

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: 4. Agrártudományok (4.1 Növénytermesztési és kertészeti tudományok)

vezetője: Tóth Magdolna, DsC
egyetemi tanár
Budapesti Corvinus Egyetem
Kertészettudományi Kar,
Gyümölcsstermő Növények Tanszék

Témavezetők: Gerzson László, PhD
egyetemi docens
Budapesti Corvinus Egyetem
Tájépítészeti Kar,
Kert- és Szabadtér Tervezési Tanszék

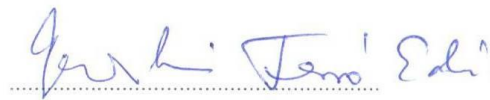
Forró Edit, PhD
egyetemi docens
Budapesti Corvinus Egyetem
Kertészettudományi Kar,
Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék

A doktori iskola- és a témavezetők jóváhagyó aláírása:

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, azért az értekezés nyilvános vitára bocsátható.



Dr. Tóth Magdolna
doktori iskola vezető



Dr. Gerzson László Dr. Forró Edit
témavezetők

1. Bevezetés, munka előzményei

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).

A zöldfelületek hozzájárulnak a helyi és a városi klíma javításához, vizet tárolnak, amely párologtatásával csökkentik a városokra oly 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 változatossá teszik. A zöldfelületek fokozott igénybevételnek vannak kitéve, így egyre nehezebben tudják betölteni ökológiai, környezetüket kondicionáló, vizuális-esztétikai, összetett funkciójukat, szerepüket (Li és Yeung, 2014).

Ma már minden nagyvárosnak elemi érdeke a városi területek klímparamétereinek pozitív alakítása, kiemelten a hősziget hatás és a légszennyezés mérséklése, amelyet célszerűen zöldtetők telepítésével megvalósíthatnak. A tetőszinten található potenciális felületek kiaknázásával új zöldfelületek, zöldtetők létesíthetők, összhangban a Lipcsei Charta fenntarthatósági céljaival és az Integrált Városfejlesztési Stratégiák (IVS) követelményeivel (Mega, 2010). Somfai (2011) a „városi szövet” zöldítésével kapcsolatban kiemeli, hogy a tetőkertek kialakítása ne a felszíni zöldfelületek rovására, a beépíthetőség növelésére történjen. Összefoglalóan megállapítható, hogy a zöldtetők alkalmazása egy jó alternatíva, hogy kezeljék a városok környezeti kihívásait.

A zöldtető (dachbegrünung, greenroof, toit vert) olyan növényzettel telepített tető, amelyben az épületszerkezet, a tetőszigetelés rétegei, valamint a kertészeti felépítmény szerves egységet alkotnak. Más megfogalmazásban a zöldtető vegetációs réteggel borított és védett, műszakilag és biológiailag egyaránt tartósan kialakított szerkezet (FLL 2002; Hidy et al., 1995). A zöldtetőknek számos szempontnak kell egyszerre megfelelnie. Globálisan nézve, tájésztétikai és tájökölógiai oldalról közelítve a zöldtető legyen tájba illeszkedő, a klímának megfelelő növényzettel telepített, ökológiai, esztétikai és rekreálódási szempontok figyelembevételével kialakított. Közelebről 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. Megállapítható, hogy a zöldtetők lényegében szakterületek találkozási pontjai. Így a zöldtetőknek többféle csoportosítása is könnyen megérthető.

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).

Dolgozatom fókuszába az extenzív zöldtető áll, amely egy ökológiailag aktív vegetációs védőréteg, amelynek növényzete a természetes életfolyamatoknak megfelelően igénytelen. A tetőkön a szerkezeti rétegvastagság általában 10-15 cm vastagságú. Emberi tartózkodásra csak korlátozott mértékben alkalmas, a közlekedés általában a tetőn kialakított járófelületeken (utak, tipegők) lehetséges (Hidy et al., 1995). A zöldtető típusai közül az extenzív zöldtetők a leggazdaságosabbak, a telepítésük és a fenntartásuk a legegyszerűbb (Li és Yeung, 2014).

Magyarországon jelenleg hiányoznak a zöldtetőkkel, extenzív kapcsolatos tudományosan felépített és statisztikai módszerekkel elemzett és bizonyított hosszútávú kísérletsorozatok, amelyek az alkalmazott növényzetre, közegkeverékekre, vízparaméterekre, vagy a tetők elterjedésére vonatkoznak. Magyarországon az első zöldtető 1991-ben épült meg. Tudomásom szerint eddig a Magyarországon megépült zöldtetők elterjedésével kapcsolatosan átfogó publikált felmérés nem készült, mindösszesen néhány kezdeményezés történt a zöldtetők rendszerezésével, számbavételével kapcsolatban (Magyar, 1998; Szabó, 2010; Szőke et al., 2013). A megrendelők, a tervező-kivitelező szakemberek, a ZÉOSZ (Zöldtető- és Zöldfalépítők Országos Szövetség) tagjai és a jogalkotók által jogos igényként jelentkezett az, hogy reális képet kapjanak a már megépült zöldtetőkkel kapcsolatban. Világosan látszik, hogy jól átgondolt szabályozási és ösztönzési rendszer kialakításához a hazai viszonyokat és a nemzetközi példákat is célszerű megismerni.

2. Célkitűzés

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

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 **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?

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 **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 kutatási célkitűzések és kutatási kérdések 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.

3. Anyag és módszer

3.1. Kísérleti terv, fajok, közegek, csurgalékvizek

A kísérleti tervnek megfelelően összesen 32 db parcellát (1m x 1m) telepítettem el két, egymástól 1 méterre levő, párhuzamosan elhelyezkedő, egyformán tájolt (K-NY) kísérleti tetőn. A parcellák és az azokban alkalmazott közegkeverékek, közegvastagságok, valamint fajok elhelyezkedése véletlenszerű. A parcellákat az eredmények megbízhatósága, valamint a statisztikai kiértékelés szempontjai miatt 4-szer ismételttem. A kísérleti parcellákban 4 féle közegkeveréket, 2 féle közegvastagságot és 4 féle *Sedum* fajt alkalmaztam. A 4 féle közegkeverék és 2 féle közegvastagság 8 kombinációt eredményez, amelyeket a kísérleti kiosztásban különböző színekkel jelöltem (1. táblázat, 1. ábra).

1. táblázat. A szigetelt kontroll tető és a kísérleti parcellák kiosztása, (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=*S. album*, B=*S.hybridum*, C=*S.reflexum*, D=*S.spurium*)

6A	6C	4A	4C	5D	5B	7A	7B
6D	6B	4B	4D	5C	5A	7C	7D
5B	5D	8D	8C	1C	1A	3B	3C
5C	5A	8A	8B	1B	1D	3A	3D
7D	7A	1C	1A	2B	2A	4C	4B
7C	7B	1D	1B	2D	2C	4A	4D
1D	1A	5B	5D	3A	3C	2D	2B
1B	1C	5C	5A	3D	3B	2A	2C
2A	2C	3C	3B	4D	4C	8B	8D
2B	2D	3D	3A	4B	4A	8C	8A
3D	3C	6B	6A	7C	7A	5B	5A
3A	3B	6C	6D	7D	7B	5D	5C
4B	4C	2A	2D	8B	8D	6C	6D
4D	4A	2B	2C	8A	8C	6A	6B
8C	8B	7D	7C	6A	6D	1D	1B
8D	8A	7A	7B	6C	6B	1C	1A

A 4 féle **közegkeverék** az alábbi összetételű volt. K1 közegkeverék: zeolit 25%, agyag granulátum 10%; folyami homok (0/4) 20%; föld 40%; tőzeg 5%. K2 közegkeverék: közeg: MKR-0-2 33%; MSQ-2-6 33%; MSQ-0-2 34 %. K3 közegkeverék: tégláörlemény 25%; ytong örlemény 25%; tőzeg 15%; zeolit 20%; meliorit 15%. K4 közegkeverék: közeg: föld 50%; tőzeg 20%; homok 15%; meliorit 15%. A 4 féle közegkeverék (K1, K2, K3, K4) és 2 féle közegvastagságnak (V1, V2) összesen 8 kombinációja adódott, amelyet a kísérleti kiosztásban jelöltem. A parcellák között és a parcellákon belüli elválasztást a közegkeverékek magasságához igazodó műanyag elválasztó szegélyek biztosítják. A kísérleti **növények** *S. album*, *S. hybridum*, *S. reflexum*, *S. spurium* 9 db/0,25m² 4 x 3x3-as elrendezésben kerültek az egyes parcellákba. Az eltelepítéskor 7 cm átmérőjű műanyag konténerben lévő 1 éves növények kerültek. 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. A kontrolltetőre nem került közegkeverék (**1. ábra**).



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

3.2. Vizsgálatok módszerei és eszközei

3.2.1. Növényfajokkal kapcsolatos minőségi és mennyiségi mérések

3.2.1.1. *Sedum* fajok szövettani vizsgálatai

A *Sedum* fajok szöveteit a Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Karának, Növénytani Tanszékén vizsgáltam. A vizsgálathoz szükséges metszetek Leitz típusú fagyasztó mikrotómmal készültek, majd ezt követően a tárgylemezre került preparátumok tartósítása glicerin és víz 1:1 arányú keverékével történt. A mintákat toulidinkék festékanyaggal festettem meg. A felvételek Zeiss Axio Imager. A2 típusú mikroszkóppal és Axio Cam HRc, Zeiss kamerával készültek. A vizsgálandó levélkék preparátum készítés közben roncsolódtak, ezért vizsgálataim a szár szöveti felépítésére fókuszáltak (áttekintő szerkezeti kép (10x), alap és külső szövetek (20x), központi szállítórések (40x)). Az eredményeket fajonként mutatom be, mindig a szabadföldi körülmények között levő növényekhez hasonlítom az egyes közegkeverékeken 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 zöldtetőről származó egyedek leveleit vizsgáltam. (A tetőn egy fajból, adott közegkeverék és vastagság kombinációnként 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 kifejtett levélkéből epidermisz nyúzatot készítettem. 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 átlaga + szórás db/mm² dimenzióban határoztam meg.

3.2.1.2. *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. 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 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. Az elemzéseket az XL-Stat szoftverrel (Addinsoft, 28 West 27th Street, Suite 503, New York, NY 10001, USA) hajtottam végre (Lichtenthaler és Buschmann, 2001).

3.2.1.3. *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 ($H_3PW_{12}O_{40}$) és foszfomolibdénsav ($H_3PMo_{12}O_{40}$) 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 mérések során 500mg/ml-es oldatot készítünk, majd teflonkéses homogenizátorral 24000 min^{-1} -es sebességgel 2 percig homogenizálunk. Ezt követően 13500 fordulat/perc fordulatszámra 20 percig centrifugáljuk, majd a tiszta felülúszót használjuk a mérésekhez. A fényelnyelést $\lambda=765\text{ nm}$ -en követjük nyomon. Minden mérést 5 ismétlésben 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-(Fe^{3+}) ionok az antioxidáns aktivitású vegyületek hatására ferro-(Fe^{2+}) ionokká redukálódnak, amelyek alacsony 3,6 pH-n a tripyridil-tiazinnal (TPTZ = 2,4,6 tripyridil-s-triazin) kékszínű komplexet képezve színes terméket adnak (ferro-tripyridil-triazin), amely fotometriásan nyomonkövethető. A mintákat a TPC-nél ismertetett módon készítjük elő, majd a tiszta felülúszót használjuk a mérésekhez. A fotometriás detektálást $\lambda=517\text{ nm}$ -en végeztem 5 ismétlésben. 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 $\lambda = 450\text{ nm}$ -en, 30 perc reakcióidő alatt. A reakcióelegyben a $CuCl_2(II)$ oxidációs száma csökken az antioxidánsok redukáló képességének köszönhetően. Az I-es oxidációs számú réz dimerizálja a neocupoint, így kékszínűvé válik: $Cu(Nc)_2^{2+} \rightarrow +$

antioxidáns $\rightarrow \text{Cu}(\text{Nc})^{2+} + \uparrow \lambda = 450 \text{ nm}$. Szobahőn inkubálom a mintákat 30 percig. A fotomeriás detektálást $\lambda = 450 \text{ nm}$ -en végeztem 5 ismétlésben. 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 erélyesebb 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 $\lambda = 517 \text{ nm}$ -en követjük nyomon. Minden mérést 5 párhuzamosban végzünk. Az eredményeket gátlás %-ban adjuk meg (BRAND et al., 1995).

Méréseimet a 10 cm-es vastagságú közegkeverékek eltelepített, véletlenszerűen kiválasztott *Sedum* fajokon 5 párhuzamos méréssel végeztem. A módszerek között korreláció megállapítására Spearman-féle rangkorrelációs eljárást végeztem az XL-Stat szoftverrel (Addinsoft, 28 West 27th Street, Suite 503, New York, NY 10001, USA).

3.2.1.4. *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 ($\alpha = 0,05$), a többváltozós varianciaanalízis (Multivariate Analysis of Variance, MANOVA) statisztikai módszerét választottam a feltételvizsgálatok elvégzése után. Az elemzést az SPSS 20.0. for Windows programcsomaggal végeztem.

3.2.1.5. *Extenzív kísérleti tetőn megjelenő gyomfajok vizsgálata*

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. Kísérletemben a becslések pontosítása érdekében egy kísérleti parcellának megfelelő 1 m² nagyságú (100 cm x 100 cm) keretet alkalmaztam, amelyben 100 db 10 cm x 10 cm-es rácshálónégyzetet tartalmaz. A felvételezéseimet minden évben (2012, 2013, 2014, 2015) kétszer: április és október hónapban.

3.2.2. Csurgalékvizek minőségi és mennyiségi jellemzése

3.2.2.1. Csurgalékvizek elemanalitikai vizsgálatai (ICP-OES, ICP-MS)

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 (meghatározott elemek: 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) (meghatározott elemek: Ag, Al, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, Zn).

3.2.2.2. Csurgalékvizek multikritériumos elemanalitikai rangsorolása és csoportosítása

A csurgalékvizek elemanalitikai összehasonlításához az ICP/OES és ICP/MS mérési eredményei szolgáltatták a bemenő adatokat. A statisztikai értékelésekhez a rangszám-különbségek összege (*Sum of Rank-Difference, SRD*) módszer elvét (Héberger, 2010), valamint az elv implementálásából született SRDrep_V5_E10.xlsm ingyenesen letölthető (<http://aki.ttk.mta.hu/srd/>) szoftvert alkalmaztam (Héberger és Kollár-Hunek 2011).

3.2.2.3. Csurgalékvizek átfolyó mennyiségének és a csapadék visszatartás meghatározása

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.

3.2.3. Közegkeverékekkel kapcsolatos minőségi és mennyiségi jellemzés

3.2.3.1. 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), higroszkóposág (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 ismétlésben mérték. A statisztikai kiértékeléshez Kruskal-Wallis tesztet hajtottam végre, egzakt p -érték kiszámolásával ($\alpha=0,05$), majd Dunn-féle páronkénti post hoc tesztet végeztem. Az elemzéseket az XL-Stat szoftverrel (Addinsoft, 28 West 27th Street, Suite 503, New York, NY 10001, USA) hajtottam végre.

3.2.3.2. Közegkeverékek specifikus fizikai vizsgálata

A teljesítménymutatókat három csoportba határoztam a kidolgozott módszertan alapján (Szöke et al., 2013):

1. sűrűséggel összefüggő jellemzők: laza sűrűség; nedves laza sűrűség; kőzetanyag sűrűsége; kőzet sűrűsége nedvesen; kristályszerkezeti sűrűség; kőzettömeg egységnyi kötőanyagban; kőzettérfogó egységnyi kötőanyagban; kőzettömeg egységnyi nedves kötőanyagban, kőzettömeg egységnyi nedves kőzetben.
2. víztartalommal összefüggő jellemzők: víztartalom (porozitás) egységnyi nedves kőzetben, víztartalom (porozitás) egységnyi nedves kötőanyagban, víztartalom egységnyi nedves granulátum-térfogóban; felületi víz egységnyi granulátum-térfogóban, felületi víz egységnyi granulátum-tömegben.
3. szemcsék közötti térrel összefüggő jellemzők: szemcsék közti tér egységnyi granulátum-térfogóban, szemcsék közti tér egységnyi granulátum-tömegben.

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

3.2.3.3. 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), vízdíszható 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. Az elemzéseket az XL-Stat szoftverrel hajtottam végre.

3.2.3.4. 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 véletlenszerű mintavétellel. 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 illeszttem, a modell együtthatóinak becslését, a regressziós diagnosztikát, valamint a feltételvizsgálatot Harnos és Ladányi (2005) alapján az SPSS 20.0. for Windows programcsomaggal értékeltem.

3.2.4. Zöldtetőkataszter statisztikai vizsgálata

A zöldtetőkataszter beérkezett adataira történő modellillesztést, a modell együtthatóinak becslését, a regressziós diagnosztikát, valamint a feltételvizsgálatot Harnos és Ladányi (2005) alapján az SPSS 20.0. for Windows programcsomaggal értékeltem:

1. Függvény alakjának megsejtése a pontok ábrázolásával
2. Modellillesztés
3. Modell együtthatóinak a becslése
4. Regressziós diagnosztika
 - a. determinációs együttható (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 változókrol való döntés)
 - c. A modellre vonatkozó ANOVA (modell mennyire magyarázza az értékek szóródását)
5. Feltételvizsgálat
 - a. reziduumok függetlensége (korreláció)
 - b. reziduumok normalitása $e_i \sim N(0; \sigma)$

4. Eredmények

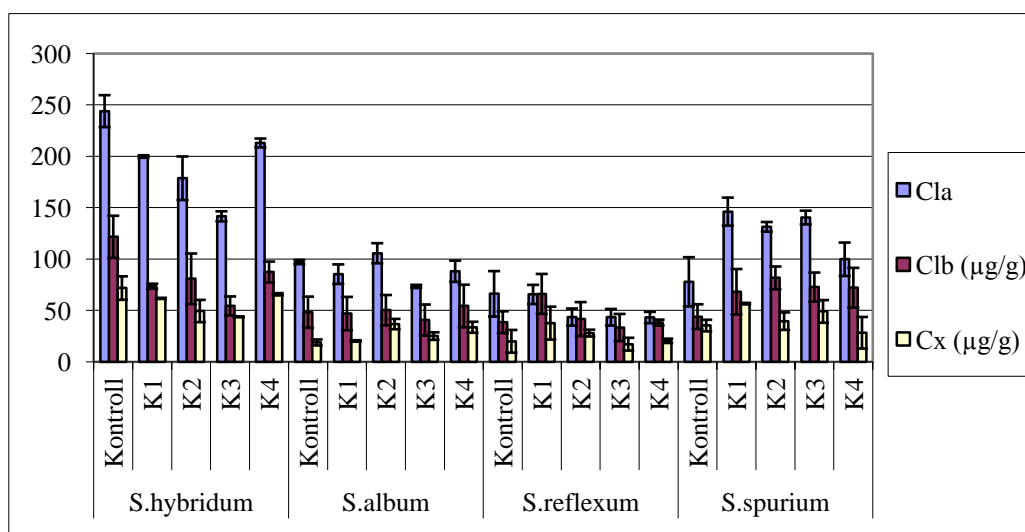
4.1. *Sedum* fajokkal kapcsolatos minőségi és mennyiségi mérések eredmények

4.1.1. *Sedum* fajok szövettani eredményei

Összességében megállapítható, hogy a vizsgált *Sedum* fajok szöveti szerkezeti felépítése megváltozik a zöldtetőn levő extrém körülmények hatására. A *S. reflexum* esetében az epidermisz megvastagodása figyelhető meg. A *S. spurium* esetében pedig az epidermisz alatt vastagfalú sejtsor hypoderma alakult ki. Általában a cortex szövetei tömöttebbé válnak, a sejt közötti intercellulárisok csökkennek, nyalábok száma nő, viszont a faelem (*xilem*) vízszállítócsöveinek (*trachea*) átmérője csökkent. Az eredmények azt mutatják, hogy az extenzív körülmények között a *S. hybridum*, *S. album*, *S. spurium* sztómáinak átlagos száma jellemzően szignifikánsan ($\alpha=0,05$) magasabb volt, mint a kontroll, szabadföldi körülmények között levő kontroll növényeké.

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

Összességében 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: *S. hybridum*, *S. spurium*, *S. album*, *S. reflexum*. A vizsgált **pigmentek** közül a klorofill-a alapján szignifikánsan ($\alpha=0,05$) legmagasabbnak a *S. hybridum* kontroll mintája, szignifikánsan ($\alpha=0,05$) legalacsonyabbnak a *S. reflexum* (K3, K4, K2) adódott. Az összes többi kombináció a kettő között helyezkedett el. A klorofill-b és karotinoidok alapján nem adódott szignifikáns ($\alpha=0,05$) különbség (**2. ábra**) (**2. táblázat**).



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

2. 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

4.1.3. *Sedum* fajok antioxidáns anyagainak eredményei

Az antioxidáns kapacitás eredményei alapján kialakult sorrend (legnagyobbaktól 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 mennyiségben, a K1, K2 közegkeverékeken kisebb mennyiségű antioxidáns anyag termelődött a mért módszerek alapján. A kontroll növényeken mért mennyiségek változóan 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).

Az antioxidáns kapacitás mérései között igen erős szignifikáns ($\alpha=0,05$) kapcsolatok az alábbiak voltak: FRAP–CUPRAC (0,958), FRAP–TPC (0,881), CUPRAC–TPC (0,814). Közepesen erős szignifikáns ($\alpha=0,05$) kapcsolat adódott: DPPH–FRAP (0,690), DPPH–CUPRAC (0,611), DPPH–TPC (0,594). 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.

4.1.4. *Sedum* fajok növekedési ütemének és dinamikájának eredményei

A vizsgált fajok növekedése nem lineáris regresszió alapján írható le. A vizsgált *Sedum* fajok növekedésének általános modellje: $p_1 + p_2 * (1 - \exp(-p_3 * idő))$, ahol a p_1 indulási érték, a p_2 növekedés a telítődésig, p_3 a növekedés sebessége. Mivel a telepítéskori növényátmérők (p_1) 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 (3. táblázat).

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

A tömörödéseket leíró statisztikai modellillesztések, a modell együtthatóinak becslése, a regressziós diagnosztika és feltételvizsgálatok megfelelőnek bizonyultak. A legnagyobb növekedési ütemmel és legnagyobb átmérővel a *S. hybridum* és *S. album* jellemezhető, a K1 és K4-es közegkeverékeken közegvastagságtól függetlenül 20 hónap alatt, míg a K2 és K3 közegkeverékeken csak 30 hónap alatt érték el a teljes borítottságot. 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 minden közegkeverékeken és minden közegvastagságon. A K1 és K4-es közegkeverékeken közegvastagságtól függetlenül 30 hónap alatt, míg a K2 és K3 közegkeverékeken lassabb növekedési ütemmel a vizsgálat végére sem érték el a teljes borítottságot (**3. ábra**).

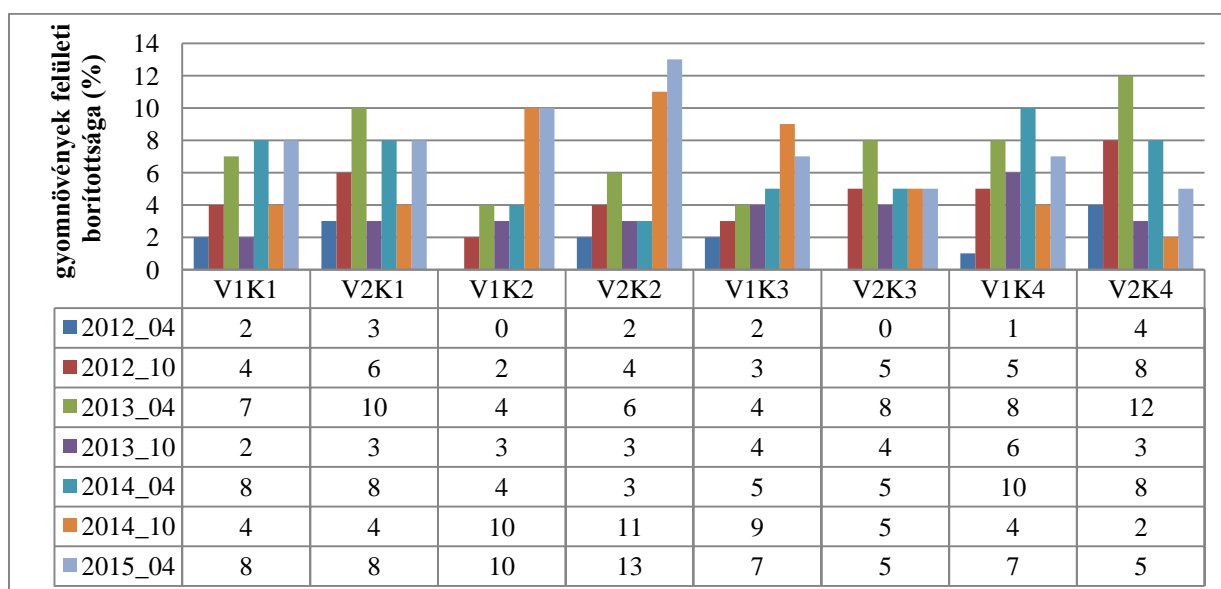


3. ábra. *S. hybridum* (bal felső), *S. album* (jobb alsó), *S. reflexum* (bal also, jobb felső), *S. spurium* (jobb felső, bal alsó) (V2K1, V2K4) (2013.05)

Annak eldöntésére, hogy az egyes fajok növekedésére mely tényezők – közegkeverék, közegkeverék vastagsága, vagy ezek interakciója – vannak szignifikáns ($\alpha=0,05$) hatással, többváltozós variancia-analízis (Multivariate Analysis of Variance, MANOVA) statisztikai módszerét választottam a feltételvizsgálatok elvégzése után. Kutatásomban igazoltam, hogy minden közegkeveréknek minden faj esetén szignifikáns hatása van ($\alpha=0,05$) a növekedés sebességére. A közegkeverékeknek szignifikáns hatása van ($\alpha=0,05$) a *Sedum* fajok növekedési méretére (átmérő) kivéve a *S. spurium* esetén. A közegkeverék vastagságoknak nincs szignifikáns hatása ($\alpha=0,05$) a növekedés sebességére.

4.1.5. Az extenzív kísérleti tetőn megjelenő gyomfajok vizsgálatának eredményei

A gyomok közül tavasszal jellegzetesen az ősszel csírázó, kora tavaszi egyéves T₁-es, míg az októberi felvételezéskor T₄-es gyomok vannak jelen, ugyanakkor T₂-es (*Crepis rhoeadifolia*, *Vicia villosa*), G₁-es (*Agropyron repens*, *Poa angustifolia*), illetve H életformájú (*Artemisia vulgaris*, *Melandrium album*, *Oxalis corniculata*, *Plantago major*) gyomnövényeket is regisztráltam. A gyomnövények felületi borítottsági értékei tavasszal minden esetben magasabbnak adódtak, 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 lélettér egy részét, az ősszel felvételezett gyomoknak kevesebb lélettérrel hagyva ezáltal. Általánosságban megállapítható, hogy a vastagabb közegkeverékeken (15 cm) nagyobb a gyomborítottság mértéke (4. ábra).



4. ábra. Gyomnövények felületi borítottsága (%) az egyes közegkeverékeken

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

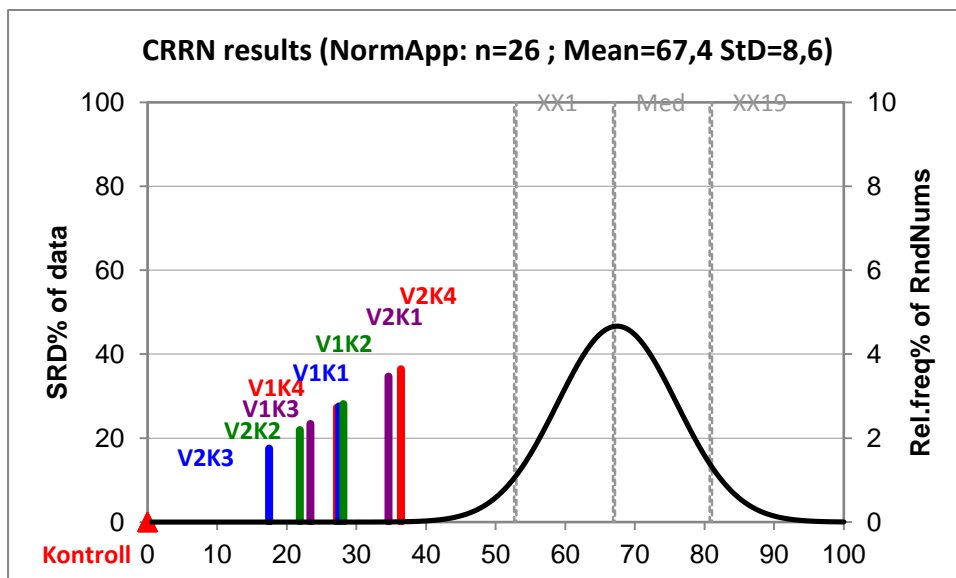
4.2. A csurgalékvízzel kapcsolatos minőségi és mennyiségi mérések eredményei

4.2.1. Csurgalékvizek elemanalitikai eredményei (ICP-OES, ICP-MS)

A feltelepített tető első alkalommal átfolyó csurgalékvizeinek (2012.03.) és a kísérlet végén (2015.03) átfolyt csurgalékvizeinek – közegkeverék és vastagságkombinációira vonatkoztatva – meghatároztuk az elemanalitikai paramétereit. A 2012-es és 2015-ös minták eredményeit összehasonlítva 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 megszűrt 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.)

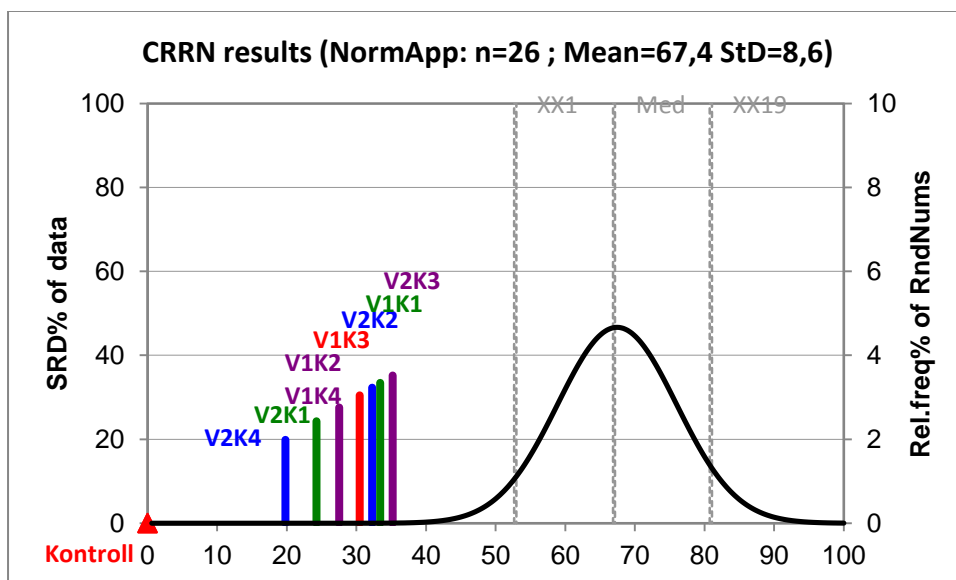
4.2.2. Csurgalékvizek elemanalitikai rangsorolása és csoportosítása (SRD)

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 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 (**5. ábra**).



5. 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 (6. ábra).



6. 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)

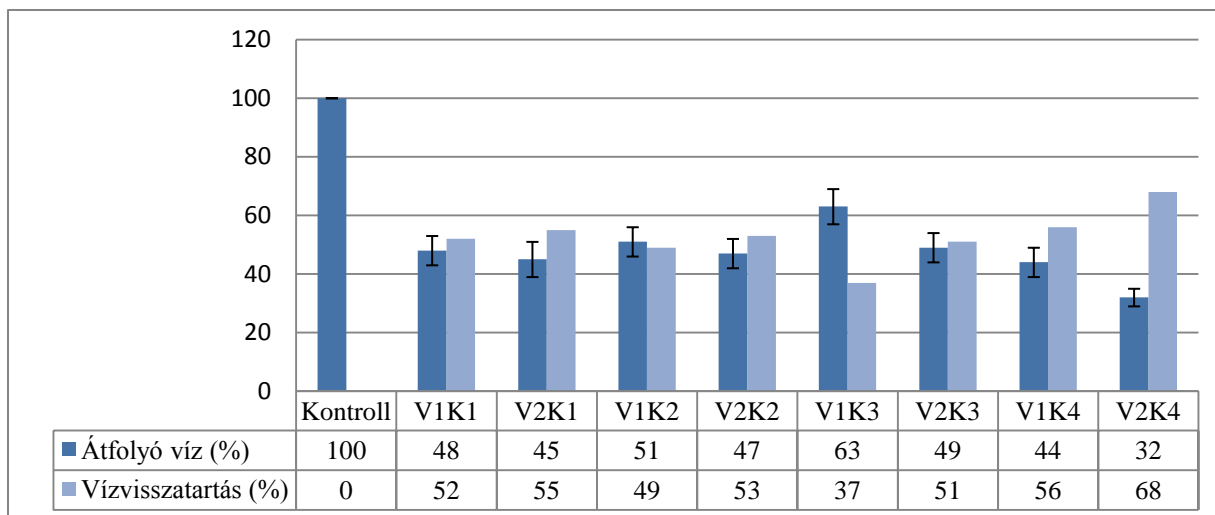
A két vizsgálat eredménye alátámasztja, hogy míg a telepítéskor a V2K3 és a V2K2 közegkeverék és vastagságkombinációkon átfolyt csurgalékvíz hasonlít a leginkább az esővíz elemanalitikai összetételére, addig a vizsgálat végére pedig a legkevésbé. Ez azzal magyarázható, hogy a közegkeverék komponensei főleg lassan feltáródó, vízhatására fokozatosan kioldódó anyagokat tartalmaznak (K3: tégláörlemény 25%; ytongörlemény 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 méréskor a legkevésbé hasonlítanak a 2012-es kontrollra. Így első alkalommal ezek a keverékek szennyeznek a leginkább.

4.2.3. Csurgalékvizek átfolyó mennyiségének és a csapadék visszatartás eredményei

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%).

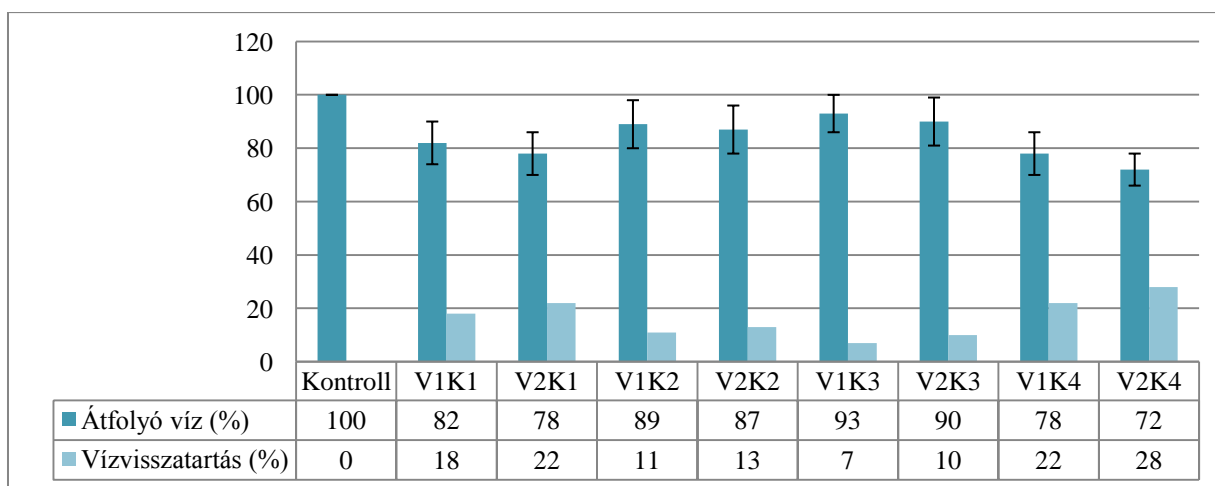
Az ugyanolyan összetételű, de kisebb vastagságú (10 cm) közegkeverék vízvisszatartási hányada (%) kevesebb, míg a nagyobb vastagságú (15 cm) közegkeverék vízvisszatartási hányada (%) nagyobbak adódott minden esetben. Az egyes közegkeverék és vastagság kombinációk vízvisszatartási sorrendje hasonlóan 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 szervesanyagmennyiséggel rendelkező közegkeverék rendelkezett (K3: tégláörlemény 25%; ytongörlemény 25%; tőzeg 15%; zeolit 20%; meliorit 15%) **(7. ábra)**.



7. 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 eredményt adódott. A nagy földtartalmú közegkeverékek rendelkeztek a nagyobb vízvisszatartási aránnyal, míg a legkisebbel pedig a nagy frakciójú igen magas szervesanyagmennyiséggel rendelkező közegkeverék rendelkezett. A nyugalmi periódusban a legnagyobb vízvisszatartási értéktől kezdve az alábbi sorrend adódott: V2K4 → V1K4, V2K1 → V1K1 → V2K2 → V1K2 → V2K3 → V1K3 (**8. ábra**).

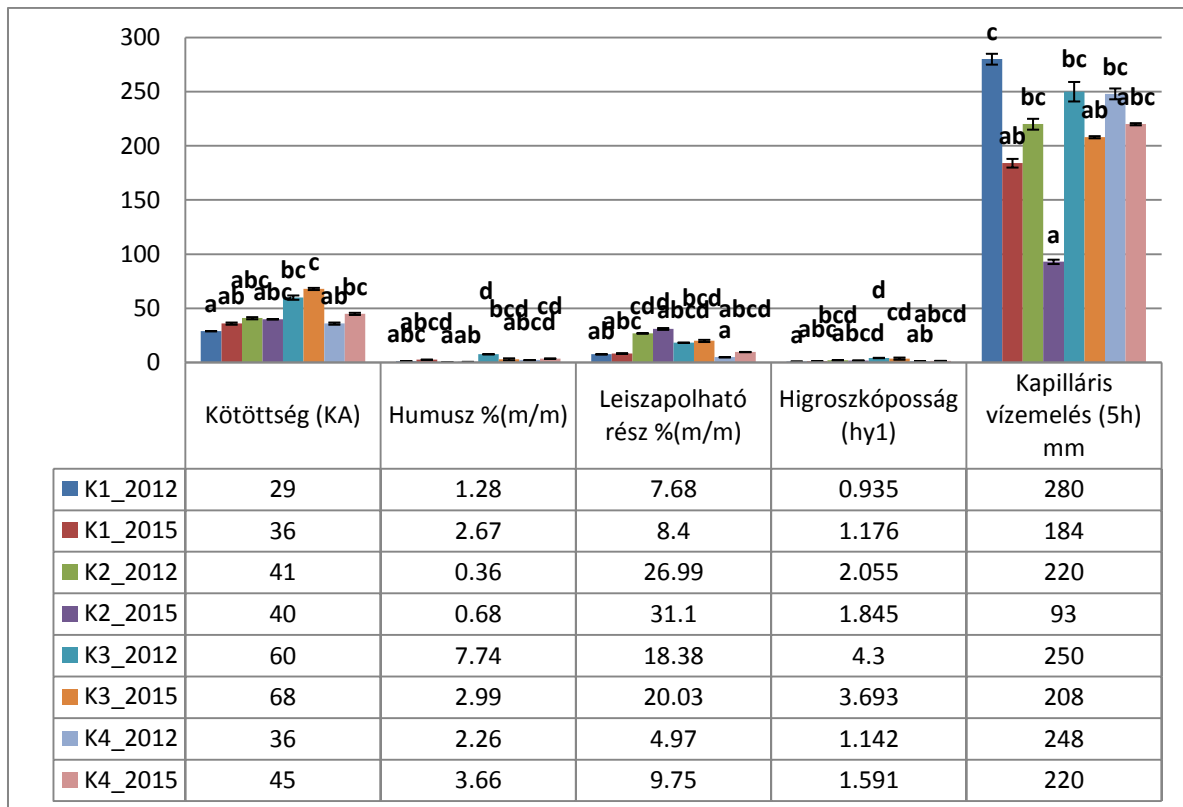


8. ábra. A közegkeverék és közegvastagság kombinációkon átfolyó csurgalékvíz (%) és visszatartás (%) átlagos értékei a nyugalmi időszakokra (október-február) vonatkozóan (2012.03-2015.03)

4.3. A közegekkel kapcsolatos minőségi és mennyiségi mérések eredményei

4.3.1. Közegkeverékek általános fizikai vizsgálatának eredményei

A közegkeverékek általános vizsgálatait két időpontban végeztük, a feltelepítéskor és a kísérlet végén 3 évvel később. Az egymás mellett levő oszlopok rendre az egyes közegkeverékek (K1, K2, K3, K4) két különböző évben (2012 és 2015) történő összehasonlítását mutatja be (9. ábra).



9. 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. 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 változások 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

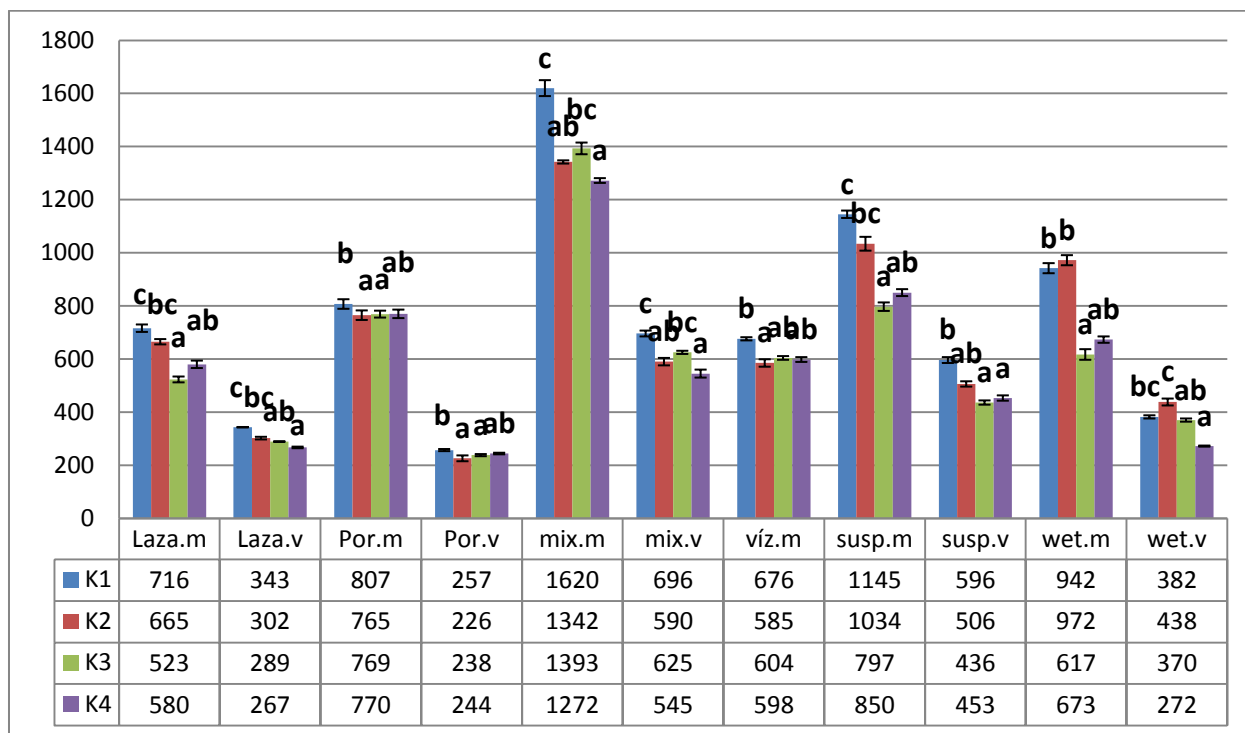
(280 mm→184 mm), amely elsősorban a nagy földtartalmú közegkeverék tömörödésével magyarázható. A K2 közegkeverékeknél szintén hasonló tömörödési jelenség volt megfigyelhető, az átlagos kapilláris vízemelése (5h) csökkent le szignifikánsan (220 mm→93 mm). A K2-es közegkeverék zeolitfrakciói tömörödéssre hajlamosak, amelyet gyakorlati megfigyelések is alátámasztanak. A K3-ban és K4-ben nem adódott szignifikáns különbség ($\alpha=0,05$) 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 komponens 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.

4.3.2. Közegkeverékek specifikus fizikai vizsgálata

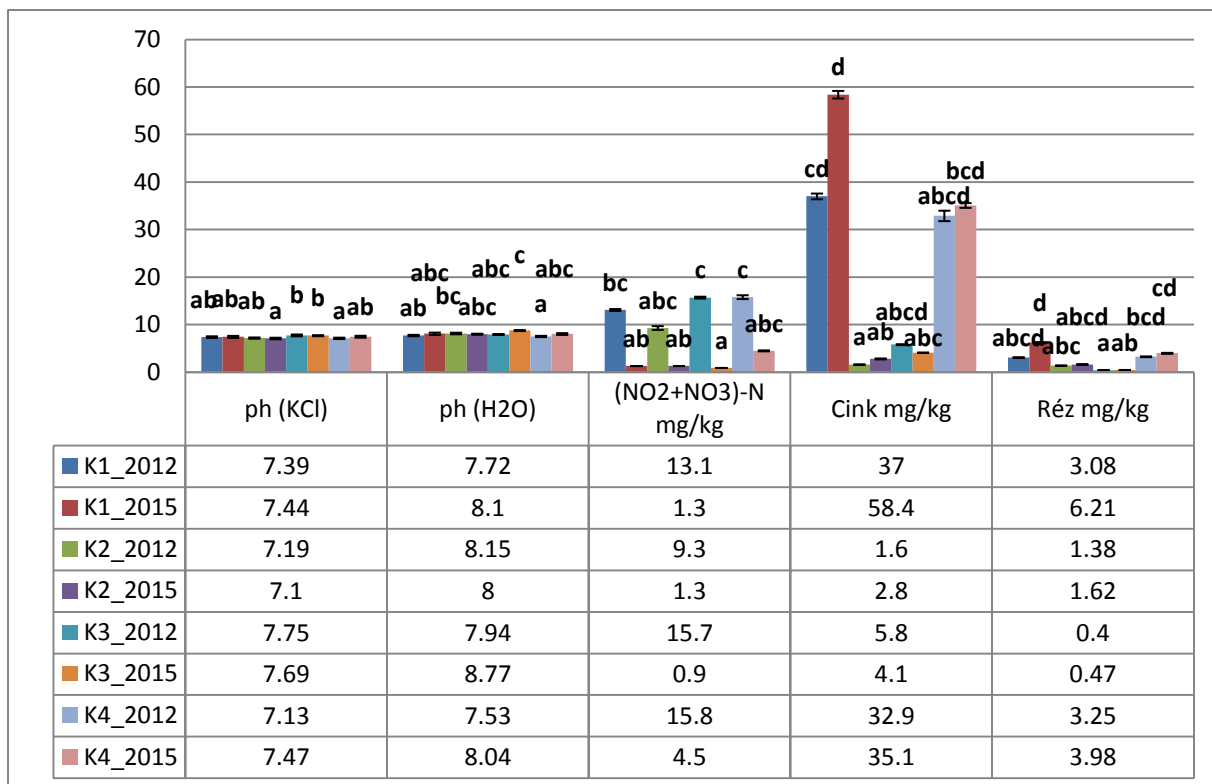
A közegkeverékek speciális vizsgálatait két időpontban végeztük, a feltelepítéskor és a kísérlet végén 3 évvel később. A speciális fizikai paraméterek – laza/m, laza/v, por/m, por/v, mix/m, mix/v, víz.m, víz.v, susp/m, susp/v, wet/m, wet.v. – páronkénti összehasonlításait célszerű közegkeverékenként áttekinteni és értékelni (10. ábra).



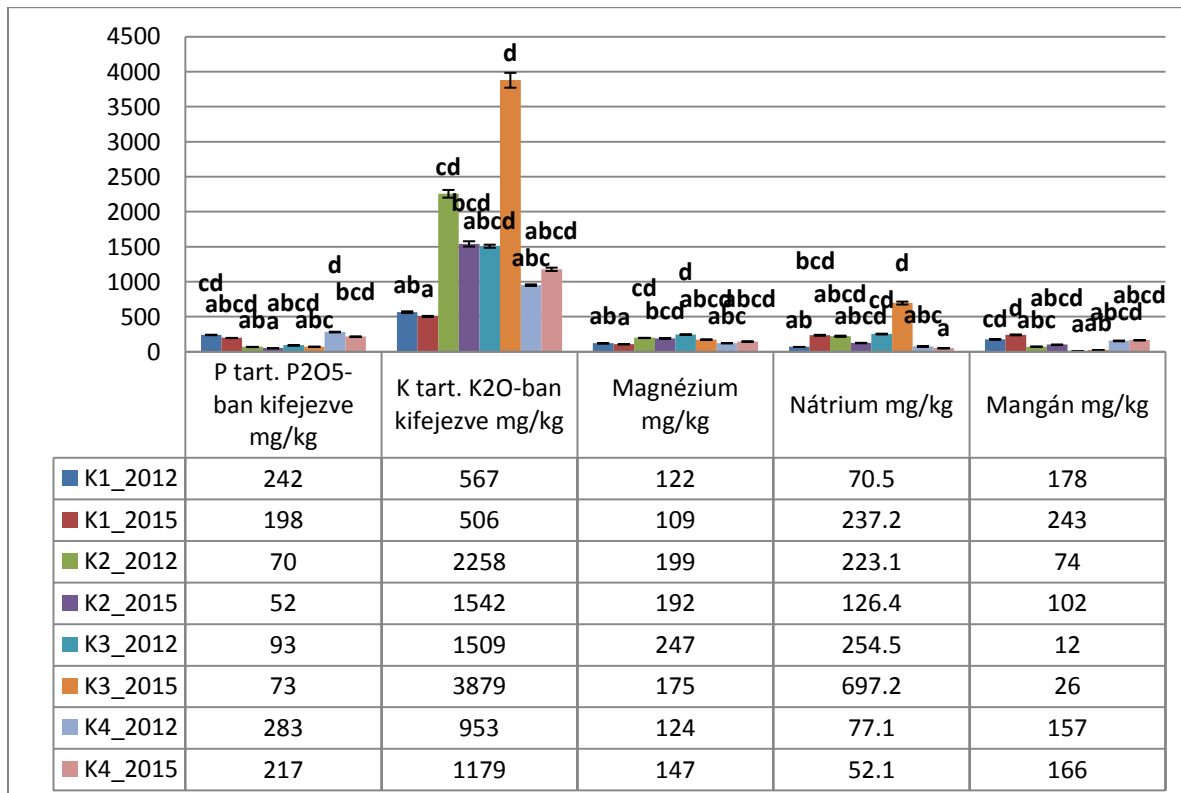
10. ábra. A közegkeverékek specifikus fizikai paramétereinek átlagos értékei, szórásai valamint homogén és heterogén csoportjai (2012.03)

4.3.3. Közegkeverékek általános kémiai vizsgálatának eredményei

A közegkeverékek speciális vizsgálatait két időpontban végeztük, a feltelepítéskor és a kísérlet végén 3 évvel később. A speciális 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-ben 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 (11. ábra, 12. ábra).



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



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

A pH (KCl) értékeknél megfigyelhető meg, hogy azon közegkeverékek pH értéke nő, amelyek földet tartalmaznak (K1, K4), míg a nagyrészt szervesetlen komponenseket tartalmazó közegkeverékek pH-ja csökkent. A (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.

4.3.4. Közegkeverékek tömörödésének üteme és jelleggörbéi

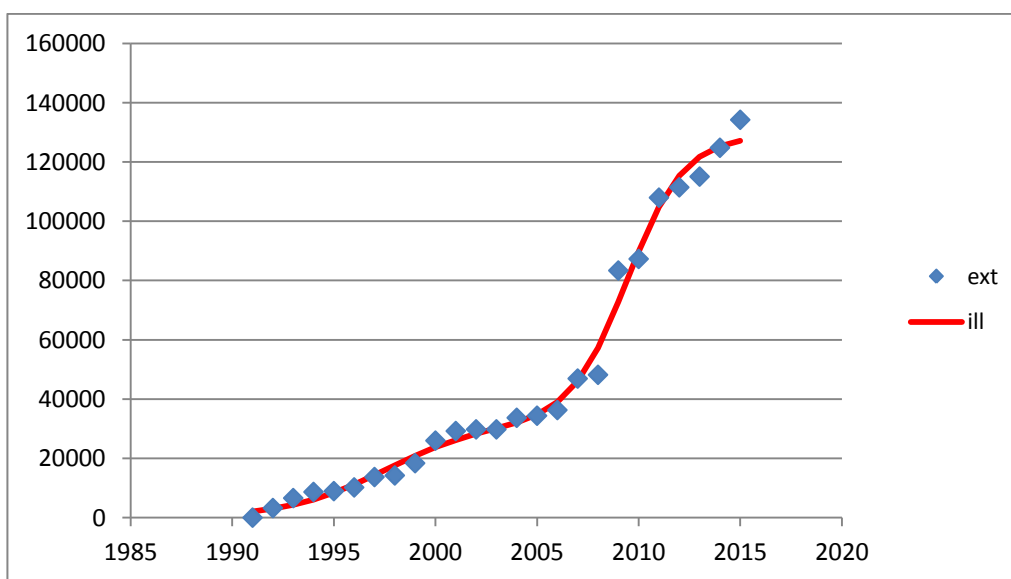
Összefoglalóan megállapítható, hogy a vizsgált közegek tömörödése úgynevezett lebomlási modellek alapján írható le. A vizsgált közegek tömörödésének általános lebomlási modellje $= p_1 + p_2 * (1 - \exp(-p_3 * idő))$, ahol p_1 az indulási érték (lényegében 10 cm vagy 15 cm), a $p_1 + p_2$ a tömörödési 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 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. A tömörödéseket leíró statisztikai modellillesztések, a modell együtthatóinak becslése, a regressziós diagnosztika és feltételvizsgálatok megfelelően bizonyultak (4. táblázat).

4. 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

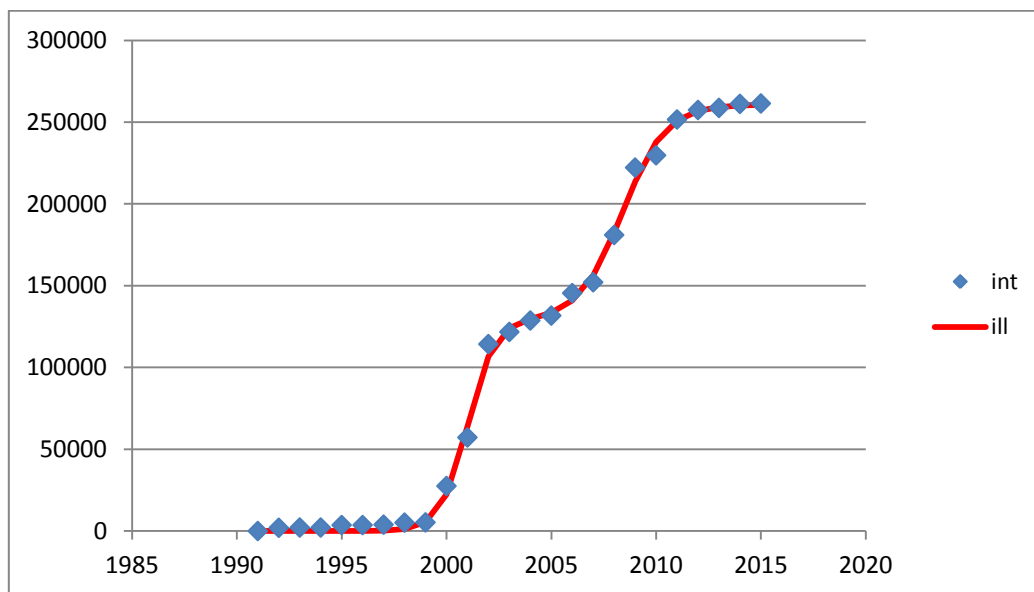
4.4. A zöldtetőkataszter statisztikai elemzésének eredményei

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 következőkben a három zöldtető típus mennyiségi alakulásának matematikai modellezését mutatom be a vizsgált időszakban (1991-2015). A pontok ábrázolásával feltételeztem, hogy az adatokra illesztendő görbe bi-logisztikus jellegű (Perrin, 1994). Az adatokra történő modell illesztését bi-logisztikus modell segítségével tettem meg. A zöldtetők elterjedését leíró statisztikai modellillesztések, a modell együtthatóinak becslése, a regressziós diagnosztika és feltételvizsgálatok megfelelően bizonyultak. Igazoltam, hogy a zöldtető építés mennyiségi alakulásának leírására bi-logisztikus matematikai modellek a megfelelőek (**13. ábra, 14. ábra, 15. ábra**).



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

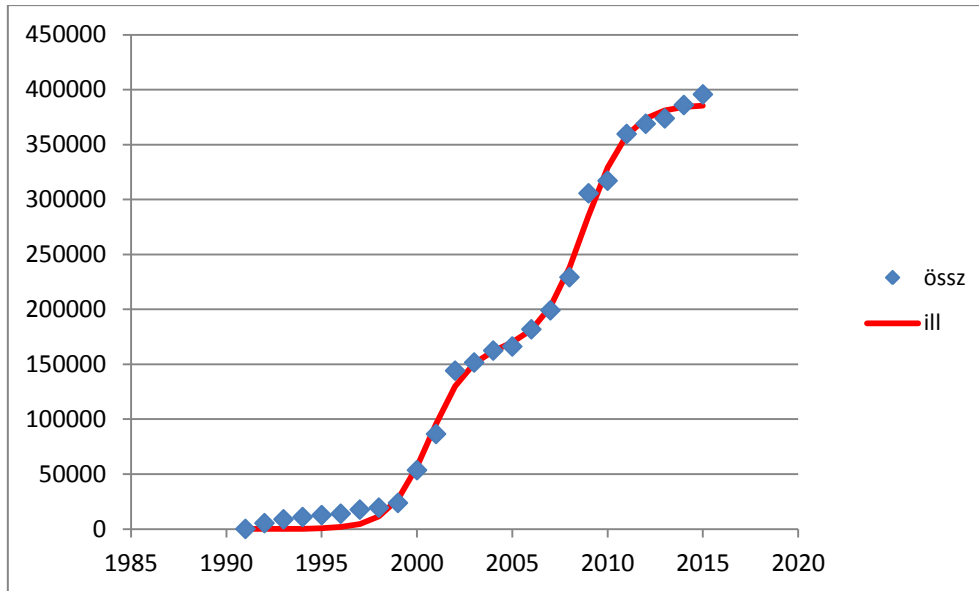
A megépített **extenzív zöldtetők** mennyisége (m²) különböző nagyságú ingadozást mutat a vizsgált időszakban (1991-2015). Az extenzív zöldtetők Magyarországon a 1991-2006-ig terjedő időszakban viszonylag lassan növekedtek. Ennek az időszaknak az utolsó éveiben egyfajta telítődési folyamat figyelhető 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).



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

A megépített **intenzív zöldtetők** mennyisége (m²) különböző nagyságú ingadozást mutat a vizsgált időszakban (1991-2015). Az intenzív zöldtetők 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 zöldtetői: 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 zöldtetők növelték az intenzív zöldtetők területének nagyságát: Millennium Irodaház (2008), Egerszalók Wellness Hotel (2008), Sárvár 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 zöldtetője növeli meg az éves telepített intenzív zöldtetők nagyságát. 2011 után egy második telítődési folyamat figyelhető meg.



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

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 kevéssé becsülhetők meg pontosan a bemenő paraméterek változékony természete miatt, továbbá az sem igazolt, hogy a múlt tendenciái érvényességüket megtartják a jövőre vonatkozóan is.

5. 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. Kísérleteimmel 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. Kísérleteimmel igazoltam, hogy a vízvisszatartás nagyban függ a közegkeverékek alkotóelemeitől, a közegkeverékek vastagságától és a szezonalitástól. Bizonyítottam, hogy a vizsgált közegek tömörödése úgynevezett lebomlási modellek alapján írhatók le. A tömörödések 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.

6. 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. 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 *S. hybridum* kontroll mintájához képest az extenzív tetőn a vízhiány okozta stressznek kitett növények leveleinek klorofill tartalma jellemzően kisebb (Gupta és Berkowitz, 1988). 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 antioxidáns kapacitást mérő módszerek (TPC, FRAP, CUPRAC, DPPH) konszenzusa alapján 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.

Saját kísérletem alapján a *Sedum album*-nak a legjobb a stressztűrése, mert neki van a legalacsonyabb antioxidáns kapacitása. További kutatásokban célszerű lenne ugyanezen fajokat 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 enzimatiszta védelmi rendszert is feltárni.

Munkámban bizonyítottam, hogy a vizsgált fajok (*Sedum album*, *Sedum hybridum*, *Sedum reflexum*, *Sedum spurium*) növekedési üteme nem lineáris lefutásúak, amelyeket közegkeverék és vastagságkombinációkra vonatkozóan megadtam. 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. 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 kísérletsorozatokat 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 megszárt elemek mennyisége kisebb, tehát célszerűbb az extenzív zöldtetőnek emiatt is vastagabb közegvastagságot választani. Kísérleteim során bizonyítottam, hogy a vízvisszatartás elsősorban a szezonálisitástól, 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 a fajok vízvisszatartásban betöltött szerepe ebben a kísérleti kiosztásban nem vizsgálható.

Az extenzív zöldtetőn levő növények tápanyagfelvételét nagyban befolyásolja a közegkeverék kémiai és fizikai paraméterei és azoknak időbeni változásai, amelyeket már a zöldtető tervezésénél figyelembe kell venni.

Összefoglalóan a közegek többszemponú (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.

Kutatásomban létrehoztam a magyarországi zöldtető 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. Ez elsősorban az OTÉK előírásai miatt alakulhatott ki, mivel 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 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 szakértői konszenzus alapján tovább bővíthető. A kataszteri információk pontossága tovább javítható az önkormányzati zöldtetőépítési engedélyek adatainak integrálásával, valamint a beválláson alapuló adatainak ellenőrzésével helyszíni szemlével kombinálva. A zöldtetők energetikai, vízfelhasználási, gazdasági, ökológiai, tájésztétikai 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 kulcsszerepet 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-életteni, dísznövény kertészeti, botanikai és tájökológiai ismeretekkel. Ennek megoldására javaslom a szabályozás megváltoztatást, valamint a zöldtető építésre specializált képzés elindítását.

Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

Impakt faktoros folyóiratcikkek
A. Szőke, V. Losó, L. Sipos, A. Geösel, A. Gere, Z. Kókai (2012): The effect of brand/type/variety knowledge on the sensory perception. <i>Acta Alimentaria</i> , (Suppl. 1) pp. 197-204. (IF=0,379).
Lektorált folyóiratban (MTA listás) megjelent közlemények
A. Szabó, A. Geösel, Z. Kókai, Cs. Orbán, K. Tőreki, A. Szőke (2016): Antioxidant activity as indicator of UV radiation and other abiotic stress factors on <i>Agaricus bisporus</i> (Lange/Imbach) and <i>Sedum hybridum</i> (L.) <i>Acta Universitatis Sapientiae</i> , (accepted: 08. 09. 2015). <i>In press</i>
Konferencia összefoglalók (magyar nyelvű abstract)
Szőke, A. , Gerzson, L., Forró, E., Erdélyi, É. (2011): Extenzív zöldtetőn alkalmazott <i>Sedum</i> fajok teljesítményének értékelése <i>Sedum-ex</i> talajkeverékben. IX. Magyar Biometriai, Biomatematikai és Bioinformatikai Konferencia, 2011. július 1., Budapest. p. 71.
Szőke, A. , Gerzson, L., Forró, E. (2012): Extenzív zöldtetők termesztő közegeinek kritikus paraméterei, Talajtani Vándorgyűlés Miskolc, 2012. augusztus 23-25. pp. 67-68.
Szőke, A. , Gerzson, L., Forró, E. (2012): Közegkeverékek jellemzése csurgalékok vízparamétereinek monitorozásával, extenzív zöldtetőkön, Talajtani Vándorgyűlés Miskolc, 2012. augusztus 23-25. pp. 68.
Szőke, A. , Gerzson, L., Forró, E. (2012): Kísérleti extenzív zöldtetők az energiahatékonyság növelésében. A Fenntarthatósági Innovációs Technológiai Centrum (FITC) a „Baross Gábor - Napház Középület Program az Észak-magyarországi régióban” című (KRNKP_09) projekt keretében „Az energiahatékonyság növelése az észak-magyarországi régió közintézményeiben” című tudományos konferencia Károly Róbert Főiskola, Gyöngyös, 2012. szeptember 25.

Konferencia összefoglalók (idegen nyelvű abstract)
A. Gere, A. Győrey, V. Losó, A. Szőke , S. Kovács, Z. Kókai, L. Sipos (2013): Comparison of mapping methods: PARAFAC and PCA in horticultural and food sciences. 4 th MoniQA International Conference, 26 February – 1 March, 2013, Budapest, Hungary. p. 115.
Konferencia proceeding közlemények (“full paper”)
A. Szőke , T. Mátyás, D. Szabó, L. Gerzson, E. Forró (2013): Method for the rapid determination of soil physics parameters of extensive green roofs. 12 th Wellmann International Scientific Conference. 25 th April, 2013, Hódmezővásárhely. pp. 62-68.
A. Szőke , D. Szabó, E. Forró, L. Gerzson (2013): Developing Hungarian cadastral database of green roofs and the trends in green roof construction industry. 12 th Wellmann International Scientific Conference. 25 th April, 2013, Hódmezővásárhely. pp. 455-460.
Könyv
Szőke, A. (2015): Magyarországi zöldségtermesztés elterjedésének feltételei és lehetőségei. Sedum Kft, ISBN 978-963-12-3994-2 pp. 1-117.