



A TALAJOK PUFFERKÉPESSÉGÉT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK ÉS JELENTŐSÉGÜK A KERTÉSZETI TERMESZTÉSBEN

Doktori értekezés

Csoma Zoltán

Budapest – 2010

A doktori iskola

megnevezése:	Kertészettudományi Doktori Iskola
tudományága:	Növénytermesztési és kertészeti tudományok
vezetője:	Dr. Tóth Magdolna egyetemi tanár, DSc Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Gyümölcsstermő Növények Tanszék
Témavezető:	Dr. Forró Edit egyetemi docens, CSc Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék

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

A Budapesti Corvinus Egyetem Élettudományi Területi Doktori Tanácsának 2009. 10. 06-i határozatában a nyilvános vita lefolytatására az alábbi bíráló Bizottságot jelölte ki:

BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG:

Elnöke

Balázs Sándor, MHAS, BCE

Tagjai

Terbe István, DSc, BCE

Némethy Zoltánné, PhD, BCE

Tolner László, CSc, SZIE

Csathó Péter, DSc, MTA TAKI

Opponensek

Fülekgyörgy, DSc, SZIE

Murányi Attila, DSc, MTA TAKI

Titkár

Némethy Zoltánné, PhD, BCE

TARTALOMJEGYZÉK

A dolgozatban előforduló jelölések és rövidítések jegyzéke	4
Bevezető	5
2. Irodalmi áttekintés	7
2.1 A sav-bázis pufferképesség definíciója.....	7
2.2 Rövid történelmi áttekintés	7
2.3 A talaj, mint a kémiai folyamatok szabályozó rendszere.....	8
2.4 Sav-bázis puffer rendszerek és puffer zónák a talajban.....	9
2.5 A talajalkotó anyagok sav-bázis semlegesítő mechanizmusa, pH hatástartománya és pufferkapacitása	10
2.5.1 A desztillált víz	11
2.5.2 A CO ₂ – víz rendszer	12
2.5.3 A kalcium-karbonátos rendszer	13
2.5.3.1 A kalcium-karbonátos rendszerben kialakuló egyensúlyok.....	13
2.5.3.2 A kalcium-karbonát sav-bázis tompító képessége	14
2.5.3.3 A víz hidrokarbonát tartalmának sav-bázis pufferképessége.....	15
2.5.4 A szilikátok oldódása és képződése	16
2.5.5 Az ásványi kolloidok pufferoló hatása.....	17
2.5.6 Az alumínium-hidrokomplexek és az alumínium-hidroxid polimerek pufferoló hatása ..	19
2.5.7 A szerves anyagok, mint puffer rendszerek	20
2.6 A potenciometriás titrálás és a titrálási görbék kiértékelése	23
2.6.1 A potenciometriás titrálás kivitelezése	23
2.6.2 A titrálási görbék kiértékelése	26
2.7 Egyéb módszerek a pufferképesség értékelésére	28
2.7.1 A savsemlegesítő kapacitás.....	28
2.7.2 A talajok pufferképességének becslése az ásványi rész ismeretében	29
2.7.3 A talajok pufferképességének számítása a humuszanyagok mennyiségének és minőségének ismeretében	29
2.7.4 A talajok pufferképességének számítása az ásványi és szerves anyagok ismeretében.....	30
2.8 A kertészeti termesztésben alkalmazott anyagok.....	31
2.8.1 A szerves anyagok	31
2.8.2 Az ásványi anyagok	33

3. Anyag és módszer	35
3.1 A vizsgált anyagok	35
3.1.1 A természetes eredetű szerves anyagok jellemzése	35
3.1.2 Az ásványi anyagok jellemzése	37
3.2 A sav-bázis pufferképesség meghatározása és értékelése	40
3.2.1 A sav-bázis titrálási görbék felvételénél alkalmazott eljárás	40
3.2.2 A sav-bázis pufferképesség értékelése	42
3.2.2.1 Sav pufferkapacitás és lúg pufferkapacitás	43
3.2.2.2 Sav érzékenységi index és lúg érzékenységi index	45
3.2.2.3 Sav puffer index és lúg puffer index	46
3.2.2.4 A sav és bázis mennyisége, amely megadott pH érték eléréséhez szükséges	46
3.2.2.5 Sav-bázis egyensúlyi index	47
3.3 Az ásványi és szerves anyagok fizikai-kémiai tulajdonságainak vizsgálatánál alkalmazott módszerek	47
3.4 Matematikai értékelés, statisztikai vizsgálatok	48
4. Eredmények és értékelés	49
4.1 A szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének vizsgálatára adaptált módszer	49
4.1.1 A kertészeti termesztésben alkalmazott szerves és ásványi anyagok határfelületi jelenségeivel kapcsolatos vizsgálatok sajátosságai	49
4.1.2 A szerves anyagból készített vizes kivonat és a minta egészére meghatározott pufferkapacitás értékek egymáshoz viszonyított aránya	50
4.1.3 A szerves anyagok, mesterséges talajok, gyökérrögzítő közegek sav-bázis pufferképességének vizsgálatára adaptált módszer	52
4.1.4 A nedvességtartalommal való korrekció hatása a titrálási görbék lefutására és a puffer index értékekre	54
4.2 A szerves anyagok sav-bázis pufferképességének értékelése a sav pufferkapacitás és a lúg pufferkapacitás mérőszámok alapján	56
4.2.1 Tőzegek	56
4.2.1.1 A tőzegek fizikai-kémiai tulajdonságainak értékelése	56
4.2.1.2 A tőzegek sav pufferkapacitásának és lúg pufferkapacitásának értékelése	58
4.2.2 Komposztok, nyersanyagok	63
4.2.2.1 A komposztok fizikai-kémiai tulajdonságainak értékelése	63
4.2.2.2 A komposztok sav pufferkapacitásának és lúg pufferkapacitásának értékelése	64
4.2.3 Talajtakarók	66

4.2.3.1 A talajtakarók fizikai-kémiai tulajdonságainak értékelése	66
4.2.3.2 A talajtakarók sav pufferkapacitásának és lúg pufferkapacitásának értékelése.....	68
4.2.4 A szerves anyagok sav-bázis titrálási görbéit leíró függvények	69
4.2.4.1 A szerves anyagok titrálási görbéire illeszthető függvények és vizsgálatuk	69
4.2.4.2 A szerves anyagok érzékenységi indexeinek és puffer indexeinek számszerű értékei	75
4.3 Az ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének értékelése.....	76
4.3.1 A homok sav-bázis pufferképességének értékelése	77
4.3.2 A perlit sav-bázis pufferképességének értékelése.....	80
4.3.3 Az égetett agyagkavics sav-bázis pufferképességének értékelése	81
4.3.4 A kőzetgyapot sav-bázis pufferképességének értékelése	82
4.3.5 A kaolin sav-bázis pufferképességének értékelése	83
4.3.6 A bentonitok sav-bázis pufferképességének értékelése	84
4.3.7 A vermikulit sav-bázis pufferképességének értékelése	87
4.3.8 A zeolit sav-bázis pufferképességének értékelése	88
4.3.9 Az alunit sav-bázis pufferképességének értékelése	90
4.4 A szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferképesség szerinti csoportosítása	91
4.5 A titrálási görbék gyakorlati alkalmazásának lehetőségei	93
4.5.1 A szerves anyagok kémhatásának szabályozása a puffer index alapján.....	93
4.5.2 A talajtakaró anyagok sav és lúgtompító kapacitásának becslése	98
4.6 A sav-bázis pufferképesség mérőszámainak összehasonlító jellemzése	101
4.7 A pufferképesség jelentősége a kertészeti termesztésben.....	103
4.8 Új tudományos eredmények.....	105
Következtetések, javaslatok	107
Összefoglalás.....	109
Summary	111
Mellékletek.....	113
1. sz. melléklet Irodalomjegyzék	113
2. sz. melléklet Ábrák jegyzéke	126
3. sz. melléklet Táblázatok jegyzéke	127
4. melléklet A sav és lúg pufferkapacitás meghatározásánál alkalmazott számítások	128
5. melléklet A regressziós egyenesek statisztikai értékelésének eredményei	131
Köszönetnyilvánítás	155

A DOLGOZATBAN ELŐFORDULÓ JELÖLÉSEK ÉS RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

Rövidítés	Teljes megnevezés	Mértékegység
$[H^+]$	a vizsgált minta egységnyi tömegére jutatott savterhelés	cmol(+) kg ⁻¹
$[OH^-]$	a vizsgált minta egységnyi tömegére jutatott lúgterhelés	cmol(-) kg ⁻¹
${}^aBC_{12,5}$	sav pufferkapacitás 12,5 cmol kg ⁻¹ savterhelés mellett	7
${}^bBC_{12,5}$	lúg pufferkapacitás 12,5 cmol kg ⁻¹ lúgterhelés mellett	mértékegység nélküli, viszonyított mérőszám
K_{ab}	sav-bázis egyensúlyi index	J
aSen	sav érzékenységi index	pH cmol ⁻¹ kg
bSen	lúg érzékenységi index	
${}^aSen^1_0$	1 cmol kg ⁻¹ sav okozta pH változás a kezdeti (pH ₀) értékhez képest	
${}^bSen^1_0$	1 cmol kg ⁻¹ lúg okozta pH változás a kezdeti (pH ₀) értékhez képest	
${}^aSen^{25}_0$	25 cmol kg ⁻¹ sav okozta pH változás a kezdeti értékhez képest	
${}^bSen^{25}_0$	25 cmol kg ⁻¹ lúg okozta pH változás a kezdeti értékhez képest	
${}^a\beta$	sav puffer index	cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹
${}^b\beta$	lúg puffer index	
${}^a\beta^1_0$	egységnyi pH változást előidéző sav mennyisége a kezdeti (pH ₀) értékhez képest	
${}^b\beta^1_0$	egységnyi pH változást előidéző lúg mennyisége a kezdeti (pH ₀) értékhez képest	
${}^a\beta^{3,5}_0$	pH 3,5 eléréséhez szükséges sav mennyisége a kezdeti (pH ₀) értékhez képest	
${}^b\beta^{10}_0$	pH 10 eléréséhez szükséges lúg mennyisége a kezdeti (pH ₀) értékhez képest	

BEVEZETŐ

A kertészeti ágazatokban a sokféle növény eltérő igénye miatt rendkívül változatosak a talajjal, termeszto közeggel szemben támasztott követelmények. A termesztés összetettségéből, sajátosságaiból adódóan fokozott az igény a talajfolyamatoknak a növény vegetációs fázisaival összhangban történő szabályozhatósága iránt. Az irányításhoz ismerni kell a talaj, gyökérrögzítő közeg azon tulajdonságait, amelyek jellemzik a különböző hatások előidézte állapotváltozását – az érzékenységet és (érzéketlenségét =) pufferképességét.

A kertészeti termesztésben alkalmazott anyagok pufferképességének megítélése és értékelése felhasználásuktól függően változó, olykor egymással ellentétes kritériumok alapján szükséges. A magas pufferkapacitással bíró talajok, termeszto közegek bizonyos szintig érzéketlenek a savanyító és lúgosító hatásokkal szemben, ami a növény számára optimalizált kémhatás fenntartása miatt előnyös. A kizárólag a növényi gyökérzet támasztékaul szolgáló közeggel szemben viszont kifejezett követelmény a pufferképesség hiánya, elvárás továbbá, hogy a kijutatott tápoldat összetételét, kémhatását se módosítsa.

A mesterséges talajok, földkeverékek kialakítására, gyökérrögzítő közegként, talajtakaróként különféle szerves és ásványi anyagokat használnak. A szerves anyagok sav-bázis pufferképessége többnyire magas. Feltételezhetően éppen a jelentős tompítóképesség az oka (*miért vizsgálni, ha tudjuk, hogy nagy?*), hogy olyan elterjedten használt szerves anyagokra vonatkozóan, mint a tőzeg vagy komposzt nagyon kevés számszerű vizsgálati adat áll rendelkezésünkre. Viszonylag kevés figyelmet kap a talajfelszínen visszamaradt, vagy takaróanyagként célirányosan odajutatott, az átalakulás kezdeti stádiumában lévő szerves maradványok elkülönítése és a savas, illetve lúgos terhelésekkel szembeni viselkedésének vizsgálata. A korábbi tudományos eredmények, valamint a legújabb kutatások lehetőséget adnak a kertészeti termesztésben különböző célokra felhasznált szerves anyagok sav-bázis pufferképességének értelmezésére és értékelésére, az általánosan megfogalmazott tételek pontosítására.

Az ásványi anyagokra vonatkozóan a sav-bázis pufferképesség vizsgálatok elsődleges célja a környezeti elemek elsavanyodásával összefüggő problémák megoldása. Az ilyen irányú kutatások során feltárt törvényszerűségeken kívül, az ásványi anyagok kertészeti célú felhasználásakor, a sav-bázis tompítóképesség elbírálásához egyéb szempontokat is figyelembe kell venni, amelyekre vonatkozóan további vizsgálatok szükségesek.

A sav-bázis titrálási görbék felvételénél alkalmazott eljárás ásványi talajokra lett kidolgozva. Szerves és egyes ásványi anyagok pufferképességének vizsgálatához szükséges a módszer továbbfejlesztése. Igény van továbbá olyan mérőszámokra, amelyekkel a szerves és ásványi anyagok pufferkapacitása mennyiségileg jellemezhető és a kertészek számára jól használhatók.

A mesterséges talajok, termesztési közegek kialakítása során az egyik legfontosabb feladat a növény igényeinek megfelelő pH érték beállítása. A kertészeti gyakorlatban a pH érték növelésének és csökkentésének szükségessége egyaránt felmerülhet. Eltérő okok miatt, de az alacsony és a nagy sav-bázis pufferképesség is megnehezíti a kémhatás pontos szabályozását. További problémát jelent a savanyító vagy lúgosító anyagok szükséges mennyiségének megállapítására alkalmas, egyszerűen kivitelezhető, pontos módszer hiánya, a termesztő sokszor csak becsült mennyiségekkel dolgozik. A szakirodalomban a sav-bázis titrálási görbék alapján való számítást ajánlják, ugyanakkor a megfelelő módszer, az adatok kiértékelésének és felhasználásának szempontjai hiányoznak.

Kutatómunkám fő célkitűzése természetes eredetű szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének megismerése és értékelése, a kémhatásukkal összefüggő szabályozás lehetőségeinek feltárása, jelentőségének kertészeti szempontok szerinti elemzése. A megvalósításhoz a következő célokat és kutatási feladatokat fogalmaztam meg:

- a talajtani kutatásokban alkalmazott potenciometriás titrálás adaptálása a szerves és ásványi anyagok, termesztési közegek, mesterséges talajok sav-bázis titrálási görbéinek felvételére anyagi sajátosságaik és alkalmazási körülményeik figyelembevételével;
- a szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferkapacitásának kvantitatív értékelésére alkalmas egzakt paraméterek kijelölése a mértékegységük megnevezésével;
- a kertészeti termesztésben alkalmazott szerves anyagok titrálási görbéinek felvétele, pufferkapacitásuk meghatározása, kiértékelése, összehasonlító jellemzése;
- természetes eredetű ásványi anyagok és a kertészeti felhasználás céljaira belőlük gyártott termékek titrálási görbéinek felvétele, pufferkapacitásuk meghatározása, kiértékelése, összehasonlító jellemzése;
- a titrálási görbék és a pufferkapacitást jellemző paraméterek alkalmazási lehetőségeinek kiértékelése a szerves és ásványi anyagok kémhatás változásaival összefüggő kutatási és gyakorlati feladatokban;
- a sav-bázis pufferképesség jelentőségének feltárása és elemzése a kertészeti termesztési gyakorlatban.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A környezeti elemek funkcióképessége meghatározott pH intervallumon belül kiegyensúlyozott. A kémhatás gyors és átmenet nélküli változásai zavart okozhatnak működésükben. A természetben a sav-bázis egyensúlyt puffer rendszerek szabályozzák, biztosítva viszonylagos kiegyenlítetttségét, lassítva, esetleg megakadályozva a pH érték nagymértékű ingadozásait. A kertészeti termesztésben a mesterséges talajok kialakításánál, gyökérrögzítő közegek kiválasztásánál az egyik legfontosabb szempont a felhasznált anyagok pufferképessége és annak változása a termesztés folyamán.

2.1 A sav-bázis pufferképesség definíciója

A talajnak azt a tulajdonságát, hogy képes tompítani a savas és lúgos hatásokat sav-bázis pufferképességnek nevezzük (ORLOV, 1985). A natív és mesterséges talajok pufferképessége egyaránt a szilárd, folyékony és gáz fázisok között lezajló folyamatokban és a kialakuló dinamikus egyensúlyokon keresztül érvényesül. A talaj sav-bázis pufferképességét kísérletileg a szilárd résszel egyensúlyban (vagy kvázi egyensúlyban) lévő kivonatnak (vagy szűrletnek), erős sav, illetve erős bázis hozzáadása nyomán bekövetkező pH változása alapján határozzák meg.

A talajtani tudomány először a sav-bázis pufferképességet tudta mérhetővé tenni és értelmezni törvényszerűségeit. Vélhetően ez lehet az oka, hogy hosszú időn keresztül – gyakran még ma is előfordul – a talajok pufferképessége alatt elsősorban a sav-bázis pufferképességet értették. Napjainkban ezt a fogalmat sokkal tágabban értelmezzük. A Környezetvédelmi lexikon megfogalmazása szerint a „talaj pufferképessége – a talajt érő szennyező hatásokat ellensúlyozó talajdinamikai folyamatok összessége” (LÁNG, 2002). FILEP & FÜLEKY (1999) a talaj pufferoló hatásának két legfontosabb területeként a sav-bázis pufferképességet, valamint a tápelem és toxikus elem megkötő képességet emelik ki. TRUSKAVECKIJ (2003) a pufferképesség fogalmához sorol minden olyan tulajdonságot, amely a talaj tompító, tároló, átalakító vagy szűrő funkcióihoz kötődik. A már említett pufferoló hatásokon kívül értelmezte a talaj oxidációs-redukciós- és szóda-pufferképességét, továbbá bevezetett olyan fogalmakat, mint hidro- és hőpufferképesség.

2.2 Rövid történelmi áttekintés

A kémhatás és ezzel együtt a puffer rendszerek beható tanulmányozásának kezdete a XIX. sz. végére, a XX. sz. elejére tehető. Elsőként az orvosok és fiziológusok értették meg a sav-bázis egyensúly szabályozás jelentőségét. Az élő szervezetek működésében ugyanis a hidrogén-ionok koncentrációjának kis mértékű csökkenése vagy növekedése is különféle zavarokat válthat ki, az ugrásszerű változás akár végzetes is lehet az élőlényre nézve (MURRAY et al., 2000).

A kezdeti kutatások sikerében magyar tudósoknak is jelentős szerepe volt. Bugarszky I. és Liebermann L. fehérje jellegű anyagok kémhatását vizsgálva megfigyelték, hogy azok a savat és a lúgot képesek lekötni (NAGY, 1997). SZABADVÁRY (1998) szerint két évvel később, 1900-ban az ő munkájuk alapján két francia kutató használta először a puffer kifejezést.

A talaj azon tulajdonságára, hogy tompítani képes a savas hatásokat, mintegy húsz évvel korábban már található utalás a szakirodalomban. Kappen „Die Bodenazidität” című művében részletesen ismerteti A. Mayer 1881-ben publikált, tápanyag kísérletének eredményeit elemző cikkét (KAPPEN, 1929). A szerző kálium sók, különböző talajtípusokon várható termés növelő hatásának elmaradását fejtegetve, arra a következtetésre jutott, hogy hatékonyságuk csökkenésének oka a talajra gyakorolt savanyító hatásukban keresendő. Azokon a talajokon ugyanis, amelyek szabad meszet, azaz a sav semlegesítésére képes anyagot tartalmaztak, a kálium sók savanyító hatása nem volt tapasztalható. Mayer a talajoknak ezt a tulajdonságát „kedvező szabályozó hatás”-nak („günstige regulatorische Wirkung”) nevezte el.

A talajok sav-bázis pufferképességének megismerésére irányuló kutatások módszertani alapját a potenciometriás titrálásnak a talajtani kutatásokba történő bevezetése teremtette meg (SOKOLOVA, 1991). Több évtizeden keresztül a talajok puffer tulajdonságainak vizsgálata elsősorban a savanyúság okainak részletes feltárásához nyújtott sokoldalú információt (CSERNOV, 1947, COLEMAN & THOMAS, 1967, BHUMBIA & MCLEAN, 1965, BOHN et al., 1985, KRUPENIKOV, 1981). A titrálási görbék gyakorlati alkalmazásának lehetőségét a talajsavanyúság semlegesítéséhez szükséges mészdózisok megállapításában látták (GEDROJC, 1932, ASKINAZI, 1965, ORLOV, 1985).

A kutatások a múlt század 60-as éveiben vettek új irányt. A talajok sav-bázis pufferképessége iránt megnövekedett nagyfokú tudományos és gyakorlati szempontú érdeklődés a környezeti elemek fokozódó elsavanyodásának felismerésével hozható összefüggésbe, amelynek az ökoszisztémákra kifejtett kedvezőtlen hatásai erőteljesen mutatkoztak, elsősorban az északi félteke sok országában (TAMM, 1986, THORWART, 1982, WISNIEWSKI 1983). Az utóbbi évtizedekben a kutatások fő célja a savas terhelések modellezése különböző talajtípusokon, a savanyodás prognosztizálhatóságára lehetőséget adó módszerek kidolgozása, továbbá az egyes talajösszetevők pufferkapacitásának meghatározása és értékelése (ULRICH, 1981, BROWN, 1987, GRISINA, 1990, KOPCIK et al., 1999.). Több országban, a pufferképességet jellemző paramétereket is felhasználva, elkészítették az ország talajainak savas hatásokkal szembeni érzékenységi térképét (VÁRALLYAI et al., 1986, GLAZOVSKAJA, 1990, 1994, BATJES, 1991).

2.3 A talaj, mint a kémiai folyamatok szabályozó rendszere

A talaj a kémiai elemek vegyületeinek természetes és rendkívül összetett rendszere. Az anyagok sokféleségének és tulajdonságaik változatosságának tulajdoníthatóan ORLOV (1996) szerint a

talajban akár több mint harminc különféle kémiai folyamat is végbe mehet. Az eltérő tulajdonságú vegyületek, azok nagy száma és a közöttük fellépő lehetséges kémiai kölcsönhatások széles skálája a talaj pufferképességének, szabályozó képességének egyik legfontosabb feltétele és biztosítója, aminek eredményeképpen a természetes és antropogén eredetű hatásokra a talaj tulajdonságai – bizonyos határok között – nem változnak lényegesen (STEFANOVITS, 2005, TARGULJAN, 1996).

A hasonló tulajdonságokkal rendelkező talajösszetevők megközelítőleg egyformán viselkednek, ugyanakkor több folyamat is, mint pl. a kálium megkötődése az illiten (STEFANOVITS, 1991), a kalcium, vas és alumínium vegyületeknek a foszfor szolgáltató képességet befolyásoló hatása (FÜLEKY & RAJKAINÉ, 1999), a savanyodás (ORLOV & VOROBJEVA, 1982) és a lúgosodás (VOROBJEVA & ZAMANA 1984) mértéke az egyes komponensek jellemző tulajdonságaira vezethetők vissza. A különböző alkotóelemek funkcióinak megértése legtöbb esetben csak úgy lehetséges, ha ezt a bonyolult heterogén rendszert egyszerűsítjük, a talajkomponenseket külön-külön vizsgáljuk (KÓNYA, 1991, GORBUNOV, 1973).

A talaj pufferképessége egyszerű és/vagy bonyolult vegyületek alkotta elemi rendszerek pufferképességéből tevődik össze. Minden elemi rendszer egy kémiai elem szerves és szervetlen vegyületeinek elméletileg elkülöníthető összessége a szilárd, folyékony és gázfázisok összetételében, amelyeket összeköt az anyagátrendeződés és energiaáramlás folyamata (MOTUZOVA, 1994).

A szerves és ásványi anyagok, az ezekből kialakított mesterséges talajok, termeszítő közegek sav-bázis pufferképességéről viszonylag kevés vizsgálati adat áll rendelkezésünkre. Az egyszerű és bonyolult, szerves és szervetlen vegyületek alkotta elemi rendszerek sav-bázis semlegesítő képességének az ásványi talajok vonatkozásában feltárt törvényszerűségei, ugyanakkor felhasználhatóak a szerves és ásványi anyagok pufferképességének vizsgálatánál és az összefüggések elemzésénél.

2.4 Sav-bázis puffer rendszerek és puffer zónák a talajban

A talajban minden kémhatás tartománynak megvan a domináns puffer rendszere, amelyre a pH-változást tompító folyamatot vissza lehet vezetni. Az egyes puffer rendszerek hatás tartományát a funkciós csoport(ok) protonált formájának disszociációs állandója határozza meg (FILEP, 1988).

A savas hatásokat semlegesítő talaj komponensek reakcióinak mechanizmusát és pH-intervallumát ULRICH (1983, 1986) foglalta rendszerbe. Az elméleti ismereteket (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL, 1976, BOLT & BRUGGENWERT, 1976, LINDSAY, 1979) és kísérleti eredményeket (ULRICH, 1981, ZÖTTL, 1979) felhasználva öt különböző talajösszetevőt és ezeknek megfelelően öt pH-tartományt, puffer zónát különített el: karbonátos (pH = 6,2 – 8,6), szilikátos (pH = 5,0 – 6,2), ioncsere a talajkolloidok felületén (pH = 4,2 – 5,0), valamint erősen savanyú kémhatású talajokban az alumínium (pH = 2,8 – 4,2) és vas (pH = 2,4 – 3,8) vegyületeinek oldódását kísérő proton elnyelő folyamatokat. Az ULRICH (1983) által kidolgozott koncepció használható támpontnak bizonyult

annak a kérdésnek a megválaszolásában, hogy egy adott pH tartományon belül milyen talajalkotó(k) felelős(ek) a savas hatások tompításáért vagy semlegesítéséért. A puffer tulajdonságú anyagok és a proton között végbemenő reakció alapján, bizonyos mértékben prognosztizálható a folyamat esetleges káros volta és a talaj állapotában bekövetkező lehetséges változások. A talajalkotók mennyisége és a sav pufferképesség mérőszámai alapján meg lehet határozni a talaj pufferkapacitását, továbbá a folyamatok lefolyásának időbeni becslését is el lehet végezni. ULRICH (1983) rendszerének gyakorlati felhasználása során kiderült, hogy előnyei mellett több vonatkozásban is helyesbítésre és kiegészítésre szorul.

A puffer zónák koncepcióját és a savas hatások semlegesítésének mechanizmusát SCHWERTMANN et al. (1987) tovább fejlesztették és több részletében pontosították. A legfontosabb kiegészítések az agyagásványok és a humuszanyagok változó töltéseihez kapcsolódó proton megkötésre/leadásra vonatkoztak. A tovább fejlesztett rendszerben önálló sav-bázis puffer rendszerként megjelenik a szerves anyag.

A talajokra jellemző pH intervallumon belül, saját méréseiket és mások munkáit is felhasználva, FILEP & RÉDLYNÉ (1987/88) dolgoztak ki egy jól áttekinthető rendszert a talajalkotók és a funkciós csoportok hatástartományának jellemzésére. A szerzők egy ábra segítségével a különböző pufferrendszerek működésének pH-intervallumát jól összehasonlíthatóvá és követhetővé tették.

Megállapításuk szerint a talaj sav-bázis egyensúlyának szabályozásában a következő talajalkotók és folyamatok vesznek részt (FILEP & RÉDLYNÉ, 1987/88):

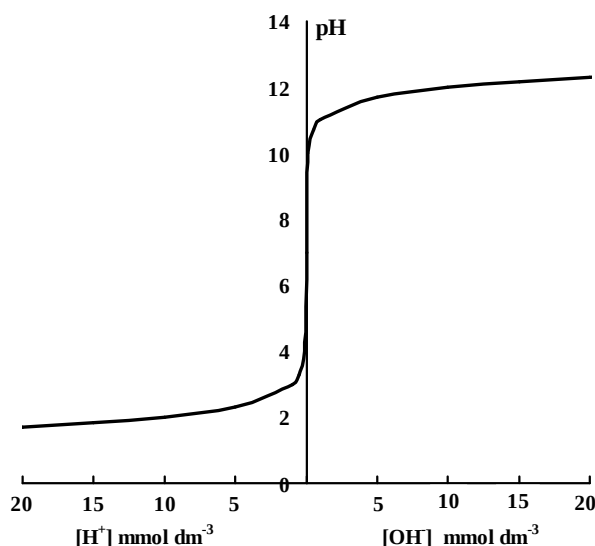
1. A talajkolloidok (agyagásványok, szerves kolloidok, fémhidroxidok, hidratált fémoxidok, kovasav-gélek);
2. A szilikátos közetalkotó ásványok oldódása – képződése;
3. Az alumíniumhidroxid polimerek és/vagy az alumínium-hidroxokomplexek átalakulása;
4. A szerves fémkomplexek képződése-bomlása;
5. A $\text{CaCO}_3 - \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 - \text{CO}_2$ rendszer.

2.5 A talajalkotó anyagok sav-bázis semlegesítő mechanizmusa, pH hatástartománya és pufferkapacitása

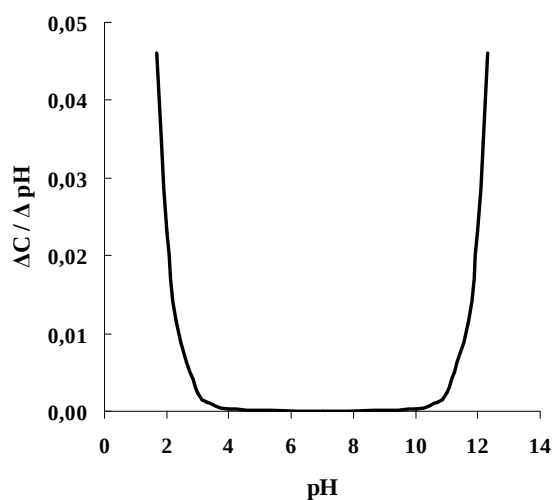
A következőkben, a vonatkozó szakirodalom alapján elemzem a talajt alkotó egyszerű vegyületek és bonyolult anyagok viselkedését a savas és lúgos hatásokkal szemben. Ismertetem a különböző komponensek sav-bázis semlegesítő mechanizmusát, lehetséges pH hatástartományát és pufferkapacitását. Az alábbi összefoglalóban a forrásként használt szakirodalomban elfogadott terminológiát és mértékegységeket használtam, amelyek olykor több vonatkozásban is eltérnek jelen dolgozat „Anyag és módszer” és „Eredmények és értékelés” c. fejezeteiben használt kifejezésektől és mérőszámoktól.

2.5.1 A desztillált víz

A talajok, termesztési közegek potenciometriás titrálása vizes közegben történik, ezért érdemes részletesebben megvizsgálni, hogyan alakul a víz kémhatása sav és lúg hozzáadása nyomán. Desztillált vízhez erős savat, illetve erős bázist adagolva, kezdetben a pH ugrásszerűen változik. Egy mmol sósav egy liter víz pH értékét 7-ről 3-ra csökkenti, egy mmol nátrium-hidroxid pedig 7-ről 11-re emeli (KRESKOV, 1976). Megjegyzendő, hogy a talajok, termesztési közegek sav-bázis pufferképességének vizsgálatánál általában $0,5 - 25 \text{ mmol dm}^{-3}$ koncentrációjú sav, illetve lúg oldatokat használunk. A további sav illetve lúg adagok már lényegesen kisebb pH változásokat idéznek elő (1. ábra). A vázolt összefüggés a pH skála logaritmikus voltából ered. Fontos leszögezni, hogy a pH értékelése és értelmezése során nem a hidrogén-ionok koncentrációjával, hanem azok logaritmikus értékével számolunk, mert ennek a nyilvánvaló ténynek a figyelmen kívül hagyása helytelen következtetések forrása lehet.



1. ábra. A desztillált víz titrálási görbéje



2. ábra. A desztillált víz pufferkapacitásának változása a pH függvényében

A desztillált víz pufferkapacitása a hidrogén- és hidroxid-ionok koncentrációjának függvényében BREEMEN & WIELEMAKER (1974) levezetése alapján a következő összefüggésekkel fejezhető ki:

$$\frac{d(\text{H}^+)}{dpH} = 2,3[\text{H}^+] \quad (1)$$

$$\frac{d(\text{OH}^-)}{dpH} = 2,3[\text{OH}^-] \quad (2)$$

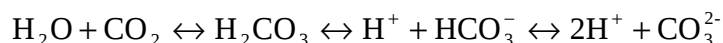
A titrálás kezdetén semleges, illetve enyhén savanyú és enyhén lúgos kémhatás mellett – kiindulási értéként pH 7 feltételezve – a $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \div 5 \cdot 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ intervallumban, a hidrogén- és hidroxid-ionok nagyon kis koncentrációi miatt, a desztillált víz pufferkapacitása gyakorlatilag nullával egyenlő. Az erős sav és erős bázis további adagolásával, a titrálandó oldatban lévő és a titrálás során hozzáadott sav illetve lúg koncentrációk előbb kiegyenlítődnek, majd az oldatban lévő H^+ - illetve OH^- -ionok koncentrációja meghaladja a hozzáadott mennyiséget. A (1) és (2) képletek alapján a hidrogén- és hidroxid-ionok koncentrációjának nagyságrendekkel való változása következtében, mind alacsony (savas), mind magas (lúgos) pH értékeknél – a pH 7 értékhez viszonyítva szimmetrikusan – a pufferkapacitás ugrásszerűen megnövekszik (2. ábra).

Sajnos még a szakirodalomban is gyakorta előfordul, hogy az alacsony (pH<4) és magas (pH>10) pH értékeknél ugrásszerűen megnövekvő pufferkapacitást kizárólag a vizsgált anyagnak tulajdonítják, holott elsősorban a potenciometriás titrálás vázolt sajátosságait kellene figyelembe venni (HAMKALO, 2005).

A desztillált víz titrálásának összefüggéseit és pufferkapacitásának pH-tól függő, jellegzetes változásait feltáró képletek, valamint diagrammok részletes tanulmányozása segít a potenciometriás titrálás körülményeinek okszerű megválasztásában is (JANSON & PUTNIN, 1980).

2.5.2 A CO₂ – víz rendszer

A legegyszerűbb sav-bázis egyensúly szabályozó rendszer két komponensből, a minden talajban megtalálható vízből és széndioxidból áll (NOVOZAMSKY & BEEK, 1978). A talajban az élőlények élettevékenységének és a gyökérzet légzésének eredményeként a széndioxid képződés folyamatos. Mennyisége a talaj biológiai aktivitásától, valamint a talaj és a légkör közötti gázcserétől függően tág határok között változhat és általában többszörösen meghaladja a külső légtér szén-dioxid koncentrációját (SMAGIN, 1999). A CO₂ vízben oldódva szénsavat hoz létre, ami két lépcsőben disszociál. A rendszer a következő egyensúlyokkal jellemezhető:



Az oldódási folyamat, a széndioxid parciális nyomásától függően, az egyensúlyi oldat kémhatásának bizonyos mértékű csökkenését eredményezi. A légköri levegőre jellemző parciális nyomás ($p_{CO_2} = 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ bar}$) mellett a CO₂ – víz rendszer számított pH=5,63 (LATIPOVA, 2000). Talajokban a CO₂ tartalom átlagosan 0,3% körüli. Ilyen parciális nyomás mellett a széndioxid vízben oldott mennyisége 5,4 mg dm⁻³. Amennyiben csak ezt a két komponenst vesszük figyelembe, akkor az előbbivel megegyező hőmérsékletnél számítva a közeg kémhatása 5,22. Magas szerves anyag tartalmú, nedves, rosszul szellőző talajok mélyebb rétegeiben a CO₂ koncentrációja elérheti a 10%-ot is, ilyenkor az egyensúlyi pH=4,45 (ORLOV, 1985). Mindezeket figyelembe véve megállapítható,

hogy a szerves anyag bomlása során keletkező széndioxid és a talajban lévő víz között kialakuló egyensúly nyomán a talajoldat pH-ja 4,5 és 5,0 közötti értékekkel jellemezhető. A 5,0 – 5,6 feletti pH értékek bázikus kationok felhalmozódására utalnak (lúgosodás), míg a savtermelő anyagok (a CO₂-t kivéve) és folyamatok jelenlétét a talajoldat pH-jának 4,5 – 5,0 értékek alá való csökkenése jelzi.

A rendszer pufferkapacitását alapvetően a karbonát-ionok mennyisége határozza meg (BREEMEN & WIELEMAKER, 1974):

$$\beta_{p_{CO_2}}^{C_B} = 2,3(HCO_3^-) + 9,2(CO_3^{2-}) \quad (3)$$

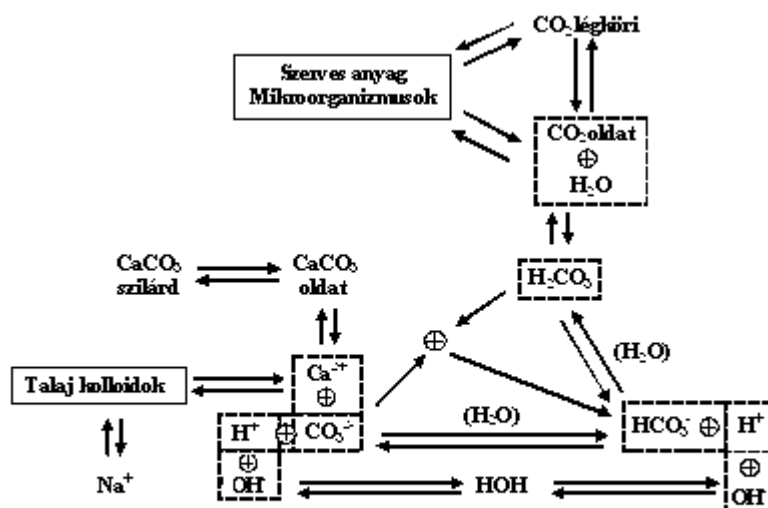
A karbonát-ionok aktivitásának növekedése a lúgos tartományra jellemző. Konstans p_{CO_2} esetén ugyanis a szénsav koncentrációja független a kémhatástól, ellenben egységnyi pH emelkedés a HCO₃⁻-ionok aktivitásának 10-szeres, a CO₃²⁻-ionok aktivitásának 100-szoros növekedését vonja maga után (FILEP, 1988). Az (3) kifejezés szerint a vízben oldott széndioxid pufferkapacitása lúgos kémhatásnál számottevő. Ez azt jelenti, hogy széndioxid jelenlétében, adott pH érték eléréséhez a desztillált vízhez több lúgot kell adagolni, mint CO₂ nélkül, azaz a rendszer a lúgos hatásokkal szemben tompítóképességgel bír. A savas hatásokat a rendszer nem semlegesíti, alacsony pH értékeknél a desztillált vízre is jellemző pufferkapacitás érvényesül.

2.5.3 A kalcium-karbonátos rendszer

2.5.3.1 A kalcium-karbonátos rendszerben kialakuló egyensúlyok

A talajban a szénsav főképpen kationokhoz kapcsolódva, azok sóiként, karbonátok és bikarbonátok formájában fordul elő (BOHN et al., 1985, SZENDREI, 1991). A karbonátok közül legelterjedtebb a kalcit (CaCO₃), aragonit és vaterit csak nagyon ritkán fordul elő (STICHER & BACH, 1971, FEOFAROVA, 1950). Viszonylag elterjedt karbonátos képződmény a rendezett szerkezetű dolomit CaMg(CO₃)₂ (NEMECZ, 1991). Egyéb karbonátos ásványok a talajban lényegesen kevesebb mennyiségben találhatók és előfordulásuk extrém talajviszonyok között figyelhető meg (DOBROVOLSKIJ, 1996).

A kalcium-karbonátot tartalmazó talajok, talajrétegek sav-bázis tompító hatása a szilárd fázis kalcium-karbonátja, a talajoldat Ca^{2+} , $CaHCO_3^+$, HCO_3^- , CO_3^{2-} ionjai, valamint a talajoldat és talajlevegő széndioxidja közötti kölcsönhatásokon keresztül érvényesül (3. ábra).



3. ábra. A CaCO_3 , a CO_2 és a H_2O rendszerben fennálló egyensúlyok
 Forrás: ENDOVICKIJ & MINKIN (1986)

A rendszer egyensúlyát meghatározó jellemzők a CO_2 parciális nyomása, a szén-sav első és második disszociációs állandója, a CaCO_3 oldhatósági szorzata, az oldat ionerőssége (TURNER & CLARK, 1956, PONNAMPERUMA, 1967), befolyásoló tényezők az ioncsere folyamatok és ionpár képződés (ENDOVICKIJ & MINKIN, 1985; ADAMS, 1971). A kalcium-karbonátot tartalmazó talaj pH értéke a CO_2 parciális nyomásából kiindulva számítható az alábbi képlet szerint (FILEP, 1988):

$$\text{pH} = 4,87 - \frac{1}{2} \lg \text{Ca}^{2+} - \frac{1}{2} \lg P_{\text{CO}_2} + 067\sqrt{I} \quad (4)$$

ahol: P_{CO_2} - a széndioxid parciális nyomása;

I – az oldat ionerőssége;

A kalcium-karbonátot tartalmazó talajok kémhatása tehát a széndioxid parciális nyomásától és a talajoldat só koncentrációjától függ. A számítások alapján, ha a kalcium-karbonátot tartalmazó talajoldatot izoláljuk a gázfázis széndioxidjától, akkor a szuszpenzió pH értéke elérheti a 9,8 – 10,0. A széndioxid oldódását és a talajokban előforduló lehetséges mennyiségeit ($P_{\text{CO}_2} = 0,3 - 10 \text{ mbar}$) figyelembe véve a pH 7,2 – 8,2 közötti értékeket vehet fel (ORLOV, 1985).

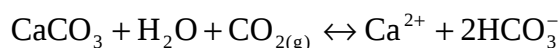
2.5.3.2 A kalcium-karbonát sav-bázis tompító képessége

A kalcium-karbonát, oldódása közben a savas hatásokat erőteljesen semlegesíti:



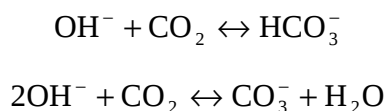
A meszet tartalmazó talajokban ez a fő proton elnyelő folyamat, de eközben a felszabaduló Ca^{2+} kimosódhat. A puffer hatás gyors, mert azt a karbonátok oldódása határozza meg. A reakció sebesség (s így a puffer hatás) csökkenése azokban a talajokban figyelhető meg, amelyekben a karbonátok eloszlása egyenlőtlen. Ilyenkor oldódásuk elsősorban a diffúziós folyamatok sebességétől függ (SOKOLOVA et al. 1991).

A mész alapvetően meghatározza a talaj pufferképességét. Ennek elsősorban a savanyító hatások semlegesítésében van döntő szerepe, amíg a talajban mész (esetleg dolomit) található, addig pH értéke nem csökken. A kalcium-karbonát savsemlegesítő kapacitását ULRICH (1981) a széndioxid hatására bekövetkező, vízben való oldódása alapján határozza meg:



Számításai szerint, a talaj 1% CaCO_3 tartalma, egy hektárra vetítve 150 kmol proton megkötésére képes. A titrálási görbék alapján elvégzett számítások azt igazolják, hogy teljes semlegesítés nem következik be, s ezért a szabad meszet tartalmazó talajok a kalcium-karbonát mennyiségével nem egyenértékű, hanem kevesebb protont tudnak semlegesíteni (MURÁNYI & RÉDLYNÉ, 1986). NILSSON & GRENNFELT (1988) a mészkő kritikus savterhelését $> 2 \text{ kmol H}^+ \text{ ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$ állapították meg.

A lúgos hatások semlegesítése a CO_2 közreműködésével történik az alábbi reakciók szerint:



Hidroxid-ion felesleg mellett, a kialakuló bázikus körülmények között, az egyensúly a CaCO_3 felhalmozódásának irányába tolódik el (FILEP & RÉDLYNÉ, 1987/88).

2.5.3.3 A víz hidrokarbonát tartalmának sav-bázis pufferképessége

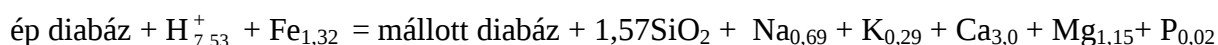
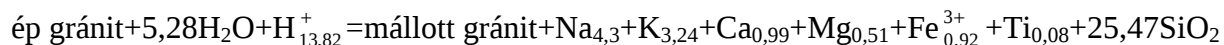
A kertészeti termesztésben az öntözővíz és a tápoldatozáshoz felhasznált víz pufferképességét nagymértékben a hidrokarbonát koncentrációja határozza meg (HORINKA, 1997). ARGO & BIERNBAUM (1996) megállapítása szerint a víz hidrokarbonát és karbonát tartalma a tápoldatozáshoz használt műtrágya savanyító vagy lúgosító hatásától függően idézhet elő kémhatás csökkenést vagy növekedést. A pH változás mértéke függ az alkalmazott vízádagtól, a tápanyag kimosódástól, a gyökérközeg térfogatától (BIERNBAUM, 1994).

A vízkultúrás termesztésben a hidrokarbonát pufferoló tulajdonságát felhasználják a tápoldat kémhatásának stabilizálására, kiküszöbölve így annak pH ingadozásait. RÁCZNÉ (2007) a kémhatás változásait vizsgálva uborka kőzetgyapotos termesztése során azt tapasztalta, hogy ahol alacsony hidrokarbonát tartalmú vizet használtak, ott nagyobb volt a táblaoldal pH értékének ingadozása.

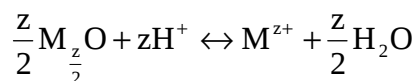
Javaslat szerint a kémhatás viszonylag állandó szinten tartásához a vízben 80 – 100 mg/l hidrokarbonát koncentráció szükséges (RÁCZNÉ, 2008).

2.5.4 A szilikátok oldódása és képződése

A szilikátok mállási folyamataiban a hidrogén-ion koncentráció meghatározó tényező. Oldódáskor a proton belép az ásványba, miközben a bázikus kationokat (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) a kristály szerkezetből kiszorítja. A folyamat savas és bázikus kőzetek oldódásánál egyaránt protonlekötéssel jár (NEMECZ, 1973):



A folyamat egyszerűsített egyenlete (FILEP & RÉDLYNÉ, 1987/88):



ahol: M – fémion;

z – vegyérték.

Az ásványok képződésekor hidrogén-ion szabadul fel.

A könnyen oldódó szilikátok által megköthető proton mennyiség, vagyis pufferkapacitásuk a bázikus kationok mennyiségét meghatározó ásványi összetételüktől függően változik. A muszkovitban és az olivinben pl. a bázikus kationok mennyisége 3, illetve 20 mg-eé g^{-1} , az üledékes kőzetekben, pedig átlagosan 5 mg-eé g^{-1} (SOKOLOVA et al., 1991).

Az oldódás során keletkező ionos formák, valamint a reakciók egyensúlyi állapotára vonatkozó konstansok alapján egész sor ásványi anyag pufferkapacitása lett meghatározva (VAN BREEMEN & WIELEMAKER, 1974). Az oldhatóságukkal összefüggésben az alacsony pH tartományban a gibbsit pufferkapacitása nagyobb, mint a kaolinité; az amorf SiO_2 a teljes pH tartományban jobban pufferol, mint a kvarc, az allofánok pedig jobban, mint a kaolinit. A földpátok közül maximális pufferkapacitással a legjobban oldódó anortit rendelkezik.

SOKOLOVA et al. (1991) megítélése szerint a szilikátok pufferkapacitása egy hektárnyi terület 10 cm-es rétegében 1% ásvány tartalomra 75 kmol H^+ . Az ásványi talajok szilárd fázisának túlnyomó részét szilikátásványok teszik ki, ezért pufferkapacitásukat elméletileg szinte kimeríthetetlennek lehet tekinteni. Oldódásuk azonban nagyon lassú folyamat, amelynek sebességét az ásvány felépítése, szerkezete nagymértékben meghatározza (GORBUNOV, 1969). A szilikátok reális

pufferkapacitása kapcsán helytállóbb ezért a semlegesítés sebességéről beszélni, amely SOKOLOVA et al. (1991) megállapítása szerint a talaj egy méteres rétegében számítva $0,2 - 2 \text{ kmol ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$.

NILSSON & GRENNFELT (1988) a kémiai összetételt és az idő tényezőt is figyelembe vették, amikor bevezették a kritikus savterhelés fogalmát és különböző kőzetalkotó ásványokra vonatkozóan megállapították értékét. A számításoknál abból indultak ki, hogy éves szinten mennyi az a legnagyobb terhelés, amit a kőzetalkotó ásványok semlegesíteni tudnak, s így a savas ülepedés az ökoszisztéma szerkezetére és funkcióira hosszútávon nem jár káros következményekkel (1. táblázat).

1. táblázat. Kritikus savterhelés különböző ásványokra vonatkozóan
(NILSSON & GRENNFELT (1988) nyomán)

Ásvány	Kritikus savterhelés
	$\text{kmol ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$
kvarc, kálium földpát	$< 0,2$
muszkovit, plagioklász	$0,2 - 0,5$
amfibol, biotit	$0,5 - 1$
piroxén, olivin	$1 - 2$

A talajok és termesztési közegek pufferkapacitásának növekedésében erősen savas és erősen lúgos kémhatásnál az oldódási folyamatoknak meghatározó szerepe van. Gyakorlatilag minden ásványi talajösszetevő, továbbá néhány organo-minerális komponens oldhatósága is megnövekszik mind alacsony, mind magas pH értékeknél (ORLOV, 1985). Az oldódási folyamatok felerősödése gyakran a pufferkapacitás értékének ugrásszerű emelkedését eredményezi.

2.5.5 Az ásványi kolloidok pufferoló hatása

A talaj kolloid frakciójában általában az ásványi rész dominál, amelyek közül a kristályos szerkezetű agyagásványok és fémhidroxidok, valamint az amorf hidratált fémoxidok és kovasav-
gék vehetnek részt a protonfelvétellel és proton leadással járó folyamatokban. Sav-bázis semlegesítő képességük a felületükön kialakult töltések függvénye. A puffer mechanizmus az állandó és változó töltések esetében eltérő. Az uralkodóan permanens töltésekkel rendelkező vermikulit és szmektitek csoportjaihoz tartozó agyagásványok gyenge elektrosztatikus erővel, H_3O^+ formában kötik meg a hidrogén-iont. A kizárólag változó töltéseket hordozó fém-hidroxidok és hidratált fémoxidok viszont képesek széles pH tartományban, erős kovalens kötással magukhoz kapcsolni a proton (FILEP & RÉDLYNÉ, 1987/88). Vegyes töltésű kolloidok esetében mind a két folyamat lehetséges.

Az ásványi kolloidok savas hatásokkal szembeni puffer reakcióit SCHWERTMANN et al. (1987) foglalták össze. FILEP & RÉDLYNÉ (1987/88) a megkötődés mechanizmusa szerint csoportosították a savas és a lúgos hatásokat semlegesítő folyamatokat.

A talajoldat elsavanyodásakor, pH 8 – 5 értékek között, a hidrogén-ion a kolloidok változó töltéseihez kapcsolódó kationok egy részér lecseréli. A folyamat eredményeképpen a proton beépül a kolloid felületébe, melynek töltése ez által csökken, az oldatba került kationok pedig kimosódhatnak. Alacsonyabb pH értékeknél (pH 4,5 – 3,5) a domináns puffer reakció a felületen megkötött Al^{3+} lecserélődése a protonra (JAMES & RIHA, 1986, MURÁNYI, 1987, SÜSSER & SCHWERTMANN, 1991, HARTIKAINEN, 1996). A bázikus kationok szerepe ebben a pH tartományban nem számottevő. A pH 3,5 – 3,0 intervallumban a változó töltéseket hordozó hidratált alumínium- és vas-oxidok protonálódása megy végbe (IVANOVA et al., 2002).

A lúgos hatások nyomán az oldatba jutó hidroxid-ionok nagy proton-affinitásuk folytán képesek a változó töltésekhez kapcsolódott hidrogén-iont leszakítani. A folyamat eredményeképpen megnövekedett felületi töltést kationok egyenlítik ki.

Az ásványi kolloidok pufferkapacitását a felületükön megkötött kicserélhető bázikus kationok mennyisége határozza meg. SOKOLOVA et al. (1991) számításai szerint ez az érték átlagosan 7 kmol H^+ a leiszapolható rész 1%-ra vetítve (a szerves anyag nélkül).

A kolloidok felületén lejátszódó ioncsere folyamatok gyorsak. A talajoldatban megjelenő sav vagy lúg gyakorlatilag azonnal kölcsönhatásba lép a talajkolloidokkal (FILEP & CSUBÁK, 1997). Azokban a talajokban, amelyek nem tartalmazznak kalcium-karbonátot, a kolloidok felületén lejátszódó gyors ioncserek jelentik a legfontosabb sav-bázis semlegesítő folyamatot.

A talajok pufferképessége tehát elsősorban a kolloidok mennyiségével, azaz a mechanikai összetételükkel van összefüggésben. Minél nagyobb a leiszapolható rész aránya, annál több savas, illetve lúgos anyagot képes a talaj semlegesíteni. Ezzel magyarázható az agyagtalajok általában magas pufferképessége. A homoktalajok e tekintetben a tiszta kvarchoz közelítenek, amelynél a tompítóképesség gyakorlatilag elhanyagolható.

A kolloidok meghatározó szerepére vonatkozóan a sav-bázis pufferképesség alakulásában számos vizsgálati adattal rendelkezünk. A felület jelentőségét, valamint a változó és permanens töltések közötti eltérő protonmegkötő mechanizmusokat igazolják MURÁNYI (1987/88) különböző talaj típusokon elvégzett vizsgálatai. A nagy kationcsere-kapacitású talajoknál a szuszpenzióhoz adott proton túlnyomórészt beépül a hidroxidok és szerves anyagok felületébe, s ezért sem az oldatfázisban, sem kicserélhető felületi savanyúságként nem lehet kimutatni. A könnyű mechanikai összetételű talajoknál, amikor az alkalmazott savadag meghaladja a felületen megkötött bázikus kationok mennyiségét, a proton az oldatfázisban marad, megnövelve annak savanyúságát.

NADTOCHIJ (1993) olyan típusos csernozjom talajokat vizsgált, amelyek csak az agyagfrakció mennyiségében tértek el egymástól. Terhelésként maximálisan $12,5 \text{ cmol kg}^{-1}$ savat, illetve lúgot alkalmazott. Módszere szerint a talaj pufferkapacitását 100%-nak vette, ha az képes lett volna az összes hozzáadott savat vagy lúgot semlegesíteni. Egy ilyen skálán a több agyagos részt tartalmazó csernozjom talaj (eredeti pH 7,2) pufferképessége 72% volt a savas tartományban és 70% a lúgosban. A kevesebb agyagot tartalmazó talaj (eredeti pH 7,1) sav pufferkapacitása 50%, lúgsemlegesítő kapacitása pedig 54% volt.

A sav-bázis pufferképesség megítéléséhez nem elegendő az ásványi kolloidok mennyiségi ismerete, sokkal fontosabb tudnunk azok minőségi összetételét. STEFANOVITS (1990) a talajok savanyodásának okait elemezve hangsúlyozza, hogy viselkedésüket a műtrágyák és a légköri ülepedés savanyító hatásával szemben agyagtartalmukon kívül az agyag minősége szabja meg.

Első megközelítésben a nagyobb kationcsere-kapacitás nagyobb pufferképességet feltételez. FILEP (1988) megállapítása szerint az agyagásványok pufferképessége az alábbi sorrendben csökken: szmektitek > illit > kaolinit. DOMBÓVÁRINÉ & STEFANOVITS (1996) az ásványi kolloidok tompítóképességét a következőképpen rangsorolja: amorf rész > montmorillonit > illit > klorit > kaolinit.

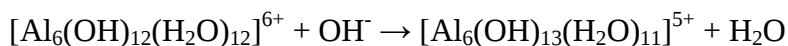
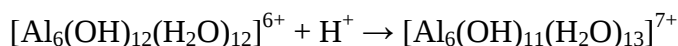
STEFANOVITS (1989) modell kísérletekben megfigyelte, hogy általában az illites talajok azonos ionkoncentrációjú oldatok hatására jobban savasodnak, mint a túlnyomórészt szmektites agyagásványokkal jellemezhető talajok, de ez nem általánosítható. Megállapította továbbá, hogy az illites talajok savasodása az ammónium-sók hatására fokozottabb, míg a szmektites talajok esetében a kálium-só hatására nő erőteljesebben az oldható alumínium-tartalom. CHIZHIKOVA (1998) antropogén hatásra bekövetkező savanyodási folyamatok hatását vizsgálva, gyepes podzol talajokban megfigyelte a duzzadó agyagásványok, a szmektit és szmektites közberétegződések csökkenését, illetve eltűnését nagyadagú műtrágyázásnál.

2.5.6 Az alumínium-hidrokomplexek és az alumínium-hidroxid polimerek pufferoló hatása

Az alumínium vegyületek koncentrációját és összetételét elsősorban a talajoldat pH értéke határozza meg (ORLOV, 1985). Erősen savanyú kémhatás mellett az Al^{3+} -ionhoz hat víz ligandum kapcsolódik és az oldatban hexakva-alumínium $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})]^{3+}$ -ionként van jelen (JACKSON, 1963). Az $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})]^{3+}$ könnyen hidrolizál, miközben a pH értéktől függően különböző alumínium-hidrokomplex-ionok – $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Al}(\text{OH})_2^+$, $\text{Al}(\text{OH})_3^0$, $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ – keletkeznek és proton szabadul fel. Ezekben a folyamatokban tehát, a kémhatás változásától függően proton keletkezik vagy kötődik meg. A pH 6,5 – 7,5 intervallumban a semleges $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{OH})_3]^0$ pufferoló hatása érvényesül (FILEP & RÉDLYNÉ, 1987/88).

A hidrokomplexek polimerizálódnak, a keletkezett polimer vegyületek összetétele a következő képlettel fejezhető ki: $[Al_x(OH)_y]^{(3x-y)+}$, ahol az x és y értékei különböző források szerint $1 \leq x \leq 54$ és $1 \leq y \leq 144$ intervallumokra tehető (SOKOLOVA et al., 2007).

Az alumínium-hidroxid polimerek sav és lúg semlegesítése az alábbi reakciók szerint megy végbe (FILEP & RÉDLYNÉ, 1987/88):



Az alumínium-hidrokomplex ionokból és vízből álló rendszer pufferkapacitása az alábbi kifejezés alapján számítható (VAN BREEMEN & WIELEMAKER, 1974, SOKOLOVA et al., 1991):

$$\beta = 2,3[16Al_2(OH)_2^+ + 9Al^{3+} + 4Al(OH)^{2+} + Al(OH)_4^-] \quad (5)$$

Amennyiben ismerjük az egyenletben szereplő ionok adott körülményekre vonatkoztatott mennyiségét, akkor meghatározható a pufferkapacitás értéke. Az oldatba jutó ionos formák közötti megoszlás erősen függ a pH értéktől, ezért a pufferkapacitás részletesebb vizsgálata csak a $\beta=f(pH)$ vagy $\log\beta=f(pH)$ függvények alapján lehetséges.

SOKOLOVA et al. (1991) közepes alumínium tartalmukból kiindulva a pufferkapacitást 100 – 150 kmol H^+ -ra becsüli 1% agyagásványra vonatkoztatva.

2.5.7 A szerves anyagok, mint puffer rendszerek

A szerves anyagok magas pufferképességgel rendelkeznek, pufferkapacitásuk rendszerint nagyságrenddel meghaladja az ásványi talajok esetében mért értékeket. Jellemző különbség továbbá a talajok és szerves anyagok között, hogy ez utóbbiak egyaránt jól tompítják mind a savas, mind a lúgos hatásokat.

JAMES & RIHA (1986) kísérletben 0,01 M salétromsav erdei avarra kifejtett hatását vizsgálták 0 ÷ 20 M kg^{-1} terhelések mellett. A kezelést követően, amit 22 óra alatt háromszor megismételtek, meghatározták a szilárd rész és az egyensúlyi oldat kémiai összetételét. Azt találták, hogy az avar a kijutatott proton mennyiségének 70 – 96% elnyelte. A számított pufferképesség 18 – 36 cmol kg^{-1} pH⁻¹ volt, ami egy nagyságrenddel nagyobbak bizonyult, mint az avar alatti ásványi talajrétegekre vonatkozóan mért értékek. A savterhelés növelésével a folyékony fázis pH értéke csökkent. A terhelés nagysága és a pH érték közötti összefüggés megközelítőleg leírható volt egy egyenlissel, amelynek meredeksége az avartól függően változott.

A szerves anyagok savsemlegesítési mechanizmusát elsősorban az ioncsere reakciókra vezetik vissza. IVANOVA et al. (2002) modell kísérletben podzol talaj bomlatlan avarszintjének sav-bázis

pufferképességét vizsgálták potenciometriás titrálás módszerével. Azt tapasztalták, hogy a proton elnyelődést a bázikus kationok oldatbeli megjelenése kíséri. A titrálás zero pontjában és a titrálás folyamán, adott pH értékek mellett, a szilárd részre és az oldatra egyaránt meghatározott kation-összetételek egybevetése a Ca^{2+} , Mn^{2+} és a Mg^{2+} ionok aktívabb részvételét mutatták az ioncsere folyamatokban a K^+ , Al^{3+} és Fe^{2+} ionokhoz viszonyítva. SAMRIKOVA et al. (2003) kísérletei szerint glejes-podzolos tőzegtalaj szerves szintjeinek vizes kivonatában a savas hatások semlegesítése közel egyenértékű volt az oldatban kimutatott Ca^{2+} , Mg^{2+} és K^+ ionok mennyiségével. KOPCIK & SILAJEVA (1995) a savas titrálás során oldatba jutó kationok mennyiségére a következő sorrendet állították fel: $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Al} > \text{K} > \text{Fe} = \text{Mn}$. Kísérleteik szerint általánosítható, hogy viszonylag sok Al^{3+} jut oldatba és kevés Fe^{2+} , illetve Mn^{2+} . A szerzők úgy találták, hogy a terhelésként kijutatott H^+ -ionok 68 – 90%-ának elnyelődése a bázikus kationokra való kicserélődés során valósul meg. Hasonló eredményeket kaptak erdei talajok avar szintjének vizsgálata során JAMES & RIHA (1989), NATSCHER & SCHWERTMANN (1991) és IVANOVA et al (2002) is.

További proton elnyelődés az erdei avarban megtalálható, különböző erősségű kismolekulájú szerves savak és ezeknek a savaknak a Ca^{2+} , Mg^{2+} és K^+ ionokkal alkotott sóiból álló puffer rendszereknek tulajdonítható. KAURICHEV et al. (1963) mérései alapján a vízben oldódó, kismolekulájú szerves savak (sósavasav, citromsav, hangyasav, fumársav, egyéb savak) mennyisége a friss avarban, néhány fűféle és moha elhalt maradványaiban, száraz anyagra számítva eléri az 500 – 700 mg 100 g⁻¹ mennyiséget, ami nagyságrendileg elegendő néhány mg-eé 100 g⁻¹ pufferkapacitás biztosításához. Friss avar és humifikálódott növényi szövetek vizes kivonatában kromatográfiás módszerrel sósavasavat, borkősavat, citromsavat, almasavat és egyéb savakat is kimutattak (KAURICHEV et al., 1963, KAURICHEV et al., 1972.). KRZYSZOWSKA et al. (1996) vizsgálataik alapján rámutattak, hogy a podzol talajok avar szintjének oldataiban uralkodóan citromsav található mintegy 0,2 mmol dm⁻³ koncentrációig. CROMACK et al. (1979) közvetlen mérésekkel megállapították, hogy a kalcium-oxalát mennyisége az avarban elérheti a 80 g m⁻² mennyiséget is. A kismolekulájú szerves savak aránya az összes oldható szerves anyag tartalmában mintegy 5 – 10% (néha lecsökken 0,5%-ig) és szezonálisan változik (HEES et al., 2000).

A bomlott avarszint savas titrálása során a pH 4,0 – 3,5 intervallumban az oldat Al^{3+} koncentrációjának növekedése figyelhető meg, amely IVANOVA et al. (2002) mérései szerint az összkation mennyiségnek akár 30%-át is kiteheti. Az erdei talajok bomlott avar és humusz szintjében az alumínium koncentrációját a H^+ és Al^{3+} közötti cserereakció határozza meg, amely függ az oldat pH értékétől és a szerves anyag alumínium telítettségétől (BLOOM et al., 1979^b, WALKER et al., 1990). Az alumínium oldatba jutása pH 4 alatt részben a szerves alumínium-komplexek oldódása miatt van, ami protonelnyelő folyamat (FILEP & RÉDLY, 1987/88). IVANOVA et al. (2002) vizsgálatai pH

4,0 – 3,5 értéknél az alumínium komplexeken kívül, a savas közegben kis stabilitású szerves mangán-komplexek oldódásával összefüggő proton elnyelést is igazoltak.

Erősen savas közegben, $\text{pH} < 3$ alatt a fentebb vázolt puffer reakciókon kívül, IVANOVA et al. (2002) a savsemlegesítés lehetséges mechanizmusaként értékeli, az erdei avarban többek között KAURICHEV et al. (1972) és BLASER et al. (1984) által kimutatott víz oldható aminosavak α -karboxil csoportjainak ($\text{pK}_a = 2 - 3$) protonálódási folyamatát. Több szerző véleménye szerint a savas terhelés növekedésével a nem oldódó szerves vegyületek nitrogént tartalmazó csoportjainak ($-\text{NH}$ és $-\text{NH}_2$) protonálódása is végbe mehet (HAY et al., 1985, JAMES & RIHA, 1986, FILEP & RÉDLY, 1987/88, KOPCIK & SILAJEVA, 1995).

A szerves anyagok lúgos titrálása során a legfontosabb puffer reakciók a humuszanyagok funkciós csoportjainak, a disszociációs állandó értékétől függő deprotonálódása. A humuszanyagok összaciditását és ezen belül a funkciós csoportok aciditását STEVENSON (1994) foglalta össze (2. táblázat).

2. táblázat. Különböző talajokból elkülönített huminsavak és fulvosavak összaciditása és funkciós csoportjaiknak az aciditása (STEVENSON (1994) nyomán)

Funkciós csoport	Huminsav		Fulvosav	
	közepes érték	minimum – maximum	közepes érték	minimum – maximum
	mol kg^{-1}			
összaciditás	67	56 – 89	103	64 – 142
karboxil csoport	36	15 – 57	82	52 – 112
fenolos-OH	39	21 – 57	30	3 – 57
alkoholos-OH	26	2 – 49	61	26 – 95
karbonil csoport	29	1 – 56	27	12 – 42

Az adatok szerint a fulvosavak aciditása általában nagyobb. A táblázatból az is következik, hogy a fulvosavakban a karboxil és az alkoholos-OH csoportok nagyobb aciditással bírnak, míg a huminsavakban a funkciós csoportok közepes aciditása nagyjából egyforma.

SOKOLOVA et al. (2007) szerint a humuszanyagok karboxil-csoportjai pH 4-5 között titrálódnak, míg a fenolos-OH csoportok $\text{pH} > 9$ fölött. A funkciós csoportok között a legerősebb savas jellege tehát a karboxil csoportnak van, míg a leggyengébb savas tulajdonság a fenolos-OH csoportoknak tulajdoníthatóak. RIAZANOV et al. (2001) ugyanakkor megállapították, hogy talajokból és természetes vizekből kinyert fulvosavak karboxil csoportjainak egy része gyengébb savas tulajdonságokkal rendelkezik és pH 8 értékig is titrálódik.

Az elhalt növényi maradványok általában nagyobb mennyiségben tartalmaznak lignint. A humifikáció kezdeti stádiumában a lignin karboxil-csoportjainak mennyisége $800 - 1000 \text{ mmol kg}^{-1}$, ami az átalakulás során tovább növekszik (ORLOV, 1985). Feltételezhető, hogy pH 8 értékig éppen a lignin karboxil-csoportjainak tulajdonítható a lúgos hatásokkal szembeni magas pufferképesség (SAMRIKOVA et al., 2003).

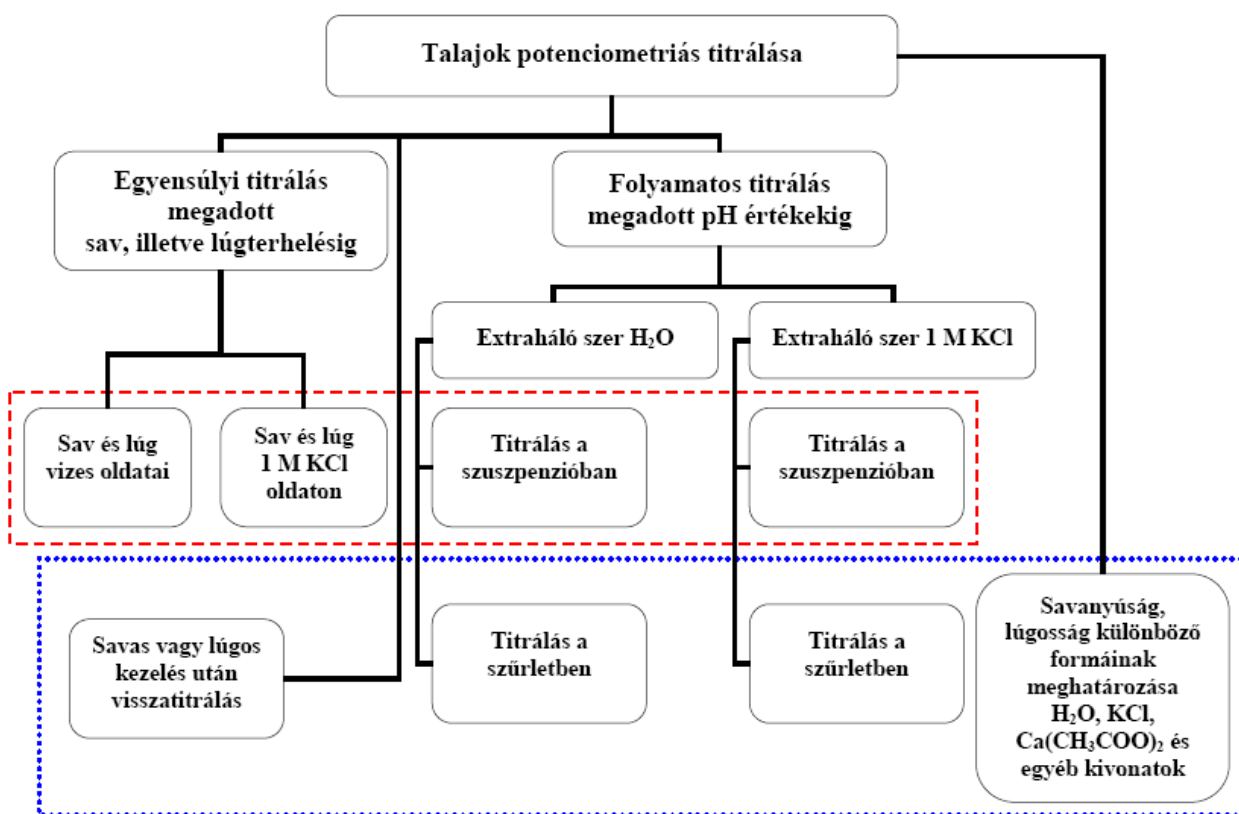
A pH 8 – 10 intervallumban a fenolos-OH csoportok titrálódnak. Magas pH értékeknél a szerves Al- és Fe-komplexek puffer hatása érvényesül (HARGROVE & THOMAS, 1984, SAMRIKOVA et al., 2003). A pH 8 és ettől nagyobb értékeknél az aminosavak amino-csoportjainak deprotonálódása is végbe mehet (STEVENSON, 1994).

2.6 A potenciometriás titrálás és a titrálási görbék kiértékelése

2.6.1 A potenciometriás titrálás kivitelezése

A sav-bázis pufferképesség meghatározásának alapvető módszere a potenciometriás titrálás. Az eljárás lényege, hogy a talajhoz növekvő koncentrációban savat, illetve lúgot adagolnak és az ennek hatására bekövetkezett pH változásokat regisztrálják. A módszernek több változata is ismert, amelyek a szuszpenzió készítésének módjában, valamint a talaj és a hozzáadott sav, illetve lúg közötti kölcsönhatás időtartamában térnek el egymástól (PONIZOVSKIJ & PAMPURA, 1993). A potenciometriás titrálás különböző változatait, a közöttük lévő összefüggéseket és különbségeket a 4. ábra szemlélteti. A talajok sav-bázis pufferképességének vizsgálatához elterjedten két módszert használnak: az egyensúlyi és a folyamatos titrálást.

Az egyensúlyi titrálás szerint, a vizsgálandó talaj azonos tömegű mintasorozathoz növekvő mennyiségű, de azonos térfogatú savat illetve lúgot adagolnak. Az így kapott szuszpenziót rázatás után hosszabb ideig (általában 24 óra) állni hagyják, majd az egyensúlyi folyadékfázis pH értékét mérik. A savas hatások modellezéséhez többnyire sósavat használnak. A lúg megválasztása a mérési eredmények felhasználásától függően változhat. A kutatási céllal végzett vizsgálatokhoz célszerű NaOH vagy KOH oldatokat használni (NADTOCHIJ, 1993, BUZÁS, 1988). A puffer hatás így erősen lúgos tartományban is vizsgálható, továbbá a talaj és a lúg között az egyensúly gyorsan beáll. A talajok elsősorban gyakorlati szempontból fontos tulajdonságainak megismeréséhez (pl. mészigény magállapítása) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oldatot használnak (COLEMAN & THOMAS, 1967, GYÖRI et al., 1998, TRUSKAVECKIJ, 1999). A titrálási görbék felvétele során, az állandó ionerősség biztosításához 1 M KCl oldat hozzáadását javasolják a talaj szuszpenzióhoz (FILEP & RÉDLYNÉ (1987/88)). Figyelembe kell venni azonban, hogy azokban a mintákban, amelyekben kicserélhető aciditás van, azt az 1M KCl oldatba viszi, és olyan savanyúságként mérjük, amelyet a titrálási görbék kiértékelése során a kezelésként alkalmazott sav hatásától nem tudunk elkülöníteni. Ennek elsősorban az eltérő kicserélhető aciditással rendelkező minták összehasonlításánál van jelentősége.



4. ábra. A talajok potenciometriás titrálásának változatai
piros szaggatott vonal – titrálás a talajjal együtt,
kék szaggatott vonal – az oldatfázist a titrálás előtt a talajtól elválasztják.
(saját ábra)

A folyamatos titrálás során, meghatározott talaj:oldat arány mellett, desztillált vízzel vagy KCl oldattal talajkivonatot készítenek. Az így kapott szuszpenziót, vagy az elkülönített szűrletet kis koncentrációjú savval, illetve lúggal megtitrálják. A titrálás folyamán a savat és a lúgot egyenlő adagokban, állandó keverés mellett juttatják a talaj kivonathoz. Az egyensúly beállta után, ami általában néhány percet vehet igénybe, regisztrálják a sav, illetve a lúg hozzáadása nyomán kialakult pH értéket.

A különböző módszerek lehetőségeinek értékeléséhez és a felvett titrálási görbék helyes interpretálásához ismerni kell a közöttük fennálló különbségeket és azokat a folyamatokat, amelyek a titráláskor végbe mennek. Az egyensúlyi titrálás és a szuszpenzióból történő folyamatos titrálás között az alapvető eltérés a talaj és a hozzáadott sav vagy bázis kölcsönhatásához biztosított időből adódik. Az egyensúlyi titrálás során a sav és a lúg viszonylag hosszabb időn keresztül fejti ki hatását a vizsgált mintára, míg a folyamatos titrálásnál ez az idő mindössze néhány perc.

A sav-bázis titrálás folyamán, intenzív keverés mellett a leggyorsabb ioncsere folyamatok 10 – 100 sec alatt lejátsszódnak (MALCOLM & KENNEDY, 1969). SCHALLER & FISCHER (1985) és ARINGHIERI & PARDINI (1985) is azt tapasztalták, hogy gyors és folyamatos kevergetés mellett a talajhoz adott H^+ mintegy 80 – 100%-ban mindössze néhány perc alatt leköti. Az ezt követő

0,25-től 30 – 70 óráig vizsgált időtartam alatt az oldat proton-aktivitása lassabban csökkent az újabb savadagok hozzáadása után. A gyors folyamatokat a hidrogén-ion, valamint a kalcium, magnézium és alumínium között végbemenő ioncserére vezették vissza. FILEP & CSUBÁK (1997) a talajkolloidok változó töltésű felületelemein lejátszódó protontranszfer reakciók kinetikai törvényszerűségeit vizsgálva kísérletileg igazolták, hogy a sav-bázis titrálás során a terhelés növekedésével legalább két, sebességi állandójukban nagyságrendileg eltérő, párhuzamos reakció zajlik. Megállapították, hogy kis sav, illetve lúg koncentrációknál a kolloidok könnyen hozzáférhető töltéseinek gyors protonfelvétele, illetve leadása megy végbe, a folyamatban résztvevő gyökök pufferkapacitása mintegy 5 – 10 percen belül kimerül. A lassúbb reakció időben kiegyenlítettebb, így még öt óra múlva is mértek proton felvételt, illetve leadást.

Az agyagásványok oldódása sokkal lassúbb folyamat. GRINSVEN et al. (1986) kísérletében az illit és gibbsit savas kezelésekor még 672 óra elteltével sem állt be az oldat szigorúan véve állandó összetételével jellemezhető tényleges egyensúly. Az oldat Ca^{2+} - és Na^{+} -ionok koncentrációi nem változtak, de a K^{+} - és Mg^{2+} -ionok koncentrációi lassan növekedtek a kísérlet egész ideje alatt.

Tőzeg szuszpenzió pH értékének viszonylagos stabilizálódásához lúgos oldatban folyamatos keverés mellett is két napra volt szükség (BLOOM & MCBRIDE, 1979^a). A közeg pH értéke még ezután is lassan, de tovább változott, aminek oka a szerzők feltételezése szerint a szerves vas és alumínium komplexek oldódása. SCHALLER & FISCHER (1985), ARINGHIERI & PARDINI (1985) és FILEP & CSUBÁK (1997) egybehangzó megállapítása szerint a sav-bázis titrálás során a lassú folyamat sebességét a diffúzió limitálja. A sav és lúgterhelés növelésével a kevésbé reaktív és nehezebben hozzáférhető csoportok is reakcióba lépnek. A felület nehezebben megközelíthető helyeihez viszont a proton lassabban jut el, ami az egyensúly elérését is meghatározza.

A kísérleti adatok alapján megállapítható, hogy a talajnak, agyagásványnak vagy tőzegnek a savval, illetve lúggal történő hosszabb időn keresztüli kezelése sem mindig elegendő a tényleges egyensúly eléréséhez. Ezzel szemben BORGAARD (1974) talajból kivont huminsav oldatok vizsgálata kapcsán megállapítja, hogy a steril körülmények között és az oxigén kizárásával elvégzett titrálás során, a stabil pH érték mindössze néhány perc alatt beállt és 28 napon keresztül gyakorlatilag nem is változott. A steril körülmények mellett, de levegőn, vagy a levegő kizárásával, de nem steril körülmények között tartott oldatok pH értéke viszont folyamatosan változott és ez a változás a 28 nap alatt 1 – 3 egységet is kitett. A szerző véleménye szerint ezek a változások a huminsavaknak a mikroorganizmusok tevékenységéhez köthető átalakulásával, vagy a légköri levegő oxidatív hatásával hozhatók összefüggésbe. A huzamosabb időn keresztül történő titrálás tehát különböző, a savas és lúgos hatások megértésének és helyes értékelésének szempontjából nem kívánatos folyamatokat indíthatnak el.

Mindkét titrálásnak vannak tehát előnyei és hátrányai is. A vizsgálat során az alkalmazható titrálási módszer megválasztása ezért elsősorban a feladat céljától függ. Az egyensúlyi titrálást akkor célszerű alkalmazni, amikor a lassúbb folyamatokat is kívánatos figyelembe venni, pl. a talajok savas terhelhetőségének vizsgálatánál, vagy a mészdózisok meghatározásánál (MURÁNYI & RÉDLYNÉ, 1986, FILEP & CSUBÁK, 1990, NADTOCHIJ, 1996, TRUSKAVECKIJ, 2003). Meg kell azonban jegyezni, hogy az egyensúlyi titrálási görbék nem elég informatívak. Kiértékelésükkel a pufferkapacitás számítható, de a puffer mechanizmusokról és a savas, valamint a lúgos hatásokat semlegesítő komponensekről csak kevés információt nyújtanak.

A folyamatos titrálás jól használható talajok, különböző talajkomponensek, szerves anyagok, agyagásványok funkciós csoportjainak vizsgálatánál (IVANOVA et al., 2002, SAMRIKOVA et al., 2003). A felvett titrálási görbék lehetővé teszik az adott pH tartományra jellemző puffer maximumok regisztrálását, továbbá a vizsgált minta és a sav vagy lúg közötti kölcsönhatások lehetséges mechanizmusainak értelmezését (SOKOLOVA et al., 1993). A folyamatos titrálási görbék interpretálására az egyes talaj összetevők (huminsav és fulvosav preparátumok, kivonatok, módosított agyagásványok, stb.) titrálása során kapott információk szolgálnak referencia pontként.

A szűrletből végzett titrálás során kizárólag azoknak a talajkomponenseknek a sav-bázis pufferkapacitását tudjuk mérni, amelyek vízzel, illetve 1 M KCl-al oldatba vihetők. Ez utóbbi eljárás tudományos értéke és gyakorlati haszna nem annyira önmagában, mint inkább a szuszpenzióban elvégzett titrálással történő összehasonlításban, továbbá a mintára felvett vizes, illetve az 1 M KCl kivonatú titrálási görbék különbözőségeinek megértésében van (SOKOLOVA et al., 1993).

2.6.2 A titrálási görbék kiértékelése

A talajok pufferképességének számszerűsítésére több lehetőség nyílik. Egyensúlyi titráláskor a pH értéknek az adott sav illetve lúg térfogatának függvényében ábrázolt titrálási görbe és a kvarc homok titrálási görbéje által bezárt terület nagyságával lehet kifejezni, amit megadhatunk cm²-ben, valamint a két görbe által határolt terület viszonzyszámaként, %-ban is (ZUSEVICH, 1980, MURÁNYI & RÉDLYNÉ, 1986, NADTOCHIJ, 1993, TRUSKAVECKIJ, 2003).

A pufferképesség alapvető mérőszámaként a szakirodalomban a pufferkapacitást használják, amely az 1 pH-változást okozó sav illetve lúg cmol kg⁻¹-ban vagy mmol kg⁻¹-ban kifejezett mennyiségével egyenlő (FILEP & RÉDLYNÉ, 1987/88, SOKOLOVA et al., 1991, CONYERS et al., 2000):

$$\beta = \frac{\Delta m_s}{\Delta pH} = - \frac{\Delta m_b}{\Delta pH} \quad (6)$$

ahol: m_s és m_b – a sav, illetve a bázis mennyisége.

A pufferkapacitáshoz hasonló paramétert használ a pufferképesség jellemzésére FEDERER HORNBECK (1985), HARTIKAINEN (1986) és HODSON (1998) is. Az eltérés a használt mértékegységekben, a pH változás nagyságában, a vizsgált minta viszonyítási alapként használt tömegében van. Ugyanazon paraméter sokféle megközelítése problematikusá teszi a különböző szerzők által publikált vizsgálati eredmények összehasonlíthatóságát. Szükségszerű tehát a pufferképesség jellemzésére és értékelésére használt mérőszámok egységesítése.

A pufferkapacitás értékeket az egyensúlyi, vagy gyakrabban a folyamatos titrálási görbék differenciálásával kaphatjuk meg. Több, eltérő sav-bázis semlegesítő képességgel rendelkező komponensből álló rendszer pufferkapacitását nem lehet egyetlen számmal kifejezni. Hasznosabb ezt a paramétert a pH érték függvényében vizsgálni: $\beta = f(pH)$. Így olyan görbét kapunk, amelyiken a maximumok a nagyobb pufferkapacitással rendelkező komponenseket jelzik. A görbén belül az β értékei között rendszerint nagyságrendbeli különbségek vannak, ezért célszerűbb a $lg\beta = f(pH)$ összefüggéseket ábrázolni.

A titrálási görbék matematikai leírására, valamint a pufferkapacitás értékének a különböző sav- és lúgterhelés melletti számítására FILEP (1991) dolgozott ki módszert. A görbék leírására a következő hatványfüggvényeket javasolja:

a savas titrálásra

$$pH_X = pH_0 + k' (m_s)^q \quad (7)$$

a lúgos titrálásra

$$pH_X = pH_0 + k (m_b)^p \quad (8)$$

ahol: pH_X – a szuszpenziók egyensúlyi pH-ja meghatározott mennyiségű sav (m_s), illetve bázis (m_b) hozzáadása után;

pH_0 – a szuszpenzió kezdeti pH-ja (a titrálás zéruspontja);

k' , k , q és p – a talajtulajdonságoktól függő paraméterek;

A k' és k paramétereket a szerző az egységnyi tömegű sav, illetve bázis által előidézett kezdeti pH változásként definiálja. A q és p a pH változás sebességét jellemző konstans. A laposabb és meredekebb részekből álló titrálási görbék (ilyen görbék állhatnak elő a folyamatos titrálás során) értékelése szakaszonként lehetséges.

FILEP (1991) a pufferkapacitás reciprokját, vagyis az érzékenységet a fentebbi összefüggések differenciálásával kapja meg:

$$\frac{dpH}{dm_s} = \frac{1}{\beta} = k' \cdot q \cdot (m_s)^{q-1} \quad (9)$$

$$\frac{dpH}{dm_b} = \frac{1}{\beta} = k \cdot p \cdot (m_b)^{p-1} \quad (10)$$

A (7) és (8) egyenleteket felhasználva RÉKÁSI & FILEP (2007) 17 talajminta titrálási görbéire végezték el a függvényillesztést. Megállapították, hogy a hatványfüggvényekkel a titrálási görbék savas és lúgos szárnyának kezdeti szakasza egyaránt nagy pontossággal leírhatók ($R^2 = 0,96 - 0,99$). Az egyenletek alapján meghatározták a vizsgált talajokra vonatkozóan a k' , k , q és p paraméterek értékeit.

2.7 Egyéb módszerek a pufferképesség értékelésére

2.7.1 A savsemlegesítő kapacitás

A talajoknak a savas ülepedésekkel szembeni pufferképességének számszerű értékelésére vezették be a savsemlegesítő kapacitás – Acid Neutralizing Capacity, rövidítve: ANC – paramétert (VAN BREEMEN et al., 1984, 1987). A savsemlegesítő kapacitás azzal a sav mennyiséggel egyenlő, amelynek hatására a talaj pH-ja egy megadott értékig csökken. A definíció szerint az ANC hasonló a pufferkapacitáshoz, meghatározásának elve azonban teljesen eltérő.

Általában külön értékelik a talajoldat és a szilárd rész savsemlegesítő kapacitását. A szilárd részre vonatkozóan az ANC számszerű értékét a talaj teljes feltárása alapján meghatározott összetételéből számítják a „stabil kationok” és a „stabil anionok” különbségeként:

$$ANC_{\text{szilárd rész}} = 6[Al_2O_3] + 6[Fe_2O_3] + 2[FeO] + 2[CaO] + 2[MgO] + 2[K_2O] + 2[Na_2O] + 4[MnO_2] + 2[MnO] - 2[P_2O_5] - 2[SO_3] - [HCl] \quad (11)$$

Az egyes komponensek részvétele a sav közömbösítésében függ a közeg pH értékétől. A bázikus kationok semleges körülmények mellett hatékonyak, az alumínium, a vas és a mangán vegyületeit, pedig csak savanyú kémhatás ($pH < 5$) mellett kell számításba venni.

A talajoldatra az ANC értékét a következő összetevők mennyisége alapján számítják:

$$ANC_{\text{oldat}} = [HCO_3^-] + 2[CO_3^{2-}] + [OH^-] + [A^-] + [H^+] \quad (12)$$

ahol: A^- - a viszonylag erősebb szerves savak anionjai.

A savsemlegesítő kapacitás változását integrált és objektív kritériumként javasolják használni a talajok savanyodási folyamatainak értékelésénél (VAN BREEMEN et al., 1983). Az egyenletekből ugyanakkor látható, hogy az ANC számítása viszonylag bonyolult eljárást feltételez, mert jelentős számú komponens meghatározása szükségeltetik a szilárd fázisban és az oldatban is. HARTIKAINEN (1986) ezért a savsemlegesítő kapacitás egyszerűsített értékelését javasolta. A potenciometriás titrálation alapuló eljárás szerint a savnak azt a mennyiségét határozzák meg, amely a talajból készített szuszpenzió pH értékét 3,8-ig csökkenti. A pH 3,8 érték vélhetően abból a megfontolásból adódik, hogy ettől alacsonyabb kémhatásnál erősen megnövekszik az alumínium és vas hidroxidok oldhatósága. Az egyszerűsített eljárás eredményeinek interpretálásánál figyelembe kell venni, hogy így a teljes savsemlegesítő kapacitásnak csak az a része határozható meg, amely a gyors lefolyású folyamatokhoz, elsősorban az ioncseréhez és a változó töltések protonálódásához köthető.

A savsemlegesítő kapacitást mennyiségileg mg-eé kg^{-1} talajra vagy kmol ha^{-1} egységben, adott talajrétegre fejezik ki. Finnországban 84 talajmintán elvégzett mérések azt mutatták, hogy a savsemlegesítő kapacitás értéke 12 és 184 mg-eé kg^{-1} között változik. A savsemlegesítő kapacitás a vizsgált talajokban a leiszapolható résszel, a szerves szén mennyiségével és az oxalát-oldható alumínium mennyiségével volt összefüggésben (HARTIKAINEN, 1986).

2.7.2 A talajok pufferképességének becslése az ásványi rész ismeretében

DOMBÓVÁRINÉ & STEFANOVITS (1996) Magyarország talaj-agyagásvány térképének gyakorlati felhasználását taglalva, rámutatnak a környezeti tompítóképesség meghatározásának lehetőségére. Javaslatuk szerint a talaj röntgen diffrakciós vizsgálata alapján meghatározott ásványok %-os mennyiségét a karbonátok esetében 7-tel, az amorf részét 6-tal, a montmorillonitét 5-tel, a csillám+illit értékét 4-gyel, a plagioklászokét 3-mal, a káliföldpátokét 2-vel, míg a klorit és a kaolinit mennyiségét 1-gyel kell szorozni, majd a szorzatokat összeadni. A szerzők az ásványi összetétel ismeretében összeállították a tompítóképességet feltűntető országos térképet. Szerkesztéséhez hat térképezési egységet választottak. Amennyiben a feltalajra vonatkozó szorzatok összege kisebb, mint 120, akkor a tompítóképességet igen kicsinek, 120 és 149 közötti értéket kicsinek minősítettek, 150 és 179 között közepes, 180 és 209 között jó közepes, 210 és 229 között jó, 230-tól pedig igen jó minősítést kapott a talaj.

2.7.3 A talajok pufferképességének számítása a humuszanyagok mennyiségének és minőségének ismeretében

Ezekkel az összefüggésekkel HARGITAI (1983) foglalkozott. A környezetvédelmi kapacitás fogalmat használva hangsúlyozta, hogy a talajok terhelhetőségének mértékét a humuszanyagok mennyisége mellett azok minősége is meghatározza (HARGITAI 1982). Erre alapozva a talajok kör-

nyezetvédelmi kapacitását egy komplex humuszminőség értékelésen keresztül javasolta meghatározni:

$$EPC = D \cdot H^2 \cdot K \quad (13)$$

$$K = \frac{Q}{H} \quad (14)$$

ahol: EPC – környezetvédelmi kapacitás (Environmental Protection Capacity);

D – a talajréteg vastagsága, cm;

H – a talajok általánosan értelmezett szerves anyag, illetve humusz tartalma, %;

K – az általános humuszállapotot kifejező humuszstabilitási koefficiens;

Q – a talajok humuszminőségét jellemző, úgynevezett stabilitási szám;

Q>1 – stabilnak tekintett humusz-, illetve humuszszerű anyagok;

Q<1 – instabilnak tekintett, mobilis humusz-, illetve humuszszerű anyagok;

A humuszanyagok stabilitása ugyan karbonátos talajokban jobb, a fenti eljárás hiányossága azonban mégis az, hogy a talaj terhelhetőségét leszűkíti a szerves kolloidokra, ugyanakkor a karbonát és az agyagtartalmat figyelmen kívül hagyja.

2.7.4 A talajok pufferképességének számítása az ásványi és szerves anyagok ismeretében

A karbonátok mennyiségét, az agyag tartalmat és agyagásvány-összetételt, valamint a humusztartalmat és humusz minőséget is számításba veszi a talajok savas hatásokkal szembeni ellenálló képességét kifejező empirikus összefüggés (STEFANOVITS, 1989, FILEP & FÜLEKY, 1999):

$$EBC_S = EBC_C + EBC_H + EBC_A \quad (15)$$

ahol: EBC_S – a talaj környezetvédelmi pufferkapacitása;

EBC_C – a karbonátok környezetvédelmi pufferkapacitása;

EBC_H – a humusz környezetvédelmi pufferkapacitása;

EBC_A – az agyagfrakció környezetvédelmi pufferkapacitása.

A karbonátok környezetvédelmi pufferkapacitását a karbonát tartalom alapján lehet becsülni:

$$EBC_C = \sum D (pH 8,5 + Ca) \quad (16)$$

ahol: D – az egyes talajrétegek vastagsága, cm;

Ca – CaCO₃, %.

A szerves anyagok környezetvédelmi pufferkapacitása az alábbi kifejezés alapján határozható meg:

$$EBC_H = \Sigma D (Hu)^2 R 10 \quad (17)$$

ahol: Hu – a szerves anyag tartalom, %;

R – stabilitási koefficiens, a K és a $C:N$ arány hányadosa;

Az agyagfrakció környezetvédelmi pufferkapacitása:

$$EBC_A = \Sigma D \cdot T_s T_m 10^{-2} \quad (18)$$

ahol: T_s – agyagtartalom, %;

$$T_m = S + \frac{IS}{2} + V + \frac{IV}{2} \quad (19)$$

S , V , I – a szmektit, vermikulit, illit aránya az agyagfrakcióban, %.

Az EBC_A 400 – 2000, az EBC_H 1 – 400, az EBC_C 100 – 3000 értékek között változnak.

2.8 A kertészeti termesztésben alkalmazott anyagok

2.8.1 A szerves anyagok

Tőzeg. A tőzeg a földkeverékek egyik legfontosabb alapanyaga. Sajátos fizikai és kémiai tulajdonságai különösen alkalmassá teszik a nagy igénybevételnek kitett mesterséges talajok kialakítására (FORRÓ, 1990, 1999). Kertészeti termesztő közegként leginkább a felláptőzeget használják rostos szerkezete, jó víztartó képessége miatt. A tőzeg a virágföldkeverékek kialakításánál is az egyik leggyakrabban alkalmazott komponens. Kedvezően hat a dísznövények tápanyagfelvételére, hiszen jelentős részük enyhén savas közegben érzi jól magát (HARGITAI & NAGY, 1971).

Az utóbbi időben azonban a tőzeg kitermelés megítélése nem egyértelmű, hasznosítása körül számos vita alakult ki, elsősorban azokban az országokban, amelyek nem rendelkeznek megfelelő készletekkel, de ugyanakkor nagy mennyiségű talajkeveréket használnak fel évente (FORRÓ, 1997). A tőzeg kitermelés csökkentése mellett érvelők környezetvédelmi okokra hivatkoznak, mint a bányászatot követő élővilág pusztulás, az üvegházhatás növekedése a mineralizációja során keletkező széndioxid miatt, stb.. A kertészek ugyanakkor nem szívesen mondanak le a tőzeg használatáról, mivel számukra sok tekintetben ideális közegről van szó. Nem meglepő ezért, hogy a kevés tőzeget használó vagy tőzegmentes keverékek népszerűsége nagyon alacsony. A tőzeg nagy mértékű csökkentése a keverék összetételében jelentősen rontja tulajdonságait, továbbá sok esetben drágítja a

közeget. A tőzeg elhagyása vagy arányának csökkentése technológiai váltást is igényel, megváltozik a tápoldatozás, a vízellátás rendszere (MÁCSAI, 2005).

Kókuszrost. A kókuszrost a tőzeg helyettesítésének egyik legígéretesebb alternatívája. A kókuszdió héjából állítják elő. Megújuló szerves anyag, a kókuszdió feldolgozásával foglalkozó vállalatoknál melléktermék. A dísznövénytermesztésben a kókuszrost, elsősorban fizikai tulajdonságai miatt kedvezőbbnek bizonyult, mint a tőzeg és a kőzetgyapot (BORONKAY & FORRÓ, 2006). A zöldségtermesztésben kísérletek folynak gyökérrögzítő közegként való felhasználására (ARENAS, 2002, SLEZÁK et al., 2005).

Komposztok. A komposztálás irányított humuszgyártás, a szerves anyag újrahasznosításának hatékony módszere (HARGITAI, 1985). Több ezer éves eljárás, már az ókorban ismerték és a gyakorlatban is alkalmazták (ALEXA & DÉR, 1998). Napjainkban a komposztálás céljai között a közismert, régebbiek mellett újabbak is megfogalmazódtak.

Kiterjedt területeket érint a talajok humusztartalmának folyamatos csökkenése, amelynek negatív mérlegét csakis a szerves anyagnak a talajba való visszajuttatásával lehet ellensúlyozni (SOROKINA & KOGUT, 1992, BRIDGES & BATJES, 1996).

A talajnak a légköri gázok összetételét szabályozó funkciója mostanáig meglehetősen kevés figyelmet kapott még a szakirodalomban is (SMAGIN et al., 2001). A szerves hulladék minél nagyobb tömegben való újrahasznosítása – a megsemmisítésével, elégetésével szemben – a mineralizációs folyamatok időbeni lassulását, a szénnek szerves anyagban történő hosszabb ideig tartó konzerválását és egyúttal a környezeti széndioxid terhelés csökkentését is jelenti.

Sokféle komposzt állítható elő, amelyek tulajdonságai, összetétele a felhasznált anyagok, segédanyagok és az érlelés módjától függően különbözőek.

A talajtakarók jelentősége. A felszint időszakosan borító, oda jutó vagy oda jutatott, az átalakulás különböző stádiumában lévő szerves anyag. A rendelkezésünkre álló kísérleti adatok egyértelműen azt bizonyítják, hogy a felszínen található szerves anyagnak bizonyos védő szerepe van a talaj ásványi szintjeire nézve (SAMRIKOVA et al., 2003, KOPCIK et al., 1999, REITER et al., 1986).

SOKOLOVA et al. (1996) vegyes erdők alatt kialakult, eltérő tulajdonságú podzol talajokon állítottak be kísérletet, melynek során a felszint borító szerves anyagra többévnnyi protonterhelésnek megfelelő savadagot jutattak ki. A vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy a felszínre jutatott savas terhelések túlnyomó részét a bomlatlan és bomlott avar semlegesíteni tudta. Az avarból a proton terhelés nyomán kiszorított és a csapadékkal lefelé vándorló Ca^{2+} - és Mg^{2+} -ionok a talaj podzol szintjében a felületről kiszorították az alumíniumot és megnövelték a telítettségi értéket.

Az erdei avar szerepét a savanyító hatású anyagok semlegesítésében többen is tanulmányozták, elsősorban azon régiók országainak kutatói, amelyek hatalmas kiterjedésű erdőkkel rendelkez-

nek és fokozottabban ki vannak téve a savas esők ártalmainak (THACKER et al., 1987; HAUN et al., 1988; GRISINA & BARANOVA, 1990).

A művelés alatt álló talajokon is marad vissza több-kevesebb szerves anyag, de azt oda célirányosan is kijuttathatják. A zöltség- és gyümölcstermesztésben terjedt el a takaróanyagok alkalmazása, amelyek igen változatosak lehetnek. Felhasználhatók a mezőgazdaságban melléktermékként keletkező anyagok: a szalma, lekaszált fű, komposzt, préselt szőlőtörköly, kéregzúzalék vagy akár a szerves trágya. Ezeket a talaj felszínén szétterítik vagy annak néhány centiméteres rétegével összekeverve hasznosítják. A kísérleti eredmények azt igazolták, hogy a talajtakarás hatására javul a tápanyag ellátottság, megmarad a nedvesség, növekszik a biológiai aktivitás, a talaj hőmérséklete kiegyenlítettebbé válik, továbbá gyommentesítő hatása is van (RACSKÓ, 2004). A szántóföldi növénytermesztésben is használnak mulcsozást talajvédelmi céllal (BIRKÁS, 2005). Különösen az utóbbi néhány év szélsőséges időjárási viszonyai kapcsán értékelődött fel a talajtakarás jelentősége.

2.8.2 Az ásványi anyagok

Perlit. A perlit vulkáni eredetű kőzet. Számos olyan tulajdonsággal rendelkezik, ami a kertészeti termesztésben előnyös: javítja a talaj szerkezetét, levegő gazdálkodását és víztartó képességét (VERDONCK, 1983). Kis térfogattömege miatt kiválóan alkalmazható a konténeres termesztésben. Az esetlegesen felhalmozódott sók a perlitből könnyen kimoshatók. Az előállítás során alkalmazott hőkezelésnek köszönhetően steril és gyommentes (WILSON, 1983).

Kaolin. A kaolin olyan agyag, amely uralkodóan kaolinit ásványból áll, de összetételében esetleg más agyagásványok – mint például illit és montmorillonit – is előfordulhatnak. A talajban kaolinit általában nem nagy mennyiségben található, kivételt képeznek a nedves trópusi és szubtrópusi területeken kialakult ferralsolok, nitisolok, acrisolok, amelyekben ez lehet az uralkodó ásvány (IUSS WORKING GROUP WRB, 2006). A kaolinitet tartalmazó talajok stabil szerkezettel és aránylag kedvező fizikai tulajdonságokkal rendelkeznek. Az ásvány kémhatása az előfordulási helyétől függően pH 6,5 – 8,3 között változik, miközben a vizes és a KCl-os pH érték között közel egy egységnyi különbség is adódik. Kationcsere-kapacitása a legkisebb az agyagásványok között és az <0,001 mm frakcióban mérve nem haladja meg a 25 cmol kg⁻¹ (GORBUNOV, 1978). VASILEV ÉS USKOVA (1972) vizsgálatai szerint a hidrogénnel telített kaolinit nem rendelkezik pufferkapacitással. Az alumíniummal telített kaolinit titrálási görbéjén viszont a nagyon gyenge savakéhoz hasonló kezdeti pH emelkedést regisztráltak, ami bizonyos pufferképességet bizonyít.

Bentonit. A bentonit üledékes képződmény, amely a vulkáni piroplasztikus anyag hidrotermális metasztatizációja és/vagy halmiolit málása során keletkezett. A nagyobb részét (>50%) kitevő montmorillonit agyagásványra jellemző izomorf helyettesítés következményeként kialakuló jelentős permanens negatív felületi töltésfelesleget kationok semlegesítik. Attól függően, hogy mi-

lyen a domináns csere-kation, megkülönböztetünk Ca-bentonitot (ezek a természetben jobban elterjedtek) vagy Na- bentonitot (lúgos bentonit). A töltéskiegyenlítő kationokat könnyen le lehet cserélni.

A bentonitnak számos mezőgazdasági felhasználása ismert. Nagy vízmegkötő képességének és jelentős kation-cserekapacitásának köszönhetően elsősorban a kolloidokban szegény, homokos talajok javítására ajánlják (LAZÁNYI, 2003.). Kedvezőbb hatás érhető el, ha a bentonitot istállótrágyával együtt juttatják ki, vagy komposztálják (MAKÁDI et al., 2003). TÁLLAI (2007) kisparcellás kísérletekben azt tapasztalta, hogy a bentonittal komposztált istállótrágya hatására növekszik a talaj mikrobiológiai aktivitása.

A bentonit előnyös tulajdonságait a kertészeti termesztésben is hasznosítják. Saláta palántákkal végzett kísérletek azt igazolták, hogy a földkeverékhez 3%-ban adagolt bentonit kedvezően hatott a növények fejlődésére, azonban az ennél nagyobb adagok depressziót okoztak (SCHNITZLER et al., 1994). Felláp tőzeg és bentonit keveréke intenzív öntözés hatására sem iszapolódik el, megtartja morzsalékos szerkezetét, porózusságát, kémhatása nem csökken és serkenti a gyökérképződést. Komposzt készítésnél, mint adalékanyag $1 - 2 \text{ kg m}^{-3}$ mennyiségben javasolják az organo-minerális komplexek kialakulásának elősegítése céljából (HEYNITZ, 2006). Talajjavító anyagként való felhasználását az ökológiai gazdálkodásban is alkalmasnak tartják (SOLTI, 2000).

Zeolit. A természetes zeolitoknak számos hasznosítási módja létezik a mezőgazdaságban, környezeti problémák megoldásában, egyéb területeken (MÁTYÁS, 1984). Mezőgazdasági felhasználásuk lehetőségeit számba véve ZENTAY & VITÁLIS (1987) megemlíti alkalmasságukat a talaj kémhatásának stabilizálására. A savanyú és a lúgos talajok pH értékét egyaránt a semleges irányba változtatja meg, ezért mindkettő javítására megfelelőnek tartják. Az irodalmi adatok alapján tehát a zeolitok kedvező sav-bázis pufferképességgel kell, hogy rendelkezzenek.

A zeolitot felhasználás előtt őrlik és osztályozzák. Talajkeverékekhez a nagyobb, $1 - 3 \text{ mm}$ szemcseméretű frakció a legalkalmasabb. Porított zeolitot, azaz a $0 - 0,14$, valamint a $0 - 0,1 \text{ mm}$ frakciót a nehézfémekkel, radionuklidokkal szennyezett talajok tisztítására, műtrágyák vívírányaként, stb. alkalmazzák.

Alunit. Az alunit eredetét tekintve tipikus metasomatózisos képződmény, amely felszín közeli körülmények között, a kénsavas oldatoknak a vulkáni kőzeteken való átszivárgása eredményeképpen jött létre (LEJE et al., 1971). A mezőgazdaságban, elsősorban jelentős kén tartalma miatt, takarmány kiegészítőként került ez idáig felhasználásra, a növénytermesztésben való hasznosítására tett kísérletek nem ismertek.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1 A vizsgált anyagok

Kutatásomhoz a kertészeti ágazatokban alkalmazott természetes eredetű szerves és ásványi anyagokat választottam. Vizsgáltam az önállóan alkalmazott gyökérrögzítő közegeket és a mesterséges talajok, földkeverékek alkotóanyagait. Meghatároztam eltérő érlelésű szerves trágyák, komposztok, valamint a komposztálás során felhasználható anyagok sav-bázis pufferképességét jellemző paramétereket. Kutatómunkám kiterjedt az időszakosan felszínre jutó vagy talajtakaróként oda juttatott növényi maradványokra.

3.1.1 A természetes eredetű szerves anyagok jellemzése

A vizsgált természetes eredetű szerves anyagok megnevezését és származási helyét a 3. táblázat foglalja össze.

Tőzegek. A litván fehér felláptőzeg hűvös, csapadékos éghajlati körülmények között keletkezett. Fő összetevője a Sphagnum moha. Rostos szerkezetű, tápanyagtartalma alacsony, kémhatása erősen savanyú. A kertészeti termesztésben kiválóan felhasználható különböző célokra. A vizsgált tőzeget Magyarországon Novobalt néven forgalmazzák.

A voloscsai tőzegek Galíciából származnak. A világosbarna felláptőzeg rostos, hosszú szálú. Összetételében a növényi maradványok jól felismerhetők, viszonylag nagyobb darab, ép fás növényi részek is fellelhetők benne. Kémhatása erősen savanyú. A voloscsai sötétbarna vegyes tőzeg közel egyforma arányban tartalmaz szálás és szemcsés összetevőket. Kémhatása savanyú, pH értéke magasabb, mint a voloscsai világosbarna felláptőzegé.

Az ivano-frankivszki sötétbarna felláptőzeg lelőhelye a Kárpátok keleti oldalán, az Ivano-Frankivszki megyében található. Botanikai összetételét tekintve mintegy 80 – 90%-ban Sphagnum mohából áll. Kémhatása erősen savanyú. Kitűnően felhasználható a hajtásban, alapanyaga különféle földkeverékeknek (VAT „IVANO-FRANKIVSKTORF” TERMÉKISMERTETŐ).

A hansági és király-tói tőzegek a Fertő-hansági medence értékes síkláp képződményei. A felláptőzegekhez hasonló rostos szerkezettel rendelkeznek, ami a kertészeti termesztés szempontjából nagyon előnyös (HARGITAI, 1982). A növények számára kiegyenlített nitrogénszolgáltatást tudnak biztosítani (FORRÓ, 1997, 1998). Mindkét tőzeg erősen savanyú kémhatású.

A pötrétei tőzeget Zala-megyében, a Szévíz patak völgyében bányásszák. Sötét színű síkláp képződmény, amely finomszemcsés és szálás összetevőket egyaránt tartalmaz. A szélmezői a Marcal-medencében kitermelt, egészen sötét színű síkláptőzeg. A kémhatást tekintve mindkét tőzeg a gyengén savanyú kategóriába tartozik.

A hahóti szintén sötét színű síkláptőzeg rostos összetevőkkel, épen maradt növényi száakkal. Összetételében kisebb csigaházak is előfordulnak. Kémhatása gyengén lúgos. A fontosabb növényi tápanyagok mindhárom sötét színű síkláptőzegben nagyobb mennyiségben megtalálhatók.

3. táblázat. A szerves anyagok megnevezése és származási helye

Tőzegek	
A tőzeg típusa	A tőzeg származási helye
fehér felláptőzeg	Rékyva, Litvánia
világosbarna felláptőzeg	Voloscsa, Lvov megye, Ukrajna
sötétbarna felláptőzeg	Ivano-Frankivszk, Ukrajna
sötétbarna vegyes tőzeg	Voloscsa, Lvov megye, Ukrajna
rostos síkláptőzeg	Király-tó, Magyarország
rostos síkláptőzeg	Hanság, Magyarország
síkláptőzeg	Pötréte, Magyarország
síkláptőzeg	Szélmező, Magyarország
síkláptőzeg	Hahót, Magyarország
Kókuszrost	
kókuszrost	gazdaboltban lett beszerezve
Komposztok, nyersanyagok	
Megnevezés	Megjegyzés
istállótrágya	spontán érlelődött
komposztált marhatrágya	szabályozott körülmények között érlelt
nyers szőlőtörköly	a must kipréselése után visszamaradt anyag
komposztált szőlőtörköly	Biovin néven forgalmazott készítmény
komposztált szőlőtörköly+baromfitrágya	Cofuna néven forgalmazott készítmény
Talajtakarók	
A szerves anyag jellege	A mintavételezés helye
bomlatlan avar	őshonos bükkös erdő
bomlatlan avar	őshonos fenyőerdő
bomlatlan avar	tölgyes parkerdő
bomlatlan avar	gyümölcsös
zúzott szalma	szántóföld

Kókuszrost. Sötét színű, magas lignin és cellulóz tartalmú, nehezen bomló anyag. Stabil, rostos szerkezete hasonlóná teszi a fellépő tözgekhez. A vizsgált kókuszrost gazdaboltban, préselt ki-szerelésben lett beszerezve. A vonatkozó szakirodalom szerint a kókuszrost kémhatása többnyire közel semleges, de pH értéke tág határok között (pH 5,5 – 7,5) változhat (BORONKAY & FORRÓ, 2006). A vizsgált minta kémhatása a gyengén savanyú kategóriába tartozik.

Komposztok, nyersanyagok. A komposztált istállótrágya alapanyaga karámtrágya, komposztálása szabályozott és ellenőrzött körülmények között ment végbe.

Az istállótrágya megnevezés alatt a karámból kihordott, felhalmozott, több hónapon keresztül spontán érlelődött trágyát kell értenünk.

A nyers szőlőtörköly a must kipréselése után visszamaradt, semmilyen további kezelést nem kapott szerves anyag. Kémhatása savanyú.

A szőlőtörköly komposztálásával állítják elő a Biovin elnevezésű talajjavító anyagot (NOVÁK). A termék sötét színű, szerkezete stabil, a vizet jól megtartja. Kémhatása közel semleges, magas a nitrogén és kálium tartalma.

Szőlőtörköly a fő összetevője a Cofuna nevű készítménynek is, amely magas biológiai hatékonyságú szerves trágya (SÁRY, 2009). Irányított fermentációval állítják elő, összetételében 70 – 75% szőlőtörköly, 15 – 20% baromfitrágya és 5% oltóanyag van. A készítményt a Pasteur Intézet fejlesztette ki. Színe sötétbarna, maximum 0,5 cm méretű szemcséket tartalmazó anyag, konzisztenciája nedves földhöz hasonló. Kémhatása semleges.

Talajtakarók. A vizsgálatokhoz őshonos fajokkal elegyes erdők, valamint gyümölcsös bomlatlan avar szintjét különítettem el és gyűjtöttem be a lombhullást követő időszakban. Elhalt növényi maradványok az átalakulás kezdeti stádiumában, a növényi részek jól felismerhetők. Összetételük túlnyomó részét a fák lehullott levelei teszik ki, amelyet kiegészít az elhalt aljnövényzet és a kisebb, letöredezett ágak. A felszínt változó, de általában mindössze néhány centiméter vastagságban borítják.

A különböző mulcs anyagok közül a szalmát vizsgáltam, mint olyat, amely nem csak kertészetben, házi kertekben használatos, de szántóföldön is sokszor nagy tömegben visszamarad. A vizsgálathoz a szalmaszecs-kázó berendezéssel felszerelt gabonakombájn által összezúzott, 4 – 5 cm hosszú szalmát gyűjtöttem be.

3.1.2 Az ásványi anyagok jellemzése

A kutatásban felhasznált ásványi anyagok megnevezését és vizsgált mérettartományát a 4. táblázat foglalja össze.

Az ásványi anyagok egy részét Kárpátalja területén gyűjtöttem be. Változatos és sajátos geológiai felépítésének köszönhetően a vidék igen gazdag különféle ásványokban és kőzetekben. A

kitermelés alatt álló nyersanyagok közül többet a mezőgazdaságban is alkalmaznak, illetve ilyen irányú hasznosításukra kutatások folynak.

4. táblázat. Az ásványi anyagok megnevezése és szemcsemérete

Az ásványi anyagok megnevezése	A vizsgált mérettartomány
folyami homok	a 2 mm-nél kisebb frakciót vizsgáltam
kőzetgyapot	a vizsgálat kivitelezhetőségének megfelelően felaprítottam
égetett agyagkavics	3 – 8 mm, nem aprítottam
perlit	a 2 mm-nél kisebb frakciót vizsgáltam
duzzasztott perlit	1,25 – 5 mm, nem aprítottam
kaolin	2 mm-nél kisebb méretűre aprítottam
bentonit	2 mm-nél kisebb méretűre aprítottam
nátrium bentonit	további aprításra nem volt szükség
humuszos bentonit	2 mm-nél kisebb méretűre aprítottam
vermikulit	0,2 – 20 mm, nem aprítottam
zeolit	2 – 3 mm frakció
zeolit (klinoptilolit)	0,1 – 0,25 mm frakció
alunit	2 mm-nél kisebb méretűre aprítottam

A homok a Tisza-folyó medréből való. Elsősorban az építőipar hasznosítja, kertészeti felhasználása jóval kisebb volumenű. Begyűjtés után a folyami homokot kiszárítottam és 2 mm lyukbőségű szitán átrostáltam. A vizsgálatokat a szitán átment, azaz a 2 mm-nél kisebb méretű frakción végeztem el.

A kőzetgyapotot természetes anyagok – bazalt, mészkő és koksztól – olvadékából állítják elő, így a közeg inert és steril (NELSON, 1998). VERWER (1976) vizsgálatai alapján oxidokban kifejezett összetétele a következő: 47% SiO₂, 14% Al₂O₃, 16% CaO, 10% MgO, 8% Fe₂O₃, továbbá külön-külön 1% Na₂O, K₂O, MnO és TiO₂. Több cég is gyárt kőzetgyapot termékeket, melyek minőségükben hasonlóak, szerkezeti kialakításukban, méretükben és alakjukban a természet igényeihez igazodnak. Kutatásomhoz a Grodan cég Master típusú termesztő tábláit használtam fel.

Az égetett agyagkavics 3 – 8 mm átmérőjű szemcsékből álló termék. Színe sötétbarna. Porózus belső szerkezettel rendelkezik, emiatt könnyű, ugyanakkor a mechanikai ellenálló képessége nagy. A vizsgált égetett agyagkavics kémhatása gyengén lúgos.

A perlitet a „Fogas” bányában gyűjtöttem be, amely Beregszásztól mintegy 7 km-re dél-keletre, Nagymuzsaly határában kerül elő. A kőzet összetételében 72,1% SiO_2 , 12,9% Al_2O_3 , 0,9% CaO , 1,5% $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$, 4,6% $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ található. A kertészeti termesztésben használt duzzasztott perlit (kereskedelmi nevén – Agroperlit) teljesen steril, szemcsenagysága 1,25 – 5 mm között változik, halmazsűrűsége 90 – 120 kg m^{-3} . Kémhatását tekintve semleges. A növényi tápanyagfelvételt nem befolyásolja (TOV „PERLITE GROUP” TERMÉKISMERTETŐ).

A kaolint Beregszásztól mintegy 4 km-re dél-keletre, a Muzsalyi-hegyen bányásszák. Nagyobb, kissé tömör, de könnyen porló tömbökben termelik ki. Fehér színű kőzet, fő összetevője a $(\text{Mg}_{0,08}\text{Al}_{3,83})[\text{Si}_{4,06}\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ kristálykémiaili képlettel jellemezhető kaolinit. Összetételében 46,5% SiO_2 , 37,7% Al_2O_3 , továbbá mintegy 0,09% TiO , 0,22% Fe_2O_3 , 0,02% MnO , 0,67% MgO , 0,04% K_2O , 0,08% Na_2O található (LAZARENKO, 1963).

A bentonit lelőhelye Rákospatak (Gorbki) község mellett van a Nagyszőlősi járásban, Királyházától mintegy 4 km-re keletre. Fő összetevőjén, a montmorilloniton kívül kisebb mennyiségben hallosit, kaolinit, illit, kvarc, földpátok is találhatók benne (GRABOVENSKIJ & KALACHNJUK, 1984). Elemi összetételét tekintve 53% Si_2O , 20% Al_2O_3 és 8% Fe_2O_3 tartalmaz. A rákospataki bentonitból a CaO és egyéb bázisok kimosódtak, mennyiségük nem számottevő, kémhatása így gyengén savanyú. A lignites bentonit szintén Rákospatak közeléből való. Nagyobb mennyiségű szerves anyagot tartalmaz. Kémhatása gyengén savanyú.

A nátriumos bentonit nátrium-karbonáttal aktivált, világos homok-szürke színű készítmény. Alapanyaga mádi bentonit. Kémhatása lúgos. Borászati szakboltban lett beszerezve.

A vermikulit biotit és flogopit mállásával létrejött ásványi anyag. Összetétele leginkább a $(\text{Mg}^{2+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})_3[(\text{AlSi})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ képlettel jellemezhető, a Fe, Mg és Al változó mennyisége mellett. Szerkezete lemezes, melyek egymástól könnyen elválhatnak. A több rétegű szemcsék ezüstszerűek, itt-ott sárgásbarna foltokkal tarkítva. A leválasztott lemezek teljesen átlátszóak. A vermikulit szemcsék mérete 0,2 és 8 mm között van, de előfordulnak 20 mm-es lemezek is. Kémhatása lúgos.

A zeolit a Szeklence (Szokirnicja) község melletti lelőhelyről származik, a bánya Huszt városától 9 km-re dél-keleti irányban található. A kőzet 70%-ban klinoptilolit. Kationcsere-kapacitása 150 cmol kg^{-1} . Összetételében 71,5% SiO_2 , 12,8% Al_2O_3 található, ezen kívül nagyobb mennyiségben tartalmaz CaO (3,44%) és K_2O (2,64%). A magas szilícium-oxid tartalom miatt következik, hogy a Si^{4+} -ionok csak csekély mértékben helyettesítődtek Al^{3+} -ionokkal. (GRABOVENSKIJ & KALACHNJUK, 1984).

A kitermelést követően a zeolitot megőrlik és méret szerint osztályozzák, ezáltal különböző frakciókat kapnak. Kutatómunkám a 0,1 – 0,25 mm és 2 – 3 mm mérettartományok sav-bázis pufferképességének vizsgálatára terjedt ki. A bányaőrölt és osztályozott zeolitot vizsgálat előtt a

megfelelő lyukbőségű szitákon még átengedtem, megtisztítva így az esetleg nem megfelelő méretű szemcséktől.

Az alunit lelőhelye Nagybégány község mellett, Beregszásztól mintegy 7 km-re északnyugatra található. Rétegszerű szerkezettel rendelkező ásvány, kémiai képlete: $\text{KAl}_3[(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2]$. A vizsgált közet alunit tartalma 36% (LEJE et al., 1971). Az aluniton kívül 52%-ban kvarc, 4,6%-ban különböző agyagásványok, 2,5%-ban opál és kalcedon, valamint nagyon kis mennyiségben egyéb ásványok is megtalálhatók a közetben

3.2 A sav-bázis pufferképesség meghatározása és értékelése

3.2.1 A sav-bázis titrálási görbék felvételénél alkalmazott eljárás

A titrálási görbék felvételéhez sósavból és nátrium-hidroxidból oldatsorozatot készítettem. A kezeléshez használt sav és lúg oldatok koncentrációit a vizsgált anyag egységnyi tömegére kijuttatni kívánt proton, illetve hidroxid-ion terhelés alapján állapítottam meg (5. táblázat).

A vizsgált ásványi minták 20 g, a szerves anyagok 10 g tömegéhez növekvő koncentrációjú HCl illetve NaOH oldatokat adagolva szuszpenzió sorozatot készítettem. A minta kezdeti pH értékének meghatározásához a sorozaton belül bemérésre került egy desztillált vizes szuszpenzió is. Az ásványi anyagok vizsgálatánál 1:2,5 minta:oldat arány mellett, $12,5 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ volt a maximális proton, illetve hidroxid-ion terhelés. A szerves anyagok, valamint a nagy vízfelvevő és víztartó képességgel rendelkező ásványi anyagok titrálási görbéinek felvétele 1:10 minta:oldat arány mellett történt. A szerves anyagoknál maximálisan $25 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ proton, illetve hidroxid-ion terhelést alkalmaztam. Az ásványi anyagoknál 1:10 minta:oldat arány mellett is $12,5 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ volt a maximális proton, illetve hidroxid-ion terhelés. Egy órai körkörös rázógépen való rázatás után a minta sorozatot 24 órán keresztül állni hagytam. A mérés megkezdése előtt felrázott és leülepedő szuszpenzió felülúszójában meghatároztam a sorozat tagjainak egyensúlyi pH értékét (ISO 10390:1994).

Lényeges körülmény, hogy a minták általában olyan formában és szemcseméretben kerültek bevizsgálásra, mint ahogyan a természetben is felhasználásra kerülnek.

A levegő széndioxidja a lúgfogyasztást növeli, ami a pufferkapacitás értékének látszólagos megnövekedését eredményezi (TOLNER et al., 2006). Ez elsősorban a gyenge pufferképességű mintáknál jelent problémát, ahol a kezeléshez használt lúg nagyobb koncentrációban marad vissza az egyensúlyi oldatban. A titrálási görbék felvétele ezért a levegő kizárásával valósult meg.

A titrálási görbék felvétele minden vizsgált anyagra legalább három ismételtsben történt.

A mérések kivitelezéséhez WTW InoLab pH/Ion Level 2 mérőkészüléket és SenTix 61, a teljes pH tartomány mérésére alkalmas kombinált üvegelektrodát használtam.

5. táblázat. A titrálási görbék felvétele során alkalmazott sav és lúg koncentrációk

Szerves anyagok				Ásványi anyagok			
A szerves anyagok kezelésére használt sav (HCl), illetve lúg (NaOH) oldatok koncentrációja	A szerves anyagok kezelésére használt sav és lúg oldatok számított pH értéke		Egységnyi tömegű szerves anyagra jutatott proton $[H^+]$, illetve hidroxid-ion $[OH^-]$ terhelés	Az ásványi anyagok kezelésére használt sav (HCl), illetve lúg (NaOH) oldatok koncentrációja	Az ásványi anyagok kezelésére használt sav és lúg oldatok számított pH értéke		Egységnyi tömegű ásványi anyagra jutatott proton $[H^+]$, illetve hidroxid-ion $[OH^-]$ terhelés
mmol·dm ⁻³	pH(HCl)	pH(NaOH)	cmol·kg ⁻¹	mmol·dm ⁻³	pH(HCl)	pH(NaOH)	cmol·kg ⁻¹
0,0	7,00	7,00	0,0	0,0	7,00	7,00	0,00
0,5	3,30	10,70	0,5	5,0	2,30	11,70	1,25
1,0	3,00	11,00	1,0	10,0	2,00	12,00	2,50
1,5	2,82	11,18	1,5	15,0	1,82	12,18	3,75
2,0	2,70	11,30	2,0	20,0	1,70	12,30	5,00
2,5	2,60	11,40	2,5	25,0	1,60	12,40	6,25
5,0	2,30	11,70	5,0	30,0	1,52	12,48	7,50
7,5	2,12	11,88	7,5	35,0	1,46	12,54	8,75
10,0	2,00	12,00	10,0	40,0	1,40	12,60	10,00
12,5	1,90	12,10	12,5	45,0	1,35	12,65	11,25
15,0	1,82	12,18	15,0	50,0	1,30	12,70	12,50
20,0	1,70	12,30	20,0				
25,0	1,60	12,40	25,0				

3.2.2 A sav-bázis pufferképesség értékelése

A mérések során meghatározott $[H^+] - pH$ és $[OH^-] - pH$ összefüggéseket diagramon ábrázolva a vizsgált anyag titrálási görbét kapjuk (5. ábra). Az abszcisszán a zéró pont a desztillált víznek felel meg, ettől balra a vizsgált anyag egységnyi tömegére jutatott sav, jobbra a lúg mennyiségeit tüntettem fel. Az ordinátán az egyensúlyi pH értékeket ábrázoltam.

A szerves és ásványi anyagok sav-bázis puffer tulajdonságainak kvantitatív értékelésére a fentebb titrálási görbék alapján meghatározott mérőszámokat használtam (6. táblázat).

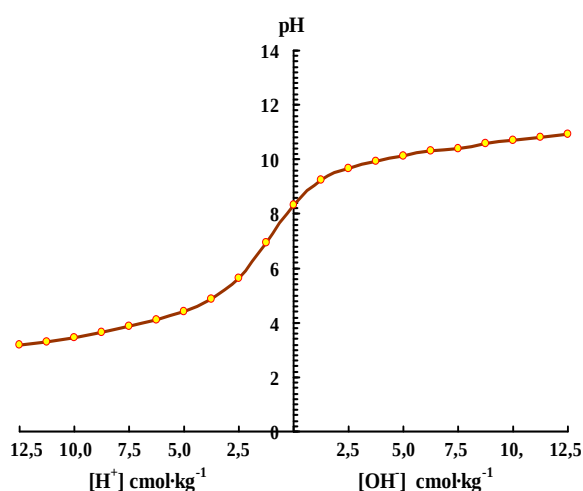
6. táblázat. A sav-bázis pufferképesség értékelésére használt mérőszámok

Megnevezés	Jelölés	Mértékegység
sav pufferkapacitás	aBC	viszonyított értékszám
lúg pufferkapacitás	bBC	viszonyított értékszám
sav-bázis egyensúlyi index	K_{ab}	viszonyított értékszám
sav érzékenységi index	aSen	pH cmol ⁻¹ kg
lúg érzékenységi index	bSen	pH cmol ⁻¹ kg
1 cmol kg ⁻¹ sav okozta pH változás a kezdeti (pH ₀) értékhez képest	${}^aSen_0^1$	pH cmol ⁻¹ kg
1 cmol kg ⁻¹ lúg okozta pH változás a kezdeti (pH ₀) értékhez képest	${}^bSen_0^1$	pH cmol ⁻¹ kg
a kísérlet során alkalmazott maximális 25 cmol kg ⁻¹ savterhelés okozta pH változás a kezdeti értékhez képest	${}^aSen_0^{25}$	pH cmol ⁻¹ kg
a kísérlet során alkalmazott maximális 25 cmol kg ⁻¹ lúgterhelés okozta pH változás a kezdeti értékhez képest	${}^bSen_0^{25}$	pH cmol ⁻¹ kg
sav puffer index	${}^a\beta$	cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹
lúg puffer index	${}^b\beta$	cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹
egységnyi pH változást előidéző sav mennyiség a kezdeti (pH ₀) értékhez képest	${}^a\beta_0^1$	cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹
egységnyi pH változást előidéző lúg mennyiség a kezdeti (pH ₀) értékhez képest	${}^b\beta_0^1$	cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹
pH 3,5 eléréséhez szükséges sav mennyisége	${}^a\beta_0^{3,5}$	cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹
pH 10 eléréséhez szükséges lúg mennyisége	${}^b\beta_0^{10}$	cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹

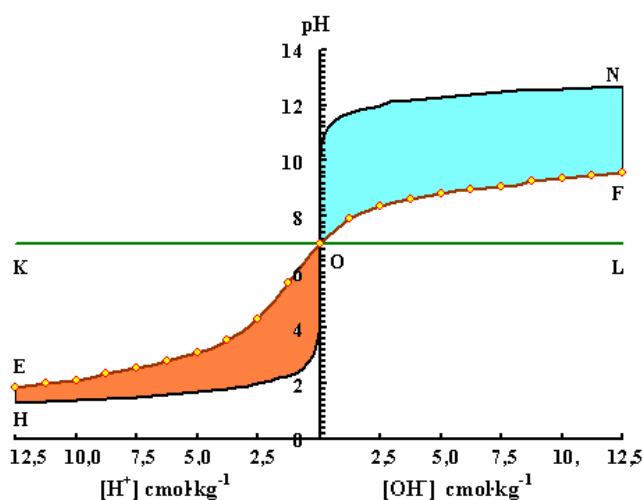
3.2.2.1 Sav pufferkapacitás és lúg pufferkapacitás

A pufferkapacitás értékét a titrálási görbe által határolt terület alapján határoztam meg. A számítások elvégzéséhez – a NADTOCHUJ (1993) által javasolt módszer szerint – a diagramon a vizsgált minta titrálási görbéjén kívül további kettőt szerkesztettem, amelyek a viszonyítási alapot képezték. A 6. ábrán a *HON* betűkkel jelölt görbe a zero pufferkapacitás értékkel rendelkező anyag titrálási görbéjének felel meg. Ilyen tulajdonsággal a tiszta kvarc homok rendelkezik. Megjegyzendő, hogy a kvarc homok titrálási görbéjét megegyezőnek vettem a mintához adagolt erős sav és erős lúg titrálási görbéivel.

A pH 7 ponton keresztül menő és az abszcisszával párhuzamos egyenes egy olyan hipotetikus „abszolút puffer anyag” titrálási görbéje – pontosabban egyenese (a 6. ábrán *KOL* betűkkel jelölve) – amelyik az összes hozzáadott savat, illetve lúgot képes semlegesíteni. Az „abszolút puffer anyag” egyenese és a kvarc homok titrálási görbéje által határolt terület nagysága az „abszolút puffer anyag” pufferkapacitásának felel meg, melynek értéke a savas és lúgos tartományban egyaránt maximális.



5. ábra. A zeolit eredeti titrálási görbéje a tényleges pH értékekkel



6. ábra. A pufferkapacitás számításhoz átalakított diagram a zeolit titrálási görbéjével: *HON* – a kvarc homok titrálási görbéje; *KOL* – az „abszolút puffer” egyenese; *EOF* – a zeolit titrálási görbéje

A terület alapján való számítás sajátossága, hogy az egyforma mennyiségű sav vagy lúg hatására ugyanolyan pH változással reagáló, de eltérő kezdeti pH értékű minták titrálási görbéi által határolt terület nagysága különböző lesz. Ebből helytelenül az következne, hogy az azonos lefutású titrálási görbével rendelkező mintáknak eltérő a pufferkapacitása. A vázolt ellentmondást már KAPPEN (1929) is felismerte és feloldásához a titrálási diagram módosítását javasolta. A vizsgált minta titrálási görbéjét az ordináta tengellyel párhuzamosan eltoljuk, amíg kezdeti pH-ja el nem éri

a pH=7 értéket, azaz egybe nem esik az „abszolút puffer” titrálási görbéjének kezdő pontjával. Ily módon az egyes minták különböző kezdeti pH értékéből eredő eltérések kiküszöbölhetők és a pufferkapacitási értékek összehasonlíthatókká válnak.

A KAPPEN (1929) és NADTOCHIJ (1993) által bevezetett átalakításoknak köszönhetően, a diagram savas és lúgos tartományában a vizsgált minta, a kvarc homok és az „abszolút puffer anyag” görbéi által határolt területek különíthetők el. A 6. ábrán a vörösesbarna színnel jelölt terület a sav pufferkapacitással, a világoskék színű a lúg pufferkapacitással arányos terület nagyságát mutatja. A szerves és ásványi anyagok pufferkapacitása a titrálási görbéjük és a kvarc homok titrálási görbéje által határolt terület, valamint az „abszolút puffer” egyenese és a kvarc homok titrálási görbéje által határolt terület arányaként definiálható. A számítások eredményeképpen értelemszerűen egytől kisebb tört számot kapunk, amit a pufferkapacitás számszerű értékének könnyebb értelmezhetősége végett 100-al beszorzunk.

A pufferkapacitás értékét külön számítottam a savas és külön a lúgos tartományra. Jelölésükre bevezettem a aBC – a savas terhelésekkel szembeni pufferkapacitás (Acid Buffer Capacity) és a bBC – a lúgos terhelésekkel szembeni pufferkapacitás (Basic Buffer Capacity) kifejezéseket.

A sav pufferkapacitás a következő képlet alapján számítható:

$$^aBC = \frac{S_{EOH}}{S_{KOH}} \cdot 100 \quad (20)$$

A lúg pufferkapacitás számszerű értéke az alábbi kifejezés alapján határozható meg:

$$^bBC = \frac{S_{FON}}{S_{LON}} \cdot 100 \quad (21)$$

ahol: S_{KOH} – a kvarc homok titrálási görbéje és az „abszolút puffer” egyenese által határolt terület a savas tartományban, cm^2 ;

S_{LON} – a kvarc homok titrálási görbéje és az „abszolút puffer” egyenese által határolt terület a lúgos tartományban, cm^2 ;

S_{EOH} – a kvarc homok és a vizsgált minta titrálási görbéi által határolt terület a savas tartományban, cm^2 ;

S_{FON} – a kvarc homok és a vizsgált minta titrálási görbéi által határolt terület a lúgos tartományban, cm^2 ;

A területek nagysága a titrálási görbéket leíró függvények integrálásával elvben meghatározhatók. Azonban a titrálási görbék általában összetettek és emiatt a $pH = f[H^+]$ és $pH = f[OH^-]$ függvényekből az integrál számításhoz szükséges primitív függvények előállítása meglehetősen

bonyolult. Ezért a titrálási görbék integráljai számértékének meghatározásához közelítő módszert alkalmaztam.

Az eltérő dimenziójú adatokat a terület alapú számítások elvégzéséhez először hossz mértékbe kellett átalakítani. A pH érték és a koncentrációk transzformálását a következő összefüggések alapján végeztem el: $1 \text{ pH} = 1 \text{ cm}$, $1 \text{ cmol kg}^{-1} [\text{H}^+] = 1 \text{ cm}$, $1 \text{ cmol kg}^{-1} [\text{OH}^-] = 1 \text{ cm}$.

A titrálási görbék által határolt területek számításához a Simpson-formulát használtam (PISKUNOV, 1976):

$$\int_0^{C_n} f(C) dC \approx \frac{C_n}{3n} [pH_0 + pH_n + 4 \cdot (pH_1 + pH_3 + \dots + pH_{n-1}) + 2 \cdot (pH_2 + pH_4 + \dots + pH_{n-2})] \quad (22)$$

ahol: C – a vizsgált minta egységnyi tömegére jutatott savas vagy lúgos terhelés, cmol kg^{-1} ;

C_n – a vizsgált minta egységnyi tömegére jutatott maximális savas vagy lúgos terhelés cmol kg^{-1} ;

pH_0 – a desztillált vizes szuszpenzió egyensúlyi pH értéke (a vizsgált minta kezdeti pH értéke);

pH_n – a maximális savas vagy lúgos terhelés következtében beállt egyensúlyi pH érték;

$pH_1, pH_2, \dots, pH_{n-1}$ – a vizsgált mintából készített sorozat tagjainak egyensúlyi pH értéke;

n – a mintasorozat tagjainak száma.

A területszámításokhoz használt képleteket a 4. sz. melléklet foglalja össze.

A pufferkapacitás – ^aBC és ^bBC – definíciójából következik, hogy mértékegység nélküli, viszonyított szám. Értéke elvben 0 és 100 között változhat. Nulla pufferkapacitással a kvarc homok vagy a minták kezelésére használt HCl és NaOH oldatok rendelkeznek, a 100-as érték az „abszolút pufferhez” rendelhető. A szerves és ásványi anyagok pufferkapacitása várhatóan a kvarc homok és az „abszolút puffer” értékei között kell, hogy legyenek.

A titrálási görbék felvételénél alkalmazott maximális sav, illetve lúg koncentrációkat a pufferkapacitás jelölésére használt kifejezésekben alsó indexként tüntetem fel. A $^a\text{BC}_{12,5}$, $^b\text{BC}_{12,5}$ kifejezésekben a 12,5 értékek a kísérlet során az egy kg-nyi vizsgált közegre kijutatott maximális sav, illetve lúgterhelést jelentik cmol egységekben kifejezve.

3.2.2.2 Sav érzékenységi index és lúg érzékenységi index

Az érzékenységi index a sav-bázis titrálási görbe alapján határozható meg. Számszerű értéke azzal a pH változással egyenlő, amelyet egy cmol sav vagy bázis idéz elő egy kilogramm anyagra

vonatkoztatva. Mértékegysége: pH cmol⁻¹ kg. Jelölésük: ^aSen – sav érzékenységi index, ^bSen – lúg érzékenységi index.

Az érzékenységi index részesete az 1 cmol kg⁻¹ sav, illetve bázis okozta pH változás a vizsgált anyag kezdeti (pH₀) értékéhez képest. Jelölésükre bevezettem a ^aSen₀¹, illetve a ^bSen₀¹ kifejezéseket, ahol az alsó indexként megjelenő 0 a titrálás zéruspontjára, a felső index, pedig a változást előidéző terhelés nagyságára utal. A Sen értéke 1 cmol kg⁻¹ terhelésen belül is változhat, míg a Sen₀¹ ezeket a változásokat figyelmen kívül hagyja. A kétféle érzékenységi mutató értéke abban az esetben esik egybe, amikor a savas, illetve lúgos hatások okozta pH változások közötti összefüggések – legalább 1 cmol kg⁻¹ terhelésen belül – lineárisak. A Sen₀¹ az ásványi anyagok pufferképességének értékelésére használtam.

3.2.2.3 Sav puffer index és lúg puffer index

A puffer index az érzékenységi index reciprok értéke, így az ^aSen és ^bSen alapján meghatározható. A sav puffer index jelölése: ^aβ, a lúg puffer index jelölése: ^bβ. A puffer index számszerű értéke azzal a sav, illetve lúg mennyiséggel egyenlő, amely egységnyi tömegű anyag pH-ját egy egységgel képes csökkenteni, illetve növelni. Mértékegysége: cmol pH⁻¹ kg⁻¹.

Az érzékenységi mutatóhoz hasonlóan a puffer indexre vonatkozóan is alkalmaztam, mint mérőszámokat az egységnyi pH változáshoz szükséges sav, illetve lúg mennyiségeket a kiindulási értékhez viszonyítva. Jelölésükre a ^aβ₀¹ és ^bβ₀¹ kifejezéseket alkalmaztam. Számszerű értékük meghatározása a titrálási görbék alapján lehetséges. Az ^aβ₀¹ és ^bβ₀¹ csak abban az esetben reciprokjai a ^aSen₀¹ és ^bSen₀¹ paramétereknek, ha a titrálási görbe az adott szakaszon lineáris lefutású.

3.2.2.4 A sav és bázis mennyisége, amely megadott pH érték eléréséhez szükséges

Talajok sav, illetve bázis pufferkapacitásának értékelésére használják azt a sav, illetve lúg mennyiséget, amely egy meghatározott pH érték eléréséhez szükséges. A pH 3,5 érték eléréséhez szükséges sav mennyiségét a ^aβ₀^{3,5} kifejezéssel, míg a pH 10 érték eléréséhez szükséges lúg mennyiségét a ^bβ₀¹⁰ kifejezéssel jelöltem. Mértékegysége: cmol pH⁻¹ kg⁻¹. Számszerű értékük a titrálási görbék alapján egyszerűen meghatározhatók.

A közel hasonló lefutású titrálási görbével rendelkező anyagok esetében a pH 3,5-ig, illetve pH 10-ig szükséges sav, illetve lúg mennyiségét a kiindulási pH érték határozza meg. Ilyenkor a pufferképesség jellemzésére informatívabb mutató a kísérletben alkalmazott maximális sav, illetve

lúgterhelés okozta pH változás. Jelölésükre a ${}^aSen_0^{25}$ és a ${}^bSen_0^{25}$ kifejezéseket használom, ahol az alsó index a titrálás zéruspontjára, a felső index pedig a terhelés nagyságára utal. Mértékegysége: pH cmol⁻¹ kg.

3.2.2.5 Sav-bázis egyensúlyi index

Egy rendszer stabilitásának szempontjából döntő jelentőségű, hogy mennyire képes megőrizni állapotát az ellenkező előjelű hatásokkal szemben. Talajok sav-bázis egyensúlyi stabilitásának kvantitatív jellemzésére használják a sav-bázis egyensúlyi indexet (TRUSKAVECKIJ et al., 2006). Jelölése K_{ab} , számszerű értéke pedig a következő képlet alapján határozható meg:

$$K_{ab} = \frac{{}^bBC - {}^aBC}{{}^bBC + {}^aBC} \quad (23)$$

A sav-bázis egyensúlyi index mértékegység nélküli, viszonyított értékszám. Abban az esetben, amikor $K_{ab} \approx 0$ a vizsgált anyag közel egyformán tudja tompítani a savas és a lúgos terheléseket. Ha $K_{ab} \approx 1$, akkor a rendszer nagyon jól tudja semlegesíteni a savas hatásokat, de instabil a lúgos terhelésekkel szemben. A $K_{ab} \approx -1$ esetén a lúgos hatásokkal szembeni nagy pufferkapacitás mellett a rendszer védtelen a savas terhelések ellen.

3.3 Az ásványi és szerves anyagok fizikai-kémiai tulajdonságainak vizsgálatánál alkalmazott módszerek

A dolgozatban az ásványi és a szerves anyagok vizsgálatához a talajoknál alkalmazott módszereket, a tulajdonságok leírására a talajtanban elfogadott terminológiát használtam. Az eredmények értelmezésénél és értékelésénél ugyanakkor figyelembe kell venni, hogy olyan anyagokra vonatkozóan, mint a tőzeg, bomlatlan avar vagy komposzt, melyeknek összetételét nagyobb arányban az el nem bomlott és/vagy részben lebomlott szerves anyagok teszik ki, a talajra vonatkozóan elfogadott és általánosan használt vizsgálati módszerek és szakkifejezések több esetben is csak feltételesen alkalmazhatók.

A nedvesség tartalmat 105°C-on való szárítás, az izzítási veszteséget maximálisan 650 °C hőmérsékleten történő égetés után határoztam meg gravimetriás módszerrel (MSZ-08 0012/3- 79).

A kémhatás meghatározásához ásványi mintákból 1:2,5, szerves anyagokból 1:10 arányban desztillált vízzel, illetve 1 mol·dm⁻³ koncentrációjú KCl oldattal, öt perc rázatással kivonatot készítettem. A mintákat nem tovább, mint 24 órán keresztül állni hagytam. A mérés előtt a kivonatot felráztam és a leülepedő szuszpenzió felülúszójában meghatároztam a minta egyensúlyi pH értékét.

A hidrolitikus aciditás 1 mol·dm⁻³ CH₃COONa oldatból (pH=8,2), 1:2,5 minta:oldat arány mellett, egy órás rázatás, majd szűrést követően potenciometriás titrálással lett meghatározva (ARINUSKINA, 1970). A KAPPEN (1929) által javasolt 1,75-ös szorzófaktor – mivel az ásványi talajokra vonatkozik – a számításoknál nem vettem figyelembe, így a hidrolitikus aciditásként megjelenő eredmény az egyszeri kezelés lúgfogyasztását jelenti.

A kicserélhető savanyúság meghatározása 1 mol·dm⁻³ koncentrációjú KCl oldatból, 1:2,5 minta:oldószer arány mellett történt. Három perc rázatás után a kivonatot 24 órán keresztül állni hagytam, ezt követően a folyadék fázist szűréssel elválasztottam. A szűrlet alikvot részében potenciometriás titrálással meghatároztam az összes kicserélhető savanyúságot. A kivonat egy másik alikvot részében fotokolorimetriás módszerrel megmértem az Al³⁺-ionok koncentrációját. A mérés kivitelezéséhez Spekol-11 spektrofotokolorimétert használtam.

A szerves anyagok karbonát tartalmának mérésénél a következőképpen jártam el. A bevizsgálandó mintához roncsolás céljából kristályos nátrium-fluoridot adtam. Ezt követően potenciometriás titrálással meghatároztam a karbonátokból keletkezett Na₂CO₃ mennyiségét. A mérési eredményt átszámoltam kalcium-karbonátra (BALJUK, 2005).

Az elektromos vezetőképesség mérésénél a módszerkönyvek 1:2 és 1:5 minta:víz arányt írnak elő. Vizsgálataim során több, nagy szerves anyag tartalmú mintánál a javasolt arányok szűknek bizonyultak, ezért a méréseket 1:10 minta:víz arány mellett is elvégeztem. A vizsgált anyag bemért tömegét a desztillált víz megfelelő mennyiségével elegyítve 30 percig rázattam, majd szűrés után konduktometriásan meghatároztam az elektromos vezetőképességet (ISO 11265:1994). Az elektromos vezetőképesség méréséhez WTW inoLab Cond 730P konduktométert használtam.

3.4 Matematikai értékelés, statisztikai vizsgálatok

A vizsgálati adatok elsődleges feldolgozása, a titrálási görbék által határolt területek meghatározása, az eredmények grafikus ábrázolása során a Microsoft Excel 2003 programot használtam.

A mérési eredményeket statisztikai vizsgálatoknak vetettem alá. A pufferkapacitás értékelésekor – indokolt esetben – a titrálási görbék közötti tényleges eltérés meglétének igazolására a kétmintás párosított t-próbát alkalmaztam.

A savas, illetve a lúgos terhelések nagysága és a pH változások közötti összefüggések feltárása céljából lineáris regresszió analízist végeztem. A legkisebb négyzetek módszerével megbecsültem a regressziós egyenlet paramétereit és azok hibáit. Ezután elvégeztem az illeszkedés vizsgálatot, meghatároztam az illesztés standard hibáját. Az együtthatók értékének megbízhatóságát t-próbával teszteltem. A lineáris regressziós modell tesztelésére variancia analízist végeztem (F-próba). A regresszió feltételeinek ellenőrzése céljából elvégeztem a maradéktagok vizsgálatát.

A regresszió egyenes számított értékére meghatároztam a hibasávokat. Kiszámítottam a pH átlagára vonatkozó konfidencia intervallumot:

$$p\hat{H} \pm t_{5\%} \cdot s_y \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{(\sum x_i^2) - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}} \quad (24)$$

Meghatároztam a pH egyedi értékeire vonatkozó predikciós határokat:

$$p\hat{H} \pm t_{5\%} \cdot s_y \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{(\sum x_i^2) - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}} \quad (25)$$

ahol: $x = [H^+]$ vagy $[OH^-]$, cmol kg⁻¹.

A statisztikai vizsgálatok során az Excel Analysis ToolPak VBA programját használtam.

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

A szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének vizsgálata során az egyensúlyi potenciometriás titrálás módszerét alkalmaztam. Első lépésben az ásványi talajok sav-bázis pufferképességének vizsgálatára kidolgozott módszert alkalmassá kellett tenni a nagy víztartalmú minták (tőzeg, komposzt, egyéb) titrálási görbéinek felvételére.

Az elvégzett vizsgálatokat követően a titrálási görbéket kiértékeltem, összehasonlítást végeztem a különböző anyagok vonatkozásában. A szerves anyagok alapján rámutattam az eredmények gyakorlati felhasználásának lehetőségeire. A vizsgálatok kivitelezése és az eredmények értékelése során meghatározóak voltak a kertészeti termesztés szempontjai.

4.1 A szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének vizsgálatára adaptált módszer

A talajmintát laboratóriumi vizsgálat előtt – kivéve, ha a bemérendő paraméter bolygatatlan talajszerkezetet követel meg – előkészítési eljárásnak vetik alá (BUZÁS, 1993). A művelet(ek) célja a minta légnedves állapotig történő szárítása, a vizsgált tulajdonságok szempontjából közömbös illetve nem kívánatos, esetleg zavaró komponensek (pl. kő, kavics, el nem bomlott növényi maradványok) eltávolítása, továbbá a minta homogenizálása (ARINUSKINA, 1970). Az előkészítés során a mintából a víz nagy része eltávozik, a talajra jellemző szerkezeti elemek szétroncsolódnak, megszűnnek.

4.1.1 A kertészeti termesztésben alkalmazott szerves és ásványi anyagok határfelületi jelenségeivel kapcsolatos vizsgálatok sajátosságai

A kertészeti termesztésben számos közeg éppen kivételes és sajátos struktúrája (pl. tőzeg), vagy morfológiája, szemcsemérete (pl. perlit, kerámia kavics) miatt kerül felhasználásra. Az ásványi talajok esetében elfogadott minta-előkészítési eljárás (szárítás, aprítás, darálás) alkalmazása a termesztési közegekre valójában a jellegzetes és a termesztésben előnyösen hasznosított tulajdonságaiknak elvesztését eredményezné.

Az őrléssel csökkentjük a minta szemcseméretét és egyúttal megnöveljük a fajlagos felületét. Figyelembe kell venni továbbá, hogy az ásványi anyagok őrlése során azon kívül, hogy mechanikai aktiválás megy végbe, a kristály szerkezet is megváltozik (JUHÁSZ, 1969). Rácshibák keletkeznek, ami pedig hatással van az ásvány kémiai aktivitására. HORVÁTH et al. (2005) megállapították, hogy a kaolinit száraz őrlése után nemcsak a szemcsék mérete változott meg, hanem a felületen lévő aktív centrumok sav-bázis tulajdonságai is módosultak. Az őrlés során tehát a minta járulékos felületi aktiválása is végbe mehet, ami a határfelületi jelenségekkel kapcsolatos tulajdonságokat jellemző paraméterek értékeit megváltoztathatja. Feltételezhető, hogy – a diszpergálását követő megnagyob-

bodott és esetleg kémiai szempontból is megváltozott felület következtében – a vizsgálati eredményekben a közegnek nem a termesztésben való felhasználásakor érvényesülő értékei jelennek meg.

Az elmondottakból adódik az a következtetés, hogy a kertészeti termesztésben alkalmazott szerves és ásványi anyagok vizsgálatát előkészítő eljárás során kívánatos az aprítás, darálás mellőzése. Megállapításom szerint a laboratóriumi vizsgálatokat a termesztésben használt struktúrájú és szemcseméretű mintákon ajánlatos elvégezni.

Az őrlés elhagyása persze felveti a minta inhomogenitásának problémáját és az ebből fakadó mérési bizonytalanságokat. Az eredmények reprezentativitása a vizsgálathoz szükséges minta mennyiségének növelésével, továbbá a mérés gondosabb kivitelezésével érhető el.

4.1.2 A szerves anyagból készített vizes kivonat és a minta egészére meghatározott pufferkapacitás értékek egymáshoz viszonyított aránya

A szerves és ásványi anyagok, valamint a talajok nedvesség tartalma között lényeges különbségek vannak. A laboratóriumi vizsgálatokra előkészített légszáraz állapotú ásványi talajok mintegy 2 – 6% vizet tartalmaznak. A kertészeti termesztésben alkalmazott ásványi anyagok nedvesség tartalma ettől nagyobb ingadozást mutat. Az égetett agyaggranulátum gyakorlatilag vízmentes, a bentonitban légszáraz állapotban 6 – 12% vizet lehet kimutatni. Rendszerint ettől magasabb és egymáshoz viszonyítva is többszörösen eltérő értékekkel jellemezhető a szerves anyagok nedvesség tartalma. A száraz tapintású avarban is van még legalább 10% nedvesség, a tőzegekben, komposztokban lévő víz mennyisége sokkal több és nagyon tág határok (9 – 75%) között változhat.

A sav-bázis pufferképesség meghatározására irányuló vizsgálatok során a minták nagy és változó víztartalma két nehézséget is felvet. Egyfelől a szerves anyagot a meghatározás előtt nem minden esetben célszerű kiszárítani, főképp direkt módon nem. Egyes tőzegek esetében, például a kivonatok készítésekor, a visszanedvesítés hosszadalmas és bizonytalan.

A másik probléma, amely szintén összefügg a nagy nedvességtartalommal, a szilárd fázis és a folyékony fázis eltérő pufferkapacitásából adódik. Talajok sav-bázis egyensúlyát alapvetően a szilárd rész határozza meg. A talajoldat is rendelkezik bizonyos fokú pufferképességgel, amely főképpen a karbonátos vagy foszfátos puffer rendszereknek tulajdonítható. VOZBUCKAJA (1968) megállapítása szerint, azonban a talajoldat – amennyiben tartalmaz is sav és lúg semlegesítésére képes anyagokat – pufferkapacitása nem számottevő.

Szerves anyagok vizsgálati eredményei alapján azt találtam, hogy sav-bázis pufferképességük alakulásában – hasonlóan a talajokhoz – a szilárd résznek van meghatározó szerepe. Egy felláptőzegre és egy síkláptőzegre, valamint az ugyanezen tőzegekből készített vizes kivonatokra külön-külön felvett titrálási görbék alapján meghatároztam a pufferképességüket jellemző paramétereket (7. táblázat). A szilárd rész és a vizes kivonat pufferkapacitásának összehasonlító jellemzé-

sét a puffer indexek ($^a\beta$ és $^b\beta$), valamint a pH 3,5 és a pH 10,0 értékek eléréséhez szükséges sav ($^a\beta_0^{3,5}$), illetve lúg ($^b\beta_0^{10}$) mennyiségek alapján végeztem el. Mindkét mintára vonatkozóan megállapítható, hogy a tőzeg egészének pufferkapacitása a savas és a lúgos tartományban egyaránt nagyságrenddel nagyobb a vizes kivonatban mért értéknél. A felláptőzeg és a síkláptőzeg esetében is az egész minta sav puffer indexe több mint ötvenszer, lúg puffer indexe több mint negyvenszer nagyobb a vizes kivonatban mért értékhez viszonyítva. Kisebb az eltérés, amennyiben a kémhatás pH 3,5 értékig való csökkentéséhez szükséges savmennyiségeket vagy a pH 10 értékig történő növeléséhez szükséges lúgmennyiségeket arányítjuk egymáshoz, de ilyen viszonylatban is nagyságrenddel nagyobb a tőzeg egészének pufferkapacitása, mint a vizes kivonatoké.

7. táblázat. A tőzgek és a tőzegekből készített vizes kivonatok pufferkapacitásának összehasonlítása

A pufferkapacitást jellemző paraméterek, $cmol \cdot pH^{-1} \cdot kg^{-1}$	Ivano-Frankivszki sötétbarna felláptőzeg, pH(H ₂ O) = 3,73			Pötrétei síkláptőzeg pH(H ₂ O) = 5,39		
	vizes kivonat	teljes tőzeg	a teljes tőzegben mért érték aránya a vizes kivonatban mért értékhez	vizes kivonat	teljes tőzeg	a teljes tőzegben mért érték aránya a vizes kivonatban mért értékhez
$^a\beta$	0,3	15,7	52,3	0,4	16,9	42,3
$^b\beta$	0,3	17,9	59,7	0,2	8,9	44,5
$^a\beta_0^{3,5}$	0,4	3,6	9,0	2,0	34,4	17,2
$^b\beta_0^{10}$	2,6	118,4	45,5	1,8	40,3	22,4

A titrálási görbék lefutása is lényegesen eltérő képet mutat. A tőzeg egészére vonatkozóan a $[H^+] - pH$ és $[OH^-] - pH$ összefüggések egyenessel leírhatók, ami a nagy pufferkapacitású anyagok sajátossága. A sav és lúgterhelések nyomán bekövetkező pH csökkenés, illetve emelkedés minimális. A tőzgekivonatok titrálási görbéje ugyanakkor mindkét irányban meredek lefutású, nagyon hasonló a kis pufferkapacitású anyagok görbéjéhez.

A sav-bázis pufferképesség meghatározásakor növekvő koncentrációjú sav, illetve lúg oldatokkal a vizsgált közeg terhelését modellezzük. Értelemszerűen, minél nagyobb a minta nedvességtartalma, annál kisebb a szilárd, azaz a nagyságrenddel nagyobb pufferkapacitású rész aránya a vizsgálatra bemért tömegben. Különböző minták vizsgálata során, az egységnyi szilárd tömegükre jutó terhelés nem lesz azonos és így összevethető sem, amennyiben víztartalmuk lényegesen eltérő.

A terhelés különbözősége miatt, a mérési eredmények a talajoknál alkalmazott száraz anyagra való átszámítás után sem lesznek összehasonlíthatók.

Megállapítható, hogy a szerves anyagok sav-bázis titrálási görbéinek felvétele során az eltérő és általában jelentős víztartalmat indokolt számításba venni.

4.1.3 A szerves anyagok, mesterséges talajok, gyökérrögzítő közegek sav-bázis pufferképességének vizsgálatára adaptált módszer

Az ásványi talajok pufferképességének meghatározására alkalmazott módszert az előző fejezetben kifejtett megfontolásokból kiindulva tovább fejlesztettem. Az új megközelítés lényege, hogy a potenciometriás titrálás során figyelembe veszi a kertészeti termesztés szempontjait és az alkalmazott anyagok sajátosságait.

A szerves és ásványi anyagok vizsgálata lehetőleg olyan morfológiai állapotukban történik, ahogyan azok a termesztésben is felhasználásra kerülnek. Amennyiben a mérés kivitelezhetősége miatt elkerülhetetlen – pl. a kőzetgyapot vizsgálata során – akkor a mintát aprítjuk. A sav-bázis titrálási görbék felvételéhez 1:10 minta:oldat arányban szuszpenziót készítünk.

Ahhoz, hogy a vizsgálni kívánt anyagban meglévő vízmennyiséget figyelembe tudjuk venni, ismerni kell annak nedvességtartalmát, ami gravimetriásan meghatározható. A titrálási görbék felvételéhez előírt mintamennyiséget száraz anyagra vonatkoztatjuk, a ténylegesen bemérendő tömeget a minta nedvesség tartalma alapján számítjuk ki (8. táblázat).

A mintában lévő vízmennyiséget kivonjuk a terhelés modellezésére felhasznált oldat mennyiségéből. A vizsgált anyaghoz annyi vizet adunk, amennyi a minta bemért adagjában található víz mennyiség kivonása után a megkövetelt minta:oldat arány eléréséhez szükséges térfogat fele. Ezt követően adagoljuk az oldat másik felét, amely a terhelés modellezéséhez szükséges mennyiségű protont és hidroxid-iont kétszeres koncentrációban tartalmazza.

A sav és lúg oldatok hozzáadását követően a mintákat körkörös rázógépen egy órán keresztül rázatjuk és 24 óra állás után meghatározzuk a sorozat tagjainak egyensúlyi pH értékét.

Az ismertetett eljárással megvalósítható, hogy a nagy víztartalmú anyagok tényleges pufferkapacitását mérjük és a jellemző paraméterek értékei különböző nedvességtartalmú minták esetében összehasonlíthatók legyenek. Megjegyzendő, hogy ennél a módszernél is mindenképpen szükség van arra, hogy a 75%-nál több vizet tartalmazó mintákban a nedvesség tartalmat ezen érték alá vigyük.

8. táblázat. A szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének vizsgálatára továbbfejlesztett módszer alkalmazásához szükséges számítások a pötrétei tőzeg példáján

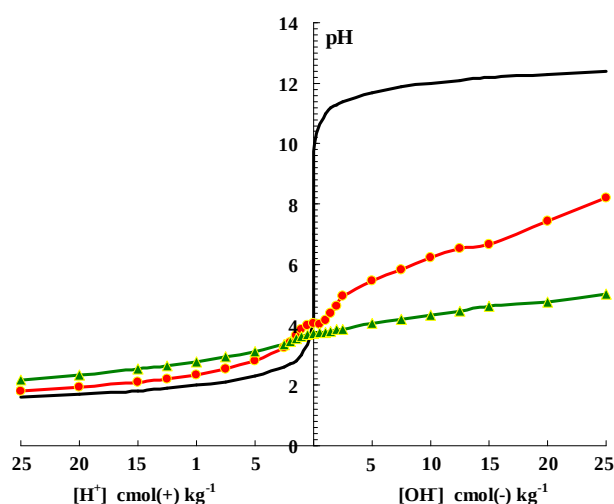
Minta					A sav/lúg + víz szükséges térfogata a minta részletéhez			A vizsgált anyag egy-ségnyi tö-megére jutó terhelés nagysága	
megne-vezés	nedves-ség tar-talom	száraz anyag tartal-mom	a vizsgálathoz szükséges tömeg		a beméren-dő tömeg-ben találha-tó víz mennyisége	HCl vagy NaOH			desztillált víz (CO ₂ men-tes)
			száraz anyagban számolva	a nedvesség tartalom figyelembe vételével		koncentrá-ciója	térfogata		
	%	%	g	g	cm ³	mmol dm ⁻³	cm ³	cm ³	cmol kg ⁻¹
pötrétei tőzeg	61,7	38,3	10,0	26,1	16,1	0,00	50,0	33,9	0,00
			10,0	26,1	16,1	0,25	50,0	33,9	1,25
			10,0	26,1	16,1	0,50	50,0	33,9	2,50
			10,0	26,1	16,1	7,50	50,0	33,9	3,75
			10,0	26,1	16,1	10,00	50,0	33,9	5,00
			10,0	26,1	16,1	12,50	50,0	33,9	6,25
			10,0	26,1	16,1	15,00	50,0	33,9	7,50
			10,0	26,1	16,1	17,50	50,0	33,9	8,75
			10,0	26,1	16,1	20,00	50,0	33,9	10,00
			10,0	26,1	16,1	22,50	50,0	33,9	11,25
			10,0	26,1	16,1	25,00	50,0	33,9	12,50
			10,0	26,1	16,1	27,50	50,0	33,9	13,75
			10,0	26,1	16,1	30,00	50,0	33,9	15,00
			10,0	26,1	16,1	40,00	50,0	33,9	20,00
			10,0	26,1	16,1	50,00	50,0	33,9	25,00

4.1.4 A nedvességtartalommal való korrekció hatása a titrálási görbék lefutására és a puffer index értékekre

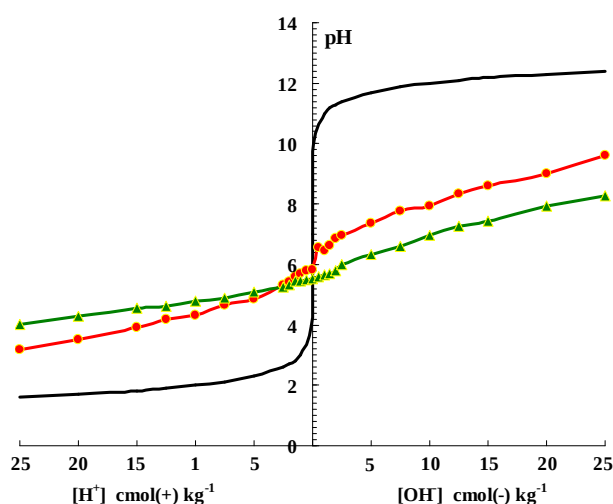
Tőzegek titrálási görbéi alapján összehasonlító méréseket végeztem az ásványi talajokra alkalmazott módszer és a tovább fejlesztett változatra vonatkozóan. A vizsgálatokba az ivano-frankivszki sötétbarna felláptőzeget (nedvesség tartalma – 74,8%) és a pótrétei síkláptőzeget (nedvesség tartalma – 61,7%) vontam be.

A tőzegek titrálási pontjainak felvétele párhuzamosan történt a kétféle módszer alapján. Az egyik eljárás szerint a vizsgálathoz bemérendő minta tömegét nedvességtartalma szerint korrigáltam, ahogyan az a 4.1.3 fejezetben részletesen le van írva. A másik eljárás során a mintákban lévő víz mennyiségét nem vettem figyelembe, a titrálási görbék felvétele az ásványi talajoknál elfogadott módon történt. A vizsgálatokat öt ismételtesben végeztem el mindkét tőzeg vonatkozásában. A statisztikai vizsgálatok során a sav-bázis pufferképességet jellemző puffer index értékeket az egymással párhuzamosan elvégzett méréseknek megfelelően párosítottam és hasonlítottam össze.

A kétféle módszer szerint elvégzett vizsgálatokban mind a savas, mind a lúgos titrálások görbéinek lefutása jól láthatóan eltérő (7. és 8. ábrák). A titrálási görbe meredeksége csökken mindkét tőzegre vonatkozóan, amikor a vizsgálatra bemért minta tömegét a nedvességtartalmával korrigáljuk. Ez azt jelenti, hogy ugyanolyan sav, illetve lúgterhelésekre a felláptőzeg és a síkláptőzeg is kisebb pH változásokkal reagál.



7. ábra. Az ivano-frankivszki sötétbarna felláptőzegre a kétféle módszer szerint felvett titrálási görbék



8. ábra. A pótrétei síkláptőzegre a kétféle módszer szerint felvett titrálási görbék

- – a terhelés számításánál a nedvességtartalom nem volt figyelembe véve;
- ▲ – a terhelés a száraz anyagra számítva.

A két módszer összehasonlítását a titrálási görbék alapján számított sav és lúg puffer index értékek alapján végeztem el. Az ivano-frankivszki sötétbarna felláptőzeg sav puffer indexe a nedvesség tartalom korrekcióval mintegy 1,5-szerese annak az értéknek, ami a nedvességtartalom figyelmen kívül hagyásával lett mérve. A lúg puffer index vonatkozásában még nagyobb az eltérés. Amennyiben a lúgterhelést a tőzeg szárazanyagára számítjuk, a lúg puffer index közel háromszor nagyobb, mint amikor a vizsgálatot az ásványi talajoknál alkalmazott módszer szerint végeztem el. A legkisebb eltérést a két módszer eredménye között a pötrétei síkláptőzeg lúgos titrálása során mértem.

Kétmintás párosított t-próbával megvizsgáltam, hogy a két módszer szerint meghatározott puffer indexek értékei között van-e szignifikáns különbség. A felláptőzeg és a síkláptőzeg sav és lúg puffer indexeire vonatkozóan egyaránt megállapítható, hogy a $t > t_{0,5\%}$ (9. táblázat). A nedvességtartalom korrekcióval számított puffer indexek átlagai legalább $p=0,001$ szignifikancia szint mellett nagyobbak, mint az ásványi talajoknál alkalmazott módszer szerint felvett titrálási görbék alapján meghatározott értékek.

9. táblázat. A kétféle módszer alapján számított puffer indexek összehasonlító értékelése a kétmintás párosított t-próba alapján

$n = 5$ $df = 4$ $t_{0,1\%} = 8,61$

Ivano-frankivszki sötétbarna felláptőzeg					
	Savas titrálás			Lúgos titrálás	
	Korrekció			Korrekció	
	a nedvességtartalomra			a nedvességtartalomra	
	van	nincs		van	nincs
$^a\beta_{\text{átlag}}$	15,7	10,7	$^b\beta_{\text{átlag}}$	17,9	6,1
variancia	0,04	0,03	variancia	0,16	0,07
t-érték	49,9		t-érték	46,1	
p	0,000		p	0,000	
Pötrétei síkláptőzeg					
$^a\beta_{\text{átlag}}$	16,9	9,2	$^b\beta_{\text{átlag}}$	8,9	7,2
variancia	0,51	0,01	variancia	0,07	0,03
t-érték	21,8		t-érték	9,3	
p	0,000		p	0,001	

A kétféle tőzegen elvégzett összehasonlító vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a nagy nedvességtartalmú minták sav-bázis titrálási görbéinek lefutása és pufferkapacitása számottevően különbözik attól függően, hogy a mérések során a terhelést a száraz anyag mennyiségére vagy a nedves minta tömegére számítjuk. A tovább fejlesztett módszer szerint a tőzegek puffer indexei értelemszerűen nagyobbak adódnak, mint az ásványi talajoknál alkalmazott eljárás szerint meghatározott értékek.

4.2 A szerves anyagok sav-bázis pufferképességének értékelése a sav pufferkapacitás és a lúg pufferkapacitás mérőszámok alapján

A kutatási munkához kiválasztott szerves anyagokat képződésük körülményei, átalakulásuk stádiuma és felhasználásuk együttes figyelembevételével a következőképpen csoportosítottam:

- tőzegek – fosszilis szerves anyagok, keletkezésük lassú folyamatok eredménye, az elhalt növényi maradványok átalakulása oxigén hiányos környezetben ment végbe;
- komposztok és azok alapanyagai – recens szerves anyagok, átalakulásuk, illetve kialakulásuk gyorsan, többnyire valamilyen szintű emberi irányítás mellett, oxigén jelenlétében zajlott;
- talajtakarók – a talajfelszínt időszakosan borító, oda jutott vagy oda jutatott recens szerves anyagok az átalakulás kezdeti szakaszában, összetételükben a növényi részek épek, jól felismerhetők és elkülöníthetők. Lebomlásuk, átalakulásuk a ciklusosan változó környezeti adottságok függvénye.

4.2.1 Tőzegek

A tőzegek tulajdonságainak megítélése, fizikai-kémiai paramétereinek értékelése, széleskörű hasznosítása ellenére máig nem egységes és további kutatásokat igényel. Sav-bázis pufferképességük megismerése céljából eltérő fizikai és kémiai tulajdonságú tőzegeket vizsgáltam.

4.2.1.1 A tőzegek fizikai-kémiai tulajdonságainak értékelése

A tőzegek néhány jellemző tulajdonságát a 10. táblázat foglalja össze. A rostos szerkezetű tőzegek kémhatása vizes közegben mért pH értékük alapján nagyon savanyú. Ebből adódóan a hidrolitikus aciditás értéke többnyire nagy, a király-tói síkláptőzeg esetében ez a mutató több mint 85 cmol kg^{-1} . Valamennyi rostos tőzeg mérhető kicserélhető savanyúsággal is rendelkezik. A legnagyobb kicserélhető aciditást a király-tói síkláptőzegnél mértem, melynek közel harmadát az oldatba jutott alumínium teszi ki. A nagyon savanyú rostos tőzegek között kizárólag a litván fehér felláptőzeg nem tartalmazott kicserélhető alumíniumot.

10. táblázat. A tőzegek és a kókuszrost néhány jellemző tulajdonsága

A tőzeg megnevezése	pH		CaCO ₃	Hidro- litikus aciditás	Kicszerélhető aciditás			E _χ	Izzítási veszte- ség	Víz oldható szerves anyag	Nedves- ség tartalo- m
					összes	H ₃ O ⁺	Al ³⁺				
	H ₂ O	KCl	%		cmol kg ⁻¹			μS cm ⁻¹	%	g kg ⁻¹	%
litván fehér felláptőzeg	4,32	3,00	0	73,0	1,9	1,9	0	159	97,3	0,95	48,9
voloscsai világosbarna felláptőzeg	3,39	2,77	0	31,1	2,9	2,0	0,9	150	96,5	0,17	54,1
ivano-frankivszki sötétbarna felláptőzeg	3,73	2,87	0	34,2	2,8	1,6	1,2	49,4	90,5	0,36	74,8
voloscsai sötétbarna vegyes tőzeg	5,50	5,10	0	23,3	1,4	1,4	0	279	74,9	–	48,6
király-tói síkláptőzeg	3,70	3,18	0	85,4	14,9	11,2	3,7	231	66,6	5,74	8,5
hansági síkláptőzeg	4,31	4,13	0	44,2	2,1	1,8	0,3	2130	60,6	1,84	9,4
pötrétei síkláptőzeg	5,94	5,60	0	12,4	0,1	0,1	0	2730	78,5	0,24	61,7
szélmezői síkláptőzeg	6,36	6,27	0	10,1	0,1	0,1	0	2750	63,7	0,20	62,9
hahóti síkláptőzeg	7,60	7,40	0,27	4,7	0,1	0,1	0	2400	66,2	0,20	69,7
kókuszrost	5,69	4,86	0	28,7	0,49	0,49	0	546	94,3	–	14,0

A kicserélhető aciditás helyes értelmezéséhez figyelembe kell venni, hogy a növényi maradványok összetételében az alumínium különböző protonáltsági állapotban, a szerves anyaggal alkotott komplex vegyületekben van jelen. Alacsony pH értékeknél, mint amilyen a mintáknak $1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ KCl oldattal való kezelése során beállhat, a szerves alumínium komplexek részben széteshetnek. Az így felszabadult alumínium-ionok oldatba mehetnek és mint kicserélhető aciditás kerülnek meghatározásra (SAMRIKOVA et al., 2003).

A felláptőzegekre jellemző a nagyon magas szerves anyag tartalom. Az izzítási veszteség a világos felláptőzegek esetében 90% feletti, míg a litván fehér felláptőzegnél több mint 97%. A hansági tőzegek szerves anyag tartalma hozzávetőlegesen harmadával kevesebb. A király-tói síkláptőzeg jelentős mennyiségű vízben oldható szerves anyagot tartalmaz. Lényegesen kevesebb a vízzel kioldható szerves anyag mennyisége a hansági tőzegekben, de ugyanakkor többszöröse a többi vizsgált tőzegekben mért értéknek.

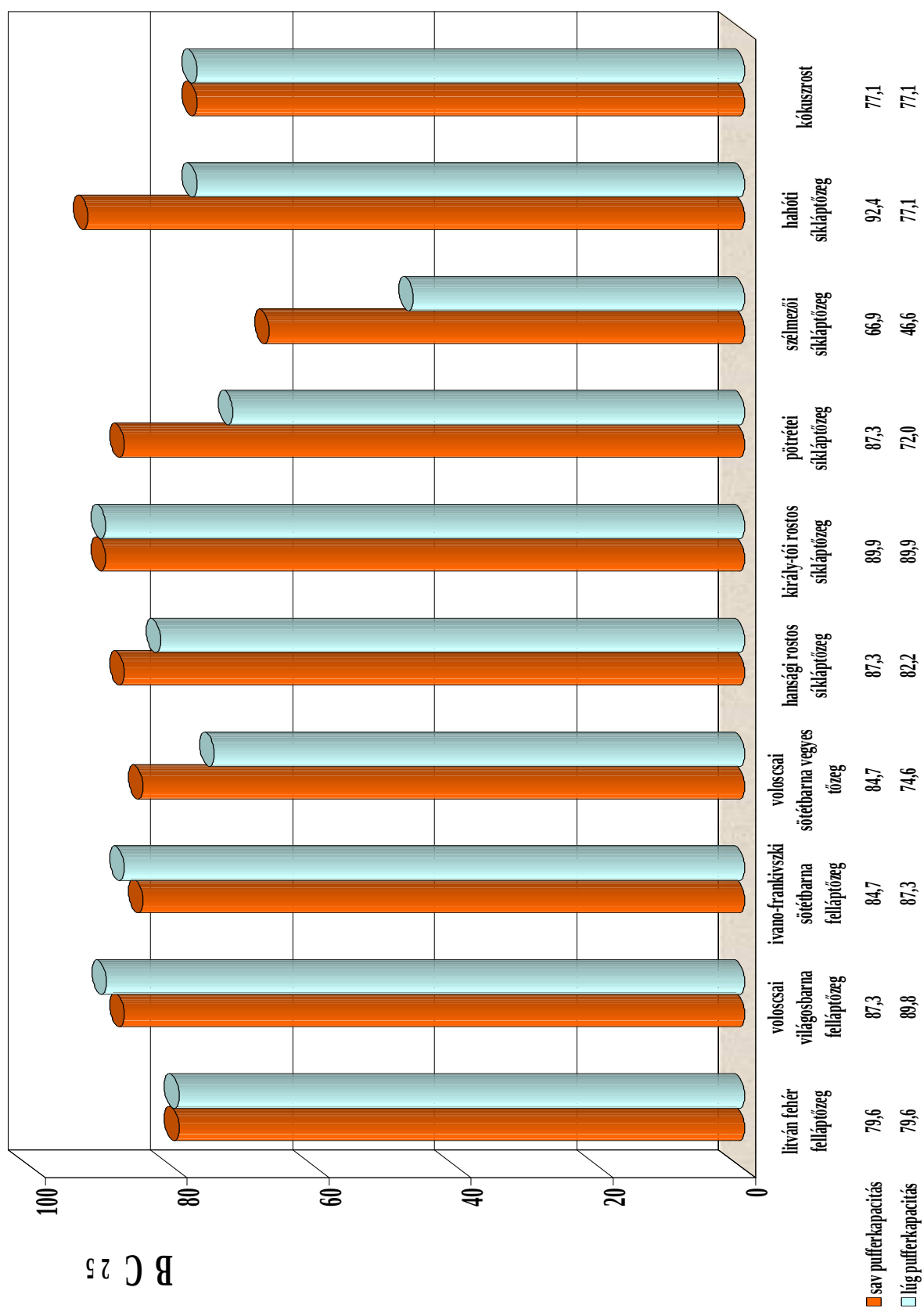
A felláptőzegek fajlagos elektromos vezetőképessége jellemzően nagyon alacsony, számszerűleg nem haladja meg a $0,3 \text{ mS cm}^{-1}$ értéket. A hansági síkláptőzeg EC értéke nagyságrendekkel nagyobb a felláptőzegeknél mért értékekhez képest, amely HARGITAI & NAGY (1971) vizsgálatai szerint a növények számára felvehető, vízben oldható tápanyag tartalma miatt van.

A sötét színű síkláptőzegek fizikai-kémiai és kémiai tulajdonságai lényegesen különböznek a felláptőzegtől. Kémhatásuk semleges vagy közel semleges, $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ értékük 6,0 és 7,6 között változik. A hahóti tőzeg 0,27% meszet is tartalmaz, ennek köszönhetően kémhatása enyhén lúgos. Hidrolitikus aciditásuk jóval kisebb számszerű értékekkel jellemezhető, mint a rostos tőzegek esetében. A kicserélhető savanyúság nagyon csekély, ami kizárólag H_3O^+ -ion, szabad alumíniumot ezekben a tőzegekben nem lehet kimutatni.

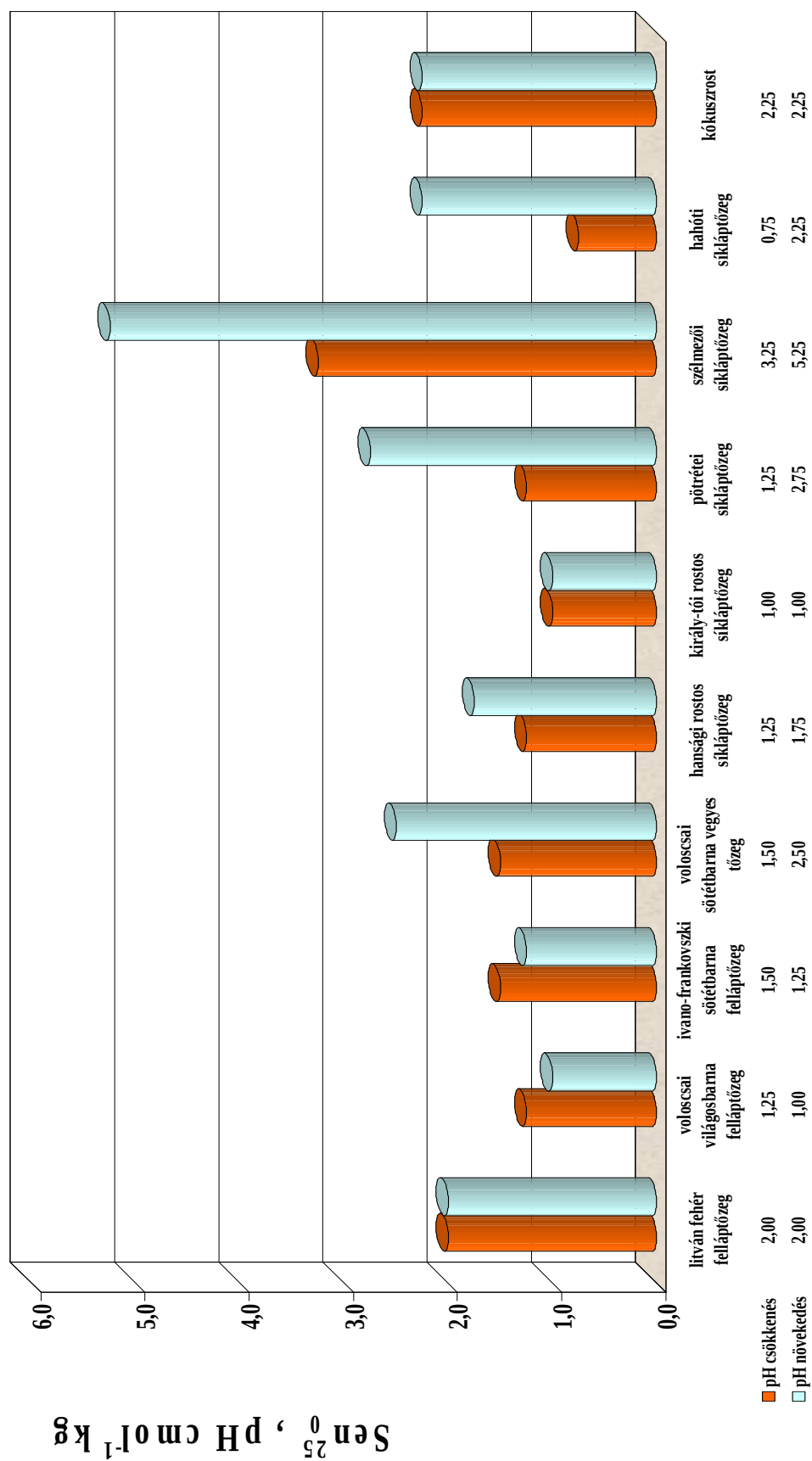
A síkláptőzegek izzítási vesztesége 63 és 79% között van, legnagyobb szerves anyag tartalommal a pötréti tőzeg rendelkezik. A síkláptőzegek egyformán nagyon kevés, mindössze $0,2 \text{ g kg}^{-1}$ vízzel kioldható szerves anyagot tartalmaznak. Fajlagos elektromos vezető képességük az oldható tápanyag tartalomnak köszönhetően viszonylag magas, értékük $2,40$ és $2,75 \text{ mS cm}^{-1}$ között alakul.

4.2.1.2 A tőzegek sav pufferkapacitásának és lúg pufferkapacitásának értékelése

A tőzegek sav és lúg pufferkapacitása jellemzően nagy. Számszerűleg ezek az értékek többnyire meghaladják a 70 egységet (9. ábra). A teljes pH tartományban legnagyobb pufferkapacitással a hansági és a felláptőzegek rendelkeznek. A király-tói rostos síkláptőzeg sav és lúg semlegesítő kapacitása is közel 90 egység. Hasonló értékeket mértem a hansági rostos síkláptőzeg vizsgálata során is.



9. ábra. A tőzegek és a kókuszrost sav pufferkapacitása és lúg pufferkapacitása



10. ábra. A tőzegek és a kókuszrost pH változása a kezdeti értékhez képest 25 cmol kg^{-1} sav, illetve lúgterhelés mellett

A király-tói tőzeg kémhatása nagyon savanyú és tovább már nehezen savanyítható. A kísérletben alkalmazott maximális 25 cmol kg^{-1} savterhelést követő pH változás mindössze egy egység (10. ábra). Értelemszerűen ez a tőzeg a lúgos hatásokat is nagyon jól semlegesíti. A maximális lúgterhelés szintén csak egy egységgel változtatja meg a kezdeti pH értékét. A hansági rostos síkláptőzeg kezdeti pH érték változása a sav hatására ${}^a\text{Sen}_0^{25}=1,25 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$, a lúg hozzáadása nyomán, pedig ${}^b\text{Sen}_0^{25}=1,75 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$.

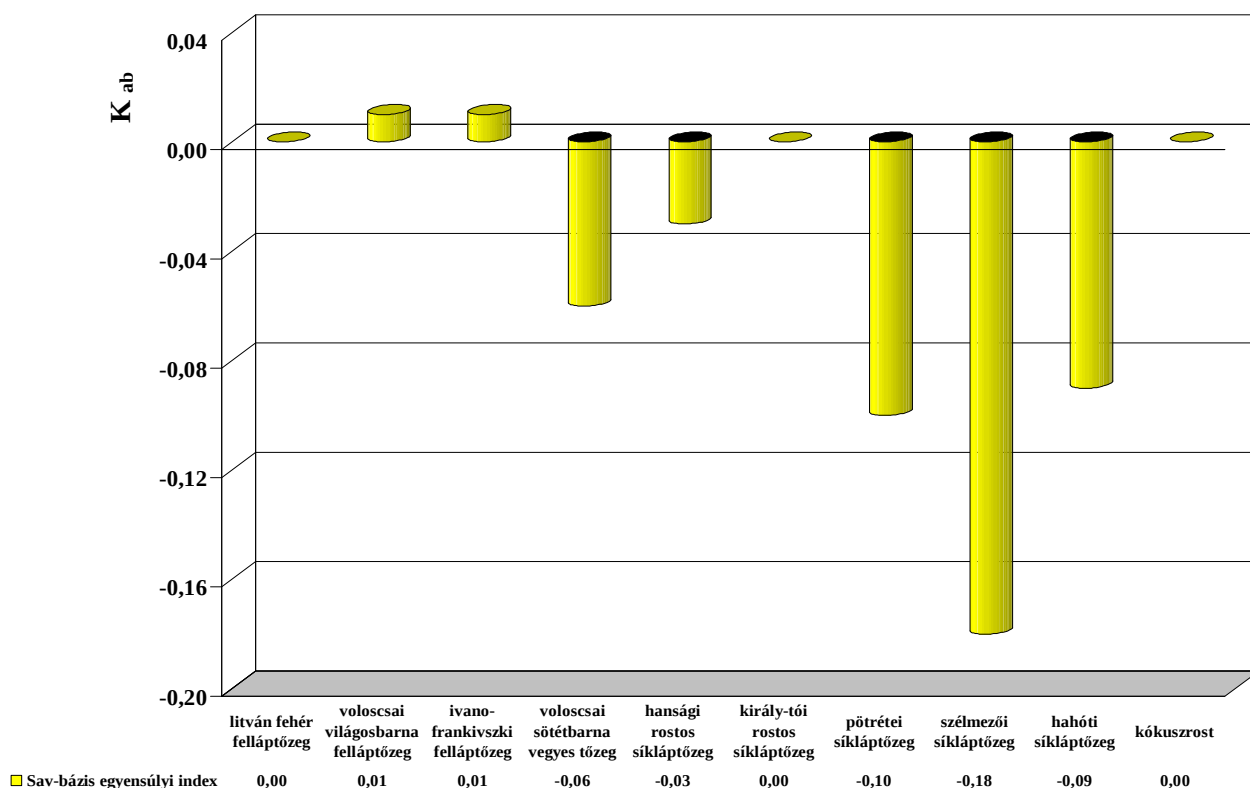
A voloscsai világosbarna és az ivano-frankivszki sötétbarna felláptőzegek sav és lúg pufferkapacitása is nagy, de valamivel kevesebb savat és lúgot tudnak semlegesíteni, mint a király-tói síkláptőzeg. Ez a különbség a maximális sav és lúg terhelés hatására bekövetkező pH változásokban is megmutatkozik. A voloscsai világosbarna felláptőzegnél ${}^a\text{Sen}_0^{25}=1,25 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$, míg az ivano-frankivszki felláptőzeg esetében ${}^a\text{Sen}_0^{25}=1,50 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$. A maximális lúgterhelésre a voloscsai felláptőzeg egységnyi pH növekedéssel reagál, míg az ivano-frankivszki tőzeg kezdeti pH értéke ugyanilyen lúgadag hatására 1,25 egységet változik.

A síkláptőzegek sav és lúg pufferkapacitása is jelentős, de a származási helytől függően a számszerű értékek tág határok között változnak (9. ábra). A legtöbb savat a hahóti tőzeg képes semlegesíteni. Magas sav pufferkapacitása a szerves rész funkciós csoportjainak proton megkötésén kívül, a tőzeg mésztartalmával hozható összefüggésbe. Számításaim szerint a tőzegben található $0,27\% \text{ CaCO}_3$ elméletileg 54 cmol kg^{-1} hidrogén-iont képes semlegesíteni. A vizsgálat során a mészteljes savsemlegesítő kapacitása feltehetően nem érvényesül, de számottevően megnöveli a tőzeg pufferképességét. A hahóti síkláptőzeg kiindulási pH értéke a maximális savterhelés hatására mindössze ${}^a\text{Sen}_0^{25}=0,75$ egységnyit csökken.

A pötrétei síkláptőzeg sav pufferkapacitása a rostos tőzegekével azonos nagyságrendű. A legkevesebb savat a szélmezői síkláptőzeg semlegesíti, melynek pufferkapacitása ${}^a\text{BC}_{25}=66,9$, pH változása a maximális savterhelés hatására ${}^a\text{Sen}_0^{25}=3,25$ egységet tesz ki. Megfigyelhető a síkláptőzegek valamivel nagyobb érzékenysége a lúgos kezelésekkel szemben. A pötrétei és a hahóti tőzegek lúg pufferkapacitása is alacsonyabb, mint a rostos tőzegeké. A hahóti tőzeg kiindulási pH értéke a maximális lúgterhelés nyomán 2,25 egységnyivel növekszik, a pötrétei tőzeg esetében ez a mutatószám ${}^b\text{Sen}_0^{25}=2,75 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$. A szélmezői tőzeg lúg pufferkapacitása lényegesen alacsonyabb, kezdeti pH értéke a maximális lúgterhelés hatására jelentősen, ${}^b\text{Sen}_0^{25}=5,25$ egységgel növekszik.

A tőzegekhez hasonló rostos szerkezete miatt itt tárgyalom a kókuszrost pufferképességét is. Az utóbbi időben, elsősorban a dísznövénytermesztésben egyre nagyobb mennyiségben felhasználásra kerülő szerves anyag nagyon jó sav-bázis semlegesítő képességgel rendelkezik. Pufferkapacitása mind a savas, mind a lúgos tartományban egyforma: ${}^aBC_{25} = {}^bBC_{25} = 77,1$. A maximális sav és lúgterhelés nyomán bekövetkező kezdeti pH érték változást jelző mutatószám is megegyezik ${}^aSen_0^{25} = {}^bSen_0^{25} = 1,25 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$.

Mérési adataim részben ellentmondanak HANDRECK (1993) megállapításának, aki szerint a kókuszrost pH változásokkal szembeni pufferképessége alacsony. HANDRECK (1993) véleményét arra alapozza, hogy a kókuszrost kationcsere-kapacitása (21-30 mm(+)/L) jelentősen kisebb, mint a tőzeg kationcsere-kapacitása (78 mm(+)/L). Kétségtelen tény, ahogy azt MURÁNYI (1987/88), IVANOVA et al. (2002), KOPCIK & LIVANCOVA (2003) és más kutatók is kísérletileg bizonyították, hogy a kicserélhető kationok meghatározó tényezői a sav-bázis pufferkapacitás alakulásnak. A szerves anyagok pufferképességének megítélésénél azonban, ahogy arra JAMES & RIHA (1986), SOKOLOVA et al. (1993) és mások is rámutattak, a savakkal és lúgokkal való kölcsönhatás mechanizmusát nem lehet kizárólag az ioncserére visszavezetni, egyéb, gyorsan lejáró reakciók is részt vesznek a pH érték változását előidéző hatások tompításában.



11. ábra. A tőzegek és a kókuszrost sav-bázis egyensúlyi indexei

A rostos tőzegek sav-bázis egyensúlyi indexei a megfelelő stabilitással bíró rendszerekre jellemző nullával vagy közel nullával egyenlők (11. ábra). A nagyon alacsony értékek rámutatnak arra, hogy a vizsgált rostos tőzegek közel egyformán jól semlegesítik a savas és a lúgos hatásokat is. Azonos mennyiségű savval illetve bázissal való kezelés ezeknél a tőzegnél közel egyforma, de ellenkező irányú pH változást idéz elő. A $K_{ab} \approx 0$ összefüggésből következik továbbá, hogy a rostos tőzegek kiindulási pH értékét nagyon nehéz megváltoztatni bármelyik irányba is.

A sav-bázis egyensúlyi indexnek a nulla értéktől való nagyobb eltérése a síkláptőzegeknél tapasztalható. A K_{ab} értéke mindegyik síkláptőzeg esetében negatív előjelű, ami a savas terhelésekkel szembeni nagyobb pufferkapacitást tükrözi.

4.2.2 Komposztok, nyersanyagok

4.2.2.1 A komposztok fizikai-kémiai tulajdonságainak értékelése

A vizsgálatba bevont komposztok és nyersanyagok morfológiájukban, fizikai és kémiai tulajdonságaikban lényegesen különbözőek (11. táblázat). Jelentős szórás van a komposztok szerves anyag tartalma között. A komposztált szőlőtörköly izzítási vesztesége több mint 80%. A komposztált szőlőtörköly+baromfitrágya szerves anyag tartalma is nagyon magas, meghaladja a 63%-ot. Legalacsonyabb az izzítási veszteség a trágyákban, ahol ez a mutató 26% körül alakul.

11. táblázat. A komposztok, nyersanyagok néhány jellemző tulajdonsága

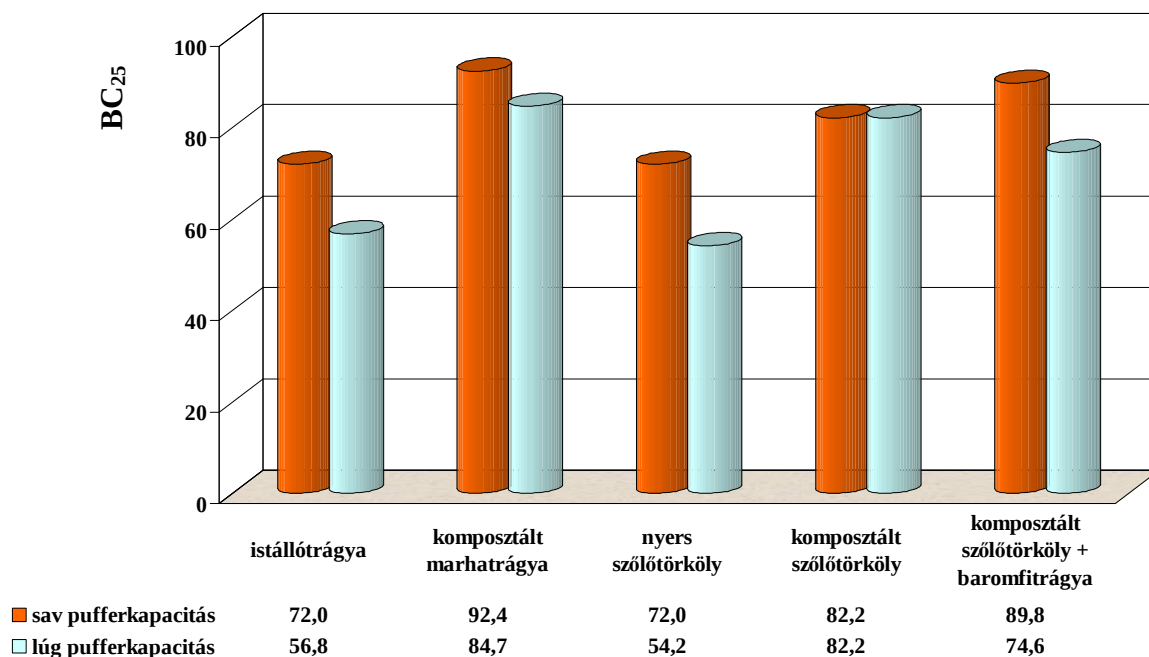
Megnevezés	pH		Hidrolitikus aciditás	Kicserélhető aciditás			$E\chi$	Izzítási veszteség	Nedvesség tartalom
	H ₂ O	KCl		összes	H ₃ O ⁺	Al ³⁺			
				cmol kg ⁻¹			μS cm ⁻¹	%	%
istállótrágya	7,91	7,52	3,1	0	0	0	578	26,0	41,9
komposztált marhatrágya	7,29	6,87	1,7	0	0	0	4540	26,9	6,3
nyers szőlőtörköly	4,63	3,30	34,8	5,3	5,3	0	1178	52,7	56,3
komposztált szőlőtörköly	6,91	5,66	25,3	1,5	1,5	0	2160	80,5	21,0
komposztált szőlőtörköly + baromfitrágya	7,24	7,30	4,7	0,1	0,1	0	4050	63,3	53,7

A vizsgált anyagok kémhatása közel semleges, ettől nagyobb eltérést csak az istállótrágya mutat, amelynek a vizes kivonatban mért pH értéke 7,9. Számottevő hidrolitikus aciditással a nyers szőlőtörköly és a szőlőtörkölyből készült komposzt rendelkezik. A komposztált szőlőtörköly mérhető kicserélhető aciditást is tartalmaz. Kicserélhető alumíniumot egyik vizsgált anyagban sem lehetett kimutatni.

A komposztált szerves anyagok fajlagos elektromos vezetőképessége az érési folyamat során felszabadult és könnyen oldható ásványi tápanyagoknak tulajdoníthatóan jellemzően magas. A legalacsonyabb EC értéke az istállótrágyának van.

4.2.2.2 A komposztok sav pufferkapacitásának és lúg pufferkapacitásának értékelése

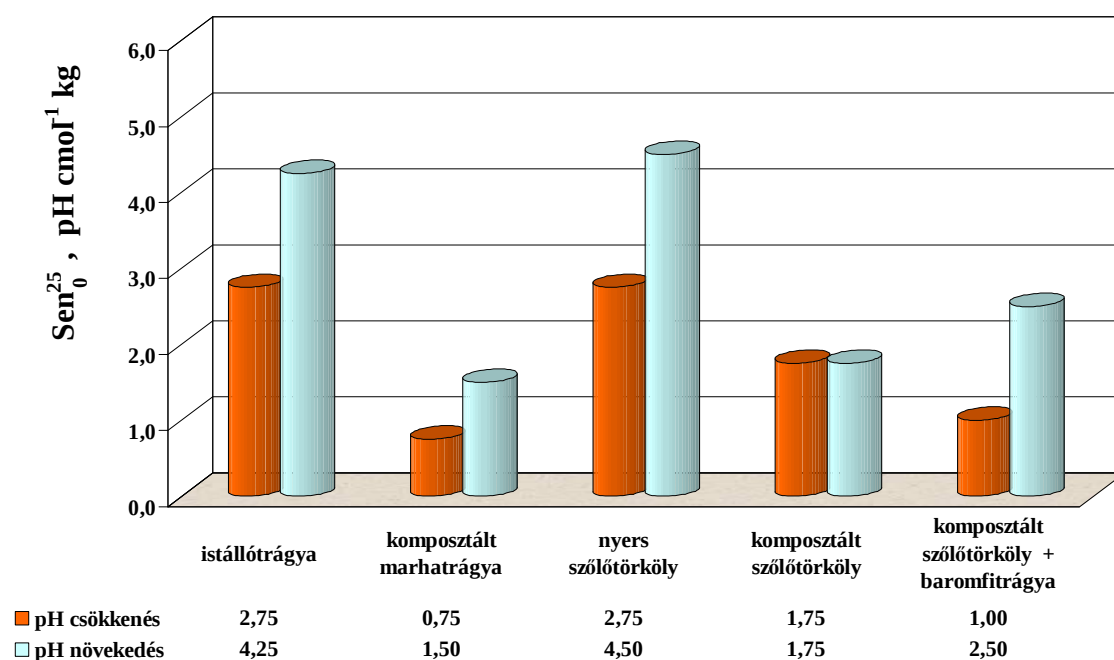
A vizsgált komposztok között a legnagyobb sav és lúg pufferkapacitás értékekkel a komposztált marhatrágya rendelkezik (12. ábra). Különösen kifejezett savsemlegesítő képessége, a terhelésként hozzáadott proton mennyiségének több mint 99%-át megköti. A maximális savterhelés nyomán bekövetkező kémhatásváltozása mindössze ${}^aSen_0^{25}=0,75\text{ pH cmol}^{-1}\text{ kg}$ (13. ábra). A komposztált marhatrágya lúg pufferkapacitása közel 8 egységgel kevesebb, mint sav pufferkapacitása, a maximális lúgterhelés ${}^bSen_0^{25}=1,50\text{ pH cmol}^{-1}\text{ kg}$ növekedést okoz.



12. ábra. A komposztok, nyersanyagok sav pufferkapacitása és lúg pufferkapacitása

A vizsgálatba bevont istállótrágya érlelése spontán, ellenőrizetlen körülmények között ment végbe. Sav pufferkapacitása közel 20 egységgel, lúg pufferkapacitása csaknem 28 egységgel kevesebb az irányított komposztáláson keresztül ment trágya mutatóihoz képest. A maximális koncent-

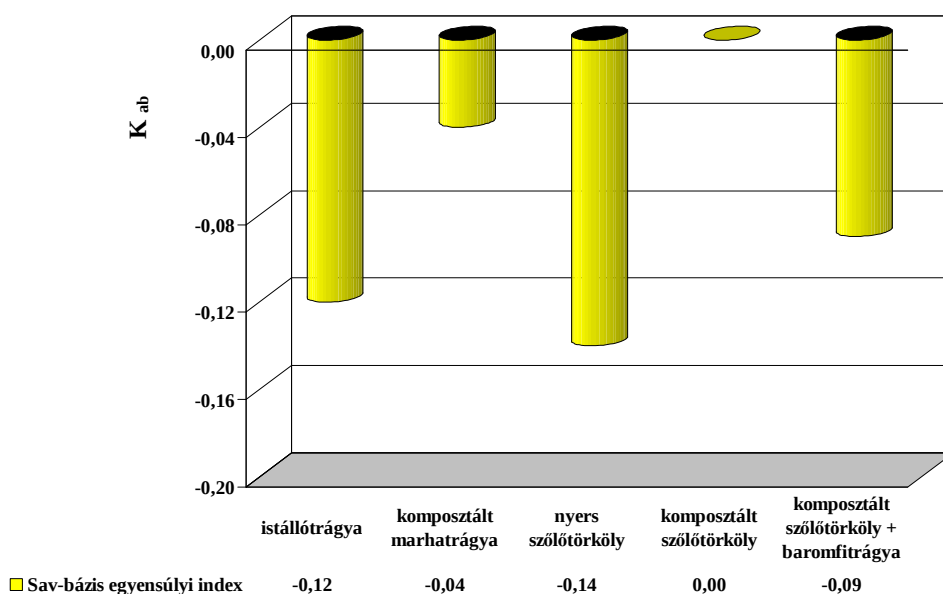
rációjú savas kezelés az istállótrágyánál ${}^a Sen_0^{25}=2,75 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$ csökkenést, míg a maximális lúgos terhelés ${}^b Sen_0^{25}=4,25 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$ növekedést idéz elő.



13. ábra. A komposztok, nyersanyagok pH változása a kezdeti értékhez képest 25 cmol kg⁻¹ sav, illetve lúgterhelés mellett

Nagy a sav és lúg pufferkapacitása a szőlőtörköly alapú komposztoknak is. A savas tartományban a mért értékek $BC_{25} > 80$ egységet tesznek ki. A komposztált szőlőtörköly+baromfitrágya némileg több savat képes semlegesíteni, a maximális protonterhelés mindössze egységnyivel csökkent a kezdeti pH értékét. A lúgos tartományban a komposztált szőlőtörköly+baromfitrágya pufferkapacitása mintegy 15 egységgel kevesebb, a maximális lúgterhelés ${}^b Sen_0^{25}=2,50 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$ emelkedést idéz elő. A komposztált szőlőtörköly sav és lúg pufferkapacitása egyformán 82,2 egység. A nyers szőlőtörkölynek, a komposztálás alapanyagának már kisebb a sav és lúg pufferkapacitása: ${}^a BC_{25}=72,0$ és ${}^b BC_{25}=54,2$. A maximális savas és lúgos kezelések nyomán a nyers szőlőtörköly kezdeti kémhatása jelentősen megváltozik.

A szőlőtörkölyök vonatkozásában megállapítható, hogy az irányított komposztálás során a sav és lúg pufferkapacitás is növekszik. Az érlelés folyamán a sav-bázis egyensúlyi index is csekély mértékben, de értékelhetően változik a kedvezőnek tekintett nulla érték irányába, azaz az anyag sav és bázis semlegesítő kapacitása kiegyenlítődik (14. ábra). Ugyanez a tendencia figyelhető meg az istállótrágyák esetében is. Az irányított és ellenőrzött komposztálási folyamatban a trágya pufferkapacitása számottevően megnövekszik, viselkedése a savas és lúgos hatásokkal szemben kiegyenlítettebbé válik.



14. ábra. A komposztok, nyersanyagok sav-bázis egyensúlyi indexei

4.2.3 Talajtakarók

A felszínt borító szerves anyagok sav-bázis tompítóképességének megismerése céljából különféle fafajú erdőkben (bükkös, tölgy, fenyő) avart gyűjtöttem. A művelt területeken visszamaradó szerves anyagot a gyümölcsösben megszedett avar és a zúzott szalma reprezentálják.

4.2.3.1 A talajtakarók fizikai-kémiai tulajdonságainak értékelése

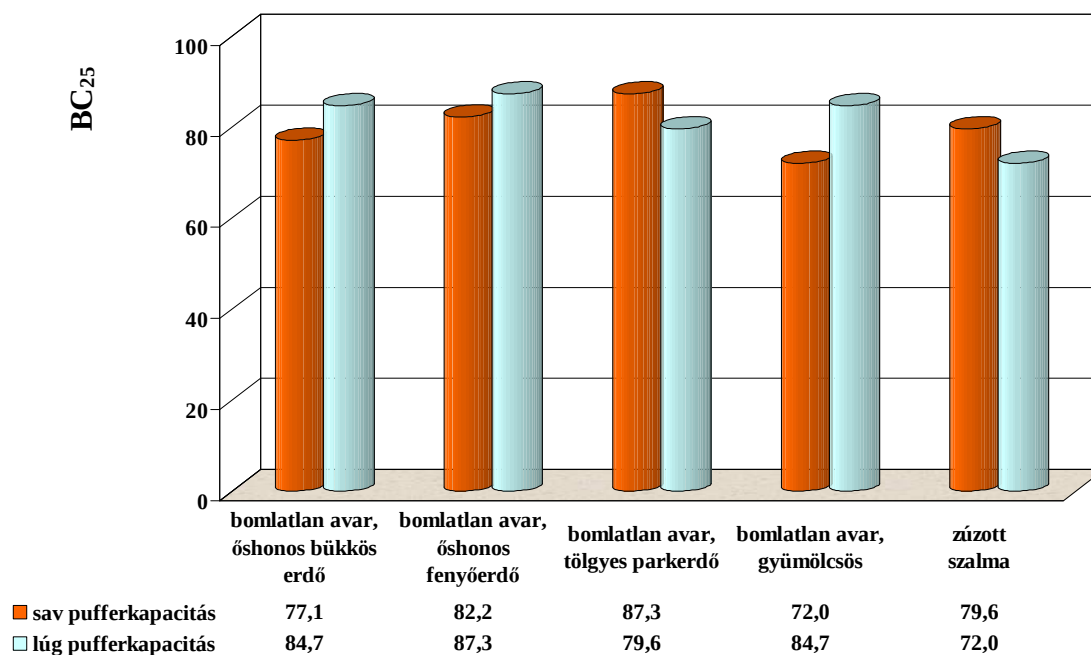
A vizsgált anyagok néhány jellemző tulajdonságát a 12. táblázat foglalja össze. Az avarokra és a zúzott szalmára egyaránt jellemző a magas és közel azonos mennyiségű szerves anyag tartalom, a száraz anyagra számított izzítási veszteség mindegyik esetben valamivel több, mint 90%. Lényeges eltérést ettől csak a gyümölcsös avara mutat, amelyben az izzítási veszteség hozzávetőlegesen 10%-kal kevesebb. A talajtakarók többségénél a kémhatás gyengén savanyú. Egyedül a tölgyes parkerdőben gyűjtött avar erősen savanyú kémhatású. A legnagyobb hidrolitikus aciditást az erősen savanyú kémhatású tölgyes parkerdő avarában mértem. Az őshonos erdők avarában szintén jelentős a nátrium-acetáttal oldatba vihető titrálható savanyúság, értéke 24 – 34 cmol kg⁻¹ között változik. A vizsgált talajtakarók mindegyikében kicserélhető aciditás is mérhető, amelyet teljes egészében a H₃O⁺-ionok tesznek ki, kicserélhető alumínium sem az avarban, sem a szalmában nem található. Mindegyik mintában meghatározásra került a vízzel kioldható szerves anyag mennyisége is. Megfigyelhető, hogy az avar víz oldható szerves anyag tartalma 1,7 – 4,5 g kg⁻¹ között, egy nagyságrenden belül változik. A zúzott szalma kilogrammja 15,3 g víz oldható szerves anyagot tartalmaz, ami többszöröse az avarokban mért értéknek.

12. táblázat. A talajtakarók néhány jellemző tulajdonsága

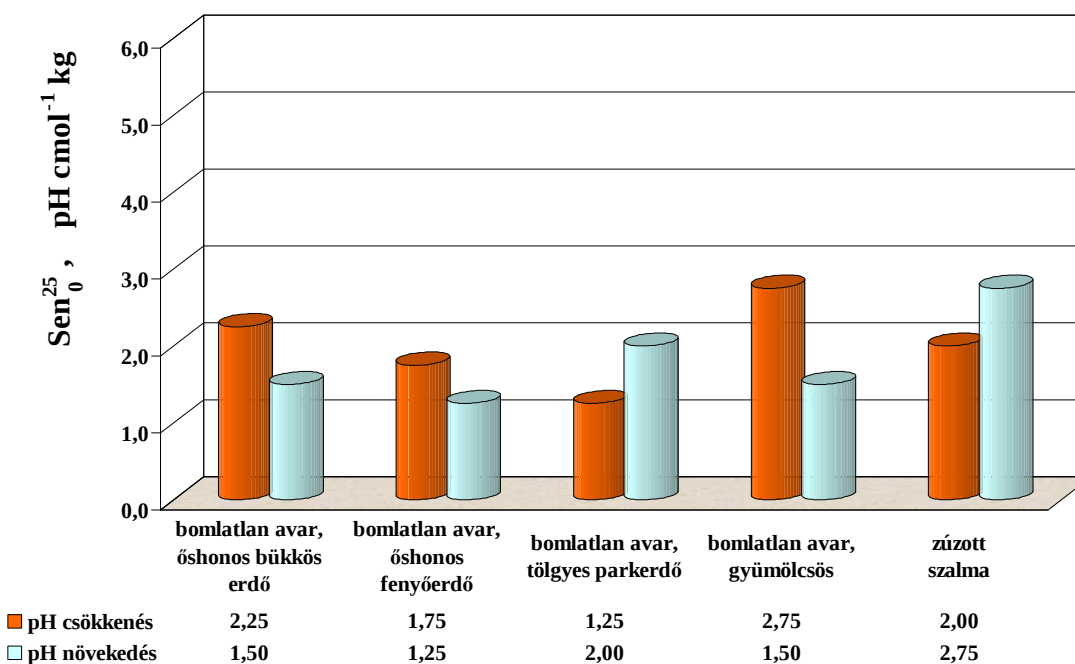
Megnevezés	pH		Hidrolitikus aciditás	Kicserélhető aciditás			E χ	Izzítási veszte- ség	Víz oldható szerves anyag	Nedves- ség tartar- lom
				összes	H ₃ O ⁺	Al ³⁺				
	H ₂ O	KCl	—————	cmol kg ⁻¹	—————		μS cm ⁻¹	%	g kg ⁻¹	%
Bomlatlan avar, őshonos bükkös erdő	5,96	5,61	24,1	0,8	0,8	0	524	91,5	1,72	8,7
Bomlatlan avar, őshonos fenyőerdő	5,46	4,90	32,6	3,6	3,6	0	649	90,1	2,04	10,1
Bomlatlan avar, tölgyes parkerdő	4,44	4,26	55,1	6,0	6,0	0	907	91,8	4,47	9,5
Bomlatlan avar, gyümölcsös	6,32	5,95	26,4	1,1	1,1	0	812	81,7	3,97	8,6
Zúzott szalma	6,47	6,43	14,8	4,9	4,9	0	5720	92,2	15,25	9,8

4.2.3.2 A talajtakarók sav pufferkapacitásának és lúg pufferkapacitásának értékelése

Az avar és a szalma sav és lúgsemlegesítő képessége is egyaránt nagy, a BC_{25} számított értékei mindegyik esetben meghaladják a 70 egységet (15. ábra). A legnagyobb sav pufferkapacitással a tölgyes parkerdőben begyűjtött avar rendelkezik, amelynél $^aBC_{25} = 87,3$ egység. Kezdeti pH értéke a maximális sav hozzáadása után mindössze 1,25 egységgel csökken (16. ábra). A többi vizsgált talajtakaró pufferkapacitása a savas hatásokkal szemben mintegy 5 – 15 egységgel alacsonyabb.



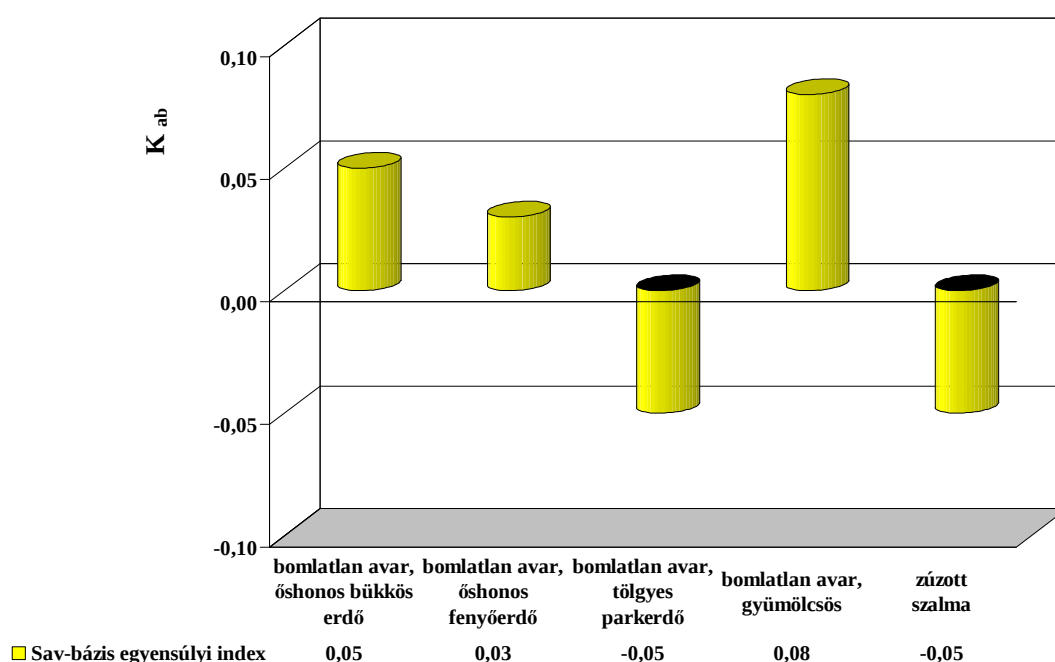
15. ábra. A talajtakarók sav pufferkapacitása és lúg pufferkapacitása



16. ábra. A talajtakarók pH változása a kezdeti értékhez képest 25 cmol kg⁻¹ sav, illetve lúgterhelés mellett

Az őshonos erdők és a gyümölcsös avara valamivel jobban semlegesítik a lúgos hatásokat, mint a savas terheléseket. Lúg pufferkapacitásuk ${}^bBC_{25} = 84,7 - 87,3$ egység között változik, a maximális lúgadagok kezdeti kémhatásukat ${}^bSen_0^{25} = 1,25 - 1,50$ pH cmol⁻¹ kg növelik meg. A többi talajtakaróhoz képest viszonylag kevesebb lúgos terhelést képes semlegesíteni a zúzott szalma, de lúg pufferkapacitása így is jelentős és ${}^bBC_{25} = 72$ egységet tesz ki.

A talajtakarók sav-bázis egyensúlyi indexei $K_{ab} = -0,05 \div 0,08$ értékek között változnak (17. ábra).



17. ábra. A talajtakarók sav-bázis egyensúlyi indexei

A szerves anyagok sav és lúg pufferkapacitásának megítéléséhez tudni kell, hogy a szabad meszet nem tartalmazó ásványi talajok pufferkapacitása, a aBC és bBC értékei többnyire 10 és 30 egységek között változnak. Kizárólag néhány talajtípusnál, mint réti csernozjom esetében a savas tartományban (${}^aBC_{12,5}=52,9$), vagy barna erdőtalaj lúgos terhelésekor (${}^bBC_{12,5}=59,2$) mértek 50 feletti értéket (TRUSKAVECKIJ, 2003).

Az ásványi talajokra vonatkozóan a K_{ab} általában pozitív előjelű és $0,3 \div 0,8$ között változik értéke, jelezve a sav-bázis egyensúly eltolódását a savas tartomány felé (TRUSKAVECKIJ, 2003). Kivételt képeznek a típusos csernozjom ($K_{ab}=0,06$), továbbá néhány tőzeges talaj ($K_{ab}=0,04$), azaz a több szerves anyagot tartalmazó talajok.

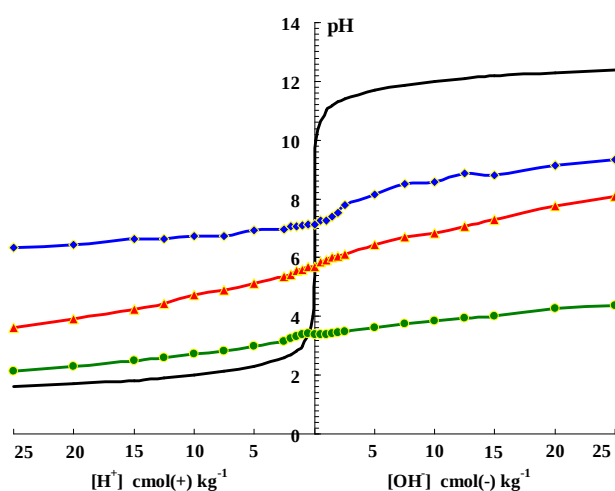
4.2.4 A szerves anyagok sav-bázis titrálási görbéit leíró függvények

4.2.4.1 A szerves anyagok titrálási görbéire illeszthető függvények és vizsgálatuk

Az ásványi talajok titrálási görbéi a gyenge savak és gyenge bázisokhoz hasonlóan többnyire jellegzetes „S” alakúak. A szerves anyagok rendszerint nagyobb pufferkapacitással rendelkeznek,

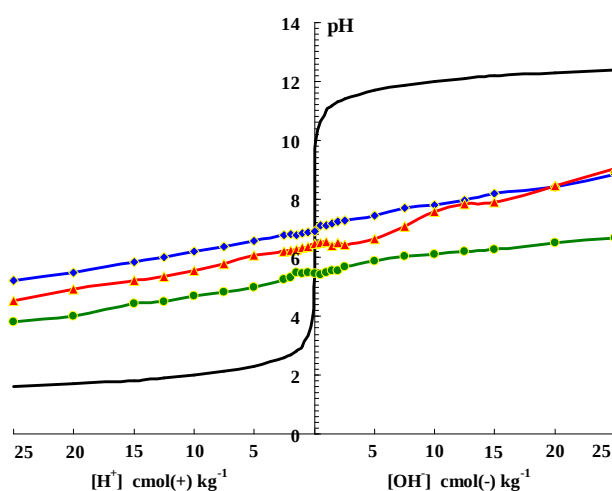
mint a talajok. A különbség értelemszerűen a titrálási görbék lefutásában is megmutatkozik. A 18. és 19. ábrákon megfigyelhető, hogy a szerves anyagok pH értéke a növekvő sav és lúg adagokkal történő kezelésekre hatására megközelítően lineárisan változik. JAMES & RIHA (1986) is hasonló megállapításra jutottak, amikor erdei avar pH változását vizsgálták különböző savterhelések mellett. MURÁNYI & RÉDLYNÉ (1986) több mint 10% szerves anyag tartalmú, erősen savanyú láptalaj titrálási görbéjének jellegét vizsgálva azt találták, hogy lefutása széles sav-adag tartományban lineáris. Szakkönyvekben publikált, szerves anyagokra felvett titrálási görbék alapján szintén arra a következtetésre juthatunk, hogy a változás tendenciája lineáris, habár a szerzők a diagramok elemzése során nem tesznek erre utalást (HARGITAI & NAGY, 1971, DI GLÉRIA et al., 1957).

A kutatás során, a savas és lúgos terhelések modellezésével választ kerestem arra a kérdésre, hogy milyen összefüggés van a kezelésekre nagysága és a pH változások között. A vizsgálatba bevont szerves anyagok mindegyikére vonatkozóan megállapítható, hogy titrálási görbéjének lefutása lineárisnak tekinthető, a titrálás során felvett pontokra egyenes illeszthető. A terhelésként adott sav, illetve lúg koncentrációk és a szuszpenziók egyensúlyi pH értékei közötti összefüggések formailag lineáris függvénykapcsolatként kezelhetők.



18. ábra. Tőzegek és kókuszrost titrálási görbéi:

- ◆ – hahóti síkláp tőzeg;
- ▲ – kókuszrost;
- – voloscsai világosbarna felláp tőzeg;
- kvarc homok



19. ábra. Komposzt és talajtakarók titrálási görbéi:

- ◆ – komposztált szőlőtörköly;
- ▲ – zúzott szalma;
- – fenyőavar;
- kvarc homok

A titrálási pontokra illesztett egyenes a szerves anyag vizes kivonatban mért pH értékénél metszi az ordináta tengelyt (20. ábra). Meredeksége azt mutatja meg, hogy a sav, illetve lúg koncentráció egységnyi emelkedése hány egységnyi változást eredményez az egyensúlyi oldatok pH értékében. A savas titrálás során bekövetkező pH csökkenés definíciója szerint a minta sav érzékenységét mutatja, lúgos titráláskor a pH növekedés pedig a lúg érzékenységet jelzi. Ezeket a pH

változásokat számszerűen a sav érzékenységi, illetve a lúg érzékenységi indexek fejezik ki. A sav érzékenységi index jelölésére bevezettem a aSen , a lúg érzékenységi index jelölésére a bSen kifejezéseket.

A savas, illetve a lúgos titrálás folyamata a következő függvényekkel írható le:

a savas titrálásra:

$$pH_a = pH_{H_2O} - ^aSen[H^+] \quad (26)$$

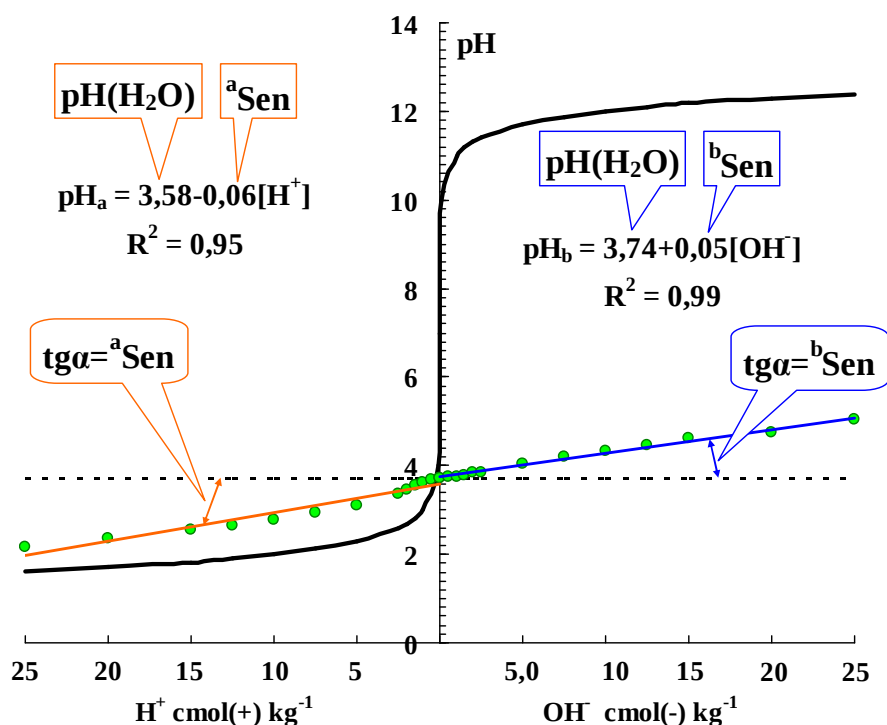
a lúgos titrálásra:

$$pH_b = pH_{H_2O} + ^bSen[OH^-] \quad (27)$$

ahol: pH_a és pH_b – a szuszpenziók egyensúlyi pH értéke adott koncentrációjú savval, illetve lúggal történő kezelés után;

pH_{H_2O} – a szerves anyag vizes kivonatának pH értéke;

$[H^+]$ és $[OH^-]$ – a kezelésként a szerves anyaghoz adott sav, illetve lúg koncentrációja, $cmol\ kg^{-1}$.



20. ábra. Az ivano-frankivszki sötétbarna felláptőzeg titrálási pontjaira illesztett egyenesek és függvényeik

- a regressziós egyenes a savas titrálásra;
- a regressziós egyenes a lúgos titrálásra;
- a kvarc homok titrálási görbéje;
- a felvett titrálási görbe;
- - - segédegyenes.

Az (26) és (27) egyenletek alapján felírhatjuk

a savas tartományra

$${}^a\text{Sen} = \frac{\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} - \text{pH}_a}{[\text{H}^+]} \quad (28)$$

a lúgos tartományra

$${}^b\text{Sen} = \frac{\text{pH}_b - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}}{[\text{OH}^-]} \quad (29)$$

Az érzékenységi index számszerű értéke azzal a pH csökkenéssel, illetve pH növekedéssel egyenlő, amelyet egy cmol sav, illetve lúg idéz elő egy kilogramm anyagra vonatkoztatva.

A (28) és (29) képletekből adódóan az érzékenységi index mértékegysége: $\text{pH cmol}^{-1} \text{ kg}$.

Minél kisebb a ${}^a\text{Sen}$, illetve a ${}^b\text{Sen}$ értéke, annál kevésbé érzékeny a vizsgált anyag a savas és a lúgos terhelésekkel szemben, annál jobban ellenáll a savas, illetve a lúgos hatásoknak. A sav és lúg érzékenységi indexek minimális értéke elméletileg nulla lehet, ami a hatásokkal szembeni érzéketlenségre utal. Reálisan ilyen érzékenység csak a nagy pufferkapacitású, pl. szerves anyagoknál és kizárólag szűk sav vagy lúgterhelés mellett feltételezhető. Az érzékenységi indexek maximális értéke, definíciójából következően a pH skálán belül kell, hogy legyen. Maximális érzékenységgel a savas és lúgos hatásokra a semleges kémhatású desztillált víz, továbbá a kvarc homok rendelkezik.

A sav érzékenységi index reciprokjá a sav puffer index, jelölése $-\beta$. A savas titrálásra felírható:

$$\frac{1}{{}^a\text{Sen}} = \beta = \frac{[\text{H}^+]}{\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} - \text{pH}_a} \quad (30)$$

A lúg érzékenységi index reciprokjá a lúg puffer index, jelölése $-\beta$, számszerű értéke a következő kifejezés alapján meghatározható:

$$\frac{1}{{}^b\text{Sen}} = \beta = \frac{[\text{OH}^-]}{\text{pH}_b - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (31)$$

A sav puffer index értéke azzal a sav mennyiséggel egyenlő, ami egy kilogramm szerves anyag pH értékét eggyel csökkenti, a lúg puffer index a lúg azon mennyiségével egyenlő, ami egy kilogramm szerves anyag pH értékét eggyel megnöveli. Mértékegysége: $\text{cmol pH}^{-1} \text{ kg}^{-1}$.

A szerves anyagok titrálása során felvett pontokra illesztett (26) és (27) függvényeket, valamint az érzékenységi indexekre vonatkozó összefüggéseket a FILEP (1991) által javasolt hatvány függvényekből is megkaphatjuk. Az általa javasolt egyenletekben (7) és (8) *(részletesen a dolgozat 27. és 28. oldalán)*, amennyiben $q=1$, illetve $p=1$, akkor a (26) és (27) összefüggésekhez jutunk:

$$\text{a savas titrálásra: } \text{pH}_X = \text{pH}_0 + k' (m_s)^1 = \text{pH}_X = \text{pH}_0 + k' m_s \quad (32)$$

$$\text{a lúgos titrálásra: } \text{pH}_X = \text{pH}_0 + k (m_b)^1 = \text{pH}_X = \text{pH}_0 + k m_b \quad (33)$$

A k' ezek szerint a sav érzékenységi index, a k pedig a lúg érzékenységi index megfelelője.

FILEP (1991) a pufferkapacitás reciprokját, a (9) és (10) összefüggéseket, vagyis az érzékenységi indexet, a (7) és (8) függvények differenciálásával kapja meg. Hasonlóan a fenti megfontolásokhoz, a q és p értékét egynek véve, eljutunk az érzékenységi indexeket leíró (28) és (29) összefüggésekhez:

ha $q=1$, akkor

$$\frac{dpH}{dm_s} = \frac{1}{\beta} = k' \cdot q \cdot (m_s)^{q-1} = k' \cdot 1 \cdot (m_s)^{1-1} = k' \quad (34)$$

ha $p=1$, akkor

$$\frac{dpH}{dm_b} = \frac{1}{\beta} = k \cdot p \cdot (m_b)^{p-1} = k \cdot 1 \cdot (m_b)^{1-1} = k \quad (35)$$

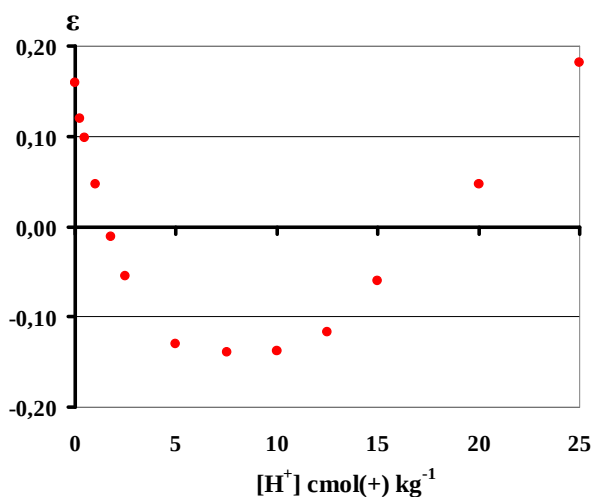
Az általam javasolt (26) és (27) lineáris függvények tehát a FILEP (1991) szerinti hatványfüggvények részesetének tekinthetők, amikor a pH változás sebességét jellemző konstansok értéke $q=1$ és $p=1$. Ez arra az esetre vonatkozik, amikor a minta érzékenysége és ennek alapján a pufferkapacitása a titrálás során – a vizsgált pH intervallumon belül – állandó marad.

A vizsgálatba bevont tözegek, komposztok és talajtakarók titrálási pontjaira, a legkisebb négyzetek módszerével elvégeztem a lineáris függvényillesztést. A determinációs együttható értéke 0,96 – 1,00, az illesztés standard hibája 0,03 – 0,26 pH egység között változik a szerves anyagtól függően. Az F-próba minden esetben igazolta a modell jóságát. A titrálási görbét leíró függvények paramétereire, azaz a kezdeti pH értékre, valamint a sav és lúg érzékenységi indexekre kiszámítottam azok 95%-os konfidencia határait. A regresszió egyenesre meghatároztam a konfidencia sávokat, továbbá a pH egyedi értékeire vonatkozó predikciós határokat. A statisztikai vizsgálatok eredményeit az 5. sz. melléklet foglalja össze (35 ÷ 74. ábrák).

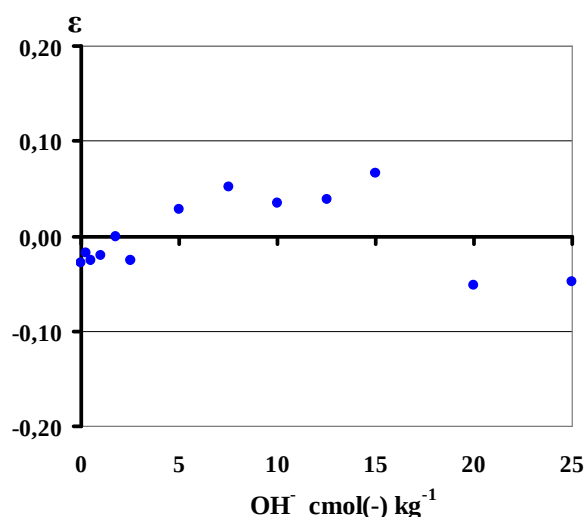
A szerves anyagok titrálási görbéi linearitásának okára a következő magyarázat szolgál. A proton megkötésre és leadásra képes funkciós csoportok pK értékei között a különbségek kicsik, a

disszociációs lépcsők egymást átfedik, emiatt a titrálási görbén nincsenek kifejezett maximumok, a titrálás során a pH érték monotonon és egyenletesen változik (ORLOV, 1990, TOMBÁ CZ, 2002). A titrálási pontokra így egyenes illeszthető, amely a szerves anyag tulajdonságaitól függően eltérő, de általában kis értékű irányszög alatt, mérsékelt emelkedést mutat a savastól a lúgos tartomány irányába.

A regresszió analízis során elvégzett maradéktagok vizsgálata rámutat, hogy a szerves anyagok titrálási görbéi csak közelítik az egyenest. A pH változás jellegéből adódó, a titrálási görbék lefutására jellemző „S” alak ebben az esetben is megmarad (21. és 22. ábrák). Az ábrákon a görbe jellegén kívül az is jól megfigyelhető, hogy a regresszióval kis és nagy sav, illetve lúg koncentrációknál a pH értéket túlbecsüljük, míg közepes koncentrációknál alulbecsüljük.



21. ábra. A maradéktagok szórása az ivankovszki tőzeg savas titrálása során



22. ábra. A maradéktagok szórása az ivankovszki tőzeg lúgos titrálása során

ε – a mért és a regresszió alapján becsült pH érték eltérése

A szerves anyag titrálási folyamatát leíró lineáris modell szigorúan csak a vizsgált sav, illetve lúg koncentráció határokra belül érvényes. A titrálási pontok felvétele során maximálisan 25 cmol kg⁻¹ sav és lúg terheléseket alkalmaztam. A linearitás érvényességének kiterjesztéséhez ettől nagyobb koncentráció tartományokra további vizsgálatok szükségesek. Nagyobb terheléseknél ugyanis a titrálási görbe ellaposodhat, ez az egyenes meredekségét jelentősen megváltoztathatja és a lineáris függvény a folyamatot csak nagy hibával fogja leírni.

A konfidencia sávok megmutatják, hogy a pH skálán belül milyen határok között mozog a regressziós egyenes. A tényleges és a modell alapján meghatározott pH értékek közötti eltérések elfogadásában vagy elvetésében az adatok felhasználásának céljai is meghatározó tényezők.

4.2.4.2 A szerves anyagok érzékenységi indexeinek és puffer indexeinek számszerű értékei

A szerves anyagok titrálási pontjaira illesztett lineáris függvények paraméterei megadják a sav és lúg érzékenységi indexek számszerű értékeit. A puffer indexeket az érzékenységi indexek alapján számítottam. A szerves anyagok sav-bázis pufferképességét jellemző érzékenységi és puffer indexek számszerű értékeit a 13. táblázat foglalja össze.

13 táblázat. A szerves anyagok sav-bázis titrálási egyenletéből számított érzékenységi és puffer index értékek

A szerves anyag megnevezése	érzékenységi index		puffer index	
	^a Sen	^b Sen	^a β	^b β
	pH cmol ⁻¹ kg		cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹	
Tőzegek				
litván fehér felláptőzeg	0,08	0,08	12,5	12,5
voloscsai világos barna felláptőzeg	0,05	0,04	20,0	25,0
ivano-frankivszki sötét barna felláptőzeg	0,06	0,06	16,7	16,7
voloscsai sötét barna vegyes tőzeg	0,06	0,10	16,7	10,0
király-tói rostos síkláptőzeg	0,04	0,04	25,0	25,0
hansági rostos síkláptőzeg	0,05	0,07	20,0	14,3
pötrétei síkláptőzeg	0,06	0,11	16,7	9,1
szélmezői síkláptőzeg	0,13	0,21	7,7	4,8
hahóti síkláptőzeg	0,03	0,09	33,3	11,1
Kókuszrost				
kókuszrost	0,09	0,09	11,1	11,1
Komposztok, nyersanyagok				
istállótrágya	0,11	0,17	9,1	5,9
komposztált marhatrágya	0,03	0,06	33,3	16,7
nyers szőlőtörköly	0,11	0,18	9,1	5,6
komposztált szőlőtörköly	0,07	0,07	14,3	14,3
komposztált szőlőtörköly+baromfitrágya	0,04	0,10	25,0	10,0
Talajtakarók				
bomlatlan avar (őshonos bükkös erdő)	0,09	0,06	11,1	16,7
bomlatlan avar (őshonos fenyőerdő)	0,07	0,05	14,3	20,0
bomlatlan avar (tölgyes parkerdő)	0,05	0,08	20,0	12,5
bomlatlan avar (gyümölcsös)	0,11	0,06	9,1	16,7
zúzott szalma	0,08	0,11	12,50	9,1

A szerves anyagok savérzékenységi indexeinek átlaga $0,07 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$, a minimum érték $0,03 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$, a maximum $0,13 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$. A lúgérzékenységi index átlaga a vizsgált szerves anyagokra $0,09 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$ és $0,04 - 0,21 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$ között változik. A sav puffer indexek átlagos értéke $17,0 \text{ cmol pH}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ (minimum – maximum: $7,70 - 33,3 \text{ cmol pH}^{-1} \text{ kg}^{-1}$), míg a lúg puffer index átlaga $13,5 \text{ cmol pH}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ (minimum – maximum: $4,8 - 25,0 \text{ cmol pH}^{-1} \text{ kg}^{-1}$).

Az érzékenységi indexek – ^aSen és ^bSen – valamint a puffer indexek – $^a\beta$ és $^b\beta$ – olyan egzakt paraméterek, amelyek megfelelően jellemzik a szerves anyagok sav-bázis pufferképességét.

A titrálási görbék által határolt területek, indokolt esetben, az érzékenységi indexek alapján számíthatók a következő képletek szerint:

$$S_{\text{savas}} = \frac{{}^a\text{Sen} \cdot [\text{H}^+]^2}{2} \quad (36)$$

$$S_{\text{lúgos}} = \frac{{}^b\text{Sen} \cdot [\text{OH}^-]^2}{2} \quad (37)$$

ahol: S_{savas} és $S_{\text{lúgos}}$ – a savas és a lúgos titrálás során felvett görbék által határolt területek nagysága.

A ^aBC és ^bBC értékeinek meghatározásához tehát elegendő az érzékenységi index szám-szerű értékének ismerete. A pufferkapacitás a (36) és (37) képletek alapján tetszőleges sav és lúg koncentráció tartományra számítható.

4.3 Az ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének értékelése

A vizsgált ásványi anyagok összetételük szerint kőzetek. Többnyire bányászott termékek, amelyeket a kitermelést követően rendszerint aprítanak, szükség esetén rostálnak és osztályoznak. Egyes kőzeteket magas hőfokon történő kezeléssel célirányosan modifikálnak, előnyösebbé téve így kertészeti célú felhasználásukat. Megjelenésükben, fizikai tulajdonságaikban nagyon különböző anyagok. A kémiai tulajdonságaikat jellemző paraméterek értékei is tág határok között változnak. A kőzetek néhány jellemző tulajdonságát az 14. táblázat foglalja össze.

A vizsgált ásványi anyagok rendkívül eltérően viselkednek a savas és lúgos hatásokkal szemben. Megtalálhatók közöttük a sav, illetve bázis pufferkapacitással nem, vagy csak kis mértékben rendelkező kőzetek és a nagyon jelentős sav-, illetve lúgsemlegesítéssel bíró anyagok is (23. ábra). Az eltérő viselkedésű ásványi anyagok sav-bázis pufferképességét jellemző paramétereket, azok értékeit és a lehetséges puffer mechanizmusokat külön-külön értékelem.

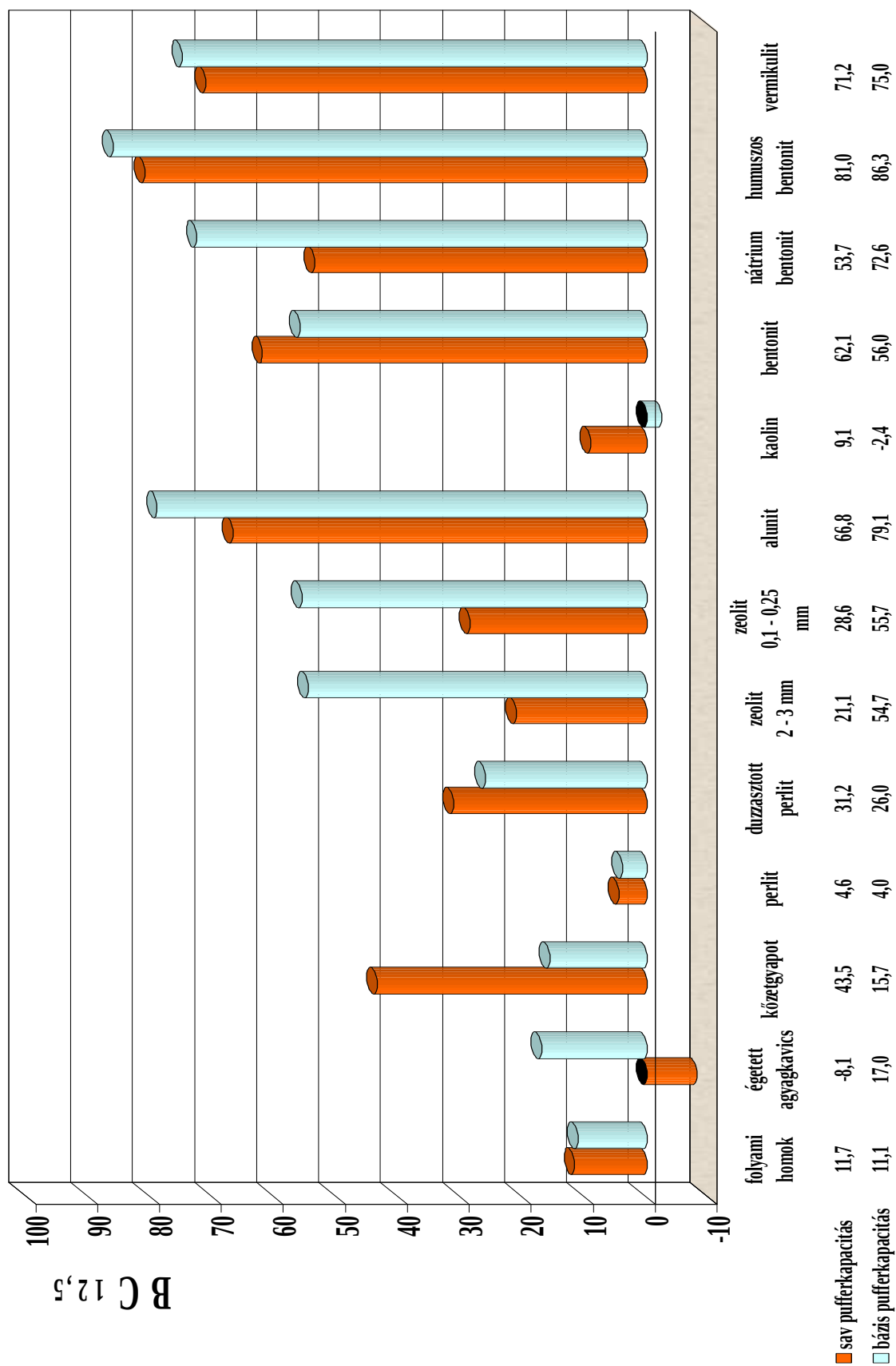
14. táblázat Az ásványi anyagok néhány jellemző tulajdonsága

Ásványi anyagok	pH		Hidro-litikus aciditás	Kicserélhető aciditás			E _χ	Izzítási veszteség	Ned-vesség tartalom
				összes	H ₃ O ⁺	Al ³⁺			
	H ₂ O	KCl	cmol kg ⁻¹				μS cm ⁻¹	%	%
flyami homok	7,20	6,44	0	0	0	0	59	0	0
kőzetgyapot	7,76	7,20	0	0	0	0	148	0	0
égetett agyagkavics	8,09	8,01	0	0	0	0	79	0	0,1
perlit	6,91	5,42	0,67	0,04	0,04	0	35	0	0,5
duzzasztott perlit	7,33	6,89	0,41	0,02	0,02	0	37	0	0,7
kaolin	7,24	6,78	0,18	0,05	0,05	0	34	0	0,1
bentonit	5,59	4,05	5,90	1,24	0,04	1,20	52	9,0	12,3
nátrium bentonit	9,26	7,70	0,36	0,08	0,08	0	203	0	5,8
humuszos bentonit	6,10	4,92	19,44	0,10	0,10	0	130	32,9	9,4
vermikulit	8,41	7,65	0,12	0,09	0,09	0	214	7,4	2,2
zeolit	7,85	7,25	0,31	0,21	0,21	0	572	0	5,3
alunit	8,80	7,59	0,33	0,21	0,21	0	660	0	9,4

Megjegyzés: a vastagon szedett pH értékek 1:10, a normál betűstílussal szedettek 1:2,5 kőzet:oldat arány mellett lettek meghatározva

4.3.1 A homok sav-bázis pufferképességének értékelése

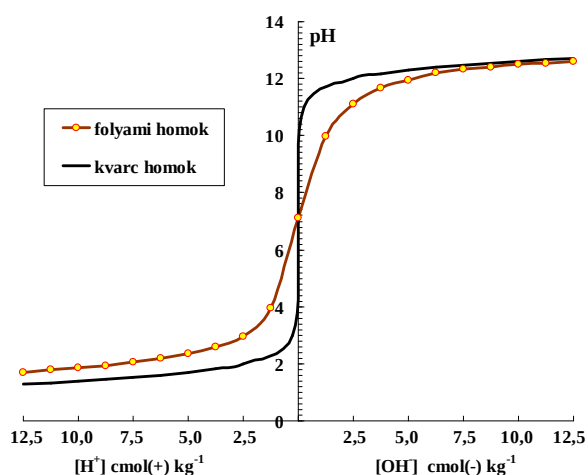
A pufferképesség tanulmányozásában és kvantitatív értékelésében a homoknak megkülönböztetett szerepe van. A talajt egyfajta megközelítésben olyan közegnek tekinthetjük, amelyben több, egymással kölcsönhatásban is lévő, protonfelvételre illetve leadásra képes komponens (karbonátok, agyagásványok, humuszanyagok, oxidok, hidroxidok, stb.), az említett folyamatokban indifferens anyaggal – homokkal – van „felhígítva”. A kertészeti termesztésben célirányosan alkalmaznak is ilyen hígítást gyökérrögzítés, térfogat kitöltés céljából.



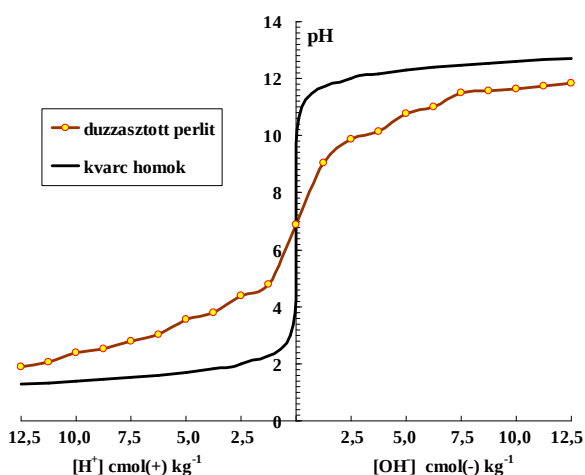
23. ábra. Az ásványi anyagok sav pufferkapacitása és lúg pufferkapacitása

A tiszta kvarc homokról elfogadjuk, hogy sav-bázis tompítóképességgel nem rendelkezik. Titrálási görbáját a savas tartományban az erős sav, lúgos tartományban az erős lúg görbéjével vesszük egyenlőnek. A sav-bázis pufferképesség kvantitatív értékelése során a kvarchomok egy olyan közeg szerepét tölti be, amelyiknél a tompítóképesség mind a savas, mind a lúgos tartományban nullával egyenlő. A talaj vagy talajkomponens, ásványi és szerves anyag sav-bázis pufferkapacitását a homokéhoz, mint zéró értékhez viszonyítjuk. Az általam elvégzett mérések is igazolták a homok indifferens szerepét a proton felvételben, illetve leadásban. A kvarc homok titrálási görbéje és az erős sav, illetve lúg titrálási görbéje közötti különbség nem szignifikáns.

A kertészeti termesztésben folyami vagy bánya homokot használnak. Ezek a bányászott termékek már nem kizárólag a savas és lúgos hatásokkal szemben közömbös kvarcot tartalmazzák. A folyami homokban iszap, elhalt növényi és állati maradványok (szerves anyag, mészh) található, amitől kertészeti célú felhasználása előtt ajánlott megtisztítani. A homokban azonban az atmoszféra követően is maradhatnak vissza olyan anyagok, amelyek rendelkeznek bizonyos mértékű sav-bázis pufferképességgel.



24. ábra A folyami homok titrálási görbéje



25. ábra A duzzasztott perlit titrálási görbéje

A vizsgált folyami homok sav pufferkapacitása ${}^aBC_{12,5}=11,7$, bázis pufferkapacitása ${}^bBC_{12,5}=11,1$ egység (23. ábra). A titrálási görbe lefutása alapján megfigyelhető, hogy a kis mennyiségben hozzáadott sav illetve lúg is jelentősen megváltoztatja a folyami homok kezdeti pH értékét (24. ábra). Az egy cmol kg^{-1} sav mennyiség 2,66 pH csökkenést, míg az egy cmol kg^{-1} lúg 2,41 pH növekedést eredményez a kezdeti pH értékhez viszonyítva (15. táblázat). A pH változás nagysága azonban elmarad attól, amit a tiszta kvarc homok esetében tapasztaltam.

A $\text{pH}=3,5$ értékig történő lesavanyításhoz a folyami homoknál közel kétszer annyi savra van szükség, mint a kvarc homok esetében. Hasonló arányok figyelhetők meg a két homok ${}^b\beta_0^{10}$ értéke-

re vonatkozóan is. A folyami homok pufferképessége az ülepedés során lerakódott szerves maradványoknak, agyagnak, egyéb felület aktív anyagoknak tulajdonítható. A terhelés növelésével a folyami homok csekély pufferkapacitása gyorsan kimerül és a kémhatás változások a növekvő sav, illetve lúg koncentrációk következtében folyamatosan közelítik a kvarc homok esetében mért értékeket.

15. táblázat A homok sav-bázis pufferképességét jellemző paraméterek

Megnevezés	$^a Sen_0^1$	$^b Sen_0^1$	$^a \beta_0^1$	$^b \beta_0^1$	$^a \beta_0^{3,5}$	$^b \beta_0^{10}$	K_{ab}
	pH cmol ⁻¹ kg		cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹		cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹		
kvarc homok	4,00	4,00	0,25	0,25	0,84	0,72	–
folyami homok	2,66	2,41	0,38	0,40	1,60	1,27	-0,03

4.3.2 A perlit sav-bázis pufferképességének értékelése

A perlit víztartalmú anyaga hevítéskor saját térfogatának többszörösére duzzad. A sav-bázis pufferképesség vizsgálatba bevontam a hőkezelés nyersanyagát képező vulkáni kőzetet és a kertészeti termesztésben alkalmazott duzzasztott perlitet is.

A bányászott kőzet pufferkapacitása a legkisebb a vizsgált ásványi anyagok között, sav pufferkapacitása ($^a BC_{12,5}=4,6$) és lúg pufferkapacitása ($^b BC_{12,5}=4,0$) gyakorlatilag elhanyagolható (23. ábra). A perlit rendkívül érzékeny mind a savas, mind a lúgos terhelésekre. Egy cmol kg⁻¹ sav, illetve lúg közel egyformán, több mint 3,5 egységgel csökkenti, illetve növeli a perlit pH-ját az eredeti értékéhez képest (16. táblázat).

16. táblázat. A perlit sav-bázis pufferképességét jellemző paraméterek

Megnevezés	$^a Sen_0^1$	$^b Sen_0^1$	$^a \beta_0^1$	$^b \beta_0^1$	$^a \beta_0^{3,5}$	$^b \beta_0^{10}$	K_{ab}
	pH cmol ⁻¹ kg		cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹		cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹		
perlit	3,55	3,52	0,26	0,18	1,02	0,62	-0,08
duzzasztott perlit	1,76	1,83	0,55	0,54	5,15	2,97	-0,09

A duzzasztott perlit viszont már rendelkezik bizonyos pufferképességgel. Titrálási görbéjének lefutása eltér a savas és lúgos hatásokkal szemben közömbös kvarc homok görbájától (25. ábra, 79. oldal). Egyensúlyi oldatának kémhatásában a legjelentősebb változást a vizsgálatban alkalmazott legkisebb sav illetve lúgterhelések okozzák, a ${}^a Sen_0^1$ és a ${}^b Sen_0^1$ értékei közel két egységet tesznek ki (16. táblázat). A további sav, illetve lúg adagok már nem idéznek elő ilyen mértékű kémhatás változást. A terhelés növelésével a duzzasztott perlit görbéje egyenletesen közelíti a kvarc homok titrálási görbáját, ami azt bizonyítja, hogy pufferkapacitása kimerülőben van. A duzzasztott perlit lúgos tartományban mért pufferkapacitása ${}^b BC_{12,5}=26,0$ egység, a sav semlegesítő képessége valamelyest nagyobb és ${}^a BC_{12,5}=31,2$ egységet tesz ki. A hőkezelés során tehát a közetben olyan változások is végbe mennek, amelyek következtében a perlit sav-bázis pufferképessége megnövekszik.

4.3.3 Az égetett agyagkavics sav-bázis pufferképességének értékelése

Az égetett agyagkavics kémiaileg inert közeg, titrálási görbéjének lefutása nagymértékben közelíti a kvarc homokét (26. ábra). Értelmszerűen az égetett agyagkavics nagyon érzékeny a lúgos hatásokra: egy cmol kg^{-1} hidroxid-ion ${}^b Sen_0^1=3,2$ pH cmol^{-1} kg növekedést okoz a kiindulási értékéhez képest (17. táblázat). A pH 10 érték eléréséhez mindössze ${}^b \beta_0^{10}=0,31$ cmol kg^{-1} lúgra van szükség.

17. táblázat. Hőkezeléssel előállított ásványi anyagok sav-bázis pufferképességét jellemző paraméterek

Megnevezés	${}^a Sen_0^1$	${}^b Sen_0^1$	${}^a \beta_0^1$	${}^b \beta_0^1$	${}^a \beta_0^{3,5}$	${}^b \beta_0^{10}$	K_{ab}
	pH cmol^{-1} kg		cmol pH^{-1} kg^{-1}		cmol pH^{-1} kg^{-1}		
égetett agyagkavics	3,77	3,19	0,24	0,18	1,29	0,31	–
kőzetgyapot	1,57	2,76	0,71	0,26	> 25	1,08	-0,47

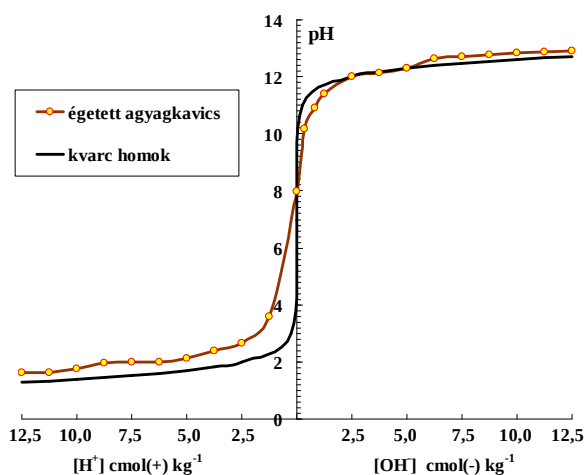
Az égetett agyagkavics titrálási görbéjének lefutása a lúgos tartományban és a lúg pufferkapacitás viszonylag magas értéke (${}^b BC_{12,5}=17,0$) széndioxid elnyelésre utal. Előállításánál az anyagban pórusos belső szerkezet alakul ki. A vonatkozó szakirodalom szerint az égetett agyagkavics porozitása több mint 80% (GÜNTHER, 1981). A pórusokban megszorult levegő széndi-

oxidja és a kezelésként alkalmazott lúg között kialakuló egyensúly okozhatja, legalábbis részben, az égetett agyagkavics mérhető lúg pufferkapacitását.

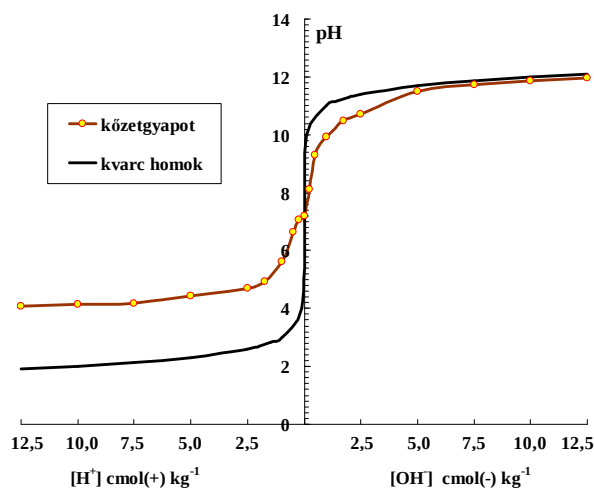
A savas terhelésekre az agyagkavics még érzékenyebben reagál, mint a lúgosra. Egy cmol kg^{-1} sav a kiindulási értékhez viszonyítva jelentős, 3,77 egységnyi pH csökkenést okoz. A pH 3,5 érték eléréséhez $1,29 \text{ cmol kg}^{-1}$ savra van szükség, ami az anyag gyengén lúgos kémhatását is figyelembe véve, ugyancsak a fokozott sav érzékenységét mutatja.

4.3.4 A kőzetgyapot sav-bázis pufferképességének értékelése

A kőzetgyapot kémhatása gyengén lúgos, a vizes és a kálium-kloridos pH értékek között mintegy 0,4 egységnyi eltérést mértem. A savas tartományban a kőzetgyapot közepes pufferképességgel rendelkezik, sav pufferkapacitása $^a\text{BC}_{12,5} = 43,5$ egységet tesz ki (23. ábra). Eltérően egyéb inert, szervesetlen közegektől, savas hatásokkal szembeni tompítóképessége a pH értéktől függően jelentősen változik (27. ábra). A pH 4,9 – 7,2 intervallumban a sav puffer index értéke nagyon alacsony, a kőzetgyapot kis savterhelésekre is érzékenyen reagál (18. táblázat). Egy cmol kg^{-1} proton hozzáadása a közeghez 1,40 egységgel csökkenti pH-ját. A pH 4,2 – 4,9 értékek között a kőzetgyapot sav érzékenysége jelentősen kisebb az előző pH-intervallumhoz képest, egy cmol kg^{-1} savterhelés mindössze 0,12 pH csökkenést idéz elő. A $\text{pH} < 4,2$ szakaszon sav érzékenysége tovább csökken, az egyensúlyi oldatok kémhatása a növekvő savterhelések nyomán csak minimális mértékben változik. A puffer index közel százszorosa a pH 7,2 – 4,9 intervallumban mért értéknek.



26. ábra. Az égetett agyagkavics titrálási görbéje



27. ábra. A kőzetgyapot titrálási görbéje

A titrálási görbe jellege és a sav puffer index értékének dinamikus növekedése arra utal, hogy a kémhatás csökkenésével párhuzamosan az egyensúlyi oldatban nagy savsemlegesítő kapacitással rendelkező anyag jelenik meg fokozatosan növekvő mennyiségben. A szakirodalom utal rá, hogy a kőzetgyapot pH 5 alatt számottevően oldódik (SAVVAS & PASSAM, 2002). Feltételezhetően a foko-

zódó savterhelés hatására, az oldódás növekedésével, a kőzetgyapot összetételében megtalálható bázikus kationok vegyületei egyre nagyobb mennyiségben oldatba jutnak és semlegesítik a terhelésként kijutatott sav egy részét.

18. táblázat. A kőzetgyapot sav érzékenységi és puffer indexeinek változása különböző pH-intervallumokban

pH intervallum	^a Sen pH cmol ⁻¹ kg	^a β cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹
7,2 – 4,9	1,40	0,72
4,9 – 4,2	0,12	8,27
4,2 – 3,9	0,01	71,43

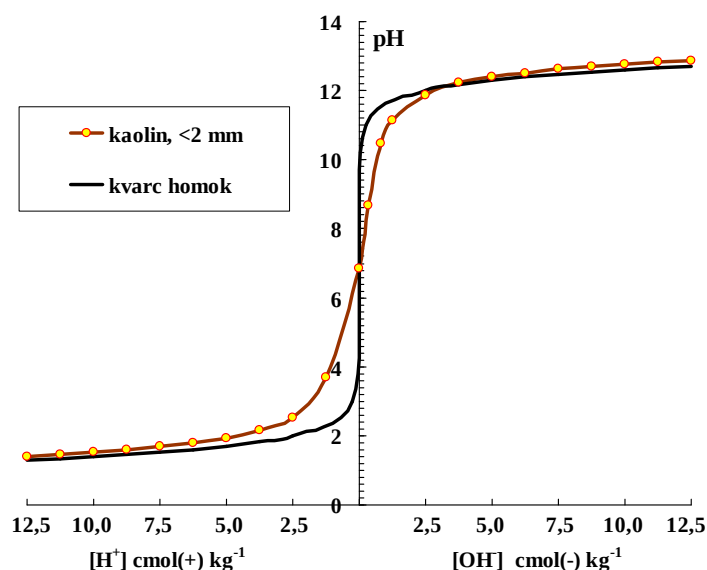
A lúgos terhelésekkel szemben a kőzetgyapot inaktív közegként viselkedik. A kétmintás párosított t-próba p=0,025 szignifikancia szint felett mutat eltérést a kőzetgyapot és a kvarc homok titrálási görbéi között. A lúg pufferkapacitás értéke alacsony, ^bBC_{12,5}=15,7. A kezdeti értékhez képest egy cmol kg⁻¹ lúgterhelés jelentős, mintegy 2,8 egységnyi pH növekedést okoz, miközben az egyensúlyi oldat kémhatása erősen lúgossá válik.

4.3.5 A kaolin sav-bázis pufferképességének értékelése

A kaolinit – a vizsgált kaolin domináns összetevője – 1:1 típusú réteggkomplexumokkal rendelkező dioktaéderes agyagásvány, összetételében vízmolekulákat nem tartalmaz csak hidroxid-csoportokat (YARIV, 1992). Szerkezetében három, különböző helyzetű – külső, belső felületi és belső – OH⁻-csoportot különböztetünk meg (LEDOUX & WHITE, 1964). Feltételezhető, hogy elsősorban a külső OH⁻-csoportoknak – melyek az oktaéderes réteg felületén, valamint a törés mentén találhatók – tulajdonítható a csekély, de mérhető proton megkötődés. A kaolin sav pufferkapacitása ^aBC_{12,5}=9,1 (23. ábra). A természetes pH értékéhez viszonyítva egy cmol kg⁻¹ sav, ugyanúgy, mint a folyami homoknál, 2,67 egységnyi csökkenést okoz (19. táblázat, 85. oldal). A kaolin kémhatása 1,38 cmol kg⁻¹ savmennyiséggel pH 3,5 alá vihető.

A kaolin nagyon érzékeny a lúgos terhelésekkel szemben. Egy cmol kg⁻¹ lúg több mint 4 egységgel emeli meg pH értékét az eredetihez képest. A lúgos terhelés növekedésével az egyensúlyi oldatok pH értéke nagyobb lesz, mint a NaOH oldatainak számított pH-ja, titrálási görbéje ezért a kvarc homokhoz viszonyítva magasabbra emelkedik (28. ábra). A titrálási görbe sajátos lefutása miatt a kaolin lúg pufferkapacitása negatív értéket vesz fel, ^bBC_{12,5}=-2,42. A kaolinit kristálykémiái képletét alapul véve, az ásvány mintegy 1500 cmol kg⁻¹ hidroxid-csoportot tartalmaz. Az erő-

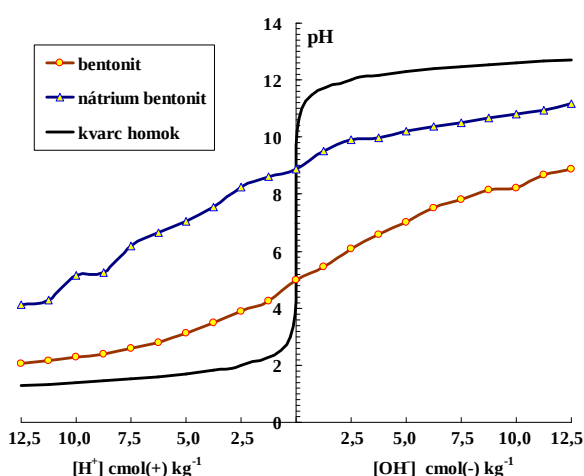
sen lúgos kémhatás mellett végbe mehet az agyag részleges destrukciója és az oldatba jutott, OH^- -csoportokat tartalmazó anyagok okozhatják a minimális emelkedést a kezelésre használt lúgoldat pH értékeihez képest.



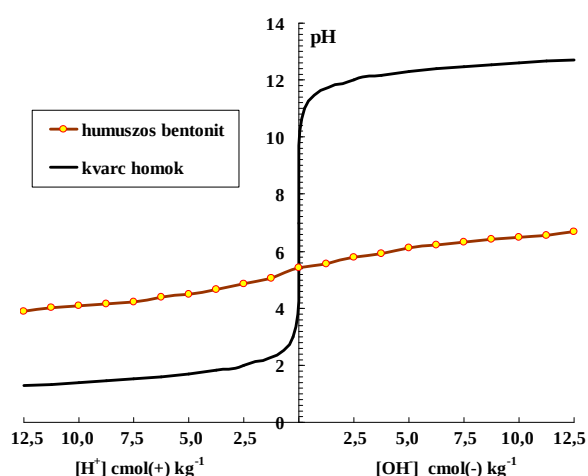
28. ábra. A kaolin titrálási görbéje

4.3.6 A bentonitok sav-bázis pufferképességének értékelése

Különböző eredetű és tulajdonságú bentonitok sav-bázis pufferképességét vizsgáltam. A rákospataki bentonit kémhatása savanyú, vizes és kálium-kloridos pH értéke között közel 1,3 egységnyi különbség van, hidrolitikus aciditása $5,9 \text{ cmol kg}^{-1}$ (14. táblázat). Ez a bentonit számottevő kicserélhető aciditással is rendelkezik, amely a mérések szerint alapvetően a kicserélhető Al^{3+} -ionoknak tulajdonítható.



29. ábra. A bentonit és a Na-bentonit titrálási görbéi



30. ábra. A humuszos bentonit titrálási görbéje

A bentonit sav pufferkapacitása nagy, értéke $^a BC_{12,5} = 62,1$ (23. ábra). A növekvő sav mennyiség hozzáadása nyomán bekövetkező kémhatásváltozás azonban nem egyenletes. Kezdetben a bentonit a kis terhelésekre is viszonylag érzékenyen reagál, egy cmol kg^{-1} sav 0,6 pH csökkenést idéz elő (19. táblázat). A továbbiakban a folyamatosan növekvő savmennyiségek már nem okoznak ilyen mértékű pH változást, a titrálási görbe ellaposodik (29. ábra). A vonatkozó szakirodalom szerint erősen savanyú kémhatás mellett megindul az agyagásványok szétesése, aminek során jelentős mennyiségű proton képes semlegesítődni (GORBUNOV, 1978, SOKOLOVA et al, 2005). A bentonit nagy sav pufferkapacitása részben abból is adódik – erre a titrálási görbe alacsonyabb pH értékeknél bekövetkező ellaposodása mutat rá, – hogy magas hidrogén-ion koncentrációknál már kis pH változások eléréséhez is nagy savadagokra van szükség.

19. táblázat. Az agyagásvány tartalmú ásványi anyagok sav-bázis pufferképességét jellemző paraméterek

Megnevezés	$^a Sen_0^1$	$^b Sen_0^1$	$^a \beta_0^1$	$^b \beta_0^1$	$^a \beta_0^{3,5}$	$^b \beta_0^{10}$	K_{ab}
	pH $\text{cmol}^{-1} \text{kg}$		$\text{cmol pH}^{-1} \text{kg}^{-1}$		$\text{cmol pH}^{-1} \text{kg}^{-1}$		
kaolin	2,67	4,05	0,34	0,22	1,38	0,68	-0,58
bentonit	0,60		2,18		3,70	> 12,5	-0,05
vermikulit	0,27	0,20	3,68	5,02	> 12,5	6,14	0,03

A bentonit lúgos titrálási görbéjére egyenes illeszthető (5. sz. melléklet, 75. ábra). A pH érték 0,31 egységnyit növekszik minden cmol kg^{-1} NaOH hozzáadás után (20. táblázat). A lúgos terhelések semlegesítésében jelentős szerepe lehet a hidrolitikus, illetve a kicserélhető savanyúságot okozó ionoknak. További megkötődést tesznek lehetővé a montmorillonit rétegsíkjainak töréshelyein kialakuló aktív funkciós csoportok és a víz molekulák kölcsönhatásaként létrejött amfoter tulajdonságú hidroxid felületek, amelyek a pH függvényében protonálódhatnak, illetve deprotonálódhatnak (FÖLDVÁRI & KOVÁCS-PÁLFFY, 2005). Nagy mennyiségű NaOH hozzáadásakor a montmorillonit felületén lévő töltéseket Na-ionok telítik. Az oldatban ekkor erős koaguláció figyelhető meg.

A Na-bentonit titrálási görbéjének lefutása lineáris a vizsgált pH intervallumban, de a pufferképességét jellemző paraméterek eltérőek a savas és lúgos terhelések mellett (5. sz. melléklet, 78. és 79. ábrák). A savas hatásokra a Na-bentonit sokkal érzékenyebben reagál, mint a lúgosra. A lúg puffer index értéke több mint 2,5-szer nagyobb a sav puffer indexnél (20. táblázat). Ez az eltérés

megmutatkozik a pufferkapacitás nagyságában is. A ${}^b\text{BC}_{12,5}$ számszerűen mintegy 30 egységgel nagyobb a Na-bentonit ${}^a\text{BC}_{12,5}$ értékénél (23. ábra). A sav és a bázis pufferképesség viszonya látványosan a pH 3,5 és pH 10 értékek eléréséhez szükséges sav, illetve lúg mennyiségek összehasonlításakor változik meg. A pH 3,5 érték eléréséhez a Na-bentonithoz több, mint $12,5 \text{ cmol kg}^{-1}$ savat kell adagolni, míg a pH=10 értéket – a nagyobb lúg puffer index ellenére – mindössze $4,51 \text{ cmol kg}^{-1}$ lúghozzáadásával el lehet érni. Az ellentmondást a Na-bentonit magas kiindulási pH értékével – $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) 9,26$ – lehet megmagyarázni.

20. táblázat. A bentonitok sav-bázis pufferképességét jellemző paraméterek értékei

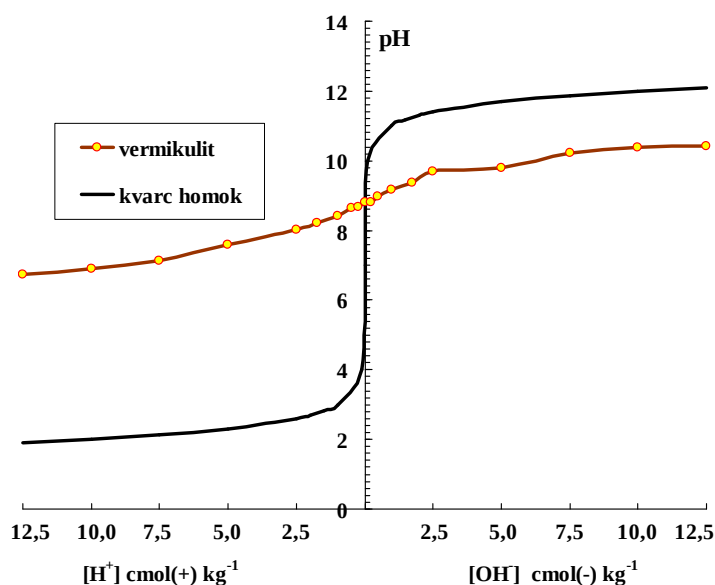
Az alkalmazott kezelés	A terhelés nagyságát és a pH változás összefüggéseit leíró függvény	R^2	Sen $\text{pH cmol}^{-1} \text{ kg}$	β $\text{cmol pH}^{-1} \text{ kg}^{-1}$
bentonit				
lúgos titrálás	$\text{pH} = 5,27 + 0,31[\text{OH}^-]$	0,97	0,31	3,23
Na-bentonit				
savas titrálás	$\text{pH} = 9,08 - 0,41[\text{H}^+]$	0,99	0,41	2,44
lúgos titrálás	$\text{pH} = 9,30 + 0,16[\text{OH}^-]$	0,94	0,16	6,25
humuszos bentonit				
savas titrálás	$\text{pH} = 5,18 - 0,11[\text{H}^+]$	0,94	0,11	9,09
lúgos titrálás	$\text{pH} = 5,52 + 0,10[\text{OH}^-]$	0,97	0,10	10,0

A humuszos bentonit közel egyformán és nagyon jól semlegesíti mind a savas, mind a lúgos hatásokat. Sav pufferkapacitás (${}^a\text{BC}_{12,5}=81,0$) és bázis pufferkapacitás (${}^b\text{BC}_{12,5}=86,3$) értéke egyaránt igen nagy. A savas és lúgos terhelések nagysága és a pH változások közötti összefüggés lineáris (5. sz. melléklet, 76. és 77. ábrák). A regressziós egyenlet alapján meghatározott sav és lúg puffer indexek a szerves anyagokra mért értékekkel egy nagyságrendűek (20. táblázat). A titrálási görbe lefutásának jellege és a pufferképesség mérőszámai arra utalnak, hogy a humuszos bentonit esetében a terhelések semlegesítésében a szerves anyagnak van meghatározó szerepe.

4.3.7 A vermikulit sav-bázis pufferképességének értékelése

A sav-bázis pufferképesség vizsgálatokat nem duzzasztott vermikulittal végeztem. Kémhatása lúgos, a kis mértékű potenciális savanyúságon belül a kicserélhető H_3O^+ -ionok dominálnak (14. táblázat).

A vermikulit a savas és lúgos tartományban egyaránt jelentős pufferkapacitással rendelkezik. Sav pufferkapacitása $^a\text{BC}_{12,5}=71,2$ egység, bázis pufferkapacitása $^b\text{BC}_{12,5}=75,0$ egységet tesz ki (23. ábra). A titrálási görbe több, jól elkülöníthető szakaszra bontható a savas és a lúgos tartományban is (31. ábra).



31. ábra. A vermikulit titrálási görbéje

A vermikulit legérzékenyebben a kismértékű proton terhelésekre reagál, a 0 – 2,5 cmol kg⁻¹ sav koncentráció tartományban $^a\beta=3,23$ cmol pH⁻¹ kg⁻¹ (21. táblázat). A 2,5 – 7,5 cmol kg⁻¹ sav koncentráció intervallumban egy egységnyi pH csökkenéshez 5,56 cmol kg⁻¹ sav szükséges. További savterheléseknél a puffer index értéke ugrásszerűen megnövekszik.

21. táblázat. A vermikulit érzékenységi és puffer indexeinek változása különböző sav és lúgterheléseknél

A terhelés nagysága, cmol kg ⁻¹	^aSen pH cmol ⁻¹ kg	$^a\beta$ cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹	^bSen pH cmol ⁻¹ kg	$^b\beta$ cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹
0 – 2,5	0,31	3,23	0,35	2,86
2,5 – 7,5	0,18	5,56	0,11	9,09
7,5 – 12,5	0,08	12,50	0,01	100,00

Hasonló tendenciát mutat a vermikulit pufferképességének változása a lúgos titrálás során is (21. táblázat). A 0 – 2,5 cmol kg⁻¹ terheléseknél legnagyobb a lúg érzékenység, egységnyi pH változást 2,86 cmol kg⁻¹ lúgterhelés mellett lehet elérni. A 2,5 – 7,5 cmol kg⁻¹ koncentráció intervallumban a puffer index értéke több mint háromszorosára növekszik. A vermikulit maximális pufferkapacitása 10 cmol kg⁻¹ és ettől nagyobb terheléseknél figyelhető meg. Kémhatása állandósul és további lúgterhelések hatására gyakorlatilag nem növekszik. Feltételezhető, hogy pH 10 fölött megindul az ásvány erőteljes szétesése és a keletkező termékek semlegesítik a lúgos hatásokat.

4.3.8 A zeolit sav-bázis pufferképességének értékelése

A titrálási görbék felvételét a zeolit két frakciójára végeztem el. Vizsgáltam egy nagyobb, 2 – 3 mm szemcsetartományt (granulátum) és egy 0,1 – 0,25 mm szemcseméretű (porított) zeolitot. A zeolit vízben mért kémhatása gyengén lúgos, a porított zeolit pH értéke 0,5 egységgel magasabb (14. táblázat).

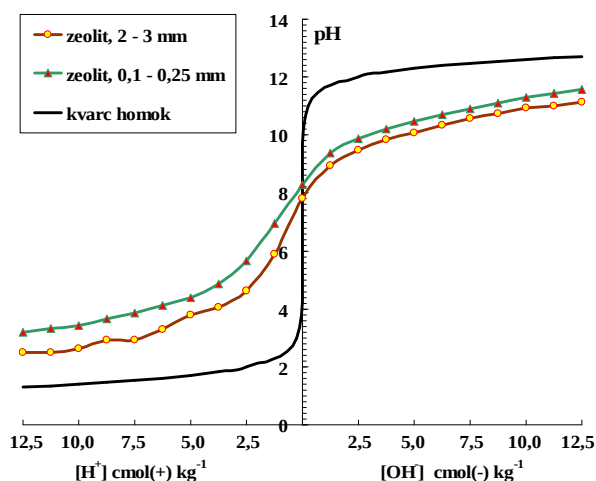
A zeolit a savas és lúgos terhelésekkel szemben eltérően viselkedik mind mennyiségileg, mind mechanizmusában. A protonterhelésekre a zeolit nagyon érzékenyen reagál. A granulátum pufferkapacitása $^a\text{BC}_{12,5}=21,1$ egység, amely a diszperzitás növekedésével, alig több mint 7 egységgel lesz nagyobb (23. ábra). A titrálás kezdetén egy cmol kg⁻¹ sav hozzáadása közel 1,58 pH csökkenést okoz a granulátumban, annak kiindulási értékéhez képest (22. táblázat). A porított zeolit némileg jobban tompítja a savas hatásokat, de a kezdeti kezelés ennél a frakciónál is több mint egy pH változást idéz elő egy cmol kg⁻¹ sav koncentrációra számítva. A pufferkapacitás jelentős növekedését a granulátum és a porított frakció esetében egyaránt pH 4,0 alatt tapasztaltam. A zeolitokra jellemző, hogy a savas kezelés nyomán a rácsból alumínium oldódik ki anélkül, hogy a kristály szerkezet összeomlana. A növekvő savadagok hatására megindul az alumínium számottevő kioldódása és oldatba kerülése, ami az erősen savanyú tartományban a pufferkapacitás megnövekedését és a titrálási görbe ellaposodását eredményezi.

22. táblázat. Eltérő szemcseméretű zeolit sav-bázis pufferképességét jellemző paraméterek

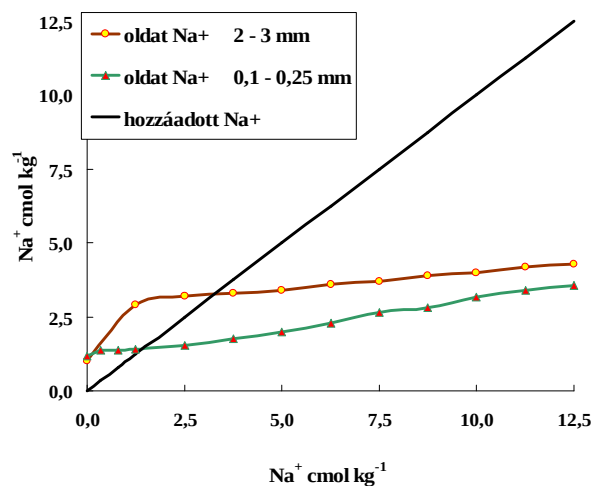
Megnevezés	$^a\text{Sen}_0^1$	$^b\text{Sen}_0^1$	$^a\beta_0^1$	$^b\beta_0^1$	$^a\beta_0^{3,5}$	$^b\beta_0^{10}$	K_{ab}
	pH cmol ⁻¹ kg		cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹		cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹		
zeolit 2 – 3 mm	1,58	0,96	0,68	1,02	5,76	4,60	0,44
zeolit 0,1 – 0,25 mm	1,06	0,93	0,96	1,08	9,60	2,90	0,32

A kőzet mindkét vizsgáltba vont frakciója sokkal jobban semlegesíti a lúgos hatásokat. A méretüket tekintve lényegesen eltérő zeolit frakciók titrálási görbéinek lefutása ugyanakkor nagyon hasonló, az azonos pH tartományra meghatározott pufferkapacitási értékeik között számottevő különbséget nem tapasztaltam (32. ábra). A granulátum lúg pufferkapacitása ${}^bBC_{12,5}=54,7$, míg a porított zeolit esetében ez a paraméter csak egy egységgel nagyobb, ${}^bBC_{12,5}=55,7$. A felület megnagyobbodásával tehát nem jár együtt a lúgos hatások semlegesítésének számottevő növekedése.

Az összefüggések megértése a zeolitok sajátos felépítése és a hozzá kapcsolódó folyamatok ismerete alapján lehetséges. A lúgos terhelések tompítása véleményem szerint legegyszerűbben a kation cserére való hajlammal magyarázható. A zeolitok kristályrácsában a Si^{4+} -nak Al^{3+} -al való helyettesítése következtében kialakuló negatív töltés felesleget alkálifém és alkáliföldfém semlegesíti. Az alumíniumszilikát vázhoz csak gyenge ionos kötással kötődő, vagy a pórusszerkezetben szabadon mozgó kationok könnyen másikra cserélődnek. A kation-csere függ a zeolit fajtájától is. A klinoptilolit – a vizsgált zeolit fő összetevője – erősen kifejezett szelektivitással bír a nagyméretű egy, illetve két vegyértékű kationok és az NH_4^+ -ionok irányába. Az ioncsere során előnyben részesíti továbbá a K^+ -, Na^+ -ionokat a Ca^{2+} -, Mg^{2+} -, Ba^{2+} -ionokkal és még inkább a Cu^{2+} -, Zn^{2+} -ionokkal szemben (KALACHNJUK et al., 1991).



32. ábra A zeolit két frakciójának titrálási görbéi



33. ábra Az egyensúlyi oldatok Na^+ koncentrációjának változása a zeolit két frakciójának lúgos titrálása során

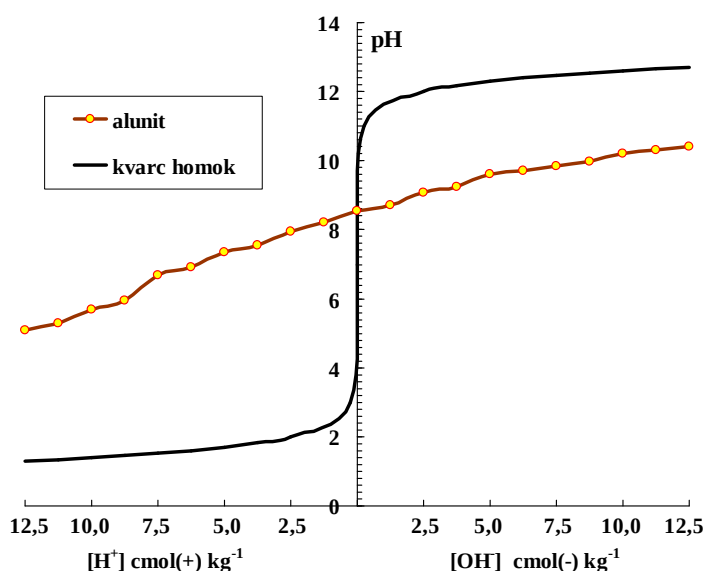
A zeolit lúgos titrálásakor, az egyes titrálási pontokban, a pH értéken kívül meghatároztam az oldatban visszamaradt nátrium-ionok mennyiségét is. Az egyensúlyi oldatok Na^+ koncentrációját a terhelésként – NaOH formában – hozzáadott mennyiségének függvényében ábrázolva nagyfokú nátrium-ion elnyelődést tapasztaltam a zeolit mindkét frakciója által (33. ábra). A klinoptilolit saját kationjait a titrálás során hozzáadott nátrium-hidroxid Na^+ -ionjaira cseréli ki. Figyelembe véve a

klinoptilolit kation preferenciáját, az egyensúlyi oldatba a nátrium-hidroxidhoz viszonyítva csak gyengébb bázist képező kationok kerülhetnek. A zeolit lúgos titrálásának folyamatában tehát nem a hidroxid-ionok semlegesítése megy végbe, hanem az alkálifém kicserélődése gyengébb bázist képező fémre. A kisebb szemcseméretű klinoptilolit a megnövekedett felület miatt nagyobb ioncserkapacitással rendelkezik, így valamivel több nátrium-iont tud kicserélni az oldatból, de ez a lúg pufferkapacitást mennyiségileg lényegesen nem befolyásolja.

Az öntözésre használt víz a mesterségesen kialakított talajban előidézhetheti a nátrium felhalmozódását, továbbá hidrokarbonát-ionok mellett a kémhatás fokozatos emelkedését. A zeolit kationcserén keresztül érvényesülő nátrium elnyelő és pH stabilizáló hatása lassíthatja a közeg kémhatásának lúgos irányba történő eltolódását.

4.3.9 Az alunit sav-bázis pufferképességének értékelése

Az alunit jelentős pufferkapacitással rendelkezik a savas és a lúgos tartományban egyaránt. Titrálási folyamata a nagy pufferkapacitással rendelkező anyagokhoz hasonlóan lineáris lefutású (34. ábra, 5. sz. melléklet, 80. és 81. ábrák). Az alunit a savas hatásokra érzékenyebben reagál, mint a lúgos terhelésekre. A lúg puffer index értéke közel kétszerese a sav puffer indexének (23. táblázat). A titrálási görbe által határolt terület alapján számított lúg pufferkapacitás (${}^b\text{BC}_{12,5}=81,6$) is nagyobb, mint a sav pufferkapacitás (${}^a\text{BC}_{12,5}=65,1$), de ezek az értékek arányaiban eltérnek a ${}^a\beta$ és ${}^b\beta$ jellemezte összefüggésektől.



34. ábra. Az alunit titrálási görbéje

Az ásvány rétegszerű szerkezetében K^+ kationokat, illetve OH^- és SO_4^- anionokat találunk. Az $\text{Al}(\text{OH})\text{O}_2$ -oktaéderek csúcsúkkal összekapcsolódva rétegeket alkotnak. A savas hatások semle-

gesítésében az alunit hidroxidcsoportjai vehetnek részt. A pH emelkedésével viszont az alumíniumhoz kapcsolódó hidroxid-gyökök egy része feltehetően protont veszít, tompítva ez által a lúgos terheléseket. A hidroxid-ionok közömbösítésében a kőzetben megtalálható kalcedon is részt vehet. A kvarchoz hasonlóan a kalcedon szintén SiO_2 , de tőle eltérően lúg érzékeny, a hidroxid erősen megtámadhatja, miközben metaszilikát keletkezik. Az alunit sav és lúg semlegesítő mechanizmusának megértéséhez és egyértelmű magyarázatához további vizsgálatok szükségesek.

23. táblázat. Az alunit sav-bázis pufferképességét jellemző paraméterek

Az alkalmazott kezelés	A terhelés nagyságát és a pH változás összefüggéseit leíró függvény	R^2	Sen pH $\text{cmol}^{-1} \text{ kg}$	β $\text{cmol pH}^{-1} \text{ kg}^{-1}$
savas titrálás	$\text{pH} = 8,63 - 0,29[\text{H}^+]$	0,99	0,29	3,45
lúgos titrálás	$\text{pH} = 8,65 + 0,15[\text{OH}^-]$	0,97	0,15	6,67
		K_{ab}	${}^a \beta_0^{3,5}$	${}^b \beta_0^{10}$
		$\text{cmol pH}^{-1} \text{ kg}^{-1}$		
		0,11	$\approx 17,9$	8,9

Az alunit kipróbálását termesztő közegek komponenseként nagyon jó sav-bázis szabályozóképessége indokolja.

4.4 A szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferképesség szerinti csoportosítása

A szerves és ásványi anyagok különbözőképpen viselkednek a savas és lúgos terhelésekkel szemben, pufferkapacitásuk nagyon tág határok között változik. Az eltérő tulajdonságokat a termesztés során kívánatos ismerni és célszerű figyelembe venni. A pufferképességüket jellemző paraméterek ismerete hasznos lehet a mesterséges talajok, földkeverékek összeállítása során, a kémhatás optimalizálása, szabályozása közben felmerülő problémák kezelésében. A sav-bázis pufferképesség ismeretében céltudatosabbá tehető az ásványi anyagoknak a kertészeti termesztésben való felhasználása.

A vizsgálati eredményeket felhasználva összeállítottam egy kategória rendszert a szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének megítéléséhez. Öt pufferképesség kategóriát különböztettem meg, az elhatárolás alapja a sav-bázis pufferkapacitás mérőszámai (24. táblázat). A pufferképesség megítéléséhez a következő paramétereket használtam fel: sav és lúg pufferkapacitás – ${}^a \text{BC}_{12,5}$, ${}^b \text{BC}_{12,5}$, sav és lúg érzékenységi index – ${}^a \text{Sen}$, ${}^b \text{Sen}$, az 1 cmol kg^{-1} sav, illetve lúg

okozta pH változás a kezdeti (pH_0) értékhez képest $- {}^aSen_0^1, {}^bSen_0^1$. A lineáris lefutású titrálási görbével jellemezhető anyagokra ${}^aSen = {}^aSen_0^1$ és ${}^bSen = {}^bSen_0^1$.

24. táblázat. A sav-bázis pufferképesség megítélése a pufferkapacitást jellemző paraméterek alapján

Kategória	BC	Sen_0^1	A pufferképesség megítélése
		pH cmol ⁻¹ kg	
I.	0 – 20	> 2,00	nagyon alacsony
II.	21 – 40	1,01 – 2,00	alacsony
III.	41 – 60	0,31 – 1,00	közepes
IV.	61 – 80	0,15 – 0,30	nagy
V.	> 80	< 0,15	igen nagy

I. kategória – nagyon alacsony pufferképesség. Az első kategóriába tartoznak azok az anyagok, amelyek gyakorlatilag nem rendelkeznek pufferképességgel, a savas és/vagy lúgos hatásokra nagyon érzékenyen reagálnak. Titrálási görbékük lefutása – lehetséges csekély eltérésekkel – követi a kvarc homok görbéjét. A pufferkapacitás értéke 0 – 20 egység között van. Kezdeti egyensúlyi pH értékük egy cmol kg⁻¹ sav, illetve lúg hozzáadása után több mint 2,00 egységet változik.

II. kategória – alacsony pufferképesség. A második kategóriába tartoznak azok az anyagok, amelyek már nem teljesen közömbösek a savas vagy lúgos hatásokkal szemben, rendelkeznek bizonyos fokú tompítóképességgel. Titrálási görbékük torzított „S” alakú, lefutása eltér a kvarc homok görbéjétől, de nagyobb mértékű terhelések hatására erősen közelíti azt. Pufferkapacitás értékük 21 – 40 egység. A kezdeti pH változás egy cmol kg⁻¹ sav, illetve lúg hozzáadása nyomán 1,01 – 2,00 egység között van.

III. kategória – közepes pufferképesség. A harmadik kategóriába tartozó anyagok közepes sav és lúgsemlegesítő képességgel rendelkeznek. Titrálási görbékük jelentősen eltér a kvarc homok görbéjétől. Pufferkapacitás értékük 41 – 60 egység. Egyensúlyi oldataik kezdeti kémhatás változása egy cmol kg⁻¹ terhelés hatására 0,31 – 1,00 pH egység között van.

IV. kategória – nagy pufferképesség. A negyedik kategóriába tartozó anyagok jelentős sav vagy lúgterheléseket tudnak semlegesíteni. Titrálási görbékük közelít az egyeneshez. Pufferkapacitás értékük 61 – 80 egység. Az egy cmol kg⁻¹ sav vagy lúg hozzáadását követő pH változás a kezdeti értéktől 0,15 – 0,30 egység között van.

V. kategória – igen nagy pufferképesség. Az ötödik kategóriába tartoznak azok az anyagok, amelyek alkalmasak a sav-bázis egyensúly fenntartására a savas vagy lúgos hatásokkal szemben. A titrálási görbéjük lefutása közel lineáris. A pufferkapacitás érték több mint 80 egység. Az egy cmol kg^{-1} sav vagy lúg kezelés okozta kémhatásváltozás kevesebb mint 0,15 pH.

A vizsgálatba bevont szerves és ásványi anyagokat az ismertetett kategóriák szerint csoportosítottam (25. táblázat).

25. táblázat. A szerves és ásványi anyagok csoportosítása pufferképességük szerint

Kategória	A pufferképesség megítélése	Szerves és ásványi anyagok		
		a savas és lúgos terhelésekkel szemben	a savas terhelé- sekkel szemben	a lúgos terhelé- sekkel szemben
I.	nagyon alacsony	folyami homok perlit (kőzet) kőzetgyapot égetett agyagkavics kaolin		
II.	alacsony	duzzasztott perlit	zeolit	
III.	közepes	bentonit	nátrium bentonit	zeolit
IV.	nagy	vermikulit szélmezői síkláptő- zeg	alunit	nátrium bentonit istállótrágya nyers szőlőtörköly
V.	igen nagy	humuszos bentonit felláp tőzegek síkláp tőzegek kókuszrost komposztok avar zúzott szalma		alunit

4.5 A titrálási görbék gyakorlati alkalmazásának lehetőségei

A sav-bázis pufferképesség meghatározása során a vizsgált minta savas és lúgos terhelését modellezzük. A titrálási görbék és a pufferképességet jellemző paraméterek alapján így meghatározhatók és prognosztizálhatók a savas és lúgos hatások előidézte pH változások. Az alábbiakban a sav puffer index és a lúg puffer index néhány gyakorlati felhasználásának lehetőségeit elemzem.

4.5.1 A szerves anyagok kémhatásának szabályozása a puffer index alapján

A puffer index az egységnyi pH változáshoz szükséges sav, illetve lúg mennyiségének mérőszáma. Definíciójából adódik alkalmassága a kémhatás szabályozásához használt savanyító és lúgo-

sító anyagok szükséges mennyiségének számítására.

A pH érték növelésére többnyire kalcium-karbonát tartalmú anyagokat használnak, dózisát a szerves anyag térfogatára vonatkoztatva adják meg. A hatóanyag szükséges mennyisége a lúg puffer index – $^b\beta$ – számszerű értékéből kiindulva az alábbi képlet segítségével meghatározható:

$$L_{CaCO_3} = (pH_X - pH_{H_2O}) \cdot ^b\beta \cdot T_S \cdot l \quad (38)$$

ahol: L – a pH érték növeléséhez alkalmas hatóanyag szükséges mennyisége, $g\ m^{-3}$;

pH_X – az elérendő pH érték;

pH_{H_2O} – a vizes kivonatban meghatározott kezdeti pH érték;

$^b\beta$ – lúg puffer index, $cmol\ pH^{-1}\ kg^{-1}$;

T_S – a szerves anyag térfogattömege, $kg\ m^{-3}$;

l – egy $cmol$ hidrogén-ion semlegesítéséhez szükséges lúgosító anyag mennyisége, $g\ cmol^{-1}$, ($CaCO_3$ esetében $l = 0,5\ g\ cmol^{-1}$)

Az (38) képletet felhasználva meghatároztam a kutatásba bevont tőzegek pH értékének növeléséhez szükséges kalcium-karbonát mennyiségeket. Kiszámítottam az egységnyi pH változást előidéző $CaCO_3$ dózisokat, valamint a sok növény számára optimálisnak tartott pH 6,5 érték eléréséhez szükséges mennyiségeket. Meghatároztam továbbá a kalcium-karbonátnak azt az adagját is, amelyik a tőzeg kémhatását pH 8,2 értékig megemelheti. A $CaCO_3$ ilyen mennyiségben való felhasználása nem javasolt, mert ez egyrészt a közeg túlmeszezését jelenti, azon kívül a karbonátos puffer zóna elérését, ahonnan a visszasavanyítás problémát jelent. Fontosnak tartom megadni a hatóanyag mennyiségekre egy olyan határértéket is, amelynek alkalmazása termesztési vonatkozásban már káros lehet.

A tőzegek térfogattömegének megállapításánál a szakirodalomra hagytam. A rostos Sphagnum tőzegek térfogat tömegét szárazanyagra vonatkoztatva GÜNTHER (1981) $50 - 100\ g\ dm^{-3}$, az erősen bomlott fekete tőzegét $120 - 200\ g\ dm^{-3}$ adja meg. LEMAIRE (1995) a rostos tőzegekre $0,07 - 0,08\ g\ cm^{-3}$, míg a síkláp tőzegekre $0,36\ g\ cm^{-3}$ térfogat tömeggel számol szintén száraz anyagra vonatkozóan. A kókuszrost térfogattömegét a felláp tőzegével megegyezőnek vettem (ARENAS et al., 2002).

A tőzegek és a kókuszrost pH értékének egy egységgel történő megnöveléséhez szükséges kalcium-karbonát adagok nagyon tág határok között változnak (26. táblázat). A voloscsai sötétbarna vegyes tőzeghez és a kókuszrosthhoz elegendő mintegy $400\ g\ m^{-3}\ CaCO_3$ -ot hozzákeverni, hogy pH értékét eggyel megnöveljük. A voloscsai világosbarna felláptőzeg és a király-tói síkláptőzeg pH értékének egy egységgel történő növeléséhez viszont közel egy kg kalcium-karbonátra van szükség

köbméterenként. A pH 6,5 eléréséhez szükséges hatóanyag mennyiségét, a lúg puffer index értékén kívül a tőzeg kezdeti pH-ja is befolyásolja.

A számított adatok rámutatnak a pH 8,2 értékig való számítás jelentőségére. Megfigyelhető, hogy több tőzeg kémhatása csak nagyobb mennyiségű CaCO_3 hozzáadása után emelkedik meg jelentősen. Ugyanakkor a voloscsai sötétbarna vegyes tőzeget és a kókuszrostot már egy kg kalcium-karbonáttal is túl lehet meszezni.

26. táblázat. Becsült mészsádagok tőzegek és kókuszrost pH értékének növeléséhez

Megnevezés	T_s	Kezdeti pH(H_2O) érték	$^b\beta$	CaCO ₃ számított mennyisége		
				egységnyi pH válto- zásra	a kezdeti pH értéktől	
					pH 6,5 értékig	pH 8,2 értékig
	kg m ⁻³		cmol pH ⁻¹ kg ⁻¹		g m ⁻³	
rostos felláptőzegek és síkláptőzegek						
litván fehér felláptőzeg		4,32	12,5	470	1020	1820
voloscsai világos- barna felláptőzeg		3,39	25,0	940	2920	4510
ivano-frankivszki sötétbarna felláptőzeg	75	3,73	20,0	750	2080	3350
voloscsai sötétbar- na vegyes tőzeg		5,50	10,0	380	380	1010
király-tói síkláptő- zeg		3,70	25,0	940	2630	4220
hansági síkláptőzeg		4,31	14,3	540	1170	2080
síkláp tőzegek						
pötrétei síkláptőzeg	200	5,94	9,1	910	510	2060
szélmezői síkláptőzeg		6,36	4,8	480	—	880
kókuszrost						
kókuszrost	75	5,69	11,1	420	340	1050

A pH érték csökkentéséhez felhasználható savanyító anyagok szükséges mennyiségét a sav puffer index értéke alapján lehet meghatározni a következő képlet segítségével:

$$A = (pH_X - pH_{H_2O}) \cdot {}^a\beta \cdot T_S \cdot f \quad (39)$$

ahol: A – a pH érték csökkentéséhez használt hatóanyag szükséges mennyisége, g m⁻³;

pH_X – az elérendő pH érték;

pH_{H₂O} – a vizes kivonatban meghatározott pH érték (kezdeti pH érték);

^aβ – sav puffer index, cmol pH⁻¹ kg⁻¹;

T_S – a szerves anyag térfogattömege, kg m⁻³;

f – egy cmol hidroxid-ion semlegesítéséhez szükséges savanyító anyag mennyisége,

g cmol⁻¹, (kénre f = 0,16 g cmol⁻¹, alumínium-szulfátra f = 1,11 g cmol⁻¹, vas-szulfátra f = 0,72 g cmol⁻¹)

A kutatáshoz felhasznált szerves anyagok pH értékének csökkentéséhez szükséges adalékanyagok mennyiségére vonatkozóan is végeztem tájékoztató jellegű számításokat (27. táblázat). A kertészeti gyakorlatban savanyításra különböző kémiai anyagokat használnak: ventilált kénport, alumínium-szulfátot, vas-szulfátot (LAMBERT, 1999). Számításaimban a savanyító anyagok mennyiségét kénben adtam meg. Meghatároztam az egy egységnyi pH érték csökkentéséhez szükséges kén mennyiségét. Akárcsak a lúgosítás során, itt is lényeges szempont volt a pH 6,5 érték eléréséhez szükséges hatóanyag kiszámítása. A pH 4,0 szélsőséges értéket jelöl. A közismerten savanyú kémhatású talajokat kedvelő dísznövények pH optimuma is ezen érték felett van (HARGITAI & NAGY, 1971). A szerves anyagok térfogattömegét termékismertetőikből, ennek hiánya esetén a szakirodalomból vettem át (GÜNTHER, 1981, LEMAIRE, 1995, ARENAS et al., 2002, BACULA (szerk.), 1988).

A különböző szerves anyagok pH értékének csökkentéséhez eltérő mennyiségű kénre van szükség. Legkevesebb hatóanyag mennyiséggel a voloscsai sötétbarna vegyes tőzeg és a kókuszrost kémhatása csökkenthető. A komposztált szőlőtörkölyök pH értékét elméletileg csak jelentős mennyiségű kén hozzáadásával lehet megváltoztatni. A legtöbb savanyító anyagot a komposztált marhatrágyához kell adni, amennyiben kémhatását csökkenteni szeretnénk. Az egységnyi pH változáshoz ennél a szerves anyagnál közel öt kg elemi kénre lenne szükség.

A kémhatás csökkentésének igénye gyakran a túlmeszezés kapcsán merül fel. Figyelembe kell venni, hogy ilyenkor a sav-bázis egyensúlyt a CaCO₃ és a hozzá kapcsolódó folyamatok kontrolálják, és amíg szabad mész van a közegben, addig pH értéke a hozzáadott savanyító anyagok hatására sem fog csökkeni.

27. táblázat. Becsült kén dózisok szerves anyagok pH értékének csökkentéséhez

Megnevezés	T_s kg m^{-3}	Kezdeti $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ érték	$^a\beta$ $\text{cmol pH}^{-1} \text{ kg}^{-1}$	Kén számított mennyisége		
				egységnyi pH válto- zásra	a kezdeti pH értéktől	
					pH 6,5 ér- tékgig	pH 4,0 ér- tékgig
					g m^{-3}	g m^{-3}
Tőzegek						
voloscsai sötétbar- na vegyes tőzeg	75	5,50	16,7	200	—	300
pötrétei síkláptőzeg	200	5,94	20,0	640	—	1240
szélmezői síkláptőzeg	200	6,36	7,7	250	—	580
hahóti síkláptőzeg	200	7,60	33,3	1070 + 170	1170 + 170	3840 + 170
Kókuszrost						
kókuszrost	75	5,69	11,1	130	—	230
Komposztok						
istállótrágya	600	7,91	9,1	870	1230	3410
komposztált mar- hatrágya	900	6,87	33,3	4800	1780	13780
komposztált szőlő- törköly	610	6,91	14,3	1390	570	4060
komposztált szőlő- törköly + baromfi- trágya	700	7,24	25,0	2800	2070	9070

Először tehát a meszet kell semlegesíteni, ilyenkor a (39) képlet a következőképpen módosul:

$$A = (\text{pH}_x - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}) \cdot ^a\beta \cdot T_s \cdot f + w \cdot T_s \cdot 20 \cdot f \quad (40)$$

ahol: w – a szerves anyag CaCO_3 tartalma, %.

A többi paraméter értelmezése és mértékegysége megegyezik az (39) képletnél feltüntetettével.

A vizsgált szerves anyagok között a hahóti tőzeg tartalmazott 0,27% kalcium-karbonátot. A pH érték csökkentéséhez felhasználható hatóanyag dózisa ezért a CaCO_3 semlegesítéséhez szükséges mennyiséggel megnövekszik. A 27. táblázatban a hahóti tőzegnél a mész semlegesítéséhez szükséges savanyító anyag mennyiségét külön jelöltem.

A kísérlet folyamán a titrálási görbék felvétele erős sav és erős lúg alkalmazásával történt. A savanyításra vagy lúgosításra felhasználható anyagok a semlegesítés során másképpen is reagálhatnak, mint a HCl vagy a NaOH. A módszer alkalmasságát és a képletek helyességét ezért a megfelelő mennyiségű savanyító és lúgosító anyagokkal beállított kísérletekben is szükséges megvizsgálni.

4.5.2 A talajtakaró anyagok sav és lúgtompító kapacitásának becslése

A kémhatás változást is előidézhető külső tényezők a talaj felső rétegére hatnak a legintenzívebben, ezért a felszínen található és igen nagy sav-bázis pufferképességgel rendelkező szerves anyagoknak fontos szerepe lehet e hatások káros következményeinek tompításában.

A puffer indexek ismeretében becsülhető az egységnyi területen található szerves anyag elméleti sav, illetve lúg semlegesítő kapacitása. A számítások elvégzéséhez először meg kell határozni milyen mértékig savanyítható vagy lúgosítható a terhelésnek kitett közeg. A szakirodalomban a pH határértékekre vonatkozóan nincs egységesen elfogadott álláspont. A talajok savsemlegesítő képességét BREEMEN et al. (1984), HARTIKAINEN (1986) pH 3,5, illetve pH 3,8, SOKOLOVA et al. (1993) pH 3,0, IVANOVA et al. (1996) pH 2,5 értékig, azaz az oldódási reakciókig vezetik vissza. MURÁNYI (1987/88) azonban a folyamatok lassú lefolyása miatt megtévesztőnek és ezért kevésbé javasolhatónak tartja az ásványok oldódási folyamatainak túlhangsúlyozását a talajok pufferkapacitásának értékelésekor. A lúgos tartományban általában pH 10 értékig végeznek számításokat.

A talaj felszínére jutó vagy oda jutatott szerves anyagok sav- és lúgsemlegesítő kapacitásának becslésére kétféle megközelítést alkalmaztam. Az egy hektáron található szerves anyag tömegének figyelembevételével meghatároztam az egy pH változást előidéző sav, illetve lúg mennyiségét. A szerves anyagok titrálási görbéinek lineáris lefutása alapján, az így meghatározott számértékek többnyire széles pH tartományra is érvényesek. A másik megközelítés szerint, szintén egy hektár területre vetítve, megállapítottam mennyi sav, illetve lúg szükséges ahhoz, hogy a vizsgált szerves anyagok kezdeti kémhatását pH 3,5-ig csökkentse, illetve pH 10-ig növelje.

A teljes sav, illetve lúg semlegesítő képesség becsléséhez ismerni kell a felszínen található szerves anyagok mennyiségét is. Az avar tömege függ a fa fajtájától, korától, az aljnövényzettől, az abiotikus és egyéb tényezőktől, ezért hektáronkénti mennyisége elég tág határok között változhat. A számításokhoz egy gödöllői bükkösben mért, átlagosan $5,6 \text{ t ha}^{-1}$ avarmennyiséget vettem alapul (JÁRÓ, 1988/89).

A számításokhoz az alábbi képleteket használtam:

$$|H^+| = {}^a\beta \cdot \Delta pH \cdot m \cdot 0,01 \quad (41)$$

$$|OH^-| = {}^b\beta \cdot \Delta pH \cdot m \cdot 0,01 \quad (42)$$

ahol: $|H^+|$ és $|OH^-|$ — a ΔpH változást előidéző sav és lúg mennyisége, kmol ha^{-1} ;

${}^a\beta$ és ${}^b\beta$ — a sav puffer index és lúg puffer index, $\text{cmol pH}^{-1} \text{ kg}^{-1}$;

ΔpH — a becslésnél figyelembe vett pH változás;

m — a szerves anyag tömege, t ha^{-1} ;

0,01 — cmol kg^{-1} és kmol t^{-1} közötti átszámítási együttható.

A talajtakarókra vonatkozóan az egy pH változást előidéző sav $0,44 - 1,12 \text{ kmol ha}^{-1}$, míg a lúg mennyisége $0,32 - 1,12 \text{ kmol ha}^{-1}$ között változik. (28. táblázat). Maximális pufferkapacitással a fenyő avar bír, közel $1,6 \text{ kmol ha}^{-1}$ protont és valamivel több mint 5 kmol ha^{-1} hidroxid-iont képes semlegesíteni, míg kémhatása pH 3,5-ig csökken, illetve pH 10-ig emelkedik. A sav, illetve a lúg maximális pufferkapacitás értékét a kiindulási pH érték is jelentősen befolyásolja.

28. táblázat. A talajtakarók becsült sav és lúg semlegesítő kapacitása egységnyi területre vetítve

Megnevezés	A talajtakaró becsült mennyisége	Egységnyi pH változást előidéző terhelés nagysága		A sav mennyisége, amely pH 3,5 értékig csökkenti a szerves anyag kémhatását	A lúg mennyisége, amely pH 10,0 értékig növeli a szerves anyag kémhatását
		sav	lúg		
		t ha^{-1}	kmol ha^{-1}		
bomlatlan avar, őshonos bükkös erdő	5,6	0,62	0,93	1,49	3,76
bomlatlan avar, őshonos fenyőerdő	5,6	0,80	1,12	1,56	5,01
bomlatlan avar, tölgyes parkerdő	5,6	1,12	0,70	1,02	3,72
bomlatlan avar, gyümölcsös	5,6	0,51	0,93	1,47	3,22
zúzott szalma	3,5	0,44	0,32	1,26	1,16

Művelt talajokra vonatkozóan a szalmára vannak a becsléshez szükséges elfogadható mennyiségi adatok. Búzánál a szemterméshez viszonyítva 0,7 – 0,8 szorzót használva, 5 – 6 tonnás termés mellett mintegy 3,5 – 4,8 t szalmával lehet számolni. Egységnyi területre vetítve, tömegének figyelembe vételével, a szalma képes a legkevesebb mennyiségű sav, illetve lúg megkötésére. Az avarokkal összehasonlítva szembe tűnik a szalma nagyobb érzékenysége a lúgos hatásokkal szemben.

A komposztok felhasznált mennyisége tág határok között változhat, ezért a számításokhoz egy tonnát vettem alapul (29. táblázat).

A komposztokra többnyire jellemző, hogy jobban semlegesítik a savas hatásokat. A legjobb tompítóképességgel a komposztált marhatrágya rendelkezik. Az egy pH csökkenéshez $0,33 \text{ kmol t}^{-1}$ protonra van szükség, míg ugyanennyi pH növekedés $0,17 \text{ kmol t}^{-1}$ hidroxid-ionnal érhető el. Maximális pufferkapacitási értéke is a legnagyobb a bevizsgált komposztok között. A savsemlegesítő képességben a komposztált szőlőtörköly + baromfitrágya közelít a komposztált marhatrágyához.

29. táblázat. Komposztok becsült sav és lúg semlegesítő kapacitása egységnyi tömegre vetítve

Megnevezés	A szerves anyag mennyisége	Egységnyi pH változást előidéző terhelés nagysága		A sav mennyisége, amely pH 3,5 értékig csökkenti a szerves anyag kémhatását	A lúg mennyisége, amely pH 10,0 értékig növeli a szerves anyag kémhatását
		sav	lúg		
	t	kmol t ⁻¹			
istállótrágya	1,0	0,09	0,06	0,39	0,12
komposztált marhatrágya	1,0	0,33	0,17	1,12	0,52
nyers szőlőtörköly	1,0	0,09	0,06	0,12	0,29
komposztált szőlőtörköly	1,0	0,14	0,14	0,49	0,42
komposztált szőlőtörköly+baromfitrágya	1,0	0,25	0,10	0,92	0,26

Megfigyelhető a többi szerves anyaghoz képest jóval alacsonyabb pufferképesség a spontán érlelődött istállótrágyánál és a nyers szőlőtörkölynél. Mindkét szerves anyag pH értékét már $0,06 \text{ kmol t}^{-1}$ lúgos terhelés eggyel megnöveli, és az egységnyi pH csökkenéshez is mindössze $0,09 \text{ kmol t}^{-1}$ savra van szükség. Az istállótrágya pH 3,5 értékig maximálisan $0,39 \text{ kmol t}^{-1}$ protont

semlegesít, míg a nyers szőlőtörköly mindössze $0,12 \text{ kmol t}^{-1}$. Ez utóbbi viszont, míg pH értéke 10-ig növekszik $0,29 \text{ kmol t}^{-1}$ lúgot képes semlegesíteni, ezzel szemben az istállótrágyánál ez a mutató csak $0,12 \text{ kmol t}^{-1}$ tesz ki.

A felszín tartósan vagy időszakosan borító bomlatlan növényi maradványok, az oda jutott szerves anyagok (szalma, trágya, komposzt) meghatározó elemei a talajfolyamatok szabályozásának. Bonyolult felépítésük, összetettségük folytán nagy pufferképességgel rendelkeznek, s így a folyamatok, amelyekben részt vesznek, kevésbé befolyásolhatók, ugyanakkor ki tudják védeni az emberi tevékenység következtében fellépő durvább beavatkozásokat, a nagyobb terhelések okozta ugrásszerű változásokat is. A felszínen található szerves anyag réteg általában csak néhány centiméter vastag, viszonylag gyorsan változik, s a jelentős sav-bázis tompítóképesség ellenére pufferkapacitása ezért gyorsan kimerülhet. Környezeti szerepük megítélésakor tényleges mennyiségükön kívül, a felszínre jutás és az átalakulás közötti egyensúly esetleges eltolódásait is figyelembe kell venni.

4.6 A sav-bázis pufferképesség mérőszámainak összehasonlító jellemzése

Az elvégzett vizsgálatok módot adnak arra, hogy a pufferképességet jellemző paramétereket össze lehessen hasonlítani, és értékelni tudjam tényleges jelentőségüket.

A sav-bázis pufferképesség kvantitatív jellemzése során két probléma merül fel. Az egyik, hogy a potenciometriás titrálás során az egyensúlyi oldatok hidrogén-ion koncentrációja több nagyságrendnyit csökken vagy növekszik, a titrálási görbe ugyanis tartalmilag lineáris-logaritmus összefüggést jelent. Ez a körülmény összehasonlíthatatlanná teszi a különböző pH intervallumokon belüli változásokat. A másik probléma a titrálási görbéken jelentkező maximumok, amelyek miatt lefutása nem egyenletes, a pufferkapacitás értéke így pH függő.

A sav-bázis pufferképességet mennyiségileg két, egymással szorosan összefüggő paraméterrel lehet jellemezni: az érzékenységet kifejező mutatószámmal, és az érzékenységből, de tőle függetlenül is számítható pufferkapacitással. Az érzékenység az adott sav, illetve lúg koncentráció mellett bekövetkező pH változás. A pufferkapacitás a pH változáshoz szükséges sav, illetve lúg mennyiségét adja meg. A két érték tehát egymás reciprokja.

A szakirodalomban a sav-bázis pufferképesség jellemzésére használt paraméterek nagy száma csak látszólagos, elsősorban az eltérő mértékegységek és dimenziók miatt van.

Sav pufferkapacitás és bázis pufferkapacitás – ^aBC és ^bBC . Elterjedten használt paraméterek. A minta és a kvarc homok titrálási görbéi által határolt terület alapján számítjuk. A minta érzékenységét is meg lehet ilyen módon határozni, ha referencia görbének nem a kvarc homok, hanem az „abszolút puffer anyag” titrálási görbét tekintjük.

A terület alapú számítási módszer a fentebb vázolt mindkét problémát bizonyos határok között kezelni tudja. A titrálási görbe eltérő dimenziójú adatait egységesíti és a terület számítás miatt a görbéken jelentkező maximumokat is figyelembe tudja venni.

A ^aBC és ^bBC értékek nagyságát befolyásolja a sav, illetve lúg oldatok maximális koncentrációja, amit a titrálási görbék kiértékelésénél, az esetleg eltérő nagyságú terhelések mellett vizsgált minták sav és lúg pufferkapacitás értékeinek összehasonlításakor figyelembe kell venni. A vizsgálatok során ezért fontos szempont a terhelés maximális nagyságának helyes megválasztása. Nagy koncentrációjú sav, illetve lúg alkalmazásakor természetesen nagyobb terheléseket tudunk modellezni, ugyanakkor azt is látnunk kell, hogy ennek következtében a vizsgálatba vont minta nagyon alacsony, valamint nagyon magas pH értékeket is felvehet. A nagy koncentrációjú sav és lúg viszont erős pufferként viselkedik, a titrálási görbe kezdeti (savas) és végső (lúgos) szakasza ilyenkor nagyon ellaposodik. Az ellaposodott szakaszok által is határolt terület alapján számított pufferkapacitás viszont erősen torzított lehet a magasabb értékek irányába.

Érzékenységi index és puffer index – Sen, pH cmol⁻¹ kg és β, cmol pH⁻¹ kg⁻¹. Amennyiben a titrálási görbén nincsenek kifejezett maximumok és lefutása egyenletes, akkor a Sen és β értéke a vizsgált sav, illetve lúg koncentráció tartományon belül állandónak tekinthető. Egy olyan bonyolult rendszerben, mint a talaj, legyen az természetes vagy mesterségesen kialakított, de még a kevésbé összetett közegekben is egyszerre több, különböző kapacitású és eltérő pH tartományban pufferoló komponens is előfordulhat. Ebben az esetben az érzékenységi és puffer indexek pH függőek, értékeiket különböző mintákra vonatkoztatva csak azonos pH intervallumon belül lehet összehasonlítani. A teljes pH tartományra vonatkoztatva az értékelés a $\beta - f(pH)$ vagy a $\lg\beta - f(pH)$ összefüggések grafikus ábrázolásával lehetséges.

Jól használható paraméternek bizonyult az egy cmol kg⁻¹ sav, illetve lúg okozta pH változás a kezdeti (pH₀) értékhez képest (Sen_0^1 , mértékegysége: pH cmol⁻¹ kg), amely az érzékenységi index részesetének tekinthető. Ez a paraméter az ásványi anyagoknál fontos mutató szám, mert gyakorlati szempontból a legfontosabb pH változásokat jellemzi. Hasonló megfontolások alapján használható az egy pH változást előidéző sav, illetve lúg mennyisége a kezdeti (pH₀) értékhez képest – β_0^1 , mértékegysége: cmol pH⁻¹ kg⁻¹.

A sav és bázis mennyisége, amely megadott pH érték eléréséhez szükséges. Hasonlóan a puffer indexhez, ebben az esetben is a pufferképesség értékelése a pH változáshoz szükséges sav, illetve lúg mennyisége alapján történik. A különbség a kétféle megközelítésben a pH változás mértékében van. Eltérően a puffer indextől – amely egy pH egység változásra vonatkozik – a megadott pH érték eléréséhez szükséges sav, illetve lúg mennyiségéhez akár több egységnyi és a különböző

eredeti pH értékkel rendelkező anyagok esetében eltérő pH változás tartozik. Természetesen előfordulhat olyan eset, amikor a pH változás éppen egy és olyan is, amikor kisebb, mint egy.

Az ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének jellemzésére használtam a pH 3,5 eléréséhez szükséges sav mennyiségét ($^a\beta_0^{3,5}$) és a pH 10 eléréséhez szükséges lúg mennyiségét ($^b\beta_0^{10}$). Helyes értelmezésükhöz nem csak számbeli értéküket, de a kiinduló pH-t is ismerni kell. Ez a paraméter, esetleg más, alkalmasabb pH értékekre vonatkoztatva, felhasználható a savas, vagy a lúgos terhelések talajra gyakorolt hatásának prognosztizálásakor. A megfelelő pH értéket alkalmazva megadja a meszező vagy savanyító anyagok szükséges mennyiségét. Az eltérő kezdeti pH értékkel rendelkező minták összehasonlító jellemzésére nem alkalmas.

A közel hasonló lefutású titrálási görbével, de eltérő kezdeti pH értékkel rendelkező anyagok összehasonlítása esetén informatívabb paraméter a kísérletben alkalmazott maximális sav, illetve lúgterhelés okozta pH változás. Ez a paraméter a minta érzékenységet fejezi ki egy megadott savas, illetve lúgos kezeléssel szemben. Általános használata nem indokolt.

Sav-bázis egyensúlyi index – K_{AB} . A számítások azt mutatják, attól függően, hogy a titrálási görbe melyik szakaszára vonatkoztatjuk, értéke változó. Ezért ez a paraméter csak a számításhoz alapul vett pH tartományon belül érvényes. Információs értéke gyakorlatilag elhanyagolható, így használatától el lehet tekinteni.

4.7 A pufferképesség jelentősége a kertészeti termesztésben

A növény produktivitását genetikai adottságain kívül a környezeti tényezők – az éghajlati és a talajadottságok – határozzák meg. Megfelelő irányítással a növényi produktivitás, a terméseredmények számottevően növelhetők (FÜLEKY, 1999). A klimatikus tényezők – fény, hőmérséklet, csapadék, páratartalom – szabályozása zárt térben, termesztő berendezésekben az alkalmas technikai eszközökkel megoldhatók. Sokkal nagyobb kihívást és jóval nehezebben kezelhető problémát jelent a talajfolyamatok szabályozása, a talaj – növény kapcsolat rendszerének irányítása.

A kertészeti kultúrák zárt térben történő termesztése során több, egymással szorosan összefüggő talajfolyamat szabályozását kell megoldani. Ezek közül a legfontosabbak a következők:

1. a közeg nedvességforgalmának és levegőellátottságának szabályozása;
2. a közeg sav-bázis egyensúlyának szabályozása;
3. a közeg tápanyag-szolgáltató képességének szabályozása;
4. a közeg só koncentrációjának szabályozása;

A felsorolt folyamatokban a talajnak, a talajt alkotó komponenseknek kiegyenlítő, szabályozó szerepe van, de egyidejűleg fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságaiknak függvényében nehezítik is az irányítást. A teljes körű szabályozás mai ismereteink szerint a talajon nem is valósítható meg

és ezért kizárják a termesztésből, vagy GÖHLER & MOLITOR (2002) kifejezésével élve, a termesztést a talajtól függetlenítik.

Az irányítás alapvetően két módon realizálódik.

1. Nagy pufferképességgel rendelkező közegek alkalmazásával. A szabályozás olyan értelemben valósul meg, hogy jelentős pufferkapacitása miatt a közeg bizonyos szintig érzéketlen a beavatkozásokra, működése így stabil és megbízható. A folyamatok csak kis mértékben irányíthatók, de ugyanakkor a termesztő tévedései vagy mulasztásai, a technológiai fegyelem megsértése sem okoznak vissza nem fordítható, súlyosabb következményekkel járó problémát, jelentősebb termés kiesést. A termesztésben régóta használt és jól bevált, nagy pufferképességgel rendelkező közegek a magas szerves anyag tartalmú anyagok – tőzegek, komposztok, kókuszrost.

2. Pufferképességgel nem rendelkező közegek alkalmazásával. Ebben az esetben megvalósítható a folyamatok teljes körű szabályozása. Az irányítás ilyenkor a termesztő kezében van, a növényi tápanyag felvétel nagyon jól szabályozható, sőt a megfelelő beavatkozások nélkül a termesztés nem is valósulhat meg. A teljes körű irányítás mellett jelentős növényi produktivitást, termésnövekedést lehet elérni. A pufferképesség teljes hiánya miatt ugyanakkor a közeg a termesztés során elkövetett hibákat, mulasztásokat nem tudja kivédeni. Ezért ez a fajta irányítás nagy technológia fegyelmet, állandó odafigyelést kíván meg a termesztőtől. Az irányítás feltételeinek a megteremtése nagyobb kezdeti beruházást tételez fel és a termesztés során is nagyobb kiadásokkal kell számolni (TERBE & SLEZÁK (szerk.) 2008). A termesztésben használt, pufferképességgel nem rendelkező közegek a homok, kőzetgyapot, perlit.

A levegő esetében pufferképességről nem beszélhetünk. Ezt használja ki az aeroponica (levegő vagy tápköd kultúra), amikor a gyökerek a levegőben lógnak és a tápoldatot finom párákód formájában juttatják ki (MELNICHUK et al. (szerk.), 2004).

A kutatás már régóta alkalmazza mint módszert, a puffer képesség nélküli közeget. Növény-életteni vizsgálatokban, vegetációs kísérletekben, a tápanyag felvétel modellezésére kvarc homokot vagy egyszerűen csak desztillált vizet használnak. Az ilyen kísérleteket olyan megfontolások alapján állítják be, hogy a talaj soktényezős pufferképességének, szabályozókéességének a kizárása mellett jobban megértsék a növényi tápanyag-felvétel folyamatát, az egyes tápanyagok szerepét (SOKOLOV, 1975).

A talaj pufferképességének megkerülésére való törekvés megnyilvánul a tápoldatozás (fertigation) alkalmazásakor is. A talajban lévő tápanyag tartalomnak ilyenkor nem tulajdonítanak jelentőséget. Tápanyag-szolgáltató képességét figyelmen kívül hagyva a talajba gyakorta (naponta vagy naponta akár többször is) a növény igényeit kielégítő vagy azt meghaladó mennyiségű, fellelhető formájú tápanyagot juttatnak ki gyökérzetének közvetlen közelébe (TÓTH (szerk.), 1995). A növény luxus tápanyag ellátásban részesül és nincs rákényszerítve arra, hogy a talajból vegyen fel

tápanyagokat, azt naponta készen kapja megfelelő mennyiségben és formában (BALÁZS (szerk.), 2000).

A kertészeti termesztés több ágazata is a talaj-növény kapcsolat rendszerének irányítását a nagy pufferképességű talajokra vagy éppen a pufferképességgel egyáltalán nem rendelkező inert közegekre alapozza. Teszi ezt mindkét esetben ugyanazzal a céllal – a minél teljesebb körű szabályozás, szabályozhatóság megvalósítása érdekében. A szerves és ásványi közegeken elért hatalmas terméseredmények azt mutatják, hogy a talajt akár teljes egészében is ki lehet zárni a termesztésből. Azonban nem lehet kizárni a talajképző tényezőket. Legyen az bármilyen inert közeg, a talajképző tényezőktől nem függetleníthető és elkerülhetetlenül a hatásuk alá kerül. Elkezdődik, vagy folytatódik a talajképződés folyamata, melynek során a közegnek éppen az a tulajdonsága változik meg, amiért létrehozták – a szabályozhatósága.

4.8 Új tudományos eredmények

1. Tőzegekre, komposztokra, a felszínt borító szerves anyagokra vonatkozóan megállapítottam, hogy sav-bázis titrálási görbéik lefutása lineáris. Az alkalmazott sav, illetve lúg koncentrációk és a szuszpenzióknak a kezelést követően beálló egyensúlyi pH értékei közötti összefüggések formailag lineáris függvénykapcsolatként kezelhetők.
2. A lineáris függvények elemzése során azt találtam, hogy az egyenes meredeksége a szerves anyag érzékenységi indexének értékét, az ordináta tengely metszéspontja a vizes kivonatban mért pH értékét adja meg. A szerves anyagok sav, illetve lúg puffer indexei a megfelelő érzékenységi indexek reciprokjaiként meghatározhatók.
3. Igazoltam, hogy az érzékenységi index és a puffer index olyan egzakt paraméterek, amelyek a szerves anyagok pufferképességét megfelelően jellemzik. A szerves anyagok érzékenységi indexe $0,03 - 0,15 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$, puffer indexe $5,0 - 30,0 \text{ cmol pH}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ nagyságrendű.
4. Megállapítottam, hogy a humuszos bentonit, a Na-bentonit, az alunit savas és lúgos, valamint a bentonit lúgos titrálási görbéinek lefutása lineáris. Az érzékenységi indexeik $0,10 - 0,41 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$, puffer indexeik $2,4 - 10,0 \text{ cmol pH}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ nagyságrendűek.
5. A zeolit (klinoptilolit) a savas hatásokat gyengén, a lúgos hatásokat közepesen semlegesíti. Bizonyítottam, hogy a zeolit lúg pufferkapacitása abból adódik, hogy a nátrium-hidroxiddal történő titrálása során az alkálifém az ásvány gyengébb bázist képező fém ionjaira cserélődik ki.
6. A kőzetgyapot inert közegként, a kis mértékű savas kezelésekre nagyon érzékenyen reagál. Igazoltam, hogy a terhelés növelésével, az oldódása közben felszabaduló bázikus vegyületek

miatt, pufferkapacitása jelentősen megnövekszik és pH értéke a nagy adagú savterhelések mellett sem csökken pH 4 alá.

7. A sav-bázis pufferképesség vizsgálati módszert továbbfejlesztettem és alkalmassá tettem a szerves és ásványi anyagok, mesterséges talajok, termesztési közegek titrálási görbéinek felvételére. Az eljárás figyelembe veszi a minta nedvességtartalmát és hangsúlyt kap szerkezeti tulajdonsága.
8. Összeállítottam egy kategória rendszert a szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének megítélésére. Öt pufferképesség kategóriát különböztettem meg, az elhatárolás alapja a sav-bázis pufferkapacitás érték és az egy cmol kg⁻¹ sav, illetve lúg okozta pH változás a kezdeti értékhez képest.
9. Definiáltam a szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferkapacitását jellemző mérőszámokat. Kialakítottam egy jelölési rendszert, amely magába foglalja a pufferkapacitás számszerű értékét jelentősen meghatározó savas és lúgos terhelések nagyságát, tükrözi a különböző paraméterek közötti összefüggéseket. A pufferkapacitás mérőszámok mindegyikéhez mértékegységet rendeltem.
10. Megállapítottam, hogy a kertészet több ágazatában a talajfolyamatok szabályozása, a talaj-növény kapcsolat rendszerének irányítása a termesző közeg nagy pufferképességén vagy éppen a pufferképesség teljes hiányán alapszik.

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A talaj sav-bázis egyensúlyának hatékony szabályozása feltételezi a sav és lúgsemlegesítés törvényszerűségeinek és mechanizmusainak, a jellemző paraméterek értékeinek ismeretét. A kertészeti termesztés több ágazatában a talajfolyamatok szabályozása az igen nagy pufferképességgel rendelkező, beavatkozásokra, egyéb változásokra kevésbé érzékeny (legfőképp szerves) anyagok és a pufferképesség nélküli, a teljes irányítást lehetővé, de egyúttal szükségszerűvé is tevő (elsősorban ásványi) anyagok alkalmazásával, illetve ezek kombinálásával valósul meg. A mesterséges talaj, a gyökérrögzítő közeg pufferképességével szemben támasztott elvárásokban lényegében a talajfolyamatok szabályozásának, a talaj-növény kapcsolat rendszer irányításának igényei és lehetőségei fogalmazódnak meg.

A kertészeti termesztésben (is) használt szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferképességük alapján öt kategóriába sorolhatók. Az elhatárolás alapja a sav, illetve lúg pufferkapacitás érték és az egy cmol kg^{-1} savas, illetve lúgos kezelés okozta pH változás a kezdeti (pH_0) értékhez képest.

A tözegek, komposztok, a komposztok nyersanyagai, az időszakosan felszínre jutó vagy talajtakaróként oda juttatott növényi maradványok rendelkeznek az egységnyi tömegre számított legnagyobb sav-bázis pufferkapacitással. A felsorolt szerves anyagok titrálási görbéinek lefutása lineáris. A kezelésként adott sav, illetve lúg koncentrációk és a szuszpenziók egyensúlyi pH értékei közötti összefüggések lineáris egyenletekkel leírhatók.

A szerves anyagok pufferképességének kvantitatív jellemzésére javaslom a titrálási görbék lineáris egyenleteiből meghatározható sav, illetve lúg érzékenységi indexek, valamint az érzékenységi index reciprokjaként számítható sav, illetve lúg puffer indexek számszerű értékeit.

Az általam vizsgált szerves anyagok sav érzékenységi indexe 0,03 – 0,13, lúg érzékenységi indexe 0,04 – 0,21 $\text{pH cmol}^{-1} \text{ kg}$ között változik. A sav puffer indexek értékei 7,7 – 33,3, míg a lúg puffer indexek 4,8 – 25,0 $\text{cmol pH}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ nagyságrendűek.

A vizsgált ásványi anyagok sav-bázis pufferkapacitása nagyon változatos és a javasolt kategóriák mindegyikét lefedi. Az ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének jellemzésére két paramétert tartok alkalmasnak: a sav, illetve lúg pufferkapacitás értékeket, és az egy cmol kg^{-1} sav, illetve lúgterhelés okozta pH változás nagyságát. Ez utóbbi paraméter az ásványi anyagok termesztési szempontból legfontosabb pH változásaira vonatkozik.

A különböző pufferképességgel rendelkező ásványi anyagok közül ki kell emelni a mintegy 70%-ban klinoptilolitból álló zeolitot, egyfelől a lúgos hatások semlegesítésének mechanizmusa, másfelől a folyamatok kertészeti hasznosíthatóságának relációi miatt. A klinoptilolit lúgos titrálása-

kor a nátrium-ion gyengébb bázist képező fém-ionra cserélődik ki. A termesztő közegek alkotórészeként a klinoptilolit így egyszerre képes mérsékelni a nátrium felhalmozódást és a pH emelkedést.

A szerves anyagok nagy és változó nedvességtartalma jelentősen módosítja a titrálási görbék lefutását. A száraz anyag mennyiségre és a nedves minta tömegére számított kezelés alapján meghatározott sav és lúg puffer indexek átlagai egyaránt legalább $p=0,001$ szignifikancia szint mellett különböznek. Javaslatom szerint a nedvességtartalmat a mérés során, a vizsgálatra bemérendő minta tömegének korrekciójával számításba lehet venni.

A puffer indexek számszerű értékei alkalmasak a kémhatás szabályozásához használt savanyító és lúgosító anyagok szükséges mennyiségének megállapítására. Ugyanezek a paraméterek felhasználhatók a felszint borító szerves anyagok savas terhelésekkel szembeni pufferkapacitásának becslésére. Javaslatokat tettem a számítások elvégzéséhez szükséges képletekre. A továbbiakban a módszer alkalmasságát és a képletek helyességét a megfelelő mennyiségű savanyító és lúgosító anyagokkal beállított kísérletekben is szükséges megvizsgálni.

A szerves és ásványi anyagok eltérő sav-bázis tompítóképességének, különböző puffer mechanizmusaiknak módszertani vonatkozásai is vannak a termesztési kísérletek során. A különféle közegek összehasonlító vizsgálata gyakran indokolja a kémhatás egy szintre történő beállítását. Az azonos mennyiségű lúgosító, esetleg savanyító adalék anyagokkal való kezelés, a különböző pufferkapacitás miatt nem feltétlenül vezet a megfelelő eredményre. Az eltérő tulajdonságú szerves, illetve ásványi anyagok esetében a pH érték azonos szintre való korrekt beállítása, továbbá a mérési eredmények összehasonlítása, helyes interpretálása a pufferkapacitásuk és a puffer mechanizmusok ismeretében lehetséges.

A szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének tanulmányozása túlmutat a kertészeti hasznosítás lehetőségein, a talajtani kutatásokban is fontos szerepe van. A talajt alkotó számos összetevő funkcióinak megértése legtöbb esetben csak úgy lehetséges, ha ezt a bonyolult, heterogén rendszert egyszerűsítjük és a komponenseket külön-külön vizsgáljuk. A szerves és ásványi anyagoknak önálló formában történő vizsgálata, sav-bázis semlegesítő képességük mechanizmusának a megismerése, feltárása és megértése rávilágíthat a talajfolyamatokban és a talaj egészében betöltött szerepük jelentőségére. A talajokban nem, vagy csak nagyon ritkán fordulnak elő olyan szélsőséges értékek, mint az ásványi vagy szerves anyagokban. A vizsgálatuk során feltárt összefüggések fontos törvényszerűségekre irányítják rá a figyelmet és teszik lehetővé a folyamatok egzakt leírását.

ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatómunka természetes eredetű szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének megismerésére, jól definiált paramétereken alapuló kvantitatív értékelésére, a kémhatásváltozás prognosztizálhatóságának és a szabályozás lehetőségeinek elemzésére irányult.

A szakirodalmi közlések alapján áttekintettem és kiértékeltem azokat a módszereket és paramétereket, amelyeket a sav-bázis pufferképesség meghatározására, jellemzésére használnak. Az ásványi talajoknál alkalmazott eljárás több részletében is alkalmatlannak bizonyult a kertészeti termesztésben használatos anyagok vizsgálatára. A módszert ezért továbbfejlesztettem és alkalmassá tettem a szerves és ásványi anyagok, termesztési közegek, mesterséges talajok sav-bázis titrálási görbéinek felvételére. A meghatározás figyelembe veszi a minták eltérő nedvesség tartalmát. A szerves és ásványi anyagok vizsgálata olyan morfológiai állapotukban történik, ahogyan azok a termesztésben is felhasználásra kerülnek. Tőzegeken elvégzett összehasonlító vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy a nagy nedvesség tartalmú mintáknál a száraz anyag mennyiségre, illetve a nedves minta tömegére számított terhelés alapján meghatározott pufferkapacitás értékek között számottevő különbség adódik.

A kutatás során összesen húsz, eltérő körülmények között képződött, az átalakulás különböző stádiumában lévő szerves anyagot vizsgáltam. Meghatároztam felláp és síkláptőzegek, továbbá kókuszt, eltérő érlelésű szerves trágyák, komposztok és azok alapanyagának, valamint az időszakosan felszínre jutó vagy talajtakaróként oda jutatott avar és zúzott szalma sav-bázis pufferkapacitását jellemző paramétereket.

A vizsgálatok alapján azt találtam, hogy a szerves anyagok sav-bázis titrálási folyamata minden esetben lineáris lefutású volt. Az egyenes együtthatója a szerves anyag érzékenységi indexe, amelynek számbeli értéke azzal a pH változással egyenlő, amelyet egy kg szerves anyagban egy cmol sav vagy lúg hozzáadása idéz elő. Mértékegysége $\text{pH cmol}^{-1} \text{ kg}$, jelölésére bevezettem a *Sen* kifejezést. A szerves anyagok puffer indexe – jelölése β , mértékegysége $\text{cmol pH}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ – az érzékenységi index reciprokjaként számítható. Az egyenes a szerves anyag vizes kivonatban mért pH értékénél metszi az ordináta tengelyt. A szerves anyagok sav-bázis pufferképessége az érzékenységi indexszel és/vagy a puffer indexszel egyértelműen jellemezhető.

A vizsgálatba bevont szerves anyagok sav érzékenységi indexe $0,03 - 0,13 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$ között van. A legkisebb pH csökkenéssel a hahóti tőzeg és a komposztált marhatrágya reagálnak a savas terhelésekre. Hasonlóan alacsony sav érzékenységi indexszel rendelkezik a király-tói rostos síkláptőzeg és a szőlőtörköly+baromfitrágya komposzt is. A szerves anyagok lúgérzékenységi indexe $0,04 - 0,21 \text{ pH cmol}^{-1} \text{ kg}$ értékek között változik. A legkevésbé érzékeny a lúgos terhelésekre a voloscsai világosbarna felláptőzeg és a király-tói síkláptőzeg.

Az ásványi anyagok – amelyekből tizenkettőt vizsgáltam – pufferképességének jellemzésére két mérőszámot találtam alkalmasnak: a sav és lúg pufferkapacitást, valamint az egységnyi sav vagy lúg okozta pH változást a minta kezdeti értékéhez képest.

A folyami homok, a kaolin, a perlit, az égetett agyagkavics és a kőzetgyapot gyakorlatilag nem rendelkezik pufferképességgel, ezért a savas és a lúgos hatásokra egyaránt nagyon érzékenyen reagálnak. A kőzetgyapot savanyú kémhatás mellett oldódik, az összetételéből oldatba jutott bázikus kationok vegyületei $\text{pH} < 5$ értékeknél pufferkapacitását számottevően megnövelik.

A vermikulit sav és lúg pufferkapacitása egyaránt magas, amely a savas és lúgos terhelések hatására, az ásvány oldódása miatt tovább növekszik. Megállapítottam, hogy a zeolit nátrium-hidroxiddal történő titrálása során nem a hidroxid-ionok semlegesítése megy végbe, hanem az alkálifém-ion kicserélődése gyengébb bázist képező fémionra. A zeolit így egyidejűleg képes tompítani a lúgos hatásokat és az oldat fajlagos elektromos vezetőképességét. A humuszos bentonit nagyon magas pufferkapacitása, amely alkalmassá teszi a kémhatás stabilizálására jelentősebb savas és lúgos terhelésekkel szemben egyaránt, elsősorban az összetételének mintegy harmadát kitevő szerves anyagnak tulajdonítható.

Az eltérő eredetű, különböző tulajdonságú, de hasonló sav-bázis pufferképességgel rendelkező szerves és ásványi anyagokat csoportosítottam. Öt pufferkapacitás kategóriát különböztettem meg a nagyon alacsonytól az igen nagyig. Az elhatárolás alapja a pufferkapacitási érték, valamint az egységnyi sav vagy lúg okozta pH változás az anyag eredeti értékéhez képest.

A puffer index alkalmas a pH érték szabályozásához felhasználható savanyító vagy lúgosító anyagok szükséges mennyiségének meghatározására, a talajfelszínen található vagy oda jutott szerves anyagok kémhatás változásának modellezésére. A vizsgált szerves anyagok mintáján javaslatokat tettem a számítások elvégzésére.

A gyökérrögzítő közegek kiválasztásánál, a mesterséges talajok kialakításánál két, egymással látszólag ellentétes irányzat érvényesül: a nagy pufferképességű és a pufferképességgel egyáltalán nem rendelkező anyagok alkalmazása. A cél azonban mindkét esetben ugyanaz – a talaj–növény kapcsolat rendszerének szabályozása, szabályozhatósága.

SUMMARY

The present research is aimed at identifying the acid–base buffer capacity of natural organic and mineral matters, their quantitative assessment based on well-defined parameters as well as estimating the changes in pH value and finally, characterizing the regulation possibilities.

A review and evaluation of the methods and parameters used to determine and characterize the acid-base buffer capacity was done on the basis of literature on the subject. The method used with mineral soils proved to be mostly inadequate for testing materials in horticultural cultivation. Therefore, the method has been further developed and adapted for the identification of the acid-base titration curves of the organic and mineral matters, growth matter and also artificial soils. The study takes into account different damping contents of the samples. The analysis of the organic and mineral matters is done in a morphological condition similar to it in cultivation. Based on a comparative analysis of peats it was concluded that there is significant difference in buffer capacity values of high damping content upon dry matter and upon damp matter mass loads.

During the research, a total of twenty organic matters formed under different conditions and at different stages of modification were investigated. The characteristic parameters of acid-base buffer capacity of high moor peat and low moor peat, as well as coir, organic compost, compost and their content, and also undecomposed plant litter and crushed straw temporarily found on or allocated to soil level were determined.

The study showed that the acid-base titration process of organic matter was linear in all cases. The linear coefficient is the index sensitivity of the organic matter, and its numerical value equals the amount of one cmol of acid or alkali needed to change the pH value of 1 kg organic matter by one unit. Its unit is $\text{pH cmol}^{-1} \text{ kg}$, and the term *Sen* was introduced for it. The buffer index of organic substances – marked β , its unit – $\text{cmol pH}^{-1} \text{ kg}^{-1}$, can be calculated as the multiplicative inverse of the sensitivity index. The line intersects the ordinate axis at the pH value measured in water extract of organic matter. The acid- base buffer capacity of organic matters can be unequivocally characterized by sensitivity index and/or buffer index.

The acid sensitivity index of the researched organic matters ranges from 0,03 to 0,13 $\text{pH cmol}^{-1} \text{ kg}$. The peat of Hahót and composted cattle manure have the lowest pH decrease toward acid load. Similarly, the fibrous low moor peat from Király-tó and grape marc+poultry compost have identical low sensitivity indexes toward acid. The alkali sensitivity index of organic matters ranges from 0,04 to 0.21 $\text{pH cmol}^{-1} \text{ kg}$ values. The light brown high moor peat from Voloscsa and the low moor peat from Király-tó prove to be the least sensitive to alkali load.

For the analysis of the buffer capacity of the mineral matters – of which twelve were studied – two units were found suitable, namely the acid and alkali buffer capacity as well as the change in pH value per unit caused by acid or alkali as compared to the original value of the sample.

The river sand, kaolin, perlite, expanded clay granules and rockwool practically have no buffer capacity. Therefore, they are very sensitive to acidic and alkaline effects. The rock wool is soluble under acidic $\text{pH} < 5$ resulting in significant increase of the buffer capacity of the base cations.

The acid and alkali buffer capacity of vermiculite are equally high, and continue to increase due to dissolution of the mineral under high acidic and alkali pH. It was found that in the process of the sodium hydroxide titration of the zeolite, the hydroxide ions are not neutralized, but the alkali metal ion is modified into metal ions of a lower base. Thus, the zeolite is able to simultaneously reduce the effects of the alkaline solution as well as the specific electric conductivity of the solution. The extremely high buffer capacity of humus bentonite is mostly due to the organic matters amounting to around one third of its composition. Therefore, it can be used to stabilize the pH toward major acidic and alkaline loads.

Organic and mineral matters of different origin and properties, but with a similar acid-base buffer capacity were grouped. Buffer capacities of five categories were differentiated ranging from very low to very high. The categorization is based on the buffer capacity value, and the change in pH value per unit caused by acid or alkali as compared to its original value.

The buffer index may be used to determine the amount of acidifying or alkalinizing substances to regulate the pH value and to estimate the pH changes of the organic matters found on or allocated to soil level. Based on the test samples of the organic matters proposals were made for calculations.

When selecting the root treating medium and creating artificial soils, two seemingly opposite trends prevail: the use of substances of high buffer capacity and substances without any buffer capacity. However, the aim in both cases is the same: the control and controllability of the soil-plant relation system.

MELLÉKLETEK

1. sz. melléklet

IRODALOMJEGYZÉK

1. ADAMS F. (1971): Ionic Concentrations and Activities in Soil Solutions. *Soil Science Society of America Journal*, 35 420-426. p.
2. ALEXA S., DÉR S. (1998): A komposztálás elméleti és gyakorlati alapjai. Gödöllő: Bio-Szaktanácsadó Bt. 136 p.
3. ARENAS M., VAVRINA C.S., CORNELL J.A., HANLON E.A., HOCHMUTH G.J. (2002): Coir as an Alternative to Peat in Media for Tomato Transplant Production. *HortScience*, 37 309-312. p.
4. ARGO W. R., BIERNBAUM J. A. (1996): The effect of lime, irrigation-water source, and water-soluble fertilizer on root-zone pH, electrical conductivity, and macronutrient management of container root media with impatiens. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 121 (3) 442-452. p.
5. ARINGHIERI R., PARDINI G. (1985): Protonation of soil particle surfaces: Kinetics. *Canadian Journal of Soil Science*, 65 677-686. p.
6. ARINUSKINA, E.V. (1970): Rukovodstvo po chimicheskomu analizu pochv. Izdatelstvo MGU. 487 p.
7. ASKINAZI D.L. (1965): Metodi opredeleniya nuzhdajemosztyi demovo-podzolisztich pocsv v izvesztkovanyiji. 165-195. p. In: SZOKOLOV A.V., ASZKINAZI D.L. (szerk.): *Agrochimicheskije metodi issledovanyija pocsv*. Moszkva: Nauka, 436 p.
8. BACULA A.A. (szerk.) (1988): *Organicheskije udobrenija*. Kijev: Urozhaj, 184 p.
9. BALÁZS S. (szerk.) (2000): A zöldségajtatás kézikönyve. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 573 p.
10. BALJUK S.A. (szerk.) (2005): *Metodika viznacsennyja skladu ta vlastivostej gruntyiv*. 2. kötet. Harkiv: KP „Drukarnyja №13”. 223 p.
11. BATJES N.H., BRIDGES E.M. (szerk.) (1991): Mapping of soil and Terrain Vulnerability to Specified Chemical Compounds in Europe at a scale of 1:5 M. *Proceedings of International Workshop*, 1991. március 20-23. Wageningen, 177 p.
12. BHUMBLA, D.R., MC LEAN, E.D. (1965): Aluminium in soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, 29 370-374. p.
13. BIERNBAUM J. A. (1994): Water quality. In: TAYAMA H., ROLL T., GASTON M.(eds): *Tips on growing bedding plants*. 3rd ed. Columbus: Ohio Florists' Assn.

14. BIRKÁS M. (2005): A talaj minőségének javítása, fenntartása. 245-266. p. In: STEFANOVITS P., MICHÉLI E. (Szerk.): *A talajok jelentősége a 21. században*. Budapest: MTA Társadalomkutató Központ. 403 p.
15. BLASER P., SPOSITO G., HOLTZCLAW K.M. (1984): Composition and acidic functional group chemistry of an aqueous chestnut leaf litter extract. *Soil Science Society of America Journal*, 48 278-283. p.
16. BLOOM P.R., McBRIDE, M.B. (1979^a): Metal Ion Binding and Exchange with Hydrogen Ions in Acid-washed Peat. *Soil Science Society of America Journal*, 43 687-692. p.
17. BLOOM P.R., McBRIDE, M.B., WEAVER R.M. (1979^b): Aluminium organic matter in acid soils: Buffering and solution aluminium activity. *Soil Science Society of America Journal*, 43 488-493. p.
18. BOHN H.L., MCNEAL B.L., O'CONNOR G.A. (1985): Talajkémia. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó – Gondolat Kiadó, 363 p.
19. BOLT G.H., BRUGGENWERT M.G.M. (szerk.) (1978): Soil Chemistry. A. Basic Elements. Amsterdam-Oxford-New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 281 p.
20. BORGAARD O.K. (1974): Experimental Conditions Concerning Potentiometric Titration of Humic Acid. *Journal of Soil Science*, 25 (2) 189-195. p.
21. BORONKAY G., FORRÓ E. (2006): A termesztett rózsza talaj- és tápanyagigénye. *Kertgazdaság*, 38 (3) 33-41. p.
22. BREEMEN, VAN N., DRISCOLL C.T., MULDER J. (1984): Acidic deposition and internal proton sources in acidification of soils and waters. *Nature*, 307 599-604. p.
23. BREEMEN, VAN N., MULDER J., DRISCOLL C.T. (1983): Acidification and alkalization of soils. *Plant and Soil*, 75 283-308. p.
24. BREEMEN, VAN N., WIELEMAKER W.G. (1974): Buffer Intensities and Equilibrium pH of Minerals and Soils: II. Theoretical and Actual pH of Minerals and Soils. *Soil Science Society of America*, 38 61-66. p.
25. BRIDGES E.M., BATJES N.H. (1996): Soil gaseous emissions and global climate change. *Geography*, 81 (2) 155-169. p.
26. BROWN K.A. (1987): Chemical effects of pH 3 sulphuric acid on a soil profile. *Water, Air & Soil Pollution*, 32 201-218. p.
27. BUZÁS I. (szerk.) (1988.): Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. A talajok fizikai-kémiai és kémiai vizsgálati módszerei. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó, 242 p.
28. BUZÁS I. (szerk.) (1993): Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 1. A talaj fizikai, vízgazdálkodási és ásványtani vizsgálata. Budapest: INDA 4231 Kiadó. 360 p.

29. CHIZHIKOVA N.P. (1998): Clay minerals in soddy-podzolic soils of Russia and the problem of acidification. *16th World congress of soil science*, 1998. augusztus 20-26. Montpellier 458. p.
30. COLEMAN N.T., THOMAS G.W. (1967): The basic chemistry of soil acidity. 1-41. p. In: PEARSON R.W., ADAMS F. (szerk.): *Soil acidity and liming. Agronomy. 12*. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy.
31. CONYERS M.K., HELYAR K.R., POILE G.J. (2000): pH buffering: the chemical response of acidic soils to added alkali. *Soil Science*, 165 560-566. p.
32. CROMACK K. et al. (1979): Calcium oxalate accumulation and soil weathering in mats of the hypogeous fungus *Hysterangium crassum*. *Soil Biology & Biochemistry*, 11 463-468. p.
33. CSERNOV, V.A. (1947): O prirode pocsvennoj kislotosztyi. Moszkva-Leningrád: Izdatyelsztvo Akademii Nauk SSSR, 185 p.
34. DI GLÉRIA J., KLIMES-SZMIK A., DVORACSEK M. (1957): Talajfizika és talajkolloidika. Budapest: Akadémia Kiadó, 728 p.
35. DOBROVOLSKIJ V.V. (1996): Projavlenije zonalnosti v mineralnom veschestve biosferi. *Pochvovedenije*, 2 159-166. p.
36. DOMBÓVÁRINÉ FEKETE K., STEFANOVITS P. (1996): Mivel gazdagította ismereteinket az ország talaj-agyagásvány térképe? *Agrokémia és Talajtan*, 45 221-228. p.
37. ENDOVICKIJ A.P., MINKIN M.B. (1985): O vzaimnom vlijanii associationnogo i protonnogo ravnovesij karbonatnoj sistemi pochvennich rastvorov. 114-121. p. In: *Modelirovanije pochvennich processov*. Puschino: ONTI NCBI AN SSSR.
38. ENDOVICKIJ A.P., MINKIN M.B. (1986): Sovremennije problemi termodinamiki karbonatnij sistemi pochvennich rastvorov. *Pochvovedenije*, 11 76-88. p.
39. FEDERER C. A., HORNBECK J.W. (1985): The buffer capacity of forest soils in New England. *Water, Air & Soil Pollution*, 26 163-173. p.
40. FEOFAROVA I.I. (1950): Aragonit v pocsvach. *Trudi pocsvennogo instituta im. Dokucsajeva*, 34 207-209. p.
41. FILEP GY. (1988): Talajkémia. Budapest: Akadémiai kiadó, 295 p.
42. FILEP GY. (1991): A talajok sav-bázis titrálási görbéinek és pufferkapacitásának új értékelési módszere. *Agrokémia és Talajtan*, 40 195-202. p.
43. FILEP GY., CSUBÁK M. (1990): A savanyú talajok javításához szükséges mészdag becslésére alkalmas módszerek értékelése. *Agrokémia és Talajtan*, 39 127-137.
44. FILEP GY., CSUBÁK M. (1997): A protonátmenettel járó felületi reakciók kinetikája talaj/vizesoldat rendszerekben. *Agrokémia és Talajtan*, 46 159-170. p.

45. FILEP GY., FÜLEKY GY. (1999): A talaj kémiai tulajdonságai. 86-130. p. In: STEFANOVITS P., FILEP GY., FÜLEKY GY. *Talajtan*. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 470 p.
46. FILEP GY., RÉDLY L.-NÉ. (1987/88): A talajsavanyúság formáinak és a talaj sav-bázis pufferoló hatásának értelmezése. *Agrokémia és Talajtan*, 36-37 79-97. p.
47. FÖLDVÁRI M., KOVÁCS-PÁLFFY P. (2005): Montmorillonit rétegek közötti térben lévő egyes kétértékű kationok termoanalitikai vizsgálata. *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése*, 167 – 175. p.
48. FORRÓ E. (1990): Application of peat based soil mixture in intensive vegetable cultivation – Peat use and conservation. Joint Symposium of Commissions II., IV. and VI. of I.P.S., Keszthely, Hungary, September 2 – 8.
49. FORRÓ E. (1997): Fosszilis nitrogénkészletünk, a tőzeg kertészeti hasznosításának és védelmének ellentmondásai. *XI. Országos Környezetvédelmi Konferencia*, 1997. október 14-16. Siófok 227-236. p.
50. FORRÓ E. (1998): Nitrogen Investigations in Peat Based Artificial Soils under Plastic House. *Agrokémia és Talajtan*, 47 245-252. p.
51. FORRÓ E. (1999): A termésminőség biztosításának lehetőségei fólia alatti termesztésben mesterséges talajokban és közegekben. Agrárjövők alapja a minőség. *XLI. Georgikon Napok*, 1999. szeptember 23-24. Keszthely 419-423. p.
52. FÜLEKY GY. (szerk.) (1999): Tápanyag-gazdálkodás. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 714 p.
53. FÜLEKY GY., RAJKAINÉ VÉGH K. (1999): A talaj tápelem-szolgáltató képessége. 91-139. p. In: FÜLEKY GY. (szerk.): *Tápanyag-gazdálkodás*. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 714 p.
54. GEDROJC K.K. (1932): *Chimicheskij analiz pochvi*. Moszkva-Leningrád: Selkolchozizdat, 536 p.
55. GLAZOVSKAJA M.A. (1990): Methodological guidelines for forecasting the geochemical susceptibility of soils to technogenic pollution. ISRIC, Technical Paper, 22.
56. GLAZOVSKAJA M.A. (1994): Kachestvennije i kolichestvennije ocenki sensornosti i ustojchivosti prirodnych sistem k technogennim kislotnim vozdejstvijam. *Pochvovedenije*, 1 134-139. p.
57. GÖHLER H., MOLITOR H. (2002): *Erdlose Kulturverfahren im Gartenbau*. Stuttgart: Eugen Ulmer GmG & Co.
58. GORBUNOV N.I. (1969): Genezis i prevraschenije mineralov v pochvach. *Pochvovedenije*, 3 106-117. p.
59. GORBUNOV N.I. (1973): Pershpektivi izuchenija fiziko-chimicheskikh svojstv pochv, pochvennich kolloidov i mineralov. *Pochvovedenije*, 1 57-72. p.

60. GORBUNOV N.I. (1978): Mineralogija i fizicheskaja chimija pochv. Moszkva: Nauka, 294 p.
61. GRABOVENSKIJ I.J., KALACHNJUK G.I. (1984): Ceoliti i bentoniti v zhivotnovodstve. Uzsgorod: Izdatelstvo Karpati, 71 p.
62. GRINSVEN VAN J.J.M., KLOEG G.D.R., RIEMSDIJK W.H. (1986): Kinetics and Mechanism of Mineral Dissolution in a Soil at pH Values Below 4. *Water, Air & Soil Pollution*, 31 981-990. p.
63. GRISINA L.A., BARANOVA T.A. (1990): Vlijanyije kislotnich osadkov na svojstva pocsv lesnich ekosistem juzsnoj tajgi. *Pochvovedenije*, 10 121-136. p.
64. GÜNTHER J. (1981): Physikalische Eigenschaften von Kultursubstraten und Substratzuschlag-stoffen. *Gärtnerbörse+Gartenwelt*, 31 714-716. p.
65. GYÖRI D., PALKOVICS M.-NÉ, MATUSNÉ SÉNYI K. (1998): Helyszíni és laboratóriumi talajvizsgálatok. Keszthely: Egyetemi jegyzet, 86-88. p.
66. HAMKALO Z.G. (2005): Rolj organichnogo udobrennja v optimizaciji kislотно-osnovnich vlastivostej sirogo-lisovogo gruntu zachidnogo Lisostepu Ukraini. *Agrochimija i Gruntoznavstvo*, 66. 53-58. p.
67. HANDRECK K.A. (1993): Properties of coir dust, and its use in the formulation of soilless potting media. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 24 349 – 363. p.
68. HARGITAI L. (1982): A hazai tőzegkészlet értékelése kertészeti felhasználás szempontjából. Budapest, Kertészeti Egyetem Közleményei, 46 221-231. p.
69. HARGITAI L. (1983): A talajok környezetvédelmi kapacitásának meghatározása humuszállapotuk alapján. *Agrokémia és Talajtan*, 32 360-364. p.
70. HARGITAI L. (1985): Talajtan és agrokémia I. Budapest: Kertészeti Egyetem házi nyomdája, 304 p.
71. HARGITAI L., NAGY B. (1971): Dísznövények talajai és közgei. Budapest: Mezőgazdasági kiadó, 253 p.
72. HARGROVE W.L., THOMAS G.W. (1984): Extraction of aluminum from aluminum-organic matter in relation to titratable acidity. *Soil Science Society of America Journal*, 48 1458-1460. p.
73. HARTIKAINEN H. (1986): Acid- and base titration behaviour of finnish mineral soils. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 149 522-532. p.
74. HARTIKAINEN H. (1996): Soil response to acid percolation: acid-base buffering and cation leaching. *Journal of Environmental Quality*, 25 638-645. p.
75. HAUN G.W., WOLT J., REYNOLDS J.N., (1988): Effects of simulated acid rain on soil solution composition and orchard grass seedling viability. *Soil Science Society of America Journal*, 52 (4) 1037-1043. p.

76. HAY G.W., JAMES J.H., VAN LOON G.W. (1985): Solubilization effects of simulated acid rain on the organic matter of forest soil: Preliminary results. *Soil Science*, 139 422-430. p.
77. HEES VAN P.A.W., LUNDSTRÖM U.S., GIESLER R. (2000): Low molecular weight organic acids and their Al-complexes in soil solution – composition, distribution and seasonal variation in three podzolized soils. *Geoderma*, 94 173-200. p.
78. HEYNITZ K. (2006): Kerti komposztálás. Budapest: CSER kiadó, 88 p.
79. HODSON M.E., LANGAN S.J., LUMSDON D.G. (1998): A Comparison of Soil Sensitivity to Acidification Based on Laboratory-Determined Short-Term Acid Buffering Capacity and the Skokloster Classification. *Water, Air & Soil Pollution*, 105 53-62. p.
80. HORINKA T. (1997): Tápoldatozás a kertészeti termesztésben. Hódmezővásárhely: Kemira KFT. 446 p.
81. HORVÁTH E. et al. (2005): Identification of superactive centers in thermally treated formamide-intercalated kaolinite. *Journal of Colloid and Interface Science* 289 132-138. p.
82. IUSS Working Group WRB (2006): World reference base for Soil resources 2006. A framework for international classification, correlation and communication. 2nd edition. *World Soil Resources Reports* No. 103. Rome: FAO 145 p.
83. IVANOVA S.E., LADONIN D.V., SOKOLOVA T.A. (2002): Eksperimentalnoje izuchenije nekotorich kislотно-osnovnich bufernich reakcij v palevo-podzolistoj pochve. *Pochvovedenije*, 1 68-77. p.
84. IVANOVA S.E., SOKOLOVA T.A., LUKJANOVA O.N. (1996): Razvitije rabot A.A. Rode po izucheniju lesnich podzolistich pochv metodom potenciometricheskogo titrovaniya v svjazi s problemoj izmenenija pochv pod vlijanijem kislích osadkov. *Pochvovedenije*, 5 620-629. p.
85. JACKSON M.L. (1963): Aluminum bonding in soils: A unifying principle in soil science. *Soil Science Society of America Proceedings*, 27 1-10. p.
86. JAMES B.R., RIHA S.J. (1986): pH Buffering in Forest Soil Organic Horizons: Relevance to Acid Precipitation. *Journal of Environmental Quality*, 15 229-234. p.
87. JAMES B.S., RIHA S.L. (1989): Aluminum leaching by mineral acids in forest soils: II. Role of the forest floor. *Soil Science Society of America Journal*, 53 264-269. p.
88. JANSON E.J., PUTNIN J.K. (1980): Teoreticheskije osnovi analiticheskój chimii. Moszkva: Vissaja Skola, 264 p.
89. JÁRÓ Z. (1988/89): A bükkösök szerves- és tápanyagforgalma. *Erdészeti Kutatások*, 80/81. 83-98. p.
90. JUHÁSZ Z. (1969): Szilikátásványok mechanokémiai aktiválása. *MTA Kémiai Közlemények* 31 227. p.

91. KALACHNJUK G.I. et al. (1991): Viktoristannja ceolitiv pri viroschuvannji i vidgodivli molodnjaka velikoji rogatoji chudobi. Lviv: Ukrainskij NDI fiziologii i biochimii silskohospodarskich tvarin, 30 p.
92. KAPPEN H. (1929): Die Bodenazidität. Berlin: Verlag von Julius Springer. 362 p.
93. KAURICHEV I.S., BAZILINSKAJA M.V., ZABOLOTNOVA L.A. (1972): Kachestvennij sostav vodorastvorimogo organicheskogo veschestva, izvlekajemogo iz humicifirovannich i ne humicifirovannich rastitelnych ostatkov. *Izvestija TSCHA*, 2 100-109. p.
94. KAURICHEV I.S., IVANOVA T.N., NOZDRUNOVA E.M. (1963): O sodershaniiji nizkomolekuljarnich organicheskich kislot v sostave vodorastvorimogo organicheskogo veschestva pochv. *Pochvovedenije*, 3 27-35. p.
95. KÓNYA J. (1991): Határfelületi reakciók talaj, agyagászvány/vizes oldat rendszerekben. *Agrokémia és Talajtan*, 40 (1-2) 40-46. p.
96. KOPCIK G.N., KOPCIK SZ.V., GORLENKO O.V. (1999): Modelnij prognoz dolgovremennij reakcii podzolov Kolyskogo poluostrova na atmosfernije kislotnije vipadenijja. *Pochvovedenije*, 2 271-277. p.
97. KOPCIK G.N., LIVANCOVA S.Ju. (2003): Kislotnost i kationoobmennije svojstva pochv lesnich ekosistem nacionalnogo parka „Russkij sever”. *Pochvovedenije*, 6 670-681. p.
98. KOPCIK G.N., SILAJEVA E.D. (1995): Bufernost lesnich podstilok k atmosfernim kislotnim osadkam. *Pochvovedenije*, 8 954-962. p.
99. KRESKOV A.P. (1976): Osnovi analiticheskoi khimii. Teoreticheskije osnovi. Kolichestvennij analiz. T 2. Moszkva: Chimija, 480 p.
100. KRUPENIKOV I.A. (1981): Istorija pochvovedenija ot vremeni jego zarozhdenija do nasich dnei. Moszkva: Nauka, 327 p.
101. KRZYSZOWSKA A.J., BLAYLOCK M.J., VANCE G.F., DAVID M.B. (1996): Ion-Chromatographich Analysis of Low Molecular Weight Organic Acids in Spodosol Forest Floor Solution. *Soil Science Society of America Journal*, 60 1565-1571. p.
102. LAMBERT K.-né (1999): A dísznövények talajai és tápanyagai. 428-462. p. In: FÜLEKY GY. (szerk.): *Tápanyag-gazdálkodás*. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 714 p.
103. LÁNG I. (főszerk.) (2002): Környezetvédelmi lexikon. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1256 p.
104. LATIPOVA V.Z. (2000): Faktori formirovanija kislotno-osnovnich svojstv prirodnij szredi. *Sorosovskij Obrazovatel'nyj Zhurnal*, T.6 (7) 47-74. p.
105. LAZÁNYI J. (2003): Bentonitos tufa jelentősége a homoktalajok javításában. *Agrárgazdaság Vidékfejlesztés és Agrárinformatika az évezred küszöbén*, 2003. április 1-2. Debrecen, 4-8.
106. LAZARENKO E.K. (szerk.) (1963): Mineralogija Zakarpattyja. Lvov: Izdatyelsztvo Lvovskogo Universiteta. 614 p.

- 107.LEDOUX R. L., WHITE J. L. (1964): Infrared study of the OH groups in expanded kaolin-ite. *Science*, 143 244-246. p.
- 108.LEJE J.A. et al. (1971): Aluniti Zakarpattyja. Moszkva: Nedra. 176 p.
- 109.LEMAIRE F. (1995): Physical, chemical and biological properties of growing medium. *Acta Horticulture*, 396 273-283. p.
- 110.LINDSAY W.L. (1979): Chemical Equilibria in Soils. New York: Wiley, 449 p.
- 111.MÁCSAI I. (2005): Zöldségajtatási teendők a különféle közegeken. *Kertészet és Szőlészet*, (54) 5 6 – 7. p.
- 112.MAKÁDI M., HENZSEL I., LAZÁNYI J. (2003): Bentonit alkalmazása szántóföldi növénytermesztésben. *Agrárgazdaság Vidékfejlesztés és Agrárinformatika az évezred küszöbén*, 2003. április 1-2. Debrecen, 8-12.
- 113.MALCOLM R.L., KENNEDY V.C. (1969): Rate of Cation Exchange on Clay Minerals as Determined by Specific Ion Electrode Techniques. *Soil Science Society of America Journal*, 33 247-253. p.
- 114.MÁTYÁS E. (1984): A Tokaji-hegység természetes zeolit vagyonának hasznosítási lehetőségei. *Földtani Kutatás*, 27 (4) 7–16. p.
- 115.MELNICHUK D., HOFMAN G., GORODNIJ M. (szerk.) (2004): Jakist gruntiv ta suchasna strategija udobrennja. Kijev: Aristej, 488 p.
- 116.MOTUZOVA G.V. (1994): Priroda bufernosti pochv k vnesnim chimicheskim vozdejstvijam. *Pochvovedenije*, 4 46-52. p.
- 117.MURÁNYI A. (1987): Soil acidification and the soil properties. *Zeszyty problemowe postepów nauk rolniczych*, 344 123-126. p.
- 118.MURÁNYI A. (1987/88): Savkezelés hatása a talajsavanyúság különböző formáira. *Agrokémia és Talajtan* 36-37 65-79. p.
- 119.MURÁNYI A., RÉDLY L.-NÉ. (1986): Titrálási görbék felhasználása a talajt érő savterhelések hatásának összehasonlító jellemzésére. *Agrokémia és Talajtan*, 35 (1-2) 49-62. p.
- 120.MURRAY R. et al. (2000): Harper's biochemistry. Stamford: Appleton & Lange, 867-869. p.
- 121.NADTOCHIJ P.P. (1993): Opredelenyje kiszlotno-osznovnoj bufernosztyi pocsv. *Pochvovedenije*, 4 34-39. p.
- 122.NADTOCHIJ P.P. (1996): Opit sostavlenija kartogrammi kislotno-osnovnoj bufernosti pochv. *Agrochimija*, 6 20-26.p.
- 123.NAGY F. (főszerk.) (1997): Magyar tudóslexikon A-tól Zs-ig. Budapest: Better, MTESZ, OMIKK, 1024 p.
- 124.NATSCHER L., SCHWERTMANN U. (1991): Proton buffering in organic horizons of acid forest soils. *Geoderma*, 48 93-106. p.

125. NELSON, V.P. (1998): Greenhouse Operation & Management. New Jersey: Prentice Hall. 550 p.
126. NEMECZ E (1991): A talajban végbemenő ásvány-átalakulási folyamatok. *Agrokémia és Talajtan*, 40 8-17. p.
127. NEMECZ E. (1973): Agyagásványok. Budapest: Akadémiai Kiadó, 507 p.
128. NILSSON J., GRENNFELT P. (szerk.) (1988): Critical loads for sulphur and nitrogen. Copenhagen: NORD 1988: 15 Nordic Council of Ministers. Miljörapport 15, 418 p.
129. NOVOZAMSKY I., BEEK J. (1978): Common solubility equilibria in soils. 96-125. p. In: BOLT G.H., BRUGGENWERT M.G.M. (szerk.) (1978): *Soil Chemistry. A. Basic Elements*. Amsterdam-Oxford-New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 281 p.
130. ORLOV D.SZ. (1985): Chimija pochv. Moszkva: Izdatelstvo MGU, 376 p.
131. ORLOV D.SZ. (1990): Humusovije kisloti pochv i obschaja teorija humifikaciji. Moszkva: Izdatyelsztvo MGU, 326 p.
132. ORLOV D.SZ., (1996). Chimija i ochrana pocsv. *Szoroszosvskij Obrazovatyelnyij Zsurnal*, 3 65-74. p.
133. ORLOV D.SZ., VOROBEVA L.A. (1982): Szisztéma pokazatyelaj chimicseszko szosztjanyija pocsv. *Pochvovedenije*, 4 5-22. p.
134. PISKUNOV N.S. (1976): Differencialnoje i integralnoje ischislenija. Tom pervij. Moszkva: Nauka, 456 p.
135. PONIZOVSKIJ A.A., PAMPURA T.V. (1993): Primenenije metoda potenciometricheskogo titrovaniya dlja charakteristiki bufernoj sposobnosti pochv. *Pochvovedenije*, 3 106-115. p.
136. PONNAMPERUMA F.M. (1967): A theoretical study of aqueous carbonate equilibria. *Soil Science*, 103 90-100. p.
137. RACSKÓ J. (2004): A mulcsozás alkalmazása a kertészeti termesztésben. *Agrárol dal.hu*, http://www.agraroldal.hu/mulcs_cikk.html
138. RÁCZ I.-né (2007): Öntözővizek minősége a hazai vízkultúrás zöldségtermesztésben. Doktori (PhD) értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Budapest.
139. RÁCZ I.-né (2008): A talaj nélküli termesztés kémiai alapjai. 20-42. p. In: TERBE I., SLEZÁK K. (szerk.) 2008: *Talaj nélküli zöldség-hajtatás*. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 372 p.
140. REITER H. et al. (1986): Einfluss von saurer Beregung und Kalkung auf austauschbare und geloste Ionen im Boden. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 105 300-309. p.
141. RÉKÁSI M., FILEP T. (2007): A talajok sav-bázis pufferkapacitásának értékelésére alkalmas módszer vizsgálata. *Agrokémia és Talajtan*, 56 29-38. p.

142. RJAZANOV M.A., LODIGIN E.D., BEZNOSIKOV V.A., ZLOBIN D.A. (2001): Ispolzovanije metoda pK-spektroskopii dlja ocenki kislotno-osnovnich svojstv fulvokislot. *Pochvovedenije*, 8 934-941. p.
143. SAMRIKOVA E.V., SOKOLOVA T.A., ZABOEVA I.B. (2003): Kislotno-osnovnaja bufernoszty organogennich gorizontov podzolisztich i bolotno-podzolisztich pocsv respubliki Komi. *Pochvovedenije*, 7 797-807. p.
144. SÁRY L. (2009): Magas biológiai hatékonyságú humusztrágya: a Cofuna. Agrárágazat, 9. évfolyam, 1. szám. <http://www.pointernet.pds.hu/ujsagok/agraragazat/2009/01/>
145. SAVVAS D., PASSAM H. (szerk.) (2002): Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Athens: Embryo Publications. 450 p.
146. SCHALLER G., FISCHER W.R. (1985): Kurzfristige pH-Pufferung von Böden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 148 (5) 471-480. p.
147. SCHEFFER F., SCHACHTSCHABEL P. (1976): Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag.
148. SCHNITZLER, J., M. GRUDA, T. MICHALSKY (1994): Bringt Bentonit Vorteile bei der Anzucht von Gemusejungpflanzen? *Gartenbau-Magazin*. 3 (3) 34-35. p.
149. SCHWERTMANN U., SÜSSER P., NÄTSCHER L. (1987): Protonenpuffer Substanz in Böden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 150 (3) 174-178. p.
150. SLEZÁK K., SCHLOEMER ZS., FEHÉRVÁRI-PÓCZIK E. (2005): Uborkahajtás külön-bözi tözegekben és kókuszrostban. *The 12th Symposium on Analytical and Environmental Problems*, 2005. szeptember 26. Szeged 488-492. p.
151. SMAGIN A.V. (1999): Gazovaja faza pochv. Moszkva: MGU, 200 p.
152. SMAGIN A.V. et al. (2001): Modelirovanije dinamiki organicheskogo veschestva pochv. Moszkva: MGU, 119 p.
153. SOKOLOV A.V. (1975): Vegetacionnij metod. 585-604. p. In: SOKOLOV A.V. (szerk.): *Agrochimicheskije metodi isszledovanija pochv*. Moszkva: Nauka, 656 p.
154. SOKOLOVA T.A. et al. (1991): Chimicheskije osnovi bufernosti pochv. Moszkva: Izdatelstvo MGU, 107 p.
155. SOKOLOVA T.A. et al. (1996): Polevoje modelirovanije pervich stadij vzaimodejstvija kislich osadkov s lesnimi podzolistimi pochvami. *Pochvovedenije*, 7 847-856. p.
156. SOKOLOVA T.A., DRONOVA T.JA., TOLPESTA I.I. (2005): Glinistije minerali v pochvach. Moszkva: MGU, 336 p.
157. SOKOLOVA T.A., PACHOMOV A.P., TERECHIN V.G. (1993): Izuchenije kislotno-osnovnoj bufernosti podzolistich pochv metodom neprerivnogo potenciometricheskogo titrovaniya. *Pochvovedenije*, 7 97-105. p.

- 158.SOKOLOVA T.A., TOLPESTA I.I., TROFIMOV S.Ja. (2007): Pochvennaja kislotnost. Kislотно-osnovnaja bufernost pochv. Sojedinenija aluminiya a tverdoj faze pochvi i v pochvennom rastvore. Moszkva: MGU, 96 p.
- 159.SOLTI G. (2000): Tápanyagpótlás az ökológiai gazdálkodásban. *Lippay János-Vas Károly" Tudományos Ülésszak*, 2000. november 6-7. Budapest
- 160.SOROKINA N.P., KOGUT B.M. (1992): Dinamika sodержaniya humusa v pachotnich chernozjomach i podchodi k jejo opisaniju. *Pochvovedenije*, 2 178-184. p.
- 161.STEFANOVITS P. (1991): Az agyagásvány-összetétel ismeretének talajtani alkalmazási lehetőségei. *Agrokémia és Talajtan*, 40 17-30. p.
- 162.STEFANOVITS P. (2005): A talajok környezeti tompítóképesége, terhelhetősége. 373-400. p. In: STEFANOVITS P., MICHÉLI E. (szerk.): *A talajok jelentősége a 21. században*. Budapest: MTA Társadalomkutató Központ, 403 p.
- 163.STEFANOVITS P.(1989): Az agyagásvány-összetétel szerepe a talajok savasodásában. *Agrokémia és Talajtan*, 38 145-153. p.
- 164.STEFANOVITS P.(1990): A talaj savanyodásának oka. *Környezetünk savasodása. Országos konferencia*, 1990. november 14-16. Balatonfüred.
- 165.STEVENSON F.J. (1994): Humus Chemistry: genesis, composition, reactions. New York: Wiley. 496 p.
- 166.STICHER H., BACH R. (1971): Aragonit-konkretionen in dolomit-rendzinen. *Geoderma*, 6 61-67. p.
- 167.SÜSSER P., SCHWERTMANN U. (1991): Proton buffering in mineral horizons of some acid forest soils. *Geoderma*, 49 63-76. p.
- 168.SZABADVÁRY F. (1998): A magyar kémia művelődéstörténete. Budapest: Mundus Magyar Egyetemi Kiadó, 196 p.
- 169.SZENDREI G. (1991): Az ásványok előfordulása a talajokban. *Agrokémia és Talajtan*, 40 77-85. p.
- 170.TÁLLAI M. (2007): Bentonit hatása a talajmikrobák mennyiségi előfordulására, a CO₂-képződésre, valamint a szacharáz enzim aktivitására. *Agrártudományi közlemények*, 26 287 – 293. p.
- 171.TAMM K.O., HALLBÄCKEN L. (1986): Changes in soil pH over a 50-year period under different forest canopies in SW Sweden. *Water, Air & Soil Pollution*, 31 337-341. p.
- 172.TARGULJAN V.O., SOKOLOVA T.A. (1996): Pochva kak biokosnaja prirodnaia sistema: „reaktor”, „pamjat” i „reguljator” biosfernich vzaimodejstvii. *Pochvovedenije*, 1 34-47. p.
- 173.TERBE I., SLEZÁK K. (szerk.) 2008: Talaj nélküli zöldség-hajtatás. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 372 p.

174. THACKER D.J. et al., (1987): The effects of simulated acid precipitation in the surface horizons of two eastern Canadian forest Podzol soil. *Canadian Journal of Forest Research*, 17 (9) 1138-1143. p.
175. THORWART G. (1982): Die sauren Niederschläge und ihre ökologischen Auswirkungen. *Unser Wald*, 34 185-189. p.
176. TOLNER L., RÉKÁSI M., VÁGÓ I., ZSIGRAI GY., KOVÁCS Z. (2006): Effect of settings on the result of a pH-stat titration: Soil acidity and estimated lime requirement. 18th *World congress of Soil Science*, 2006. július 9-15. Philadelphia.
177. TOMBÁ CZ E. (2002): Humuszanyagok a környezeti rendszerekben. *Magyar Kémikusok Lapja*, 57 306-313. p.
178. TÓTH Á. (szerk.) (1995): Az esőszerű és mikroöntözés gyakorlata. Nádudvar: KITE Rt., 124 p.
179. TRUSKAVECKIJ R.S. (2003): Buferna zdannist gruntiv ta ich osnovni funkcii. Charkiv: PPV Nove Slovo 224 p.
180. TRUSKAVECKIJ R.S. (szerk.) (1999): Suchasnji fiziko-chimichni metodi doslidzhenj gruntiv (persa redakcija). Charkiv. 35 p.
181. TRUSKAVECKIJ R.S. et al. (2006): Resursozberezhuvalni technologii melioracii i upravlinnja rodjuchistju kislich gruntiv (rekomendacii). Harkiv: Nacionalnij naukovij centr „Institut gruntoznavstva ta agrochimii imeni O.N. Sokolovskogo” UAAN. 45 p.
182. TURNER R.C., CLARK J.S. (1956): The pH of calcareous soils. *Soil Science*, 82 337-341. p.
183. ULRICH B. (1981): Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 144 (3) 289-305. p.
184. ULRICH B. (1983): Soil acidity and its relation to acid deposition. 127-146. p. In: ULRICH B., PANKRATH J. (szerk.): *Effect of Accumulation of Air Pollutant in Forest Ecosystems*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company.
185. ULRICH B. (1986): Acid load by soil internal processes and by acid deposition. *Trans. XIII. Congr. Int. Soil Sci.* 1986. augusztus 13-20. Hamburg, V. 5. 77-84. p.
186. VÁRALLYAI GY., RÉDLY M., MURÁNYI A. (1986): A légköri savas ülepedés hatása a talajra Magyarországon. *Időjárás*, 90 (2-3) 169-180. p.
187. VASILEV N.G., USKOVA E.T. (1972): Interpretacija krivich potenciometricheskogo titrovanija kislich form kaolinita. *Kolloidnij zhurnal*, 34 176-179. p.
188. VERDONCK O. (1983): New developments in the use of graded perlite in horticultural substrates. *Acta Horticulturae*, 150. 575-581. p.

189. VERWER, F.L.J.A.W. (1976): Growing horticultural crops in rockwool and nutrient film. *Proceedings 4th International Congress Soilless Culture*, IWOSC, Wageningen, The Netherlands 107-119. p.
190. VOROBEVA L.A., ZAMANA SZ.P. (1984): Priroda scsolocsnosztyi pocsv i metodi jejo opredelenyija. *Pochvovedenije*, 5 134-139. p.
191. VOZBUCKAJA, A.E. (1968): Chimija pochvi. Moszkva: Visshaja skola. 428 p.
192. WALKER W.J., CRONAN C.S., BLOOM P.R. (1990): Aluminium solubility in organic soil horizons from Nothorn Southern Forested Watersheds. *Soil Science Society of America Journal*, 54 369-374. p.
193. WILSON, G.C.S. (1983): Analytical analyses of perlite substrates. *Acta Horticulturae*, 150 41-46. p.
194. WISNIEWSKI J., KEITZ E. (1983): Acid rain deposition patterns in the continental United States. *Water, Air & Soil Pollution*, 19 327-339. p.
195. YARIV S. (1992): Wettability of clay minerals. 279-326. p. In: SCHRADER M.E., LOEB G.I. (ed.): *Modern Approaches to wettability: Theory and applications*. New York: Plenum Press, 484 p.
196. ZENTAY T., VITÁLIS GY. (1987): Magyarország talajjavító ásványi nyersanyagai. *Módszertani Közlemények XI. Kötet*. Magyar Állami Földtani Intézet. 120 p.
197. ZÖTTL H.W. (1979): Exkursionsführer zur Jahrestagung der DBG 1979 in Freiburg i. Br. *Mitteilung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 28. 117-244. p.
198. ZUSEVICS J.A. (1980): Relationships between buffer capacity and some properties of light tropical soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 11 405-416. p.

Szabványok:

1. ISO 10390:1994 Soil quality – Determination of pH
2. ISO 11265:1994 Soil quality – Determination of the specific electrical conductivity
3. MSZ-08 0012/3- 79 Tőzegek és tőzegkészítmények fizikai, kémiai és biológiai vizsgálata

Termékismertető:

1. NOVÁK B.: Biovin. <http://www.biovin.extra.hu/>
2. TOV „PERLITE GROUP” TERMÉKISMERTETŐ: <http://www.perlitgroup.com/ukr/productions>
3. VAT „IVANO-FRANKIVSKTORF” TERMÉKISMERTETŐ: <http://www.peat.com.ua/>

ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. ábra A desztillált víz titrálási görbéje
2. ábra A desztillált víz pufferkapacitásának változás a pH függvényében
3. ábra A CaCO_3 , a CO_2 és a H_2O rendszerben fennálló egyensúlyok
4. ábra A talajok potenciometriás titrálásának változatai.
5. ábra A zeolit eredeti titrálási görbéje a tényleges pH értékekkel
6. ábra A pufferkapacitás számításhoz átalakított diagram a zeolit titrálási görbéjével
7. ábra Az ivano-frankivszki sötétbarna felláp-tőzegre a kétféle módszer szerint felvett titrálási görbék
8. ábra A pötrétei síkláptőzegre a kétféle módszer szerint felvett titrálási görbék
9. ábra A tőzegek és a kókuszrost sav pufferkapacitása és lúg pufferkapacitása
10. ábra A tőzegek és a kókuszrost pH változása a kezdeti értékhez képest 25 cmol kg^{-1} sav, illetve lúgterhelés mellett
11. ábra A tőzegek és a kókuszrost sav-bázis egyensúlyi indexei
12. ábra A komposztok, nyersanyagok sav pufferkapacitása és lúg pufferkapacitása
13. ábra A komposztok, nyersanyagok pH változása a kezdeti értékhez képest 25 cmol kg^{-1} sav, illetve lúgterhelés mellett
14. ábra A komposztok, nyersanyagok sav-bázis egyensúlyi indexei
15. ábra A talajtakarók sav pufferkapacitása és lúg pufferkapacitása
16. ábra A talajtakarók pH változása a kezdeti értékhez képest 25 cmol kg^{-1} sav, illetve lúgterhelés mellett
17. ábra A talajtakarók sav-bázis egyensúlyi indexei
18. ábra Tőzegek és kókuszrost titrálási görbéi
19. ábra Komposzt és talajtakarók titrálási görbéi
20. ábra Az ivano-frankivszki sötétbarna felláptőzeg titrálási pontjaira illesztett egyenesek és függvényeik
21. ábra A maradéktagok szórása az ivano-frankivszki tőzeg savas titrálása során
22. ábra A maradéktagok szórása az ivano-frankivszki tőzeg lúgos titrálása során
23. ábra Az ásványi anyagok sav pufferkapacitása és lúg pufferkapacitása
24. ábra A folyami homok titrálási görbéje
25. ábra A duzzasztott perlit titrálási görbéje
26. ábra Az égetett agyagkavics titrálási görbéje
27. ábra A közetgyapot titrálási görbéje
28. ábra A kaolin titrálási titrálási görbéje
29. ábra A bentonit és a Na-bentonit titrálási görbéi
30. ábra A humuszos bentonit titrálási görbéje
31. ábra A vermikulit titrálási görbéje
32. ábra A zeolit két frakciójának titrálási görbéi
33. ábra Az egyensúlyi oldatok Na^+ koncentrációjának változása a zeolit két frakciójának lúgos titrálása során
34. ábra Az alunit titrálási görbéje
35. ábrától
a A savas és lúgos kezelések hatása az egyensúlyi pH értékek változására
81. ábráig

3. sz. melléklet

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat	Kritikus savterhelés különböző ásványokra vonatkozóan
2. táblázat	Különböző talajokból elkülönített huminsavak és fulvosavak összaciditása és funkciós csoportjaiknak az aciditása
3. táblázat	A szerves anyagok megnevezése és származási helye
4. táblázat	Az ásványi anyagok megnevezése és szemcsemérete
5. táblázat	A titrálási görbék felvétele során alkalmazott sav és lúg koncentrációk
6. táblázat	A sav-bázis pufferképesség értékelésére használt mérőszámok
7. táblázat	A tözegek és a tözegekből készített vizes kivonatok pufferkapacitásának összehasonlítása
8. táblázat	A szerves és ásványi anyagok sav-bázis pufferképességének vizsgálatára továbbfejlesztett módszer alkalmazásához szükséges számítások a pötrétei tözeg példáján
9. táblázat	A kétféle módszer alapján számított puffer indexek összehasonlító értékelése a kétmintás párosított t-próba alapján
10. táblázat	A tözegek és a kókuszrost néhány jellemző tulajdonsága
11. táblázat	A komposztok, nyersanyagok néhány jellemző tulajdonsága
12. táblázat	A talajtakarók néhány jellemző tulajdonsága
13. táblázat	A szerves anyagok sav-bázis titrálási egyenletéből számított érzékenységi és puffer index értékek
14. táblázat	Az ásványi anyagok néhány jellemző tulajdonsága
15. táblázat	A homok sav-bázis pufferképességét jellemző paraméterek
16. táblázat	A perlit sav-bázis pufferképességét jellemző paraméterek
17. táblázat	Hőkezeléssel előállított ásványi anyagok sav-bázis pufferképességét jellemző paraméterek
18. táblázat	A közetgyapot sav érzékenységi és puffer indexeinek változása különböző pH-intervallumokban
19. táblázat	Az agyagásvány tartalmú ásványi anyagok sav-bázis pufferképességét jellemző paraméterek
20. táblázat	A bentonitok sav-bázis pufferképességét jellemző paraméterek értékei
21. táblázat	A vermikulit érzékenységi és puffer indexeinek változása különböző sav és lúgterheléseknél
22. táblázat	Eltérő szemcseméretű zeolit sav-bázis pufferképességét jellemző paraméterek
23. táblázat	Az alunit sav-bázis pufferképességét jellemző paraméterek
24. táblázat	A sav-bázis pufferképesség megítélése a pufferkapacitást jellemző paraméterek alapján
25. táblázat	A szerves és ásványi anyagok csoportosítása pufferképességük szerint
26. táblázat	Becsült mészsadagok tözegek és kókuszrost pH értékének növeléséhez
27. táblázat	Becsült kén dózisok szerves anyagok pH értékének csökkentéséhez
28. táblázat	A talajtakarók becsült sav és lúg semlegesítő kapacitása egységnyi területre vetítve
29. táblázat	Komposztok becsült sav és lúg semlegesítő kapacitása egységnyi tömegre vetítve
30. táblázat	A szerves és ásványi anyagok sav pufferkapacitásának és lúg pufferkapacitásának számításához szükséges adatok

4. melléklet

A SAV ÉS LÚG PUFFERKAPACITÁS MEGHATÁROZÁSÁNÁL ALKALMAZOTT SZÁMÍTÁSOK

30. táblázat. A szerves és ásványi anyagok sav pufferkapacitásának és lúg pufferkapacitásának számításához szükséges adatok

A minta sorozat tagjainak jelölése	A vizsgált mintára kijutatott sav vagy lúg koncentrációja	A vizsgált mintára kijutatott savas vagy lúgos terhelés nagysága	A terhelésként kijutatott sav vagy lúg pH értéke	A vizsgált anyagnak a sav vagy lúg terhelés következményeként beállt egyensúlyi pH értéke
		cmol kg ⁻¹	számított adatok	mért adatok
		mol dm ⁻³	1 cmol kg ⁻¹ = 1 cm	1 pH = 1 cm
Savas intervallum				
1	M_1^a	a_1	pH_1^a	pH_1^{am}
2	M_2^a	a_2	pH_2^a	pH_2^{am}
3	M_3^a	a_3	pH_3^a	pH_3^{am}
4	M_4^a	a_4	pH_4^a	pH_4^{am}
...		...	...	...
$i-2$	M_{i-2}^a	a_{i-2}	pH_{i-2}^a	pH_{i-2}^{am}
$i-1$	M_{i-1}^a	a_{i-1}	pH_{i-1}^a	pH_{i-1}^{am}
i	M_i^a	a_i	pH_i^a	pH_i^{am}
Desztillált víz		0	pH ₀	pH_0^m
Lúgos intervallum				
1	M_1^b	b_1	pH_1^b	pH_1^{bm}
2	M_2^b	b_2	pH_2^b	pH_2^{bm}
3	M_3^b	b_3	pH_3^b	pH_3^{bm}
4	M_4^b	b_4	pH_4^b	pH_4^{bm}
...		...	...	...
$i-2$	M_{i-2}^b	b_{i-2}	pH_{i-2}^b	pH_{i-2}^{bm}
$i-1$	M_{i-1}^b	b_{i-1}	pH_{i-1}^b	pH_{i-1}^{bm}
i	M_i^b	b_i	pH_i^b	pH_i^{bm}

Megjegyzés: az integrálnak a Simpson-képlet alapján való számításakor az i értéke csak páros lehet

A vizsgált mintára kijutatott savas vagy lúgos terhelés nagyságát cmol kg^{-1} egységekben a következő képlet alapján számítottam:

$$[H^+] = [OH^-] = \frac{M \cdot V \cdot 100 \cdot 1000}{m \cdot 1000} \quad (43)$$

ahol: M – a vizsgált mintára kijutatott sav vagy lúg koncentrációja, mol dm^{-3} ;

V – a mintához adott sav vagy lúg térfogata, cm^3 ;

m – a vizsgálatához bemért minta tömege, g;

100 és 1000 – a cmol kg^{-1} mértékegységbe történő átszámítási együtthatók.

A terhelésként kijutatott sav vagy lúg pH értékének számítása:

$$pH^a = -\lg M^a \quad (44)$$

$$pH^b = 14 + \lg M^b \quad (45)$$

ahol: M – a vizsgált mintára kijutatott sav vagy lúg koncentrációja, mol dm^{-3} .

A sav-bázis titrálási görbék által határolt terület számértékének számítása

a Simpson-formula segítségével

A terhelésként kijutatott sav számított titrálási görbéje és a $\text{pH}=7$ egyenese által határolt terület nagyságának számításához használt képlet:

$$S_{pH_0=7}^a (\text{cm}^2) = (a_i/3i) \cdot [|pH_i^a - pH_0| + 2(|pH_2^a - pH_0| + |pH_4^a - pH_0| + \dots + |pH_{i-2}^a - pH_0|) + 4(|pH_1^a - pH_0| + |pH_3^a - pH_0| + \dots + |pH_{i-1}^a - pH_0|)] \quad (46)$$

A terhelésként kijutatott lúg számított titrálási görbéje és a $\text{pH}=7$ egyenese által határolt terület nagyságának számításához használt képlet:

$$S_{pH_0=7}^b (\text{cm}^2) = (b_i/3i) \cdot [|pH_i^b - pH_0| + 2(|pH_2^b - pH_0| + |pH_4^b - pH_0| + \dots + |pH_{i-2}^b - pH_0|) + 4(|pH_1^b - pH_0| + |pH_3^b - pH_0| + \dots + |pH_{i-1}^b - pH_0|)] \quad (47)$$

A vizsgált minta savas tartományban felvett titrálási görbéje és a pH_0^m egyenese által határolt terület nagyságának számításához használt képlet:

$$S_{pH_0^m}^{am}(cm^2) = (a_i/3i) \cdot [|pH_i^{am} - pH_0^m| + 2(|pH_2^{am} - pH_0^m| + |pH_4^{am} - pH_0^m| + \dots + |pH_{i-2}^{am} - pH_0^m|) + 4(|pH_1^{am} - pH_0^m| + |pH_3^{am} - pH_0^m| + \dots + |pH_{i-1}^{am} - pH_0^m|)] \quad (48)$$

A vizsgált minta lúgos tartományban felvett titrálási görbéje és a pH_0^m egyenese által határolt terület nagyságának számításához használt képlet:

$$S_{pH_0^m}^{bm}(cm^2) = (b_i/3i) \cdot [|pH_i^{bm} - pH_0^m| + 2(|pH_2^{bm} - pH_0^m| + |pH_4^{bm} - pH_0^m| + \dots + |pH_{i-2}^{bm} - pH_0^m|) + 4(|pH_1^{bm} - pH_0^m| + |pH_3^{bm} - pH_0^m| + \dots + |pH_{i-1}^{bm} - pH_0^m|)] \quad (49)$$

A sav pufferkapacitás és lúg pufferkapacitás számítása

A sav pufferkapacitás számítása a $pH=7$ abszcisszához („abszolút puffer”) viszonyítva:

$$^a_{BC} = \frac{(S_{pH_0=7}^a - S_{pH_0^m}^{am}) \cdot 100}{S_{pH_0=7}^a} \quad (50)$$

A lúg pufferkapacitás számítása a $pH=7$ abszcisszához („abszolút puffer”) viszonyítva:

$$^b_{BC} = \frac{(S_{pH_0=7}^b - S_{pH_0^m}^{bm}) \cdot 100}{S_{pH_0=7}^b} \quad (51)$$

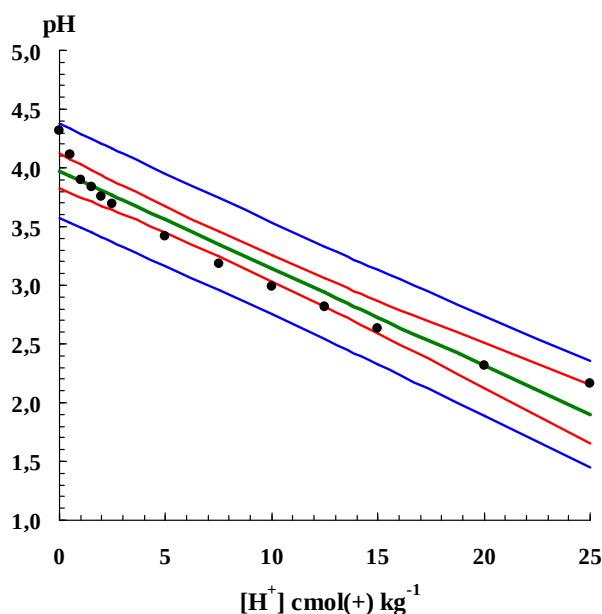
ahol: $^a_{BC}$ – a vizsgált minta sav pufferkapacitása;

$^b_{BC}$ – a vizsgált minta lúg pufferkapacitása.

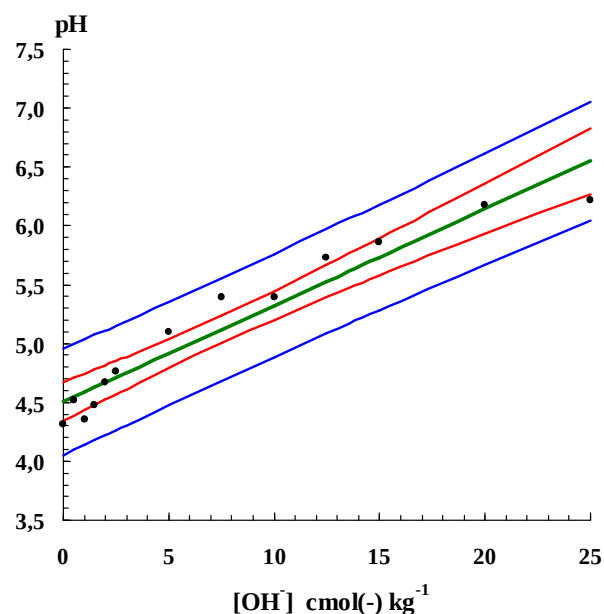
5. melléklet

A REGRESSZIÓS EGYENESEK STATISZTIKAI ÉRTÉKELÉSÉNEK EREDMÉNYEI

A litván fehér felláptőzeg egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti lineáris reláció vizsgálata



35. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



36. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,94		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,94	Regresszió	1	5,45	5,45	186,3	0,000
standard hiba	0,17 pH	Maradék	11	0,32	0,029		
megfigyelések	13	Összesen	12	5,77			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	3,97	0,067	58,9	0,000	3,823	4,120
$^a Sen$	-0,08	0,006	-13,7	0,000	-0,096	-0,070

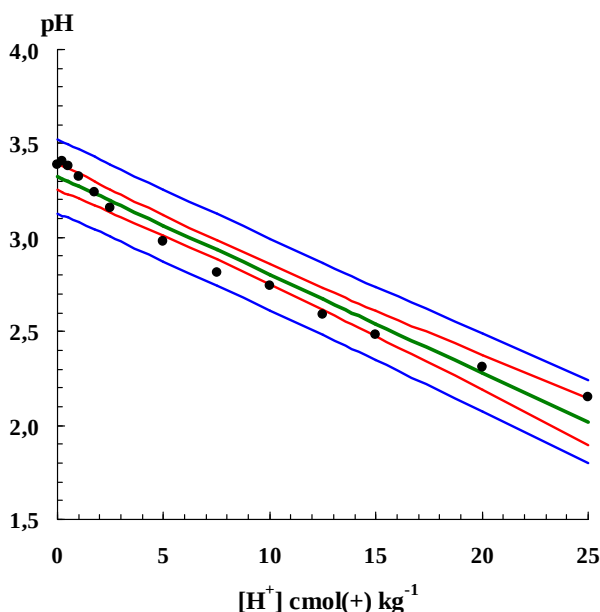
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,93		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,92	Regresszió	1	5,32	5,32	146,6	0,000
standard hiba	0,19 pH	Maradék	11	0,40	0,036		
megfigyelések	13	Összesen	12	5,72			

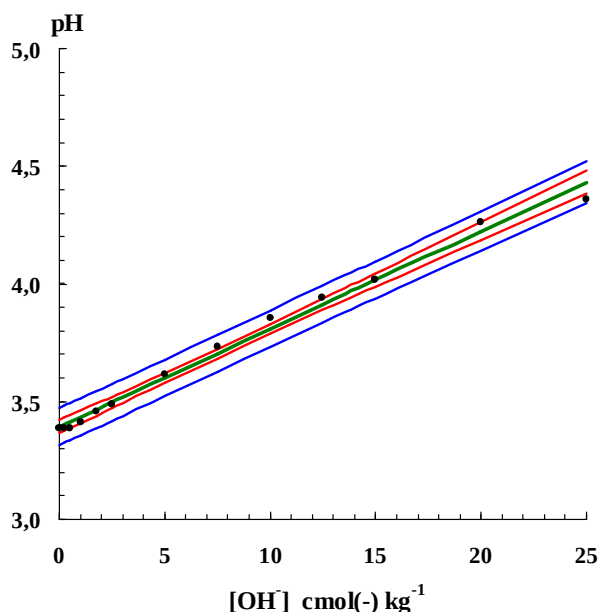
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	4,51	0,075	60,0	0,000	4,340	4,670
$^b Sen$	0,08	0,007	12,1	0,000	0,067	0,097

**A voloscsai világosbarna felláptőzeg
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



37. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



38. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,97		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,96	Regresszió	1	2,22	2,22	319,1	0,000
standard hiba	0,08 pH	Maradék	11	0,08	0,007		
megfigyelések	13	Összesen	12	2,30			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	3,33	0,032	102,5	0,000	3,255	3,398
$^a Sen$	-0,05	0,003	-17,9	0,000	-0,059	-0,046

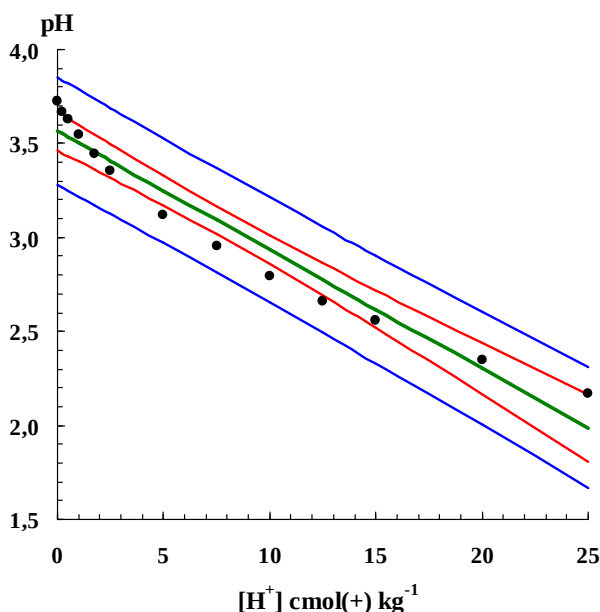
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,99		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,99	Regresszió	1	1,40	1,40	1240	0,000
standard hiba	0,03 pH	Maradék	11	0,01	0,001		
megfigyelések	13	Összesen	12	1,41			

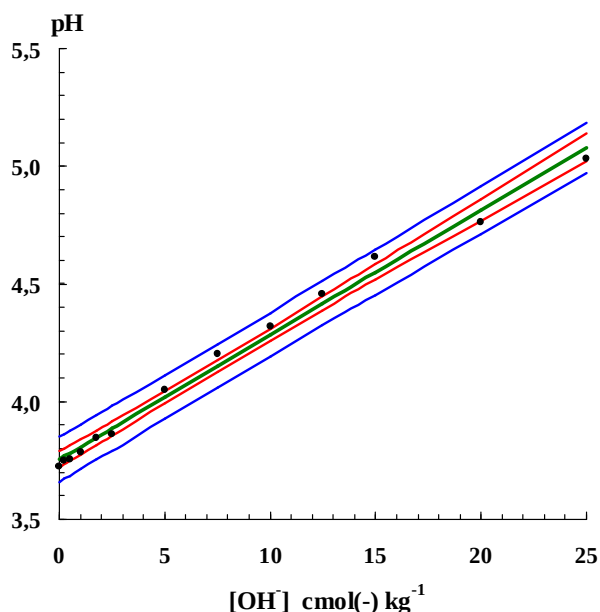
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	3,39	0,013	259,4	0,000	3,364	3,422
$^b Sen$	0,04	0,001	35,2	0,000	0,039	0,044

**Az ivano-frankivszki sötétbarna felláptőzeg
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



39. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



40. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,95		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,95	Regresszió	1	3,25	3,25	220,0	0,000
standard hiba	0,12 pH	Maradék	11	0,16	0,015		
megfigyelések	13	Összesen	12	3,41			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	3,57	0,047	75,5	0,000	3,462	3,671
$^a Sen$	-0,06	0,004	-14,8	0,000	-0,073	-0,054

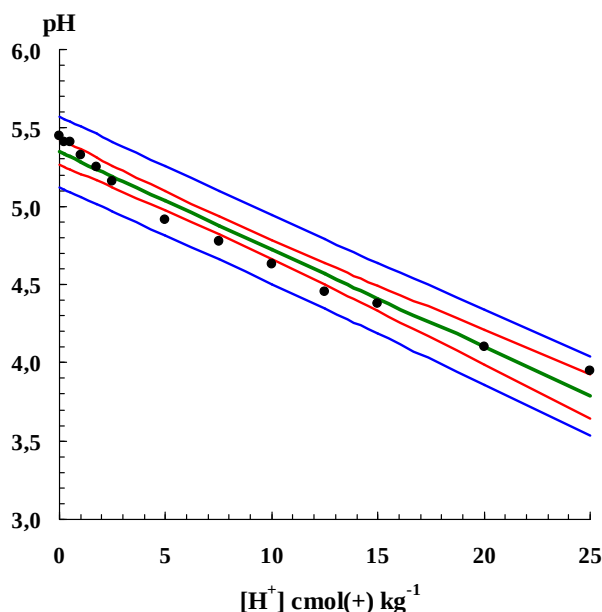
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,99		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,99	Regresszió	1	2,28	2,28	1378	0,000
standard hiba	0,04 pH	Maradék	11	0,02	0,002		
megfigyelések	13	Összesen	12	2,30			

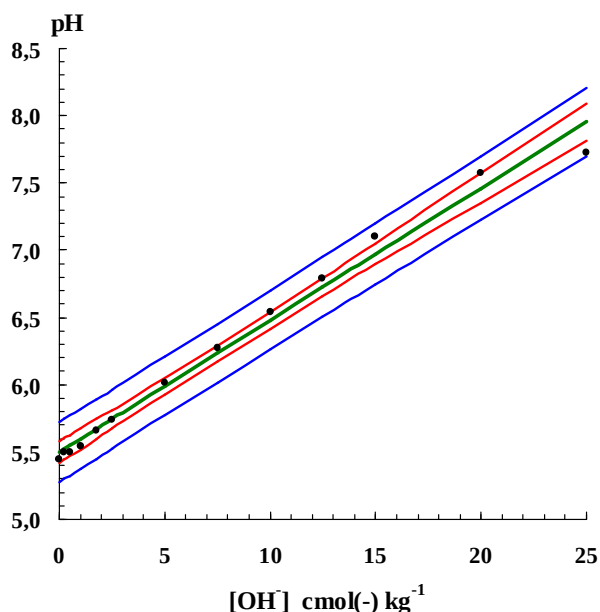
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	3,75	0,016	237,1	0,000	3,719	3,789
$^b Sen$	0,05	0,001	37,1	0,000	0,050	0,056

**A voloscsai sötétbarna felláptőzeg
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



41. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



42. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,97		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,97	Regresszió	1	3,17	3,17	342,1	0,000
standard hiba	0,10 pH	Maradék	11	0,10	0,009		
megfigyelések	13	Összesen	12	3,27			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	5,35	0,037	142,9	0,000	5,264	5,429
$^a Sen$	-0,06	0,003	-18,5	0,000	-0,070	-0,055

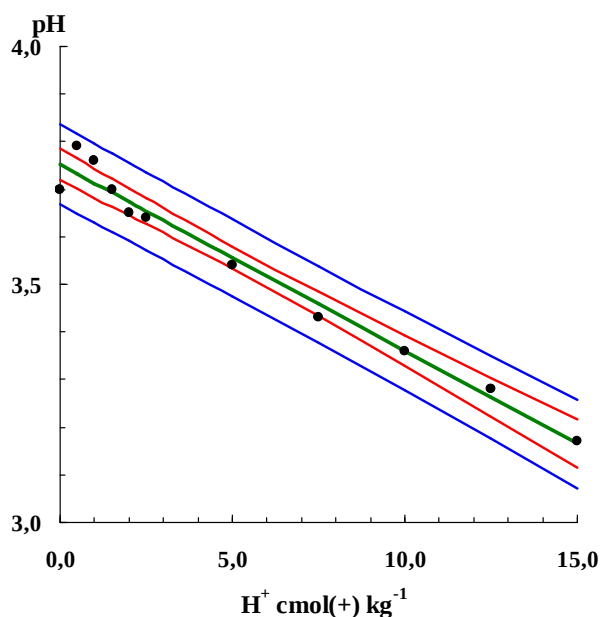
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,99		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,99	Regresszió	1	7,84	7,84	863,6	0,000
standard hiba	0,10 pH	Maradék	11	0,10	0,009		
megfigyelések	13	Összesen	12	7,94			

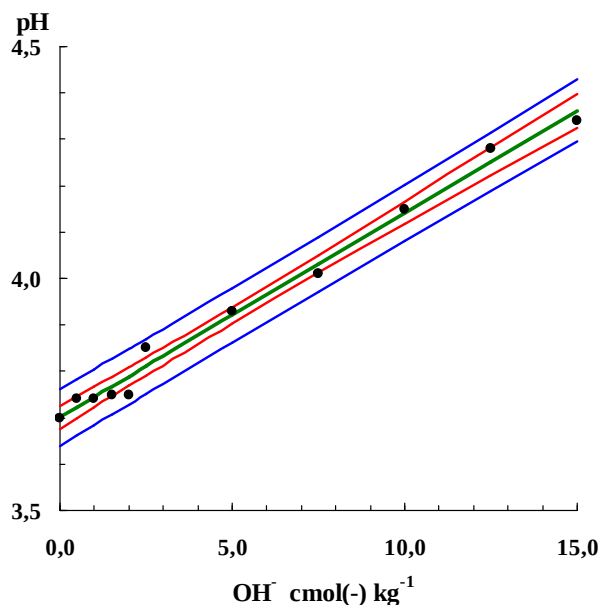
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	5,50	0,037	148,5	0,000	5,418	5,581
$^b Sen$	0,10	0,003	29,4	0,000	0,091	0,106

**A király-tói síkláptőzeg
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



43. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



44. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,98		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,97	Regresszió	1	0,42	0,42	363,7	0,000
standard hiba	0,03 pH	Maradék	9	0,01	0,001		
megfigyelések	11	Összesen	10	0,43			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH ₀	3,75	0,015	252,6	0,000	3,718	3,785
^a Sen	-0,04	0,002	-19,1	0,000	-0,044	-0,034

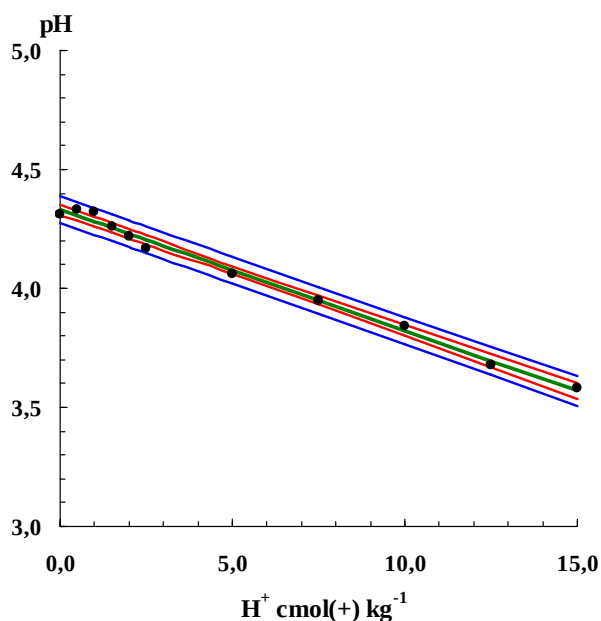
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,99		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,99	Regresszió	1	0,53	0,53	872,9	0,000
standard hiba	0,02 pH	Maradék	9	0,01	0,001		
megfigyelések	11	Összesen	10	0,54			

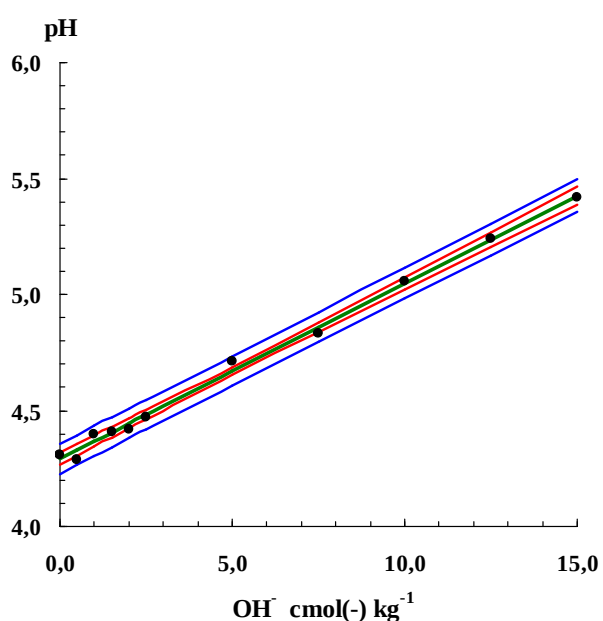
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH ₀	3,70	0,011	342,5	0,000	3,676	3,725
^b Sen	0,04	0,001	29,5	0,000	0,041	0,047

**A hansági síkláptőzeg
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



45. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



46. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,99		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,99	Regresszió	1	0,71	0,71	1320	0,000
standard hiba	0,02 pH	Maradék	9	0,01	0,001		
megfigyelések	11	Összesen	10	0,72			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH ₀	4,33	0,010	428,1	0,000	4,308	4,354
^a Sen	-0,05	0,001	-36,3	0,000	-0,054	-0,048

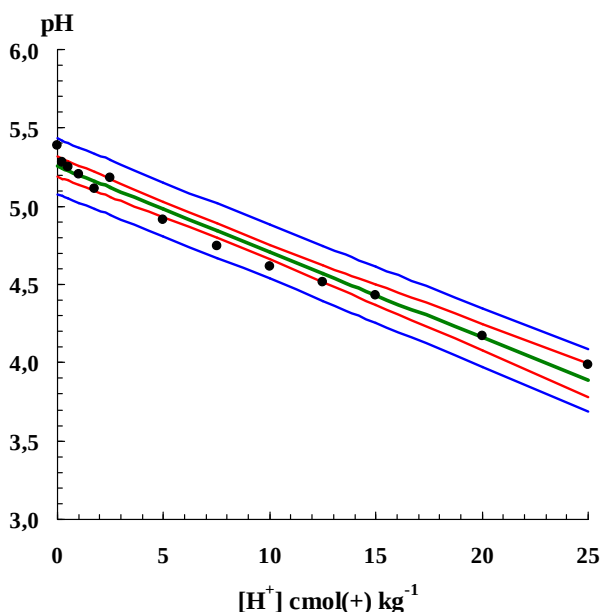
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	1,00		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	1,00	Regresszió	1	1,57	1,57	2260	0,000
standard hiba	0,03 pH	Maradék	9	0,01	0,001		
megfigyelések	11	Összesen	10	1,58			

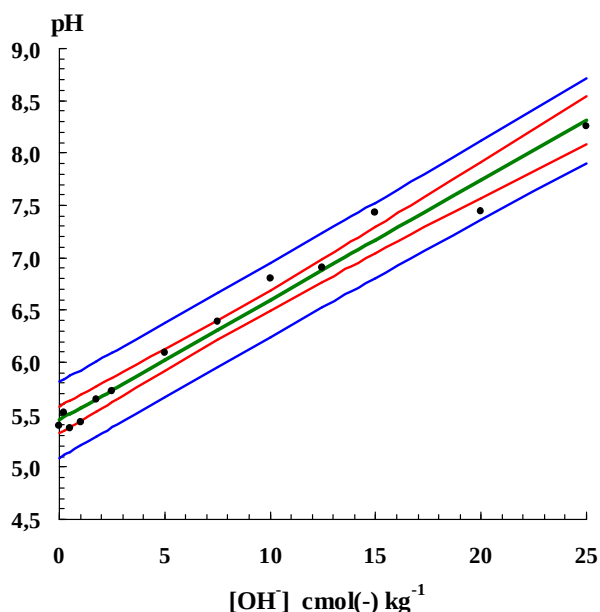
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH ₀	4,29	0,012	373,1	0,000	4,266	4,318
^b Sen	0,07	0,002	47,5	0,000	0,072	0,079

**A pötrétei síkláptőzeg
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



47. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



48. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,97		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,97	Regresszió	1	2,43	2,43	426,5	0,000
standard hiba	0,08 pH	Maradék	11	0,06	0,006		
megfigyelések	13	Összesen	12	2,49			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	5,25	0,029	179,1	0,000	5,189	5,319
$^a Sen$	-0,05	0,003	-20,7	0,000	-0,060	-0,049

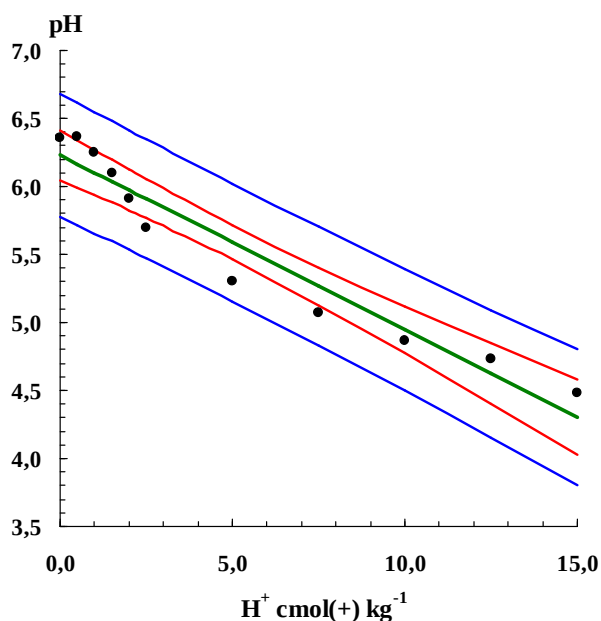
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,98		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,97	Regresszió	1	10,65	10,65	450,6	0,000
standard hiba	0,15 pH	Maradék	11	0,26	0,024		
megfigyelések	13	Összesen	12	10,91			

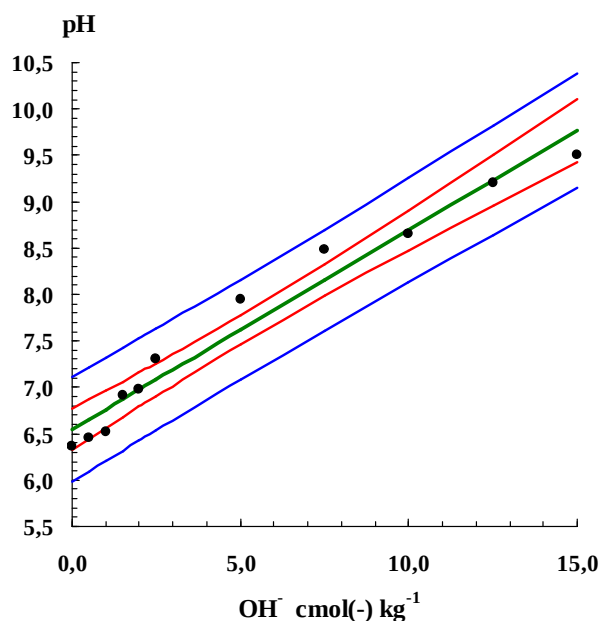
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	5,45	0,060	91,2	0,000	5,319	5,582
$^b Sen$	0,11	0,005	21,2	0,000	0,103	0,126

**A szélmezői síkláptőzeg
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



49. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



50. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,94		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,93	Regresszió	1	4,54	4,54	135,5	0,000
standard hiba	0,18 pH	Maradék	9	0,30	0,03		
megfigyelések	11	Összesen	10	4,84			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	6,23	0,080	78,0	0,000	6,049	6,410
$^a Sen$	-0,13	0,011	-11,6	0,000	-0,153	-0,103

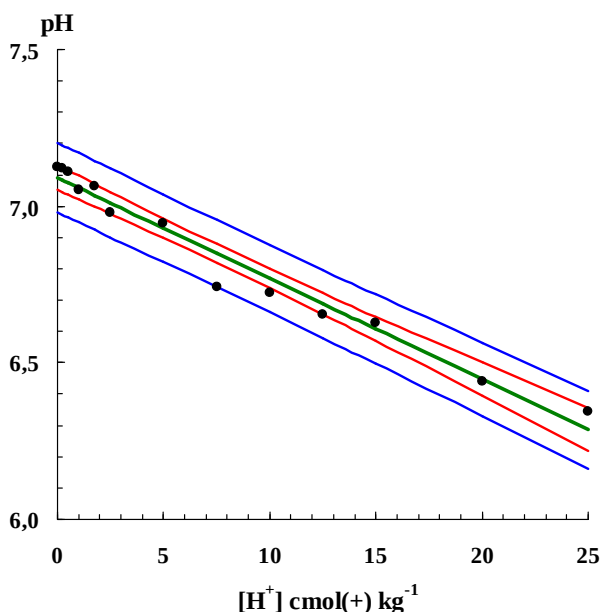
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,96		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,96	Regresszió	1	12,70	12,70	243,4	0,000
standard hiba	0,23 pH	Maradék	9	0,47	0,05		
megfigyelések	11	Összesen	10	13,17			

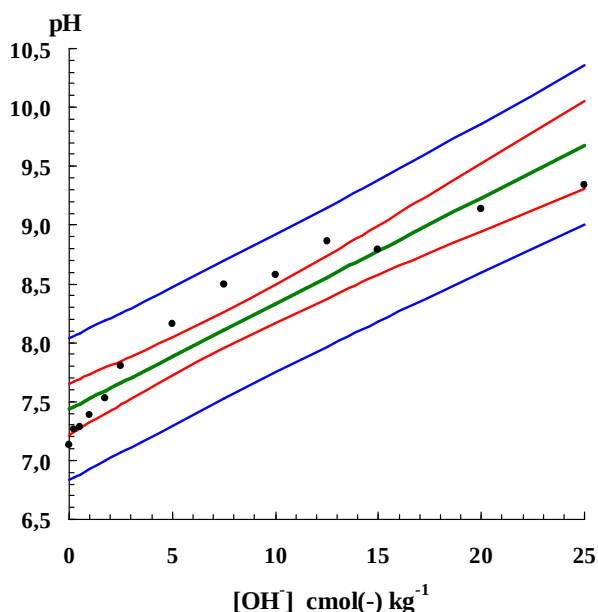
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	6,55	0,100	65,7	0,000	6,321	6,772
$^b Sen$	0,21	0,014	15,6	0,000	0,183	0,246

**A hahóti síkláptőzeg
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



51. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



52. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikációs határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,97		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,97	Regresszió	1	0,84	0,84	378,2	0,000
standard hiba	0,05 pH	Maradék	11	0,02	0,002		
megfigyelések	13	Összesen	12	0,86			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	7,09	0,018	386,2	0,000	7,051	7,132
aSen	-0,03	0,002	-19,45	0,000	-0,036	-0,029

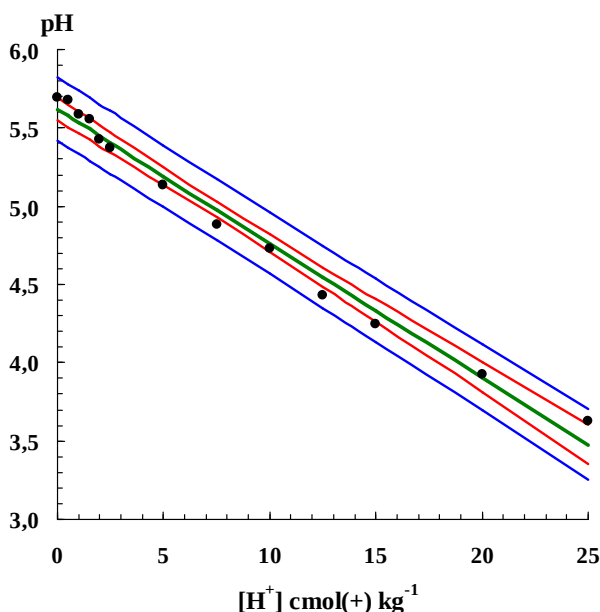
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,90		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,89	Regresszió	1	6,56	6,56	100,3	0,000
standard hiba	0,26 pH	Maradék	11	0,72	0,065		
megfigyelések	13	Összesen	12	7,28			

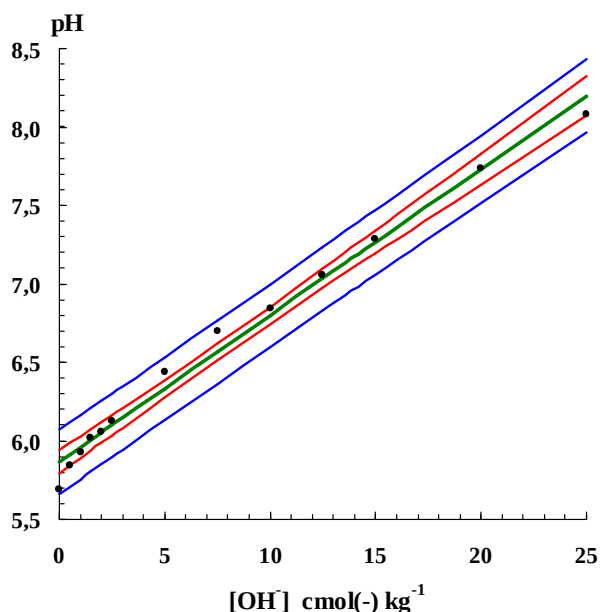
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	7,44	0,099	74,8	0,000	7,217	7,655
bSen	0,09	0,009	10,0	0,000	0,070	0,110

**A kókuszrost
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



53. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



54. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²			df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,98	Regresszió	1	5,83	5,83	785,0	0,000
standard hiba	0,09 pH	Maradék	11	0,08	0,007		
megfigyelések	13	Összesen	12	5,91			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	5,62	0,034	165,5	0,000	5,546	5,696
$^a Sen$	-0,09	0,003	-28,0	0,000	-0,092	-0,079

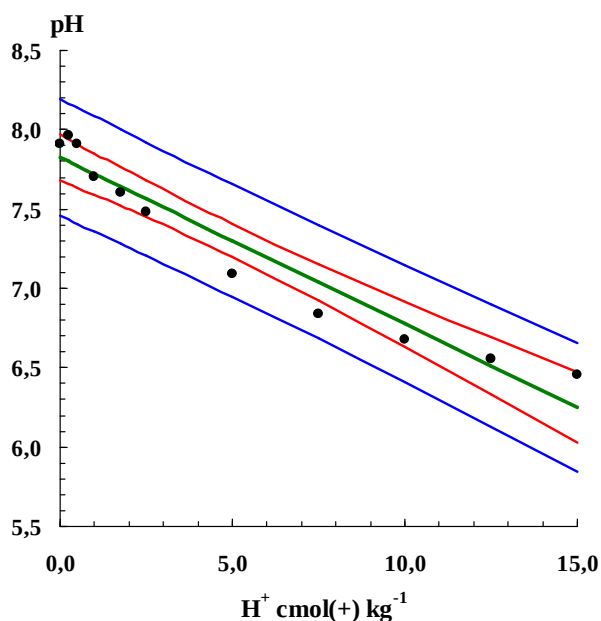
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,99		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,99	Regresszió	1	6,89	6,89	906,4	0,000
standard hiba	0,09 pH	Maradék	11	0,08	0,008		
megfigyelések	13	Összesen	12	6,97			

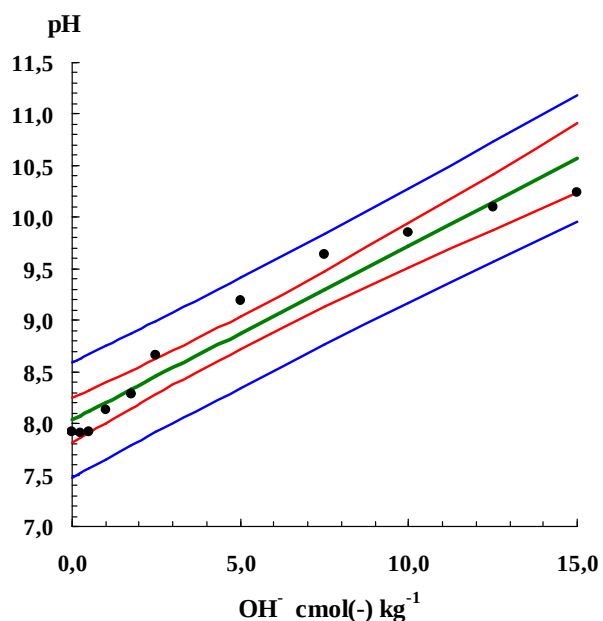
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	5,87	0,034	170,7	0,000	5,791	5,942
$^b Sen$	0,09	0,003	30,1	0,000	0,086	0,100

**Az istállótrágya
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



55. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



56. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,94		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,93	Regresszió	1	3,179	3,179	142,1	0,000
standard hiba	0,15 pH	Maradék	9	0,201	0,022		
megfigyelések	11	Összesen	10	3,380			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	7,83	0,064	123,0	0,000	7,683	7,971
$^a Sen$	-0,11	0,009	-11,9	0,000	-0,125	-0,085

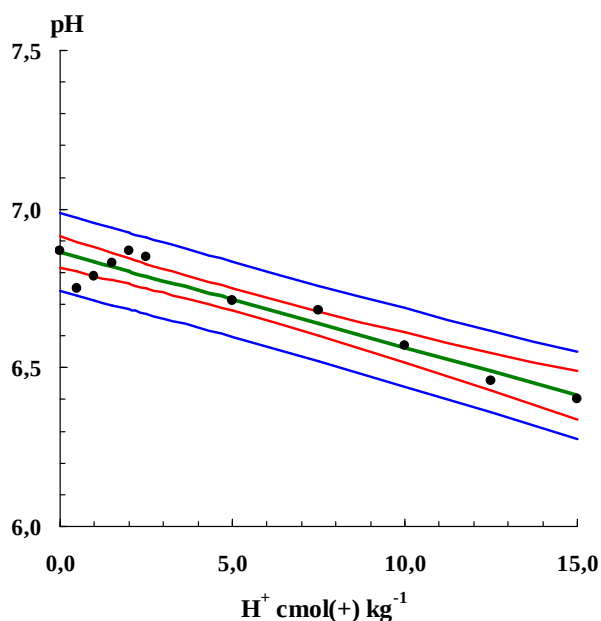
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,95		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,94	Regresszió	1	8,262	8,262	161,3	0,000
standard hiba	0,23 pH	Maradék	9	0,461	0,051		
megfigyelések	11	Összesen	10	8,723			

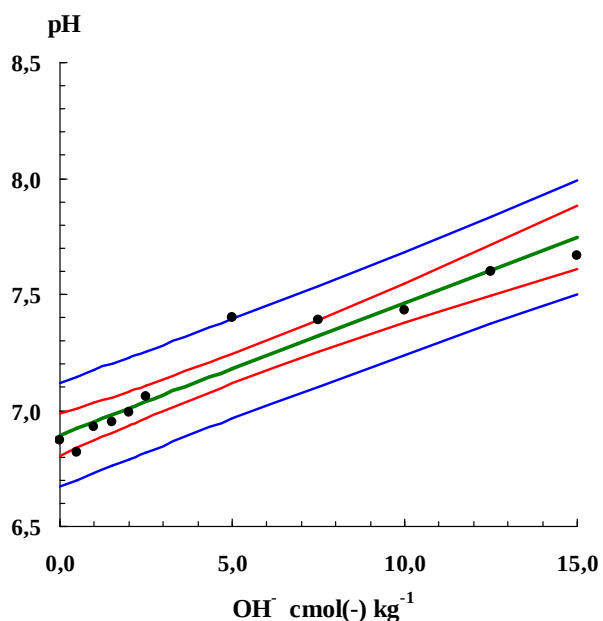
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	8,03	0,096	83,4	0,000	7,814	8,250
$^b Sen$	0,17	0,013	12,7	0,000	0,139	0,200

**A komposztált marhatrágya
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



57. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



58. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,92		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,91	Regresszió	1	0,249	0,249	98,7	0,000
standard hiba	0,05 pH	Maradék	9	0,023	0,003		
megfigyelések	11	Összesen	10	0,272			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	6,86	0,022	313,3	0,000	6,815	6,914
$^a Sen$	-0,03	0,003	-9,94	0,000	-0,037	-0,023

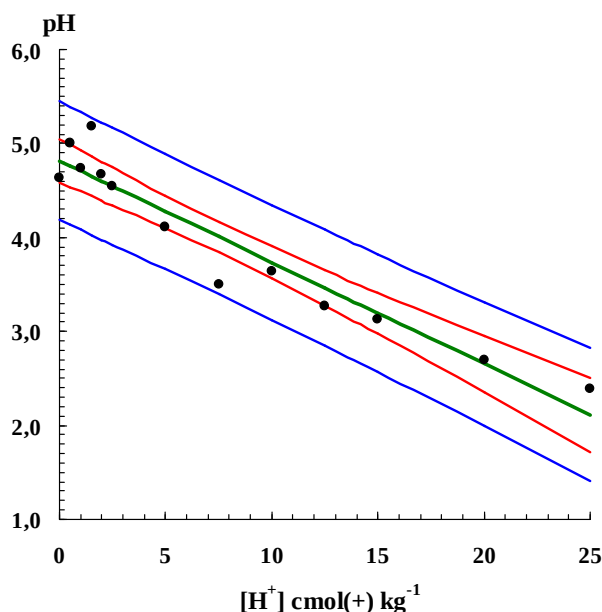
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,92		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,91	Regresszió	1	0,887	0,887	107,6	0,000
standard hiba	0,09 pH	Maradék	9	0,074	0,008		
megfigyelések	11	Összesen	10	0,961			

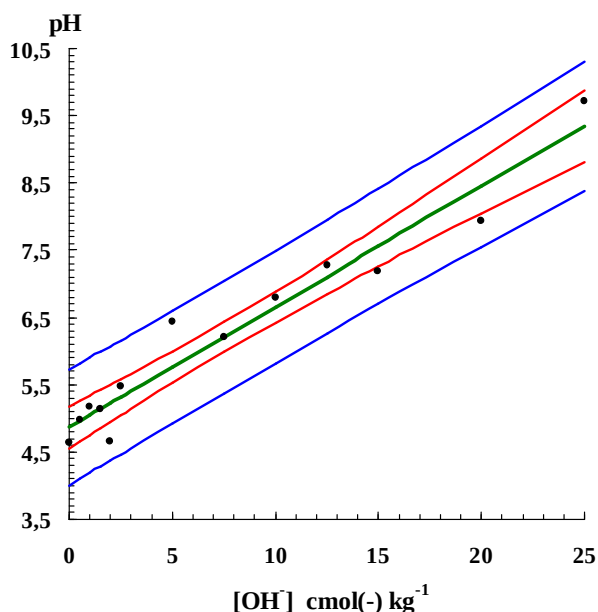
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	6,90	0,040	174,2	0,000	6,806	6,985
$^b Sen$	0,06	0,005	10,4	0,000	0,044	0,069

**A nyers szőlőtörköly
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



59. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



60. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis				
R^2	0,92		df	SS	MS	F
korrigált R^2	0,91	Regresszió	1	9,267	9,267	129,7
standard hiba	0,27 pH	Maradék	11	0,786	0,071	F szignifikanciája
megfigyelések	13	Összesen	12	10,053		0,000

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
pH_0	4,82	0,105	45,7	0,000	alsó	felső
$^a Sen$	-0,11	0,009	-11,4	0,000	-0,129	-0,087

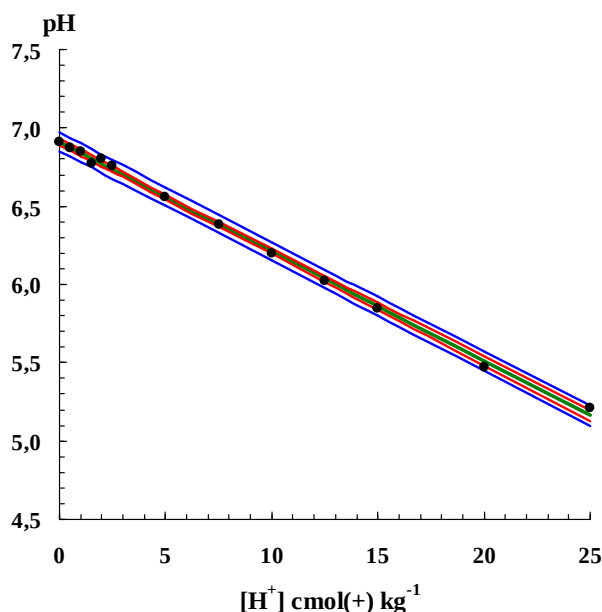
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis				
R^2	0,95		df	SS	MS	F
korrigált R^2	0,94	Regresszió	1	25,465	25,465	191,8
standard hiba	0,36 pH	Maradék	11	1,461	0,133	F szignifikanciája
megfigyelések	13	Összesen	12	26,926		0,000

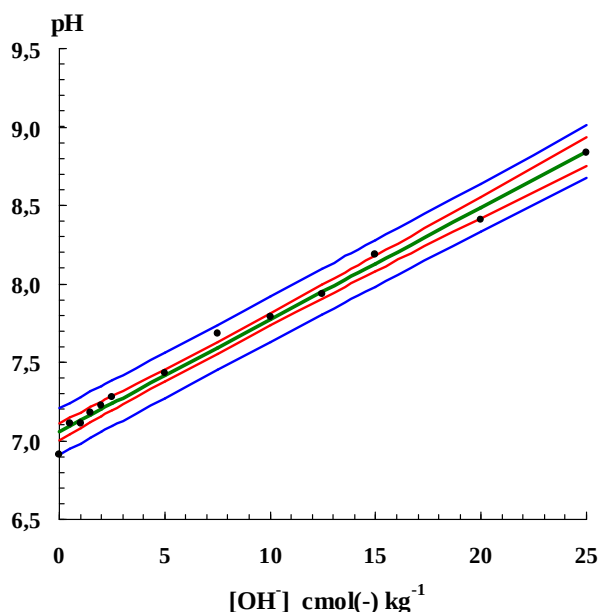
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
pH_0	4,87	0,144	33,9	0,000	alsó	felső
$^b Sen$	0,18	0,013	13,9	0,000	0,151	0,208

**A komposztált szőlőtörköly
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



61. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



62. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	1,00		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	1,00	Regresszió	1	3,878	3,878	6037	0,000
standard hiba	0,03 pH	Maradék	11	0,007	0,001		
megfigyelések	13	Összesen	12	3,885			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	6,91	0,010	691,8	0,000	6,889	6,932
$^a Sen$	-0,07	0,001	-77,70	0,000	-0,072	-0,067

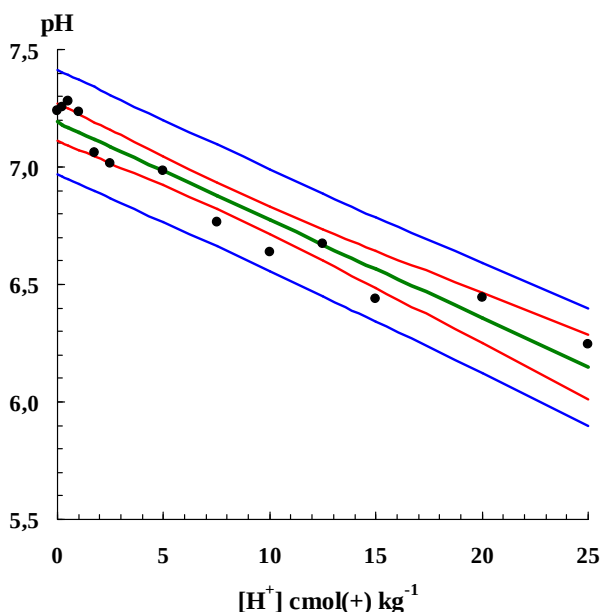
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,99		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,99	Regresszió	1	4,036	4,036	1029	0,000
standard hiba	0,06 pH	Maradék	11	0,043	0,004		
megfigyelések	13	Összesen	12	4,079			

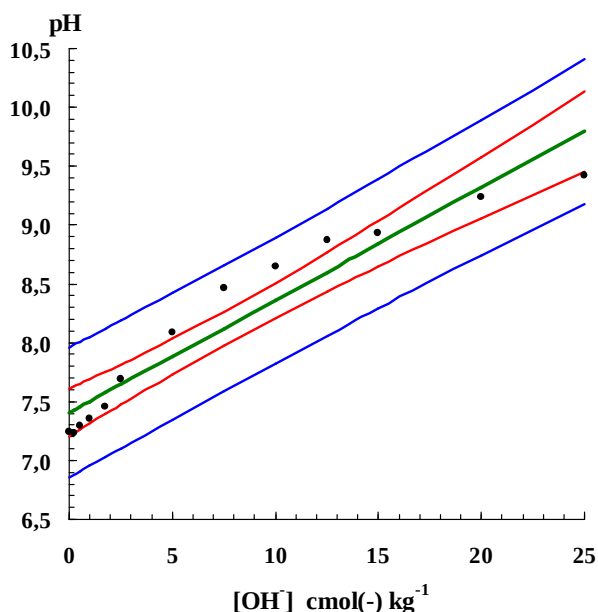
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	7,06	0,024	286,0	0,000	7,005	7,114
$^b Sen$	0,07	0,002	32,1	0,000	0,066	0,076

**A komposztált szőlőtörköly+baromfitrágya
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



63. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



64. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,93		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,93	Regresszió	1	1,421	1,421	158,2	0,000
standard hiba	0,09 pH	Maradék	11	0,100	0,009		
megfigyelések	13	Összesen	12	1,521			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	7,19	0,037	195,1	0,000	7,110	7,273
$^a Sen$	-0,04	0,003	-12,6	0,000	-0,049	-0,034

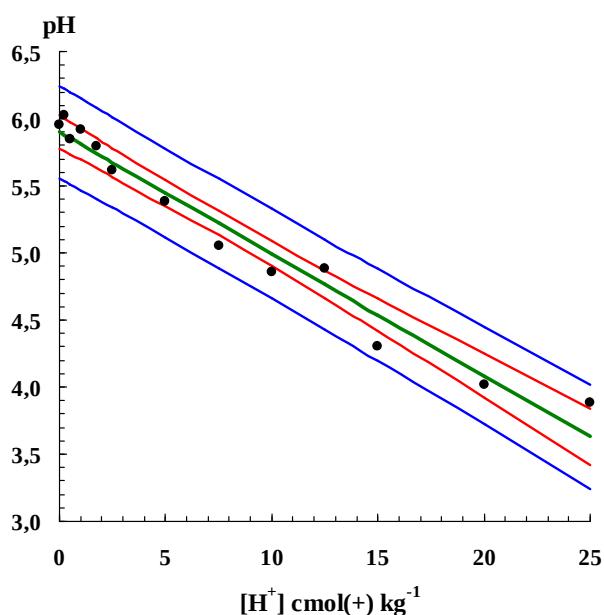
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,93		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,92	Regresszió	1	7,407	7,407	135,8	0,000
standard hiba	0,23 pH	Maradék	11	0,600	0,055		
megfigyelések	13	Összesen	12	8,007			

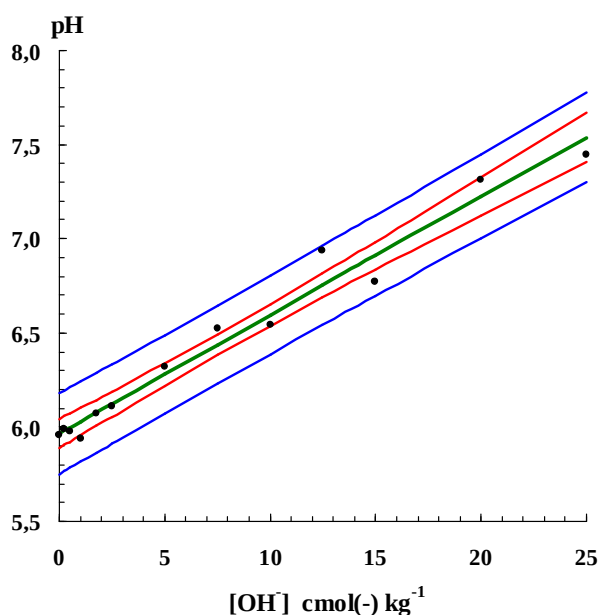
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	7,41	0,091	81,6	0,000	7,207	7,607
$^b Sen$	0,10	0,008	11,7	0,000	0,077	0,113

**A bomlatlan avar (őshonos bükkös erdő)
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



65. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



66. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis				
R^2	0,97		df	SS	MS	F
korrigált R^2	0,96	Regresszió	1	6,71	6,71	316,3
standard hiba	0,15 pH	Maradék	11	0,23	0,021	F szignifikanciája
megfigyelések	13	Összesen	12	6,94		0,000

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	5,90	0,057	104,2	0,000	5,776	6,026
aSen	-0,09	0,005	-17,8	0,000	-0,102	-0,080

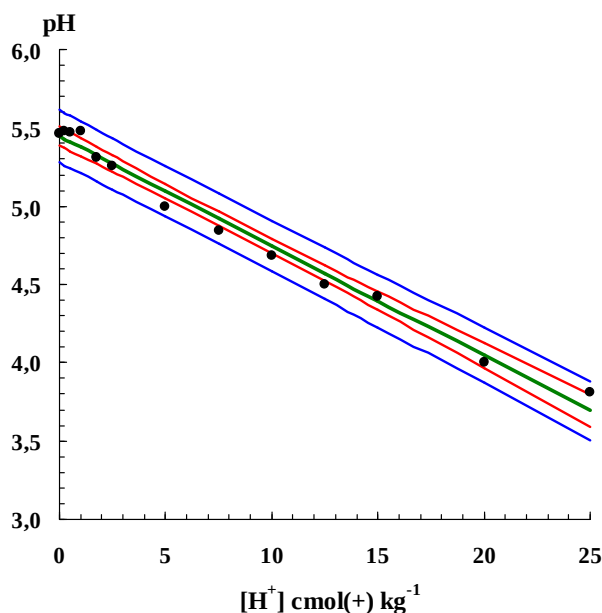
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis				
R^2	0,97		df	SS	MS	F
korrigált R^2	0,97	Regresszió	1	3,22	3,22	390,5
standard hiba	0,09 pH	Maradék	11	0,09	0,008	F szignifikanciája
megfigyelések	13	Összesen	12	3,31		0,000

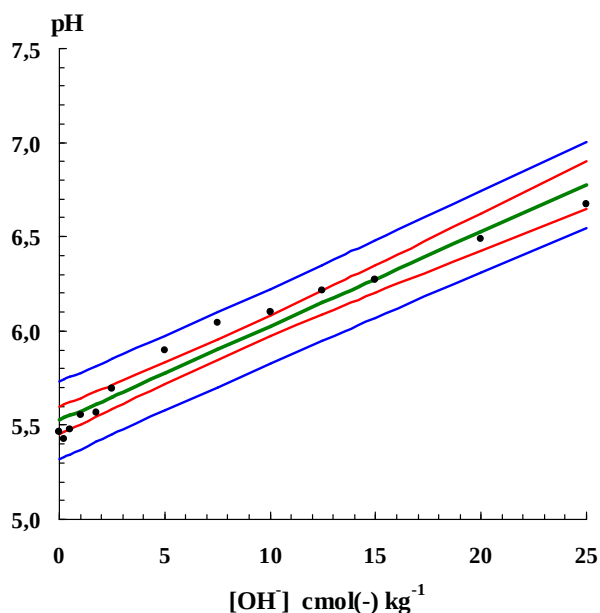
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	5,97	0,035	169,0	0,000	5,888	6,043
bSen	0,06	0,003	19,8	0,000	0,056	0,070

**A bomlatlan avar (őshonos fenyőerdő)
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



67. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



68. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis				
R^2	0,99		df	SS	MS	F
korrigált R^2	0,98	Regresszió	1	3,99	3,99	788,4
standard hiba	0,07 pH	Maradék	11	0,06	0,005	F szignifikanciája
megfigyelések	13	Összesen	12	4,05		0,000

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	5,45	0,028	196,8	0,000	5,386	5,507
aSen	-0,07	0,002	-28,1	0,000	-0,076	-0,065

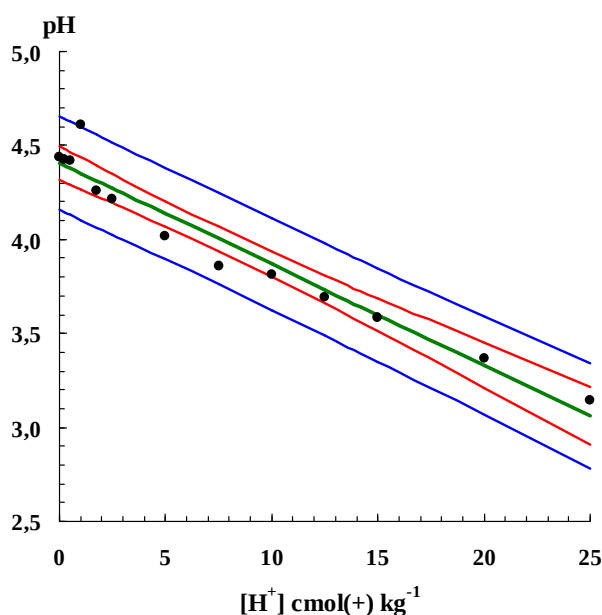
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis				
R^2	0,96		df	SS	MS	F
korrigált R^2	0,96	Regresszió	1	2,03	2,03	269,6
standard hiba	0,09 pH	Maradék	11	0,08	0,008	F szignifikanciája
megfigyelések	13	Összesen	12	2,11		0,000

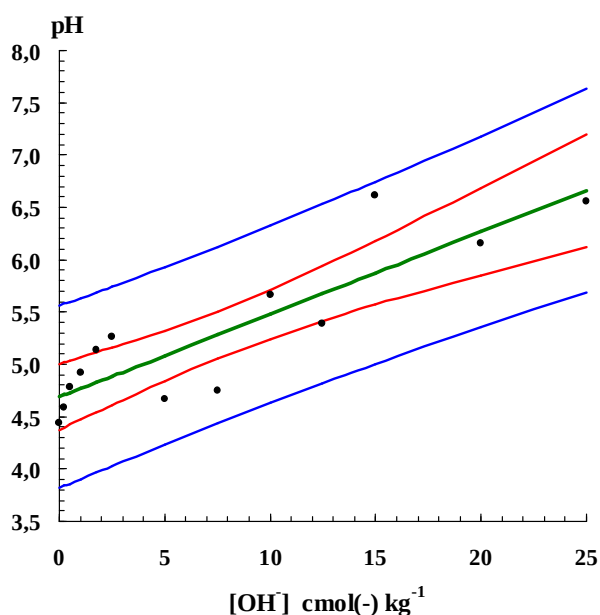
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	5,53	0,034	163,6	0,000	5,451	5,600
bSen	0,05	0,003	16,4	0,000	0,043	0,057

**A bomlatlan avar (tölgyes parkerdő)
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



69. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



70. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,95		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,95	Regresszió	1	2,35	2,35	209,1	0,000
standard hiba	0,11 pH	Maradék	11	0,12	0,011		
megfigyelések	13	Összesen	12	2,47			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	4,41	0,041	106,8	0,000	4,315	4,497
$^a Sen$	-0,05	0,004	-14,5	0,000	-0,062	-0,046

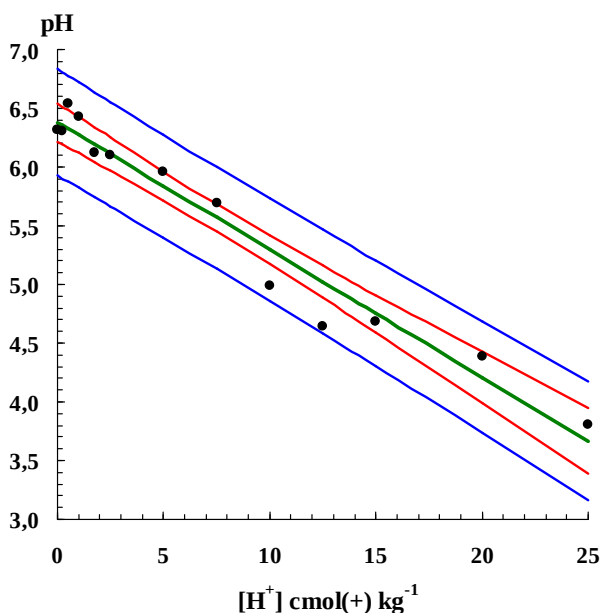
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,77		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,75	Regresszió	1	5,07	5,07	37,1	0,000
standard hiba	0,37 pH	Maradék	11	1,50	0,137		
megfigyelések	13	Összesen	12	6,57			

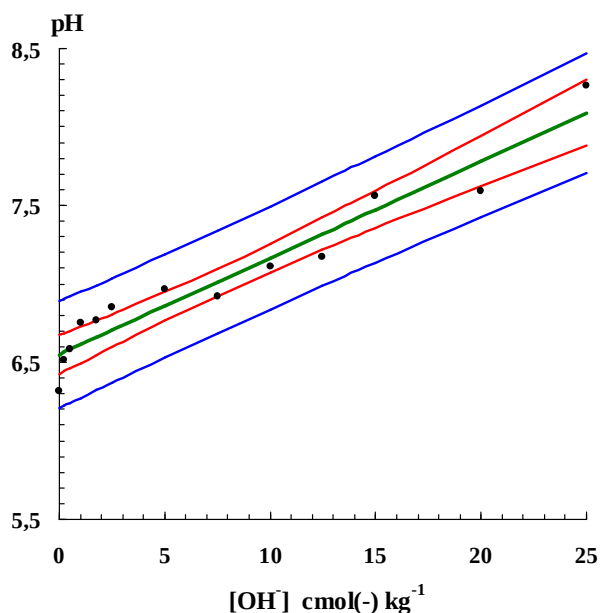
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	4,69	0,144	32,6	0,000	4,373	5,005
$^b Sen$	0,08	0,013	6,1	0,000	0,050	0,107

**A bomlatlan avar (gyümölcsös)
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



71. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



72. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis				
R^2	0,96		df	SS	MS	F
korrigált R^2	0,96	Regresszió	1	9,60	9,60	261,9
standard hiba	0,19 pH	Maradék	11	0,40	0,037	F szignifikanciája
megfigyelések	13	Összesen	12	10,00		0,000

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	6,38	0,074	85,8	0,000	6,217	6,545
aSen	-0,11	0,007	-16,2	0,000	-0,123	-0,094

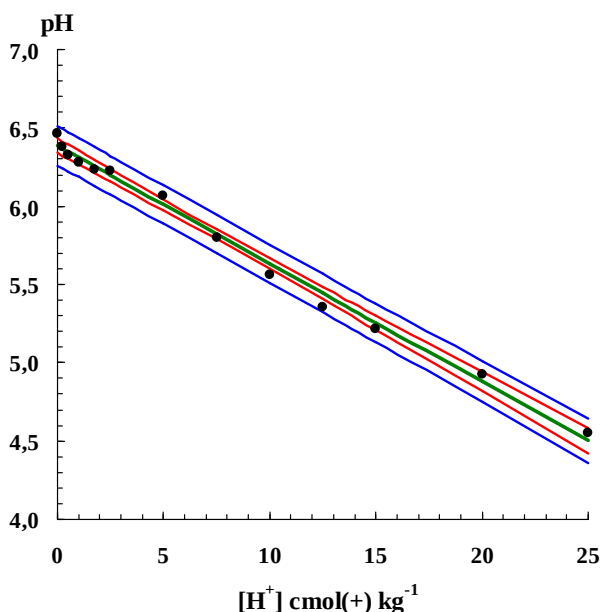
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis				
R^2	0,93		df	SS	MS	F
korrigált R^2	0,93	Regresszió	1	3,08	3,08	149,6
standard hiba	0,14 pH	Maradék	11	0,23	0,021	F szignifikanciája
megfigyelések	13	Összesen	12	3,31		0,000

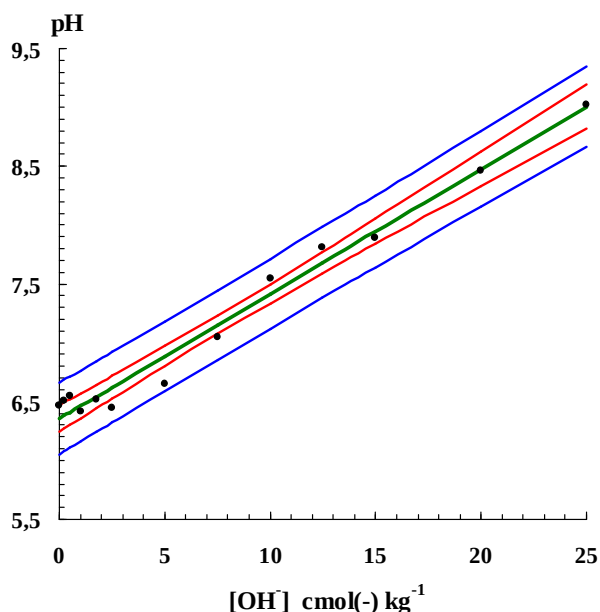
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	6,55	0,056	117,3	0,000	6,427	6,672
bSen	0,06	0,005	12,2	0,000	0,050	0,073

**A zúzott szalma
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



73. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



74. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,99		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,99	Regresszió	1	4,62	4,62	1623	0,000
standard hiba	0,05 pH	Maradék	11	0,03	0,003		
megfigyelések	13	Összesen	12	4,65			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	6,39	0,021	307,9	0,000	6,340	6,432
aSen	-0,08	0,002	-40,3	0,000	-0,079	-0,071

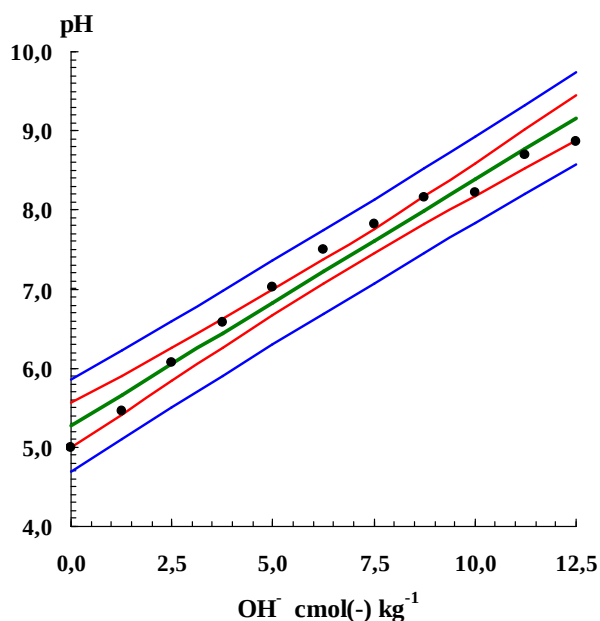
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,98		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,98	Regresszió	1	9,11	9,11	544,6	0,000
standard hiba	0,13 pH	Maradék	11	0,18	0,017		
megfigyelések	13	Összesen	12	9,29			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	6,36	0,050	126,4	0,000	6,247	6,469
bSen	0,11	0,005	23,3	0,000	0,096	0,116

**A bentonit
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



75. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

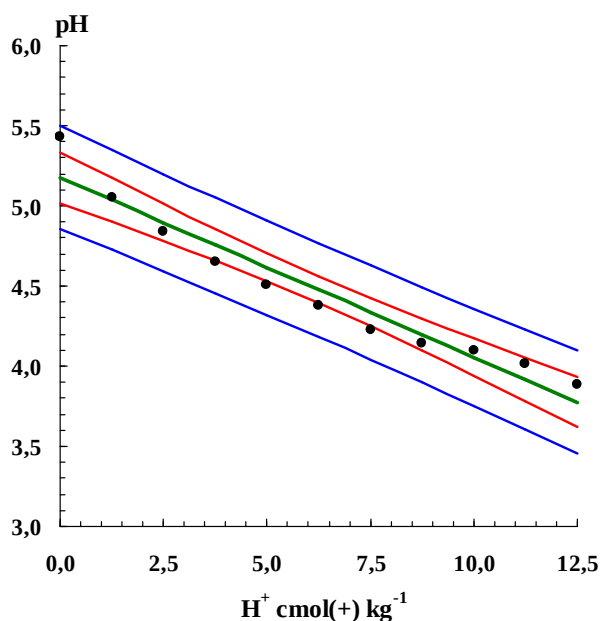
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis				
R^2	0,97		df	SS	MS	F
korrigált R^2	0,97	Regresszió	1	16,60	16,60	333,6
standard hiba	0,22 pH	Maradék	9	0,45	0,050	F szignifikanciája
megfigyelések	11	Összesen	10	17,05		0,000

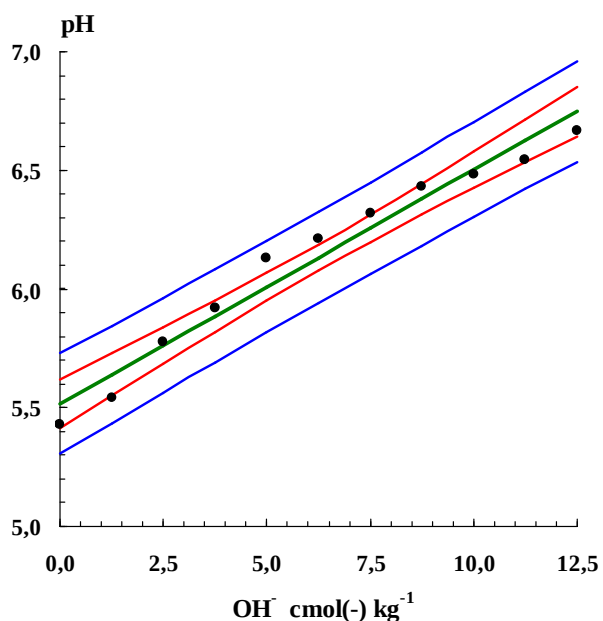
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	5,27	0,126	41,9	0,000	4,990	5,559
b_{Sen}	0,31	0,017	18,3	0,000	0,272	0,349

**A humuszos bentonit
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



76. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



77. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis				
R^2	0,94		df	SS	MS	F
korrigált R^2	0,93	Regresszió	1	2,15	2,15	140,1
standard hiba	0,12 pH	Maradék	9	0,14	0,015	F szignifikanciája
megfigyelések	11	Összesen	10	2,29		0,000

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	5,18	0,070	74,0	0,000	5,017	5,334
$^a Sen$	-0,11	0,009	-11,8	0,000	-0,133	-0,091

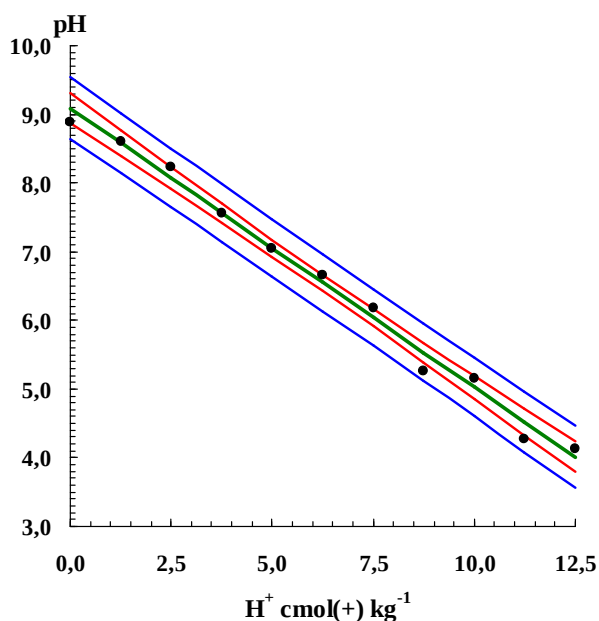
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis				
R^2	0,97		df	SS	MS	F
korrigált R^2	0,96	Regresszió	1	1,67	1,67	250,8
standard hiba	0,08 pH	Maradék	9	0,06	0,007	F szignifikanciája
megfigyelések	11	Összesen	10	1,73		0,000

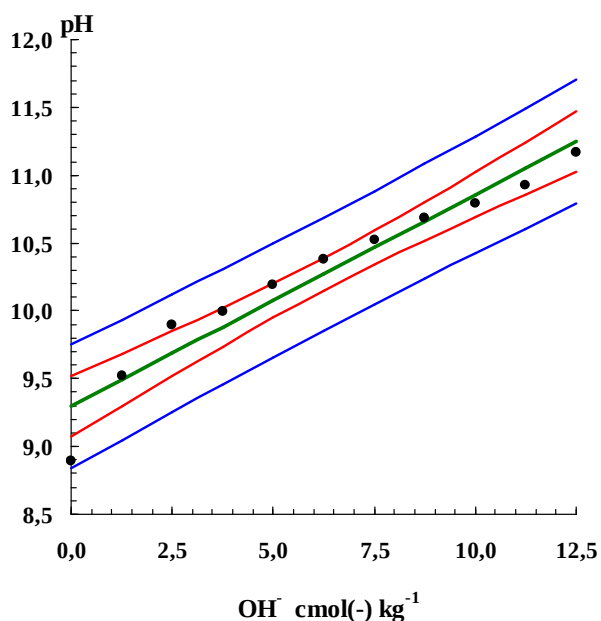
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH_0	5,52	0,046	120,0	0,000	5,413	5,621
$^b Sen$	0,10	0,006	15,8	0,000	0,084	0,113

**A nátrium bentonit
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



78. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



79. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,99		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,99	Regresszió	1	28,29	28,29	932,7	0,000
standard hiba	0,17 pH	Maradék	9	0,27	0,030		
megfigyelések	11	Összesen	10	28,56			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH ₀	9,08	0,098	92,5	0,000	8,862	9,307
^a Sen	-0,41	0,013	-30,5	0,000	-0,436	-0,376

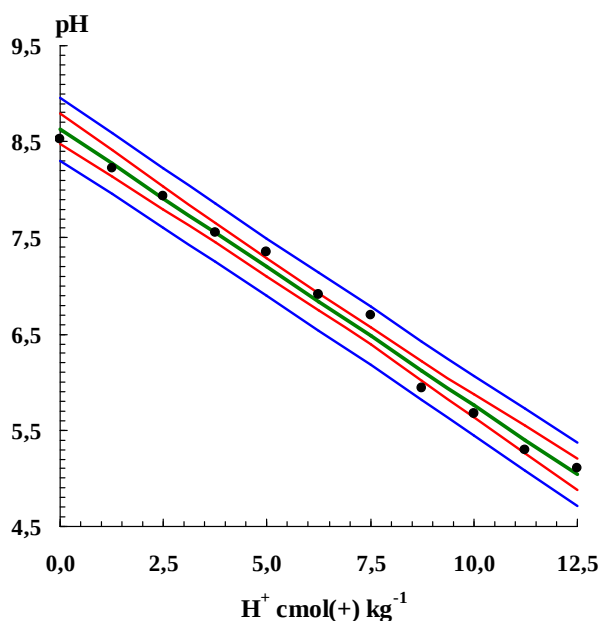
A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,94		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,93	Regresszió	1	4,17	4,17	134,9	0,000
standard hiba	0,18 pH	Maradék	9	0,28	0,031		
megfigyelések	11	Összesen	10	4,45			

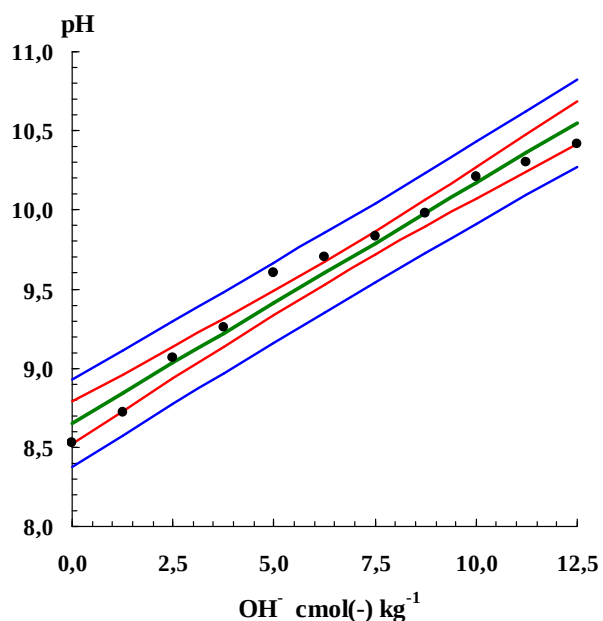
t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH ₀	9,30	0,099	93,7	0,000	9,073	9,522
^b Sen	0,16	0,013	11,6	0,000	0,125	0,186

**Az alunit
egyensúlyi pH értékeinek változása és a hozzáadott sav, illetve lúg adagok közötti
lineáris reláció vizsgálata**



80. ábra A savas kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására



81. ábra A lúgos kezelés hatása az egyensúlyi pH értékek változására

● mért értékek; — regressziós egyenes; — 95%-os konfidencia sáv; — 95%-os predikciós határ

A savas kezelés és pH csökkenés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,99		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,99	Regresszió	1	14,17	14,17	884,2	0,000
standard hiba	0,13 pH	Maradék	9	0,14	0,016		
megfigyelések	11	Összesen	10	14,31			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH ₀	8,63	0,071	120,9	0,000	8,471	8,794
^a Sen	-0,29	0,010	-29,7	0,000	-0,309	-0,265

A lúgos kezelés és pH növekedés közötti lineáris reláció vizsgálatát összesítő tábla

Regressziós statisztika		Varianciaanalízis					
R ²	0,97		df	SS	MS	F	F szignifikanciája
korrigált R ²	0,97	Regresszió	1	3,96	3,96	349,9	0,000
standard hiba	0,11 pH	Maradék	9	0,10	0,011		
megfigyelések	11	Összesen	10	4,06			

t-próba a lineáris egyenlet paramétereire

	értéke	standard hiba	t érték	p érték	95%-os konfidencia határ	
					alsó	felső
pH ₀	8,65	0,060	144,3	0,000	8,518	8,789
^b Sen	0,15	0,008	18,7	0,000	0,133	0,170

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Dolgozatom elkészüléséhez sok ember támogatása, segítő tanácsa, gondoskodása és emberi szeretete is hozzájárult.

Köszönettel tartozom témavezetőmnek **Dr. Forró Editnek**, aki hasznos tanácsaival és szakmai útmutatásával segítette munkámat és szakmai előrehaladásomat.

Megköszönöm **Takács Gyöngyi** laborvezető közreműködését.

Köszönetemet szeretném kifejezni **Halászné Zelnik Katalinnak** segítőkészségéért, őszinte, emberi támogatásáért.

Hálával tartozom **Némethy Zoltánné dr. Uzoni Hannának** segítő munkájáért.

Szeretnék köszönetet mondani **dr. Tőkei László** egyetemi docensnek, a Talajtan és Vízgazdálkodási Tanszék vezetőjének, hálával gondolok **a tanszék minden munkatársára** segítségükért és támogatásukért.

Köszönettel tartozom **dr. Terbe István** egyetemi tanárnak, a Zöldség- és Gombatermesztési Tanszék vezetőjének és **a tanszék munkatársainak** a dolgozat elkészülésében nyújtott segítségükért.

Hálásan megköszönöm **Juhászné Boncsér Erzsébet** sokoldalú és hathatós támogatását, akinek segítése sok nehézségen túljutatott.

Szeretném köszönetemet kifejezni **családomnak**. Köszönöm **feleségemnek** a dolgozat elkészítése során nyújtott segítségét, tanácsait, hálával tartozom türelméért és megértéséért.