

NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM
KITAIBEL PÁL KÖRNYEZETTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA
GEOKÖRNYEZETTUDOMÁNY PROGRAM

***AZ AVARINTERCEPCIÓ VIZSGÁLATA
A SOPRONI-HEGYSÉGBEN***
DOKTORI ÉRTEKEZÉS

Készítette:
Zagyvainé Kiss Katalin Anita
PhD. jelölt

Tudományos vezetők:
Dr. Gribovszki Zoltán PhD.
Dr. Kalicz Péter PhD.

Sopron, 2012.

AZ AVARINTERCEPCIÓ VIZSGÁLATA A SOPRONI-HEGYSÉGBEN

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében
a Nyugat-magyarországi Egyetem Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskolája
Geokörnyezettudomány programja keretében.

Írta:
Zagyvainé Kiss Katalin Anita

Témavezetők: Dr. Gribovszki Zoltán PhD.

Elfogadásra javaslom (igen / nem) (aláírás)

Dr. Kalicz Péter PhD.

Elfogadásra javaslom (igen / nem) (aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton % -ot ért el,

Sopron,
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr.) igen /nem (aláírás)

Második bíráló (Dr.) igen /nem (aláírás)

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

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

Sopron/Mosonmagyaróvár,
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....
.....
Az EDT elnöke

Tartalomjegyzék

Kivonat	6
Abstract	6
Jelölések jegyzéke	7
1. Bevezetés.....	8
2. Célkitűzés.....	9
3. Irodalmi áttekintés.....	10
3. 1. A lombkorona-intercepció és az avarintercepció fogalma és matematikai megfogalmazása	10
3. 2. Intercepciós vizsgálatok hazánkban és külföldön	16
3. 2. 1. Lombkorona-intercepciós vizsgálatok	16
3. 2. 2. Az avarral kapcsolatos kutatások	18
3. 3. Intercepciós mérési módszerek	20
3. 3. 1. A korona-intercepció mérése.....	20
3. 3. 2. Az avarintercepció mérése	21
3. 4. Az intercepciót befolyásoló tényezők	22
3. 4. 1. A lombkorona-intercepciót befolyásoló tényezők	22
3. 4. 2. Az avarintercepciót befolyásoló tényezők	25
3. 5. Az intercepció nagysága.....	26
3. 5. 1. A lombkorona-intercepció nagysága.....	26
3. 5. 2. Az avarintercepció nagysága.....	28
4. A vizsgálati terület bemutatása.....	30
4. 1. Földtani és talajtani viszonyok	31
4. 2. Klimatikus adottságok.....	34
4. 3. A vegetáció jellemzői.....	35
4. 4. Intercepciós kertek bemutatása	38
5. Anyag és módszer	42
5. 1. Csapadék	42
5. 2. Az avargyűjtés módszerének sajátosságai.....	47
5. 3. Az avartakaró víztartalmának kiürülése	50
5. 4. Avaralkotók elemzése	52
5. 5. Az avar tömegének és víztartalmának területi változékonysága.....	52
5. 5. 1. Területi változékonyság a környező fák függvényében	52

5. 5. 2. Területi változékonyság mintaszám-próbákkal.....	53
5. 6. Az avar éves tömegdinamikájának meghatározási módszerei	54
5. 7. A „keretes” tömegmérés jellemzése.....	55
5. 8. A megelőző csapadék-index meghatározásának módszere.....	57
6. Eredmények.....	59
6. 1. Avargyűjtés adatainak elemzése	59
6. 1. 1. Kiürülési laborkísérlet	63
6. 1. 2. Avaralkotók vizsgálata	67
6. 1. 3. Avartömeg és víztartalom területi változékonysága	70
6. 2. Az avartömeg éven belüli változása.....	79
6. 3. „Keretes” mérések eredményei	82
6. 3. 1. Az áthulló csapadék meghatározása.....	83
6. 3. 2. Az avarintercepció számítása alacsony kiinduló nedvességtartalomnál	86
6. 3. 3. Az avarintercepció számítása a tározás figyelembevételével.....	88
6. 4. Avargyűjtés és „keretes” mérési módszer összehasonlítása.....	90
6. 5. Csapadék-indexek alkalmazhatóság – vizsgálata.....	93
6. 6. Az avarintercepció időbeli változása.....	98
7. További kutatási javaslatok	102
8. Összefoglalás.....	104
9. Tézisek	107
10. Köszönetnyilvánítás	109
11. Irodalomjegyzék.....	110
Ábrák jegyzéke.....	118
Táblázatok jegyzéke	119
Mellékletek jegyzéke.....	120

Kivonat

A jelen munka bemutatja annak a hatéves (2003-2008) avarintercepciós vizsgálatnak az eredményeit, melynek helyszíne a Sopron melletti Hidegvíz-völgy. A kutatás során három fafajt tanulmányoztunk: kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*), bükk (*Fagus sylvatica*) és luc (*Picea abies*). A vizsgálatok feltérképezték az avarintercepció meghatározásának lehetőségeit, nehézségeit, bizonytalanságait több részterület elemzésével.

A kutatás kezdeti szakaszában adott területről összegyűjtött avar víztartalmának és tömegének meghatározása volt a vizsgálat módszere, melyet később a területi változékonyságának kiküszöbölése érdekében kifejlesztett tömegmérésen alapuló saját fejlesztésű módszer váltott fel, mely állandó helyszínen dolgozik. Mindkét módszerrel vizsgáltuk az avar víztartó kapacitását.

Az avar összetételét vizsgálva meghatározásra került az avaralkotók részaránya a szárazavar-tömeg és a víztartalom függvényében. A mérés érintette a szigorúan vett avart (leveleket), a vékony gallyakat, az 1 cm átmérőt meghaladó ágdarabokat, az avarszintben található zöld növényeket, és – ahol volt – a terméseket és termőtestes gombákat. A szétválasztás és elemzése kocsánytalan tölgy és bükk fafajok esetén történt meg.

Az új adatgyűjtési módszer segítségével a korábbi lombkorona-intercepciós függvényeket a megfelelő módosításokkal alkalmaztuk a párolgási tag nélküli avarintercepció modellezésére kocsánytalan tölgy és bükk esetén, melyben már figyelembe vettük a megelőző víztartalmat, mely csökkenti az aktuális tározási kapacitást.

A megelőző víztartalom becsléséhez számítottuk a megelőző csapadék-indexet (API) lineáris összefüggéssel valamint exponenciális függvénnyel, és vizsgáltuk alkalmazhatóságukat.

Abstract

FOREST LITTER INTERCEPTION INVESTIGATION IN SOPRON HILLS

This study represents the results of a six years long (2003-2008) forest litter interception investigation in case of three different forest ecosystems – a sessile oak (*Quercus petraea*) a beech (*Fagus sylvatica*) and a spruce forest (*Picea abies*) – in Sopron Hills.

On the basis of the dataset the composition of forest litter was analysed from moisture characteristic point of view. A new method has been developed where forest litter are enclosed in frames which enable to weigh the litter on stationary place. We determined the factors most affecting the water uptake and the storage capacity of forest litter.

Compartments of forest litter (beech and sessile oak) have been separated and the importances of these elements have been compared to each other using dry weight and water content as parameters.

Litter interception has been successfully estimated by self-developed bivariate formula in case of oak and beech stands. Antecedent water content and the storage capacity of the forest litter are the main parameters of the model. Antecedent precipitation index (API) has been calculated using linearly decreasing as well as exponential weights to estimate the antecedent water content.

Jelölések jegyzéke

a	a fedettség mértékétől függő paraméter [dimenzió nélkül]
a_i	i-edik naphoz tartozó súlyszám [dimenzió nélkül]
API	megelőző csapadékindex [mm]
API ₂₀	20 napos megelőző csapadékindex [mm]
α	nedvességtartalom-csökkenési ráta [1/nap]
c	állandó [dimenzió nélkül]
c_n	normalizáló paraméter [dimenzió nélkül]
C	lomb záródás [dimenzió nélkül]
d	meredekség egyenes esetén [dimenzió nélkül]
D	a levelekről lecsöpögő [mm]
E	a csapadékesemény alatti párolgás [mm]
E_a	az avar párolgása [mm]
E_i	a növényzet felületegységének párolgási intenzitása [mm/óra]
E_m	a minta hibája
E_{su}	a korona intercepciója [mm]
E_s	avarintercepció [mm]
I	az intercepció veszteség [mm]
K	a csapadékesemény alatti párolgás és a szabadtéri csapadék aránya [dimenzió nélkül]
K'	szorzó (a közelítő egyenes dőlését mutatja) [dimenzió nélkül]
k	fafajtól, kortól függő tényező [mm]
m	az avar abszolút száraz tömege [g/m ²]
M	avartömeg [g/m ²]
n	a kapcsolati vonal görbültségét kifejező paraméter [dimenzió nélkül]
n_m	minták száma [db]
v	szabadságfok
P	szabadterületi csapadék [mm]
P_{eff}	az effektív csapadék [mm]
p_i	az árhullámot kiváltó csapadékot megelőző i-edik napon hullott csapadék mennyisége [mm]
R	a jellemzett terület és a növényzet felületének aránya [dimenzió nélkül]
S	a növényzet tározási kapacitása [mm]
s	szórás
S_a	avar vízvisszatartó képessége [mm]
S'	tározástól függő paraméter [mm]
SF	a törzsön lefolyó csapadék [mm]
SP	állományi csapadék [mm]
T	a koronán szabadon áteső csapadék [mm]
t	a csapadék időtartama [óra]
t'	csapadékesemény óta eltelt idő [nap].
τ	tartózkodási idő [nap]
τ_0	a referencia tartózkodási idő [nap]
T_0	referencia-hőmérséklet [°C]
T_i	aktuális időpontokhoz tartozó hőmérséklet [°C]
$t_{\alpha/2,v}$	t-próba kritikus értéke
Th	az áthulló csapadék [mm]
θ	lejtés [°]
w	az avar víztartalma [mm]
w_{max}	az avar víztartalma a teljes telítés esetén [mm]
w_{min}	az avar nedvességtartalma a légszáraz állapotban [mm]
Δw	a avar víz készletváltozása [mm]
$w_{(i-1)}$	a csapadékeseményt megelőző avarvíztartalom [mm]
w_i	az aktuális naphoz tartozó víztartalom [mm]
w_0	kiinduló víztartalom [mm]
W	avarintercepció [g/m ²]

*„Minden új módszer csak a gyakorlat kohójában
kiforrva mutatja meg igazi értékét.”
(Fekete Z., 1949)*

1. Bevezetés

Csapadékosabb években, amikor egyre több szó esik az árvízkárokról, az árvizek okairól, már nemcsak a gátak emelése hangzik el, hanem az erdőirtások hatása, az erdősítés lehetőségének gondolata is. Az erdő óriási párologtató felülettel rendelkezik, melyen keresztül a talajból felszívott nedvességet a légkörbe juttatja, valamint ez a felület az, amellyel a légkörből kiváló csapadék először találkozik, és ahol annak egy része visszamarad. A lombon átjutó csapadék az aljnövényzettel és/vagy az avarral találkozáva újra megfogyatkozik, és csak a megmaradó szivárog be a talajba, hogy onnan a növények felvegyék, vagy a talajvizet gyarapítsa, s csak kisebb része adódik hozzá a lefolyáshoz.

A lombkorona és az avartakaró által a csapadékból felfogott vízmennyiség tehát az intercepció, amelynek nagysága szoros összefüggésben van az előbbi élő és holt növényi felszínnek tározási kapacitásával. Természetesen ezeknek a felületeknek a vízvisszatartó képessége véges, vagyis bármekkora csapadékot nem tudnak felfogni. Az egyes felületek víztartó kapacitásának számszerűsítésével pontosabb képet kaphatunk az erdő lefolyás-módosító szerepéről.

Az avar által visszatartott víz azonban nem csak akképp jelenik meg, hogy annyival kevesebb víz jut máshova, hanem a klímaváltozással prognosztizált szélsőségek esetén kiegyenlítő szerepe is lehet.

Az avartakaró a gyökérszóna vízháztartására is jelentős hatással van, pozitív és negatív értelemben egyaránt. Míg az avar által visszatartott csapadék nem jut be a gyökérszónába és ezzel csökkenti a potenciálisan felvehető vízmennyiséget, addig a talaj takarásával, és az avar száradásakor bekövetkező alakváltozásával, így a kapilláris kapcsolat megszakadásával, gátolja a talaj kiszáradását, bomlása során pedig talajjavító hatásával befolyásolja pozitívan a gyökérszóna vízháztartását.

Az erdő klímamódosító és vízvisszatartó szerepével, így az avarintercepcióval is számos külföldi irodalom foglalkozik. A hazai kutatások azonban jóval kisebb részletességgel tárgyalják a témát. Az avarintercepció a lefolyás-modellek, árvíz előrejelző modellek pontosító paramétere lehet, de ezzel a tényezővel komplexebbé tehető az állományok vízforgalmáról alkotott ismeretünk is, melyet jól hasznosíthat a környezettudomány, az erdőgazdálkodás és a vízügy is.

2. Célkitűzés

Doktori témámban helyet kapnak a lokális vízkörzés egyes elemei – kiemelten az avarintercepció –, tér- és időbeli sajátosságai, és az ökoszisztémában zajló hidrológiai és biológiai folyamatok közötti kapcsolat mélyebb megismerésére irányuló törekvés.

A kutatás célja a Hidegvíz-völgy országosan is jellemző állománytípusaiban (középkorú kocsánytalan tölgy, bükk és luc) a Nyugat-magyarországi Egyetem Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet és a Környezet- és Földtudományi Intézet által a 90-es évek óta folyamatosan fejlesztett mérőhelyeken a már korábban is mért paraméterekhez (állományklíma jellemzők, intercepció, talajnedvesség, talajhőmérséklet) kapcsolódva az avar vízháztartásának jobb megismerése, ill. az avarintercepció értékének számszerű adatokkal való jellemzése.

Az avarintercepció mérése a lefolyás-modellek szempontjából fontos feladat, hisz ez a paraméter is befolyásolja, hogy mekkora az a csapadéknagyság, melynél a lefolyás megindul. Az avarintercepció mérési metódusa még nem kidolgozott. Kutatásom egyik fő célkitűzése egy lehetséges módszer létrehozása volt. A drága műszerek helyett bárki számára elérhető, és ezáltal szélesebb körű adatgyűjtésre is alkalmas egyszerű eszközök kifejlesztésére helyeztem a hangsúlyt.

A címben is szereplő téma kifejtéséhez szükséges, a már meglévő hidegvíz-völgyi kutatási terület meglévő infrastruktúrájához igazodva, a jellemző faállományokban (kialakított intercepciók kertekben) megállapítani az avar víztározó képességét, és ennek éven belüli változását, rendszeres időközönként gyűjtött minták víztartalmának meghatározásával. Az avar dinamikusan változó tározási jellemzőinek (pl. aktuális víztároló képességnek) megismeréséhez fontos a kiürülés folyamatának megismerése is, mely nagyobb csapadékeseményhez kötött, sűrűbb mintavételezéssel, vagy egy csapadékesemény utáni hosszabb száraz időszak vizsgálatával valósulhat meg.

A kisvízgyűjtőn nyert eredmények hasznosíthatók az ország más területein, vagy adaptálhatók nagyobb térségekre. Az adatsorok felhasználásával számszerűsített, illetve függvényesített összefüggéseket lehet kidolgozni az erdő vízháztartását befolyásoló biotikus és abiotikus paraméterek között, ill. modellezni lehet az egyes környezeti jellemzők hatását. A különböző fafajok vizsgálatával lehetőség nyílna fafajok és erdészeti tevékenységek klimatikus és hidrológiai hatásának jellemzésére és a fafajok klimatikus és hidrológiai igényeinek jobb megfogalmazására.

3. Irodalmi áttekintés

A dolgozat témáját illetően a lombkorona intercepciója csak közvetve érdekes, mint az avart elérő csapadék, az állományi csapadék befolyásolója. Az avarintercepció meghatározása azonban éppen ezért elképzelhetetlen a lombkorona intercepciójának leírása nélkül. A lombkorona-intercepció jelensége - befolyásoló tényezőivel együtt - hasonlóságot mutat az avarintercepció jelenségével, ezért is indokolt részletes tárgyalása.

3. 1. A lombkorona-intercepció és az avarintercepció fogalma és matematikai megfogalmazása

Az intercepció fogalmát kutatók többféleképp definiálták. Az intercepció a csapadéknak az a része, amely a növényzet (lombkorona vagy más földfeletti vegetáció) benedvesítésére fordítódik. Ennek egy része már a csapadékesemény alatt elpárolog, de a magas relatív páratartalom miatt ez legtöbbször elhanyagolható. A csapadékot követően a párolgás mértéke megnövekszik, így az addig a növényzet felületén lévő víz vagy elpárolog (Horton, 1919; Delfs, 1955), vagy adszorbeálódik (DVWK, 1992; Simonffy, 1978; Führer, 1994), bár ez utóbbinak nagysága hidrológiai szempontból elhanyagolható (Hewlett, 1982). E növényzet szempontjából bevételként jelentkező nyereség miatt nem helytálló csupán „intercepciós veszteségnek” nevezni a jelenséget. Az intercepciós és avarintercepciós hányadot más szempontból sem kell egyértelműen veszteségként elszámolnunk, mert az erdő nagymértékben csökkenti az alatta elhelyezkedő talaj párolgását. Példaként egy tenyészidőszak alatt :

- avarral borított erdőtalajon 62,6 mm,
- avar nélküli erdőtalajon 159,2 mm,
- erdőn kívüli talajon 408,7 mm párolgást mértek (Pankotai-Rácz, 1975).

Führernél (1984, 1994) találkozhatunk az intercepciós nyereség megfogalmazással, mely alatt a kiválás, kicsapódás és a kifésülés által létrejövő csapadéktöbbletet érti.

A lehulló csapadék (P) egy része a koronán szabadon átesve (T) jut az avarra, hogy onnan a talajba szivárognon megnövelve a növényzet számára felvehető víz mennyiségét, más része, amikor a csapadék mennyisége meghaladja az adott helyen a tározási kapacitást, a levelekről lecsöpögve (D) éri el az avart. A csapadék többi része vagy megkötődik a

leveleken, s részben az eső után onnan elpárolog (S), vagy a törzsön lefolyik (SF), vagy a csapadékesemény közben párolog el (E). Ezt képlettel a következőképpen írhatjuk fel:

$$P = T + D + SF + S + E. \quad (1)$$

Az intercepciós veszteség (I) ebből az, amely nem éri el a talajt (Leonard, 1967):

$$I = S + E \quad (2)$$

Gash és Morton (1978) külön paraméterként kezeli a törzsfelületek párolgását. Náluk az intercepciós veszteség tehát a lombkorona és a törzsfelületekről történő párolgás összege.

Az áteső és a lecsepegő vízmennyiség összegét koronán áthulló, a törzsi lefolyás és a koronán áteső csapadék összegét állományi más néven nettó csapadéknak nevezik (Führer, 1994).

A csapadék-visszatartási folyamat leírására különböző képleteket alkottak. Horton (1919) dolgozta ki a lineáris modellt:

$$E_{su} = S + R \cdot E_i \cdot t, \quad (3)$$

ahol:

- E_{su} a korona intercepciója (mm)
- S a növényzet tározási kapacitása (mm)
- R a jellemzett terület és a növényzet felületének aránya (dimenzió nélkül)
- E_i a növényzet felületegységének párolgási intenzitása (mm/ó)
- t a csapadék időtartama (ó).

A fenti összefüggés leegyszerűsítve:

$$E_{su} = S + K \cdot P, \quad (4)$$

ahol P a szabadtéri csapadék, K pedig a csapadékesemény alatti párolgás és a szabadtéri csapadék aránya ($=R \cdot E_i \cdot t / P$). Horton szerint a képlet azzal a kitéttel igaz, ha a csapadék nagysága meghaladja a tározási kapacitás értékét, különben $E_{su}=P$ közelítés fogadható el.

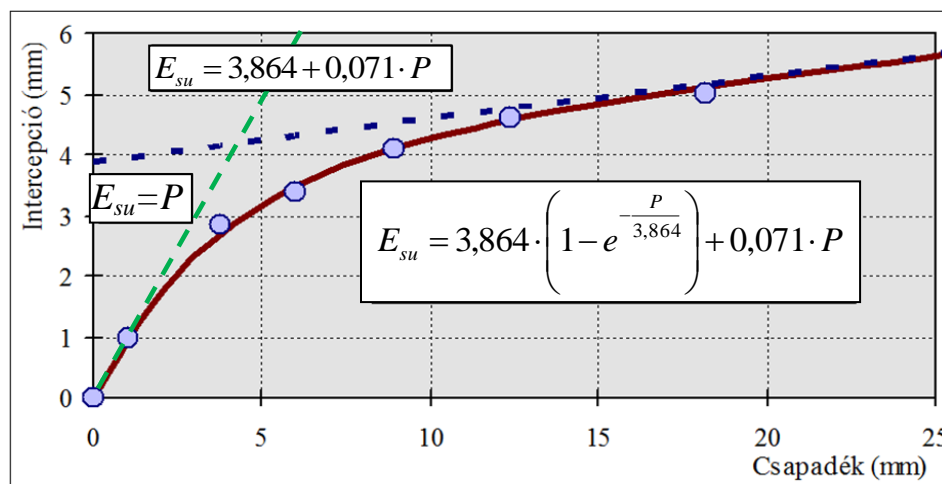
A hortoni lineáris összefüggést továbbfejlesztve Linsley-Kohler-Paulhus (1949) szerzőhármas a jelenség exponenciális összefüggéssel való leírását javasolták a következő egyenlettel, melyben c dimenzió nélküli állandó:

$$E_{su} = (S + K \cdot P)(1 - e^{-c \cdot P}) \quad (5)$$

Ebből a képletből kiindulva alkotta meg Merriam 1960-ban képletét, melyben az exponenciális tényező csak a tározásra vonatkozik:

$$E_{su} = S \cdot (1 - e^{-c \cdot P}) + K \cdot P \quad (6)$$

Merriam szerint ugyanis a csapadék alatti párolgást nem szükséges exponenciális függvénnyel leírni.



3./I. ábra. Horton és Merriam függvényeinek összefüggése egy fiatal lucfenyvesre felírva (Kucsara nyomán in. Gribovszki et al., 2012).

Ha pedig az egyenletet differenciáljuk P szerint, és dE_{su}/dP az egységgel lesz egyenlő, ahogy P tart nullához, akkor $c=1/S$, vagyis az összefüggés a következőképp alakul (Merriam, 1960):

$$E_{su} = S \cdot \left(1 - e^{-\frac{P}{S}}\right) + K \cdot P \quad (7)$$

Weiche (1968) a szabadtéri csapadék és az állományi csapadék (SP) között az alábbi összefüggést írta le:

$$SP = \frac{P^2}{k + P} \quad (8)$$

ahol: k , fafajtól, kortól függő tényező.

Magyarországon Kovács (1974) fogalmazta meg elsőként az intercepciót matematikai összefüggéssel:

$$E_{su} = S \cdot \left(1 - \frac{1}{\left(1 + a \cdot \frac{P}{n} \right)^n} \right) \quad (9)$$

Ahol: a a fedettség mértékétől függő paraméter (dimenzió nélkül)

n a kapcsolati vonal görbültségét kifejező paraméter, amely több tényező függvénye lehet (dimenzió nélkül).

Az összefüggést deriválva a $P=0$ helyen $S \cdot a=1$, vagyis $a=1/S$ összefüggés adódik, mellyel az összefüggés kétparaméteresre egyszerűsödik (Kucsara, 1996):

$$E_{su} = S \cdot \left(1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{P}{S \cdot n} \right)^n} \right) \quad (10)$$

Kucsara (1996) rámutat, hogy a Weiche-függvény nem más, mint a Kovács-féle képlet speciális esete, ahol $n=1,00$ és a k paraméter az S tározási kapacitásnak felel meg.

Az állományi csapadék nagyobb, koronáról lecsöpögő és azon keresztül hulló része az avartakaróra esik (míg a kisebb mennyiségű törzsi lefolyás egy része a fatörzs és a gyökerek mellett közvetlenül a talajba jut). Az avartakaró és a vele szoros kapcsolatban lévő humusz a csapadék egy bizonyos hányadát (ami részben elpárolog) visszatartja. Ezt a részt, amely az állományi csapadék (SP) és az effektív csapadék (P_{eff}) különbsége nevezzük avarintercepciónak (E_s) (Lee, 1980):

$$E_s = SP - P_{eff} \quad (11)$$

Az erdőtalaj vízgazdálkodását az avarréteg nagymértékben befolyásolja. Az elraktározott víz hatására az avar megduzzad. Tömegénél nagyobb vízmennyiséget is képes raktározni. Ha a kiszáradás megindul, az avar felső része kiszárad, összehúzódik, levelek

felpenderednek és a hajszálcsoves kapcsolat megszakadásával akadályozzák az alsóbb rétegek kiszáradását. Az avarréteg így saját vízháztartása révén befolyásolja az alsóbb rétegek vízháztartását is. Az erdőtalajon ezért a beszivárgás hosszabb ideig tart (Juhász, 2002), így csökkenti az erdő avartakarója az alatta elhelyezkedő talaj párolgását.

Az avarintercepció matematikai megfogalmazása a tanulmányok jelentős részében nem kap helyet, inkább csak konkrét számadat, vagy a csapadék arányában (%) megadott érték szerepel. A lombkorona-intercepció Kovács-féle (Kovács, 1974) megközelítéséhez hasonlóan hatványfüggvény alapú összefüggést írtak le Kínában Xiangdong és munkatársai táblásfenyő (*Pinus tabulaeformis*) esetén:

$$E_s = 0,686 \cdot P^{0,591} \quad (12)$$

ahol: E_s , avarintercepció (mm),
 P , csapadék (mm) (Youmin - Junhua, 2002).

Egy másfajta megközelítésben Youmin és Junhua regressziós egyenlete mutatja a kapcsolatot a vegetációs időszakban az akác W (g/m^2) avarintercepciója a P (mm) csapadék, a C lomb záródás, a θ ($^\circ$) lejtés, és az m (g/m^2) avartömeg között (Youmin - Junhua, 2002):

$$W = 168,93 + 8,51 \cdot \ln P + 56,44 \cdot (1/\ln C) - 539,6 \cdot (1/\sin \theta) + 3,31 \cdot m \quad (13)$$

A lombkorona-intercepció meghatározásához használt formulák a lombkorona tározási kapacitását minden csapadékesemény előtt 100%-osnak tekintik, vagyis, mintha mindegyik csapadékesemény után a következő csapadékeseményig teljesen lecsepegne, illetve elpárologna a csapadék a levelekről. Ez nem teljesül minden esetben, de mégis inkább megtehető ez az egyszerűsítés a lombkorona esetén, melynél a levelek szabadon állnak, mint az avar esetén. Az avar felülete éppúgy benedvesedik, mint a még fán lévő lomblevelek, de az avaralkotók a belsejükben is tárolják a vizet, valamint az egymáshoz fekvő levelek közötti kapilláris vízzel is számolnunk kell. Az egymáson fekvő levelek között a légmozgás, a hőmérséklet és a besugárzás is a lomblevelekhez képest eltérően alakul, arról nem is beszélve, hogy az egész folyamat a lombkorona alatti árnyékolt, páradúsabb légtérben zajlik, ezáltal eltérő sebességű a párolgás is. A fent leírt jelenség, azaz az avarlevelek nedvesség-változásra bekövetkező alakváltozása szintén mutatja, hogy az avar vízháztartása markánsan különbözik a lombkoronáétól.

Az intercepció a lombkorona esetén a következő képlettel kalkulálható a mérések alapján:

$$S + E = E_{su} = P - Th - SF \quad (14)$$

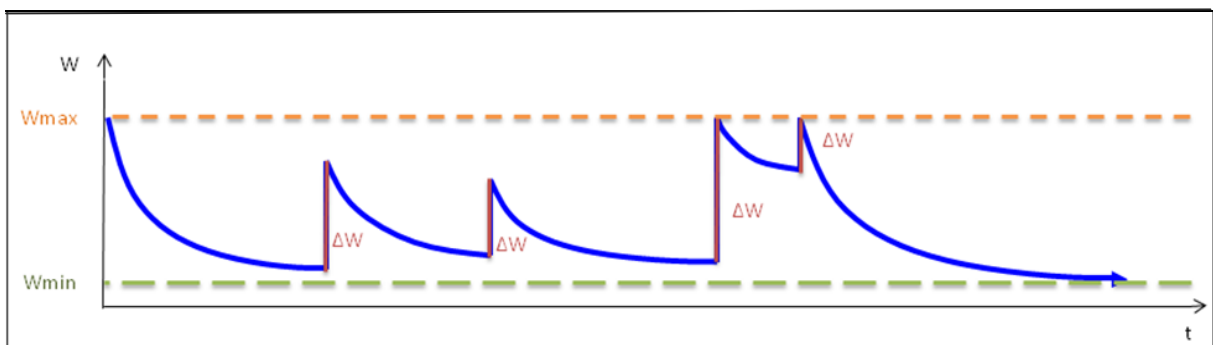
ahol tehát az S tározási kapacitás valamennyire feltöltődik a csapadékesemény során, és a csapadékeseményhez kapcsolódó (pl. napi időlépésű) modellek esetében úgy tekintik, hogy mindig 0-ról, száraz állapotból indul a feltöltődés. Az intercepció közvetlenül nem mérhető a lombkorona esetén, hanem csak a formula jobb oldalán megjelenített paraméterek, azaz a csapadék (P), az áthulló csapadék (Th), és a törzsön lefolyó (SF) csapadékhányad, ezek segítségével határozható meg közvetett úton a lombkorona-intercepció (E_{su}).

Az avar esetén az avar vízvisszatartó képessége (S_a) azonban a megelőző nedvességtartalom függvénye is:

$$S_a + E_a = E_s = Th - P_{eff} \quad (15)$$

Az S_a valójában csapadékeseményenként változhat, de ennek is van egy maximális értéke, amikor a légszáraz állapotból (w_{min}) a teljes telítésig (w_{max}) eljut az avar a csapadékesemény során. Az avar párolgása (E_a) a csapadékesemény során elhanyagolható, hiszen az egymáson fekvő levelek a szél és besugárzás esetleges hatásától is kevésbé függenek, valamint a fölöttük létrejött páratelt levegő sem a párolgásnak kedvez. Az avar esetén a méréseink során az avar víztartalmát tudjuk meghatározni, az egymást követő mérésekből pedig a készletváltozást (Δw) határozhatjuk meg. A csapadékesemény hatására bekövetkező vízkészletváltozás – a párolgás elhanyagolásával – tekinthető az avarintercepciónak.

$$S_a = \Delta w = E_s \quad (16)$$



3./II. ábra. Az avar víztartalmának változása az idő függvényében.

A 3./II. ábra mutatja sematikusan az avar vízkészlet-változását az idő függvényében. Látható, hogy egy-egy csapadékesemény hatására ugrásszerűen (a folyamat a valóságban az ábrától eltérően telítődési függvényrel jellemezhető) megnövekszik a víztartalom (Δw), ezek tekinthetők az adott csapadékeseményhez tartozó intercepciónak. Ezt követően a környezeti paraméterek függvényében különböző sebességgel csökken az avar víztartalma a következő csapadékig. A feltöltődés és kiszáradás mértéke a csapadékesemények között eltelt idő és a csapadékesemény nagyságának függvényében érheti el a szélsőértékeket (w_{\min} , w_{\max}).

3. 2. Intercepciós vizsgálatok hazánkban és külföldön

Habár a teljes intercepciónak az avarintercepció is része, többnyire a korona-intercepciót és az avarintercepciót külön tárgyalják az egyes források, így az irodalmi áttekintést is ez alapján választottuk szét.

3. 2. 1. Lombkorona-intercepciós vizsgálatok

Nemzetközi szinten az intercepciós kutatások kezdetének az 1863-as évet tartják, amikor is Kreutzsch kezdett megfigyeléseket a témában (Kreutzsch, 1864). Horton (1919) lineáris modellje, melyet fentebb közöltünk, az első csapadék-intercepció függvény. Delfs 1955-ben megjelent munkájában részletes leírásokat közöl a mérési módszereket illetően.

Baumgartner – Liebscher szerzőpáros (1990) összefoglaló munkájában részletes áttekintést ad az intercepciós eredményekről, melyben a fűfélék és mezőgazdasági növények is helyet kaptak.

Az intercepció mérésével foglalkozott Magyarországon az 1900-as évek elején Bencze Gergely (Selmecbányán az Erdészeti Vegytan Tanszék első tanszékvezetője volt), aki részletesen ismertette a kutatások során figyelembe veendő tényezőket. Kitért a csapadék mennyiségének összetételére, a csapadékesemény során szenvedett veszteségekre, és a talajra érkező víz összetételének meghatározására és eloszlására is felhívja a figyelmet. Az 1901. évi cikkében lehetetlennek tartotta a harmat, dér, hó, dara, jégeső stb. külön-külön való meghatározását (Bencze, 1901), s a következő évben újabb publikációjában a zúzmara mennyiségének és a hónyomás nagyságának meghatározására vonatkozó kísérleti adatokat

közül. Vizsgálta a különböző fafajok (jegenyefenyő, bükk, tölgy) hatását az intercepció nagyságára (Bencze, 1902).

1971 és 1975 között a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet-ben is folytak az előbbiekhöz hasonló kísérletek (VITUKI, 1976) erdei fenyő fafajra vonatkozóan.

A Kossuth Lajos Tudományegyetemen Justyák János publikált a témában, aki egy szőlőültetvényt, és egy tölgyerdőt hasonlított össze a csapadék-intercepciójuk alapján (Justyák, 1989).

A mintavételi módszerek széles spektrumát fogja át munkájában Szabó (1975), és bemutatja a „Síkfőkút project” területének csapadékvizsgálati tervezetét.

Az Erdészeti Tudományos Intézet kezdeti kutatásai Járó Zoltán nevéhez fűződnek, aki az intercepcióval kapcsolatban végzett megfigyeléseket a gödöllői kultúredei ökoszisztémában. Kutatásai arra a felismerésre juttatták, hogy az intercepció vizsgálata nélkül a vízkészletről átfogó képet adni, s azzal gazdálkodni nem lehet. Szerinte a külföldi adatok nehezen ültethetők át a magyarországi helyzetre a hazai változatos időjárási viszonyokra és állományszerkezetre (Járó, 1980).

Szintén az ERTI részéről folytatott vizsgálatokat a Soproni-hegységben Führer Ernő (Führer, 1984). Az 1988-90 évek heti mintavételeinek adataiból havi átlagokat képezve, a vegetációs időszakot és a vegetációs időszakon kívüli intercepció veszteséget külön vizsgálta. Ennek eredményeiről többek között a Vízügyi Közleményekben megjelent cikkében számol be (Führer, 1992).

Az előbbieken kívül az ERTI a Mátrában is működtet intercepció mintaterületeket többféle állománytípusban (Sitkey, 1996).

1976-77-ben az akkori Erdészeti és Faipari Egyetem Erdőműveléstani Tanszékének keretein belül végeztek megfigyeléseket. Koloszar József cseres-tölgyes és gyertyános-bükkös társulásokat vizsgált, s kijelentette, hogy elsősorban a fafaj befolyásolja a csapadékvesztést, valamint a szabad területi csapadék egyértelmű matematikai kapcsolatot mutat az intercepció mértékével (Koloszar, 1980). Az Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék 1986 óta folyamatosan gyűjt adatokat intercepció kertjeiből. Az intercepció kutatások irányítója Kucsara Mihály, aki vizsgálataivalhoz kapcsolatosan átfogó képet adott a terület vízháztartási jellemzőiről is (Kucsara, 1996). Vig Péterrel közös munkájuk az általunk is vizsgált bükkös állomány vízháztartását tárgyalja (Kucsara-Vig, 1995).

Az intercepció mérési és modellezési lehetőségéről Móricz és társai (2009) adnak széleskörű áttekintést a nemzetközi irodalmak alapján.

3. 2. 2. Az avarral kapcsolatos kutatások

Illés Nándor 1869-ben az erdei avar mezőgazdasági használata ellen érvelve írja, hogy *„ az erdő elsilányulásának oka nem egyedül a lombbal elrabolt növényi tápanyagok hiányában keresendő, hanem mivel a rájuk nézve oly szükséges televényréteg nem képződhet, a meglevő pedig rohamosan felbomlik. Ennek következtében a talaj hamarébb kiszárad s elmállása, megporhanyulása meglássul, sőt teljesen meg is akad: (...) a levágott erdőt ugyan azon fanemmel többé újra erdősíteni nem lehet...”* Habár e munka nem az avar víztartalmával foglalkozik, az avartakaró szerepére, annak fontosságára hívja fel a figyelmet.

Ijjász Ervin (1936) az avartakaró szerepét vizsgálta az erdő vízháztartásában oly módon, hogy talajnedvesség-mérőkkel az avar által megkötött vízmennyiségeket dokumentálta. A kutatásban luc, bükk és erdeifenyő állományok vettek részt. Eredményeiben adatokat közöl a „nyersalomtakaró” három rétege (alom-, moder- és érett televényréteg) által megkötött vízmennyiségek arányáról, a különböző állományokban mért értékekről. Megad avar által tárolt vízmennyiségeket térfogatszázalékban, és 1 cm vastag réteg négyzetméterenkénti, literben kifejezett víztartalom-értékeket. Megjegyzi továbbá, hogy az alomtakaró víztartalma ugyan a lehullott csapadék függvénye, mennyiségi változása nincs ezzel egyenes arányban, hanem szakaszos menetű.

Járó Zoltán (1959) „Az Erdő” című folyóiratban megjelent cikke az avar bomlásával foglalkozik kémiai szempontból. Írásában említést tesz az avar vízgazdálkodást befolyásoló szerepéről, hogy bomlástermékével, a humuszgyarapodással a talaj vízgazdálkodását javítja. Értékesebbek számunkra azonban azok a megállapításai, melyek a különböző fafajok avarjának mennyiségéről, bomlási gyorsaságáról szólnak. A tölgyesről írja például, hogy a nagyobb alommennyiség bomlása lassú 2-2,5 év. A bükk alomja pedig bár vékony, de igen kemény, jelentős kovasav-tartalommal, mely nehezen támadható az avarlakó állatok számára, és így vastag avartakaró halmozódik fel. Az avarmennyiséggel kapcsolatos megállapítása szintén jelentős: hazai viszonyokra igazoltnak találta bükk esetén azt az összefüggést, hogy az évi alommennyiség súlya azonos az évi átlagnövedék súlyával.

Szinte válaszként jelent meg Járó cikkére Varga Lajos (1962) az avarbomlás biológiai szempontú megközelítését taglaló értekezése. Az avar „vízháztartása” itt olyan szempontból kerül említésre, hogy az avar mikrofaunája csak akkor él aktív életet, amikor az alomréteget kapilláris vagy adhéziós víz nedvesíti át.

Járó (1963) újabb cikke négyzetméterenkénti súly-értékeket tartalmaz az avar mennyiségét illetően, és vizsgálati eredményeket egy kísérletről, melyben különböző

állományok alól szedett mintákat helyeztek el egymás mellett, három megfigyelt állomány alatt: középkorú akácosban, erdei fenyvesben és fiatal csertölgyesben. Az előbbi sorrend az eredmények alapján az állományok alatt elhelyezett minták bomlási sebességének nagyságát tükrözik leggyorsabbtól a leglassúbbig, mely sorrendet a talaj (és az avar) víztartalmával (vagy annak hiányával) magyarázza a szerző. Az egyazon állomány alatti minták bomlása közötti különbséget pedig egyértelműen a nitrogéntartalommal magyarázza. Leglassúbb bomlás a bükk minta esetén volt.

Helvey (1964) vegyes keményfa erdőben vizsgálta az avarintercepciót dél-appalache-i kutatási területen. Mérté az avarintercepció havi értékeit, az avar víztartalmát különböző nagyságú csapadékok után, vegetációs időben és vegetációs időn kívüli időszakra rajzolt kiürülési görbéket. Felhívja a figyelmet arra is, hogy a különböző években eltérő lehet az avartömeg, ezáltal az avarintercepcióra megadott értékek is eltérhetnek. Természetesen nem csak a különböző években, hanem éven belül is számolni kell ezzel.

Tóth – Papp – Jakucs (1985) szerzőhármas a „Síkfőkút project” keretében vizsgálta az avarprodukción különböző fafajok esetén (kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*), csertölgy (*Quercus cerris*), som (*Cornus mas*), és mezei juhar (*Acer campestre*)), valamint az avarprodukción szezonális változását.

Führer munkájában is megjelenik az avarintercepció (1994). Ennek nagyságát kis liziméterekkel határozta meg nyári és téli féltre megosztva, elsősorban a faállományok vízbevitelének megállapítása érdekében.

Gácsi Zsolt (2000) vízforgalmi modellezés kapcsán foglalkozott az avar vízmegkötő szerepével. Az avar víztartó-képesség görbét elkészítve vetette össze azt a homokok görbéjével, valamint elkészítette a víztartó-képesség görbéket is. Megállapította, hogy az avar nagy porozitásához viszonylag lassú kiürülés tartozik, ami jól mutatja az avar jelentős víztároló képességét.

Gerrits és munkatársai (2006) a hidrológiai körfolyamat részeként mérték és elemezték bükk állomány avarintercepciónját Luxembourgban, valamint részben ugyanez a kutatócsoport (Tsiko et al., 2012) szavannai ökoszisztémában is folytatott lombkorona és avarintercepcións kutatást.

Cseresnyés-Csontos (2007) szerzőpáros az erdőtüzek kapcsán foglalkozik az avar víztartalmával, száradásával, mennyiségével és összetételével feketefenyvesek esetén.

3. 3. Intercepciós mérési módszerek

3. 3. 1. A korona-intercepció mérése

A korona intercepcióját közvetetten mérik, vagyis a csapadék állomány fölötti és állomány alatti részének mérési eredményeiből számítják. Az állományi csapadék mérésére eddig több módszert dolgoztak ki. Az általánosan alkalmazott módszereket három csoportba sorolhatjuk.

Az egyik módszer, az 1m-0,2m felső nyílású kádak alkalmazása (Járó, 1980; Führer, 1984; Justyák, 1989; Kucsara, 1996). Ezek V vagy U alakú kádak, hogy a kifröccsenést a minimálisra csökkentsék (Bulcock – Jewitt, 2012), valamint, hogy a hó mérésére is alkalmasak legyenek (Führer, 1984).

A második módszer a tölcsérek alkalmazása, melyek nagysága és elhelyezése bizonyos változatosságot mutat.

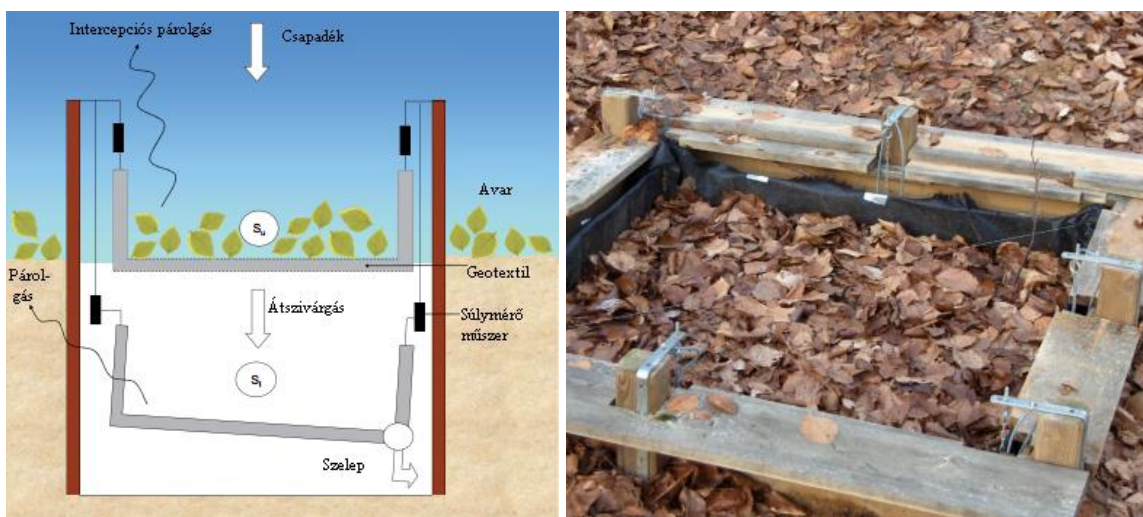
A harmadik módszer a kádakhoz hasonló, de annál hosszabb gyűjtők, pontosan 5m-0,2m felső nyílással (Delfs, 1955), melyek vizét egyik vége alá helyezett edényben fogták fel. (Ezen vályúk hossza természetesen változhat is.)

A külföldi irodalomban találunk olyan forrást, amely a módszerek összehasonlítására tett kísérletet. A vizsgálat szükségességét azzal indokolták, hogy a költséges kádakkal való mérést, melynek karbantartása is jelentős összegeket emészt fel, egy gazdaságosabb módszerrel, kisebb mintavevőkkel oldják meg. Az ilyen tölcséres módszer egyes elemeinek károsodása esetén (pl. erdőben előforduló fakidőlés miatt) könnyen pótolhatják a hiányt ezzel is lehetővé téve a mérés folyamatosságát (Benecke, 1984). Lényeges azt is kiemelni, hogy a koronaszerkezetből adódó sokféleséget, heterogenitást is jobban jellemzik a tölcséres mintavevők, de egyúttal mintagyűjtési időigényük is nagyobb, valamint a méretükből adódóan kevésbé alkalmasak a nagycsapadékok mérésére. A kádas és tölcséres módszer összehasonlítására a Hidegvíz-völgyi kutatás kapcsán is sor került, ahol azt az eredményt kaptuk, hogy a tölcséres módszer a vizsgált időszakban jellemzően nagyobb értékeket ad, mint a kádakkal való mérés (Kiss, 2001), melynek oka a kádak nagyobb felületéből, eltérő felületi minőségéből adódó párolgási veszteség, valamint az időnként előforduló dugulások miatti eseti párolgási többlet.

A több szerző munkájából készült "Determination of Interception Loss in Forest Stands during Rain" (DVWK, 1992) alaposan kidolgozott leírást ad az intercepció mérési módszeréről.

3. 3. 2. Az avarintercepció mérése

A mérési módszerek tekintetében nincs egységes metódus. Gyakran alkalmazott technika a liziméterrel történő meghatározás (3./III. ábra). (A liziméter a vizsgált anyaggal megtöltött mérőedény, amelyet a talajba süllyesztve úgy helyeznek el, hogy a felszíne és a benne levő esetleges növényzet a környezetnek megfelelő módon párologjon. Az edény kiemelhető és bizonyos időközökben bekövetkező párolgási veszteséget súlyának ismételt lemérésével, a csapadék pontos figyelembevételével állapítják meg.)



3./III. ábra. Avarintercepció-mérő berendezés, liziméter (Gerrits et al., 2006).

Az ERTI (Erdészeti Tudományos Intézet) kisméretű, alján vízáteresztő edénybe helyezett avar állomány alá helyezésével az ezen átfolyt vízmennyiség mérés és ezzel párhuzamos csapadékmérés alapján adja meg az avar vízvisszatartó képességét (Führer 1992, 1994).

Előfordul az a megoldás is, hogy a csapadékat-gyűjtés mellett, adott felület nagyságról begyűjtött avar nedvességtartalmának mérésével határozzák meg az avarintercepció nagyságát. Helvey (1967) 2 láb² területről gyűjtött mintát. Cseresnyés és Csontos (2007) avarnedvesség-tartalom meghatározásához 2m·2m-es területről gyűjtöttek

avart, homogenizálták, és ebből vettek ki 2-4 liternyi avart. Ez a minta szolgáltatta az alapot a további mérésekhez.

Vig Péter a bükkös intercepciós kertben végzett avarintercepciós vizsgálatokat (ex. verb.). Két szomszédos parcellában vizsgálta a területről lefolyó csapadékhányadot, melyek közül az egyiket a természetes avartakaró borította, a másik pedig avar nélküli volt.

3. 4. Az intercepciót befolyásoló tényezők

3. 4. 1. A lombkorona-intercepciót befolyásoló tényezők

Az intercepció feltétele a csapadék, a párolgás pedig egy sor fizikai körülmény, paraméter függvénye. Mindezekhez a „helyszínt” az adott állomány adja, így ezeket a tényezőket szükséges áttekinteni.

Klimatikus paraméterek:

Csapadék

A csapadékmennyiség növekedésével az intercepció nagysága is nő, bár a tározási kapacitás elérése után már csak a csapadékesemény alatti, levelekről történő párolgás mértékével. A csapadékmennyiség önmagában nem határozza meg az intercepció mértékét. A néhány mm-es (jellemzően 5 mm alatti) csapadék a lombkorona, az aljnövényzet, az avartakaró benedvesedése fordítódik, valamint a párolgás, beszivárgás és párologtatás során teljes egészében felemésződik, és a 2 mm alatti csapadék általában nem jut át a lombkoronán (Kucsara, 1996). A csapadékmennyiség növekedésével, az intercepciós veszteség jelentősége csökken (Horton, 1919), ugyanis a tározási kapacitás elérése után már jelentősen nem nő a csapadék-visszatartás (Kontur et al., 2001), csak a párolgás növeli az intercepció nagyságát (Leonard, 1967; Llorens, 1997). A csapadék időtartamának növekedésével a relatív intercepció értéke csökken, az abszolút nagysága pedig nő (Horton, 1919).

Az intercepció nagyságát befolyásolja az is, hogy a megelőző csapadékesemény óta eltelt-e annyi idő, hogy az érintett felületeken lévő vízmennyiség párolgása megtörténhetett, mivel száraz növény esetén a legnagyobb az aktuális tározási kapacitás (Zeng et al., 2000). Xiao és munkatársai (2000) szerint a csapadékesemények gyakorisága jelentősebb az intercepció alakulásának szempontjából, mint a csapadék nagysága vagy időtartama.

Járó (1980) szerint az intercepciót elsősorban a csapadék intenzitása és megoszlása befolyásolja. Singh (1977) a kis intenzitású ($< 0,25\text{cm/h}$) esőknél írta le a csapadékesemény alatti párolgás jelentős mértékét, amit azzal magyarázott, hogy a környező levegő páratartalma sosem telítődött a szél folyamatos szellőtető hatása miatt, így egy 11 órás csapadékesemény alatt ez az elpárolgó vízmennyiség a 3 mm-t is elérte (miközben a növényzet tározási kapacitása 2,4 mm-nek adódott). Aston (1979) kimutatta a csapadékintenzitás-különbségek hatását a vízvisszatartásra, míg Zeng és társai (2000) a modelljükben szereplő legkevésbé fontos paraméternek tekintik a csapadék-intenzitást. Hall (2003) szintén arra a megállapításra jutott, hogy az esőcseppek mérete és az eső intenzitása nem befolyásolja jelentősen az intercepció mértékét, Murakami (2006) viszont felhívja a figyelmet arra, hogy a kisebb esőcseppek egy része az ütközések miatt elpárolog, míg a nagyobb cseppeknél ez nem mondható el. Kang és társai (2005) exponenciális összefüggést írtak le az intercepció és a cseppméret között.

A csapadékforma is befolyásolhatja a visszatartott víz mennyiségét. Domb- és hegyvidéken a ködből kiszűrt folyékony bevonat és zúzmara, az ún. horizontális csapadék középhegységi viszonyok között a vertikális csapadék akár 30 %-át, magashegységben 2-3-szorosát is elérheti, így csökkentve az intercepció veszteséget (Hazslinszky, 1976), más megfogalmazásban intercepció nyereség keletkezik (Führer, 1984). Lee (1980) szerint a túlevelűek átlagos intercepció tározóképesége nagyobb hó, mint eső esetén. Storck és társai (2002) fenyőfélékre vonatkozó megfigyelései szerint a lombzat nagy mennyiségű havat képes visszatartani, de a szabadterületi csapadék – ezáltal az intercepció – meghatározása hó esetén bizonytalan az akkumuláció és az abláció miatt. A szublimációs ráta kevesebb, mint napi 1 mm.

Szélesebesség

A szélesebesség növekedésével a párolgás mértéke is nő. Tsiko és társai (2012) az intercepció mértékének és a szélesebességnek az összefüggését írták le. A szél lombkoronát mozgó hatása révén az áthulló csapadék mennyisége nő, a korona tározási kapacitása 1 mm-rel csökken (Hörmann et al, 1996), ami kiegyenlítheti a párolgási veszteséget (Ward – Robinson, 1975). A szél összetett hatását írják le Xiao és munkatársai (2000) is, miszerint hatására kisebb lesz a hatékony intercepció felület, így kevesebb a visszatartott vízmennyiség, de növeli a párolgást a növekvő szélesebesség. A lombzatról ugyanakkor nő a lecsöpögő vízmennyiség is a szélesebesség fokozódásával, ami szintén csökkenti az elpárolgó vízmennyiséget. 6 és 15 km/h-s szélesebességértékek között a szélesebesség fokozódásával nő

az intercepciós veszteség. Vizsgálataikban a szélirány és az intercepció közötti kapcsolat nem bizonyított.

Energiaháztartás jellemzői

Hewlett (1982) megfogalmazásában az elérhető energia a nettó sugárzás, mely a sugárzási energia mérlegétől függ, és az advekción hű, mely a környező területekről a szél által érkezik az erdő fölé, amihez a hőmérséklet és a szélsébség paraméterek kapcsolódnak. Singh (1977) írja le azt a megfigyelését, hogy a csapadékesemény kapcsán jelentkező felhős ég miatt a radiáció kisebb jelentőségű az intercepció szempontjából, mint az advekción útján érkező szárazabb és melegebb levegő hatása. A hőmérséklet növekedésével nő a párolgás, vagyis nő az intercepció (Lockwood, 1990; Xiao et al., 2000).

Levegő-páratartalom

A légnedvesség növekedésével a páraéhség csökken, így csökken a párolgás sebessége (Massman, 1983; Xiao et al., 2000; Link et al., 2004), vagyis a csapadékesemény alatti párolgásból származtatható intercepciós hányad.

Állományjellemezők:

Az állomány kora, szerkezete, vitalitása

Az állomány korának előrehaladtával nő a záródás, nő a párolgási felület, viszont a kevésbé záródott állományokban a légmozgás intenzívebb, így a párolgás nagyobb jelentőségű (Haria-Price, 2000). Az idősebb állományokban átlagosan 5%-kal kisebbnek mérték az áteső csapadék nagyságát a növekvő záródás miatt (Helvey, 1967). Huber és Iruome (2001) egy másik összefüggést írt le a kor és az intercepció viszonyát tekintve, miszerint a fenyők idősödésével az ágak törzsszel bezárt szöge nő meg, ezáltal a törzsi lefolyás csökken, így az intercepció nő. Kucsara (1996) pedig arra mutat rá, hogy fiatal állományoknál egy ideig nagyobb lehet az intercepció, mert még nem érvényesül a későbbi gyérítés hatása. Llorens – Domingo (2007) szerzőpáros viszont – a gyérítések hatását vizsgálva az intercepcióra – nem talált egyértelmű összefüggést a fák sűrűsége és az áteső csapadék mennyisége között.

Az állomány elegyaránya és színtezettsége is befolyással bír az intercepcióra (Führer, 1992).

Fafaj

A tűlevelűek nagyobb levélfelületük miatt 5-10 %-kal több csapadékot képesek tározni, mint a lomblevelűek (Járó, 1980; Führer, 1984; Kucsara, 1996), vagy a keménylombú erdők (Helvey, 1967). Lombtalan állapotban azonban az intercepciós veszteség csökken (Xiao et al., 2000). A lombhullató vagy örökzöld jelleg átmenete, amit például a kocsánytalan tölgy esetében említhetünk, hogy a lomb ősszel nem hullik le teljesen, a nyári és a téli %-os intercepciós értékek éppúgy megegyeznek, mint a luc esetén (Führer, 1994). A korábban említett törzs és ágak szöge nem csak a kortól függ, hanem elsősorban a fafaj jellemzője. A bükknek például jellemzője a nagyobb törzsi lefolyás, ami részben az ágszerkezettel magyarázható. Az intercepciót befolyásolja, hogy milyen a törzsalak és törzsmínőség, valamint fényigényes vagy árnyéktűrő fafajokról van-e szó (Führer, 1992), valamint a koronaalak és átmérő (Xiao et al., 2000).

Levélfelületi index

A növényzet teljes levélfelületének a lefedett területhez viszonyított aránya (LAI [m^2/m^2]) szoros összefüggésben van a megkötött csapadékkal, így az áthulló csapadék mértékével (Aston, 1979; Xiao et al., 2000; Korhnek, 2000; Gómez et al., 2001; Llorens – Domingo, 2007; Bulcock – Jewitt, 2012). Valójában nem csak a levélfelület meghatározó az intercepció szempontjából, hanem a növényzet teljes felülete, melybe az ágak felülete, a kéreg is beletartozik. Így a teljes fa tározási kapacitását jellemző arányszám a *Woody area index*, WAI [m^2/m^2] (Herwitz, 1985), vagy *Plant area index*, PAI [m^2/m^2] (Murakami, 2007).

3. 4. 2. Az avarintercepciót befolyásoló tényezők

Az avarintercepciót befolyásoló tényezők tárgyalásánál meg kell jegyeznünk, hogy minden olyan paraméter, ami a korona-intercepciót befolyásolja, az az áthulló csapadék nagyságán keresztül az avarintercepcióra is hatással van. A következőkben a specifikusabb elemek kerülnek említésre.

Klimatikus körülmények:

Csapadék mennyiség hatása nyilvánvaló, ami ez esetben az áteső csapadék nagysága, állományi léptékben nagy területi változatosságot mutat, melyet az állomány koronaszerkezete határoz meg. (Staelens et al. 2008).

A vegetációs aspektus szerepe is lényeges, mivel az avarintercepció vesztesége nem nyáron, hanem tavasz elején a legnagyobb, ugyanis lombtalan állapotban nagyobb az erdő talajfelszínén elérhető sugárzás és szélsébség egyaránt (Hewlett, 1982).

Állományjellemzők:

A növényzet szempontjából elsősorban az avarmennység hat az avarintercepcióra (Helvey, 1964), ami a keletkezés és a bomlás során kialakuló egyensúly függvénye. Hazai vizsgálatok arra utalnak, hogy legalább az átlagnövedék maximumának eléréséig a lombfáknál a korral növekszik az alom mennyisége (Járó, 1958). A szervesanyag-lebomlás (avartakaró, humusz) folyamatai (így a fafaj lombjának mennyisége és minősége; az avartakaró vastagsága és rétegzettsége; a szervesanyag lebomlás gyorsasága; a kialakuló humusz mennyisége és kémiai minősége) (Führer, 1992), az avarbomlás fázisa (Ijjász, 1936).

Az avar víztartó tulajdonsága, száradási sebessége, nedvesedési gyakorisága (Helvey, 1964).

Az egyes alomnemek is meghatározóak, hogy az egymáson fekvő részek az üregképzésükkel a víztartást vagy a vízelvezetést segítik-e. Így a bükk és tölgy vízszintesen fekvő leveleikkel nagyobb hajsza edényeket képeznek, mint a fenyők, amiknél a fenyőtűk hossza befolyásolja a víztartást azáltal, hogy a hosszabb tűk között könnyebben elfolyik a csapadék (Wollny, 1885).

3. 5. Az intercepció nagysága

Az intercepció-mérések teljes irodalmát áttekinteni a publikációk nagy száma miatt e dolgozatban nem lehetséges, csak példaként néhány adatot közlünk a teljesség igénye nélkül mind a lombkorona, mind az avar tekintetében.

3. 5. 1. A lombkorona-intercepció nagysága

Járó (1980) gödöllői kísérletei eredményeként az intercepcióra nemes nyárasokban 25-28%-os, hársasra 28%-os, laza lombzatú akácokra 30%-ot, vöröstölgyre 33-36%-ot, melyet a nagy levelekkel és a második lombkoronaszinttel magyaráz, valamint mesterségesen létesített bükkösre átlagosan 47%-os értékeket közöl. Fenyvesek közül a vörösfenyőt (34%),

duglászfenyőt (38%), erdeifenyőt (kortól függően 35-37%), feketefenyőt (kortól függően 36-39%) és simafenyőt (36%) vizsgálta.

Rowe (1983) 22%-os téli és 35%-os nyári intercepciós veszteségről számol be örökzöld bükk erdő esetén.

Justyák (1989) tölgy intercepciójára a lombosodás előtt 32%-ot, lombos állapotban 40-50%-ot mért, ami egy hektár erdőre vonatkoztatva a vizsgált időszakban maximálisan 2330 m³-nek adódott.

Johnson (1990) skóciai sitka fenyő (*Picea sitchensis*) állomány 2,5 éves vizsgálatának eredményeképpen 28%-os átlagos intercepciót közöl, 1985 májusában mért 79%-os maximummal. 1984 januárjában a hó intercepciót is meghatározta, melynek eredményeként 37% adódott.

Führer Ernő Soproni-hegységben végzett vizsgálatai (1992) szerint a bükk állományok intercepciója átlagban 16%. Télen a levélzet hiányában a kisebb benedvesedő felület miatt 10%-nak adódott, míg nyáron elérte a 20%-ot a lombzat, ágak, fatörzs, stb. csapadék-visszatartása. A kocsánytalan tölgy intercepciója éves átlagban 23% (téli és nyári hónapok különbsége 1%), míg a lucosé 36%. Míg a lombhullató fajoknál a nyári értékek a magasabbak, addig a luc esetén a téli 39%-os és nyári 34%-os értékek jellemzik a csapadék-visszatartást.

Silva-Okumura (1996) szerzőpáros hatvan éves fehér tölgy (*Quercus serrata*) intercepciójára 18%-ot mért.

Az intercepció nagysága a Soproni-hegységben végzett vizsgálatok alapján 30% körül alakul a vegetációs időszakban. Lombos állományokban valamivel kevesebb, tűlevelűeknél több, akár a 40%-ot is elérheti. Az állomány jellemzőin túl az erdészeti tevékenység is hatással van a területi intercepcióra. Az erőteljesebb nevelővágások megbontják az állományszerkezetet, ami a korona-intercepciót jelentősen lecsökkentheti (Kucsara, 1998).

Xiao és munkatársai (2000) 9 éves kínai körte (*Pyrus calleryana*) és 8 éves paratölgy (*Quercus suber*) állományok intercepció-értékeit határozták meg. A két éves vizsgálat szerint a körte 15% körüli, a paratölgy 27% csapadékhányadot tart vissza.

Kontur és munkatársai (2001) szerint fedettségtől függően 0,3-6,5 mm vízvisszatartással számolhatunk csapadékeseményenként, 5-10 mm egyszeri csapadékmennyiség felett már gyakorlatilag változatlan a csapadék-visszatartás. Többéves átlagot tekintve pedig 20-30%-ban határozták meg az intercepció nagyságát.

Heal et al. (2004) egy 37 éves sitka fenyő állománnyal betelepített dél-nyugat skóciai kisvízgyűjtő (Ballochbeatties) éves vízmérlegét vizsgálva megállapították, hogy éves szinten

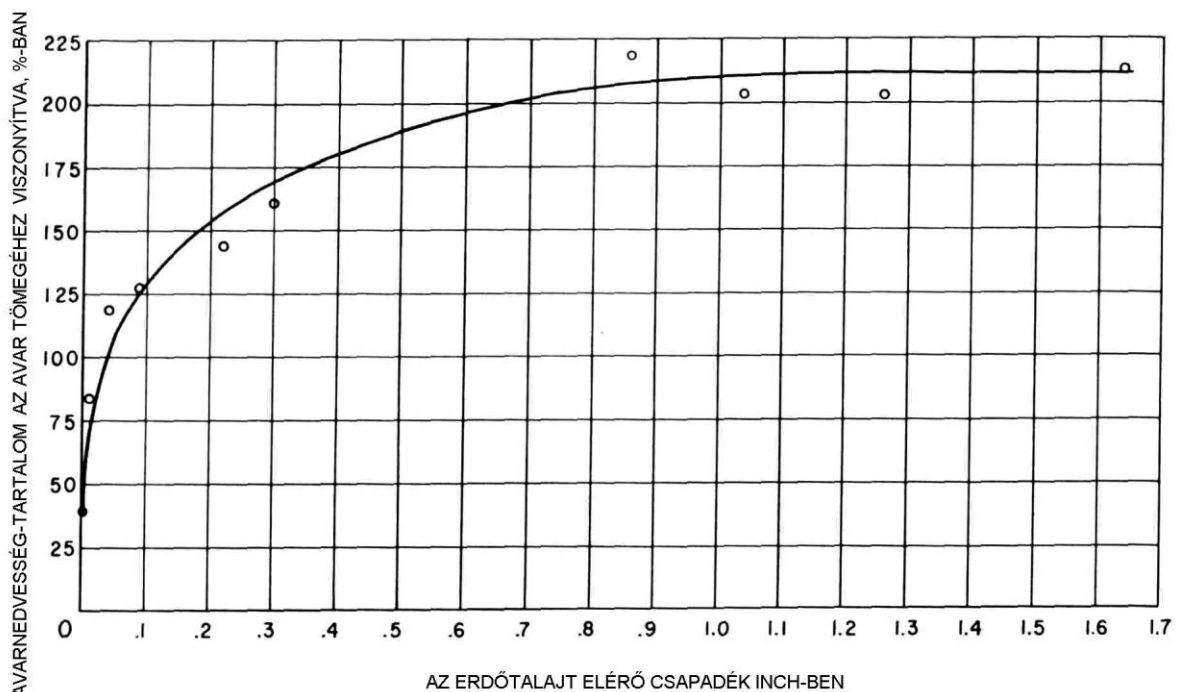
az intercepciós veszteség 52%-os. Vizsgálataikba a mikrosapadék bevételt is mérték, így az irodalomban elfogadott 35-40%-os értéknél jóval nagyobb intercepciót állapítottak meg.

A fenti vizsgálatokból is látszik, hogy fafaj és kor tekintetében nagy a változatossága a lombkorona-intercepció értékeknek, így nem is lehet általánosságban megadni egyetlen értéket, ami számszerűen jól jellemezné a jelenséget.

3. 5. 2. Az avarintercepció nagysága

Ijjász (1936) a nyersalomtakaró által megkötött vízmennyiség értékét 1cm vastagságra vonatkoztatva m^2 -enként: luc esetén 2,6 mm, bükknél pedig 3,7 mm-ben határozta meg. Megfigyelései alapján a nyersalomtakaró rétegei (alom, moder, érett televényréteg) által megkötött vízmennyiségek arányszáma a lucalumnál 1:7:20; bükkalumnál 1:30:33.

Az amerikai irodalomban lombos állományoknál a csapadéknak 2-5%-a nyáron és 3,5%-a télen az avar által visszatartott vízmennyiség (Helvey és Patric, 1965). Tülevelűeknél az avarintercepciós veszteségek 2%-ról 4%-ra növekszenek az állomány idősödésével (10-60 év) (Helvey, 1967).



3./IV. ábra. Az avar víztartalma az avart elérő csapadékmennyiség (1 inch=25,4 mm) függvényében vegyes lombhullató állományban (Helvey, 1964).

Monke (1971) több tűlevelűek avarintercepciójával foglalkozó cikket felhasználva készített kimutatást tűlevelűekre, melyben jellemzően 7% alatti értékek mutatkoztak az avarintercepcióra az éves csapadék arányában.

3./I. táblázat. Az avarintercepció nagyságát bemutató néhány kutatási eredmény.

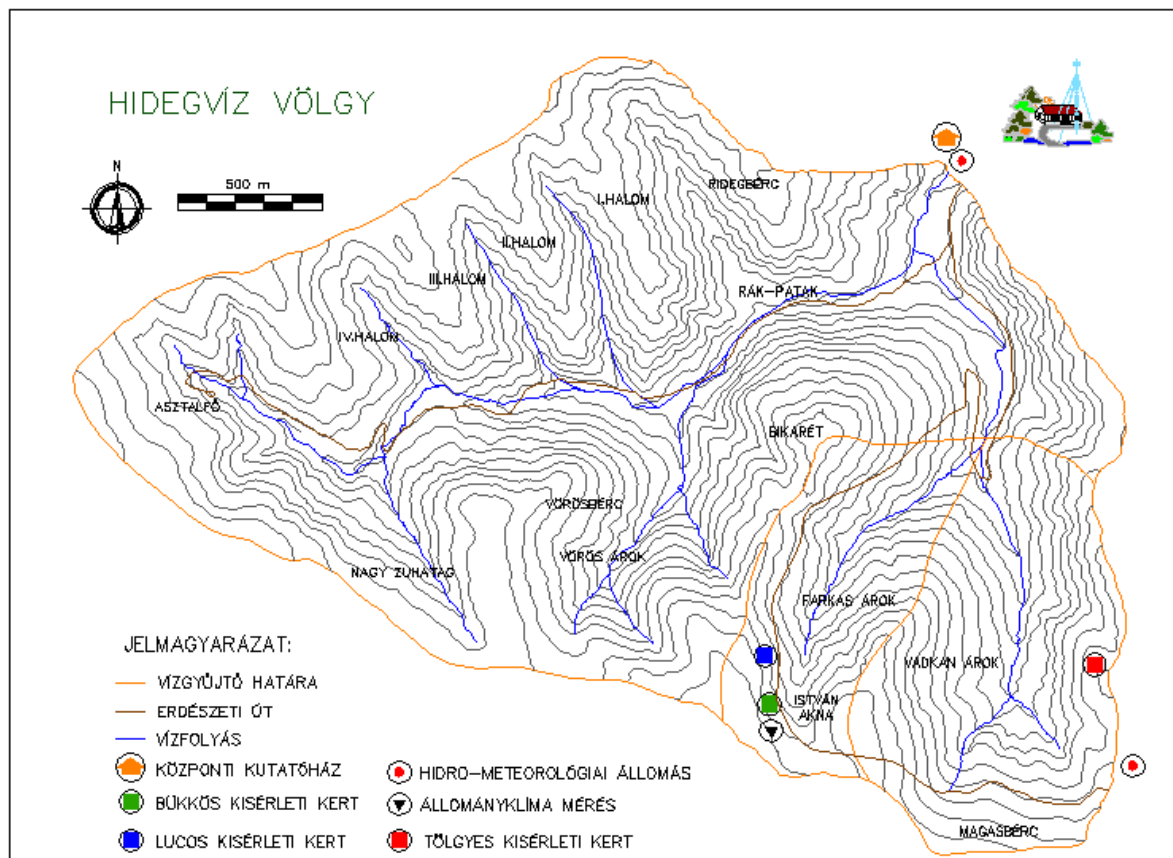
Forrás	Fafaj	Állomány	Szántóföldi	Éves veszteség	
		kora	vízkapacitás	mm	teljes csapadék %-ában
		évek	a tömeg %-ában		
Lowdermilk (1930)	<i>Pinus-Abies-Cedrus</i>	-	180	-	-
Blow (1955)	<i>Tsuga-Abies-Cedrus</i>	-	178	-	-
Helvey (1967)	simafenyő (<i>Pinus strobus</i>)	10	230	30,5	2
		35	230	45,7	3
		60	230	55,9	4
Swank et al. (1972)	tömjénfenyő (<i>Pinus taeda</i>)	10	-	53,3	3
		20	-	55,9	4
		30	-	61,0	4
	vegyes keményfa-fenyő (<i>Quercus spp.</i> , <i>Carya spp.</i> , <i>Pinus Echinata Mill.</i>)	Érett	-	45,7	3
Loshali – Singh (1992)	himalájai hosszútűs fenyő (<i>Pinus roxburghii Sarg</i>)			161,2	8,3
				186,5	9,5
				226,7	11,4
Bulcock – Jewitt (2012)	mexikói szomorúfenyő (<i>Pinus patula</i>)				12,1
	óriás eukaliptuszra (<i>Eucalyptus grandis</i>)				8,5
	cserény (<i>Acacia mearnsii</i>)				6,6

Führer Ernő vizsgálatai szerint az avar-intercepció nagysága az egyes állománytípusok szerint eltéréseket mutat. Az 1988-1992-es évekre vonatkozó átlagos értékei a szabadtéri csapadékhöz viszonyítva télen, a tárolási szakaszban (XI-IV. hónapban) a kocsánytalan tölgyesnél 16% (41 mm), a bükkösnél 15% (42 mm), lucosnál 7% (17 mm). A fő felhasználási szakaszban (V-VII. hónapban) a kocsánytalan tölgyesben 8% (24 mm), a bükkösben 13% (41 mm), a lucosban, mint télen, 7% (21 mm). Ebben a vizsgálatban nem csak a lehullott ép és széttöredezett, részben bomlásnak indult levelek képezték a vizsgálat tárgyát, hanem az 1-3 cm-es humuszosodott szervesanyag is (Führer, 1994).

A nagy különbség az egyes adatok között feltehetően az eltérő klímából (csapadékviszonyok, párolgási viszonyok), mérési metodikából, avartömegekből és a humuszpárolgás különválasztásából adódik, valamint a vizsgált fafaj befolyásolja az eredményeket. Az adatok összehasonlítását nehezíti az is, hogy az avarintercepció értékeit a száraztömeg százalékában, mm-ben és térfogatszázalékban is szokás megadni, valamint a százalékos értékeket a teljes csapadék vagy az áthulló csapadék függvényében közlik.

4. A vizsgálati terület bemutatása

A kutatás helyszínei a Soprontól nyugatra fekvő Hidegvíz-völgyben kialakított intercepciós kertekhez kapcsolódnak (4./I. ábra).



4./I. ábra. Vizsgálati terület térképe.

A terület a Rák-patak felső vízgyűjtője, mely a nyugati országhatárhoz való közelsége miatt sokáig zavartalanságot élvezett (az 1952-ig folyó barnaszénbányászat befejeződése után). Természetesen erdészeti tevékenység folyt a területen, amit a kizárólagos erdőborítottság magyarázott. Ezek a jellegzetességek segítették a természeti értékekben való gazdagság megőrzését (Soproni Tájvédelmi Körzet része). Sajátos helyzete ugyanakkor ideális feltételeket biztosított az akkor még Erdészeti és Faipari Egyetem számára, hogy itt létesüljön kutatási területe. Habár a területen folytak elkülönült erdészeti és hidrológiai vizsgálatok (Martos, 1965; Firtás, 1978, 1998; Führer 1992, 1994), Rác József fogalmazta meg először a hosszú távú folyamatos és rendszeres, berendezett állomásokon történő kutatás szükségességét az erdő vízháztartására gyakorolt hatásával kapcsolatos részletesebb

eredmények reményében (Rácz, 1981). Így került kialakításra elsőként a Hidegvíz-völgyi Hidrometeorológiai Mérőállomás, egy korábban munkásszállóként működő épület felújításával, majd a meteorológiai műszerkert, később a vízgyűjtő különböző pontjain intercepciós mérőkertek létesültek bükk, luc és kocsánytalan tölgy állományokban. Az intercepciós kertekben Vig Péter építette ki az állományklíma mérések eszközeit. Természetesen egyéb kutatási irányok is indultak a területen mind állattani, mind növényteni jellegűek (Erdőrezervátum is található a Hidegvíz-völgyben), és a hidrológiai mérések szintén folyamatosan bővülnek a témák, a műszerállomány, és mérőhelyek kialakítását tekintve is (Kucsara, 1994; Gribovszki et al., 2006).

4. 1. Földtani és talajtani viszonyok

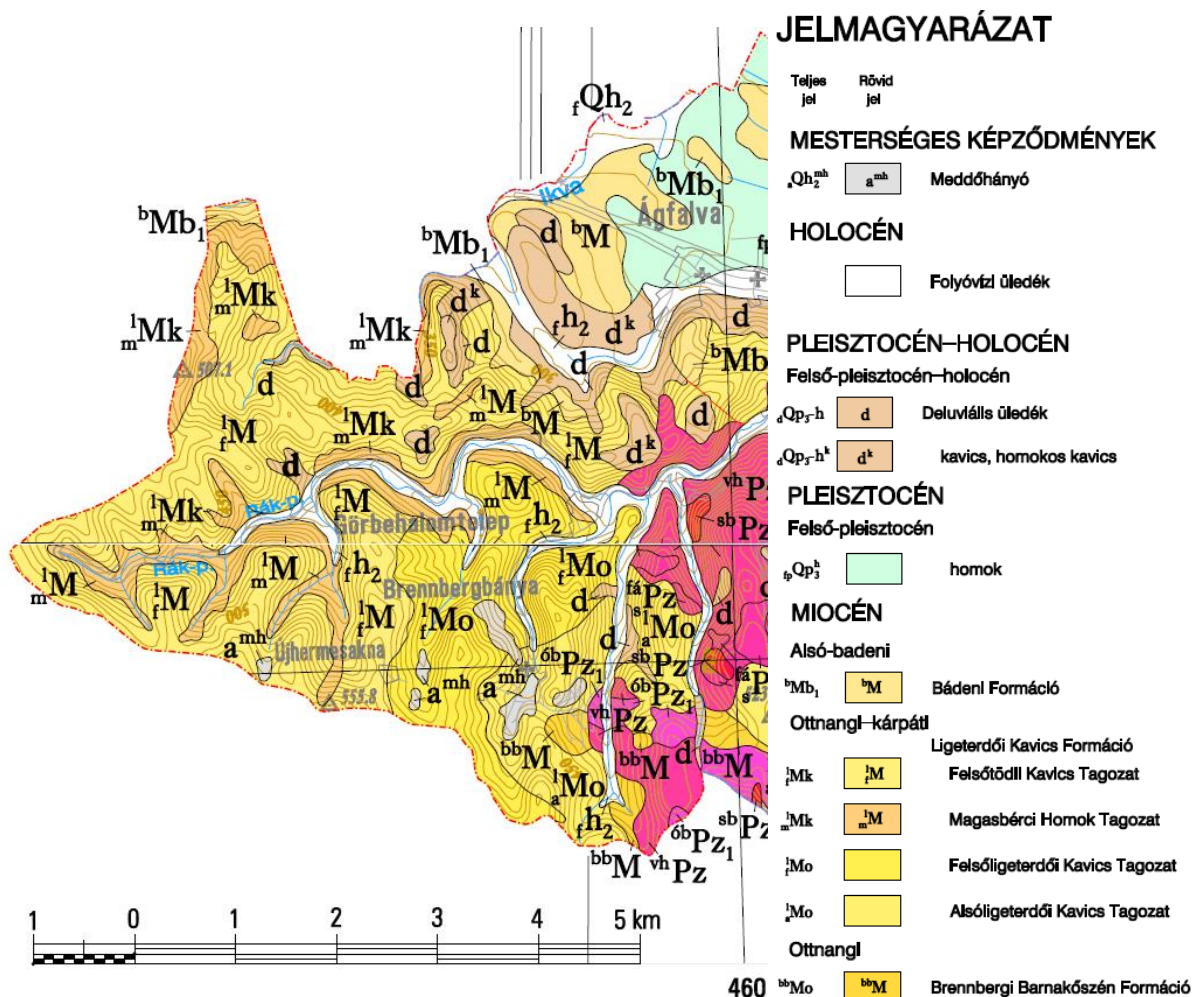
A Soproni-hegység alapját kristályos palák alkotják (gneisz, csillámpala, fillit, csillámkvarcit stb.), melyek a perm időszakot megelőző geológiai korokból származnak. A terület szárazulat volt, majd a miocénben egy része megsüllyedt a tektonikai mozgások következtében, ahová a tenger be tudott jutni. Itt keletkezett a lajtamészkö és a lajtakonglomerátum a sekélyebb peremeken (Sopron és Fertő közti dombvonulat), valamint a mélyebb részeken a finom zöldes bádénai típusú agyag (pl. Sopron belterületén). A Brennbérgvidéki tektonikai süllyedésben alakulhattak ki a barnaköszén-telepek. A miocén vége felé a tenger visszahúzódásakor hátramaradt kiédesedő félsósvízi öblökbe a folyók kavicsot szállítottak, amiből a szarmatakorú konglomerátum keletkezett. A holocén korban sok helyütt a löszporszórás ezeket a rétegeket befedte (Vendel, 1930; Szádeczky, 1947).

A vizsgált területre jellemző földtani adatokat a Magyar Földtani Intézet által kiadott Földtani térkép (2005) szemlélteti (4./II. ábra). A kristályos kőzetek nyugat felé haladva a Köves-patak völgyéig található meg. A kutatási területen a kristályos aljzatra települt Ligeterdői Kavics Formáció figyelhető meg, mely jellemzően folyóvízi, kisebb részben csökkentsósvízi rosszul osztályozott kavics, konglomerátum, homok, márga. A Ligeterdői Kavics Formáció alsó része folyóvízi, kristályos anyagú kavics, konglomerátum (Alsóligeterdői Kavics Tagozat), efölött karbonát és kristályos anyagú kavics és konglomerátum (Felsőligeterdői Kavics Tagozat). E két tagozat ottngangi korú. Fölöttük csökkentsósvízi homok és márga települt szénzsinóros-congeriás betelepülésekkel (Magasbérci Homok Tagozat), legfelül pedig durvatörmelékes kavics és konglomerátum

(Felsőtödli Kavics Tagozat) található. E két utóbbi tagozat kárpáti korú. A formáció 400-500 m vastagságú (Gyalog, 2005).

A felszínre csak a két felső réteg került:

A Felsőtödli Kavics Tagozat (más néven Brennbergi blokkkavics-szint) durvatörmelékes szárazföldi képződmény kvarc, plagioklász, muszkovit, klorit, montmorillonit és kalcit valamint klorit, biotit, amfiból és dolomit, ezeken kívül metamorf kőzetekből áll. A legnagyobb tömbök mérete meghaladja az 1m-es átmérőt. Ezek felszíne éles, de lekerekített kavics rétegek is jelen vannak, hol külön rétegben, hol az előbbiekkal elkeveredve. A köztes anyag iszap, homok és finomtörmelék. A vizsgált területet szinte teljes egészében ez a réteg fedi. A réteg vastagsága nem túl nagy, így a völgyekben a finomabb összetételű Magasbérci Homok jelenik meg.



4./II. ábra. Magyar Földtani Intézet által kiadott Földtani térkép a vizsgálati területről.

A Magasbérci rétegek, ahol uralkodóak az amfibólos kőzetek, a kavicsanyagban pedig a biotitpalák, csillámpalák és kvarcitok, márványok, semmering mészkövek,

mészcsillámpalák. A szint települt jellemzően tavi, (időszakos tengeri beütéssel lerakódott) tengeri homokjai rendszerint finomszerűek, gyakran jelentős kőzetlisztes részletekkel. Ezek az iszapos, homokos üledékrétegek csak a mély bevágásokban bukkannak a felszínre, a vízmosásos patakmedrekben (Vendel, 1930).

A területen találunk még a Rák-patak völgyében és mellékvölgyeiben folyóvízi üledéket, valamint mesterséges képződményként a Szent István akna meddőhányóját.

A Soproni-hegység ókori és miocén alapközetein egyaránt a savanyú kémhatású barna erdőtalajok dominálnak. Jellemző talajai a podzolos barna erdőtalaj, savanyú (nem podzolos) barna erdőtalaj, agyagbemosódásos barna erdőtalaj és a patakvölgyekben, völgylábokban a lejtőhordalék erdőtalaj. A podzolos barna erdőtalaj esetén a termőrétteg vastagsága közép-mély-mély, a szintezettség jól kivehető. Humuszformája a móder, a 10-40 cm közötti kilúgozódási szint kovasav-kiválásos, poros, laza szerkezetű, 3,5-5,0 közötti pH-értékekkel. A következő, felhalmozódási szint, rozsdabarna, diós szerkezetű, tömött, kissé agyagos. A talaj vályog fizikai féleségű, vízgazdálkodása közepes (Szmorad, 2011; Király, 2004). A Soproni-hegység talajainak genetikai talajtípus szerinti %-os területfoglalását a 4./I. táblázat mutatja (Halász, 2006).

4./I. táblázat. A terület talajainak megoszlása talajtípus szerint (%) Halász (2006) nyomán.

Savanyú, nem podzolos barna erdőtalaj	6,5
Podzolos barna erdőtalaj	56,0
Agyagbemosódásos barna erdőtalaj	33,2
Pszeudoglejes barna erdőtalaj	2,2
Öntés-, réti és lejtőhordalék talajok	2,1

A bükkös interpciók kert helyszínéül szolgáló 171/G erdőrészletben Bellér (1996) végzett részletes talajvizsgálatot. Megállapította, hogy a terület talaja savanyú folyóhordalékon, tömbkavicssal kevert vályogon, mint alapközeten, képződött savanyú nem podzolos barna erdőtalaj, melyet 2 cm vastag bükk lombalomból összeállt savanyú nyerstőzeg fed (A₀ szint). A 38 cm vastag A-szint gyengén (0,27-2,26%) humuszos, savanyú kémhatású, szürkésbarna színű, porosan aprómorzsás szerkezetű és vályogos szövetű. A 38-84 cm-es B-szint szintén savanyú kémhatású, sárgásbarna, barna színű, gyökerekkel behálózott, kevés tápanyagtartalmú, vályog fizikai talajféleségű. Az altalaj, vagyis a C-szint, 84 cm alatt található, tömbkavicssal kevert vályog, savanyú vasas vöröses-barna folyóhordalék, kevés fásgyökérrel. A mély termőrétteg-vastagság ellenére a tápanyag tőke közepes mennyiségű, termőértéke, vízgazdálkodása közepes.

4. 2. Klimatikus adottságok

A Soproni-hegység mérsékeltén hűvös-mérsékeltén nedves éghajlatú. A vizsgálat szempontjából érintett kistáj nyugati részének átlagos évi középhőmérséklete 8-8,5 °C, -2,0 januári és 19,0 °C júliusi középhőmérséklettel. A vegetációs időszak sokéves átlag 15,0-16,0 °C, 10 °C fölé egy év során 165-170 napon emelkedik a hőmérséklet. Az éves minimum -15,0 a maximum 30,0-32,0 °C (Danszky et al., 1963; Dövényi, 2010). Más forrás (Halász, 2006) ettől eltérően az éves átlagos középhőmérsékletre 9,2 °C-ot közöl. A Vig (2002) által 30 éves (1961-90.) adatsorból számolt értékek 9,6 °C-ot adnak az éves átlaghőmérsékletre, de ezek Sopron városra vonatkoznak, nyugatabbra haladva a klíma hűvösebb és csapadékosabb. Ezt a tényt mutatja a 4./II. táblázat is, amely az 1872. és 2000. közötti időszak átlagos havi és éves hőmérséklet-átlagértékeit egy konkrét hidrológiai év (1996-97.) adataival vetik össze. Látható, hogy Sopronhoz képest a Hidegvíz-völgyben általában 1-2 °C-os különbségek mutatkoznak.

4./II. táblázat. A sokéves átlag (1872-2000.) és az 1996-97. hidrológiai év havi középhőmérsékletei Sopronban és a Hidegvíz-völgyben (°C) Vig (2002) nyomán.

	nov.	dec.	jan.	febr.	márc.	ápr.	máj.	jún.	júl.	aug.	szept.	okt.	év
1872-2000 Sopron	4.3	0.4	-1.3	0.4	4.9	9.9	14.7	18.0	20.0	19.3	15.4	10.0	9.7
1996-97 Sopron	7.0	-2.5	-2.7	3.8	5.6	7.5	16.0	18.4	19.1	20.0	15.4	8.0	9.6
1996-97 Hidegvíz	5.8	-3.2	-5.4	3.6	4.5	5.2	14.2	16.2	17.0	18.8	14.3	7.0	8.2

A csapadék átlagos évi mennyisége Danszky szerint (1901-40 közötti adatok alapján) 917 mm, amelyből 584 mm a tenyészidőszakban hullik, míg *A Magyarország erdészeti tájai* c. könyv ennél kisebb adatokat tartalmaz: átlagos évi csapadékösszegre 694 mm-t, melyből a tenyészidőszakra 443 mm (64 %) esik, *Magyarország kistájainak katasztere* c. könyv pedig évi 700-750 mm-re teszi az éves csapadékösszeget 450-480 mm tenyészidőszaki csapadék-hányaddal. A csapadékmaximum általában júliusban van. A vizsgált területen 3 klíma hatása jelentkezik egymást áthatva: mediterrán, szubatlanti és szubkontinentális (Danszky, 1963; Halász, 2006; Dövényi, 2010). A Járó-féle osztályozás szerint a vizsgált terület a bükkös klímába tartozik. Sopron város adatait és Új-Hermesz mérőhely adatait összevetve Vig azt a megállapítást tette, hogy a Hidegvíz-völgyben általában a soproni csapadékmennyiség 120 %-

a hull le évente, vagyis ez a vizsgált 1872-2000. évek átlagában évi 845 mm csapadék lehet a jellemző (4./III. táblázat).

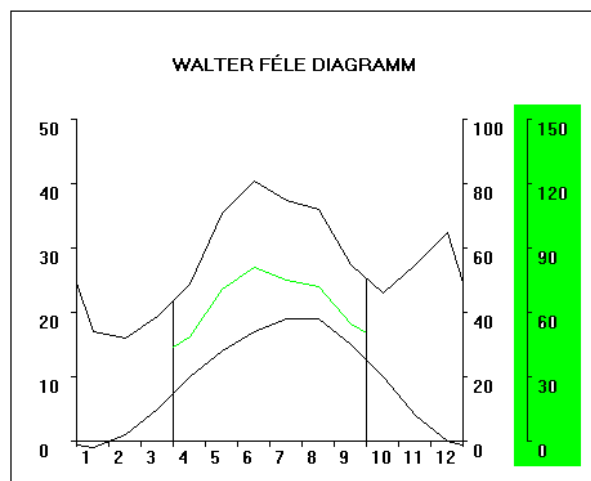
4./III. táblázat. Havi és évi átlagos csapadékösszegek 1872-2000. közötti időszakban, valamint az 1996-97. hidrológiai évben Sopronban, és Új-Hermesz telep csapadékmérő állomáson (mm) Vig (2002) nyomán.

	nov.	dec.	jan.	febr.	márc.	ápr.	máj.	jún.	júl.	aug.	szept.	okt.	évi
1872-2000 Sopron	54	45	33	33	43	53	75	85	86	78	63	56	704
1996-97 Sopron	21	12	11	6	69	49	95	98	148	30	38	13	590
1996-97 Új-Hermesz	31	20	9	6	86	71	103	130	101	94	37	31	719

Az említett hőmérséklet és csapadékadatokat a Walter-féle klímadiagram szemlélteti Sopron meteorológiai főállomás adatai alapján (4./V. ábra).

Sopron és környéke hazánk széleenergiában gazdagabb tájai közé tartozik. A szélcsendes napok száma alacsony és inkább a téli hónapokban fordulnak elő. A leggyakoribb szélirány az ÉNy-i, az átlagos szélesség a hegycsúcsokon 4-4,5 m/s, a völgyekben és az erdős területeken 3 m/s körüli (Dövényi, 2010; Vig, 2002).

Sopron 1961-90

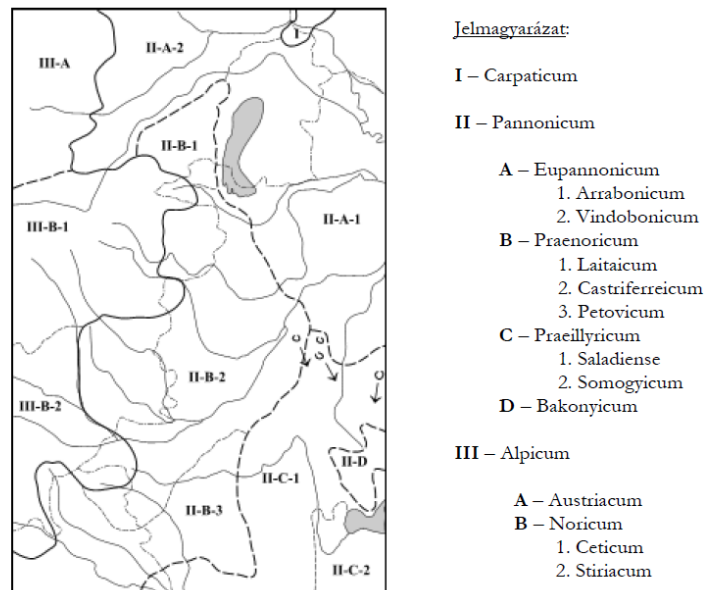


4./III. ábra. Sopron meteorológiai főállomás 1961-90. évi adatai alapján készült Walter-féle klímadiagram. A bal oldali tengely a léghőmérséklet °C skáláját, a jobb oldaliak pedig a csapadékösszeg mm skáláit tartalmazzák Vig (2002) nyomán.

4. 3. A vegetáció jellemzői

A Soproni-hegység növényföldrajzi szempontból határhelyzetben fekszik. A hegység K-i részében, ahol elsősorban tölgyesek jellemzők, megjelennek a pannon térség xerotherm

fajai, Ny-i, bükkösök dominálta részére beszivárognak az Alpok montán flóraelemei (Szmorad, 2011). A konkrét növényföldrajzi besorolás szempontjából két fő álláspontot különböztethetünk meg. Kárpáti (1956) álláspontja szerint a hegység az Alpokkal való szoros kapcsolata miatt az *Alpicum* flóratartomány, *Noricum* flóravidékének, *Ceticum* flórajárásába sorolandó. Ezt a hagyományos nézőpontot árnyalja Csapody (1994) véleménye, miszerint az előbbi vegetációföldrajzi egységekbe csak a hegység nyugati része tartozik, a peremterületek már a *Pannonicum* flóratartomány, *Praenoricum* flóravidékének, *Castriferreicum* flórajárásába tartoznak (Szmorad, 2011).



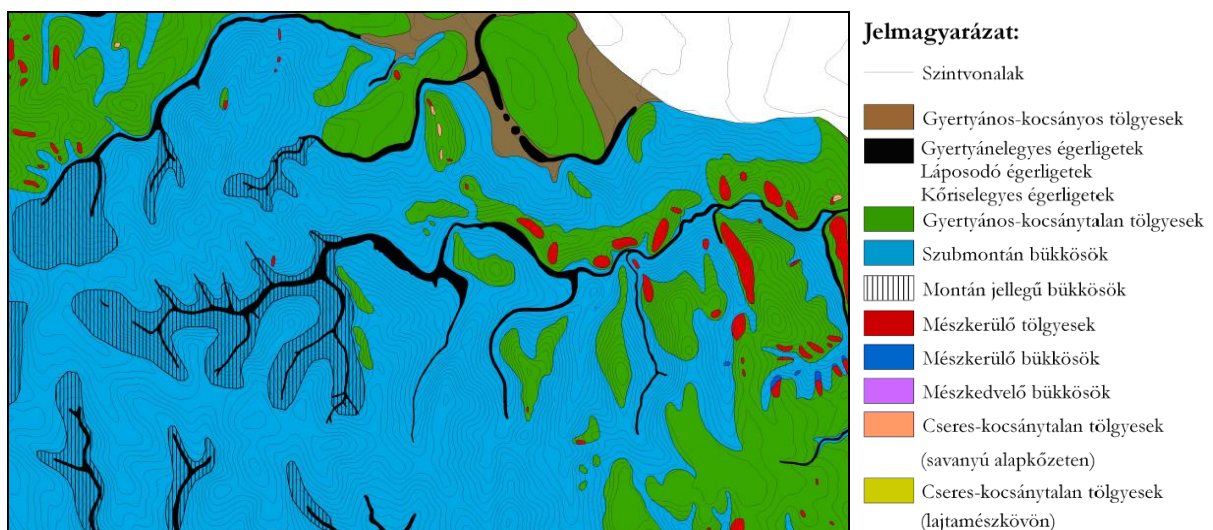
4./IV. ábra. Az Alpok keleti előterének növényföldrajzi egységei (Király, 2001 nyomán módosítva Király – Szmorad, 2004b).

A Soproni-hegység eredeti és potenciális növénytársulásai szinte teljes egészében zárt erdők, a természetes gyepek szerepe ilyen szempontból minimális. A klímazonális társulásokat a Brennbergbánya-Görbehalom vonaltól nyugatra főként nyugat-dunántúli bükkösök (*Cyclamini purpurascensis-Fagetum*), ettől keletre a gyertyános-kocsánytalan tölgyesek (*Cyclamini purpurascensis-Carpinetum*) jelentik. Bükkösök az előbbieken felvázolt vonaltól keletre csak hűvösebb hegyoldalakon és völgyekben (Kovács-árok, Köves-árok, Tolvaj-árok) fordulnak elő (Király, 2008; Király – Szmorad, 2004a). Elhelyezkedésük miatt az erdőirtások alig érintették területüket. Nagyrészt kavicsos-agyagos üledékeken fordulnak elő. Talajuk, aljnövényzetük a gyertyános-tölgyeseknél kevésbé degradált. Sok helyen a bükkösök helyén kiterjedt kultúrfenyveseket találunk. A gyertyános-kocsánytalan tölgyesek a Soproni-hegység északnyugati, északkeleti és délkeleti részére jellemzőek. A

hegységperem térségében állományait részben kiirtották. Termőhelyeik degradáltak, az eredeti állományokat nagy mértékben elfenyvesítették (Szmorad, 2011).

Az edafikus erdőtársulások közül a legfontosabbak a másodlagosan, antropogén hatásra kiterjedt mészkerülő lomberdők. Mészkerülő tölgyesek (*Castaneo Quercetum*) főként a Sopronhoz közel eső vonulatok meredek, sekély termőrétegű részein alakultak ki. Elsődleges állományai jellemzően 15-20°-os lejtőkön, kristályos pala alapkőzeten, déli vagy nyugati kitérítésben fekszenek. Másodlagos kialakulásuk jelentős részben antropogén tevékenységeknek (erdőéles, legeltetés) és azok következményeinek (erózió) köszönhető. Szintén csaknem teljesen másodlagosak a hegység mészkerülő gyertyános-tölgyesei (*Luzulo-Carpinetum*) (Király 2008, Király – Szmorad, 2004a).

Száraz lomberdők inkább szigetszerűen, a hegység külső peremén fordulnak elő kis kiterjedésben (pl. Harkai-kúp, Károly-magaslat). A völgyaljak jellemző erdőállomány típusát jelentik az égerligetek, melyek a szélesebb Hidegvíz-völgyben és mellékvölgyeiben szép, természetszerű állományokkal rendelkeznek. Állományai a hegység montán-szubalpin flóraelemeinek legfőbb menedékei. A korábbi évszázadokban megfogyatkozott égeresek, az utóbbi időszakban visszahódították a patak völgyek felhagyott kaszálórétjeit (Király, 2008; Király – Szmorad, 2004a).



4./V. ábra. A Soproni-hegység potenciális természetes vegetációja (részlet) (Szmorad, 2011).

Mesterséges eredetű állományok, de természetvédelmi szempontból jelentős értéket képviselnek a hegységperem szelídgesztenyései, melyek a Sopron környéki táj és a Soproni-hegység jellegzetességei közé tartoznak. A város feletti Lővérek gesztenyései nagyrész

eltűntek, de az Ágfalva és Bánfalva feletti állományok viszonylag jó állapotban fellelhetők (Király – Szmorad, 2004a).

A 19. sz. második felétől kezdődő intenzív erdőtelepítések következményeként jelentős területűek (az erdőterületek több mint 50 %-a) a hegységben a kultúrfenyvesek. A luc- (*Picea abies*) és a jegenyefenyő (*Abies alba*) a hegység belsejében húzódó, hűvös völgyek szivárgóvízes helyein őshonos lehet, az erdeifenyő őshonossága (*Pinus sylvestris*) a hegység K-i részének mészkérülő erdeiben valószínűsíthető (Király – Szmorad, 2004a).

A múlt intenzív emberi hasznosításának következményeként a különböző típusú őshonos fafajú erdők természetessége meglehetősen alacsony (Király, 2008). A jelenséget jól szemléltetik a következő példák. A 18. sz. második felében az alacsony vágásfordulók miatt, a legidősebb állományok kora sem haladta meg a 30 évet. A pionír karakterű nyír (*Betula pendula*) és rezgő nyár (*Populus tremula*) területaránya, a 19. sz. első felében meghaladta az erdőterület harmadát (Király – Szmorad, 2004a).

4. 4. Intercepciós kertek bemutatása

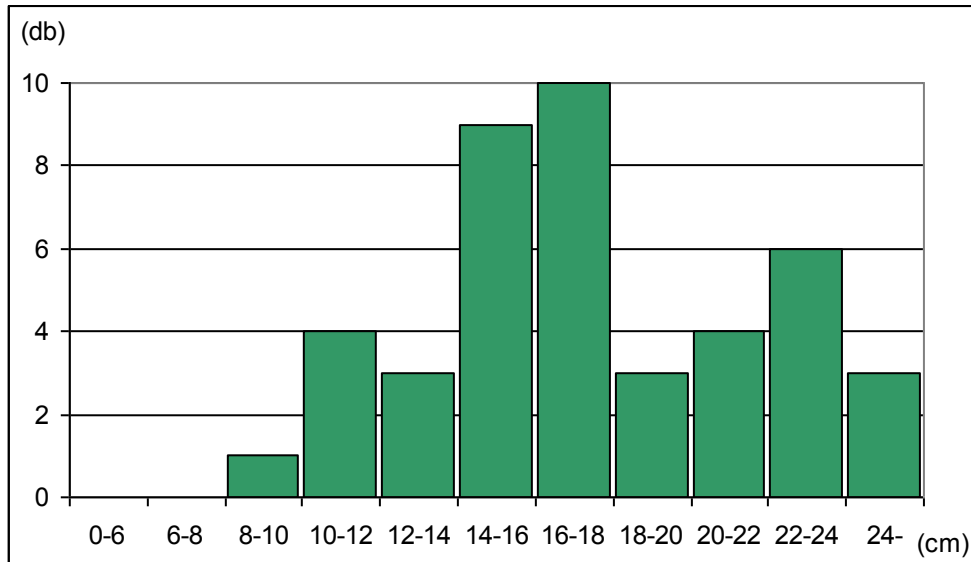
Az elemzések során a grafikonokon következetesen a MÉM Erdőrendezési Szolgálat útmutatójában (1986) meghatározott színek jelennek meg: tölgy-piros, bükk-zöld, fenyő-kék.



4./VI. ábra. Bükkös, lucos és kocsánytalan tölgyes intercepciós kert.

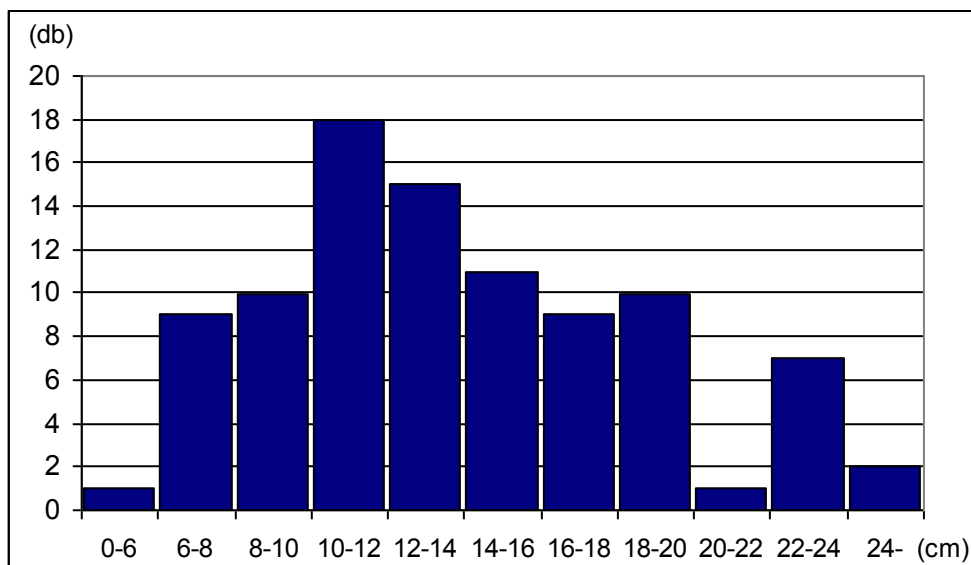
A bükkös intercepciós kert a Farkas-árok egyik kocsánytalan tölgyvel elegyes, a természetes társulásnak megfelelő, bükkös állományban került kialakításra a 171/G erdőrészletben, mely 510 m tengerszint feletti magasságban fekszik, 15 % lejtésű K-i kitettségű többletvízhatástól független területen, savanyú barna erdőtalajon. 2005. évi adatok alapján 100% záródású, 17-18 m átlagmagasságú, egyszintes, mag eredetű 18 (B) – 23 cm (KTT) faátmérőjű erdőrészlet-állomány, 1764 (B) – 588 (KTT) törzsszámmal, a kocsánytalan tölgy, mint szórt elegy van jelen. Az állomány kora 53 év (jelen kutatás megkezdésekor 2003-ban 44 év volt) (Vig, 2000; Országos Erdőállomány Adattár). Az intercepciós kert

faállományának mellmagassági átmérő eloszlás-adatait mutatja a 4./VII. ábra a 2003-as évre vonatkozóan. A mért fák között hét kocsánytalan tölgy és két vörösfenyő egyed is szerepel a bükk mellett. Jellemzően 14-18 cm-es faátmérők mutatkoznak. Ez az állomány a legidősebb a három vizsgált közül.



4./VII. ábra. Mellmagassági átmérő-kategóriák eloszlása a bükkös intercepciós kertben (2003. szeptember 18.).

Aljnövényzete gyér, jellemző fajok: hagymás fogasír (*Dentaria bulbifera*), erdei madársóska (*Oxalis acetosella*), бүкksás (*Carex pilosa*), erdei pajzsika (*Dryopteris filix-mas*), keltike fajok (*Coridalis spp.*).

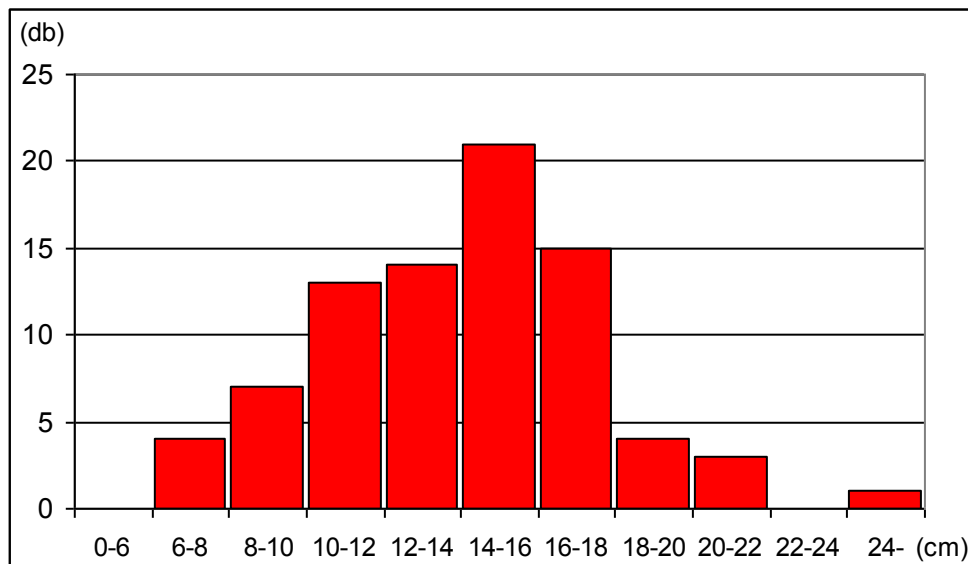


4./VIII. ábra. Mellmagassági átmérő-kategóriák eloszlása a lucos intercepciós kertben (2003. szeptember 18.).

A lucos intercepciós kert a bükkös kert alatt, 500 m tengerszint feletti magasságban került kialakításra (171/H erdőrészlet). Az erdőrészlet 2005. évi adatai szerint az állomány záródása 83%, famagassága 17 (LF) – 18 m (B), a törzsek átmérője 18 (B) – 23 cm (LF), egyszintes, mag eredetű, törzsszáma 3000 (B) és 828 (LF), elegyaránya 73-27%, a luc csoportos elegyként jelenik meg. A lejtés-, kitettség-, hidrológiai- és talajviszonyok a bükkössel megegyeznek (Országos Erdőállomány Adattár). Lágyszárú szintje nincs.

A lucos állomány kora 33 év volt jelen kutatás kezdetekor, de csak három évig folytatott adatgyűjtés ezt követően, mert itt az állomány, szűkár miatt, kitermelésre került. A 2003-as év mellmagassági átmérőit mutatja a 4./VIII. ábra. A mérésben résztvevő fák között a lucon kívül csak egyetlen vörösfenyő állt a lucos intercepciós kertben. A legtöbb egyed a 10-12 cm-es mellmagassági átmérő kategóriába tartozik. Ez volt a vizsgált három közül a legfiatalabb állomány.

A kocsánytalan tölgy állományban kialakított intercepciós kert a 163/K erdőrészletben fekszik, 3-6 % lejtésű nyugati oldalon. Az erdőrészlet 2005. évi adatai szerint az állomány főfafaja a kocsánytalan tölgy, melyben csoportos elegyet alkot a bükk.



4./IX. ábra. Mellmagassági átmérő-kategóriák eloszlása a kocsánytalan tölgyes intercepciós kertben (2003. szeptember 18.).

Átlagos magassága 14 (KTT) – 15 m (B), záródása 87%-os, átlagos átmérők: 14 cm (KTT) és 16 cm (B), 5400 (KTT) és 2205 (B) törzsszámmal. A 2003-ban 37 éves állomány többletvízhatástól független podzolos barna erdőtalajú természet szerű erdő (Országos

Erdőállomány Adattár). A kocsánytalan tölgyes intercepciók kert 2003. évi mellmagassági átmérő adatainak eloszlását láttatja a 4./IX. ábra.

Aljnövényzetére jellemző a bükksás (*Carex pilosa*), szagosmüge (*Galium odoratum*), gyöngyvirág (*Convallaria majalis*), erdei kutyatej (*Euphorbia amygdaloides*), egyvirágú gyöngyperje (*Melica uniflora*), hagymás fogasír (*Dentaria bulbifera*), fehér perjeszittyó (*Luzula albida*), pettyegetett tüdőfű (*Pulmonaria officinalis*), fekete áfonya (*Vaccinium myrtillus*), cserjeszintben gyertyánt (*Carpinus betulus*) találunk.

5. Anyag és módszer

A téma körbejárását többféle módszerrel kíséreltük meg, melyek között a terepi és a laboratóriumi körülmények közötti munka is fellelhető.

5. 1. Csapadék

Az avarintercepció meghatározásához nélkülözhetetlen a területre jellemző csapadék-adatsor. A szabadterületi csapadékadatok szükségesek az áthulló csapadék és a szabadtéri csapadék függvénykapcsolatának leírásához, hogy az avarintercepciót a szabadterületi csapadék arányában lehessen megadni. Az áthulló csapadék pedig az a csapadékmennyiség, mely az avar víztartalom-változását eredményezi.

Áthulló csapadék mérése mindegyik kertben folyt az érintett 2003-2008. közötti időszakban, 2005 júniusa előtt heti rendszerességgel történt az adatgyűjtés, ami az egymást követő csapadékok elkülönítését nem teszi mindig lehetővé. 2005 júniusa óta napi áthulló csapadék-mérés valósult meg a vizsgált időszak végéig (munkanapokon). A vizsgálatokhoz használt adatokat tölcseres esővízgyűjtők szolgáltatták mindhárom kert esetében.

A vizsgált teljes időszakra nem állt rendelkezésre folyamatos szabadterületi csapadék-adatsor, ezért különböző források felhasználásával kellett elkészíteni az elemzésekhez alkalmas csapadék-idősort. Az avarmérések különböző helyszínei nem azonosan felszereltek meteorológiai mérőműszerekkel. A bükkös állományban vannak szél, hőmérséklet, csapadék, sugárzás, páratartalom mérésére szolgáló automaták, a többi kertben csak az áthulló csapadék mérésére szolgáló tölcseres és a törzsi lefolyást mérő csapadékgyűjtők találhatóak, valamint esetenként kézi hőmérséklet és páratartalom-mérés történt. A csapadék területi változékonysága miatt célszerű a mérési helyszín szabadterületi csapadék-adatait használni az elemzésekhez. Az adatsor azonban nem volt teljes a méréseink szempontjából érintett időszakra, ezért más adatokat is meg kellett vizsgálni az adatpótlás elvégzéséhez.

A *bükkös intercepció kert* (540 m tengerszint feletti magasság, 47°39'21" északi szélesség, 16°27'16" keleti hosszúság) 2006-2008 közötti csapadék adatsorát Vig Péter és Eredics Attila szolgáltatták. Ez az adatsor 0 órától 24 óráig történt csapadékesemények összegét mutatja, amit automata rögzített eredetileg 10 perces gyakorisággal, melyben

előfordultak adathiányok (meghibásodás, áramszünet okán). Korábbi adatok erről a helyszínről nem álltak rendelkezésre megbízható pontossággal.

A második adatsor a *Brennbergbánya-Borbálatelep mérőhely* (tengerszint feletti magasság: 431 m; 47°39' északi szélesség; 16°29' keleti hosszúság) adatait tartalmazza, melyek reggel 7 órakor történt észlelés eredményeként jöttek létre Hellmann-rendszerű (1/50 m²-es) csapadékmérő alkalmazásával. Esetleges adathiányokat a Soproni adatok segítségével pótolták. Az így nyert adatsort 2012-ben tette közzé Kiss Márton állomásvezető (Kiss, 2012).

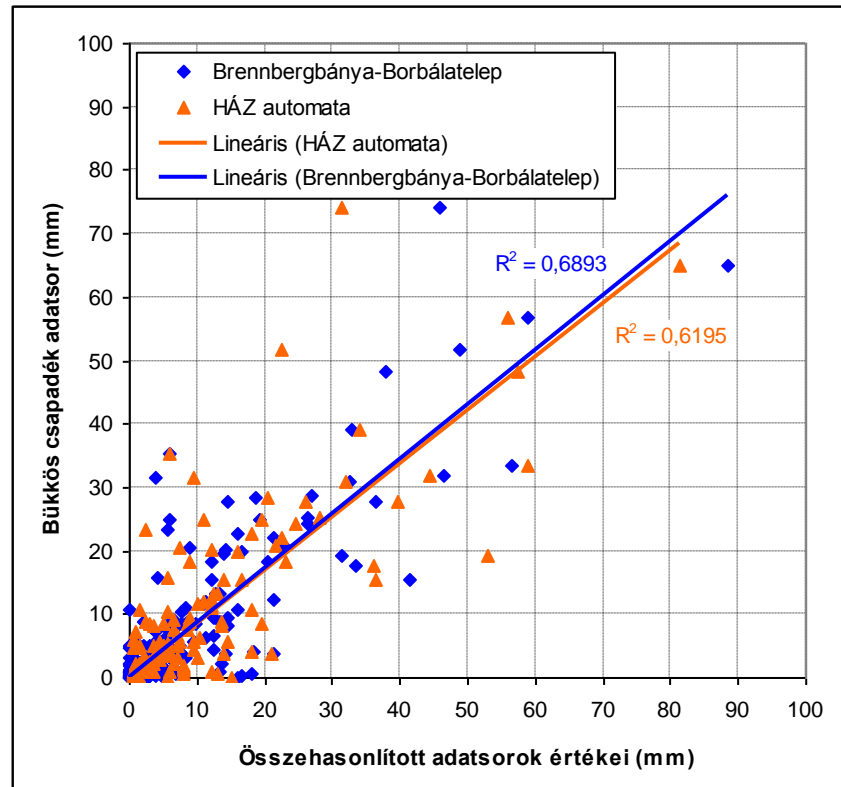
A harmadik adatsor rögzítése, *Kutatóház mérőhely* (378 m tengerszint feletti magasság, 47°40'21,77" északi szélesség, 16°27'44,05" keleti hosszúság), 0,5 mm megszólalási küszöbű billenőedényes Hellmann rendszerű automata adatgyűjtő segítségével történt. Ez az adatsor a teljes időszakra vonatkozóan rögzít értékeket, de adathiányok ebben is találhatóak.

A negyedik adatsor szintén a *Kutatóháznál* kézi adatgyűjtés (Hellmann-csapadékmérő) eredménye. Ennek az adatsornak a hátránya, hogy a mintavételek rendszerint heti gyakorisággal történtek, tehát általában heti csapadékösszegeket tükröz az adatsor.

Az avargyűjtés idején tehát a borbálatelepi és a bükkös adatsor sem állt rendelkezésre, így a ház automata adatsora jelenik meg az elemzésekben.

A „keretes” adatgyűjtés elemzésekor az alapfeltevés az volt, hogy a mérés helyszínén lévő mérőműszer szolgáltatja a legmegbízhatóbb adatokat (hiszen a csapadék térbeli mozaikossága nagy), így a bükkös intercepciós kert adatai tekinthetők a vizsgálat szempontjából relevánsnak. Mivel azonban a 2005-ös évre nem volt felhasználásra alkalmas adatsor a mérési helyszínről, és a meglévő (2006-2008) adatsor is hiányos, szükséges volt az adatsorok összevetése a hiánypótlás céljából. Az összehasonlítást egyrészt összefüggés-vizsgálat nyújtja arra az időszakra, amikor a pótlásra alkalmasnak ítélt adatsorok és a bükkös adatsora is folyamatos volt. Az adatsorokból pontdiagram készült úgy, hogy egyik tengelyen a bükkös adatsora a másikon a pótlásra alkalmasnak mutató (borbálatelepi, és a ház automata) adatsorok. A pontokra trendvonalat illesztve a trendvonal determinációs együttható értéke mutatja meg, melyik adatsor közelíti jobban a bükkös adatsorát.

A 2006-2008-as évekre (az adathiányos időszakokat kihagyva) elkészítettük a bükkös intercepciós kert adatsorának összehasonlítását a többi adatsorral, mely azt mutatta, hogy a borbálatelepi adatok jobban közelítik a bükkös adatsorát (5./I. ábra).



5./I. ábra. Csapadék adatsorok összefüggés-vizsgálata (napi csapadékok esetében).

Az adatsorok közötti lineáris összefüggést keresve a Brennerbergbánya-Borbálatelelep bizonyult alkalmasabbnak a 2005. év adatsorának pótlására a 0,69-os determinációs együttható – értékkel. A Kutatóház automata adatsora 0,62-os értékkel követte. A determinációs együttható értékek is mutatják a nagy területi változékonyságot. A három év vizsgált időszakának csapadékösszege tekintetében a bükkös adatsor a Borbálatelepp mérőhely adatsorával 1,0 %-os, míg a Kutatóház automata adatsorával 3,2 %-os eltérést mutatott. A napi adatok összevetése az ugyanazon napon hullott csapadék-adatok között keresi az összefüggés szorosságát. Az összefüggés-vizsgálat alapján a bükkös hiányos adatsorának pótlásához a Brennerbergbánya Borbálatelepp mérőhely adatsorát használtuk, de mivel a trendvonal egyenlete az összehasonlított időszakot tekintve a csapadékösszegeket figyelembe véve jellemzően kisebb értékeket adna a pótolandó adatoknak, így nem az összefüggés-vizsgálat egyenletével ($y = x * 0,8608$, ahol y a pótolandó bükkös adat), hanem a csapadékösszegek mennyisége alapján számolt összefüggéssel számoltuk a hiányzó adatokat:

$$y=0,9897 \cdot x$$

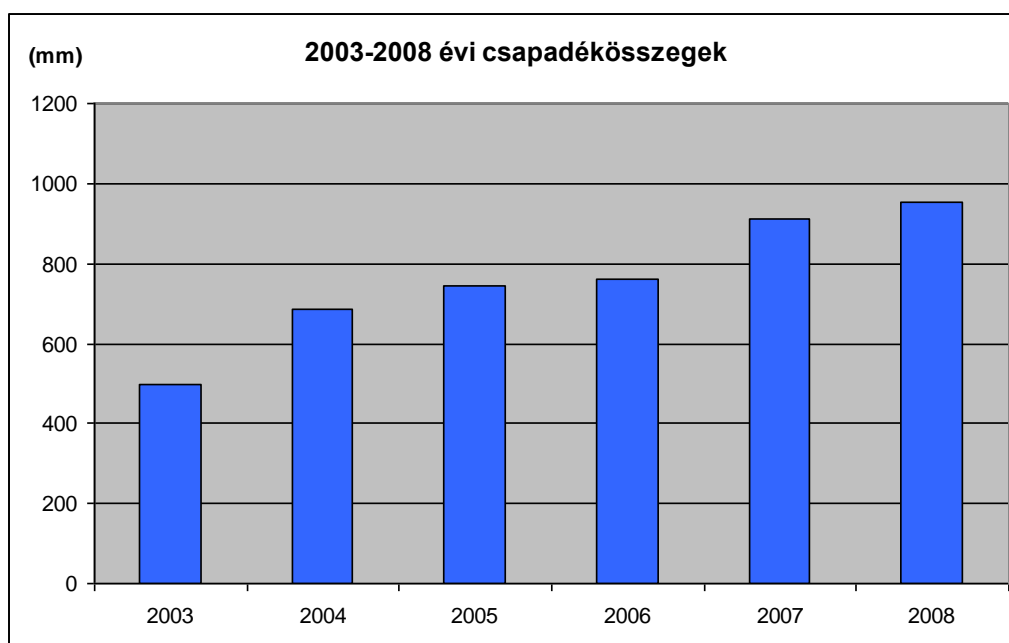
(17)

ahol y a pótolandó adat, x a Brennerbánya Borbálatelep mérőhely adata.

Ezek után még az adatsorok tételes összevetése is megtörtént a csapadékesemények idejének pontosítása céljából, valamint az esetleges hibás adatok kizárhatósága miatt.

A 0-tól 24 óráig mért csapadékösszeg a vizsgálat szempontjából nem megfelelő. A bükkös kert automata adatsora 10 perces adatokat szolgáltat, ezt az adatsort a terepi jegyzőkönyvek mérési időpont adataival összevetve pontosítani lehetett a ténylegesen az adott napon – vagy az előző napi mérés óta – az adott napi avarmérések előtt leesett csapadék nagyságát. Az így nyert adatsor, jobban hasznosítható a pótlással előálló adatoknál, hiszen azok reggel 7-től reggel 7 óráig leesett csapadékot mutatják, a mérések pedig változó időpontokban történtek.

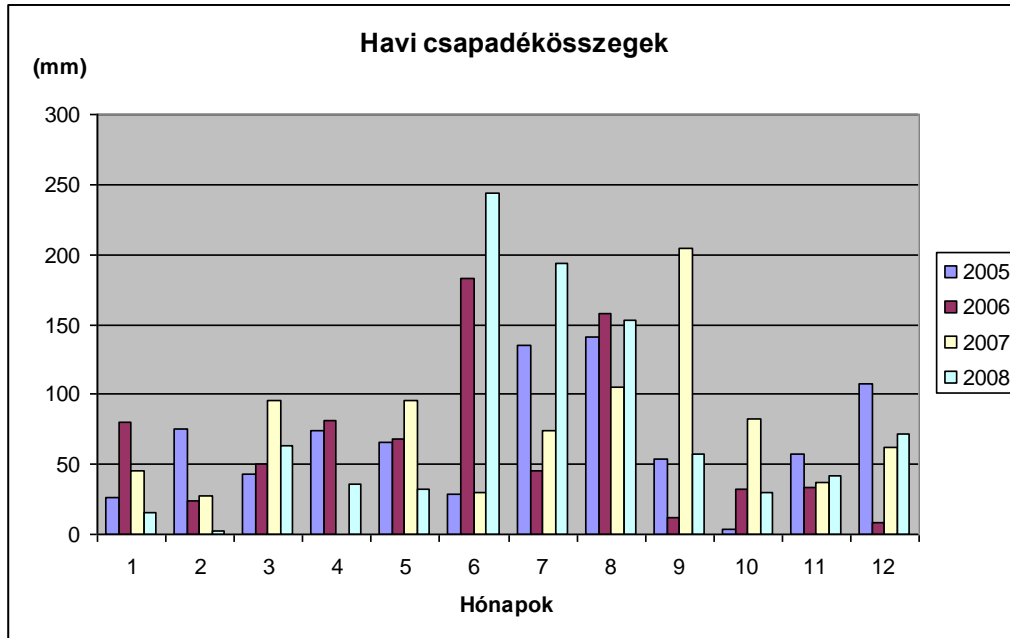
A bükkös kert automata mérőműszerének adatsora (Brennerbánya-Borbálatelep mérőhely adataiból számított pótlással) adhat képet a teljes vizsgált időszak csapadékviszonyairól (5./II. ábra).



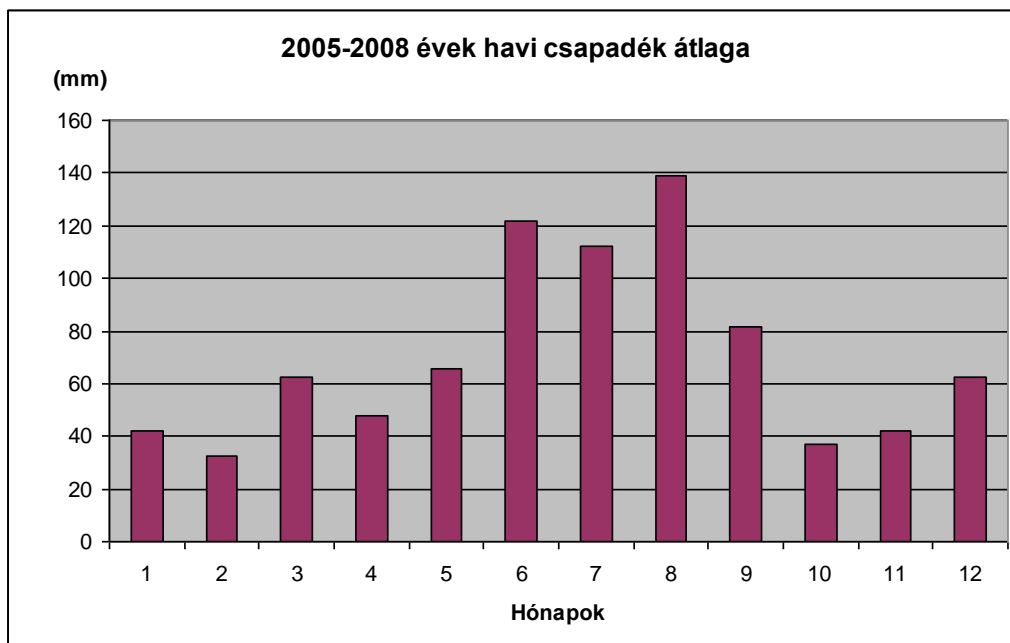
5./II. ábra. Éves csapadékösszegek (Brennerbánya-Borbálatelep adatainak felhasználásával pótoltt bükkös adatsor).

A dolgozatban tárgyalt avar-kutatások kezdeti éve kifejezetten száraz év volt, az évi csapadékösszeg nem érte el az 500 mm-t. A vizsgált időszakban a csapadék mennyisége az éves összeget tekintve folyamatosan nőtt, az utolsó két évben mutatja hozzávetőlegesen a

szakirodalomban közölt átlagos adatot. A 2005-2008-as évek az elemzések szempontjából nagyobb súlyt kapnak, így a havi csapadékösszegek ábrázolásában és elemzésében ezek jelennek meg.



5./III. ábra. Havi csapadékösszegek a 2005-2008. években.



5./IV. ábra. Havi csapadékösszegek átlaga a 2005-2008. években.

A havi csapadékösszegeket az 5./ III. ábra mutatja az említett négy évre vonatkozóan. Látható, hogy milyen szélsőségek jellemzik az egymást követő éveket. A

legcsapadékosabbnak leírt július (Danszky, 1963) a vizsgált években nem mutatott maximumot, inkább a június, vagy a négy év átlagában az augusztus (5./IV. ábra). A legnagyobb napi csapadék ehhez az időszakhoz közel 2007.09.07-én esett 74,1 mm.

Az éves csapadékösszegek változása, és a havi csapadékösszegek évenkénti eltérése is rámutat arra, hogy az ilyen kutatásokat több éven át kell folytatni, hiszen egy-egy év magában hordozza a szélsőségek lehetőségét, egy több éves vizsgálat azonban megbízhatóbb eredményeket nyújthat.

5. 2. Az avargyűjtés módszerének sajátosságai

Az avarminták gyűjtésének kezdete 2003. szeptember 1. A gyűjtési módszer kidolgozásának kezdetét jelenti ez az időpont, amikor kísérleti jelleggel egy bázisvonal mentén, egy méterenként 10 darab 20 cm·20 cm-es mintát vettünk a középkorú kocsánytalan tölgyes állományban. Az akkori kezdeti feldolgozások alapján ez a mintaszám, és mintanagyság a víztartalom hibája alapján közel megfelelőnek bizonyult. Ezt a megfelelőséget a következő képlet (Kozák-Orbay, 1989) alapján kalkuláltuk:

$$n_m = \left[\frac{s \cdot t_{\alpha/2, \nu}}{E_m} \right]^2 \quad (18)$$

ahol:	n_m	minták száma– 1
	s	szórás
	$t_{\alpha/2, \nu}$	t-próba kritikus értéke E értéknél
	ν	szabadságfok, $\nu = n$
	E_m	a minta hibája.

A pontosság érdekében a következő mintavétel alkalmával a mintanagyságot, a fenti módszer alkalmazása mellett, 30 cm·30 cm-re növeltük. Ezt a mintavételt már három állományban elvégeztük. Az elemzés során a mintanagyság növelése ellenére a mérés statisztikailag megbízhatatlanabbnak bizonyult (nagyobb volt átlagosan az avar víztartalma abban az időpontban, ez növelte a bizonytalanságot), ezért a mintanagyságot 40 cm·40 cm-re növeltük, majd az avar-mintavétel megkönnyítésére készült avargyűjtő keret mérete miatt 38 cm·38 cm-esre változtattuk 2003. október 21.-től. A minták száma fafajonként 10-10 darab

maradt. Az avargyűjtéses mintavétel – az időjárási-, és útviszonyok függvényében – legfeljebb heti gyakoriságú volt. Az utolsó avargyűjtés napja 2005. november 10.-e.

Az avar-mintavételek alkalmával szembesültünk a mintavétel bizonyos fokú szubjektivitásával, vagyis hol húzzuk meg a határt az avar és a talaj között (5./V. ábra), ami ezek keveredésekor meglehetősen nehéz, valamint a humuszosodás folyamat jellegéből adódóan mit tekintünk avarnak, mit humusznak. A mintavételek során arra törekedtünk, hogy csak a felismerhető növényi eredetű részeket gyűjtsük be, lehetőleg maradéktalanul, a talajt viszont ne. A bázisvonal minden alkalommal külön került kijelölésre a megelőző avargyűjtés bázisvonalával párhuzamosan, a korábbi mintavételi helyeket nem érintve.



5./V. ábra. Vizsgált fafajok (KTT, B, LF) avarképei és avarmetszetei.

Az avar szoros értelemben vett elhalt levélállománya nem különül el a letört gallyaktól, korhadó ágaktól, lehullott termésektől, tobozoktól, és kisebb lágyszárúaktól, legalábbis azok tövétől (5./V. ábra). Mivel lényeges, hogy minél rövidebb időtartam teljen el az egyes minták gyűjtése, sőt az adott napon az egyes állományokban történő mintavételek között, ezért előzetesen fontos tisztázni, hogy ezen elemek közül mit tekintünk avarhoz tartozónak. A mintavételek során arra a kompromisszumra hajlottunk, hogy az egy centiméternél vastagabb ágakat, és tobozokat, valamint lágyszárú növényeket nem tekintjük a vizsgálat során az avar részének. Ez a megállapítás csak a mintavételek során alakult, így az elemzések során a kezdeti mérések nagyobb bizonytalansággal terheltek.



a.) Bázisvonal mentén folyó avargyűjtés



b.) Avargyűjtés eszközei



c.) Avargyűjtés folyamata



d.) Avargyűjtés utáni állapot



e.) Nedves avarminták súlymérés után a szárítószekrényben

5./VI. ábra. Az avargyűjtési módszer bemutatása.

A terepen gyűjtött mintákat simítózáras tasakokba gyűjtöttük, hogy a nedvességtartalmukból a gyűjtés és feldolgozás közötti időben ne veszítsenek. A feldolgozás során laborban mértük a nedves tömeget, és szárítószekrényben 105 °C-on súlyállandóságig

szárítottuk, így tudtuk meghatározni a száraztömeget és a kettő különbségeként a víztartalmat (5./VI. ábra). A természetben az általunk meghatározott abszolút száraztömeg nem található meg, csak a légszáraz állapot, szakirodalmi forrás alapján (Helvey, 1964) viszont mégis ezt a módszert alkalmazzuk, melyet indokolt a szárítás sebességének optimalizálása is. Ezt a módszert nevezem a továbbiakban avargyűjtésnek.

5.3. Az avartakaró víztartalmának kiürülése

Az avargyűjtés módszere, terepi mérés jellegéből adódóan nem nélkülözi a zavaró hatásokat, vagy nem is zavaró, de befolyásoló tényezőket. Az avargyűjtésből származó víztartalom adatok csak egy kiürülési görbe segítségével kalkulálhatók intercepció adatokká. A kiürülési görbe megrajzolásához minél több olyan terepi gyűjtésből származó avar-víztartalom adatpár szükséges, melyek között nem volt csapadékesemény. Mivel ez még hosszabb adatsor esetén is viszonylag ritka, ezért megkíséreltük laboratóriumi körülmények között szimulálni a kiürülés folyamatát.

A kísérlet során állományonként tíz zavartalan mintát vettünk, melyből öt csak avart, öt pedig avar és alatta elhelyezkedő humusz együttesét tartalmazta. (5./VII. ábra) Ezeket a zavartalan mintákat 8 centiméter átmérőjű fém hengerrel vettük, melynek aljára sűrű műanyag szövet került a humuszos minta, és szűnyogháló a csak avart tartalmazó minta esetében.



5./VII. ábra. Zavartalan minta.

A mintákat patakmederből származó négy centiméter vastag durva homokágyra fektettük (1. melléklet), ládába helyeztük (fafajonként külön ládába), melynek enyhe lejtést adtunk, hogy a felesleges víz eltávozhasson. A láda alsó részét ezért kifűrtük, műanyagcsövet rögzítettünk hozzá, és az esetleges dugulás, vagy hordalék-eltávozás megakadályozására szűrőt illesztettünk elé. A minták környezetébe avart helyeztünk a minták magasságának megfelelően (5./VIII. ábra).

A mintákat fél órán keresztül locsolva (közelítőleg 0,33 l/perc intenzitással) telítettük, miközben a felesleges víz homok alóli elszivárgását biztosítottuk. A víz avarszint alá csökkenése után tömegméréseket végeztünk napi három alkalommal: reggel nyolc órakor, délben, és délután négy órakor.

A tömegméréseken kívül talaj- és avarhőmérséklet, valamint avar fölötti (mindhárom láda esetében), és egy méteres magasságban páratartalom-, és hőmérséklet-méréssel egészítettük ki.



5./VIII. ábra. A beállított laborkísérlet.

A kísérletet téli és nyári körülményeket szimulálva is elvégeztük. Téli körülmények között az átlaghőmérséklet 10 °C volt (4 °C és 12 °C szélsőértékek között), a nyári kiürülés-vizsgálat átlagosan 21 °C-os környezetben zajlott (25 °C maximum és 18 °C minimum között).

A kísérlet végén megmértük a száraztömegeket, melyek segítségével a víztartalmak, ezáltal a kiürülési görbék meghatározhatóvá váltak.

Kiürülési görbéket készítettünk terepi mérések adataiból is, mind az avargyűjtés, mind a (későbbiekben ismertetett) „keretes” mérések adataiból.

5. 4. Avaralkotók elemzése

Amint az az avar-mintavételek során már tárgyalásra került, az avar különböző részekből áll. Szakirodalmi adatok alapján, ahol a $\frac{1}{4}$ inch-nél (0,634 cm) vastagabb ágakat nem vették mintához tartozónak (Helvey, 1964), jelen vizsgálatban közelítőleg az egy centiméternél vastagabb gallyakat nem tekintjük avarhoz tartozónak. Mégis megfogalmazódott a kérdés, hogy vajon ez a helyes eljárás-e, vagyis milyen tulajdonságokkal rendelkeznek a fizikailag az avarhoz tartozó elemek. Erre végeztünk egy „szétválasztásos” vizsgálatot, vagyis a szokásos avar-mintavételhez hasonlóan bázisvonal mentén, állományonként tíz-tíz 38-38 cm-es mintát vettünk, azzal a különbséggel, hogy az adott területről minden növényi részt (gallyat, zöld növényt, avart, termést) összegyűjtöttünk. Ezeket a mintákat laborban szétválogattuk a fenti felsorolás szerint, azzal a kiegészítéssel, hogy a gallyakat két részre bontottuk, aszerint, hogy „rendesen” belekerült volna-e a mintába, vagy nem, vagyis egy centiméternél vastagabb, vagy vékonyabb. Tömegmérés utáni szárítással a száraztömeg ugyancsak meghatározható, s így a víztartalom is. Ezt a szétválasztást két állomány (bükk, és tölgy) esetében tettük meg.

5. 5. Az avar tömegének és víztartalmának területi változékonysága

5. 5. 1. Területi változékonyság a környező fák függvényében

A kezdeti szükséges mintaszám-vizsgálatok és később a nagyobb adatsor elemzése, szórása, valamint a terepi mintagyűjtés tapasztalatai egyaránt rámutattak arra, hogy szükséges a területi változékonyság felvételezése, mérése is. Ha van szisztematikus oka a területi egyenetlenségnek, a száraz avar-mennyiség, és/vagy a víztartalom szempontjából, ennek felderítésével javítható a mintavételi helyek kiválasztásának módszere, így az eredmények értékelhetősége.

Másik fontos kérdés, hogy az avarintercepció meghatározásánál az állományi csapadéknak elegendő-e a koronán áthulló részét használni a számításokhoz, vagy a törzsön lefolyó vízmennyiség is jelentős mértékben hat a víztartalomra, mely kérdés eldöntésében vannak nézeteltérések a kutatók között. Ha a fák törzsének környezetében az avar víztartalma következetesen nem magasabb a törzstől távolabbi mintákénál, akkor igazat adhatunk annak a véleménynek, miszerint a törzsön lefolyó csapadékmennyiség anélkül szivárog a talajba, hogy az az avar víztartalmát jelentősen növelné.

Ha az áthulló csapadékot vesszük figyelembe, annak záródásból adódó területi változékonyságával is számolni kell. A nagyobb záródású lombozaton keresztül kevesebb csapadék jut át, míg a lombkoronák között a csapadék akadálytalanul átesik. Mégsem lehet egyértelmű következtetést levonni a lombozat függőleges vetítésével az avarvíztartalom alakulását illetően, mivel a szél módosító hatása is befolyásolja azt, részben a csapadék beesési szögének befolyásolásával.

Tovább növeli az avarvíztartalom mozaikosságát a beeső napfény, mely foltokban szárítja az avar a lombkorona és a beesési szög függvényében.

A szárazavar-tartalom szempontjából kissé más a helyzet, hiszen a terepi adatgyűjtés során a lucos állományban néhány esetben megfigyelhető volt, hogy a törzs környezetében az avarmennyiség szemmel láthatóan nagyobb volt a távolabbi helyekhez viszonyítva. A többi állományban nem volt ilyen szembetűnő ez a körülmény, inkább a szél útjában álló nagyobb akadály fogta meg az avar, valamint a vad túrta egyenetlenre az avarszőnyegét.

A probléma feltérképezésére 2005. 04. 26.-tól kezdve három mintavétel alkalmával feljegyzésre került a bázisvonalakhoz képest kb. 2 m távolságon belüli fák helyzete, mellmagassági átmérője. A mellmagassági átmérő mérését azért tartottuk szükségesnek, mert a lombkorona méretével szoros összefüggést mutat (Fekete, 1949).

5. 5. 2. Területi változékonyság mintaszám-próbákkal

Az avargyűjtés eredményeinek kezdeti feldolgozásai rámutattak arra, hogy a tervezett mintanagyság és mintaszám nem minden esetben szolgáltat elfogadható hibaszázalékot a víztartalom szempontjából, mivel az avarnak nagy a területi változékonysága. Ezért szükségesnek látszott a mintaszám növelésével lehetőséget teremteni a megfelelő statisztikai elemzések elvégzésére.

Ezt az avargyűjtésnél leírtak szerint végeztük 40 darab minta gyűjtésével, mindhárom állományban. Mivel az összehasonlítás így tehető meg teljes mértékben, ezért került sor erre a 120 (állományonként negyven) mintából álló mintavételre 2004. október 11.-én.

A minták gyűjtése és feldolgozása a korábban leírtaknak megfelelően történt, vagyis szintvonal irányú bázisvonal mentén méterenként, majd az emelkedés irányában felfelé jelölve ki az újabb bázisvonalakat, az előző mintavételi helyeket nem érintve, zavartalan helyen. Az avar simítózáras tasakokban szállítva a mérés és szárítás helyére.

5. 6. Az avar éves tömegdinamikájának meghatározási módszerei

Az 5. 7. fejezetben bemutatásra kerülő „keretekkel” történő mérés nem mutatja az avar-tömeg éven belüli változását, mely befolyásolja az avar víztartó képességét. Az avarhullás dinamikáját követendő az egyetem Termőhelyismerettani Tanszéke által kihelyezett hálókából történt avargyűjtés (5./IX. ábra). Az adatgyűjtés 2005. szeptember 28-án a hálók ürítésével kezdődött, majd rendszerint heti gyakorisággal történt a kigyűjtés 2005. 10. 05. – 2005. 11. 10. között. A hálók száma minden kertben más: tölgyesben nyolc, bükkösben tíz, míg a lucosban öt, egyenként 1 m²-es keretre varrt szúnyogháló, mely a talajtól szintén kertenként eltérő távolságban található (5-40 cm), de minden esetben elválik attól.

A lucosban kisebb jelentőségű ez a mérés abból a szempontból, hogy a levélhullás éven belül egyenletesebb, inkább a szél erőssége van rá hatással. A szúnyogháló a luc esetében nem tökéletes választás, mert a túlevelek egy része a szúnyoghálón áthullik. Ez a probléma a későbbi „keretes” tömegmérésnél azért nem áll fenn, mert a talajjal való folyamatos kapcsolattartás miatt nem szárad úgy ki, hogy jelentősen kipereghessen, másrészt a talajról felszedett avarszőnyeg többé-kevésbé a bomlottabb részek miatt összeállt. Az őszi lombhullást jól reprezentálta ez a mérés.

A tömegdinamika leírása megkísérelhető még az avargyűjtés száraztömeg adatainak felhasználásával is, amelyek nem csak a bevételi oldalt mutatják, hanem az avarhullás avarbomlással csökkentett együttes értékét.



5./IX. ábra. A hulló avar gyűjtésére szolgáló hálók a lucos intercepciós kertben.

5. 7. A „keretes” tömegmérés jellemzése

Szükség volt egy olyan módszer alkalmazására, mely azonos területeken, azonos avarmennyiséggel, a mintavevő személy szubjektivitásának kiküszöbölésével gyűjt adatokat. A módszer lényege, hogy állományonként tíz-tíz darab 50 cm·50 cm-es (0,25 m²) keret került kihelyezésre, szintvonalon és lejtőirányban (5-5 db), melyekbe a kiválasztott azonos nagyságú területről származó, minél kevésbé bolygatott avar került.

A mérés megkezdése előtt a terepen egy-két hétig nem kerültek lezárásra a keretek (5./X. ábra), hogy az eső hatására kissé összerendeződjenek, és a környezethez idomuljanak az avarlevelek. Ezek a keretek minden oldalról (felülről is) szúnyoghálóval borítottak (5./XI. ábra), hogy semmilyen rovar, csiga stb. mozgása ne zavarja a mérést. A hozzá hulló avar is némi hatást gyakorolna az adatsorra, de ez a megoldás ezt is kiküszöböli. (Az avar éves dinamikájáról viszont így nem kaphatunk képet, sőt a bomlási folyamatok a mérés hibáját növelik.) Természetesen így ez az adatsor sem adja vissza a valódi idősor-szerűséget, hiszen az avarintercepció mértékét az avartömeg jelentősen befolyásolja.



5./X. ábra. Keretek telepítése a tölgyes intercepciós kertben (lezárás előtt).



5./XI. ábra. „Keretes” mérés a tölgyes intercepciós kertben.

Ennek a mérési módszernek a hibáját részben a szúnyogháló rácsaiban megmaradó vízmennyiség okozza, másrészt a csapadékesemény alatt a felső borításon szétfröccsenő esőcseppek által előidézett veszteség.

A tömegméréshez UWE HS-7500 típusú horogmérleget használtunk. A keretek a vizsgálat időszakában jelentősen nem amortizálódtak, jellemzően csak a telepítéskor, és a leszereléskor igényeltek a méréseken kívüli beavatkozást.

A vizsgálat végén az egyes keretekben lévő avart kiszárítva számítható az avar víztartalma az egyes időpontokban. A „keretes” adatgyűjtés igen fontos jellemzője, hogy a méréseket a kezdeti „kísérleti szakasz” után napi gyakorisággal (munkanapokon) végezte Tanszékünk terepi észlelő munkatársa, Csikós Jenő. A mérések jellemzően májustól november-decemberig tartottak:

2005.07.15.-2005.11.18.

2006.05.05.-2006.12.14.

2007.05.10.-2007.12.14.

2008.05.28.-2008.08.29.

A lucos intercepciós kertben csak az első évben folyhatott adatgyűjtés az állomány letermelése miatt.

5. 8. A megelőző csapadék-index meghatározásának módszere

Az avarintercepció meghatározása azért nehéz, mert az avarnak általában van valamekkora megelőző víztartalma, ami a maximális tározási kapacitás értékét az adott pillanatban csökkenti. A mérések és a csapadékesemény időpontja között szintén van egy időtartam, amikor az avar párolog, ennek mérése általában nem történik meg (egy automata tömegmérő műszer adhatna erről pontosabb képet). Az adott napi csapadék és az avar tömegváltozása közötti közvetlen kapcsolat keresése az előbbieket miatt nem vezethet eredményre.

A megelőző víztartalom becslésére a megelőző csapadékindex (API) jó megoldás lehetne (a lefolyás-modellezésben is ezt használják), ezért ennek vizsgálatát is elvégeztük. Az API lényege, hogy nem egy napi csapadékot vesz figyelembe, hanem több napi csapadék jelenik meg az értékében. A számításnál csökkenő súllyal veszi figyelembe a megelőző

csapadékokat az eltelt idő függvényében. Ezek a súlyok lehetnek lineárisak (Kontur et al., 2001), vagy a valódi kiürülési folyamatot figyelembe vevők (mérések alapján, ha rendelkezésre állnak) (Jakeman – Hornberger, 1993).

Kontur-Koris-Winter (2001) szerzőhármás az árvízi lefolyás számítása kapcsán a felszín víztartalmának meghatározásához hazai kisvízgyűjtőkön a 20 napos megelőző csapadékindexet javasolja, melynek kifejezése:

$$API_{20} = \sum_{i=1}^{20} a_i \cdot p_i = 1,00 \cdot p_1 + 0,95 \cdot p_2 + 0,90 \cdot p_3 + 0,85 \cdot p_4 + \dots$$

$$\dots + 0,15 \cdot p_{18} + 0,10 \cdot p_{19} + 0,05 \cdot p_{20}$$
(19)

Ahol p_1, p_2, \dots, p_{20} az árhullámot kiváltó csapadékokat megelőző első, második, ..., huszadik napon hullott csapadék mennyisége.

Jakeman és Hornberger (1993) modellje alapján – amely a csapadékon kívül a csapadékesemények közötti száraz időszak hőmérsékletfüggő kiürülését is figyelembe veszi – a megelőző csapadék:

$$API = c_n \cdot \left[p_1 + \left(1 - \frac{1}{\tau}\right) \cdot p_2 + \left(1 - \frac{1}{\tau}\right)^2 \cdot p_3 + \left(1 - \frac{1}{\tau}\right)^3 \cdot p_4 + \dots \right],$$
(20)

ahol c_n normalizáló paraméter, p_1, p_2, \dots az árhullámot kiváltó csapadékokat megelőző első, második, ... napon hullott csapadék mennyisége, az aktuális τ tartózkodási idő kiszámítása pedig a következő képlettel történik:

$$\tau_i = \tau_0 \cdot \exp[g \cdot (T_0 - T_i)], \text{ ahol } \tau \geq 1,$$
(21)

melyben g a hőmérséklet-változási faktor (mutatja, hogy τ értéke hogyan változik a hőmérséklet függvényében), τ_0 a referencia tartózkodási idő, T_0 referencia-hőmérséklet, T_i aktuális időpontokhoz tartozó hőmérséklet.

Az avar víztartalom és a megelőző csapadékindex összefüggését mindkét súlyozási módszerrel megvizsgáltuk.

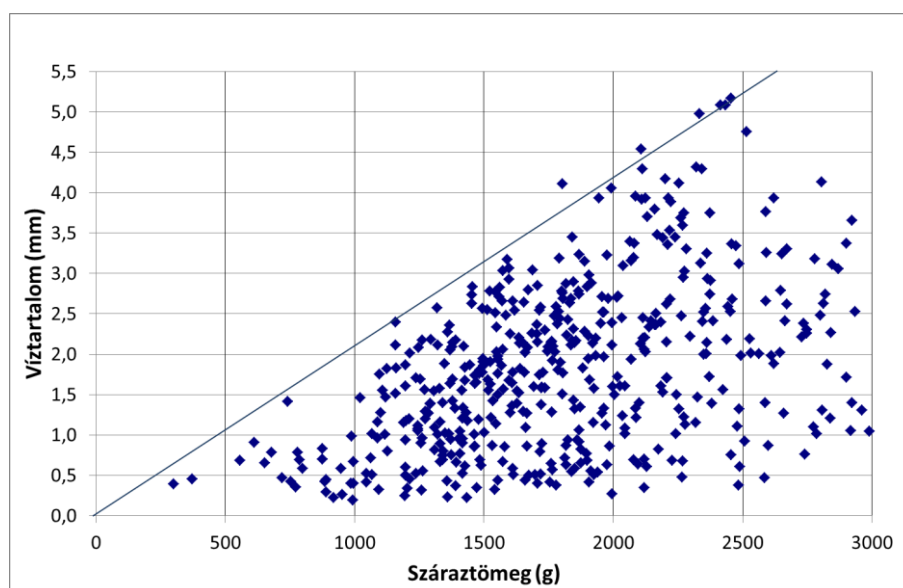
6. Eredmények

6. 1. Avargyűjtés adatainak elemzése

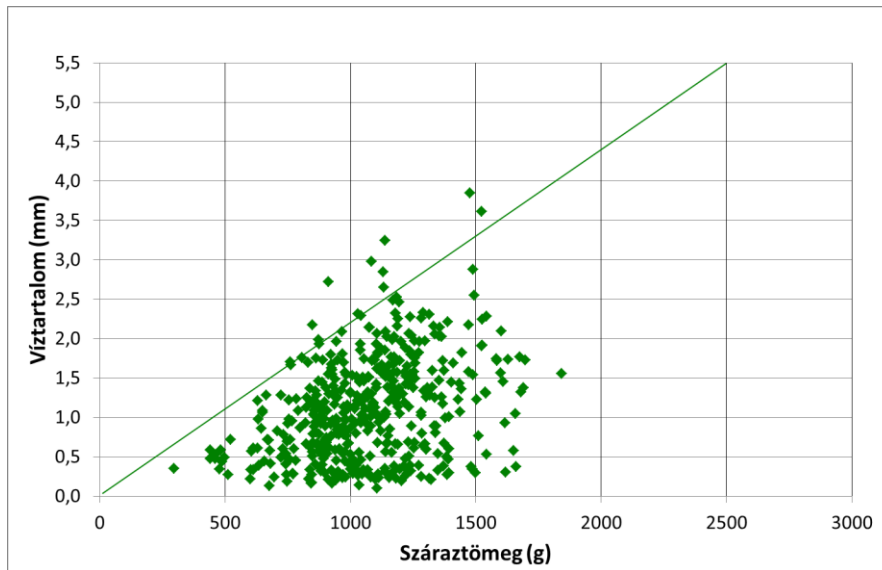
2003. szeptember és 2005. november között gyűjtött avarminták száraztömeg és víztartalom értékei láthatók a 6./I. – III. ábrán. Az állományonként átlagosan 500 adatpárt feltüntető ponthalmazok mutatják, hogy a vizsgálat két éve során jelentős eltérés volt az egyes fafajok között mind a száraztömeg, mind a víztartalom esetén. A különbség leginkább a lucos és a másik két állomány között szembetűnő, vagyis a túlevelű és lombhullató állományok között. Míg a kocsánytalan tölgy és a bükk esetén a maximálisan mért víztartalom nem haladta meg a 4 mm-t, addig a lucfenyő esetén 5-7 mm közötti vízvisszatartás is előfordult. A ponthalmazok kirajzolják azokat a vizuálisan illesztett határoló egyeneseket, melyek az adott száraz avar-tömeghez (m) tartozó maximális víztartalmat (w_{max}) mutatják.

$$w_{max} = d \cdot m \quad (22)$$

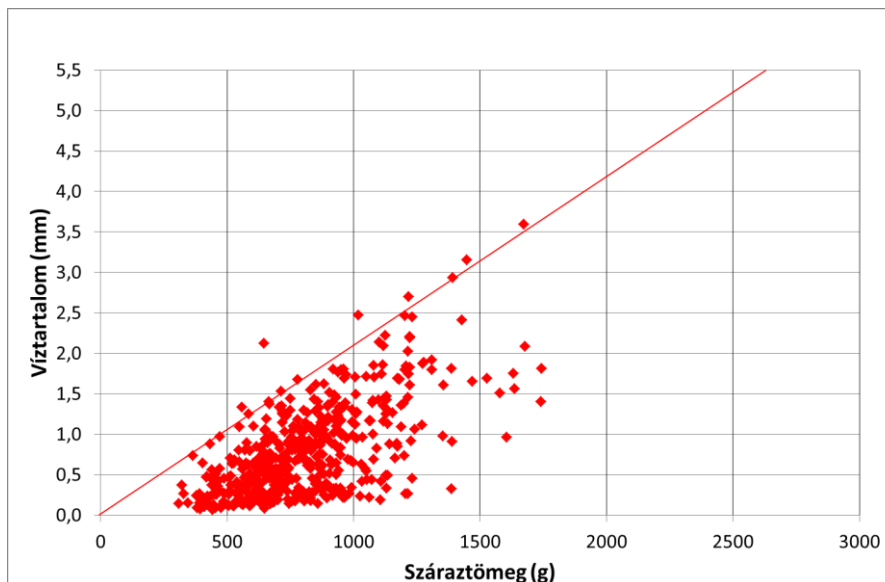
Az egyenesek meredeksége (d) hasonló: 0,0021 luc és kocsánytalan tölgy, 0,0022 bükk esetén. A szakirodalomban közölt feltevés, miszerint a túlevelek nagyobb felületük miatt több vizet képesek visszatartani, nem igazolódik az adataink szerint (elképzeltető, hogy az avar a mérések során sosem telítődött teljesen).



6./I. ábra. Lucfenyő avarminták víztartalom értékei a száraztömeg függvényében.

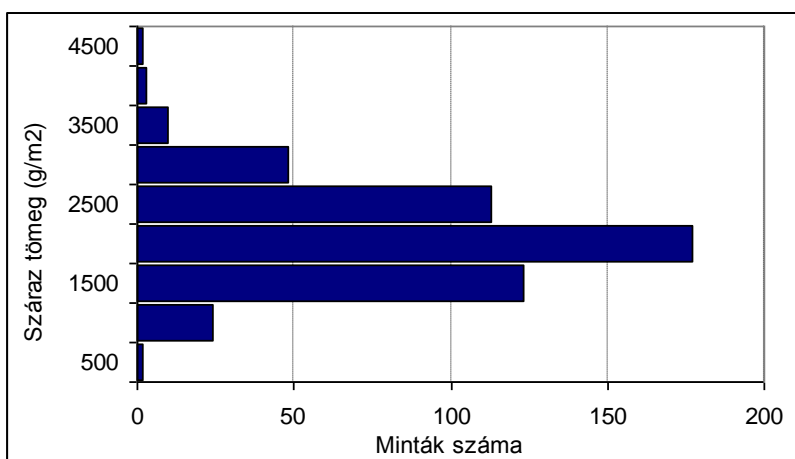


6./II. ábra. Bükk avarminták víztartalom értékei a száraztömeg függvényében.

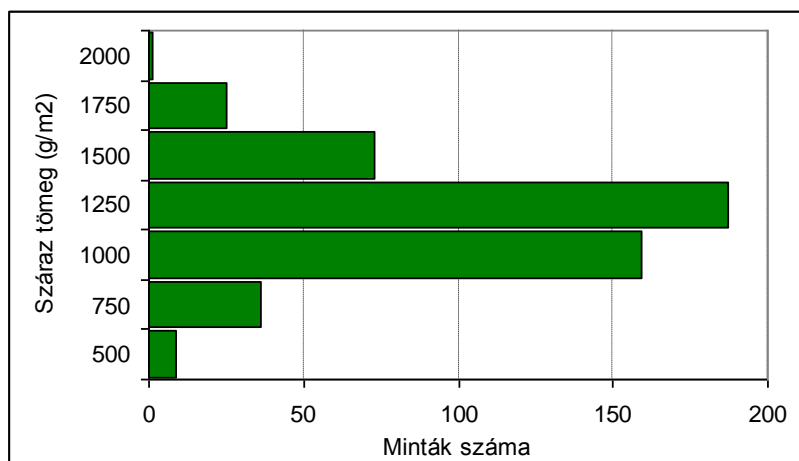


6./III. ábra. Kocsánytalan tölgy avarminták víztartalom értékei a száraztömeg függvényében.

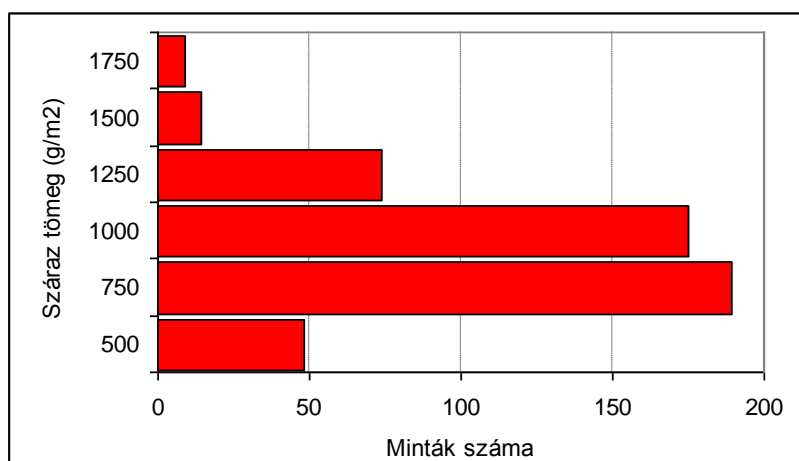
A száraztömeg tekintetében szintén a luc állományban mutatkozott a legnagyobb érték. A pontdiagramok a négyzetméterre átszámolt avartömegeket mutatják. A szintén m^2 -re átszámolt avartömegek előfordulási gyakoriságait mutatják a 6./IV.-6./VI. ábrák a 2003 – 2005. évre vonatkozóan. A lucfenyő avartömegek jellemzően $1 - 2,5 \text{ kg/m}^2$ tartományban fordultak elő, leggyakoribbak a $1,5-2 \text{ kg}$ tömegű avarminták a vizsgált állomány egy négyzetméterére vonatkozóan. Kiemelkedően nagy tömegű 4 kg/m^2 -nél nagyobb tömegű minták is előfordultak, bár kisebb számban. Ezek a minták korhadó fatörzsek, fölből kiemelkedő gyökerek mellett meggyűlő avar gyűjtéséből származtak.



6./IV. ábra. Lucfenyő avarminták szárász tömeg-értékeinek előfordulási gyakorisága.



6./V. ábra. Bükk avarminták szárász tömeg-értékeinek előfordulási gyakorisága.



6./VI. ábra. Kocsánytalan tölgy avarminták szárász tömeg-értékeinek előfordulási gyakorisága.

A bükk állományban a száraztömeg-értékeket tekintve több mint a minták harmadát magába foglalja az 1,0-1,25 kg/m² tartomány. A minták 70%-a esik a 0,75-1,25 kg/m² száraztömeg-értékek közé. A legmagasabb értékek jellemzően nem haladják meg az 1,75 kg/m²-t.

A kocsánytalan tölgy avar mintáit jellemzik a legalacsonyabb száraztömeg értékek: 0,5-1,0 kg/m². Ebbe az intervallumba tartozik a minták 70%-ot meghaladó hányada, harmada a 0,75-1,0 kg/m² tartományba. 1,75 kg/m²-t a kocsánytalan tölgy avar száraztömege sem haladja meg.

A fafajok között határozott különbség van. A legnagyobb avartömege a lucfenyőnek van a vizsgált állományokban (1,85 kg/m²). A bükk avar tömege átlagosan (1,06 kg/m²) több mint a fele a lucos állományénak. A kocsánytalan tölgy állomány rendelkezik a legkisebb száraz-avartömegeg (0,8 kg/m²).

A száraztömeg adatok és víztartalommal való összefüggésük alapján azt a következtetést tehetjük meg, hogy az egységnyi tömegre eső effektív vízvisszatartási tulajdonságukban az adataink alapján jelentős eltérés nincs a fafajok között, vagyis a maximális avar-víztartalom sokkal inkább függ a száraztömegetől, mint a fafajtól.

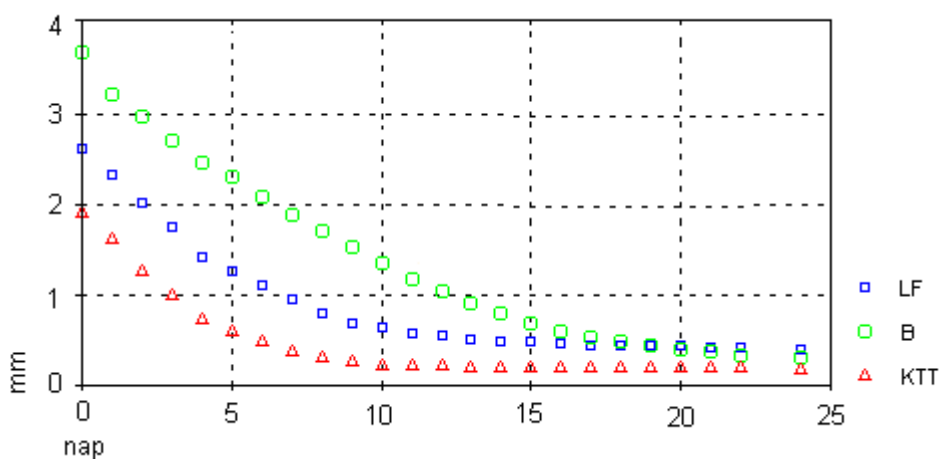
Méréseink szerint tehát egy kilogramm avar 2,1-2,2 liter csapadékot képes tárolni, ami 210-220%-os kapacitásnak felel meg. Ezt támasztja alá Helvey (1964) publikációja is, aki az avar víztartalmát, az avart elérő csapadékmennyiség függvényében közelíti, és a száraztömeg arányában maximálisan 210-215% közötti értékkel jellemzi vegyes lombhullató állomány esetén. Blow (1955) tölgyerdők avarját vizsgálva jutott arra a megállapításra, hogy az avar által felvett maximális víztartalom a száraztömeg függvényében 225%. Lowdermilk (1930) telítési kísérlettel igyekezett a víztartó kapacitást megállapítani borovi fenyő és borovi fenyő-cédrus vegyes állományban. Mérései szerint 180% az átlagos víztartó kapacitás a légszáraz állapothoz képest. Saját méréseink szerint a légszáraz és az abszolút száraz állapot között 12-14% a különbség, míg Blow (1955) ezt 35%-ra teszi. Lowdermilk publikációjában közölt értéket (180%) – légszáraz állapotból abszolút száraz állapotra átváltva – 195%-ra egészíthetjük ki saját mérési eredményeink (kb. 15%) szerint korrigálva, míg Blow (1955) közlése szerinti értéket (35%) hozzáadva 215%-nak adódik az abszolút száraz állapothoz viszonyított víztartó kapacitás. Így ez az érték alátámasztja a vizsgálati eredményeinket, azonban Lowdermilk által mért értékek jelentős szórással bírnak, főként a részben bomlott avar vizsgálatában.

Az avargyűjtés adatainak további elemzéséhez az egyazon időpontokban gyűjtött avarminták (10-10 darab) fafajonkénti átlagos értékei kerültek felhasználásra.

6. 1. 1. Kiürülési laborkísérlet

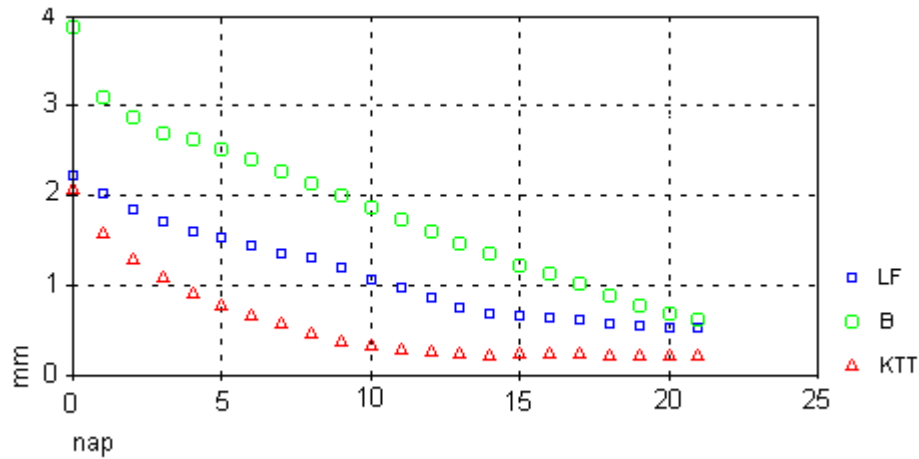
A terepi adatgyűjtés adatai általában nem csapadékeseményekhez kötöttek, így a megelőző víztartalmat és a csapadékeseményhez kapcsolódó víztartalom-növekedést az avar víztartalom kiürülési folyamatának ismeretében tudjuk meghatározni. A kiürülési folyamat a heti terepi mérésekből nem ismerhető meg, ezért laborkísérletet végeztünk a nyári és téli kiürülés leírására. Az elemzések tárgya az 5-5 fafajonkénti minta átlaga.

A laborkísérlet eredményeként elkészült a nyári és téli kiürülési görbe a három vizsgált fafaj avarját tartalmazó zavartalan minták esetén. A nyári kiürülési görbéken (6./VII. ábra) jól látható, hogy az avar víztartalmának nagy részét a kiszáradási időszak első felében 10-15 nap alatt elvesztette. A luc és a tölgy avarminták víztartalmának átlaga száraztömegre vonatkoztatva a negyedik napon 50% alá csökkent, büknél ez a 10. napon történt meg. 20 % víztartalom alá először a tölgy avarja jutott a 9. napon, majd a luc a 11. napon végül a bükk a 17. napon. A kísérlet végére (34 napos volt) csak a luc avarja érte el a 10 %-os nedvességtartalmat.



6./VII. ábra. Laborkísérlet eredménye: Nyári kiürülési görbék.

A téli kiürülési görbéken megfigyelhető (6./VIII. ábra), hogy a minták víztartalmukat később vesztik el, kevésbé intenzív a kezdeti szakasz is, mint a nyári görbéken tapasztalható. A kocsánytalan tölgy minták esetén legkisebb az eltérés a téli és nyári görbék között. A téli kiürülést szimuláló kísérlet rövidebb (22 napos) volt, mint a nyári.



6./VIII. ábra. Laborkísérlet eredménye: Téli kiürülési görbék.

A téli kiürülést tekintve a minták közül a luc és a tölgy átlagos víztartalma egyszerre az 5. napon csökkent 50% alá, a bükk a 14. napon. 20% alá a 11. napon a tölgyminták átlaga jutott, 18. napon a luc minták átlaga. A bükk 21%-on zárt a 22. napon, a luc 17%-on és a tölgy 15%-on.

A kiürülési laborkísérlet eredményei alapján becsülve a víztartó kapacitást azt tapasztaltuk, hogy legnagyobb a bükk víztartó kapacitása (a nyári minták alapján) 3,7 mm, azt követi a luc 2,6 mm-rel, majd a tölgy 1,9 mm-es értékkel.

A laborkísérlet adatai alapján három fafajra becsültük az exponenciális kiürülést alapul vevő (lineáris tározó modell) paramétereit az SPSS[©] statisztikai program segítségével:

$$w = w_{\min} + (S_a - w_{\min}) \cdot e^{(\alpha \cdot t')} \quad (23)$$

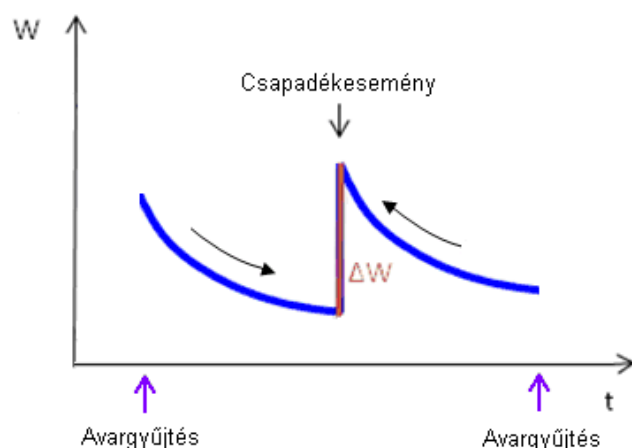
- w: avar víztartalmának aktuális értéke (mm)
- w_{\min} : minimális víztartalom (mm)
- S_a : maximális tározási kapacitás (mm)
- α : szorzó (a kiürülés rohamosságának mértéke) (1/nap)
- t' : csapadékesemény óta eltelt idő (nap).

A becslés eredményeit a 6./1. táblázat foglalja össze. A becslés determinációs együtthatói igen szoros összefüggést mutatnak. A kiürülés rohamosságának mértékét mutató oszlopban megfigyelhetőek a nyári magasabb és a téli alacsonyabb értékek, vagyis jól mutatja a nyári gyorsabb kiürülést.

6./I. táblázat. A laborkísérlet alapján becsült paraméterek és determinációs együttható értékek.

Fafaj		S_a (mm)	w_{\min} (mm)	a'	R^2
KTT	tél	2,08	0,1967	-0,248	0,996
	nyár	1,91	0,1592	-0,267	0,992
B	tél	3,88	0,1246	-0,085	0,955
	nyár	3,71	0	-0,104	0,994
LF	tél	2,23	0,0412	-0,078	0,991
	nyár	2,62	0,3485	-0,185	0,994

A felparaméterezett (23) képlet és az avargyűjtés adatai alapján számítottuk a három fafaj áthulló csapadékaihoz tartozó avarintercepció értékeit (6./IX. ábra). A csapadékesemény előtti mintavételtől a csapadékeseményig, és a csapadékesemény után a mintavételig történő víztartalom-csökkenést (6./IX. ábra kék görbéje) meghatározzuk a kiürülés képletének segítségével, és a terepi mérések víztartalom-értékeihez adva megkapjuk a csapadékesemény előtti és utáni víztartalmat. A két víztartalom érték különbségként kapjuk a víztartalom-változást (Δw), vagyis a csapadékeseményhez tartozó avarintercepció értéket.



6./IX. ábra. Az avargyűjtés adataiból történő intercepció-meghatározás segédábrája.

Az áthulló csapadék és a hozzá tartozó avarintercepció adatok alapján becsültük az avarintercepciót az állományi csapadék függvényében megadó görbét Kovács (1974) modellje alapján:

$$E_s = S_a \cdot \left(1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{Th}{S_a \cdot n} \right)^n} \right) \quad (24)$$

E_s : avarintercepció (mm)

S_a : avar maximális tározási kapacitás (mm)

Th : áthulló csapadék (mm)

n : konstans, mely a kapcsolati vonal görbültségét fejezi ki, ami több befolyásoló tényező függvénye lehet (dimenzió nélkül)

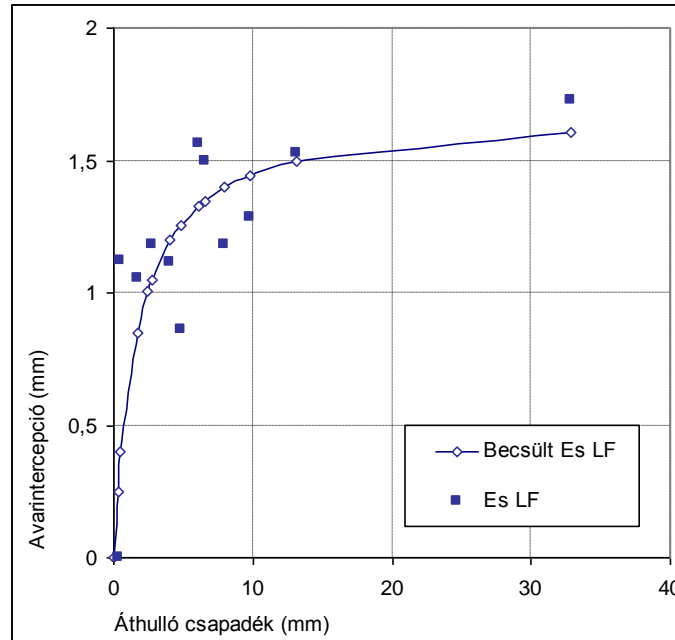
A lombkorona-intercepció és az avarintercepció jelensége közötti hasonlóságok alapján lehet megtenni, hogy a lombkorona-intercepcóra felírt képletet alkalmazzuk. Mindkettő telítődési függvény, a kezdeti nagyobb mértékű csapadék-visszatartást csökkenő tendencia követi, majd maximális tározási kapacitás elérésén túl nem képes több nedvességet visszatartani a lombkorona, illetve az avar. A két jelenség mégis különbözik egymástól, mivel az avarnak általában van valamekkora megelőző nedvességtartalma, ez az összefüggés ezt nem veszi figyelembe, ezért mutathatnak közepes összefüggést a becslés determinációs együtthatói. A csapadékkal való kapcsolatot az avarintercepció esetén az áthulló csapadék mért értékeivel képviseltettük. Az így becsült paramétereket és determinációs együtthatókat a 6./II. táblázat foglalja össze.

6./II. táblázat. Az avargyűjtés adatai alapján becsült paraméterek értékei, és determinációs együtthatói.

Fafaj	S_a (mm)	n	R^2
KTT	1,26	1,000	0,464
B	1,31	1,000	0,559
LF	1,68	1,040	0,556

A becslés eredményeiként kapott paraméterek értékei is mutatják a tölgy legkisebb víztartó kapacitását, de ez esetben alacsonyabb értékeket mutat, mint a laborkísérlet adatai, melynek oka lehet az, hogy a kiürülési görbék csak abban a laborkörnyezetben érvényesek maradéktalanul, ahol voltak. Más hőmérséklet és páratartalom máshogy érvényesíti a paraméterek értékeit. A becsléshez felhasznált intercepció-adatok a kiürülési görbék segítségével becsült értékek.

Az n értékeit tekintve láthatjuk, hogy egy körüli értéket vett fel mindhárom esetben, ami a fenti Kovács-féle képletet a Weiche-függvénnyé egyszerűsíti. Az R^2 értékei közepes összefüggést mutatnak, melynek oka lehet, hogy a képlet nem veszi figyelembe az aktuális víztartalmat, ami az adott időpont maximális tározási kapacitás értékét csökkenti.



6./X. ábra. Az avargyűjtés adatai alapján számított és a függvénnyel becsült intercepció értékei LF esetén.

A 6./X. ábra mutatja a lucfenyő avarintercepció adatait, és a becsült intercepció értékeit. A kiürülési laborkísérlet és a terepi adatok elemzéséhez az SPSS[©] statisztikai program nyújtott lehetőséget.

6. 1. 2. Avaralkotók vizsgálata

Az avaralkotók szétválasztásával az a kérdés vált világosabbá, hogy a mérési módszer mennyi hibával terhelt, és hogy az egyes elemek adott területen mennyiben járulnak hozzá a vízvisszatartáshoz.

Jelen vizsgálat, melynek eredményeit elemeztük, 2004. 11. 04-én történt, viszonylag magas víztartalom mellett (KTT: 1,4 mm, B: 3,09 mm), így ezek a közlések ennek tükrében értelmezendők.

Ha úgy definiáljuk az avar fogalmát, hogy csak a lehullott leveleket tekintjük avarnak (sem a gallyakat, sem a terméseket stb. nem vesszük avarhoz tartozónak), akkor meg kell állapítani, hogy az alkalmazott mintavételi módszer meglehetősen nagy hibával terhelt.

Számszerűsítve láthatók az eredmények a 6./III. táblázatban bükk állomány esetén. A táblázat 5. oszlopa (számadatok 4. oszlopa) úgy értelmezendő, hogy ha az avar mellé a sorban szereplő avarszint-alkotót is hozzágyűjtenénk, akkor mennyivel térne el az így nyert új minta víztartalma a csak avarleveleket tartalmazó mintáétól (%-ban kifejezve).

6./III. táblázat. Bükk avaralkotók tömeg és víztartalom-értékei, és befolyásoló hatásuk 1 m²-re vetítve. (*M: nedves avar tömeg; m: absz. száraz avar tömeg*)

Avaralkotók	M (g/m ²)	m (g/m ²)	w%	w% _{avar+sorbeli elem} és w% _{avar} eltérése %-ban	szárastömeg _{avar+sorbeli elem} és a szárastömeg _{avar} eltérése %-ban
zöld növény	4,32	1,37	215,15	0,01	0,14
vékony gallyak d < 1 cm	708,71	254,99	177,94	-5,61	25,70
vastag gallyak d > 1 cm	644,83	267,66	140,92	-13,70	26,97
Termés	274,36	58,73	367,14	9,04	5,92
Gomba	4,10	0,46	783,58	0,27	0,05
Avar	3030,57	992,33	205,40	—	—

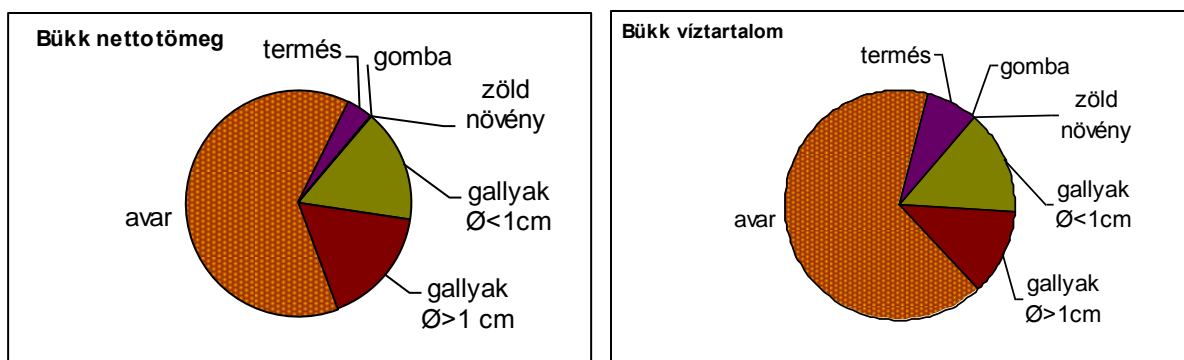
Az 5. számoszlop azt mutatja meg, hogy ha az avarlevelek szárastömegét tekintjük 100 %-nak, akkor mennyivel térne el a kapott eredmény a sorbéli avaralkotót is a mintába szedve (%). A víztartalom szempontjából a legkisebb eltérést a zöld növények esetében tapasztaltuk (205 %-os avarvíztartalom esetében), ahol a hiba egy százalék alatti, tehát még laboratóriumi körülmények között is kiválóan mondható. Emellett a zöld növények tömegaránya is kicsi ebben az állományban (és ebben az aspektusban).

Az elemzésbe belevettünk egy „gomba” kategóriát is (termőtest), mivel az is az avarszinthez tartozik, bár jelenléte esetlegesebb, mint a többi alkotóé, de az esős idő az, ami előfordulási valószínűségét fokozza, ezért érdemes méréseink kapcsán említést tenni róla. Mint látható szárastömege elenyésző ebben az időpontban, kisebb, mint a lágyszárúaké, és nedvességtartalma sem éri el az egy százalékot az avarszint egészéhez képest, mégis magas víztartalma (784 %) miatt csoportos előfordulása jelentősen módosítaná a mintavétel eredményét.

Fontos kiemelni a terméseket is, ugyanis víztartalom-módosító hatása ennek a kategóriának 9 százalék, tömegmódosító hatása kisebb, hat százalék körüli.

A gallyak tömegaránya nagy, mindkét (mesterséges) kategória több mint 25 %-os szárastömeg-módosító hatással bír. A vékony ágak valamivel kisebb tömeggel járulnak hozzá a terület szárastömegéhez, mint a vastagabb gallyak, víztartalom-módosító hatásuk kisebb (kevesebb, mint fele), mint a vastag faágaknak, vagyis nedvesség-tartalmuk jobban közelíti az avarét. Az 1 cm-nél vékonyabb gallyak kategória megtalálható a mintáinkban éppúgy, mint a

termések, melyek szétválasztása terepen gyakorlatilag lehetetlen, így ezek víztartalom, és száraztömeg – módosító hatásával számolni kell. A két kategória együtt a száraztömeg 30 %-os, a víztartalom 33 %-os növekedését eredményezték a vizsgálat időpontjában, ami 0,7 mm-t jelent. Az össz-száraztömeg és a teljes víztartalom függvényében szemléletesen jeleníti meg az avaralkotók részesedését a 6./XI. ábra.



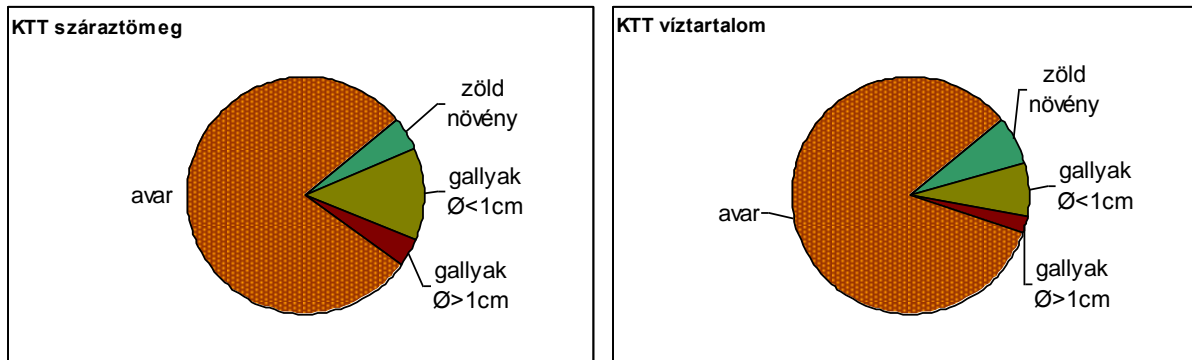
6./XI. ábra. Az egyes avaralkotók részesedése a teljes (minden avaralkotót tartalmazó) száraztömegből, és víztartalomból bükk esetén.

A vizsgálat eredményeit a kocsánytalan tölgy esetében a 6./IV. táblázatban foglaltuk össze, és a 6./XII. ábra szemlélteti. A kocsánytalan tölgy állománynál csak három kategória szerepel. Fiatal állományról van szó, így a termések jelenléte nem jellemző. Az állományszerkezetből adódóan az aljnövényzet jelentősebb, mint a másik vizsgált állományban. Míg a bükknél 1 % alatti módosító hatásról beszélünk a víztartalom, illetve a száraztömeg tekintetében, addig a tölgnél 3-6 % (0,09 mm) körüli ezek értéke (180 % körüli avarvíztartalom mellett). A bükk állományhoz képest a tölgnél a gallyak szerepe kisebb, és nem mutatkozik olyan nagy eltérés a vékony és vastag gallyak között a víztartalom tekintetében: mindegyik közel 90 %-os.

6./IV. táblázat. KTT avaralkotók tömeg és víztartalom-értékei, és befolyásoló hatásuk (1 m²). (M: nedves avartömeg; m: absz. száraz avartömeg)

	M (g/m ²)	m (g/m ²)	w%	w% _{avar} és w% _{avar+sorbeli elem} eltérése	a száraztömeg _{avar} és száraztömeg _{avar+sorbeli elem} eltérése %-ban
zöld növény	133,98	42,06	218,56	2,83	6,02
vékony gallyak d < 1 cm	215,94	111,39	93,86	-10,29	15,93
vastag gallyak d > 1 cm	66,66	35,06	90,14	-3,75	5,01
Avar	1878,73	699,16	168,71	—	—

A vastag faágak száraztömeg mennyisége kevesebb, mint harmada a vékonyénak, míg büknél közel azonos volt. A kis tömegaránynak köszönhető, hogy a vastag ágak itt fele akkora módosító hatással bírnak, mint a vékony fák, míg a büknél a vastag gallyak víztartalom-módosító hatása volt nagyobb.



6./XII. ábra. Az egyes avaralkotók részesedése a teljes (minden avaralkotót tartalmazó) száraztömegből, és víztartalomból kocsánytalan tölgy esetén.

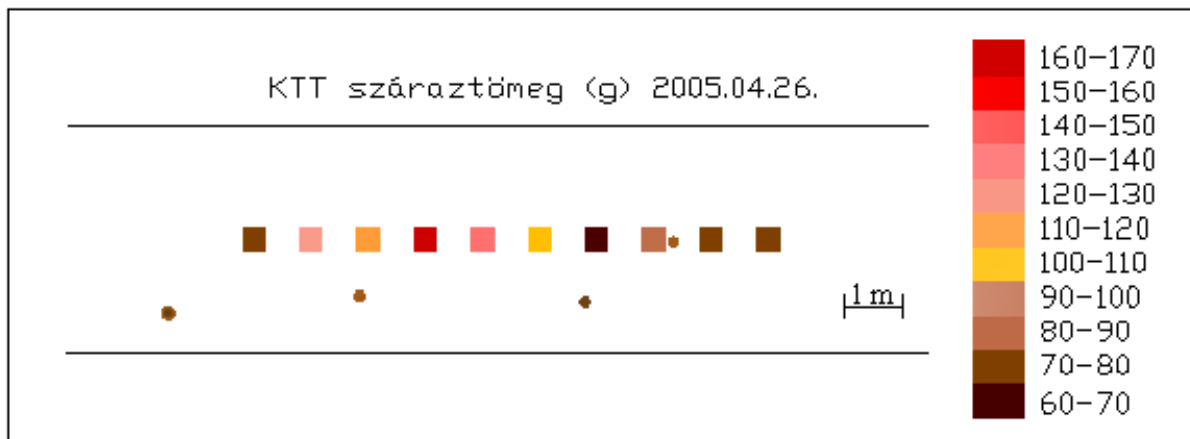
Ezen eredmények tükrében azonban meg kell jegyezni, hogy mivel a víztartó képesség egyik esetben sem jelent mást, mint a csapadék egyfajta hasznosulása, valamint egy árvízi modellezés esetén mindegy, hogy melyik alkotó fogja fel a vizet, sokkal fontosabb az, hogy egy meghatározott terület, meghatározott állománnyal mennyi vizet tart vissza, érdekes, de nem szükséges a „tisztá” avar víztartó képességét tekinteni kizárólagos meghatározandó feladatnak. A méréseink alkalmával a kivitelezhetőség egyik feltétele a gyorsaság, ezért a kisebb terjedelemmel bíró részek szétválasztása nem lehetséges, viszont a vastagabb ágak a minták jelentősen nagyobb szórását eredményeznék kevésbé egyenletes területi előfordulásuk miatt, ami az adatok értékelhetetlenségét jelentené az alkalmazott módszer esetén. Az élő növények laborban meghatározott nedvességtartalmuk egy részével nem a csapadékonkénti vízvisszatartásban játszanak szerepet, így ezek mintába gyűjtése sem az elemzés célját segítené elő.

6. 1. 3. Avartömeg és víztartalom területi változékonysága

Területi változékonyság a környező fák függvényében

A területi változékonyság leírásának egyik módja volt a mintavételi terület és két méteres környezetének térképezése. A következőkben a speciálisabb eseteket mutató ábrák

kerülnek elemzésre. Mindegyik térképen a bázisvonal mentén gyűjtött avar a mellette feltüntetett színykulcs alapján színezve és a környező fák láthatók mellmagassági átmérő alapján méretezve. Az eltérő színykulcsot a fafajonként és időpontként az eltérő értékek indokolják. Az egységes színykulcs nem tenné lehetővé nagy terjedelmű nedvességtartalom és tömeg adatok szemléletes ábrázolását.



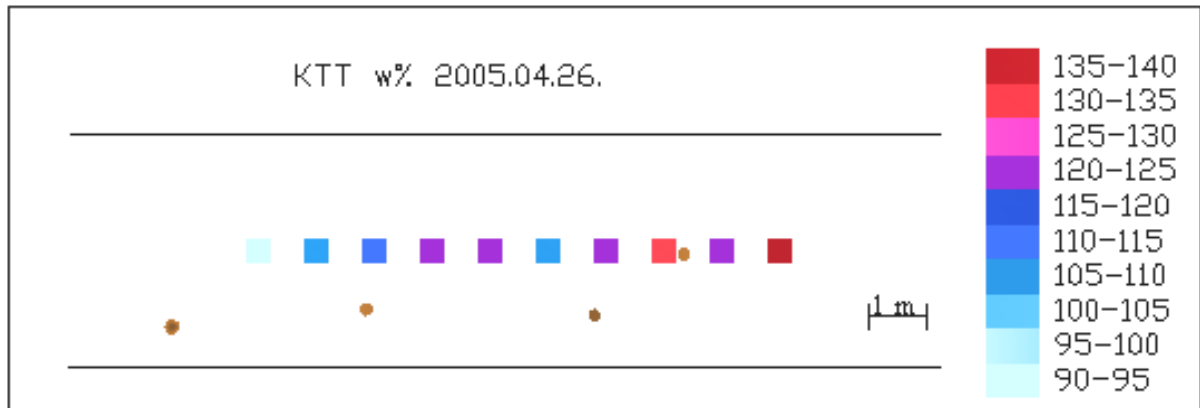
6./XIII. ábra. Kocsánytalan tölgy száraz avertömegének alakulása környezetének függvényében.

A tölgy száraztömeg adatait vizsgálva látható, hogy az egyenként 38 cm · 38 cm-es területről összegyűjtött minták között akár több mint kétszeres (majdnem háromszoros) különbség is lehet. Az is megfigyelhető, hogy nincs egyértelmű összefüggés a fák helyzete és az avar mennyiség között, hiszen a közvetlen fatörzs mellett gyűjtött avar semelyik szélsőértéket nem képviseli (6./XIII. ábra).

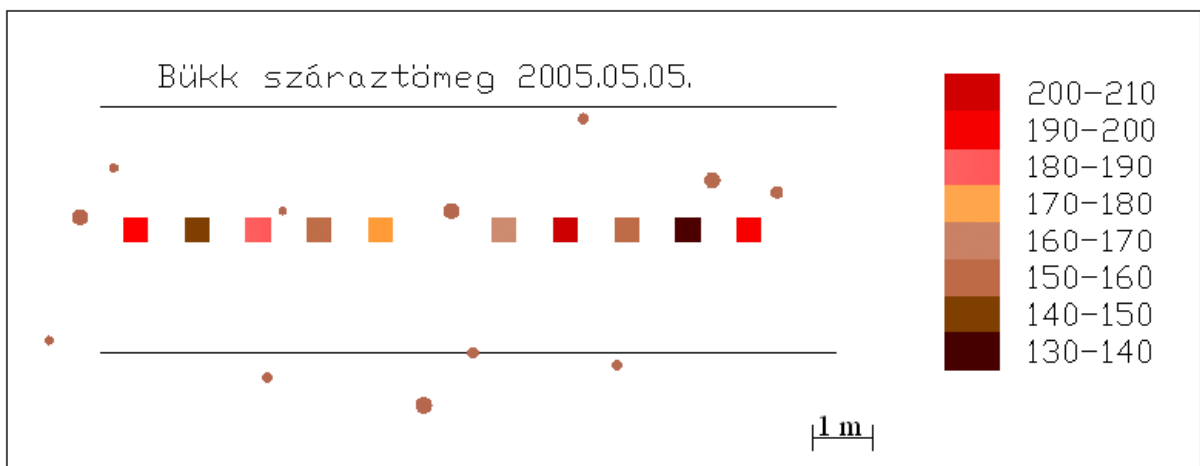
A víztartalom-értékekben (6./XIV. ábra) nem volt olyan nagy különbség az egyes minták között, itt a kétszeres víztartalom sem volt fellelhető a minták szélsőértékei között. Ez esetben sem egyértelmű a fák helyzetének szerepe, hiszen az a minta, amelyik fatörzs mellett helyezkedett el, magas víztartalmú, bár a kocsánytalan tölgy törzsi lefolyása nem jelentős. A legtöbb vizet tárolt minta környezetében nem állt fa. Azt kell gondoljuk, hogy habár a fatörzs jelenléte lehet hatással az avar víztartalmára, más körülmények hatására fellépő hasonló különbségek nem teszik indokolttá, hogy az esetre külön figyelmet kelljen fordítani a későbbi elemzések során.

A bükk száraztömeg adatait tekintve nagyobb értékek láthatók, mint a tölgy esetén, és nincs egészen kétszeres érték az egyes minták között, kisebb a minták szórása. Olyan speciális esetet nem látunk, mint a tölgnél, hiszen itt csak az egyik minta sarkánál találunk egy

vékonyabb fát. Ez a minta nem tartozik egyik szélsőséghez sem, viszont érdekes, hogy van két egymástól egy méterre lévő minta, melyek közül az egyik a legkevesebb, másik a második legtöbb avar tartalmazta. Az elemzésből jól látható az avar térbeli változatossága (6./XV. ábra).

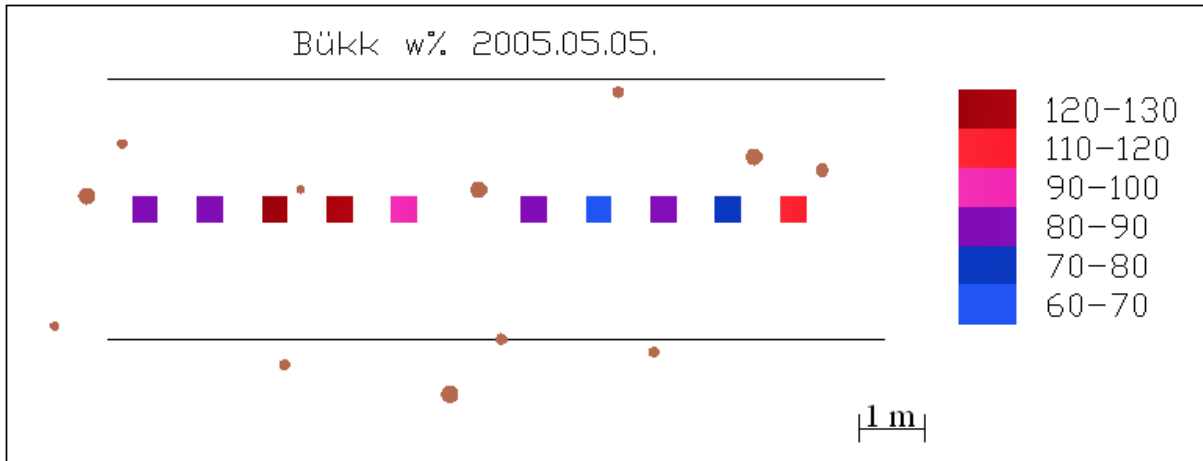


6./XIV. ábra. Kocsánytalan tölgy avar víztartalmának alakulása környezetének függvényében.

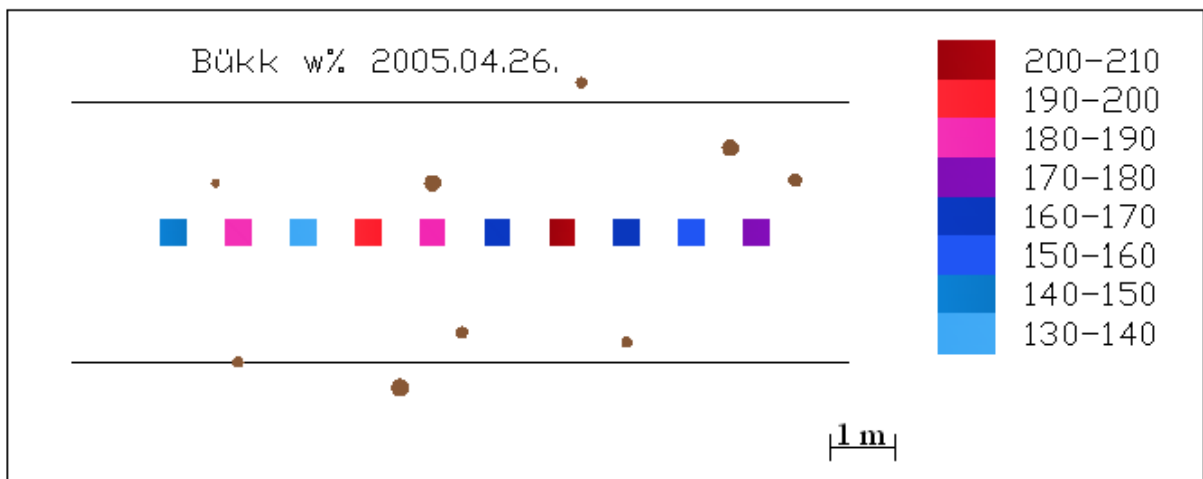


6./XV. ábra. Bükk száraz avertömeg alakulása környezetének függvényében.

A nedvességtartalmat vizsgálva a legszárazabb és legnedvesebb minta között kétszeres különbség van, és a legnagyobb víztartalom a fatörzs melletti mintát jellemzi (6./XVI. ábra). Ha a magasabb víztartalom a törzsi lefolyás következménye, akkor feltételezhetjük, hogy annak hatása 1 méternél távolabb nem tapasztalható, hiszen az egyik legkisebb víztartalmú minta helyzete ilyen.



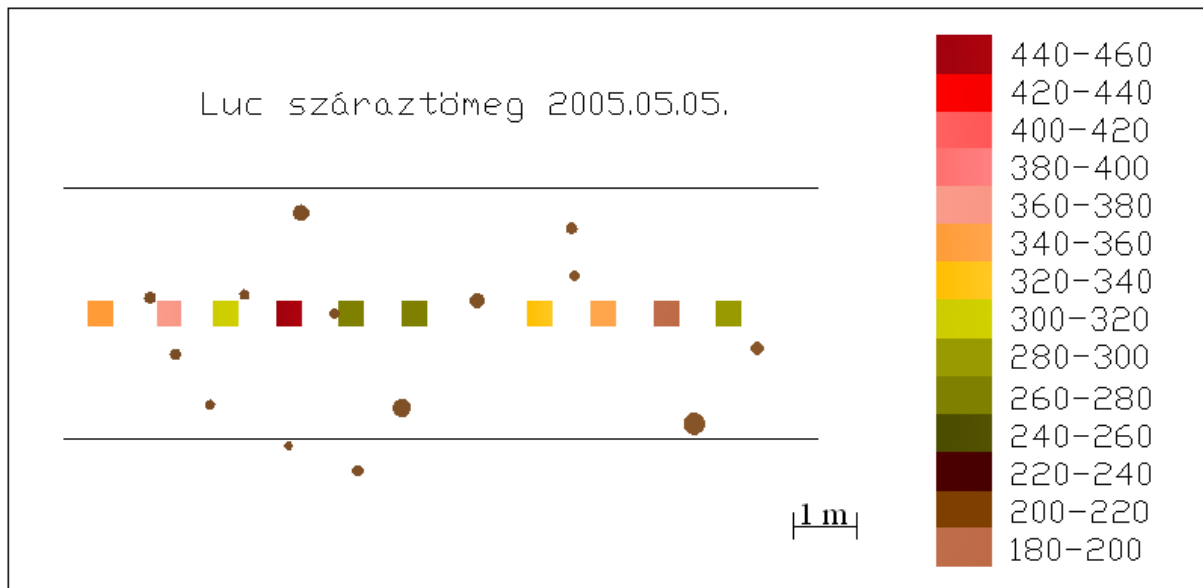
6./XVI. ábra. Bükk avar víztartalmának alakulása környezetének függvényében (2005.05.05.).



6./XVII. ábra. Bükk avar víztartalma környezetének függvényében (2005.04.26.).

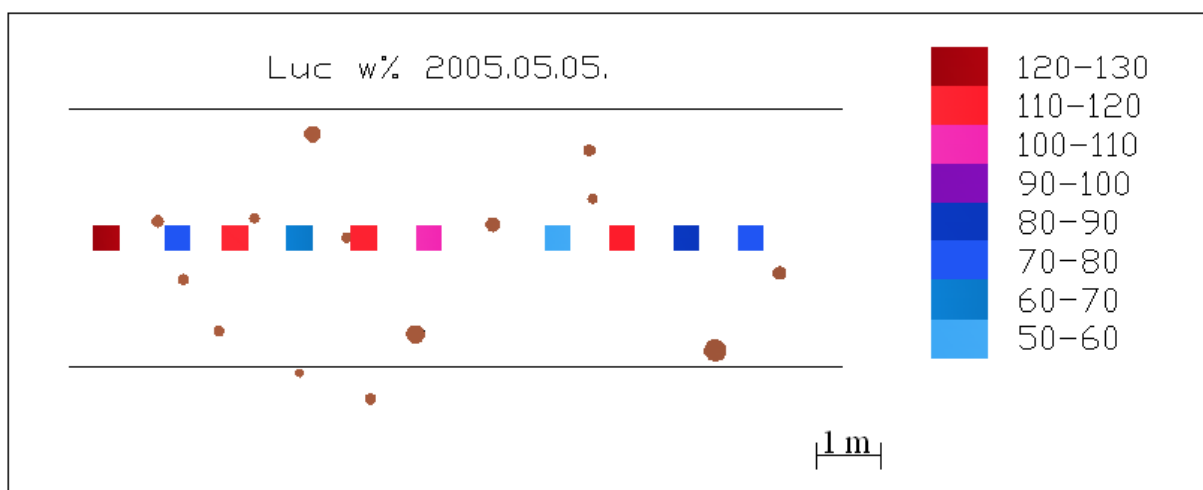
A jelenségről megbízhatóbb képet kaphatunk, ha egy további mérés térképét is megvizsgáljuk. A 2005. 04. 26.-ai mérés (6./XVII. ábra) fához legközelebbi mintája magas nedvességtartalmú ugyan, de a legtöbb vizet tartalmazó mintáétól elmarad, melynek közelében nincs fatörzs, így a tölgnél tett megállapítás, miszerint a fák helyzete nem gyakorol kiemelkedően jelentős hatást a nedvesség-tartalomra, és a száraztömegek alakulására, a bükk esetén is igaz e módszer esetén.

A lucfenyő avarjának száraztömegeit megfigyelve a nagyobb, mint kétszeres szorzó itt is megfigyelhető a legkisebb és legnagyobb tömegű minták között, és a másik két fafajhoz képest jelentősen nagyobb az avertömeg. A fák helyzete az avertömege látszólag nincs hatással, melyet három fa közvetlen közelében vett minta közepes avertömege mutat (6./XVIII. ábra).



6./XVIII. ábra. Lucfenyő száraz avertömege környezetének függvényében.

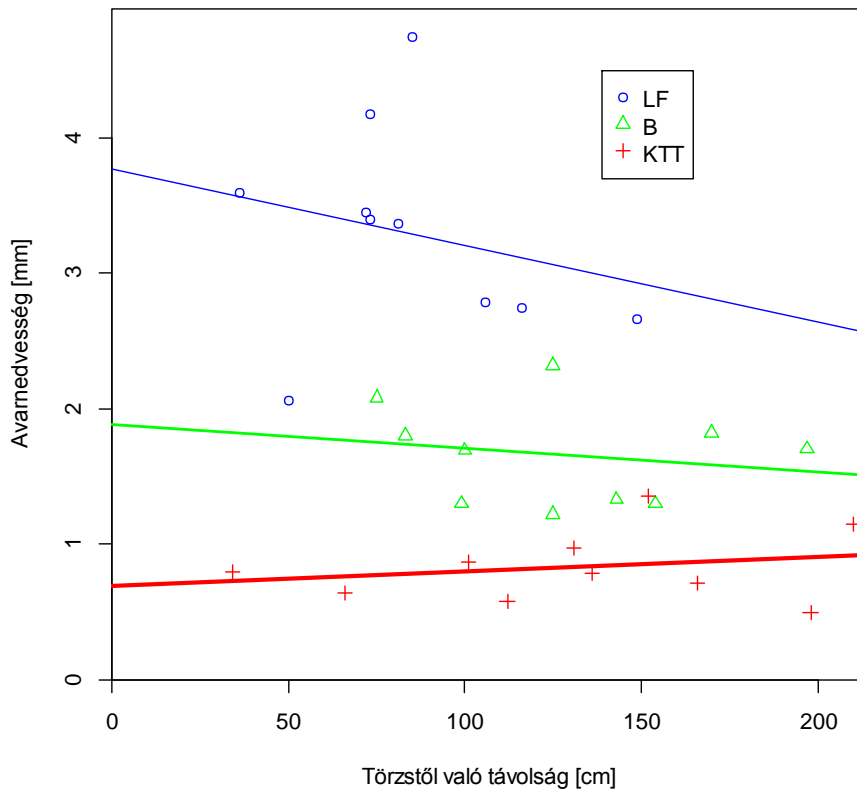
A nedvesség-értékekben itt is a kétszeres szorzó a jellemző a szélsőségek között, a kisebb-nagyobb értékek a bázisvonal mentén szinte méterenként váltják egymást. A száraztömeg mellett a víztartalom szempontjából is értékes ez a mintavételi hely, hiszen egymás melletti két minta (2.-3.) közel azonos faátmérő és távolság mellett, két határozottan eltérő nedvesség-értéket jelez (6./XIX. ábra). A lucfenyő törzsi lefolyása egyébként sem jelentős.



6./XIX. ábra. Lucfenyő avar víztartalmának alakulása környezetének függvényében.

Az eddigiekben a nedvességtartalom a száraztömeg arányában került elemzésre, ami felerősítheti vagy épp gyengítheti a törzsek hatását, ezért a minták mm-ben kifejezett

nedvességtartalmát is elemeztük. A 6./XX. ábra mutatja a minták nedvességtartalmát a legközelebbi két fatörzs távolságának függvényében (2005. 04. 26.-i mérés).



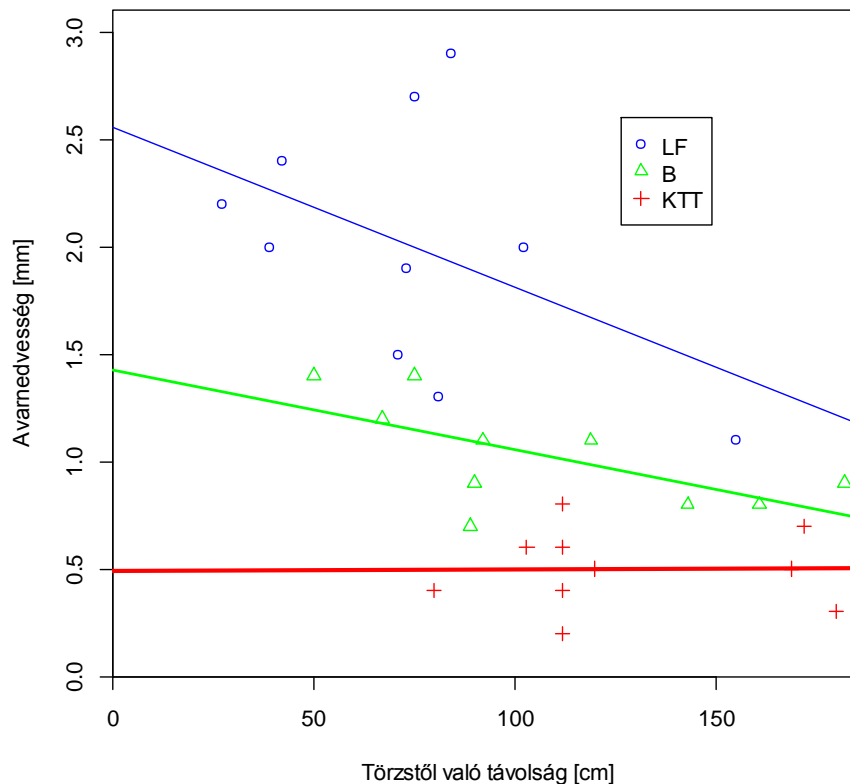
6./XX. ábra. Avarminták nedvességtartalma a legközelebbi fák távolságának függvényében (2005. 04. 26.).

Az összefüggés-vizsgálat eredményei (6./V. táblázat) alátámasztják eddigi megállapításainkat, hogy ebben az időpontban a fák távolsága és a nedvességtartalom között nincs összefüggés. Az összefüggés-vizsgálat elvégzésére az R programot használtuk.

6./V. táblázat. Összefüggés-vizsgálat R^2 - és p-értékei (2005. 04. 26.).

2005. 04. 26.	R^2	p-érték
KTT	0,048	0,5417
B	0,035	0,603
LF	0,055	0,514

A 2005. 05. 05.-én történt mérés adatai alapján (6./XXI. ábra, 6./VI. táblázat) a büknél szignifikáns gyenge összefüggés (0,4 az R^2 értéke 0,045 p-érték mellett) mutatható ki az avar nedvességtartalma és a törzstől való távolsága között. A másik két fafaj esetén nem mutatható ki az összefüggés.



6./XXI. ábra. Avarminták nedvességtartalma a legközelebbi fák távolságának függvényében (2005. 05. 05.).

6./VI. táblázat. Összefüggés-vizsgálat R^2 - és p-értékei (2005. 05. 05.).

2005.05.05.	R^2	p-érték
KTT	0,0002	0,973
B	0,4137	0,045
LF	0,2151	0,177

A büknél (a szakirodalmi adatok és az intercepciós kertben folyó mérések alapján is) a törzsi lefolyás jelentős, a másik két fafajnál kisebb mértékű. Bükk esetén érdemes lenne a kisebb mintanagyságú célzottan a fatörzstől induló keresztirányú méréssorozat elvégzése az eredmények pontosítása érdekében.

A törzsi lefolyás hatása feltehetően csak kis területen érvényesülhet. Ha a vizsgálattal érintett teljes terület – melyben a fák helyzetét rögzítettük – minimálisan 44 m^2 , akkor a törzsek körüli (feltehetően törzsi lefolyással érintett) kb. 10 cm-es körök területeinek összege nem éri el az 5%-ot a teljes terület arányában. Érdemes azonban megjegyezni, hogy a fatörzs függőleges iránytól eltérő jelentősebb görbülete nagyobb csapadék esetén a vizet nem közvetlenül a talajba vezeti, hanem a törzs magasabb részeiről közvetlenül csöpöghet az avarra.

A vizsgált három fafaj esetén nem mutattunk ki olyan eltérést, ami indokoltá tenné a fák helyzetének későbbi figyelembe vételét az avar száraztömeg-, és víztartalom értékeinek szempontjából, sem pedig a törzsi lefolyás értékeivel való számítást. A területi változékonyság kiegyenlítését a méréseinkben a minták átlagolásával kapott értékeinek alkalmazása szolgálja.

Területi változékonyság mintaszám-próbákkal

A területi változékonyság matematikai megfogalmazására elkészült egy 120 (állományonként 40-40 db) mintát felhasználó elemzés, melynek során a mintákat a mintavétel sorrendjében – tehát véletlenszerűen – csoportosított (10, 20, 40 mintából álló) egységeket elemeztünk.

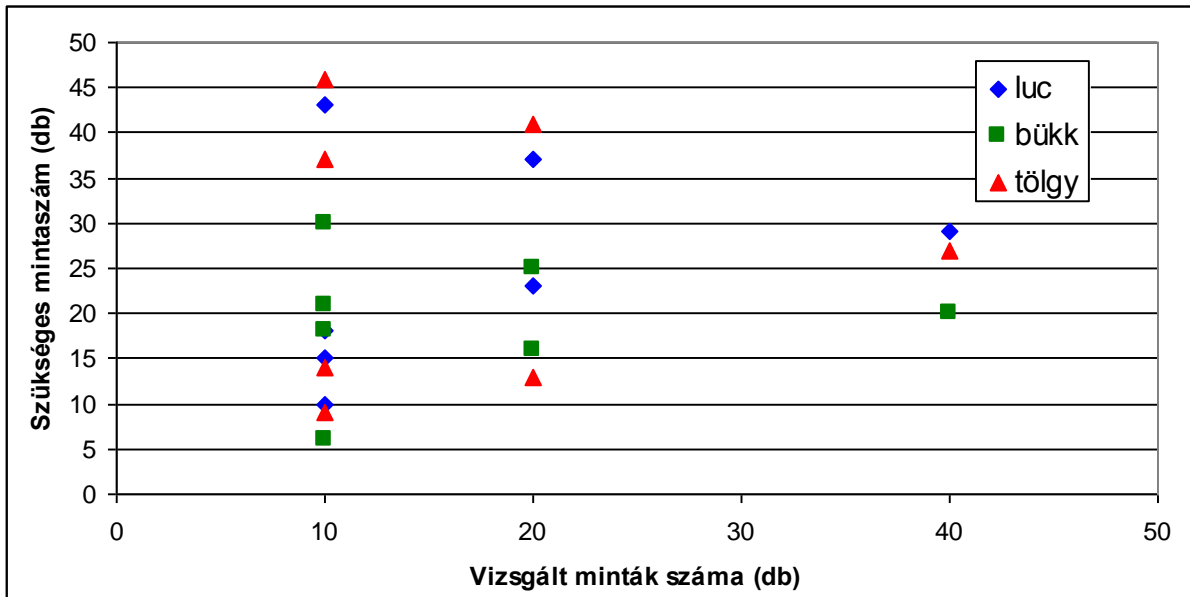
Az állományonként 40 mintát négy-négy 10 mintát tartalmazó csoportra és két-két 20 mintát tartalmazó csoportra osztottuk, valamint mind a 40 mintát magába foglaló csoportot is vizsgáltuk. Mindhárom állományban a 40 minta átlagos száraztömege és nedvességtartalma alapján meghatároztuk a minta előre megválasztott hibáját (E_m).

A területi változékonyságot jól mutatja, hogy a 95%-os biztonsági szint mellett, ha a minta hibáját (E_m) az átlagos értékek 10 %-a alatt kívánjuk tartani, akkor milyen mintaszám lenne szükséges:

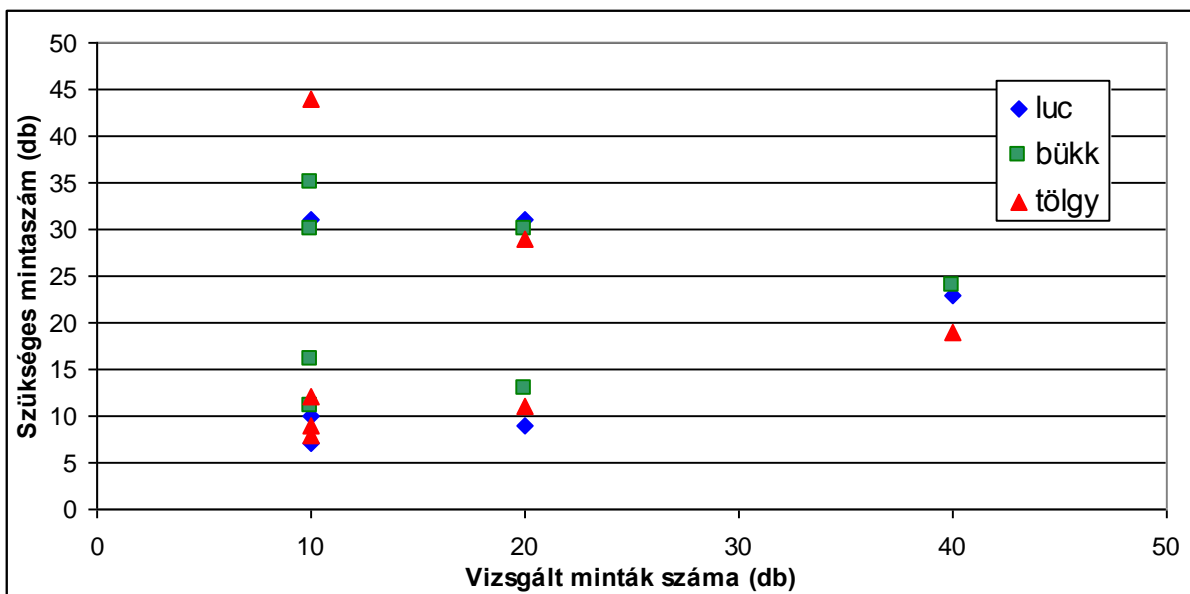
$$n_m = \frac{s^2 \cdot t_{\alpha/2, v}^2}{E_m^2} \quad (25)$$

Száraztömeg esetén (6./XXII. ábra) a bükk mutatott legkiegyenlítettebb, és legalacsonyabb értékeket. Már a tíz mintás elemzések esetén is elegendőnek mutatkozott a 30 minta, de a legkisebb szórással rendelkező csoport megbízhatónak tekinthető, szükséges mintaszámként 6-ot adott eredményül. A húsz mintát figyelembe vevő számítás 25 mintát tett szükségessé maximálisan, míg az összes bükk avarminta szórása alapján 20 minta adna megbízható eredményt. A legnagyobb eltéréseket a kocsánytalan tölgy esetén tapasztalhatjuk a száraztömegeket tekintve, ahol az egyik 10 mintát tartalmazó csoport esetén olyan nagy volt a minták szórása, hogy 46 minta adhatna megbízható eredményt a számítás szerint. Még a húsz minta szórása esetén is 40 felett van a szükséges mintaszám. A teljes mintanagyságot tekintve 27 minta gyűjtése lenne indokolt a vizsgálat adatai szerint. A luc mutatott

legnagyobb területi változatosságot a 40 minta szórását figyelembe véve, melynél 29 minta gyűjtése felelt meg a 10%-os hiba kívánalmainak a száraztömeg esetén.



6./XXII. ábra. Az avar területi változékonyságának vizsgálata a szükséges mintaszám alapján (száraztömeg esetén).



6./XXIII. ábra. Az avar területi változékonyságának vizsgálata a szükséges mintaszám alapján (víztartalom (mm) esetén).

A víztartalom esetén (6./XXIII. ábra) ebben az időpontban (és nedvességtartalom mellett) a kocsánytalan tölgy mutatott a legnagyobb ingadozást a tíz mintát tartalmazó

csoportok elemzésével kapott mintaszámok alapján, és a legnagyobb értéket is itt figyelhetjük meg (44), de az összes mintát tekintve a legkevesebb minta ennél a fafajnál szükséges a megbízható eredményhez (20). A második legnagyobb mintaszámot a 10-mintás csoportosításban a bükk szolgáltatta (35), és a teljes mintahalmazt figyelembe vevő számítás alapján is a bükk esetén kellene a legtöbb mintát gyűjteni (24-et). A lucfenyő szükséges mintaszámai szintén nagy ingadozást mutattak. A teljes elemzést tekintve a megbízható eredményeket 30-40 minta szolgáltatná állományonként, de ez nem kivitelezhető terepi időigénye és a laborkapacitás miatt, célszerűnek látszó megoldásként a 10-es mintaszámot tekintettük kivitelezhetőnek.

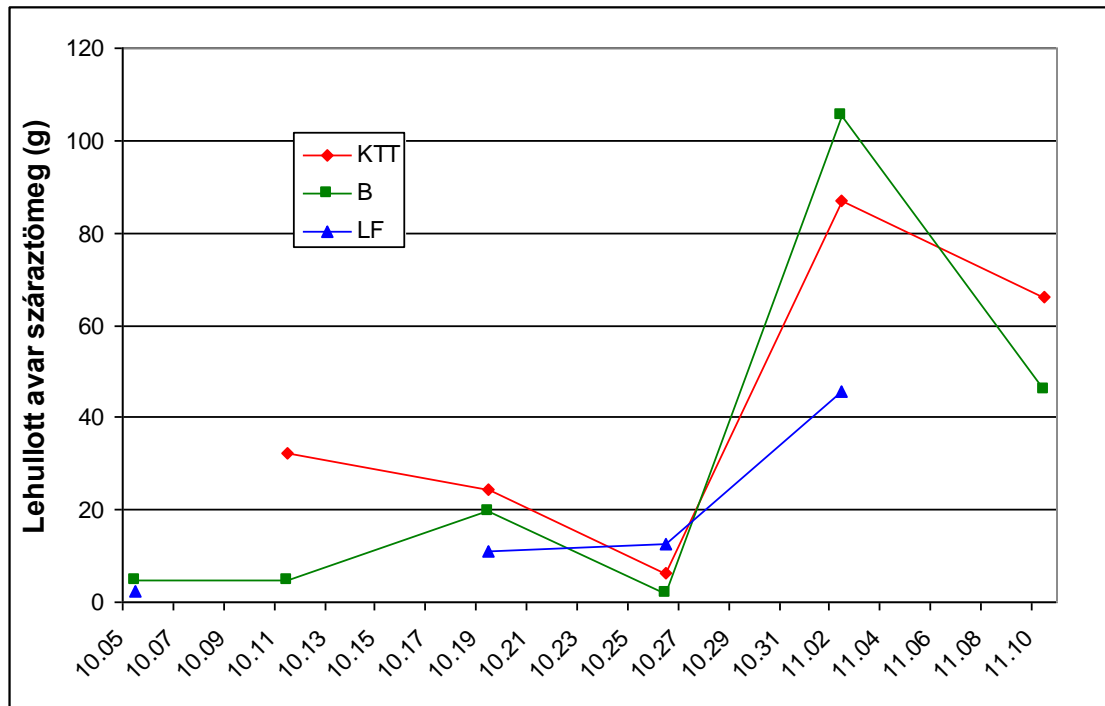
Az avargyűjtés hibája (területi változékonysága az avar mennyiségnek, területi változékonysága az állományi csapadéknak, területi változékonysága a bejutó napsugárzásnak, szélárnyékos és kitett helyek közti különbség, lejtviszonyok, aljnövényzet, ágak mennyisége és bomlási fázisa, talaj beszivárgási tulajdonságai, bomlási folyamatok alakulása stb.) mintavételenként egy állományon belül is változik, így az idősor-szerű elemzésük némi bizonytalanságot hordoz, ezért is dolgoztuk ki az 5. 7. fejezetben ismertetett módszert az avar nedvességtartalmának vizsgálatára.

6. 2. Az avar tömeg éven belüli változása

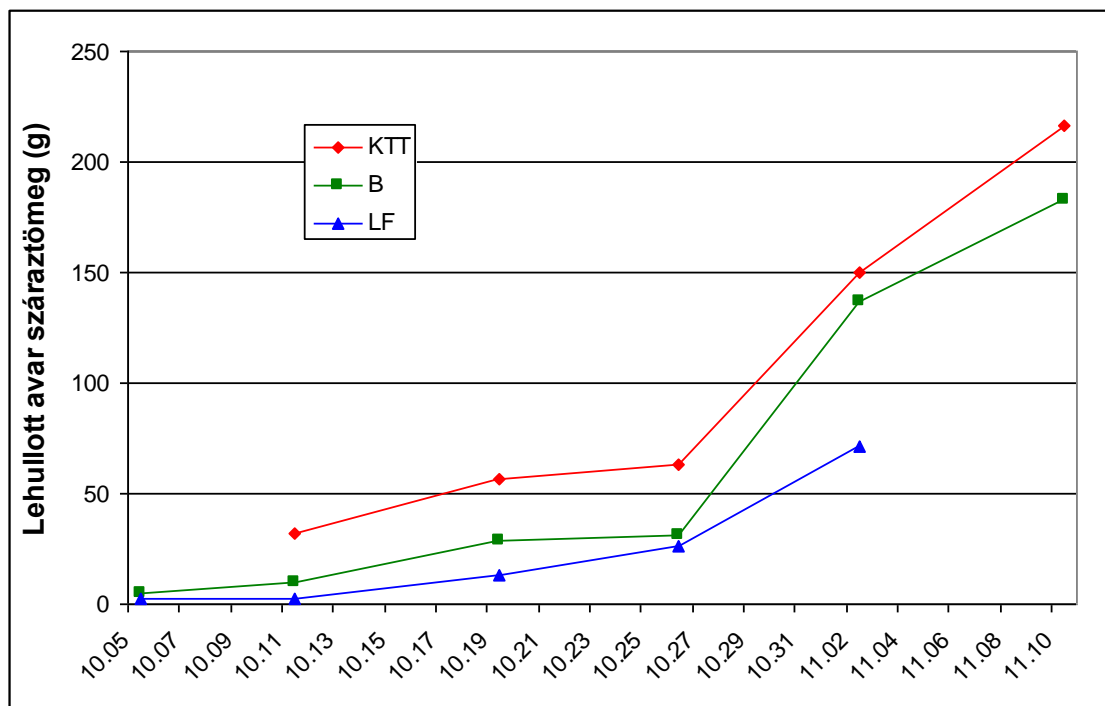
Az 5. 7. fejezetben ismertetett „keretes” mérésorozat elindulásával, melynek egy-egy éven belül körülbelül állandó száraztömeg az alapja, fontos kérdés lett, hogy mekkora hibával dolgozunk, ha az avar hullást nem vesszük figyelembe méréseinknél. A 2005. október elejétől november első harmadáig tartó időszakban hat mintavételre került sor. A mérések eredménye a 6./XXIV. ábra idősora alapján elemezhető. A vizsgálat jól reprezentálja az avar hullás időbeli változását a két lombhullató fafajnál, hiszen az első mérés a bükk esetében minimális tömeget mutat (ez a tölgynél kimaradt, így annál az október 11.-ei időpont mérése tartalmazza a két hét produktumát), majd kissé növekszik a lehullott levelek mennyisége. Ez inkább egy szelesebb időjárásnak tulajdonítható a rákövetkező mérés eredménye alapján. Az október végén, november elején tapasztalható egyértelmű kiugró maximumok már a lombhullás gyors lezajlását mutatják.

A mérési eredményeket az összegző görbe (6./XXV. ábra) alapján elemezve elmondható, hogy a vizsgált időszakban a tölgy esetén tapasztaltunk legnagyobb tömeget, ami 220 g körüli érték négyzetméterenként, majd ezt követte a bükk 180 g körüli értékkel. A lucos

adatsora hiányos, és az utolsó mérést már nem lehetett elvégezni, mert kivágták az állományt, így csak 72 g gyűlt össze az öt hetes vizsgálat alatt négyzetméterre számítva.



6./XXIV. ábra. Az avarhullás idősora (2005).



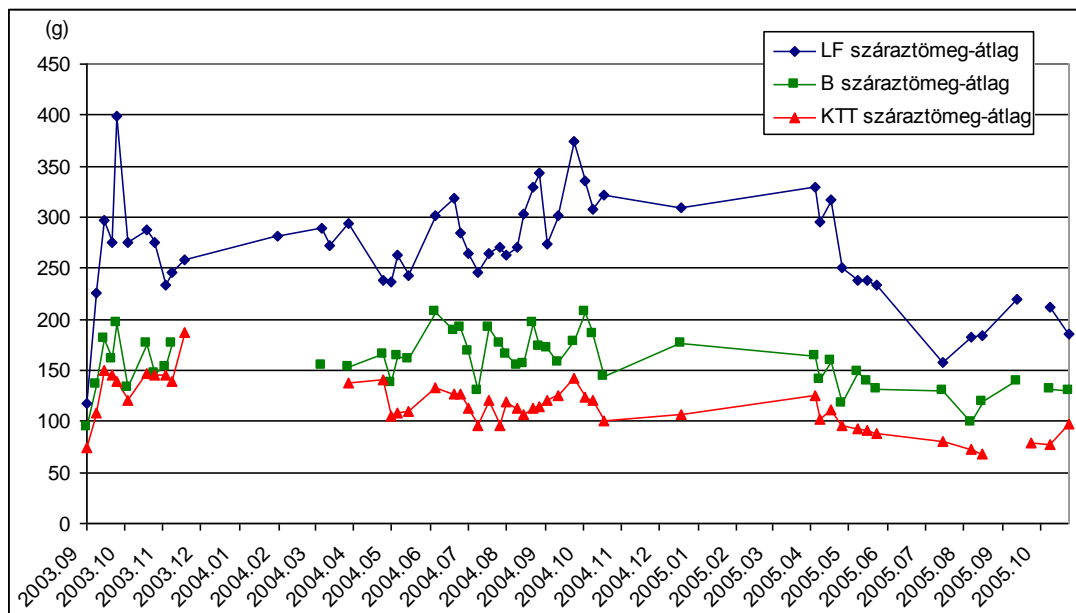
6./XXV. ábra. Az avarhullás összegző görbéje (2005).

Ha az avargyűjtés mintanagyságát tekintjük ($0,38 \cdot 0,38 \text{ m}^2$), akkor a lombhullás nagy részének lezajlása a minták száraztömegét a tölgy esetében körülbelül 30 g-mal, bükk esetén 25 g-mal és luc esetén 10 g-mal módosítaná. A lombhullás nagy részének lezajlása alatt a vizsgált másfél hónapot értem, beleértve a jelenség legintenzívebb részét.

A luc esetén ugyan nem évszakos jelenségről van szó, hiszen az örökzöldek esetén a lombhullást inkább a fizikai tényezők befolyásolják, jelen esetben az őszi erősebb szelek okozhatják az intenzitás fokozódását, valamint az elegyfajok lombvesztése.

A későbbi „keretes” mérések esetén a keretek meggátolják az évszakos tározási kapacitás növekedésének megjelenését a mérésorozatban azáltal, hogy a hozzáhullást megakadályozzák. Így ennek a módszernek a hibájaként jelenik meg a hozzá nem adódó száraztömeg, mely jelen esetben 50·50 cm-es minták esetén októbertől november közepéig összeadódóan: tölgy 54g, bükk 46g, fenyő 18g.

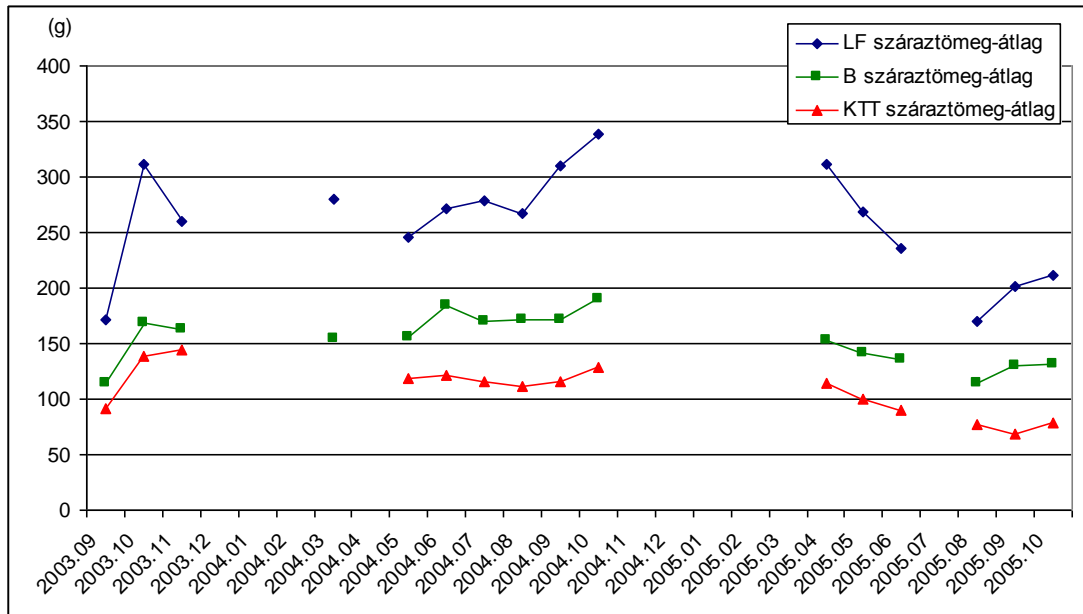
Az avarhullás dinamikáját az avargyűjtés száraztömeg-értékeinek felhasználásával készült idősoron is tanulmányozhatjuk (6./XXVI. ábra). A grafikon jól szemlélteti az egyes egymást követő mérések közötti nagy eltérést (tíz-tíz minta átlagait tekintve egy időpontban fafajonként), mely az avar térbeli változékonyságából adódik. E változékonyság miatt a lombhullás nem jelenik meg látványosan az adatsorban a lombhullató fajok esetén.



6./XXVI. ábra. Az avarminták száraztömegeinek változása (tíz minta átlagában) 2003-2005 években.

Az 6./XXVI. ábra elemzési nehézségének orvoslásaként havi átlagokat jelenít meg a 6./XXVII. ábra úgy, hogy azokat az adatokat mellőzi, amikor csak havi egy mérés állt

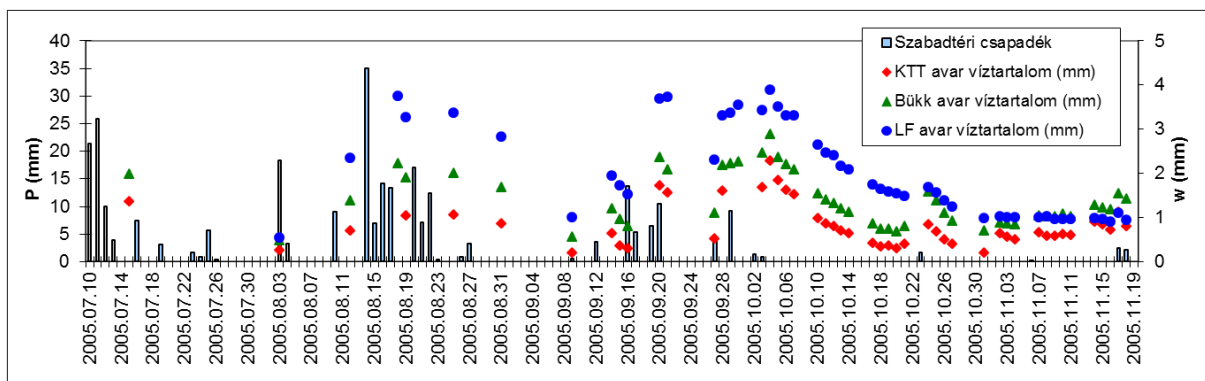
rendelkezésre. Az ily módon „simított” grafikon már sejteti az évszakos változást, bár még így sem nevezhető határozottnak a jelenség megnyilvánulása. A fenti gyors számítás alapján azonban látható, hogy a fafajonként 30-25-10 g őszi avartöbblet jelentkezik.



6./XXVII. ábra. Az avarminták száraztömegeinek havi átlagai a vizsgált időszakban.

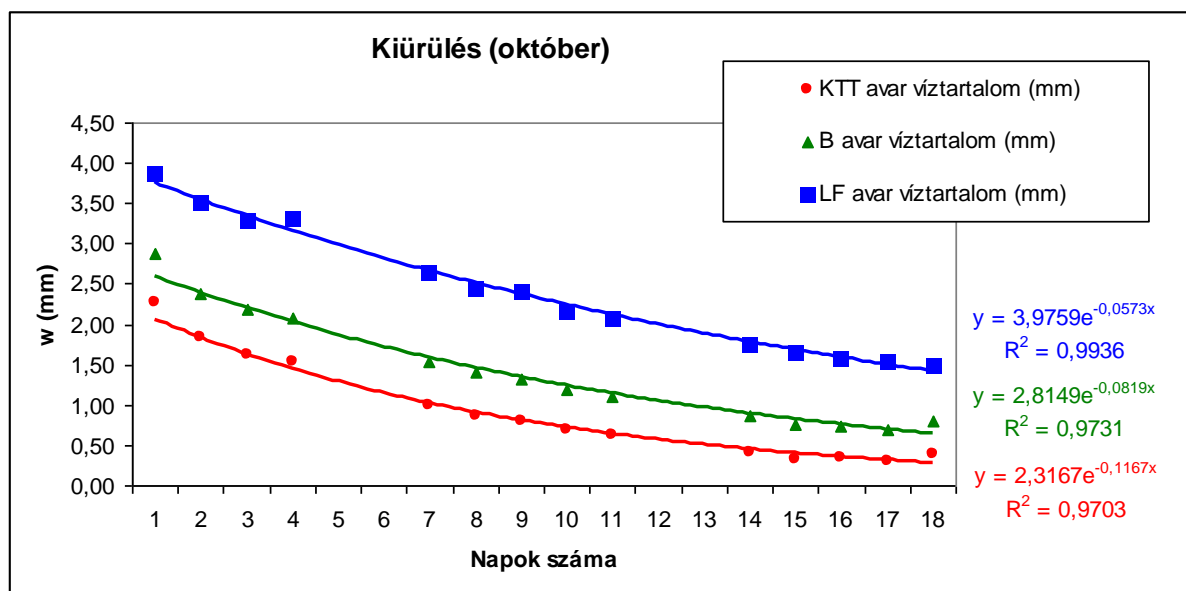
6. 3. „Keretes” mérések eredményei

A 2005-2008-ig tartó „keretes” avarkutatások éves idősorai láthatóak a 6./XXVIII. ábrán és a 2. mellékletben. A négy évből csak az első 2005-ös évben tudtunk a lucosban adatokat gyűjteni.



6./XXVIII. ábra. A „keretes” mérések három fafajt megjelenítő 2005. évi víztartalom idősora.

A „keretes” tömegmérésre nem minden nap került sor, ezért szükséges az, hogy képet kapjunk a csapadékesemény és a mérés között eltelt idő alatt történő száradásról, víztartalom-változásról.



6./XXIX. ábra. Október havi kiürülési görbe (2005) három fafaj esetén.

A „keretes” terepi adatokból kiválasztott kiürülési görbék mutatják (6./XXIX. ábra), hogy egy hosszabb csapadékmentes időszakban hogyan csökken a víztartalom (2005.10.04.-től). Míg a tölgyes és bükkös állományban a megjelenített 18 nap alatt a száradás gyakorlatilag befejeződött, addig a lucosban még nem zárult le a folyamat. A görbét – a laboratóriumi mérések tapasztalatai szerint – exponenciális összefüggéssel közelítettük a lineáris tározómodell alapul véve, mely mindegyik fafaj esetén magas determinációs együtthatóval jellemezhető (0,97-0,99).

6. 3. 1. Az áthulló csapadék meghatározása

Az intercepciós mérésekhez használt áthulló csapadék-adatokat a szabadtéri csapadék adatokból számítottuk. Az összefüggést mérési adatok elemzéséből nyertük. Habár a bükkös intercepciós kertben tölcséres és kádas mérés is történt, a jobb összehasonlíthatóság miatt a tölcséres mérések adatai kerültek feldolgozásra e fafaj esetében is.

Megfigyelhető, hogy mindegyik fafaj esetében jónak bizonyul a lineáris közelítés (6./XXX.- 6./XXXI. ábra), noha elvben nem helyes, hiszen az irodalmi közlés szerint egészen

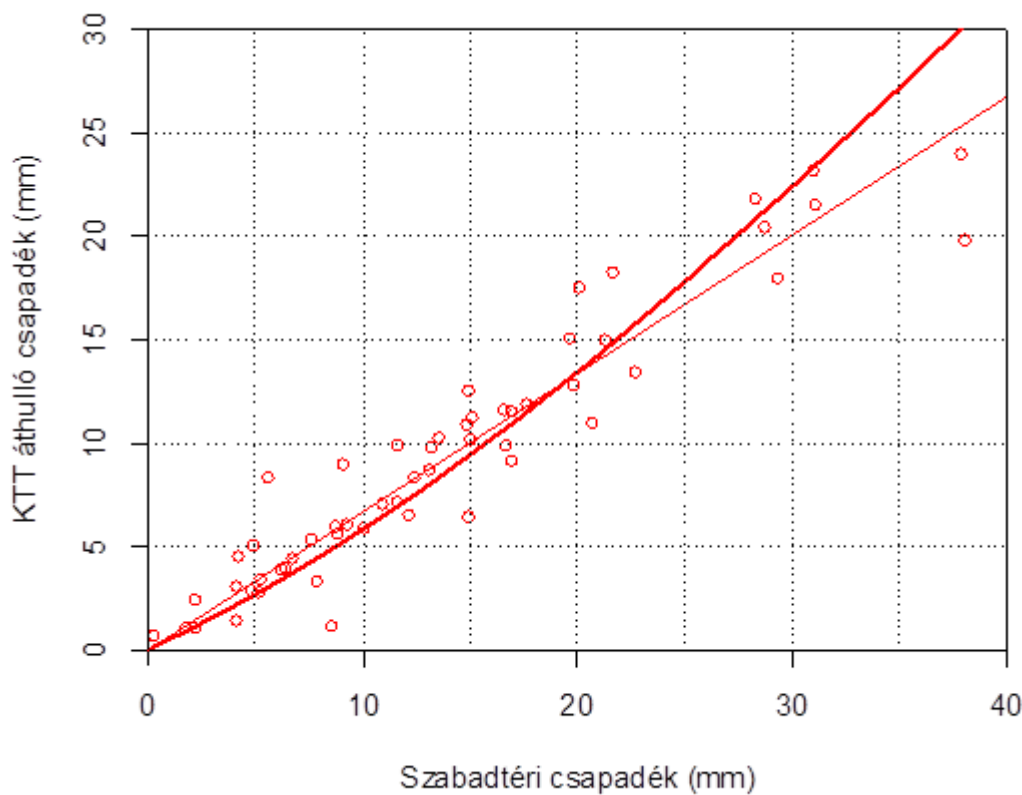
kis csapadékoknál a csapadék szinte teljes egészében megkötődik a leveleken, nagy csapadékoknál pedig a tározási kapacitást meghaladva, szinte a teljes (vagyis a párolgással csökkentett) csapadékmennyiség átjut a lombozaton (Kucsara, 1996). Ezt a jelenséget írja le a (26) egyenlet. A lineáris és a (26) egyenlettel közelített összefüggések R^2 -értékeit a 6./VII. táblázat mutatja.

$$P = S' \cdot \left(1 - e^{-\frac{Th}{S'}} \right) + K' \cdot Th \quad (26)$$

ahol P a szabad területi csapadék
 S' egy tározástól függő paraméter
 K' szorzó, mutatja a közelítő egyenes dőlését, esetünkben K=1
 Th az áthulló csapadék.

6./VII. táblázat. Szabadtéri csapadék és áthulló csapadék összefüggés-vizsgálatának R^2 -értékei.

R^2	KTT	B
Lineáris	0,9044	0,942
Exponenciális	0,886	0,9379

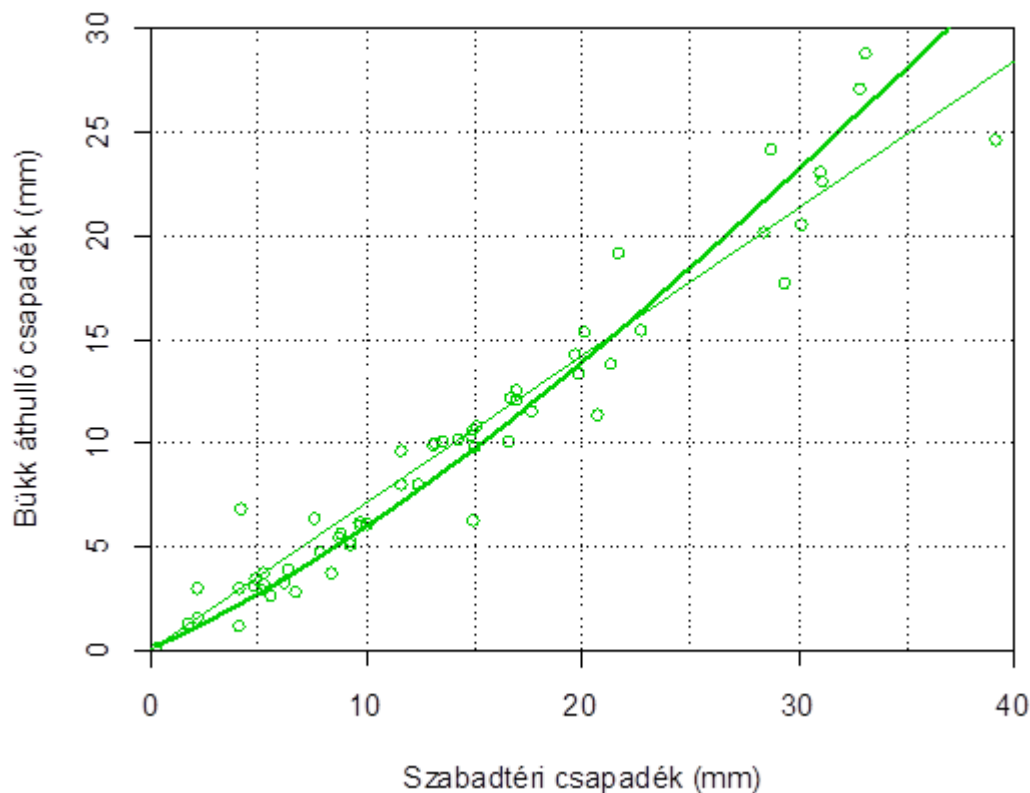


6./XXX. ábra. Szabadtéri csapadék és áthulló csapadék összefüggése kocsánytalan tölgy esetén. (Vékony vonal a lineáris, a vastag vonal a folyamatot elméletileg helyesen leíró közelítés.)

A (26) képlettel meghatározott összefüggés feltehetően azért jellemezhető a gyengébb determinációs együtthatós értékekkel, mert a nagy csapadékok esetén nem rendelkezünk elegendő mérési eredménnyel, mivel a tölcséres mérési módszer maximálisan 40 mm csapadék mérésére alkalmas, nagyobb csapadék esetén a felfogó edényzet túlcordul. A 6./XXX. és a 6./XXXI. ábrák szemléltetik a mérési adatokat valamint a szabadterületi csapadék és az áthulló csapadék összefüggését a két faállomány esetén.

Mivel a (26) egyenlet implicit az áthulló csapadék iterációval számítható a szabadterületi csapadék alapján. Ehhez egy rövid iteráló programot írt Kalicz Péter, témavezetőm, az R programban. A későbbi elemzésekhez az így számított áthulló csapadék adatok kerültek felhasználásra.

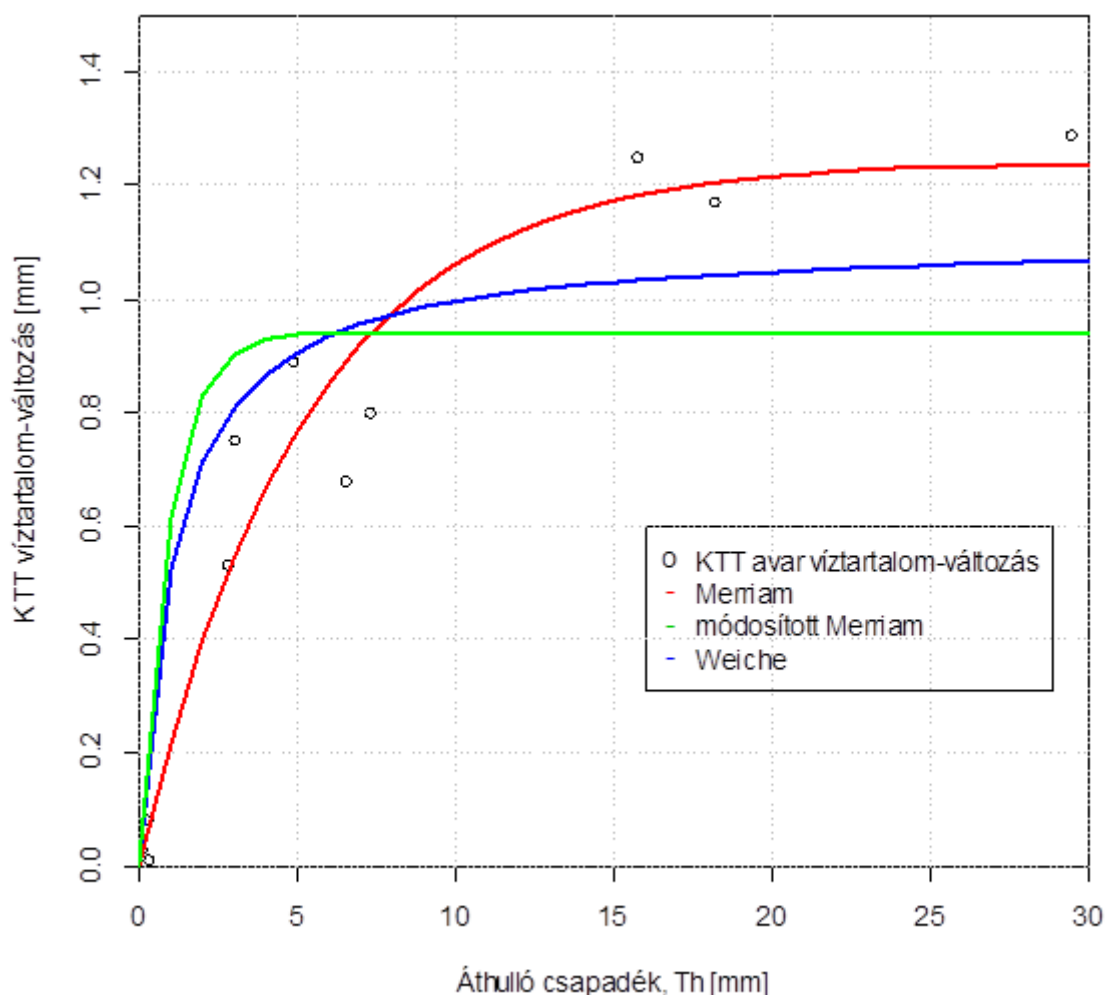
A lucos kertben nem sikerült elegendő adatot gyűjteni a következő elemzésekhez, így azokat csak bükk és kocsánytalan tölgy esetén mutatjuk be.



6./XXXI. ábra. Szabadtéri csapadék és áthulló csapadék összefüggése bükk esetén. *(Vékony vonal a lineáris, a vastag vonal a folyamatot elméletileg helyesen leíró közelítés.)*

6. 3. 2. Az avarintercepció számítása alacsony kiinduló nedvességtartalomnál

Első megközelítésként nem vettük figyelembe az avar által tározott vízmennyiséget. Ezt úgy igyekeztünk megtenni, hogy olyan adatokat válogattunk az elemzéshez a „keretes” mérési eredmények közül, amelyeknél a megelőző víztartalom 0-1,00 mm, a megelőző mérés óta történt csapadékesemény, és a megelőző mérés a megelőző napon történt. Mivel a grafikonon az alacsony megelőző víztartalmú adatok jelennek meg, így egyfajta csapadékeseményen belüli időszerűséget is megjelenít a diagram (6./XXXII. ábra). Vízzintes tengelyen az áthulló csapadék, függőleges tengelyen az avar által visszatartott vízmennyiség látható. Az S tározási kapacitás-érték és a c paraméter becslése az R nevű programmal történt.



6./XXXII. ábra. KTT avar víztartalom-változása az áthulló csapadék függvényében.

A keretekkel történő avarintercepció meghatározásakor a csapadékesemény alatti párolgást nem tudjuk mérni, mivel csapadék előtti és csapadék utáni tömegmérés

különbségeként kapjuk a víztartalom értékeket, melyben a csapadékesemény alatti párolgás nem jelenik meg, ezért a Merriam-összefüggést a (27) képlet szerint használtuk. A módosított Merriam-formulával (28), melyben a kitevőben is a tározási kapacitás jelenik meg, és a Kovács-féle modell speciális esetével (n=1), azaz a Weiche-képlettel (29) is becsültük az adatokat. Ez utóbbit a korábbi eredmények alapján tartottuk indokoltnak megtenni, hiszen az avargyűjtés adatait elemezve az n értékére mind a tölgy, mind a bükk esetén 1,00 adódott. A lombkorona-intercepcióra kidolgozott összefüggésekhez képest az alábbi egyenletekben a szabadterületi csapadék helyett az áthulló csapadék (Th) jelenik meg (a törzsi lefolyás figyelembe vétele a dolgozatban található korábbi vizsgálataink szerint nem indokolt).

$$E_s = S_a \cdot (1 - e^{-c \cdot Th}) \quad (27)$$

$$E_s = S_a \cdot \left(1 - e^{-\frac{Th}{S_a}} \right) \quad (28)$$

$$E_s = S_a \cdot \left(1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{Th}{S_a} \right)} \right) \quad (29)$$

Természetesen mindegyik formula a párolgási tag nélkül került alkalmazásra, hiszen ezzel a módszerrel a csapadékesemény alatti párolgás nem mérhető. A becslések adatait a 6./VIII. táblázat foglalja össze.

6./VIII. táblázat. 0-1,00 mm megelőző víztartalmú avarintercepció adatok becslésének eredményei különböző formulák esetén.

		S _a (mm)	c	R ²
KTT	Merriam	1,2425	0,1926	0,94
	módosított Merriam	0,9424	-	0,73
	Weiche	1,107	-	0,84
B	Merriam	1,563	0,2811	0,67
	módosított Merriam	1,318	-	0,60
	Weiche	1,625	-	0,65

Mindkét fajfaj esetén Merriam képlete bizonyult a legjobbnak a determinációs együttható alapján. A tározási kapacitás-értékek a Weiche- és a Merriam-összefüggések becslése esetén hasonló értéket adtak. A leggyengébb összefüggést a módosított Merriam-

formula R^2 -értéke mutatta, így elmondható, hogy a képletben a kitevőben nem a tározási kapacitás kell szerepeljen, vagyis kis csapadékoknál sem teljesül a $c=1/S$ összefüggés az avar esetén. A terepi mérések szélsőségeinek (minimum, maximum) különbségeként számolt és a laborkísérletek során mért tározási kapacitás-értékektől is elmaradnak a modellekkel becsült eredmények, amit részben azzal magyarázhatunk, hogy a 0-1,00 mm-es megelőző víztartalom a tározási kapacitás tényleges értékét csökkenti.

E becslés alapján három év adataiból az alábbi átlagos értékeket kapjuk a tölgy és a bükk avar intercepciójára a közel száraz avarra hullott csapadékok esetében:

$$\text{KTT} \quad E_s = 1,243 \cdot (1 - e^{-0,1937h}) \quad (30)$$

$$\text{B} \quad E_s = 1,563 \cdot (1 - e^{-0,2847h}) \quad (31)$$

6. 3. 3. Az avarintercepció számítása a tározás figyelembevételével

Az avarintercepció nem teljesen hasonlítható össze a lombkorona-intercepcióval, mert míg a levelek által ténylegesen visszatartott vízmennyiséget inkább csak megemlítik, és mennyiségét elhanyagolják, addig az avar esetében nem egyszerűen nedvesednek a felületek, hanem a levelek belseje is magába szívja a csapadékot. Magasabb megelőző víztartalom esetén az aktuális tározási kapacitás kisebb. Ezt a következő képlettel fejeztük ki:

$$E_s = (S_a - w_{(i-1)}) \cdot (1 - e^{-c \cdot Th}) \quad (32)$$

ahol $w_{(i-1)}$, a megelőző víztartalom.

A (32) összefüggés tehát a Merriam-féle egyenlet kiegészítése a megelőző víztartalommal, mellyel a maximális tározási kapacitás-értékét csökkentjük az aktuális tározási kapacitásra.

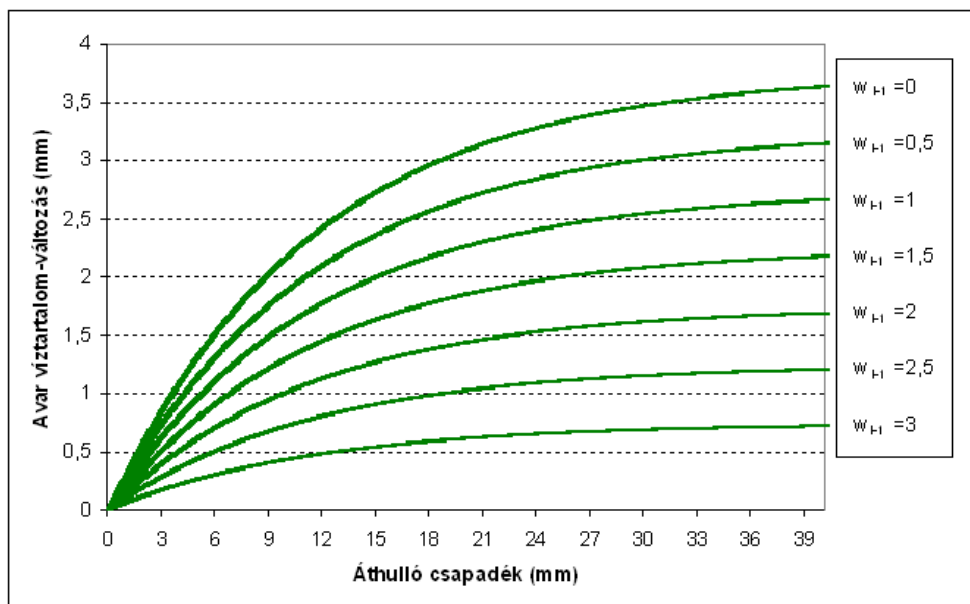
Mivel évente változik az avartömeg a keretekben (ezáltal a maximális tározási kapacitás), ezért ahhoz, hogy a három év kiválasztott adatait egy becslésbe vonhassuk össze, fafajonként az adott év adatait ugyanazon év avartömeg-átlagával elosztjuk, és a három év átlag-avartömegével megszorozzuk. Az így kapott normalizált adatokra vonatkozó becslés eredményei a következők:

$$B \quad E_s = (3,739 - w_{(i-1)}) \cdot (1 - e^{-0,087Th}) \quad (33)$$

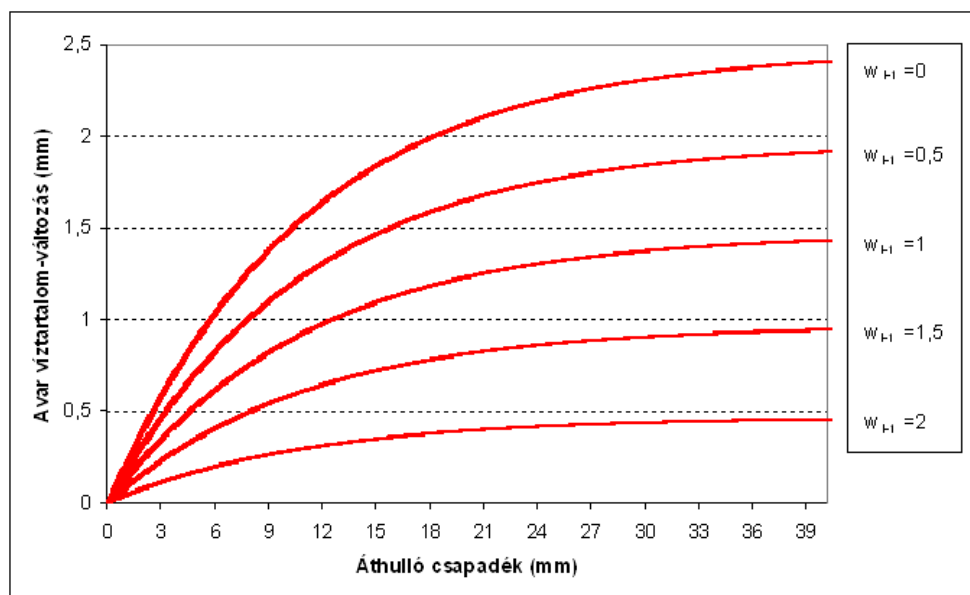
$$KTT \quad E_s = (2,465 - w_{(i-1)}) \cdot (1 - e^{-0,091Th}) \quad (34)$$

6./IX. táblázat. Három éves adatsor avarintercepció becslésének eredményei.

	S_a	p-érték	c	p-érték	reziduális standard hiba	szabadságfok
KTT	2,465	7.44e-09	0,091	0,0295	0,451	29
B	3,739	< 2e-16	0,087	1.66e-07	0,359	48



6./XXXIII. ábra. Bükk avar víztartalom-változása az áthulló csapadék függvényében különböző megelőző víztartalom esetén (w_{i-1} [mm]).



6./XXXIV. ábra. Kocsánytalan tölgy avar víztartalom-változása az áthulló csapadék függvényében különböző megelőző víztartalom esetén (w_{i-1} [mm]).

A kétváltozós összefüggéseket jól szemléltetik a 6./XXXIII. – 6./XXXIV. ábrák görbeseregei a két vizsgált fafaj esetén. Egy-egy görbe egy adott megelőző víztartalom esetén mutatja az avar víztartalom-változását az áthulló csapadék függvényében.

Ahhoz, hogy egy éves adatsor víztartalomváltozás-értékeit megkaphassuk ismerni kell a megelőző víztartalmat, ami a száradásnak és a csapadékesemény kapcsán bekövetkező víztartalom-változásnak az együttes ismeretével adható meg.

6. 4. Avargyűjtés és „keretes” mérési módszer összehasonlítása

A dolgozat célja volt, hogy az avarintercepció mérési módszerének egy könnyen megvalósítható, olcsó (lehetőleg meglévő eszközállománnyal kivitelezhető), akár szélesebb körben alkalmazható mérési módszerét dolgozzuk ki. Az avargyűjtést szakirodalmi leírás alapján adaptáltuk, majd a terepi tapasztalatok alapján szükségesnek tűnt más lehetőség keresése. Akkoriban a kutatás anyagi helyzete nem tette lehetővé nagyszabású terv megvalósítását, még a keretek elkészítéséhez szükséges alapanyagokra fordítandó anyagi forrás hozzáférhetetlensége is csak egy vegetációs időszakkal későbbi bevezetést tett lehetővé. Az új mérési módszer és az irodalom alapján bevezetett metódus összehasonlítása mutatja előnyeit és hátrányait.

Előkészítés, munkaigény:

Az avargyűjtés emberi munka igénye és időigénye mind terepen, mind továbbfeldolgozáskor nagy. Eszközigénye a szárítószelekrényt nem tekintve kicsi, de szárítószelekrény nélkül rendkívül hosszadalmas az adathoz jutás. A „keretes módszer” eszközigénye a kereteken kívül egy horogmérleg. A keretek elkészítése egyszeri, a vizsgált időben nem volt jelentős amortizáció. Előnye még, hogy a száraztömeg meghatározása nem minden mérési alkalommal szükséges.

Mérési bizonytalanságok:

Több vizsgálat kapcsán is látható volt, hogy az avar térbeli heterogenitása miatt az adatok egymással való összehasonlíthatósága az avargyűjtéssel bizonytalan, élömunka-igénye miatt a gyakoribb mintavételezés nehezen kivitelezhető, már csak a szárítás időigénye miatt is. A heti gyakoriságú mérés a csapadékesemények szempontjából nagyobb becslési pontatlanságot hordoz az intercepció kapcsán. A „keretes mérés” ezzel szemben rendkívül

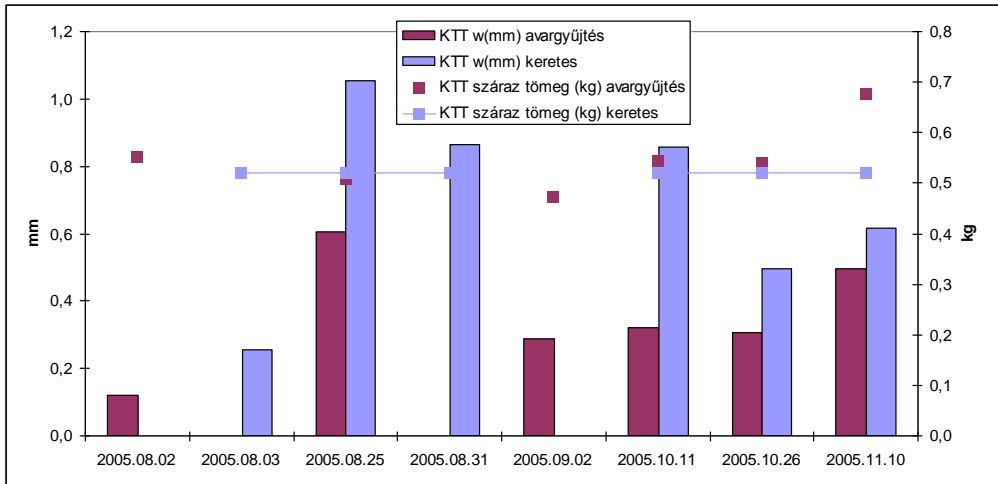
gyors, állandó tömeg mellett az adatok könnyebben összehasonlíthatók. Napi mintavételt tesz lehetővé, de akár gyakoribbat is, ha a mintaterület könnyen megközelíthető. A mérésekkel előálló adatsor felhasználásával nemcsak az aktuális csapadékhoz tartozó intercepciót számíthatjuk, hanem az avar víztartalmának csökkenését is nyomon követhetjük, ami a következő csapadékesemény „hasznosulását” is befolyásolja.

Az avargyűjtéssel egész éven át valós idejű avartömeeggel dolgozunk, míg a „keretes” mérés az avarhullást nem reprezentálja.

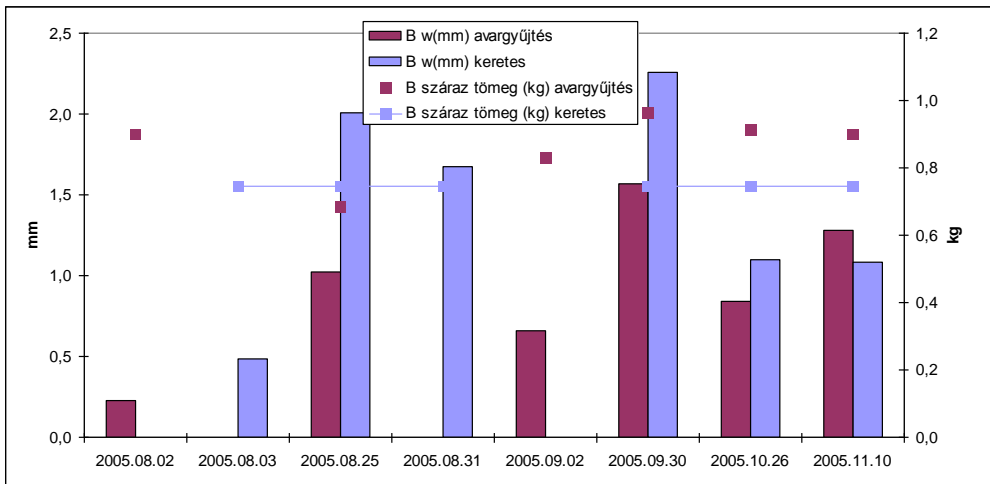
Avargyűjtés esetén az avar-minták összegyűjtésekor a gyűjtést végző személy szubjektivitása befolyásolja a mintát, hiszen nem éles a határ az avar és a talaj között. „Keretes mérésnél” a vizsgálati időszak avarbomlása csökkenti a pontosságot. Ezek a szempontok azért fontosak, mert az irodalomban találunk olyan megfigyelést, miszerint az avar három rétegének (avar, moder és érett televény) víztartó-képessége közötti különbség jelentős. A bomlás időtartamára is találhatunk adatokat például tölgy esetén 2-2,5 évet írt Járó (1959), ami a „keretes” mérés megközelítőleg fél éve alatt számottevő hibát jelenthet. Bükkös állományban ez lassúbb folyamat. Az avar bomlására nem végeztünk kísérletet, de a „keretes” mérések adatait megnézve, a kiszáradások során mért minimális tömegek az év során nem mutatnak jellemző csökkenő tendenciát az adatgyűjtési időszakokban (2. melléklet).

A „keretes” mérés hibáját növeli a keret víztartó kapacitása, mely méréseink szerint legfeljebb kb. 0,2 mm csapadéknak felel meg.

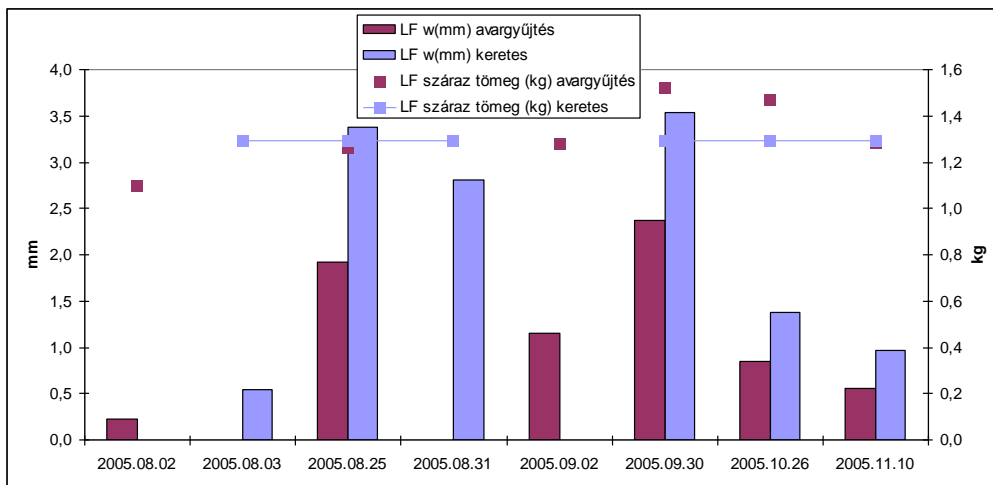
A „keretes” mérések és avargyűjtés összehasonlítására csak néhány alkalom mérései szolgáltatnak alapot. A 6./XXXV.-6./XXXVII. ábrákon látható, hogy mindhárom faj esetén magasabb víztartalom értékeket mért a „keretes” módszer, csak a bükkös 2005.11.10.-én mért adata mutat magasabb víztartalmat az avargyűjtés esetén. Az eltérések jóval meghaladják az általunk mért hibát, tehát az eredményeknek más oka kell legyen. Az ábrázolt adatok minden esetben 10-10 minta alapján átlagképzéssel álltak elő, így a területi változékonyságot igyekeztünk kiküszöbölni, ennek ellenére előfordulhat, hogy a felettük lévő állomány záródásának különbözősége okozza az eltéréseket. Az többnyire megmutatkozik az adatokon, hogy a korábbi, vagy későbbi adatokhoz képest a víztartalom nőtt-e, vagy épp csökkent. Mindkét módszer általában azonos irányban változó adatokat eredményezett. Tény, hogy az összehasonlításához az egy napon történt mérésekből csak négy-négy áll rendelkezésre fajonként, ami statisztikailag nem elegendő, de határozott különbség van a módszerek értékei között.



6./XXXV. ábra. Avargyűjtés és „keretes” mérések eredményeinek összehasonlító ábrája kocsánytalan tölgy esetén.



6./XXXVI. ábra. Avargyűjtés és „keretes” mérések eredményeinek összehasonlító ábrája bükk esetén.



6./XXXVII. ábra. Avargyűjtés és „keretes” mérések eredményeinek összehasonlító ábrája lucfenyő esetén.

6. 5. Csapadék-indexek alkalmazhatóság – vizsgálata

Az avar megelőző víztartalma lényeges kérdés az avarintercepció szempontjából. A tározási kapacitás maximális értéke ugyanis kisebb lesz, ha nem teljesen száraz állapotú az avar. A tényleges tározás becsléséhez számítottuk a megelőző csapadék-indexet (API), mint egy lehetséges becslést.

Lineáris súlyok alkalmazása

Az irodalomban (Kontur et al., 2001) a megelőző csapadékindex egyik meghatározási módja a lineáris összefüggéssel való számítás. A szerzők a kisvízgyűjtőkre a 20 napos API alkalmazását javasolják, de az avar kiszáradási folyamatát vizsgálva érdemesnek tartottuk a különböző hosszúságú időtartamokra is számolni a megelőző csapadék-indexet. A laborkísérlet során némely esetben az avar 10 nap alatt elérte a súlyállandóságot, más esetben 20 nap alatt sem (lucfenyőnél), míg a terepen a 20 napos kiürülést figyelhettük meg. A kiszáradás kezdeti intenzívebb szakasza felvetette az 5 napos API vizsgálatának lehetőségét is. Az összefüggés-vizsgálat eredménye a megelőző csapadékok nagyság szerinti eloszlásától is függ.

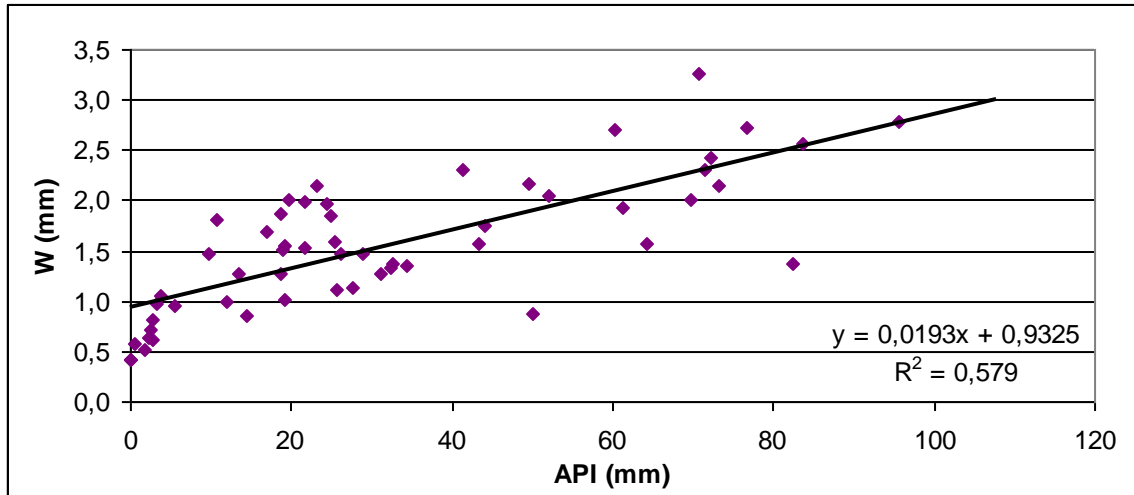
Az összefüggés-vizsgálat a csapadékindexek (5, 10, 20, 30 napos) és az avar víztartalma között évente elemezve – hogy az avar száraztömeg-változása (maximális tározási kapacitás-változás) ne befolyásolja a vizsgálatot – legjobb esetben is csak 0,58-os R^2 értéket adott, de általában a 0,4-et nem érte el (6./X. táblázat).

6./X. táblázat. A megelőző csapadék-index és az avar víztartalmának összefüggés-vizsgálatakor kapott R^2 -értékek.

Vizsgált év	Fafaj	5 napos	10 napos	20 napos	30 napos
2005	KTT	0,20	0,22	0,31	0,32
	B	0,37	0,33	0,40	0,39
2006	KTT	0,23	0,21	0,11	0,07
	B	0,28	0,30	0,22	0,18
2007	KTT	0,44	0,32	0,20	0,17
	B	0,43	0,42	0,32	0,24
2008	KTT	0,42	0,58	0,45	0,33
	B	0,50	0,57	0,41	0,26

Az évenkénti vizsgálatok során a gyenge determinációs együttható –értékek mellett az sem állandó, hogy hány napos csapadék figyelembe vétele szükséges, azaz a legjobb

korreláció nem mindig az azonos megelőző napszámot felhasználó indexek esetén volt a legjobb. A fenti legjobb összefüggést a legcsapadékosabb 2008-as év tölgy avarja mutatta (6./XXXVIII. ábra).



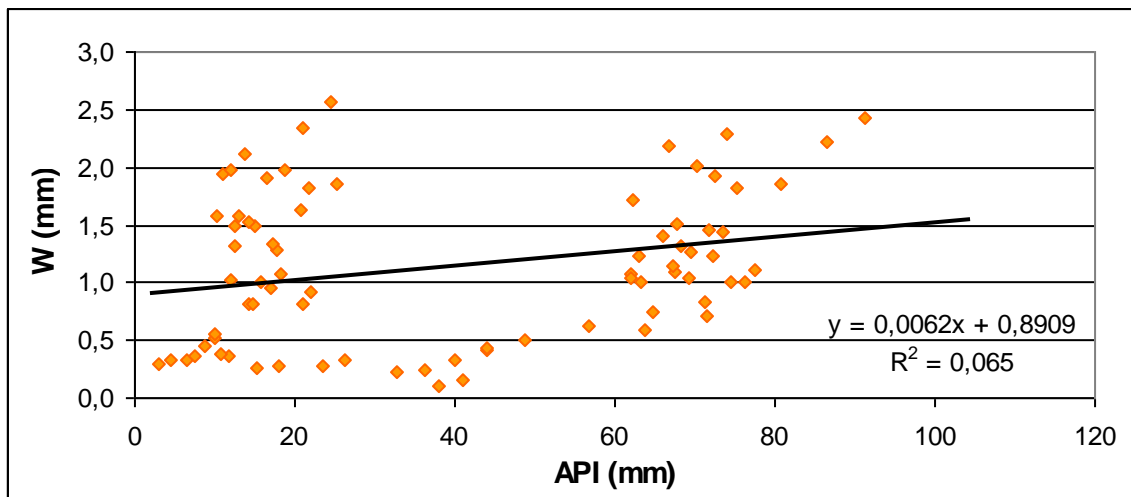
6./XXXVIII. ábra. Kocsánytalan tölgy avar víztartalom és 10 napos megelőző csapadékindex összefüggése 2008-ban.

Természetesen a hőmérséklet függvénye a párolgás, ami befolyásolja az adott csapadék hatásának hosszát. A 2008-as év mérési időszaka májustól augusztus végéig tartott, míg a többi évben november közepén, 2006-ban december közepén is történt még adatgyűjtés. Ha az augusztus utáni méréseket nem vesszük figyelembe, jobb összefüggések adódnak (6./XXXIX., 6./XXXX. ábra).

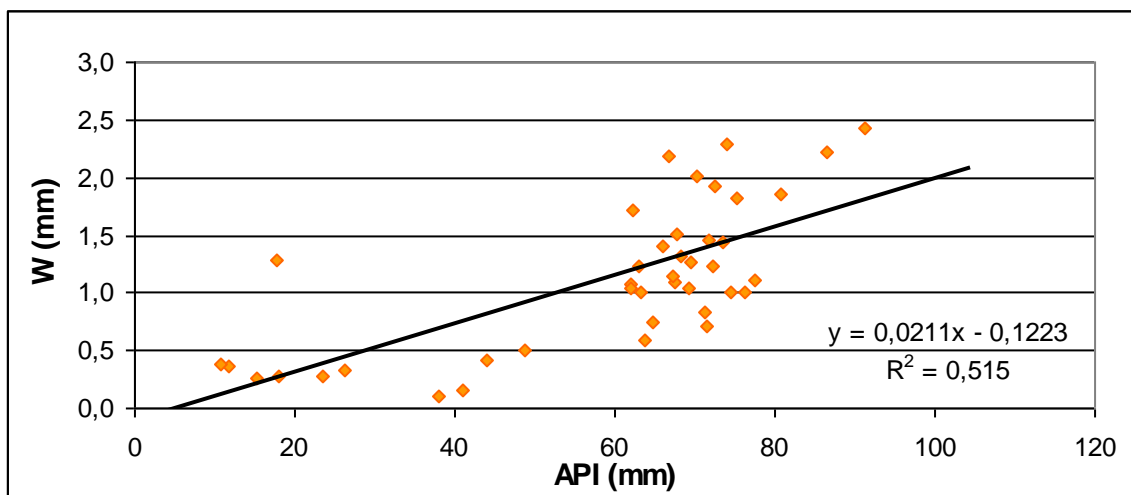
A nyári és őszi-téli adatok szétválasztásával tapasztalt eltérést azonban nem tekinthetjük eredménynek, mert ha egyértelműen a hőmérséklet és csapadék összefüggése lenne a döntő, akkor a vizsgált melegebb időszakban a kisebb számú megelőző csapadékos napot figyelembe vevő csapadék-indexnek kellene a jobb összefüggést mutatnia, hiszen a gyorsabb párolgás hatására hamarabb megszűnik a megelőző csapadék hatása. Ez nem teljesül (6./XI. táblázat).

6./XI. táblázat. Nyári összefüggés-vizsgálat R^2 -értékei a 2006.-os évben kocsánytalan tölgy esetén.

	5 napos	10 napos	20 napos	30 napos
KTT	0,34	0,42	0,47	0,51



6./XXXIX. ábra. Kocsánytalan tölgy avar víztartalom és 30 napos megelőző csapadékindex összefüggése 2006-ban.



6./XXXX. ábra. Kocsánytalan tölgy avar víztartalom és 30 napos megelőző csapadékindex összefüggése 2006 nyarán.

Valódi kiürülést figyelembe vevő súlyok

A kiürülési görbét megfigyelve, mivel a kiürülés nem lineáris, így a megelőző csapadék-index lineáris súlyokat alkalmazó megoldása sem helyes az avarintercepció vizsgálatában. Megoldás lehet az olyan súlyok alkalmazása, melyek a hőmérsékletet is figyelembe veszik. Jakeman-Hornberger (1993) szerzőpáros az 5.8. fejezetben ismertetett összefüggést dolgozta ki, melyhez mi a valós adatainkkal kalkuláltuk a szükséges paramétereket. Első lépésként a méréseink alapján kiválasztottuk azokat a kiürülési

időszakokat, melyek legalább öt naposak voltak. Ezek exponenciális közelítésével megkaptuk a kiürülések rohamosságát jelző számokat ($\alpha^{1/\text{nap}}$):

$$w_i = w_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t'} \quad (35)$$

- ahol t' az eltelt napok száma (nap)
 w_i az aktuális naphoz tartozó víztartalom (mm)
 w_0 kiinduló víztartalom (mm).

Az α nedvességtartalom-csökkenési ráta értékek reciprokaként adódnak a τ tartózkodási idők (6.XII. táblázat). Meghatároztuk a kiürülésekhez tartozó átlagos hőmérséklet-értékeket.

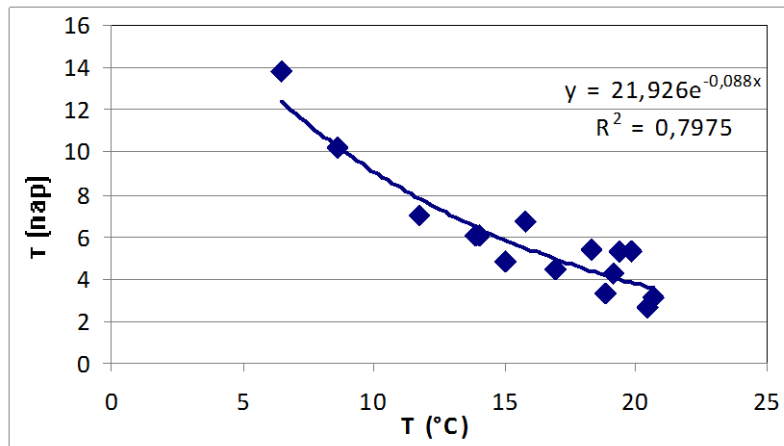
6.XII. táblázat. Kiürülési időszakok α τ és hőmérséklet (T) adatai.

	α KTT ($^{1/\text{nap}}$)	τ KTT (nap)	α B ($^{1/\text{nap}}$)	τ B (nap)	T (°C)
2006-05-08			0,1143	8,7489	14,2
2006-05-19			0,0714	14,0056	13,3
2006-06-12			0,1634	6,1200	19,1
2006-07-03	0,3048	3,2808	0,1695	5,8997	18,8
2006-07-13	0,3708	2,6969	0,2138	4,6773	20,4
2006-08-08	0,2065	4,8426	0,1737	5,7571	15,0
2006-08-29	0,2242	4,4603	0,1476	6,7751	16,9
2006-09-19	0,148	6,7568	0,1198	8,3472	15,7
2007-05-29	0,1638	6,105	0,0700	14,2857	14,0
2007-06-05	0,1886	5,3022	0,0859	11,6414	19,3
2007-07-10	0,3165	3,1596	0,1449	6,9013	20,6
2007-08-10	0,2364	4,2301	0,1324	7,5529	19,1
2007-09-11	0,1645	6,079	0,0877	11,4025	13,8
2007-09-19	0,1428	7,0028	0,0846	11,8203	11,8
2007-10-08	0,0978	10,225	0,0607	16,4745	8,6
2007-10-25	0,0722	13,85	0,0422	23,6967	6,4
2008-06-30	0,1873	5,339	0,2031	4,9237	19,8
2008-08-25	0,1846	5,4171	0,1894	5,2798	18,3

A referencia-hőmérsékletet 0°C-nak tekintve adódnak a kocsánytalan tölgy és a bükk esetén a (21) képlet g paraméterei az Excel program segítségével (XXXXI. ábra, 6./XIII. táblázat).

6.XIII.táblázat. Kiürülési időszakok alapján becsült τ_0 és g -értékek.

	τ_0	g	R^2
KTT	21,926	0,088	0,80
B	39,31	0,0952	0,70

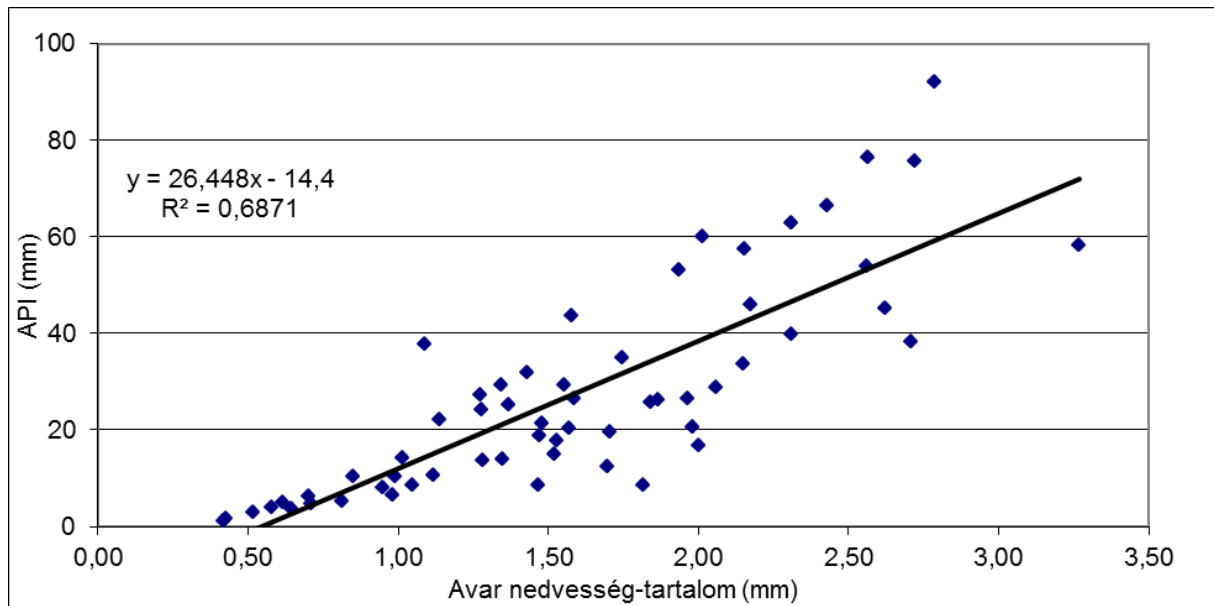


6./XXXXI. ábra. A τ tartózkodási idő és a hozzá tartozó hőmérséklet referencia-hőmérséklettől való távolságának összefüggése kocsánytalan tölgy esetén.

6./XIV. táblázat. A tényleges kiürülést figyelembe vevő megelőző csapadék-index és az avar víztartalmának összefüggés-vizsgálatakor kapott R^2 -értékek.

		5 napos	10 napos	20 napos	30 napos
2006	KTT	0,25	0,24	0,26	0,29
	B	0,25	0,3	0,32	0,36
2007	KTT	0,46	0,44	0,48	0,5
	B	0,42	0,41	0,47	0,5
2008	KTT	0,44	0,56	0,56	0,56
	B	0,51	0,6	0,58	0,58

A becsült paraméterekkel kalkulálható az API az adott időpontokhoz. A 6./XIV. táblázat valódi kiürüléseket figyelembe vevő megelőző csapadék-indexek és az avar nedvességtartalmának összefüggés-vizsgálatakor meghatározott R^2 -értékeit összevetve a lineáris súlyokat alkalmazó API és az avar nedvességtartalmának összefüggés-vizsgálatakor előálló R^2 -értékeivel azt tapasztaljuk, hogy a valódi kiürülések alapján kalkulált, hőmérsékletet is figyelembe vevő API jobban kapcsolatba hozható az avar víztartalmával, de az összefüggés itt sem sokkal szorosabb. A 2005-ös évre nem rendelkezünk összefüggő hőmérséklet adatsorral, így ebben az évben az API számítását nem lehetett megtenni. A 2007-2008 években az összefüggés közepes, 2006-ban gyenge. Általában a 30 napos Jakeman-Hornberger (1993) modellel számított API mutatta a legszorosabb összefüggést az avar víztartalmával, melyet a 20 napos követ. A 6./XXXXII. ábra mutatja a 2008-as év kocsánytalan tölgy avar nedvességtartalom-értékeinek összefüggését a Jakeman-Hornberger (1993) modell alapján számított megelőző csapadék-index értékeivel. Az összefüggés R^2 értéke mindössze két kiugró adat elhagyásával a 0,56-ról 0,69-es jó összefüggést mutató értékre változik.



6./XXXXII. ábra. Az avar-nedvességtartalom és a hőmérsékletet is figyelembe vevő API korrigált összefüggés-vizsgálata a 2008-as évben kocsánytalan tölgy esetén.

A 6./XIII. táblázat nem mellőzi a kiugró értékeket a lineáris közelítéssel való jobb összehasonlíthatóság érdekében. Az avar esetében mindenképpen jobb az exponenciális súlyokat alkalmazó közelítés. A lineáris súlyokkal kalkulált API összefüggése az avar víztartalmával nem produkált olyan eseteket, ahol egy-egy hibás adat kihagyása jelentősen módosítaná az R^2 értékét. A hőmérséklet figyelembe vétele szükségszerűen az összefüggés javulását hozza, hiszen a Kontur-Koris-Winter (2001) modell által leírt API vizsgálatokor is megállapítottuk, hogy különbség van a melegebb nyári és a hűvösebb őszi-téli időszak alapján előálló ponthalmaz között. Az exponenciális súlyokkal számolt API esetén a várakozásoktól elmaradó összefüggés oka részben az, hogy a szabadterületi csapadék és az áthulló csapadék között az összefüggés nem lineáris, és míg a szabad területi csapadék eloszlása egy kisebb területen (mint a mérési helyszíneink) egyenletes, addig az áthulló csapadéknak már van egy területi változékonysága, ami az avarminták különböző nedvesedési fokát okozza, és a becslés bizonyos mértékű bizonytalanságát okozza.

6. 6. Az avarintercepció időbeli változása

Az avarintercepció az állomány élettartama szempontjából a következőképp alakul. Miközben az adott fafaj egyedei az átlagnövedék eléréséig növekvő avarprodukciónak mutatnak (Járó, 1958), addig az avarintercepció értékei is növekedhetnek, ha azonosak lennének a

klimatikus feltételek, bár valójában az áthulló csapadék mennyisége csökken a lombkorona tározási kapacitásának növekedésével. Az optimum elérésével az állományban erdészeti tevékenységek vagy természetes folyamatok hatására lékek keletkezhetnek, melyekben kezdetben az állomány többi részével megegyező avar-viszonyokat találunk. A mikroklimatikus körülmények azonban megváltoznak. Az „áthulló csapadék” mennyisége megnő, a lék méretétől függően kialakulhatnak olyan részek is, ahol a szabadterületi csapadéknak megfelelő mennyiségű eső hullik. A sugárzás növekedésével, a hőmérséklet emelkedésével a párolgás sebessége is nagyobb lesz, tehát várható az avarintercepció jelentőségének átmeneti növekedése. A csapadék és a hőmérséklet növekedésével jobb körülmények alakulhatnak ki az avarbomlást segítő fauna számára, így az avarmennyiség fogyása várható a továbbiakban, miközben a hozzáhullás sem lesz olyan mértékű, mint az állomány alatt. Hosszabb távon tehát csökken az avarintercepció mértéke, míg az újulat el nem éri az avar- produktívitásának maximumát. Természetesen rövidtávon az egyes évek között is jelentős különbségek lehetnek a csapadék és hőmérséklet tekintetében. A folyamat tehát bizonyos ciklikusságot követhet állandó klimatikus feltételek mellett.

A globális klímaváltozás azonban nem teszi lehetővé a szabályos ciklikusságot, mivel a jelenséggel foglalkozó kutatók szélsőségesebbé váló feltételeket prognosztizálnak, vagyis a csapadék eloszlása egyenetlenebb lesz: Főként nyáron hosszabb száraz periódusokkal (csekély avar-vízvisszatartás), és hirtelen jelentkező nagy csapadékokkal (a maximális tározási kapacitáson túl nem képes több vizet visszatartani) az avartakaró vízháztartásban betöltött szerepét valószínűleg csökkentheti. Találunk olyan előrejelzést, mely szerint a nyári félév csapadék mennyisége 2011-20 között 10-30 mm-rel csökken (Gaál, 2007). Másrészről a bomlási folyamatok változása miatt nőhet az avarmennyiség. Az avarprodukciónak növekedését a felmelegedés növeli, de a szárazabbá váló éghajlat csökkenti (Fekete, 2009).

Méréseink adataiból a (33), (34) egyenletekkel a vegetációs időszakra becsült avarintercepció értékeit mutatja mm-ben és a szabadterületi csapadék arányában (%) a 6./XV. táblázat első számoszlopa az iterációval számolt áthulló csapadék-adatok segítségével. A második számoszlop azokat a becsült értékeket mutatja, melyek egy lék keletkezésekor állnának elő ugyanerre az időszakra. Ezt úgy kalkuláltuk, hogy az áthulló csapadék helyett a szabadterületi csapadékkal számoltunk, így szimulálva az újonnan előálló csapadék-viszonyokat. A harmadik becslés a globális klímaváltozás hatását igyekszik bemutatni, melynek csapadék-adatsora a szélsőségesebbé és szárazabbá váló csapadék-viszonyokat úgy veszi figyelembe, hogy az egymást követő 2-4 csapadék-adat összevonásra került, és a Gaál (2007) által prognosztizált maximális csapadék-csökkenést (30 mm) lineáris összefüggéssel

érvényesítettük. Az így keletkezett új adatsor iterálásával számolt áthulló csapadék képezte a becslés alapját (Th). A táblázatban szintén a vegetációs időszakra kalkulált adatokat tüntettük fel.

6./XV. táblázat. A kidolgozott modellek – (33), (34) – segítségével a vegetációs időszakra becsült avarintercepció értékek.

		E_s (mm / %)	E_s lék (mm)	E_s klímaváltozás (mm)
2006	KTT	22,20 / 4,4	23,67	21,53
	B	37,58 / 7,5	48,36	29,81
2007	KTT	29,83 / 5,0	38,50	24,83
	B	28,72 / 4,9	35,65	25,82
2008	KTT	23,24 / 3,3	28,31	19,77
	B	43,49 / 6,1	49,53	37,18

A vizsgált időszakra becsült avarintercepció értékeit megfigyelve látható, hogy a szabadterületi csapadék arányában megadott %-ban kifejezett adatok az egyes évekre nézve jelentős különbségeket mutatnak. A legszárazabb év a 2006.-os év volt, míg a legcsapadékosabb a 2008-as. Ha az első és harmadik évet összehasonlítjuk, jól látható, hogy a nagyobb csapadék esetén az avarintercepció értéke is növekedett, míg a szabadterületi csapadék arányában kisebb értékek adódtak, mely mutatja, hogy ha az avar nedvesség kiürülése nem történik meg, akkor a következő csapadékeseményből csak az aktuális tározási kapacitás mértékéig tud vizet visszatartani. A 2007-es év adatai nem felelnek meg a várakozásainknak a visszatartott nedvesség mennyiségét tekintve, melynek oka feltehetőleg a csapadék-eloszlás eltérése a másik két vizsgált évhez képest. 2007-es év vizsgálati időszakára jutó csapadékmennyiség 591 mm volt, 90 csapadékeseménnyel, melyek közül 30 esett az 5 mm-nél nagyobb tartományba. A lombkoronán Kucsara (1996) szerint az 2 mm-nél kisebb csapadékok többnyire nem jutnak át. A vizsgált három év közül ebben az évben volt a legnagyobb e megállapítás szerinti, avart elérő csapadékok száma. A mérési eredményeinket a nemzetközi és hazai irodalommal összevetve (3.5.2. fejezet), ahol az avarintercepcióra 2-12% közötti értékek jellemzőek (bár ismeretes 20,7 %-os (Thurow et al., 1987) és 34 %-os (Gerrits et al., 2006) érték is) megállapítható, hogy eredményeink illeszkednek ezekhez. Kiemelhető a magyarországi példa a klimatikus viszonyok hasonlósága miatt (Führer, 1994), ahol a fő felhasználási szakaszban 8% (24 mm) jelenik meg. A mérési periódus rövidebb (V-VII. hónap), és mivel a csapadék egymást követő években sem egyforma, valamint a mérési módszerébe a nagyobb mértékben elbomlott szerves anyag is beletartozik, így feltételeesen vethető össze a saját eredményekkel. A különbségek közül a nagyobb anyagtömeg az, ami

indokolhatja a nagyobb intercepciós hányadot. Általában az eredményeink nagyságrendje illeszkedik a szakirodalmi adatokhoz, de ahogy már korábban utaltunk rá, az eltérő klimatikus viszonyok, fafaj és mérési módszerek miatt az összehasonlítás bizonytalan.

A lék keletkezése és a klímaváltozás kapcsán szimulált változások, és a becsült avarintercepció értékek (6./XV. táblázat) nem tükrözhetik megbízhatóan a jövőbeli valós eltéréseket, hiszen nem veszik figyelembe a mikroklíma egyéb változásait, de a Jakeman-Hornberger (1993) modellben a hőmérséklet figyelembe vétele megvalósítható. Jelenleg a témában futó pályázatok kutatásai során pontosabb képet kaphatunk majd a klimatikus viszonyok változásának mértékéről, és a becslések pontosíthatók lesznek.

7. További kutatási javaslatok

Az elemzések során felmerült kérdések felvetették további vizsgálatok elvégzésének szükségességét a módszer tökéletesítése, a különböző fafajok avarintercepciójának meghatározása, az erdőállományok korának függvényében adódó különbségek feltárása és a rövidebb-hosszabb időtávlatú változások jellemzése érdekében.

A vizsgálati módszer tökéletesítésére tett javaslatok:

Tervezzük a „keretes módszer” kiegészítését keret alatti csapadékfelfogó edényzettel, és az így nyert adatoknak az eddigi módszerrel történő adatgyűjtéssel való összehasonlítását. A különbség az eddigi módszerhez képest az lenne, hogy a talajjal való kapcsolat megszűnne, viszont a keret alatti vízmennyiség mérésével a párolgás mértékéről is képet kaphatnánk.

Az avarbomlás „keretes” mérést befolyásoló hatását egy nagyobb mintaszámú méréssorozattal lehetne „megfogni”, mégpedig úgy, hogy egy kb. márciusi hagyományos telepítés után a kereteket (30 db) súlyállandóságig szárítanánk szobahőmérsékleten, majd az állomány alá visszatéve mindet, havonta 5-5 keretet laborban kiszárítva mérnénk a súlyváltozást, vagyis az utolsó öt keret hat hónapot maradna az állomány alatt a bomlási folyamatoknak kitéve. Ezzel a bomlás mértékét és a vizsgálati időszakon belüli ütemét is meghatározhatnánk.

További faállományokra vonatkozó kutatási irányok:

A disszertáció részben elemzi csak a lucfenyő avarjának intercepcióját. A Hidegvíz-völgyben ezt a fafajt sokáig elsődlegesen telepítendő fafajnak tartották, és a terület jelentős részén legalább egyszer ténylegesen telepítették is (Bartha-Oroszi, 2011): Érdemes lenne tehát e fafaj esetén is meghatározni az avarintercepciót.

Értekes elemzés lenne, egy a Hidegvíz-völgy egészére meghatározott avarintercepció érték megadása, mely a különböző korú és fafajú állományok vizsgálatát feltételezi.

A záródás nemcsak a kor függvénye lehet, hanem az erdőgazdálkodási munkák következménye is. Az egyik jelentős hatás a fokozatos felújítás, melynek során lékek keletkeznek. A lékek avarintercepciót befolyásoló hatását is tervezzük konkrét mérésekkel vizsgálni.

Rövid és hosszú időtávlatú avarintercepció változások kutatása:

A vízfelvétel folyamatának jobb megértése, leírása végett fontos lenne egy mérésor elvégzése lehetőleg egy legalább néhány napos száradási idő után, csapadékesemény alatt és után óránkénti, éjjel pedig akár kétóránkénti mérésekkel. Ezzel az expedíciós méréssel egy viszonylag pontos nedvesedés-száradás képet kapnánk.

Az avar vízvisszatartó képessége nem csak a felület nagyságától függ, hanem attól is, hogy az avar belsejébe mennyi víz szívódik be. Ez feltételezhetően a csapadék időtartamával és nagyságával van összefüggésben. A pontos kapcsolat tisztázására is további vizsgálatok szükségesek.

Természetesen érdekes lenne az eddigi vizsgálatokból kimaradt és az avarintercepció szempontjából legnagyobb jelentőségű tavaszi hónapok idején is méréseket végezni, valamint a hóintercepciót vizsgálni, ahogy arra a lombkorona esetén már történtek mérések.

Az avar vízvisszatartó képessége, száradása és nedvesedése más klímaparaméterekkel is összefügg. Ezek vizsgálatával felmerülhet a modell tökéletesítésének lehetősége.

Az avarintercepció nagysága hosszabb távon a globális klímaváltozás hatására is változhat. Ennek mértékét és irányát is szükséges részletesebben vizsgálni.

8. Összefoglalás

A disszertáció bemutatja a lombkorona-intercepcióval, és az avarintercepcióval foglalkozó fontosabb kutatásokat, áttekinti a mérési módszereket, és a jelenségeket befolyásoló paramétereket.

Jelen vizsgálatok igyekeznek feltérképezni az avarintercepció meghatározásának lehetőségeit, nehézségeit, bizonytalanságait több részterület elemzésével.

A kutatás kezdeti szakaszában adott területről összegyűjtött avar víztartalmának és tömegének meghatározása volt a vizsgálat módszere, mellyel egy három éves idősor állt elő 2003 és 2005 között. Ezekben az években három fafajt vizsgáltunk: kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*), bükk (*Fagus sylvatica*) és luc (*Picea abies*). Az érintett állományok közül a luc rendelkezik az egységnyi területre vetített legnagyobb avar-tömeggel, mely kétszerese a vizsgált bükk állományénak. A kutatásokba bevont állományok közül legkevesebb avara a kocsánytalan tölgy állománynak van. Az avargyűjtéses módszer adatai alapján azt az eredményt kaptuk, hogy az egységnyi tömegről eső effektív vízvisszatartási tulajdonságukban nincs jelentős különbség a fafajok között. A maximális avarvíztartalom tehát a fafajtól csak közvetve, a száraztömegén keresztül, függ.

Az avargyűjtésből történő intercepció meghatározásához szükséges kiürülési görbéket elkészítettük a laboratóriumi kísérlet adataiból. A laborkísérlet során téli és nyári kiürülést szimuláltunk a három fafaj esetén. A laboratóriumi adatok segítségével elemezni tudtuk az avargyűjtés adatait, vagyis becsülni tudtuk az avarintercepció értékeit.

Az avar összetételét vizsgálva meghatározásra került az avaralkotók részaránya a szárazavar-tömeg és a víztartalom függvényében. A mérés érintette a szigorúan vett avar (leveleket), a vékony gallyakat, az 1 cm átmérőt meghaladó ágdarabokat, az avarszintben található zöld növényeket, és – ahol volt – a terméseket és termőtestes gombákat. A szétválasztás és elemzése tölgy és bükk fafajok esetén történt meg. Bükk esetén a legnagyobb száraztömeget az avar teszi ki, míg a gallyak, ágak annak felét adják, közel azonos arányban az 1cm-nél vékonyabb és az 1 cm-nél vastagabb részek. Víztartalmuk az avarszint 27%-a. A termések száraztömege 4% és nedvességtartalma 7% a teljes mintához képest. A mintáinkba belekerülő avar tartalmazza az avarleveleken kívül az 1 cm-nél vékonyabb gallyakat, és a büknél a terméseket. Ez a mintavétel így a csupán avarleveleket tartalmazó mintákhoz képest 30%-os eltérést jelent a száraztömegek tekintetében, és e vizsgálat időpontjában 0,7 mm

nedvességtartalom-eltérést. Az egyes avaralkotók száraztömeg-adatai kocsánytalan tölgy esetén kevésbé számottevőek, legnagyobb arányban (79%) találjuk az avarleveleket, majd a vékony gallyakat (12,5%), zöld növényeket (5%), míg 1 cm-nél vastagabb fa e mintavétel során elenyésző mennyiségben (kevesebb, mint 4%) került a mintánkba. A víztartalom megoszlása az egyes avarszint-alkotók között szintén ezt a sorrendet követi a kocsánytalan tölgy esetén (84% avarlevél, 7,5% gallyak, 6,5% zöld növények és 2% körüli az 1 cm-nél vastagabb ág kategória). Az avarlevelekkel együtt szedett vékony gallyak tehát a száraztömeget 12,5%-kal, a víztartalmat 0,1 mm-rel növelik. A további kutatásokban is az avar, (bükk esetén a termések is) és a vékony 1 cm-nél vékonyabb gallyak képezik a mérések alapját, mivel terepi körülmények között ezek szétválasztása lehetséges a többi összetevőtől, valamint előfordulási valószínűségük egyenletes.

A dolgozat kitér az avarhullás, avartömeg dinamikájára, mely a maximális tározási kapacitás éven belüli változását befolyásolja. A jelenség leírására az avargyűjtéses módszer adatait és külön az avarhullás idejére ütemezett vizsgálatot is elemeztünk. Az avarhullás vizsgálatával becsültük a „keretes mérés” hibáját (a hozzá nem adódó száraztömeget), mely jelen esetben 50 cm·50 cm-es minták esetén októbertől november közepéig összeadódóan: tölgy 54g, bükk 46g, fenyő 18g. Az avargyűjtéses módszer esetén a mintanagysághoz számolt 30-25-10g avartöbblet jelentkezik.

Már a kezdeti elemzések során határozottan megmutatkozott a terepen gyűjtött avar területi változékonysága. A környező fák helyzetének függvényében vizsgálva az avar víztartalmát kimondható, hogy a fák helyzete és az avar víztartalma között bükk esetén gyenge összefüggést találtunk, melynek további vizsgálata szükséges a pontosabb összefüggés tisztázására, és sem a nedvességtartalomra, sem a száraztömeg nagyságára nincs kimutatható hatással a fák helyzete a luc és a kocsánytalan tölgy esetén. A vizsgált három fafaj esetén nem találtunk olyan jellemző összefüggést, ami indokoltá tenné a fák helyzetének későbbi figyelembe vételét az avar száraztömeg-, és víztartalom értékei szempontjából, és ami meghaladná a területi változékonyság mértékét.

A terepi avargyűjtések időigénye miatt a mintaszámokat nem lehetett növelni, de a mérések eredményének megbízhatóságára vonatkozó számítások szükségessége nyilvánvalóvá vált. Ennek vizsgálatára egy alkalommal állományonként 40-40 darabra növelve a mintaszámot (összesen 120 minta) elemeztük a mérési pontosságot fafajonként. Az egy időben mindhárom fafaj tekintetében elvégzett nagy mintaszám a fafajok közötti összehasonlíthatóságot is lehetővé tette. Eredményeink szerint a 25-40 darab 0,38m·0,38m nagyságú minta biztosíthatna megbízható eredményeket.

A területi változékonyság miatt új módszer kidolgozására került sor, mely viszonylag állandó avartömeeggel méri a csapadékesemény hatására bekövetkező víztartalom-változást. A dolgozatban „keretes” mintavételként jellemzett módszer lényege, hogy 50·50 cm-es huzal keretre varrt szúnyoghálóban lehetőleg zavartalan avarminta kerül, mely minden oldalról (felülről és alulról is) szúnyoghálóval fedett a hozzáhullás (őszi vagy szél általi) megakadályozása végett. Így a megelőző és csapadékeseményt követő tömegmérésből a csapadékesemény hatására bekövetkező nedvességtartalom-változás meghatározható.

Vizsgáltuk az áthulló csapadék és a szabadterületi csapadék kapcsolatát a kocsánytalan tölgy és a bükk állomány esetén, és függvényesítettük azt.

Az új adatgyűjtési módszer segítségével a korábbi lombkorona-intercepciós függvényeket a megfelelő módosításokkal alkalmaztuk először alacsony megelőző (csapadékesemény előtti) nedvességtartalmú minták esetén, és a megfelelőnek ítélt összefüggéssel modelleztük a párolgási tag nélküli avarintercepciót kocsánytalan tölgy és bükk esetén, melyben már figyelembe vettük a megelőző víztartalmat, mely csökkenti az aktuális tározási kapacitást. A modellel becsültük a 2006-2008-as évek avarintercepcióját.

A megelőző víztartalom becsléséhez számítottuk a megelőző csapadék-indexet (API) az árvízi modellezés kapcsán használt lineáris összefüggéssel (Kontur et al., 2001), de ez a modell nem bizonyult megfelelőnek az exponenciális függvénnyel leírható kiürülés esetén, ezért adaptáltuk a talajnedvességre vonatkozó Jakeman-Hornberger (1993) modellt, mely a kiürülést a hőmérséklet segítségével veszi figyelembe.

Emellett megfogalmaztuk javaslatainkat, jövőbeli terveinket a vizsgálatok folytatásához, melyekkel komplexebbé tehető az avar vízháztartásban betöltött szerepéről alkotott ismeretünk.

9. Tézisek

1. A szerző munkájában új módszert dolgozott ki az avarintercepció mérésére („keretes mérés”), mely az avar száraztömegének területi változékonyságából adódó avarintercepció meghatározási nehézségét (az azonos helyen történő méréssel) csökkenti. A tömegmérés-változáson alapuló metódus állandó avarmennyiséggel, állandó helyszínen valósul meg, így az egymást követő adatok összehasonlíthatóak. A módszer lényege, hogy minden oldalról szúnyoghálóval zárt keretekbe lehetőség szerint legkevésbé bolygatott avarminta kerül, melynek tömegét rendszeres időközönként rögzítik. A szúnyogháló kiküszöböl bizonyos zavaró hatásokat (hozzáhullás, elhordódás, bolygatás stb.), de nem gátolja a környezetével való állandó kapcsolatot. A módszer automatizálható, ami alacsony munkaigényűvé teheti a metódust.

2. A jelölt az avargyűjtés módszerével vizsgálta az avertömeg és a nedvességtartalom kapcsolatát. Megállapította, hogy egységnyi tömegre eső effektív vízvisszatartási tulajdonságukban nincs jelentős különbség a fafajok között. A fajlagos (tömegre vonatkozó) maximális tározási kapacitás sokkal inkább függ az avar száraztömegétől, mint a fafajtól. Mérései szerint egy kilogramm avar 2,1-2,2 liter csapadékot képes tárolni.

3. A szerző meghatározta az avarszintalkotók száraztömeg arányait és azok részesedését az avarszint egy négyzetméterének összes nedvesség-tartalmából (bükk és kocsánytalan tölgy esetén).

Megállapította, hogy az avarszint száraztömegének legnagyobb részét az avarlevelek teszik ki (KTT: 79%, B: 63%), melyeknek az avarszint víztartalmából való részesedése is jelentős (KTT: 84%, B: 66%). A területen viszonylag egyenletes eloszlásban megtalálható, ezért az avar vizsgálatokhoz a levelekkel együtt gyűjtött vékony gallyak száraztömeg részesedése KTT esetén 13%, B esetén 16% volt (víztartalom részesedése KTT: 7%, B: 15%). A termések jelenléte csak a bükk állományban volt jellemző, melyek szintén a minták részét képezték, 7% vízrészesedéssel, és 4% száraztömeg-aránnyal rendelkeztek.

Leírja továbbá, hogy a véletlenszerű előfordulású vastag ág kategória száraztömeg aránya a büknél jelentős 17%, kocsánytalan tölgy esetén kevésbé (4%), víztartalomtól való részesedése büknél 12%, kocsánytalan tölgnél 7% volt. Lágyszárúak a kocsánytalan tölgy esetén jelentősebbek, 5%-ot képviselnek a száraztömegből, 7%-ot a víztartalomtól. A bükk állományban a zöld növények, és termőtestes gombák mennyisége a vizsgált aspektusban a száraztömeget és víztartalmat tekintve egyaránt elenyésző volt.

4. A szerző alkalmazza a lombkorona-intercepció leírására használatos összefüggéseket a megfelelő módosításokkal az avarintercepció meghatározására. A képleteket felparaméterezte, és jóságukat vizsgálta. A legalkalmasabbnak a Merriam formulát találta a kocsánytalan tölgy és a bükk esetén.

A megelőző nedvességtartalom figyelembevételével az előbbi Merriam képletet továbbfejlesztve az avarintercepció leírására kidolgozott egy a megelőző nedvességtartalmat figyelembe vevő új összefüggést, melyet az adott időszak adatai és a vizsgált fafajok (bükk, kocsánytalan tölgy) alapján paraméterekkel látott el.

5. A jelölt numerikusan jellemezte az avar kiürülését, és az avar megelőző víztartalmának meghatározásához vizsgálta a hazai irodalom alapján lineáris összefüggéssel számolt (5, 10, 20 és 30 napos) megelőző csapadék-indexet (API), melyet a lefolyás-modellekben is alkalmaznak. Megállapította, hogy az avarintercepció meghatározásához a lineáris súlyokat alkalmazó megoldás nem helyes, mivel a kiürülés sem lineáris, helyette inkább az exponenciális súlyok alkalmazása lehet reális, ezért adaptálta a talajnedvességre vonatkozó a kiürülést a hőmérséklet segítségével figyelembe vevő Jakeman-Hornberger (1993) modellt az avartakaró esetére, és megállapította, hogy az megfelelően leírja az avar kiürülését.

10. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm Istennek, hogy lehetőségimhez és képességeimhez mértem megírhattam munkámat, és hogy „utam során” olyan segítőt adott mellém, mint Dr. Gribovszki Zoltánt – témavezetőmet -, aki szakmai elhivatottságával példát mutatott, és egy-egy mondatával több hétre elegendő lelkesedést adott. Köszönöm a tartalmas konzultációkat, valamint hogy mindig feltehettem kérdéseimet és elmondhattam kételyeimet.

Köszönet másik témavezetőmnek Dr. Kalicz Péternek az R-program megismeréséhez nyújtott segítségéért, az iteráló program megírásáért, a terepi munkákban nyújtott közreműködéséért, és a csapadékadatokért.

Köszönöm a munkatársaimnak, különösen Dr. Kucsara Mihálynak, a hasznos tanácsait bírálóként, és tapasztalatainak átadását, Dr. Kosztka Miklósnak és Dr. Péterfalvi Józsefnek, hogy mindvégig támogattak, és bizalmukkal erősítettek.

Köszönet illeti Dr. Führer Ernőt, hogy opponensként a munkahelyi védésen megfogalmazta építő kritikáját.

Köszönet Makkai Zoltánnénak és Balázs Lászlónak a tárgyi feltételek megteremtésében nyújtott segítségükért és Csikós Jenőnek az adatgyűjtésben való közreműködését.

Köszönettel tartozom Eredics Attilának és Dr. Vig Péternek a meteorológiai adatok szolgáltatásáért.

Köszönet Halmos Orsolyának a dolgozat átnézésében nyújtott segítségéért, és mindenkinek, aki bármi módon hozzájárult munkámhoz.

Hálás vagyok férjemnek, Dr. Zagyvai Gergelynek sokrétű segítségéért. Köszönöm Neki és gyermekeimnek, Csengének és Csillának, hogy időnként türelemmel viselték hiányomat. Köszönöm szüleimnek, férjem szüleinek, valamint Papp Katalinnak, hogy gyermekvigyázással is támogatták a dolgozat elkészültét.

A disszertáció létrejöttét a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0013 Agrárklíma: az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti és agrár szektorban, és a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0004 Silva naturalis A folyamatos erdőborítás megvalósításának ökológiai, konzervációbiológiai, közjóléti és természetvédelmi szempontú vizsgálata c. pályázatok támogatták.

11. Irodalomjegyzék

- Aston, A. R. (1979): Rainfall interception by eight small trees. *Journal of Hydrology*, 42: pp. 383-396.
- Bartha D. – Oroszi S. (szerk.) (2011): A Soproni-hegység erdőállományainak története. – Tanulmányi Állami Erdőgazdaság Zrt., Sopron, 240 pp.
- Baumgartner, A. – Liebscher, H.-J. (1990): Allgemeine Hydrologie. Quantitative Hydrologie. Gebrüder Borntraeger, Berlin-Stuttgart.
- Bellér Péter (1996): Meszezési kísérletek a Soproni-hegységben. Kutatási jelentés, Soproni Egyetem, Sopron.
- Bencze G. (1901): Az erdő és a csapadék. *Erdészeti Kísérletek*, III. évf. 3-4. sz., pp. 104-120
- Bencze G. (1902): Az erdő és a csapadék. II. A zuzmara mennyiségének és a hónyomás nagyságának meghatározására vonatkozó kísérleti adatok. III. Az eső és a különféle fanemek. *Erdészeti Kísérletek*, IV. évf. 3-4. sz., pp. 98-104
- Benecke, P. (1984): Der Wasserumsatz eines Buchen- und eines Fichtenwaldökosystems im Hochsolling. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main.
- Blow, F. E. (1955): Quantity and Hydrologic Characteristics of Litter under Upland Oak Forest in Eastern Tennessee. *Journal of Forestry* 53: 190-195.
- Bulcock, H. H. – Jewitt, G. P. W. (2012): Modelling canopy and litter interception in commercial forest plantations in South Africa, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 9, pp. 8293-8333.
- Csapody I. (1994): A hazai *Noricum* megítélésének új szempontjai. In: Bartha D. (szerk.): A Kőszegi-hegység vegetációja. Saját kiadás. Kőszeg-Sopron. pp. 100-105.
- Cseresnyés I. – Csontos P. (2007): A feketefenyvesek szárazsági viszonyainak változása. in. Csontos (szerk.): Feketefenyvesek ökológiai kutatása. Scientia Kiadó, Budapest.
- Danszky I. (szerk..) (1963): Magyarország erdőgazdasági tájainak erdőfelújítási, erdőtelepítési irányelvei és eljárásai. „I. Nyugat-Dunántúl erdőgazdasági tájcsoport”. Budapest, OEF.
- Delfs, J. (1955): Die Niederschlagszurückhaltung im Walde. In.: Mitteilungen des Arbeitskreises "Wald und Wasser". Nr. 2. Koblenz.
- DVWK (1992): Guidelines for water management, Determination of Interception Loss in Forest Stands during Rain. Verlag Paul Parey, Hamburg and Berlin.

- Dövényi Z. (2010): Magyarország kistájainak katasztere. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, pp. 345-347.
- Fekete Z. (1949): A koronaátmérő és a mellmagassági átmérő kölcsönös viszonya. *Erdészeti lapok*, (85. évf.) 10. sz. pp. 234-237.
- Fekete I. Cs. (2009): Avarkezelések hatása a síkfőkúti DIRT parcellák talajainak mikrobiális aktivitására és szerves anyag tartalmára. Doktori értekezés, Debrecen.
- Firbás O. (1978): A soproni hegyvidék vízrendezésének vizsgálata. Szakmérnöki diplomatervezés, Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron.
- Firbás O. (1998): A Soproni Hegység védetté nyilvánításának kezdeteiről és a vízrajzi kutatások megindulásáról. *Soproni Műhely*, 4. sz.
- Führer E. (1984): A csapadék megoszlása és az intercepció különböző hazai erdőtársulásokban. Doktori értekezés, Sopron.
- Führer E. (1992): Intercepció meghatározása bükk, kocsánytalan tölgy és lucfenyő erdőben. *Vízügyi közlemények*, LXXIV. (3. füzet): pp. 281-294.
- Führer E. (1994): Csapadékmérések bükkös, kocsánytalan tölgyes és lucfenyves ökoszisztémában. *Erdészeti Kutatások*, 84: pp. 11-35.
- Gaál M. (2007): A kukoricatermelés klimatikus feltételeinek várható változása a B2 scenárió alapján. In: Csete L. (szerk.): „Klíma-21” Füzetek. 51. pp. 48-56.
- Gash, J. H. C. – Morton, A. J. (1978): An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from Thetford Forest, *Journal of Hydrology*, 38: pp. 49-58.
- Gácsi Zs. (2000): A talajvízszint észlelés, mint hagyományos, és a vízforgalmi modellezés, mint új módszer alföldi erdeink vízháztartásának vizsgálatában. Doktori (Ph.D.) értekezés, Kecskemét.
- Gerrits, A. M. J. – Savenije, H. H. G. – Hoffmann, L. – Pfister, L. (2006): Measuring forest floor interception in a beech forest in Luxembourg. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 3. pp. 2323-2341.
- Gómez, J. A. – Giráldez, J. V. – Fereres, E. (2001): Rainfall interception by olive trees in relation to leaf area. *Agricultural Water Management*, Volume 49, Issue 1, 2 July 2001, Pages 65–76.
- Gribovszki Z. – Kalicz P. – Kucsara M. (2006): Streamflow Characteristics of Two Forested Catchments in Sopron Hills. *Acta Silv. Lign. Hung.*, Vol. 2. p. 81-92.
<http://aslh.nyme.hu>
- Gribovszki Z. – Kalicz P. – Kucsara M. (2012): Víztan. Kézirat, Sopron, Oktatási segédlet.

- Gyalog L. (2005): Magyarázó Magyarország fedett földtani térképéhez (az egységek rövid leírása). 1: 100 000. Magyar Állami Földtani Intézet
- Halász G. (szerk.) (2006): Magyarország erdészeti tájai. Állami Erdészeti Szolgálat, Budapest.
- Hall, R. L. (2003): Interception loss as a function of rainfall and forest types: stochastic modelling for tropical canopies revisited. *Journal of Hydrology*, vol. 280, issue 1-4: pp. 1-12
- Haria, A. H. – Price, D. J. (2000): Evaporation from Scots Pine following natural recolonisation of the Cairngorm mountains. Scotland, *Hydrology and Earth System Sciences*, 4. (3): 451-461
- Hazslinszky T. (1976): Az erdő szerepe a hidrológiai körfolyamatban. *Vízügyi Közlemények*, (58. évf.) 2. sz. pp. 295-301.
- Heal, K. V. – Stidson, R. T. – Dickey, C. A. – Cape, J. N. – Heal, M. R. (2004): New data for water losses from mature Sitka spruce plantations in temperate upland catchments, *Hydrological Sciences*, 49 (3) June, pp. 477-493.
- Helvey, J. D. (1967): Interception by eastern white pine. *Water Resources Research*, 3: pp. 723-729.
- Helvey, J. D. – Patric, J. H. (1965): Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of eastern. United States, *Water Resources Research*, 1, pp. 193-206.
- Helvey, J. D. (1964) Rainfall interception by hardwood forest litter in the southern Appalachians. *U. S. Forest Serv. Southeast. Forest Expt. Sta. Res. Paper S*, 8.
- Herwitz, S. R. (1985): Interception storage capacities of tropical rainforest canopy trees. *Journal of Hydrology*, 77: pp. 237-252.
- Hewlett, J. D. (1982): Principles of forest hydrology. The University of Georgia Press, Athens
- Horton, R. E. (1919): Rainfall interception.. *Monthly Weather Review.*, 47: pp. 603-623.
- Hörmann, G. – Branding, A. – Clemen, T. – Herbst, M. – Hinrichs, A. – Thamm, F. (1996): Calculation and simulation of wind controlled canopy interception of a beech forest in Northern Germany. *Agricultural and Forest Meteorology* 79: pp. 131-148.
- Huber, A. – Iroume, A. (2001): Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile, *Journal of Hydrology*, 248. pp. 78-92.
- Ijjász E. (1936): A nyersalomtakaró szerepe az erdők vízháztartásában. *Hidrológiai Közöny*, 16. kötet pp. 72-101.

- Illés N. (1869): Az erdei alomról. *Erdészeti lapok*, pp. 33-35.
- Jakeman, A. J. – Hornberger, G. M. (1993): How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model? *Water Resources Research* 29 (8). pp. 2637-2649.
- Járó Z. (1958): Alommennyiségek a magyar erdő egyes típusaiban. *Erdészettudományi Közlemények*, 1. sz. pp. 151-159.
- Járó Z. (1959): Az erdei alom. *Az erdő*, 8. sz. pp. 302-307.
- Járó Z. (1963): A lomb bomlása különböző állományok alatt. *Erdészeti Kutatások* 59. évf.1-2. sz. pp. 95-104.
- Járó Z. (1980): Intercepció a Gödöllői kultúrerdei ökoszisztémában. *Erdészeti Kutatások*, 73. pp. 7-17.
- Johnson, R. C. (1990): The interception, throughfall and stemflow in a forest in Highland Scotland and the comparison with other upland forests in the U.K. *Journal of Hydrology*, vol.: 118, pp. 281-287.
- Juhász J. (2002): Hidrogeológia. Akadémiai Kiadó, Budapest. 456 p.
- Justyák J. (1989): Tölgyerdő és szőlőültetvény csapadékintercepciójának vizsgálata. *Léggör*, (34. évf.) 2. sz. pp. 9-13.
- Kang, Y. – Wang, Q.-G. –Liu, H.-J. (2005): Winter wheat canopy interception and its influence factors under sprinkler irrigation. *Agricultural Water Management*, 74, pp. 189–199.
- Kárpáti Z. (1956): Die Florengrenzen in der Umgebung von Sopron und Florendistrikt Laitaicum. *Acta Botanica Hungarica* 2. p. 281-307.
- Király G. (2001): A Fertőmelléki-dombsor vegetációja. *Tilia* 10: pp. 181-357.
- Király G. (2004): Természetföldrajzi áttekintés. In: Király G. (szerk.): A Soproni-hegység edényes flórája. *Flora Pannonica* 2. évf. 1. sz.: pp. 7-12.
- Király G. (2008): Soproni-hegység. 224. p. In: Magyarország földrajzi kistájainak növényzete (szerk. Király G., Molnár Zs., Bölöni J., Csiki J., Vojtkó A.). MTA-ÖBKI. Vácrátót.
- Király G. – Szmorad F. (2004a): A Soproni-hegység vegetációja. In: Király G. (szerk.): A Soproni-hegység edényes flórája. *Flora Pannonica* 2. évf. 1. sz.: pp. 13-17.
- Király G. – Szmorad F. (2004b): A Soproni-hegység növényföldrajzi viszonyai. In: Király G. (szerk.): A Soproni-hegység edényes flórája. *Flora Pannonica* 2. évf. 1. sz.: pp. 22-36.
- Kiss K. A. (2001): Áthulló csapadék mérési metodikája egy középkorú bükkösben. TDK dolgozat, Sopron.
- Kiss M. (2012): Éghajlati adatsorok 1. Brennbergbánya Borbálatelepe. Sopron.

- Koloszár J. (1980): Természetes erdei ökoszisztémák és a csapadék. in. Erdő és víz, Munkaértekezlet, EFE, Sopron.
- Kontur I. – Koris K. – Winter J. (2001): Hidrológiai számítások. Linograf Kft. Gödöllő.
- KorhnaK, L. V. (2000): Chapter 6: Restoring the hydrological cycle in the urban forest ecosystem. In Duryea, M.L. – Kämpf Binelli, E. – KorhnaK, L.V. (Eds.): Restoring the Urban Forest Ecosystem. (CD-ROM) School of Forest Resources and Conservation, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
- Kovács Gy. (1974): A felszíni lefolyás általános vizsgálata és az árvizek előrejelzése. *Vízügyi közlemények*, pp. 5-50.
- Kozák A. – Orbay L. (1989): A többváltozós regressziószámítások alapjai és fagazdasági alkalmazása. Kézirat, Sopron.
- Kucsara M. (szerk.) (1994): Hidegvízvölgyi Hidrometeorológiai Mérőállomás 1993. évi adatai. EFE, Sopron.
- Kucsara M. – Vig P. (1995): Egy bükkös vízháztartása. In.: Berényi Dénes Professzor születésének 95. évfordulója tiszteletére rendezett tudományos emlékülés előadásai, Debrecen.
- Kucsara M. (1996): Csapadék és lefolyás erdészeti kisvízgyűjtőn. Doktori értekezés, Sopron.
- Kucsara M. (1998): Az erdő csapadékviszonyainak vizsgálata. *Vízügyi Közlemények*, LXXX. Évf. 3. füzet.
- Krutzsch, H. (1864): Die zu forstlichen Zwecken eingerichteten meteorologischen Stationen und die Resultate der Beobachtungen im Jahre 1863. Tharandterforstl. Jahrbuch. pp. 216-226.
- Lee, R. (1980): Forest Hydrology. Columbia University Press, New York.
- Leonard, R. E. (1967): Mathematical Theory of Interception. In.: W. E. Sopper and H. W Lull (ed.), International Symposium on Forest Hydrology. Pergamon Press, Oxford.
- Link, T. E. – Unsworth M. – Marks D. (2004): The dynamics of rainfall interception by a seasonal temperate rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124, pp. 171–191.
- Linsley, R. K. – Kohler, M. A. – Paulhus, J. L. (1949): Applied Hydrology. McGraw-Hill Book Co., New York, 689. p.
- Llorens, P. (1997): Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area. II- Assessment of the applicability of the Gash analytical model. *Journal of Hydrology*, 199: pp. 346-359.

- Llorens, P. – Domingo, F. (2007): Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *Journal of Hydrology*, 199: pp. 346-359.
- Lockwood, J. G. (1990): The influence of temperature variations on interception loss and water storage in vegetation canopies. *Water Resources Research*, 26. (5): pp. 941-943.
- Loshali, D.C. – Singh, R.P. (1992): Partitioning of rainfall by three Central Himalayan forests. *Forest Ecology and Management* 53 (1-4). pp. 99-105.
- Lowdermilk, W. C. (1930): Influence of forest litter on run-off, percolation, and erosion. *Journal of Forestry* 28. pp. 474-490.
- Martos A. (1965): Sopronkörnyéki erdők csapadékeloszlása és ennek termőhelyi vonatkozása. In *Az erdészeti meteorológia néhány kérdése (Az MMT X. Vándorgyűlésén elhangzott előadások és hozzászólások)*. MMT, Budapest.
- Massman, W. J. (1983): The derivation and validation of a new model for the interception of rainfall by forests. *Agricultural Meteorology*, 28: pp. 261-286.
- Merriam, R. A. (1960): A note on the interception loss equation. *Journal of Geophysical Research*, 65 (11): pp. 3850-3851.
- MÉM Erdőrendezési Szolgálat (1986): *Útmutató az erdőállomány-gazdálkodási tervek készítéséhez*, Budapest.
- Monke, E. J. (1971) : Biological effects in the hydrological cycle. Proceedings of The Third International Seminar for Hydrology Professors; A National Science Foundation Advanced Science Seminar, Held at Purdue University, West Lafayette, Indiana, U.S.A. July 18-30.
- Móricz N. – Gálos B. – Gribovszki Z. (2009): Az erdők mérési és modellezési lehetőségei. *Hidrológiai Közlemény*, 89. évf. 4. sz. pp. 35-46.
- Murakami, S. (2006): A proposal for a new forest canopy interception mechanism: Splash droplet evaporation. *Journal of Hydrology*, 319: pp. 72-82.
- Murakami, S. (2007): Application of three canopy interception models to a young stand of Japanese cypress and interpretation in terms of interception mechanism. *Journal of Hydrology*, 342: pp. 305-319.
- Pankotai G. – Rácz J. (1975): Erdészeti vízgazdálkodástan. EFE egyetemi jegyzet, Sopron.
- Rácz J. (1981): Az erdészeti vízgazdálkodás oktatásának problémája. in. Majer Antal-Kovács István (szerk.): *Erdő és víz*, Veszprém.
- Rowe, L.K. (1983): Rainfall interception by an evergreen beech forest, Nelson, New Zealand. *Journal of Hydrology*, 66: pp. 143-158.

- Silva, I. C. – Okumura, T. (1996): Troughfall, stemflow and interception loss in a mixed white oak forest. *Journal of Forest Research*, vol. 1. Nr. 3. pp. 123-129.
- Simonffy Z. (1978): Intercepció vizsgálatok. Helyzetfelmérő tanulmány, VITUKI, Bp. No.7631(1)21
- Singh B. (1977): The effect of rainfall characteristics and post-wetting synoptic conditions on evaporation rates from a wetted hardwood canopy. *Climatological Bulletin* 21: pp. 12–33
- Sitkey J. (1996): Erdős vízgyűjtő élővízminősége a csapadék és a faállomány összefüggésében. Doktori értekezés, Sopron.
- Staelens, J. – Schrijver, A. D. – Verheyen, K. – Verhoest, N. E. C. (2008): Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology *Hydrological Processes*, vol. 22, Issue 1: pp. 33-45
- Storck, P. – Lettenmaier, D. P. – Bolton, S. M. (2002): Measurement of snow interception and canopy effects on snow accumulation and melt in a mountainous maritime climate, Oregon, United States. *Water Resources Research*, vol. 38. No. 11, 1223.
- Swank, W. T. –Goebel, N. B. – Helvey, J. D. (1972): Interception loss in loblolly pine stands of the South Carolina Piedmont. *Journal of Soil and Water Conservation*, 27:160-164.
- Szabó M. (1975): A csapadékvizsgálat kérdései erdei ökoszisztémákban. *Acta Biologica Debrecina*, 12.
- Szádeczky E. (1947): Sopron és a Kisalföld a Déleurópai hegláncok keretében. In.: *Földtani Értesítő*, 1947. Uf. X. évfolyam, pp. 15-19.
- Szomorad F. (2011): A Soproni-hegység erdeinek történeti, növényföldrajzi és cönológiai vizsgálata. *Tilia* 16: pp. 1-205.
- Thurow, T. L., Blackburn, W. H., Warren S. D., Taylor, J. R. (1987): Rainfall Interception by Midgrass, Shortgrass, and Live Oak Mottes. *Journal of Range Management*, 40(5), pp. 455-460.
- Tóth J. A. – Papp B. L. – Jakucs P. (1985): Litter production of forest. in. Jakucs P. (ed.) (1985): *Ecology of an Oak Forest in Hungary Results of „Síkfőkút Project”* 1. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Tsiko, C.T. – Makurira, H. – Gerrits, A.M.J. – Savenije, H.H.G. (2012): Measuring forest floor and canopy interception in a savannah ecosystem, *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 47-48, 122-127.
- Varga L. (1962): Az erdei alom bomlásáról. *Az erdő*, XI. évf., 2.sz. pp. 84-87.

- Vendel M. (1930): Sopron környékének geológiája II. rész: A neogén és a negyedkor üledékei *Erdészeti kísérletek*, pp. 1-16.
- Vig P. (2000): Egy bükkös állomány vízháztartását befolyásoló tényezők évközi változásai. In.: III. Erdő és klíma konferencia, Debrecen, p.132.
- Vig P. (2002): *A klimatikus változások hatásai egy középkorú bükkös vízháztartására*. Doktori (PhD) értekezés, Debreceni Egyetem.
- VITUKI (1976): Részjelentés A síkvidéki területek talajvízháztartásának vizsgálata megnevezésű téma 1976. évi munkáinak eredményeiről. Budapest, p. 26.
- Ward, R. C. – Robinson, M. (1975): Principles of hydrology. Third edition, McGraw-Hill Book Company Europe, chapter 3: pp. 54-70.
- Weiche, J. (1968): Niederschlagszurückhaltung durch Wald. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 29: pp. 522-525.
- Wollny, E. (1885): Az alom vízfelvevő és vízpárologtató képességéről, *Erdészeti Lapok* Lapszemléje az „Oesterreichische Forstzeitung”-ban megjelent cikk alapján, pp. 380-382.
- Xiao, Q. – McPherson, E. G. – Ustin, S. L. – Grismer, M. E. – Simpson, J. R. (2000): Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California, *Hydrological Processes* 14:763–784.
- Youmin, W. – Junhua, W. (2002): The Water and Soil Conservative Function of Litter on Forestland, 12th ISCO Conference <http://www.tucson.ars.ag.gov/isco/isco12/VolumeII/TheWaterandSoilConservativeFunction.pdf> Letöltés ideje: 2012. november 05.
- Zeng, N. – Shuttleworth, J. W. – Gash, J. H. C. (2000): Influence of temporal variability of rainfall on interception loss. Part I. Point analysis *Journal of Hydrology*, 228: pp. 228-241.

Felhasznált kartográfiai adatforrás:

Magyarország Földtani Térképe (1: 100 000). (2005) Magyar Állami Földtani Intézet. Budapest.

Egyéb forrás:

Országos Erdőállomány adattár 2005. évi adatai

Ábrák jegyzéke

3./I. ábra. Horton és Merriam függvényeinek összefüggése egy fiatal lucfenyvesre felírva (Kucsara nyomán in. Gribovszki et al., 2012).	12
3./II. ábra. Az avar víztartalmának változása az idő függvényében.	15
3./III. ábra. Avarintercepció-mérő berendezés, liziméter (Gerrits et al., 2006.)	21
3./IV. ábra. Az avar víztartalma az avar elérése csapadékmennyiség (1 inch=25,4 mm) függvényében egyes lombhullató állományban (Helvey, 1964).	28
4./I. ábra. Vizsgálati terület térképe.	30
4./II. ábra. Magyar Földtani Intézet által kiadott Földtani térkép a vizsgálati területről.	32
4./III. ábra. Sopron meteorológiai főállomás 1961-90. évi adatai alapján készült Walter-féle klímadiagram. A bal oldali tengely a léghőmérséklet °C skáláját, a jobb oldaliak pedig a csapadékösszeg mm skáláit tartalmazzák Vig (2002) nyomán.	35
4./IV. ábra. Az Alpok keleti előterének növényföldrajzi egységei (Király, 2001 nyomán módosítva Király – Szmorad, 2004b)	36
4./V. ábra. A Soproni-hegység potenciális természetes vegetációja (részlet) (Szmorad, 2011).	37
4./VI. ábra. Bükkös, lucos és kocsánytalan tölgyes intercepció kert.	38
4./VII. ábra. Mellmagassági átmérő-kategóriák eloszlása a bükkös intercepció kertben	39
4./VIII. ábra. Mellmagassági átmérő-kategóriák eloszlása a lucos intercepció kertben	39
4./IX. ábra. Mellmagassági átmérő-kategóriák eloszlása a kocsánytalan tölgyes intercepció kertben.	40
5./I. ábra. Csapadék adatsorok összefüggés-vizsgálata (napi csapadékok esetében)	44
5./II. ábra. Éves csapadékösszegek.	45
5./III. ábra. Havi csapadékösszegek a 2005-2008. években.	46
5./IV. ábra. Havi csapadékösszegek átlaga a 2005-2008. években.	46
5./V. ábra. Vizsgált fafajok (KTT, B, LF) avarképei és avarmetszetei.	48
5./VI. ábra. Az avargyűjtéses módszer bemutatása.	49
5./VII. ábra. Zavartalan minta	50
5./VIII. ábra. A beállított laborkísérlet.	51
5./IX. ábra. A hulló avar gyűjtésére szolgáló hálók a lucos intercepció kertben.	55
5./X. ábra. Keretek telepítése a tölgyes intercepció kertben (lezárás előtt).	56
5./XI. ábra. „Keretes” mérés a tölgyes intercepció kertben.	56
6./I. ábra. Lucfenyő avarminták víztartalom értékei a száraztömeg függvényében.	59
6./II. ábra. Bükk avarminták víztartalom értékei a száraztömeg függvényében.	60
6./III. ábra. Kocsánytalan tölgy avarminták víztartalom értékei a száraztömeg függvényében	60
6./IV. ábra. Lucfenyő avarminták száraztömeg-értékeinek előfordulási gyakorisága.	61
6./V. ábra. Bükk avarminták száraztömeg-értékeinek előfordulási gyakorisága.	61
6./VI. ábra. Kocsánytalan tölgy avarminták száraztömeg-értékeinek előfordulási gyakorisága.	61
6./VII. ábra. Laborkísérlet eredménye: Nyári kiürülési görbék.	63
6./VIII. ábra. Laborkísérlet eredménye: Téli kiürülési görbék.	64
6./IX. ábra. Az avargyűjtés adataiból történő intercepció-meghatározás segédábrája.	65
6./X. ábra. Az avargyűjtés adatai alapján számított és a függvénnyel becsült intercepció értékei LF esetén.	67
6./XI. ábra. Az egyes avaralkotók részeseződése a teljes (minden avaralkotót tartalmazó) száraztömegeből, és víztartalomból bükk esetén.	69
6./XII. ábra. Az egyes avaralkotók részeseződése a teljes (minden avaralkotót tartalmazó) száraztömegeből, és víztartalomból kocsánytalan tölgy esetén.	70
6./XIII. ábra. Kocsánytalan tölgy száraz avaravartömegének alakulása környezetének függvényében.	71
6./XIV. ábra. Kocsánytalan tölgy avar víztartalmának alakulása környezetének függvényében.	72
6./XV. ábra. Bükk száraz avaravartömeg alakulása környezetének függvényében.	72
6./XVI. ábra. Bükk avar víztartalmának alakulása környezetének függvényében (2005.05.05.)	73
6./XVII. ábra. Bükk avar víztartalma környezetének függvényében (2005.04.26.)	73
6./XVIII. ábra. Lucfenyő száraz avaravartömege környezetének függvényében.	74
6./XIX. ábra. Lucfenyő avar víztartalmának alakulása környezetének függvényében.	74
6./XX. ábra. Avarminták nedvességtartalma a legközelebbi fák távolságának függvényében (2005. 04. 26.)	75
6./XXI. ábra. Avarminták nedvességtartalma a legközelebbi fák távolságának függvényében (2005. 05. 05.)	76
6./XXII. ábra. Az avar területi változékonyságának vizsgálata a szükséges mintaszám alapján (száraztömeg esetén)	78
6./XXIII. ábra. Az avar területi változékonyságának vizsgálata a szükséges mintaszám alapján (víztartalom (mm) esetén)	78
6./XXIV. ábra. Az avarhullás idősora (2005)	80
6./XXV. ábra. Az avarhullás összegző görbéje (2005)	80

6./XXVI. ábra. Az avarminták száraztömegeinek változása (tíz minta átlagában) 2003-2005 években.	81
6./XXVII. ábra. Az avarminták száraztömegeinek havi átlagai a vizsgált időszakban.	82
6./XXVIII. ábra. A „keretes” mérések három fafajt megjelenítő 2005. évi víztartalom időszora.	82
6./XXIX. ábra. Október havi kiürülési görbe (2005) három fafaj esetén.	83
6./XXX. ábra. Szabadtéri csapadék és áthulló csapadék összefüggése kocsánytalan tölgy esetén.	84
6./XXXI. ábra. Szabadtéri csapadék és áthulló csapadék összefüggése bükk esetén.	85
6./XXXII. ábra. KTT avar víztartalom-változása az áthulló csapadék függvényében.	86
6./XXXIII. ábra. Bükk avar víztartalom-változása az áthulló csapadék függvényében különböző megelőző víztartalom esetén (w_{i-1} [mm]).	89
6./XXXIV. ábra. Kocsánytalan tölgy avar víztartalom-változása az áthulló csapadék függvényében különböző megelőző víztartalom esetén (w_{i-1} [mm]).	89
6./XXXV. ábra. Avargyűjtés és „keretes” mérések eredményeinek összehasonlító ábrája kocsánytalan tölgy esetén.	92
6./XXXVI. ábra. Avargyűjtés és „keretes” mérések eredményeinek összehasonlító ábrája bükk esetén.	92
6./XXXVII. ábra. Avargyűjtés és „keretes” mérések eredményeinek összehasonlító ábrája lucfenyő esetén.	92
6./XXXVIII. ábra. Kocsánytalan tölgy avar víztartalom és 10 napos megelőző csapadékindex összefüggése 2008-ban.	94
6./XXXIX. ábra. Kocsánytalan tölgy avar víztartalom és 30 napos megelőző csapadékindex összefüggése 2006-ban.	95
6./XXXX. ábra. Kocsánytalan tölgy avar víztartalom és 30 napos megelőző csapadékindex összefüggése 2006 nyarán.	95
6./XXXXI. ábra. A τ tartózkodási idő és a hozzá tartozó hőmérséklet referencia-hőmérséklettől való távolságának összefüggése kocsánytalan tölgy esetén.	97
6./XXXXII. ábra. Az avar-nedvességtartalom és a hőmérsékletet is figyelembe vevő API korrigált összefüggés-vizsgálata a 2008-as évben kocsánytalan tölgy esetén.	98

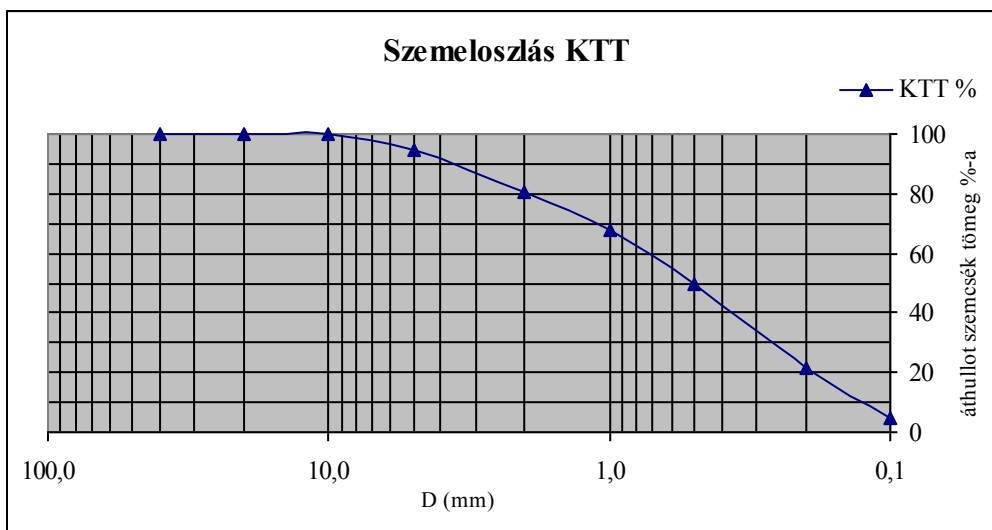
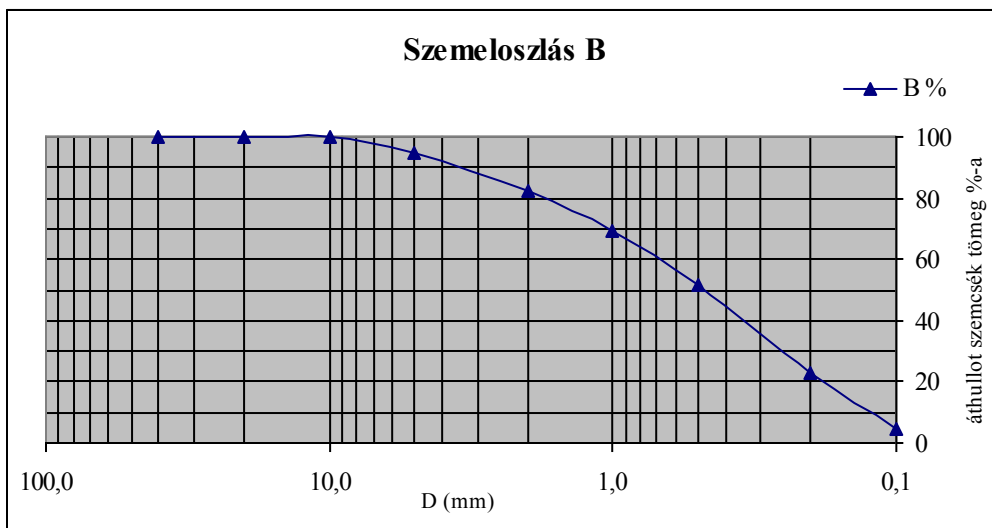
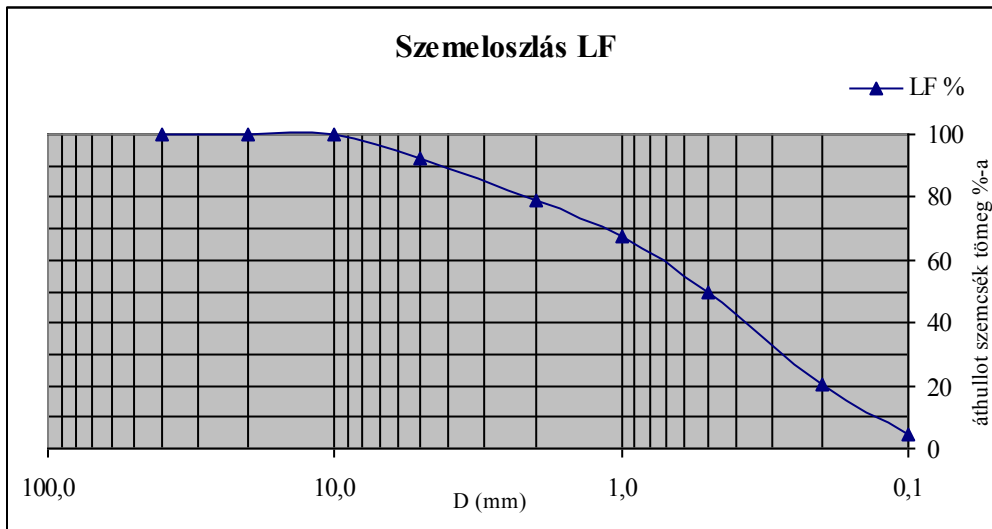
Táblázatok jegyzéke

3./I. táblázat. Az avarintercepció nagyságát bemutató néhány kutatási eredmény.	29
4./I. táblázat. A terület talajainak megoszlása talajtípus szerint (%) Halász (2006) nyomán.	33
4./II. táblázat. A sokéves átlag (1872-2000.) és az 1996-97. hidrológiai év havi középhőmérsékletei Sopronban és a Hidegvíz-völgyben (°C) Vig (2002) nyomán.	34
4./III. táblázat. Havi és évi átlagos csapadékösszegek 1872-2000. közötti időszakban, valamint az 1996-97. hidrológiai évben Sopronban, és Új-Hermesz telep csapadékmérő állomáson (mm) Vig (2002) nyomán.	35
6./I. táblázat. A labor kísérlet alapján becsült paraméterek és determinációs együttható értékek.	65
6./II. táblázat. Az avargyűjtés adatai alapján becsült paraméterek értékei, és determinációs együtthatói.	66
6./III. táblázat. Bükk avaralkotók tömeg és víztartalom-értékei, és befolyásoló hatásuk 1 m ² -re vetítve.	68
6./IV. táblázat. KTT avaralkotók tömeg és víztartalom-értékei, és befolyásoló hatásuk (1 m ²).	69
6./V. táblázat. Összefüggés-vizsgálat R ² -, és p-értékei (2005. 04. 26.).	75
6./VI. táblázat. Összefüggés-vizsgálat R ² -, és p-értékei (2005. 05. 05.).	76
6./VII. táblázat. Szabadtéri csapadék és áthulló csapadék összefüggés-vizsgálatának R ² -értékei.	84
6./VIII. táblázat. 0-1,00 mm megelőző víztartalmú avarintercepció adatok becslésének eredményei különböző formulák esetén.	87
6./IX. táblázat. Három éves adatsor avarintercepció becslésének eredményei.	89
6./X. táblázat. A megelőző csapadék-index és az avar víztartalmának összefüggés-vizsgálatakor kapott R ² -értékek.	93
6./XI. táblázat. Nyári összefüggés-vizsgálat R ² -értékei a 2006.-os évben kocsánytalan tölgy esetén.	94
6./XII. táblázat. Kiürülési időszakok α τ és hőmérséklet (T) adatai.	96
6./XIII. táblázat. Kiürülési időszakok alapján becsült τ_0 és g-értékek.	96
6./XIV. táblázat. A tényleges kiürülést figyelembe vevő megelőző csapadék-index és az avar víztartalmának összefüggés-vizsgálatakor kapott R ² -értékek.	97
6./XV. táblázat. A kidolgozott modellek – (33), (34) – segítségével a vegetációs időszakra becsült avarintercepció értékek.	100

Mellékletek jegyzéke

1. melléklet. Kiürülési kísérletben használt hordalék szemeloszlása 121
2. melléklet. Keretes mérés éves idősorai (csapadék, fafajonkénti nedves avartömeg (kg)) 122
3. melléklet. „Kézi” mérés száraztömeg- és víztartalom átlagértékei. (CD melléklet)
4. melléklet. „Keretes” mérés adatsora. (CD melléklet)
5. melléklet. Meteorológiai adatsor. (CD-melléklet)

1. melléklet. Kiürülési kísérletben használt hordalék szemeloszlása.



2. melléklet. „keretes” mérés éves idősorai (csapadék, fafajonkénti nedves avartömeg (kg))

