

DOKTORI ÉRTEKEZÉS



Extenzív zöldtetők, és azokon alkalmazott egyes *Sedum* fajok komplex értékelése

Készítette:

Szóke Andrea

Budapesti Corvinus Egyetem
Kertészettudományi Kar
Dísznövénytermesztési és Dendrológia Tanszék

Budapest
2015

A doktori iskola megnevezése: Kertészettudományi Doktori Iskola

tudományága: Növénytermesztési és kertészeti tudományok

vezetője: Tóth Magdolna, DSc
egyetemi tanár
Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar,
Gyümölcstermő Növények Tanszék

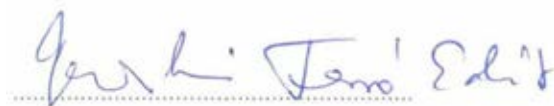
témavezetői: Gerzson László, PhD
egyetemi docens
Tájépítészeti Kar,
Kert- és Szabadtér Tervezési Tanszék

Forró Edit egyetemi docens, PhD
egyetemi docens
Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar,
Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés védési eljárásra bocsátható.



Dr. Tóth Magdolna
doktori iskola vezető



Dr. Gerzson László Dr. Forró Edit
témavezetők

A Budapesti Corvinus Egyetem Élettudományi Területi Doktori Tanácsának 2015. december 08-án kelt határozatában a nyilvános vita lefolytatására az alábbi bíráló Bizottságot jelölte ki:

BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG:

Elnöke:

Rimóczi Imre, DSc

Tagjai:

Höhn Mária, CSc

Kohut Ildikó, PhD

Dunkel Zoltán, PhD

Jäger Katalin, PhD

Szabóné Erdélyi Éva, PhD

Opponensek:

Lévai Péter, CSc

Stefanovitsné Bányai Éva, DSc

Titkár:

Kohut Ildikó, PhD

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS	6
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	10
2.1. Zöldtetők kialakulása és történeti előzményei	10
2.2. Növényi felületek szerepe a meteorológiai elemek változásában	12
2.3. Zöldfelületek, zöldtetők szerepe a városklíma klímáparamétereinek megváltozásában	17
2.4. Zöldtető típusok definiálása, jellemzése, összehasonlítása	30
2.5. Az extenzív zöldtetők	33
2.5.1. Extenzív zöldtetők felépítése, rétegrendek és funkciók	33
2.5.2. Extenzív zöldtetők közegkeverékei, komponensei, rétegvastagságai	36
2.5.3. Extenzív zöldtetők mennyiségi és minőségi vízparaméterei	39
2.5.4. Extenzív zöldtetőkön alkalmazott fajok feltételei és alkalmazása	41
2.6. <i>Sedum</i> fajok jellemzése	44
2.6.1. <i>Sedum</i> fajok botanikai jellemzése	44
2.6.1.1. <i>Sedum</i> fajok rendszertani helye	44
2.6.1.2. <i>Sedum</i> fajok általános morfológiai és szövettani jellemzése	45
2.6.2. <i>Sedum</i> fajok speciális anyagcsere folyamatai, élettani sajátosságok, kémiai anyagok	46
2.6.3. <i>Sedum</i> fajok szaporodási és szaporítási lehetőségei	48
2.6.4. Őshonos és dísnövényként termesztett <i>Sedum</i> fajok	48
2.7. Zöldtetők létesítésének hazai helyzete	51
3. CÉLKITŰZÉSEK	53
4. ANYAG ÉS MÓDSZER	57
4.1. A kísérlet anyaga	57
4.1.1. Kísérleti terv, fajok, csurgalékvizek, közegek	57
4.1.2. Kísérleti tető, felépítés, rétegrend, helyszín és időtartam	59
4.1.3. Zöldtetőkataszter bemenő adatai	60
4.2. A vizsgálatok módszerei és eszközei	61
4.2.1. Növényfajokkal kapcsolatos minőségi és mennyiségi mérések	61
4.2.1.1. <i>Sedum</i> fajok szövettani vizsgálatai	61
4.2.1.2. <i>Sedum</i> fajok klorofill-a, klorofill-b és összes karotinoid tartalom meghatározása	62
4.2.1.3. <i>Sedum</i> fajok antioxidáns anyagainak meghatározása	62
4.2.1.4. <i>Sedum</i> fajok növekedési ütemének és dinamikájának meghatározása	64
4.2.1.5. Az extenzív kísérleti tetőn megjelenő gyomfajok vizsgálata	64
4.2.2. Csurgalékvizek minőségi és mennyiségi jellemzése	65
4.2.2.1. Csurgalékvizek elemanalitikai vizsgálatai kapcsolat analitikai módszerekkel	65
4.2.2.2. Csurgalékvizek multikritériumos elemanalitikai rangsorolása és csoportosítása	66
4.2.2.3. Csurgalékvizek átfolyó mennyiségének és a csapadék visszatartás meghatározása	67
4.2.3. Közegkeverékekkel kapcsolatos minőségi és mennyiségi jellemzés	68
4.2.3.1. Közegkeverékek általános fizikai vizsgálata	68
4.2.3.2. Közegkeverékek specifikus fizikai vizsgálata	68
4.2.3.3. Közegkeverékek általános kémiai vizsgálata	70
4.2.3.4. Közegkeverékek tömörödésének vizsgálata	70
4.2.4. Zöldtetőkataszter statisztikai vizsgálata	71
5. EREDMÉNYEK	72
5.1. A <i>Sedum</i> fajokkal kapcsolatos minőségi és mennyiségi mérések eredményei	72
5.1.1. <i>Sedum</i> fajok szövettani eredményei	72
5.1.2. <i>Sedum</i> fajok klorofill-a, klorofill-b és összes karotinoid tartalmának eredményei	77
5.1.3. <i>Sedum</i> fajok antioxidáns anyagainak eredményei	79
5.1.4. <i>Sedum</i> fajok növekedési ütemének és dinamikájának eredményei	81
5.1.5. Az extenzív kísérleti tetőn megjelenő gyomfajok vizsgálatának eredményei	86
5.2. A csurgalékvízzel kapcsolatos minőségi és mennyiségi mérések eredményei	90

5.2.1. Csurgalékvizek elemanalitikai eredményei kapcsolat analitikai rendszerekkel	90
5.2.2. Csurgalékvizek elemanalitikai rangsorolása és csoportosítása	95
5.2.3. Csurgalékvizek átfolyó mennyiségének és a csapadék visszatartás eredményei	98
5.3. A közegekkel kapcsolatos minőségi és mennyiségi mérések eredményei.....	99
5.3.1. Közegkeverékek általános fizikai vizsgálatának eredményei	99
5.3.2. Közegkeverékek specifikus fizikai vizsgálata.....	101
5.3.3. Közegkeverékek általános kémiai vizsgálatának eredményei	102
5.3.4. Közegkeverékek tömörödésének üteme és jelleggörbéi	104
5.4. A zöldtetőkataszter statisztikai elemzésének eredményei.....	108
5.4.2. Zöldtetőkataszter intenzív zöldtető mennyiségének statisztikai modellezése	111
5.4.3. Zöldtetőkataszter összes zöldtető mennyiségének statisztikai elemzése.....	114
6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	118
7. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	119
8. ÖSSZEFOGLALÁS.....	124
9. SUMMARY	126
MELLÉKLETEK.....	128
M1. Felhasznált irodalom	128
M2. Fővárosi Állat- és Növénykert Sedum gyűjteménye	143
M3. A közegkeverékekben alkalmazott föld általános kémiai és fizikai paraméterei	144
M4. Zöldtető kivitelező és –tervező cégek listája	145
M5. Sedum fajok különböző közegeken mért antioxidáns kapacitásainak statisztikai eredményei ..	146
M6. Sedum fajok növekedési jelleggörbéinek regressziós diagnosztikája és feltételvizsgálata	150
M7. Sedum fajok növekedésére ható paraméterekre végzett MANOVA többváltozós tesztjei.....	160
M8. Közegkeverékek általános fizikai tulajdonságainak elemzése és szignifikáns differenciái.....	162
M9. Közegkeverékek specifikus fizikai tulajdonságainak elemzése és szignifikáns differenciái.....	166
M10. Közegkeverékek általános kémiai tulajdonságainak elemzése és szignifikáns differenciái	173
M11. Közegkeverékek tömörödési jelleggörbéinek regressziós diagnosztikája és feltételvizsgálata	181
Köszönetnyilvánítás	184

1. Bevezetés

A mai városokban fokozott igény jelentkezik a zöldfelületek megtartására, újak kialakítására. A városokban levő zöldfelületek szerepe a túlzott beépítés, a fokozódó széttelepülési formák, a népességszám növekedése, az építkezés, és a különböző infrastrukturális beruházások területigénye miatt felértékelődött. A mai városiasodást alapvetően a művi elemek túlsúlya határozza meg. A zöld szemlélet elvi megközelítésével rendszerint egyetértenek a döntéshozók/választók, gyakorlati megvalósulását sokszor gazdasági-társadalmi folyamatok determinálják (Láng, 2004).

Az ENSZ népesség becslése alapján 2015-ben több mint 7,32 milliárd fő lakik összesen a Földön, amely folyamatosan növekszik és 2050-re eléri a 9,55 milliárd főt. A kontinensek nagyság szerinti sorrendje jelenleg a következő: Ázsia, Afrika, Európa, Közép- és Dél-Amerika, Észak-Amerika, Ausztrália és Óceánia. Az előrejelzések szerint azonban 2034-ben Közép- és Dél-Amerika már meg fogja előzni Európát. A kontinensek növekedési dinamikái jelentős eltéréseket mutatnak. 2050-ig a legnagyobb létszámú növekedést Afrika és Ázsia mutatja (1.táblázat).

















1. táblázat. A világ népessége kontinensek szerinti bontásban 1950-2100-ig (forrás: ENSZ, World Population Prospects: The 2012 Revision)

	2000	2015	2050	2100
Afrika	808 304 337 fő	1 166 239 306 fő	2 393 174 892 fő	4 184 577 429 fő
Ázsia	3 717 371 723 fő	4 384 844 097 fő	5 164 061 493 fő	4 711 514 029 fő
Európa	729 105 436 fő	743 122 816 fő	709 067 211 fő	638 815 665 fő
Észak-Amerika	315 417 102 fő	361 127 819 fő	446 200 868 fő	513 064 564 fő
Közép- és Dél-Amerika	526 278 228 fő	630 088 917 fő	781 566 037 fő	736 228 405 fő
Ausztrália és Óceánia	31 223 602 fő	39 359 270 fő	56 874 390 fő	69 648 478 fő
Összesen:	6 127 700 428 fő	7 324 782 225 fő	9 550 944 891 fő	10 853 848 570 fő

A világ népességének növekedése mellett a népesség városokba történő áramlása világméretű trenddé vált. A városi települések növekedése mellett a városokban élők száma is dinamikusan emelkedik. Míg 1900-ban a világ lakosságának 13,6%-a, 1950-ben a világ lakosságának 29,2%-a, 2000-ben 46,6%-a míg 2050-re pedig a prognózisok szerint a 75%-a él majd városokban. A jelenlegi tendenciákat figyelembe véve tovább erősödik az emberi beavatkozás: újabb területek felparcellázása, zöldfelületekhez képest a burkolt és beépített területek növekedése, növekvő levegő szennyezettség és erősödő környezeti ártalmak (Láng, 2004; Unger és Sümeghy, 2002).

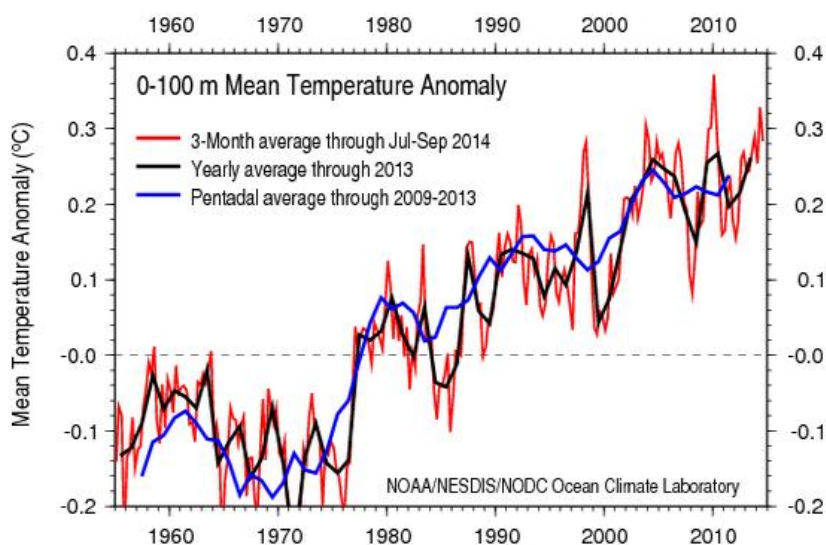
A növekvő népesség igényeit kiszolgálni tudó urbanizációs folyamatoknak köszönhetően a nagyvárosok/metropoliszok folyamatos terjeszkedése miatt saját agglomerációjukat is bekebelezik. A fokozódó széttelepülési formáknak köszönhetően a kisvárosokból nagyvárosok a nagyvárosokból metropoliszok fejlődnek. A tendenciákat felismerve várható, hogy belátható időn belül több meglevő metropolisz (> 5 millió lakos) összenövése, összeolvadása. 2015-ben közel 60 metropolisz létezik, amelyeknek a száma várhatóan tovább növekszik. A világ legnagyobb megavárosai (2. táblázat).

2. táblázat. A világ 25 legnagyobb metropoliszának lakossága (forrás: internet, 1)

Metropoliszok	Ország	Zászlók	Hivatalos lakosság (fő)
Tokió	Japán		37 800 000
Szöul	Dél-Korea		25 620 000
Shanghaj	Kína		26 750 000
Karacsi	Pakisztán		25 500 000
Delhi	India		21 753 486
Mexikóváros	Mexikó		21 600 000
Peking	Kína		21 148 000
Sao Paulo	Brazília		21 200 000
New York	Egyesült Államok		20 144 225
Mumbai	India		20 748 395
Osaka-Kobe-Kiotó	Japán		20 123 000
Dzsakarta	Indonézia		20 000 000
Lagos	Nigéria		17 390 000
Kairó	Egyiptom		16 292 269
Kolkata	India		16 000 000
Moszkva	Oroszország		15 512 000
Isztambul	Törökország		14 160 467
Teherán	Irán		13 828 365
London	Egyesült Királyság		13 614 409
Los Angeles	Egyesült Államok		13 131 431
Buenos Aires	Argentína		12 801 364
Dhaka	Bangladesh		12 797 394
Párizs	Franciaország		11 978 363
Rio de Janeiro	Brazília		11 973 505
Manila	Fülöp Szigetek		11 855 975

Az urbanizációs folyamatok összefoglalhatóak az alábbi felsorolásban: világ lakosságának exponenciális növekedése, az emberiség nagyobb hányada városokban él, a városok mérete ezzel párhuzamosan nő, városok összenövése, növekvő motorizáció, épületek növekvő energiafogyasztása, természetes ökoszisztémák felszámolása, globális klímaváltozás, szélsőséges időjárási viszonyok terjedése, mediterráneum és Közép-Európában anticiklonális, makroszinoptikus folyamatok, szennyezőanyag kibocsátás nő. Budapest lényegében összenőtt a peremtelepülésekkel, de más nagyvárosokra is ez a tendencia jellemző (Oláh, 2012). Az ENSZ által 2014. december 3-án Limában megrendezett klímakonferenciáján a Világ Meteorológiai Szervezetben (World Meteorological Organization, WMO) a világ több mint 190 országának képviselőinek konszenzusos megállapítása az volt, hogy az emberi tevékenység okozta globális felmelegedés folyamatos és folyamatosan növekvő tendenciájú (1. ábra):

- mérések kezdete óta a 15 legmelegebb évből 14 a XXI. századra esett,
- Föld átlaghőmérséklete a január-októberi időszakban 0,57 Celsius-fokkal volt, magasabb az átlagosnál, az óceánok átlaghőmérséklete is rekordot döntött,
- a légkörben fellelhető gázalmazállapotú vegyületekből napjainkban több található, mint az ipari forradalom kezdete előtt (szén-dioxid aránya: +142%; metán: +253%; nitrogén-dioxid: +121%),
- Nemzeti Óceán és Atmoszféra Hivatal (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) üvegház gáz indexe 1990-2013 között 34%-ot növekedett, melyek közül a széndioxid egyedül 80%-ot.



1. ábra. Óceánok átlaghőmérsékletének alakulása (forrás: internet, 2)

A zöldfelületek legfőbb jellemzői, hogy oxigént termelnek, port kötnek meg, a zaj- és rezgésártalmakat csökkentik. A zöldfelületek hozzájárulnak a helyi és a városi klíma javításához, vizet tárolnak, amely párologtatásával csökkentik a városokra jellemző hősziget jelenséget, valamint nagymértékben tehermentesítik, csökkentik a városi csatornahálózatot. A zöldfelületek életteret nyújtanak az élőlényeknek, rekreálódási lehetőséget biztosítanak az embereknek és nem utolsósorban a városképét változtatossá teszik. Sajnos, – azon túl, hogy a zöldfelületek az utóbbi 50 évben csökkentek a világ nagyvárosaiban és a mai nagyvárosokban – a zöldfelületek fokozott igénybevételnek vannak kitéve, így egyre nehezebben tudják betölteni ökológiai, környezetüket kondicionáló, vizuális-esztétikai, összetett funkciójukat, szerepüket (Li és Yeung, 2014).

Az urbanizációs folyamatokat tekinthetjük egyrészt kockázatoknak. Így ennek köszönhetően a forgalom növekedéséhez, az ipari termelés nagy koncentrációjához, ökológiai túlterheléshez, szabályozatlan és eltérő föld- és ingatlanpiacok létrejöttéhez, elégtelen lakásfejlesztéshez és bizonyos esetekben a kirívó szegénység és gazdagság egymás mellett éléséhez vezethet. Másrészt tekinthetünk potenciális lehetőségként (új zöldfelületek, a zöldtetők és a zöldfalak létrehozásának felületeként) az újonnan létrejövő ember által létrehozott burkolt felületekre.

A terminológia szerint a zöldtető olyan növényzettel telepített tető, amelyben az épületszerkezet, a tetőszigetelés rétegei, valamint a kertészeti felépítmény szerves egységet alkotnak. Zöldtetőnek nevezzük azokat a növényzettel borított födémeket, ahol a kertészeti és a szigetelési rétegek egységet képeznek. Más megfogalmazásban a zöldtető vegetációs réteggel borított és védett, műszakilag és biológiailag egyaránt tartósan kialakított szerkezet (FLL 2002; Hidy et al., 1995).

A zöldfalat kifejezetten a kevés vízszintes zöldfelülettel rendelkező városokra találták ki. A növényekkel befuttatott, beültetett függőleges felületeket elsősorban falakon, homlokzatokon alkalmazzák. A levegőminőség és mikroklima javítása mellett homlokzati védelmet biztosítanak az erős esőzések ellen, valamint épületenergetikai hatásuk is pozitív (Somfai, 2011).

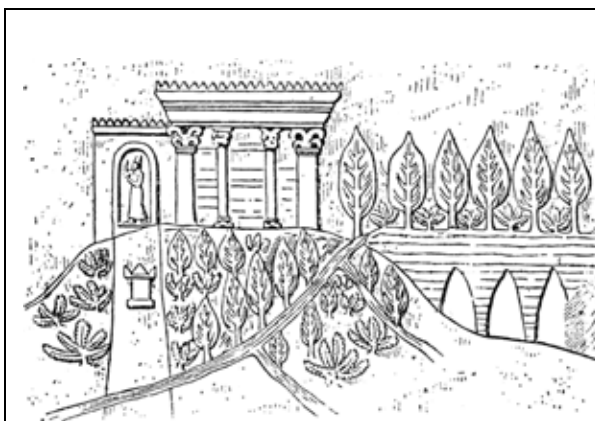
Munkámban egy speciális területtel, az extenzív zöldtetőkkel foglalkozom, ezért a bevezetőben ezen tetők sajátosságaira térek ki. A szakirodalmi áttekintésben ezek osztályozását, jellemzőit részletesen bemutatom. Az extenzív zöldtetők a szélsőséges meteorológiai értékeket egyenlítik ki a betelepített zöldtető alatt és felett egyaránt. Egyéb funkciói mellett (esztétikai, építészeti, ökológiai) külön kiemelik a zöldtetők, városok vízháztartásban betöltött szerepét. A zöldtetők vízhasznosító és puffer jellege miatt a kertészeti felépítménynek – ültetőközeg és vegetációs réteg – köszönhetően az esőzési csúcsok csökkenthetők, ezáltal a csatornahálózat mentesül a nagy esőzések alkalmával. A növények párologtatása hőt von el, csökkentve a leburkolt nagy felületeknek köszönhetően a városokban gyakran kialakuló hősziget jelenségét. A városi klíma negatív hatásainak mérséklésére zöldterületeket, zöldtetőket létesítenek a világ különböző régióiban (Wong et al., 2003).

2. Irodalmi áttekintés

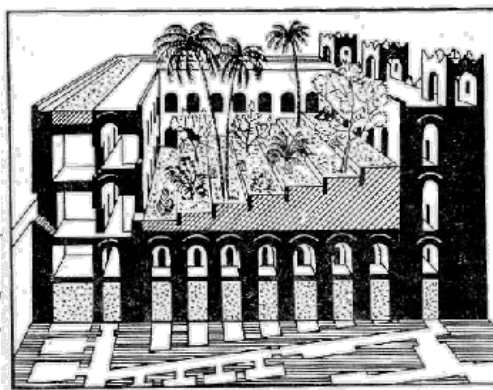
A doktori kutatási témám kidolgozásának alapját a szakirodalmi adatok – folyóiratok, tankönyvek, szakkönyvek, hazai és nemzetközi konferencia kiadványok, gyakorlati zöldtetőépítési útmutatók, kutatóintézetek kutatóival történő szakmai megbeszélések, akkreditált vizsgáló laboratóriumok mérési módszerei, Országos Meteorológiai Szolgálat tanulmányai, adatai, internetes források (EBSCO, Web of Science, Science Direct) – feldolgozása jelentette. Mivel dolgozatom célkitűzései több tudományterületet érintenek, így a feldolgozott szakirodalomban is törekedtem az interdiszciplináris megközelítésre.

2.1. Zöldtetők kialakulása és történeti előzményei

A tetőkertek története az ókorig nyúlik vissza. Az első tetőkertet/függőkertet a babilóniaiaknak és az asszíroknak tulajdonítják (Peck, 2002). Az egyik leghíresebb függőkert Szemirámisz királyné függőkertje, amelynek kialakulásának történetével kapcsolatban több elmélet is létezik. A görög történetírók leírásai szerint a babilóniai síkság ura, Nabukodonozor (II. Nabú-kudurri-uszur) babilóniai király építtette a hegyes Médiából származó Amüthisz (Amythis) királynőnek, honvágya csillapításául. Az Eufrátesz két partján épült teraszokon álltak a függőkertek és a folyóból szivattyúzott vízzel öntözték. A kertek 480 m oldalhosszúságú négyzet alapon emelkedtek. A teraszok lépcsőzetes kialakításúak voltak, amelyekre hatalmas földmennyiséget terítettek és ebbe ültették bele a különböző növényeket. Az így kialakított teraszok végül erdővel benőtt hegyet imitáltak. A növényalkalmazás többek között a következő növényekből állt: rózsza, gránátalma, füge, mandula, dió, vízililiom. A nagy súlyú fákat az oszlopok felett helyezték el a statikai teherbírás miatt. Szigetelőanyagként kátrányt alkalmaztak **(2-3. ábra)**. Az egyiptomiak síkon létesített kertjeivel szemben Szemirámisz királyné függőkertje a kor egyik technikai vívmánya volt, így a Gízai piramisok, az epheszoszi Artemisz-templom, a Pheidiasz olümpiai Zeus-szobra, a halikarnasszoszi mauzóleum, a rodoszi kolosszus, a pharoszi világítótorony építményeivel a világ 7 csodájaként válhatott ismertté (Bárány, 2003; Dalley, 2013; Ormos, 1967; Pál, 2005)



2. ábra. Semiramis függőkertje rajz (forrás: internet, 3)



3. ábra. Semiramis függőkertje (metszet) (forrás: internet, 4)

A babilóniai kertkultúrája – azon túl, hogy az először náluk alkalmazott mesterségesen kialakított kilátóhegy többször visszaköszön a reneszánsz kertjeiben – máig érezteti hatását (Ormos, 1967). Az ókori Róma nemesi uralkodó osztályának tagjai is alkalmaztak növényeket a tetőiken. Augustus császár márványmauzóleumát is fákkal, egykori teraszait ciprusokkal telepítették be.

A Földközi tenger mellékén, több vidéken is nagy becsben tartották a parkokat, kerteket, fákat, virágokat. Az Adonis-kultusz hatására alakult ki az edényes növények alkalmazása a különböző méretű teraszokon, lapos tetőkön. Az ókori Rómában a magas telekárak miatt alakítottak ki „tetőkerteket”, valamint a félig földbe süllyesztett pincék tetején és teraszokon cserépbe ültetett gyógy-, fűszer-, és gyümölcsöt termő növényeket. A dézsákba elsősorban a vidéki táj hangulatát visszaadó honos növényeket telepítettek: babért, levendulát, rozmaringot, bazsalikomot, szurokfűvet, gránátalmát, fűgét, szőlőt és citrusféléket ültettek (Ormos, 1967).

A zöldtetők kezdetleges formáival a skandináv országok és az izlandi népi építészetében is találkozhatunk. Az izlandi időjárás sajátosságainak (hűvös, csapadékos) és a kevés építőanyagnak köszönhetően a zöldtetők sokfelé elterjedtek (**4. ábra**). A hőszigetelést az ágakból kialakított majd az arra került gyeppel borított tőzeges talaj „rétegrendje” biztosította. Az általában talajszintig lenyúló néhány fokos dőlésszögű tető biztosította a csapadék elvezetését.



4. ábra. Skandináv zöldtetők (forrás: internet, 5)

A lapostetők elterjedésével a 20. században újra előtérbe került a zöldtetők alkalmazása. 1903-ban a Perret testvérek Párizsban tetőkertes lakóházat építettek, amelyet számos pályázat követett. 1914-ben megépült Walter Gropius tervei alapján a Cologne irodaházának tetején egy tetőkert-étterem (Pál, 2005). Le Corbusier az új építészeti irányzat egyik kiemelkedő alakja, őt fő pontban fogalmazta meg alapkövetelményeit (Gulyás et al., 2012):

1. Pillérváz: A váz már nem determinálja a tér jellegét, felszabadít a tervezés falas rendszereknél megszokott kötöttségeitől.
2. Szabad alaprajz: A pillérváz szerkezet kötetlen tervezést tesz lehetővé, a funkcionális formálás függetlenedik a szerkezettől.
3. Teljes szélességű nyílás: A vázrendszerrel kötetlenné válik a homlokzatszerkesztés is. A napfénytelen, zárt lakáshagyománnyal szemben egy teljesen nyitott, csak üveggel védett tér lehetősége merül fel.
4. Lábakra állítás: A földtől elemelt ház alatt a természet érintetlen marad.
5. Tetőkert: A vízszigetelési technológiák fejlődése lehetővé teszi a lapostető kialakítását, mely által egy új felületet, egy homlokzatot nyerünk.

1938-ban épült a korábbi Derry és Toms áruház tetőkertje a londoni Kensington High Streeten 6000 m²-en. A kert ma is mesébe illő 35 méterrel London központjának bevásárló utcája felett **(5. ábra)**. A modern építészet másik kiemelkedő alapja Friedensreich Hundertwasser osztrák építész, akinek extravagáns épületei szinte feloldódnak a tájban. Egyik leghíresebb épülete Bécsben – amelyhez 900 t földet, 250 fát és bokrot használtak – 1986-ban nyílt meg (Dunnet és Kingsbury, 2004; Pál, 2005) **(6. ábra)**.



5. ábra. London, Kensington High Street
(forrás: internet, 6)



6. ábra. Bécs, Hundertwasser ház
(forrás: internet, 7)

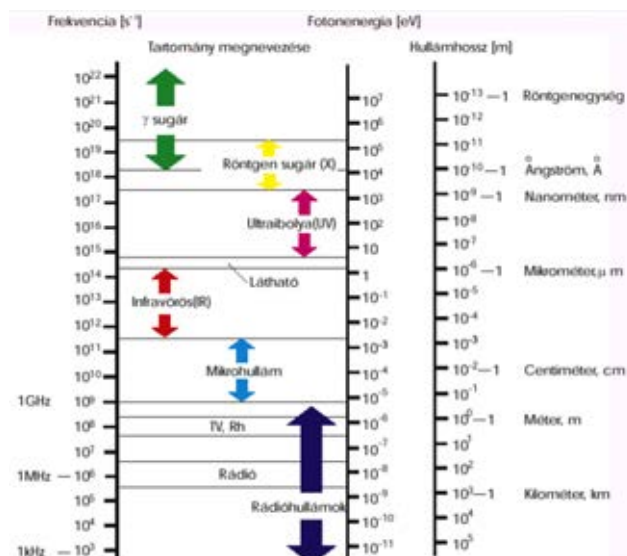
Németországban 1950 és 1970 között indult el egy zöldtető építési hullám, amely megvalósítása első sorban a mélygarázsok és aluljáró szintek zöldesítésére koncentrált. Ekkor még nem voltak kidolgozottak a gyökérálló szigetelési technológiák, és nem fordítottak kellően nagy figyelmet a teherbíró képességre sem. Az építési és szigetelési technológiák tökéletesedésével, valamint a növényalkalmazás kísérletek eredményeinek gyakorlatba ültetésével a legkritikusabb pontok megoldódtak. Az 1980-as évek elején Németországban már komplexen gondolkodtak a zöldtetők alkalmazásáról, mint rendszerről (födém-szigetelés-közeg-növényalkalmazás), később a zöldtető építésének irányelveit, valamint a máig használatos zöldfelület beszámíthatósági, értékelési módszert is kidolgozták (FLL, 2002).

2.2. Növényi felületek szerepe a meteorológiai elemek változásában

A meteorológiai elemek – mint a légkör mérhető tulajdonságai – a mérőrendszerek fejlődésével ma már lényegében valós idejű megfigyelésre (monitorozásra) van lehetőség. Azonban amíg a hőmérséklet, a légnyomás és a levegő sűrűség a légkör bármely pontjában jelenlévő állandóan mérhető jellemzők, addig a légnedvesség, a csapadék és a sugárzás átmenetileg hiányozhatnak, így a nem folytonos meteorológiai elemekhez tartoznak. A növényállomány vagy burkolt felületek nagymértékben befolyásolhatják a meteorológiai elemeket, ezért fontos megismerni módosító hatásukat.

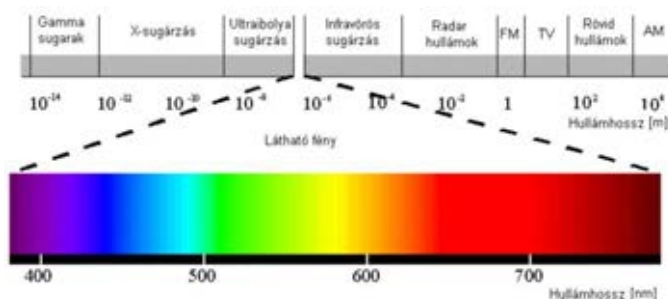
A növény, mint minden élő szervezet elválaszthatatlanul kötődik a környezetéhez, az energiaforrása a napsugárzás, amely a légkörön áthaladva éri el a felszínt. A felszínt érő sugárzások elektromágneses sugárzások formájában érkeznek, amelyeket hullámjellemzőivel (frekvencia,

fotonenergia, hullámhossz, hullámszám, amplitúdó) írhatunk le. Az elektromágneses sugárzásokat legelterjedtebben hullámhosszuk és frekvenciájuk alapján osztályozzák a szakirodalomban (**7. ábra**).



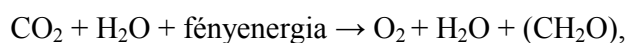
7. ábra. Elektromágneses sugárzás felosztása és a fotoszintetikusan aktív sugárzás
(Samu, 2005; Wenczel, 2013)

A sugárzás látható tartományát, a fényt, a 380 nm < λ < 760 nm hullámhosszak közötti fotoszintetikusan aktív sugárzásnak (*Photosynthetically Active Radiation*, **PHAR**) nevezzük, amelyet a növények a fotoszintézisük során tudnak hasznosítani, felhasználni (Anda, 2010) (**8. ábra**).



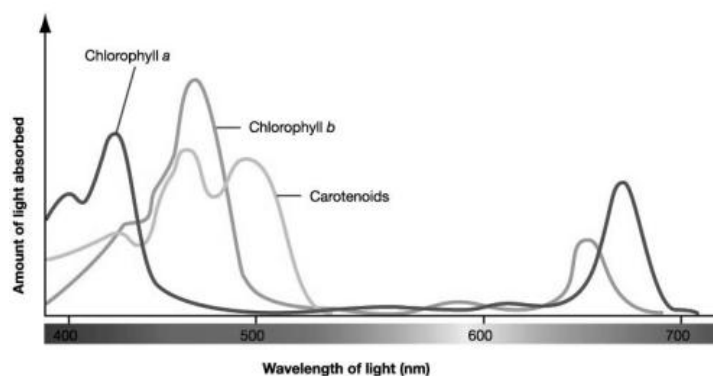
8. ábra. Elektromágneses sugárzás felosztása és a fotoszintetikusan aktív sugárzás
(Samu, 2005; Wenczel, 2013)

A fotoszintézis során a növények a naptól származó fényenergia felhasználásával szerves vegyületeket állítanak elő. A fotoszintézis oxidációs és redukciós folyamatokból tevődik össze, ahol az oxidáció során a növények a vízből elektronokat vonnak el és az oxigén melléktermékként képződik, míg a redukció során a széndioxid redukciója következik, amelyből szerves vegyületek, szénhidrátok képződnek. A magasabbrendű növények a fotoszintézis alapreakcióját leíró egyenlet:



ahol az oxigén és víz képződése mellett szénhidrát képződik. 1 mol CO_2 redukciója során 478 kJ mol szabadenergia tárolódik a glükóz kémiai kötéseiben. A magasabbrendű növényi szervezetek fotoszintetizáló szövege a levelek mezofilluma és abban levő kloroplasztiszok, amelyek 2-10 μm átmérőjűek, kettős membránnal határolva. A kloroplasztiszok fotoszintetikus pigmentek, klorofilokat és karotinoidokat tartalmaznak. A fotoszintetikus pigmentek által begyűjtött fényenergia a fotoszintetikus reakciócentrumokban hasznosul, ahol a fotokémiai reakciók végbemennek (Anda, 2010; Ördög és Molnár 2011; Tuba et al., 2007).

A fényenergia begyűjtéséhez a fotoszintetizáló szervezetek speciális pigmenteket használnak. A levél klorofill és a karotinoidok sugárzás elnyelését két maximumú görbével lehet ábrázolni, amelyek a látható tartomány két vége felé jelentkeznek, míg a tartomány középső részét (500-600 nm) minimális elnyelés jellemzi. Az elnyelés főmaximum helyén (kék és narancs tartományban) a növények a rájuk eső sugárzás 80-95%-át nyelik el. Varga-Haszonits és munkatársai (2006) szerint xeromorf és szukkulens növényeknél, mint az extenzív zöldtetőkön leggyakrabban alkalmazott fajoknál még ennél is magasabb értékű lehet. A „klorofill a” elnyelési maximumai 430 és 680 nm hullámhossz körüli értékeknél vannak, míg a „klorofill b” elnyelési maximumai 480 és 660 nm hullámhossz körüli értékeknél. A „karotinoidok” elnyelési maximumai 470 és 500 nm hullámhossz körüli értékeknél realizálódnak, amely oldószerfüggő. A CO_2 biokémiai átalakítása szénhidrátokká sötétben is lejátszódó enzimatis reakciók sorozata, amelynek hajtóereje a fotoszintézis fényreakciói során keletkező energiában gazdag ATP és NADPH (Anda, 2010; Ördög és Molnár 2011) (9. ábra).



9. ábra. A levél pigmentjeinek (klorofilok és karotinoidok) fényelnyelési spektruma a VIS-tartományban (Anda, 2010)

A napból a növény felületére érkező elektromágneses sugárzást a növényi felszín három módon képes befolyásolni. Első esetben a növény felszínére eső elektromágneses sugárzás közvetlenül visszaverődik a kutikuláris viaszrétegről. A fényvisszaverődési képességet albedónak nevezzük, amely az adott felület által visszavert sugárzás és a felületre érkező sugárzás aránya. Ennek az értéke nagyban függ a felszín anyagától, típusától (érdesség), valamint az árnyalattól, mivel a sötétebb árnyalatú felszínnek jobban elnyelik a napsugárzást, mint a világosabbak. Összefoglalóan megállapítható, hogy a különböző anyagi minőségek nagyban befolyásolják az albedó értékét.

Második esetben a növényi felületre érkező elektromágneses sugárzás bejut a növényi szövetekbe és ott elnyelődik (abszorpció). Harmadik esetben a növényi felszín (levél) átengedi az elektromágneses sugárzást (transzmittáció). A levél a napsugárzás hatására jellemzően félig áteresztőként viselkedik (Péczely, 1981; Anda, 2010).

A növényállományra jellemző elsősorban a Lamber-Beer törvény szerinti sugárzásáteresztés, amelyet Monsi és Saeki (1953) írtak le először. A sugárzás áteresztő képesség (G_c) függ az állományra érkező sugárzás intenzitástól (G_0), az adott réteig meghatározott levélfelületi indextől (LAI), a levelek elhelyezkedésétől (k) valamint a különböző rétegektől (z): $G_c = G_0 \exp(-k \text{ LAI}(z))$.

A növényállomány valójában egy bonyolult optikai rendszer, amelyet a levelek térbeli elrendeződése (dőlésszög, égtáj, többszintű elhelyezkedés) és ennek megfelelően a levélfelület nagysága (*Leaf Area Index, LAI*) is befolyásol. A levélfelületi index értéke megadja, hogy egységnyi felület felett hány egységnyi zöld növényzet található (m^2/m^2) (Szász, 1988). A *LAI* szoros kapcsolatban van a biomassa mennyiséggel, a fotoszintézis és a transpiráció mértékével (Pierce és Running, 1988). Huzsvai (2008) szerint a *LAI* maximális értékét genetikai, környezeti és agrotechnikai tényezők határozzák meg.

3. táblázat. A különböző felszínborítottságokra jellemző albedók és emisszivitási együtthatók értékei (Oke, 1987).

Felszíntípus	Albedó (α)	Emisszivitás (ϵ)
Csupasz talaj (sötét, nedves)	0,05-	0,98-
Csupasz talaj (világos, száraz)	0,40	0,90
Sivatag	0,20-0,45	0,84-0,91
Fű (kb. 1 m magasságú)	0,16-	0,90-
Mezőgazdasági földek, tundra	0,18-0,25	0,90-0,99
Gyümölcsös	0,15-	0,20
Erdő Lombhullató (lomb nélküli állapot)	0,15-	0,97-
Lombhullató (lombos állapot)	0,20	0,98
Örökzöld	0,05-0,15	0,97-0,99
Víz (kis zenitszög esetén)	0,03-0,10	0,92-0,97
Víz (nagy zenitszög esetén)	0,10-1,00	0,92-0,97
Hó régi	0,40-	0,82-
Friss jég	0,95	0,99
Tenger	0,30-0,45	0,92-0,97
Gleccser	0,20-	0,40
Aszfalt	0,05-	0,20
Beton	0,10-	0,35
Színes festett fal	0,15-	0,35
Piros/barna tetőcserép	0,10-	0,35
Tégla és kő	0,20-	0,40
Kátrány és sóder	0,03-	0,18
Hullámlemez tető	0,10-	0,15

A LAI mérése hagyományosan direkt és indirekt módon történik. A direkt módszerek nem függenek az időjárási paramétereiktől, az indirekt módszerek kalibrálásához alkalmazzák általánosan. Az indirekt módszerek előnye viszont, hogy idő-, energia- és költséghatékonyak (lézeres technika, halszemoptikás módszer, távérzékelés, allometrikus technika) (Anda, 2010; Gower et al., 1999; White et al., 2000).

A felszín fontos hatása sugárzási paraméterek módosulásában nyilvánul meg. Azt, hogy egy adott felszín a ráeső napsugárzást milyen mértékben nyeli el, illetve veri vissza, a felszín tulajdonságai döntően meghatározzák, melynek két fontos jellemzője az albedó és az emisszivitás (3. táblázat). Az emisszivitás egy arányszám, amely megadja, hogy az azonos hőmérsékletű fekete testhez képest (amely minden sugárzást elnyel) azonos hullámhosszon mekkora egy objektum felületének kisugárzása (Anda, 2010).

A vegetációs index (*Normalized Difference Vegetation Index*, **NDVI**) egy dimenziómentes mérőszám, amely egy adott terület vegetációs aktivitását fejezi ki. Ez jelentheti a növényekkel való borítottságának meghatározását, vagy a vegetációs stádium megállapítását, egészségi állapotot. Értékét a növényzet által a közeli infravörös (*Near Infra Red*, **NIR**, 800-2500 nm) és a látható vörös (**RED**, 400-800 nm) sugárzási tartományban visszavert intenzitások különbségének és összegének hányadosa szolgáltatja. A NDVI korrelál a területet takaró növényzet fajlagos klorofill tartalmával (Mika et al. 2011). A vegetációs index értéke -1 és +1-ig terjed. Zérushoz közeli érték a növényzet hiányát jelzi, kővel vagy hóval fedett terület, a 0,2-0,3 körüli értékek füves, bokros terület, míg a 0,8-0,9 értékek sűrű erdős területre utalnak (Eredics, 2007).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

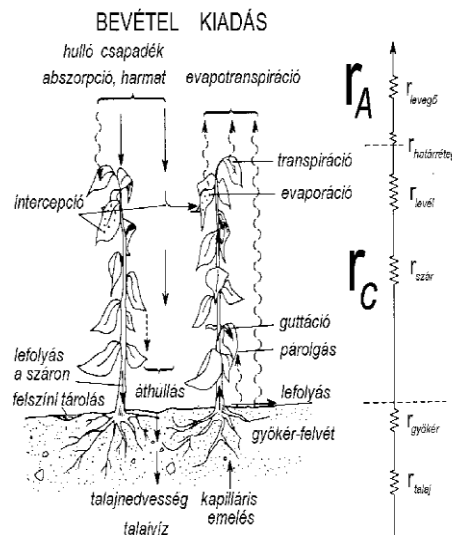
ahol:

NDVI – vegetációs index,

NIR – a visszavert fény intenzitása a közeli infravörös tartományban,

RED – a visszavert fény intenzitása a látható vörös tartományban.

A növény-talaj-levegő rendszer vízforgalmát a növény szempontjából jellemezhetjük. Bevétel oldalon a természetes csapadék formák (eső, hó, zúzmara, dér, harmat) és a mesterséges vízpótlás, míg ezzel szemben a kiadás oldalon pedig a transpiráció, evaporáció, guttáció jelenségei állnak. A növényi rendszerben történő víz áramlás a vízpotenciálkülönbségektől függ, mely egyfajta gradienst eredményez. Ahhoz, hogy a talajból a gyökéren, száron, levélen keresztül a vízgőz a környezetebe tudjon kerülni, sorozatos ellenállásokat kell legyőznie. A növényi ellenállások összessége a növényállomány ellenállás (r_c), amely közvetlenül nem mérhető, de sztómaellenállásokból becsülhető. A levegő határreteg ellenállás (r_a) a levegő vezetőképesség jellemzője, amelyet szélmerésekkel adható meg (Dunkel és Anda 1990; Ördög és Molnár, 2011) (10.ábra).



10. ábra. A növény-talaj-levegő rendszer vízforgalmának elemei, a vízmozgás során fellépő ellenállások (Dunkel és Anda, 1990)

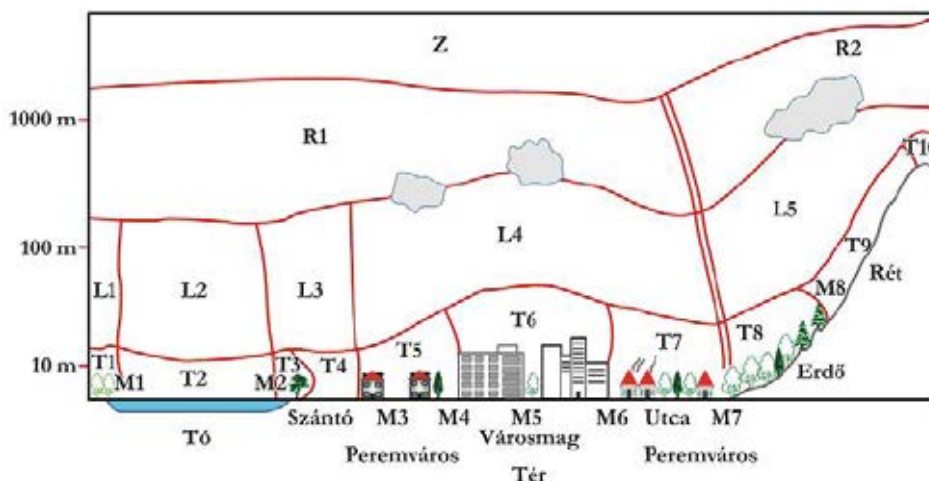
A növényi test felületeinek a passzív párolgásos vízvesztesége (evaporáció) és az aktív párologtatásos veszteségének (transpiráció) az összege fejezi ki az összes párologtatási veszteséget (evapotranspiráció). Az evapotranspiráció mértéke a talajnedvesség-készlet, a növényállomány saját belső vízkészlete, az intercepció (a növény levelén, szárán és a törzsén a lehullott vízmennyiségből összegyűjtött víz mennyiség) és a talajfelszínen megmaradó csapadék mennyiségétől függ. Az evapotranspirációs méréseket talajkádakkal vagy liziméterekkel valósítják meg. Magyarországon évi átlagos csapadék mennyisége 500-750 mm, viszont a párolgási veszteség 200-300 mm-rel több, mint a csapadékból adódó mennyiség (Dunkel és Anda 1990, Péczely, 2009).

Voyde és munkatársai (2010) kiemelték, hogy a zöldtető evapotranspirációja nem jól számszerűsített vagy nem valóságosan modellezett, így hiányoznak a kísérleti adatok az evapotranspirációs veszteségek modellezésének alátámasztására, különböző növényzeti és éghajlati viszonyok között. Az evapotranspiráció sebessége a közeg-víz-növény-környezet viszonyrendszerétől függ. A közeg jellemzői (maximális vízfelvevő képessége, állandó holtvíztartalma, permeabilitás) nagyban befolyásolják ezen folyamatokat. A városokban létrejött módosított felszínek jellemzően csökkentik az evapotranspirációt (Akbari et al., 2001; Oberndorfer et al., 2007; Susca et al., 2011).

2.3. Zöldfelületek, zöldtetők szerepe a városklíma klímparamétereinek megváltozásában

A meteorológiában három fő klímakategóriát – makroklíma, mezoklíma, mikroklíma – különböztetünk meg amelyet a terület nagysága, érvényességi idő, egyöntetűség, változékonyság és változtathatóság paramétereivel jellemezhetünk. A makroklíma nagy térségekre (több száz km²) jellemző, hosszú ideig érvényes (évtizedek), egyöntetű, közel állandó, csak nagyléptékű hosszantartó és egyirányú folyamatokkal változtatható. (Makroklímát befolyásoló antropogén hatás az ózonlyuk és a légköri üvegházhatás változása.) A mezoklíma kisebb földrajzi területre vonatkozik, amely hosszú adatsorokkal jellemezhető. A mezoklíma egy szabályos klíma, amelyben az antropogén

hatások jobban érvényesülnek. A mikroklima kis légterek különleges éghajlata, amelynek jellemzője a mozaikosság. Területileg a mikroklima a legkisebb, amely jól behatárolható, térben és időben igen változékony és viszonylag kis energiabefektetéssel megváltoztatható. A mikroklimára és a határmenti rétegekre – a másik két klímakategóriához (mezo- és makroklima) képest – nagy gradiensek jellemzőek (Anda és Dunkel, 1990) (11. ábra).

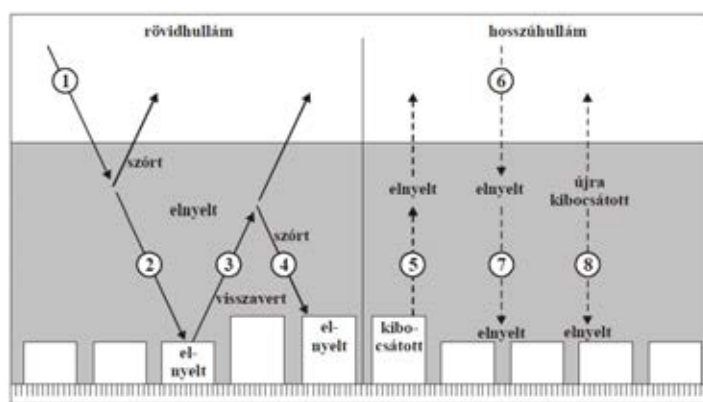


11. ábra. Az éghajlati jelenségek térbeli dimenziói: Z = zonális (makro) klíma, R = regionális (mezo) klíma, L = lokális klíma, T = topoklíma, M = mikroklima (Yoshino, 1975; Sümeghy, 2004)

A városklimatológia fókuszában az antropogén hatások miatt bekövetkezett éghajlati tényezők – hőmérséklet, csapadék, páratartalom, szél – módosulása áll, amely jelentősen eltérhet a települést körülvevő természetes környezethez képest. A mesterséges tényezők eredőjeként kialakuló helyi klíma a városi klíma (*urban climate*), amely a méretük alapján csoportosított horizontális, és vertikális skálákkal jól jellemezhető. A városi klímát elsősorban a horizontális mezoskála (3-100 km, pl. hegy-völgyi szél), másodsorban a lokális skála (100-3000 m pl. légszennyezés) harmadsorban a mikroskála (<100 m, pl. agrometeorológiai jelenségek) kölcsönhatásrendszere alakítja. A keveredés horizontálisan néhány száz méter, míg vertikálisan elsősorban a beépítettség jellege határozza meg. A kicserélődés a felszíni elemek átlagos magasságában, a városi tetőrétegben megy végbe (Landsberg, 1981; WMO, 2008; Pongrácz és Bartholy, 2013).

A városi klíma jellegzetességeit az emberi tevékenység okozza. A megváltoztatott felszín (felszín érdesség vagy geometria), az antropogén hőtermelés és az antropogén légszennyezés miatt a hőháztartás egyenlege módosul. Pontosabban, a beépített és burkolt felületek anyagi minősége, növekvő mennyisége/hőkapacitása, a zöldfelületek/párolgató felületek csökkenése, a gyors vízelvezető rendszerek kiépítése, növekvő légszennyezés, fűtés és légkondicionálás energiatöbblete vezetett a klíma módosításához. A városi területeket módosult felszín és módosult sugárzási viszonyok és a megnövekedett légszennyező anyagok együttesen befolyásolják. A felszínre érkező sugárzás két hullámhossz tartományra tagolható: rövid és hosszú. A városokban mind a rövid és mind a hosszú hullám sugárzás egyenlegében vannak szinergista és antagonisták folyamatok. A beérkező rövidhullám sugárzás (1) direkt módon és a légkör módosító hatása miatt szórt formában (2)

jelentkezik. A beérkező rövidhullám sugárzás visszaverődésével (3) a légkörbe visszakerülő sugárzás visszajut a légkörbe, vagy a légkör módosító anyagai miatt visszaverődik (4). A városban a besugárzás mértékét jelentősen csökkenti a városi szmog, ipari növekedés, közlekedés, tüzelőanyagok elégetésével levegőbe kibocsátott szennyező anyagok hatása, amelyet ellensúlyoz a városokra átlagosan jellemző alacsonyabb albedó. Ezzel szemben a beépítetlen külterületen a besugárzás kevésbé módosított (csökkentett), de az albedó magasabb. Ezeknek az eredményeképpen a rövidhullámú sugárzási mérleg közel egyforma. A beérkező hosszuhullám sugárzás (6) a városi légkörbe jutva a felszínen elnyelődik (7), amit a besugárzás hatására felmelegedett felszín visszasugároz (5). A városi légréteg szintén hőt bocsát ki (8). Összeségében a városokban hosszuhullámú sugárzás többlet alakul ki, amelyben a légszennyező anyagoknak van kiemelt jelentősége (Oke, 1982; Oke, 1987; Unger 2010) (12. ábra).



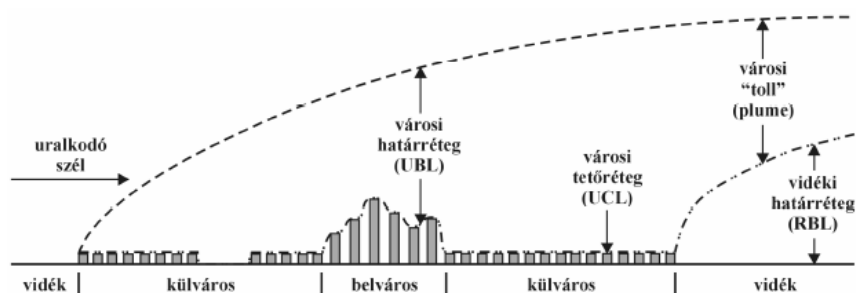
12. ábra. A rövid- és hosszuhullámú sugárzási folyamatok vázlatja a szennyezett városi határterületben (Oke, 1982; Unger 2010)

Az épületek és burkolt felületek (tető, út) túlsúlya miatt lecsökken a szélesebbesség, másrészt a természetes környezetre jellemző albedók és emisszivitási együtthatók értékei megváltoznak, haramadrészt a csapadék gyors elvezetése miatt a párolgás rövidebb idejű szárazabb levegőt eredményez. Összefoglalóan hőmérsékleti többlet keletkezik a város területén, amelyet tovább fokoz a levegőszennyezésnek köszönhető fokozódó üvegházhatás. Az antropogén hatásokat befolyásolja továbbá a város éghajlati zónában elfoglalt helye, mérete, lakosságának mennyisége, szerkezete, fejlettsége (Landsberg, 1981; Oke, 1987).

A városi környezet egyik kísérő eleme a hősziget jelensége (*urban heat island, UHI*), amelynek intenzitása a városi és városkörnyéki hőmérséklet különbségével jellemezhető. A városi hősziget a város belső részei és a környező beépítetlen területek közötti – elsősorban az éjszakai órákban jelentkező – pozitív hőmérsékletkülönbség, amelyet városi hősziget intenzitással (ΔT) jellemezhető. A hőszigethatás már 1000 fős települések esetén is kimutatható, világvárosok esetén 12 °C is lehet a különbség. A hősziget kialakulásához anticiklonális hatás kedvez, azaz csapadégmentes, felhőzet nélküli időjárási helyzet, gyenge légáramlással. A városi hősziget kialakulása erősen függ a szélesebbeségtől, amelyet a város mérete nagyban befolyásol. A hősziget jelenséget a közlekedés és az ipari hőtermelő és levegőszennyező tevékenységei tovább fokozzák (vízgőz, füst, korom stb.). A

természetföldrajzi adottságok (pl. domborzat, vízfelületek közelsége, növényzet stb.) erősíthetik vagy gyengíthetik az antropogén hatásokra bekövetkező változásokat (Bottyán, 2008, 2009).

A városok fölötti légrétegződés két rétegével eltér a természetes felszínétől. A város feletti légtér **a városi tetőszint rétegre** (UCL, Urban Canopy Layer, felszíntől az átlagos háztetőszintig) és **a városi határrétegre** (UBL, Urban Boundary Layer, tetőszinttől a zavartalan atmoszférikus határrétegig) terjed ki. A városi tetőszint réteget mikroskálájú folyamatok határozzák meg. A városi határréteg burokként terül el, és a vidéki határréteg felett helyezkedik el. A város fölötti légtér szerkezetét a szél módosítja. Gyenge, vagy mérsékelt erősségű szélnél a városi határréteg elnyúlik, jellegzetes „toll/zászló” alakot képez (Oke, 1976, 1982) (**13. ábra**).



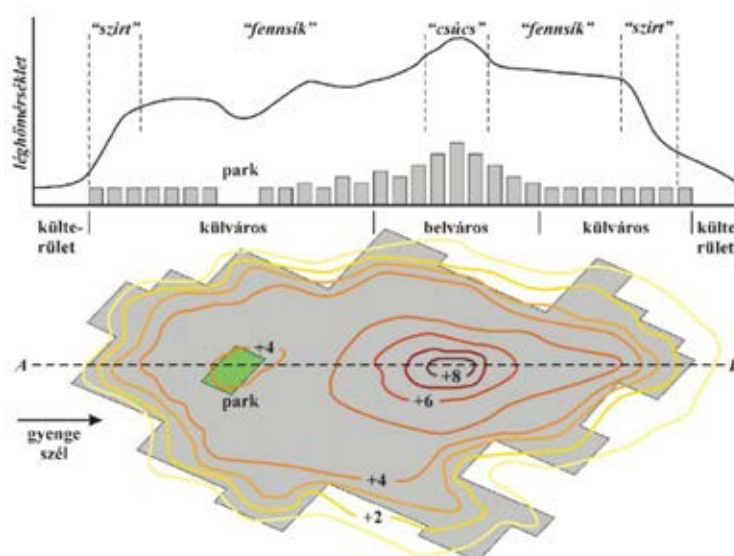
13. ábra. A városi légkör szerkezete (Oke, 1976; Unger, 1997, Sümegehy, 2004)

Oke (1982) szerint a városklíma kialakulásában e két légköri szint játszik szerepet. A **városi tetőszint rétegében** végbemenő legfontosabb változások a következőkben foglalhatók össze. A megnövekedett aktív felszín miatt megsokszorozódik a sugárzás visszaverődése, ami a rövidhullámú sugárzáselnyelés megnövekedéséhez vezet. A légszennyezés következtében megnövekedett üvegházgázok koncentrációja miatt fokozott lefelé irányuló hosszuhullámú sugárzás alakul ki. A beépítettség miatt kisebb a hosszuhullámú sugárzási veszteség. Az épületek és a közlekedés hőleadása a hőtartalmat növeli. Az épületek, burkolatok anyagának átlagos hővezető-képessége miatt megnő a szenzibilis hő tározódása. A burkolt felületek miatt a víz gyorsan lefolyik, az evapotranspiráció csökken. A beépítettség miatt pedig csökken a szélesebbesség, ami a hőszállítás csökkenését okozza. A **városi határrétegben** pedig az alábbi változások összegezhetőek. A légszennyezettség miatt megnövekedett légköri abszorpció megnöveli a rövidhullámú sugárzáselnyelést. A kémények hőleadása a hőtartalmat növeli. A városi tetőszint hőkibocsátása miatt növekszik a felszín felől érkező szenzibilis hőáram. A hősziget jelenség miatt a városi határrétegben megnő a turbulencia, aminek hatására a felülről érkező szenzibilis hőáram is megnövekszik (Pongrácz és Bartholy, 2013) (**4. táblázat**).

4. táblázat. A városi hősziget kialakulásának okai (Oke 1982; Unger, 2010)

Változás az energia egyenletben	Városi hatótényező	Városi hatás
K^* megnövekszik	utca geometria	megnövekedett felszín és többszörös visszaverődés
$L \downarrow$ megnövekszik	légszennyezés	nagyobb elnyelés és visszasugárzás
L^* csökken	utca geometria	horizontkorlátozás növekszik (égbolttáthatóság csökken)
Q_F	épületek és közlekedés	közvetlen hőtöbblet
ΔQ_S megnövekszik	építési anyagok	nagyobb hőátadó képesség
Q_E csökken	építési anyagok	Kisebb "vízáteresztés" a felületen (nagyobb beépítettség – burkoltság)
konvektív ($Q_H + Q_E$) hőszállítás csökken	utca geometria	kisebb szélesség

A léghőmérséklet horizontális, sematikus struktúrája és izotermális vetületei szemléletesen mutatják be a hőmérséklet növekedésével kialakuló „szirt”, „fennsík” és „csúcs” megjelenési formákat. A hőtöbblet eloszlását és intenzitását a városok statikus fizikai paraméterei (felszín érdessége, anyagi minősége, beépítettsége) mellett a dinamikus paraméterek is befolyásolják (szél, csapadék, széláramlás). A légáramlással az izotermák módosulnak, az intenzív csapadékhullás, a kritikus szélsőségnél nagyobb légátkeverő hatás és az erős felhősödés megszünteti a hősziget jelenségét. Kritikus szélsőséget a város mérete és szerkezete befolyásolja (Szeged $v_{krit} \approx 6$ m/s, Budapest $v_{krit} \approx 10$ m/s). A hősziget vertikális kiterjedése jellemzően 20-300 méterig terjed a városok felett (Oke, 1982; Bottyán, 2008; Szepesi és Schirokné, 1999) (14. ábra).



14. ábra. A városi hőmérsékleti többlet sematikus területi eloszlása, keresztmetszeti képe (AB mentén) és horizontális struktúrája ideális időjárási körülmények között (Oke, 1982 nyomán Bottyán, 2008)

A városi hőtöbblet miatt Bottyán (2008) összefoglalása szerint meghosszabbodik a fagymentes és a növények vegetációs időszaka, eltolódnak a növényzet fenológiai fázisai, valamint csökken a téli fagyok erőssége, rövidül a hóval való borítottság ideje, csökken a fűtési napok száma.

5. táblázat. (a) Jellemző felszíni és légköri tulajdonságok, valamint (b) a városklíma paramétereinek megváltozása egy közepes földrajzi szélességen fekvő, kb. 1 millió lakosú nagyvárosban (Oke 1997; Unger 2010)

(a) Tulajdonság	Változás	Jellemző nagyságrendek
albedó	alacsonyabb	vidék: 0,12-0,20; külváros: 0,15; város: 0,14
emisszivitás	nagyobb?	vidék: 0,92-0,98; város: 0,94-0,96
antropogén hő	nagyobb	vidék: -; külváros: 15-50 Wm ⁻² ; város: 50-100 Wm ⁻² (téli 250 Wm ⁻² -ig)
kondenzációs magvak:		
– Aitken	nagyobb	vidék: 10 ² - 10 ³ cm ⁻³ ; város: 10 ⁴ - 10 ⁶ cm ⁻³
– felhőképző	nagyobb	vidék: 2-5x10 ² cm ⁻³ ; város: 10 ³ - 10 ⁴ cm ⁻³
(b) Elem	Változás	Nagyságrendi változás vagy megjegyzés
turbulencia-intenzitás	nagyobb	10-50%
szélsebeség	csökken növekszik	5-30% erős áramlásnál (10 m magasságban) a hősziget hatására kialakuló gyenge áramlásnál
szélirány	eltérül	1-10°
UV-sugárzás	sokkal kevesebb	25-90%
napsugárzás	kevesebb	1-25%
infravörös bevitel	nagyobb	5-40%
látótávolság	csökken	
párolgás	kisebb	kb. 50%
konvektív hőáramlás	nagyobb	kb. 50%
hőtárolás	nagyobb	kb. 200%
lég hőmérséklet	magasabb	1-3 °C több éves átlagokban, de órás átlagban akár 12 °C is
lég nedvesség	alacsonyabb sokkal magasabb	nyáron nappal nyáron éjszaka és télen egész nap
felhőzet	több pára több felhő	a városban és a város lee-oldalán a város lee-oldalán
köd	több vagy kevesebb	az aeroszol részecskéktől és a környezettől függ
csapadék:		
– hó	kevesebb	egy része esőként hull le
– összes	több	inkább a város lee-oldalán, mint a városban
– zivatarok	több	

Az antropogén hatásoknak köszönhetően a városok levegőjében szennyezőanyagok megjelenéseire és feldúsulására számíthatunk, melynek két nagy csoportja van. Az első az aeroszol részecskék a levegőben finoman diszpergált szilárd, vagy cseppfolyós részecskék együttese, mérettartománya 10⁻³ µm – 20 µm. Egyes aeroszokok gátolják a rövidhullámú besugárzást, így hűtenek (pl. szulfátok), mások, pedig elnyelve azt, melegítik a közeget (pl. korom). A legnagyobb koncentrációt minimális függőleges turbulencia, hőmérsékleti inverzió, magas relatív nedvesség enyhe széllel párosulva éri el, közvetlenül csökkentve a napsugárzást. (Kora reggeli órákban

megfordul (invertálódik) az általános hőmérséklet eloszlása, tehát az alsóbb rétegek hidegebb, a feljebb levő levegő hőmérséklete melegebb.) Másik szennyezőforrás a fosszilis tüzelőanyagok elégetésekor keletkező gázok – kén-dioxid (SO_2), szén-dioxid (CO_2), szénmonoxid (CO), nitrogén-oxidok (NO_x) – valamint a kémiai reakciók által keletkező gázok – ózon (O_3), salétromsav (HNO_3), peroxiacetil-nitrát (PAN), melyeknek döntő szerepe van a troposzférikus ózon és a fotokémiai szmog kialakulásában is. A szennyező kupola kialakulásának a hőmérsékleti inverzió és a szélcsendes idő kedvez. Gyakran előfordul, hogy az inverzió akadályozza meg a függőleges irányú légmozgást, de a délelőtti órák melegedése miatt az inverzió megszűnik. A városi levegő füstkupolája a szélsébség hatására mozdul el csökkentve ezzel a káros anyagok koncentrációját (Bottyán, 2008; Sümeghy, 2004) (5-6. táblázat).

6. táblázat. A városi éghajlatmódosító hatás érvényesülése a különböző meteorológiai állapotathatározók esetén (Briggs et al., 1997 nyomán)

Állapothatározó	Évi	Hideg évszak	Meleg évszak
Napsugárzás	-22%	-34%	-20%
Léghőmérséklet	+2 °C	+3 °C	+1 °C
Légnedvesség	-6%	-2%	-8%
Csapadék	+14%	+13%	+15%
Zivatarok gyakorisága	+15%	+5%	+30%

Az összehasonlításban megdöbbentő különbségek is kialakulnak a városokban az antropogén hatások meteorológiai állapotathatározóiban. A légszennyezés következtében a hideg évszakban 34%-kal kevesebb a napsugárzás, ugyanakkor a zivatarok gyakorisága 5%-kal megnő. Levegő relatív páratartalma is alacsonyabb, a melegebb évszakban 8%-kal kevesebb. (Egyedüli pozitív hatás a hideg évszakban jelentkező +3 °C-os módosító hatás.) (Pongrácz és Bartholy, 2013). Ezek az értékek és tendenciák számos bioklimatológiai kérdést is felvetnek – hőstressz, komfortérzet, orvosepidemiológiai problémák stb. – amelyekre számos mutatószámot dolgoztak ki (Bottyán, 2008).

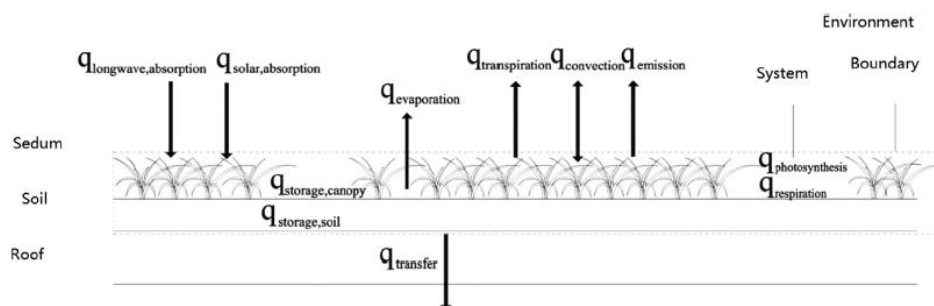
Az Országos Környezetegészségügyi Intézet létrehozta az Országos Környezetvédelmi Információs Rendszert (OKIR), melynek többek között célja, hogy közérthető és egyben tudományosan megalapozott tájékoztatást nyújtson a lakosságnak, hogy adott légszennyezettség milyen egészségi kockázatot jelent. Ennek érdekében alkották meg a a Levegő Higiénés Indexet (LHI), amely az elmúlt 24 óra légszennyezettségi szintjét jellemzi az alapszennyező anyagok (kén-dioxid, nitrogén-dioxid, szénmonoxid, ózon) valamint a 10µm alatti aeroszol részecskék (PM10) tekintetében. Kiszámítása a legnagyobb 1 órás koncentráció (SO_2 , NO_2 , CO), a 8 órás mozgó átlagértékek maximuma (O_3) és a 24órás átlagkoncentráció (PM10) alapján történik. A LHI négy légszennyezettség kategóriát tartalmaz:

- egészségügyi határérték alatt (elfogadható, kék kód),
- tájékoztatási küszöb alatt (kifogásolt, zöld kód),
- riasztási küszöb alatt (egészségtelen, narancs kód),
- riasztási küszöb fölött, (veszélyes, piros kód).

A zöldtetők a módosított városiklimát komplex módon javítják. Az egyik legfontosabb ezek közül, hogy képesek megtartani és megőrizni az esővizet. A zöldtetők jótékony hatással vannak a fenntartható vízgazdálkodás megvalósítására, mivel az esővizet visszatartják, hasznosítják (Ertsey, 2011). A lehullott csapadék a növényi felületek és közegkeverékek csapadékvisszatartásával a növényt és környezetét kondicionálja, így a csapadék helyben hasznosul (Dulovics, 2005; Villarreal és Bengtsson, 2005). A növényi felszínek a vízelvezetési és vízelnyelési képességükkel képesek csökkenteni a lehulló csapadék lefolyásának mennyiségét, és ütemét (Mentens et al., 2006). A zöldtetők zöldfelületei párologtatásuk révén hűtik környezetüket, a levegőt felette, az épített belső tereket pedig alatta (Spolek, 2008; Teenusk és Mander, 2009; 2010). A zöldtető csökkenti az épület energiafogyasztását, nyári hónapokban hűti, téli hónapokban fűti a tetőt (del Barrio, 1998). A zöldtetők életteret nyújtanak bizonyos növényeknek/állatoknak, ezáltal javítják a városi biodiverzitást, továbbá a városképet változatossá teszik (Emilsson et al., 2007). A zöldtetők tetőkön való alkalmazása megfelelő eszköz a városi hősziget hatás csökkentésére (Oláh, 2012; Gerzson és Oláh 2012).

A New York metropolisz épített felszín sugárzásviszonyainak javítására az albedó értékének növelésére tettek kísérletet. A fehérre festett házak albedója magasnak adódott, átlagosan 0,80, azonban a városi szintmódosító szennyezők miatt ez az érték évente - 0,15-tel csökkent. A zöldtetők ezzel szemben átlagosan 0,70-0,85 közel állandó értékkel rendelkeznek (Gaffin et al., 2006). Természetesen a zöldtetők hatása sokkal komplexebb, viszont eredményes lehet igen extrém körülmények között is (sivatagi, félsivatagi területek), ahol a növények életfeltételei igen korlátozottak (Jo et al., 2010).

A zöldtető ellátja a tető védelmét is, megnövelve tartósságát. Az extenzív zöldtetők új könnyített súlya miatt (6-15 cm rétegvastagságtól, $\sim 60 \text{ kg/m}^2$ önsúly) lehetővé válik szinte bármilyen meglévő, 45° -nál enyhébb lejtésű tető esetében a gyors kiépítés (Ertsey, 2011). A zöldtető réteganyagai védik és árnyékolják a tetőt a napsugárzástól – ezáltal pozitívan módosítják a sugárzási viszonyokat – így kondicionálják az alattuk levő felszín hőmérsékletét (Lazzarin et al., 2005; Getter et al., 2011). A lehűtött kondicionált levegő az épület tetejéről leereszkedve a szomszédos utcaszintű területekre érkezik (Bruse és Skinner, 1999; Peng és Jim, 2013). Ertsey (2011) szerint a legegyszerűbb extenzív zöldtető képes a nyári felületi hőmérséklet akár 50°C -os csökkentésére is, míg a zöldtető felülete legfeljebb $25\text{-}30^\circ\text{C}$ -ra melegszik (15. ábra).



15. ábra. Hőmérséklet kiegyenlítő hatás *Sedum* fajokkal telepített zöldtetőn (Feng, 2011)

A zöldtetők hozzájárulnak a helyi és a városi klíma javításához, oxigént termelnek, port kötnek meg, levegőminőségét javítják, és vizet tárolnak, mely párologtatásával csökkentik a városi hősziget jelenséget (Wong et al., 2003). A tradicionális dél-európai nyári kanyonklíma során a lapos tetőkön felforrósodott levegő miatt, a keskeny, árnyékos utcákban levő levegő szmogot alkothat, amelynek kialakulását a zöldtetők telepítése akadályozhatja meg. Természetesen a zöldtetők kisebb léptékben az épületekre és közvetlen környezetükre hatnak – hang/rezgés szigetelés, hőárnyékolás, épületenergetika –, összhangban a fenntartható, klímabarát megoldásokkal, mely energetikai és zöldépítészeti szempontoknak is megfelel (Ertsey, 2011).

Az **FLL** (2002) szerint a zöldtetők három funkció és hatás alapján kategorizálható, természetesen a zöldtetők multifunkciós jellege miatt átfedések adódnak. Ezek közül az **ökológiai funkciók és hatások**, valamint a **védő és ökonómiai funkciók és hatások** vonatkoznak a zöldtetők városklíma módosító hatásaira:

Városépítési és területfejlesztési funkciók és hatások

1. zöldterület növelés, telekméret bővítése
2. építési tevékenységgel elveszített területek visszanyerése
3. város- és tájkép javítása
4. erősítik a természethez kötődés élményét

Ökológiai funkciók és hatások

1. zöldterület növelés, telekméret bővítése
2. új életter a településeken, a háttérbe szorított flóra és fauna részére
3. csapadékvíz lefolyásának késleltetése, tárolása, illetve a víz közvetlen visszajutása a természetes körforgásba az evaporáció és transzspiráció segítségével
4. hőmérséklet-szélsőértékek csökkentésével, a sugárzás nagy részének elnyelésével, a levegő páratartalmának növekedésével és a pormegkötéssel jelentősen javul a mikroklima

Védő és ökonómiai funkciók, illetve hatások

1. UV sugárzás mérséklése → csökkenti a tetőszerkezet, elsősorban a szigetelőlemez fizikai, kémiai és biológiai terhelését
2. korlátozza a szigetelőlemez mechanikai sérülésekkel, és a szél szívó hatásával szembeni kitettséget
3. tűz terjedésével és a sugárzó hővel szembeni védelem
4. növekszik a szerkezet lépéshang- és léghanggátlása
5. javítja a téli, de különösen a nyári hővédelmet
6. csökkenti az ingatlan vízlefolyási értékét
7. visszatartja a csapadékvizet
8. tehermentesíti a csatornahálózatot
9. növeli az ingatlan értékét
10. a felelősségteljes építéskultúra pozitív képet alkot a tulajdonosról













A népesedés növekedésével a városok mérete és száma is folyamatosan növekszik, amely újabb és újabb zöldterületek megszűnéséhez vezet. A nagyvárosokban megmaradt zöldfelületekre egyre nagyobb terhelés hárul, így egyre nehezebben tudják betölteni ökológiai, környezetüket kondicionáló, vizuális-esztétikai, összetett funkciójukat, szerepüket (Szilágyi, 2001).










7. táblázat. A zöldtetők előnyeinek összefoglalása (saját szerkesztés)

Ökonómiai	Ökológiai	Egészségügyi	Vizuális-esztétikai	Társadalmi
<ul style="list-style-type: none"> - csökkenti a szigetelőlemez fizikai, biológiai és kémiai terhelését - tető élettartama nő - növeli az ingatlan értékét - nyáron hűti, télen fűti az ingatlant - tűz terjedésével szembeni védelem - zöldtetőn lefolyó víz újrahasznosítható - középtávon megtérülő befektetés, (épületenergetika) 	<ul style="list-style-type: none"> - csapadékvíz visszatartás - lefolyó csapadékvíz intenzitásának csökkentése - csatornahálózat mentesítése, - csapadékvíz szűrése - evapotranspiráció növekedés - víz közvetlen visszajutása a természetes körforgásba az evaporáció és transzspiráció segítségével - új élettér (növények, állatok) - biodiverzitás fenntartása/növelése - mikroklima javítása 	<ul style="list-style-type: none"> - zaj csökkentés - rezgés csökkentés - sugárzásviszonyok módosítása (albedó nő emisszió csökken) - hőszigetjelenség csökkentése - pormegkötés - rekreálódás - stresszoldás - emberi életterek kondicionálása - oxigént többlet termelés, CO₂ megkötés (fotoszintézis) - nehézfém megkötés 	<ul style="list-style-type: none"> - zöldterület növekedés - város és tájkép javítása - építési tevékenységgel elvett területek visszanyerése - erősítik a természethez kötődés élményét 	<ul style="list-style-type: none"> - ökológikus szemlélet elterjedése - fenntarthatóság szemlélet elterjedése - munkahely-teremtés a zöldtető építésével és fenntartásával - változatos felszíni formák, élhetőbb városok
















Ma már minden nagyvárosnak elemi érdeke a városi területek klímáparamétereinek pozitív alakítása, kiemelten a hősziget hatás és a légszennyezés mérséklése, amelyet célszerűen zöldtetők telepítésével megvalósíthatnak. Somfai (2011) a „városi szövet” zöldítésével kapcsolatban kiemeli, hogy a tetőtertek kialakítása ne a felszíni zöldfelületek rovására, a beépíthetőség növelésére történjen. Dunnett és munkatársai (2008) hangsúlyozzák a zöldtetők szerepét a zöldfelületi rendszerben, ugyanakkor rámutatnak arra, hogy zöldfelületi értéke alatta marad a természetes vegetációnak. A világban számos helyen alkalmazzák a zöldtetőket előnyeik miatt (16-39.ábra).

		
<p>16. ábra. New York - Brooklyn (forrás: internet, 8)</p>	<p>17. ábra. Los Angeles - Los Angelesi Holokauszt Múzeum (forrás: internet, 9)</p>	<p>18. ábra. Chicago - Chicagó-i Tudományos és Technológiai Múzeum (forrás: internet, 10)</p>

		
19. ábra. Toronto - York Egyetem (forrás: internet, 11)	20. ábra. Toronto - Ryerson Egyetem (forrás: internet, 12)	21. ábra. Szingapúr - Családi ház (forrás: internet, 13)
		
22. ábra. Tokyo - ACROS Fukuoka Alapítvány (forrás: internet, 14)	23. ábra. Shanghai - Napsugár Hold Tó Központ (forrás: internet, 15)	24. ábra. Delhi - Tervező és Fejlesztő Iroda (forrás: internet, 16)
		
25. ábra. Kína - Lakóházak (forrás: internet, 17)	26. ábra. Peking-luxus zöldtetős villa (zöldtető,heggyel illegálisan) (forrás: internet, 18)	27. ábra. Mexikó-HSBC Irodaház (forrás: internet, 19)
		
28. ábra. India - Zöld Üzleti Központ (forrás: internet, 20)	29. ábra. Szingapúr - Hotel (forrás: internet, 21)	30. ábra. Tajvan - Chinatrust Bank komplexum (forrás: internet, 22)

		
31. ábra. Chicago - Városháza (forrás: internet, 23)	32. ábra. San Francisco - Mill Valley házak (forrás: internet, 24)	33. ábra. Párizs - RATP Székház (forrás: internet, 25)
		
34. ábra. London - New Providence -Zöld Ovális (forrás: internet, 26)	35. ábra. Hamburg - Családi ház (forrás: internet, 27)	36. ábra. Berlin -“Leipziger tér 9”, (forrás: internet, 28)
		
37. ábra. Koppenhága - Lakóépület (forrás: internet, 29)	38. ábra. Dél-Yorkshire - Buszmegálló (forrás: internet, 30)	39. ábra. Barcelona – helyi busz (forrás: internet, 31)

Összefoglalóan a tetőszinten új zöldtetők létesíthetők összhangban az Integrált Városfejlesztési Stratégiák (IVS) követelményeivel. „Klímabarát városok” című könyv az európai városok klímaváltozással kapcsolatos feladatait/lehetőségeit foglalja össze, amely mérföldkőnek számít a klímaváltozással kapcsolatos várostervezés, városfejlesztés, területhasználat és az ezzel kapcsolatos döntések előkészítéséhez. A zöldtetők egyre fontosabb szerepet játszanak a városok zöldfelületi rendszereiben Magyarországon is (Mega, 2010) **(40-54. ábra)**.

		
40. ábra. Bp., XIII. Providencia Biztosító Székház (forrás: internet, 32)	41. ábra. Szeged - Art Hotel (forrás: internet, 33)	42. ábra. Westend City (forrás: internet, 34)
		
43. ábra. Budapest, VI. kerület Vörösmarty utca 67. (forrás: internet, 35)	44. ábra. Győr - Petz Aladár Megyei Oktató Kórház (forrás: internet, 36)	45. ábra. Bp., Kőerberek Hosszúréti Lakópark saját munka-saját fotó
		
46. ábra. Bp., XII., MOM Park Sedum Kft.-saját fotó	47. ábra. Bp., Kőerberek SportMax saját munka-saját fotó	48. ábra. Bp., IX., SOTE saját munka-saját fotó
		
49. ábra. Bp., XI., Allee Bevásárlóközpont saját munka-saját fotó	50. ábra. Bp., XI., Allee Bevásárlóközpont Garden Kft.-saját fotó	51. ábra. Bp., IX. Millenium Városcsözpont saját munka-saját fotó
		
52. ábra. Bp., IX. Millenium Városcsözpont saját munka-saját fotó	53. ábra. Bp., IX. Millenium Városcsözpont saját munka-saját fotó	54. ábra. Bp., IX., SOTE saját munka-saját fotó

2.4. Zöldtető típusok definiálása, jellemzése, összehasonlítása

A nemzetközi szakirodalomban használt „dachbegrünung” „greenroof” „toit vert” kifejezések magyar megfelelője a zöldtető elnevezés. Általánosságban zöldtetőnek nevezünk a vízszigetelő réteggel ellátott lapos tetőket és enyhe lejtésű tetőket, melyre bizonyos vastagságú földréteget terítenek – különböző teherelosztó réteg közbeiktatásával – a telepítendő növények életfeltételeinek kialakítására (Hidy et al., 1995). A zöldtetőknek több típusa is kialakult, amelyet többször helytelenül alkalmaznak, ezért szükségesnek tartom ezen elnevezések definiálást.

Az extenzív- vagy ökotető egy ökológiailag aktív vegetációs védőréteg, amelynek növényzete a természetes életfolyamatoknak megfelelően igénytelen. A telepítés után minimális fenntartási igény jellemzi. Az intenzív zöldtető egy tetőszinten kialakított kert, amelynek kialakítása, használata, ápolása a díszkertekhez leginkább hasonló. Az eltelepítés után rendszeres fenntartási igény jellemzi. Biodiverz vagy természetközeli zöldtető, az extenzív zöldtető altípusa. A biológiai sokféleség elvét figyelembe vevő zöldtetőtípus. Kialakításában és fenntartásában a növényi és állati sokféleség életfeltételeinek hosszútávú biztosítását helyezi fókuszba (Balogh et al., 2013; ÉMSZ, 2007; Hidy et al., 1995).

A zöldtetőknek számos szempontnak kell egyszerre megfelelnie. Globálisan nézve, tájlesztetiki és tájökölógiai oldalról közelítve a zöldtető legyen tájba illeszkedő, a klímának megfelelő növényzettel telepített, ökológiai, esztétikai és rekreálódási szempontok figyelembevételével kialakított. Közelebbről vizsgálva kertészeti-telepítési oldalról a növényalkalmazás és kivitelezés kerül a középpontba, természetesen a közegkeverék, közegvastagság, klimatikus viszonyok stb. számbavételével. Építészeti-statikai-szigetelési szempontokat pedig az alépítmény kialakításakor mérlegelik, hogy optimális feltételeket lehessen teremteni a zöldtetők számára, (vagy egyéb megrendelői szempontokat vesznek figyelembe). Megállapítható, hogy a zöldtetők lényegében szakterületek találkozási pontjai. Így a zöldtetőknek többféle csoportosítása is könnyen megérthető, a prioritások fókusza a különböző szakterületek szerint változik.

A zöldtetőépítés az 1950-es évekre nyúlik vissza Németországban. Azóta számos tudományos kutatást hajtottak végre célzottan a növényekkel, közegkeverékekkel, vízháztartással zöldtetőépítési irányelvekkel kapcsolatban. Ezeket az eredményeket a *Tájépítészeti, Tájfejlesztési Kutatási Társaság* (*Forshungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau, FLL*) koordinálja és terjeszti (Kolb, 1999). Mivel a hazai zöldtetőépítés jellemzően német gyökerekre tekint vissza, ezért az *FLL* ajánlásait egyfajta szakmai kiindulópontnak tart, ezért a zöldtetők tervezési, kivitelezési és fenntartási irányelve alapján mutatom be először a zöldtetők csoportosítását.

A zöldtetők esetében a használat, az épületszerkezeti adottságok és a három fő zöldtető típus építésmódbeli különbségének figyelembevételével tesznek különbséget, amelyek a növényválasztékot és a vegetációs szempontokat döntően meghatározzák. A tervezési és a kivitelezési gyakorlatban a telepítési vegetációs formák határozzák meg a zöldtetők csoportosítás fő szempontjait:

- intenzív,
- egyszerű intenzív,
- extenzív.

A növényalkalmazási és a növénytársulási ismeretek figyelembevételével az alábbiakban felsorolt kritériumok alapján lehet az egyes típusokat egymástól elkülöníteni. Az intenzív zöldtetőnél a növénytelepítések a növényalkalmazások és a formai kialakítások területén szinte korlátlan lehetőséget kínál és szinte minden vegetációs formát magában foglal. Az egyszerű intenzív zöldtetőnél a növénytelepítés a növényalkalmazások és a formai kialakítások területén az alábbi kombinációk javasoltak: fűfélék-egyéb évelők; vadvirágok-fásszárúak; fásszárúak-évelők; fásszárúak. Extenzív zöldtetőnél pedig: moha-*Sedum*; *Sedum*-egyéb lágyszárú; *Sedum*-egyéb lágyszárú-gyep; fűfélék-egyéb lágyszárú (Banting et al., 2005).

Az ÉMSZ (Épületszigetelők, Tetőfedők és Bádogosok Magyarországi Szövetsége) elkészítették Magyarországon a zöldtetők tervezési és kivitelezési irányelveit tartalmazó kiadványukat (ÉMSZ, 2007). Ebben a zöldtetők, statikai, hő- és páratechnikai szempontból méretezett, csapadékvíz-szigeteléssel ellátott, növényzettel telepített tetőszerkezeteket, az alábbi szempontok szerint csoportosították (8. táblázat).

8. táblázat. Zöldtetők kialakítási lehetőségei a tetőforma, a szerkezeti felépítés és a kertészeti felépítmény szerint (ÉMSZ, 2007)

Tetőforma; szerkezeti felépítés	Kertészeti felépítmény			
	Extenzív	Egyszerű intenzív	Intenzív	
			vízlefolyásos	víztorlasztásos
Lapostető, egyhéjú egyenes rétegrendű	X	X	X	X
Lapostető, egyhéjú, fordított rétegrendű	X	X	X	
Lapostető, kéthéjú hidegtető	X	X	X	X
Magastető: közepes-, és meredek hajlású	X			

A kertészeti-telepítési és egyes épületszerkezeti szempontokat egyaránt figyelembevevő, ugyanakkor egyszerű csoportosítást alkották meg hazai szakemberek. Lényegében a mezőgazdaságból átvett kategóriákat különböztet meg: extenzív és intenzív zöldtetőt. A két típus közötti megoldásokra, átmenetekre ritkán akad példa a gyakorlatban, mivel a zöldtető tervezett funkciói meghatározzák, hogy az egyik vagy a másik típus létesítése indokolt. A zöldtetők extenzív vagy intenzív kialakítása a tervezett funkciók következtében a használat, fenntartási igény, öntözés, terhelhetőség, szerkezeti vastagság és telepíthető növényfajok befolyásolják.

Az extenzív zöldtető egy ökológiailag aktív vegetációs védőréteg, amelynek növényzete a természetes életfolyamatoknak megfelelően igénytelen. A hasznos terhelése alacsony 1,6-2,4 kN/m², ennek következtében kell megválasztani a kis tömegű, szélsőséges körülményeket tűrő, ugyanakkor

minimális ápolási igényű fajokat. A tetőkön a szerkezeti rétegvastagság kisebb, mint 15 cm, általában 10-15 cm vastagságú. Ennél kisebb rétegvastagság már a vegetáció létét fenyegetheti (legyengült növények, kiégés, kiszáradás, kifagyás stb.) Rendszerint emberi tartózkodásra csak korlátozott mértékben alkalmas, a közlekedés általában a tetőn kialakított járőfelületeken (utak, tipegők) lehetséges (Hidy et al., 1995). A zöldtető típusai közül az extenzív zöldtetők a leggazdaságosabbak, a telepítésük és a fenntartásuk a leegyszerűbb. Mivel az extenzív zöldtetők egyszerűbbek, ezért sok kutatás középpontjában is ezek állnak (Li és Yeung, 2014).

A biodiverzitás szempontjait figyelembe vevő extenzív zöldtetőtípus a biodiverz zöldtető. Kialakításában és fenntartásában a növényi és állati sokféleség életfeltételeinek hosszútávú biztosítását helyezi fókuszba. Jellemzői a vertikális-dombos kialakítás, heterogén közegkeverék terítés, növényfoltok, közeg foltok (kavicsos, zúzottköves, homokos) dinamikus váltakozása, amelynek mérete nagyobb mint a teljes terület 50%-a. A vegetáció részben konténeres lágyszárú palántákból, részben vegyes magkeverékekből áll. Az állományt esőszerűen öntözik manuálisan, és ahol lehetőség van, ott az ültetőközegbe süllyesztett csepegtetőcsöves rendszert alkalmaznak. A cél az állomány pótlólagos vízkijuttatásának fokozatos megszüntetése. Jellemzője a rovarok áttelelését, védelmét és szaporodását elősegítő „rovarházak” kihelyezése. A biodiverz zöldtetőn a flóra kialakulásával párhuzamosan a talaj mikrobiológiája és a felszíni fauna is fejlődésnek indul (Balogh et al., 2013).

Az intenzív zöldtető kiképzése, használata, ápolása a díszkertekéhez hasonló. Kialakítása az emberi igényekhez alkalmazkodik; tartózkodásra, pihenésre, rekreálódásra alkalmas ketrészekkel alakítják ki. Az intenzív tetőt nagy teherbírású födémre telepíthető. Magasabb telepítési-tervezési gondozási, fenntartási költségekkel párosul, mint az extenzív tető. Telepítési költségei a vastagabb 25-100 cm-es rétegvastagságból, az öntözőberendezés telepítéséből valamint ezek tervezésének díjaiból tevődnek össze. A növényalkalmazásban sokkal nagyobb faj és fajtasortiment áll rendelkezésre, mint extenzív zöldtetők esetében, lényegében a kertekben alkalmazott dísnövények alkalmazhatók (évelő dísnövények, fás szárúak). Ezek a növények a rendszeres vízellátás biztosítása mellett – öntöző rendszer karbantartásával –, rendszeres tápanyag utánpótlást, gyomtalanítást igényelnek. Az intenzív zöldtetők további jellegzetessége, hogy csak 10° alatti lejtés esetén lehet telepíteni, mert e fölött nagyban megnő az erózió veszélye. Az intenzív tető további jellegzetes elemei lehetnek kerti utak, kerti bútorok, kerti fa építmények, pergolák, játszószerkek, kerti tavak, csobogók, szökőkutak, koros fák, nagyméretű virágedények stb. (Hidy et al., 1995) (9. táblázat).

9. táblázat. Az extenzív és intenzív zöldtetők összehasonlítása (Hidy et al., 1995, Balogh et al., 2013; nyomán)

	Extenzív	Extenzív (Biodiverz)	Intenzív
Használat	nem járható ökológia védőréteg	nem járható ökológia védőréteg	emberi tartózkodásra alkalmas
Fenntartás	alacsony fenntartási költség	kezdetben sok ápolást igényel, később alacsonyabb fenntartást igényel	gondozást és ápolást igényel
Öntözés	általában nem alkalmazott	kezdetben gyakori öntözés, majd egyre kevesebb, a cél a száraz időszakokhoz való hozzászoktatás	öntözés nélkül nem telepíthető
Tömeg	1,6-24 kN/m ² 100-150 kg/m ²	1,6-2,0 kN/m ² 100-300 kg/m ²	2,0-15,0 kN/m ² 300-1500 kg/m ²
Szerkezeti vastagság	10-15 cm	10-25 cm	25-100 cm
Alkalmazott növények	varjúháj és vadvirágok, fűfélék	cserjék, évelők, lágyszárúak, vegyes magkeverékek	évelő disznővények, lágyszárúak és fásszárúak
Kiültetés jellege	vegyesen vagy egynemű foltokat kialakítva	kiültetési terv nélkül, a növény igényeihez alkalmazkodva	kiültetési tervnek megfelelően
Telepítés módja	magvetés, sarjvetés, palánta	magvetés, palánta, konténer	palánta, kontér, földlabda
Közegkeverék alkotók	vulkáni tufa, téglaoörlemény, ásványi anyagok, humusz	tufa, téglaoörlemény, ásványi anyagok, humusz, csíramentes komposzt, kohósalak	humuszban gazdag talaj, vulkáni tufa, ásványi anyagok
Szerves anyag tartalom	15-20%	15-20%	30-60%
Tetőlejtés	0-25°	0-15°	<10°

2.5. Az extenzív zöldtetők

2.5.1. Extenzív zöldtetők felépítése, rétegrendek és funkciók

Az extenzív zöldtetők megalkotásához több tudományterület/szakterület együttműködésére van szükség. A lapostetők összességében a teherhordó födémszerkezetből és a szigetelő, szűrő rétegek együtteséből (tetőszigetelés) áll. A tetők alapját a födémszerkezet adja, így a statikai-épületszerkezeti megfontolások, mint a szerkezetmegválasztás, szerkezetdiagnosztika, tetőlejtés, vastagság, víztárolóképesség, vízzel telített teljes súly, már a tervezési fázisban is kiemelten fontosak. Erre a szerkezetre kerülnek az adott viszonyokhoz optimalizált különböző hő- és vízszigetelési rétegek. A védő- és elválasztó szűrő rétegek után következhet csak a zöldtető növényzetének közegkeveréke és végül a növényzet. A zöldtetők tervezési fázisában az építőmérnök/építészmérnök, statikus, tájépítészmérnök, (öntözéstechnikai szakember, villamos mérnök), összehangolt munkájára van szükség. Míg a kivitelezésben az építő, szigetelő, kertész szakképzettségűek vesznek jellemzően részt.

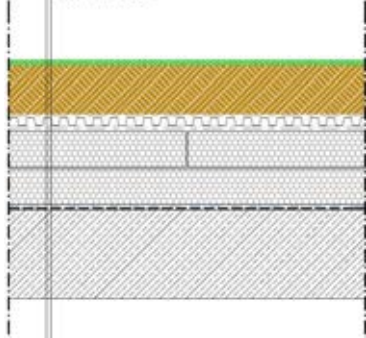
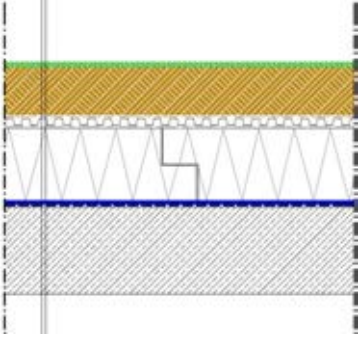
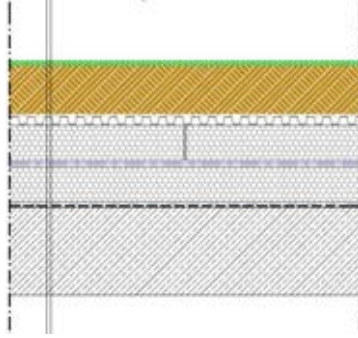
A fejezet többi részét Koppány (1997, 2006) alapján mutatom be a következőkben. Az extenzív zöldtető kialakításának strukturális feltétele a 0-25°-os lejtésű tető, a vízhatlan szigetelés és a zárófödém statikai terhelhetősége. A felépítményt a rétegsorrendek – egymás után következő

különböző szigeteléstechnikai anyagok – sorrendje alapján sorolják egyenes, vagy fordított rétegrendű csoportba. Egyenes rétegrendű felépítés esetében a hőszigetelés a csapadékvíz elleni szigetelés alatt helyezkedik el (első kép felső fekete szaggatott vonal), míg a fordított rétegrendű felépítés esetén a hőszigetelés a csapadékvíz elleni szigetelés felett helyezkedik el (második kép fekete vastag vonal). A csapadékvíz a hőszigetelést átjárva jut a vízszigetelésre.

Az **egyenes rétegrendű** felépítés a födémszerkezetre rakódó általános felépítése: párazáró bitumenes lemez, expandált polisztirol hőszigetelés, elválasztó filcréteg, minimum 1,5 mm vastag csapadékvíz elleni PVC szigetelés, amely egyben gyökérálló réteg is. Ebben az esetben a polisztirol hőszigetelésre filc elválasztó réteg kerül ugyanis két réteget kötelező elválasztani egymástól a lágyítóvándorlás miatt. A zöldtető építésénél a vízszigetelésre 20 mm vastag perforált dombornyomott felületszivárgó, elválasztó réteg, közegkeverék és a növényzet kerül.

A **fordított rétegrend** esetében a födémszerkezetre az alábbi rétegek kerülnek: csapadékvíz elleni bitumenes szigetelés és gyökérálló bitumenes szigetelés. A bitumenes lemezek vastagsága az ÉMSZ előírásai szerint minimum 4 mm. A gyökérálló bitumenes lemeznek minimum 4 mm vastagságúnak és rézbetétesnek kell lennie. A szigetelő lemezeket lángheglesztéssel kell kivitelezni ÉMSZ szabvány szerint teljes felületű ragasztással. A bitumenes szigetelés hegesztése előtt 24 órával a felületet bitumenes emulzióval kellősíteni szükséges amelynek köszönhetően könnyebben elérhető a teljes tapadás. A hőszigetelés ebben az esetben extrudált lépcsős élképzésű hőszigetelés. A hőszigetelésre 20 mm vastag, perforált műanyag domborlemez helyeznek, amelyre elválasztó réteget kerül. Ezek után kerül a tetőre a közegkeverék és a növények.

A kettős hőszigetelésű rétegrend felépítést nevezik **duo-dach rétegrendű** szigetelésnek. A felépítése lentől felfelé a következő: födémszerkezet, páratechnikai bitumenes lemez, alsó expandált polisztirol hőszigetelés, csapadékvíz elleni műanyag PVC szigetelés, amely betölti a gyökérvédelem szerepét is. Erre kerül még egy hőszigetelő réteg, amely extrudált hőszigetelés. Ezt követi a szűrőréteg és a korábban említett 20 mm vastag dombornyomott perforált felületszivárgó, a közegkeverék és a növényvilág. A rajzokat Szőke Gábor készítette (55-57. ábra).

<p>SEDUM növények (12 db/m²) Közegkeverék 10cm Elválasztó filcréteg (200 gr/m²) 20 mm vtg perforált dombornyomott lemez Elválasztó filcréteg (200 gr/m²) 1,5 mm vastag műanyag PVC lemez Elválasztó filcréteg (200 gr/m²) 20 cm vastag expandált hőszigetelés (két rétegben) Páratechnikai lemez 3mm Kellősítő réteg</p> 	<p>SEDUM növények (12 db/m²) Közegkeverék 10cm Elválasztó filcréteg (200 gr/m²) 20 mm vtg perforált dombornyomott lemez Elválasztó filcréteg (200 gr/m²) 20 cm vastag extrudált hőszigetelés (egy rétegben) 4 mm vtg gyökérálló bitumenes zárólemez 4 mm vtg bitumenes alátétel Kellősítő réteg</p> 	<p>SEDUM növények (12 db/m²) Közegkeverék 10 cm Elválasztó filcréteg (200 gr/m²) 20 mm vtg perforált dombornyomott lemez 10 cm vastag extrudált hőszigetelés 1,5 mm vastag műanyag PVC lemez Elválasztó filcréteg (200 gr/m²) 10 cm vastag expandált hőszigetelés Páratechnikai lemez 3 mm Kellősítő réteg</p> 
<p>55. ábra. Egyenes rétegrendű extenzív zöldtető keresztmetszet</p>	<p>56. ábra. Fordított rétegrendű extenzív zöldtető keresztmet</p>	<p>57. ábra. Duo rétegrendű extenzív zöldtető keresztmetszet</p>

Mondhatjuk, hogy a hőszigeteléssel vagy a vízszigeteléssel fejeződnek be a szigetelési rétegek. Ezután következhet a zöldtető építése, amelynek első anyaga a védő- és elválasztó szűrőréteg.

A gyökérvédő réteg funkciója, hogy az évek múlásával is elkerülhető legyen a növények gyökereinek átjutása a szigetelésen. A csapadékvíz elleni szigetelő réteg ma már betöltheti a gyökérvédő funkciót is egyben. Így kevesebb réteg kerül fel a tetőre. Anyaga műanyag poli-vinil-klorid (PVC) vagy termoplasztikus poliolefin (TPO) fólia. Elválasztó réteget akkor használnak, amikor a tetőn alkalmazott rétegek kémiai szempontból össze nem illők. Ekkor egy semleges anyagú réteget iktatnak közbe, amely anyaga leggyakrabban filc.

A mechanikai védőréteg elsődleges funkciója a vízszigetelés mechanikai sérülésektől való megóvása. Mechanikai sérülések közé soroljuk – a reklamációk során kiderült – a kertészeti kivitelezések során okozott mechanikai sérüléseket vagy az anyagmozgatásokból származó hatásokat. Másodlagos feladata, hogy részt vegyen a nedvességtárolásban, valamint az erre alkalmas rétegfelépítések esetén átgyökeresedése révén fokozza a magasabb növények stabilitását. Anyaga mészmentes, filcszerű.

A drén vagy más néven szivárogtató réteg feladata a csapadékvíz felvétele, megtartása és a felesleges vízmennyiség gyors elvezetése lefolyók segítségével, ami megakadályozza a tető elárasztását. Nyári nagy esőzések alkalmával hirtelen kell elvezetni a felesleges vizet. A drénréteg anyagának legfontosabb ismérvei: szerkezetstabilitás, fagyállóság, struktúraállóság, alacsony törési hajlam, környezetbarát összetétel.

A szűrőréteg megakadályozza, hogy a finom talajszemcsék a vegetációs rétegből lejussanak az alsóbb rétegekbe, így esetlegesen a víz tetőről való lejutását is megakadályozhatják. Általában nem rothadó műanyagszövetet, filcet vagy fátyolt alkalmaznak. A vastagabb erősebb szűrőréteg mechanikai védőréteggént is funkcionálhat, azonban működése során nem akadályozhatja meg a feleslegessé vált víz elfolyását. A növényzetre ártalmas kioldódó anyagot egyáltalán nem tartalmazhat.

A vegetációs réteg biztosítja a növények rögzítését, tápanyag utánpótlását. Segíti a frissen beültetett növények begyökeresedését, a víz-és tápanyagellátást biztosítja azáltal, hogy felfogja a szükséges mennyiséget, de elvezeti a felesleget. Vastagsága függ a zöldtető típusától. A termeszítő közeg minden esetben legyen környezetbarát és struktúra stabil, jó puffer képességgel valamint legyen fagyálló és ásványi anyagokban gazdag.

A kivitelezés gyakorlatában pro és kontra érvek szerepelnek a különböző rétegrendű kialakításokkal kapcsolatban. Mai napig Magyarországon az egyenes rétegrend a legelterjedtebb ugyanis ár/érték arányban ez a legjobb. A három típusú rétegrend közül ez a leggazdaságosabb. Ebben az esetben a vízszigetelés a hőszigetelés felett helyezkedik el, így nagyobb az esély a mechanikus sérülésekre. Mindemellett az esetleges sérüléseket, hibákat itt egyszerűbb javítani, ugyanis a hőszigetelést nem kell felbontani. A PVC szigetelő lemez kivitelezéséhez komolyabb szaktudás, vízszigetelő szakember szükséges, mivel műanyag hegesztő gépekkel kell dolgozni. Az egyenes rétegrend kialakítás miatt nagy hőmérséklet-ingadozásnak van kitéve. Mind a hőszigetelés alá és mind a hőszigetelés fölé a méretezett páratechnikai rétegek beépítése és kiszellőztetése szükséges,

amely áramlástanai szempontból nehezen megvalósítható. Továbbá az egyenes rétegrend potenciálisan ki van téve a vízszigetelés sérülésének, UV terhelésnek, mivel a rétegrendek kialakításánál a csapadékvíz elleni réteg a hőszigetelés felett helyezkedik el. A vízszigetelés védelmére elválasztó védőréteget célszerű emiatt beiktatni, jellemzően nem szőtt, végtelenített szálú, termikusan kötött polipropilénből készült geotextíliát.

A fordított rétegrendű kialakítás épületfizikailag és épületszerkezettanilag is jobb megoldás. A gyakorlatban jobban elterjedt, hogy a vízszigetelés védelme miatt választják a fordított rétegrendet. Kivitelezése nagy hőtároló kapacitású vasbeton födémek esetében. Kisebb a vízszigetelés hőterhelése. A csökkentett rétegszám, mindig jobb szellőzést biztosít. A kivitelezési munkák során azonban van néhány hátránya. A hőszigetelést azonnal le kell terhelni a szélkárok elkerülése miatt, azonban az anyagmozgatásokat csak a hőszigetelés védelme mellett valósítható meg (pallók lehelyezése, például kertészeti munkák anyagmozgatásaihoz). A duo-dach rendszert korábban a jó szigetelő tulajdonságai miatt alkalmazták, ma azonban jellemzően olyan tetőknél célszerű, ahol egy egyenes felületet kell kialakítani a vízszigetelés számára (például trapézlemezestető).

Nagyon fontos, hogy a tetőnek megfelelő lejtése legyen. Mely lehet lejtetontból kialakítva vagy hőszigetelésből. PVC szigetelő lemez esetében elegendő minimálisan a 1,5% de a fordított rétegrend esetében ez a szám minimum 2,5%. Valamint fontos, hogy az összefolyókra úgynevezett kontoroll aknákat helyezzenek a tisztítás végett. A filceknek nem csak elválasztó szerepe van hanem a szűrés is. Ezek a rétegek gátolják meg, hogy szűrt csapadékvíz jusson az összefolyókba utána a csatornába. A mai modern öntöző rendszerek ezeket a szűrt vizeket újra felhasználva a növények öntözésére használják.

Statisztikák nem állnak rendelkezésre arra vonatkozólag, hogy Magyarországon mekkora az egyes rétegrendekkel borított tetők aránya. Becslésem szerint az egyenes rétegrendű tetők vannak túlnyomó többségben (70%). A nagyobb hőszigetelő hatással bíró fordított rétegrendű tetők elsősorban irodaházak, bevásárlóközpontok, újjépítésű lakóparkok kivitelezésénél alkalmaznak (25 %). A duo-dach tetőrendszer részaránya kicsi és folyamatosan csökken, a hőszigetelő anyagok fejlesztése révén, mivel ma már egy rétegből akár 40 cm vastag extrudált lemezt is tudnak már gyártani.

2.5.2. Extenzív zöldtetők közegkeverékei, komponensei, rétegvastagságai

Általánosságban a talaj, mint közegnek az az elsődleges feladata, hogy a növények rögzítésére szolgál, valamint az életfeltételekhez szükséges vizet és az abban oldott tápanyagokat biztosítja a növények számára. Kémiai-fizikai szempontból a talaj egy háromfázisú (szilárd, folyadék- és gázfázisú) különböző arányú polidiszperz rendszer. A talaj alkotórészeit a bennük levő fázisok alapján csoportosítják. A talaj szilárd fázisú anyagait a szerves szilárd anyagok (talaj szervesanyag-tartalom) és a szervetlen szilárd anyagok (ásványianyag-tartalom) jelentik. A talaj folyadékfázisú anyaga jellemzően a víz, amely különböző kötöttségi állapotban található (adszorbeált víz, hártavíz, kapilláris víz stb.). A talajlevegő adja a talaj gázfázisát (Széky, 1983, Szendrei 1998). A városi talajoknak a természetes talajokéval azonos, de fokozott követelményeknek kell megfelelniük, a

hagyományos talajfunkciókon túl nagyobb szűrő-, puffer-, és transzformációs képességgel kell rendelkezniük (Forró, 2001).

Az extenzív zöldtetőkön alkalmazott közegekkel kapcsolatban a szakirodalmi nomenklátúra sokszor helytelen. Gyakoriak az olyan megragadt nem kellően pontos, vagy túl általános kifejezések, mint a talaj, tető föld, termőföld, termő/termesztő közeg, ültető közeg. Ennek egyik oka az, hogy az intenzív zöldtetők közegei lényegében a kerti talajok összetételével megegyező. Nyugat-Európában szinte kizárólag közegkeverékeket alkalmaznak. A termesztő közeg kifejezés nem pontos, hiszen az extenzív zöldtetőknek nem feladata az alkalmazott növények termesztése. Az ültető közeg pedig túl általános, mivel lényegében mindent nevezhetünk ültető közegnek, ahová a növény kerül.

Több szakmai érv is szól az egykomponensű közegek/közegkeverékek ellen. A súlyuk vízzel telített állapotban kétszer-háromszor nagyobb, mint a speciális közegkeveréké, így az épületek födémszerkezetét nagyban megterhelik. Az épületek kitettsége, a szél erőssége és szélszívás miatt a felhordott közegkeverék idővel csökkenni fog. Fokozódik a veszélye a gyomok, a kártevők, a kórokozók vagy toxikus anyagok bevitelére. Ezek később csak nehezen küszöbölhetők ki. Fontos a megfelelően alacsony szervesanyag-tartalom, hogy a tetőre eltelepített – jellemzően kistápanyagigényű *Sedum* (varjúhájfélék) és *Sempervivum* (kövirózsák) nemzetség – fajainak ne jelentsenek konkurenciát a nagyobb szervesanyagigényű gyomok. Célszerű növelni a telepítési tőszámot, hogy a terület minnél hamarabb teljes borítottságot adjon az eltelepített növényekkel. Egykomponensű közegeknél a magas agyagtartalom, további vízelvezetési problémákat is okozhat.

A zöldtetők közegkeverékeinek speciális kritériumoknak kell megfelelnie, ezért is kulcsfontosságú a helyes közegkeverék alkalmazása. A mindössze 10-15 cm-es extenzív zöldtetők közegkeverék rétegének egyszerre kell kiegyenlített tápanyag szolgáltatást, stabil hő háztartást, jó vízgazdálkodást biztosítani a megfelelő levegőtérfogat mellett. A vízmegtartás mellett képesnek kell lennie a nagy záporok fölös vizeinek elvezetésére is. Kulcsszerepe lehet ebben a szemcseméret eloszlásának. A telepítendő növények szempontjából pedig lényeges a közegkeverék szerkezetmegtartó, magas vízkapacitású, vízáteresztőképeség, tápanyagmegkötő- és leadó képessége.

Az extenzív zöldtetőket nem gondozzák folyamatosan, nem használnak növényvédő szereket, sőt öntözést sem, ezért a csekély vastagságú közegkeverék összeállításánál ezekre is figyelemmel kell lenni. További nehézséget jelent, hogy az extenzív zöldtetőket 20-25 évre tervezik, ezért a szerkezetállandó közegkeverék biztosítása célszerű. Természetesen az extenzív tetőkön alkalmazott közegkeverék összetételét, fizikai és kémiai paramétereit a helyi éghajlati adottságok (kitettség, páratartalom, szél erőssége, szélszívás stb.), valamint a telepített növényzet is jelentősen befolyásolja. Az extenzív zöldtetők számára több különböző közeg szubsztrátum típust dolgoztak már ki. Az egyik irányzat iparilag előállított kis sűrűségű agyag aggregátumokat alkalmaz alapelemként (pl. „Lecadan T”, „Lecadan S”). A másik közegkeverék alapelemét az iparilag előállított tufák adják (Deutscher, 1995).

Az extenzív tetők építési gyakorlatában ismeretesebbek az egykomponensű ásványeredetű közegek, amelyeket rövidtávon szerkezetük, és viszonylagos olcsóságuk miatt alkalmaznak, azonban

hosszú távon savanyosodást, káros anyag felhalmozódásokat okozhatnak. Savanyú kémhatás esetében nagyobb a kockázata patogén kórokozók és kártevők elszaporodásának, valamint ezen talajok pufferképessége minimális. A keverékekben használt humuszanyagok és agyag-humusz komplexek megfelelő tápanyagtartalékokat biztosítanak a növényeknek. A tápanyag feltáródás mértéke a luxusfogyasztástól védi a növényeket (Forró, 2002).

Fontos kiemelni, hogy nem elegendő a talajok tápanyagokban való ellátottsága, hanem a talaj kémiai tulajdonságainak, így elsősorban a pH-nak a beállítását úgy kell elkészíteni, hogy a tápanyagok felvehetőek legyenek a növények számára. Ehhez az enyhén savas illetve semleges kémhatás (pH = 5,5-7,0) a legmegfelelőbb (Prekuta, 1997). A lúgos talajokban számos tápion felvétele akadályozott, vagy gátolt, amelyeket súlyos esetben a leveleken levő klorotikus tünetek is jelzik. Fontos az alacsony só- és karbonáttartalom.

A keverékekben elterjedten alkalmazzák a kis térfogattömegű ($0,2-0,8 \text{ g/cm}^3$) biomasza anyagokat, amelyek jó víztartó és vízáteresztő tulajdonság mellett, a talajélet és a biológiai aktivitás növelésére is kiválóak: tőzeg, faforgács, fűrészpor, rizshéj (Forró, 1998). Emellett a gyakorlatban elterjedten hasznosítják még a különböző frakciójú vulkáni tufaőrleményeket (riolit), téglőrleményeket, agyaggranulátumokat elsősorban a jó víztartókéességük miatt.

Oláh (2012) újszerű megközelítésében előtérbe helyezi a zöldtető hőszigetelő képességének adalék anyaggal történő fokozását. A kerámia porszemcsék belsejében levő vákuum biztosítja a magas hőszigetelő képességet, amely hozzáadódik a nagy hőkapacitással rendelkező magas víztartalmú növény, közegkeverék és felületszivárgó lemez víztartalmának hőszigetelő képességéhez. A közegkeverék és a növényzet együttesen is egy hőszigetelő réteggént funkcionál.

A gyakorlatban a piacon működő cégek közegkeverékeket is tartalmazó teljes rendszereket ajánlanak (Optigreen, Bauder, Diadem, Archigreen, Fitosystem). Jellemzően honlapjaikon megadják a közegkeverékek jellemzőit is (súly/tömeg, vastagság, ajánlott tető lejtés, vízvisszatartás, víztárolás, milyen vegetációs felülethez ajánlott). A közegkeverékek tulajdonságainak hiteles eredményeit akkreditált vizsgáló laboratóriumok készítik el. Az akkreditált státusz egy igazolás, hogy a cég elvárható szinten és minőségben végzi, technikailag, személyzetében, adatkezelési módszereiben alkalmas, amelyet egy független és kompetens szerv (Nemzeti Akkreditáló Testület, NAT) állít ki a szervezetéről, feladat és hatásköréről, valamint eljárásáról szóló 2005. LXXVIII. tv. értelmében. Az akkreditáció alapkövetelménye, hogy a laboratórium megfeleljen a „Vizsgáló- és kalibrálólaboratóriumok felkészültségének általános követelményei” (MSZ EN ISO/IEC 17025:2005) szabványnak. Az akkreditált szervezetek és természetes személyek adatbázisa segítségével interneten is kereshetők. Az akkreditáció felfüggeszthető és/vagy visszavonható, 2 évre szól, de évenkénti felújító audit kötelező.

Rowe és munkatársai (2012) Michiganben 7 éven keresztül három különböző közegvastagságot (2,5 cm 5,0 cm, 7,5 cm) vizsgáltak 25 különböző szukkulens nemzetség (*Graptopetalum*, *Phedimus*, *Rhodiola*, *Sedum*) fajainak eltelepítésével. A eredményeik azt mutatták, hogy a 7,5 cm-es közegvastagságnál 22 faj fordult elő, az első tenyészidőszak végén, de ezek a számok tovább csökkentek. A második év végére 13 faj, a harmadik év végére 8 faj, az ötödik év

végére pedig már csak 7 faj maradt. Kisebb közegvastagságnál a fajok száma gyorsabban csökkent, de a 4. év után a fajok száma nem, csak egymáshoz viszonyított mennyiségük változott meg. A legkisebb közegvastagságban (2,5 cm) a *Sedum acre* és *Sedum album* váltak a domináns fajokká. Kísérleteikben rámutatnak arra, hogy a közegvastagság fontos tényező, de a zöldtetőn levő fajok konkurenciáját is célszerű a tervezéskor figyelembe venni.

2.5.3. Extenzív zöldtetők mennyiségi és minőségi vízparaméterei

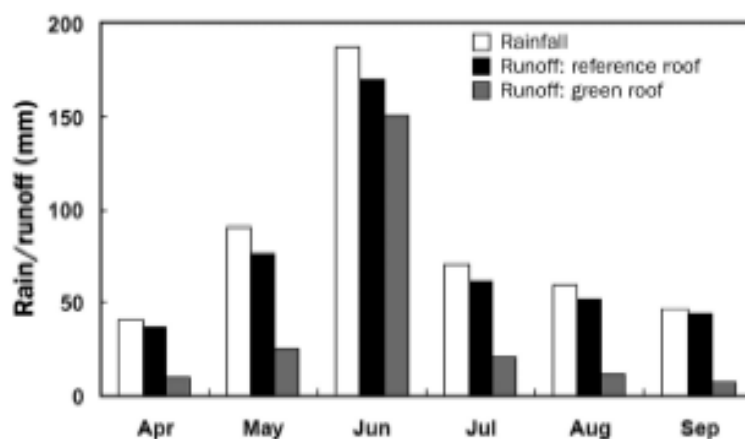
Világszerte, az urbanizált területeken a természetes vegetáció kicserélődik, ami jelentős mértékben megnöveli a vízátnemeresztő felületeket, amelynek súlyos következményei lehetnek (Antrop, 2004; Jennings és Jarnagin, 2002). A beépített és burkolt felületek, valamint a kiépített csatornarendszer az egységnyi felületre hulló csapadékat relatíve gyorsan elvezetik, párologtató hatásuk máshol jelentkezik. A városi területeken az vízátnemeresztő felszínnek akár 50%-a is lehet a kihasználatlan tetőfelület (Dunnett és Kingsbury, 2008).

Az extenzív tetők létesítésének egyik előnye, hogy a természetes csapadék jelentős része nem a csatornahálózaton folyik el, hanem a csapadék helyben, a zöldtetőkön hasznosul, és a visszatartási hányad növekszik. (Az extenzív zöldtetőket nem öntözik, ezért különösen a csapadékszegény nyári hónapokban a hozzáférhető víz mennyisége korlátozott, ezért a párologtatás és ezen keresztül a kondicionáló hatás is mérsékelt.) Mentens és munkatársai (2006) kimutatták, hogy a lefolyó csapadékvíz mennyiségének csökkentésére valódi megoldás a zöldtetők alkalmazása. A kiindulási adatokat az éves és szezonális időskálán mért 628 brüsszeli csapadék-lefolyás párhuzamos mérés adta. Megállapították, hogy az éves csapadék-lefolyás kapcsolatát erősen befolyásolja a közeg vastagság és közegösszetétel.

Getter és munkatársai (2009) megállapították, hogy a 4 cm-es közegvastagság kevesebb vizet tud visszatartani, mint a 7 cm-es vagy a 10 cm-es vastagságú közegek. De a 7 és a 10 cm-es közegek között nem adódott szignifikáns különbség. Közegkeverék vastagságának meghatározása kulcs elem a vízvisszatartásban, így a lefolyó víz mennyiségében és a lefolyási csúcsok mérséklésében.

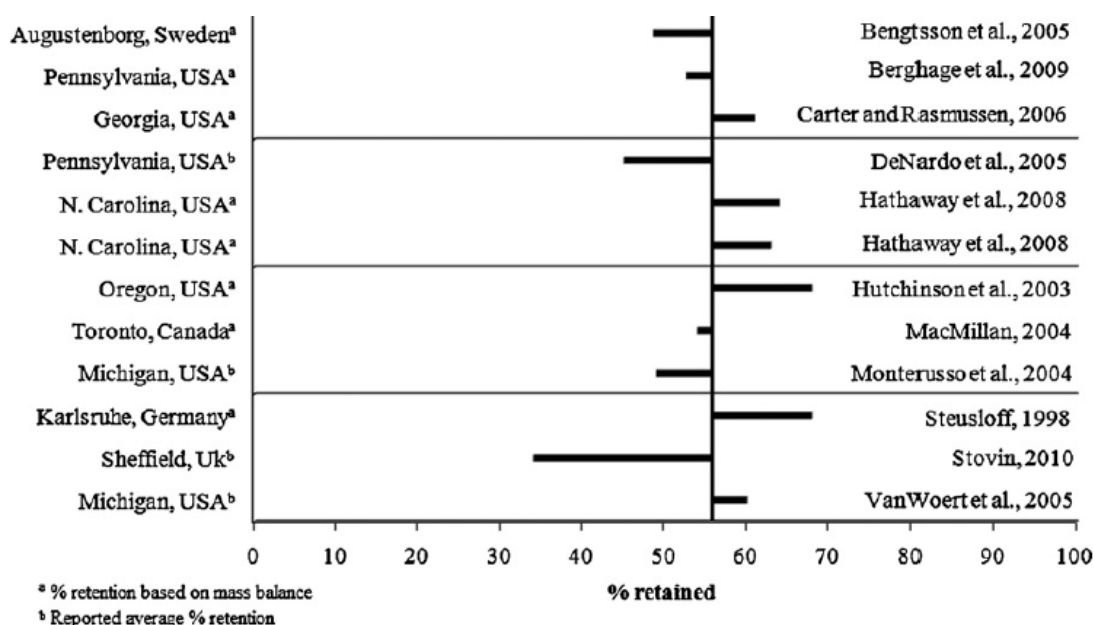
Kaufmann (1999) téli (október 1.–március 30.) és nyári hónapok (április 1.–szeptember 30.) között vizsgálta különböző tetők vízvisszatartását. Kutatásában bemutatta, hogy a tél folyamán szignifikánsan magasabb volt az átfolyás százalékos aránya, mint nyáron. Kaviccsal borított tető esetében a tél-nyár (86%, 70%) a zöldtető esetében a tél-nyár (80%, 52%). Összességében tehát megállapítható, hogy mérsékelt klímán a vízvisszatartás erősen évszakfüggő.

Vanuytrechta és munkatársai (2014) az átfolyóvíz mennyiségét vizsgálták maritim klímán, *Sedum*-moha, fű-évelők és bitumenes tető esetében. Kutatásukkal igazolták, hogy a zöldtetők hatékonyan csökkentik az átfolyó csapadékvíz mennyiségét (nyáron 61-75%, télen 6-18%) a vizsgált két zöldtető esetében. Javasolják a különböző életformájú növények kombinálást. Más kutatási eredmények is hasonló következtetésekre jutottak. Portland-i, oregoni kelet-lensingi és michigeni tanulmányokban, az esővíz visszatartása a zöldtetőknél 66% és 69% között változott 10 cm-nél vastagabb ültetőközegnél (Moran et al. 2005) **(58. ábra)**.



58. ábra. A lefolyó esővíz visszatartása zöldtető tesztparcellákba (Moran et al. 2005)
(Az értékek a lefolyó esővíz összesített értékei)

Más tanulmányokban a vízvisszatartás értékei 25-100% között változtak (Beattie és Berghage 2004). Köhler és munkatársai (2002) szerint a zöldtetők teljes éves vízvisszatartása 60% és 79% között van. A becslések alapján 10%-os zöldtető „burkolás”, az ami lecsökkentheti a regionális vízfolyást 2,7% szintjére (Mentens et al. 2006). A zöldtetők vissza tudják tartani az átfolyó vizet, azonban nem oldják meg a talajvizek problémáját a városi területeken (Oberdornfer et al., 2007). Más zöldtető hidrológiai kutatási programok – jellemzően mérsékelt közepes földrajzi szélességeken – viszont nagyon különböző átlagos éves vízvisszatartási szintekről (30% és 86%) számoltak be között (Li és Babcock, 2014). Az alkalmanként/esőzésként a vízvisszatartás nagyon tág határok (0% és 100%) között mozgott (Berghage et al., 2007; Stovin et al., 2012) (59. ábra).



59. ábra. Zöldtetők csapadék visszatartása (A függőleges egyenes vonal az átlagos vízvisszatartást jeleti (56%))
(Gregoire és Clausen, 2011)

Kevésbé ismert a zöldtetők átfolyó víz minőségére gyakorolt hatása. Néhány átfolyóvíz minőségével foglalkozó tanulmányt Németországban készítettek el, amelyek általában a zöldtetők pozitív hatásairól számoltak be. Steusloff (1998) a szennyezőanyagok visszatartásával, tápanyagok kimosódásával foglalkoznak. Összhangban a vizsgálati eredményekkel elkészítettek két modell zöldtető vegetációt Karlsruhéban, Németországban. Steusloff (1998) szerint a nehézfém visszatartás kapacitás főként a víz visszatartás kapacitástól függ. Dunnett és Nolan (2004) valamint Moran és munkatársai (2005) kísérletükben igazolják, hogy az átfolyó víz nitrogén és foszfor szintje átmosódik az ültetőközegből. A ültetőközeg magas vízáteresztő képessége és az alacsony vízmegkötő kapacitása mellett, nehéz megvalósítani és fenntartani a magas növényborítottságot túl hosszú ideig a nagyon vékony extenzív zöldtetőn, ha nincsen szervesanyag utánpótlás és nagyon vékony az ültetőközeg.

Vijayaraghavan és munkatársai (2012) Szingapúrban megépített kísérleti tetők sorozatán vizsgálták az átfolyóvíz vízminőségének alakulását. Kezdetben volt a legnagyobb a kémiai komponensek koncentrációja, amely később csökkent. Ezeket az elemeket azonosították a vizek vizsgálata során: Na, K, Ca, Mg, Li, Fe, Al, Cu, NO₃, PO₃, SO₂. Megállapították, hogy összetételük a zöldtetőkön alkalmazott szubsztrátoktól és a lehullott csapadékmennyiségétől függött. Az US Environmental Protection Agency for freshwaters szabványok (USEPA, 1986; 2009) alapján megállapították, hogy a vizsgálatban használt zöldtetők hatékonyak a víz tisztításában, kivéve az átfolyó víz nitrát (NO₃) és foszfát (PO₄) mennyiségét. Összefoglalóan az átfolyó víz pH-ját közel semlegesre állították be, a só-tartalmat növelték, több esetben fémkimosódást okoztak (Fe, Cu, Al), valamint növelték a nitrát és foszfát tartalmat az átfolyó vízben. Munkájukban javasolják a megfelelő anyagú szubsztrát alkalmazását, amely nem szennyezi a lefolyó vizet.

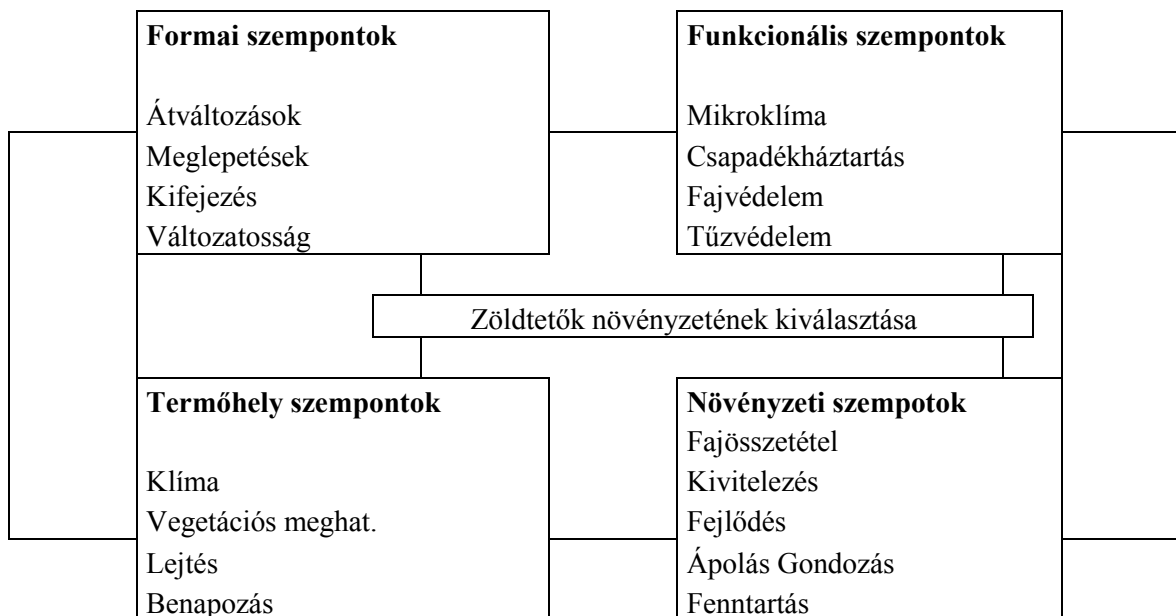
A Londoni ökológiai egyesület kutatásaival bizonyította a zöldtetők biofiltrációs és bioakkumulációs szerepét. A csapadékvíz koncentrációkból származó eredményeik alapján igazolták, hogy a nehézfémek 95%-át is képesek megkötni (Livingstone, 2008). Az extenzív zöldtetőn átszűrt csapadékvíz minőségi vizsgálatát az elsők között Prekuta János végezte el Magyarországon, melyben vizsgálta többek között a tetőről lefolyó csapadékvíz kadmium (µg/l), ólom (µg/l), réz (µg/l), ón (µg/l), nikkel (µg/l), cink (µg/l) tartalmát. Az eredmények azt mutatták, hogy a kadmium 43%-át, az ólom 22%-át, a réz 27%-át, a króm 41%-át, a nikkel 53%-át és a cink 44%-át kötötte meg a zöldtető filtrációs rétege (Szabó, 2010).

Gregoire és Clausen (2011) az észak-amerikai tetőket vizsgálva arra a megállapításra jutott, hogy összességében a zöldtető hatékonyan csökkentette a csapadékvíz lefolyást és az általános szennyezőanyag terhelést a főbb vízminőség paraméter tekintetében.

2.5.4. Extenzív zöldtetőkön alkalmazott fajok feltételei és alkalmazása

A zöldtető mint élettér, szélsőséges követelményeket támaszt a növényzettel szemben, amely exponált helyzete miatt többek között a szélnek, nagyobb hőmérsékleti különbségeknek, módosított csapadék felvételi lehetőségek jellemzik, mint a természetes helyén. Az alkalmazott növényeknél az egyik kulcskérdés, hogy extenzív, vagy intenzív tetőn kell-e az egyes fajoknak „megállni” a

helyüket. Az intenzív tetők esetében lényegében kerti körülmények teremthetők, így a növényalkalmazást ez jelentősen kevésbé befolyásolja, míg az extenzív tetőkön nehezebb életfeltételek adódnak. A választást további tényezők is rendkívül sokoldalúan módosítják. A tetőkön alkalmazható növények szempontrendszerét Kolb (1999) alapján mutatom be (**60. ábra**).



60. ábra. A tetőzöldesítés növénykiválasztásának hatásrendszere (Kolb, 1999 nyomán)

Extenzív körülmények között lényegesen kevesebb faj alkalmazható (Penszka, 1997). Extenzív tetőknél fás szárú növényeket nem lehet alkalmazni, hiszen azok mélyen gyökereznek. Az extenzív ökotetők közegvastagsága 15 cm, vagy annál kisebb. Egynyári növényeket sem lehet alkalmazni, hiszen nem tudnak egész éves borítást produkálni. Az extenzív ökotetőkön csak lágyszárú évelő fajok alkalmazhatók. Fontos tulajdonságuk a gypes növekedés, a megfelelő terjedő és regenerálódó képesség, valamint az alacsony termet. Az évelő növények élettartama különböző, általában 10 évnél rövidebb életűek. Ezért fontos, hogy a telepített növények számára megfelelő környezeti feltételeket biztosítsunk, ezáltal a növényállomány folyamatosan megújul és így egy hosszantartó teljes növényborítást érünk el (Gerzson, 2003).

Több kutatásban is összefoglalják, hogy az extenzív tetőkön alkalmazott növényeknek milyen általános jellemzőkkel kell rendelkezni: (1) gyorsan és hatékony szaporodjanak; (2) legyenek alacsonytermetűek, párna-képzők; (3) sekélyen gyökerezzenek, de jól terjedjenek; (4) legyenek levélpozsgások, vagy képesek legyenek tárolni a vizet (Snodgrass és Snodgrass, 2006; MacIvor és Lundholm, 2011).

A *Sedum* fajok az egyedi sajátosságaik miatt a leggyakrabban alkalmazott növények, mivel viszonylag sekélyen gyökereznek, leveleikben képesek a vizet tárolni és CAM anyagcserével működő növényként csökkenteni tudja a vízvesztését (Van Woert et al., 2006; Durhman et al., 2006).

A növények kiválasztását elsősorban biológiai szükségleteik, alkalmazkodó képességük és a környezeti paraméterek határozzák meg. Minden esetben érdemes figyelembevenni a fajok szárazságtűrését, sugárzástűrését, télállóságát, szennyeződéstűrését, szélstabilitását, rövid gyökerűségét (Hidy et al., 1995). Az extenzív zöldtetők jellemzően ki vannak téve a közvetlen erős napsugárzásnak, de – elsősorban nagyvárosokban – az épületek időszakosan árnyékolhatnak, így ezekre a helyekre célszerű minden besugárzási viszonyhoz jól alkalmazkodó fajokat alkalmazni, mint a *Sedum acre*, *Sedum album* (Getter és Rowe, 2006).

A növényfajokat a helyi környezeti feltételektől függően szárazság és fagyűrő mohák, szukkulensek és egyéb lágyszárú fajok, főleg magashegyi évelők alkotják (Minke, 2002).

Hazánkban legelterjedtebben a lágyszárú fajokat alkalmazzák, de egyes fás szárú fajokat is kipróbáltak: *Ajuga reptans*, *Antennaria dioica*, *Armeria maritima*, *Artemisia schmidtiana*, *Cerastium tomentosum*, *Delosperma cooperi*, *Delosperma nubigeum*, *Euphorbia myrsinites*, *Festuca pallens*, *Inula ensifolia*, *Iris aphylla*, *Iris pumilla*, *Jovibarba globifera*, *Koeleria glauca*, *Lavandula angustifolia* 'Hidcote', *Lavandula angustifolia* 'Rosea', *Opuntia compressa*, *Origanum vulgare*, *Orostachys iwarenge*, *Salvia officinalis* 'Purpurascens', *Salvia officinalis* 'Tricolor', *Sempervivum* fajok és fajták, *Stachys byzantina*, *Teucrium chamaedrys*, *Thymus serpyllum*, *Thymus vulgaris*, *Cotoneaster* fajok egy része (Gerzson, 2001) Magyarországon zöldtetőn alkalmazható *Opuntia* fajok vizsgálatával átfogóan a Budapesti Corvinus Egyetem (korábban Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem) Budai Campus Tetőkertjében végeztek (Mohácsiné-Szabó, 2000; 2002; 2007).

Hazánkban a legelterjedtebbek a *Sedum* nemzetség fajtái, elsősorban az Ázsiában és Európában honos fajok a legmegfelelőbbek. A *Sedum* nemzetségbe tartozó fajok közül, több is ajánlható extenzív körülmények közé. Ennek okai, hogy a *Sedum* fajok hajtásainak vízmegtartó és párolgáscsökkentő képessége nagy. A növény többnyire alacsony 10-20 cm-es magasság, rendszerint tömött gyepet alkot. A növények kiválasztásánál az ültető közeg és az ültetendő növények igényei kiemelten fontosak. A *Sedum* fajok elsősorban mérsékelt és hűvösebb éghajlaton honosak, de a mediterráneumban is jól érzik magukat. Nagyon igénytelenek, ezért rendszerint a kedvezőtlen helyeken, sziklagyepekben, homokpusztákon csoportosan nőnek. Sokféle színben és formában élnek változatos fajtái szerte a világon. A testfelépítésük és az életfolyamataik is a száraz klímához igazodva alakultak ki. A húsos, pozsgás levelekben víztározó szövet képződött. Rugalmas sejtfalú sejtekből állnak, de a nagyobb nedvességvesztésnek náluk is látható jelei vannak, ami térfogatcsökkenéssel jár (növény ezzel csökkenti párolgató felületét). A párolgatótást korlátozza a sejtekben található nyálka, és a levelek felszínén a viaszbevonat. A *Sedum* fajok jó alkalmazkodó képessége segíti a hazai klíma- és időjárás-változások hatásainak elviselésében (Gerzson, 2004; Gerzson 2006, Gerzson 2007).

A szakirodalomban és a nemzetközi zöldtetőépítés gyakorlatában számos vita van az őshonos növények és a jövevény növények alkalmazásáról (Currie és Bass, 2010). Az Amerikai Egyesült Államokban és Kanadában az őshonos és a nem őshonos fajok túlélési rátáját vizsgálták nem öntözött (extenzív) körülmények között. A kutatások eredményei alapján nagyon eltérőek voltak ezek az értékek (őshonos%-nem őshonos%). Butler és munkatársai (2012) összefoglaló munkája

alapján: 100%-100% (Butler and Orians (2011), 33%-100% (Getter et al. 2009; Rowe et al. 2006), 22%-100% (Monterusso et al. 2005), 13%-100% (Licht és Lundholm, 2006) 0%-100% (Durhman et al. (2006). A kísérletek alapján általánosan megállapítható, hogy minden esetben magasabb volt a nem őshonos fajok túlélési rátája az őshonosokkal szemben. Tehát a nem őshonos fajok versenyelőnnyel rendelkeznek, így hosszútávon jobban alkalmazkodnak az extenzív körülményekhez és kihívásokhoz.

Természetesen számos előnye ismeretes az őshonos fajoknak: segít visszaállítani az egészséges ökoszisztémát, alkalmazkodtak a helyi körülményekhez (EPA, 2012), a környezetben élő növény- és állatfajok is ehhez a fajokhoz kötődnek, biodiverzitást is segíti, az étletteret foglalja a nem őshonos fajokkal szemben (Clark és MacArthur, 2007). Könnyebben kommunikálható a lakosság felé az őshonos növények biodiverzitást megőrző szerepe az invazív növényekkel szemben, segítve ezzel az ökológikus gondolkodás társadalmi elterjesztéséhez (MacIvor és Lundholm, 2011).

2.6. *Sedum* fajok jellemzése

2.6.1. *Sedum* fajok botanikai jellemzése

2.6.1.1. *Sedum* fajok rendszertani helye

A varjúhájak (*Sedum*) nemzetség fajai rendszertanilag a zárvatermők törzsébe (*Angiospermatophyta*), a kétszikűek osztályába (*Dicotyledonopsida*), a rózsalkatúak alosztályába (*Rosidae*), a kötővirágúak rendjébe (*Saxifragales*) és a varjúhájfélék családjába (*Crassulaceae*) tartoznak. Kötővirágúak rendje (*Saxifragales*) jellemzően lágyszárú, amelyet több szimmetriasíkkal rendelkező, kettős virágtakarójú növények alkotnak. További bélyeg, hogy határozott számú porzóval rendelkeznek. A termőtáj apokarpikus vagy szinkarpikus. A levelek szórtak vagy átellenesek. A lágyszárú fajok gyakran tölevélrózsásak. Jellegzetességük még a fejlett, sejtes szerkezetű endospermium.

A varjúhájfélék (*Crassulaceae*) család a legnagyobb a kötővirágúak rendjében, mintegy 34 nemzetségével és 1400 fajával. A trópusoktól a boreális régióig egyaránt elterjedtek, de a Dél-Afrikában, Mexikóban és a mediterráneumban koncentráálódtak. Többségük pozsgás levelű, levélszukkulencia jellemzi, levelek épszerűek, egyszerűek. Általában lágyszárúak vagy félcserjék, virágaik kétivarúak és aktinomorfak. A virág tengelye gyakran tányérszerűen kiszélesedik. A termőleveleknek csak az alapja nő össze. A termés gyakran tüsszöcskor, tüssző vagy makkocska. Gyökere felszín közeli vagy mélyre hatoló. Bőrszövege kutinnal, kutikulával esetenként epikutikuláris viasszal fedett, csekély a felület/térfogat aránya és a légzése. Alapszövege vastag, vízraktározó, nincs paliszád parenchima, a mezofill sejtekben pedig vakuólumok helyezkednek el (Borhidi 1995, Udvardy, 2006).

A *Crassulaceae* család helyzete a *Saxifragales* rendben jól megalapozott addig kládjainak filogenetikai kapcsolatai bizonytalanok. Míg Berger (1930) rendszere 6 alcsaládot különít el (*Crassuloideae*, *Kalanchiodeae*, *Cotyledonoideae*, *Sempervivoideae*, *Sedoideae*, *Echeveroideae*),

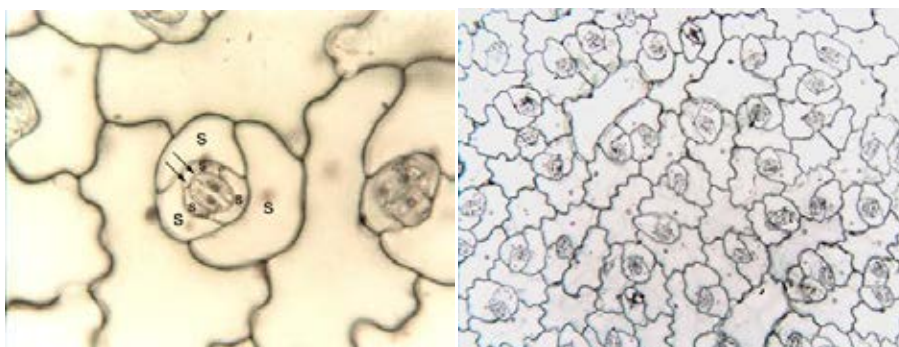
addig Thorne és Reveal (2007) csak két alcsaládot (*Crassulioideae*, *Sempervivoideae*), míg Thiede és Eggli három alcsaládot (2007) ismer el (*Crassulioideae*, *Sempervivoideae*, *Kalanchoideae*).

Udvardy (2006) és Turcsányi (2000) szerint a varjúhájfélék családjába (*Crassulaceae*) a varjúhájak (*Sedum*), kövirózsák (*Sempervivum*), korallvirágok (*Kalanchoe*) és *Bryophyllum* nemzetségek tartoznak.

Szabó és kutató társai (2015) szerint, növényalkalmazás szempontjából a Magyarországon is télálló varjúhájak jelenleg 5 nemzetségbe sorolhatóak (*Hylotelephium*, *Rhodiola*, *Orostachys*, *Phedimus*, *Sedum*), a *Hylotelephium* nemzetségbe nagyobb termetűek, bokros növekedésűek és lapos levelűek, a *Rhodiola* nemzetség tagjai elsősorban húsos, caudexes rizómájú fajok, az *Orostachys* nemzetség fajai a sűrűrosettájú mongol kövirózsák, a *Phedimus* nemzetségbe tartozók legyökerező szárú, gyepes növekedésű, a lapos levelű fajok, míg a *Sedum* nemzetségbe az alacsony, legyökerező szárúak, jellemzően gyepes növekedésű és hengeres vagy félhengeres levelű fajok tartoznak.

2.6.1.2. *Sedum* fajok általános morfológiai és szövettani jellemzése

A varjúhájak (*Sedum*) külső, védő funkciót betöltő szövettani része a bőrszövet (epidermisz). A száraz éghajlaton honos szárazságtűrő növények (xerofitonok) jellemzője a növények epidermiszén kialakult vastag kutikula, felületük szőrözöttsége, viaszbevonat. Külső szöveti egységbe, az epidermisz alapsejtek közé ékelődő több sejtből álló a növény gázcseréjét és párologtatását szabályzó szövettani rész, a gázcserenyílás/légrés (sztóma) tartozik. A sztómakomplex központja a két zárósejt, melyek a légrést fogják közre. Ezeket ölelik körbe a kísérősejtek. A sztómaszerkezetét, nagyságát, mennyiségét, elhelyezkedését az életmód és környezet nagyban befolyásolja. Míg jellemzően a vízi növények esetében a levél színén, addig a szárazföldi növényeknek a fonákán helyezkednek el a sztómák. A hengeres levelű varjúhájak (*Sedum*) levélkéin a sztómák elszórtan helyezkednek el, jellegzetesen az epidermisz szintje alatt (Turcsányi, 2000; Ördög és Molnár, 2011) (61. ábra).



61. ábra. *Sedum* fajok sztómáinak mikroszkópikus felbontásban (forrás: internet, 37, 38)

A valódi alapszövet sejtjei (parenchima) vékony sejtfalúak, plazmát tartalmaznak, amelyeknek különböző funkciói vannak: asszimilálás, raktározás, víztartás, átszellőztetés. A szárazságtűrő növények (*Sedum*) testében olyan parenchimatikus szövet alakul ki, amely nagy mennyiségű víz tárolását biztosítja a vakuólumaiban. A levélsukkulens növények sejtjeiben a

vakuólumon kívül a sejtfal nyálkatartalmához is kötődik víz. Sejtjeikben sok a vizet megkötő nyálka, szöveteik duzzadtak. Hengeres, vagy ellaposódó apró leveleik keresztben átellenesen helyezkednek el a száron, levélnyelük általában nincs.

Gerzson és munkatársai (2007) a *Sedum reflexum* szárának és levelének morfológiai és szöveti sajátosságait vizsgálták extenzív zöldtetőn és sziklakerti körülmények között fejlődő növényeknél. A zöldtetőn a levelek többnyire gömbszerűen hengeres alakúak, a nyalábok száma átlagosan 3, maximum 4. A sziklakerti növények esetében a levélkeresztmetszet ovális formájú, a szállítónyalábok száma az 5-öt is eléri. Az eddig vizsgálataiból arra következtetnek, hogy a környezeti körülmények bizonyos mértékig hatnak a szöveti szerkezetre.

A varjúhájak lágyszárúak, vagy az elfásodás jellemzi. Többségüknek heverő, vagy ritkábban felálló szárak van. A varjúháj nemzetség (*Sedum*) fajai többnyire alacsonyabb termetű, alul gyakran elfásodó szárú évelők, terjedő tövűek, viszonylag jól regenerálódnak a szélsőséges körülmények megszűnte után. A szárak élettartama alapján a *Sedum* fajok a többször termő növények csoportjába tartozik. Életük több éven át tart. Évente ismételt virítanak és minden alkalommal termést érlelnek. A *Sedum* fajok Raunkiaer (1934) nyomán a mérsékeltövi értelmezésben *Chamaephyta* (Ch.) életformájúak, törpecserjék és párnás növények, rügyeik 5-25 cm-rel a talaj felett telelnek át. Sugaras szimmetriájú virágai rendszerint zárt többes bog (*pleiochasium*) virágzatban nyílnak. A többesbog akkor keletkezik, ha a főtenyész csúcsközele, örvökben álló rügyei hajtanak ki, internódiumaik megnyúlnak és az így keletkezett oldalágak virágzatokban végződnek. A jellemző virágzíneik: aransárga, fehér, rózsaszín, kármin piros és ezek különböző árnyalatai. A szirmok csúcsa hegyes, a virág csillag alakú. Viráguk jellemező virágképlete: $K_5 C_5 A_{5+5} \underline{G}_5$, termésük tüsszocsokor (Jacobsen, 1970; Turcsányi, 2000).

2.6.2. *Sedum* fajok speciális anyagszere folyamatai, élettani sajátosságok, kémiai anyagok

A fotoszintézisük végterméke alapján a növényeket különböző csoportokba oszthatjuk. A C3-as növények fotoszintézisének végterméke egy három szénatomot tartalmazó molekula (cukor). Ide tartoznak Magyarországon a gabonafélék többsége, burgonya, zöldségnövények, gyümölcsök stb. A C4-es növényekhez sokkal kevesebb növényfaj tartozik, mint például a kukorica, cirok, köles és több gyomnövény, a végtermék molekula négy szén atommal rendelkezik. Az extenzív tetőkön leggyakrabban alkalmazott varjúhájfélék (*Sedum*, *Crassulaceae*) és más családok fajai a **CAM** (*Crassulaceae Acid Metabolism*) növények C3 és C4-t is mutatja, de a kétféle út időben el van választva egymástól. A sivatagok szűkös vízellátásához alkalmazkodott, nappal zárt sztómák a párolgás miatt, éjjel nyitják ki, hogy széndioxidot diffundáljanak, de ez csak szerves sav formájában (almasav) kötik meg a kevés energia miatt, cukrokat a nappali fotoszintézis során a második lépcsőben termelnek (Wolf, 1960; Ördög és Molnár, 2011). Más szerzők 4 lépésben, részletesebben írják le ezt a folyamatot: (1) éjszakai CO₂ felvétel és fixálás almasav formában, (2) egy rövid ideig a CO₂-felvétel nyitott sztómák, hajnalban; (3) nappali almasav piruváttá alakítása, Calvin-ciklus zárt sztómák (4) utolsó szakaszban sztómányitás alkonyatkor, amikor az almasav forrás kimerül (Osmund

et al, 1989; Dodd et al., 2002). Nagy előnyük a CAM növényeknek, hogy túlélnek a hosszú száraz időszakokat is (Liu et al., 2012) (10. táblázat).

10. táblázat. Növények fotoszintetikus típusainak összehasonlítása (Osmund et al, 1989; Dodd et al., 2002)

Fotoszintézis típusa	Karboxiláló enzimek	Klorchima	Fotoszintézis elhatárolódása
C3	Rubisco	paliszád (oszlopos)	nincs
C4	Pep-karboxiláz és Rubisco	mezofil és hüvelyparenchima	térbeli
CAM	Pep-karboxiláz és Rubisco	homogén szövet	időbeli

A *Sedum* fajokban jellemzően különböző cukrokat, alkaloidokat, fenolsavakat, hidrokinineket, kumarinokat, proanthocianidokat és flavonoidokat azonosítottak (Hegnauer, 1964; Gill et al., 1979; Gnedov és Schroeter, 1977; Celardin et al., 1982; Wolbiś, 1987; Gill et al., 1984; Combier és Lebreton, 1968; Chari et al., 1977).

A megfelelő növényi redox rendszer kulcsfontosságú a biotikus és abiotikus stresszfaktorokhoz történő adaptációhoz. Ennek fontos része az úgynevezett szabadgyök-antioxidáns rendszer. Számos reakció során ugyanis párosítatlan vegyértékelektronokkal rendelkező vegyület keletkezik, melyek instabilitásuk folytán potenciális veszélyt jelentenek a biológiailag fontos molekulákra. A *Sedum* fajok antioxidáns kapacitása feltehetőleg szoros összefüggésben van a fajok szárazságtűrésével (Castillo, 1996; Habibi és Hajiboland, 2012).

Az enzimatisz védelmi rendszerről is alapvetően kétféle képpen nyerhetünk információt. Az egyik, a manapság egyre nagyobb népszerűségnek örvendő lehetőség, hogy transzkripció és transzláció szinten vizsgáljuk az egyes enzimeket kódoló génekről történő mRNS transzkripciót (real-time PCR), illetve a riboszómákon transzlálódott enzimfehérje mennyiségét mérjük (Western Blot). Ezen módszer előnye hogy igen részletes képet nyerünk. Hátrány ugyanakkor hogy igen költségesek a mérések, illetve hogy nem veszik figyelembe a posztranszlációs modifikációk hatását. Ez azt jelenti, hogy önmagában az enzimfehérje megsztetizálása még nem garantálja annak aktivitását. Előfordulhat ugyanis hogy a sejtben uralkodó viszonyok, illetve az egész növényre jellemző állapotok allostériusan, illetve foszforiláció-defoszforiláció segítségével módosítják a már „kész” enzim működését. Előfordulhat tehát hogy relatíve nagy enzimfehérje mennyiség mellett is alacsony az enzimaktivitás. A másik mérési lehetőség az adott rendszer enzimaktivitásának vizsgálata. Ennek során a szövet homogén extraktumát hozzáadjuk az adott enzim detektálására alkalmas reakcióelegyhez, mely általában az adott enzim pH optimumát szabályozó pufferből, az enzim szubsztátjából, és egy kromogén donorból áll. Ilyen esetekben kolorimetriás esetleg fluorimetriás módszerekkel detektáljuk az időegység alatt bekövetkező változást. Előnye ennek a megoldásnak hogy olcsó, relatíve gyors, illetve figyelembe veszi az enzim szabályozottsági állapotát. A további kísérletekben detektálni javasolt redox homeosztázis szabályozó tagok: peroxidáz, aszkorbát peroxidáz, glutathion-reduktáz, glutathion-S-transzferáz stb.

2.6.3. *Sedum* fajok szaporodási és szaporítási lehetőségei

A szaporodási és szaporítási lehetőségeket Jenei (2008), Turcsányi (2000) Schmidt (2005) Schmidt-Hámori (2003) Alapján foglalom össze. Mind az ivartalan (vegetatív) és mind az ivaros (generatív) szervekkel történő szaporítási mód alkalmazható a *Sedum* fajok reprodukálásához. A *Sedum* fajokat általában a természetes szaporítóképletekkel dugványozással, illetve töosztással szaporítják. A szaporítás végzésének idejétől és a felhasznált növényi rész alapján a *Sedum* fajok esetében megkülönböztetjük a hajtás- és rügydugványozást.

Hajtásdugványozás lényegében a vegetációs időszakban bármikor lehetséges, de két fő időszaka alakult ki a gyakorlatban (tavaszi és nyárvégi). A feldarabolt dugványokat 0,5 cm mélyen por alakú gyökereztető hormonba mártják (hatóanyag α -NES 0,2%). Ezután a dugványokat célszerűen semleges közegbe telepítik, perlit, tőzeg, homok vagy keverékeibe. A szaporítóládákat optimális gyökereztetési körülmények közé helyezik (magas páratartalom, magas hőmérséklet). Gyökeresedés után 7x7cm-es konténerekben továbbnevelik. A rügydugványozás során kis metszlappal rügyet vágnak, amelyet szaporítóláda dugványoznak, majd optimális gyökereztetési körülmények közé helyeznek. Magyarországon csak néhány fajt, fajtát szaporítanak (*Sedum maximum* 'Atropurpureum').

A töosztáshoz a szelektált anyanövények szolgálnak alapul. A bokrosodó töveket annyi részre oszthatjuk szét, ahány külön gyökérrel bíró hajtásuk van. A töosztás sikere nagyban múlik, az anyanövény gyökereinek épségén. A virágzási időszak mentes időszakokban, jellemzően tavasszal vagy ősszel célszerű elvégezni.

A vegetatív szaporítást elsősorban a gazdaságossági szempontok miatt választják a gyakorlatban, de természetesen egyöntetűbb állományt eredményez, mint az ivaros szaporítás. Nagyüzemi körülmények között előfordulhat a magvetéses szaporítás is, de ezek a populációk heterogén jellemzőkkel bírnak.

2.6.4. Őshonos és dísznövényként termesztett *Sedum* fajok

A védett és a fokozottan védett és az Európai Közösségben természetvédelmi szempontból jelentős *Sedum* fajokat és alfajokat a 13/2001. (V. 9.) KöM rendelet sorolja fel tételesen (11. táblázat).

11. táblázat. Védett és a fokozottan védett *Sedum* fajok és alfajok (13/2001. (V. 9.) KöM rendelet)

Védett és a fokozottan védett <i>Sedum</i> fajok és alfajok		
Védett faj tudományos neve	Magyar elnevezés	Természetvédelmi érték (Ft)
<i>Sedum acre</i> subsp. <i>neglectum</i> (Ten.)	adriai varjúháj	5 000
<i>Sedum caespitosum</i> (Cav.)	sziki varjúháj	5 000
<i>Sedum hispanicum</i> (Jusl.)	deres varjúháj	5 000
<i>Sedum urvillei</i> subsp. <i>hillebrandtii</i> (syn.: <i>Sedum hillebrandtii</i>) (Fenzl)	homoki varjúháj	5 000
Az Európai Közösségben természetvédelmi szempontból jelentős <i>Sedum</i> faj		
<i>Sedum brissemoretii</i> (Raym.-Hamet)	Brissemoreti-varjúháj	–

Kárpát-medencében megtalálható *Sedum* fajok a következők: borsos varjúháj (*S. acre*), fehér varjúháj (*S. album*), havasi varjúháj (*S. alpestre*), szibériai varjúháj (*S. hybridum*), bablevelű varjúháj (*S. maximum*), csüngő varjúháj (*S. morganianum*), vastaglevelű varjúháj (*S. pachyphyllum*), kövi varjúháj (*S. reflexum*), hatsoros varjúháj (*S. sexangulare*), pompás varjúháj (*S. spectabile*), kaukázusi varjúháj (*S. spurium*). Nagy és Komiszár (1998), Galántai és Tóth (2001), Schmidt és Hámori (2003), Schmidt (1984, 1988, 2003, 2007) munkái alapján mutatom be a gyakorlatban leggyakrabban zöldtetőkön alkalmazott *Sedum* fajokat (származás, felhasználás, szaporítás).

Sedum album (fehér varjúháj). A fehér varjúháj Európa, Észak-Afrika, Nyugat-Ázsia vidékeiről származik. Hazánkban száraz lejtőkön, száraz sziklagyepekben, falakon megtelepedő faj. Húsos-hengeres leveleivel jól ellenáll a száraz időszakoknak, szélsőséges körülményeknek. Magassága 5-10 cm. Júniustól-augusztusig virágzik. Virága fehér színű. Napfénykedvelő, szárazságtűrő. Gyakran alkalmazzák sziklakerti növényként és extenzív zöldtetőkhöz.

Sedum acre (borsos varjúháj). Európa, Észak-Afrika valamint Nyugat-Ázsia egyes vidékeiről származik. Nálunk száraz lejtőkön, homokpusztákon, sziklagyepekben fordul elő. Magassága 5-10 cm. Napfénykedvelő, szárazságtűrő. Elfásodó szárával lassan terjed, idővel dús telepeket képezhet. Sárgásbarna tojásdad levelek jellemzik, májustól-júniusig nyílnak aranysárga színű apró virágaik. Sziklakertek és extenzív zöldtetők kedvelt növénye.

Sedum reflexum syn. *Sedum rupestre* (szürke varjúháj) Európából származik. Szálas-félhengeres vagy hengeres kihegyezett levélkéi enyhébb teleken áttelelők. Júliusban virágzik. Virága aranysárga színű. Magassága 10-20 cm. Napfénykedvelő, szárazságtűrő, kúszó terjedő tövű növény. Hazánkban kertekben, kerti dísnövényként alkalmazzák.

Sedum floriferum (kínai varjúháj) Északkelet-Kínából származik. Keskeny lapát alakú levelek jellemzik, melyek felső harmadukban durván fogas szélűek. Tömötten gyepes növekedésű örökzöld. Májustól-júniusig virágzik. Virága sárgás színű, elnyíláskor a termők vörössé válnak. Magassága 5-10 cm. Napfénykedvelő, félárnyéki, szárazságtűrő, kúszó terjedő tövű növény. Sziklakertek, évelőágyak, zöldtetők gyakori növénye.

Sedum spurium (kaukázusi varjúháj) Kaukázusból származik, de napjainkra Európa nagy részén elvadult. Visszás tojásdad alakú levél jellemzi, melynek felső részén aprón csipkés vagy fogas szél látható. Tömötten gyepes növekedésű örökzöld. Júniustól-júliusig virágzik. Virága kárminpiros, vagy rózsaszínű. Magassága 10-15 cm. Napfénykedvelő, félárnyéki, szárazságtűrő, kúszó terjedő tövű növény. Sziklakertek, évelőágyak, zöldtetők gyakori növénye.

Sedum sexangulare (hatsoros varjúháj) Európából származik. Hazánkban száraz lejtőkön, sziklagyepekben, homokpusztákon jellemző faj. Szálas-hengeres levelek jellemzik, melyek 6 sorban állnak. Júniustól-augusztusig virágzik. Virága sárga színű. Magassága 5-10 cm. Napfénykedvelő, szárazságtűrő, kúszó terjedő tövű növény. Sziklakertek, évelőágyak, zöldtetők gyakori növénye.

12. táblázat. Az egyes *Sedum* fajok tulajdonságainak összehasonlítása (Nagy (1978); Schmidt–Hámori (2003); Schmidt (1984, 1988, 2003, 2007); Galántai–Tóth (2001) nyomán)

	magasság	levél	virágzás	alkalmazás	fényigény	vízigény
<i>Sedum album</i>	5-10 cm	hengeres, tomp	VI-VIII. fehér	sziklakert, tetőkert	napfénykedvelő	szárazságtűrő
<i>Sedum acre</i>	5-10 cm	hengeres, tojásdad	V-VI. aransárga	sziklakert, évelőágy, tetőkert	napfénykedvelő	szárazságtűrő
<i>Sedum reflexum</i>	10-20 cm	hengeres, kihegyezett	VII. aransárga	sziklakert, tetőkert	napfénykedvelő	szárazságtűrő
<i>Sedum floriferum</i>	5-10 cm	lapos, fogazott	V-VI. sárga	sziklakert, évelőágy, tetőkert	napfénykedvelő, félárnyéki	szárazságtűrő
<i>Sedum spurium</i>	10-15 cm	lapos, csipkés/ fogazott	VI-VII. kárminpiros, rózsaszín, fehér	sziklakert, évelőágy, tetőkert	napfénykedvelő, félárnyéki	szárazságtűrő
<i>Sedum sexangulare</i>	5-10 cm	hengeres, 6 soros	VI-VIII. sárga	sziklakert, évelőágy, tetőkert	napfénykedvelő	szárazságtűrő
<i>Sedum hybridum</i>	10-15 cm	lapos, fűrész/ fogazott	V-VI. aransárga	sziklakert évelőágy, tetőkert	napfénykedvelő, félárnyéki	szárazságtűrő
<i>Sedum spectabile</i>	30-50 cm	tojásdad, fogas/épszélű	VIII-X. világos rózsaszínű	sziklakert, évelőágy, kőedény, ablakláda	napfénykedvelő, félárnyéki	szárazságtűrő

Sedum hybridum (örökzöld varjúháj) Szibériából származik. Széles lapát vagy fordított lándzsa alakú levél jellemzi, melynek felső felére fűrész fog vagy öblös karéjok a jellemzők. Levelei részben zölden telelnék. Örökzöld, terjedő tövű, lazán gypes növekedésű növény. Májustól-júniusig bogernyőben nyíló aransárga virágával díszít, magassága 10-15 cm. Napfénykedvelő, félárnyéki, szárazságtűrő növény. Sziklakertek, évelőágyak, zárttők növénye.

Sedum spectabile (pompás varjúháj). Kelet-Ázsiából származik. Életformája Hemikryptophyta (H), évelő, rügyei a talajfelszín közelében az avar és az elszáradt levelek védelmében telelnék át. Fordított tojásdad alakú, gyengén fogas vagy ép szélű levél jellemzi, melyek jellegzetes világoszöld színűek. Augusztustól-szeptemberig világos rózsaszínű bogernyőkben álló virágai díszítenek. Magassága 30-50 cm, napfénykedvelő, félárnyéki, szárazságtűrő növény. Felhasználása sokrétű: sziklakertekbe, balkonládákba, kőedényekbe ültetik (12. táblázat).

Magyarországon *Sedum* fajokat arborétumokban, gyűjteményes kertekben, egyetemi tankertekben találhatók. Az egyik nagyobb gyűjtemény a Fővárosi Állat- és Növénykertben található (2. melléklet) (Szabó et al., 2015). Magyarországon az egyes fajokhoz elsősorban az évelőkre specializálódott kertészetekben lehet hozzájutni: Zsohár Kertészet, Beretvás és társai Kertészet, Bodakert Kertészet, Gála Évelőkertészet, Hegede Kertészet, Mocsáry Évelőkertészet, Flora Nostra Évelőkertészet, Szigeti és Társa Kertészet, Berger Trió Kft. stb. A külföldi zárttőépítés gyakorlatában és a hazai gyakorlatban sem jelentős a *Sedum* fajták alkalmazása. Szinte kizárólag alapfajokat terveznek be a tervezők az elnállóképességük és alkalmazkodóképességük miatt. Marginális gyakorlati szerepe miatt dolgozatomban nem foglalkozom a fajták bemutatásával.

2.7. Zöldtetők létesítésének hazai helyzete

Magyarországon az első zöldtető 1991-ben épült meg. Az elmúlt közel két és fél évtized alatt – elsősorban németországi tapasztalatokon alapulva – növekedésnek indult a zöldtető tervezés és – kivitelezés. Magyarországon a zöldtetők építését jelenleg nem támogatják sem közvetlen, sem közvetett anyagi eszközökkel, sem országos, sem települési szinten. A gyakorlatban teljesen általános, hogy a zöldtetők alacsony számát forráshiánnyal indokolják. A zöldtetőépítés magas költségekkel jár, ami gazdasági szempontból lényegesen hosszabb idő alatt térül meg a befektető/építető számára (Szőke et al, 2013).

Magyarországon 1998-ban lépett hatályba az Országos Településrendezési és Építési Követelmények kormányrendelete. Ez a kormányrendelet a zöldtetők létesítését csak közvetetten támogatja oly módon, hogy lehetőséget biztosít arra, hogy a kötelező zöldfelületi százalék egy részének kiváltásával növelni lehessen a terület beépítési százalékát. A megkötések arra vonatkoznak, hogy nem lehet egyenrangúnak tekinteni egy tetőn kialakított kertet egy földi környezetben kialakított kerttel. Az OTÉK (Országos Településrendezési és Építési követelményekről) szóló 253/1997. (XII. 20.) korm. rendelet zöldtetőkre vonatkozó részének módosítása (OTÉK 5. melléklet, 90/2012. (IV.26) Kormány rendelet) értelmében a tetőkertek akkor számíthatóak be, ha legalább 10 négyzetméter egybefüggő zöldfelületről van szó, az alábbiak szerint (13. táblázat).

13. táblázat. OTÉK 5. melléklet, tetőkertek zöldfelületekbe való beszámíthatósága

Az épített szerkezet feletti termőföld rétegvastagsága	A telepíthető növényállomány szerkezete, zöldtető jellege	A tetőkert összes területéből zöldfelületként számítható rész
8-20 cm termőréteg, vagy könnyített szerkezetű talaj (szubsztrát)	egyszintes növényállományú, extenzív zöldtető	15%
21-40 cm termőréteg	egyszintes növényállományú, félintenzív zöldtető	25%
41-80 cm termőréteg	kétszintes növényállományú, intenzív zöldtető	40%
81 cm termőréteg felett	Háromszintes, növényállományú, intenzív zöldtető	75%

A Zöldtető- és Zöldfalépítők Országos Szövetség közhasznú civil szervezet jogelődje 1999-ben alakult azzal a fő céllal, hogy összefogja a hazai szakembereket és segítse a magyarországi zöldtetők elterjedését. A szervezet által létrehozott honlap megfelelő a zöldszemlélet formálására, számos érdekesség megtalálható a zöldtetőkkel kapcsolatban. Sajnos azonban a szervezet gyenge érdekérvényesítő képessége miatt a zöldtetők mennyiségét és minőségét érintő szabályozás oldalán nem várható érdemi változás.

Az egyes országokban a zöldtetők különböző „hasznait” támogatják célzottan a zöldtetők megvalósításán keresztül: Németország (csapadékvíz visszatartás), Anglia (biodiverzitás), USA (hősziget effektus csökkentése), Kína (levegőminőség javítása) (Grant, 2006; Hammerle, 2009; Livingstone et al., 2008; Lawlor et al., 2006).

A közvetlen támogatás célja az egyszeri magas beruházási költségek csökkentése, kedvezményes banki kölcsönök nyújtása, azonban hátrányként kiemelik, hogy visszaélésekre adhat

okot, illetve nem ösztönöz a költséghatékonyabb megoldások fejlesztésére. A gyakorlatban a közvetlen támogatások odaítélését technikai feltételekhez kötik (közegkeverék vastagság, lefolyási tényező stb.) A közvetett anyagi támogatás adó- vagy díjkedvezmény lehet, például a csatornadíj elengedése, mivel zöldtetők létesítésével csökken a szennyvízkezelési költség és a csatornahálózat terhelése. A kötelező jogi szabályozással kapcsolatban annak ösztönző jellegét kérdőjelezzük meg, de látványos eredményeket lehet vele elérni. Koppenhágában a 30°-nál kisebb lejtésű új épületek tetejére zöldtetőt kell telepíteni, a régiók átalakítására közvetlen anyagi támogatást nyújtanak.

Természetesen a zöldtetők elterjesztésében kulcsszerepet játszanak a helyi szervezetek. A népszerűsítés, a tudományos ismeretterjesztés a szakmai szervezetek feladata országos szinten a tudást, technológiát és konzultációt biztosító intézmények, szervezetek, egyetemek feladata. Németországban az FLL összegyűjt minden olyan tervezési, műszaki és kertészeti ismeretet, amely megalapozhatja a jó zöldtetési gyakorlatokat (Ansel és Appl, 2012; Darázs és Hajdu, 2013; Ertsey, 2011; Lawlor et al., 2006). A németországi példa azt mutatja, hogy a zöldtetők esztétikai szempontú telepítését mára az ökológia szemlélet határozza meg, így az utóbbi években az extenzív tetők az összes megépült tetők 85%-át adják (Werthmann, 2007).

3. Célkitűzések

A tetőn levő feltételek kihívást jelentenek a növények túlélése és növekedése szempontjából. A vízhiány stressz, és a kritikus szomjúság mellett a nagy hőmérsékleti különbségek, a magas fényintenzitás és a magas szélsébség miatt számottevő a növények kiszáradásának a kockázata a vegetációban (Dunnet és Kingsbury, 2004). A városban való alkalmazásukat segíti, hogy a vegetációval beültetett tető magas evapotranspirációs – elméleti határérték, amely megmutatja az adott helyen lehetséges elpárolgás mértékét – értékeit le tudja csökkenteni kevesebb, mint az éves átfolyó csapadékmennyiség felére (Villareal és Bengtsson, 2005).

Extenzív körülmények között lényegesen kevesebb faj alkalmazható. Extenzív tetőknél fás szárú növényeket nem lehet alkalmazni, hiszen azok mélyen gyökereznek. Az extenzív zöldtetők közegkeverék vastagsága 15 cm, vagy annál kisebb (Hidy et al., 1995). Egynyári növényeket sem lehet alkalmazni, hiszen nem tudnak egész éves borítást produkálni. Az extenzív zöldtetőkön csak lágyszárú évelő fajok alkalmazhatók. Magyarországon több kísérlet folyt arra vonatkozólag, hogy melyek azok az ígéretes fajok, melyeket az extenzív tetőkön öntözés nélkül a magyar viszonyok mellett is alkalmazhatóak (Fejes, 2005; Gerzson, 2000, 2001; Gerzson és Prekuta, 1998; Liesecke, 1997; Örsi, 1994; Penksza, 1997; Pernes, 1997; Priszter, 1995; Varga, 2000, 2001). Fontos tulajdonságuk a gyepes növekedés, a megfelelő terjedő és regenerálódó képesség, valamint az alacsony termelés. Az évelő növények élettartama különböző, általában 10 évnél rövidebb életűek. Ezért fontos, hogy a telepített növények számára megfelelő környezeti feltételeket biztosítsunk, ezáltal a növényállomány folyamatosan megújul és így egy hosszantartó teljes növényborítás érhető el (Gerzson, 2003). A legtöbb zöldtetőn alkalmazott növény napfényigényes, lágyszárú, mint a *Sedumok*, *Saxifraga*, *Sempervivum* nemzetség tagjai (Licht és Lundholm, 2006).

A fajok megalapozott értékelése csak integrált szemléletben valósítható meg. Ehhez nem csak az egyes fajok produkciobiológiai jellemzőit mérjük közvetlenül – méret, növekedés intenzitás, stb. –, hanem a fajok teljesítményeit bemutató környezeti tényezőket (talaj, víz, levegő stb.) is monitorozni szükséges. Az extenzív tetők integrált szemléletben egymáshoz kötődő funkcionális egységei a növényzet, a közegkeverék, a víz és a környezeti tényezők. Dolgozatom kutatási céljai és kutatási kérdései ezzel párhuzamosan e részekre vonatkoznak.

Magyarországon jelenleg hiányoznak a tudományosan felépített és statisztikai módszerekkel elemzett és bizonyított hosszútávú kísérletsorozatok, ezért legáltalánosabban csak más klímájú külföldi tapasztalatokra lehetett hagyatkozni. A kutatási célokat és kérdéseket döntően a hazai zöldtető építés gyakorlatában megjelenő problémák/kérdések indukálták. A kutatási kérdéseket a vizsgálat egységei alapján csoportosítottam.

A PhD dolgozatom fő célkitűzése: Az extenzív zöldtetőépítés gyakorlatában alkalmazott egyes *Sedum* fajok integrált szemléletű komplex értékelése hazai környezeti feltételek között. A fő célkitűzéshez kapcsolódó kutatási célkitűzéseket/kérdéseket az alábbiakban mutatom be.

Az alkalmazott fajoknak komplex szempontrendszernek kell megfelelniük extenzív zöldtetőn való alkalmazáskor, mivel az extenzív zöldtetők nagyrésze gondozás nélküli, tehát öntözés, tápanyag utánpótlás, gyomritkítás, gyomirtás nélküliek. Az ilyen tetők növényzete a természetes folyamatoknak megfelelően növekszik. Hidy és munkatársai (1995) szerint minden esetben érdemes figyelembe venni a növénytelepítésnél a következőket: szárazságtűrés, sugárzástűrés, fagyállóság, szennyeződéstűrés, szélstabilitás, rövid gyökerűség. A *Sedum* fajok legtöbbje megfelel ezen kritériumoknak, de ezeken túlmenően kiemelten fontos az egyes fajok növekedési dinamikájának meghatározása és ezen keresztül az optimális tőszám meghatározása, ugyanis ez fogja meghatározni, hogy milyen gyorsan éri el egy-egy faj a teljes borítottságot, tehát ezáltal jelentősen csökkentve a gyomok megjelenését. A megrendelők oldaláról többször megfogalmazott igény volt a fenntartás nélküli, mutatós, gyommentes zöldtető. Ehhez kell megismernünk a fajok gyomelnyomó képességét, növekedési erélyüket (mikor érik el a teljes borítottságot). Előzetes feltételezésem szerint a borítottsággal jellemezhető fedettség erősen korlátozza a gyomok megtelepedését, így ez a két dolog összefügg. Több nemzetközi kutatás vizsgálta egyes extenzív zöldtetőkön alkalmazott fajok bioakkumulációs képességét (Yang et al., 2002). Hazai vizsgálatok tudomásom szerint ezzel kapcsolatosan nem történtek.

A növényzettel kapcsolatos kutatási kérdések:

1. Az extenzív körülmények hogyan befolyásolják a vizsgált *Sedum* fajok szöveti felépítését?
2. Az extenzív körülmények hogyan befolyásolják a vizsgált *Sedum* fajok antioxidáns kapacitását? Hogyan jellemezhetők a vizsgált fajok színanyagai?
3. Hogyan jellemezhetők a vizsgált fajok növekedés dinamikái?
4. Az egyes fajok mikor érik el a teljes borítottságot?
5. Melyik tényezőnek van tényleges hatása a növekedésre (közegkeverék, közegvastagság, faj) ezeknek milyen interakcióik vannak?
6. A telepített extenzív zöldtetőn milyen gyomok fordulnak elő, és hogyan jellemezhetők az egyes közegkeverékek borítottsága a gyomokra, az ültetett *Sedum* fajokra és a közegkeverék nyílt felszínére vonatkozóan?

A városi csapadék elvezetés egyik legfőbb problémája a hirtelen nagy mennyiségű csapadék lehullásával jelentkező lefolyási csúcsok. Ezeknek a csúcsoknak a mérséklésében és időbeli eltolásában, pufferosításában lehet kiemelt szerepe a zöldtetőknek, mivel egyszerre vizet kötnek meg és párologtatnak, evapotranspirálnak. A zöldtető lefolyási tényezője $\psi = 0,3$, tehát a teljes lehullott csapadéknak a 30%-a a csatornahálózatba jut, viszont 70%-át visszatartja és helyben hasznosítja (palafedéses, fémlemez, cserépfedéses tető $\psi = 0,90 - 0,95$; nemjárható lapostető $\psi = 0,90 - 0,95$; kavics leterhelésű tetők $\psi = 0,50 - 0,60$) (Dulovics, 2005). Nem tisztázott, hogy milyen szerepe van egyes közegkeverékeknek, közegvastagságoknak és fajoknak a vízvisszatartásra és a vízminőség alakulására.

A vízzel kapcsolatos kutatási kérdések:

1. Hogyan jellemezhető a vízviSSzatartás időbeli alakulása?
2. Melyik tényezőnek van tényleges hatása a vízviSSzatartásra?
3. Melyik tényezőnek van tényleges hatása a csurgalékvíz vízminőségi paraméterekre?
4. Hogyan jellemezhető a frissen telepített kísérleti zöldtető vízminőségi paraméterei?
5. Hogyan jellemezhető a hároméves kísérleti sorozat végére beállt zöldtető vízminőségi paraméterei?

Az extenzív zöldtetőkön alkalmazott közegkeverékek optimalálása nélkülözhetetlen egy hosszú távon jól működő rendszer kialakításához és megvalósításához. Ennek egyik kulcs eleme az alkalmazott összetevők talajfizikai jellemzőinek meghatározása, amelynek elemei: közettömeg, közettérfogat, szemcsék közti tér, vízfelvevő, -megtartó képesség, felületi vízmegkötés.

A közegekkel kapcsolatos kutatási kérdések:

1. Hogyan jellemezhető a közegkeverékek tömörödési üteme?
2. Statisztikailag hogyan modellezhetők?
3. Milyen kémiai és fizikai profillal jellemezhetők a közegkeverékek?
4. Mely közegkeveréken teljesítettek legjobban az eltelepített fajok? Hogyan alakul a közegek sorrendje?









A ZÉOSZ (Zöldtető- és Zöldfalépítők Országos Szövetség) 1999-ben alakult és 2001-től már tagja az Európai Zöldtető Szövetségnek. Mind a megrendelők, mind a tervező-kivitelező szakemberek, mind a ZÉOSZ tagjai, mind a jogalkotók által jogos igényként jelentkezett az, hogy reális képet kapjanak a már megépült zöldtetőkkel kapcsolatban. Világosan látszik, hogy jól átgondolt szabályozási és ösztönzési rendszert kell kialakítani elsősorban nyugati példák megismerésével. Mindösszesen néhány kezdeményezés történt a zöldtetők rendszerezésével, számbavételével kapcsolatban (Magyar, 1998; Szabó, 2010). Magyarországon az első zöldtető 1991-ben épült meg. Az elmúlt több mint két évtized alatt – elsősorban németországi tapasztalatokon alapulva – növekedésnek indult a zöldtető tervezés és –kivitelezés (Szőke et al., 2013). Tudomásom szerint eddig a Magyarországon megépült zöldtetők elterjedésével kapcsolatosan átfogó publikált felmérés nem készült. Amennyiben komoly elhatározás születik a zöldtetőépítés ösztönzési rendszerének kialakítására, ahhoz kiemelten fontos ismerni, hogy hazai viszonyok között mely időszakok és miért jelentették a legnagyobb növekedést. Előrejelzés alapján a létrejött matematikai modell elvben lehetőséget biztosít a jövőbeni tendenciák becslésére (változatlan feltételek mellett).

Zöldtető építés elterjedésével kapcsolatos kutatási kérdések:

1. Mennyi zöldtető épült Magyarországon?
2. Mennyi az extenzív és az intenzív zöldtetők aránya?
3. Milyen matematikai modellel írható le a zöldtetők mennyiségének időbeli eloszlása?
4. Milyen tendenciák jellemzőek, és milyen háttértényezők magyarázzák az évenkénti különbségeket?

A kutatásom célkitűzéseinek és kutatási kérdéseim összeállításánál minden esetben az motivált, hogy tudományosan alátámasztott és megválaszolt kérdések a gyakorlati, tervezési és telepítési munkában azonnal hasznosíthatók legyenek, ezzel biztosítva a zöldtetőépítés fejlődését.

15. táblázat. A 4 féle közegkeverék és 2 féle közegvastagság 8 kombinációja

1	V1K1	5	V2K1
	vastagság: 10 cm közeg: zeolit 25%, agyag granulátum 10%; folyami homok (0/4) 20%; föld 40%; tőzeg 5%		vastagság: 15 cm közeg: zeolit 25%, agyag granulátum 10%; folyami homok (0/4) 20%; föld 40%; tőzeg 5%
			
2	V1K2	6	V2K2
	vastagság: 10 cm közeg: MKR-0-2 33%; MSQ-2-6 33%; MSQ-0-2 34%		vastagság: 15 cm közeg: MKR-0-2 33%; MSQ-2-6 33%; MSQ-0-2 34%
			
3	V1K3	7	V2K3
	vastagság: 10 cm közeg: tégláörlemény 25%; ytong örlemény 25%; tőzeg 15%; zeolit 20%; meliorit 15%		vastagság: 15 cm közeg: tégláörlemény 25%; ytong örlemény 25%; tőzeg 15%; zeolit 20%; meliorit 15%
			
4	V1K4	8	V2K4
	vastagság: 10 cm közeg: föld 50%; tőzeg 20%; homok 15%; meliorit 15%		vastagság: 15 cm közeg: föld 50%; tőzeg 20%; homok 15%; meliorit 15%
			

A közegkeverékekben alkalmazott föld általános kémiai és fizikai paramétereit a **3. melléklet** mutatja be. Az extenzív tetők létesítésének egyik célja, hogy a természetes csapadék jelentős része helyben, a zöldtetőkön hasznosul, ezáltal a visszatartási hányad növekszik. A csurgalékvizek mennyiségi monitorozásával lehetőség nyílik a vizsgálatban alkalmazott közegkeverék és közegvastagság kombináció, vízátfolyási-vízvisszatartási jelleggörbéinek időbeli jellemzésére. (Mentens és munkatársai (2006) és Getter és munkatársai (2009) is alátámasztották, hogy a közegvastagság és közegösszetétel kulcsfontosságú a vízvisszatartási hányad alakulására.). A csurgalékvíz minőségére vonatkozóan egy beállt extenzív zöldtető hatékonyan csökkenti a csapadékvíz lefolyást, azonban a gyakorlati megfigyelések szerint a frissen telepített extenzív zöldtetőről az első esőzésekkel szennyező anyagok kerülhetnek a környezetbe. Dolgozatomban a telepítés utáni első kísérleti parcellákról lefolyt csurgalékvizeket vizsgáltam.

4.1.2. Kísérleti tető, felépítés, rétegrend, helyszín és időtartam

A kísérleti tető felépítése az alábbi rétegekből áll:

1. szerkezet: hegesztett vasszerkezet, korrózió gátló bevonattal,
2. alapfelület: OSB (*Oriented Strand Board* = Irányított szálelrendezésű lap) borítás,
3. víz és gyökérálló réteg: 1,5 mm vastag PVC szigetelő lemez a teljes tetőfelületen az elválasztókkal együtt,
4. mechanikai védő és szűrő réteg: 250 gr/m² vastag geotextília,
5. drénréteg: 4 cm vastag 5/12mm szemmegoszlású riolittufa a vízfolyás elősegítésére és a pangó víz elkerülése miatt,
6. szivárgórendszer szűrőrétege: végtelenített szálú, termikusan kötött polipropilénből készült geotextília (Typar SF37 125g/m²), erre kerültek rá a különböző közegkeverékek,
7. közegkeverékek: 10 cm vagy 15 cm vastagságban,
8. parcellák közötti elválasztás: térelválasztó elemek (OSB),
9. parcellán belüli elválasztás: 10 cm közegkeverék vastagsághoz 12 cm, 15 cm közegkeverék vastagsághoz pedig 17 cm magas műanyag elválasztó szegély,
10. növényzet: *Sedum album*, *S. hybridum*, *S. reflexum*, *S. spurium* fajok 9 db/0,25m² 4 x 3x3-as elrendezésben. Az eltelepítéskor 7 cm átmérőjű műanyag konténerben lévő 1 éves növények kerültek.

Az extenzív kísérleti zöldtetők (nyeregteretők) fordított V alakban lettek kialakítva úgy, hogy a tetők közepén a legmagasabbak és kifelé lejtjenek (2%). A talajszinttől 2,4 m-es magasságban helyezkednek el, külső vízelvezetéssel. A tetőn keletkező vizet függő és lefolyó csatorna vezeti el úgy, hogy minden egyes parcella csurgalékvizének mennyiségét és intenzitását a vízköpőből kiáramló víz segítségével külön-külön mérni lehessen. A vízköpők körül alumínium lemezzel „U” alakban kirekesztettem a közegkeverékeket. Az alumínium lemez körül 5 cm szélességben kavicssávot alkalmaztam, hogy ne mossza bele a csurgalékvíz a közegkeverékek összetevőit, hogy a cső ne tudjon eltömődni. A vízszigetelést PVC szigetelések technológiájának megfelelően készítettem el. Az átfedéseket lehegesztettem forrólevegős Leister készülékkel. A fából készített elválasztásokat a tartósság fokozására PVC szigetelő lemezzel borítottam, így nem képes víz felvételére. A vízszintes szigetelés elkészülte után körben a függőleges felületekre is fel kellett hajtani a szigetelést. A szigetelési szakasz ezzel lezárult. A tető Nyíregyháza külterületén, Ilona tanyán épült meg, 2012. februárjában (62. ábra).



62. ábra. A két kísérleti tető (a) Kísérleti parcellák vízelvezető csövekkel (b) Kísérleti tető PVC-vel szigetelt parcellái (c) Parcellák beültetés előtt (d) Parcellák beültetés után (e) (Nyíregyháza, Ilona tanya)

4.1.3. Zöldtetőkataszter bemenő adatai

Kutatásom célja volt a zöldtető kataszter adatbázisának létrehozása, valamint első eredményeinek bemutatása. Az adatbázis legfőbb bemenő információi: megépítés éve, zöldtető típusa (extenzív, intenzív), zöldtető nagysága (m²) megrendelő neve, kivitelező cég neve, karbantartási szerződés (meglét, hiány), öntözőrendszer (meglét, hiány). Az adatbázis nagy előnye, hogy további igényeknek megfelelően tovább bővíthető. Ennek megfelelően ismereteim szerint Magyarországon a zöldtetőépítésben érdekelt összes cégnek e-mailt írtam és telefonon is megkerestem őket, hogy az általuk megépített zöldtetőkre vonatkozólag szolgáltatassanak információt (A megkeresett cégek listáját a 4. melléklet mutatja be.) (16. táblázat).

16. táblázat. Zöldtetőkataszter bemenő adatai (részlet a kiküldött táblázatból)

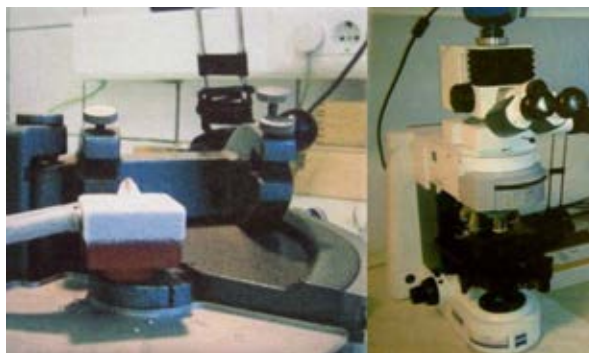
Kivitelező cég:				Megépült extenzív és intenzív zöldtetők listája			
	Tervező cég	Beruházó cég	Zöldtető helye, címe	Megépítés éve	Zöldtető típusa (extenzív, intenzív)	Zöldtető nagysága kb. (m ²)	Öntözés van-e?
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							

4.2. A vizsgálatok módszerei és eszközei

4.2.1. Növényfajokkal kapcsolatos minőségi és mennyiségi mérések

4.2.1.1. Sedum fajok szövettani vizsgálatai

A Sedum fajok szöveteit a Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Karának, Növényteni Tanszékén vizsgáltam. A vizsgálathoz szükséges metszetek Leitz típusú fagyasztó mikrotómmal készültek, majd ezt követően a tárgylemezre került preparátumok tartósítása glicerín és víz 1:1 arányú keverékével történt. A mintákat toulidínkék festékanyaggal festettem meg. A felvételek Zeiss Axio Imager. A2 típusú mikroszkóppal és Axio Cam HRc, Zeiss kamerával készültek (**63. ábra**).



63. ábra. A szöveti minták előkészítése és vizsgálata (Leitz típusú fagyasztó mikrotóm, Zeiss Axio Imager. A2 mikroszkóp Axio Cam HRc kamerával)

A vizsgálandó levélkék preparátum készítés közben ronszolódtak, vizsgálatra alkalmatlanná váltak. A vizsgálataimban, ezért kizárólag a szár szöveti felépítését tudtam elemezni, viszont törekedtem arra, hogy az összes szövettájat bemutassam. A szármintákat a föld és növény találkozásánál levő föld feletti részből vettem. Ehhez első lépésben egy 10x-es nagyítású, áttekintő szerkezeti képet készítettem minden esetben. Ezt követte az alap és külső szövetek 20x-os nagyítású képei. A központi szállítórészek részletes bemutatásához 40x-es nagyítást alkalmaztam. Az eredményeket fajonként mutatom be, mindig a szabadföldi körülmények között levő növényekhez hasonlítom az egyes keverékeken levő növényeket.

A sztómák számának meghatározását a Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Karának, Zöldség- és Gombatermesztési Tanszékén hajtottam végre. A meghatározásához a kontroll és a kísérleti extenzív zöldségtöről származó egyedek leveleit vizsgáltam. (A tetőn egy fajból, adott keverék és vastagság kombinációként 3 mintát vettem, tehát összesen 24 darab növényt vizsgáltam. A kontroll növényekből fajonként szintén 3 növényt vizsgáltam). A hajtások alsó és felső részéről szedett 5-5 db kifejlett levélkéből epidermisz nyúzatot készítettem epidermisz csipesszel, majd a mikroszkóp tárgylemezére fektettem. A mintákat citológiai festés nélkül Olympus CX-41 áteső fényű sztereomikroszkóp alatt vizsgáltam 400x-es nagyításban. A levelekről végzett sztóma számlálás eredményeit a 10 levél átlagként (+ szórás) db/mm² dimenzióban határoztam meg.

4.2.1.2. *Sedum* fajok klorofill-a, klorofill-b és összes karotinoid tartalom meghatározása

A módszer azon alapul, hogy a növényi pigmentek tiszta acetonos kivonást követően spektrofotometriásan adott hullámhosszokon mennyiségileg meghatározhatók adott képlet alapján.

Azért az acetont választottam, mert a legtöbb hasonló módszer ezt a szerves oldószert alkalmazza, az etil-alkohol, dietil éter, metil-alkohol mellett. A hullámhosszak és a képletben alkalmazott extinkciós koeficiensek oldószer függőek, így az előkészítésnél a precizitás elengedhetetlen.

A tiszta acetonos kivonás során nyert szűrletet üveg küvettába töltöm, és aceton vak mintával szemben mérem az abszorbanciát $\lambda=661,6$; $\lambda=644,8$; $\lambda=470\text{nm}$ -en, Helios-alpha spektrofotométerrel. Számítás: $Cl_a (\mu\text{g}/\text{mg}) = 11,24 \cdot A_{661,6} - 2,04 \cdot A_{644,8}$, $Cl_b (\mu\text{g}/\text{mg}) = 20,13 \cdot A_{644,8} - 4,19 \cdot A_{661,6}$, $C_{(x+c)} (\mu\text{g}/\text{mg}) = (1000 \cdot A_{470} - 1,90 \cdot C_a - 63,14 \cdot C_b) / 214$. A méréseket 5 párhuzamos ismételtsben végeztem. A statisztikai kiértékeléshez Kruskal-Wallis tesztet hajtottam végre, egzakt p -érték kiszámolásával ($\alpha=0,05$), majd Dunn-féle páronkénti post hoc tesztet végeztem Bonferroni korrekcióval. Az elemzéseket az XL-Stat szoftverrel (Addinsoft, 28 West 27th Street, Suite 503, New York, NY 10001, USA) hajtottam végre (Lichtenthaler és Buschmann, 2001).

Az extenzívebb körülményeket jobban modellezi a 10 cm, mint a 15 cm-es közegvastagság. Ezért a vizsgált minták közé kizárólag 10 cm-es közegvastagságú keverékek növényei kerültek. A véletlenszerű parcella és növény egyedek kiválasztását az alábbiak szerint biztosítottam. A kísérleti parcellák véletlen kiválasztásához az alábbiak alapján jártam el. Az utolsó mérések után (2015.04.) excell-ben az első oszlopot 1-16-ig beszámoztam, a mellette levő oszlopba 5 jegyű véletlen számokat generáltam. Ezután a második oszlop alapján nagyság szerint növekvően újra rendeztem az első oszlopot. Kiválasztottam az első négy számot és ennek négy kísérleti parcellának a *Sedum* fajait használtam a pigment tartalom vizsgálataihoz.

4.2.1.3. *Sedum* fajok antioxidáns anyagainak meghatározása

Összes polifenoltartalom meghatározása Folin-Ciocalteu reagenssel (*Total phenolic contents, TPC*). A polifenolok általános jellemzője, hogy többnyire vízben jól oldódó komponensek, antioxidáns tulajdonságúak (oxidálószerrel reagáltathatók), egy fenolos hidroxil-csoport vagy annak származéka jellemzi. Az eredeti módszert Singleton és Rossi (1965) dolgozták ki, amely a Folin-Ciocalteu elegyre alapul. A módszer elve alapján az elegyben levő foszfowolframsav ($\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$) és foszfomolibdénsav ($\text{H}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$) oxidálja a fenolos komponenseket, mely színváltozással jár. A keletkezett kék elszíneződés arányos a fenolos vegyületek mennyiségével. A keletkező kék szín spektrometriásan nyomon követhető (Abrankó et al., 2013). A mérés előnye, hogy költséghatékony, robusztus műszerre épít, rutinszerű mérésekre alkalmas (Huang et al., 2005). A módszer hátránya, hogy a mérés 10-es pH-n történik lúgos tartományban, valamint a mérés nem szelektív a polifenolos komponensekre, és az aszkorbinsav, a Cu (I) is hozzájárul a kapott értékekhez (Apak et al., 2007; Frankel és Meyer, 2000). A mintákat a FRAP módszerrel előkészített módon állítjuk elő, itt is a tiszta felülszorból dolgozunk. A fényelnyelést $\lambda=765 \text{ nm}$ -en követjük nyomon. Minden mérést 5 ismételtsben végeztem. Az eredményeket mg galluszsav egyenérték/kg nyers mintára adjuk meg (mgGAAe/kg).

A plazma vas redukálóképességén alapuló antioxidáns kapacitás módszer (*Ferric Reducing Ability of Plasma, FRAP*). A vizsgált növények összes antioxidáns aktivitásának meghatározásához Benzie és Strain módosított módszerét alkalmaztuk (Benzie és Strain, 1966). A FRAP módszer alapja, hogy a ferri-(Fe³⁺) ionok az antioxidáns aktivitású vegyületek hatására ferro-(Fe²⁺) ionokká redukálódnak, amelyek alacsony 3,6 pH-n a tripyridil-tiazinnal (TPTZ = 2,4,6 tripiridil-s-triazin) kékszínű komplexet képezve színes terméket adnak (ferro-trypiridil-triazin), amely fotometriásan nyomonkövethető. A mérések során 500mg/ml-es oldatot készítünk, amely 3%-ortofoszforsavat és 10mM EDTA-t tartalmaz, majd teflonkéses homogenizátorral 24000 min⁻¹-es sebességgel 2 percig homogenizálunk. A foszforsav kémiaiilag, a kések pedig fizikailag roncsolják a növényi szöveteket, így az antioxidánsok feltárásra kerülnek. Az EDTA (etilén diamin tetra acetát) az enzimeket gátolja meg abban, hogy lebontsák az antioxidánsokat, a foszforsav pedig véd az oxidációtól is, mely szintén jelentősen csökkenthetné az értékeket. Ezt követően 13500 fordulat/perc fordulatszámra 20 percig centrifugáljuk, majd a tiszta felülúszót használjuk a mérésekhez. A fotometriás detektálást $\lambda=517$ nm-en végeztem 5 ismételtsben. Az eredményeket mg aszkorbinsav egyenérték/100g nyers mintára vonatkoztatva adtam meg.

Rézion redukálásán alapuló antioxidáns kapacitás mérési módszer (*CUPricion Reducing Antioxidant Capacity, CUPRAC*). A módszert Apak és munkatársai (2007) dolgozták ki. A módszer a redukálóképesség segítségével határozza meg az antioxidáns aktivitást 7-es pH-n $\lambda = 450$ nm-en, 30 perc reakcióidő alatt. A reakcióelegyben a CuCl₂(II) oxidációs száma csökken az antioxidánsok redukáló képességének köszönhetően. Az I-es oxidációs számú réz dimerizálja a neocupoint, így kékszínűvé válik: $\text{Cu}(\text{Nc})_2^{2+} \rightarrow + \text{antioxidáns} \rightarrow \text{Cu}(\text{Nc})^{2+} + \uparrow \lambda = 450 \text{ nm}$. Szobahőn inkubálom a mintákat 30 percig. A fotometriás detektálást $\lambda=450$ nm-en végeztem 5 ismételtsben. Az eredményeket mg trolox egyenérték/100g nyers mintára vonatkoztatva adtam meg.

Az 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (**DPPH**) gyök megkötésén alapuló antioxidáns kapacitás mérés. A módszer elve, hogy a mintában lévő antioxidáns típusú vegyületek a DPPH gyökkel reagálnak, amelytől az eredeti sötétlila színét elveszti. Minél több antioxidáns típusú vegyület található adott térfogatú mintában, annál erősebb a színvesztés. 96%-os alkohollal 200 mg/ml-es növényi kivonatot állítunk elő (Blois, 1958). 70°C-on 20 percig tartó rázatás után a mintát lecentrifugáljuk (13500 ford/perc), és a tiszta felülúszóból dolgozunk tovább. A DPPH gyök semlegesítését $\lambda=517$ nm-en követjük nyomon. Minden mérést 5 párhuzamosban végzünk. Az eredményeket gátlás %-ban adjuk meg az alábbi képletek szerint (BRAND et al., 1995):

$$I\% = \frac{(A_0 - A)}{A_0} \times 100$$

ahol,

I%= gátlás mértéke %-ban megadva

A₀= a gyökoldat alap abszorbanciája 517nm-en

A= a gyökoldat abszorbanciája a minta hozzáadását követő 30 perc után

Méréseimet a 10 cm-es vastagságú közegkeverékek eltelepített *Sedum* fajain végeztem. A véletlenszerű parcella és növény egyedek kiválasztását a pigment tartalom vizsgálatánál leírtakéhoz hasonlóan végeztem. A vizsgálatban célom volt továbbá a különböző elveken alapuló (elektronátmenettel járó (FRAP), más szabadgyököket (DPPH-szuperoxid anion) alkalmazó módszerek segítségével átfogó jellemzést tudjak adni a vizsgált *Sedum* fajok aktuális antioxidáns kapacitásáról. A fajok antioxidáns kapacitásának mennyiségi összehasonlítását 5 párhuzamos ismétlésben végeztem. A statisztikai kiértékeléshez Kruskal-Wallis tesztet hajtottam végre, egzakt p -érték kiszámolásával ($\alpha=0,05$), majd Dunn-féle páronkénti post hoc tesztet végeztem Bonferroni korrekcióval. Az antioxidáns mérési módszerek összehasonlítására a mérési eredmények közötti Spearman-féle rangkorrelációt végeztem. Az elemzéseket az XL-Stat szoftverrel (Addinsoft, 28 West 27th Street, Suite 503, New York, NY 10001, USA) hajtottam végre (Lichtenthaler és Buschmann, 2001).

4.2.1.4. *Sedum* fajok növekedési ütemének és dinamikájának meghatározása

A növények átmérőjét évente 4-szer (március, május, augusztus, október) mértem le. Minden mérési időpontban, minden parcellában minden növényt lemértem. Ennek megfelelően alkalmanként összesen 1152 mérést (32 kísérleti parcella x 36 növény), évenként összesen 4608 mérést (4 alkalom x 32 kísérleti parcella x 36 növény), a 3 kísérleti év alatt összesen 13824 mérést (3 év x 4 alkalom x 32 kísérleti parcella x 36 növény) végeztem el. A méréseket colstockkal végeztem, mm-es pontossággal olvastam le az értékeket. Annak meghatározására, hogy az egyes fajok növekedésére mely tényezők – közegkeverék, közegkeverék vastagsága, vagy ezek interakciója – vannak szignifikáns hatással, a többváltozós variancia-analízis (Multivariate Analysis of Variance, MANOVA) statisztikai módszerét választottam a feltételvizsgálatok elvégzése után. (A varianciák azonosságának ellenőrzésére Levene-próbát végeztem. Ha a Levene-próba p -értéke nagyobb, mint a választott szignifikanciaszint ($\alpha=0,05$), akkor a varianciák azonosságát elfogadjuk, a varianciaanalízist elvégezhetjük.) A Wilks-féle lambda tesztstatisztikai módszert alkalmaztam annak eldöntésére, hogy vannak-e szignifikáns különbségek a csoportosító változó által kialakított csoportok átlagai között. Az elemzést az SPSS 20.0. for Windows programcsomaggal végeztem.

4.2.1.5. Az extenzív kísérleti tetőn megjelenő gyomfajok vizsgálata

A kísérleti kérdésem az volt, hogy egy újonnan telepített extenzív zöldtetőn milyen gyomok fordulnak elő, és ezek milyen borítottságokat adnak a tavaszi és az őszi időszakban egymáshoz képest, és hogyan alakul a gyomok és az ültetett növények élettérért folytatott versenye. Először szükségesnek tartottam a tetőn megtelepedő gyomfajok meghatározását, majd méréseimben az egyes kísérleti parcellákba eltelepített *Sedum* fajok, valamint a tetőn megjelenő gyomok elterjedését vizsgáltam. A fajok élettérért folyó küzdelmét, az alábbiakkal jellemeztem:

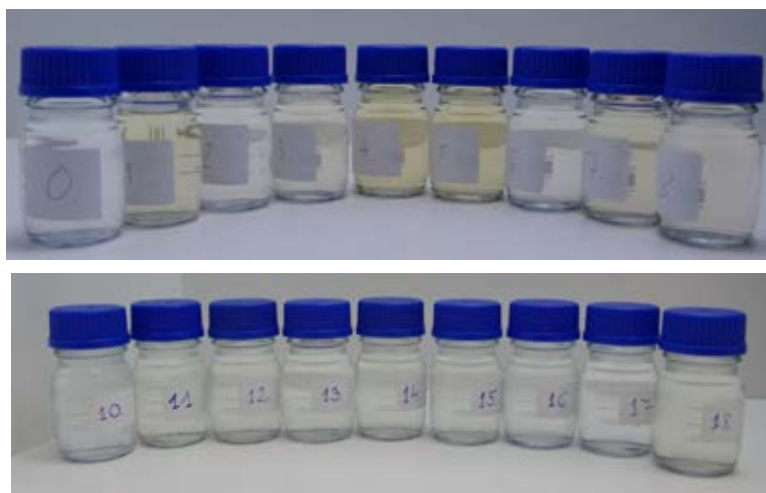
- ültetett *Sedum* fajok borítottsága (%),
- gyomnövények borítottsága (%),
- közegkeverékek borítottsága (%).

Az egyes borítottságokat becsléssel határoztam meg, és minden esetben százalékosan adtam meg. A borítottsági felvételezésekkel kapcsolatosan a szakirodalom különböző megoldásokat javasol, pl. Balázs–Újvárosi módszer (Hunyadi et al, szerk., 2000). Fejes (2005) parcelláinak nagyságának megfelelő (0,75 m²) becslőkeretet alkalmazott. Saját kísérletemben a becslések pontosítása érdekében szintén egy kísérleti parcellának megfelelő 1 m² nagyságú (100 cm x 100 cm) keretet alkalmaztam, amelyben 100 db 10 cm x 10 cm-es rácshálónégyszetet tartalmaz. Azért is volt fontos, hogy mindig (ugyanazon személy) készítse a felmérést, mert így elkerülhető volt a különböző személyek eltérő percepciójából adódó becslési torzítás. A rácskeret segítségével az 1 m²-re eső *Sedum* és gyomfajok arányát vizsgáltam. A felvételezéseimet minden évben (2012, 2013, 2014, 2015) kétszer: április és október hónapban.

4.2.2. Csurgalékvizek minőségi és mennyiségi jellemzése

4.2.2.1. Csurgalékvizek elemanalitikai vizsgálatai kapcsolat analitikai módszerekkel

A csurgalékvizekben található oldott kémiai anyagok minőségi és azok mennyiségi meghatározását két alkalommal megvizsgáltuk. Első esetben a csurgalékvíz mintákat a legelső esőzések után kimosódott csurgalékvizek adták. Ennek vizsgálata azért fontos, mert a zöldtetők feltelepítése után a közegkeverékekből csurgalékvizekkel kioldott anyagok terhelik környezetüket. Tehát célszerű meghatározni, hogy milyen kioldódott anyagokkal és milyen mennyiségben van jelen ez a terhelés. Valamint azt is célszerű összehasonlítani, hogy az egyes közegkeverékek adott anyagokra vonatkoztatva hol adódnak szignifikáns különbségek. Második esetben a csurgalékvíz mintákat a hároméves kísérlet végén vett csurgalékvizek adták. A vizsgálatokat természetesen ugyanazokról a parcellákról származó vizekkel végeztük. A szakirodalom szerint a több éven keresztül működő, beállt zöldtető szűrőréteggént működik. Ennek a szűrőfunkciónak a hatékonyságát céloim volt meghatározni. Így közegkeverékekre meghatározható a szűrés változása (64. ábra).



64. ábra. Kódolt csurgalékvíz minták (2012, 2015) (0=kontroll, 1=V1K1, 2=V1K2, 3=V1K3, 4=V1K4, 5=V2K1, 6=V2K2, 7=V2K3, 8=V2K4, V1=10cm vastagság, V2=15cm vastagság; K1-K4=közegkeverékek)

A 8+1 kontroll tetőről származó minták 0,45 mikronos cellulóz-acetát membrán fecskendőszűrőn szűrtük át. A csurgalékvizek minőségi meghatározását a Budapesti Corvinus Egyetem, NAT által NAT-1-1462/2010 számon akkreditált vizsgálólaboratóriuma végezte. A mintaelőkészítés a vízvizsgálatokat leíró MSZ 1484-3:2006, 4.2.1. alapján az ICP/OES módszer pedig az EPA Method 6010C:2007-nak megfelelően történt. Az alábbi elemeket mértük le: Ba, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Si, Sr, V, Zn. Az ICP/OES mérések elsősorban a makrokomponensek meghatározására célszerű. További vízben előforduló elemek meghatározásához, valamint az ICP/OES mérési eredményeinek egy nagyságrenddel nagyobb mérési pontosságának meghatározására ICP/MS módszert alkalmaztuk (EPA Method 6020A:2007). Az alábbi elemeket mértük le: Ag, Al, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, Zn.

4.2.2.2. Csurgalékvizek multikritériumos elemanalitikai rangsorolása és csoportosítása

A rangszám-különbségek összege (*Sum of Rank-Difference, SRD*) módszer egy gyors, egyszerű és általános technika, amely alkalmas arra, hogy összehasonlítsunk egyedeket, módszereket, vagy statisztikai modelleket a hasonlóságuk vagy eltéréseik alapján. A végeredmény egy egyedi rangsor, a módszer elvét Héberger (2010), validálását és szoftveres implementálását Héberger és Kollár-Hunek (2011) valósította meg.

Céлом volt meghatározni, hogy melyik közegkeverék és vastagság kombináción átfolyt csurgalékvíz elemanalitikai minősége hasonlít leginkább a csak PVC-vel fedett kontrolltetőről lefolyó víz elemanalitikai minőségéhez. Másképpen megfogalmazva, melyik közegen átfolyt csurgalékvíz (vizek) szennyezi legkevésbé a környezetet. A módszer segítségével a közegek „vízszennyezési” sorrendje meghatározható. Az SRD lépései az alábbiakban összegezhető:

1. Rendezzük az adattáblát (objektumok (sorok) = mért kémiai elemek; összehasonlítandó elemek (oszlopok) = közeg és vastagság kombinációk (17. táblázat).
2. Az utolsó referencia oszlopba – amiből referencia rangsor adódik – beírjuk a kontrolltetőhöz tartozó értéket (read). Mivel a bemenő táblázatban 3 tizedes figyelembevételével több kötés (azonos érték) is került a rangsorba (szürkével jelöltem a táblázatban), ezért a kötetést is kezelni tudó ingyenesen hozzáférhető szoftvert alkalmaztam. A VBA szoftver (SRDrep_V5_E10.xlsm) erről az oldalról letölthető: <http://aki.ttk.mta.hu/srd/>.
3. A szoftver első lépésben nagyság szerint rangsort számít minden egyes közeg és vastagság kombinációra.
4. Ezután kiszámítja a referencia rangsor (kontrolltető rangsora) és az egyedi közeg és vastagság kombináció rangszámkülönbségeit. Ezeket a rangszámkülönbségeket összegzi.
5. A kontrolltető csurgalékvíz paraméterei adják az SRD zérus pontját, mivel önmagától nem különbözik.

6. Adott közeg és vastagság kombináció rangszámkülönbség összeg (SRD értékek) minél kisebb, annál inkább hasonló a kontrolltettő csurgalékvíz elemanalitikai értékeihez (rangsorához), így annál kevésbé szennyezi a környezetét.
7. Eredmény a közegkeverék és vastagság kombináció csurgalékvizeinek rangsora. Az egyes közegkeverék és vastagság kombinációk csurgalékvizek SRD értékének szignifikanciáját 3.000.000 véletlen szám eloszlás összehasonlításával teszi meg a szoftver.

17. táblázat. Az SRD bemenő táblázatában az ICP-OS és ICP-MS módszerrel mért csurgalékvizek vízanalitikai értékei szerepelnek. A referencia oszlopban a kontrolltettő csurgalékvízének vízanalitikai értékei szerepelnek beolvasott (Read) adatként

	Kontroll	V1K1	V1K2	V1K3	V1K4	V2K1	V2K2	V2K3	V2K4	Read
Ag	0,36	0,29	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,36
Al	13,5	15,7	21,1	11,4	13,5	18,7	12,3	18,3	21,2	13,5
As	45,6	19,2	133,9	18,6	19,5	12,3	20,6	21,2	12,0	45,6
B	47,4	60,9	31,5	51,2	57,3	38,2	87,7	94,4	28,3	47,4
Ba	38,4	6,13	5,25	3,75	4,47	3,58	6,77	5,65	7,38	38,4
Cd	0,23	0,33	0,24	0,20	0,22	0,24	0,26	0,29	0,21	0,23
Co	0,28	0,40	0,53	0,39	0,50	0,39	0,33	0,52	0,37	0,28
Cr	0,48	0,77	0,58	0,72	0,85	0,73	0,94	1,03	0,58	0,48
Cu	9,19	40,9	12,0	9,37	23,4	24,2	8,00	14,8	139	9,19
Fe	14,6	37,2	19,5	17,7	43,2	57,4	26,1	35,0	44,9	14,6
Mn	39,8	31,2	32,2	27,6	28,8	26,6	31,3	44,5	13,6	39,8
Mo	4,03	1,66	1,69	1,55	1,41	0,97	2,45	2,37	1,45	4,03
Ni	3,55	7,30	4,87	3,49	7,72	8,57	8,63	5,03	4,97	3,55
Pb	0,72	0,93	0,92	0,56	1,23	1,13	0,65	1,33	1,03	0,72
Sb	6,38	12,3	19,3	12,4	14,5	9,40	11,4	13,8	7,92	6,38
Se	2,80	1,65	1,43	1,49	1,49	1,42	1,33	1,64	1,17	2,80
Sn	1,08	0,71	0,66	0,54	0,52	0,54	0,48	0,58	0,46	1,08
Sr	293	32,5	22,0	28,7	34,6	16,6	40,5	64,7	31,0	293
Zn	28,12	23,74	20,33	35,60	14,81	20,65	16,20	19,19	15,31	28,12
Ca	1,88	37,98	80,06	11,98	54,02	250,00	11,96	13,98	154,98	1,88
K	0,90	6,96	5,38	2,38	3,28	6,30	3,38	3,92	5,74	0,90
Li	0,01	0,01	0,01	0,06	0,27	0,02	0,01	0,01	0,07	0,01
Mg	0,52	2,70	9,44	2,70	9,30	41,98	2,70	3,18	23,00	0,52
Na	3,28	9,12	10,62	8,38	15,02	30,00	8,00	9,40	21,98	3,28
P	0,01	0,41	0,74	0,74	0,24	0,01	0,44	0,08	0,67	0,01
Si	0,11	7,64	5,81	2,97	4,80	8,72	2,53	1,98	5,11	0,11

4.2.2.3. Csurgalékvizek átfolyó mennyiségének és a csapadék visszatartás meghatározása

A tetőn keletkező vizet függő és lefolyó csatorna vezeti el úgy, hogy minden egyes parcella csurgalékvízének mennyiségét a vízköpőből kiáramló víz segítségével külön-külön mérni lehessen. A vízköpők körül alumínium lemezzel „U” alakban kirekesztettem a közegkeverékeket. Az

alumínium lemez körül 5 cm szélességben kavicsávot alkalmaztam, hogy ne mossa bele a csurgalékvíz a közegkeverékek összetevőit, hogy a cső ne tudjon eltömődni.

Minden kísérleti parcella és a kontroll tető (összesen: 33 db) saját kifolyóval rendelkezett, amelyek egyedi gyűjtőedényekbe (10 l-es lezárt tetejű) gyűjtötték az átfolyó csurgalékvizet. A gyűjtőedényekben összegyűlt vizeket minden esőzés után egy kalibrált mérőhengerbe öntöttem és milliliter pontossággal leolvastam az eredményt.

4.2.3. Közegkeverékekkel kapcsolatos minőségi és mennyiségi jellemzés

Az egyes közegek a következő anyagok különböző keverékéből állnak össze: zeolit, agyaggranulátum, folyami homok 0/4, föld, tőzeg, téglalörlemény, ytonglörlemény, meliorit. 4 közeget (K1-K4) vizsgáltam két rétegvastagságban a kísérleti tetőn (V1=10 cm; V2=15 cm):

1. K1: zeolit 25%; agyaggranulátum 10%; folyami homok 0/4 20%; föld 40%; tőzeg 5%;
2. K2: mádi zeolit: MSQ 0-2 (33%); MSQ 2-6 (33%); MKR 0-2 (34%);
3. K3: téglalörlemény 25%; ytonglörlemény 25%; tőzeg 15%; zeolit 20%; meliorit 15%;
4. K4: föld 50%; tőzeg 20%; homok 15%; meliorit 15%.

A közegkeverékek vizsgálatát a feltelepítéskori és a kísérleti időszaki csurgalékvizekkel végeztük.

4.2.3.1. Közegkeverékek általános fizikai vizsgálata

Az akkreditált méréseket az SGS Hungária Kft. Laboratóriuma (NAT-1-0992/2014) végezte. Az alábbi értékeket határozták meg a mérések során: kötöttség (KA) (MSZ-08-0205:1978 5. fejezet), humusz % (m/m) (MSZ 21470:1983 2. fejezet), leiszapolható rész % (m/m) (MSZ-08-0205:1978 3. fejezet), higroszkóposság (hy1) (MSZ-08-0205:1978), kapilláris vízemelés (5h) mm (MSZ-08-0480-2:1982). A közegkeverékeket két időpontban vizsgáltuk, a feltelepítéskor, és a kísérlet végén 3 évvel később. A mintákat 5 párhuzamos ismételtségekben mérték. A statisztikai kiértékeléshez Kruskal-Wallis tesztet hajtottam végre, egzakt p -érték kiszámolásával ($\alpha=0,05$), majd Dunn-féle páronkénti post hoc tesztet végeztem Bonferroni korrekcióval. Az elemzéseket az XL-Stat szoftverrel (Addinsoft, 28 West 27th Street, Suite 503, New York, NY 10001, USA) hajtottam végre.

4.2.3.2. Közegkeverékek specifikus fizikai vizsgálata

A módszer a közegkeverékek, közetminták azon paramétereinek egyszerű, gyors meghatározására használható, amelyekre annak jellemzésénél a műszaki életben a leggyakrabban szükség van (sűrűség, közet térfogategységében lévő üregek térfogata, a közetet alkotó kristályszerkezet sűrűsége, stb.) Ezeket a méréseket gyakran el kell végeznünk, ugyanakkor a szükségesnél sokkal többet dolgozva és számolva tesszük ezt. A rendszertelenség és a teljesség hiánya sokszor összehasonlíthatatlanná teszi a különböző időpontban, különböző paraméterekre megmért mintákat, így érdemi információkat veszthetünk el. Ennek az információvesztésnek az elkerülésére szolgál az alábbi eljárás, amely egyben nagy segítséget nyújt egy-egy közet, közegkeverék, szemcsés szűrőanyag, stb. jobb megismeréséhez, összehasonlíthatóságához is. A módszert úgy alakítottuk ki,

hogy néhány nagyon egyszerű és egymásra épülő súly- és térfogatméréssel a legtöbb paraméter meghatározható legyen.

A teljesítménymutatókat három csoportba osztható (Szöke et al., 2013):

1. **sűrűséggel összefüggő jellemzők:** laza sűrűség; nedves laza sűrűség; közetanyag sűrűsége; közet sűrűsége nedvesen; kristályszerkezeti sűrűség; közettömeg egységnyi kötérfogatban; közettérfogat egységnyi kötérfogatban; közettömeg egységnyi nedves kötérfogatban, közettömeg egységnyi nedves kötőmegben.
2. **víz tartalommal összefüggő jellemzők:** víztartalom (porozitás) egységnyi nedves kötőmegben, víztartalom (porozitás) egységnyi nedves kötérfogatban, víztartalom egységnyi nedves granulátum-térfogatban; felületi víz egységnyi granulátum-térfogatban, felületi víz egységnyi granulátum-tömegben.
3. **szemcsék közötti térrel összefüggő jellemzők:** szemcsék közti tér egységnyi granulátum-térfogatban, szemcsék közti tér egységnyi granulátum-tömegben.

Az eljárás és módszer kialakításánál fontos szempontunk volt, hogy néhány egymásra épülő súly- és térfogatméréssel a legtöbb paraméter egyszerűen és könnyen meghatározható legyen. A kidolgozott eljárás további előnye, hogy gyors, olcsó, kellően pontos, továbbá segítséget nyújt egy-egy közegkeverék/közet jellemzéséhez, kvantitatív összehasonlíthatóságához. A paraméterek meghatározásának elvi menete a következő.

A közegkeverék mintákat 24 órán keresztül 70 fokon szárítottam szárítószekrényben. Felhasznált eszközök, anyagok: kalibrált osztott mérőhenger, kalibrált mérleg, víz, száraz, finom kvarchomok. A mérés folyamatát a következőkben mutatom be. Az üres mérőhengert tárazzuk (700 ml). Beleszórunk valamennyi mintát és megmérjük a nettó súlyát → laza/m. Leolvassuk a térfogatát → laza/v. Kiöntjük a mintát egy papírra. Az edénybe beleszórunk valamennyi korundot, megmérjük a nettó súlyát → por/m. Leolvassuk a térfogatát → por/v. A papírról hozzáöntjük az előbbi mintát, és összerázzuk a homokkal. Megkocogtatjuk az edényt, és ha a szemcséket nem fedi el a homok, még annyi homokot adunk hozzá folyamatos kocogtatás közben, hogy a homok a minta-szemcséket teljesen ellepje. Megmérjük a közös, nettó súlyt → mix/m. Leolvassuk a közös térfogatot → mix/v. Az edényből kiöntjük az anyagot és valamennyi, de ismert térfogatú vizet öntünk bele, aminek a nettó súlyát is megmérjük (a pontosság miatt) → víz.m = víz.v. Beleszórunk ebbe a vízbe valamennyi mintát és megmérjük az elegy közös nettó súlyát → susp/m, az ülepedési időt megvárjuk (10 perc). Leolvassuk az elegy közös térfogatát → susp/v. A közetszemcsékről leöntjük a víz feleslegét, aztán szűrőpapírral lezárjuk a kémcső szájnyílását, fejre állítjuk, majd hagyjuk a maradék vizet leszivárogni. 30 perc után visszafordítjuk a mérőhengert, és újra megmérjük a súlyt → wet/m. Majd erős leütéssel letömörítjük a nedves anyagot, esetleg kissé meg is nyomjuk a felületét, és leolvassuk a nedves térfogatot → wet.v. A paraméterek kiszámítása a következőkben összefoglalható. Az egész rendszer azt modellezi, mintha a csapadékvíz esne az extenzív zöldtetőre, tehát a talajrézecskei annyi vizet vesznek fel, amennyi a rájuk tapadt hidrátburok, a többi lefolyik. Paraméterek kiszámítása:

Laza sűrűség: $Laza.ro = laza.m \div laza.v$

Nedves, laza sűrűség: $Wet.laza.ro = wet.m \div (susp.m - víz.m) \times laza.ro$

A közetanyag sűrűsége: $Ro = (mix.m - por.ro \times por.v) \div (mix.v - por.v)$

A közet sűrűsége, nedvesen: $Wet.ro = wet.m \div (susp.m - víz.m) \times ro$

Kristályszerkezeti sűrűség: $Ro_o = (susp.m - víz.ro \times víz.v) \div (susp.v - víz.v)$

Közzettömeg, egys. kötérft.-ban: $Kő.m/v = ro$

Közzettérfogát, egys. kötérft.-ban: $Kő.v/v = ro \div ro_o$

Közzettömeg, egys.nedves kötérft.-ban: $K.m/w.v = ro$

Közzettömeg, egys.nedves kötőmegben: $K.m/w.m = (1 \div wet.ro) \times ro$

Víztartalom (porozitás) egys.nedves kötőmegben: $Víz.m/w.m = 1 - (1 \div wet.ro) \times ro$

Víztartalom (porozitás) egys. nedves kötérft.-ban: $Víz.m/w.v = (wet.ro - ro)$

Víztartalom egys. nedves granulátum-térft.-ban: $Víz.m/w.l.v = wet.laza.ro - laza.ro$

Felületi víz egys. granulátum-térft.-ban: $fel.v/v = (laza.ro \div ro_o + víz.m/w.l.v) - 1$

Felületi víz egys. granulátum-tömegben: $fel.v/m = fel.v/v \div wet.ro$

Szemcsék közti tér, egys. granulátum-térft.-ban: $P.köz/l.v = 1 - (laza.ro \div ro)$

Szemcsék közti tér, egys. granulátum-tömegben: $p.köz/l.m = p.köz/l.v \div laza.ro$

A mintákat 5 párhuzamos ismételtsben mértem le. A statisztikai kiértékeléshez Kruskal-Wallis tesztet hajtottam végre, egzakt p -érték kiszámolásával ($\alpha=0,05$), Dunn-féle páronkénti post hoc tesztet végeztem Bonferroni korrekcióval. Az elemzéseket az XL-Stat szoftverrel (Addinsoft, 28 West 27th Street, Suite 503, New York, NY 10001, USA) valósítottam meg.

4.2.3.3. Közegkeverékek általános kémiai vizsgálata

Az akkreditált méréseket az SGS Hungária Kft. Laboratóriuma (NAT-1-0992/2014) végezte. Az alábbi értékeket határozták meg a mérések során: pH (KCl) (MSZ-08-0206-2:1978 2.1 szakasz), pH (H₂O) (MSZ-08-0206-2:1987 2.1 szakasz), vízzoldható összes só % (m/m) (MSZ-08-0206-2:1978 2.4. szakasz), összes karbonát tartalom CaCO₃-ban kifejezve % (m/m) (MSZ-08-0206-2:1978 2.2. szakasz), szódalúgosság % (m/m) (MSZ-08-0206-2:1978 2.3 szakasz), (NO₂+NO₃)-N mg/kg (MSZ 20135:1999), P-tartalom P₂O₅-ban kifejezve mg/kg (MSZ 20135:1999), K-tartalom K₂O-ben kifejezve mg/kg (MSZ 20135:1999), Mg-tartalom mg/kg (MSZ 20135:1999), Na-tartalom mg/kg (MSZ 20135:1999), Zn-tartalom mg/kg (MSZ 20135:1999), Cu-tartalom mg/kg (MSZ 20135:1999), Mn-tartalom mg/kg (MSZ 20135:1999). A minták 5 párhuzamosban mérték. A statisztikai kiértékeléshez Kruskal-Wallis tesztet hajtottam végre, egzakt p -érték kiszámolásával ($\alpha=0,05$), majd Dunn-féle páronkénti post hoc tesztet végeztem Bonferroni korrekcióval. Az elemzéseket az XL-Stat szoftverrel (Addinsoft, 28 West 27th Street, Suite 503, New York, NY 10001, USA) hajtottam végre.

4.2.3.4. Közegkeverékek tömörödésének vizsgálata

A méréseket évente 4 alkalommal (március, június, szeptember, december) végeztem 2012.03-2015.03 között. Minden kísérleti parcellában, minden mérési időpontban 10 mérést hajtottam végre. A mintavétel véletlenszerűségét egy mintavételi segédkeret előállításával biztosítottam. A kísérleti

parcellának megfelelő egy 1 m^2 nagyságú $100\text{ cm} \times 100\text{ cm}$ -es rácshálójú keretet alkalmaztam. Minden négyzet $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$, azaz 1 kis négyzet a teljes keret 1%-a. Minden kis négyzetet számmal láttam el balról jobbra növekvően 1-100-ig. Majd véletlen egész számokat generáltam 1-100 között és ebből választottam ki az első 10-et. Ez határozta meg, hogy a mintavételi segédkeret mely kis négyzetének pontosan közepén mértem a közeg vastagságát. Azért is volt fontos, hogy mindig én – ugyanazon személy – készítse a méréseket, mert így elkerülhető volt a különböző személyek eltérő percepciójából adódó becslési torzítások. A méréseket collstock segítségével végeztem, a leolvasásokat mm pontossággal tettem meg.

Adott parcellának 10 mérési párhuzamosaiból számtani átlagát határoztam meg, mivel jól kifejezi az adott közeg átlagos tömörödését. A mért adatokra modellt illesztettem, a modell együttthatóinak becslését, a regressziós diagnosztikát, valamint a feltételvizsgálatot Harnos és Ladányi (2005) alapján az SPSS 20.0. for Windows programcsomaggal értékeltem. Az egyes lépéseket Sajtos és Mitev (2007) útmutatásai alapján végeztem az alábbi lépéseken keresztül:

1. Függvény alakjának megsejtése a pontok ábrázolásával
2. Modellillesztés
3. Modell együttthatóinak a becslése
4. Regressziós diagnosztika
 - a. determinációs együtttható (R^2) érték becslése, és szignifikanciájának tesztelése ($R^2=1-(\text{Residual Sum of Squares})/(\text{Corrected Sum of Squares})$)
 - b. paraméterek becslésére vonatkozó t-próbák (modellben szereplő változóról való döntés)
 - c. A modellre vonatkozó ANOVA (modell mennyire magyarázza az értékek szóródását)
5. Feltételvizsgálat
 - a. reziduumok függetlensége (korreláció)
 - b. reziduumok normalitása $\epsilon_i \sim N(0;\sigma)$

4.2.4. Zöldtetőkataszter statisztikai vizsgálata

A zöldtetőkataszter beérkezett adataira történő modellillesztést, a modell együttthatóinak becslését, a regressziós diagnosztikát, valamint a feltételvizsgálatot Harnos és Ladányi (2005) alapján az SPSS 20.0. for Windows programcsomaggal értékeltem. Az egyes lépéseket Sajtos és Mitev (2007) útmutatásai alapján végeztem az alábbi lépéseken keresztül:

6. Függvény alakjának megsejtése a pontok ábrázolásával
7. Modellillesztés
8. Modell együttthatóink a becslése
9. Regressziós diagnosztika
 - a. determinációs együtttható (R^2) érték becslése, és szignifikanciájának tesztelése ($R^2=1-(\text{Residual Sum of Squares})/(\text{Corrected Sum of Squares})$)
 - b. paraméterek becslésére vonatkozó t-próbák (modellben szereplő változóról való döntés)
 - c. A modellre vonatkozó ANOVA (modell mennyire magyarázza az értékek szóródását)
10. Feltételvizsgálat
 - a. reziduumok függetlensége (korreláció)
 - b. reziduumok normalitása $\epsilon_i \sim N(0;\sigma)$

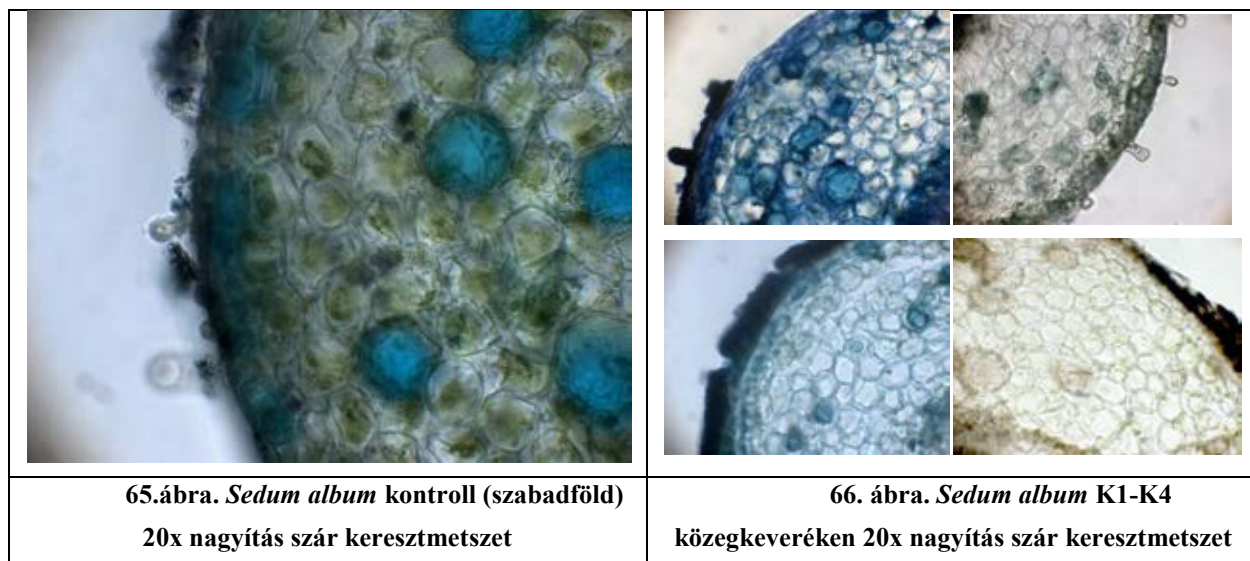
5. Eredmények

5.1. A *Sedum* fajokkal kapcsolatos minőségi és mennyiségi mérések eredményei

5.1.1. *Sedum* fajok szövettani eredményei

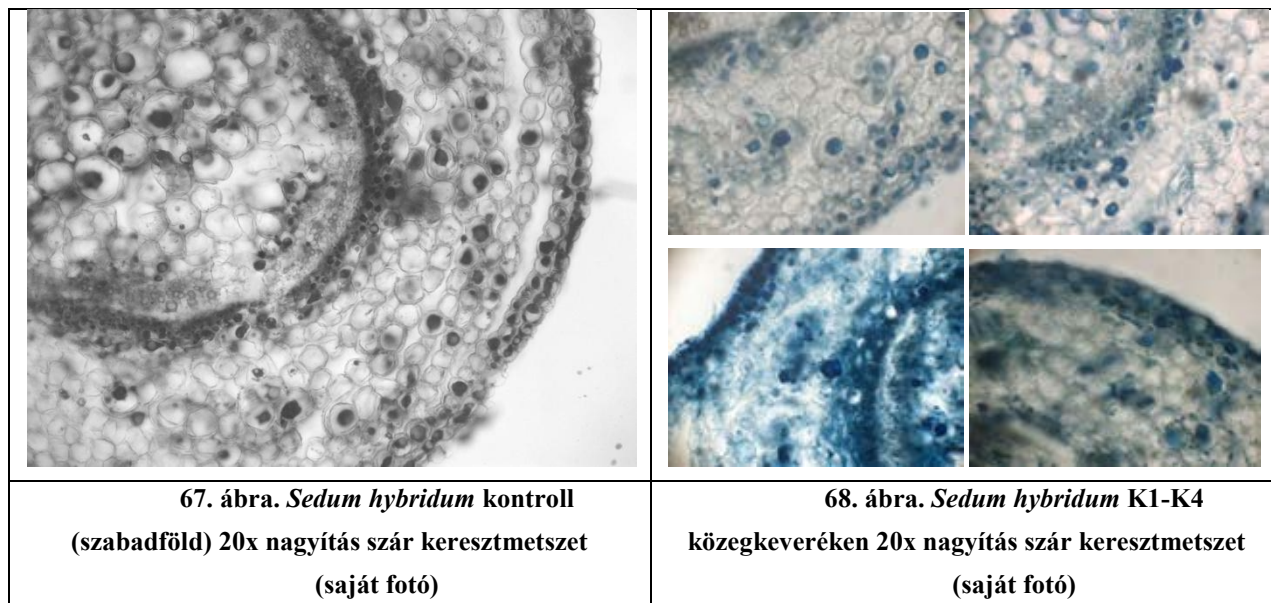
Sedum album kontroll mintáján megfigyelhető, hogy az epidermisz vastag kutikulával rendelkezik, amely részben leválik. Rajta elszórva többsejtű, epidermális szőrök találhatóak. A kortex alapszövet klorenchima (zöldszíntestek parenchima) szerkezete laza. Jól láthatóan a kortex alapszövetben az idioblasztok kékre színeződtek a toluidin kék festék anyagtól. A metszeti képen kör alakban helyezkedik el a központi kollaterális henger. A szállítószövet és a központi henger elkülönül. *Sedum album* mindegyik metszetén 6 db nyalábot számoltam. A kontroll és az extenzív zöldtetők mintái között nem mutatkozott különbség.

A kontrollhoz képest a *Sedum album* a K1 közegkeveréken jellemző szöveti változása, hogy a kutikula részben vastagabb és leváló. A *Sedum album* a K2 közegkeveréken az epidermális szőrök száma megnő, laza a klorenchimatikus szövet. A *Sedum album*-ot a K3 közegkeveréken a legvastagabb és helyenként felrepedő kutikula jellemzi. A klorenchima sejtjei kisebbek, tömöttebbek. A *Sedum album* a K4 közegkeveréken részben leváló, megvastagodott és megmaradó kutikula és néhány epidermális szőr jellemzi. A klorenchima szerkezete tömöttebb (65-66. ábra).



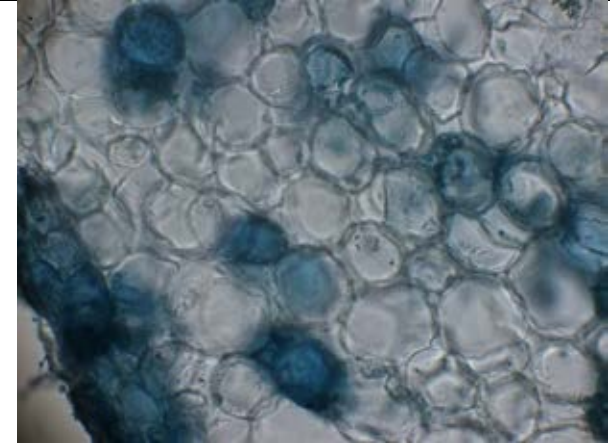
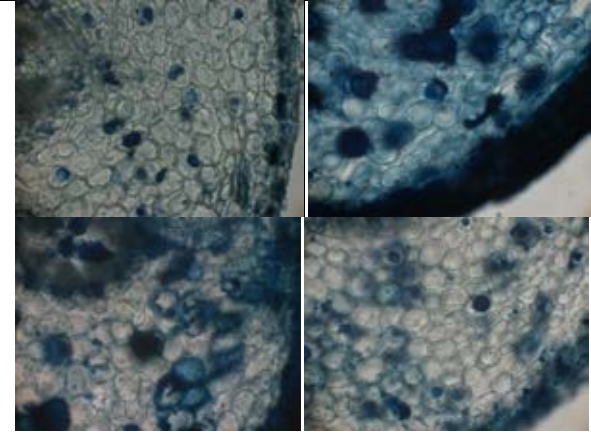
Sedum hybridum kontrollt felszakadozó kutikula jellemzi. A kortex alapszövet klorenchima szerkezete sok intercellulárist tartalmaz. A kortex alapszövetben idioblasztok találhatóak. A K3 metszete dezintegrálódott. *Sedum hybridum*-ot a K1 közegkeveréken egysoros epidermisz jellemzi. A kortex alapszövet klorenchima szerkezete tömött. A kortex alapszövetben az idioblasztok száma sok, a központi hengerben is megfigyelhetők. Nagyméretű, keresztmetszetben lapos szállítónyalábok jellemzik. A nyalábokat elválasztó bélsugár keskeny. *Sedum hybridum*-ot a K2 és K4 közegkeveréken a kutikula nem látszik a metszeten. Epidermális szőrök nincsenek. A kortex alapszövet klorenchima szerkezete hasonlóan tömött. Az epidermiszben, a kortexben és a központi

hengerben is megjelennek a kékre festődő idioblasztok. Epidermális szőrök nincsenek. Nagyméretű, keresztmetszetben lapos szállítóyalábok jellemzik. *Sedum hybridum* mindegyik metszet esetében 6 db-ot számoltam. A kontroll és az extenzív zöldtetők mintái között nem volt különbség. A nyálábokat elválasztó bélsugár kicsi (**67-68. ábra**).

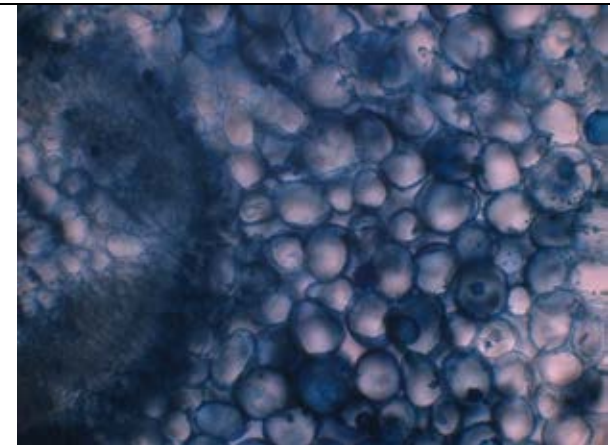
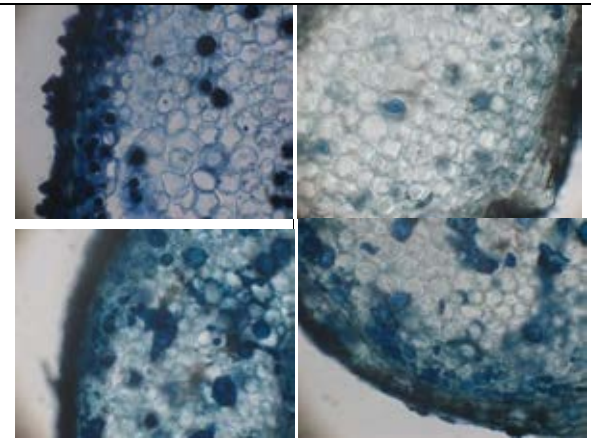


Sedum reflexum kontroll mintáján megfigyelhető, hogy az epidermisz többé-kevésbé vastag kutikulával rendelkezik, amely erősen felszakadozó. Epidermális szőrök nem diagnosztizálhatóak. A kortex alapszövet klorenchima szerkezete laza. A kortexben és a központi részben is megjelennek a kékre festődő idioblasztok.

Sedum reflexum a K1 közegkeveréken az epidermisze vastag, heterogén nem felszakadó kutikulával rendelkezik. Tömöttebb klorenchima jellemzi, mint a kontrollt. Az epidermiszben, a kortexben és a központi részben is megjelennek a kékre festődő idioblasztok. A szállítóyalábok nagyméretűek, száma 8 db. *Sedum reflexum* a K2, K3 és K4 közegkeveréken epidermisze vastag, felrepedező a kutikula. Tömöttebb klorenchima jellemzi, mint a kontroll. Az epidermiszben, a kortexben és a központi részben is megjelennek a kékre festődő idioblasztok. A *Sedum reflexum* kontroll esetében a szállítóyalábok száma 6 db, míg a K1, K2, K3, K4 közegkeveréken minden esetben 8 db volt (**69-70. ábra**).

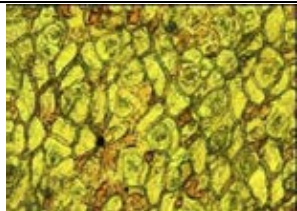
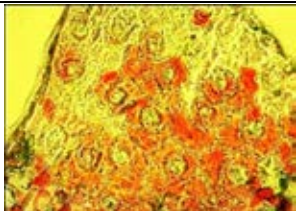
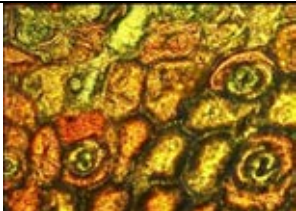
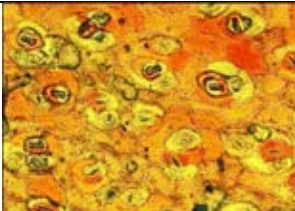
	
<p>69. ábra. <i>Sedum reflexum</i> kontroll (szabadföld) 20x nagyítás szár keresztmetszet (saját fotó)</p>	<p>70. ábra. <i>Sedum reflexum</i> K1-K4 közegkeveréken 20x nagyítás szár keresztmetszet (saját fotó)</p>

Sedum spurium kontroll mintáján megfigyelhető a vastag kutikula részben felnyíló, a klorenchima sejtek kisebbek (*Sedum album* kontrollhoz képest), nem nyomódnak egymáshoz. Az epidermiszben, a kortexben és a központi részben is megjelennek a kékre festődő idioblasztok. Epidermális szőrök nincsenek. Nagyméretű, keresztmetszetben lapos szállítóyalábok jellemzik, számuk 6 db. *Sedum spurium* a K1, K2 és K3 közegkeveréken vastagabb kutikula jellemzi, amely felszakadozó (K4 vékonyabb kutikula). A klorenchima sejtek kisebbek, nem nyomódnak egymáshoz, körszerűek, mint a kontroll növényeknél. A kortex külső részén az epidermisz alatti sejtsor vastagfalú (*hypoderma*). A kortexben és a központi részben is megjelennek a kékre festődő idioblasztok. A *Sedum spurium* kontroll esetében a szállítóyalábok száma 6 db, míg K1, K2, K3, K4 közegkeverék esetében 8 db volt (71-72. ábra).

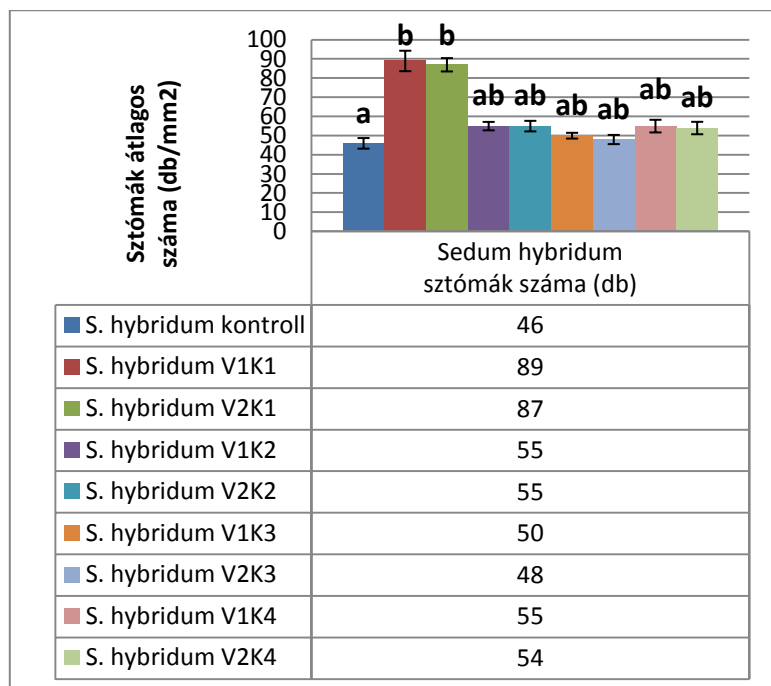
	
<p>71. ábra. <i>Sedum reflexum</i> kontroll (szabadföld) 20x nagyítás szár keresztmetszet (saját fotó)</p>	<p>72. ábra. <i>Sedum spurium</i> K1-K4 közegkeveréken 20x nagyítás szár keresztmetszet (saját fotó)</p>

Összességében megállapítható, hogy a vizsgált *Sedum* fajok szöveti szerkezeti felépítése változásokat mutat a zöldsztetőkön levő extrém körülmények hatására. A *Sedum reflexum* esetében az epidermisz megvastagodása figyelhető meg. A *Sedum spurium* esetében pedig az epidermisz alatt vastagfalú sejtsor hypoderma alakult ki. Általában a kortex szöveti tömöttebbé válnak, a sejtközi intercellulárisok csökkennek. A nyalábok száma nő, viszont a faelem (*xilem*) vízszállítócsöveinek (*trachea*) átmérője csökkent, amelynek oka feltehetőleg az, hogy kevesebb vízmennyiséggel ugyanolyan víznyomást lehet elérni a növény belsejében, illetve a hosszú száraz időszak, rövid ideig tartó csapadékmennyiségeit azonnal továbbítani, hasznosítani tudják ezek a növények.

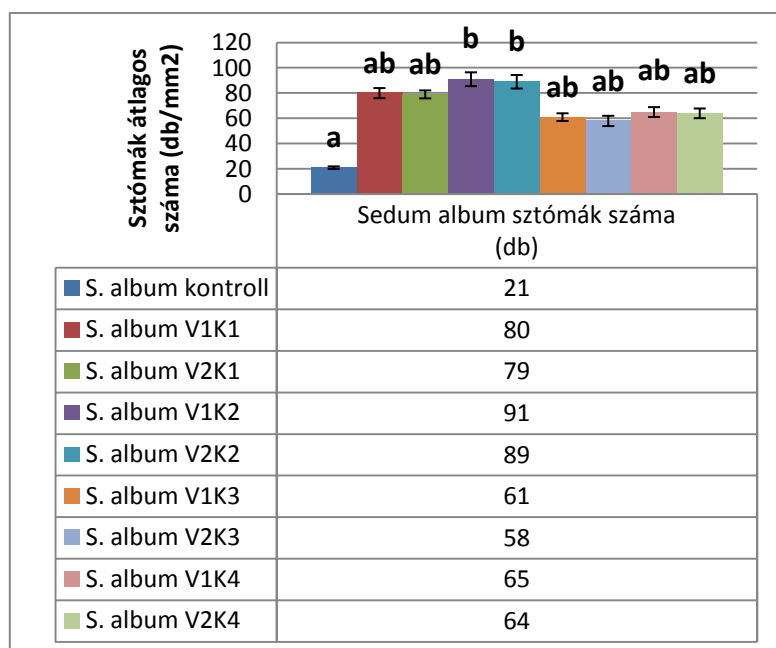
Az eredmények azt mutatják, hogy az extenzív körülmények között a *Sedum hybridum*, *Sedum album*, *Sedum spurium* sztómáinak átlagos száma jellemzően szignifikánsan magasabb volt, mint a kontroll, szabadföldi körülmények között levő kontroll növényeké, amelyekről készített fényképeket az alábbi ábrákban mutatom be (73-76. ábra). A *Sedum* fajok CAM (*Crassulaceae Acid Metabolism*) anyagcserével rendelkeznek, a megnövekedett számú, este nyitott sztómák feltehetőleg hatékonyabban biztosítják a CO₂-felvételt.

			
73. ábra. <i>Sedum hybridum</i> gázcsere nyílásai 400x nagyítás (saját fotó)	74. ábra. <i>Sedum album</i> gázcsere nyílásai 400x nagyítás (saját fotó)	75. ábra. <i>Sedum reflexum</i> gázcsere nyílásai 400x nagyítás (saját fotó)	76. ábra. <i>Sedum spurium</i> gázcsere nyílásai 400x nagyítás (saját fotó)

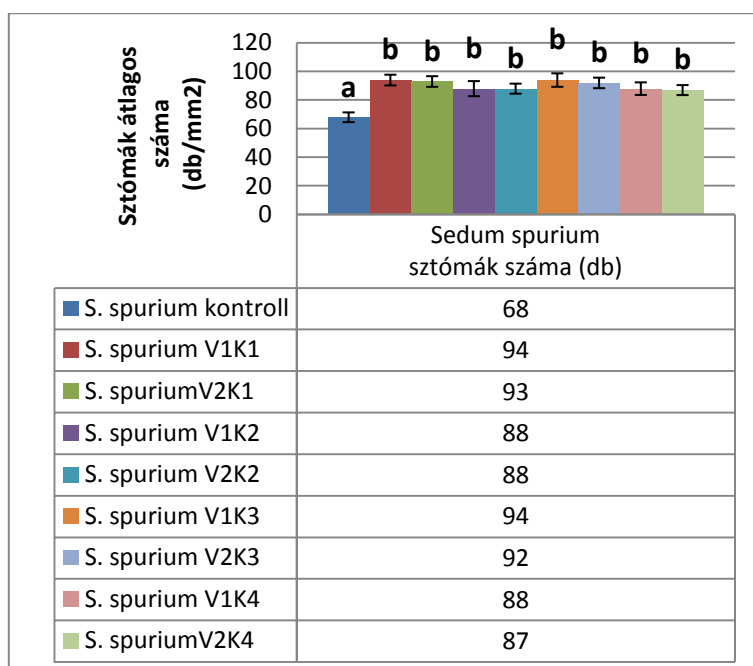
A közegkeverékek különböző hatással voltak a *Sedum* fajokra. A *Sedum hybridum* esetében a K1-es közegkeveréken, míg a *Sedum album* esetében a K2 közegkeveréken regisztráltam a legtöbb légcsere nyílást. A *Sedum spurium* esetében a közegek között nem adódott szignifikáns különbség. A *Sedum reflexum* ellenkezően viselkedett, mint az előző fajok, esetében pont a kontroll mintánál adódott a legmagasabb egységnyi felületre eső légcsere nyílás (77-80. ábra).



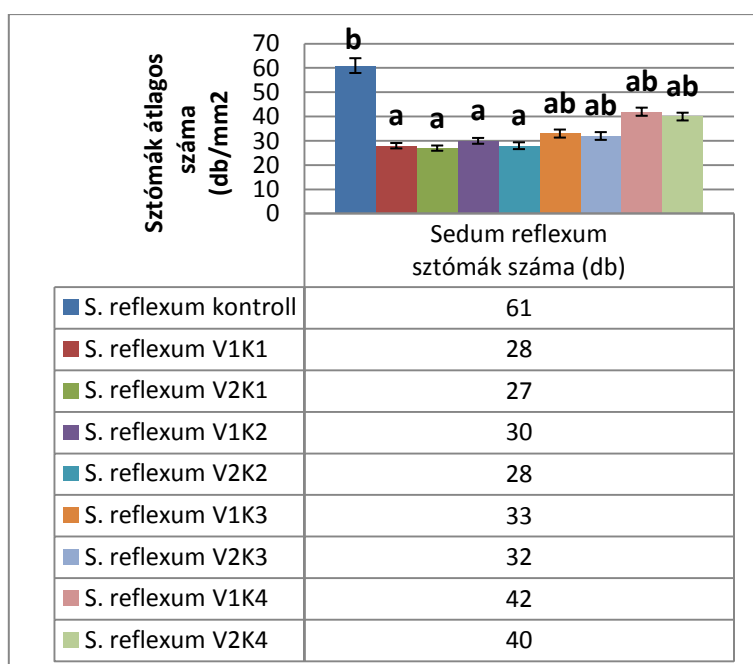
77. ábra. *Sedum hybridum* levél sztómáinak átlagos száma (db/mm²)



78. ábra. *Sedum album* levél sztómáinak átlagos száma (db/mm²)



79. ábra. *Sedum spurium* levél sztómáinak átlagos száma (db/mm²)

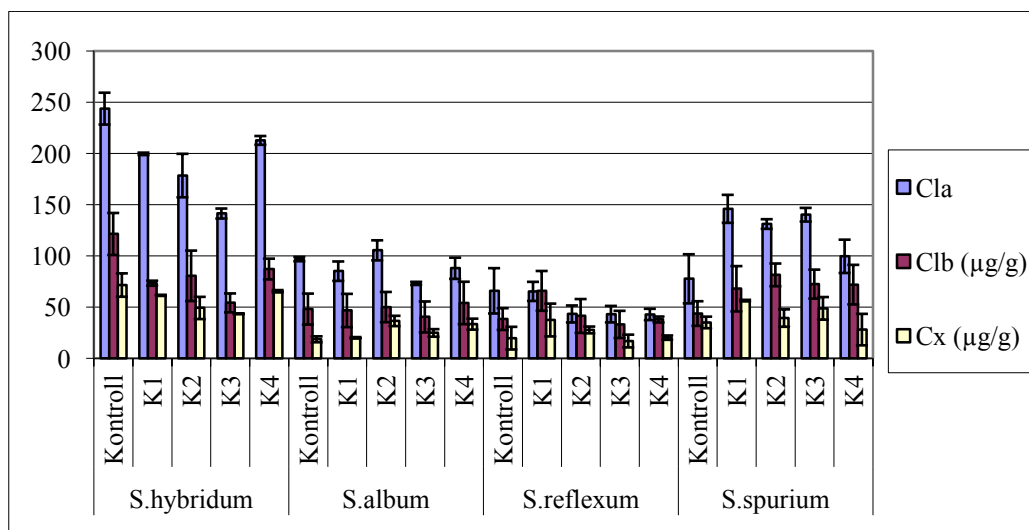


80. ábra. *Sedum reflexum* levél sztómáinak átlagos száma (db/mm²)

5.1.2. *Sedum* fajok klorofill-a, klorofill-b és összes karotinoid tartalmának eredményei

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a mennyiséget tekintve az alábbi mintázatok adódtak. Minden faj és minden közegkeverék esetében a legnagyobb mennyiségűnek a klorofill-a, klorofill-b, majd karotinoid tartalom adódott. A fajokra vonatkozó tendenciákat megvizsgálva jellemző sorrend alakult ki a legnagyobbtól kezdve: *Sedum hybridum*, *Sedum spurium*, *Sedum album*, *Sedum reflexum*. Azonban ha a pigmentek oldaláról vizsgáljuk az eredményeket, akkor a klorofill-a alapján a statisztikai kiértékelés eredményei azt mutatják – Kruskal-Wallis tesztet, egzakt p -érték ($\alpha=0,05$), Dunn-féle páronkénti post hoc, Bonferroni korrekció – hogy szignifikánsan ($\alpha=0,05$)

legalacsonyabbnak a *S. reflexum* (K3, K4, K2), szignifikánsan ($\alpha=0,05$) legmagasabbnak a *S. hybridum* kontroll mintája adódott. Az összes többi kombináció a kettő között helyezkedett el. A klorofill-b és karotinoidok alapján nem adódott szignifikáns különbség (81. ábra) (18. táblázat).



81. ábra. *Sedum* fajok klorofill-a, klorofill-b és karotinoid tartalma

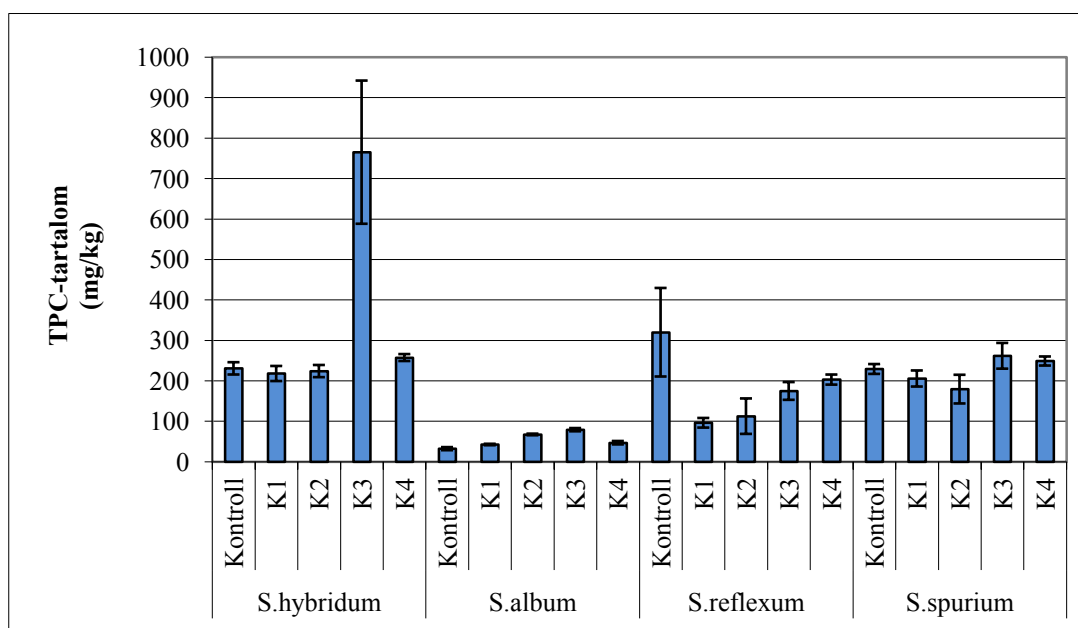
18. táblázat. *Sedum* fajok klorofill-a, klorofill-b és karotinoid tartalmának összehasonlítása páronkénti Dunn-féle teszttel (A homogén csoportokat azonos betűvel jelöltem)

	Klorofill-a			Klorofill-b			Karotinoid		
	átlag	szórás	csoportok	átlag	szórás	csoportok	átlag	szórás	csoportok
<i>S. album</i> K1	85,274	9,502	AB	46,907	16,244	A	20,248	0,698	A
<i>S. album</i> K2	105,611	9,789	AB	50,234	14,764	A	36,693	5,021	A
<i>S. album</i> K3	73,336	1,525	AB	40,603	15,136	A	25,020	3,682	A
<i>S. album</i> K4	88,098	10,362	AB	54,258	20,723	A	33,583	5,344	A
<i>S. album</i> Kontroll	97,079	2,073	AB	48,239	15,169	A	18,799	2,907	A
<i>S. hybridum</i> K1	199,784	1,183	AB	73,532	2,451	A	61,677	0,549	A
<i>S. hybridum</i> K2	178,599	21,221	AB	80,739	24,612	A	49,362	10,843	A
<i>S. hybridum</i> K3	141,547	4,888	AB	54,348	9,226	A	43,680	0,366	A
<i>S. hybridum</i> K4	212,934	4,294	AB	87,380	10,128	A	65,682	1,131	A
<i>S. hybridum</i> Kontroll	243,930	15,548	B	121,584	20,523	A	71,730	11,427	A
<i>S. reflexum</i> K1	65,531	9,327	AB	66,053	19,421	A	37,615	16,001	A
<i>S. reflexum</i> K2	43,509	8,295	A	41,572	16,508	A	27,924	3,314	A
<i>S. reflexum</i> K3	43,323	8,066	A	33,328	13,229	A	17,106	6,231	A
<i>S. reflexum</i> K4	43,061	5,502	A	38,098	2,894	A	20,390	2,106	A
<i>S. reflexum</i> Kontroll	66,110	22,132	AB	38,532	10,605	A	19,904	11,066	A
<i>S. spurium</i> K1	146,114	13,671	AB	68,134	22,101	A	56,559	0,741	A
<i>S. spurium</i> K2	131,307	4,706	AB	81,664	11,087	A	39,528	8,503	A
<i>S. spurium</i> K3	140,389	6,673	AB	72,646	14,161	A	48,987	11,038	A
<i>S. spurium</i> K4	99,779	16,259	AB	72,134	19,318	A	28,255	15,369	A
<i>S. spurium</i> Kontroll	77,815	23,968	AB	43,923	12,025	A	35,238	5,640	A

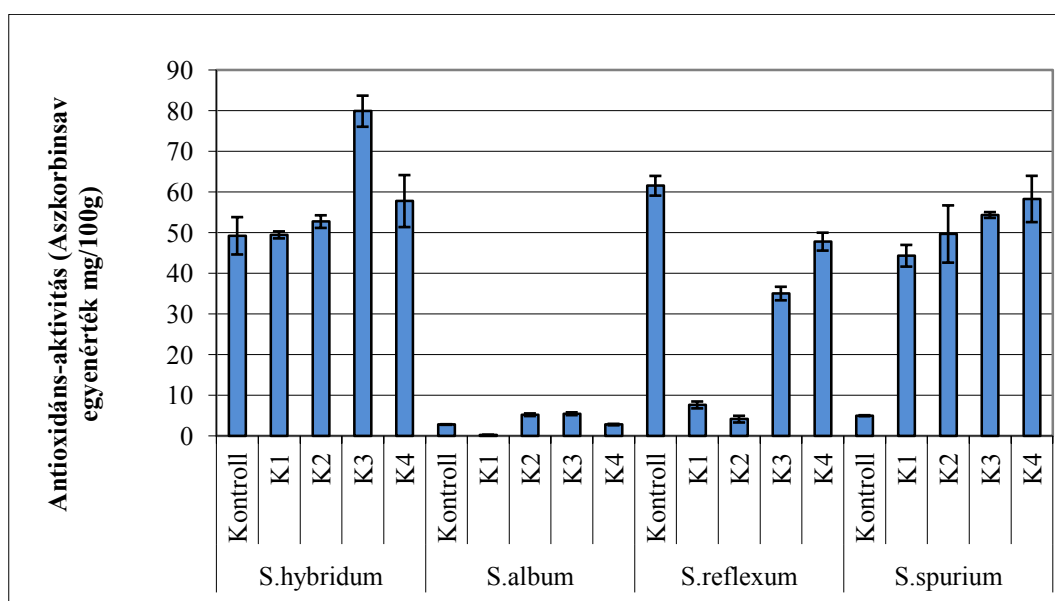
A *Sedum hybridum* kontrollnak a klorofill-a értéke adódott szignifikánsan a legmagasabbnak, amely amellet, hogy faji adottság, a növény jó fiziológiai állapotát jelzi (Lichtenthaler, 1998).

5.1.3. *Sedum* fajok antioxidáns anyagainak eredményei

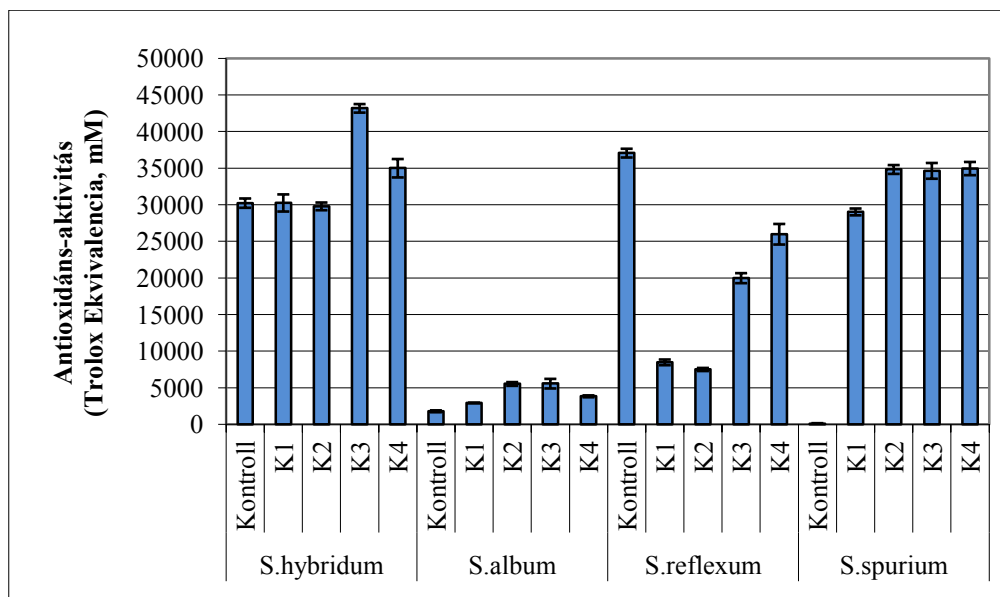
Az antioxidáns kapacitás eredményei alapján kialakult sorrend (legnagyobbától kezdve): *S. hybridum*, *S. spurium*, *S. reflexum*, *S. album*. A mérési módszerekből adódóan nagyságrendi eltérések adódtak a mért mennyiségekben. Jellemzően a K3, K4 közegkeverékeken nagyobb mennyiségű, a K1, K2 közegkeverékeken kisebb mennyiségű antioxidáns anyag termelődött a mért módszerek alapján. A kontroll növényeken mért mennyiségek változónak mutatkoztak növényenként és közegkeverékenként is. A *Sedum hybridum* értékei a K3-as közegen szignifikánsan ($\alpha=0,05$) a legmagasabbnak adódott (TPC, FRAP, CUPRAC). A *S. album* extenzív körülmények között a K1 közegkeveréken a legalacsonyabb értékekkel volt jellemezhető (TPC, FRAP, DPPH) **(82-85. ábra)**. A Kruskal-Wallis teszt és a páronkénti Dunn-féle post hoc teszt által meghatározott homogén és heterogén csoportokat az **5. melléklet** mutatja be.



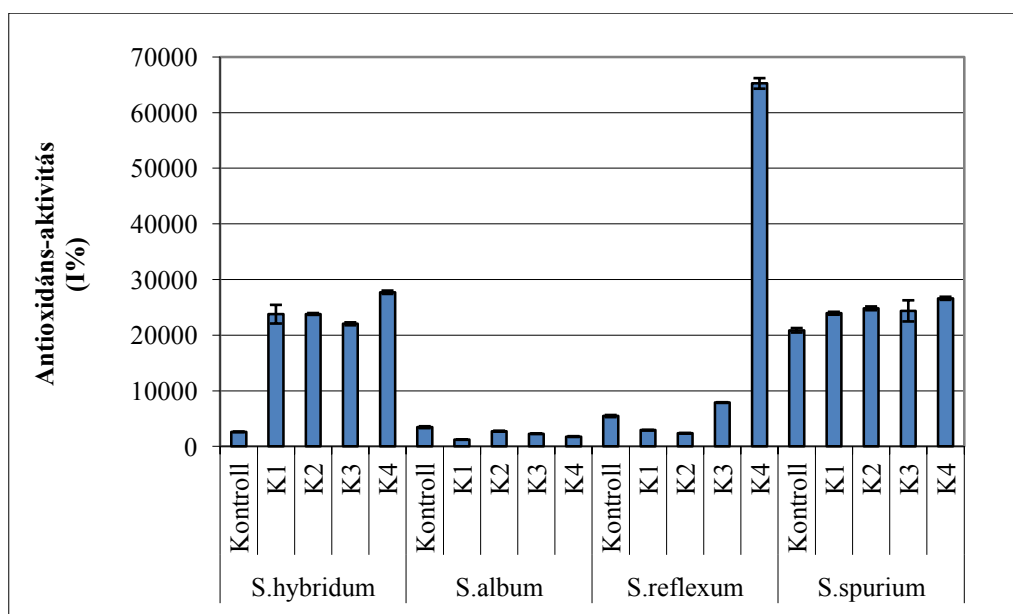
82. ábra. *Sedum* fajok összes polifenoltartalmának (TPC) eredményei



83. ábra. *Sedum* fajok összes antioxidáns kapacitása (FRAP) eredményei



84. ábra. Sedum fajok összes antioxidáns aktivitás (CUPRAC) eredményei



85. ábra. Sedum fajok gyökfogóképessége (DPPH) eredményei

A Spearman-féle rangkorrelációs együttható a két mérési módszer közötti lineáris kapcsolat szorosságát méri, értéke független a mértékegységektől. A két érték közötti lineáris kapcsolat nagyságát és irányát jelzi. Minél távolabb van a zérustól annál erősebb a kapcsolat, értéke -1 (tökéletes negatív korreláció) és +1 (tökéletes pozitív korreláció) közé esik (Bard, 1974; Vargha, 2008). A korreláció analízishez a számított p -értékek táblázata azt mutatja meg, hogy a két vizsgált mennyiség között szignifikáns-e a kapcsolat. Amennyiben szignifikáns ($\alpha=0,05$) a kapcsolat (vastaggal szedett), akkor a korrelációs matrix mutatja meg a korreláció erősségét (0,7 felett erős a kapcsolat). Igen erős szignifikáns kapcsolatok az alábbiak voltak: FRAP–CUPRAC (0,958), FRAP–TPC (0,881), CUPRAC–TPC (0,814). Közepesen erős szignifikáns kapcsolat adódott: DPPH–FRAP (0,690), DPPH–CUPRAC (0,611), DPPH–TPC (0,594) (19-20. táblázat).

19. táblázat. Számított p-értékek táblázata az egyes antioxidáns kapacitás mérési módszerei között

	DPPH	CUPRAC	FRAP	TPC
DPPH	0	0,005	0,001	0,007
CUPRAC	0,005	0	< 0,0001	< 0,0001
FRAP	0,001	< 0,0001	0	< 0,0001
TPC	0,007	< 0,0001	< 0,0001	0

20. táblázat. Spearman-féle korrelációs táblázat az egyes antioxidáns kapacitás mérési módszerei között

	DPPH	CUPRAC	FRAP	TPC
DPPH	1	0,611	0,690	0,594
CUPRAC	0,611	1	0,958	0,814
FRAP	0,690	0,958	1	0,881
TPC	0,594	0,814	0,881	1

Méréseinkkel megerősítettük Apak és munkatársai (2007) valamint Huang és munkatársai (2005) eredményeit, miszerint a TPC–FRAP–CUPRAC hasonló mérési elven működnek, így magas korreláció várható ezen módszerek eredményei között.

5.1.4. *Sedum* fajok növekedési ütemének és dinamikájának eredményei

Általánosan megállapítható, hogy a vizsgált fajok növekedése nem lineáris regresszió alapján írható le. A vizsgált *Sedum* fajok növekedésének általános modellje $= p_1 + p_2 * (1 - \exp(-p_3 * \text{idő}))$, ahol p_1 az indulási érték (növényátmérő cm), a p_2 megadja, hogy mennyit nő a telítődésig, p_3 a növekedés sebessége, az idő pedig az első méréstől eltelt napok száma. A vizsgált *Sedum* fajok a kiindulási átmérővel, növekedési határértékekkel, és a növekedés sebességével jellemezhető. A következőkben *Sedum album* példáján mutatom be a növekedés eredményeit részletesen, utána összefoglalóan az összes közeget táblázatos formában.

A *Sedum album* a V1K1 (V1 = 10 cm, K1 = agyag granulátum 10%; folyami homok 0/4 20%; föld 40%; tőzeg 5%, zeolit 25%) a többi vizsgált *Sedum* fajra jellemző matematikai modellel jellemezhető a faj növekedése. A 9,83 cm-es átlagos kezdő átmérőről átlagosan 18,7 cm-re nőttek a növények a vizsgált időszakban (2012.05–2015.03).

A regressziós diagnosztika első lépésében a determinációs együttható érték becslése és szignifikanciájának tesztelését végeztem el. Mivel a determinációs együttható $R^2 = 0,956$ nagyon magasnak adódott, ezért a modell jól illeszkedik az adatokra, azaz a napok szignifikánsan korrelálnak a növények növekedésével ($R^2 = 0,956$; $p < 0,001$). A második lépésben a paraméterek becslésére vonatkozó t-próbákat végeztem el. Az illesztő függvény egyenlete a következő: *Sedum album* növekedés_(V1K1) = $9,061 + 10,243 * (1 - \exp(-0,072 * 1034))$. A modell együtthatóink a becslését az alábbi táblázat mutatja be (21. táblázat).

21. táblázat modell együtthatóinak a becslése

paraméterek	becslés	standard hiba	konfidencia intervallum (95%) alsó korlát	konfidencia intervallum (95%) felső korlát	becslés/standard hiba (számított t)	szignifikancia szint
p_1	9,061	0,665	7,579	10,544	13,6255	$p<0,001$
p_2	10,243	0,762	8,545	11,942	13,442	$p<0,001$
p_3	0,072	0,017	0,034	0,111	42,352	$p<0,001$

Az eredmények alapján az együtthatók becslése szignifikánsnak adódott, mivel a számított értékek az alábbiak: $p_1=9,061$; $p<0,001$; $p_2=10,243$; $p<0,001$; $p_3=0,072$; $p<0,001$. Harmadik lépésben a modellre vonatkozó ANOVA-t végeztem el annak érdekében, hogy megállapítsam, hogy az értékek szóródását szignifikánsan magyarázza-e a modell. Az eredmények alapján a nem lineáris modell jól magyarázza a *Sedum album* (K1V1) növekedési értékeinek szóródását (varianciáját) ($F(3;10)=2307,04264$; $p<0,001$) (22. táblázat).

22. táblázat. *Sedum album* növekedés modellre vonatkozó ANOVA

	Négyzetösszeg	Szabadsági fok	Átlagos négyzetes eltérés
Regresszió	3246,008	3	1082,003
Maradék	4,687	10	0,469
Korrekciónélküli teljes	3250,694	13	
Korrigált teljes	106,484	12	

Függő változó: *Sedum album* növekedés

a. $R^2 = 1 - (\text{Reziduumok négyzetösszeg}) / (\text{Korrigált négyzetösszeg}) = 0,956$.

A feltételvizsgálat során az eredmények alapján az évek nem korrelálnak a reziduumokkal. A teljes modellre vonatkozó t-próba is szignifikánsnak adódott ($t(3;10)= 15,45962$; $p<0,001$). A reziduumok normalitását, $\varepsilon_i \sim N(0;\sigma)$ a Kolgomorov-Smirnov és a Shapiro-Wilk teszttel ellenőriztem. Az összes faj, valamint közegkeverék és közegvastagság kombinációra vonatkozó növekedését leíró modellek regressziós diagnosztikáját (determinációs együttható érték becslését, szignifikanciájának tesztelését, paraméterek becslésére vonatkozó t-próbákat, modell együtthatóinak a becslését, a modellre vonatkozó ANOVA-t, a feltételvizsgálatot) az **6. melléklet** mutatja be.

Összefoglalóan megállapítható, hogy az összes vizsgált növény (*Sedum album*, *Sedum hybridum*, *Sedum reflexum*, *Sedum spurium*) növekedése nem lineáris jellegű, egymástól a modell paramétereinek alakulásától függenek: p_1 indulási érték (növényátmérő cm), a p_2 növekedés a telítődésig, p_3 a növekedés sebessége. Mivel a p_1 telepítéskori növényátmérők nagyon hasonlóak voltak, ezért az egyes fajok a telítődésig történő növekedésben (p_2) és a növekedés sebességében

különböznek (p_3). A *Sedum* fajok növekedési jelleggörbéit és jellemzőit mutatja be a következő összefoglaló táblázat (23. táblázat).

23. táblázat. Az extenzív kísérleti tetőn levő *Sedum* fajok növekedésének jelleggörbéi és jellemzői

Vastagság és közegkeverék kombináció	Statisztikai jelleggörbe	Statisztikai jelleggörbe illesztési jósága	Növényátmérő (cm) (telepítéskori és utolsó mérés)	Telítettési vagy utolsó mért átmérő (hónap)
<i>Sedum album</i> V1K1	$y = 9,061 + 10,243 \cdot (1 - \exp(-0,072 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,956$	9,825→18,097cm	20
<i>Sedum album</i> V2K1	$y = 8,927 + 11,204 \cdot (1 - \exp(-0,070 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,954$	9,836→18,702cm	20
<i>Sedum album</i> V1K2	$y = 9,195 + 13,000 \cdot (1 - \exp(-0,03 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,946$	9,630→18,047cm	30
<i>Sedum album</i> V2K2	$y = 9,234 + 13,000 \cdot (1 - \exp(-0,028 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,915$	9,736→18,127cm	30
<i>Sedum album</i> V1K3	$y = 9,388 + 13,000 \cdot (1 - \exp(-0,026 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,927$	9,744→17,613cm	30
<i>Sedum album</i> V2K3	$y = 9,288 + 13,000 \cdot (1 - \exp(-0,027 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,930$	9,647→17,752cm	30
<i>Sedum album</i> V1K4	$y = 9,098 + 10,303 \cdot (1 - \exp(-0,071 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,955$	9,852→18,144cm	20
<i>Sedum album</i> V2K4	$y = 8,922 + 10,713 \cdot (1 - \exp(-0,076 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,953$	9,858→18,438cm	20
<i>Sedum hybridum</i> V1K1	$y = 9,093 + 10,390 \cdot (1 - \exp(-0,070 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,954$	9,877→18,175cm	20
<i>Sedum hybridum</i> V2K1	$y = 8,926 + 11,235 \cdot (1 - \exp(-0,071 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,954$	9,861→18,758cm	20
<i>Sedum hybridum</i> V1K2	$y = 9,314 + 13,000 \cdot (1 - \exp(-0,029 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,945$	9,811→18,002cm	30
<i>Sedum hybridum</i> V2K2	$y = 9,266 + 13,000 \cdot (1 - \exp(-0,028 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,923$	9,758→18,05cm	30
<i>Sedum hybridum</i> V1K3	$y = 9,271 + 13,000 \cdot (1 - \exp(-0,028 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,936$	9,744→17,894cm	30
<i>Sedum hybridum</i> V2K3	$y = 9,158 + 13,000 \cdot (1 - \exp(-0,030 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,938$	9,663→18,125cm	30
<i>Sedum hybridum</i> V1K4	$y = 9,076 + 10,474 \cdot (1 - \exp(-0,070 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,955$	9,863→18,230cm	20
<i>Sedum hybridum</i> V2K4	$y = 8,986 + 10,623 \cdot (1 - \exp(-0,074 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,957$	9,858→18,388cm	20
<i>Sedum reflexum</i> V1K1	$y = 9,108 + 9,375 \cdot (1 - \exp(-0,077 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,972$	9,713→17,75cm	30
<i>Sedum reflexum</i> V2K1	$y = 9,169 + 9,808 \cdot (1 - \exp(-0,074 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,973$	9,836→18,130cm	30
<i>Sedum reflexum</i> V1K2	$y = 9,538 + 13,000 \cdot (1 - \exp(-0,024 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,832$	9,741→16,377cm	36
<i>Sedum reflexum</i> V2K2	$y = 9,711 + 13,000 \cdot (1 - \exp(-0,021 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,956$	9,736→16,747cm	36
<i>Sedum reflexum</i> V1K3	$y = 9,793 + 13,000 \cdot (1 - \exp(-0,020 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,956$	9,744→16,441cm	36
<i>Sedum reflexum</i> V2K3	$y = 9,641 + 13,000 \cdot (1 - \exp(-0,022 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,955$	9,661→16,802cm	36
<i>Sedum reflexum</i> V1K4	$y = 9,228 + 9,856 \cdot (1 - \exp(-0,067 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,971$	9,736→18,091cm	30
<i>Sedum reflexum</i> V2K4	$y = 9,195 + 10,146 \cdot (1 - \exp(-0,068 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,971$	9,811→18,355cm	30
<i>Sedum spurium</i> V1K1	$y = 9,176 + 9,176 \cdot (1 - \exp(-0,078 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,970$	9,825→17,686cm	30
<i>Sedum spurium</i> V2K1	$y = 9,170 + 10,180 \cdot (1 - \exp(-0,070 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,973$	9,836→18,333cm	30
<i>Sedum spurium</i> V1K2	$y = 9,600 + 8,546 \cdot (1 - \exp(-0,037 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,965$	9,630→15,769cm	36
<i>Sedum spurium</i> V2K2	$y = 9,683 + 9,105 \cdot (1 - \exp(-0,033 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,966$	9,736→15,830cm	36
<i>Sedum spurium</i> V1K3	$y = 9,657 + 8,486 \cdot (1 - \exp(-0,036 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,965$	9,744→15,677cm	36
<i>Sedum spurium</i> V2K3	$y = 9,731 + 13,000 \cdot (1 - \exp(-0,020 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,958$	9,663→16,588cm	36
<i>Sedum spurium</i> V1K4	$y = 9,122 + 9,558 \cdot (1 - \exp(-0,077 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,969$	9,825→17,808cm	30
<i>Sedum spurium</i> V2K4	$y = 9,022 + 9,720 \cdot (1 - \exp(-0,082 \cdot 1095))$	$R^2 = 0,968$	9,836→17,947cm	30

A legnagyobb növekedési ütemmel és legnagyobb átmérővel a *S. hybridum* és *S. album* jellemezhető. Egymáshoz képest közel azonosak. A K1 és K4-es közegkeverékeken közegvastagságtól függetlenül 20 hónap alatt, míg a K2 és K3 közegkeverékeken lassabb növekedési ütemmel csak 30 hónap alatt érték el a teljes borítottságot. Több szempontból is különösen fontos annak az ismerete, hogy mennyi idő alatt érik el az egyes fajok a teljes borítottságot, mert ezzel egyrészt elfoglalják a gyomok előli életteret, másrészt a homogén *Sedum* felszín jótékonyan kondicionálja környezetét. A két faj közül a *S. hybridum* magasabb, robosztusabb felépítésű, széles lapos leveleivel zöldtömege is többszöröse a *S. album*-hoz képest. A *S. album*-ra jellemző, hogy alacsonyabb, húsos-hengeres levelű.

A *S. reflexum* és a *S. spurium* lassabb növekedési ütemmel és növekedési átmérővel jellemezhető, mint az előbbi két faj minden közegkeveréken és minden közegvastagságon. A *S. reflexum* és a *S. spurium* egymáshoz képest közel azonos növekedési ütemmel jellemezhetőek. A K1 és K4-es közegkeverékeken közegvastagságtól függetlenül 30 hónap alatt, míg a K2 és K3 közegkeveréken lassabb növekedési ütemmel a vizsgálat végére sem érték el a teljes borítottságot (86-88. ábra).



86. ábra. *S. hybridum* (bal felső), *S. album* (jobb alsó), *S. reflexum* (bal alsó), *S. spurium* (jobb felső)
(V2K1 közegkeverék, 2013.05)



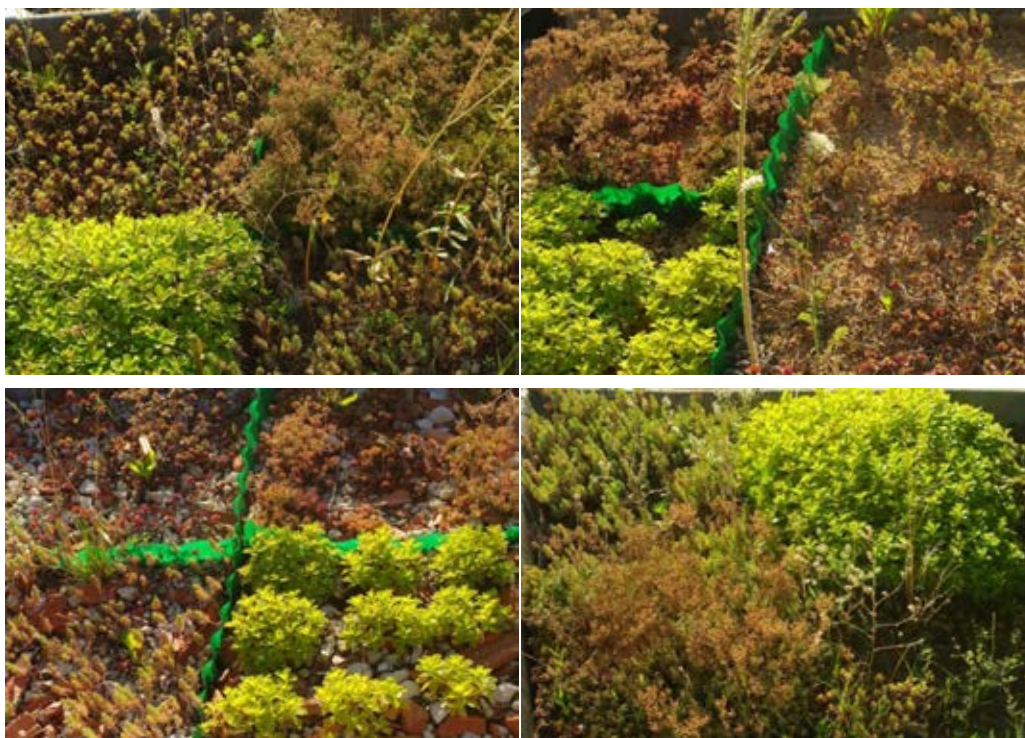
87. ábra. *S. hybridum* (bal felső), *S. album* (jobb alsó), *S. reflexum* (jobb felső), *S. spurium* (bal alsó)
(V2K4 közegkeverék, 2013.05)



**88. ábra. *Sedum hybridum* teljes borítottságban
(V2K4 közegkeverék, 2013.08)**

Fontos az eredmények értelmezésében, hogy az egyes fajok növekedésére mely tényezők (közegkeverék, közegkeverék vastagsága, vagy ezek interakciója) vannak szignifikáns hatással. Ennek elvégzéséhez többváltozós variancia-analízis (Multivariate Analysis of Variance, MANOVA) statisztikai módszerét választottam a feltételvizsgálatok elvégzése után. (A varianciák azonosságának ellenőrzésénél a Levene-próba p -értéke nagyobb, mint a választott szignifikanciaszint ($\alpha=0,05$), ezért a varianciák azonosságát elfogadjuk, a varianciaanalízist elvégezhetjük.) A ferdeség és hibájának, valamint a csúcsosság és hibájának hányadosa 2 alatt volt, ezért a normalitás feltétele nem sérül súlyosan. A normalitást a ferdeségek és csúcsosságok alapján elfogadhatjuk. A Wilks-féle lambda tesztstatisztikai módszert alkalmaztam annak eldöntésére, hogy vannak-e szignifikáns különbségek a csoportosító változó által kialakított csoportok átlagai között.

Kutatásomban igazoltam, hogy minden közegkeveréknek minden faj esetén szignifikáns hatása van a növekedés sebességére. A közegkeverékeknek szignifikáns hatása van a *Sedum* fajok növekedési méretére (átmérő) kivéve a *Sedum spurium* esetén. A közegkeverék vastagságoknak nincs szignifikáns hatása a növekedés sebességére. A **7. melléklet**ben található az elemzések statisztikai táblázatai (**89. ábra**).



89. ábra. Utolsó felvételezés K1, K2, K3, K4 15 cm-es közegvastagságon (európai olvasási sorrend) (2015.03)

5.1.5. Az extenzív kísérleti tetőn megjelenő gyomfajok vizsgálatának eredményei

A gyomokkal kapcsolatos első kutatási kérdésem az volt, hogy az újonnan telepített extenzív zöldtetőn milyen gyomok fordulnak elő, és ezek milyen borítottságokat adnak a tavaszi és az őszi időszakban egymáshoz képest, valamint hogyan alakul a gyomok és az ültetett növények élettérért folytatott versenye (borítottság %). Az eredmények azt mutatták, hogy a gyomok közül tavasszal jellemzően az ősszel csírázó, kora tavaszi egyéves T₁-es gyomok (*Poa annua*, *Stellaria media*), míg az októberi felvételezéskor T₄-es gyomok (*Chenopodium album*, *Erigeron canadensis*, *Portulaca oleracea*, *Setaria viridis*, *Trifolium arvense*) vannak jelen. A T₁-es T₄-es gyomokon kívül T₂-es *Crepis rhoadifolia*, *Vicia villosa*-t, G1-es életformájú *Agropyron repens* és *Poa angustifolia*-t, valamint különböző H életformájú gyomnövényeket (*Artemisia vulgaris*, *Melandrium album*, *Oxalis corniculata*, *Plantago major* stb.) regisztráltam (24. táblázat).

24. táblázat. A kísérleti parcellákban felvételezett gyomfajok összesített listája

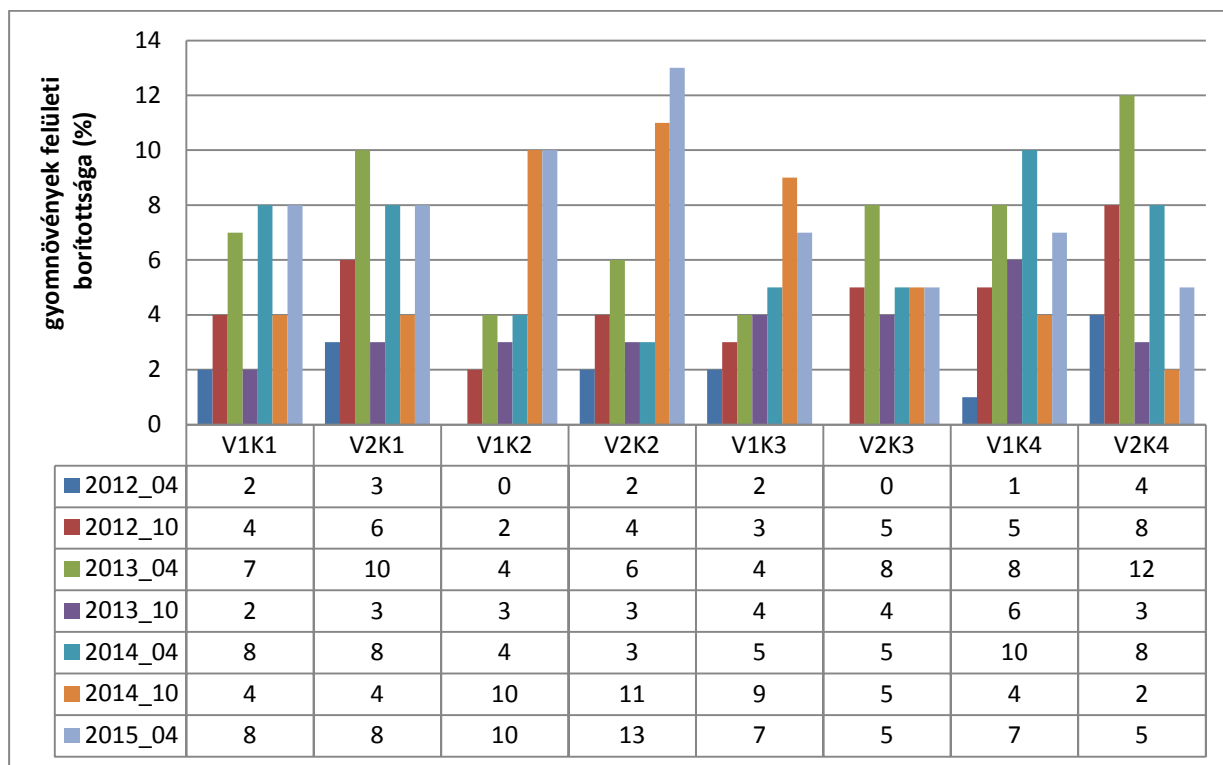
Tudományos név	Magyar név	Életforma	Életforma leírása	Gyomnövények előfordulása
<i>Agropyron repens</i>	Tarackbúza	G1	Geophyta, tarackkal terjedő évelő gyom	K1, K4
<i>Artemisia vulgaris</i>	Feketeüröm	H5	Hemicriptophyta 5, ferde rhizómások, gyökértörzs rövid, a rügy a csúcson található	K1, K4
<i>Chenopodium album</i>	Fehér libatop	T4	Therophyta 4, tavasszal csírázó, nyárutói egyéves	K4
<i>Crepis rheadifolia</i>	Büdös zörgőfü	T2	Therophyta 2, ősszel kelő nyár eleji egyévesek.	K1, K4
<i>Erigeron canadensis</i>	Betyárkóró	T4	Therophyta 4, tavasszal csírázó, nyárutói egyéves	K4
<i>Melandrium album</i>	Fehér mécsvirág	H3	Hemicriptophyta 3, karógyökerűek, rügyeket ill. rejtett rügyeket viselnek, némelyik csak a feldarabolás után fejleszt rügyet.	K1, K2, K3, K4
<i>Oxalis corniculata</i>	Madársóska	H2	Hemicriptophyta 2, indás évelők, a földön fekvő szár a csomókon legyökerezik és levélrózsát fejleszt.	K2, K3
<i>Plantago major</i>	Nagy útifű	H5	Hemicriptophyta 5, ferde rhizómások, gyökértörzs rövid, a rügy a csúcson található	K2
<i>Poa angustifolia</i>	Keskenylevelű perje	G1	Geophyta, tarackkal terjedő évelő gyom	K1, K4
<i>Poa annua</i>	Egynyári perje	T1	Therophyta 1, ősszel csírázó, kora tavaszi egyéves gyom	K1, K4
<i>Portulaca oleracea</i>	Kövérr porcsin	T4	Therophyta 4, tavasszal csírázó, nyárutói egyéves	K2, K4
<i>Setaria viridis</i>	Zöld muhar	T4	Therophyta 4, tavasszal csírázó, nyárutói egyéves	K4
<i>Stellaria media</i>	Tyúkhúr	T1	Therophyta 1, ősszel csírázó, kora tavaszi egyéves gyom	K1, K4
<i>Stenactis annua</i>	Egynyári seprence	Th	Therophyta, maggal áttelelő, ősszel csírázó, egyéves	K2, K4
<i>Taraxacum officinalis</i>	Pongyola pitypang	H3	Hemicriptophyta 3, karógyökerűek, rügyeket ill. rejtett rügyeket viselnek, némelyik csak a feldarabolás után fejleszt rügyet.	K1, K3, K4
<i>Trifolium arvense</i>	Herehurafü	T4	Therophyta 4, tavasszal csírázó, nyárutói egyéves	K1, K2, K3, K4
<i>Trifolium repens</i>	Fehér here	H	Hemicriptophyta, évelő, rügyei a talajfelszín közelében az avar és az elszáradt levelek védelmében telel	K1, K4
<i>Vicia villosa</i>	Szöszös bükköny	T2	Therophyta 2, ősszel kelő nyár eleji egyévesek.	K1

A gyomnövények felületi borítottsági értékei minden esetben magasabbak voltak tavasszal, mint ősszel. A gyommentes ültetőközegnek köszönhetően egyedüli kivétel a telepítés éve volt. A kora tavasszal megjelenő egyéves T₁-es gyomok, előbb indulnak növekedésnek, mint az eltelepített *Sedum* fajok. Később, az eltelepített *Sedum* fajok visszaveszik a gyomok által elfoglalt élettér egy részét, az ősszel felvételezett gyomoknak kevesebb életteret hagyva ezáltal. Általánosságban megállapítható, hogy a vastagabb közegkeverékeken (15 cm) nagyobb a gyomborítottság mértéke.

Saját kísérleti méréseimben azt tapasztaltam, hogy a közegkeverékeknek és ebből adódóan a közegkomponenseknek van leginkább hatása a gyomosodás mértékére. A sok szerves anyagot

tartalmazó (K1, K4) közegkeverékeken a második évig minden esetben nagyobb volt a gyomborítottság. A K4-es közegkeverékben volt a legdiverzebb a gyomflóra, amelyet a K1-es közegkeverék követ (25. táblázat).

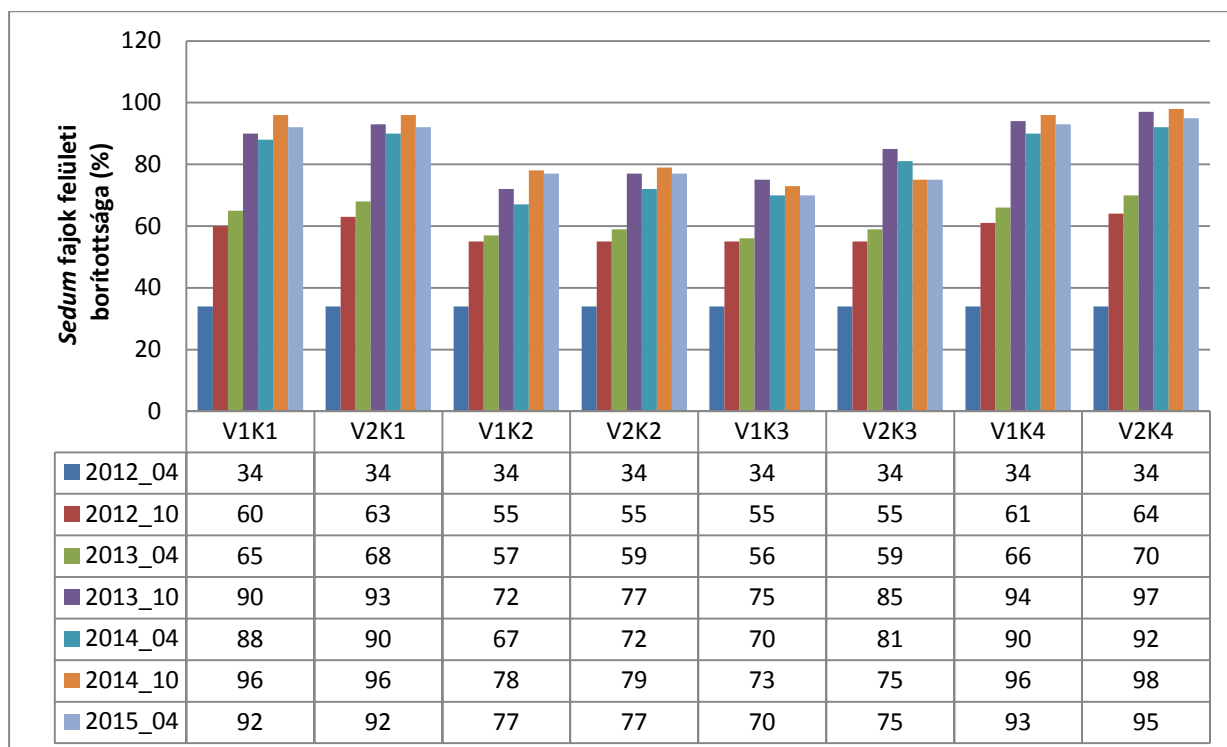
25. táblázat. Gyomnövények felületi borítottsága (%) az egyes közegkeverékeken



A K2 és K3 közegkeverékeken a gyomok később jelentek meg, a szervesanyagot egyáltalán nem tartalmazó (egykomponensű különböző frakciójú riolittufa) és szervesanyagot minimális mennyiségben tartalmazó (15% tőzeg) miatt alakulhatott ki. Az első két évben ezeken a közegkeverékeken igen alacsony volt a gyomosodás mértéke.

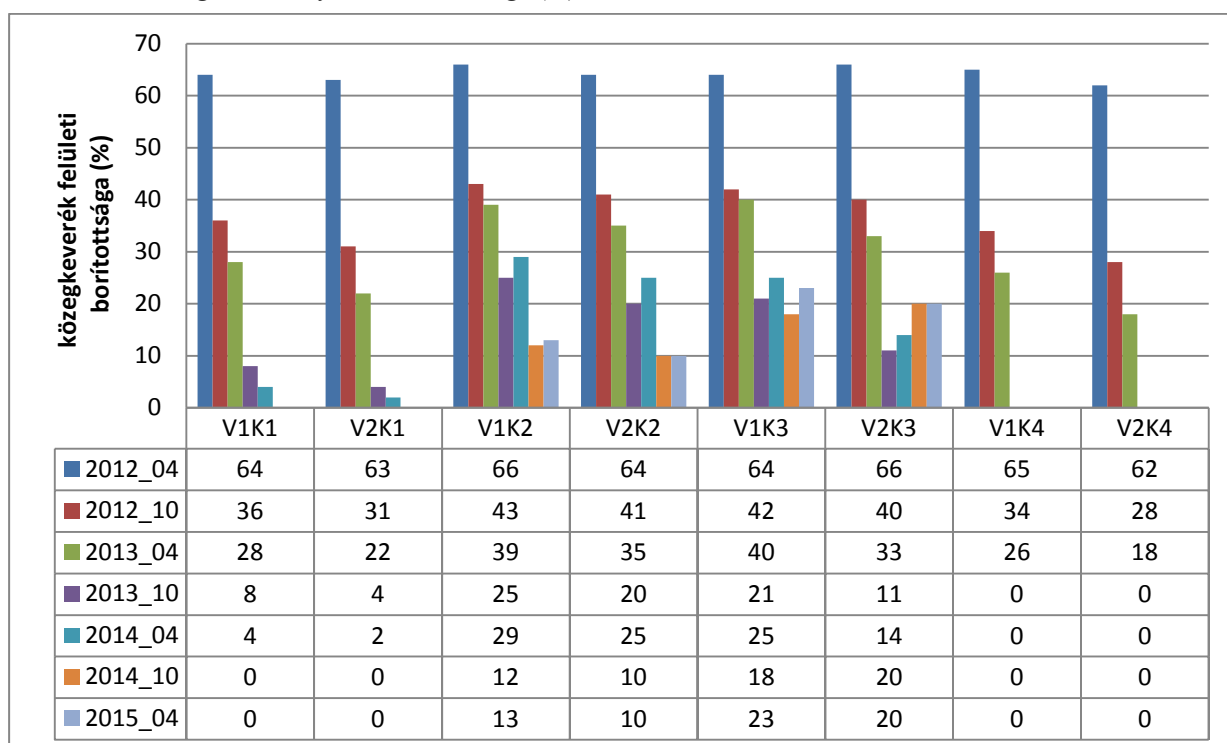
A gyomborítottság értékét az eltelepített *Sedum* fajok borítottságával és a nyílt közegfelszín borítottságával együtt érdemes vizsgálni. Az eredmények azt mutatták, hogy a *Sedum* fajok a K1, K4 közegkeverékeken hamarabb, dinamikusabban közelítették meg a vizsgált időszakban a teljes borítottság értékét. A K3, K4 keverékeken a *Sedum* fajok kisebb dinamikával jellemezhetőek. A közegvastagságnak minimális hatása volt a borítottságra. Megfigyeltem továbbá, hogy mind a négy közegkeverék típuson a *Sedum hybridum* és *Sedum album* erős gyomelnyomóképességgel bírt. A *Sedum reflexum*-ot és a *Sedum spurium*-ot a K1 és K4 közegkeverékeken relatíve erős gyomelnyomóképesség jellemezte, míg a K2, K3 közegkeverékeken gyenge. A K1, K2, K3 közegkeverékek esetében megfigyeltem, hogy a *Sedum album* áttelepült a *Sedum reflexum* közé, még abban az esetben is amikor ez a két növény nem közvetlenül egymás mellett volt a parcellákban (26. táblázat).

26. táblázat. *Sedum* fajok felületi borítottsága (%) az egyes közegkeverékeken



A nyílt közegkeverék (nem zárodott a növényzet) borítottságánál megfigyeltem, hogy a telepítés 2. évére a K1 és K4 közegkeverékeken már teljes növény borítottság volt (nem volt látható nyílt felszín), míg a K2 és K3 közegkeverék esetében még 2015 áprilisában is látható volt. Ez azzal magyarázható, hogy *Sedum reflexum* és *Sedum spurium* gyengébb felszínborító képességgel rendelkezett a vizsgált közegkeverékeken (27. táblázat).

27. táblázat. Közegkeverékek felületi borítottsága (%)



5.2. A csurgalékvízzel kapcsolatos minőségi és mennyiségi mérések eredményei

5.2.1. Csurgalékvizek elemanalitikai eredményei kapcsolt analitikai rendszerekkel

A 2012-es csurgalékvizek elemanalitikai eredményei azt mutatják, hogy kontroll mintához (kontrolltettő csurgalékvize) képest kisebb mennyiségben fordulnak elő az alábbi elemek a csurgalékvizekben: Ag, Ba, Mo, Se, Sn, Sr. Tehát ezen elemeket megszűrik az egyes közegkeverékek. A kontrollhoz képest nagyobb mennyiségben fordulnak elő az alábbi elemek a csurgalékvizekben: Co, Cr, Fe, Sb, Ca, K, Li, Mg, Na, P, Si. Ezek az elemek oldódnak ki a közegkeverékek komponenseiből, tehát ezekkel az elemekkel terhelik/szennyezik az első kimosódás után a vizeket.

Adott évben a vizsgált közegkeverék kombinációk szűrési vagy szennyezési hatását a közegkeveréktípusonként és vastagságkombinációként változó többi kémiai elem mennyisége fogja eldönteni (Al, As, B, Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn).

Ezért ezek azok az elemek, amelyek a kontroll mintához képest ugyanakkora vagy több vagy kevesebb mennyiségben fordultak elő a közegkeverékek összetételétől és vastagságkombinációtól függően: Al (ugyanakkora: V1K4, kevesebb mennyiségű/szűrő hatású: V1K3, V2K2; nagyobb mennyiségű/szennyező hatású: V1K1, V1K2, V2K1, V2K3, V2K4). As (kevesebb mennyiségű/szűrő hatású: V1K1, V1K3, V1K4, V2K1, V2K2, V2K3, V2K4; nagyobb mennyiségű/szennyező hatású: V1K2). B (kevesebb mennyiségű/szűrő hatású: V1K2, V2K1, V2K4; nagyobb mennyiségű/szennyező hatású: V1K1, V1K3, V1K4, V2K2, V2K3). Cd (kevesebb mennyiségű/szűrő hatású: V1K3, V1K4, V2K4; nagyobb mennyiségű/szennyező hatású: V1K1, V1K2, V2K1, V2K2, V2K3). Cu (kevesebb mennyiségű/szűrő hatású: V2K2; nagyobb mennyiségű/szennyező hatású: V1K1, V1K2, V1K3, V1K4, V2K1, V2K3, V2K4). Mn (kevesebb mennyiségű/szűrő hatású: V1K1, V1K2, V1K3, V1K4, V2K1, V2K2, V2K4; nagyobb mennyiségű/szennyező hatású: V2K3). Ni (kevesebb mennyiségű/szűrő hatású: V1K3; nagyobb mennyiségű/szennyező hatású: V1K1, V1K2, V1K4, V2K1, V2K2, V2K3, V2K4). Pb (kevesebb mennyiségű/szűrő hatású: V1K3, V2K2; nagyobb mennyiségű/szennyező hatású: V1K1, V1K2, V1K4, V2K1, V2K3, V2K4). Zn (kevesebb mennyiségű/szűrő hatású: V1K1, V1K2, V1K4, V2K1, V2K2, V2K3, V2K4; nagyobb mennyiségű/szennyező hatású: V1K3) (28-29. táblázat).

28. táblázat. Az ICP-OS és ICP-MS módszerrel mért csurgalékvizek vízanalitikai értékei (2012-es csurgalékvíz minták)

	Kontroll	V1K1	V1K2	V1K3	V1K4	V2K1	V2K2	V2K3	V2K4
Ag	0,36	0,29	0,28	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
Al	13,5	15,7	21,1	11,4	13,5	18,7	12,3	18,3	21,2
As	45,6	19,2	133,9	18,6	19,5	12,3	20,6	21,2	12,0
B	47,4	60,9	31,5	51,2	57,3	38,2	87,7	94,4	28,3
Ba	38,4	6,13	5,25	3,75	4,47	3,58	6,77	5,65	7,38
Cd	0,23	0,33	0,24	0,20	0,22	0,24	0,26	0,29	0,21
Co	0,28	0,40	0,53	0,39	0,50	0,39	0,33	0,52	0,37
Cr	0,48	0,77	0,58	0,72	0,85	0,73	0,94	1,03	0,58
Cu	9,19	40,9	12,0	9,37	23,4	24,2	8,00	14,8	139
Fe	14,6	37,2	19,5	17,7	43,2	57,4	26,1	35,0	44,9
Mn	39,8	31,2	32,2	27,6	28,8	26,6	31,3	44,5	13,6
Mo	4,03	1,66	1,69	1,55	1,41	0,97	2,45	2,37	1,45
Ni	3,55	7,30	4,87	3,49	7,72	8,57	8,63	5,03	4,97
Pb	0,72	0,93	0,92	0,56	1,23	1,13	0,65	1,33	1,03
Sb	6,38	12,3	19,3	12,4	14,5	9,40	11,4	13,8	7,92
Se	2,80	1,65	1,43	1,49	1,49	1,42	1,33	1,64	1,17
Sn	1,08	0,71	0,66	0,54	0,52	0,54	0,48	0,58	0,46
Sr	293	32,5	22,0	28,7	34,6	16,6	40,5	64,7	31,0
Zn	28,12	23,74	20,33	35,60	14,81	20,65	16,20	19,19	15,31
Ca	1,88	37,98	80,06	11,98	54,02	250,00	11,96	13,98	154,98
K	0,90	6,96	5,38	2,38	3,28	6,30	3,38	3,92	5,74
Li	0,01	0,01	0,01	0,06	0,27	0,02	0,01	0,01	0,07
Mg	0,52	2,70	9,44	2,70	9,30	41,98	2,70	3,18	23,00
Na	3,28	9,12	10,62	8,38	15,02	30,00	8,00	9,40	21,98
P	0,01	0,41	0,74	0,74	0,24	0,01	0,44	0,08	0,67
Si	0,11	7,64	5,81	2,97	4,80	8,72	2,53	1,98	5,11

29. táblázat. Az ICP-OS és ICP-MS módszerrel mért csurgalékvizek vízanalitikai értékeinek módosító hatásai (2012-es csurgalékvíz minták)

V1K1 (2012)	elem szűrés: Ag, Ba, Mo, Se, Sn, Sr, As, Mn, Zn (9) elem szennyezés: Co, Cr, Fe, Sb, Ca, K, Mg, Na, P, Si, Al, B, Cd, Cu, Ni, Pb (16)
V1K2 (2012)	elem szűrés: Ag, Ba, Mo, Se, Sn, Sr, B, Mn, Zn (9) elem szennyezés: Co, Cr, Fe, Sb, Ca, K, Mg, Na, P, Si, Al, As, Cd, Cu, Ni, Pb (16)
V1K3 (2012)	elem szűrés: Ag, Ba, Mo, Se, Sn, Sr, Al, As, Cd, Mn, Ni, Pb (12) elem szennyezés: Co, Cr, Fe, Sb, Ca, K, Li, Mg, Na, P, Si, B, Cu, Zn (14)
V1K4 (2012)	elem szűrés: Ag, Ba, Mo, Se, Sn, Sr, As, Cd, Mn, Zn (10) elem szennyezés: Co, Cr, Fe, Sb, Ca, K, Li, Mg, Na, P, Si, B, Cu, Ni, Pb (15)
V2K1 (2012)	elem szűrés: Ag, Ba, Mo, Se, Sn, Sr, As, B, Mn, Zn (10) elem szennyezés: Co, Cr, Fe, Sb, Ca, K, Li, Mg, Na, Si, Al, Cd, Cu, Ni, Pb (15)
V2K2 (2012)	elem szűrés: Ag, Ba, Mo, Se, Sn, Sr, Al, As, Cu, Mn, Pb, Zn (16) elem szennyezés: Co, Cr, Fe, Sb, Ca, K, Mg, Na, P, Si, B, Cd, Ni (13)
V2K3 (2012)	elem szűrés: Ag, Ba, Mo, Se, Sn, Sr, As, Zn (8) elem szennyezés: Co, Cr, Fe, Sb, Ca, K, Mg, Na, P, Si, Al, B, Cd, Cu, Mn, Ni, Pb (17)
V2K4 (2012)	elem szűrés: Ag, Ba, Mo, Se, Sn, Sr, As, B, Cd, Mn, Zn (11) elem szennyezés: Co, Cr, Fe, Sb, Ca, K, Li, Mg, Na, P, Si, Al, Cu, Ni, Pb (15)

A 2015-ös csurgalékvizek elemanalitikai eredményei azt mutatják, hogy kontroll mintához (kontrolltettő csurgalékvize) képest kisebb mennyiségben fordulnak elő az alábbi elemek a csurgalékvizekben: Ag, As, B, Ba, Mn, Se, Sn, Sr. Ezeknek az elemeknek a csurgalékvízben levő mennyiségét minden közegkeverék kombináció csökkenti, megszüri. A 2012-hez képest több kémiai elemet szűrnék meg a tetőn levő közegkeverék kombinációk. A kontrollhoz képest ugyanakkora vagy nagyobb mennyiségben fordulnak elő az alábbi elemek a csurgalékvizekben: Pb, Sb, Ca, K, Li, Mg, Na, P, Si. Ezeknek az elemeknek a mennyiségét minden közegkeverék kombináció növeli, szennyezi. A 2012-hez képest kevesebb elem szennyezi a tetőn levő közegkeverék kombinációkon átfolyó csurgalékvizeket.

Adott évben a vizsgált közegkeverék kombinációk szűrési vagy szennyezési hatását közegkeveréktípusonként és vastagságkombinációnként változó többi kémiai elem mennyisége fogja eldönteni (Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Zn).

Ezért ezek azok az elemek, amelyek a kontroll mintához képest ugyanakkora vagy több vagy kevesebb mennyiségben fordultak elő a közegkeverékek összetételétől és vastagságkombinációtól függően 2015-ös mintákra vonatkozóan: Al (kevesebb mennyiségű/szűrő hatású: V1K1, V2K1, V2K3, V2K4; nagyobb mennyiségű/szennyező hatású: V1K2, V1K3, V1K4, V2K2). Cd (kevesebb mennyiségű/szűrő hatású: V1K1, V2K2, V2K3; nagyobb mennyiségű/szennyező hatású: V1K2, V1K3, V1K4, V2K1, V2K4). Co (kevesebb mennyiségű/szűrő hatású: V1K3, V2K2, V2K3; nagyobb mennyiségű/szennyező hatású: V1K1, V1K2, V1K4, V2K1, V2K4). Cr (kevesebb mennyiségű/szűrő hatású: V2K2, V2K3; nagyobb mennyiségű/szennyező hatású: V1K1, V1K2,

V1K3, V1K4, V2K1, V2K4). Cu (kevesebb mennyiségű/szűrő hatású: V2K1, V2K2, V2K3; nagyobb mennyiségű/szennyező hatású: V1K1, V1K2, V1K3, V1K4, V2K4). Fe (ugyanakkora: V1K2; kevesebb mennyiségű/szűrő hatású: V1K1, V1K4, V2K1, V2K2, V2K3, V2K4; nagyobb mennyiségű/szennyező hatású: V1K3). Mo (kevesebb mennyiségű/szűrő hatású: V1K1, V1K2, V1K3, V1K4, V2K2, V2K3; nagyobb mennyiségű/szennyező hatású: V2K1, V2K4). Ni (kevesebb mennyiségű/szűrő hatású: V1K3, V2K1, V2K2, V2K3; nagyobb mennyiségű/szennyező hatású: V1K1, V1K2, V1K4, V2K4). Zn (kevesebb mennyiségű/szűrő hatású: V1K1, V1K2, V1K4, V2K2, V2K3, V2K4; nagyobb mennyiségű/szennyező hatású: V1K3, V2K1) (30-31. táblázat).

30. táblázat. Az ICP-OS és ICP-MS módszerrel mért csurgalékvizek vízanalitikai értékei (2015-ös csurgalékvíz minták)

	Kontroll	V1K1	V1K2	V1K3	V1K4	V2K1	V2K2	V2K3	V2K4
Ag	0,36	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,26	0,27	0,26
Al	13,5	10,5	16,6	22,1	15,6	13,4	17,3	12,0	9,01
As	45,6	10,1	9,2	10,4	11,2	19,4	27,8	39,3	16,4
B	47,4	24,0	25,7	22,2	27,4	42,2	12,4	8,77	28,7
Ba	38,4	4,73	7,98	6,29	16,8	14,2	3,53	3,25	18,0
Cd	0,23	0,22	0,30	0,24	0,26	0,25	0,19	0,17	0,30
Co	0,28	0,51	0,30	0,23	0,32	0,35	0,24	0,23	0,41
Cr	0,48	1,18	1,30	0,56	0,54	1,65	0,46	0,35	1,45
Cu	9,19	17,0	13,7	11,1	13,5	8,84	7,49	6,69	9,61
Fe	14,6	4,89	14,6	15,2	13,1	12,3	7,8	6,47	13,6
Mn	39,8	27,1	27,4	23,2	34,7	35,9	20,0	24,0	49,9
Mo	4,03	1,61	1,64	1,29	1,44	7,77	1,81	2,00	4,34
Ni	3,55	4,05	4,06	3,24	4,01	3,20	1,66	1,57	5,29
Pb	0,72	1,41	1,67	1,19	1,76	1,78	1,23	0,84	3,29
Sb	6,38	9,81	8,74	9,81	15,1	13,1	9,33	8,55	13,0
Se	2,80	1,26	1,39	1,07	1,54	2,58	1,11	1,15	2,26
Sn	1,08	0,61	0,65	0,53	0,92	0,71	0,55	0,50	0,63
Sr	293	23,6	49,2	22,4	62,2	148	21,4	26,9	123
Zn	28,12	9,58	24,9	29,7	14,8	53,9	12,2	8,91	18,8
Ca	1,88	44,00	30,00	55,00	50,00	32,00	59,00	100,00	25,00
K	0,90	3,10	2,80	2,90	3,30	5,80	3,30	5,30	4,10
Li	0,01	0,18	0,01	0,01	0,01	0,38	0,01	0,02	0,01
Mg	0,52	9,10	5,80	5,20	9,90	3,80	6,40	10,00	3,90
Na	3,28	17,00	13,00	16,00	14,00	9,80	17,00	23,00	6,00
P	0,01	0,69	0,40	0,20	0,83	0,41	0,29	0,25	0,44
Si	0,11	13,00	14,00	24,00	12,00	13,00	21,00	25,00	5,40

31. táblázat. Az ICP-OS és ICP-MS módszerrel mért csurgalékvizek vízanalitikai értékei módosító hatásai (2015-ös csurgalékvíz minták)

V1K1 (2015)	elem szűrés: Ag, As, B, Ba, Mn, Se, Sn, Sr, Al, Cd, Fe, Mo, Zn (13) elem szennyezés: Pb, Sb, Ca, K, Li, Mg, Na, P, Si, Co, Cr, Cu, Ni (13)
V1K2 (2015)	elem szűrés: Ag, As, B, Ba, Mn, Se, Sn, Sr, Mo, Zn (10) elem szennyezés: Pb, Sb, Ca, K, Mg, Na, P, Si, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Ni (14)
V1K3 (2015)	elem szűrés: Ag, As, B, Ba, Mn, Se, Sn, Sr, Co, Mo, Ni (11) elem szennyezés: Pb, Sb, Ca, K, Mg, Na, P, Si, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Zn (14)
V1K4 (2015)	elem szűrés: Ag, As, B, Ba, Mn, Se, Sn, Sr, Fe, Mo, Zn (11) elem szennyezés: Pb, Sb, Ca, K, Mg, Na, P, Si, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Ni (14)
V2K1 (2015)	elem szűrés: Ag, As, B, Ba, Mn, Se, Sn, Sr, Al, Cu, Fe, Ni (12) elem szennyezés: Pb, Sb, Ca, K, Li, Mg, Na, P, Si, Cd, Co, Cr, Mo, Zn (14)
V2K2 (2015)	elem szűrés: Ag, As, B, Ba, Mn, Se, Sn, Sr, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Zn (16) elem szennyezés: Pb, Sb, Ca, K, Mg, Na, P, Si, Al (9)
V2K3 (2015)	elem szűrés: Ag, As, B, Ba, Mn, Se, Sn, Sr, Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Zn (17) elem szennyezés: Pb, Sb, Ca, K, Li, Mg, Na, P, Si (9)
V2K4 (2015)	elem szűrés: Ag, As, B, Ba, Mn, Se, Sn, Sr, Al, Fe, Zn (11) elem szennyezés: Pb, Sb, Ca, K, Mg, Na, P, Si, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni (14)

A 2012-es és 2015-ös minták eredményeit összehasonlítva megállapítható, hogy:

- V1K1 szűrés 9→13 nőtt, a szennyezés 16→13 csökkent,
- V1K2 szűrés 9→10 nőtt, a szennyezés 16→14 csökkent,
- V1K3 szűrés 12→11 csökkent, a szennyezés 14→14 nem változott,
- V1K4 szűrés 10→11 nőtt, a szennyezés 15→14 csökkent,
- V2K1 szűrés 10→12 nőtt, a szennyezés 15→14 csökkent,
- V2K2 szűrés 16→16 nem változott, a szennyezés 13→9 csökkent,
- V2K3 szűrés 8→17 nőtt, a szennyezés 17→9 csökkent,
- V2K4 szűrés 11→11 nem változott, a szennyezés 15→14 csökkent.

A mért elemek száma alapján megállapítható, hogy a szennyezés szinte minden esetben csökkent, a szűrés túlnyomórészt nőtt. Mind a szűrés, mind a szennyezés tekintetében a legnagyobb változást a V2K3-as közegkeverék csurgalékvize mutatta. A szűrés esetében 8→17 nőtt, a szennyezés esetében pedig 17→9 lecsökkent. Jól mutatja ugyanakkor a közegkeverék vastagság hatását, hogy ugyanezen a közegkeveréken, de 10 cm-es vastagságon (V1K3) a megszárt elemek mennyisége kisebb (12→11), és a szennyezés kisebb volt és nem változott (14→14). Kiegyenlítően jól szűrt a V2K2 (16→16), ugyanakkor a szennyezés 13→9 csökkent. A V1K4 és a V2K4 hasonlóan kiegyenlítően teljesített, az arányok nem változtak a vizsgált időszakban. (A V1K4 (10→11) szűrés (15→14) szennyezés; V2K4 (11→11) szűrés, (15→14) szennyezés.)

5.2.2. Csurgalékvizek elemanalitikai rangsorolása és csoportosítása

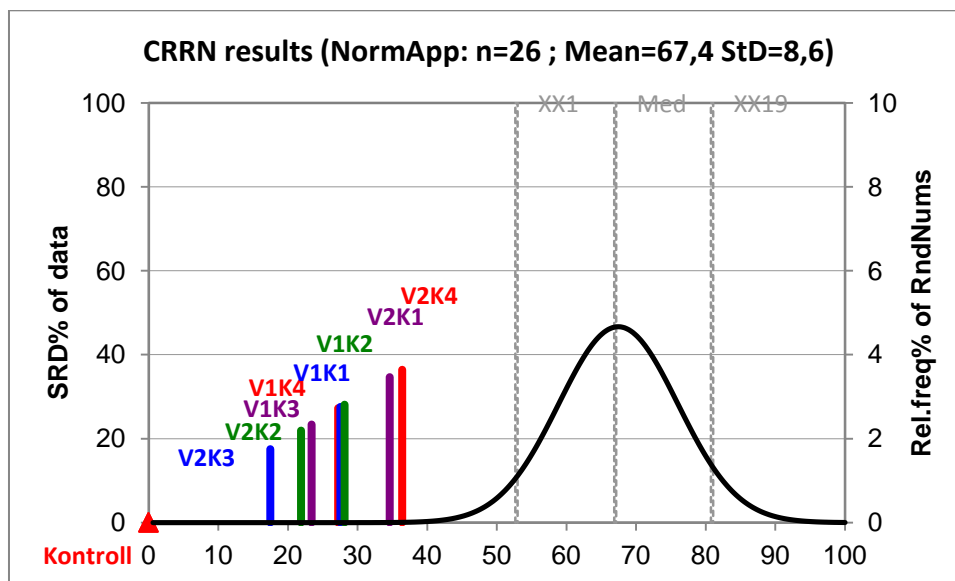
Az SRD módszerével rangsort állítottam fel a csurgalékvizek teljesítményére vonatkozóan. A csurgalékvizek rangsorát meghatároztam a telepítés utáni első csapadék után összegyűjtött csurgalékvizekre (2012.03.) és a vizsgálat végén is (2015.03.). Az SRD számítás részletes eredményeit és annak grafikus megjelenítését a következőkben mutatom be (32. táblázat és 90. ábra). Az eredmény azt adja meg, hogy az egyes csurgalékvizek mennyiben térnek el a kontrolltető csurgalékvíz paramétereitől (zérus pont). A referencia oszlopba a 'Read' értékek kerültek, tehát minél közelebb került egy közzeggel feltelepített parcellából csurgalékvíz a kontroll tető csurgalékvizéhez képest, annál kevésbé terheli a környezetét.

32. táblázat. Az első csurgalékvizek rangsora SRD értékek alapján (2012.03) (A dőlt értékek szignifikánsak ($p=0,05$). A vastag sorok reprezentálják az 5% (XX1), 25% (Q1), 50% (Med), 75% (Q3) és 95% (XX19) percentilis értékeit.)

Rangsorolás eredményei		p%		MaxSRD=60
Név	SRD	x < SRD > =x		SRDnor
Kontroll	0	0	2,48E-25	0
V2K3	59	2,55E-07	3,20E-07	17,456
V2K2	74	5,14E-06	6,11E-06	21,893
V1K3	79	1,29E-05	1,58E-05	23,373
V1K4	92	1,31E-04	1,52E-04	27,219
V1K1	93	1,52E-04	1,83E-04	27,515
V1K2	95	2,13E-04	2,55E-04	28,107
V2K1	117	6,22E-03	7,23E-03	34,615
V2K4	123	1,42E-02	1,64E-02	36,391
XX1	179	4,88	5,23	
Q1	207	24,57	25,65	
Med	227	48,75	50,13	
Q3	246	74,56	75,64	
XX19	274	94,84	95,18	

Az SRD oszlopa tartalmazza az egyes csurgalékvizekre vonatkozó összegzett tulajdonságonkénti rangszámkülönbségeket (SRD értékeket). A táblázat soraiban szereplő XX1 az 5%-os, a Q1 az 25%-os, a Med az 50%-os, a Q3 a 75%-os, míg az XX19 a 95%-os percentilist jelöli. Amennyiben az adott csurgalékvízhez tartozó számított SRDnorm érték kisebb mint az 5%-os percentiliséhez (XX1) tartozó elméleti valószínűségi sáv, akkor szignifikánsnak tekintjük a csurgalékvizet 5%-os szignifikancia szinten. (A p% oszlop két valószínűségi értéket tartalmaz, az eloszlás diszkrét jellege miatt.) Az első mérés (2012.03) eredményei alapján az alábbi szignifikáns rangsor állapítható meg a kontrolltetőről lefolyt csurgalékvízhez (esővíz) leginkább hasonlótól kezdve: V2K3 → V2K2 → V1K3 → V1K4 → V1K1 → V1K2 → V2K1 → V2K4. Összefoglalható tehát, hogy a kontrolltető

csurgalékvizét reprezentáló zérusponthoz legközelebbi a V2K3 csurgalékvize, tehát ez terheli legkevésbé környezetét a többi csurgalékvízhez képest.



90. ábra. A csurgalékvizek (közeg/vastagság) SRD értékei alapján megállapított rangsor (2012. 03)

A referencia oszlopba a (Min) érték került. Skálázott SRD értékek az x tengelyen, és a baloldali y tengelyen, a jobboldali y tengely a relatív frekvenciák gyakoriságát mutatja be (fekete görbe). Valószínűségi értékek 5% (XX1), medián (Med), és 95% (XX19)

A második mérés eredményei (2015.03.) alapján az alábbi szignifikáns rangsor állapítható meg a kontrolltetőről lefolyt csurgalékvízhez (esővíz) leginkább hasonlótól kezdve: V2K4 → V2K1 → V1K2, V1K4 → V1K3 → V2K2 → V1K1 → V2K3. Összefoglalható tehát, hogy a kontrolltető csurgalékvizét reprezentáló zérusponthoz legközelebbi V2K4 terheli legkevésbé környezetét (33. táblázat és 91. ábra).

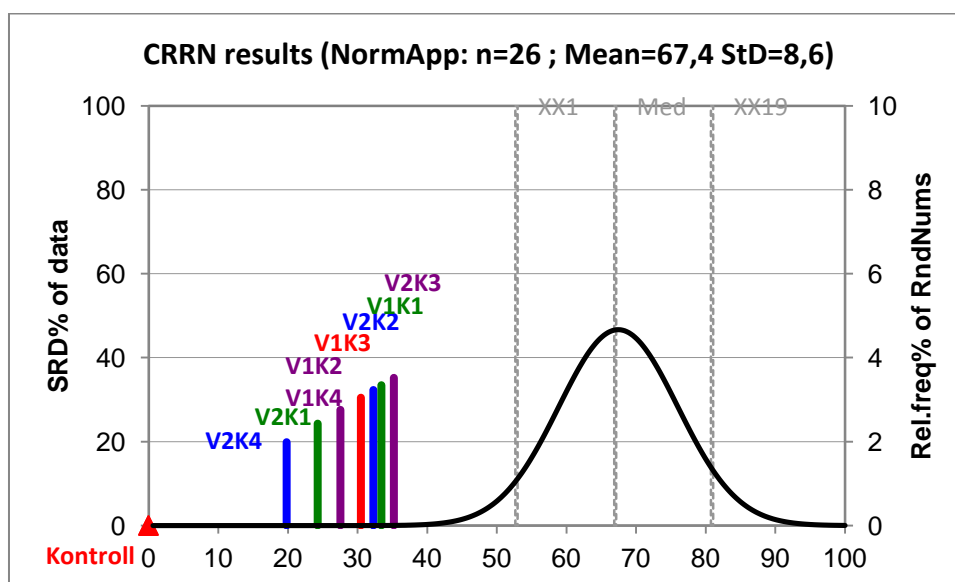
A két vizsgálat eredménye alátámasztja, hogy míg a telepítéskor a V2K3 és a V2K2 közegkeverék és vastagságkombinációkon átfolyt csurgalékvíz hasonlít a leginkább az esővíz elemanalitikai összetételére, addig a vizsgálat végére pedig a legkevésbé. Ez azzal magyarázható, hogy a közegkeverék komponensei főleg lassan feltáródó, vízhatására fokozatosan kioldódó anyagokat tartalmaznak (K3: téglalörlemény 25%; ytonalörlemény 25%; tőzeg 15%; zeolit 20%; meliorit 15%; K2: egykomponensű és különböző frakciójú zeolit).

Hasonló mintázat figyelhető meg más közegkeverék és vastagságkombinációk esetében is. A 2015-ben a kontroll csurgalékvízhez leginkább hasonlítanak a magas szervesanyagtartalmú V2K4 (K4: föld 50%; tőzeg 20%; homok 15%; meliorit 15%) és V2K1 (K1: zeolit 25%, agyag granulátum 10%; folyami homok (0/4) 20%; föld 40%; tőzeg 5%) csurgalékvizei, tehát ezeknek a legjobb a szűrő hatásuk a harmadik év végére. Viszont ugyanezen közegkeverék és vastagságkombináció

csurgalékvizei az első mérésakor a legkevésbé hasonlítanak a 2012-es kontrollra. Így első alkalommal ezek a keverékek szennyeznek a leginkább.

33. táblázat. Csurgalékvizek rangsora SRD értékek alapján (2015.03) (A dőlt értékek szignifikánsak ($p=0,05$). A vastag sorok reprezentálják az 5% (XX1), 25% (Q1), 50% (Med), 75% (Q3) és 95% (XX19) percentilis értékeit.)

Rangsorolás eredményei		p%		MaxSRD=60
Név	SRD	x < SRD > =x		SRDnor
<i>Kontroll</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>2,48E-25</i>	<i>0</i>
V2K4	67	1,28E-06	1,60E-06	19,822
V2K1	82	2,25E-05	2,65E-05	24,26
V1K2	93	1,52E-04	1,82E-04	27,515
V1K4	93	1,52E-04	1,82E-04	27,515
V1K3	103	7,71E-04	9,12E-04	30,473
V2K2	109	1,94E-03	2,27E-03	32,249
V1K1	113	3,50E-03	4,08E-03	33,432
V2K3	119	8,20E-03	9,49E-03	35,207
XX1	179	4,88	5,23	
Q1	207	24,56	25,65	
Med	227	48,75	50,13	
Q3	246	74,56	75,65	
XX19	274	94,84	95,19	



91. ábra. A csurgalékvizek (közeg/vastagság) SRD értékei alapján megállapított rangsor (2015.03)

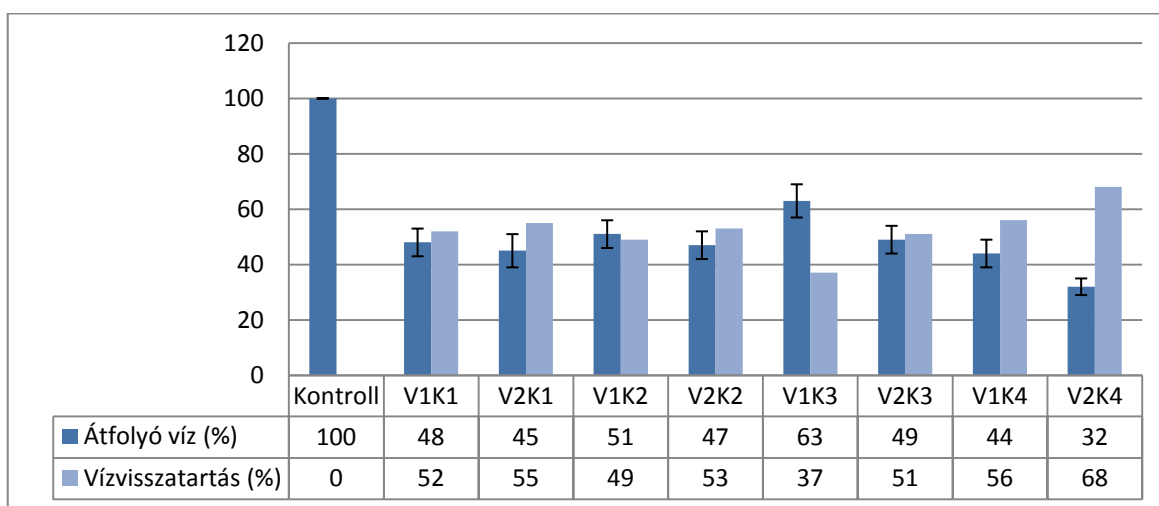
A referencia oszlopba a (Min) érték került. Skálázott SRD értékek az x tengelyen, és a baloldali y tengelyen, a jobboldali y tengely a relatív frekvenciák gyakoriságát mutatja be (fekete görbe). Valószínűségi értékek 5% (XX1), medián (Med), és 95% (XX19)

5.2.3. Csurgalékvizek átfolyó mennyiségének és a csapadék visszatartás eredményei

A kísérleti extenzív zöldtetőn végzett mennyiségi elemzések alapján általánosan megállapítható, hogy a vegetációs időszakban (március-szeptember) átlagosan 37-68%, a nyugalmi időszakban (október-február) átlagosan 7-28% a vízvisszatartás mértéke. Ezek az értékek nagyban függenek a közegkeverékek alkotóelemeitől, a közegkeverékek vastagságától és a szezonalitástól. Minél több szervesanyagot tartalmazott az egyes közegkeverék, annál nagyobb volt a vízvisszatartása (vegetációs időszakban: V1K3→37%, V2K4→68%, nyugalmi időszakban: V1K3→7%, V2K4→28%).

Az ugyanolyan összetételű, de kisebb vastagságú (10 cm) közegkeverék vízvisszatartási hányada (%) kevesebb, míg a nagyobb vastagságú (15 cm) közegkeverék vízvisszatartási hányada (%) nagyobbak adódott minden esetben. Az egyes közegkeverék és vastagság kombinációk vízvisszatartási sorrendje hasonlóan adódott a vegetációs és a nyugalmi periódusban is.

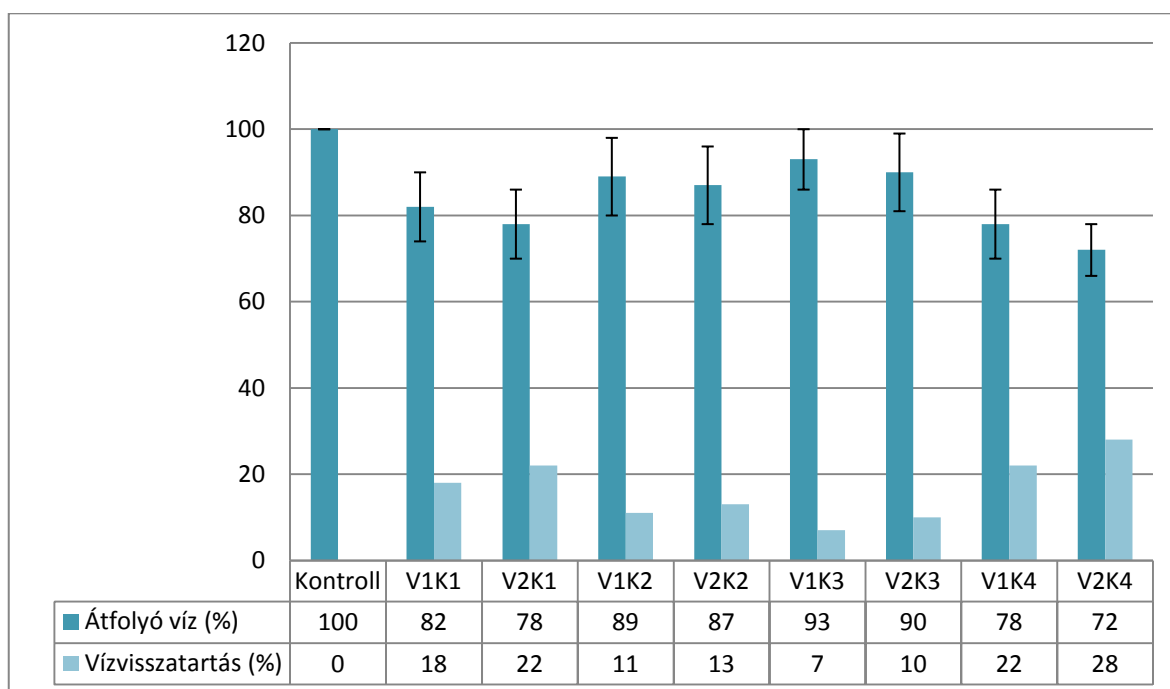
A vegetációs periódusban a legnagyobb vízvisszatartási értéktől kezdve az alábbi sorrend adódott: V2K4 → V1K4 → V2K1 → V2K2 → V1K1 → V2K3 → V1K2 → V1K3. A vízvisszatartási értékeket nagyban meghatározzák a közegkeverékek talajfizikai jellemzői. A legmagasabb értékekkel a nagy földtartalmú közegkeverékek rendelkeztek (K4: föld 50%; tőzeg 20%; homok 15%; meliorit 15%; K1: zeolit 25%; agyaggranulátum 10%; folyami homok 0/4 20%; föld 40%; tőzeg 5%). A legkisebb vízvisszatartással pedig a nagy frakciójú igen magas szervesetlen anyagmennyiséggel rendelkező közegkeverék rendelkezett (K3: téglalörmény 25%; ytlongörlemény 25%; tőzeg 15%; zeolit 20%; meliorit 15%) (92-93 ábrák).



92. ábra. A közegkeverék és közegvastagság kombinációkon átfolyó csurgalékvíz (%) és visszatartás (%) átlagos értékei a vegetációs időszakokra (március-szeptember) vonatkozóan (2012.03-2015.03)

A nyugalmi időszakban végzett mérések eredményei főbb tendenciáiban hasonló eredmény adódott. A nagy földtartalmú közegkeverékek rendelkeztek a nagyobb vízvisszatartási aránnyal, míg a legkisebbel a nagy frakciójú igen magas szervesetlen anyagmennyiséggel rendelkező közegkeverék

rendelkezett. A nyugalmi periódusban a legnagyobb vízvisszatartási értéktől kezdve az alábbi sorrend adódott: V2K4 → V1K4, V2K1 → V1K1 → V2K2 → V1K2 → V2K3 → V1K3.

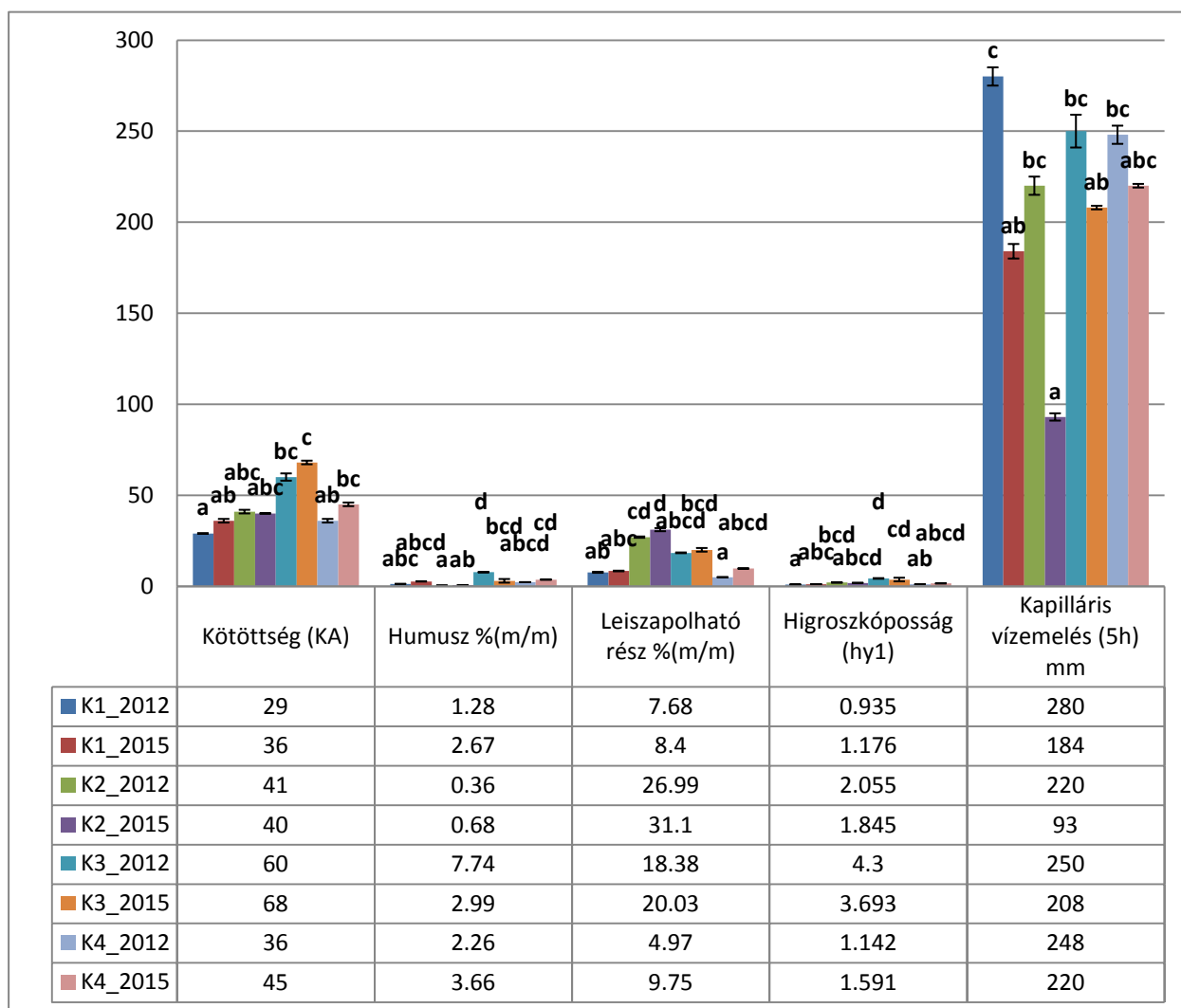


93. ábra. A közegkeverék és közegvastagság kombinációkon átfolyó csurgalékvíz (%) és visszatartás (%) átlagos értékei a nyugalmi időszakokra (október-február) vonatkozóan (2012.03-2015.03)

5.3. A közegekkel kapcsolatos minőségi és mennyiségi mérések eredményei

5.3.1. Közegkeverékek általános fizikai vizsgálatának eredményei

A közegkeverékek általános vizsgálatait két időpontban végeztük, a feltelepítéskor és a kísérlet végén 3 évvel később. Az általános fizikai paraméterek – kötöttség (KA), humusz % (m/m), leiszapolható rész % (m/m), higroszkóposság (hy1), kapilláris vízemelés (5h) mm – páronkénti összehasonlításait célszerű közegkeverékenként és évenként megtenni (**94. ábra**).



94. ábra. A közegkeverékek általános fizikai paramétereinek átlagos értékei, szórásai valamint homogén és heterogén csoportjai

Tendenciaként megfigyelhető, hogy a kötöttség (KA) jellemzően növekedett, a leiszapolható rész növekedett % (m/m), míg a kapilláris vízelelés (5h, mm) pedig csökkent minden közegkeveréknél a vizsgált időszakban. Az egymás mellett levő oszlopok rendre az egyes közegkeverékek (K1, K2, K3, K4) két különböző évben (2012 és 2015) történő összehasonlítását mutatja be.

A leiszapolható rész növekedése rámutat arra, hogy az évek alatt a közegkeverékek mechanikai összetétele változik, a 0,02 mm és annál kisebb szemcsék %-os mennyisége növekszik.

A csökkenő kapilláris vízelelés (5h, mm) viszont arra figyelmeztet, hogy a közegkeverékek hajszálcsoveiben végbemenő vízháztartását és vízfelvételét rontja. Ez azért kritikus, mert az extenzív zöldtetőn levő növények így kevesebb vízhez tudnak hozzájutni. A K1 közegkeverék átlagos kapilláris vízelése (5h) szignifikánsan lecsökkent (280 mm→184 mm), amely elsősorban a nagy földtartalmú közegkeverék tömörödésével magyarázható. A K2 közegkeverékeknél szintén hasonló tömörödési jelenség volt megfigyelhető, az átlagos kapilláris vízelése (5h) csökkent le

szignifikánsan (220 mm→93 mm). A K2-es közegkeverék zeolitfrakciói tömörödsre hajlamosak, amelyet gyakorlati megfigyelések is alátámasztanak. A K3-ban és K4-ben nem adódott szignifikáns különbség a vizsgált paraméterek között.

A kötöttség (K_A) mindenhol növekedett, kivéve a K2 közegkeveréket, ahol lényegében ugyanolyan szinten maradt. A növekedés azzal magyarázható, hogy a szerves anyagot tartalmazó közegkeverékek (tőzeg, föld) jobban porózusabbá válnak, kiszáradnak, mint a csak zeolitot tartalmazó K2 közegkeverék. Zeolit képes vízmegtartásra.

Az Arany-féle kötöttségi szám megmutatja, hogy a 100 g talajból való, még éppen nem folyós pép készítéséhez mennyi ml víz szükséges. Általában a kötöttségi szám a talajok agyagtartalmával van leginkább összefüggésben (minél nagyobb az agyagtartalom, annál nagyobb az Arany-féle kötöttségi szám.) A vizsgált közegekben a növekedés nem az agyagtartalom növekedéssel van összefüggésben, hanem a közegkeverékek tömörödésével.

A humusz % (m/m) a közegkeverékek szervesanyag-tartalmát jellemzi, a K1, K2, K4 közegkeverékeknél megfigyelhető növekedés az eltelepített növények ültetőközegeiből a közegkeverékekbe oldódó humusz anyagokkal magyarázható. A K3 közegkeverék esetében viszont nagymértékű csökkenés figyelhető meg, amely a közegkeverékben levő tőzeg oxidálódásával magyarázható.

Leiszapolható rész % (m/m) K1, K2 esetében csökken, a K3 és K4 közegkeverékekben viszont nő, ami arra utal, hogy minél többféle komponenst alkalmazunk, valamint minél kisebb frakciójukat annál több lesz a közegkeverékben 0,02mm és annál kisebb szemcsék %-os mennyisége.

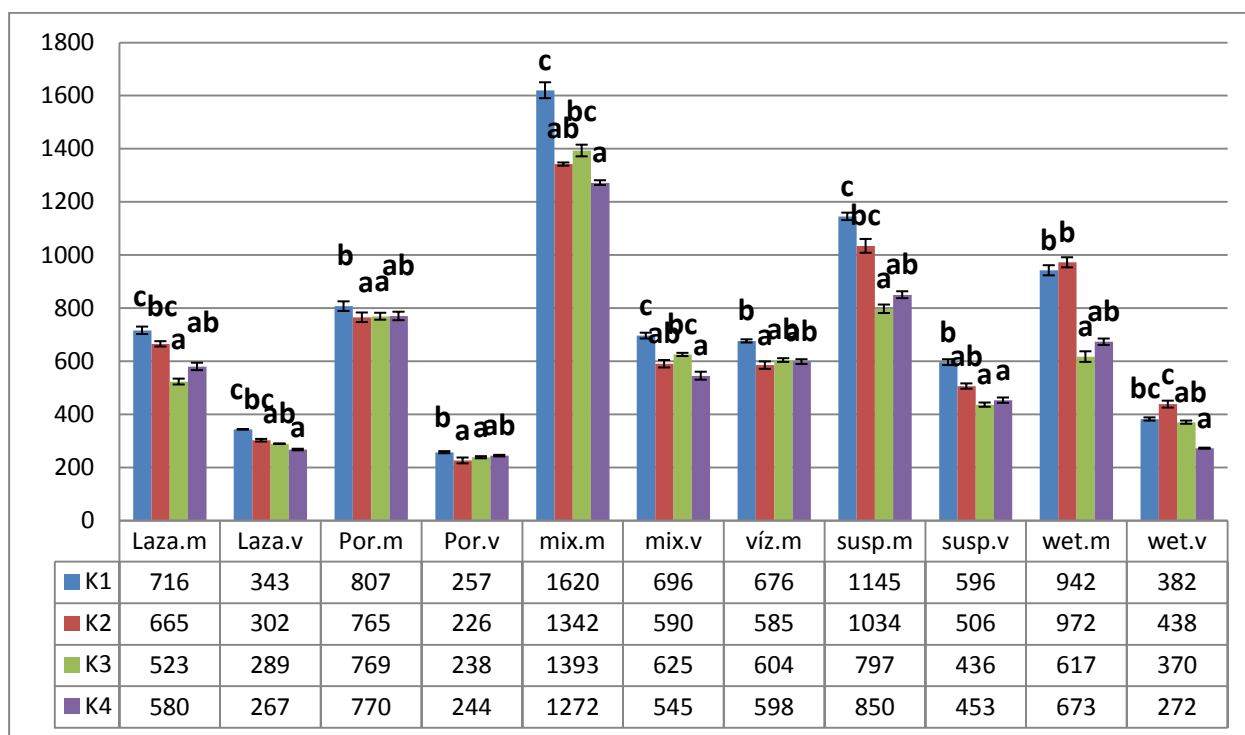
Higroszkóposág (h_{y1}) értékénél megfigyelhető, hogy azon közegkeverék (K1, K4) esetében nő az értéke, amelyek a legjobban szerepeltek a vízvisszatartásban. Összefüggésben van a higroszkóposág a kötöttségi számmal.

Az évek összehasonlításában 2012-ben a legkisebb kötöttségi értékkel a K1 közegkeverék, a legmagasabb humusz százalékkal a K3 közegkeverék, a legnagyobb leiszapolható résszel K2 közegkeverék, a legnagyobb higroszkóposági értékkel a K3 közegkeverék, valamint a legnagyobb kapilláris vízemelési értékkel (5h) a K1 közegkeverék rendelkezett. Ezzel szemben 3 év múlva módosul ez a sorrend. 2015-ben a legkisebb kötöttségi értékkel a K1 közegkeverék, a legmagasabb humusz százalékkal K4 közegkeverék, legnagyobb leiszapolható résszel K2 közegkeverék, a legnagyobb higroszkóposági értékkel a K3 közegkeverék, valamint a legnagyobb kapilláris vízemelési értékkel (5h) a K4 közegkeverék rendelkezett. Ezek a módosulások felhívják a figyelmet arra, hogy az extenzív tetőn levő közegkeverékek általános fizikai paraméterei megváltoznak, amelyet célszerű figyelembe venni és a gyakorlatban alkalmazni, a közegkeverékekre vonatkozóan (részletesen a közegkeverékek általános fizikai tulajdonságainak elemzése és szignifikáns differenciái a **8. melléklet**ben találhatóak).

5.3.2. Közegkeverékek specifikus fizikai vizsgálata

A közegkeverékek speciális vizsgálatait két időpontban végeztük, a feltelepítéskor és a kísérlet végén 3 évvel később. A speciális fizikai paraméterek – laza/m, laza/v, por/m, por/v, mix/m, mix/v, víz.m,

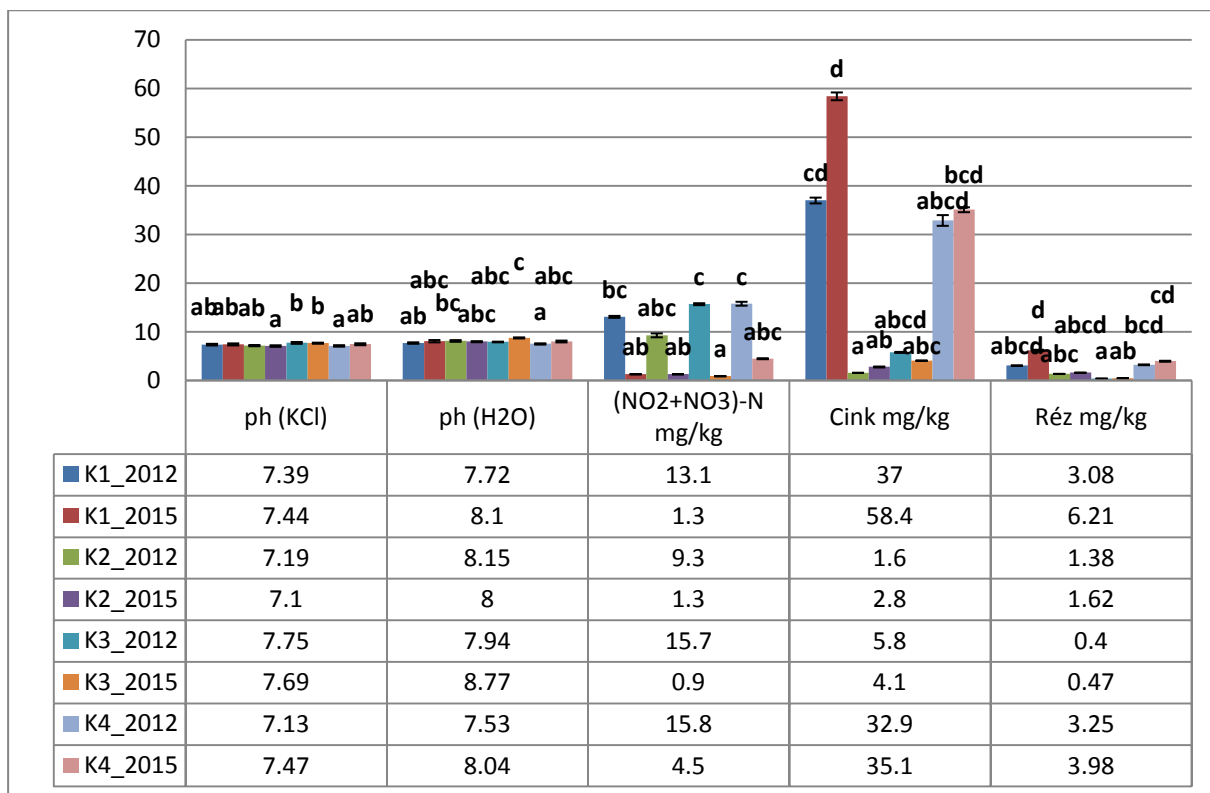
víz.v, susp/m, susp/v, wet/m, wet.v. – páronkénti összehasonlításait célszerű közegkeverékenként és évenként is értékelni (**95. ábra**) (részletesen a közegkeverékek specifikus fizikai tulajdonságainak elemzése és szignifikáns differenciái az **9. mellékletben** találhatóak).



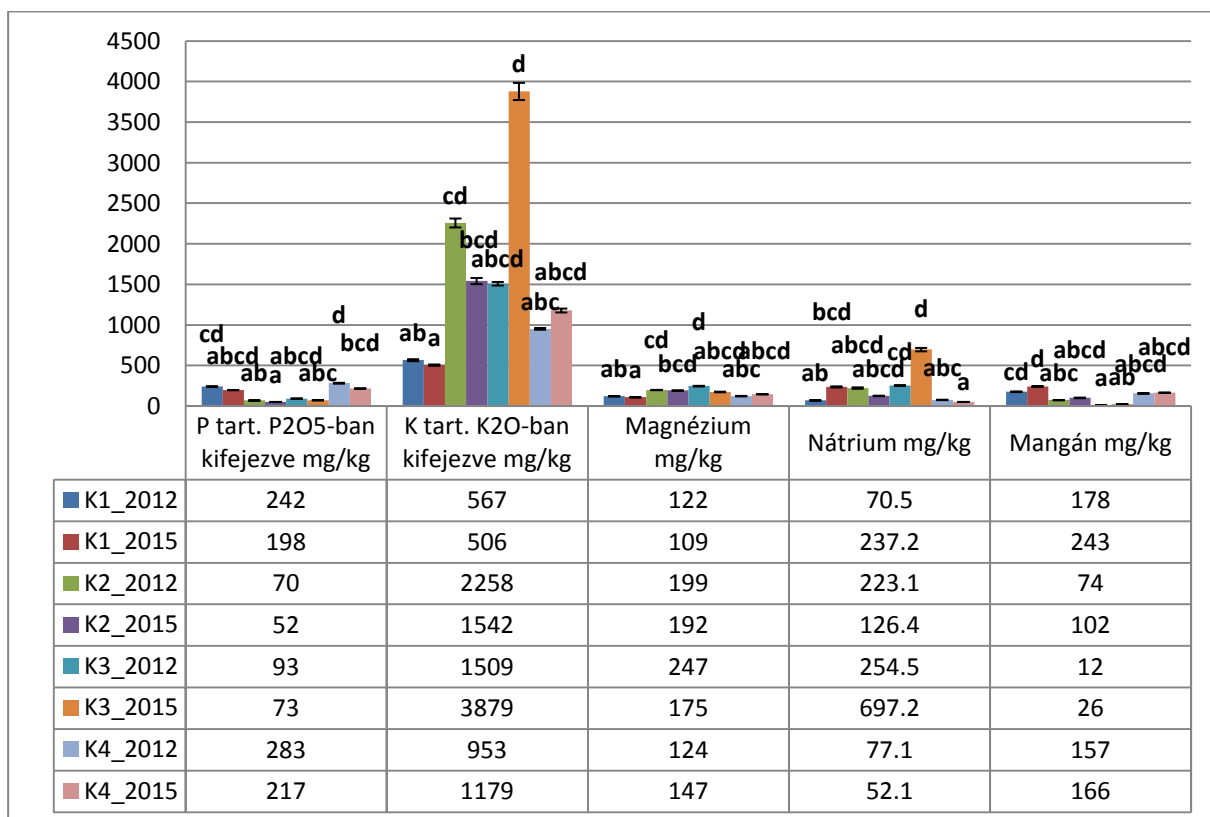
95. ábra. A közegkeverékek specifikus fizikai paramétereinek átlagos értékei, szórásai valamint homogén és heterogén csoportjai (2012.03)

5.3.3. Közegkeverékek általános kémiai vizsgálatának eredményei

A közegkeverékek speciális vizsgálatait két időpontban végeztük, a feltelepítéskor és a kísérlet végén 3 évvel később. Az általános kémiai paraméterek – pH (KCl), pH (H₂O), vízdoldható összes só % (m/m), összes karbonát tartalom CaCO₃-ban kifejezve % (m/m), szódalúgosság % (m/m), (NO₂+NO₃)-N (mg/kg), P-tartalom (P₂O₅-ban kifejezve (mg/kg)), K-tartalom (K₂O-ban kifejezve (mg/kg)), Mg-tartalom (mg/kg), Na-tartalom (mg/kg), Zn-tartalom (mg/kg), Cu-tartalom (mg/kg), Mn-tartalom (mg/kg) – páronkénti összehasonlításait célszerű közegkeverékenként és évenként is értékelni (**96-97. ábra**).



96. ábra. A közegkeverékek általános kémiai vizsgálatának átlagos értékei, szórásai valamint homogén és heterogén csoportjai



97. ábra. A közegkeverékek általános kémiai vizsgálatának átlagos értékei, szórásai valamint homogén és heterogén csoportjai

Fontos megismerni a közegkeverékek pH-ját, mert a pH befolyásolja az ásványi tápanyagok felvehetőségét a növényeknél, a talaj élőlények élettevékenységét és a szerves anyagok átalakítását. Általában semleges pH (7,2-6,8) körülmények között jól felvehetők a tápanyagok. A pH (KCl) értékeknél az figyelhető meg, hogy azon közegkeverékek pH értéke nő, amelyek földet tartalmaznak K1, K4, míg a nagyrészt szervesetlen komponenseket tartalmazó közegkeverékek pH-ja csökkent. A K4 közegkeverék esetében 2012-kor a keverék pH értéke még a semleges tartományba esett, 2015-re a gyengén lúgos tartományban volt. K1 és K3 esetében a pH változás ellenére is a gyengén lúgos tartományban maradt a 2012 és 2015-ös pH értékük, míg a K2 esetében a semleges tartományban. (A pH(H₂O)- és a pH(KCl)-értékek közötti különbségek 1-hez közeli, illetve egy esetben meghaladják azt. Ez a talajok savanyodási tendenciáit vetíti előre.)

Az (NO₂+NO₃)-N tartalom mind a négy közegkeverékben csökkent a növények N felhasználása következtében. A cink, réz, mangán tartalom minden esetben növekszik, ami azzal magyarázható, hogy ezek a kationok csoportjához tartozó mikroelemek közönséges sói a talajoldatokban kevésbé oldhatók, ezért a növények számára hozzáférhetetlenek, itt a közegkomponenseknek van fontos szerepük a növekedésben. Kivételt képez a K3 közegkeverék, amely a cink esetében csökkenést mutat. A P-tartalom mindegyik közegkeverék esetében csökkent, ami a növények P felhasználásával magyarázható (pl. fotoszintézis során). A K-tartalom a K1 és K2 közegkeverék esetében csökken, ami szintén a növények K felhasználásával magyarázható (meghatározza a sejtek ozmotikus potenciálját, a növényi sejtek és szövetek turgorát). K3 és K4 esetében viszont növekszik a K mennyisége, ami a K3 esetében a téglá és ytong tartalommal magyarázható, K4 esetében a meliorit tartalommal. A Mg-tartalom csökkenése a közegkeverékekben szintén a növények Mg felhasználásával van összefüggésben, hiszen a magnézium a klorofill központi alkotóeleme (fotoszintézis, aminosavak és fehérjék bioszintézisében is részt vesz). K1, K2, K3 esetében csökken a K4 esetében nő a magnézium tartalom. A Na-tartalom a K1 és K3 közegkeverék esetében nő, míg a K2 és K4 közegkeverékben csökken, amely a kimosódás különbözőségeivel magyarázható.

Ezek a módosulások felhívják a figyelmet arra, hogy az extenzív tetőn levő közegkeverékek kémiai paraméterei módosulnak, amelyet célszerű figyelembe venni és a gyakorlatban alkalmazni, a közegkeverékekre vonatkozóan (részletesen a közegkeverékek általános kémiai tulajdonságainak elemzése és szignifikáns differenciái a **10. melléklet**ben találhatóak).

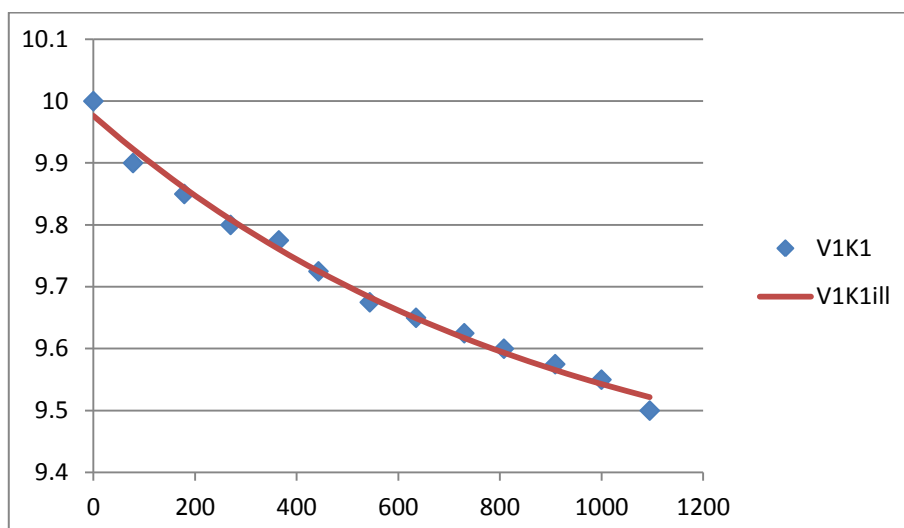
5.3.4. Közegkeverékek tömörödésének üteme és jelleggörbéi

A zárttetők egyik fontos paramétere a közegkeverékek tömörödése, mivel a közegek tömörödésével a szigetelő hatás folyamatosan csökken. Kutatási kérdésemnek megfelelően dolgozatomban a kísérleti tetőn összeállított közegkeverékek tömörödését vizsgáltam.

Általánosan megállapítható, hogy a vizsgált közegek tömörödése úgynevezett lebomlási modellek alapján írható le. A vizsgált közegek tömörödésének általános lebomlási modellje = $p_1 + p_2 \cdot (1 - \exp(-p_3 \cdot \text{idő}))$, ahol p_1 az indulási érték (lényegében 10 cm vagy 15 cm), a $p_1 + p_2$ a tömörödési határérték, p_3 a tömörödés sebessége, az idő pedig az első méréstől eltelt napok száma. A

vizsgált közegek tömörödése a kiinduló közegvastagságokkal, a tömörödési határértékekkel, és a tömörödés sebességével jellemezhető. A következőkben a V1K1 példáján mutatom be a tömörödési eredményeit részletesen, utána összefoglalóan az összes közeget táblázatos formában.

A V1K1 (V1 = 10 cm, K1 = agyaggranulátum 10%; folyami homok 0/4 20%; föld 40%; tőzeg 5%, zeolit 25%) esetében lebomlási matematikai modellel írható le a közeg tömörödése. A 10 cm-es átlagos kezdő vastagságról átlagosan 9,5 cm-re csökkent a vizsgált közeg vastagsága a vizsgált időszakban (2012.03.15–2015.03.15) (98. ábra).



98. ábra. A V1K1 közegkeverék átlagos tömörödési értékei és az illesztett görbe, a vizsgált időszakban (2012.03.15–2015.03.15)

A regressziós diagnosztika első lépésében a determinációs együttható érték becslése és szignifikanciájának tesztelését végeztem el. Mivel a determinációs együttható $R^2 = 0,992$ nagyon magasnak adódott, ezért a modell jól illeszkedik az adatokra, azaz a napok szignifikánsan korrelálnak a közegkeverék tömörödésével ($R^2 = 0,992$; $p < 0,001$). A második lépésben a paraméterek becslésére vonatkozó t-próbákat végeztem el. Az illesztő függvény egyenlete a következő: $V1K1_{\text{tömörödés}} = 9,976 + (-0,646) \cdot (1 - \exp(-0,001 \cdot 1095))$. A modell együtthatóink a becslését az alábbi táblázat mutatja be (34. táblázat).

34. táblázat A V1K1 közegkeverék tömörödését leíró modell együtthatóink a becslése

paraméterek	becslés	standard hiba	konfidencia intervallum (95%) alsó korlát	konfidencia intervallum (95%) felső korlát	becslés/standard hiba (számított t)	szignifikancia szint
p ₁	9,976	0,011	9,951	10,002	872,074	p<0,001
p ₂	-0,646	0,062	-0,785	-0,508	-10,404	p<0,001
p ₃	0,001	0,000	0,001	0,002	5,537	p<0,001

Az eredmények alapján az együtthatók becslése szignifikánsnak adódott, mivel a számított értékek az alábbiak: $p_1(10)=9,976$; $p<0,001$; $p_2(10)=-0,646$; $p<0,001$; $p_3(10)=0,001$; $p<0,001$. Harmadik lépésben a modellre vonatkozó ANOVA-t végeztem el annak érdekében, hogy megállapítsam, hogy az értékek szóródását szignifikánsan magyarázza-e a modell. Az eredmények alapján a lebomlási modell jól magyarázza a közegkeverék tömörödési értékeinek szóródását (varianciáját) ($F(3;10)=1837475$; $p<0,001$) (35. táblázat).

35. táblázat. A VIKI lebomlási modellre vonatkozó ANOVA

	Négyzetösszeg	Szabadsági fok	Átlagos négyzetes eltérés
Regresszió	1225,858	3	408,619
Maradék	0,002	10	0,000
Korrekciónélküli teljes	1225,861	13	
Korrigált teljes	0,264	12	

Függő változó: VIKI közegvastagság

a. $R^2 = 1 - (\text{Reziduumok négyzetösszeg}) / (\text{Korrigált négyzetösszeg}) = 0,991$.

A feltételvizsgálat során az eredmények alapján az évek nem korrelálnak a reziduumokkal. A teljes modellre vonatkozó t-próba is szignifikánsnak adódott ($t(3;10)= 36,93$; $p<0,001$). A reziduumok normalitását, $\varepsilon_i \sim N(0;\sigma)$ a Kolgomorov-Smirnov és a Shapiro-Wilk teszttel bizonyítottam (36. táblázat).

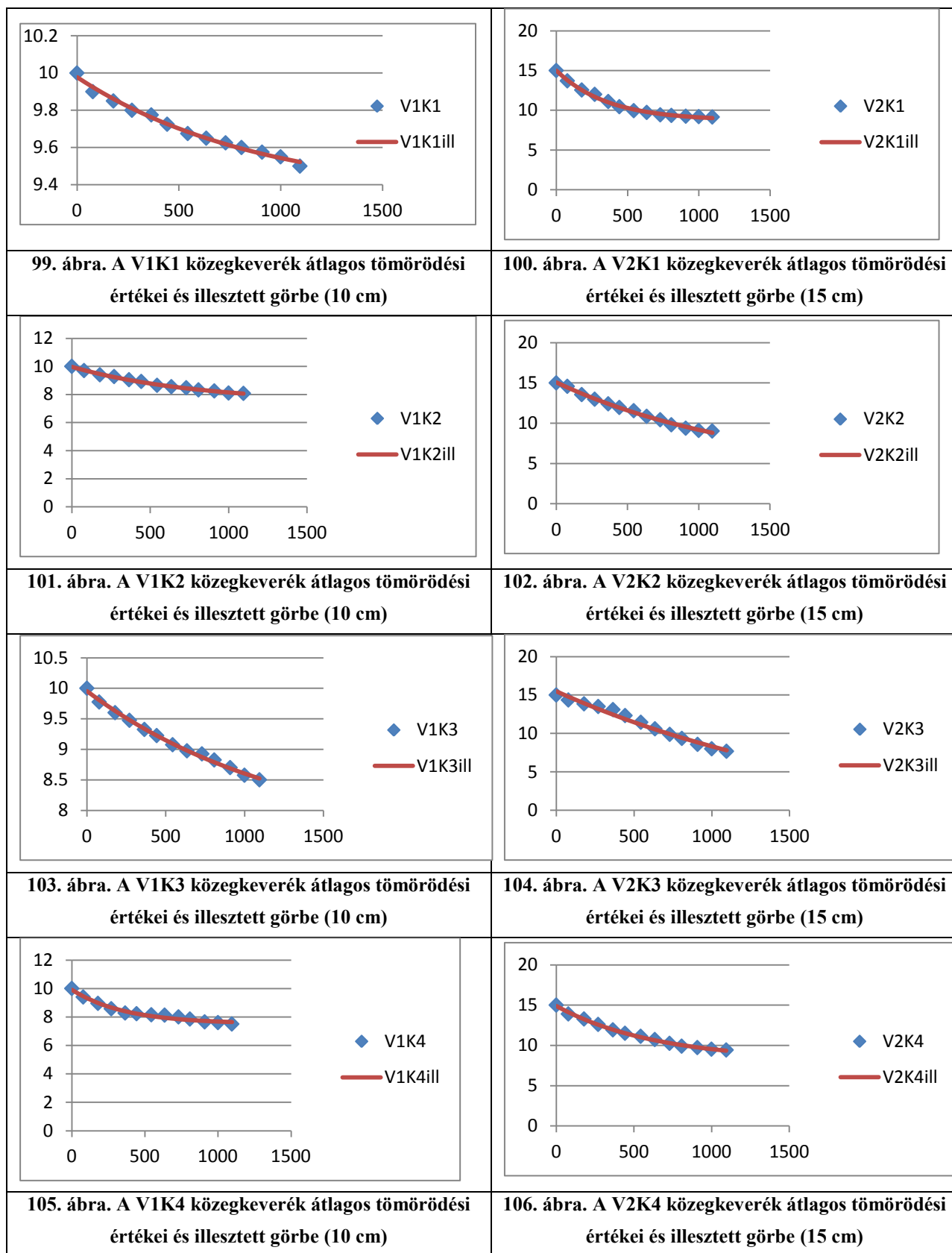
36. táblázat. A normalitás tesztelése Kolmogorov-Smirnov és Shapiro-Wilk tesztekkel

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	statisztika	szabadsági fok	szignifikancia	statisztika	szabadsági fok	szignifikancia
Reziduum	0,120	13	0,200*	0,945	13	0,521

* Ez az alsó korlátja a valódi szignifikanciának

^a Lilliefors szignifikancia korrekció

Összefoglalóan megállapítható, hogy az összes közegkeverék és vastagságkombináció tömörödésének jelleggörbéje lebomlási jellegű, egymástól a tömörödés ütemében, azaz a görbe lefutásának meredekségében különböznek. Ez érhető tetten a statisztikai jelleggörbe p_3 -as paraméterének alakulásában. A relatíve gyorsabb tömörödési ütemet nagyobb p_3 érték, míg relatíve lassabb tömörödési ütemet kisebb p_3 érték jelez. Megállapítható, hogy a kisebb vastagságú (10 cm) közegkeverékek értékbeli tömörödése is kisebb, míg a nagyobb vastagságú (15 cm) közegkeverékek értékbeli tömörödése nagyobb (99-106. ábra és 37. táblázat).



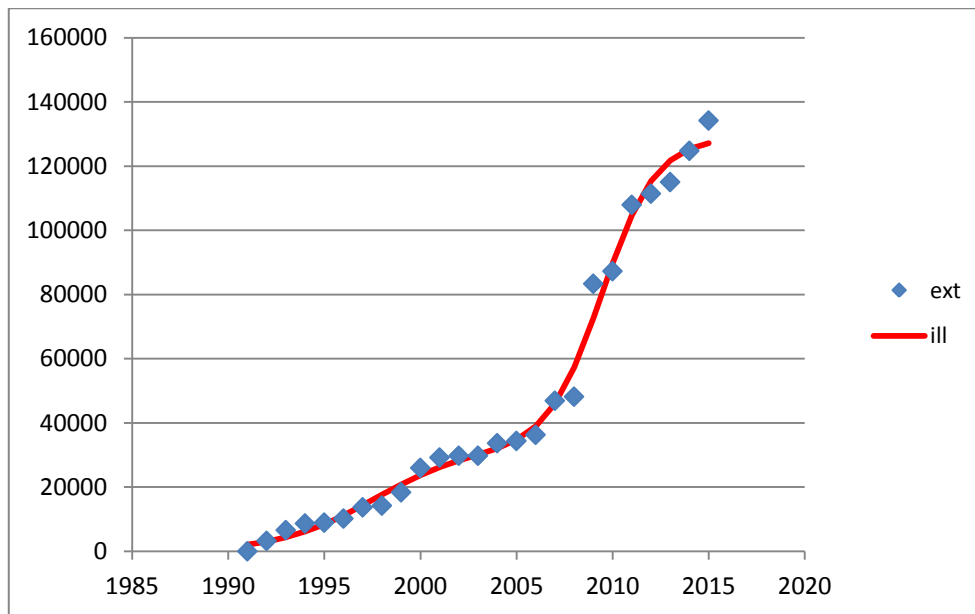
37. táblázat. Vizsgált extenzív kísérleti tetőn levő közegvastagság és közegkeverék kombináció tömörödéseinek jelleggörbéi és üteme

Vastagság és közegkeverék kombináció	Statisztikai jelleggörbe	Statisztikai jelleggörbe illesztési jósága	Közegvastagság (telepítéskori és utolsó mérés (cm))
V1K1	$y = 9,976 + (-0,646) * (1 - \exp(-0,001 * 1095))$	$R^2 = 0,992$	10→9,500cm
V2K1	$y = 15,014 + (-6,290) * (1 - \exp(-0,003 * 1095))$	$R^2 = 0,996$	15→9,150cm
V1K2	$y = 9,968 + (-2,571) * (1 - \exp(-0,001 * 1095))$	$R^2 = 0,996$	10→8,075cm
V2K2	$y = 15,063 + (-11,285) * (1 - \exp(-0,001 * 1095))$	$R^2 = 0,996$	15→9,025cm
V1K3	$y = 9,952 + (-2,490) * (1 - \exp(-0,001 * 1095))$	$R^2 = 0,996$	10→8,500cm
V2K3	$y = 15,483 + (-18,213) * (1 - \exp(-0,001 * 1095))$	$R^2 = 0,981$	15→7,675cm
V1K4	$y = 9,913 + (-2,390) * (1 - \exp(-0,003 * 1095))$	$R^2 = 0,979$	10→7,500cm
V2K4	$y = 14,881 + (-6,770) * (1 - \exp(-0,002 * 1095))$	$R^2 = 0,997$	15→9,425cm

Az összes közeg és vastagságkombinációk tömörödési jelleggörbéinek regressziós diagnosztikája és feltételvizsgálata részletesen a **11. melléklet** mutatja be. Ez alapján megállapítható, hogy regressziós diagnosztika során a determinációs együttható értékei becsléseit (R^2) és szignifikanciájának tesztelését elvégeztem. A determinációs együttható minden esetben igen magasnak adódtak, ezért a modellek jól illeszkednek az adatokra, azaz a napok szignifikánsan korrelálnak a közegkeverék tömörödésével. A modell paraméterek becslésére vonatkozó t-próbák szignifikánsnak adódtak. A modellre vonatkozó ANOVA eredményei alapján a lebomlási modell jól magyarázza a közegkeverék tömörödési értékeinek szóródását (varianciáját). A feltételvizsgálat során az eredmények alapján az évek nem korrelálnak a reziduumokkal. A teljes modellre vonatkozó t-próba is minden esetben szignifikánsnak adódott, a reziduumok normalitását, $\varepsilon_i \sim N(0;\sigma)$ a Kolgomorov-Smirnov és a Shapiro-Wilk teszttel bizonyítottam.

5.4. A zöldtetőkataszter statisztikai elemzésének eredményei

A kutatómunka eredményeként az adatbázisba beérkező adatokat elemezve megállapítható, hogy Magyarországon eddig összesen 395678,6 m² zöldtető épült 2015. március 15-ig, amelyből 134251,9 m² (33,92%) extenzív zöldtetőként, míg 261426,7 m² (66,08%) intenzív zöldtetőként valósult meg. A pontok ábrázolásával feltételeztem, hogy az adatokra illesztendő görbe bi-logisztikus jellegű (Perrin, 1994) (**107. ábra**).



107. ábra. A megépült extenzív zöldtetők mennyisége (m²) és az illesztett bi-logisztikus matematikai modell

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a megépített extenzív zöldtetők mennyisége (m²) különböző nagyságú ingadozást mutat a vizsgált időszakban (1991-2015). Az extenzív zöldtetők Magyarországon a 1991-2006-ig terjedő időszakban viszonylag lassan növekedtek. Ennek az időszaknak az utolsó éveiben egyfajta telítődési folyamat figyelhető meg. A növekedés ütem változásának jelei 2006-ban megjelent, de az igazi áttörés a 2009-es és 2011-es év jelentette. A kataszter bejövő adatainak elemzése alapján egyértelmű, hogy ezek a kiugró növekedési értékek jellemzően az Európai Unió által is támogatott egyes budapesti nagy projektek miatt alakulhattak ki: Budapesti Központi Szennyvíztisztító Telep (2009), M4-es metró Kelenföldi végállomása (2011).

Az adatokra történő modell illesztését bi-logisztikus modell segítségével tettem meg (egyenlet (1)):

$$N(t) = \frac{\chi_1}{1 + \exp\left\{\frac{-\ln(1)}{\Delta t_1}(-t_{m_1})\right\}} + \frac{\chi_2}{1 + \exp\left\{\frac{-\ln(1)}{\Delta t_2}(-t_{m_2})\right\}} \quad \text{egyenlet (1)}$$

ahol $N(t)$ a zöldtetőfelület nagysága (ezer m²), χ_1 és χ_2 az első telítődésig, illetve az első telítődéstől a másodikig való emelkedés nagysága, t_{m_1} és t_{m_2} a két inflexiós pont helye, Δt_1 és Δt_2 az inflexiós pont és a telítődések közt eltelt idő.

A modell együtthatóink a becslését az alábbi táblázat mutatja be (38. táblázat).

38. táblázat A megépült extenzív zöldtetők mennyiségének modell együtthatóinak a becslése

paraméterek	becslés	standard hiba	konfidencia intervallum (95%) alsó korlát	konfidencia intervallum (95%) felső korlát	becslés/standard hiba (számított t)	szignifikancia szint
χ_1	32,299	5,905	19,939	44,659	5,470	p<0,001
t_{m1}	7,550	1,296	4,837	10,263	5,825	p<0,001
Δt_1	10,734	3,768	2,849	18,620	2,849	p<0,001
χ_2	96,740	8,415	79,128	114,352	11,496	p<0,001
t_{m2}	19,451	0,246	18,936	19,966	79,034	p<0,001
Δt_2	6,190	1,071	3,948	8,433	5,779	p<0,001

A regressziós diagnosztika első lépésében a determinációs együttható érték becslése és szignifikanciájának tesztelését végeztem el. Mivel a determinációs együttható $R^2=0,991$ nagyon magasnak adódott, ezért a modell jól illeszkedik az adatokra, azaz az évek szignifikánsan korrelálnak a megépített extenzív zöldtetők területével ($R^2=0,991$; $p<0,001$). A második lépésben a paraméterek becslésére vonatkozó t-próbákat végeztem el. Az illesztő függvény egyenlete a következő (egyenlet (2)):

$$N(t) = \frac{32,299}{1 + \exp\left\{\frac{-\ln 2}{10,734} \cdot (t - 7,550)\right\}} + \frac{96,740}{1 + \exp\left\{\frac{-\ln 2}{6,190} \cdot (t - 19,46)\right\}} \quad \text{egyenlet (2)}$$

ahol,

$t = \text{év} - 1990$

Az eredmények alapján az együtthatók becslése szignifikánsnak adódott, mivel a számított értékek az alábbiak: $t_{\chi_1}(19) = 32,299$; $p<0,001$; $t_{\chi_2}(19) = 96,740$; $p<0,001$; $t_{m1}(19) = 7,550$; $p<0,001$; $t_{m2}(19) = 19,451$; $p<0,001$; $\Delta t_1(19) = 10,734$; $p<0,001$; $\Delta t_2(19) = 6,190$; $p<0,001$.

Harmadik lépésben a modellre vonatkozó ANOVA-t végeztem el annak érdekében, hogy megállapítsam, hogy az értékek szóródását szignifikánsan magyarázza-e a modell. Az eredmények alapján a bi-logisztikus modell jól magyarázza a megépült extenzív zöldtetők értékeinek szóródását (varianciáját) ($F(5;19) = 800,6598$; $p<0,001$) (39. táblázat).

39. táblázat. A bi-logisztikus modellre vonatkozó ANOVA

	Négyzetösszeg	Szabadsági fok	Átlagos négyzetes eltérés
Regresszió	97678,717	6	16279,786
Maradék	386,326	19	20,333
Korrekciónélküli teljes	98065,043	25	
Korrigált teljes	43911,351	24	

Függő változó: megépült extenzív zöldtető

a. $R^2 = 1 - (\text{Reziduumok négyzetösszeg}) / (\text{Korrigált négyzetösszeg}) = 0,991$.

A feltételvizsgálat során az eredmények alapján az évek nem korrelálnak a reziduumokkal. A teljes modellre vonatkozó t-próba is szignifikánsnak adódott ($t(6;19) = 107,1308$; $p < 0,001$). A reziduumok normalitását, $\varepsilon_i \sim N(0; \sigma)$ a Kolmogorov-Smirnov és a Shapiro-Wilk teszttel bizonyítottam (40. táblázat).

40. táblázat. A normalitás tesztelése Kolmogorov-Smirnov és Shapiro-Wilk tesztekkel

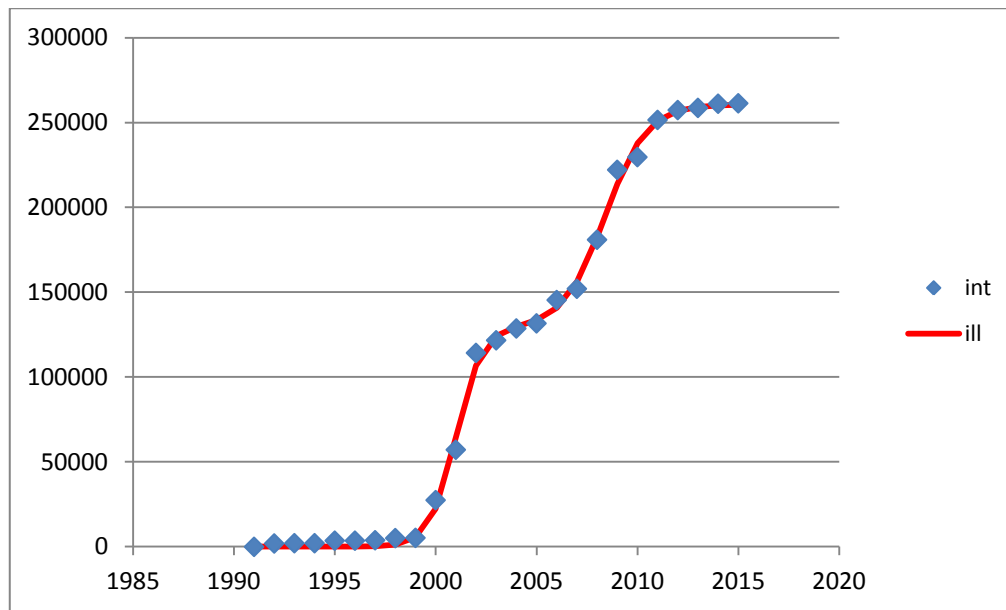
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	statisztika	szabadsági fok	szignifikancia	statisztika	szabadsági fok	szignifikancia
Reziduum	0,132	25	0,200*	0,959	25	0,390

* Ez az alsó korlátja a valódi szignifikanciának

a Lilliefors szignifikancia korrekció

5.4.2. Zöldtetőkataszter intenzív zöldtető mennyiségének statisztikai modellezése

A következőkben az intenzív zöldtetők mennyiségi alakulásának matematikai modellezését mutatom be részletesen (1991-2015-ig 261426,7 m²). A pontok ábrázolásával feltételeztem, hogy az adatokra illesztendő görbe bi-logisztikus jellegű (Perrin, 1994) (108. ábra).



108. ábra. A megépült intenzív zöldségek mennyisége (m²) és az illesztett bi-logisztikus matematikai modell

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a megépített intenzív zöldségek mennyisége (m²) különböző nagyságú ingadozást mutat a vizsgált időszakban (1991-2015). Az intenzív zöldségek Magyarországon a 1991-1999-ig terjedő időszakban minimálisan növekedtek. 2000-2002-ban valamint 2008-2009-ben és 2011-ben volt kiemelkedő a növekedési ütem, míg 2002-2005-ig az előtte, illetve utána lévő időszakhoz viszonyítva a növekedés lassú, egyfajta telítődési folyamat figyelhető meg ebben az időszakban. A rendszerváltozás után néhány évvel a piaci nagybefektetők megjelenésével 2000-2002 közötti időszakban épülnek meg az első nagy bevásárlóközpontok intenzív zöldségek: Nyugati City Center (West End) (2000), MOM Park Iroda és Lakóépület együttese (2001), Ázsia Center (2002). 2008-2009 időszakban elsősorban az irodaházak, a wellness hotelek és az új típusú lakóparkok tetejére telepített intenzív zöldségek növelték az intenzív zöldségek területének nagyságát: Millennium Irodaház (2008), Egerszalók Wellness Hotel (2008), Sárospatak Wellness Hotel (2008), Marina Part Lakópark (2009), Corvin Sétány Irodaház (2009), Capitals Square (2009), Haller Gardens (2009), Oxygen Wellness (2009). 2011-ben egyértelműen a KöKi Terminál és Bevásárló Központ intenzív zöldsége növeli meg az éves telepített intenzív zöldségek nagyságát. 2011 után egy második telítődési folyamat figyelhető meg. Az adatokra történő modell illesztését bi-logisztikus modell segítségével tettem meg (egyenlet (1)):

$$N(t) = \frac{\chi_1}{1 + \exp\left\{\frac{-\ln(1)}{\Delta t_1} \cdot (-t_{m_1})\right\}} + \frac{\chi_2}{1 + \exp\left\{\frac{-\ln(1)}{\Delta t_2} \cdot (-t_{m_2})\right\}} \quad \text{egyenlet (1)}$$

ahol $N(t)$ a zöldségtelítődés nagysága (ezer m²), χ_1 és χ_2 az első telítődés, illetve az első telítődéstől a másodikig való emelkedés nagysága, t_{m_1} és t_{m_2} a két inflexiós pont helye, Δt_1 és Δt_2 az inflexiós pont és a telítődések közt eltelt idő.

A modell együtthatóinak a becslését az alábbi táblázat mutatja be (41. táblázat).

41. táblázat A megépült intenzív zöldtetők mennyiségének modell együtthatóinak a becslése

paraméterek	becslés	standard hiba	konfidencia intervallum (95%) alsó korlát	konfidencia intervallum (95%) felső korlát	becslés/standard hiba (számított t)	szignifikancia szint
χ_1	129,025	3,796	121,079	136,971	33,986	p<0,001
t_{m1}	11,006	0,088	10,823	11,189	125,737	p<0,001
Δt_1	2,825	0,322	2,152	3,497	8,785	p<0,001
χ_2	131,733	5,094	121,071	142,395	25,860	p<0,001
t_{m2}	18,387	0,127	18,121	18,653	144,840	p<0,001
Δt_2	4,551	0,508	3,488	5,614	8,958	p<0,001

A regressziós diagnosztika első lépésében a determinációs együttható érték becslése és szignifikanciájának tesztelését végeztük el. Mivel a determinációs együttható $R^2=0,998$ nagyon magasnak adódott, ezért a modell jól illeszkedik az adatokra, azaz az évek szignifikánsan korrelálnak a megépített zöldtetők területével ($R^2=0,998$; $p<0,001$). A második lépésben a paraméterek becslésére vonatkozó t-próbákat végeztem el. Az illesztő függvény egyenlete a következő (egyenlet (2)):

$$N(t) = \frac{129,025}{1 + \exp\left\{\frac{-\ln(1)}{2,825} - 11,006\right\}} + \frac{131,733}{1 + \exp\left\{\frac{-\ln(1)}{4,551} - 18,387\right\}} \quad \text{egyenlet (2)}$$

ahol,

$t = \text{év} - 1990$

Az eredmények alapján az együtthatók becslése szignifikánsnak adódott, mivel a számított értékek az alábbiak: $t_{\chi_1}(19) = 129,025$; $p<0,001$; $t_{\chi_2}(19) = 131,733$; $p<0,001$; $t_{m1}(19) = 11,006$; $p<0,001$; $t_{m2}(19) = 18,387$; $p<0,001$; $\Delta t_1(19) = 2,825$; $p<0,001$; $\Delta t_2(19) = 4,551$; $p<0,001$. Harmadik lépésben a modellre vonatkozó ANOVA-t végeztem el annak érdekében, hogy megállapítsam, hogy az értékek szóródását szignifikánsan magyarázza-e a modell. Az eredmények alapján a bi-logisztikus modell jól magyarázza a megépült intenzív zöldtetők értékeinek szóródását (variációját) ($F(6;19)=4635,961$; $p<0,001$) (42. táblázat).

42. táblázat. A bi-logisztikus modellre vonatkozó ANOVA

	Négyzetösszeg	Szabadsági fok	Átlagos négyzetes eltérés
Regresszió	577860,551	6	96310,092
Maradék	394,717	19	20,775
Korrekciónélküli teljes	578255,268	25	
Korrigált teljes	257893,404	24	

Függő változó: megépült intenzív zöldtető

a. $R^2 = 1 - (\text{Reziduumok négyzetösszeg}) / (\text{Korrigált négyzetösszeg}) = 0,998$.

A feltételvizsgálat során az eredmények alapján az évek nem korrelálnak a reziduumokkal. A teljes modellre vonatkozó t-próba is szignifikánsnak adódott ($t(6;19) = 50,32450254$; $p < 0,001$). A reziduumok normalitását, $\varepsilon_i \sim N(0;\sigma)$ a Kolmogorov-Smirnov és a Shapiro-Wilk teszttel bizonyítottam (43. táblázat).

43. táblázat. A normalitás tesztelése Kolmogorov-Smirnov és Shapiro-Wilk tesztekkel

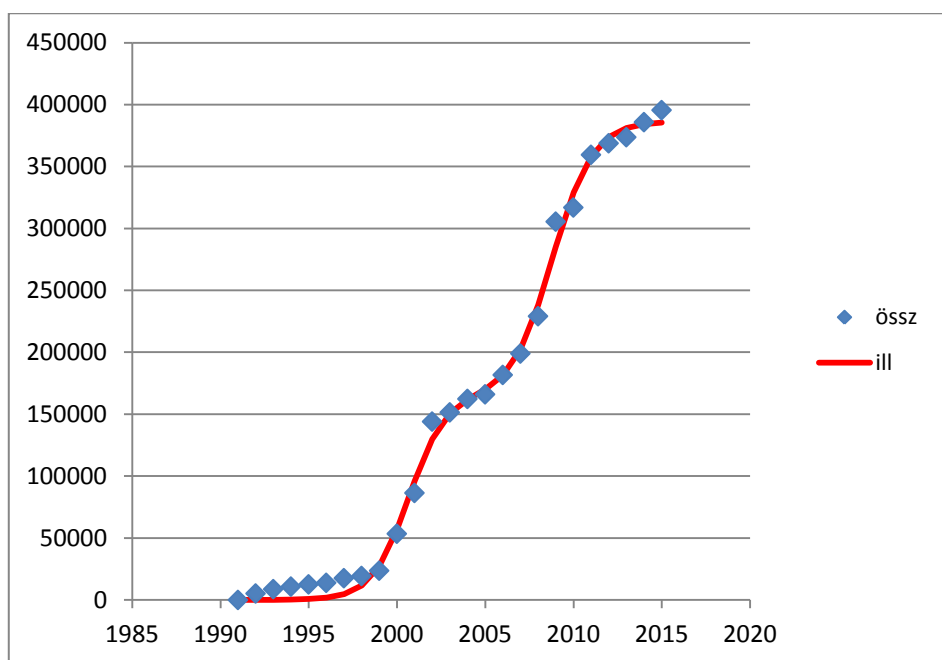
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	statisztika	szabadsági fok	szignifikancia	statisztika	szabadsági fok	szignifikancia
Reziduum	0,080	25	0,200*	0,972	25	0,709

* Ez az alsó korlátja a valódi szignifikanciának

a Lilliefors szignifikancia korrekció

5.4.3. Zöldtetőkataszter összes zöldtető mennyiségének statisztikai elemzése

A következőkben az összes zöldtető mennyiségi alakulásának matematikai modellezését mutatom be részletesen (1991-2015-ig 395678,6 m²). A pontok ábrázolásával feltételeztem, hogy az adatokra illesztendő görbe bi-logisztikus jellegű (Perrin, 1994) (109. ábra).



109. ábra. A megépült összes zöldtető mennyisége (m²) és az illesztett bi-logisztikus matematikai modell

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a megépített zöldtetők mennyisége (m²) különböző nagyságú ingadozást mutat a vizsgált időszakban (1991-2015). A zöldtetők Magyarországon a 1991-1999-ig terjedő időszakban viszonylag lassú, de folyamatos növekedést mutattak, egyfajta telítődési folyamat figyelhető meg ebben az időszakban. Ugrásszerű növekedés a 2000-2002-es, valamint a 2008-2009-es és 2011-es évek jelentették. A 2011 utáni években az építőipari recesszió folyamatosan tartó hatásai/következményei határozták meg a zöldtető építés keresleti oldalát. Az adatokra történő modell illesztését bi-logisztikus modell segítségével tettem meg (egyenlet (1)):

$$N(t) = \frac{\chi_1}{1 + \exp\left\{\frac{-\ln 2}{\Delta t_1} (t - t_{m_1})\right\}} + \frac{\chi_2}{1 + \exp\left\{\frac{-\ln 2}{\Delta t_2} (t - t_{m_2})\right\}} \quad \text{egyenlet (1)}$$

ahol $N(t)$ a zöldtetőfelület nagysága (ezer m²), χ_1 és χ_2 az első telítődésig, illetve az első telítődéstől a másodikig való emelkedés nagysága, t_{m_1} és t_{m_2} a két inflexiós pont helye, Δt_1 és Δt_2 az inflexiós pont és a telítődések közt eltelt idő.

A modell együtthatóinak a becslését az alábbi táblázat mutatja be (44. táblázat).

44. táblázat A megépült összes zöldtető mennyiségének modell együtthatóinak a becslése

paraméterek	becslés	standard hiba	konfidencia intervallum (95%) alsó korlát	konfidencia intervallum (95%) felső korlát	becslés/standard hiba (számított t)	szignifikancia szint
χ_1	165,091	10,522	143,068	187,115	15,689	p<0,001
t_{m1}	10,671	0,236	10,177	11,165	45,199	p<0,001
Δt_1	4,542	0,789	2,891	6,193	5,757	p<0,001
χ_2	221,342	14,017	192,005	250,680	15,791	p<0,001
t_{m2}	18,803	0,194	18,398	19,208	97,117	p<0,001
Δt_2	5,003	0,784	3,362	6,645	6,379	p<0,001

A regressziós diagnosztika első lépésében a determinációs együttható érték becslése és szignifikanciájának tesztelését végeztük el. Mivel a determinációs együttható $R^2=0,996$ nagyon magasnak adódott, ezért a modell jól illeszkedik az adatokra, azaz az évek szignifikánsan korrelálnak a megépített zöldtetők területével ($R^2=0,996$; $p<0,001$). A második lépésben a paraméterek becslésére vonatkozó t-próbákat végeztem el. Az illesztő függvény egyenlete a következő (egyenlet (2)):

$$N(t) = \frac{165,091}{1 + \exp\left\{\frac{-\ln 2}{4,54} \cdot (t - 10,671)\right\}} + \frac{221,342}{1 + \exp\left\{\frac{-\ln 2}{5,003} \cdot (t - 18,803)\right\}} \quad \text{egyenlet (2)}$$

ahol,

$t = \text{év} - 1990$

Az eredmények alapján az együtthatók becslése szignifikánsnak adódott, mivel a számított értékek az alábbiak: $t_{\chi_1}(19)=165,091$; $p<0,001$; $t_{\chi_2}(19)=221,342$; $p<0,001$; $t_{m1}(19)=10,671$; $p<0,001$; $t_{m2}(19)=18,803$; $p<0,001$; $\Delta t_1(19)=4,542$; $p<0,001$; $\Delta t_2(19)=5,003$; $p<0,001$. Harmadik lépésben a modellre vonatkozó ANOVA-t végeztem el annak érdekében, hogy megállapítsam, hogy az értékek szóródását szignifikánsan magyarázza-e a modell. Az eredmények alapján a bi-logisztikus modell jól magyarázza a megépült összes zöldtetők értékeinek szóródását (varianciáját) ($F(5;19)=1894,187$; $p<0,001$) (45. táblázat).

45. táblázat. A bi-logisztikus modellre vonatkozó ANOVA

	Négyzetösszeg	Szabadsági fok	Átlagos négyzetes eltérés
Regresszió	1137921,917	6	189653,653
Maradék	1902,356	19	100,124
Korrekciónélküli teljes	1139824,273	25	
Korrigált teljes	501879,197	24	

Függő változó: összes megépült zöldtető

a. $R^2 = 1 - (\text{Reziduumok négyzetösszeg}) / (\text{Korrigált négyzetösszeg}) = 0,996$.

A feltételvizsgálat során az eredmények alapján az évek nem korrelálnak a reziduumokkal. A teljes modellre vonatkozó t-próba is szignifikánsnak adódott ($t(6;19) = 75,67694$; $p < 0,001$). A reziduumok normalitását, $\varepsilon_i \sim N(0; \sigma)$ a Kolmogorov-Smirnov és a Shapiro-Wilk teszttel bizonyítottam (46. táblázat).

46. táblázat. A normalitás tesztelése Kolmogorov-Smirnov és Shapiro-Wilk tesztekkel

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	statisztika	szabadságfok	szignifikancia	statisztika	szabadságfok	szignifikancia
Reziduum	0,130	25	0,200*	0,965	25	0,534

* Ez az alsó korlátja a valódi szignifikanciának

a Lilliefors szignifikancia korrekció

A kataszter bejövő adatain alapuló bi-logisztikus matematikai modell elvben lehetőséget biztosít az értékek predikciójára. Azonban a jelenlegi tendenciákból becsülni felelőtlen lenne, mivel a jövő eseményei kevésbé becsülhetők meg pontosan a bemenő paraméterek változékony természete miatt, továbbá az sem igazolt, hogy a múlt tendenciái érvényességüket megtartják a jövőre vonatkozóan is.

6. Új tudományos eredmények

1. Vizsgálataimmal bizonyítottam, hogy az extenzív kísérleti körülmények között a *S. album*, *S. hybridum*, *S. spurium* fajok sztómáinak száma szignifikánsan nagyobb a kontroll fajokhoz viszonyítva.
2. Az extenzív kísérleti tetőn vizsgált *Sedum* fajok (*S. album*, *S. hybridum*, *S. reflexum*, *S. spurium*) antioxidáns kapacitásait több analitikai módszer együttes alkalmazásával jellemeztem. A módszerek konszenzusa alapján egyértelmű sorrendet azonosítottam: *S. hybridum*, *S. spurium*, *S. reflexum*, *S. album*. A hasonló elven működő antioxidáns kapacitást mérő módszerek között igen erős szignifikáns korrelációt azonosítottam (FRAP–CUPRAC (0,958), FRAP–TPC (0,881), CUPRAC–TPC (0,814)).
3. Kísérleteimmal elsőként igazoltam, hogy a vizsgált *Sedum* fajok (*S. album*, *S. hybridum*, *S. reflexum*, *S. spurium*) növekedése a vizsgált közegkeverék és vastagság kombinációkon nem lineáris regressziós modellek alapján írhatók le. Minden közegkeveréknek minden faj esetén szignifikáns hatása van a növekedés sebességére. A közegkeverékeknek szignifikáns hatása van a fajok növekedési méretére (átmérő), kivéve a *Sedum spurium* esetén. A közegkeverék vastagságoknak nincs szignifikáns hatása a növekedés sebességére.
4. Bizonyítottam, hogy a csurgalékvizek elemanalitikai vizsgálatainak SRD módszerrel történő kombinálásával szignifikáns rangsor határozható meg a környezet terhelés mértéke alapján. Az újonnan létrehozott extenzív zöldtető közegkeverékein átfolyt első csurgalékvizek környezet terhelése nagyobb, mivel a 3 évvel később már a közegkeverékek szűrőhatásai válnak dominánssá.
5. Kísérleteimmal igazoltam, hogy a vízviasszatartás nagyban függ a közegkeverékek alkotóelemeitől, a közegkeverékek vastagságától és a szezonalitástól. Bizonyítottam, hogy a vizsgált közegek tömörödése úgynevezett lebomlási modellek alapján írhatók le. A tömörödéseket leíró statisztikai modellillesztések, a modell együtthatóinak becslése, a regressziós diagnosztika és feltételvizsgálatok megfelelőnek bizonyultak.
6. Kutatásom során létrehoztam a Magyarországon megépült zöldtetők kataszterét. A kataszter elemzése alapján összesen 395678,6 m² zöldtető épült meg (extenzív 134251,9 m², intenzív 261426,7 m²) a vizsgált 1991-2015-ig terjedő időszakban. Igazoltam, hogy a zöldtető építés mennyiségi alakulásának leírására bi-logisztikus matematikai modellek a megfelelőek.

7. Következtetések és javaslatok

Összességében megállapítható, hogy az extenzív körülmények között a *Sedum hybridum*, *Sedum album*, *Sedum spurium* sztómáinak átlagos száma jellemzően szignifikánsan magasabb volt, mint a kontroll, szabadföldi körülmények között levő kontroll növényeké. Annak megállapítására, hogy a levél vagy a szár szöveti felépítése statisztikailag igazolható módon megváltozik-e extenzív körülmények között adott *Sedum* faj esetében, ahhoz több helyszínen, párhuzamosan egyszerre, a statisztikai mintavétel jó gyakorlatait figyelembe véve szükséges elvégezni.

A színanyagok mérésével jellemző mintázatot azonosítottam a vizsgált *Sedum* fajoknál. A legnagyobb mennyiségűnek a klorofill-a, klorofill-b, majd karotinoid tartalom adódott. A fajokra vonatkozó tendenciákat megvizsgálva jellemző sorrend alakult ki a legnagyobbtól kezdve: *S. hybridum*, *S. spurium*, *S. album*, *S. reflexum*. A *S. hybridum* kontrollnak a klorofill-a értéke adódott szignifikánsan ($\alpha=0,05$) a legmagasabbnak. A mért értékek alapján a *S. hybridum* K4 mintája rendelkezett a második legtöbb klorofill-a tartalommal, valamint a legnagyobb növekedési sebességgel és átmérővel a különböző közegkeverékek kombinációkon.

Az eredményeimet a nemzetközi szakirodalmi adatok megerősítik, mivel a klorofill-a tartalom mellett, hogy faji adottság, a növény jó fiziológiai állapotát jelzi (Lichtenthaler, 1998). A klorofill tartalom szorosan összefügg a növényzet nitrogéntartalmával, így kapcsolatban van a fotoszintézissel (Evans, 1989). A fotoszintetikus aktivitás pedig meghatározza a biomasza-termelést (Ramachandra és Das, 1986). A *S. hybridum* kontroll mintájához képest az extenzív tetőn a vízhiány okozta stressznek kitett növények leveleinek klorofill tartalma jellemzően kisebb (Gupta és Berkowitz, 1988).

A kísérleti tetőn vizsgált *Sedum* fajok antioxidáns anyagait több analitikai módszerrel jellemeztem. A hasonló elven működő antioxidáns kapacitást mérő módszerek között igen erős szignifikáns korrelációt azonosítottam a FRAP–CUPRAC (0,958), FRAP–TPC (0,881), CUPRAC–TPC (0,814) között. A módszerek konszenzusa alapján bizonyítottam, hogy a fajokra vonatkozóan az alábbi mintázat adódott a legmagasabb antioxidáns kapacitású fajtól kezdődően: *Sedum hybridum*, *Sedum spurium*, *Sedum reflexum*, *Sedum album*. A *Sedum* fajok antioxidáns kapacitása feltehetőleg szoros összefüggésben van a fajok szárazságtűrésével. Ennek a tudományos kérdésnek a megalapozott megválaszolására egy olyan kísérleti kiosztást javaslok a későbbiekben, amelyben egy aszályos időszak előtt és után is lemérnénk több ismétlésben, több módszerrel az antioxidáns kapacitást. Ahol a változás önmagához képest a legkisebb (relatív a legkisebb) arra a növényre van a legkisebb hatása az aszály stressz tényezőjének. Általánosságban saját kísérletem alapján a *Sedum album*-nak a legjobb a stressztűrése, mert neki van a legalacsonyabb antioxidáns kapacitása.

Az általam elvégzett antioxidáns mérési megközelítésnek a legnagyobb előnye az, hogy átfogó képet kapunk, több módszerrel történő mérés esetében pedig valószínűleg valamennyi, eltérő karakterisztikájú molekula hatását detektáljuk. Hátránya ugyanakkor, hogy a változások hátterében

lévő molekulát/molekulákat nem tudjuk biztosan azonosítani, csupán előzetes ismereteink alapján következtethetünk arra, hogy mely anyag mennyiségi változása állhat a rendszer antioxidáns kapacitásának változása mögött. További kutatásokban célszerű lenne ezeket más elveken alapuló antioxidáns kapacitás mérési módszerekkel összehasonlítani. A részletesebb elemzésbe célszerű a későbbiekben kapcsolatanalitikai rendszerekkel történő elemzéseket elkészíteni, többek között a polifenolok elválasztására és azonosítására megfelelő szelektivitást biztosító HPLC-DAD-ESI-QTOF rendszerrel, polifenolok standard vegyületek alkalmazásával.

A további kísérletekben célszerű a vizsgált fajokkal kapcsolatban az enzimátikus védelmi rendszert is feltárni.

Munkámban bizonyítottam, hogy a vizsgált fajok (*Sedum album*, *Sedum hybridum*, *Sedum reflexum*, *Sedum spurium*) növekedési üteme nem lineáris lefutású, amely a modell paramétereinek alakulásától függenek: p_1 indulási érték (növényátmérő cm), a p_2 növekedés a telítődésig, p_3 a növekedés sebessége. Mivel a p_1 telepítéskori növényátmérők nagyon hasonlóak voltak, ezért az egyes fajok a telítődésig történő növekedésben (p_2) és a növekedés sebességében különböznek (p_3). A legnagyobb növekedési ütemmel és legnagyobb átmérővel a *Sedum hybridum* és *Sedum album* jellemezhető. A K1 és K4-es közegkeverékeken közegvastagságtól függetlenül 20 hónap alatt érték el a teljes borítottságot. Fontos ugyanakkor, hogy mind a négy közegkeverék típuson a *Sedum hybridum* és *Sedum album* erős gyomelnyomóképességgel bírt. Én a *Sedum hybridum*-ot javasolnám, mivel magasabb, robosztusabb felépítésű, széles lapos leveleivel zöldtömege is többszöröse a *Sedum album* faj növényeiéhez képest. Ez az eredmény rámutat arra, hogy adott közegkeverékek mellett ezt a két fajt célszerű választani. Természetesen további kutatásokat igényel az, hogy Magyarországon más klimatikus feltételek között is ez a két faj teljesít-e a legjobban. Tanulságos, hogy a növekedés ütemét a közegkeverékek vastagsága nem befolyásolta szignifikánsan. Ennek az lehet az oka, hogy az extenzív zöldtetőket a gyakorlatban akár 15 évnél is több időre tervezik, ezért ennek a kérdésnek a megalapozott vizsgálatára 3 évnél hosszabb távú kísérletsorozatokot kell beállítani és újra vizsgálni statisztikai módszerekkel megalapozottan a közegkeverék vastagságának hatását.

A csurgalékvizek elemanalitikai meghatározása kulcs fontosságú annak eldöntésére, hogy a zöldtetők csurgalékvizei mennyire szennyezik/szűrik a tetőre hulló csapadékot. Az első csurgalékvíz és a három évvel későbbi csapadékvíz eredményei alapján megállapítható, hogy a szennyezés szinte minden esetben csökkent, a szűrés túlnyomórészt nőtt. Jól mutatja ugyanakkor a közegkeverék vastagság hatását, hogy ugyanazon a közegkeveréken de vékonyabb közegkeveréken a megszűrt elemek mennyisége kisebb, tehát célszerűbb az extenzív zöldtetőnek emiatt is vastagabb közegvastagságot választani. Kutatásomban elsőként bizonyítottam, hogy a csurgalékvizek elemanalitikai vizsgálatainak eredményeinek rangszám-különbségek összege (*Sum of Rank-Difference*, *SRD*) módszerrel történő kombinálásával szignifikáns rangsor határozható meg a környezet terhelés mértéke alapján. A két időpont SRD eredményeit tekintve a szignifikáns rangsorban ellentétes mintázatokat azonosítottam. Míg a telepítéskor a V2K3 és a V2K2 közegkeverék csurgalékvizek elemanalitikai összetétele hasonlít leginkább az esővíz elemanalitikai

összetételére, addig a vizsgálat végére a legkevésbé, mivel a közegkeverék komponensei főleg lassan feltáródó, víz hatására fokozatosan kioldódó anyagokat tartalmaztak.

Kísérleteim során bizonyítottam, hogy a vízvisszatartás elsősorban a szezonitástól, másodsorban a közegkomponensek víz felvevő és megtartó képességétől, harmadsorban a közegkeverékek vastagságától függ. Minél több szervesanyagot tartalmazott az egyes közegkeverék, annál nagyobb volt a vízvisszatartása (vegetációs időszakban: V1K3→37%, V2K4→68%, nyugalmi időszakban: V1K3→7%, V2K4→28%). Több nemzetközi kutatás felhívja a figyelmet arra, hogy az extenzív zöldtetőn alkalmazott fajok csak minimális mértékben járulnak hozzá a vízvisszatartáshoz. A zöldtetőn alkalmazott egyes fajok vízvisszatartásban betöltött szerepe ebben a kísérleti kiosztásban külön-külön nem vizsgálható, mivel mindegyik parcellában mindegyik *Sedum* faj 9 ismétlésben szerepelt.

Az extenzív zöldtetőn levő növények tápanyagfelvételét nagyban befolyásolja a közegkeverék pH-ja. Általában semleges pH közelében (7,2-6,8) jól felvehetők a tápanyagok. Az eredmények rámutattak a közegkeverékek elsavanyosodásának tendenciáira. A jövőben célszerű a kísérletet folytatni, hogy ez a tendencia meddig folytatódik, illetve a növények hogyan reagálnak erre a kedvezőtlen folyamatra. A zöldtetőépítés gyakorlatában a szakemberek által gyakran felhozott probléma a közegkeverékek elsavanyosodása. A probléma kezelésének fontos alapja a talajok sav-bázis pufferképességének jobb megismerése, megértése. Nagy pufferkapacitású közegkomponensek alkalmazásával, savanyosodásra kevésbé hajlamos komponensek használatával. Kertészeti kultúrákban talaj elsavanyosodással szemben sikerrel alkalmazzák a meszes kezelést. Potenciálisan megoldás lehet zöldtetőkön való alkalmazásra, de ezzel kapcsolatos publikált eredményt nem találtam.

A cink-, réz-, mangán- tartalom azért tudott jellemzően a közegkeverékek esetében növekedni, mivel ezek a kationok csoportjához tartozó mikroelemek közönséges sói a talajoldatokban kevésbé oldhatók, így a növények számára hozzáférhetetlenek. A nagy makroelemek (P, K, Mg) csökkenése a növények számára történő könnyű felvehetőséget, vagy oldhatóságot jelentette. Ezek a módosulások felhívják a figyelmet arra, hogy az extenzív tetőn levő közegkeverékek kémiai paraméterei módosulnak, amelyet célszerű figyelembe venni és a gyakorlatban alkalmazni.

A K3-as közegkeverék magas nátrium koncentrációval jellemezhető. A magas nátrium koncentráció összességében csökkenti a növekedés dinamikáját és a növény átmérőjének nagyságát. A fajok különbözőképpen toleránsak a magas nátrium koncentrációval szemben a *Sedum album* és *Sedum hybridum* esetében közegvastagságtól függetlenül a K3 magas nátrium tartalmú közegkeveréken fejlődtek a leglassabban és nőttek a legkisebbre. A *Sedum reflexum* és *Sedum spurium* esetében is ugyanez érvényesül, csak enyhébb formában. Feltehetően jobban tolerálják a magas nátrium tartalmat.

A zöldtetők egyik fontos paramétere a közegkeverékek tömörödése, mivel a közegek tömörödésével a fizikai szerkezet módosul. Kutatásomban bizonyítottam, hogy a vizsgált közegek tömörödése úgynevezett lebomlási modellek alapján írhatók le, egymástól a tömörödés ütemében,

azaz a görbe lefutásának meredekségében különböznek. A kisebb telepítéskori vastagság tömörödési üteme minden esetben lassabb és értékbeli tömörödése is kisebb. Célszerű a továbbiakban ezeket a közegeket tovább monitorozni, hogy választ kapjunk arra, hogy meddig tart ez a csökkenési ütem, és hosszútávon 10-15 éves időtartamra milyen lesz a csökkenési görbe lefutása és üteme. A tömörödést igazolják a talajfizikai mérések eredményei is. A leiszapolható rész növekedése rámutat arra, hogy az évek alatt a közegkeverékek mechanikai összetétele változik, a 0,02 mm és annál kisebb szemcsék %-os mennyisége növekszik. Ezzel párhuzamosan a csökkenő kapilláris vízemelés (5h, mm) viszont arra figyelmeztet, hogy a közegkeverékek hajszálcsoveiben végbemenő vízháztartását és vízfelvételét rontja. A kötöttség jellemzően mindenhol növekedett. Általában a kötöttségi szám a talajok agyagtartalmával van leginkább összefüggésben azonban a vizsgált közegekben a növekedés nem az agyagtartalom növekedéssel van összefüggésben, hanem a közegkeverékek tömörödésével.

Összefoglalóan a közegek többszemponútú (növekedés, csurgalékvizek környezetterhelése, csapadékvíz visszatartás stb.) értékelése alapján a következők állapíthatók meg: a növények a K4-es közegkeveréken közegvastagságtól függetlenül a legnagyobb növekedési üteműek és legnagyobb átmérőjűek voltak. A csurgalékvizek környezetterhelése szempontjából a vizsgálat végére a V2K4 közegvastagság és közegkeverék kombinációja állt legközelebb az esővíz elemanalitikai összetételéhez. A csapadékvíz visszatartás szempontjából egyértelműen a V2K4 15 cm-es közegvastagságú keverék tartotta vissza a legtöbb csapadékot. Összességében a V2K4 közegkeverék a legideálisabb választás ezen paraméterek, környezeti tényezők és vizsgált időszakra vonatkozóan.

Az elmúlt több mint két évtized alatt csak néhány kezdeményezés történt a zöldtetők rendszerezésével, számbavételével kapcsolatban. Mind a megrendelők, mind a tervező-kivitelező szakemberek, mind a jogalkotók által jogos igényként jelentkezett az, hogy reális képet kapjanak a már megépült zöldtetőkkel kapcsolatban, hiszen csak ennek ismeretében lehet jól átgondolt szabályozási és ösztönzési rendszert kialakítani. Kutatásomban létrehoztam a magyarországi zöldtetők katasztert. A kataszter elemzése alapján összesen 395678,6 m² zöldtető épült, amelyből 134251,9 m² (33,92%) extenzív zöldtetőként, míg 261426,7 m² (66,08%) intenzív zöldtetőként valósult meg. Az eredmények alapján az extenzív zöldtetők mennyisége az intenzív zöldtetőkhöz képest a fele nagyságú. Ezek az arányok első megközelítésben ellentmondásosok, mivel az extenzív tető az intenzív tetőhöz képest köztudottan kisebb beruházás igényű – kisebb rétegvastagságú, kisebb tömegű, kisebb teherhordású tetőt igényel öntözőberendezés nélkül –, valamint minimális fenntartás igényvel rendelkezik (Hidy et al. 1995). Ezt az ellentmondást oldja fel az OTÉK 5. melléklete, melynek értelmében a „8-20 cm termőréteg, vagy könnyített szerkezetű talaj (szubsztrát), egyszintes növényállományú, extenzív zöldtető” mindösszesen csak 15%-ban számítható be a zöldfelület visszapótlásakor, szemben az intenzív zöldtetők 40-75%-os arányával. A gyakorlatban igazolt, hogy a nagyvárosokban a lakóparkok és irodaházak tervezésénél kulcsfontosságú a helykihasználás maximalizálása, amely az intenzív zöldtető megépítését helyezte előtérbe.

A kataszter jelenleg az alap információkat tartalmazza a megépült zöldtetőkről (tervező, kivitelező, beruházó, helyszín, típus, méret, építés éve, öntözöttség, karbantartás). A kialakított adatbázis nagy előnye, hogy további igényeknek megfelelően további kutatásokban bővíthető, többek

között az alábbiakkal: beruházás és fenntartás összege, élettartam, energia megtakarítás, közegevastagság, közeg tömege, közeg szerkezetstabilitása, vízmegtartás, alkalmazott fajok, fajok versengése és fajok területének alakulása, gyomfelvételezés, betelepült fajok meghatározása, állapotfelmérés, nettó zöldterület meghatározása, vízvisszatartás stb. Az, hogy mivel bővüljön az adatbázis célszerű szakértői konszenzusra törekedni. A kialakított kataszter hátránya, hogy a mérésbe bekerülő cégek mellett is feltehetően voltak/vannak olyan cégek amelyek zöldtetőket építettek Magyarországon, valamint az, hogy jelenleg önkéntes alapon működik, tehát aki nem akar/tud információt szolgáltatni annak megépített tetője nem szerepel a rendszerben. Ennek megoldása lehet a cégek motivációjának kialakítása/javítása, amely hatékonyan megvalósulhat szabályzók alkalmazásával vagy közös érdekek mentén. A kataszteri információk pontossága tovább javítható az önkormányzati zöldtetőépítési engedélyek adatainak integrálásával, valamint a bevalláson alapuló adatainak ellenőrzésével helyszíni szemlével kombinálva. A munka gyakorlati kivitelezésébe célszerű bevonni a ZÉOSZ munkatársait.

A zöldtetők energetikai, vízfelhasználási, gazdasági, ökológiai, tájlesztettkai hatásai ismertek a szakemberek előtt. A nagyobb arányú hazai elterjedéshez célszerű integrálni a nemzetközi ösztönző rendszerek tapasztalatait, amely jellemzően vagy közvetlen anyagi támogatás, vagy közvetett anyagi támogatás, vagy kötelező jogi előíratokon alapul. A mennyiség mellett a minőség szempontjait is szükséges hangsúlyozni, amelyben a kivitelező mellett kulcsszerpet kap a minőségellenőr. Sajnos a megvalósult tetők minőségét hátráltatja az a tény, hogy az átvételben kulcsszerepet vállaló műszaki ellenőrök csak építészmérnök végzettséggel rendelkezhetnek az előírások alapján, tehát lényegében nem rendelkeznek növénytani, növény-élettani, dísznövény kertészeti, botanikai és tájökológiai ismeretekkel. Ennek megoldására javaslom a szabályozás megváltoztatást, valamint a zöldtető építésre specializált képzés elindítását.

8. Összefoglalás

A globális tendenciák negatív hatásai a városokban egyre inkább kifejeződnek (hősziget, füstkupola, fokozódó légszennyezés, növekvő szállópor koncentráció, kisebb párolgás, hektikus időjárási viszonyok stb.). A városokban – a túlzott beépítés, a fokozódó széttelepülési formák, különböző infrastrukturális beruházások területigénye és a művi elemek túlsúlya miatt – a zöldfelületek szerepe felértékelődött. A zöldtetők multifunkcionális előnyei miatt a városi klíma negatív hatásainak csökkentésének érdekében zöldtetőket létesítenek itthon és a világ különböző régióiban.

PhD dolgozatom fő célkitűzése az extenzív zöldtetőépítés gyakorlatában alkalmazott egyes *Sedum* fajok integrált szemléletű komplex értékelése hazai környezeti feltételek között.

Magyarországon jelenleg hiányoznak a tudományosan felépített, és statisztikai módszerekkel elemzett és bizonyított hosszútávú kísérletsorozatok, ezért legáltalánosabban csak más klímájú külföldi tapasztalatokra lehetett eddig hagyatkozni. Az extenzív zöldtetők öntözés, tápanyag utánpótlás, gyomritkítás, gyomirtás nélküliek. Az extenzív zöldtetőn alkalmazott fajoknak komplex szempontrendszernek kell megfelelni – szárazságtűrés, sugárzástűrés, fagyállóság, szennyeződéstűrés, szélstabilitás, rövid gyökerűség stb. – ezért értékelésüket is csak komplex módon, interdiszciplináris megközelítésben szükséges megtenni.

Vizsgálataimmal bizonyítottam, hogy a kísérleti tetőn alkalmazott *Sedum album*, *Sedum hybridum*, *Sedum reflexum*, *Sedum spurium* fajok 3 éven keresztül extenzív körülmények között a szár szöveti felépítése megváltozik és a sztómák száma is szignifikánsan magasabb lett a *Sedum album*, *Sedum hybridum*, *Sedum spurium* fajok esetében a kontroll fajokhoz képest. A növények szárazságtűrésében segíthet a hőmérséklet szabályozás. A megfelelő növényi redox rendszer kulcsfontosságú a biotikus és abiotikus stresszfaktorokhoz történő adaptációhoz. Ennek fontos része az úgynevezett szabadgyök-antioxidáns rendszer. Számos reakció során ugyanis párosítatlan vegyértékelektronokkal rendelkező vegyület keletkezik, melyek instabilitásuk folytán potenciális veszélyt jelentenek a biológiailag fontos molekulákra.

A kísérleti tetőn vizsgált *Sedum* fajok antioxidáns anyagait több analitikai módszerrel jellemeztem. A hasonló elven működő antioxidáns kapacitást mérő módszerek között igen erős szignifikáns korrelációt azonosítottam a FRAP–CUPRAC (0,958), FRAP–TPC (0,881), CUPRAC–TPC (0,814) között. A módszerek konszenzusa alapján bizonyítottam, hogy a fajokra vonatkozóan az alábbi mintázat adódott a legmagasabb antioxidáns kapacitású fajtól kezdődően: *Sedum hybridum*, *Sedum spurium*, *Sedum reflexum*, *Sedum album*.

Bizonyítottam, hogy a vizsgált fajok növekedése a vizsgált közegkeverék és vastagság kombinációkon nem lineáris regressziós modellek alapján írható le. A fajok növekedési ütemét a telepítéskori méret, az egyes fajok a telítődésig történő növekedése és a növekedés sebessége határozta meg. Kutatásomban igazoltam, hogy minden közegkeveréknek minden faj esetén szignifikáns hatása van a növekedés sebességére. A közegkeverékeknek szignifikáns hatása van a fajok növekedési méretére (átmérő), kivéve a *Sedum spurium* esetén. A közegkeverék vastagságoknak nincs szignifikáns hatása a növekedés sebességére.

Kutatásom során gyomfelvételezéssel meghatároztam a kísérleti tetőn előforduló gyomokat, valamint monitoroztam a borítottság mértékét. Kísérletemben igazoltam, hogy a gyomnövények felületi borítottságának (%) aránya a tavaszi időszakban jellemzően magasabb az őszi időszakhoz viszonyítva. Méréseimmel bizonyítottam, hogy a vastagabb közegkeverékeken nagyobb a gyomborítottság mértéke, ugyanakkor a közegkeverékek közegkomponenseinek van leginkább hatása a gyomnövények felületi borítottságára.

A zöldtetőkkel kapcsolatban kulcsfontosságú a csurgalékvizek minőségi és mennyiségi jellemzése. A csurgalékvizek elemanalitikai (ICP/OES, ICP/MS) vizsgálataival bizonyítottam, hogy az újonnan létrehozott extenzív zöldtető közegkeverékein átfolyt első csurgalékvizek környezet terhelése nagyobb, mivel a három évvel később már a közegkeverékek szűrőhatásai válnak dominánssá. A megszárt elemek alapján bizonyítottam a vastagabb közegek nagyobb szűrőkapacitását. A rangszám-különbségek összege (*Sum of Rank-Difference, SRD*) módszerének segítségével a csurgalékvizek elemanalitikai vizsgálatainak eredményeiben szignifikáns rangsor határozható meg a környezet terhelés mértéke alapján.

A kísérletemben igazoltam, hogy a vízvisszatartás mértéke nagyban függ a közegkeverékek alkotóelemeitől, a közegkeverékek vastagságától és a szezonalitástól. Kísérleteimmel alátámasztottam, hogy az ugyanolyan összetételű, de kisebb vastagságú (10 cm) közegkeverék vízvisszatartási hányada (%) kevesebb, míg a nagyobb vastagságú (15 cm) közegkeverék vízvisszatartási hányada (%) nagyobbak adódott minden esetben. A vizsgált közegkeverékek fizikai és kémiai profilját meghatároztam. Bizonyítottam, hogy a vizsgált közegek tömörödése úgynevezett lebomlási modellek alapján írható le.

Magyarországon az első zöldtető 1991-ben épült meg. Az elmúlt több mint két évtized alatt csak néhány kezdeményezés történt a zöldtetők rendszerezésével, számbavételével kapcsolatban. Mind a megrendelők, mind a tervező-kivitelező szakemberek, mind a jogalkotók által jogos igényként jelentkezett az, hogy reális képet kapjanak a már megépült zöldtetőkkel kapcsolatban, hiszen csak ennek ismeretében lehet jól átgondolt szabályozási és ösztönzési rendszert kialakítani. Kutatásom során ezért létrehoztam a Magyarországon megépült zöldtetők kataszterét. A kataszter elemzése alapján összesen 395678,6 m² zöldtető épült, amelyből 134251,9 m² (33,92%) extenzív zöldtetőként, míg 261426,7 m² (66,08%) intenzív zöldtetőként valósult meg. A zöldtető építések mennyiségi alakulását matematikai modellekkel jellemeztem.

9. Summary

Due to climate change, urbanization and population explosion, the traditional natural ecosystems are being replaced by artificial ones. The negative effects of the global tendencies are increasingly expressed in cities (heat island, dust dome, growing air pollution and airborne dust concentration, decreased transpiration, hectic climatic conditions etc.). Because of the high number of buildings, the different infrastructural developments and the ratio of artificial elements, the value of green areas has increased. Since green roofs have multifunctional benefits, more and more are being built in Hungary and in other regions of the world to eliminate the negative effects of urban climate.

The main goal of my PhD thesis is to give an integrated and complex evaluation of the *Sedum* species applied on green roofs in Hungary, under Hungarian conditions.

Previously there were no extensive, scientifically accurate and statistically evaluated experiments conducted in Hungary, thus the only available data derived from other countries with climates different than ours. Extensive green roofs lack irrigation, fertilization or weeding. The species used on extensive green roofs have to meet numerous requirements. They have to be drought, radiation and frost resistant, they have to bear pollution and wind and they need to have short roots. That is why the evaluation of such species can only be done in a complex, interdisciplinary manner. With my work I have proven that in the course of 3 years, the tissue structure of the species (*Sedum album*, *Sedum hybridum*, *Sedum reflexum*, *Sedum spurium*) applied on the experimental roof has changed, and the number of stomata became significantly higher than those of the control species in case of *Sedum album*, *Sedum hybridum* and *Sedum spurium*. Temperature regulation aids the drought resistance of plants.

A proper redox system is a key factor in the process of adapting to biotic and abiotic stress. One important element of this complex is the free radical antioxidant system. In many reactions certain unstable compounds are produced which potentially endanger biologically significant molecules. I analyzed the antioxidants of the species grown on the experimental roof with different methods. I have identified a strong significant correlation between FRAP–CUPRAC (0,958), FRAP–TPC (0,881), CUPRAC–TPC (0,814) methods, which are antioxidant capacity determination methods based on similar principles. Due to this fact I demonstrated the following ranking of the species beginning with that of the highest antioxidant capacity: *Sedum hybridum*, *Sedum spurium*, *Sedum reflexum* and *Sedum album*. I found that the growth rate of the tested species on the different substrate mixes and substrate thicknesses can be characterized with nonlinear regression models. The growth rate of the species was determined by the initial size, the final size and the growth speed. I proved that each substrate mixture have a significant effect on the growth speed of each species. They also have a significant effect on the size (diameter), with the exception of *Sedum spurium*. The thickness of the substrate layer however did not affect the growth speed significantly.

In my experiment I have monitored the occurring weeds and the ratio of the surface they covered. I determined that this ratio is typically higher in the spring period compared to the autumn

season. I found that the weed ratio is higher in case of a thicker substrate layer, but the components of the substrate had a stronger effect. When characterizing green roofs, the quality and quantity of leachate is a crucial element.

Laboratory analysis (ICP/OES, ICP/MS) of the leachates showed that the water flowing through the substrates of a newly built extensive green roof have a stronger negative impact on the environment, since the filter effect of the substrate becomes dominant only after three years. I found thicker substrate layers to be more effective in filtering. Using the *Sum of Rank-Difference (SRD)* method a significant rank can be determined based on the leachate analysis, which implements the level of exposure of the environment.

With my experiments I proved that the water retention capacity is mainly determined by the composition and the thickness of the substrates and by seasonalisation. I demonstrated that the substrate with the same composition but applied in a thinner layer (10 cm) can be characterized with a lower water retention capacity (%) than that substrate which was applied in a thicker layer (15 cm). I have also identified the physical and chemical profile of the tested substrates. I found that the compression of the substrates can be demonstrated by a so called degradation model.

In Hungary the first green roof was built in 1991. Only a few attempts were made to organize and register the green roofs in the past two decades. There is a rightful demand from the customers, the designers, the contractors and from the legislative authorities as well to see the current situation of the existing green roofs, since an effective regulation and incentive system can only be based on such database. Therefore I have prepared the register of green roofs built in Hungary. This register shows that a total of 395678,6 m² green roof was built, from which 134251,9 m² (33,92%) is extensive green roof and 261426,7 m² (66,08%) is intensive green roof. I modeled the green roof developments with mathematical methods.

Mellékletek

M1. Felhasznált irodalom

1. Abrankó, L. Dernovics, M., Fodor, M., Gyepes, A., Jókainé, Zs., Woller, Á (2013): Budapest, Budapesti Corvinus -Egyetem, Hagyományos, gyors és automatizált módszerek alkalmazása élelmiszerek kémiai vizsgálatára
2. (http://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop425/0011_2A_3_modul/724/index.html)
3. Akbari, H., Pomerantz, M., Taha, H. (2001): Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, 70(3), 295–310. [http://dx.doi.org/10.1016/s0038-092x\(00\)00089-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0038-092x(00)00089-x)
4. Anda, A. (2010): A napsugárzás és szerepe. in: Anda, A. és Kovács, T. (szerk.): Agrometeorológiai és klimatológiai alapismeretek. p. 75-97.
5. Ansel, W., Appl, R. (2012): Green roof policies – an international review of current practices and future trends – International Green Roof Association
6. Antrop, M. (2004). Landscape change and the urbanization process in Europe. *Landscape and Urban Planning*, 67(1–4), 9–26. [http://dx.doi.org/10.1016/s0169-2046\(03\)00026-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0169-2046(03)00026-4)
7. Apak R., Guclu K., Demirata B., Ozyurek M., Celik S. E., Bektasoglu B., Berker K. I. és Ozyurt D. (2007): Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules*, (12):1496-1547.
8. Balogh, E. (2010): Antioxidáns kapacitás meghatározása és ennek kialakításában szerepet játszó vegyületek vizsgálata bogyós gyümölcsök esetében. Budapesti Corvinus Egyetem, PhD értekezés. 38.
9. Balogh, P. I., Bede-Fazekas, Á., Dezsényi, P. (2013): Ökológikus növényalkalmazás és biodiverz zöldtető kialakítása a budapesti Green House irodaház tetőkertjénél. 4D Tájépítészeti és Kertművészeti folyóirat 8 (2) pp. 2-23.
10. Banting, D., Doshi, H.H., Li, J., Missios, P. (2005): Report on the Environmental Benefits and Costs of Green roof technology for the city of Toronto. City of Toronto and Ontario Centres for Excellence — Earth and Environmental Technologies, Toronto.
11. Bárány, L. (szerk.) (2003): Magyar nagylexikon XVI. Budapest: Magyar Nagylexikon. 624–625. ISBN 963925715X)
12. Bard, Y. (1974): Nonlinear parameter estimation. New York, Academic Press.
13. Beattie, D., Berghage, R. (2004): Green roof media characteristics: The basics. Paper resented at the Second Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference,Awards and Trade Show; 2–4 June 2004, Portland, Oregon.
14. Benzie, I. F., Strain, J. J. (1996): The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Anal Biochem* 239 (1), 70-76
15. Berger, A. (1930): Crassulaceae. In: Engler, A., Prantl, K. (Eds.), *Die Natürlichen Pflanzenfamilien*, second ed., vol. 18A. pp. 352-483.

16. Berghage, R.D., Jarrett, A.R., Beattie, D.J., Kelley, K., Husain, S., Rezaei, F., Long, B., Negassi, A., Cameron, R., Hunt, W.F. (2007): Quantifying Evaporation and Transpirational Water Losses from Green Roofs and Green Roof Media Capacity for Neutralizing Acid Rain. National Decentralized Water Resources Capacity Development Project. Penn State University, University Park, Pennsylvania.
17. Borhidi, A. (1995): A zárvatermők fejlődéstörténeti rendszertana. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
18. Bottyán Zs. (2009): A városi hősziget, mint a települések lokális klímájának markáns sajátossága. *Hadmérnök*, 2, 144-156.
19. Bottyán, Zs., (2008): Az átlagos maximális hősziget-intenzitás statisztikus modellje Szegeden és Debrecenben. Ph.D. értekezés. Szeged.
20. Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C (1995): Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 28.25-30
21. Briggs, D., Smithson, P., Addison, K., Atkinson, K. (1997): *Fundamentals of the Physical Environment*. 2nd edition. Routledge. 557p. ISBN 0-415-10890-X hbk, 0-415-10891-8 pbk.
22. Bruse, M., Skinner, C.J. (1999): Rooftop greening and local climate: a case study in Melbourne. In: *Proceedings International Conference on Urban Climatology and International Congress of Biometeorology*, November 8–12, 1999, Sydney, Australia.
23. Butler, C., Butler, E., Orians, C.M. (2012): Native plant enthusiasm reaches new heights: perceptions, evidence, and the future of green roofs. *Urban Forestry and Urban Greening* 11, 1–10.
24. Butler, C., Orians, C.M. (2011): Sedum cools soil and can improve neighboring plant performance during water deficit on a green roof. *Ecol. Eng.* 37 (11), 1796–1803.
25. Castillo, F.J. 1996. Antioxidative protection in the inducible CAM plant *Sedum album* L., following the imposition of severe water stress and recovery. *Oecologia*, 107: 469-477.
26. Celardin, F., Castillo, F.J. and Eoeppin, H. (1982): *J. Biochem. Biophys.* 6, 89.
27. Chari, V. M., Grayer-Barkmeijer, R.J., Harborne, J.B. and Österdahl, B.G. (1981): *Phytochemistry* 20, 1977.
28. Clark, M., MacArthur, S. (2007): In *Proceedings from the Fifth Annual International Green Roofs Conference. Greening Rooftops for Sustainable Communities*, Minneapolis, April 29 to May 30th. Toronto: The Cardinal Group.
29. Combier, H. and Lebreton, P. (1968): *C.R. Acad. Sci. Ser. D.* 267, 421.
30. Currie, B.A., Bass, B. (2010): *Using Green Roofs to Enhance Biodiversity in the City of Toronto*. Retrieved March 16, 2014 from
31. http://www1.toronto.ca/city_of_toronto/city_planning/zoning__environment/files/pdf/greenroofs_biodiversity.pdf.

32. Dalley, S. (2013): The Mystery of the Hanging Garden of Babylon. 1-304. ISBN: 9780199662265
33. Darázs, G. Hajdu, I. (2013): Miért célszerű ösztönözni a zöldtetők építését? LV. Georgikon Napok 2013. Keszthely, szeptember 26-27, Keszthely. p. 43.
34. del Barrio, E.P. (1998): Analysis of green roofs cooling potential in buildings. *Energy and Buildings* 27, 179-193.
35. Deutscher, V.E.V. (1995): Dachgartnerrichtlinien-Richtlinien für die Planung und Ausführung von extensiven Flachdachbegrünungen. Baden-Baden.
36. Dodd, A.N., Borland, A.M., Haslam, R.P., Griffiths, H., Maxwell, K. (2002): Crassulacean acid metabolism: plastic fantastic. *J. Exp. Bot.* 53, 569–580.
37. Dulovics, D. (2005): A csapadékterhelés hatásai és csökkentésük egyes módszerei, *MASZESZ Hírcsatorna*, szeptember-október, 11.
38. Dunnett, N., Kingsbury, N. (2004): Planting green roofs and living walls. Portland, Oregon. Timber Press.
39. Dunkel, Z., Anda, A. (1990): Meteorológiai ismeretek mezőgazdasági mérnök hallgatók számára. Egyetemi jegyzet, PATE Nyomdája, Keszthely p.100-103
40. Dunnett, N.P., Nolan, A. (2004): The effect of substrate depth and supplementary watering on the growth of nine herbaceous perennials in a semiextensive green roof. *Acta Horticulturae* 643: 305–309.
41. Dunnett, N., Kingsbury, N. (2008). Planting green roofs and living walls. Portland, OR: Timber Press.
42. Durhman, A.K., Rowe, D.B., Rugh, C.L., (2006): Effect of watering regimen on chlorophyll fluorescence and growth of selected green roof plant taxa. *HortScience* 41, 1623–1628.
43. Emilsson, T., Berndtsson, J.C., Mattsson, J.E., Rolf, K. (2007): Effect of using conventional and controlled release fertilizer on nutrient runoff from various vegetated roof systems. *Ecological Engineering*, 29, 260-271.
44. ÉMSZ (2007): Zöldtetők tervezési és kivitelezési irányelvei. Budapest, ÉMSZ.
45. ENSZ (2012): World Population Prospects: The 2012 Revision <http://esa.un.org/wpp/>
46. Environmental Protection Agency, United States (2012): Greenacres: Landscaping with Native Plants. Retrieved March 3, 2014, from <http://www.epa.gov/greenacres/>.
47. Eredics, A. (2007): Vegetációs indexméter (NDVI) tervezése és fejlesztése. Lleida, Sopron, TDK dolgozat 1-31.
48. Ertsey, A. (2011): Zöldfelületek növelése és fejlesztése. In: Salamin, G., Kohán, Z., Dobozi, E. Péti, M. (szerk.) Klímabarát városok – Kézikönyv az európai városok klímaváltozással kapcsolatos feladatairól és lehetőségeiről – Belügyminisztérium, VÁTI, Budapest. pp. 146-284.
49. Evans, J.R. (1989): Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C₃ plants. *Oecologia*, 78, 1. 9-19.

50. Fejes, Zs. (2005): A telepített növényzet fejlődése és a műszaki felépítmény hatása közötti összefüggések vizsgálata extenzív zöldtetőn, BCE-KTK. Diplomamunka.
51. Feng C. (2011): Heating Balance for Sedum Linear Planted Roof. Guangzhou: South China University of Technology Press.
52. Forró, E. (1998): Szervetlen-szerves komplex rendszerek tapasztalatai a talajerő utánpótlásban. XL. Georgikon Napok, Keszthely p. 244-248.
53. Forró, E. (2001): Zöldtetők ültetéközegei. Építési piac. 35(5):8-9.
54. Forró, E. (2002): Földkeverékek és ültetéközegek a tetőkertekhez. Szép kertek. 5(1):22.
55. Frankel E. N. és Meyer A. S. (2000): The problems of using one-dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, (80):1925-1941.
56. Gaffin, S., Parshall, L., O’Keeffe, G., Braman, D., Beattie, D., Berghage, R, (2006): Energy balance modeling applied to a comparison of white and green roof cooling efficiency. Green roofs in the New York Metropolitan region research report. Retrieved March 19 2014 from <http://www.statisticstutors.com/articles/debrat-green-roofs.pdf#page=17>.
57. Galántai, M. Tóth, I. (2001): Hová mit ültessünk? Bp. Mezőgazdasági Kiadó.
58. Gerzson, L. (2000): A Sedumokról. Zöldtetőkert (1-2): 12. ZÉOSZ, Budapest.
59. Gerzson, L. (2001): Zöldtetőkre alkalmas növények. In: Zsohár–Zsohárné: Évelő dísznövények. Bp. Botanika Kft. pp. 108-110.
60. Gerzson, L. (2003): Zöldtetők. In: Schmidt G. (szerk.) 2003. Növények a kertépítészetben. Bp. Mezőgazda Kiadó. pp. 273-283.
61. Gerzson, L. (2004): A klímaváltozás várható hatásai a zöldtetők növényzetének összetételére. in „Agro 21” Füzetek 34.
62. Gerzson, L. (2006): A hazai klíma- és időjárás-változások hatása a zöldtetőkre in: Klímaváltozás és a magyarországi kertgazdaság "Agro-21 Kutatási Programiroda, Budapest. 240-245.
63. Gerzson, L. (2007): A zöldtetőkről és a hazai klímaváltozásról. In: Láng I. A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. 99.
64. Gerzson, L., Fejes, Zs., Gracza, P. (2007): A Sedum reflexum szárának és levelének szöveti felépítése. Aktuális flóra- és vegetációkutatás a Kárpát-medencében VII.. 2006. február 24 -26., Debrecen.
65. Gerzson, L., Oláh, A. b. (2012): A zöld építészet tájépítészeti vonatkozásai, eszközrendszere 4D Tájépítészeti és Kertművészeti folyóirat Különszám, 245-257 o.
66. Gerzson, L., Prekuta, J. (1998): A hazai évelődísznövénytermesztés új kiterjesztési lehetősége a tetőkert. Agro 21 füzetek 26. szám. „Agro-21” Kutatási Programiroda, Bp.
67. Getter, K.L., Rowe, D.B. (2006): The role of extensive green roofs in sustainable development. HortScience 41 (5), 1276–1285.

68. Getter, K.L., Rowe, D.B., Andresen, J.A., Wichman, I.S. (2011): Seasonal heat flux properties of an extensive green roof in a Midwestern U.S. climate. *Energy Build.* 43,3548–3557.
69. Getter, K.L., Rowe, D.B., Cregg, B.M. (2009): Solar radiation intensity influences extensive green roof plant communities. *Urban Forestry and Urban Greening* 8 (4), 269–281.
70. Gill, S., Dembińska-Migas, W. and Kozłowska, J. (1984): *Farm. Pol.* 40, 211.
71. Gill, S., Raszeja, W. and Szynekiewicz, G. (1979): *Farm. Pol.* 35, 151.
72. Gnedkov, P.A. and Schroeter, A.I. (1977): *Rastit. Resur.* 13, 554.
73. Gower, S.T., Normann, J.M. (1999): Rapid estimation of leaf area index for forests using LICOR LAI-2000. *Ecology*, 72, pp.1896-1900.
74. Grant, G. (2006): Extensive green roofs London, *Urban Habitats*, 4 (1) 51-58.
75. Gregoire, B., Clausen, J.C. (2011): Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality. *Ecological Engineering*, 37, 963–969.
76. Gulyás, B., Macsuga, E., Skultéti, D. (2012): *Re-Corbusier*. Budapesti Műszaki és gazdaságtudományi Egyetem, TDK dolgozat. p.3.
77. Gupta, A.S., Berkowitz, G.A. (1988): Chloroplast Osmotic Adjustment and Water Stress Effects on Photosynthesis. *Plant Physiol.* 1988 Sep; 88(1): 200–206.
78. Habibi, G., Hajiboland R. (2012): Comparison of photosynthesis and antioxidative protection in *Sedum album* and *Sedum stoloniferum* (Crassulaceae) under water stress. *Photosynthetica*, 50 (4): 508-518.
79. Hammerle, F. (2009): *Der Gründachmarkt in Deutschland-Marktspiegel, Analyse, Entwicklung*.
80. Harnos, Zs., Ladányi, M. (2005): *Biometria agrártudományi alkalmazásokkal*. Budapest: Aula, 274-324.
81. Héberger, K. (2010): Sum of ranking differences compares methods or models fairly. *Trend. Anal. Chem.* 29, 101–109.
82. Héberger, K., Kollár-Hunek, K. (2011): Sum of ranking differences for method discrimination and its validation: comparison of ranks with random numbers. *Journal of Chemometrics*, 25, (4) 151–158.
83. Hegnauer, R. (1964): *Chemotaxonomie der Pflanzen* Vol. 3. Birkhäuser, Basle.
84. Hidy, I., Prekuta, L., Varga, G. (1995): *Flóratetők tervezési és kivitelezési szempontjai*. Bp. Pronatur Kft. pp. 13, 28.
85. Huang D. J., Ou B. X. és Prior R. L. (2005): The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (53):1841-1856.
86. Huang D. J., Ou B. X. és Prior R. L. (2005): The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, (53):1841-1856.

87. Hunyadi et al. (szerk). (2000): Gyomnövények, gyomirtás, gyombiológia. Bp. Mezőgazdasági Kiadó. pp. 28-34.
88. Huzsvai, L. (2008): Kutatói pályára felkészítő akadémiai ismeretkörön alapuló tananyagfejlesztés – Környezet- és természetvédelem ismeretkörben. Debrecen, Debreceni Egyetem. p. 10.
89. Jacobsen, H. (1970): Das Sukkulenten lexikon. pp. 297-314.
90. Jenei, M. (2008): Évelő dísznövények szaporítása. Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet. pp.1-28.
91. Jennings, D. B., & Jarnagin, S. T. (2002): Changes in anthropogenic impervious surfaces, precipitation and daily streamflow discharge: A historical perspective in a mid-atlantic subwatershed. *Landscape Ecology*, 17(5), 471–489.
92. <http://dx.doi.org/10.1023/a:1021211114125>
93. Jezek Z., Kunte, L (2005): Pozsgásnövények enciklopédiája. Budapest, Ventus Libro Kiadó. pp. 124-127.
94. Jo, J. H., Carlson, J., Golden, J. S., Bryan, H. (2010): Sustainable urban energy: Development of a mesoscale assessment model for solar reflective roof technologies. *Energy Policy*, Vol. 38, Issue 12, 7951-7959. Special Section: Carbon Reduction at Community Scale.
95. Kaufmann, P. (1999): Extensiv begrünte Flachdächer—ein Gewinn für die Siedlungsentwässerung. Hochschule für Technik und Architektur, Burgdorf.
96. Köfhler, M., Schmidt, M., Grimme, F.W., Laar, M., Paiva, V. L, Tavares, S. (2002): Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics—far beyond the aesthetics. *Environ Manag Health* 13(4):382–391.
97. Kolb, W. (1999): Dachbegrünung Intensiv und Extensiv. Ulmer Verlag.
98. Koppány, A. (1997): Növényzettel telepített tetők épületszerkezeti kérdései Zöldtetők-zöldhomlokzatok Tudományos konferencia. Győr. TIT Pannon Egyesülete. 1997. febr.27-28. pp. 24-34.
99. Koppány, A. (2006): Épületszerkezettan V. Széchenyi István Egyetem, Győr. 1-129.
100. Kuttler W, 1998: Stadtklima. In Sukopp H, Wittig R (Hrsg): Städtökologie. Gustav Fisher Verlag, Stuttgart-Jena-Lübeck-Ulm, 125-167.
101. Landsberg, H. E. (1981): The Urban Climate. Academic Press, New York – London – Toronto – Sydney – San Francisco.
102. Láng, I. (2004): Agrártermelés és Globális környezetvédelem. Bp. Mezőgazdasági kiadó.
103. Lawlor, G., Currie, B., Doshl, H., Wleditz, I. (2006): Green roofs, A resource manual for municipal policy makers, Canada Mortgage and Housing Corporation. ISBN 0-662-44084-6.
104. Lazzarin, R.M., Castellotti, F., Busato, F. (2005): Experimental measurements and numerical modeling of a green roof. *Energy Build.* 37, 1260–1267.

105. Li, W.C., Yeung, K. K. A. (2014): A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. *International Journal of Sustainable Built Environment* (2014) 3, 127–134.
106. Li, Y., Babcock, R.W. (2014): Green roof hydrologic performance and modelling: a review. *Water Sci. Technol.*, 69 (4), 727–738.
107. Licht, J., Lundholm, J. (2006): Native coastal plants for northeastern extensive and semi-extensive green roof trays: substrates, fabrics, and plant selection. Paper presented at the Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Boston, MA.
108. Lichtenthaler, H. K. (1998): *Stress of Life: From Molecules to Man*, vol. 851. pp. 187-198
109. Lichtenthaler, H. K., Buschmann, C. (2001): *Current Protocols in Food Analytical Chemistry F4.3.1-F4.3.8*. John Wiley & Sons, Inc. 1-8.
110. Liesecke, H-J. (1997): Tetőfelületek telepítése növényzettel. Zöldtetők-Zöldhomlokzatok Nemzetközi Konferencia. Győr, 1997. febr. 27-28. pp. 32-47.
111. Liu, T.C., Shyu, G.S., Fang, W.T. (2012): Drought tolerance and thermal effect measurements for plants suitable for extensive green roof planting in humid subtropical climate. *Energy Buildings* 47, 180–188.
112. Livingstone, K., Rogers, R., Bishop, P. (2008): *Living roofs and walls-Technical report: Supporting London Plan policy*, Greater London Authority, 11-50.
113. MacIvor, J.S., Lundholm, J. (2011): Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof conditions in a maritime climate. *Ecol. Eng.* 37, 407–417.
114. Magyar, M. (1998): A magyarországi zöldtetők nyilvántartási rendszere FIR alkalmazásával. Gödöllő, Szent István Egyetem, Környezet- és Tájgazdálkodási Intézet, Területi Tervezési és Térinformatikai Tanszék.
115. Mega, V. (2010): *Sustainable Cities at the Dawn of the Millennium: The Odyssey of Urban Excellence*. Springer, 1-233. p
116. Mentens, J., Raes, D., Hermy, M. (2006): Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning* 77, 217–226.
117. Mika J., Utasi Z., Biró Cs., Péntesné Kónya E. (2011): Műholdakról távérzékelte adatok feldolgozása és hasznosítása. EKF Matematikai és Informatikai Intézet.
118. Minke, G. (2002): Zöldtetők. (ford. Csikós Zsuzsanna) Cser kiadó, Budapest, 7-55.
119. Mohácsiné-Szabó, K. (2000): Fagyűrő pozsgások. *Kertészet és Szőlészet* 49(4): 16-18.
120. Mohácsiné-Szabó, K. (2002): Sivatag a tetőn? Zöldtetőkert Zöldtetőépítők Országos Szövetségének Lapja 3 (1): 9-10.
121. Mohácsiné-Szabó, K. (2007): Kaktuszok télállósága Magyarországon. Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Doktori iskola, Budapest, 1-211.
122. Monsi, M. és Saeki, T. (1953): Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktuin. *Jap. J. Bot.* 14 22-52.

123. Monterusso, M.A., Rowe, D.B., Rugh, C.L. (2005): Establishment and persistence of *Sedum* spp. and native taxa for green roof applications. *HortScience* 40, 391–396.
124. Moran, A., Hunt, B., Smith, J. (2005): Hydrologic and water quality performance from greenroofs in Goldsboro and Raleigh, North Carolina. Paper presented at the Third Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show; 4–6 May 2005, Washington, DC.
125. Nagy B., Komiszár L., László Gy. (1998): Évelő dísznövények termesztése és felhasználása. Bp. KÉE. Egyetemi Jegyzet.
126. Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R. R., Doshi, H., Dunnett, N. (2007): Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. *Bioscience*, 57(10), 823–833. <http://dx.doi.org/10.1641/b571005>
127. Oke, T.R. (1976): The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere* 14, 268-277.
128. Oke, T.R. (1982): The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108, 1-24.
129. Oke T.R. (1987): Boundary layer climates. 2nd edition. Routledge, London-New York.
130. Oke, T.R. (1997): Urban climates and global environmental change. In: Thompson RD, Perry A (eds): *Applied Climatology*. Routledge, London-New York, 273-287
131. Oke, T.R. (2006): Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. World Meteorological Organization, Instruments and Observing Methods, Report No. 81., Geneva, Switzerland.
132. Oláh, A.B. (2012): *Zöldtetők fejlesztési kérdései és lehetőségei a fenntarthatóság jegyében*. In: Fenntartható fejlődés, élhető régió, élhető települési táj 3. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest, pp. 103-110. ISBN 978-963-503-506-2
133. Oláh, A. B. (2012): A városi beépítettség és a felszíntípusok hatása a kisugárzási hőmérsékletre. Doktori (PhD) értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem, Tájépítészeti és Tájökológiai Doktori Iskola. 1-146.
134. Ördög, V., Molnár, Z. (2011): Növényélettan. Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem. pp. 7-8.
135. Ormos, I. (1967): A kerttervezés története és gyakorlata. Bp. Mezőgazdasági Kiadó. pp. 15-22.
136. Örsi, G. (1994): Extenzív tető kertek növényesítési kérdései. Bp. KÉE, Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék. Diplomamunka.
137. Osmund, B.C., Adams III, W.W., Smith, S.D. (1989): Crassulacean acid metabolism. In: Pearcy, R.W., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Rundel, P.W. (Eds.), *Plant Physiological Ecology Field Methods and Instrumentation*. Chapman Hall, New York, NY, pp. 255–279.
138. Pál, J. (2005): Növényekkel borított épületek (Zöldtetők és zöldhomlokzatok) Lélegzet Alapítvány – Levegő Munkacsoport

139. Papp, N. (2014): Csonthéjas gyümölcsök antioxidáns kapacitásának és a meggy polifenol mintázatának vizsgálata. Debrecen, doktori értekezés. 1-150.
140. Peck, S.W., (2002): Green Roofs: Infrastructure for the 21st Century. 1st Annual Urban Heat Island Summit 2002, Toronto.
141. Péczely, Gy. (1981): Éghajlattan, Tankönyvkiadó, Budapest.
142. Péczely, Gy. (2009): Éghajlattan. Nemzeti Tankönyvkiadó, 1-336.
143. Peng, L.L.H., Jim, C.Y. (2013): Green-roof effects on neighborhood microclimate and human thermal sensation. *Energies* 6, 598–618.
144. Penszka, K. (1997): Néhány szempont őshonos növényfajok flóratetőn való alkalmazásához. Zöldtetők-zöldhomlokzatok Tudományos konferencia, Győr, 1997 febr.27-28. pp. 52-67.
145. Pernes, É. (1997): Extenzív tetőterek növényzetének vizsgálata, különös tekintettel a Sedumok felhasználási szempontból fontosabb tulajdonságaira. Bp. KÉE. Diplomamunka.
146. Perrin, S.M. (1994): Bi-Logistic Growth. *Technological Forecasting and Social Change*, 47:89–102.
147. Pierce, L.L., and S.W. Running (1988): Rapid estimation of coniferous leaf-area index using a portable integrating radiometer, *Ecology*, 69(6):1762–1767.
148. Pongrácz, R., Bartholy, J. szerk. (2013): Alkalmazott és városklimatológia. ELTE, 121-174.
149. Prekuta, J. (1997): Vízháztartás megvalósított tetőn végzett kísérlet. Zöldtetők-Zöldhomlokzatok Tudományos Konferencia. Győr. TIT Pannon Egyesülete. 1997. febr.27-28. pp. 42-45
150. Priszter, Sz. (1995): Sokat tűrő varjúhájfajok. *Kertbarát Magazin* 16(1)24.
151. Ramachandra Reddy, A., Das, V.S.R. (1986): *Phytochemistry*, 25 2471-2474.
152. Raunkiaer, C. (1934): *The life forms of plants and statistical geography*. Clarendon, Oxford, 632.
153. Resat Apak, Kubilay Güclü, Mustafa Özyürek, Saliha Esin Celik (2008): Mechanism of antioxidant capacity assays and the CUPRAC (cupric ion reducing antioxidant capacity) assay. *Microchim Acta* 160: 413–419 DOI 10.1007/s00604-007-0777-0
154. Rice-Evans, C.A. (2000): Measurement of total antioxidant activity as a marker of antioxidant status in vivo: procedures and limitations. *Free Radic. Res.*, 33 Suppl, S59-66.
155. Rowe, D. B., Getter, K. L., Durhman, K. A. (2012): Effect of green roof media depth on Crassulacean plant succession over seven years. *Landscape and Urban Planning* 104 (2012) 310–319.
156. Rowe, D.B., Monterusso, M.A., Rugh, C.L., (2006): Assessment of heatexpanded slate and fertility requirements in green roof substrates. *HortTechnology* 16 (3), 471–477.

157. Sajtos, L., Mitev, A. (2007): SPSS kutatási és adatelemzési kézikönyv. Alinea Kiadó, Budapest. 137-163.
158. Samu, K. (2005): Világosság-észlelet kompenzált színlátás-vizsgáló tesztek megvalósítása számítógéppel vezérelt CRT képernyőn. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. PhD értekezés. p. 9.
159. Schmidt, G. (1984): Növényalkalmazás a kertépítészetben. Bp. KÉE, egyetemi jegyzet.
160. Schmidt, G. (1988): A kert élő díszjei. Bp. Mezőgazdasági Kiadó.
161. Schmidt, G. (2003): Különleges kertkialakítások különleges növények részére. In: Schmidt 2003 Növények a kertépítészetben. Bp. Mezőgazda Kiadó. pp. 290-298.
162. Schmidt, G. (szerk.) (2007): Évelő dísnövények termesztése, ismerete, felhasználása. Bp. BCE és a Mezőgazda Kiadó közös kiadása.
163. Schmidt, G. (szerk., 2005): Évelő dísnövények termesztése, ismerete, felhasználása. BCE Kertészettudományi Kar, Dísnövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék, Budapest.
164. Schmidt, G., Hámosi, Z. (2003): Dísnövénytár 2003. Évelők (CD). BKÁE, KTK, Dísnövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék.
165. Singleton V. L. és Rossi J. A. (1965): Colometry of total phenolics with phosphomolibdicphosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, (161):144-158.
166. Snodgrass, E.C., Snodgrass, L.L., (2006): Green Roof Plants: A resource and Planting Guide. Timber Press, Oregon.
167. Somfai, Á. (2011): Zöldfelületek növelése és fejlesztése. In: Salamin, G., Kohán, Z., Dobozi, E. Péti, Márton (szerk.) Klímabarát városok – Kézikönyv az európai városok klímaváltozással kapcsolatos feladatairól és lehetőségeiről – Belügyminisztérium, VÁTI, Budapest. pp. 76-90.
168. Spolek, G., (2008): Performance monitoring of three ecoroofs in Portland, Oregon. *Urban Ecosyst.* 11, 349–359.
169. Steusloff, S. (1998): Input and output of airborne aggressive substances on green roofs in Karlsruhe. In: Breuste, J., Feldmann, H., Uhlmann, O. editors. *Urban ecology*. Berlin, Germany, Springer-Verlag.
170. Stovin, V., Vesuviano, G., Kasmin, H. (2012): The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. *J. Hydrol.*, 414–415, 148–161.
171. Sümeghy Z. (2004): A szegedi városi hősziget területi és időbeli eloszlásának térképezése és elemzése. PhD értekezés, Szeged.
172. Susca, T., Gaffin, S. R., & Dell’Osso, G. R. (2011): Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*, 159(8–9), 2119–2126. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007>

173. Szabó, K., Sipos, A., Baji, H., Farkas, Á. (2015): Ahol a Quetzalcoatl megjelenik szukkulens gyűjtemény a Fővárosi Állat- és Növénykertben. 4D Tájépítészeti Folyóirat, (in press).
174. Szabó, L. (2010): A zöldtetők szerepe a városok életében. A zöldtetőépítés hazai kilátásainak vizsgálata Budapest példáján. XII. Országos Felsőoktatási Környezettudományi Diákkonferencia Sopron, 2010. TDK dolgozat. 1-48.
175. Szász, G. (1988): Agrometeorológia, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 462 p.
176. Széky, P. (1983): Ökológia. Kislexikon. Budapest: Natura – Mezőgazdasági Könyvkiadó. ISBN 963 233 095 1
177. Szendrei, G. (1998): Talajtan. Egyetemi jegyzet. Budapest: ELTE, Eötvös Kiadó.
178. Szepesi, D., Schirokné Kriston I. (1999): A városi levegőkörnyezet tervezésének aktuális kérdései. In: Éghajlati és agrometeorológiai tanulmányok, 1. Városhatár- és városklimatológiai munkaértekezlet szerk. Szalay S., Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 6-19.
179. Szilágyi, K. (2001): Településökológiai ismeretek. Elektronikus jegyzet, SZIE Tájépítészeti Kar, Kert- és Településépítészeti Tanszék honlap, p.1-31
180. Szőke, A., Mátyás, T., Szabó, D., Gerzson, L., Forró, E. (2013): Method for the rapid determination of soil physics parameters of extensive green roofs. 12th Wellmann International Scientific Conference. 25th April, 2013, Hódmezővásárhely.
181. Szőke, A., Szabó, D., Forró, E., Gerzson, L. (2013): Developing Hungarian cadastral database of green roofs and the trends in green roof construction industry. 12th Wellmann International Scientific Conference. 25th April, 2013, Hódmezővásárhely.
182. Teemusk, A., Mander, Ü., (2009): Greenroof potential to reduce temperature fluctuations of a roof membrane: a case study from Estonia. Build. Environ. 44,643–650.
183. Teemusk, A., Mander, Ü., (2010): Temperature regime of planted roofs compared with conventional roofing systems. Ecol. Eng. 36, 91–95.
184. Thiede, J., Eggli, U. (2007): Crassulaceae. In: Kubitzki, K. (Ed.) The Families and Genera of Vascular Plants vol.9. Springer. Hamburg. Germany. pp. 83-118.
185. Thorne, R.F., Reveal, J.L. (2007): An updated classification of the class Magnoliophyta („Angiospermae”). Bot. Rev. 73, 67-181.
186. Tuba, Z., Szerdahelyi, T., Engloner, A. Nagy, J. (2007): Botanika I. Budapest, Nemzeti Tankönyvkiadó.
187. Turcsányi G. (2000): Mezőgazdasági növénytan. Budapest, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó. p. 60, p. 70, p. 135, p. 164, p. 280, p. 389.
188. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1986): Quality Criteria for Water 1986. Office of Water, Regulation and Standard, Washington, DC. 20460 (2006).
189. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (2009): National Recommended Water Quality Criteria. Office of Water, Office of Science and Technology, Washington DC. 4304T (2009).

190. Udvardy, L. (szerk.) (2006): A kertészeti növénytan növényismereti kompendiuma. Budapest, Mezőgazda Kiadó, 112 p.
191. Unger, J. (1997): Városklimatológia – Szeged városklímája. *Acta Climatologica Univ. Szegediensis* 31/B.
192. Unger, J., Sümeghy Z. (2002): Környezeti klimatológia. Kisléptékű éghajlatok, városklíma. SZTE TTK jegyzet, JATEPress, Szeged.
193. Unger, J. (2010): A városi hősziget-jelenség néhány aspektusa (Szeged, 2010) Akadémiai doktori értekezés. 1-107.
194. Van Woert, N.D., Rowe, D.B., Andresen, J.A., Rugh, C.L., Xiao, L. (2005): Watering regime and green roof substrate design affect *Sedum* plant growth. *HortScience* 40 (3), 659–664.
195. Vanuytrechta, E., Mechelenb, C., Meerbeekb, K., Willems, P., Hermy, M. Raes, D. (2014): Runoff and vegetation stress of green roofs under different climate change scenarios. *Landscape and Urban Planning*, 122, 68–77.
196. Varga G. (2000): „És megbokrosodnak a tetők” Szent István Egyetem. 7. Zöldtetők-zöldhomlokzatok tudományos konferencia. 1997. február 27-28. Győr.
197. Varga, G. (2001): Növényzettel telepített lapos tetők növénytársulásainak vizsgálata, és a növényfajok értékelése alkalmasság szempontjából, SZIE. Diplomamunka
198. Varga-Haszonits Z., Varga Z., Lantos Zs., Enzsölné Gerencsér E. (2006): Az éghajlati változékonyság és az agroökoszisztémák. Monográfia. Monocopy, Mosonmagyaróvár.
199. Vargha, A. (2008): Matematikai statisztika pszichológiai, biológiai és nyelvészeti alkalmazásokkal. Budapest, Pólya. 265-330.
200. Vijayaraghavan, K., Joshi, U.M., Balasubramanian, R. (2012): A field study to evaluate runoff quality from green roofs. *Water research*, 46 1337-1345.
201. Villarreal, E.L., Bengtsson, L. (2005): Response of a *Sedum* greenroof to individual rain events. *Ecological Engineering*, 25, 1-7.
202. Voyde, E., Fassman, E., Simcock, R. (2010): Hydrology of an extensive living roof under sub-tropical climate conditions in Auckland, New Zealand. *J. Hydrol.*, 394, 384–395.
203. W.C. Li, K.K.A. Yeung (2014): A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective, *International Journal of Sustainable Built Environment*, Volume 3, Issue 1, June 2014, Pages 127-134, ISSN 2212-6090, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijjsbe.2014.05.001>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212609014000211>)
204. Wenczel, K. (2013): Színtan. Budapest, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Mechatronika, Optika és Gépészeti Informatika Tanszék. p. 8.
205. Werthmann, C. (2007): Green roof-a case study. Michael Van Valkenburgh Associates, Princeton Architectural Press, New York 18-24.

206. White, M.A., Asner, G.P., Nemani, R.R., Privette, J.L., Running, S.W. (2000): Measuring fractional cover and leaf area index in arid ecosystems: Digital camera, radiation transmittance, and laser altimetry methods. *Remote Sensing of Environment*, 74, pp.45-75.
207. WMO (2008): Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, WMO-No. 8. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
208. Wolbiś, M. (1987): *Acta Polon. Pharm.* 44, 383.
209. Wolf, J. (1960): Der Diurnale Säurerhythmus. In: Ruhland, W. (Ed.), *Encyclopedia of Plant Physiology*. Springer Verlag, Berlin, pp. 809–889.
210. Wong, N.H., Chen, Y., Ong, C.L., Sia, A. (2003): Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Building and Environment*, 38, 261-270.
211. Yang, X., Long, X.X., Ni, W.Z. Fu, C.X. (2002): *Sedum alfredii* a new Zn hyperaccumulating plant first found in China. *Chin. Sci. Bull.* 47: 1634-1637.
212. Yoshino, M.M. (1975): *Climate in a small area, an introduction to local climate*. University of Tokyo Press.

Testületi szerzős hivatkozások

13/2001. (V. 9.) KöM rendelet. A védett és a fokozottan védett növény- és állatfajokról, a fokozottan védett barlangok köréről, valamint az Európai Közösségben természetvédelmi szempontból jelentős növény- és állatfajok közzétételéről

253/1997. (XII. 20.) korm. rendelet az Országos Településrendezési és Építési követelményekről

90/2012. (IV.26) Korm. rendelet az országos településrendezési és építési követelményekről szóló 253/1997. (XII. 20.) Korm. rendelet módosításáról

MSZ EN ISO/IEC 17025:2005 Vizsgáló- és kalibrálólaboratóriumok felkészültségének általános követelményei

Internetes hivatkozások

internet 1:

http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_metropolitan_areas_by_population (2015.03.08)

internet 2:

http://www.nodc.noaa.gov/OC5/3M_HEAT_CONTENT/index3.html (2015.03.16)

internet3:

http://hu.wikipedia.org/wiki/Szemiramisz_f%C3%BCgg%C5%91kertje#/media/File:Hanging_Gardens_of_Babylon.gif (2015.03.17)

internet 4:

http://www.fodor.sk/spectrum/7w_2zahr.htm (2015.03.17)

internet 5:

<http://ecolounge.hu/art/nagyon-ok-es-mellesleg-teto> (2015.03.16)

internet 6:

<http://toothpicnations.co.uk/my-blog/?p=18979> (2013.03.17)

internet 7:

<http://i342.photobucket.com/albums/o421/spaghetti2503/Hundertwasserhaus/Hundertwasserhaus30.jpg>
(2013.03.17)

Internet 8.

<http://www.prattenvirolutions.org/2013/11/14/new-york-city-welcomes-roof-top-gardens/>
(2015.03.20)

Internet 9.

<https://www.pinterest.com/pin/299067231479120281/> (2015.03.20)

Internet 10.

<http://cleanerairforcities.blogspot.hu/2008/07/chicago-museum-showcases-green-roof.html>
(2015.03.20)

Internet 11.

<http://www1.toronto.ca/wps/portal/contentonly?vgnextoid=3a7a036318061410VgnVCM10000071d60f89RCRD> (2015.03.20)

Internet 12.

<http://www1.toronto.ca/wps/portal/contentonly?vgnextoid=3a7a036318061410VgnVCM10000071d60f89RCRD> (2015.03.20)

Internet 13.

http://4.bp.blogspot.com/-IFjBEgP6SpM/U4jfeOsN-II/AAAAAAAAACnU/B3Nxu4_RS64/s1600/Modern-Home-Singapore-Garden-Green-Roof-and-Pool-The-Wall-House.jpg (2015.03.20)

Internet 14.

<http://www.beaglebrown.com/a-green-roof-over-your-head/> (2015.03.20)

Internet 15.

<http://inhabitat.com/chinese-software-companys-undulating-campus-of-grass-and-glass/>
(2015.03.20)

Internet 16.

<http://noida.quikr.com/Terrace-Roof-Garden-Designer-Developer-in-Noida-and-Delhi-Ncr-W0QQAdIdZ150166620> (2015.03.20)

Internet 17.

http://www.china.org.cn/environment/2012-04/02/content_25052715.htm (2015.03.20)

Internet 18.

<http://www.dailymail.co.uk/news/article-2394553/Beijing-roof-mountain-mansion-demolition-begins.html> (2015.03.20)

Internet 19.

<http://www.greenroofs.com/blog/2010/12/31/reflections-of-fall-2010-greenroof-conferences-mexico-city-part-1/> (2015.03.20)

Internet 20.

http://switchboard.nrdc.org/blogs/ajaiswal/a_tour_of_green_buildings_show.html (2015.03.20)

Internet 21.

<http://twistedifter.com/tag/green-roof/> (2015.03.20)

Internet 22.

<http://www.ecofriend.com/9-beautiful-skyscrapers-adorned-with-green-roofs.html> (2015.03.20)

Internet 23.

<http://yognews.blogspot.hu/2010/08/green-roof-system-on-chicago-city-hall.html> (2015.03.20)

Internet 24.

<http://inhabitat.com/mill-valley-cabins-are-green-roofed-low-impact-studios-that-disappear-into-the-forest/> (2015.03.20)

Internet 25.

<http://www.tickettokyoto.eu/en/cases/installation-green-roof-paris-ratp> (2015.03.20)

Internet 26.

http://www.zinco-greenroof.com/EN/news/press_releases/press_release_details.php?id=71
(2015.03.20)

Internet 27.

http://www.greenroofworld.com/2013/EN/congress_programme.html (2015.03.20)

Internet 28.

http://www.zinco-usa.com/references/perennial_garden.php (2015.03.20)

Internet 29.

<http://www.alternativenergia.hu/dijaztak-a-zoldtetos-piramishazat/22032> (2015.03.20)

Internet 30.

<http://www.urbangardensweb.com/2013/07/24/phyto-kinetic-green-roofs-for-city-buses-and-improved-urban-ecosystem/> (2015.03.20)

Internet 31.

<http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=760> (2015.03.20)

Internet 32.

<http://www.zoldtetoepites.hu/> (2015.03.21)

Internet 33.

<http://zoldtetokft.hu/szeged-art-hotel> (2015.03.21)

Internet 34.

http://kerteszblog.hu/2012/09/01/nyugati_tetokert (2015.03.21)

Internet 35.

<http://zoldtetokft.hu/budapest-irodahaz> (2015.03.21)

Internet 36. <http://zoldtetokft.hu/gyor-petz-aladar-megyei-oktato-korhaz> (2015.03.21)

Internet 37.

<http://www.desfleursanotreporte.com/article-un-koicedon-un-peu-sioux-123468656.html>

Internet 38.

<http://www.sbs.utexas.edu/mauseth/weblab/webchap10epi/10.3-1.htm>

M2. Fővárosi Állat- és Növénykert Sedum gyűjteménye



FŐVÁROSI ÁLLAT- ÉS NÖVÉNYKERT SZUKKULENS ÉVELŐÁGY VARJÚHÁJFÉLÉK ÉS TÁRSAIK



Varjúhájfélék és társaik

A széles körben elterjedt varjúháj (Sedum fajok) a szárazságtűrő növények közé tartoznak. Méretük és megjelenésük igen változó, lágyszárú (kivétel a Sedum populifolium, amely félcserje) pozsgás növények. Leveleikben víztároló szövetek találhatók. A nagy mennyiségű víz raktározása elvételétől teszi számukra a hosszú ideig tartó szárazságot, tűző napot is. Életmódjukban egy speciális fotoszintézis (CAM-fotoszintézis) vagy a rövid tenyészidő, esetleg a műhőhőz kapcsolódó (gomba és a növény gyökere között kialakult kölcsönösön pozitív együttműködés) biztosítja az életben maradást. Sugaras szimmetriájú virágok többnyire bogernyőben nyílnak. A szárunk csúcsa hegyes, a virág felettről nézve csillag alakú.

Elterjedésük

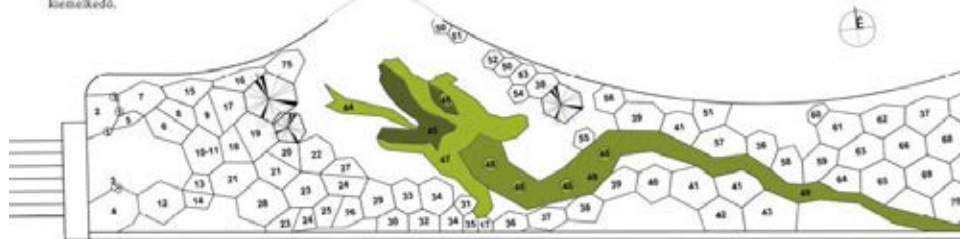
A Sedum nemetség, a Crassulaceae család (varjúhájfélék) legnagyobb nemzetsége, mintegy 500 taxont foglal magába. A fajok többsége, a Föld északi féltékén él, csak néhány faj elterjedési területe nyúlik délre illetve található délen (Közép-Afrika, Madagaszkár, Dél-Amerika: Peru, Bolívia). A legnagyobb fajszámú a mediterrán területeken és ehhez kapcsolódva Európában találkozhatók, de a fajok száma jelentős a Himalájában, Kína és Japán területén is. Amerika északi felét területén szégyes, a Sedum flóra, mint a nyugati és a délnyugati területeken, azonban Mexikó fajgazdagsága kiemelkedő.

Hazai képviselőik

Magyarország szegényes pozsgás növényekben, annak ellenére, hogy egyes területeink a rossz talajadottságok vagy a tényleges csapadékszegénység miatt meglehetősen szárazak. A szukkulensek hazai képviselői (a Crassulaceae családból) a Sedum, Hydrangea, Sempervivum, Jovibarba nemzetségekből kerülnek ki. Nálunk gyakori fajok a boros varjúháj (Sedum acre - 7.) és a boros varjúháj (Sedum sexangulare - 32.). Meglátjuk a horvati vagy magyar varjúháj (Sedum sartorianum subsp. hillebrandtii), Duna-Tisza köztén a deres horvati varjúháj (Sedum hillebrandtii), a Mecsek-hegység és Villányi-hegység fővárosában a mecseki varjúháj (Sedum neglectum subsp. sopianae), a meglehetősen tölgyszekken pedig a hűvelvél varjúháj (Hydrangea telephium subsp. maximum syn. Sedum maximum) említhető. A száraz mészkő- és dolomit-sziklahasadékok növényzete a sárga, a gömbös és a fali kövirózsa (Jovibarba hirta, Jovibarba sobolifera, Sempervivum tectorum).

Fajok más nemzetségekből

A kültetésben a varjúháj, kövirózsa mellett a változékony dohánygyökér (Lewisia cotyledon - 28.), a mongol kövirózsa (Orostachys - 69., 71.) faji és a délvirágok, kristályvirágfélék (Delosperma - 13., 16., 40., ...) képviselői is láthatók.



FŐVÁROSI ÁLLAT- ÉS NÖVÉNYKERT SZUKKULENS ÉVELŐÁGY VARJÚHÁJFÉLÉK ÉS TÁRSAIK



Ki az a Quetzalcoat?

A tudás és tanulás istene az azték mitológiában, az első istenpár harmadik szülött fia. Sok megjelenési formája ismert, amelyek közül a legfontosabb jelentőségeket a természet erejét szimbolizálta (az összetekeredett tollas kígyó felemelkedik a földről, farka vizet ér, vihart és port kavart, mindent eszt bontja). A Quetzalcoat-ról olvashatunk az egyik állatkönyvben is. Melyikben? Keressd meg!

Vajon melyik a Jupiter növénye?

A Sempervivum nemzetség fajtáit sokfelé maguk névelik: fűzfacsaróttól, fűzfacsaróttól, fűzfől, kövirózsa (46.). A varázslatokban hisz emberek azt hirdetik, hogy a kövirózsa megvédi a házat a villámoktól, mivel pedig a villámok Jupiter at istene, Jupiter növénye lett. A kövirózsaikat könnyű megismerni, de a nemzetségben belül a fajok, változatok elkülönítése rendkívül nehéz.

Érdekes fajok

Sedum anacampseros (80.): a Firenzuola, Alpok délnyugati területén és az Apennin-hegységben előforduló örökzöld faj. Az igen leveles kisgyökérűeknél (lágyszárú) levelek (néhányat) néhányszor borsó alakúak, majdnem kerekdedek vagy széles szív alakúak. Virágok tömött falgóba alakú virágzatban a nyár második felében nyílnak.

Sedum cyanum (syn Sedum pulchellum) (105.): japánból származó alacsony bokros halvány, sötétzöld körben az alapnál fényes varjúháj. Kisebb hajlamos elágazódni, alternáló (szórt állású) levelei kerekdedek vagy oválisak, szürkészöldök illetve kékeszöldök. Virágai kékfehérvirágúak.

Sedum kurilense (116.): a Kuril-szigetektől származó varjúháj gypset alkotó évelő. Virágai kicsik, sárgák, melyek július-augusztusban nyílnak. Felsőli szárával alacsony bokros faj.

Sedum populifolium (92.): sibiriai bokros halvány (tölgyszárú), jellemzően 20-40 cm magas, fűzfő hajlamos a szív alakú, fogazott levelek szírtan helyezkednek el. A fehér, halvány rózsaszín virágok dűsán elágazódó virágzatban nyár végén nyílnak.

Sedum spathulifolium: a spathulifolium varjúháj Észak-Amerikából származó párnás évelő. Levelei szírtosok, vöröses tejesebbek. Virágai kicsik, sárgák, júniustól nyílnak. A világhírű "Purple Heart" (38.) és a "Cape Blanco" (98.) fajok láthatók.



SORSZÁM NEMZETISÉGNÉV

1. Sedum telephium
2. Sedum album 'Aureum'
3. Sedum telephium 'Hob-Grey'
4. Sedum floriferum
5. Ivis bicharia
6. Sedum telephium
7. Sedum acre
8. Sedum saxatile
9. Sedum telephium
10. Sedum telephium
11. Sedum telephium 'Madrovergatum'
12. Sedum album 'Mural'
13. Delosperma congestum
14. Sedum album
15. Muscivora sp.
16. Delosperma sp.
17. Sedum album 'Coral Carpet'
18. Sedum telephium 'Aureum'
19. Sedum spatum 'Ticoles'
20. Delosperma sp.
21. Sedum telephium
22. Sedum telephium
23. Delosperma sp.
24. Sedum spatum 'Crimson'
25. Delosperma sp.
26. Delosperma sp.
27. Sedum sp.
28. Sedum sp.
29. Sedum sp.
30. Chamaedorea 'Pink Giant'
31. Cereus 'And Scholz'
32. Sedum stragulare
33. Sempervivum sp.
34. Delosperma congestum 'Dwarf'
35. Sedum telephium 'Blue Ice'
36. Sedum telephium 'Ladon'
37. Sedum telephium 'Glaucous Compactum'
38. Sedum spathulifolium 'Purple Heart'
39. Delosperma 'Red Mountain'
40. Delosperma congestum 'White Nigger'
41. Sempervivum sp.
42. Cereus telephium var. cinctus
43. Sedum telephium
44. Sedum album 'Coral Carpet'
45. Sedum telephium
46. Sempervivum sp.
47. Sedum acre 'Aureum'
48. Delosperma 'Sini Pasi'
49. Delosperma telephium
50. Delosperma (D. Polka (D.))
51. Delosperma 'Grand Rains'
52. Delosperma congestum (dwarf)
53. Sedum telephium
54. Sempervivum sp.
55. Sedum telephium
56. Cereus telephium
57. Sedum album 'Rosace'
58. Sedum sp.
59. Sedum telephium
60. Sedum telephium
61. Sedum sp.
62. Sedum sp.

SORSZÁM NEMZETISÉGNÉV

63. Sedum spatum 'Sinnon Grey'
64. Sedum spatum 'Bellina'
65. Sedum 'Immaginaria'
66. Sedum 'Purple Emperor'
67. Sedum telephium 'Sea Star'
68. Sedum telephium var. telephium (syn. telephium)
69. Orostachys sp.
70. Sedum 'Coral'
71. Orostachys sp.
72. Sedum spatum 'Coccinea'
73. Sedum telephium var. telephium
74. Sedum spatum 'Coral'
75. Sedum sp.
76. Sedum spatum 'Ticoles'
77. Lewisia cotyledon
78. Sedum telephium 'Aureum'
79. Sedum x hybridum 'Coral Gold'
80. Sedum 'Purple Emperor'
81. Sedum telephium
82. Sedum 'Red Coral'
83. Sedum sp.
84. Telipha chimaera 'Chyma'
85. Sedum sp.
86. Sedum telephium var. Telephium
87. Sedum spatum var. telephium
88. Sedum sp.
89. Sedum telephium
90. Sedum telephium 'Madrovergatum'
91. Sedum telephium 'Viregatum'
92. Sedum telephium
93. Sedum telephium 'Cape Blanco'
94. Sedum telephium
95. Sedum telephium
96. Sedum 'Chocolate'
97. Sedum album 'Microthum'
98. Sedum telephium
99. Sedum sp.
100. Lewisia cotyledon
101. Sedum telephium 'Glaucous Compactum'
102. Sedum album
103. Sempervivum sp.
104. Sempervivum telephium
105. Sedum telephium
106. Sedum spatum 'Polka'
107. Sedum sp.
108. Sedum sp.
109. Sedum telephium
110. Sedum telephium var. telephium
111. Sedum telephium
112. Sedum telephium
113. Sedum album 'Microthum'
114. Sedum telephium 'Widowmaker Gold'
115. Sedum telephium
116. Sedum telephium
117. Sedum telephium 'Glaucous'
118. Sedum telephium
119. Sedum telephium
120. Sedum telephium
121. Lewisia cotyledon
122. Sedum sp.
123. Sedum telephium

M3. A közegkeverékekben alkalmazott föld általános kémiai és fizikai paramétereit

Vizsgálat	Eredmény	Mértékegység
pH (KCl)	7,11	–
pH (H ₂ O)	7,44	–
Kötöttségi szám Arany szerint	35	–
Vizoldható összes só	0,03	%(m/m)
Mésztartalom	N.N.	%(m/m)
Humusztartalom	2,64	%(m/m)
Oldható Kálium (AL) K ₂ O-ban kifejezve	400	mg/kg
Oldható Magnézium (KCl)	219	mg/kg
Oldható Nátrium (AL)	17,9	mg/kg
Oldható Cink (EDTA)	20,4	mg/kg
Oldható Réz (EDTA)	6,2	mg/kg
Oldható Mangán (EDTA)	105	mg/kg
Oldható Foszfor (AL) P ₂ O ₅ -ban kifejezve	560	mg/kg
Oldható (NO ₂ +NO ₃)-N (KCl)	55,1	mg/kg
Leiszapolható rész	8,94	%(m/m)
Higroszkóposság (h _{yl})	0,987	–
Kapilláris vízemelés (5h) mm	245	mm

A méréseket az SGS Hungária Kft. Laboratóriuma (NAT-1-0992/2014) végezte szabványos akkreditált módszerek alapján.

M4. Zöldtető kivitelező és –tervező cégek listája

1.	Deepforest Kft.	pdezsényi@deepforest.hu
2.	Fitosystem Kft.	laszlo.bellavics@fitosystem.hu
3.	App Kft.	csszilard@diademroof.com
4.	Garden Kft.	hedvichn@gardenkft.hu
5.	V31 Kft.	info@v31.hu
6.	Gardenexpert Kft.	gardenexpert@chello.hu
7.	Odu Kft.	office@odu.ro
8.	Tectum Kft.	vladar@tectum.hu
9.	R.W.Bautech Kft.	gyhavas@rwbautech.hu
10.	Bauder Kft.	izsak.gyorgy@bauder.hu
11.	Játzókert Kft.	rusznak.pal@jatszokert.hu
12.	Titina Kft.	_titina@t-online.hu
13.	Stroget Kft.	stroget@freemail.hu
14.	Citikert Kft.	citikert@citikert.hu
15.	Parkline Kft.	info@parkline.hu
16.	Everling Kft.	_info@everling.hu
17.	Simaút Kft.	simaut@simaut.hu
18.	Barizskert Kft.	info@barizskert.hu
19.	Greenart Kft.	greenart@externet.hu
20.	Schneiderkert Kft.	info@schneiderkert.hu
21.	Zöldtér Kft.	zold.ter@freestart.hu
22.	Jávorszky tiszafa Kft.	javorszky.tiszafa@t-online.hu
23.	Park Kft.	park@emailtudakozo.hu
24.	Pandapont Kft.	pandapont@pandapont.hu
25.	Land-A Kft.	land-a@land-a.hu
26.	Vadászstúdió Kft.	vadaszstudio@vadaszstudio.hu
27.	Égigérőfű Kft.	ban.karolin@egigerofu.hu
28.	Gilincsek Gábor	gilincsek.gabor@epiteszmernok-tervezo.hu
29.	Merkbau Kft.	toth.tamas@merkbau.hu
30.	Strabag Kft.	karoly.kispal@strabag.com
31.	Arcadom Kft.	gszilagyi@arcadom.hu
32.	S73 Kft.	bpi@s73.hu
33.	Pronatura Kft.	pronatura@pronaturakert.hu
34.	Főnix 92 Kft.	fonix92@t-online.hu
35.	Market Kft.	marketiroda@market.hu
36.	Kész Kft.	bpiroda@kesz.hu
37.	Gropius Zrt.	gropius@gropius.hu
38.	Lakinet Zrt.	szabonorbert@lakinete.hu
39.	Garten Stúdió Kft.	info@gartenstudio.hu
40.	Kisvakond-Park Kft.	kisvakond@kisvakond.eu
41.	Sedum Kft.	sedum@sedumkft.hu

M5. *Sedum* fajok különböző közegeken mért antioxidáns kapacitásainak statisztikai eredményei

1. táblázat. *Sedum* fajok (Total phenolic contents, **TPC**) módszerrel mért antioxidáns kapacitás tartalom Kruskal-Wallis tesztjének eredménye

K (megfigyelt érték)	93,593
K (kritikus érték)	30,144
DF (szabadsági fok)	19
p-value	< 0,0001
alpha	0,05

2. táblázat. *Sedum* fajok (Total phenolic contents, **TPC**) módszerrel mért antioxidáns kapacitás tartalom Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei

Faj/közeg	Gyakoriság	Rangszám- összeg	Rang- átlag	Csoportok				
<i>S. album</i> _Kontroll	5	15,000	3,000	A				
<i>S. album</i> _K1	5	40,000	8,000	A	B			
<i>S. album</i> _K4	5	65,000	13,000	A	B			
<i>S. album</i> _K2	5	90,000	18,000	A	B	C		
<i>S. album</i> _K3	5	119,000	23,800	A	B	C	D	
<i>S. reflexum</i> _K1	5	145,000	29,000	A	B	C	D	
<i>S. reflexum</i> _K2	5	170,000	34,000	A	B	C	D	E
<i>S. spurium</i> _K2	5	208,000	41,600	A	B	C	D	E
<i>S. reflexum</i> _K3	5	212,000	42,400	A	B	C	D	E
<i>S. spurium</i> _K1	5	239,000	47,800	A	B	C	D	E
<i>S. reflexum</i> _K4	5	263,000	52,600	A	B	C	D	E
<i>S. hybridum</i> _K1	5	313,000	62,600	A	B	C	D	E
<i>S. hybridum</i> _K2	5	333,000	66,600	A	B	C	D	E
<i>S. spurium</i> _Kontroll	5	343,000	68,600	A	B	C	D	E
<i>S. hybridum</i> _Kontroll	5	350,000	70,000		B	C	D	E
<i>S. reflexum</i> _Kontroll	5	372,000	74,400		B	C	D	E
<i>S. spurium</i> _K4	5	421,000	84,200			C	D	E
<i>S. hybridum</i> _K4	5	429,000	85,800				D	E
<i>S. spurium</i> _K3	5	433,000	86,600				D	E
<i>S. hybridum</i> _K3	5	490,000	98,000					E

3. táblázat. *Sedum* fajok (Ferric Reducing Ability of Plasma, **FRAP**) módszerrel mért antioxidáns kapacitás tartalom Kruskal-Wallis tesztjének eredménye

K (megfigyelt érték)	94,878
K (kritikus érték)	30,144
DF (szabadsági fok)	19
p-value	< 0,0001
alpha	0,05

4. táblázat. *Sedum* fajok (Ferric Reducing Ability of Plasma, **FRAP**) módszerrel mért antioxidáns kapacitás tartalom Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei

Faj/közege	Gyakoriság	Rangsorszám-összeg	Rang-átlag	Csoportok					
<i>S. album_K1</i>	5	15,000	3,000	A					
<i>S. album_K4</i>	5	44,000	8,800	A	B				
<i>S. album_Kontroll</i>	5	61,000	12,200	A	B	C			
<i>S. reflexum_K2</i>	5	98,000	19,600	A	B	C	D		
<i>S. spurium_Kontroll</i>	5	127,000	25,400	A	B	C	D	E	
<i>S. album_K2</i>	5	137,000	27,400	A	B	C	D	E	
<i>S. album_K3</i>	5	148,000	29,600	A	B	C	D	E	
<i>S. reflexum_K1</i>	5	190,000	38,000	A	B	C	D	E	F
<i>S. reflexum_K3</i>	5	215,000	43,000	A	B	C	D	E	F
<i>S. spurium_K1</i>	5	258,000	51,600	A	B	C	D	E	F
<i>S. reflexum_K4</i>	5	290,000	58,000	A	B	C	D	E	F
<i>S. hybridum_Kontroll</i>	5	297,000	59,400	A	B	C	D	E	F
<i>S. hybridum_K1</i>	5	301,000	60,200	A	B	C	D	E	F
<i>S. spurium_K2</i>	5	357,000	71,400		B	C	D	E	F
<i>S. hybridum_K2</i>	5	358,000	71,600		B	C	D	E	F
<i>S. spurium_K3</i>	5	388,000	77,600			C	D	E	F
<i>S. spurium_K4</i>	5	410,000	82,000				D	E	F
<i>S. hybridum_K4</i>	5	411,000	82,200				D	E	F
<i>S. reflexum_Kontroll</i>	5	455,000	91,000					E	F
<i>S. hybridum_K3</i>	5	490,000	98,000						F

5. táblázat. *Sedum* fajok (CUPricion Reducing Antioxidant Capacity, **CUPRAC**) módszerrel mért antioxidáns kapacitás tartalom Kruskal-Wallis tesztjének eredménye

K (megfigyelt érték)	97,682
K (kritikus érték)	30,144
DF (szabadsági fok)	19
p-value	< 0,0001
alpha	0,05

6. táblázat. *Sedum* fajok (CUPricion Reducing Antioxidant Capacity, **CUPRAC**) módszerrel mért antioxidáns kapacitás tartalom Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei

Faj/közeg	Gyakoriság	Rangsorszám- összeg	Rang- átlag	Csoportok					
<i>S. spurium</i> _Kontroll	5	15,000	3,000	A					
<i>S. album</i> _Kontroll	5	40,000	8,000	A					
<i>S. album</i> _K1	5	65,000	13,000	A	B				
<i>S. album</i> _K4	5	90,000	18,000	A	B	C			
<i>S. album</i> _K3	5	123,000	24,600	A	B	C			
<i>S. album</i> _K2	5	132,000	26,400	A	B	C	D		
<i>S. reflexum</i> _K2	5	165,000	33,000	A	B	C	D	E	
<i>S. reflexum</i> _K1	5	190,000	38,000	A	B	C	D	E	
<i>S. reflexum</i> _K3	5	215,000	43,000	A	B	C	D	E	
<i>S. reflexum</i> _K4	5	240,000	48,000	A	B	C	D	E	
<i>S. spurium</i> _K1	5	270,000	54,000	A	B	C	D	E	
<i>S. hybridum</i> _K2	5	298,000	59,600	A	B	C	D	E	
<i>S. hybridum</i> _Kontroll	5	321,000	64,200	A	B	C	D	E	
<i>S. hybridum</i> _K1	5	321,000	64,200	A	B	C	D	E	
<i>S. spurium</i> _K4	5	392,000	78,400		B	C	D	E	
<i>S. spurium</i> _K3	5	402,000	80,400			C	D	E	
<i>S. spurium</i> _K2	5	404,000	80,800			C	D	E	
<i>S. hybridum</i> _K4	5	412,000	82,400			C	D	E	
<i>S. reflexum</i> _Kontroll	5	465,000	93,000				D	E	
<i>S. hybridum</i> _K3	5	490,000	98,000					E	

7. táblázat. *Sedum* fajok (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil, **DPPH**) módszerrel mért antioxidáns kapacitás tartalom Kruskal-Wallis tesztjének eredménye

K (megfigyelt érték)	96,702
K (kritikus érték)	30,144
DF (szabadségi fok)	19
p-value	< 0,0001
alpha	0,05

8. táblázat. *Sedum* fajok (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil, **DPPH**) módszerrel mért antioxidáns kapacitás tartalom Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei

Faj/közeg	Gyakoriság	Rangsorszám- összeg	Rang- átlag	Csoportok					
<i>S. album_K1</i>	5	15,000	3,000	A					
<i>S. album_K4</i>	5	40,000	8,000	A	B				
<i>S. album_K3</i>	5	71,000	14,200	A	B	C			
<i>S. reflexum_K2</i>	5	84,000	16,800	A	B	C			
<i>S. hybridum_Kontroll</i>	5	115,000	23,000	A	B	C	D		
<i>S. album_K2</i>	5	140,000	28,000	A	B	C	D	E	
<i>S. reflexum_K1</i>	5	165,000	33,000	A	B	C	D	E	F
<i>S. album_Kontroll</i>	5	190,000	38,000	A	B	C	D	E	F
<i>S. reflexum_Kontroll</i>	5	215,000	43,000	A	B	C	D	E	F
<i>S. reflexum_K3</i>	5	240,000	48,000	A	B	C	D	E	F
<i>S. spurium_Kontroll</i>	5	277,000	55,400	A	B	C	D	E	F
<i>S. hybridum_K3</i>	5	310,000	62,000	A	B	C	D	E	F
<i>S. spurium_K3</i>	5	330,000	66,000	A	B	C	D	E	F
<i>S. hybridum_K2</i>	5	345,000	69,000	A	B	C	D	E	F
<i>S. spurium_K1</i>	5	350,000	70,000		B	C	D	E	F
<i>S. hybridum_K1</i>	5	369,000	73,800		B	C	D	E	F
<i>S. spurium_K2</i>	5	404,000	80,800			C	D	E	F
<i>S. spurium_K4</i>	5	435,000	87,000				D	E	F
<i>S. hybridum_K4</i>	5	465,000	93,000					E	F
<i>S. reflexum_K4</i>	5	490,000	98,000						F

M6. *Sedum* fajok növekedési jelleggörbéinek regressziós diagnosztikája és feltételevizsgálata

1. táblázat A *Sedum album* nem lineáris modellek együttthatóinak a becslése

paraméterek	becslés	standard hiba	konfidencia intervallum (95%) alsó korlát	konfidencia intervallum (95%) felső korlát	becslés/ standard hiba (számított t)	szignifikancia szint
V1K1						
p ₁	9,061	0,665	7,579	10,544	13,625	p<0,001
p ₂	10,243	0,762	8,545	11,942	13,442	p<0,001
p ₃	0,072	0,017	0,034	0,111	4,235	p<0,001
V2K1						
p ₁	8,927	0,735	7,288	10,566	12,148	p<0,001
p ₂	11,204	0,874	9,257	13,151	12,819	p<0,001
p ₃	0,070	0,017	0,031	0,109	4,117	p<0,001
V1K2						
p ₁	9,195	0,619	7,817	10,574	14,854	p<0,001
p ₂	13,000	4,051	3,973	22,027	3,209	p<0,001
p ₃	0,030	0,017	-0,008	0,067	1,764	p<0,001
V2K2						
p ₁	9,234	0,771	7,515	10,953	11,976	p<0,001
p ₂	13,000	5,633	0,449	25,551	2,307	p<0,001
p ₃	0,028	0,022	-0,020	0,076	1,272	p<0,001
V1K3						
p ₁	9,388	0,651	7,937	10,840	14,420	p<0,001
p ₂	13,000	5,917	-0,185	26,185	2,198	p<0,001
p ₃	0,026	0,019	-0,017	0,069	1,368	p<0,001
V2K3						
p ₁	9,288	0,662	7,812	10,764	14,030	p<0,001
p ₂	13,000	5,423	0,917	25,083	2,397	p<0,001
p ₃	0,027	0,019	-0,016	0,069	1,421	p<0,001
V1K4						
p ₁	9,098	0,670	7,606	10,590	13,579	p<0,001
p ₂	10,303	0,780	8,564	12,041	13,208	p<0,001
p ₃	0,071	0,017	0,033	0,110	4,176	p<0,001
V2K4						
p ₁	8,922	0,729	7,298	10,547	12,238	p<0,001
p ₂	10,713	0,797	8,937	12,488	13,441	p<0,001
p ₃	0,076	0,018	0,035	0,116	4,222	p<0,001

2. táblázat *A Sedum hybridum* nem lineáris modellek együttthatóinak a becslése

paraméterek	becslés	standard hiba	konfidencia intervallum (95%) alsó korlát	konfidencia intervallum (95%) felső korlát	becslés/standard hiba (számított t)	szignifikancia szint
V1K1						
p ₁	9,093	0,681	7,575	10,610	13,352	p<0,001
p ₂	10,390	0,809	8,588	12,192	12,843	p<0,001
p ₃	0,070	0,017	0,031	0,109	4,117	p<0,001
V2K1						
p ₁	8,926	0,740	7,276	10,576	12,062	p<0,001
p ₂	11,235	0,867	9,304	13,166	12,958	p<0,001
p ₃	0,071	0,018	0,032	0,110	3,944	p<0,001
V1K2						
p ₁	9,314	0,611	7,952	10,676	15,243	p<0,001
p ₂	13,000	4,260	3,507	22,493	3,073	p<0,001
p ₃	0,029	0,017	-0,009	0,067	1,705	p<0,001
V2K2						
p ₁	9,266	0,725	7,652	10,881	12,780	p<0,001
p ₂	13,000	5,355	1,069	24,931	2,427	p<0,001
p ₃	0,028	0,020	-0,017	0,074	1,4	p<0,001
V1K3						
p ₁	9,271	0,652	7,819	10,723	14,219	p<0,001
p ₂	13,000	4,877	2,134	23,866	2,665	p<0,001
p ₃	0,028	0,018	-0,013	0,069	1,555	p<0,001
V2K3						
p ₁	9,158	0,670	7,666	10,651	13,668	p<0,001
p ₂	13,000	4,356	3,294	22,706	2,984	p<0,001
p ₃	0,030	0,018	-0,010	0,070	1,666	p<0,001
V1K4						
p ₁	9,076	0,683	7,554	10,598	13,288	p<0,001
p ₂	10,474	0,811	8,667	12,281	12,914	p<0,001
p ₃	0,070	0,017	0,032	0,109	4,117	p<0,001
V2K4						
p ₁	8,986	0,689	7,451	10,521	13,042	p<0,001
p ₂	10,623	0,771	8,904	12,341	13,778	p<0,001
p ₃	0,074	0,017	0,036	0,112	4,352	p<0,001

3. táblázat *A Sedum reflexum* nem lineáris modellek együtthatóinak a becslése

paraméterek	becslés	standard hiba	konfidencia intervallum (95%) alsó korlát	konfidencia intervallum (95%) felső korlát	becslés/ standard hiba (számított t)	szignifikancia szint
V1K1						
p ₁	9,108	0,496	8,003	10,213	18,362	p<0,001
p ₂	9,375	0,531	8,192	10,558	17,655	p<0,001
p ₃	0,077	0,014	0,046	0,109	5,5	p<0,001
V2K1						
p ₁	9,169	0,501	8,053	10,286	18,301	p<0,001
p ₂	9,808	0,562	8,556	11,060	17,451	p<0,001
p ₃	0,074	0,014	0,044	0,104	5,285	p<0,001
V1K2						
p ₁	9,538	0,982	7,350	11,726	9,712	p<0,001
p ₂	13,000	10,250	-9,838	35,838	1,268	p<0,001
p ₃	0,024	0,030	-0,044	0,092	0,8	p<0,001
V2K2						
p ₁	9,711	0,421	8,772	10,650	23,066	p<0,001
p ₂	13,000	5,926	-0,203	26,203	2,193	p<0,001
p ₃	0,021	0,014	-0,011	0,053	1,5	p<0,001
V1K3						
p ₁	9,793	0,404	8,893	10,694	24,240	p<0,001
p ₂	13,000	6,395	-1,248	27,248	2,032	p<0,001
p ₃	0,020	0,014	-0,012	0,052	1,428	p<0,001
V2K3						
p ₁	9,641	0,438	8,665	10,617	22,011	p<0,001
p ₂	13,000	5,767	0,150	25,850	2,254	p<0,001
p ₃	0,022	0,015	-0,011	0,054	1,466	p<0,001
V1K4						
p ₁	9,229	0,501	8,113	10,344	18,421	p<0,001
p ₂	9,856	0,633	8,447	11,266	15,570	p<0,001
p ₃	0,067	0,014	0,037	0,097	4,785	p<0,001
V2K4						
p ₁	9,195	0,516	8,046	10,345	17,819	p<0,001
p ₂	10,146	0,637	8,728	11,564	15,927	p<0,001
p ₃	0,068	0,014	0,038	0,098	4,857	p<0,001

4. táblázat *A Sedum spurium* nem lineáris modellek együtthatóinak a becslése

paraméterek	becslés	standard hiba	konfidencia intervallum (95%) alsó korlát	konfidencia intervallum (95%) felső korlát	becslés/ standard hiba (számított t)	szignifikancia szint
V1K1						
p ₁	9,176	0,503	8,056	10,296	18,242	p<0,001
p ₂	9,266	0,535	8,073	10,458	17,319	p<0,001
p ₃	0,078	0,014	0,046	0,110	5,571	p<0,001
V2K1						
p ₁	9,170	0,512	8,029	10,310	17,910	p<0,001
p ₂	10,180	0,607	8,827	11,533	16,771	p<0,001
p ₃	0,070	0,013	0,041	0,100	5,384	p<0,001
V1K2						
p ₁	9,600	0,359	8,799	10,400	26,740	p<0,001
p ₂	8,546	1,462	5,288	11,804	5,845	p<0,001
p ₃	0,037	0,013	0,008	0,067	2,846	p<0,001
V2K2						
p ₁	9,683	0,348	8,908	10,458	27,824	p<0,001
p ₂	9,105	1,890	4,893	13,317	4,817	p<0,001
p ₃	0,033	0,013	0,004	0,061	2,538	p<0,001
V1K3						
p ₁	9,657	0,350	8,876	10,438	27,591	p<0,001
p ₂	8,486	1,510	5,122	11,851	5,6	p<0,001
p ₃	0,036	0,013	0,007	0,066	2,769	p<0,001
V2K3						
p ₁	9,731	0,400	8,839	10,622	24,3275	p<0,001
p ₂	13,000	5,920	-0,191	26,191	2,196	p<0,001
p ₃	0,020	0,014	-0,010	0,051	1,428	p<0,001
V1K4						
p ₁	9,122	0,534	7,933	10,311	17,082	p<0,001
p ₂	9,558	0,573	8,281	10,834	16,680	p<0,001
p ₃	0,077	0,015	0,044	0,110	5,133	p<0,001
V2K4						
p ₁	9,022	0,559	7,777	10,267	16,139	p<0,001
p ₂	9,720	0,573	8,444	10,996	16,963	p<0,001
p ₃	0,082	0,015	0,047	0,116	5,466	p<0,001

5. táblázat. A *Sedum album* növekedésére illesztett nem lineráris modellekre vonatkozó ANOVA

	Négyzetösszeg	Szabadsági fok	Átlagos négyzetes eltérés
V1K1			
Regresszió	3246,008	3	1082,003
Maradék	4,687	10	0,469
Korrekciónélküli teljes	3250,694	13	
Korrigált teljes	106,484	12	
V2K1			
Regresszió	3421,469	3	1140,490
Maradék	5,812	10	0,581
Korrekciónélküli teljes	3427,282	13	
Korrigált teljes	126,603	12	
V1K2			
Regresszió	2714,740	3	904,913
Maradék	5,490	10	0,549
Korrekciónélküli teljes	2720,229	13	
Korrigált teljes	100,881	12	
V2K2			
Regresszió	2662,425	3	887,475
Maradék	8,625	10	0,863
Korrekciónélküli teljes	2671,050	13	
Korrigált teljes	100,914	12	
V1K3			
Regresszió	2583,191	3	861,064
Maradék	6,278	10	0,628
Korrekciónélküli teljes	2589,469	13	
Korrigált teljes	86,072	12	
V2K3			
Regresszió	2609,582	3	869,861
Maradék	6,431	10	0,643
Korrekciónélküli teljes	2616,013	13	
Korrigált teljes	91,293	12	
V1K4			
Regresszió	3260,458	3	1086,819
Maradék	4,781	10	0,478
Korrekciónélküli teljes	3265,239	13	
Korrigált teljes	107,363	12	
V2K4			
Regresszió	3372,389	3	1124,130
Maradék	5,501	10	0,550
Korrekciónélküli teljes	3377,890	13	
Korrigált teljes	117,983	12	

6. táblázat. A *Sedum hybridum* növekedésére illesztett nem lineráris modellekre vonatkozó ANOVA

	Négyzetösszeg	Szabadsági fok	Átlagos négyzetes eltérés
V1K1			
Regresszió	3264,186	3	1088,062
Maradék	4,985	10	0,498
Korrekciónélküli teljes	3269,171	13	
Korrigált teljes	108,870	12	
V2K1			
Regresszió	3445,426	3	1148,475
Maradék	5,857	10	0,586
Korrekciónélküli teljes	3451,283	13	
Korrigált teljes	127,726	12	
V1K2			
Regresszió	2719,112	3	906,371
Maradék	5,395	10	0,539
Korrekciónélküli teljes	2724,507	13	
Korrigált teljes	97,662	12	
V2K2			
Regresszió	2666,267	3	888,756
Maradék	7,621	10	0,762
Korrekciónélküli teljes	2673,888	13	
Korrigált teljes	98,750	12	
V1K3			
Regresszió	2659,125	3	886,375
Maradék	6,172	10	0,617
Korrekciónélküli teljes	2665,297	13	
Korrigált teljes	95,707	12	
V2K3			
Regresszió	2706,755	3	902,252
Maradék	6,429	10	0,643
Korrekciónélküli teljes	2713,184	13	
Korrigált teljes	103,369	12	
V1K4			
Regresszió	3280,529	3	1093,510
Maradék	5,013	10	0,501
Korrekciónélküli teljes	3285,542	13	
Korrigált teljes	110,586	12	
V2K4			
Regresszió	3345,256	3	1115,085
Maradék	4,972	10	0,497
Korrekciónélküli teljes	3350,229	13	
Korrigált teljes	114,995	12	

7. táblázat. A *Sedum reflexum* növekedésére illesztett nem lineáris modellekre vonatkozó ANOVA

	Négyzetösszeg	Szabadsági fok	Átlagos négyzetes eltérés
V1K1			
Regresszió	3095,204	3	1031,735
Maradék	2,517	10	0,252
Korrekciónélküli teljes	3097,721	13	
Korrigált teljes	89,047	12	
V2K1			
Regresszió	3190,551	3	1063,517
Maradék	2,631	10	0,263
Korrekciónélküli teljes	3193,183	13	
Korrigált teljes	96,399	12	
V1K2			
Regresszió	2553,270	3	851,090
Maradék	14,438	10	1,444
Korrekciónélküli teljes	2567,709	13	
Korrigált teljes	85,698	12	
V2K2			
Regresszió	2448,808	3	816,269
Maradék	2,722	10	0,272
Korrekciónélküli teljes	2451,531	13	
Korrigált teljes	61,761	12	
V1K3			
Regresszió	2415,363	3	805,121
Maradék	2,525	10	0,252
Korrekciónélküli teljes	2417,888	13	
Korrigált teljes	56,806	12	
V2K3			
Regresszió	2459,670	3	819,890
Maradék	2,927	10	0,293
Korrekciónélküli teljes	2462,598	13	
Korrigált teljes	64,535	12	
V1K4			
Regresszió	3123,192	3	1041,064
Maradék	2,754	10	0,275
Korrekciónélküli teljes	3125,946	13	
Korrigált teljes	94,919	12	
V2K4			
Regresszió	3205,624	3	1068,541
Maradék	2,899	10	0,290
Korrekciónélküli teljes	3208,523	13	
Korrigált teljes	101,097	12	

8. táblázat. A *Sedum spurium* növekedésére illesztett nem lineáris modellekre vonatkozó ANOVA

	Négyzetösszeg	Szabadsági fok	Átlagos négyzetes eltérés
V1K1			
Regresszió	3097,596	3	1032,532
Maradék	2,577	10	0,258
Korrekciónélküli teljes	3100,173	13	
Korrigált teljes	87,188	12	
V2K1			
Regresszió	3239,042	3	1079,681
Maradék	2,814	10	0,281
Korrekciónélküli teljes	3241,856	13	
Korrigált teljes	102,568	12	
V1K2			
Regresszió	2381,518	3	793,839
Maradék	1,756	10	0,176
Korrekciónélküli teljes	2383,274	13	
Korrigált teljes	49,738	12	
V2K2			
Regresszió	2380,420	3	793,473
Maradék	1,701	10	0,170
Korrekciónélküli teljes	2382,121	13	
Korrigált teljes	49,701	12	
V1K3			
Regresszió	2368,886	3	789,629
Maradék	1,682	10	0,168
Korrekciónélküli teljes	2370,567	13	
Korrigált teljes	47,886	12	
V2K3			
Regresszió	2428,346	3	809,449
Maradék	2,464	10	0,246
Korrekciónélküli teljes	2430,809	13	
Korrigált teljes	59,159	12	
V1K4			
Regresszió	3147,852	3	1049,284
Maradék	2,918	10	0,292
Korrekciónélküli teljes	3150,771	13	
Korrigált teljes	92,793	12	
V2K4			
Regresszió	3211,563	3	1070,521
Maradék	3,103	10	0,310
Korrekciónélküli teljes	3214,666	13	
Korrigált teljes	96,925	12	

9. táblázat. A *Sedum album* növekedési értékeinek szóródásának magyarázata *F*-próba, és a teljes modellre vonatkozó *t*-próba

	regresszió szabadsági foka	maradék szabadsági foka	F-érték (számított)	szignifikancia	t-érték (számított)	szignifikancia
V1K1	3	10	2307,042	p<0,001	15,459	p<0,001
V2K1	3	10	1962,977	p<0,001	15,103	p<0,001
V1K2	3	10	1648,293	p<0,001	13,881	p<0,001
V2K2	3	10	1028,360	p<0,001	10,881	p<0,001
V1K3	3	10	1371,121	p<0,001	11,818	p<0,001
V2K3	3	10	1352,816	p<0,001	12,088	p<0,001
V1K4	3	10	2273,679	p<0,001	15,278	p<0,001
V2K4	3	10	2043,872	p<0,001	14,934	p<0,001

10. táblázat. A *Sedum hybridum* növekedési értékeinek szóródásának magyarázata *F*-próba, és a teljes modellre vonatkozó *t*-próba

	regresszió szabadsági foka	maradék szabadsági foka	F-érték (számított)	szignifikancia	t-érték (számított)	szignifikancia
V1K1	3	10	2184,863	p<0,001	15,103	p<0,001
V2K1	3	10	1959,854	p<0,001	15,103	p<0,001
V1K2	3	10	1681,578	p<0,001	13,747	p<0,001
V2K2	3	10	1166,346	p<0,001	11,482	p<0,001
V1K3	3	10	1436,588	p<0,001	12,683	p<0,001
V2K3	3	10	1403,191	p<0,001	12,900	p<0,001
V1K4	3	10	2182,654	p<0,001	15,278	p<0,001
V2K4	3	10	2243,631	p<0,001	15,646	p<0,001

11. táblázat. A *Sedum reflexum* növekedési értékeinek szóródásának magyarázata *F*-próba, és a teljes modellre vonatkozó *t*-próba

	regresszió szabadsági foka	maradék szabadsági foka	F-érték (számított)	szignifikancia	t-érték (számított)	szignifikancia
V1K1	3	10	4094,186	p<0,001	19,541	p<0,001
V2K1	3	10	4043,790	p<0,001	19,909	p<0,001
V1K2	3	10	589,397	p<0,001	7,380	p<0,001
V2K2	3	10	3000,988	p<0,001	15,459	p<0,001
V1K3	3	10	3194,924	p<0,001	15,459	p<0,001
V2K3	3	10	2798,259	p<0,001	15,278	p<0,001
V1K4	3	10	3785,687	p<0,001	19,191	p<0,001
V2K4	3	10	3684,624	p<0,001	19,191	p<0,001

12. táblázat. A *Sedum spurium* növekedési értékeinek szóródásának magyarázata *F*-próba, és a teljes modellre vonatkozó *t*-próba

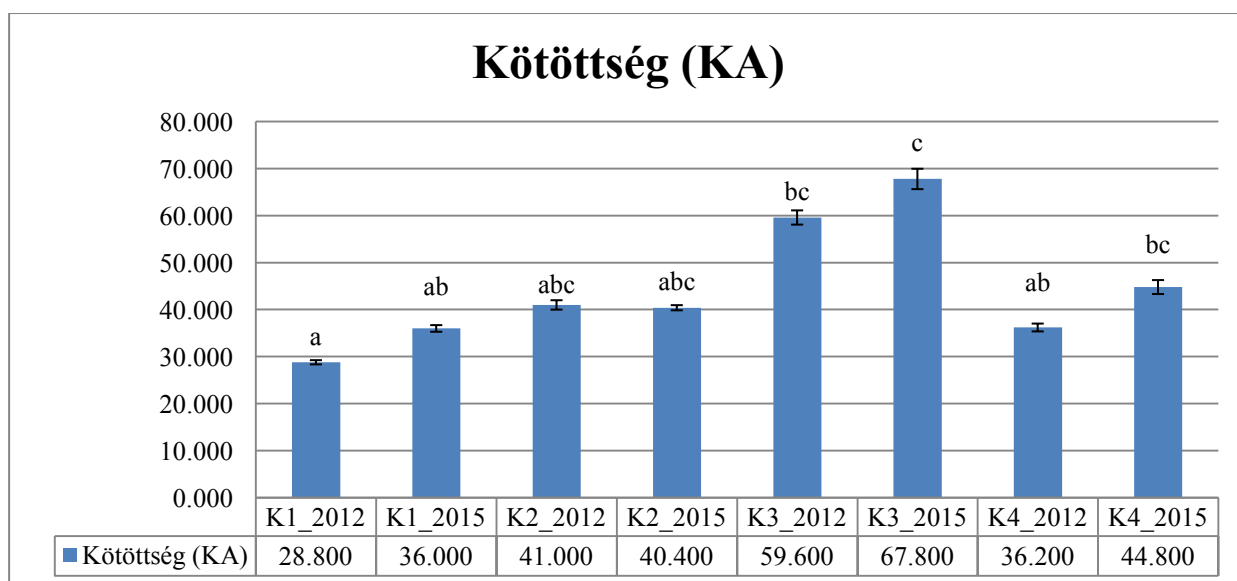
	regresszió szabadsági foka	maradék szabadsági foka	F-érték (számított)	szignifikancia	t-érték (számított)	szignifikancia
V1K1	3	10	4002,062	p<0,001	18,859	p<0,001
V2K1	3	10	3842,281	p<0,001	19,909	p<0,001
V1K2	3	10	4510,448	p<0,001	17,415	p<0,001
V2K2	3	10	4667,488	p<0,001	17,678	p<0,001
V1K3	3	10	4700,172	p<0,001	17,415	p<0,001
V2K3	3	10	3290,443	p<0,001	15,839	p<0,001
V1K4	3	10	3593,438	p<0,001	18,542	p<0,001
V2K4	3	10	3453,293	p<0,001	18,241	p<0,001

M7. *Sedum fajok* növekedésére ható paraméterekre végzett MANOVA többváltozós tesztsjei

Multivariate Tests ^a										
par			Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.	Partial Eta Squared	Noncent. Parameter	Observed Power ^d
p1	Intercept	Pillai's Trace	1,000	62887,080 ^b	3,000	1,000	0,003	1,000	188661,240	1,000
		Wilks' Lambda	,000	62887,080 ^b	3,000	1,000	0,003	1,000	188661,240	1,000
		Hotelling's Trace	188661,240	62887,080 ^b	3,000	1,000	0,003	1,000	188661,240	1,000
		Roy's Largest Root	188661,240	62887,080 ^b	3,000	1,000	0,003	1,000	188661,240	1,000
	kez1	Pillai's Trace	1,887	1,694	9,000	9,000	0,222	0,629	15,248	0,414
		Wilks' Lambda	0,003	2,699	9,000	2,584	,251	0,850	14,689	0,154
		Hotelling's Trace			9,000					
		Roy's Largest Root	41,268	41,268 ^c	3,000	3,000	0,006	0,976	123,804	0,994
	M	Pillai's Trace	0,872	2,275 ^b	3,000	1,000	0,445	0,872	6,826	0,094
		Wilks' Lambda	0,128	2,275 ^b	3,000	1,000	0,445	0,872	6,826	0,094
		Hotelling's Trace	6,826	2,275 ^b	3,000	1,000	0,445	0,872	6,826	0,094
		Roy's Largest Root	6,826	2,275 ^b	3,000	1,000	0,445	0,872	6,826	0,094
p2	Intercept	Pillai's Trace	1,000	1898,031 ^b	3,000	1,000	0,017	1,000	5694,092	0,997
		Wilks' Lambda	0,000	1898,031 ^b	3,000	1,000	0,017	1,000	5694,092	0,997
		Hotelling's Trace	5694,092	1898,031 ^b	3,000	1,000	0,017	1,000	5694,092	0,997
		Roy's Largest Root	5694,092	1898,031 ^b	3,000	1,000	0,017	1,000	5694,092	0,997
	kez1	Pillai's Trace	1,582	1,116	9,000	9,000	0,437	0,527	10,042	0,275
		Wilks' Lambda	0,009	1,695	9,000	2,584	0,386	0,791	9,805	0,119
		Hotelling's Trace			9,000					
		Roy's Largest Root	49,086	49,086 ^c	3,000	3,000	,005	0,980	147,259	0,998
	M	Pillai's Trace	0,811	1,430 ^b	3,000	1,000	0,536	0,811	4,291	0,080
		Wilks' Lambda	0,189	1,430 ^b	3,000	1,000	0,536	0,811	4,291	0,080
		Hotelling's Trace	4,291	1,430 ^b	3,000	1,000	0,536	0,811	4,291	0,080
		Roy's Largest Root	4,291	1,430 ^b	3,000	1,000	0,536	0,811	4,291	0,080
p3	Intercept	Pillai's Trace	1,000	1616,883 ^b	3,000	1,000	0,018	1,000	4850,648	0,994

		Wilks' Lambda	0,000	1616,883 ^b	3,000	1,000	0,018	1,000	4850,648	0,994
		Hotelling's Trace	4850,648	1616,883 ^b	3,000	1,000	0,018	1,000	4850,648	,994
		Roy's Largest Root	4850,648	1616,883 ^b	3,000	1,000	,018	1,000	4850,648	,994
	kez1	Pillai's Trace	2,679	8,358	9,000	9,000	,002	,893	75,222	,992
		Wilks' Lambda	,000	29,111	9,000	2,584	,016	,977	107,856	,667
		Hotelling's Trace			9,000					
		Roy's Largest Root	934,722	934,722 ^c	3,000	3,000	,000	,999	2804,166	1,000
	M	Pillai's Trace	,800	1,331 ^b	3,000	1,000	,550	,800	3,994	,078
		Wilks' Lambda	,200	1,331 ^b	3,000	1,000	,550	,800	3,994	,078
		Hotelling's Trace	3,994	1,331 ^b	3,000	1,000	,550	,800	3,994	,078
		Roy's Largest Root	3,994	1,331 ^b	3,000	1,000	,550	,800	3,994	,078
	a. Design: Intercept + kez1 + M									
	b. Exact statistic									
	c. The statistic is an upper bound on F that yields a lower bound on the significance level.									
	d. Computed using $\alpha = 0,05$									

M8. Közegkeverékek általános fizikai tulajdonságainak elemzése és szignifikáns differenciái

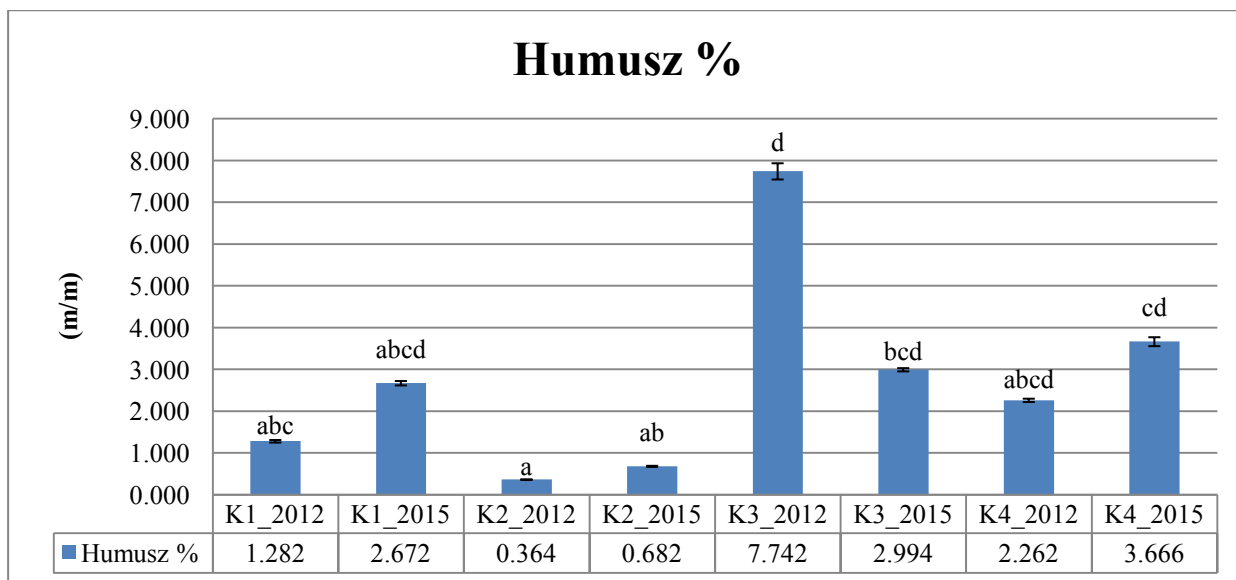


1. ábra. Közegkeverékek átlagos kötöttség értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

1. táblázat. Közegkeverékek kötöttség értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	K1_2012	K1_2015	K2_2012	K2_2015	K3_2012	K3_2015	K4_2012	K4_2015
K1_2012	1	0,335	0,013	0,024	< 0,0001	< 0,0001	0,284	0,001
K1_2015	0,335	1	0,125	0,197	0,002	0,000	0,914	0,015
K2_2012	0,013	0,125	1	0,807	0,116	0,024	0,154	0,371
K2_2015	0,024	0,197	0,807	1	0,069	0,013	0,238	0,254
K3_2012	< 0,0001	0,002	0,116	0,069	1	0,498	0,003	0,498
K3_2015	< 0,0001	0,000	0,024	0,013	0,498	1	0,000	0,175
K4_2012	0,284	0,914	0,154	0,238	0,003	0,000	1	0,020
K4_2015	0,001	0,015	0,371	0,254	0,498	0,175	0,020	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0018

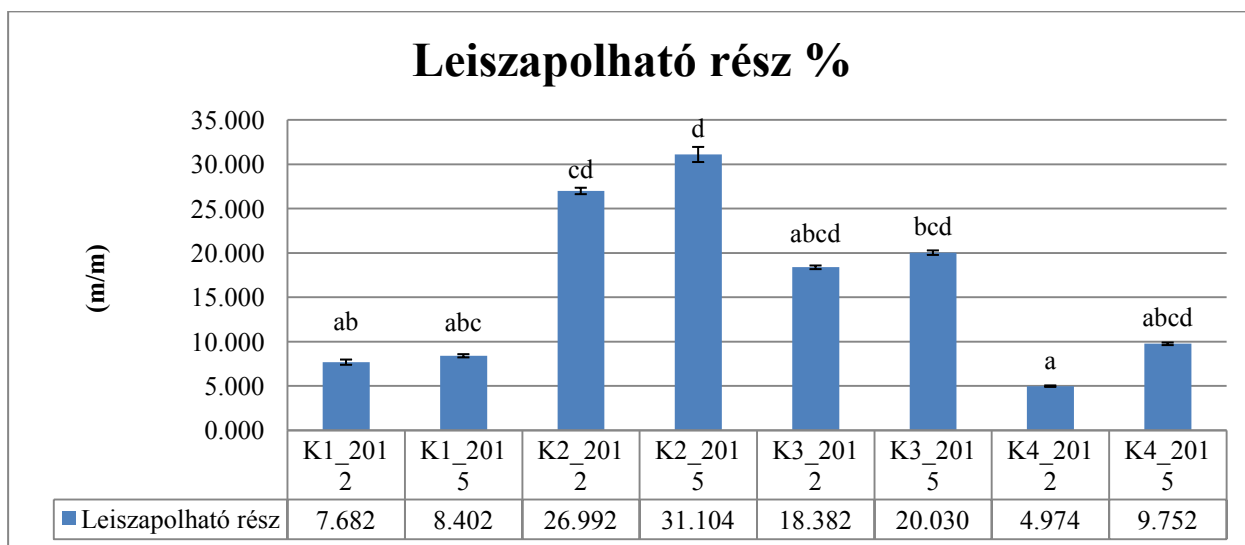


2. ábra. Közegkeverékek átlagos humusz értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

2. táblázat. Közegkeverékek humusz értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	K1_2012	K1_2015	K2_2012	K2_2015	K3_2012	K3_2015	K4_2012	K4_2015
K1_2012	1	0,176	0,176	0,499	0,001	0,042	0,499	0,007
K1_2015	0,176	1	0,007	0,042	0,042	0,499	0,499	0,176
K2_2012	0,176	0,007	1	0,499	< 0,0001	0,001	0,042	< 0,0001
K2_2015	0,499	0,042	0,499	1	< 0,0001	0,007	0,176	0,001
K3_2012	0,001	0,042	< 0,0001	< 0,0001	1	0,176	0,007	0,499
K3_2015	0,042	0,499	0,001	0,007	0,176	1	0,176	0,499
K4_2012	0,499	0,499	0,042	0,176	0,007	0,176	1	0,042
K4_2015	0,007	0,176	< 0,0001	0,001	0,499	0,499	0,042	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0018

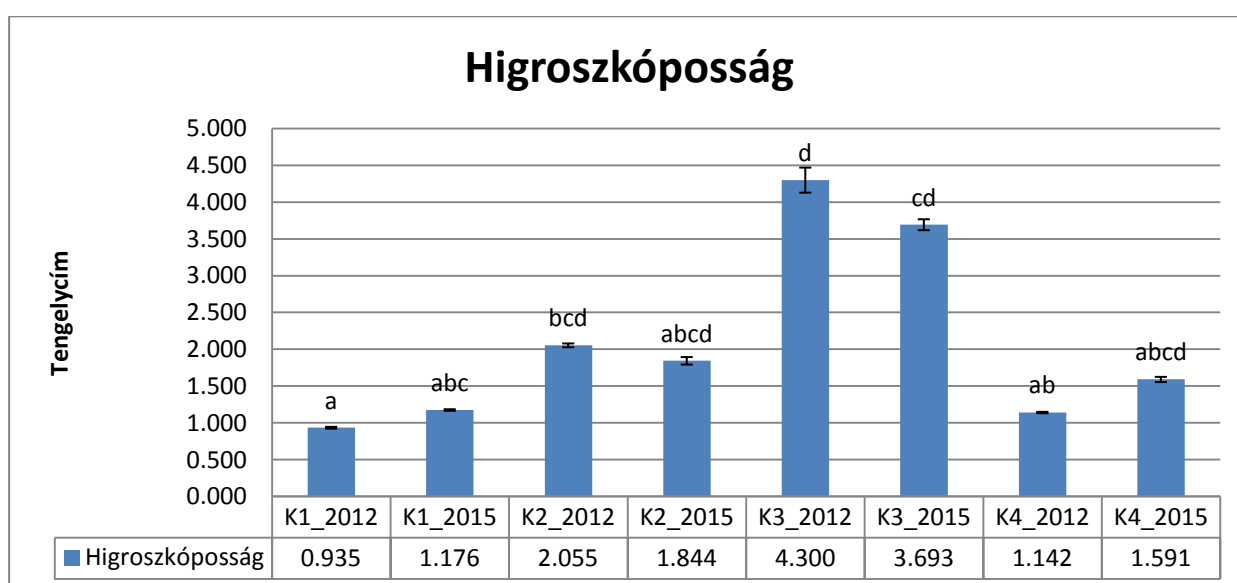


3. ábra. Közegkeverékek átlagos leiszapolható rész értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

3. táblázat. Közegkeverékek leiszapolható rész értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	K1_2012	K1_2015	K2_2012	K2_2015	K3_2012	K3_2015	K4_2012	K4_2015
K1_2012	1	0,499	0,001	< 0,0001	0,042	0,007	0,499	0,176
K1_2015	0,499	1	0,007	0,001	0,176	0,042	0,176	0,499
K2_2012	0,001	0,007	1	0,499	0,176	0,499	< 0,0001	0,042
K2_2015	< 0,0001	0,001	0,499	1	0,042	0,176	< 0,0001	0,007
K3_2012	0,042	0,176	0,176	0,042	1	0,499	0,007	0,499
K3_2015	0,007	0,042	0,499	0,176	0,499	1	0,001	0,176
K4_2012	0,499	0,176	< 0,0001	< 0,0001	0,007	0,001	1	0,042
K4_2015	0,176	0,499	0,042	0,007	0,499	0,176	0,042	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0018

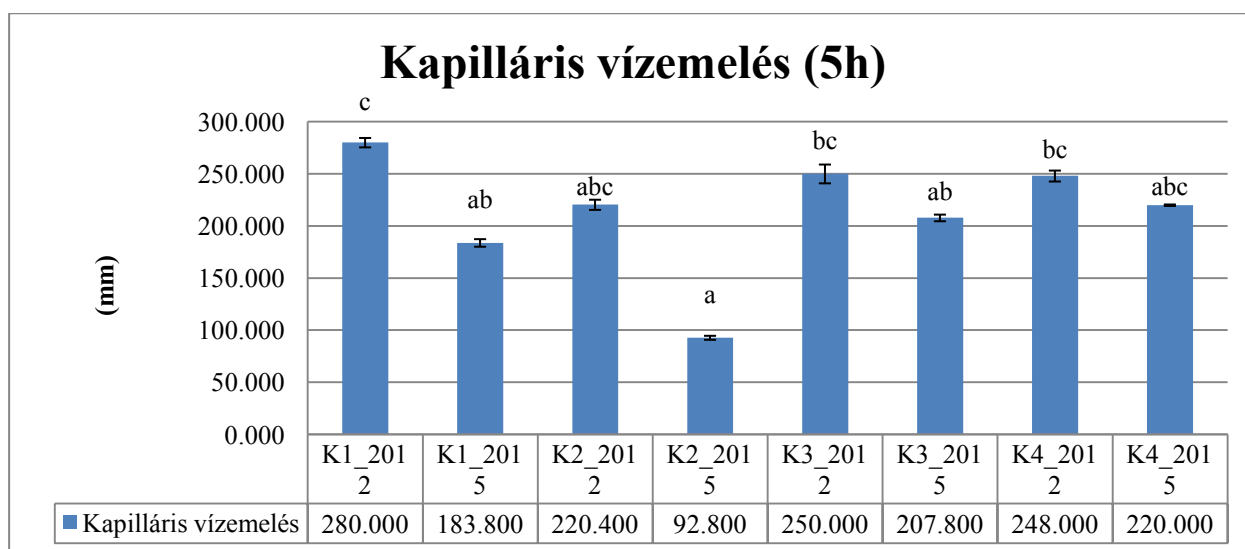


4. ábra. Közegkeverékek átlagos higroszkóposság értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

4. táblázat. Közegkeverékek higroszkóposság értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	K1_2012	K1_2015	K2_2012	K2_2015	K3_2012	K3_2015	K4_2012	K4_2015
K1_2012	1	0,176	0,001	0,007	< 0,0001	< 0,0001	0,499	0,042
K1_2015	0,176	1	0,042	0,176	0,001	0,007	0,499	0,499
K2_2012	0,001	0,042	1	0,499	0,176	0,499	0,007	0,176
K2_2015	0,007	0,176	0,499	1	0,042	0,176	0,042	0,499
K3_2012	< 0,0001	0,001	0,176	0,042	1	0,499	< 0,0001	0,007
K3_2015	< 0,0001	0,007	0,499	0,176	0,499	1	0,001	0,042
K4_2012	0,499	0,499	0,007	0,042	< 0,0001	0,001	1	0,176
K4_2015	0,042	0,499	0,176	0,499	0,007	0,042	0,176	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0018



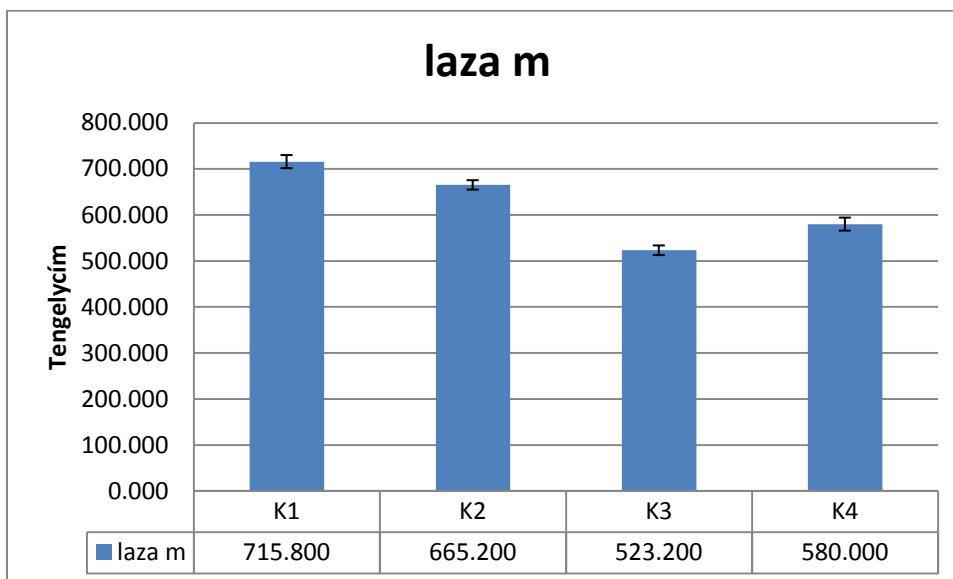
5. ábra. Közegkeverékek átlagos kapilláris vízemelés értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

5. táblázat. Közegkeverékek kapilláris vízemelés értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (*p* értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	K1_2012	K1_2015	K2_2012	K2_2015	K3_2012	K3_2015	K4_2012	K4_2015
K1_2012	1	< 0,0001	0,021	< 0,0001	0,330	0,001	0,291	0,015
K1_2015	< 0,0001	1	0,081	0,499	0,002	0,499	0,003	0,102
K2_2012	0,021	0,081	1	0,015	0,180	0,285	0,208	0,914
K2_2015	< 0,0001	0,499	0,015	1	0,000	0,176	0,000	0,021
K3_2012	0,330	0,002	0,180	0,000	1	0,016	0,935	0,148
K3_2015	0,001	0,499	0,285	0,176	0,016	1	0,020	0,337
K4_2012	0,291	0,003	0,208	0,000	0,935	0,020	1	0,172
K4_2015	0,015	0,102	0,914	0,021	0,148	0,337	0,172	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0018

M9. Közegkeverékek specifikus fizikai tulajdonságainak elemzése és szignifikáns differenciái

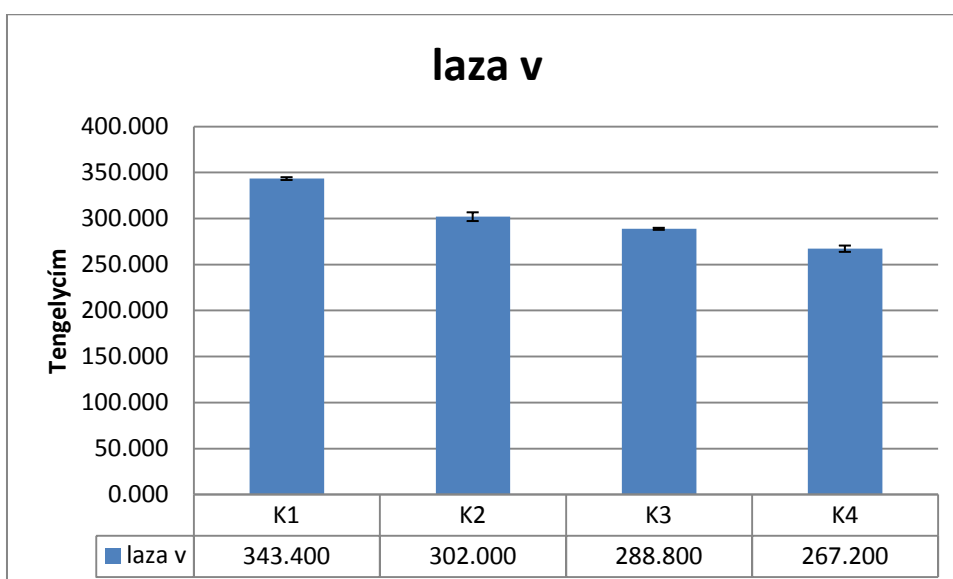


1. ábra. Közegkeverékek laza m értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

1. táblázat. Közegkeverékek laza m értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

Laza.m				
	K1	K2	K3	K4
K1	1	0,181	< 0,0001	0,008
K2	0,181	1	0,008	0,181
K3	< 0,0001	0,008	1	0,181
K4	0,008	0,181	0,181	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0083

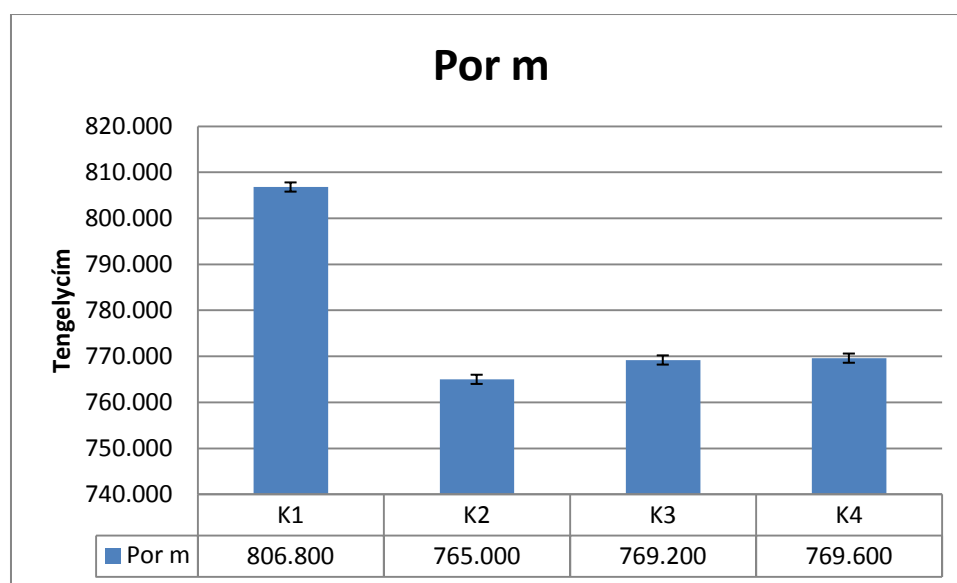


2. ábra. Közegkeverékek laza v értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

2. táblázat. Közegkeverékek laza v értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

Laza v.				
	K1	K2	K3	K4
K1	1	0,180	0,007	< 0,0001
K2	0,180	1	0,180	0,007
K3	0,007	0,180	1	0,180
K4	< 0,0001	0,007	0,180	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0083

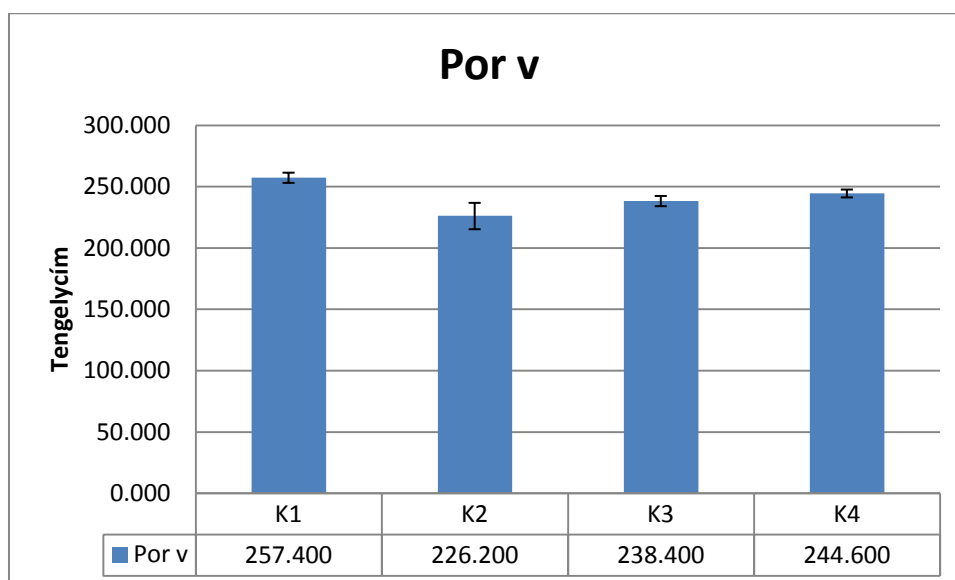


3. ábra. Közegkeverékek por m értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

3. táblázat. Közegkeverékek por m értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

Por. M				
	K1	K2	K3	K4
K1	1	0,004	0,007	0,014
K2	0,004	1	0,831	0,669
K3	0,007	0,831	1	0,831
K4	0,014	0,669	0,831	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0083

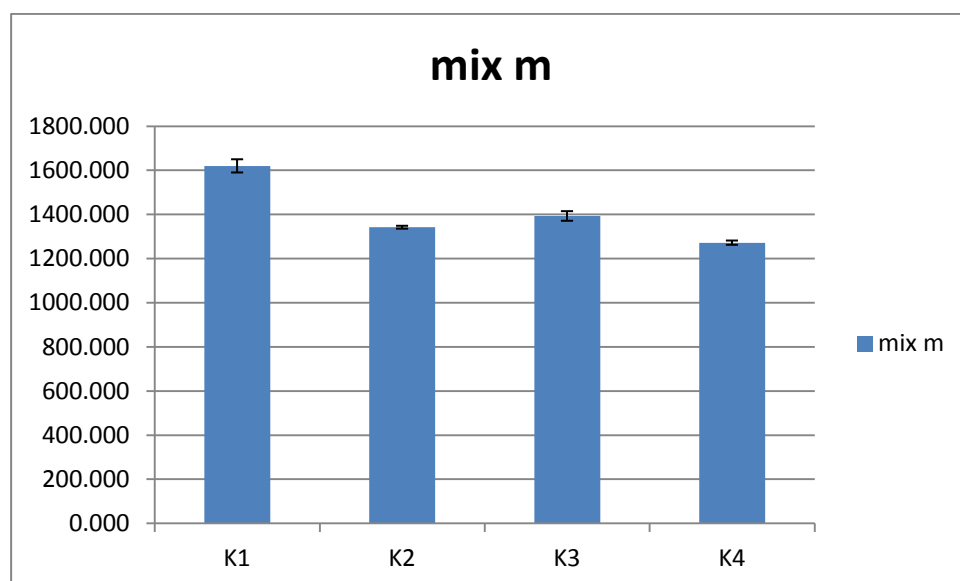


4. ábra. Közegkeverékek por v értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

4. táblázat. Közegkeverékek por v értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

Por. M				
	K1	K2	K3	K4
K1	1	< 0,0001	0,007	0,149
K2	< 0,0001	1	0,218	0,014
K3	0,007	0,218	1	0,218
K4	0,149	0,014	0,218	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0083

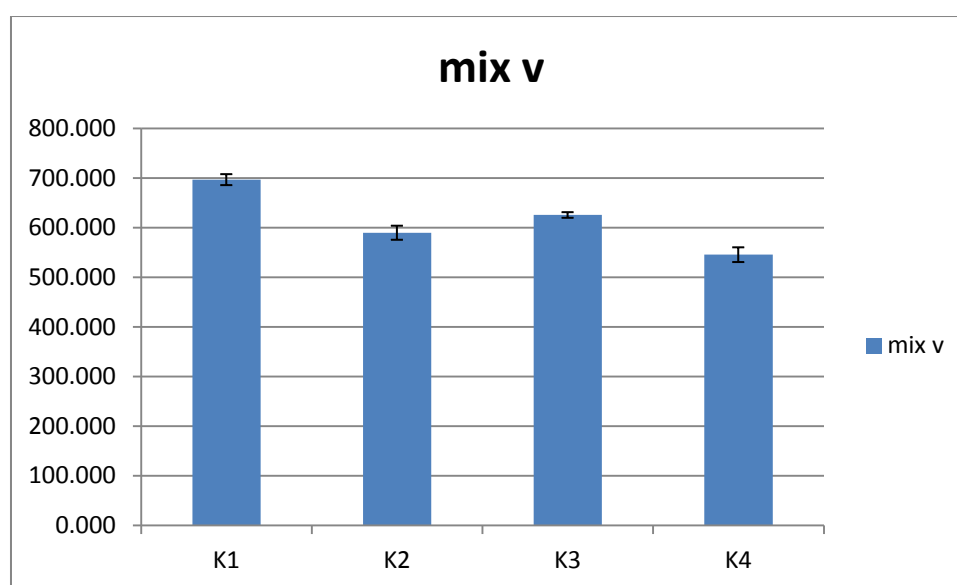


5. ábra. Közegkeverékek mix m értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

5. táblázat. Közegkeverékek mix m értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	mix. M			
	K1	K2	K3	K4
K1	1	0,008	0,181	< 0,0001
K2	0,008	1	0,181	0,181
K3	0,181	0,181	1	0,008
K4	< 0,0001	0,181	0,008	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0083

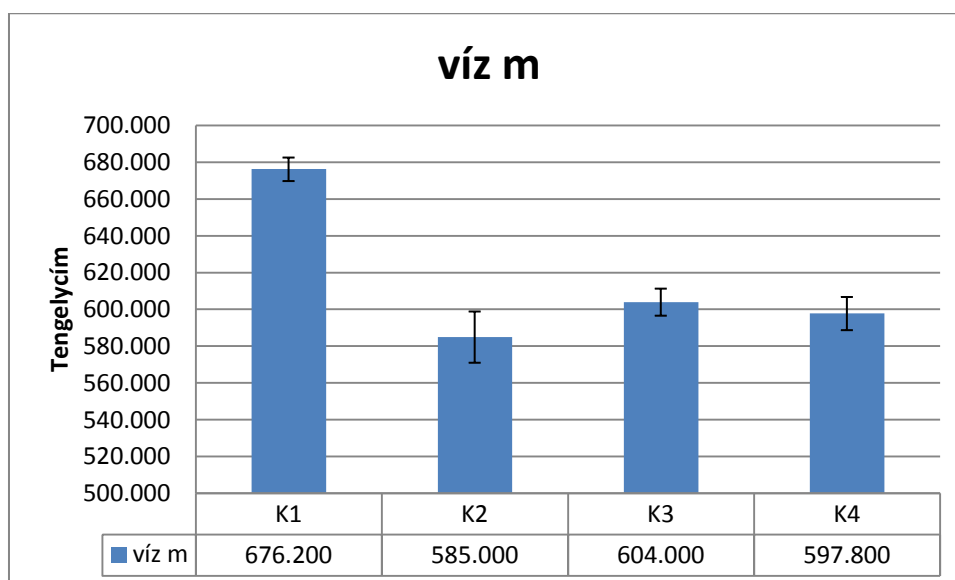


6. ábra. Közegkeverékek mix v értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

6. táblázat. Közegkeverékek mix v értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	mix. V			
	K1	K2	K3	K4
K1	1	0,008	0,181	< 0,0001
K2	0,008	1	0,181	0,181
K3	0,181	0,181	1	0,008
K4	< 0,0001	0,181	0,008	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0083

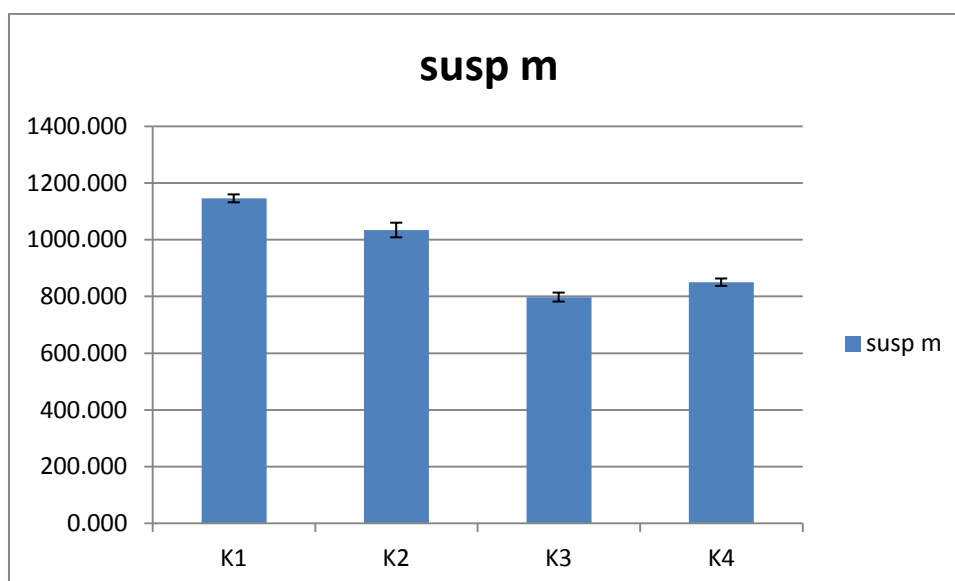


7. ábra. Közegkeverékek víz m értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

7. táblázat. Közegkeverékek víz m értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	víz. M			
	K1	K2	K3	K4
K1	1	0,000	0,065	0,009
K2	0,000	1	0,087	0,349
K3	0,065	0,087	1	0,438
K4	0,009	0,349	0,438	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0083

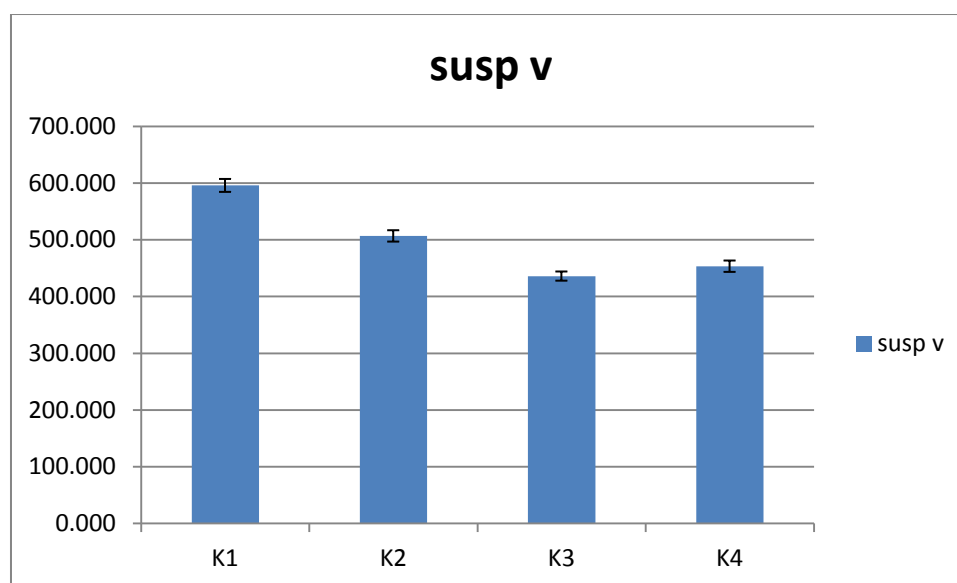


8. ábra. Közegkeverékek susp m értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

8. táblázat. Közegkeverékek susp m értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	susp. M			
	K1	K2	K3	K4
K1	1	0,181	< 0,0001	0,008
K2	0,181	1	0,008	0,181
K3	< 0,0001	0,008	1	0,181
K4	0,008	0,181	0,181	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0083

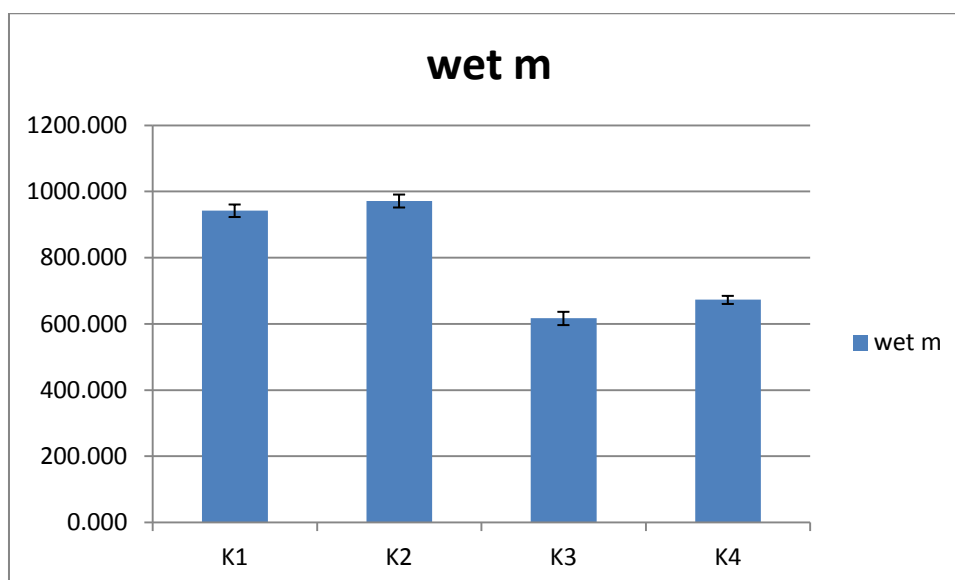


9. ábra. Közegkeverékek susp v értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

9. táblázat. Közegkeverékek susp v értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	susp. V			
	K1	K2	K3	K4
K1	1	0,181	< 0,0001	0,005
K2	0,181	1	0,010	0,149
K3	< 0,0001	0,010	1	0,261
K4	0,005	0,149	0,261	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0083



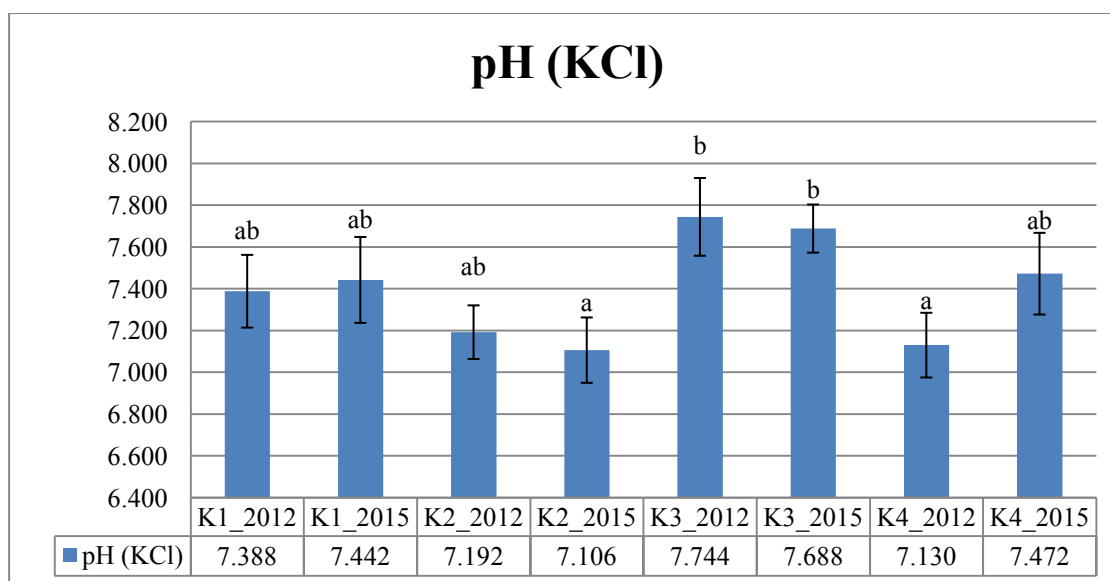
10. ábra. Közegkeverékek wet m értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

10. táblázat. Közegkeverékek wet m értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	wet m			
	K1	K2	K3	K4
K1	1	0,262	0,005	0,149
K2	0,262	1	< 0,0001	0,010
K3	0,005	< 0,0001	1	0,181
K4	0,149	0,010	0,181	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0083

M10. Közegkeverékek általános kémiai tulajdonságainak elemzése és szignifikáns differenciái

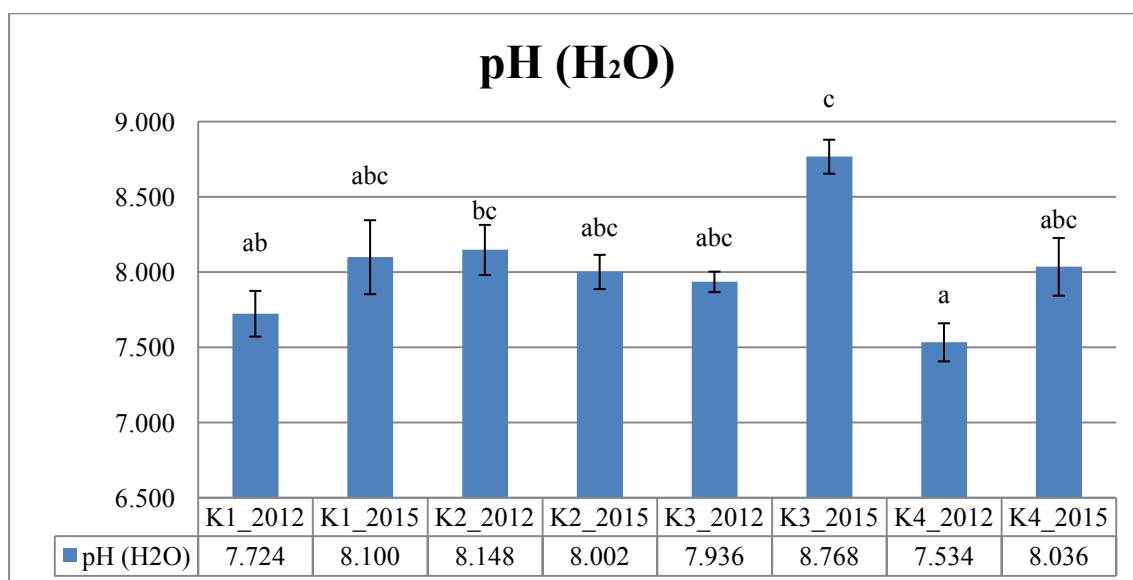


1. ábra. Közegkeverékek átlagos pH (KCl) értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

1. táblázat. Közegkeverékek pH (KCl) értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	K1_2012	K1_2015	K2_2012	K2_2015	K3_2012	K3_2015	K4_2012	K4_2015
K1_2012	1	0,695	0,285	0,107	0,072	0,086	0,104	0,543
K1_2015	0,695	1	0,144	0,045	0,159	0,185	0,044	0,829
K2_2012	0,285	0,144	1	0,588	0,004	0,005	0,579	0,093
K2_2015	0,107	0,045	0,588	1	0,001	0,001	0,989	0,026
K3_2012	0,072	0,159	0,004	0,001	1	0,935	0,001	0,234
K3_2015	0,086	0,185	0,005	0,001	0,935	1	0,001	0,267
K4_2012	0,104	0,044	0,579	0,989	0,001	0,001	1	0,026
K4_2015	0,543	0,829	0,093	0,026	0,234	0,267	0,026	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0018

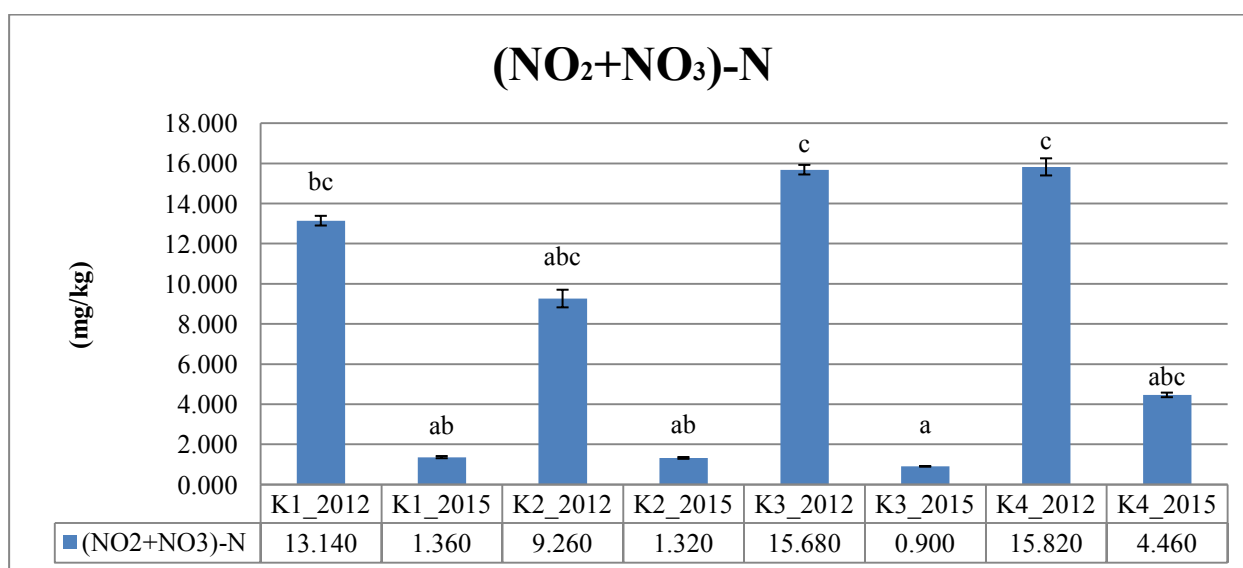


2. ábra. Közegkeverékek átlagos pH (H₂O) értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

2. táblázat. Közegkeverékek pH (H₂O) értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	K1_2012	K1_2015	K2_2012	K2_2015	K3_2012	K3_2015	K4_2012	K4_2015
K1_2012	1	0,026	0,011	0,081	0,185	< 0,0001	0,516	0,060
K1_2015	0,026	1	0,745	0,626	0,365	0,076	0,004	0,725
K2_2012	0,011	0,745	1	0,417	0,218	0,148	0,001	0,499
K2_2015	0,081	0,626	0,417	1	0,675	0,024	0,017	0,892
K3_2012	0,185	0,365	0,218	0,675	1	0,007	0,048	0,579
K3_2015	< 0,0001	0,076	0,148	0,024	0,007	1	< 0,0001	0,034
K4_2012	0,516	0,004	0,001	0,017	0,048	< 0,0001	1	0,011
K4_2015	0,060	0,725	0,499	0,892	0,579	0,034	0,011	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0018

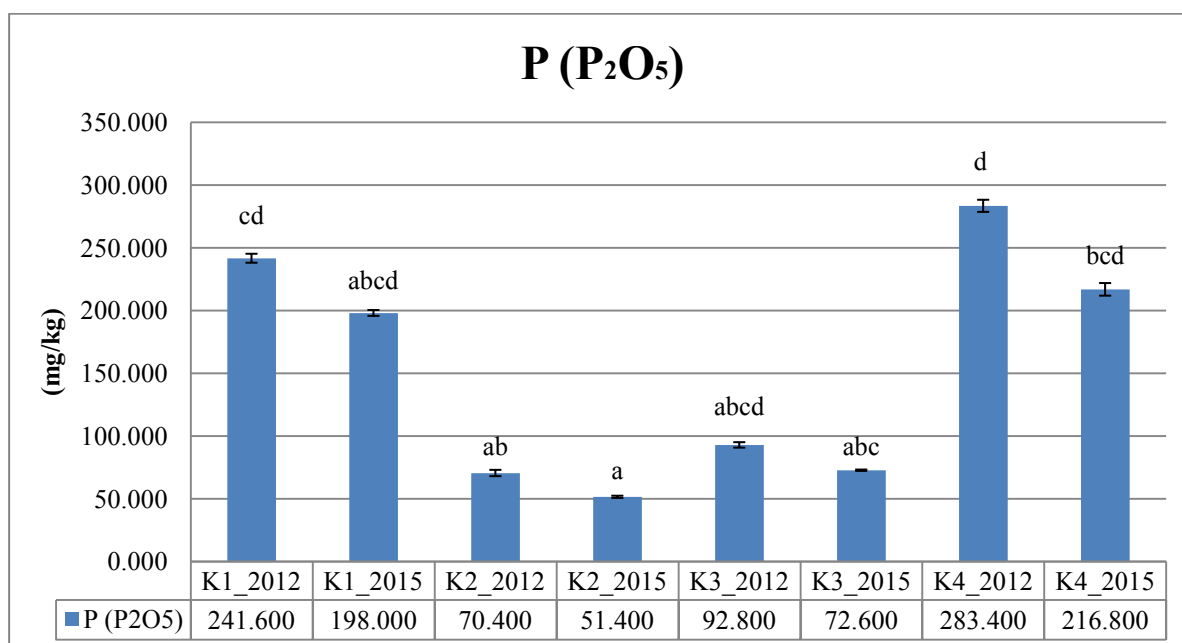


3. ábra. Közegkeverékek átlagos (NO₂+NO₃)-N értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

3. táblázat. Közegkeverékek (NO₂+NO₃)-N értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	K1_2012	K1_2015	K2_2012	K2_2015	K3_2012	K3_2015	K4_2012	K4_2015
K1_2012	1	0,025	0,497	0,012	0,356	0,001	0,266	0,175
K1_2015	0,025	1	0,119	0,786	0,002	0,249	0,001	0,378
K2_2012	0,497	0,119	1	0,067	0,109	0,007	0,073	0,497
K2_2015	0,012	0,786	0,067	1	0,001	0,378	0,000	0,249
K3_2012	0,356	0,002	0,109	0,001	1	< 0,0001	0,849	0,023
K3_2015	0,001	0,249	0,007	0,378	< 0,0001	1	< 0,0001	0,042
K4_2012	0,266	0,001	0,073	0,000	0,849	< 0,0001	1	0,014
K4_2015	0,175	0,378	0,497	0,249	0,023	0,042	0,014	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0018

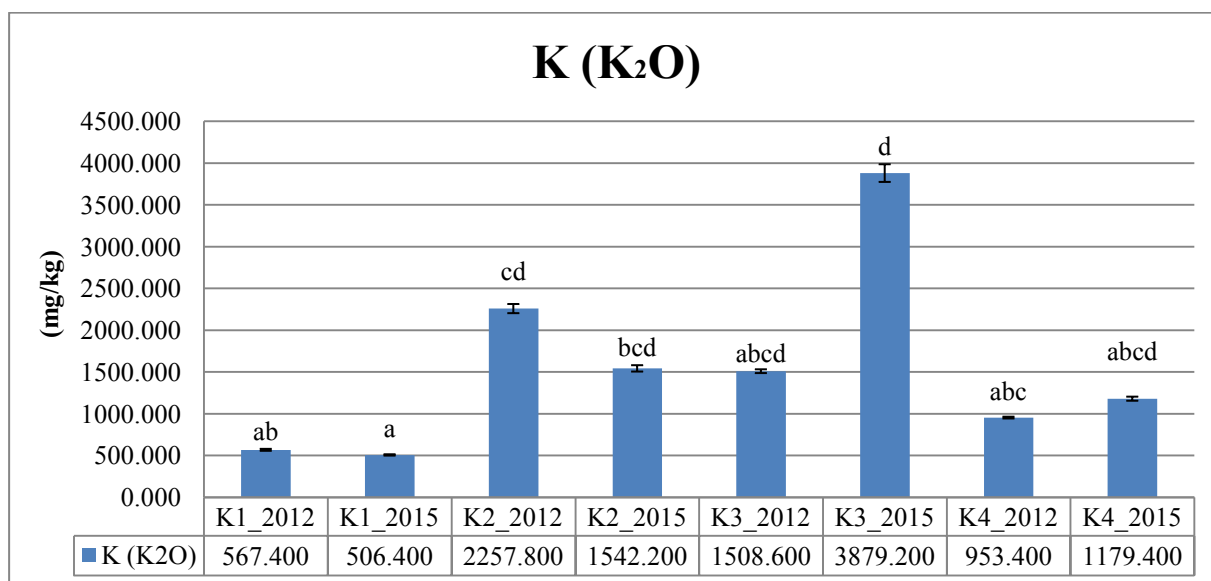


4. ábra. Közegkeverékek átlagos P(P₂O₅) értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

4. táblázat. Közegkeverékek P(P₂O₅) értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	K1_2012	K1_2015	K2_2012	K2_2015	K3_2012	K3_2015	K4_2012	K4_2015
K1_2012	1	0,176	0,001	< 0,0001	0,042	0,004	0,499	0,499
K1_2015	0,176	1	0,058	0,007	0,499	0,136	0,042	0,499
K2_2012	0,001	0,058	1	0,417	0,223	0,685	< 0,0001	0,010
K2_2015	< 0,0001	0,007	0,417	1	0,042	0,223	< 0,0001	0,001
K3_2012	0,042	0,499	0,223	0,042	1	0,417	0,007	0,176
K3_2015	0,004	0,136	0,685	0,223	0,417	1	0,000	0,030
K4_2012	0,499	0,042	< 0,0001	< 0,0001	0,007	0,000	1	0,176
K4_2015	0,499	0,499	0,010	0,001	0,176	0,030	0,176	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0018

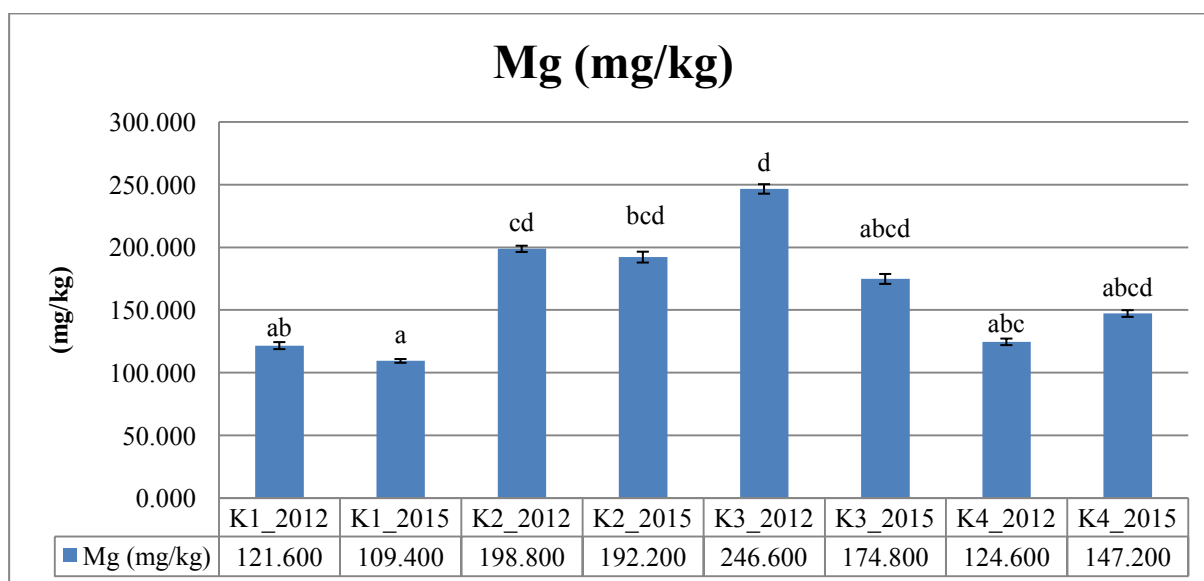


5. ábra. Közegkeverékek átlagos K(K₂O) értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

5. táblázat. Közegkeverékek K(K₂O) értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	K1_2012	K1_2015	K2_2012	K2_2015	K3_2012	K3_2015	K4_2012	K4_2015
K1_2012	1	0,499	0,001	0,012	0,027	< 0,0001	0,499	0,176
K1_2015	0,499	1	< 0,0001	0,001	0,004	< 0,0001	0,176	0,042
K2_2012	0,001	< 0,0001	1	0,387	0,245	0,499	0,007	0,042
K2_2015	0,012	0,001	0,387	1	0,766	0,123	0,066	0,245
K3_2012	0,027	0,004	0,245	0,766	1	0,066	0,123	0,387
K3_2015	< 0,0001	< 0,0001	0,499	0,123	0,066	1	0,001	0,007
K4_2012	0,499	0,176	0,007	0,066	0,123	0,001	1	0,499
K4_2015	0,176	0,042	0,042	0,245	0,387	0,007	0,499	1

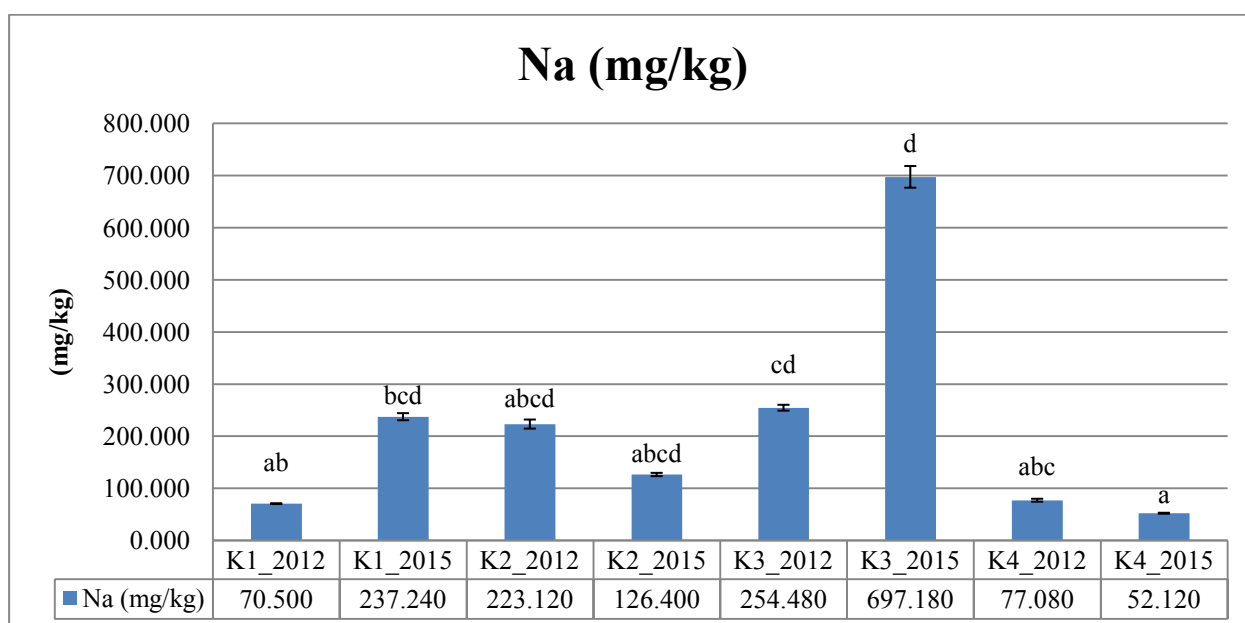
Bonferroni corrected significance level: 0,0018



6. ábra. Közegkeverékek átlagos magnézium értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

6. táblázat. Közegkeverékek magnézium értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	K1_2012	K1_2015	K2_2012	K2_2015	K3_2012	K3_2015	K4_2012	K4_2015
K1_2012	No	No	Yes	No	Yes	No	No	No
K1_2015	No	No	Yes	Yes	Yes	No	No	No
K2_2012	Yes	Yes	No	No	No	No	No	No
K2_2015	No	Yes	No	No	No	No	No	No
K3_2012	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes	No
K3_2015	No	No	No	No	No	No	No	No
K4_2012	No	No	No	No	Yes	No	No	No
K4_2015	No	No	No	No	No	No	No	No

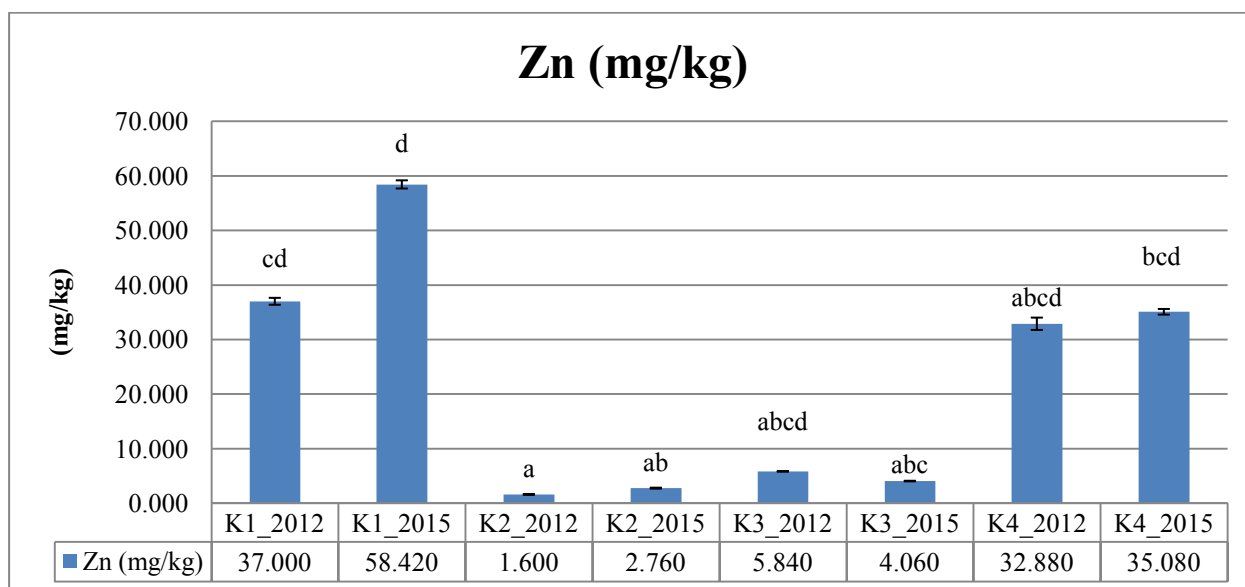


7. ábra. Közegkeverékek átlagos nátrium értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

7. táblázat. Közegkeverékek nátrium értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	K1_2012	K1_2015	K2_2012	K2_2015	K3_2012	K3_2015	K4_2012	K4_2015
K1_2012	1	0,008	0,037	0,176	0,001	< 0,0001	0,499	0,499
K1_2015	0,008	1	0,570	0,194	0,465	0,160	0,048	0,001
K2_2012	0,037	0,570	1	0,465	0,194	0,048	0,160	0,006
K2_2015	0,176	0,194	0,465	1	0,042	0,007	0,499	0,042
K3_2012	0,001	0,465	0,194	0,042	1	0,499	0,007	< 0,0001
K3_2015	< 0,0001	0,160	0,048	0,007	0,499	1	0,001	< 0,0001
K4_2012	0,499	0,048	0,160	0,499	0,007	0,001	1	0,176
K4_2015	0,499	0,001	0,006	0,042	< 0,0001	< 0,0001	0,176	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0018

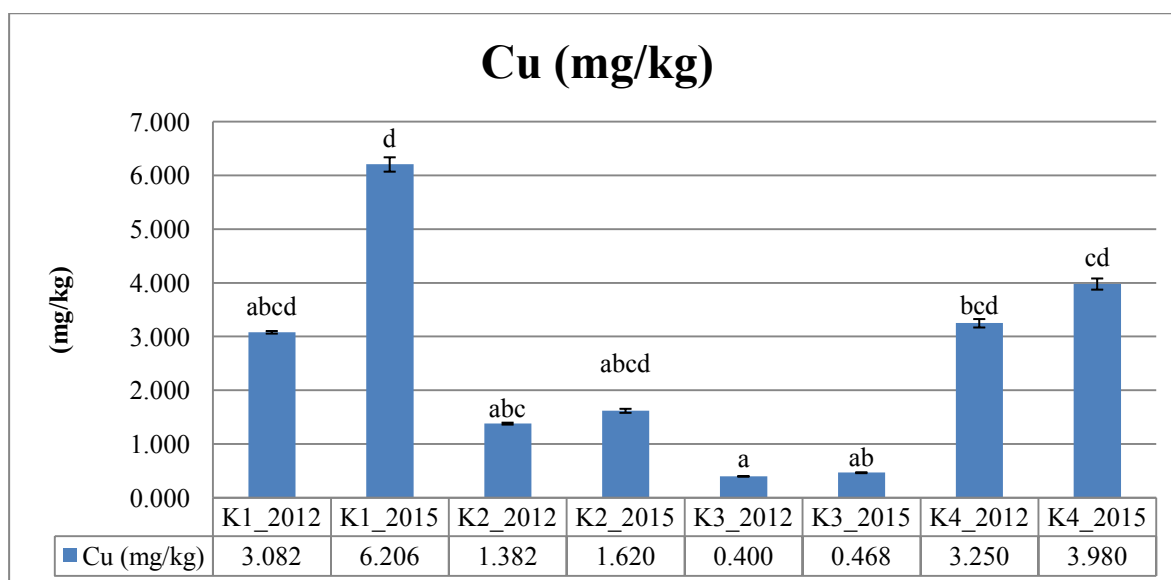


8. ábra. Közegkeverékek átlagos cink értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

8. táblázat. Közegkeverékek cink értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (*p* értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	K1_2012	K1_2015	K2_2012	K2_2015	K3_2012	K3_2015	K4_2012	K4_2015
K1_2012	1	0,498	< 0,0001	0,001	0,042	0,007	0,180	0,489
K1_2015	0,498	1	< 0,0001	< 0,0001	0,007	0,001	0,043	0,171
K2_2012	< 0,0001	< 0,0001	1	0,498	0,042	0,175	0,006	0,001
K2_2015	0,001	< 0,0001	0,498	1	0,175	0,498	0,041	0,007
K3_2012	0,042	0,007	0,042	0,175	1	0,498	0,489	0,180
K3_2015	0,007	0,001	0,175	0,498	0,498	1	0,171	0,043
K4_2012	0,180	0,043	0,006	0,041	0,489	0,171	1	0,515
K4_2015	0,489	0,171	0,001	0,007	0,180	0,043	0,515	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0018

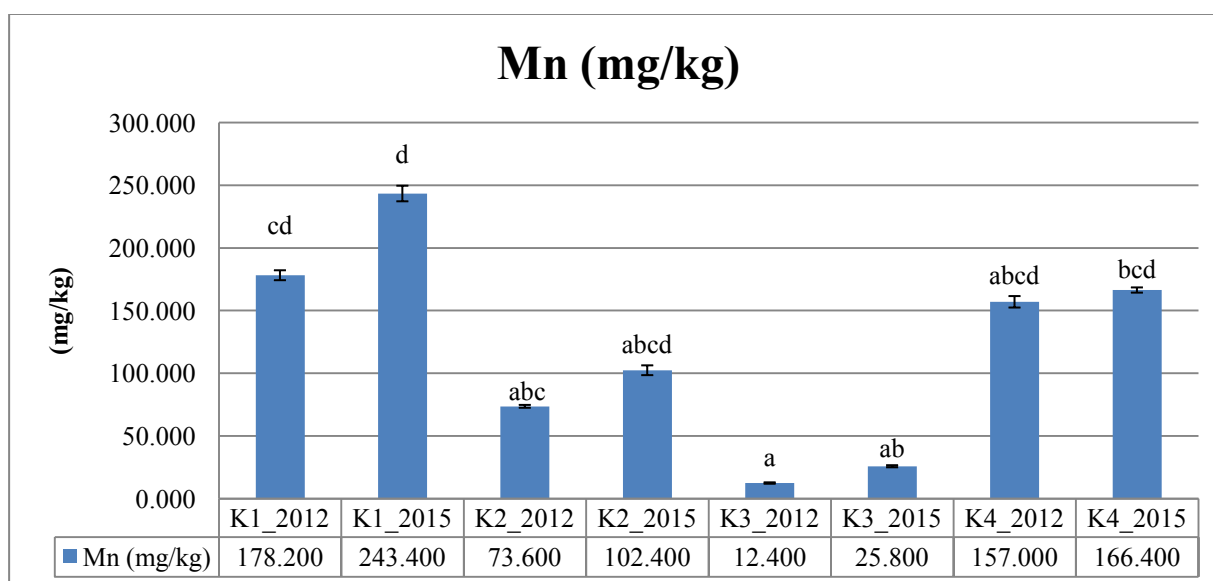


9. ábra. Közegkeverékek átlagos réz értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

9. táblázat. Közegkeverékek réz értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	K1_2012	K1_2015	K2_2012	K2_2015	K3_2012	K3_2015	K4_2012	K4_2015
K1_2012	1	0,042	0,176	0,499	0,007	0,042	0,499	0,176
K1_2015	0,042	1	0,001	0,007	< 0,0001	< 0,0001	0,176	0,499
K2_2012	0,176	0,001	1	0,499	0,176	0,499	0,042	0,007
K2_2015	0,499	0,007	0,499	1	0,042	0,176	0,176	0,042
K3_2012	0,007	< 0,0001	0,176	0,042	1	0,499	0,001	< 0,0001
K3_2015	0,042	< 0,0001	0,499	0,176	0,499	1	0,007	0,001
K4_2012	0,499	0,176	0,042	0,176	0,001	0,007	1	0,499
K4_2015	0,176	0,499	0,007	0,042	< 0,0001	0,001	0,499	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0018



10. ábra. Közegkeverékek átlagos mangán értékei, szórásai, homogén és heterogén csoportjai

10. táblázat. Közegkeverékek mangán értékeinek Dunn-féle páronkénti post hoc teszt eredményei (p értékek és szignifikáns differenciák (vastaggal jelölve))

	K1_2012	K1_2015	K2_2012	K2_2015	K3_2012	K3_2015	K4_2012	K4_2015
K1_2012	1	0,499	0,007	0,042	< 0,0001	0,001	0,176	0,499
K1_2015	0,499	1	0,001	0,007	< 0,0001	< 0,0001	0,042	0,176
K2_2012	0,007	0,001	1	0,499	0,176	0,499	0,176	0,042
K2_2015	0,042	0,007	0,499	1	0,042	0,176	0,499	0,176
K3_2012	< 0,0001	< 0,0001	0,176	0,042	1	0,499	0,007	0,001
K3_2015	0,001	< 0,0001	0,499	0,176	0,499	1	0,042	0,007
K4_2012	0,176	0,042	0,176	0,499	0,007	0,042	1	0,499
K4_2015	0,499	0,176	0,042	0,176	0,001	0,007	0,499	1

Bonferroni corrected significance level: 0,0018

M11. Közegkeverékek tömörödési jelleggörbéinek regressziós diagnosztikája és feltételvizsgálata

1. táblázat modellek együtthatóinak a becslése

paraméterek	becslés	standard hiba	konfidencia intervallum (95%) alsó korlát	konfidencia intervallum (95%) felső korlát	becslés/ standard hiba (számított t)	szignifikancia szint
V1K1						
p ₁	9,976	0,011	9,951	10,002	872,074	p<0,001
p ₂	-0,646	0,062	-0,785	-0,508	-10,404	p<0,001
p ₃	0,001	0,000	0,001	0,002	5,537	p<0,001
V2K1						
p ₁	15,014	0,118	14,751	15,276	127,338	p<0,001
p ₂	-6,290	0,141	-6,604	-5,977	-44,762	p<0,001
p ₃	0,003	0,000	0,002	0,003	15,688	p<0,001
V1K2						
p ₁	9,968	0,031	9,898	10,038	318,028	p<0,001
p ₂	-2,571	0,135	-2,872	-2,270	-19,036	p<0,001
p ₃	0,001	0,000	0,001	0,002	9,453	p<0,001
V2K2						
p ₁	15,063	0,109	14,820	15,306	137,934	p<0,001
p ₂	-11,285	1,403	-14,411	-8,158	-8,043	p<0,001
p ₃	0,001	0,000	0,000	0,001	5,291	p<0,001
V1K3						
p ₁	9,952	0,024	9,899	10,006	417,881	p<0,001
p ₂	-2,490	0,272	-3,096	-1,883	-9,138	p<0,001
p ₃	0,001	0,000	0,000	0,001	5,867	p<0,001
V2K3						
p ₁	15,483	0,281	14,858	16,108	55,190	p<0,001
p ₂	-18,213	8,069	-36,193	-0,234	-2,257	p<0,001
p ₃	0,001	0,000	0,000	0,001	1,704	p<0,001
V1K4						
p ₁	9,913	0,098	9,695	10,132	100,963	p<0,001
p ₂	-2,390	0,118	-2,652	-2,128	-20,298	p<0,001
p ₃	0,003	0,000	0,002	0,004	7,106	p<0,001
V2K4						
p ₁	14,881	0,083	14,697	15,065	180,085	p<0,001
p ₂	-6,770	0,225	-7,271	-6,268	-30,071	p<0,001
p ₃	0,002	0,000	0,001	0,002	12,855	p<0,001

2. táblázat. Az illesztett lebomlási modellekre vonatkozó ANOVA

	Négyzetösszeg	Szabadsági fok	Átlagos négyzetes eltérés
V1K1			
Regresszió	1225,858	3	408,619
Maradék	0,002	10	0,000
Korrekciónélküli teljes	1225,861	13	
Korrigált teljes	0,264	12	
V2K1			
Regresszió	1570,166	3	523,389
Maradék	0,196	10	0,020
Korrekciónélküli teljes	1570,361	13	
Korrigált teljes	44,306	12	
V1K2			
Regresszió	1017,952	3	339,317
Maradék	0,016	10	0,002
Korrekciónélküli teljes	1017,968	13	
Korrigált teljes	4,637	12	
V2K2			
Regresszió	1793,730	3	597,910
Maradék	0,214	10	0,021
Korrekciónélküli teljes	1793,943	13	
Korrigált teljes	49,879	12	
V1K3			
Regresszió	1091,446	3	363,815
Maradék	0,010	10	0,001
Korrekciónélküli teljes	1091,456	13	
Korrigált teljes	2,606	12	
V2K3			
Regresszió	1751,888	3	583,963
Maradék	1,459	10	0,146
Korrekciónélküli teljes	1753,348	13	
Korrigált teljes	76,384	12	
V1K4			
Regresszió	908,577	3	302,859
Maradék	0,136	10	0,014
Korrekciónélküli teljes	908,713	13	
Korrigált teljes	6,490	12	
V2K4			
Regresszió	1743,537	3	581,179
Maradék	0,110	10	0,011
Korrekciónélküli teljes	1743,647	13	
Korrigált teljes	38,742	12	

3. táblázat. A tömörödési értékeinek szóródásának magyarázata F-próba, és a teljes modellre vonatkozó t-próba

	regresszió szabadsági foka	maradék szabadsági foka	F-érték (számított)	szignifikancia	t-érték (számított)	szignifikancia
V1K1	3	10	1837475	p<0,001	36,93	p<0,001
V2K1	3	10	26752,7	p<0,001	52,93	p<0,001
V1K2	3	10	26784	p<0,001	52,33	p<0,001
V2K2	3	10	28005,1	p<0,001	52,33	p<0,001
V1K3	3	10	360448	p<0,001	52,33	p<0,001
V2K3	3	10	4001,73	p<0,001	23,83	p<0,001
V1K4	3	10	22271,2	p<0,001	22,64	p<0,001
V2K4	3	10	53021,2	p<0,001	60,46	p<0,001

4. táblázat. A normalitás tesztelése Kolmogorov-Smirnov és Shapiro-Wilk tesztekkel

Reziduuum	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	statisztika	szabadsági fok	szignifikancia	statisztika	szabadsági fok	szignifikancia
V1K1	0,120	13	0,200*	0,945	13	0,521
V2K1	0,185	13	0,200*	0,860	13	0,039
V1K2	0,126	13	0,200*	0,940	13	0,456
V2K2	0,110	13	0,200*	0,956	13	0,692
V1K3	0,111	13	0,200*	0,955	13	0,675
V2K3	0,103	13	0,200*	0,961	13	0,769
V1K4	0,184	13	0,200*	0,861	13	0,040
V2K4	0,137	13	0,200*	0,927	13	0,308

* Ez az alsó korlátja a valódi szignifikanciának

^a Lilliefors szignifikancia korrekció

Köszönetnyilvánítás

Mindenekelőtt szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek, dr. Gerzson Lászlónak a Kert- és Szabadtertervezési Tanszék docensének, valamint dr. Forró Editnek a Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék volt docensének, akik szakmai észrevételeikkel támogatták munkámat.

Külön köszönöm Dr. Ladányi Mártának a Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Biometria és Agrárinformatika Tanszék matematikusnak a statisztikai részekben nyújtott önzetlen segítségét, aki tanszékvezetői, oktatói és kutatói feladatai mellett is biztosított számomra konzultációs lehetőséget és segített a statisztikai értékelésekben.

Külön köszönöm a segítségét dr. Dernovics Mihálynak, dr. Woller Ágnesnek, Firisz Zsuzsanna a Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar, Alkalmazott Kémia Tanszék docensének, adjunktusának és tanszéki mérnökének a csurgalékvizek minőségi paramétereinek meghatározását. Köszönöm továbbá Orbán Csaba Semmelweis Egyetem, Egészségtudományi Kar tanársegédjének segítségét, a Sedum fajokkal kapcsolatos antioxidás anyagok, színanyag-tartalom meghatározásában. A szövettani mérésekben való segítségét külön köszönöm dr. Erős-Honti Zsoltnak a Növénytan Tanszék munkatársának. Köszönöm, hogy szakmai tudásukkal, véleményükkel, kritikai észrevételeikkel, tanácsaikkal többen hozzájárultak munkám eredményességéhez: dr. Geösel András, Szabó Anna, Tróznai Gábor.

Köszönöm férjemnek Lacinak, aki nélkül ez a dolgozat nem készülhetett volna el, mellettem állt, támogatott, szakmai tudásával, észrevételeivel sokat segített, valamint kisgyermekeimnek, Márknak, Bálintnak, Lizának, Annának, hogy türelemmel viselték a dolgozat elkészültét. Szeretném még megköszönni szüleimnek, testvéremnek, Gábornak akik lehetővé tették, hogy elkészüljön a kísérleti tető és támogatásukat, hogy a vizsgálatok elkészülhettek. Nélkük nem juthattam volna el idáig. Továbbá köszönöm Kardos Máriának, Sipos Mihálynak, Heritesz Flórának és Homonnai Zoltánnának akik mindvégig támogattak és segítettek abban, hogy négy gyermekem mellett is jutott időm a dolgozatomat írni.



1. ábra. Bálint, Márk, Anna, Liza (balról jobbra)