációja a dunaszigei mérőpontban. Az összekötő vonal a kalibrációs görbét ábrázolja az adott mérőpont számára. A görbét a bolygatatlan minták gravimetrikus kiértékelésével kaptuk.



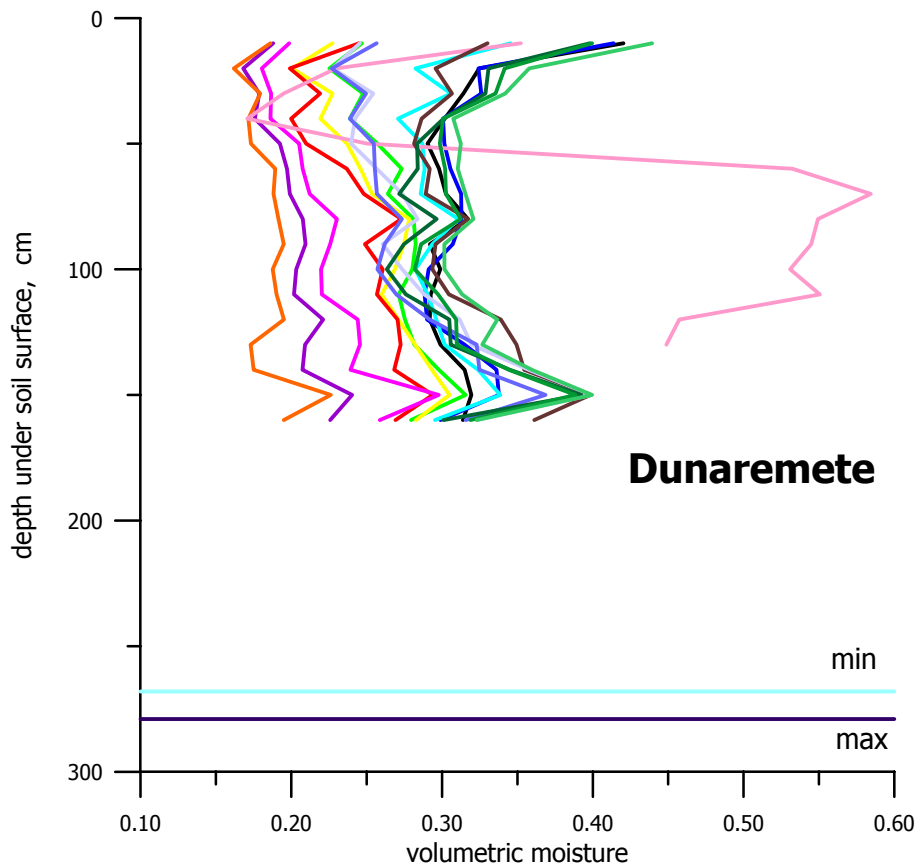
58. ábra: A neutronszonda kalibrációja a halászi mérőpontban. Az összekötő vonal a kalibrációs görbét ábrázolja az adott mérőpont számára. A görbét a bolygatatlan minták gravimetrikus kiértékelésével kaptuk. (Az üres alakzatok a mérési eredményeket, a teli alakzatok az átlagot jelölik.)

A kalibrációs görbék segítségével kapott adatok szolgálták alapul a 2002-es év vegetációs időszaka alatt végzett neutronszondás mérések kiértékeléséhez és a talajnedvesség függőleges eloszlásának az alakulása e kalibrációs görbék segítségével lett kiértékelve. A kiértékelést a következő ábrák mutatják.

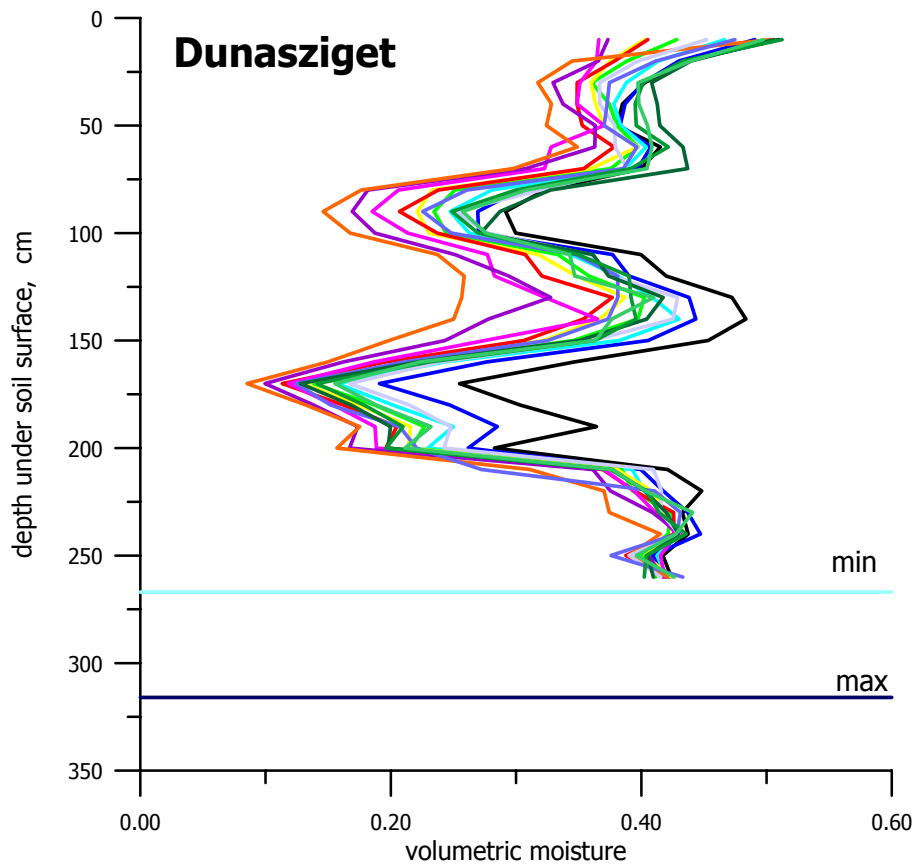
6.4.4 A talajnedvesség függőleges eloszlása a négy szigetközi mérési pontban a 2002-es év vegetációs időszakában.



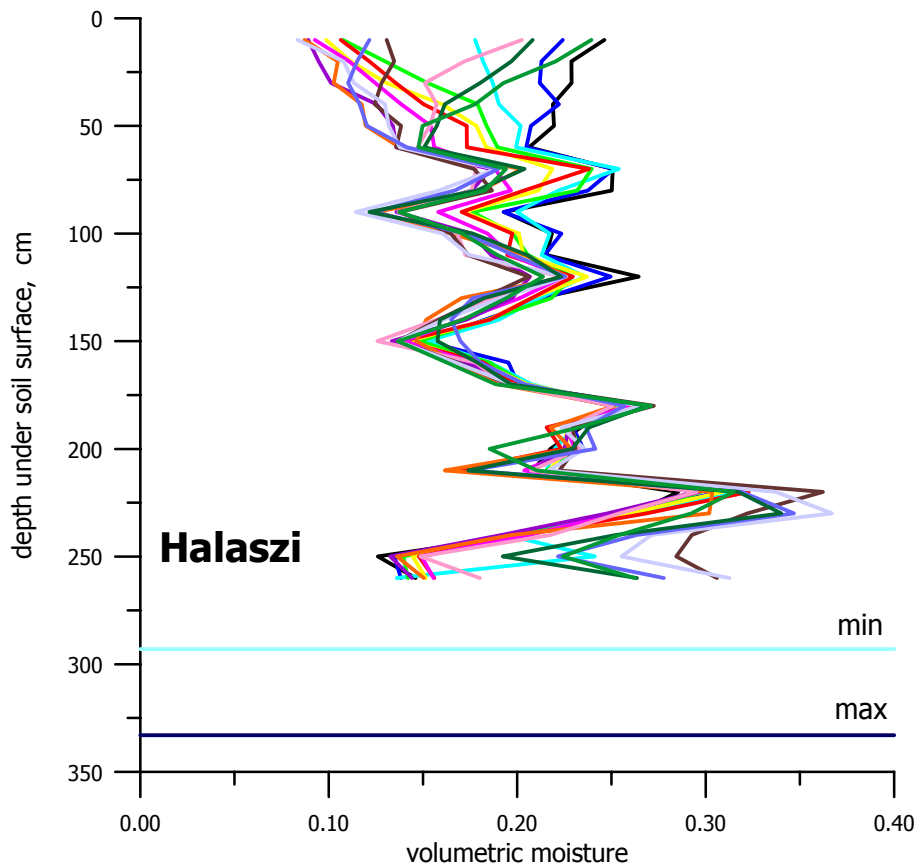
59. ábra: A talajnedvesség függőleges eloszlása és alakulása az ásványrárói mérőpontban a 2002-es év vegetációs időszaka alatt. Neutronsondás mérés 10 cm-es megkülönböztetéssel.



60. ábra: A talajnedvesség függőleges eloszlása és alakulása a dunaremetei mérőpontban a 2002-es év vegetációs időszaka alatt. Neutronsondás mérés 10 cm-es megkülönböztetéssel.



61. ábra: A talajnedvesség függőleges eloszlása és alakulása a dunaszigeti mérőpontban a 2002-es év vegetációs időszaka alatt. Neutronsondás mérés 10 cm-es megkülönböztetéssel.

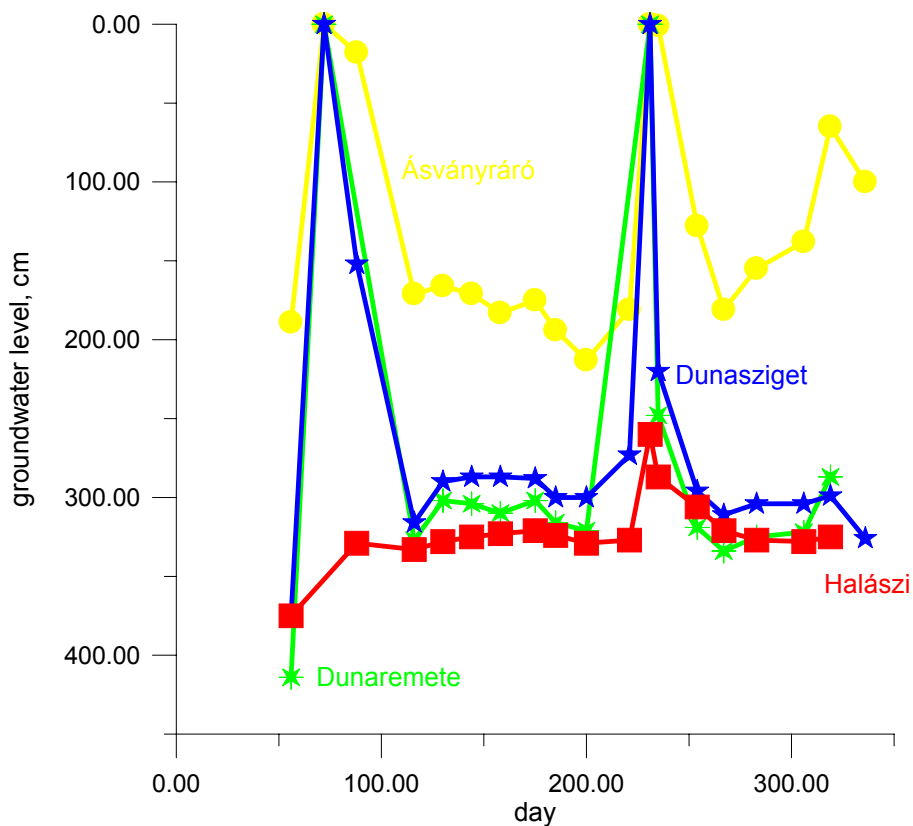


62. ábra: A talajnedvesség függőleges eloszlása és alakulása a halászi mérőpontban a 2002-es év vegetációs időszaka alatt. Neutronsondás mérés 10 cm-es megkülönböztetéssel.

E mérések adatbázisa alapul fog szolgálni a klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának meghatározására.

6.4.5 A talajvíz szint alakulása a négy szigetközi mérési pontban a 2002-es év vegetációs időszakában

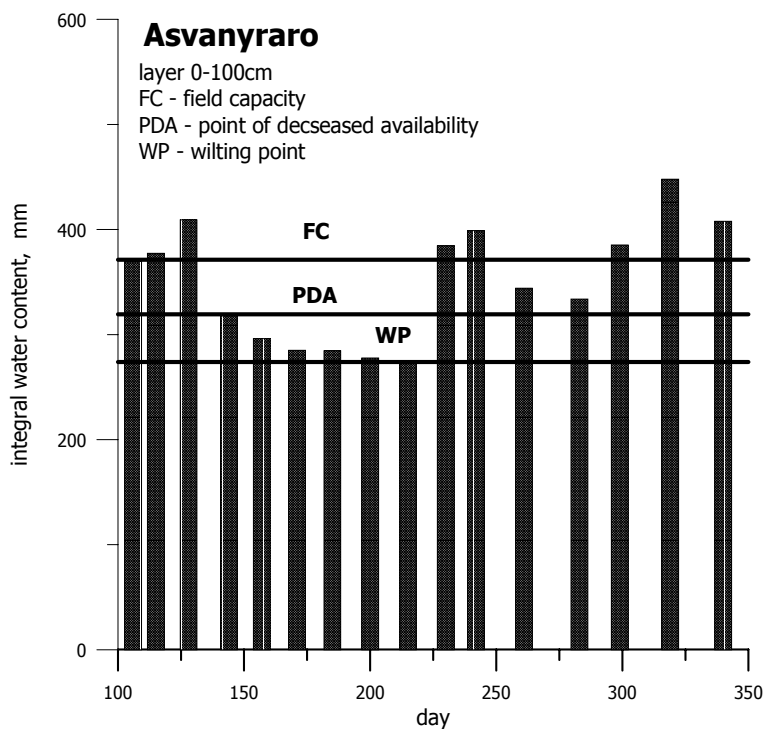
Az adatbázis a győri Hidrológiai Intézet mérésein alapszik.



63. ábra: A talajvízszint mozgás alakulása az ásványrárói, dunaremetei, dunaszigeti és a halászi mérőpontokban a 2002-es év vegetációs időszaka folyamán.

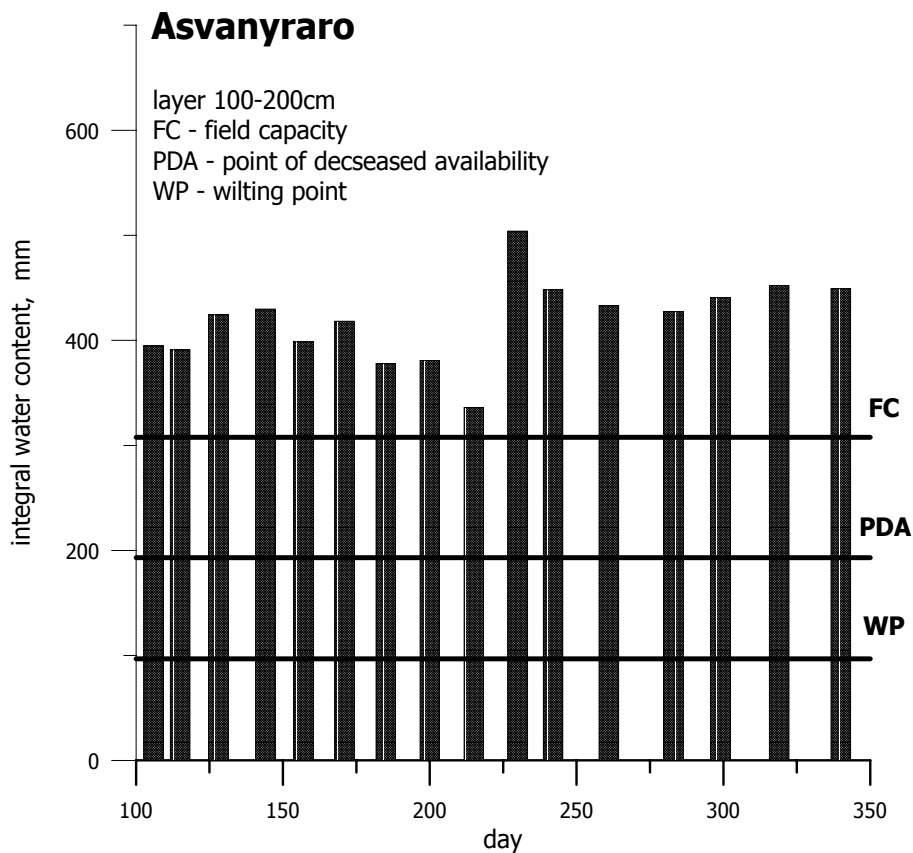
6.4.6 Az integrált víztartalom kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek szempontjából a négy szigetközi mérési pontban a 2002-es év vegetációs időszakára.

A 6.4.1 és a 6.4.5 fejezetek adatbázisai segítségével végezetül kiértékeljük az egyes kiválasztott talajrétegek integrált víztartalmának az alakulását a 2002-es év vegetációs időszakában az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) vagyis a növényzet által felhasználható vízmennyiség szempontjából, (melyet az előző fejezetekben részletesen leírtunk). A kiértékelés a következő a négy szigetközi mérőpont számára.

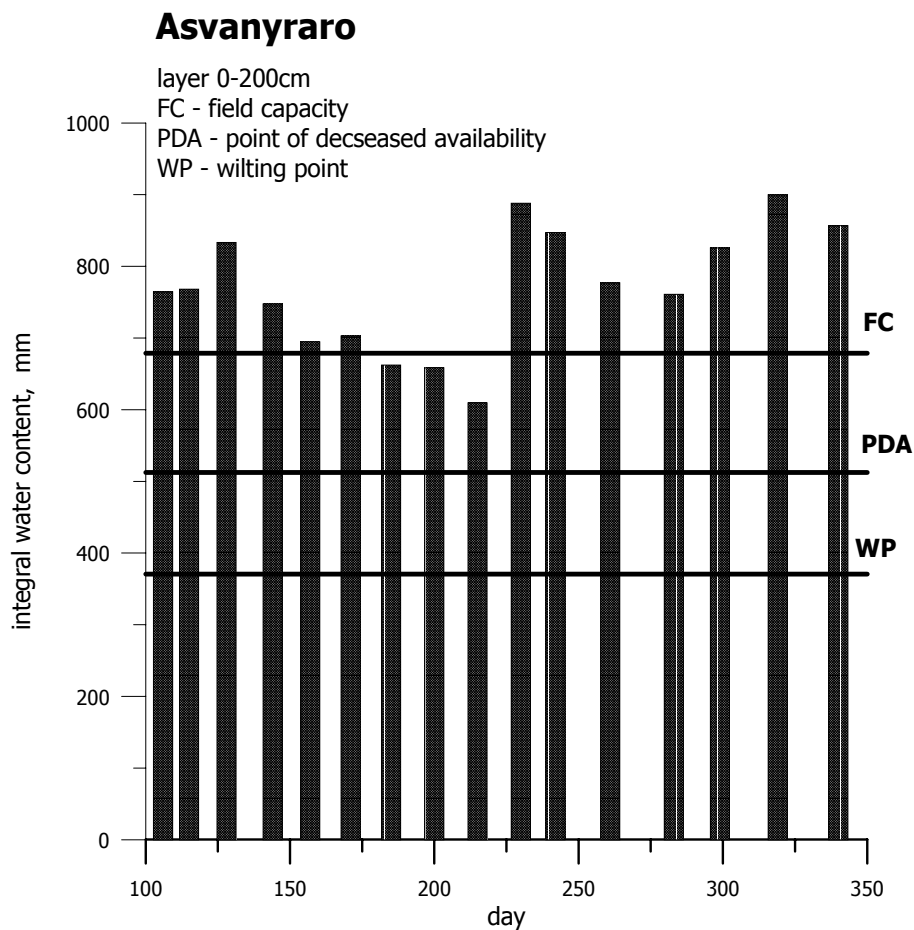


64. ábra: Az ábrán a meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai

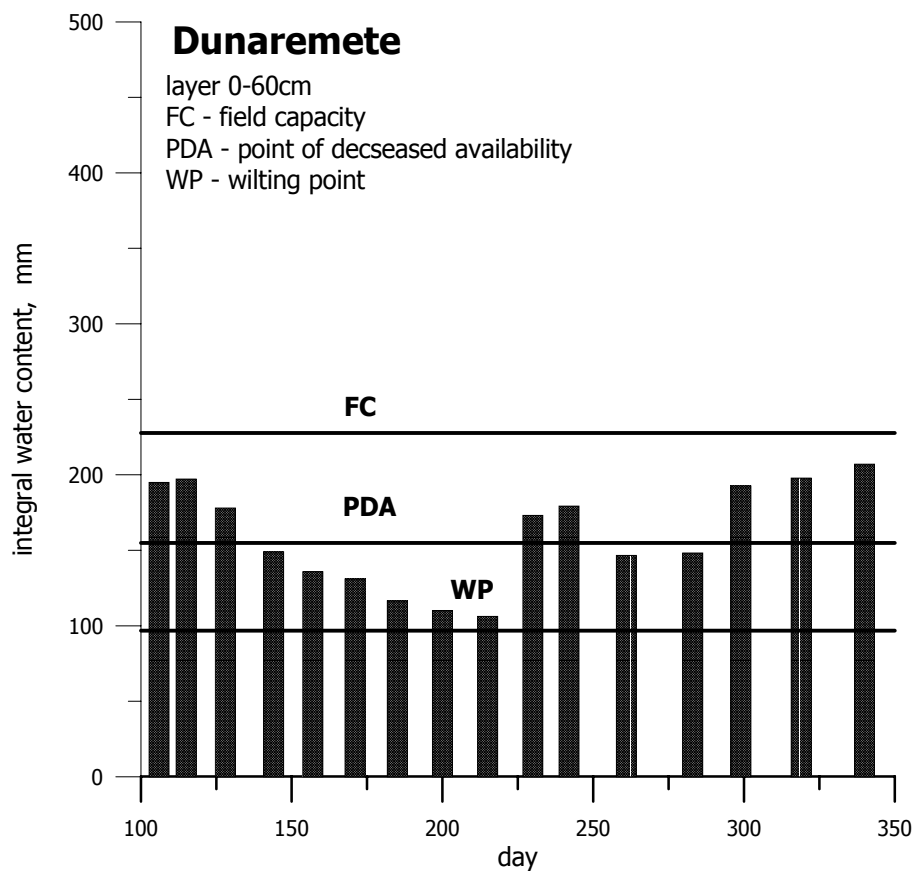
határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából a 2002-es év vegetációs időszakára a 0-100 cm-es rétegben az ásványrári megfigyelő pontban.



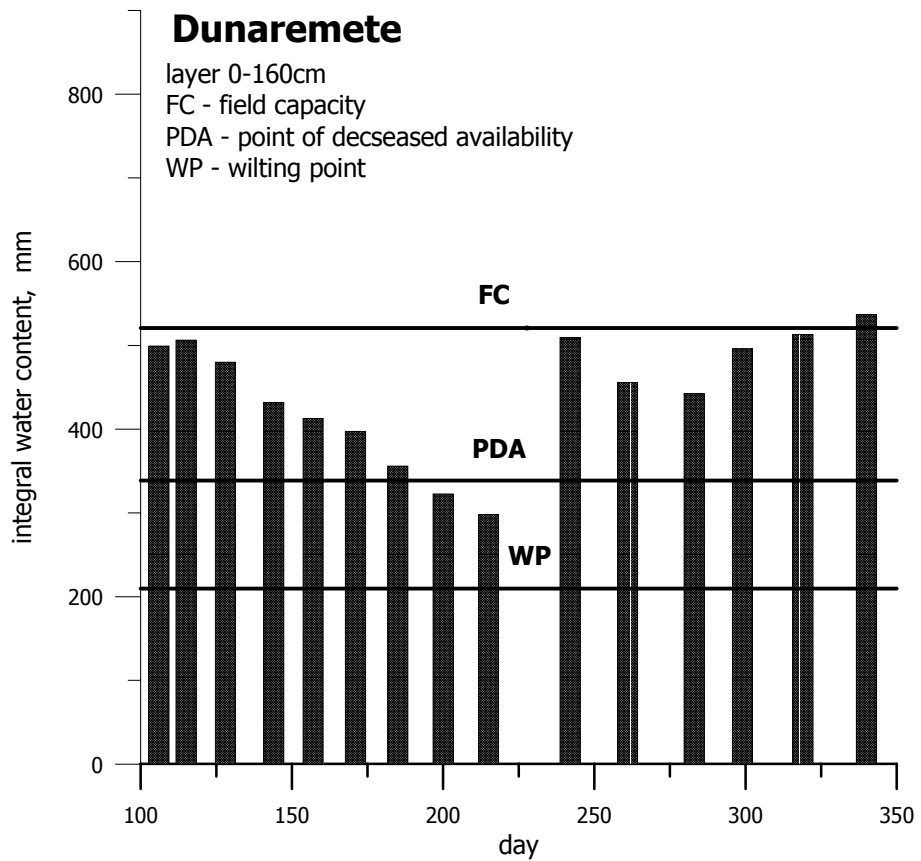
65. ábra: Az ábrán a meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából a 2002-es év vegetációs időszakára a 100-200 cm-es rétegben az ásványrári megfigyelő pontban.



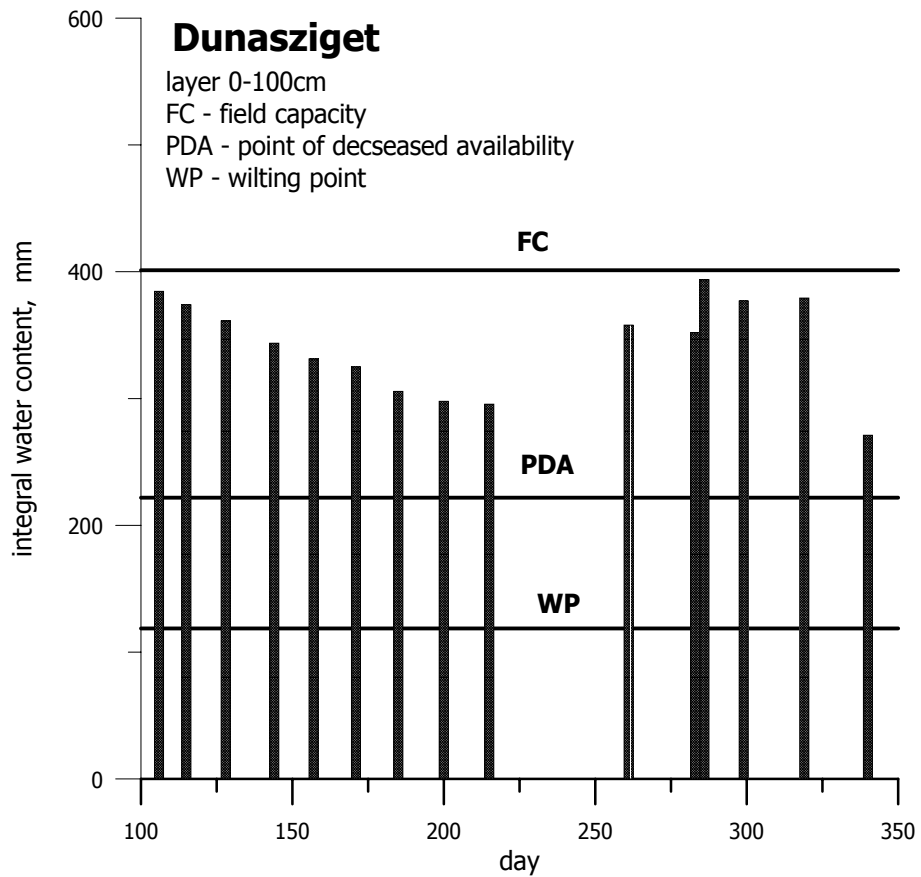
66. ábra: Az ábrán a meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából a 2002-es év vegetációs időszakára a 0-200 cm-es rétegben az ásványraro megfelelő pontban.



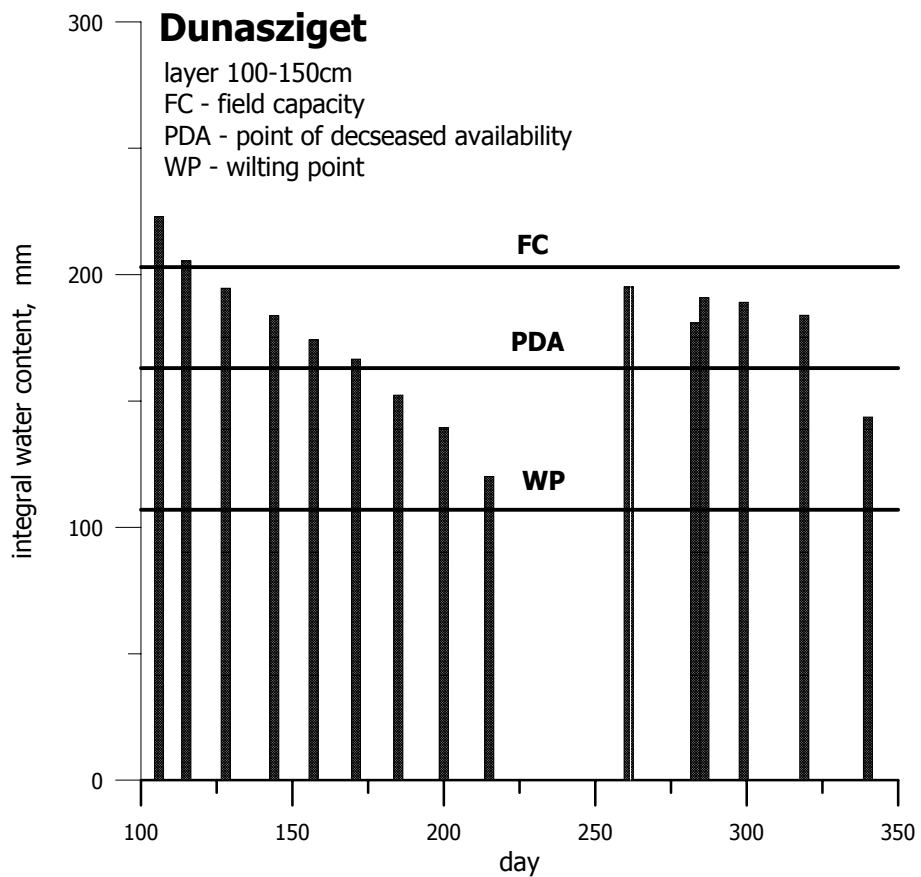
67. ábra: Az ábrán a meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából a 2002-es év vegetációs időszakára a 0-60 cm-es rétegben a dunaremete megfigyelő pontban.



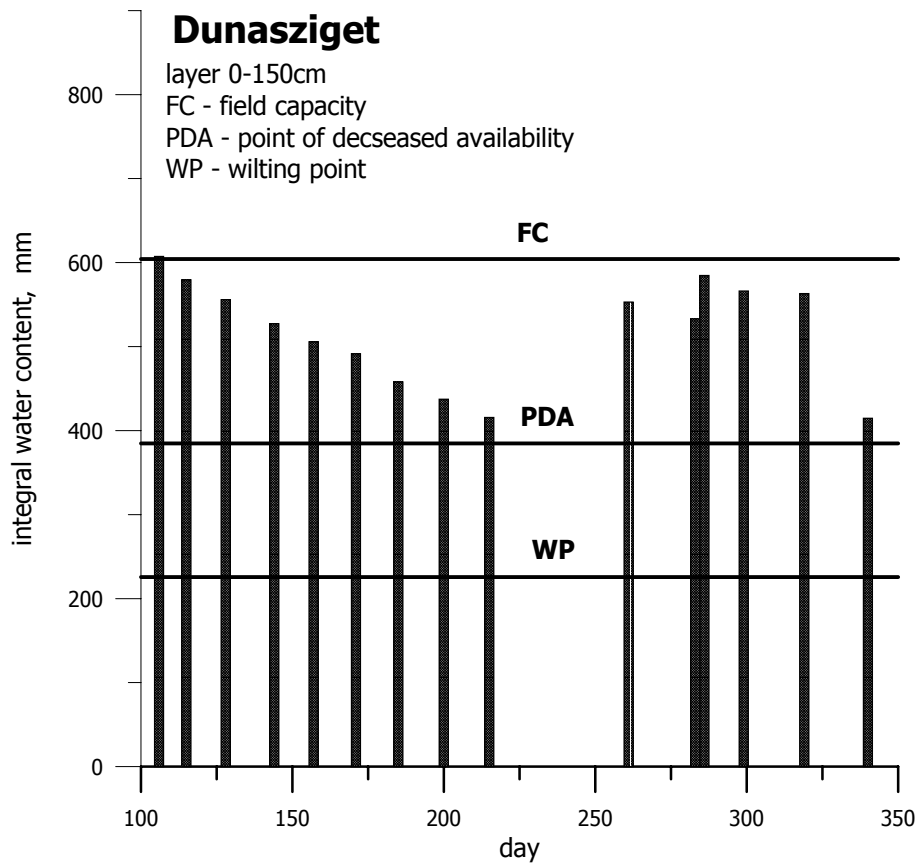
68. ábra: Az ábrán a meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából a 2002-es év vegetációs időszakára a 0-160 cm-es rétegben a dunaremetei megfigyelő pontban.



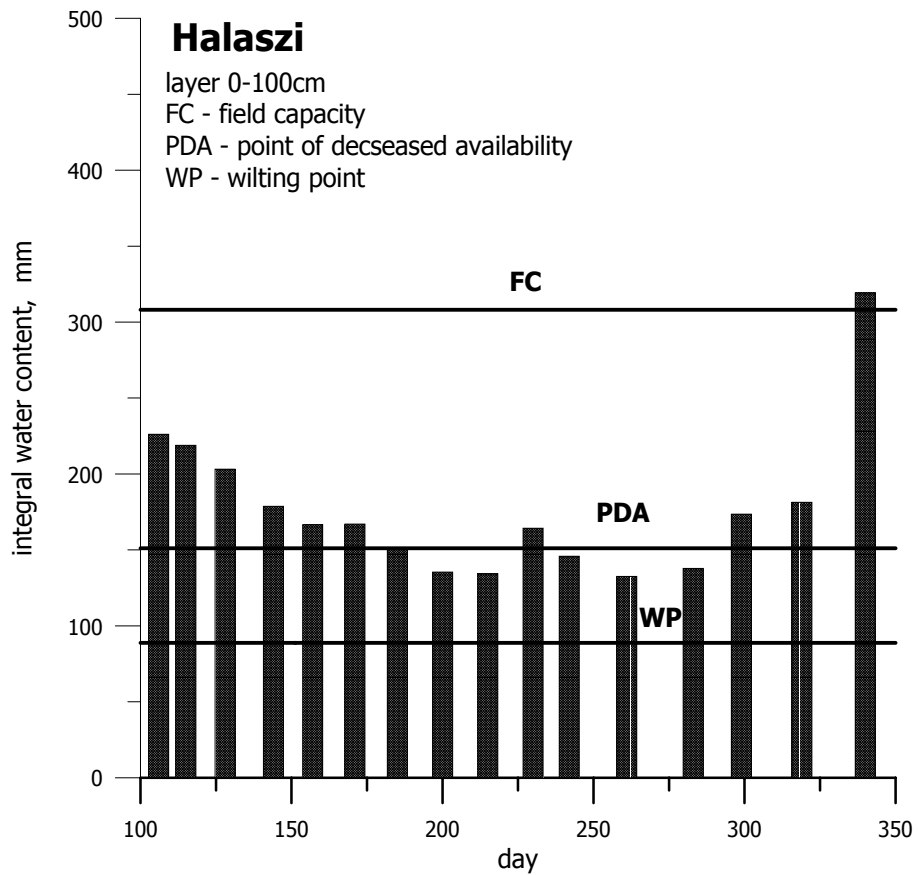
69. ábra: Az ábrán a meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából a 2002-es év vegetációs időszakára a 0-100 cm-es rétegben a dunaszigeti megfigyelő pontban.



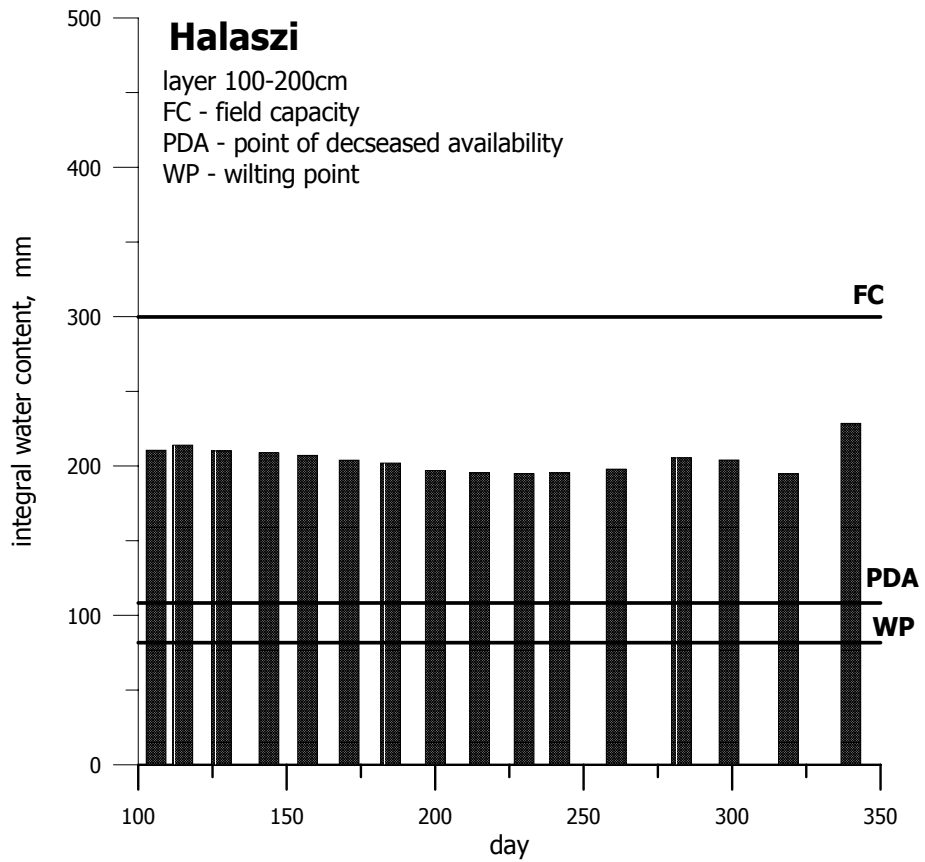
70. ábra: Az ábrán a meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából a 2002-es év vegetációs időszakára a 100-150 cm-es rétegben a dunaszigeti megfigyelő pontban.



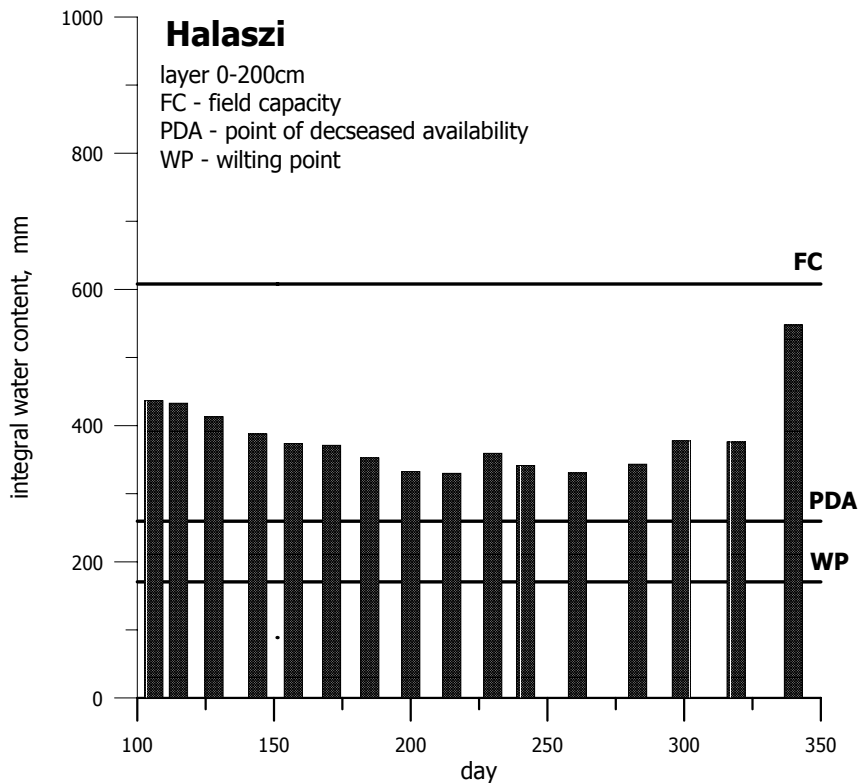
71. ábra: Az ábrán a meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából a 2002-es év vegetációs időszakára a 0-150 cm-es rétegben a dunaszigeti megfigyelő pontban.



72. ábra: Az ábrán a meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából a 2002-es év vegetációs időszakára a 0-100 cm-es rétegben a halászi megfigyelő pontban.



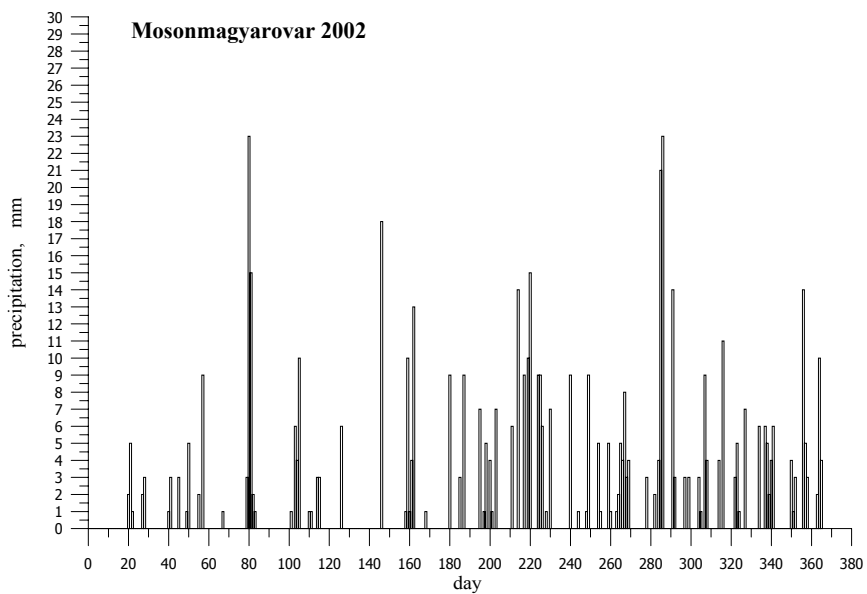
73. ábra: Az ábrán a meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából a 2002-es év vegetációs időszakára a 100-200 cm-es rétegben a halászi megfigyelő pontban.



74. ábra: Az ábrán a meteorológiai és klimatológiai tényezők által befolyásolt talajréteg integrált víztartalmának kiértékelése az egyes hidrodinamikai határértékek (FC, PDA, WP) szempontjából a 2002-es év vegetációs időszakára a 0-200 cm-es rétegben a halászi megfigyelő pontban.

Ezen kiértékelések és összehasonlítások alapján szintén megállapítható a talajnedvesség alakulása az egész vegetációs időszakban aktuálisan vagy visszamenőleg és az adatbázis felhasználásával konkrét intézkedéseket fogantathatunk. Ezen kívül arra is használhatjuk, hogy meghatározott feltételek mellett a tartalékok meddig elegendőek, vagy visszamenőleg, hogy hol, milyen hiány volt. Mindez a precíziós mezőgazdaságban arra jó, hogy tudjuk milyen

összetevők szükségesek az ideális nedvességállapothoz a növények fejlődése szempontjából.



75. ábra: A csapadék eloszlása a 2002-es évben.

7. Összefoglalás

A három talajnedvesség-mérési módszer összehasonlítása alapján megállapítottuk, hogy:

- 1, A **hidromolekuláris polarizáció elvét alkalmazó mérési módszer**, e munkában az intelligens szenzor (I szenzor) néven használt, **alkalmas a talajnedvesség mérésre**.
- 2, A neutronsondás és a gravimetrikus mérésekkel összehasonlítva a **korreláció a 0,85 és 0,94-es tartományban mozog**, ami azt jelenti, hogy a hidromolekuláris polarizációs (I szenzoros) mérési módszer **megfelel a pontossági követelményeknek**.
- 3, A mért talajnedvesség adatok a memória egységben egy éven át tárolhatók és tetszés szerint beállítható a kért adat időpontja, ami lehetőséget biztosít az adatok **tetszőleges visszakereshetőségére**, valamint a kívánt adatok **visszamenőleges megállapítására**.
- 4, Az I szenzor **folyamatosan mér** az időben és a mért elektronikus adathalmaz aktuális értéke bármely időpontban megállapítható.
- 5, A mért értékek a **számítógéphez moduláris formában, vagy rádióhullám segítségével juttathatók el**.
- 6, Az I szenzor által mért talajnedvességi értékek a **szántóföldi vízkapacitás részarányában (százalékában) kerülnek kifejezésre**.
- 7, A mérési módszer számítógépes program segítségével **képes irányítani a talajnedvesség alakulását** egy öntözőrendszer segítségével meghatározott tartományon belül.
- 8, A mérések **nem igényelnek** sem külön **szállítást**, **sem személyzetet** a mérés elvégzéséhez.
- 9, **Ajánlatos lenne a mért eredményeket térfogatszázalékban kifejezni**, mivel a gyakorlatban használt mérések így vannak feldolgozva, és az egyes eddigi talajvizsgálati eredmények is térfogatszázalékban vannak kifejezve.

A talajnedvesség mérések adatainak feldolgozásánál megállapítottuk, hogy:

- 1, Bevezettük a 3 hidrológiai határérték (**hidrolimit**) fogalmát.
- 2, Ezek a fogalmak: **szántóföldi vízkapacitás (FC, VK_{szf}), nehezen felvehető víz (PDA, VK_{nf}), fonnyadáspont (WP, VK_{fp}).**
- 3, A csallóközi és a szigetközi mérőpontok eredményeinek összehasonlítása után megállapítottuk, hogy a **talajnedvesség szezonális alakulása hasonló.**
- 4, **Kiértékeljük az integrális vízmennyiség alakulását** a vegetációs időszak folyamán a három hidrolimit szempontjából.
- 5, **Kiértékeljük a felhasználható integrális vízmennyiség alakulását** a tenyészidőszak szempontjából, figyelembe véve a termesztett növények összegzett napos, dekadikus, hónapos maximális vízigényét, és grafikusán összehasonlítottuk a rendelkezésre állóval. (Hasznos víz)
- 6, A két vizsgált területen (Csallóköz és Szigetköz) **összehasonlítottuk a talajnedvesség-háztartás szezonális alakulását** a mezőgazdaságilag intenzíven hasznosított területen, valamint az ártéri erdők területén.
- 7, A négy szigetközi megfigyelési pontban **kiértékeljük a talajnedvesség alakulását az egyes talajrétegek, meteorológiailag vagy klimatológiailag befolyásolt rétegek szempontjából** az integrált felhasználható talajnedvesség (hasznos víz) alakulását visszamenőleg a teljes vegetációs időszakra.
- 8, Az adott talajnedvesség (kiértékelt talajnedvesség mérések) alapján **megállapítottuk, hogy** a vegetációs időszak mely részében **mennyi volt a vízhiány vagy víztöbblet.**
- 9, A mérések eredményeinek a kiértékelése alapján visszamenőleg **megállapítható,** hogy a növények fejlődése szempontjából **mikor voltak a talajnedvességi viszonyok ideálisak, korlátozottak, vagy elégtelenek.**
- 10, Az értékelés alapján **megállapítható** különböző esetekben, **hogy** a vertikális rétegződés, a növényzet fenofázisai (fejlődési fázis) szempontjából **meddig vannak hasznosítható víztartalékok, vagy mennyi a vízhiány.**
- 11, Ugyancsak a talajnedvesség szezonális alakulása szempontjából **megállapítható,** **hogy** a különböző kultúrák által támasztott igények az adott talajtípusra megfelelőek-e, vagy nem, vagyis az adott területen **milyen növényfajok**

termeszthetőek a legnagyobb haszonnal, vagy az adott faj melyik modifikációjára alkalmasak a meghatározott feltételek.

Végezetül: a kiértékelés által kapott adatbázis elemzése új távlatot nyit a precíziós mezőgazdaság számára. Az aktuális helyzetkép felhasználásával lehet gyorsan és megfelelő hatékonysággal változtatni a meglévő feltételeket, a növénytermesztés szempontjából az ideális feltételek felé, ami a leggazdaságosabb termelést eredményezi, a legnagyobb haszon eléréséhez.

8. Publikációs jegyzék és felhasznált irodalom

8.1 Saját publikációk jegyzéke

1. BABEJOVÁ, DLAPA, LICHNER L., ŠTEKAUEROVÁ V., NAGY V.: Vplyv zmeny obsahu humínových kyselín na vodivosť a nasýtenú hydraulickú vodivosť pôdy. Acta Hydrologica Slovaca, 2000 no.2.
2. LICHNER L., HOUSKOKÁ B., NAGY V.: Variation of bypassing ratio in various field soils during a growing season. In: Gaál K. K., (ed.): CD Proc. 29 th Scientific Days in Mosonmagyaróvár, Mosonmagyaróvár, 2002, 5, s. (CD).
3. LICHNER L., HOUSKOVÁ B., SOBOCKÁ J., NAGY V.: Priestorová a časová variabilita hydraulických vlastností pôdy. X. posterový deň ÚH SAV a GFÚ, ÚH S
4. LICHNER L., NAGY V., ŠTEKAUEROVÁ V.: Assessing the impact of land use change on solute transport in soil. Pollution and water resources Columbia University Seminar Proceedings, Vol. XXXII. Halasi-Kun. G. J. et al. (eds). 2001, p. 187-199.
5. NAGY V., HOUŠKOVÁ B., LICHNER L.: Priestorová a časová variabilita hydraulických vlastností pôdy. In : Šír, M. et

al.(eds.):Zborník z medzinárodnej konferencie „Hydrologie pŕdy v malém povodí.“, ÚH AVČR Praha, 2003, p. 21-27.

6. NAGY V., HOUŠKOVÁ B., SOBOCKÁ J., LICHNER L.: Sezónné variácie hydraulickej vodivosti vo vybraných druhoch pôd Žitného ostrova. Acta Hydrologica Slovaca, A3, 2002, 2, s. 232-237.
7. NAGY V., KOSTKA Z.: Analyzis of coarse grained river sediments by photographic method. Pollution and water resources, Columbia University Seminar proceedings Volume XXX, Environmental protection of soil and water resources, 2000
8. NAGY V., KOSTKA Z.: Granulometric investigation along the Belá river channel, Pollution and water resources, Columbia University Seminar proceedings Volume XXXI, DRAVA VALLEY, 2001
9. NAGY V., ŠTEKAUEROVÁ V.: Posterový Deň s medzinárodnou účasťou “ Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda – rastlina – atmosféra” , CD ROM ,ÚH SAV- GFÚ SAV, 2003, p. 384-400.
10. ORFÁNUS T., NAGY V.: Priestorová organizovanosť vlhkosti v druhovo heterogénnych V Bratislava, 2002, s. 279-

285. pôdach Záhorskej nížiny. Prvé pôdoznalecké dni, Račková dolina, Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, Bratislava, 2002

11. ORFÁNUS T., NAGY V.: Variability of soil moisture in the field with heterogeneous soil cover. In: Gaál K. K. (ed.): CD Proc. 29th Scientific Days in Mosonmagyaróvár, Mosonmagyaróvár, 2002, s. 1CD.
12. ŠTEKAUEROVÁ V., NAGY V.: Influence of climate conditions on security necessary water for vegetation in various ecosystems. Pollution and water resource Columbia University Seminar Proceedings, The Hungarian Academy of Sciences, Department of Earth, Sciences and Agricultural Science, Budapest, Hungary, 2002, p. 324-337.
13. ŠTEKAUEROVÁ V., NAGY V.: Influence of climate conditions on security necessary water for vegetation in various ecosystem. In: Gaál K. K. (ed.): CD Proc. 29th Scientific Days in Mosonmagyaróvár, Mosonmagyaróvár, 2002, s. 10 CD.
14. ŠTEKAUEROVÁ V., NAGY V.: Vplyv klimatických podmienok zabezpečenosť porastu vodou v lokalitách Báč a

Bodíky. Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, Bratislava, 2001, 2/1, p. 58-63

15. ŠTEKAUEROVÁ V., NAGY V.: Dynamika zásob vody nenasýtenej oblasti pôdy v lokalitách Žitného ostrova v rokoch 1999-2000. IV. Vedecká konferencia v Michalovciach, ÚH SAV, Bratislava, VHZ ÚH SAV Michalovce, 2001, p. 243-247.
16. ŠTEKAUEROVÁ V., NAGY V.: Hodnotenie vodného režimu zóny aerácie pôdy v lokalitách Žitného ostrova. Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, 2003, 1, p. 65-73.
17. ŠTEKAUEROVÁ V., NAGY V.: Zabezpečenosť zóny aerácie pôdy vodou v lokalitách Bodíky (Žitný ostrov) a Dunasziget (Szigetköz) 2002, Poster, ÚH SAV, 2003, x.
18. ŠTEKAUEROVÁ V., NAGY V.: Zabezpečenosť zóny aerácie pôdy vodou v lokalitách Bodíky (Žitný ostrov) a Dunasziget (Szigetköz) 2002,
19. ŠTEKAUEROVÁ V., NAGY V.: Hodnotenie vodného režimu zóny aerácie pôdy v lokalitách Žitného ostrova. Konferencia s medzinárodnou účasťou “ Hydrológia na prahu 21. Storočia – Vízio a realita“, CD-ROM, ÚH SAV, 2003,p. 233-242.

20. ŠTEKAUEROVÁ, NAGY: Vplyv klimatických podmienok na zabezpečenosť porastu vodou v lokalitách Báč a Bodíky. Acta Hydrologica Slovaca, 2000 no.1.
21. ŠTEKAUEROVÁ, NAGY: Hydrofyzikálne charakteristiky pôd v lokalite Gabčíkovo. VII. Poster Day Bratislava, 2001.
22. ŠTEKAUEROVÁ, NAGY, ŠEMBERA: Porovnanie hodnôt nasýtených hydraulických vodivostí nameraných rôznymi metódami. Acta Hydrologica Slovaca, 2000 no.1.
23. ŠTEKAUEROVÁ V., ORFÁNUS T., NAGY V., ORFÁNUS T., STEHLOVÁ K. : Monitoring vlhkostných pomerov relevantného územia nad areálom SMÚ pre stanovenie zložiek vodnej bilancie s využitím matematického modelovania. Záverečná správa za rok 2001, ÚH SAV, Bratislava. 2002, 40s.
24. ŠTEKAUEROVÁ V., ŠÚTOR J., NAGY V., ORFÁNUS T., STEHLOVÁ K.: Monitoring vlhkostných pomerov relevantného územia nad areálom SMÚ pre stanovenie zložiek vodnej bilancie s využitím matematického modelovania. Priebežná správa 1-3 za rok 2002, ÚH SAV, Bratislava. 2002, 53s.

8.2 Felhasznált irodalom

Felhasznált Irodalom:

1. A MTA Meteorológiai Tudományos Bizottságának állásfoglalása a globális felmelegedésről. Környezet és Fejlődés. III. Évf., 6-7 sz., 1993.
2. ANTAL J.: Aplikovaná hydrológia, VŠP, Nitra. 1994.
3. ANTAL J.: Agrohdrologia.VSP.Nitra 1996.
4. Az Aszály elleni stratégia 15 pontja., Magyar mezőgazdaság., 58 évf., 33 sz., 2003.
5. BENETIN J.: Pohyb vody v zemine, Bratislava, SAV, 1958.
6. BENETÍN J.: Dynamika pôdnej vlahy, SAV, 1970.
7. BENETIN, J., ŠOLTESZ, A., ŠTEKAUEROVÁ, V.: Bilančný matematický model na podrobnú analýzu časovej variability zložiek vodného režimu pôd. Vodohosp. čas., 33, 585 – 609,1985.
8. BIELEK P.: Ochrana pôdy výzva pre budúcnosť. Zborník referátov z vedeckej konferencie1996.

9. BOGÁRDI J., PETRASOVITS I.: Öntözési és vízrendezési értelmező szótár., Akadémia kiadó, Budapest, 1980.
10. BOGARDI J.: Szakértői jelentés a MAGYAR-CSEHSZLOVÁK közös Dunai vízierőmű rendszeréről. Budapest 1962.
11. BOZIDAROVIC., CH. KAJEDZIKOV.: Zvláštnosti koreňového systému kukurice a jej agrotechnika. Medzinárodný zemedelský časopis. 1961 č. 5.
12. BUDAY ., SÁNHA A.: A globális felmelegedés gazdasági hatása
13. BULLA. A természeti erőforrásokkal való gazdálkodás. MTA, Ezredforduló, 2003/1.
14. BUZÁS I.: Talaj és agrokémia vizsgálati módszerkönyv, INDA kiadó, Budapest, 1993
15. BUZÁS I.: Talaj és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv. 1993 Budapest MTA-TAKI.
16. CZARNES, S., HALLETT, P. D., BENGOUGH, A. G., YOUNG, I. M.: Root- and microbial-derived mucilages affect

soil structure and water transport. Eur. J. Soil Sci., 51, 435 – 443,(2000).

17. D. KORDIK,L. LICHNER.: Metrologia vlhkosti tuhých látok.SAV-UH-Bratislava 1996.
18. DEÁK J. - LÁSZLÓ F. - LIBE P.: A felszín alatti vizek utánpótlásának, áramlási viszonyainak, szintjének és minőségének változása. MTA-Szigetközi munkacsoport összefoglaló. Mosonmagyaróvár, 2002.
19. DUB O.: Hydrológia, Hydrografia, Hydrometria, SVTL, Bratislava, 1957.
20. DUŠEK, M., VOGEL, T.: Modelování pohybu kadmia ve strukturních půdách. In: Zborník ved. konf. 1. Pedologické dni, Račková dolina 17. – 18.6. VÚPOP, Bratislava, 2002.
21. FARKAS CS.: A talajnedvesség-forgalom modellezése a talajfizikai tulajdonságok területi változatosságának és szezonális dinamikájának tükrében. PHD dolgozat MTA TAKI Budapest 2001.
22. FODOR I.: Környezetvédelem és regionalitás Magyarországon. DC.-kiadó. Pécs,2002.

23. FULAJTÁR, E., BARANČÍKOVÁ, G., ČURLÍK, J., SEDLÁKOVÁ, B., ŠURINA, B. : Vplyv vodného diela Gabčíkovo na poľnohospodárske pôdy. VÚ pôdnej úrodnosti, Bratislava, 204 s. 1998.
24. GERMANN, P.: Macropores and hydrologic hillslope processes. In: Anderson, M. G., Burt, T. P. (eds.): Process studies in hillslope hydrology. John Wiley, New York, s. 327 – 363(1990).
25. GOMBOŠ M., ŠÚTOR J., TALL A.: Vplyv zrnitostného zloženia pôd na koeficient ich lineárnej rozťažnosti. Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, Bratislava, 2001, 2, p.254 – 263.
26. GOMBOŠ M., ŠÚTOR J.: Kvantifikácia objemových zmien ťažkých kovov pôd VSN. Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, Bratislava, 2001, 1,p.120 – 128.
27. GUERRERO, C., MATAIX-SOLERA, J., NAVARRO-PEDRENO, J., GARCÍA-ORENES, F., GÓMEZ, I.: Different patterns of aggregate stability in burned and restored soils. Arid Land Research and Management, 15, 163 – 171, 2001.
28. HALASI – KUN G.J.: Environmental protection in agriculture of the Carpatian Basin. Volume XXIX. Pollution and Water

resources, Columbia University seminar Proceedings, 1995 – 1997.

29. HALASI - KUN J.: Computation of extreme flow and ground-water capacity. 1972 New York.
30. HEGEDÜS.: Mezőgazdaság és vízi környezet. Tudomány és mezőgazdaság 11. Évf. 6. Sz. 1972
31. HLAVČOVÁ, K., SZOLGAY, J., PARAJKA, J., ČUNDERLÍK, J. (2000): Modelovanie vplyvu zmeny klímy na režim odtoku v regióne stredného Slovenska. Národný klimatolog. program SR, 9/2000, 15-38.
32. HOLÝ M.: Závlahové stavby, SNTL – ALFA – Bratislava 1976.
33. HOUŠKOVÁ, B., LICHNER, L.: Časová variabilita nenasýtenej vodivosti pôdy. In: Ivančo, J. et al. (eds.): Zborník príspevkov z konf. Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia. Zemplínska Šírava 2001, s. 297-301.
34. HUZULAK J.: Ekologicko-fiziologická studia vodného režimu lesných drevín. Veda SAV 1981 Bratislava.

35. ISSS-ISRIC-FAO : World reference base for soil resources. World Soil Resources Reports, No. 84. FAO, Rome, 88 s,1989.
36. KLEMENTOVÁ, E., SKALOVÁ, J.: Dryland analyses. In: International Symposium "New approaches in irrigation, drainage and flood control management", Bratislava, CD-ROM, 6p,1999.
37. KOLTAI G., HEGEDUS F., PALKOVITS G., SCHUMMEL P.: A kukorica terméseredményei a talajvízszint és a tápanyagellátás függvényében a Szigetközben. Növénytermelés 2002 51/5.
38. KOLTAI G., HEGEDUS F., PALKOVITS G., SCHUMMEL P.: Az őszi búza terméseredményei a talajvíz szint és tápanyagellátás függvényében a Szigetközben. Növénytermelés 2002 51/1.
39. KORDÍK, D. , LICHNER, Ľ.: Metrológia vlhkosti tuhých látok. Bratislava, ÚH SAV 1996, 87 s.
40. KOSTKA Z., NOVÁK V.. Meranie obsahu vody v pôde metódou TDR. 1999 SAV.
41. KRAVČÍK M.: Voda pre tretie tisícročie.

42. KREJČA, M., KUTÍLEK, M.: Vyhodnocení terénního měření infiltrace výtopou (dvouválcová metoda). Vodní hospodářství (řada A), 38, 5, 123 – 129, 1988.
43. KUMANSKÝ J.: Voda v poľnohospodárstve., Štátne poľnohospodárske nakladateľstvo., Bratislava 1954.
44. KUTILEK M.: Vohospodarska pedologie. SNTL-Praha 1978.
45. KUTÍLEK, M., NIELSEN, D. R.: Soil hydrology. Catena, Cremlingen-Destedt, 370 s, 1991.
46. LAPIN, M., MELO, M., DAMBORSKÁ, I., GERA, M., FAŠKO, P.: Nové scenáre klimatickej zmeny pre Slovensko na báze výstupov prepojených modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry. Národný klimatolog. program SR, 8/2000, 5-34, 2000.
47. LAUREN, J. G., WAGENET, R. J., BOUMA, J., WÖSTEN, J. H. M.: Variability of saturated hydraulic conductivity in a Glossaquic Hapludalf with macropores. Soil Sci., 145, 20 – 28, 1988.

48. LICHNER, Ľ., ČIPÁKOVÁ, A.: Cadmium distribution coefficients and Cd transport in structured soils. *Rostl. Výr.*, 48, 2002, 3, 96 – 100.
49. LICHNER, Ľ., HOUŠKOVÁ, B.: Bypassing ratio and its measurement in macropore soil. *Rostl. Výr.*, 47, 2001, 6, 267 – 270.
50. LICHNER, Ľ., HOUŠKOVÁ, B.: Metódy merania obtokového podielu v pôde. In: Ivančo, J. et al. (eds.): Zborník príspevkov z konf. Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia. Zemplínska Šírava 2001, s. 272-275.
51. LICHNER, Ľ., HOUŠKOVÁ, B.: Metódy merania obtokového podielu v pôde. In: Ivančo, J. et al. (eds.): Zborník príspevkov z konf. Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia. Zemplínska Šírava 2001, s. 272-275.
52. LICHNER, Ľ., MÉSZÁROŠ, I., GERMANN, P., MDAGHRI ALAOUI A., ŠÍR, M., FAŠKO, P.: Impact of land-use change on nutrient fluxes in structured soils. In: Heathwaite, L. (ed.): *Proc. Int. Symp. Impact of land-use change on nutrient loads from diffuse sources*, Birmingham 1999. IAHS Publication No. 257, Wallingford 1999, p. 171 – 177.

53. LICHNER, Ľ. : K problematike merania nasýtenej hydraulickej vodivosti v pôde s makropórmami. J. Hydrol. Hydromech., 42, 6, 421-430, 1994.
54. LICHNER, Ľ., HOUŠKOVÁ, B.: Terénne meranie hydraulickej vodivosti pôd s makropórmami. Acta Hydrologica Slovaca, 2, 1, 40 – 46, 2001.
55. LICHNER, Ľ.: Estimation of bypassing ratio in macroporous soil. In: Clothier, B.E. – Voltz, M.Y. (eds.): Proc. 16th World Congress of Soil Science, Symp. no. 3: Mass and energy transfers in soils, CD by Cirad, Montpellier 1998, 7 p.
56. LICHNER, Ľ.: Estimation of bypassing ratio in macroporous soil. In: Clothier, B.E. – Voltz, M.Y. (eds.): Proc. 16th World Congress of Soil Science, Symp. no. 3: Mass and energy transfers in soils, CD by Cirad, Montpellier 1998, 7 p.
57. LICHNER, Ľ.: K problematike merania nasýtenej hydraulickej vodivosti v pôde s makropórmami. J. Hydrol. Hydromech., 42, 1994, 6, 421 – 430.
58. LICHNER, Ľ.: Vplyv makropórového prúdenia na prenos kadmia v pôde. J. Hydrol. Hydromech., 46, 1998, 3, 207 – 217.

59. MAJERČÁK, J., NOVÁK, V.: Simulation of the soil-water dynamics in the root zone during the vegetation period. I. Simulation model. J. Hydrol. Hydromech., 40, 3, 299 – 315, 1992.
60. MAJERČÁKOVÁ, O.: NKP: Hydrologický monitoring a modelovanie možných zmien mesačných odtokov. Národný klimatolog. program SR, 9/2000, 5-14, 2000.
61. MALLANTS, D., MOHANTY, B. P., VERVOORT, A., FEYEN, J.: Spatial analysis of saturated hydraulic conductivity in a soil with macropores. Soil Technol., 10, 115 – 131, 1997.
62. MANIAK S.: Concept for the itegration off diferent data bases in one geographic information system used in Precision Farming. Mosonmagyarovar2003.
63. MATI R., ŠÚTOR J., GOMBOŠ M.: Stanovenie vlhkosti ťažkých pôd VSN. Vedecké práce OVÚA, Michalovce, 2000,10.
64. MATI R., ŠÚTOR J., GOMBOŠ M.: Stanovenie vlhkosti ťažkých pôd VSN. Vedecké práce OVÚA, ÚH SAV, 2000, 25, p. 12.

65. MESTERHÁZI P.A. - PECZE ZS. - NEMÉNYI M.. A precíziós növényvédelmi eljárások műszaki-térinformatikai feltételrendszere. NÖVÉNYVÉDELEM, 2001 37/6.
66. MÉSZÁROS E., SCHWEITZER F.: Föld, víz, levegő., Magyar Tudománrtár., I kötet., Kossuth kiadó Budapest 2002
67. MKSPS. : Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska. Bazálna referenčná taxonómia. VÚPOP, Bratislava, 76 s, 2000.
68. MOLNÁR.: A Tiszántúl egyes területein előállt magasabb talajvízállás okainak vizsgálata., Beszámoló a VITUKI 1972 – es munkájáról BP., 1974.
69. MUCHA., V.ŠESTAKOV: Hydraulika podzemných vôd, SNTL, Praha, 1987.
70. NAGY JÁNOS., PEPÓ PÉTER.: Talaj, növény és környezet kölcsönhatásai. IV. Nemzetközi Tudományos szeminárium, DEAC, 2000.
71. NEMÉNYI M., PECZE ZS., MESTERHÁZI P.A., NÉMETH T.: A precíziós helyspecifikus növénytermelés műszaki és térinformatikai rendszere. NÖVÉNYTERMELÉS 2001 50/4.

72. NOVAK V.. Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania. Veda vyd. SAV 1995.
73. NOVÁK, V., ŠTEKAUEROVÁ, V.: Klimatická zmena a земеделství, VŠZ Brno, 27-31, 1994.
74. NOVÁK, V., ŠÚTOR, J., MAJERČÁK, J., ŠIMUNEK, J., VAN GENUCHTEN: Modeling of Water and Solute Movement in the Unsaturated Zone of the Žitny Ostrov Region, South Slovakia. Institute of Hydrology S.A.S. Bratislava - U.S.Salinity Laboratory, Riverside, 73 pp, 1998.
75. NYÍRI L.: Az aszálykárók mérséklése. Mezőgazdasági kiadó, Budapest 1997
76. ORFÁNUS T., SKALSKÝ R., ŠÚTOR J.: Priestorové spracovanie vlhkostných retenčných kriviek pôd Žitného ostrova a jeho využitie pre stanovenie zásob vody v zóne aerácie pôdy. Phytopedon, Journal of soil Science, Dpt. of Soil Sci. Fac. of Natural Science Comenius Univ. Volume 1. Supplement 2002/1, 2002, CD – ROM.
77. ORFÁNUS T., ŠÚTOR J.: Analysis of spatial organization of chosen physical properties of the soils. Geographical Research Abstracts, European Geophysical Society, 2001.

78. OROSZLÁNY: Vízgazdálkodás. Mezőgazdasági kiadó, Budapest, 1965
79. PALKOVITS G., KOLTAY R.. Mezőgazdasági megfigyelések. MTA Szigetközi munkacsoport összefoglaló 2002 Mosonmagyaróvár.
80. PECZE ZS., NEMÉNYI M., DEBRECZENI B., CSATHO P., ARENDAS T. Helyspecifikus tápanyag visszapótlás kukoricanövénynél. Növénytermelés 2001 50/2-3.
81. PEKÁROVÁ, P.: Zákonitostí kolísania priemerných ročných prietokov. Národný klimatolog. program SR, 9/2000, 39-57, 2000.
82. PETRÁSOVICS.: A talajvízmélység hatása a termés mennyiségére., Hidrológiai közlöny 40. Évf. 6 sz., 504-506.1960
83. PETROVIČ, P.(1994): Modelovanie evapotranspirácie a vhlkosti pôdy pre lužný les. In: Zb. z medzinárodného sympózia "Skúsenosti z využitia Slovensko-Maďarského úseku Dunaja", VV a SPV, Bratislava, Apríl 1994.

84. PICCOLO, A., MBAGWU, J. S. C. : Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. Soil Sci. Soc. Am. J., 63, 6, 1801 – 1810, 1999.
85. PUTARIČ V.: Hidrologija., Novi Sad.: Univerzitet u Novom Sadu 2003.
86. PUTARIČ V.: Rešeni zadaci iz Hidrologije. Univerzitet u Novom Sadu. 2000.
87. RAJKAI K.,KABOS S.: A talaj víztartóképesség-függvény tulajdonságok alapján történő becslések továbbfejlesztése. Agrokémia és talajtan 1999/48.
88. RAJKAI K., B. E. RYDEN.:Geoderma. Measuring areal soil moisture distribution with the TDR method. Geoderma , 1992.
89. RAJKAI K.: A talajfelszín nedvesség tartalmának mérése TDR-módszerrel. Hidrológiai közlöny. 1991 71/1.
90. RAJKAI K.: A talajfelszín nedvességtartalmának mérése TDR módszerrel, Hidrológiai közlöny 71., 1991
91. RAJKAI.:A talajok vízgazdálkodása. Doktori értekezés-kézirat. 2003.

92. SCHMIDT R, POCSAI K, SZAKAL P.: Soil Compaction Studies in Sugar Beet Growing in Hungary. 2nd Workshop on Subsoil Compaction, SZIU Godollo.
93. SCHMIDT R, SZAKAL P, KEREKES B, BENE L.: A talajok tömörödöttségének vizsgálata művelőutas cukorrépa-termesztési technológia alkalmazása esetén. CUKORRÉPA XVI.évf.1998/1.
94. ŠIMŮNEK, J., HUANG,, K., ŠEJNA, M., VAN GENUCHTEN, M.T., MAJERČÁK, J., NOVÁK, V., ŠÚTOR, J.: The HYDRUS-ET Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media. Version 1.1. The U.S. - Slovak Science and Technology Program, Project 92006 "Modelling of Water and Solute Movement in an Unsaturated Zone of Soil in the Zitny Ostrov Region (South Slovakia)", U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, California and Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovakia, 184s, 1997.
95. SINÓROS–SZABÓ B.: A talajnedvesség hatása a művelő gépcsoport munkaminőségi és energetikai jellemzőire csernozjom talajon. DAE MGF Kar, Mezőtúr, 1975.

96. SINÓROS–SZABÓ B.: A termőtalaj nedvesség változásának komplex megítélése a gépi művelés szempontjából., Agrártudományi Egyetem. Szarvas – Budapest., 1989.
97. SINÓROS–SZABÓ B.: Talajfizikai és művelés energetikai kölcsönhatások, Doktori értekezés, Nyíregyháza, 1992
98. SITKEI GY.: Gyakorlati áramlástan. Mezőgazdasági szaktudás kiadó, 1997, Budapest.
99. SKÁLOVÁ J., ŠÚTOR J., ŠTEKAUEROVÁ V.: Stanovenie vlhkostných retenčných kriviek zo zrnitostného zloženia pôdy. IV. Konf. S medzinárodnou účasťou, Vplyv vodohospodárskych stavieb na tvorbu životného prostredia, KHT SvF STU, Bratislava, 2001, p. 393 – 398.
100. SKÁLOVÁ J., ŠTEKAUEROVÁ V., ŠÚTOR J.: Využitie pedotransferných funkcií na určenie hydrolimitov. XIII. Bioklimatická konferencia, SBkS a ČBkS, Košice, 2000, 8.
101. SKÁLOVÁ J., ŠÚTOR J., ŠTEKAUEROVÁ V.: Assessment of soil hydrologic coefficients by pedotransfer functions. 21st. conference of the Danubian Countries, Bucurest, INMH, Bucurest, 2002, 7. strán. CD.

102. SKÁLOVÁ J., ŠÚTOR J., ŠTEKAUEROVÁ V.: Využitie fyzikálnych charakteristík pôdy na určenie vlhkostných retenčných kriviek pôdy. Vodohospodárske kolokvium, VUT, Brno, 2001.
103. STARR, J. L. : Spatial and temporal variation of ponded infiltration. Soil Sci. Soc. Am. J., 54, 629 – 636, 1990.
104. ŠTEKAUEROVÁ V..Hysterézia hydrofyzikálnych charakteristík pôdy a ich vplyv na proces redistribúcie. Kand. práca, Bratislava, 1988.
105. ŠTEKAUEROVÁ, V., NOVÁK, V., LICHNER, Ľ.: Position of the infiltration and redistribution front in an unsaturated soil: numerical simulation and tracer technique measurements. Soil&Tillage Research, 51, 1999, 25-33.
106. ŠTEKAUEROVÁ, V., NOVÁK, V.: Temperature dependence of drying branches of soil water retention curves. J. Hydrol.Hydromech., 44, 1996, 4, 223-234.
107. ŠTEKAUEROVÁ, V., SKALOVÁ, J. - ŠÚTOR, J.:Using of pedotransfer functions for assessment of hydrolimits. Rostlinná výroba,48, 2002 (9), 407–412.

108. ŠTEKAUEROVÁ, V.: Porovnanie hodnôt nasýtených hydraulických vodivosti nameraných rôznymi metódami. Acta Hydrol. Slovaca, 1, 135 – 142, 2000.
109. ŠTEKAUEROVÁ, V., ŠÚTOR, J., ŠEMBERA, T. (1997):: Measurement and interpretation of saturated hydraulic conductivity in the field conditions. EGS, XXII General Assembly, Annales Geophysicae, Part II, Volume 15, Vienna, April 21 - 25, 1997, C264.
110. ŠTEKAUEROVÁ, V.: Simulácia pohybu vody v poľnohospodársky využívanej pôde. J. Hydrol. Hydromech., 1998, 6, 417-429.
111. ŠTEKAUEROVÁ, V.: Simulation of water movement in field soil. Environmental protection of soil and water resources (Ed.G.J.Halasi-Kun), Columbia University seminar proceedings, Vol. XXX, 1999, 141-151.
112. ŠTEKAUEROVÁ, V.: Vplyv obsahu častíc I. Kategórie v pôde na niektoré parametre hysteréznej závislosti vlhkostného potenciálu od vlhkosti. Rostlinná výroba, 40, 1994, 481-490.
113. ŠÚTOR J., ŠTEKAUEROVÁ V.: Hydrofyzikálne charakteristiky pôd Žitného ostrova., ÚH SAV, Bratislava, 2000.

114. ŠÚTOR J., GOMBOŠ M., IVANČO J.: Charakteristiky ílovito-hlinitých pôd Východoslovenskej nížiny. I. Charakteristika variability pédov v puklinovej sieti. Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, 2001, 2, s. 206 – 214.
115. ŠÚTOR J., MAJERČÁK J., ŠTEKAUEROVÁ V.: Kvantifikácia zásob vody v zóne aerácie pôdy v poľnohospodárskych ekosystémoch. 2. Využitie súborov údajov z numerickej simulácie. Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, Bratislava, 2001, 2/1, p. 72 – 77.
116. ŠÚTOR J., MAJERČÁK J.: Kvantifikácia dynamiky zásob vody v nenasýtenej zóne pôdy ako súčasti hydrologického cyklu. In: Zborník z 5. Národnej konferencie. Hydrologické dny “Nové podnety a vize pro příští století” 5. Národní konference pod záštitou UNESCO, I. díl, ČVPH, SVPH, ČHMÚ, Plzeň.
117. ŠÚTOR J., MATI R., IVANČO J., GOMBOŠ M.: Časová a priestorová variabilita mocnosti zóny aerácie pôd VSN. IV. Vedecká konferencia “Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia”, ÚH SAV, 2001, p. 248 – 258.
118. ŠÚTOR J., SKÁLOVÁ J., ŠTEKAUEROVÁ V.: Pedotransférové funkcie pre stanovenie bodov vlhkostných retenčných kriviek pôd Záhorskej nížiny. Acta Hydrologica

Slovaca, ÚH SAV, Račianska 75, Bratislava, 2001,2/2, 156 – 160.

119. ŠÚTOR J., ŠTEKAUEROVÁ V. , MAJERČÁK J.: Klimatické zmeny a vodný režim zóny aerácie pôd v nížinných oblastiach Slovenska. I. Analýza vplyvu zvýšenia priemerných mesačných úhrnov zrážok. Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, Bratislava, 2002, 1. p. 129 – 142.
120. ŠÚTOR J., ŠTEKAUEROVÁ V., MAJERČÁK J.: Quantification of water store in soil aeration zone in agricultural ecosystem using data files from numerical simulation. 29th. scientific days in Mosonmagyaróvár, “Agricultural production – Quality of life, University of West Hungary, Faculty of agricultural and food sciences, Mosonmagyaróvár, 2002, 7 strán, CD.
121. ŠÚTOR J., ŠTEKAUEROVÁ V., MAJERČÁK J.: Quantification of water store in soil aeration zone in agricultural ecosystem using data files from numerical simulation. In: Gaál K.K.(ed)” CD Proc. 29th. scientific days in Mosonmagyaróvár, Mosonmagyaróvár, 2002, 7 strán, CD.
122. ŠÚTOR J., ŠTEKAUEROVÁ V., MAJERČÁK J.: Water Balance in Agricultural Ecosystems. Proceedings of 19th. European Regional Conference of ICID, “Sustainable Use of

Land and Water”. 4-8 June 2001 Brno and Prague, VÚVH Praha, CD – ROM, 2001, 8. Strán.

123. ŠÚTOR J., ŠTEKAUEROVÁ V.: Kvantifikácia zásob vody v zóne aerácie pôdy v poľnohospodárskych ekosystémoch. 1. Využitie súborov údajov získaných monitoringom. Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, Bratislava, 2001, 2/1,p.64 – 71.
124. ŠÚTOR J., ŠTEKAUEROVÁ V.: Pedotransfer functions of soils of the rye Island /South-West Slovakia/. Geophysical research abstracts 26 th General assembly. Vol. 3, CD 2001.
125. ŠÚTOR J., ŠTEKAUEROVÁ V.: Soil pedotransfer function of the rye Island natural environment. 29th. scientific day in Óvár Mosonmagyaróvár “Agricultural production – Quality of life, University of West Hungary, Faculty of agricultural and food sciences, Mosonmagyaróvár, 2002, 7 strán, CD.
126. ŠÚTOR J.: Chronoizoplety obsahu vody v zóne aerácie pôdy modifikované hydrolimitmi a ich využitie. Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, Bratislava, 2002, 2, p.238 – 246.
127. ŠÚTOR J.: Impact of Hydropower Plant Gabčíkovo upon the Surface Water Retention in the Rye Island /Žitný ostrov/. XX

Konferencia Podunajských krajín, Bratislava, September, SHMÚ, Bratislava, 2000, 10.

128. ŠÚTOR, J., MAJERČÁK, J., ŠTEKAUEROVÁ, V.: Quantification of water store in soil aeration zone in agricultural ecosystems using data files from numerical simulation. Pollution and water resources, Columbia University Seminar Proceedings, The Hungarian Academy of Sciences, Department of Earth, Science and Agricultural Science, Budapest, Hungary, 2002, 352-361.
129. ŠÚTOR, J. , ŠTEKAUEROVÁ, V.: Pedotransférne funkcie pôd prírodného prostredia Žitného ostrova. J. Hydrol. Hydromech., 47, 1999, 6, 443-458.
130. ŠÚTOR, J.: Spracovanie priestorovej variability hydrofyzikálnych charakteristík pôd. Hydraulické vlastnosti pôd. Vodohosp. Čas., 34, 3, 225 – 242, 1986.
131. ŠÚTOR, J.: Pôdna voda v systéme využiteľných vodných zdrojov. Vodohosp. Čas., 39, č.5-6, s.435-447, 1991.
132. ŠÚTOR, J. (1998): Monitorovanie, spracovávanie a interpretácia zásob vody v zóne aerácie pokryvnej vrstvy Žitného ostrova [Výskumná správa z monitoringu za roky 1989-1997], ÚH SAV, April 1998, zv.I. až zv.III., str.300.

133. ŠÚTOR, J. : Water storage monitoring in the aeration zone of soil and its interpretation. Environmental protection of soil and water resources (Ed.G.J.Halasi-Kun), Columbia University seminar proceedings, Vol. XXX, 1999, 152-159, 1999.
134. ŠÚTOR, J., REHÁK, Š. : Evaluation of disposable water supply in soil for biosphere in the area of Žitny ostrov. In: Scientific Papers of the Research Institute of Irrigation Bratislava, No 24, pp. 173-187, 1999.
135. ŠÚTOR,J., ŠTEKAUEROVÁ, V.: Hydrofyzikálne charakteristiky Žitného ostrova, ÚH SAV - ASCO, Bratislava , str.165, 2000.
136. SUTOR.,NOVAK.,PETROVIC.,SOLTESZ.,REHAK.:Monitorovanie, spracovanie, interpretacia zasob vody a jej chemizmu v zone aeracie pokrívnej vrstvy Žitneho ostrova.UH-SAV 1993.
137. SZALÓKY S.: A talajvíz hatása néhány szántóföldi növény fejlődésére és szerepe azok vízellátásában. Öntözéses gazdálkodás 11/2 Mezőgazdasági kiadó Budapest 1988.
138. SZOLLOSI. Talajok tömörödöttségi állapotának jellemzése penetrométeres vizsgálatokkal. PHD AC MK FTT Debrecen 2002.

139. SZŰCS M. GIS Based Soil Water Managment Map for the Szigetkoz Region of Hungary. Osiek 1998.
140. TAMÁS J.: Precíziós mezőgazdaság elmélete és gyakorlata. Mezőgazdasági szaktudás kiadó., Budapest 2001.
141. TORREY-D.T. J.G., CLARKSON: The development and funktion of roots.ACADENIK PRESSINC London 1975.
142. Transport vody,chemikalií a energie v systeme Pôda -Rastlina- Atmosfera.VII.Poster Day UH-SAV, 1999 Bratislava.
143. VÁCLAV HÁLEK ., JAN ŠVEC, Hydraulika podzemní vody, ACADEMIA Praha 1973
144. VÁLEK Z.. Lesní dřeviny jako vodohospodárský a protierózní činitel. ŠZN 1977 Praha.
145. VAN GENUCHTEN, M., TH. : A closed – form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44, 987 – 996, 1980.
146. VÁRALLYAI GY.: A Szigetközi talajtani kutatások eredményei. Szigetközi ankét, MHT KIADVANYA. 1992

147. VÁRALLYAY GY. : A talaj vízgazdálkodása, MTA, Budapest, 1987.
148. VÁRALLYAY GY.: A talaj vízgazdálkodása és a környezet., Magyar tudomány XLVI kötet 7 sz., 2001
149. VELEBNÝV., NOVÁK V.. Hydrológia. SVŠT SvF, 1989, BRATISLAVA.
150. VELEBNÝ.,NOVÁK.,SKALOVÁ.,STĚKAUEROVÁ.,MAJEŘČÁK.:Vodný režim půdy.STU?SvF Bratislava 2000.
151. WATSON, K. W., LUXMOORE, R. J.: Estimating macroporosity in a forest watershed by use a tension infiltrometer. Soil Sci. Soc. Am. J., 50, 3, 578 – 582, 1986.
152. XXIX. Óvári tudományos napok NYMEMEK, Összefoglaló, 2002.

9. Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet fejezem ki témavezetőmnek, Prof. Dr. **Neményi Miklós**nak, az e munkánál felmerülő problémák megoldásáért:

- A Szlovák Tudományos Akadémia Hidrológiai Intézetének a Nyugat-Magyarországi Egyetem Mezőgazdasági és Élelmiszertudományi Karával való tudományos együttműködés megvalósításáért, mely e munka létrejöttének egyik alapfeltétele volt.
- A mérőműszerek és az öt mérőhely beszerzéséhez és kialakításához szükséges jelentős anyagi fedezet megteremtéséhez és biztosításához.
- A mérőműszerek államhatáron való átszállításához szükséges engedélyek elintézéséhez.
- A munka során felmerülő különböző problémák gyors és precíz megoldásához és hogy munkámat az egész időszak alatt kitüntető figyelemmel kísérte és értékes szaktanácsokkal segítette a mielőbbi befejezését.

Továbbá Dr. **Vlasta Stekauerová**nak (Szlovák Tudományos Akadémia), aki szlovák részről kísérte figyelemmel munkámat, és biztosította a munkámhoz szükséges jelentős anyagi fedezetet, valamint szakmai tanácsokkal látott el.

Köszönetet mondok továbbá Prof. Dr. **Halasi-Kun György** akadémikusnak, aki az egyetem és az akadémia együttműködése kezdetétől figyelemmel kísérte, támogatta e munka létrejöttét és megvalósítását, és a tőle megszokott következetességgel, pontossággal és odaadással átsegített a sok buktatón és kritikus időszakokban együttműködést keresve témavezetőmmel mindig talált megoldást a felmerülő problémákra.

Köszönöm Dr. **Július Sútornak**, a Szlovák Tudományos Akadémia Hidrológiai Intézet Igazgatójának, valamint Prof. Dr. **Ördögh Vincének** (Nyugat-Magyarországi Egyetem) munkám anyagi támogatását.

Külön köszönet jár Prof. Dr. **Sinóros-Szabó Botond** és Prof. Dr. **Soltész András**nak a sok hasznos tanácsért a munka során.

Köszönöm Prof. Dr. **Schmidt Rezső**, Prof. Dr. **Szűcs Mihály** és Prof. Dr. **Kacz Károly** egyetemi tanároknak a szakmai tanácsokat.

Külön köszönet jár **Palkovits Gusztávnak** a Szigetközi kutatócsoport főmunkatársának, aki a munka kezdetétől aktív bekapcsolódással, a mérőpontok kiválasztásában való közreműködéssel, a szükséges adatok rendelkezésemre bocsátásával járult hozzá munkám sikeréhez.

Köszönöm **Koltai Gábornak**, **Zelmíra Stefunkovának**, **Orfánus Tamásnak** a méréseknél szükséges segítséget, a mérőcsövek mérőpontbeli lerakásától, mintavételnél, és a laboratóriumi feldolgozásban való részvételét.

Köszönöm **Szölősi Istvánnak** az I-szenzor letelepítését és üzembe helyezését az egyetem területén lévő közös mérőpontban.

Köszönöm édesanyámnak, **Füri Jolánnak** valamint feleségemnek **Helena Nagyovának** a munkámhoz szükséges háttér biztosítását.

Külön köszönet jár **Milics Gábornak** és **Nagy Mónikának** a technikai szerkesztésért.

Köszönet **Ing. Ales Svoboda CSc.** a Szlovák Tudományos Akadémia Hidrológiai Intézetének nyugalmazott főmunkatársának az angol fordítások elkészítéséért.

Végül külön köszönetemet fejezem ki a Rusovce-Rajkai, Vámosszabadi-Medvei **határátkelők személyzetének** a szükséges mérőműszerek határon való átszállításának egyszerűsítéséért, amely hozzájárult a mérések mindkét oldalon történő gyors elvégzéséhez.

Köszönöm végül mindazoknak a segítségét mind a magyar, mind a szlovák oldalon, akiket névszerint nem tudok felsorolni, akik biztatással, jó szóval, vagy más módon segítették e munka megvalósulását.