

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4131 Zemědělství

Studijní obor: Agroekologie

Katedra: Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií

Vedoucí katedry: prof. Ing. Jan Moudrý St., CSc.

Bakalářská práce

Acidifikace půd, způsoby jejího potlačení i podpory a
význam hydrolytické kyselosti

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radka Váchalová, Ph.D.

Autor bakalářské práce: Jiří Novák

České Budějovice, 2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří NOVÁK**
Osobní číslo: **Z11807**
Studijní program: **B4131 Zemědělství**
Studijní obor: **Agroekologie**
Název tématu: **Acidifikace půd, způsoby jejího potlačení i podpory a význam hydrolytické kyselosti**
Zadávatel katedra: **Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Literární rešerše

Ve stručném úvodu je nutno zaujmout jen obecné stanovisko k acidifikaci českých půd z hlediska převažujících vlastností matečných hornin a půdotvorných substrátů (1 str.). V literárním přehledu použijte jen oficiální zprávy UKZÚZ a MZe ČR, dále poznatky o acidifikaci z posledních 8 - 10 let, pouze z vědeckých časopisů a vědeckých knih. Nepoužívejte informace ze skript, sborníků, přednášek a informací laiků z internetu.

Cíl práce

Vysvětlete problematiku acidifikace českých půd na základě periodických šetření UKZÚZ Brno, zveřejněných ve zprávách za časové období, zhodnoťte jednotlivé formy půdní kyselosti a jejich praktický význam a vyjádřete obecně současný stav acidifikace českých půd z pozice hodnocení jejich potenciální půdní úrodnosti a využití živin hnojiv rostlinami.

Materiál a metody

Vlastní zpracování tématu věnujte především grafickému zpracování dílčích výsledků UKZÚZ do syntetických přehledů všech dílčích zpráv z jednotlivých období sledování tohoto problému.

Výsledky a diskuse

V části diskuse vycházejte ze syntetického grafického materiálu, který jste vytvořil a srovnajte Vaše poznatky s literárními údaji v části Vašeho "Literárního přehledu" a diskusi ukončete úvahou, které půdy v ČR jsou acidifikací nejvíce ohroženy a navrhněte nápravná opatření.

Závěr

V kapitole "Závěr" pak už jen stručně na 1 - 2 stránkách shrňte výsledky Vaší diskuse.

Literatura

Přílohy


Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: 20-40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

Svodné periodické zprávy UKZÚZ Brno.
Vědecké učebnice pedologie doporučené v přednáškách
Literární rešerše v databázích vědeckých časopisů za posledních deset let.

Ke zpracování bakalářské práce využijte skripta Technika zpracování bakalářských a diplomových prací (Kareš, J., Vaněček D., Burešová, M., 2007) a Práce s VTI (Milota, J., Nýdl, V., 1996).

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radka Váchalová, Ph.D.
Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií

Datum zadání bakalářské práce: 15. února 2013
Termín odevzdání bakalářské práce: 15. dubna 2014


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13
370 05 České Budějovice

prof. Ing. Jan, st. Moudrý, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 26. března 2013

Prohlášení:

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě, v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných fakultou, elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum

.....

Jiří Novák

Poděkování

Rád bych poděkoval za vedení bakalářské práce a odbornou pomoc při jejím zpracování paní Ing. Radce Váchalové, Ph.D. a dále bych chtěl poděkovat všem členům ÚKZUZ, kteří se podílejí na měření a zpracování výročních zpráv, bez kterých by tato práce nemohla vzniknout.

Abstrakt

Byla zpracována literární rešerše, kde byly obecně vysvětleny pojmy týkající se acidifikace, způsoby jejího vzniku i potlačování. Acidifikace je jednou z hlavních příčin degradace půdy. Má značný vliv na vlastnosti půdy a rostliny, které ovlivňuje především změnou mobility některých prvků. Ve druhé části práce byla na základě periodických měření Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (ÚKZUZ) zjištěna míra ohroženosti půd acidifikací v České republice. Ze získaných dat vyplývá, že míra acidifikace je velká a týká se téměř celého území České republiky. Dále bylo zjištěno, že nejvíce ohroženým druhem zemědělské půdy jsou trvalé travní porosty, z hlediska polohy jsou acidifikací ohroženy horské, podhorské půdy a také půdy na pahorkatinách. Půdy v nížinách se ukázaly jako relativně stabilní vůči acidifikaci.

Klíčová slova: kyselost, okyselování půd, půdy České republiky

Abstract

Literature search was processed, which were explained in general terms related to acidification, methods of formation and repression. Acidification is one of the main causes of soil degradation. It has considerable influence on soil properties and plants that primarily affects the mobility change some elements. Second part was based on periodic measurements of the Central Control and Testing Institute in Agriculture (CISTA) measure rates of exposure of soil acidification in the Czech Republic. From the obtained data shows that the rate of acidification is large and covers almost the entire territory of the Czech Republic. It was also found that the most endangered species of agricultural land is permanent grassland, in terms of positions are threatened by acidification of mountain, foothill soils and land on the hills. The soils in the lowlands have proved to be relatively stable to acidification.

Keywords: acidity, acidification of soils, soils of the Czech Republic

Obsah:

1. Úvod	8
2. Cíle práce	9
3. Půda	10
3.1 Vznik půdy	10
3.2 Definice půdy	10
3.3 Složení půdy	11
3.4 Funkce půdy	12
3.5 Definice degradace půdy	12
4. Acidifikace a acidita půdy	14
4.1 Půdní reakce	15
4.2 Aktivní kyselost	16
4.3 Potencionální kyselost	16
4.3.1 Hydrolitická půdní kyselost	17
5. Příčiny acidifikace půd	19
5.1 Přirozená acidifikace	19
5.1.1 Loužení	19
5.1.2 Kyselé matečné horniny	20
5.1.3 Rozpad organické hmoty	20
5.2 Antropogenní acidifikace	21
5.2.1 Dešťové srážky	21
5.2.2 Sklizeň vysoce výnosných plodin	24
6. Důsledky nadměrné acidifikace	26
6.1 Přímé poškození	26
6.2 Nepřímé poškození	27
7. Potlačení acidifikace	28
7.1 Vápnění	28

7.2 Druhy vápenných hmot	28
7.3. Normy vápnění podle ÚKZUZ	29
8. Materiály a metody	31
8.1 Zjišťování půdních vlastností	31
8.2 Metodika odebírání vzorků pro AZZP	31
8.3 Metody používané při AZZP	32
8.3.1 Metoda Mehlich III	32
9. Výsledky a diskuse	34
10. Závěr	46
11. Použitá literatura	47

1. Úvod

Odolnost půdy vůči acidifikaci, nebo-li tzv. pufrovitost půdy závisí na kvalitě půdy. Základním předpokladem pro vznik kvalitní půdy je vhodný půdotvorný substrát. Z hlediska acidifikace jsou to matečné horniny a půdotvorné substráty s vysokým obsahem bazických iontů. Geologické podloží České republiky je z více jak 60% tvořeno metamorfovanými a magmatickými horninami z nichž značnou část tvoří žuly, z nichž vznikají půdy bez vysokého obsahu bazických iontů, které by zvyšovaly odolnost vůči kyselým vstupům. Z těchto substrátů vznikají tedy půdy spíše kyselé. K tomu přidáme další předpoklad, že reliéf krajiny na území České republiky tvoří hory a pahorkatiny, tedy půdy, které se vyznačují vymýváním důležitých látek. Ve výsledku tento typ půdotvorných substrátů společně s nadmořskou výškou a reliéfem krajiny napovídají, že Česká republika nemá vhodné půdy, které by dobře odolávaly acidifikaci. Je tedy pravděpodobné, že území České republiky se s problémem acidifikace bude potýkat ve značném rozsahu. Výjimku mohou tvořit pouze půdy nacházející se v nížinách v okolí větších řek. Zde se nacházejí půdy s větší mocností a větší možností odolávat kyselým vstupům.

Půdy v České republice jsou tedy velmi závislé na pravidelném každoročním vápnění a neutralizaci kyselých vstupů. Bez tohoto vápnění by kyselost půd rychle klesla a půdy by se staly pro rostliny velmi nevhodné až toxické. Ve velmi kyselém prostředí se stávají mobilními toxické formy hliníků jakožto i těžké kovy - ty představují nebezpečí nejenom pro rostliny, ale i pro potravní řetězec. Na hodnotě kyselosti v půdě závisí i biologická aktivita půdy. V kyselém prostředí se nedaří některým důležitým mikroorganismům. Vysoká kyselost má také vliv na správný průběh biochemických procesů v půdě. Kyselost půdy má tedy přímý vliv na úrodnost půdy.

Z tohoto důvodu byl zřízen ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, který se zabývá každoročním měřením a kontrolováním vybraných parametrů půd v České republice. Na základě výsledků měření výměnné půdní kyselosti se stanovuje potřeba vápnění jednotlivých druhů zemědělské půdy.

2. Cíle práce

Hlavním cílem mé bakalářské práce bylo vysvětlit problematiku acidifikace českých půd a to za pomoci výsledků agrochemického zkoušení zemědělských půd vydávaných Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským (ÚKZUZ) Brno, zveřejňovaných ve zprávách za časové období. Na základě získaných výsledků bylo dalším cílem zhodnotit jednotlivé formy půdní kyselosti a jejich praktický význam v procesu acidifikace půd. Posledním cílem bylo obecně vyjádřit současný stav acidifikace českých půd a na základě míry acidifikace zhodnotit jejich potencionální půdní úrodnost a využití živin z hnojiv rostlinami.

3. Půda

3.1 Vznik půdy

Půda je nejsvrchnější a pro nás nejdůležitější část zemské kůry. Vedle vody a vzduchu je to nejvýznamnější element naší planety. Půdu lze nazvat obnovitelným zdrojem ovšem proces vzniku půdy je velmi pomalý. Vznik půdy začal ihned v prvopočátku země. Po ochlazení zemského povrchu a utuhnutí původně roztavených hornin. Ihned začaly působit chemické a fyzikální faktory, které zapříčinily jejich zvětrávání. Ovšem o pravé půdě můžeme mluvit až v okamžiku, kdy se na suché zemi objevil první život. Odumřelé zbytky těchto organismů vytvořili první humus a tím organickou složku půdy nezbytnou pro její správnou funkci. Výskyt organismů v přímém spojení s půdou zapříčinilo další zvětrávání – biologické.

Činitelé ovlivňující vznik půdy

- Matečná hornina - struktura a druh matečné horniny ovlivňuje zrnitostní složení půdy, dále chemické složení půdy (ovlivňuje půdní reakci) a zdroj minerálů a prvků, tvrdost matečné horniny určuje intenzitu eroze (žula x pískovec)
- Podnebí - působí na rychlost zvětrávání, teplé a vlhké podnebí vznik půdy urychluje, jakožto i střídající se roční období se sezónními mrazy
- Organismy - pionýrské organismy (mechy a lišejníky) jako první osidlují holé horniny - vytváří první zeminu a prostor pro další rostliny, kořeny vyšších rostlin zvětšují praskliny v hornině
- Reliéf krajiny - ve vyšších polohách probíhá zvětrávání rychleji (větší vliv podnebí), ale půda je splavována a hromadí se v dolinách
- Člověk - masivní zásahy do zemské kůry, velkoplošná úprava terénu

3.2 Definice půdy

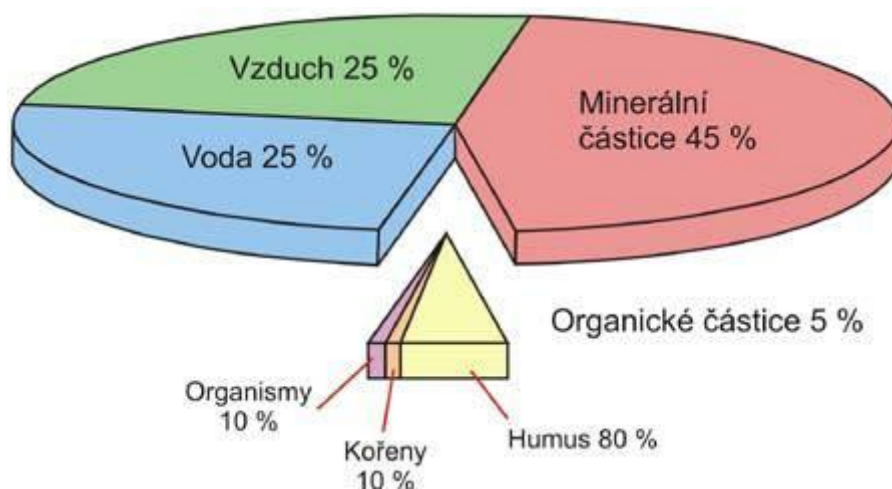
Půdy lze definovat mnoha způsoby. Ministerstvo životního prostředí České republiky (MŽP ČR) půdy definuje takto: "*Půda je samostatný přírodní útvar vzniklý z povrchových zvětralin zemské kůry a z organických zbytků za působení půdotvorných faktorů*". (MŽP ČR)

3.3 Složení půdy

Složení půdy má majoritní vliv na vlastnosti půdy. Tyto vlastnosti půdy je důležité znát pro správné obdělávání půdy. Existuje několik různých hledisek složení půdy, podle kterých je můžeme rozdělovat. V základu se půda dělí na 2 složky a to na biotickou (živá část půdy) a na abiotickou (neživá část půdy).

Biotická část půdy tvoří pouhých pár procent celkového objemu půdy. I přesto, že toto číslo je malé má na vlastnosti půdy veliký vliv. Nejedná se jenom o makroorganismy, ale i o mnohem důležitější mikroorganismy. Tyto mikroorganismy rozkládají nahromaděnou odumřelou organickou hmotu a navracejí tak do půdy důležité prvky a živiny.

Druhá základní složka půdy je neživá část - abiotická. Půda je třífázový systém – obsahuje pevnou, tekutou i plynnou formu látek. Do neživé části půdy zahrnujeme minerální látky, odumřelou organickou hmotu, půdní vodu a půdní vzduch. Pevná část půdy obvykle tvoří 50% půdy přičemž u typické půdy se obsah minerálních látek pohybuje okolo 45%, obsah organické hmoty se pohybuje okolo pouhých 5%. Minerály v půdě a organická hmota jsou důležité pro udržení a ukládání živin. Další 50% půdního objemu tvoří půdní voda a půdní vzduch. Obsah těchto dvou složek je navzájem velmi proměnlivý. Dá se říci, že obě složky zastupují zhruba stejný objem – tedy každá 25% viz obrázek 1. Proměnlivost těchto dvou složek závisí hlavně na tom, že se obě vyskytují v mezerách mezi pevnou složkou – v pórech. Díky tomu při srážkách voda vytlačuje vzduch a při přísušku zase půda obsahuje více vzduchu. Půdní voda je medium pro přenos živin v půdě. S vodou také rostliny přijímají živiny v ní rozpuštěné. Přítomnost vzduchu v půdě, převážně kyslíku, je životně důležitá pro půdní mikroorganismy a také pro správný průběh biologických procesů.



Obr. 1.: Procentuální zastoupení jednotlivých složek půdy. Autor E.Vrtišková.

Na půdní úrodnost a správu funkci půdy mají rozhodující vliv tyto vlastnosti:

1. Zrnitost – skelet (>2mm) a jemnozem (<2mm)
2. Pórovitost – ovlivňují obsah půdní vody a půdního vzduchu
3. Půdní reakce – vliv na mobilitu živin a na živou složku půdy
4. Obsah humusu a organických látek – množství dostupných živin

3.4 Funkce půdy

Půda to nejsou jenom organické a anorganické zbytky. Půda je živý svět. Je to přírodní prostor pro nespočetné druhy mikroorganismů, pro kořeny rostlin i pro některé vyšší živočichy. Půda je otevřený systém na rozhraní litosféry, atmosféry, hydrosféry a biosféry, mezi půdou a všemi sférami probíhá neustále výměna iontů a molekul. Z tohoto důvodu je půda velmi složitý a komplikovaný systém jehož správné pochopení nám pomůže porozumět správnému fungování půdy bez jejího vyčerpávání. Půda má několik nezastupitelných funkcí pro naši planetu.

Půda je elementem pro růst rostlin. Je životním prostředím pro kořeny rostlin, které z půdy získávají většinu živin pro svůj růst a tím se stává nezbytnou součástí suchozemského potravního řetězce. V půdě se akumuluje a filtruje voda. V půdě probíhající chemické procesy jsou důležité pro koloběh látek. Půda je tedy prostředím k přeměně odumřelých organických látek zpět na anorganické, její biotická část, hlavně mikrobiální se podílí na koloběhu uhlíku, dusíku, fosforu, síry a je také zásobárnou těchto prvků. Půda funguje jako zdroj složek stavebních materiálů. V půdě je také zdroj a zásobárna látek nezbytných pro moderní věk (uhlí, ropa, zemní plyn). Půda může také sloužit jako ložisko rizikových látek. Půda má také nezastupitelnou funkci z hlediska stabilizace prostředí, např. její schopnost pufrací kapacity stabilizuje pH (Sánka, Materna, (2004)).

3.5 Definice degradace půdy

I přes své mnohé vlastnosti a schopnosti je půda náchylná k ničení čili degradaci. Ministerstvo životního prostředí ČR definuje degradaci půdy jako: "*Částečnou nebo úplnou ztrátu půdní úrodnosti a to jak její kvality nebo množství v důsledku degradačních procesů*". (MŽP ČR)

Degradační procesy půdy jsou přirozenou součástí vzniku půdy. Půda se obnovuje a zároveň na jiných místech zaniká (splavování do řek a moří). Pokud jsou tyto procesy v rovnováze nebo pokud převažuje vznikání půdy je to dobře. Bohužel v

době několika posledních desetiletí začal člověk půdy významně ovlivňovat. Začal půdy vyčerpávat pěstováním náročných plodin na velkých plochách. Díky tomu bylo odlesněno velké množství půdy což mělo za následek podporu větrné a vodní eroze. Zvláště v poslední době začalo lidstvo z půdy těžit velké množství materiálů. Lidský průmysl má za následek změnu vlastností půdy v důsledku zkoncentrování látek vzniká salinizace, znečištění, zamokření a acidifikace.

4. Acidifikace a acidita půdy

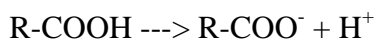
Definice těchto dvou výrazů, ačkoliv jsou velmi podobné a do jisté míry s sebou souvisí, jsou rozdílné. Pojmem acidita půdy čili kyselost půdy vyjadřujeme stav půdy. Označujeme jím tedy výlučné půdy, které jsou kyselé. A naopak mluvíme-li o acidifikaci máme na mysli jakýkoli proces, který vede ke snižování pH. Tímto termínem můžeme označit i půdy alkalické u nichž dochází ke snižování pH. Acidifikace nebo-li okyselování půdy je proces, který může mít 2 příčiny.

- První z nich je, že jsou do půdy dodávány látky, které zvyšují koncentraci vodíkových iontů H^+ .
- Druhou je, že jsou z půdy odebírány látky, které způsobují neutralizaci vodíkových iontů. Oba tyto způsoby mají za následek snížení pH a okyselení půdy.

Totéž platí i pro opak acidifikace a acidity a to pro alkalizaci a alkalitu. Jenom se nejedná o vodíkové ionty H^+ , ale o hydroxylové ionty OH^- (Lockwood, Wilson, Daniel, Jones (2003)).

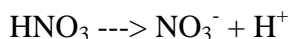
Na procesu acidifikace se podílí několik prvků. Prvním z nich je ten, který samou kyselost způsobuje a podle kterého ji i měříme - vodík H^+ . Tento prvek se může do půdy dostat několika způsoby. Jedním jeho zdrojem je rozklad organické hmoty, kdy vznikají slabé organické kyseliny. Tyto kyseliny podléhají v půdním roztoku disociaci a uvolňují vodík.

Obecná rovnice disociace organické kyseliny:



Dalším zdrojem vodíku jsou opět kyseliny. Ovšem tentokrát se jedná o kyseliny anorganické, které se do půdy dostávají spadem z atmosféry. Tyto kyseliny, jedná se především o kyseliny síry, dusíku a uhlíku, vznikají v atmosférické vlhkosti z emisí z průmyslové činnosti. Tyto kyseliny opět při disociaci uvolňují vodík.

Rovnice disociace kyseliny dusičné:

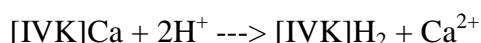


Dalším prvkem podílejícím se na procesu acidifikace je trojmocný kationt hliníku Al^{3+} . Tento prvek sice sám acidifikaci nezpůsobuje, ale podílí se na ní tak, že vytlačuje bazické kationty z výměnného komplexu, které jsou pak vodou odplavovány pryč a nemohou neutralizovat přidaný vodík.

Na základě těchto dvou iontů H^+ a Al^{3+} a jejich mobility v půdě rozdělujeme půdní kyselost na dvě základní formy a to na aktivní a potencionální.

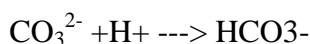
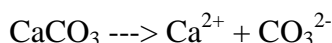
V půdě jsou ale také přítomny prvky, které acidifikaci potlačují a neutralizují. Jedná se o tzv. bazické kationty, které jsou přítomné v iontově výměnném komplexu půd. Patří mezi ně vápenatý kationt - Ca^{2+} , hořečnatý kationt - Mg^{2+} , sodný kationt - Na^+ a draselný kationt - K^+ . Tyto ionty se do půdy dostávají zvětráváním podložních hornin. Druh podložní horniny a množství z ní uvolněných bazických kationtů zvyšuje odolnost vůči kyselé depozici. Čím více je přítomno bazických kationtů tím déle je půda schopna neutralizovat kyselé vstupy. Pokud máme v půdě dostatek humusu, který jakožto součást iontově výměnného komplexu půd je nasycen bazickými kationty, snadno dochází k výměně za ionty H^+ a tím k jejich neutralizaci (Hruška J., Cienciala E., Navrátil T., Hofmeister J. (2006)).

Neutralizace H^+ výměnou za iont z iontově výměnného komplexu



Půdy vzniklé na vápencových horninách a všechny ostatní, které mají dostatečnou zásobu vápence CaCO_3 (uhličitan vápenatý), mohou neutralizovat kyselé vstupy.

Disociace CaCO_3 ve vodním prostředí a následná neutralizace iontů H^+



Neutralizace druhého vodíku a případný rozpad kyseliny uhličitě na vodu a oxid uhličitý Porter W.M. (1981).



4.1 Půdní reakce

Koncentrace iontů H^+ a následná kyselost se vyjadřuje stupnicí pH. Jedná se o záporný dekadický logaritmus aktivní koncentrace H^+ .

$$\text{pH} = -\log_{10}(\text{H}^+)$$

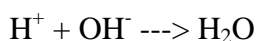
Naproti tomu alkalitu půdy způsobuje koncentrace hydroxylových iontů OH^- . Tuto koncentraci vyjadřuje vzorec pOH.

$$\text{pOH} = -\log_{10}(\text{OH}^-)$$

Chceme-li určit pH z koncentrace iontů OH^- musíme použít vzorec vyjadřující vztah mezi pH a pOH.

$$\text{pH} = 14 - \log_{10}(\text{OH}^-)$$

Pokud jsou v půdě přítomny jak vodíkové ionty H^+ , tak hydroxylové ionty OH^- ve stejné koncentraci, reagují spolu za vzniku neutrální vody ($pH=7$).



Jakákoli změna v poměru $H^+:OH^-$ se projeví snížením nebo zvýšením pH . Čím je větší koncentrace iontů H^+ ($H^+ > OH^-$), tím nižší pH ve výsledku bude. A naopak čím větší bude koncentrace hydroxylových iontů OH^- ($H^+ < OH^-$), tím větší pH bude. Škála pH se pohybuje od 1 do 14. Kyselé pH je určeno částí stupnice od 1 do 7, alkalické pH vyjadřuje stupnice od 7 -do 14. Neutrální pH je okolo 7.

Půdní reakce má dalekosáhlý vliv na půdní úrodnost. Zvýšená půdní kyselost ovlivňuje biologickou aktivitu půd a tím narušuje optimální průběh biochemických reakcí v půdě. Jsou zpomaleny i mineralizační procesy a je ovlivněna i využitelnost hnojiv.

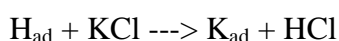
4.2 Aktivní kyselost

Aktivní či aktuální kyselost půdy způsobují volné ionty H^+ . Volné proto, protože jsou přítomny v půdním roztoku. Stanovení koncentrace iontů H^+ , které způsobují aktivní kyselost se provádí výluhem půdy destilovanou vodou a následným změřením pH pomocí pH metru.

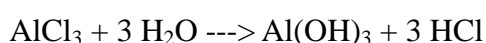
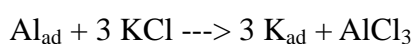
4.3 Potencionální kyselost

Potencionální půdní kyselost způsobují ionty, které nejsou volné, ale jsou vázané v sorpčně-iontovém výměnném komplexu půdy. Tuto kyselost vytváří všechny ionty, které při uvolnění ze sorpční kapacity reagují s hydroxylovými ionty za vzniku solí. Výměnnou půdní kyselost způsobují adsorbované ionty H^+ a Al^{3+} . Podle míry vázanosti rozdělujeme potencionální půdní kyselost na dvě podskupiny. A to na výměnnou (méně vázané ionty) a na hydrolytickou (ionty jsou silně vázány). Stanovení půdní výměnné kyselosti se provádí vytěsněním iontů H^+ a Al^{3+} ze sorpčního komplexu neutrální solí KCl ($CaCl_2$) (Matula J. (2007)).

Vytěsnění adsorbovaných iontů H^+ :



Vytěsnění adsorbovaných iontů Al^{3+} :



V obou reakcích vzniklá kyselina chlorovodíková disociuje na H^+ a Cl^- . Vzniklý roztok se změří pH metrem.

Na základě zjištěné hodnoty pH výměnné kyselosti stanovuje potřeba vápnění půd. Také se podle výsledků výměnné půdní kyselosti dělí půdy na extrémně kyselé, silně kyselé, kyselé, slabě kyselé, neutrální a zásadité viz. tabulka 1.

Tabulka 1. Rozdělení půd na základě pH.

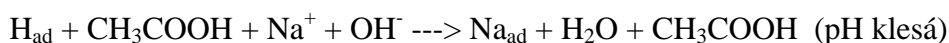
Druh půd	pH
Extrémně kyselé	<4,5
Silně kyselé	4,5-5,0
Kyselé	5,0-5,5
Slabě kyselé	5,5-6,5
Neutrální	6,5-7,2
Zásadité	>7,2

Kyselé půdy jsou definovány pro $pH < 5,5$. Při tomto nízkém pH se v půdě začínají aktivovat toxické formy hliníku Al^{3+} z minerálních látek. Aktivují se v takové míře, že jsou toxické pro rostliny. Mírně kyselé půdy jsou definovány mezi $pH 5,5-6,5$. Při tomto pH jsou kyselinou výrazně ovlivněny jen druhy citlivé na pH. Nejvhodnější rozmezí pH po většinu rostlin je mezi $5,5-6,5$ (Lockwood, Wilson, Daniel, Jones (2003)). Také se podle hodnoty výměnné kyselosti stanovuje potřeba vápnění půd.

4.3.1 Hydrolytická půdní kyselost

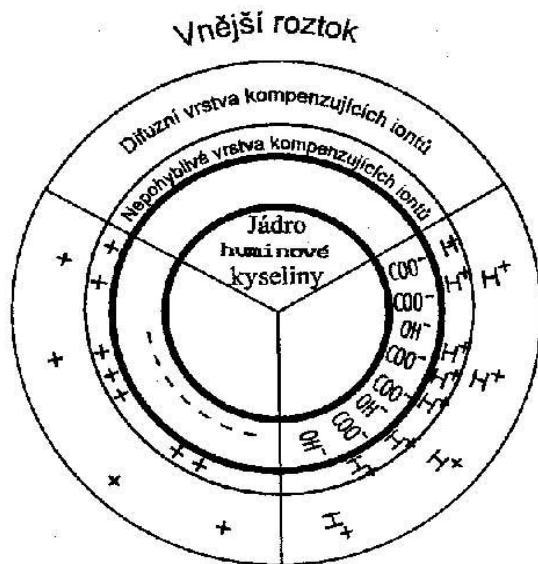
Tato kyselost vyjadřuje ionty H^+ , které jsou silněji vázané a nejdou snadno vytěsnit ze sorpčního komplexu. Tato hodnota hydrolytické kyselosti se dá použít pokud bychom chtěli vápnit k maximální sorpční kapacitě. Stanovení se provádí dokonalejším vytěsněním iontů H^+ za pomoci alkalických solí octanu sodného (vápenatého). Ve vodním prostředí se štěpí na slabou kyselinu a silnou zásadu.

Příprava alkalického roztoku a vytěsnění adsorbovaných iontů H^+ :



Ionty Na^+ nahradí adsorbované ionty H^+ . Čím více iontů H^+ se vytěsní tím více iontů OH^- reaguje na H_2O . To má za následek projevení kyseliny octové v roztoku a zvýšení pH. Její koncentrace se stanoví titrací na vhodný indikátor (Richter R.(2004)).

Na obrázku 2 je znázorněno, kde se vyskytují jednotlivé druhy půdní kyselosti ve vztahu ke koloidní micelle huminové kyseliny. Volná aktivní kyselost se vyskytuje ve vnějším roztoku. Vázaná potencionální kyselost se nachází na povrchu micely ve dvou vrstvách. Difúzní vrstva - výměnná půdní kyselost a nepohyblivá vrstva - hydrolytická půdní kyselost.



Obr.2: Schéma koloidní micely. Autor R.Richter

5. Příčiny acidifikace půd

Okyselování půd je velmi pomalý proces, který ovšem neustále probíhá. V moderní době je tento proces zrychlován lidskou činností.

Acidifikace půdy má několik hlavních příčin:

- Loužení
- Kyselé matečné horniny
- Rozpad organické hmoty
- Dešťové srážky
- Sklizeň vysoce výnosných plodin

Těchto pět hlavních příčin s sebou přináší další, které ovlivňují jejich charakter. Na základě rychlosti a vlivu lidské činnosti rozdělujeme acidifikaci na přirozenou (minimální vliv člověka) a na antropogenní (acidifikace člověkem ovlivněná nebo přímo způsobená).

5.1 Přirozená acidifikace

Přirozená acidifikace je velmi pomalý proces, který probíhá nezávisle na lidské činnosti.

Za přirozené okyselování považujeme:

- Loužení
- Kyselé matečné horniny
- Rozpad organické hmoty

Člověk tuto acidifikaci svým jednáním nemůže zpomalit ani odstranit. U přirozené acidifikace můžeme řešit pouze následek - nízké pH. Těžko si představíme, že můžeme ovlivnit rozpad organické hmoty v půdě, loužení, nebo snad rozpad matečných hornin.

5.1.1 Loužení

Loužení nebo spíše vyplavování způsobují nadměrné srážky. Z hlediska celkové acidifikace je to pomalý, ale účinný prostředek k odstranění bazických kationtů v řádu tisíců let. Tento proces probíhá nejrychleji na písčítých půdách, kde jsou malé sorpční kapacity v důsledku nízkého obsahu organické hmoty. Voda rychle tekoucí skrze půdní profil bere tyto omezené zásoby bazických kationtů s sebou (Johnson G. V.(2002)).

5.1.2 Kyselé matečné horniny

Jelikož půda vzniká zvětráváním a rozpadem hornin závisí základní chemické složení půdy na chemickém složení horniny ze které vznikla - na tzv. matečné hornině. Hornin je mnoho typů podle jejich vzniku. První jsou magmatické. Podle kyselosti se magmatické horniny rozdělují podle nasycenosti (nenasycenosti) oxidem křemičitým - SiO₂.

Rozdělení magmatických hornin na základě obsahu oxidu křemičitého

- 1) kyselé horniny: více než 65% SiO₂ - žuly, ryolit
- 2) intermediární horniny: 55 – 65% SiO₂ - syenit, diorit
- 3) bazické horniny: 45 – 55% SiO₂ - gabra, čediče
- 4) ultrabazické horniny: méně než 45% SiO₂ - peridotit, pikrit

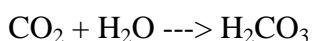
Druhým typem hornin jsou horniny usazené. Ty vznikají z magmatických hornin jejich zvětráním a usazením - např. pískovce. Mohou také vznikat na základě biologické činnosti např. vápenec jsou usazené schránky mořských živočichů. Posledním typem jsou horniny přeměněné. Vlastnosti těchto hornin závisí na horninách, které byly přeměněny.

Půdy vzniklé z kyselých hornin budou mít malou zásobu bazických kationtů, budou tedy nejvíce ohroženy acidifikací. Jedná se především o horské a podhorské půdy. (Petránek J., Synek J. (2007)).

5.1.3 Rozpad organické hmoty

Další přirozená acidifikace vzniká v důsledku rozkladu organické hmoty. Tento děj probíhá hlavně v lesích a nejvíce v lesích jehličnatých, kde je vysoká vrstva opadaného jehličí - opadanky. Tlející organická hmota uvolňuje vodík H⁺, který je zodpovědný za kyselost. Dále se při rozkladu organické hmoty uvolňuje oxid uhličitý - CO₂. Tento plyn se rozpouští ve vodě za vzniku kyseliny uhličitě.

Reakce oxidu uhličitěho s vodou



Biochemické procesy probíhající v půdě a které mají za následek rozpad organické hmoty, se na acidifikaci také podílejí. Tímto způsobem vznikají některé slabé organické kyseliny. Vznik těchto kyselin je ovšem v malém množství a projevil by se pouze v měřítku mnoha let.

Způsoby přirozené acidifikace jsou v přírodě běžným jevem a proto si s nimi dokáže poradit. To málo kyselých vstupů z těchto zdrojů, lze v půdě snadno zneutralizovat, aniž by to mělo za následek změnu chemismu půd. Díky přirozené acidifikaci by nemohlo docházet k neustálému snižování pH půdy. Toto ovšem neplatí o antropogenním okyselování.

5.2 Antropogenní acidifikace

Antropogenní acidifikaci, jak vyplývá již z názvu, lidská činnost ovlivňuje do značné míry nebo ji i přímo způsobuje.

Za antropogenní okyselování považujeme:

- Dešťové srážky
- Sklizeň vysoce výnosných plodin

5.2.1 Dešťové srážky

Nejedná se o samotné dešťové srážky, ale o srážky pozměněné vlivem látek v nich obsažených, převážně kyselin, jedná se tedy o kyselou dešť. Kyselý déšť vznikne rozpuštěním kyselinotvorných plynů ve vzdušné vlhkosti. Tato velmi slabá kyselina potom prší na vodní plochy, na zemský povrch, vsakuje se do půdy a vše okyseluje. Mezi kyselinotvorné plyny se řadí oxidy síry (oxid siřičitý SO_2 a oxid sírový SO_3), oxidy dusíku (oxid dusný N_2O , oxid dusnatý NO , oxid dusičitý NO_2 a oxid dusičný N_2O_5) a oxid uhličitý (CO_2). Tyto plyny se do atmosféry dostávají různými způsoby.

Oxid uhlíku

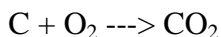
Oxid uhličitý je jedním z plynů, který způsobuje okyselení dešťových srážek. Tento plyn se v atmosféře vyskytuje ve značném množství. Oxid uhličitý je ovšem z atmosféry odebírán při fotosyntetické činnosti rostlin, ty ho zabudují do svých těl v podobě organických sloučenin.

Fotosyntetická reakce



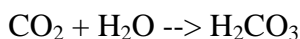
Oxid uhličitý se do atmosféry dostává několika hlavními způsoby. Přirozeným způsobem je dýchání živých organismů na Zemi. Heterotrofní organismy přijímají organické látky vytvořené autotrofními organismy (rostlinami). Následnou oxidací těchto sloučenin získávají energii a jelikož je uhlík základním stavebním kamenem organických látek, oxiduje se na oxid uhličitý.

Reakce oxidace uhlíku



Dalším způsobem jak se může dostat oxid uhličitý do atmosféry je spalování. Spalování je rovněž oxidace organických sloučenin. Pokud se jedná o spalování nedávno (z geologického hlediska) vázaného uhlíku, zůstává jeho obsah víceméně konstantní a nezpůsobuje žádný problém. Problém nastává, když začneme spalovat fosilní paliva. Uhlík ve fosilních palivech se neúčastnil koloběhu látek po velmi dlouhou dobu. Tímto vzniklý oxid uhličitý je v atmosféře "navíc" a způsobuje problémy. Oxid uhličitý uniklý do atmosféry reaguje se vzdušnou vlhkostí za vzniku kyseliny.

Reakce oxidu uhličitého se vzdušnou vlhkostí



Při rozpuštění oxidu uhličitého v atmosféře vzniká kyselina uhličitá. Jedná se o slabou kyselinu se slabou disociací do prvního stupně a ještě menší do druhého. Z tohoto důvodu není vážným problémem z hlediska acidifikace půd.

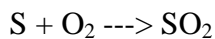
Oxidy síry

Přírodním zdrojem uvolňujícím tyto plyny do atmosféry je sopečná činnost. Kdy se do atmosféry uvolní značné množství těchto oxidů. Sopečná činnost je ovšem v této geologické epoše řídká a tam nemá na produkci plynu větší vliv. Největším producentem oxidů síry je lidská průmyslová činnost a sice spalování fosilních paliv. Hlavně nekvalitní fosilní paliva, např. hnědé uhlí s vysokým obsahem síry způsobují největší problémy. V České republice byl problém spojený s emisemi oxidů síry hlavně v 80. letech v severních Čechách viz. obrázek 3.



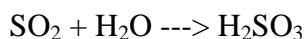
Obr.3: Lesy poškozené kyselým deštěm v Jizerských horách. Autor P.Hendl

Oxidace síry z fosilních paliv

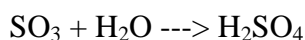
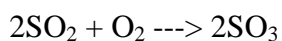


Vzniklý oxid siřičitý uniká do atmosféry. Tento plyn se může rovnou rozpouštět ve vzdušné vlhkosti za vzniku kyseliny siřičité nebo se může dále oxidovat na oxid sírový a reagovat se vzdušnou vlhkostí až posléze.

Reakce oxidu siřičitého s vodou



Reakce oxidu siřičitého na oxid sírový a následná reakce s vodou na kyselinu sírovou



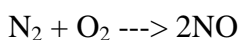
Masivní kampaň za odsíření elektráren a průmyslu v 90tých letech minulého století emisní limity síry snížila na minimum a oxidy síry se již nepodílejí na kyselých deštích velkým dílem.

Oxidy dusíku

Dusík vytváří hned několik druhů oxidů, jedná se o 4 plyny (oxid dusný N_2O , oxid dusnatý NO , oxid dusičitý NO_2 a oxid dusičný N_2O_5), které jsou označovány společným názvem NO_x . Tato suma plynů NO_x je tvořena hlavně dvěma plyny a to oxidem dusnatým NO a oxidem dusičitým NO_2 . Za normálních okolností je dusík inertní plyn a nereaguje, protože tvoří dvojmocné molekuly mezi nimiž je pevná trojná vazba. Existují ovšem podmínky, kdy dusík s kyslíkem reaguje. Děje se tak při

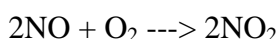
spalování na rozhraní plamene a okolního vzduchu. Zde se trojná vazba dusíku poruší a je oxidován kyslíkem na oxid dusnatý.

Reakce dusíku kyslíkem



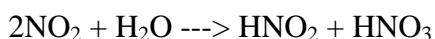
Oxid dusnatý NO je nestálý a oxiduje se kyslíkem za vzniků oxidu dusičitého. Nebezpečí oxidu dusičitého je jeho jedovatost. Už velmi malé koncentrace dráždí a poškozují sliznice. Do ovzduší se uvolňuje např. při kouření tabáku, z plynových spotřebičů a naftových kamen a z dopravy.

Oxidace oxidu dusnatého na dusičitý



Oxid dusičitý je snadno rozpustný ve vodě. Při rozpuštění ve vzdušné vlhkosti vzniká směs kyseliny dusité a dusičné.

Reakce rozpuštění oxidu dusičitého



Hlavním zdrojem oxidu dusíku způsobujících acidifikaci je tedy spalování. Bohužel moderní doba je závislá na automobilové dopravě a právě spalovací motory v autech a hustá automobilová doprava jsou největšími producenty oxidů dusíku na světě. Zatímco odsíření elektráren značně snížilo emise síry, oxidy dusíku se nesnížily vůbec. Naopak čím více roste doprava, tím více rostou a porostou emise oxidů dusíku (Hruška J., Oulehle F., Krám P., Skořepová I. (2009)).

5.2.2 Sklizeň vysoce výnosných plodin

I něco tak běžného jako je sklizeň plodin na polích způsobuje acidifikaci. Je to znát hlavně v nejrozšířenějším intenzivním zemědělství. Plodiny potřebují pro svůj růst a vývin minerály a prvky. Tyto prvky si berou z půdy rozpuštěné ve vodě. Rostlina si tyto prvky zabuduje do svých pletiv. V přírodě by po úhynu rostliny její tělo zetlelo a prvky by se dostaly zpět do půdy. Ovšem na orné půdě tyto rostliny pokosíme a z pole odvezeme - látky obsažené v jejich tělech se nevrátí do půdy. Když se tak děje rok co rok obsah některých látek se rapidně snižuje. Především jedná li se o rostliny s vysokou náročností na tyto minerály. V tabulce 2 jsou uvedeny 3 plodiny s vysokou náročností na živiny a prvky v půdě.

Tabulka 2: Množství potřebných prvků na 1t zrna u vybraných plodin.

	N kg/t	P ⁵⁺ kg/t	K ⁺ kg/t	Ca ²⁺ kg/t	Mg ²⁺ kg/t
Pšenice	24-30	6	20	3-4	
Kukuřice	25-30	4,5-7	23-29	4,5-7,5	3,6-6
Řepka	50-60	11-15	50-60	28-50	4,2-7,2

V tabulce 2 je uvedeno jaké množství jednotlivých prvků potřebujeme pro vytvoření 1 tuny zrna a odpovídajícího množství slámy. Jak je z tabulky patrné odčerpání prvků z půdy je značné. Z hlediska acidifikace nás zajímá hlavně odčerpání bazických kationtů, tedy K⁺, Ca²⁺ a Mg²⁺. Podíváme-li se na pšenici, která má výnos zhruba 5t zrna na hektar, odčerpá nám jedna sklizeň pšenice z půdy z jednoho hektaru 100kg draslíku a 15-20kg vápníku. Toto značné množství bazických kationtů K⁺ a Ca²⁺ musíme bychom měli každoročně obnovovat abychom nepodporovali acidifikaci v důsledku sklizně těchto plodin. Pokud by se tak nedělo v půdě by zůstávalo stále méně bazických kationtů, které by už nemohli neutralizovat další kyselý vstup a kyselost půdy by narůstala (Johnson G. V.(2002)).

Používání fyziologicky kyselých hnojiv

Pěstování vysoce výnosných plodin na zemědělské půdě vede také k tomu, že musíme do půdy dodávat velké množství hnojiv, které zajistí doplnění živin pro růst rostlin. Hnojiva se fyziologicky dělí na kyselá, neutrální a zásaditá. Problém nastává pokud ke hnojení půdy používáme kyselá hnojiva. Zda se hnojivo řadí mezi kyselý nebo zásaditý závisí na rostlině, zda z hnojiva selektivně přijímá kationt nebo aniont. U neutrálních hnojiv rostlina přijímá stejně jak kationt tak aniont.

U kyselých hnojiv rozlišujeme 2 typy kyselosti:

- Aktuální kyselost
- Fyziologická kyselost

Aktuální kyselost závisí a způsobuje jí chemické složení hnojiva

Fyziologická kyselost hnojiva se vyjadřuje tzv. ekvivalentem kyselosti, ten poskytuje informace o působení hnojiva a je také ukazatelem vápnění. Udává jaké množství CaO či CaCO₃ je potřeba k neutralizaci kyselé reakce, která vznikla po aplikaci hnojiva.

6. Důsledky nadměrné acidifikace

Kysejší prostředí ovlivňuje rostliny několika různými způsoby. Jedním způsobem je přímé poškození nadzemních asimilačních orgánů rostlin. druhým je nepřímé poškození vzniklé v důsledku dlouhodobějších změn v půdě.

6.1 Přímé poškození

Přímé nebo také akutní poškození přímo poškozuje rostlinu, především chlorofyl. Aby došlo k akutnímu poškození stačí desítky minut působení zdroje poškození. Pokud dojde k velkému akutnímu poškození může to vést až k úhynu rostliny.

Poškození chlorofylu kyselinou

Toto poškození se týká kyselých dešťů. Je-li kyselý déšť dostatečně koncentrovaný, poškozuje při dopadu na list při kontaktu s chlorofylem toto barvivo viz obrázek 3. Toto byl velký problém až do 90. let kdy dosahovala koncentrace oxidu siřičitého v ovzduší v oblasti Krušných hor až 60 mikrogramů /m³. V 60.-80. letech minulého století bylo tímto způsobem zničeno mnoho lesů především v Krušných horách, ale i v jiných částech severních Čech. (Hruška J., Oulehle F., Krám P., Skořepová I. (2009)).



Obr.4: Poškození chlorofylu spadem koncentrované kyseliny. Autor R.Remeš

6.2 Nepřímé poškození

Nepřímé či také chronické poškození působí na rostlinu po celou dobu. Kyselost změny chemické či fyzikální poměry v půdě a ty mají za následek samotné poškození. Nepřímé poškození vede k celkovému oslabení, ale ne k úhynu. Ten má většinou za příčinu dostavující se dostavující stres ze změny teplot, mrazů či škůdců, kteří na poškozenou rostlinu působí.

Hliníková toxicita

Patří mezi hlavní příčiny poškození stromů a rostlin. Tento prvek se často vyskytuje v horninách a je ve velké míře zastoupen v zemské kůře. Za přibližně neutrálního pH se vyskytuje ve formě nerozpustných sloučenin. Tyto sloučeniny nemohou rostliny přijímat. Pokud ovšem klesne pH pod 5,5 hliník začne vytvářet rozpustné sloučeniny. Tyto sloučeniny už rostliny přijímat mohou a v rostlině působí jako buněčný jed. Vápník poškozuje rostlinu přes kořeny. Hliník vytlačuje ionty vápníku Ca^{2+} , hořčíku Mg^{2+} a draslíku K^{+} z membrány kořenů a naruší tak iontovou rovnováhu. Takto poškozený kořen odumírá. Pokud se tak děje ve větším množství a rostlina ztrácí hodně kořenů vede to ke špatnému příjmu vody a živin a rostlina je nakonec celkově oslabená. (Hruška J., Oulehle F., Krám P., Skořepová I. (2009)).

Přehnojení dusíkem

Dusík je jeden ze základních prvků (N, P, K) důležitých pro růst rostlin. Je zodpovědný za prodloužení a růst nových výhonů. V lesní půdě je tento prvek limitujícím faktorem. Do zemědělské půdy je dodáván hnojením ovšem ve správném poměru k ostatním prvkům. Působí-li dlouhodoběji kyselá depozice tvořená zejména dusíkatými látkami, dojde ke změně poměru základních prvků a tím k narušení rovnováhy. Více dusíku v půdě znamená rychlejší a větší růst. To samo o sobě ještě není tak špatné, ale i to vede ke křehkosti pletiv a jejich snadnějšímu lámání při námaze. U zemědělských plodin to vede hlavně k poléhání rostlin. Druhý problém, který přináší přehnojení dusíkem souvisí se souběžným nedostatkem hořčíku Mg^{2+} a následné disproporci ve výživě rostliny. Hořčík je ústředním prvkem chlorofylu a je-li ho nedostatek rostlina nemá dostatek prvků na tvorbu chlorofylu. To společně s nadměrným růstem v důsledku přehnojení dusíkem vede u rostlin ke žloutnutí - chloróze. U jehličnanů se to může projevit přesunutím hořčíku ze starších jehlic do nových a následným opadem starých. To vede k vyholení a bizarnosti stromů, spolu křehkými pletivy a chlorózou to má za následek celkové oslabení.

7. Potlačení acidifikace

7.1 Vápnění

Je nejdůležitějším a nejzákladnějším opatřením proti acidifikaci půd. Vápněním se neutralizuje půdní kyselost a vytváří se dobré podmínky pro pěstované kulturní rostliny. Potřeba vápnění a jaká dávka vychází z výpočtu potenciální výměnné kyselosti. Kdy chceme zneutralizovat nejenom aktuální kyselost přítomnou v půdním roztoku, ale také částečně nasytit výměnný komplex půdy. Vápnění rozdělujeme na 2 typy a to podle množství a způsobu aplikace:

- udržovací - menší dávky, udržuje pH, nahrazuje odebraný vápník
- ozdravné - velké dávky, radikálně zvyšuje pH

Udržovací vápnění

Cílem udržovacího vápnění je ochránit půdu před další acidifikací, zneutralizovat kyselost stávající a dosytit půdy ztracenými kationty Ca^{2+} . Dávka musí odpovídat všem druhům ztrát bazických iontů, musí tedy zohlednit ztráty v důsledku odčerpání rostlinami, dále ztráty v důsledku vymývání, musí se také započítat okyselení v důsledku používání kyselých a kyselého spadu na půdu.

Ozdravné vápnění

Nebo též nápravné vápnění se provádí u půd s velmi nízkým pH, tedy u půd nevhodných k pěstování. Ozdravné vápnění má za úkol zvýšení pH na optimální hodnotu pro pěstování a tím nápravu chemických a fyzikálních vlastností půdy.

Vápnění má výrazný vliv na biologickou aktivitu půd. Ta je po vápnění silně podpořena a narůstá biomasa bakterií a aktinomycet.

7.2 Druhy vápenných hmot

Uhličitá forma vápníku

Vápenec - CaCO_3 - velmi rozšířená vápenná hmota používaná pro vápnění. Má dobrou rozpustnost ve slabých kyselinách. Na změnu půdní kyselosti působí pomaleji, ale má delší vliv. Vlastnosti závisí na složení a jemnosti mletí (jemněji namletý vápenec má větší povrch a lépe působí). Vápence lze rozdělit na vysokoprocentní (nad 90% CaCO_3), střední (80-90%) a nízkoprocentní (60-80%).

Dolomitické vápence - směs $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ nebo $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ - mezi dolomitické vápence se řadí pouze ty, které mají obsah MgCO_3 vyšší než 10% a podle toho dolomitické vápence rozdělujeme na vápenec (<10%), dolomitický vápenec (10-23%), vápenatý dolomit(23-41%) a dolomit (41-46%).

Žíravá forma vápníku

Sem patří pálené vápno. Působí mnohem více alkalicky než uhličitanové formy a také rychleji. Vyrábí se pálením vápenců. Podle příměsí MgO se dělí na pálené vápno hnojivé (<10%) a na hnojivé vápno hořečnaté (>10%).

Křemičitanová forma vápníku

Sem patří různé druhy odpadních strusek, které vznikají při výrobě oceli. Obsah CaO se pohybuje sice okolo 40%, ale vápník je vázán na dobře rozpustné křemičitany (Hlušek J. (2004)).

7.3 Normy vápnění podle ÚKZUZ

Na základě měření hodnoty výměnné půdní kyselosti jsou vydány tabulky, které ukazují množství vápenných hmot potřebné k roční neutralizaci kyselých vstupů do půdy, viz tabulka 3 - 6.

Tabulka 3. Množství CaO potřebné k neutralizaci na orné půdě a v ovocných sadech.

Orná půda a ovocné sady			
x	t CaO/ha		
pH	lehká půda	střední půda	těžká půda
<4,5	1,2	1,5	1,7
4,5-5,0	0,8	1,0	1,2
5,0-5,5	0,6	0,7	0,8
5,5-6,0	0,3	0,4	0,5
6,0-6,5		0,2	0,2

Tabulka 4. Množství CaO potřebné k neutralizaci na chmelnicích.

Chmelnice			
x	t CaO/ha		
pH	lehká půda	střední půda	těžká půda
<4,5	0,6	1	1,3
4,5-5,0	0,45	0,7	0,9
5,0-5,5	0,3	0,5	0,6
5,5-6,0	0,2	0,3	0,4
6,0-6,5		0,2	0,2

Tabulka 5. Množství CaO potřebné k neutralizaci na vinicích.

Vinice			
x	t CaO/ha		
pH	lehká půda	střední půda	těžká půda
<4,5	0,6	1	1,3
4,5-5,0	0,45	0,7	0,9
5,0-5,5	0,3	0,5	0,6
5,5-6,0	0,2	0,3	0,4
6,0-6,5			0,2

Tabulka 6. Množství CaO potřebné k neutralizaci trvale travní porostů.

Trvalé travní porosty			
x	t CaO/ha		
pH	lehká půda	střední půda	těžká půda
<4,5	0,5	0,7	0,9
4,5-5,0	0,3	0,5	0,7

K tomuto množství vápenné hmoty je nutno přičíst ztráty způsobené sklizní plodin (Klement, Sušil (2013)).

8. Materiály a metody

8.1 Zjišťování půdních vlastností

Pro získání všestranných znalostí o půdě v České Republice byl vládou v lednu 1961 schválen komplexní průzkum půd. Toto schválení bylo následně upraveno zákonem č.61/1964 Sb. Komplexní průzkum půd zahrnoval 2 části:

Půdoznalecký průzkum

Zahrnuje geneticko-agronomické vlastnosti půd, jejich třídění podle zrnitostního složení, skeletu, stupně zamokření. tento průzkum se provádí každých 10 let.

Agrochemické zkoušení zemědělských půd (AZZP)

AZZP je prováděno podle zákona č. 156/1998 Sb. o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích, substrátech a agrochemickém zkoušení půd - zákon o hnojivech. A podle vyhlášky č. 275/1998 Sb. o agrochemickém zkoušení zemědělských půd a zjišťování půdních vlastností lesních pozemků ve znění pozdějších předpisů. Od roku 1961 do roku 1980 prováděné v pětiletých cyklech. Díky zvyšující se intenzitě hnojení a rychleji se měnícím půdním vlastnostem byl cyklus zkrácen na 3 roky, v období 1981 - 1992. V roce 1992 byl uzavřen poslední tříletý cyklus a přešlo se na šestileté cykly. Během let AZZP se zvyšoval i počet měřených věcí. Do roku 1983 byly stanovovány pouze základní vlastnosti půd - půdní reakce, obsah uhličitánů, potřeba vápnění a obsah přístupných prvků (P, K, Mg). V období do roku 1991 byla škála měřených vlastností rozšířena o stanovení obsahu mikroelementů (Cu, Zn, Mn, B, Mo). V letech 1990 - 1992 bylo celoplošně stanovováno riziko kontaminace těžkými kovy (Cd, Cr, Pb, Hg) Tento orientační průzkum sloužil jako základ pro založení registru kontaminovaných půd.

8.2 Metodika odebírání vzorku pro AZZP

Pro odebírání vzorků pro AZZP musíme dodržovat několik zásad. Jelikož se vzorky vybírají vždy na určitých lokalitách musí být dodržen vzájemný poměr půdních typů tak, aby odpovídal zastoupení jednotlivých půd v České republice. Musí se také dodržet poměr mezi jednotlivými druhy zemědělské půdy a pozorovací místa musí být rovnoměrně rozložena na ploše regionu. Pozorovací místa jsou definována obdélníky 25m x 40m, v těsné blízkosti plochy byla vykopána a popsána geologická sonda. Na pozorovací lokalitě rozlišujeme 3 základní typy odběrů:

- jednorázové odběry - odebírají se při výkopu geologické sondy, zjišťujeme fyzikální parametry lokality, prvkovou analýzu, popis půdní sondy, zrnitost
- základní vzorkování - provádí se v šestileté periodě
- každoroční odběry - jsou zaměřeny na sledování stavu a vývoje znečištění půd organickými polutanty, a na možnou kontaminaci potravinového řetězce prostřednictvím zemědělských plodin

8.3 Metody používané při AZZP

Do roku 1989 byla pro stanovení obsahu přístupného fosforu používána metoda podle Egnera, pro stanovení přístupného draslíku a hořčíku metoda podle Schachtschabela. Od roku 1990 byla pro obsah přístupných prvků zaveden společný výluh - metoda Mehlich II a od roku 1999 metoda Mehlich III (Poláková Š., Kubík L., Malý S. (2011)).

8.3.1 Metoda Mehlich III

Základním předpokladem pro zjištění obsahu přístupných prvků je mít suchou, jemnou půdu a činidlo, které extrahuje prvky v půdě vázané do roztoku.

Složení extrakčního roztoku pro metodu Mehlich III:

Kyselina dusičná 65%

Kyselina octová – koncentrovaná

Fluorid amonný

Dusičnan amonný

Kyselina etylendiamino-tetraoctová - EDTA

Při metodě Mehlich III se půda extrahuje kyselým roztokem. Tuto kyselost zajišťuje koncentrovaná kyselina dusičná HNO_3 a kyselina octová CH_3COOH . V roztoku přítomný fluorid amonný NH_4F zvyšuje rozpustnost některých forem fosforu, především těch vázaných na hliník. V roztoku je přítomen i dusičnan amonný, ten příznivě ovlivňuje desorpci draslíku, hořčíku a vápníku. Přítomnost EDTA zajišťuje dobrou uvolnitelnost nutričně významných mikroelementů.

Extrakce prvků se provádí tak, že navážku 5g zeminy zalijeme 50ml extrakčního roztoku. Poté necháme třepat 10 minut na třepače pro dokonalou extrakci prvků. Výslednou suspenzi přefiltrujeme přes filtrační papír. Se získaným filtrátem dále pracujeme podle toho jaký prvek měříme.

Stanovení fosforu

Pro získání koncentrace fosforu ve filtrátu musíme sestavit kalibrační graf. Ten se sestavuje ze standardního roztoku. Standardní roztok pro fosfor připravujeme z dihydrogenfosforečnanu draselného. Standardní roztok se naředí na 8 různých roztoků o známé koncentraci - z bodů vytvoříme kalibrační graf. Měření provádíme na fotometru při vlnové délce 660nm.

Příprava vzorku

Do 25ml zkumavky pipetujeme 2,5ml filtrátu, doplníme destilovanou vodou na 17ml. Přidáme 1ml molybdenového činidla a 1ml redukčního činidla. Po 10 minutách stání přidáme 2,5ml síranu hydrazinu a doplníme destilovanou vodou na 25ml. Necháme ještě stát dalších 30 minut a poté proměříme na fotometru při vlnové délce 660nm. podle naměřené absorbance odečteme z kalibračního grafu výslednou koncentraci fosforu ve filtrátu.

Stanovení draslíku

Standardní roztok pro přípravu kalibračních roztoků a kalibračního grafu připravujeme z chloridu draselného. Měříme na plamenném fotometru.

Příprava vzorku

Vzorek proměříme na plamenném fotometru a koncentraci odečteme z kalibračního grafu.

9. Výsledky a diskuse

Data pro zpracování jsem získával z výročních zpráv ÚKZUZ. Tyto zprávy jsou každoročně aktualizovány novým ročním měřením. Data jsou od prvního cyklu 2003-2008 a poté vždy s rokem navíc až do cyklu 2007-2012. Průměrné pH je vždy počítáno váženým průměrem (vztaženo na plochu stejného typu půdy) a je měřeno na stejné lokalitě jednou za 6 let. Každý rok se měří pH na části vybraných lokalitách a je přepočítáváno na celorepublikový poměr, proto jsou zprávy každoročně aktualizovány.

První celek měření 2003-2008 a jednotlivé stupně kyselosti na jednotlivých typech zemědělské půdy ukazuje tabulka 7.

Tabulka 7: Zastoupení kyselých druhů půd v % a ha u jednotlivých druhů zemědělské půdy v letech 2003-2008.

rok 2003-2008			půdy silně kyselé a kyselé		půdy slabě kyselé		kyselé půdy celkem	
Typ zemědělské půdy	výměra v ha	prům. pH	pH <5,5 (%)	pH<5,5 (ha)	pH 5,5-6,5 (%)	pH 5,5-6,5 (ha)	pH <6,5 (%)	pH <6,5 (ha)
orná půda	2641243	6,2	22,55	595600	44,84	1184333	67,39	1779934
chmelnice	5944	6,6	9,23	549	30,69	1824	39,92	2373
vinice	10456	7,3	2,13	223	10,36	1083	12,49	1306
ovocné sady	16808	6,6	13,32	2239	34,44	5789	47,76	8028
TTP	700256	5,6	50,32	352369	41,79	292637	92,11	645006
zemědělská půda	3374708	6,1	28,18	950993	44,03	1485884	72,21	2436877

V tabulce 7 je vidět, že nejkyseljším druhem zemědělské půdy jsou trvalé travní porosty, u nichž podíl silně kyselých půd činí 50,32% a celkový objem kyselých půd 92,11%. Mají také nejnižší průměrné pH, a to 5,6. Nejlépe vycházejí vinice, které mají průměrné pH 7,3. Zastoupení silně kyselých půd u vinic je pouhých 2,13%.

Druhý celek měření 2004-2009 a jednotlivé stupně kyselosti na jednotlivých typech zemědělské půdy a jejich výměru ukazuje tabulka 8.

Tabulka 8: Zastoupení kyselých druhů půd v % a ha u jednotlivých druhů zemědělské půdy v letech 2004-2009.

rok 2004-2009			půdy silně kyselé a kyselé		půdy slabě kyselé		kyselé půdy celkem	
	Typ zemědělské půdy	výměra v ha	prům. pH	pH <5,5 (%)	pH<5,5 (ha)	pH 5,5-6,5 (%)	pH 5,5-6,5 (ha)	pH <6,5 (%)
orná půda	2691076	6,2	23,72	638323	44,17	1188648	67,89	1826971
chmelnice	5499	6,5	11,52	633	33,07	1819	44,59	2452
vinice	10436	7,3	2,06	215	10,78	1125	12,84	1340
ovocné sady	17372	6,5	15,19	2639	34,94	6070	50,13	8709
TTP	761679	5,6	52,92	403081	39,69	302310	92,61	705391
zemědělská půda	3486062	6,1	29,98	1045121	43,03	1500052	73,01	2545174

V tabulce 8 je vidět, že nejkyselejší druhem zemědělské půdy jsou opět trvalé travní porosty, u nichž podíl silně kyselých půd činí 50,32% a celkový objem kyselých půd 92,11%. Nejlépe vycházejí také opět vinice. Oproti tabulce 7 vidíme, že se výměra zemědělské půdy zvýšila o 111 354ha a výměra kyselých půd o 108 297ha.

Třetí celek měření 2005-2010 a jednotlivé stupně kyselosti na jednotlivých typech zemědělské půdy ukazuje tabulka 9.

Tabulka 9: Zastoupení kyselých druhů půd v % a ha u jednotlivých druhů zemědělské půdy v letech 2005-2010.

rok 2005-2010			půdy silně kyselé a kyselé		půdy slabě kyselé		kyselé půdy celkem	
	Typ zemědělské půdy	výměra v ha	prům. pH	pH <5,5 (%)	pH<5,5 (ha)	pH 5,5-6,5 (%)	pH 5,5-6,5 (ha)	pH <6,5 (%)
orná půda	2696398	6,2	24,24	653607	43,99	1186145	68,23	1839752
chmelnice	5210	6,5	12,11	631	34,4	1792	46,51	2423
vinice	10487	7,3	2,02	212	11,83	1241	13,85	1452
ovocné sady	17146	6,5	15,92	2730	35,82	6142	51,74	8871
TTP	789440	5,6	54,52	430403	38,55	304329	93,07	734732
zemědělská půda	3518839	6	30,9	1087321	42,62	1499729	73,52	2587050

I v tabulce 9 jsou nejkyselejší půdy pod TTP. Nejlépe vycházejí také opět vinice. Oproti tabulce 8 se výměra zemědělské půdy zvýšila o 32 777ha a výměra kyselých půd o 41 876ha.

Předposlední celek měření 2006-2011 a jednotlivé stupně kyselosti na jednotlivých typech zemědělské půdy ukazuje tabulka 10.

Tabulka 10: Zastoupení kyselých druhů půd v % a ha u jednotlivých druhů zemědělské půdy v letech 2006-2011.

rok 2006-2011		půdy silně kyselé a kyselé			půdy slabě kyselé		kyselé půdy celkem	
Typ zemědělské půdy	výměra v ha	prům. pH	pH <5,5 (%)	pH<5,5 (ha)	pH 5,5-6,5 (%)	pH 5,5-6,5 (ha)	pH <6,5 (%)	pH <6,5 (ha)
orná půda	2720162	6,2	25,21	685753	43,85	1192791	69,06	1878544
chmelnice	4942	6,5	12,96	640	34,26	1693	47,22	2334
vinice	9773	7,3	1,93	189	11,25	1099	13,18	1288
ovocné sady	18113	6,4	16,96	3072	37,3	6756	54,26	9828
TTP	822860	5,5	57,05	469442	36,58	301002	93,63	770444
zemědělská půda	3575850	6	32,41	1158933	42,04	1503287	74,45	2662220

I v tabulce 10 vidíme pokračování trendu snižování pH u všech typů půd a vrůstání jejich procentuálního zastoupení i výměry. Nejkyselejším typem zemědělské půdy jsou s velkým náskokem pořád TTP.

Poslední celek měření 2007-2012 a jednotlivé stupně kyselosti na jednotlivých typech zemědělské půdy ukazuje tabulka 11.

Tabulka 11: Zastoupení kyselých druhů půd v % a ha u jednotlivých druhů zemědělské půdy v letech 2007-2012.

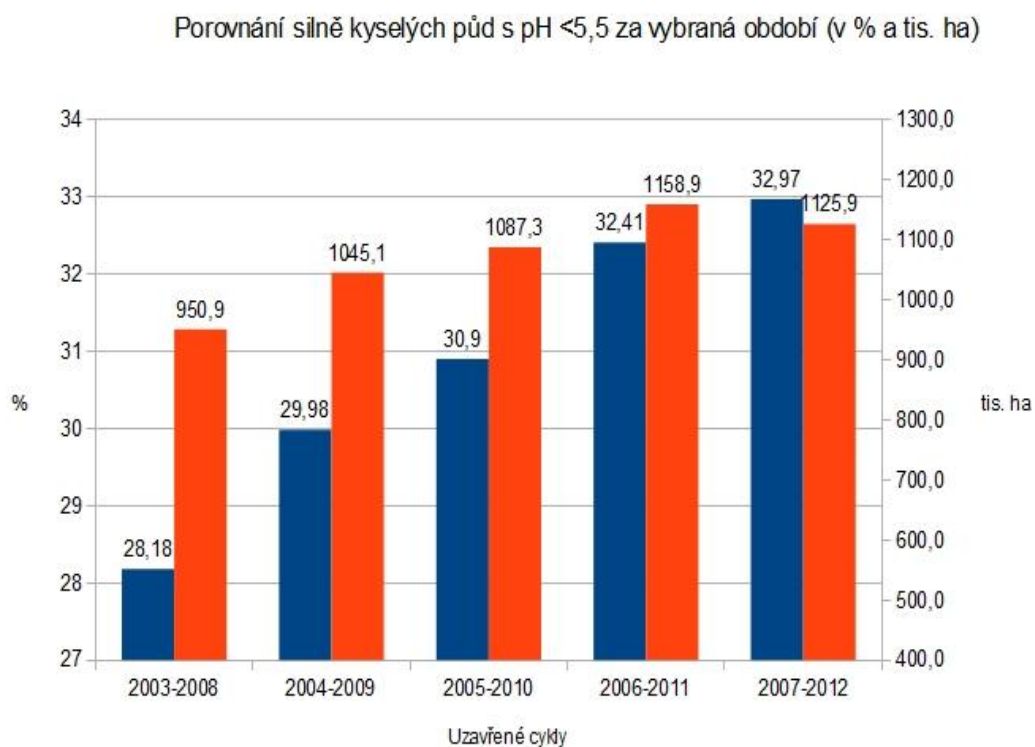
rok 2007-2012		půdy silně kyselé a kyselé			půdy slabě kyselé		kyselé půdy celkem	
Typ zemědělské půdy	výměra v ha	prům. pH	pH <5,5 (%)	pH<5,5 (ha)	pH 5,5-6,5 (%)	pH 5,5-6,5 (ha)	pH <6,5 (%)	pH <6,5 (ha)
orná půda	2622950	6,2	25,66	673049	43,21	1133377	68,87	1806426
chmelnice	4733	6,4	14,69	695	35,03	1658	49,72	2353
vinice	9000	7,3	1,75	158	11,08	997	12,83	1155
ovocné sady	16762	6,4	18,38	3081	38,03	6375	56,41	9455
TTP	761515	5,5	59,02	449446	34,78	264855	93,8	714301
zemědělská půda	3414961	6	32,97	1125913	41,21	1407305	74,18	2533218

V cyklu 2007-2012, který ukazuje tabulka 7 došlo k náhlé změně. Došlo ke snížení celkové výměry zemědělské půdy, ale i ke snížení procentuálního zastoupení všech typů kyselých půd a jejich výměry.

Z předchozích pěti tabulek (tabulka 7-11), které ukazují vývoj průměrného pH a procentuální zastoupení kyselých půd v pěti po sobě jdoucích, lze vyčíst několik informací. Nejkyselejším druhem zemědělské půdy jsou trvalé travní porosty, které se nacházejí ve vyšších polohách. Naopak vinice, nacházející se v teplých nížinách mají s acidifikací malé problémy.

Z těchto pěti tabulek (tabulka 7-11) vyháží následující grafy. V jednotlivých grafech je porovnán vývoj procentuálního zastoupení kyselých půd a jejich výměry.

Vývoj extrémně kyselých, silně kyselých a kyselých (pH pod 5,5) půd je zobrazen na obrázku 5.

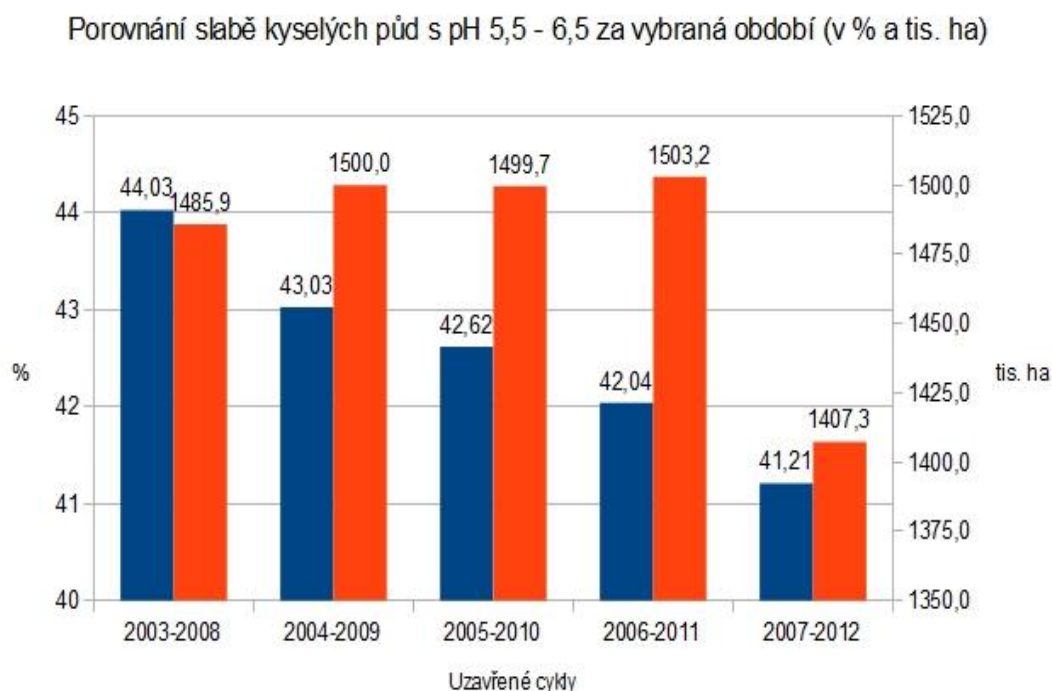


Obr.5: Porovnání procentuálního zastoupení a výměry silně kyselých půd s pH <5,5 za uzavřené cykly.

Na obrázku 5 je patrné neustále se zvyšující procentuální zastoupení silně kyselých půd v České republice od cyklu 2003-2008 do 2007-2012. Rozdíl v procentuálním zastoupení mezi těmito obdobími činí 4,79%. Zastoupení silně kyselých půd ve výměře zemědělské půdy má mezi těmito obdobími také narůstající

tendenci, vyjma posledního cyklu 2007-2012, kdy došlo k lehkému poklesu. Rozdíl mezi cykly 2003-2008 a 2007-2012 činí 175 tis. ha.

Vývoj slabě kyselých (pH 5,5-6,5) půd je zobrazen na obrázku 6.

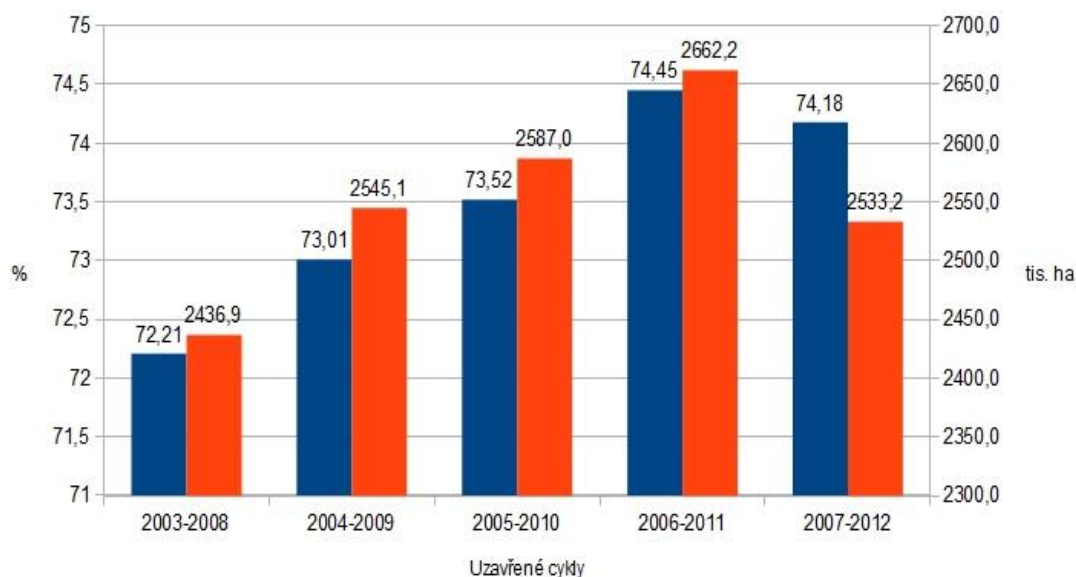


Obr.6: Porovnání procentuálního zastoupení a výměry slabě kyselých půd s pH 5,5-6,5 za uzavřené cykly.

Z obrázku 6 vyplývá, že procentuální zastoupení slabě kyselých půd s pH od 5,5 do 6,5 se neustále snižuje. Tento pokles mezi obdobími 2003-2008 a 2007-2012 činí 2,82%. Tento pokles může být zapříčiněn dalším snížením půd a tudíž jejich překlasifikování na půdy silně kyselé - o tom vypovídá i zvyšující se podíl silně kyselých půd v téže cyklech. Výměra slabě kyselých půd v České republice je v jednotlivých obdobích přibližně stejná. Výjimku tvoří pouze poslední cyklus, kdy došlo k markantnímu snížení výměry slabě kyselých půd a to o téměř 96 tis. ha.

Vývojové trendy v procentuálním zastoupení a ve výměře všech kyselých půd (pH pod 6,5) jsou vyobrazeny na obrázku 7.

Celkové porovnání kyselých půd s pH <6,5 za vybraná období (v % a tis. ha)



Obr.7: Porovnání procentuálního zastoupení a výměry celkově kyselých půd s pH <6,5 za uzavřené cykly.

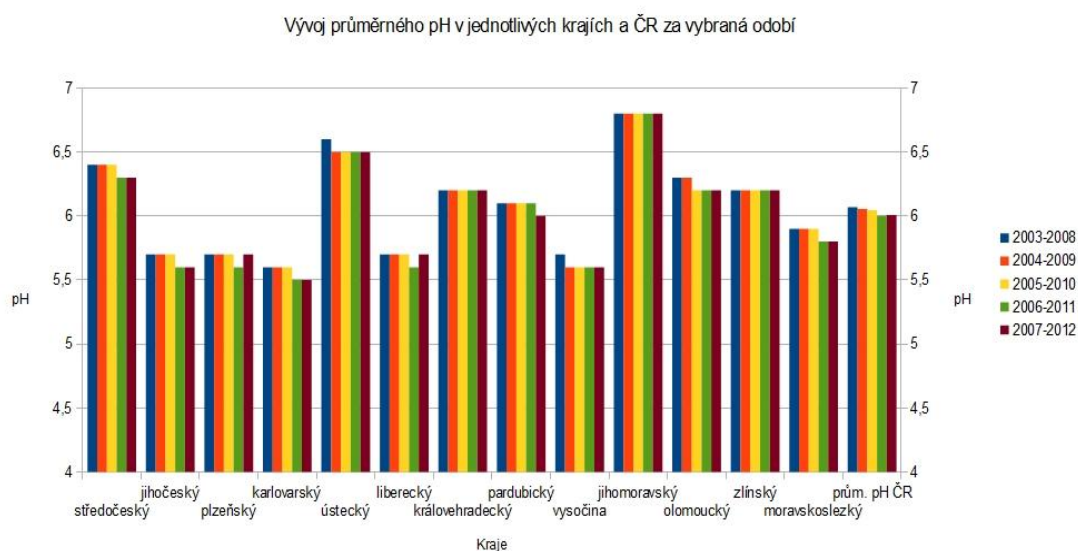
Obrázek 7 znázorňuje výměru a procentuální zastoupení všech půd klasifikovaných jako kyselé - pH <6,5. Z obrázku je patrné neustále se zvyšující zastoupení kyselých půd od cyklu 2003-2008 až do cyklu 2006-2011. Tento nárůst činí 2,24%. Stejně je tomu i u výměry, kdy nárůst za toto období činí 225,3 tis. ha zemědělské půdy. Období 2007-2012 do tohoto trendu nezapadá. V tomto cyklu je patrný pokles procentuálního zastoupení kyselých půd o 0,27. Pokles ve výměře těchto půd je ovšem mnohem větší, činí 129 tis. ha.

Již z tabulek 7 až 11 je patrné, že průměrné pH zemědělských půd v České republice neustále klesá. Jak je tomu v jednotlivých krajích ukazuje tabulka 12.

Tabulka 12: Průměrné hodnoty pH v jednotlivých krajích a ČR za vybraná období.

Kraj	Průměrné pH				
	2003-2008	2004-2009	2005-2010	2006-2011	2007-2012
středočeský	6,4	6,4	6,4	6,3	6,3
jihocheský	5,7	5,7	5,7	5,6	5,6
plzeňský	5,7	5,7	5,7	5,6	5,7
karlovarský	5,6	5,6	5,6	5,5	5,5
ústecký	6,6	6,5	6,5	6,5	6,5
liberecký	5,7	5,7	5,7	5,6	5,7
královehradecký	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
pardubický	6,1	6,1	6,1	6,1	6
vysočina	5,7	5,6	5,6	5,6	5,6
jihomoravský	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8
olomoucký	6,3	6,3	6,2	6,2	6,2
zlínský	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2
moravskoslezský	5,9	5,9	5,9	5,8	5,8
prům. pH ČR	6,1	6,1	6,0	6,0	6,0

V tabulce 12 jsou napsána měření průměrného pH v jednotlivých krajích a celkové průměrné pH České republiky. Toto pH se počítá váženým průměrem - vztaženo na plochu. Data jsou vyobrazena na obrázku 8.



Obr.8: Vývoj průměrného pH ve vybraných obdobích v jednotlivých krajích a vývoj průměrného pH v ČR.

Na obrázku 8 jsou znázorněna data z tabulky 6. Jedná se o vývoj průměrného pH v jednotlivých krajích za vybraná období. Poslední skupina sloupců také ukazuje vývoj váženého průměru pH v České republice. Jak je z obrázku patrné největší změna hodnoty pH je 0,1 - např. středočeský, karlovarský či moravskoslezský kraj. V některých krajích ovšem k poklesu mezi jednotlivými obdobími nedošlo, např. královehradecký nebo zlínský.

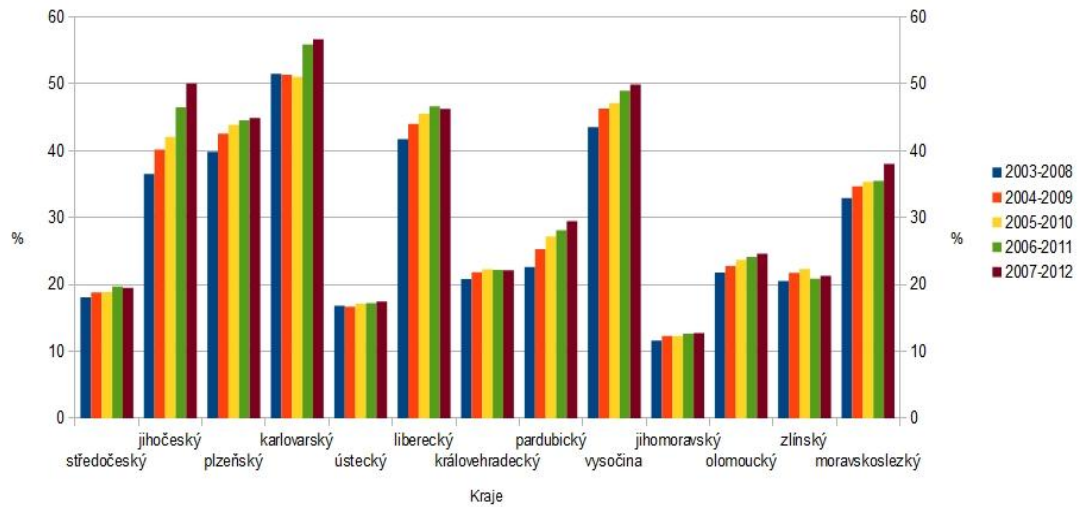
Jaké jsou trendy v procentuálním zastoupení extrémně kyselých, silně kyselých a kyselých půd s pH <5,5 v jednotlivých krajích ukazuje tabulka 13.

Tabulka 13: Procentuální zastoupení kyselých půd s pH <5,5 v jednotlivých krajích za vybraná období.

Kraj	pH <5,5 (%)				
	2003-2008	2004-2009	2005-2010	2006-2011	2007-2012
středočeský	18,1	18,8	18,87	19,7	19,48
jihočeský	36,5	40,16	42,05	46,46	50,03
plzeňský	39,8	42,56	43,86	44,53	44,89
karlovarský	51,5	51,34	51,04	55,86	56,61
ústecký	16,8	16,66	17,13	17,2	17,46
liberecký	41,7	43,98	45,5	46,63	46,25
královehradecký	20,8	21,85	22,28	22,16	22,11
pardubický	22,6	25,27	27,16	28,09	29,45
vysočina	43,5	46,3	47,08	48,94	49,85
jihomoravský	11,6	12,29	12,28	12,64	12,74
olomoucký	21,8	22,74	23,66	24,11	24,59
zlínský	20,5	21,75	22,33	20,84	21,3
moravskoslezský	32,9	34,66	35,34	35,51	38

Tabulka 13 ukazuje výměru silně kyselých půd s pH <5,5 v jednotlivých krajích za dané cykly. Z uvedených hodnot vidíme, že některé kraje mají relativně nízké zastoupení silně kyselých půd, např. jihomoravský - 12,74%, ústecký - 17,46%. Naopak jiné kraje mají zastoupení těchto půd velmi vysoké, např. karlovarský - 56,61%, jihočeský 50,03%. Hodnoty jsou zpracovány do obrázku 9.

Zastoupení silně kyselých půd s pH <5,5 v jednotlivých krajích za vybraná období



Obr.9: Vývoj procentuálního zastoupení půd s pH <5,5 ve vybraných obdobích.

Z obrázku 9 je patrné, že proces okyselování půd není vždy podobný. Podíváme-li se na ústecký nebo jihomoravský kraj, vidíme mezi cykly pouze malou změnu v procentuálním zastoupení silně kyselých půd. Naproti tomu jihočeský kraj, který má zhruba dvojnásobné zastoupení silně kyselých půd ve výměře se okyseluje velmi rychle, stejně tak kraj vysočina.

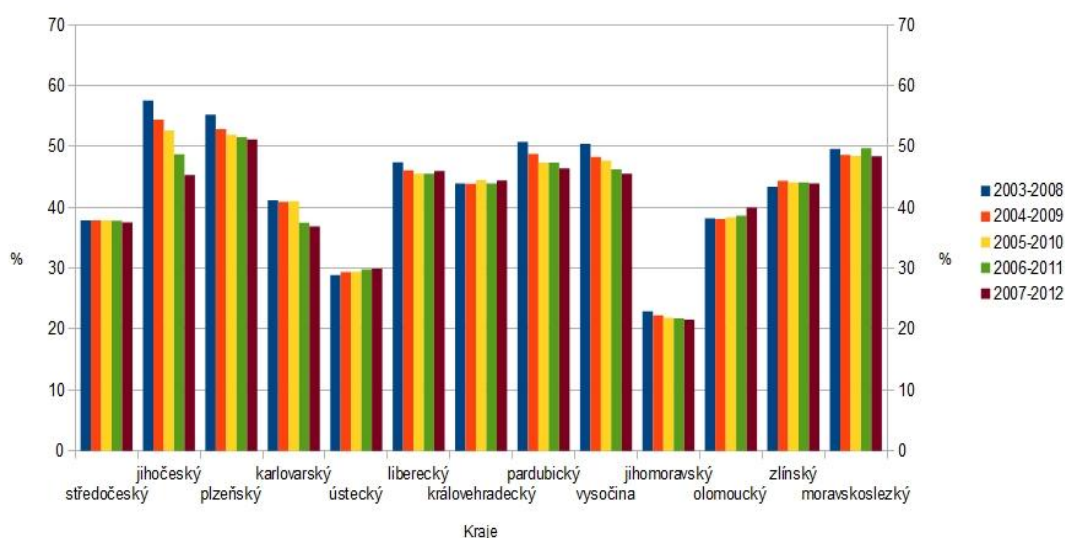
Jaké je to s vývojem procentuálního zastoupení slabě kyselých půd s pH 5,5-6,5 v jednotlivých krajích ukazuje tabulka 14.

Tabulka 14: Procentuální zastoupení slabě kyselých půd s pH 5,5-6,5 v jednotlivých krajích za vybraná období.

Kraj	pH 5,5-6,5 (%)				
	2003-2008	2004-2009	2005-2010	2006-2011	2007-2012
středočeský	37,85	37,86	37,84	37,8	37,52
jihocheský	57,53	54,41	52,65	48,71	45,3
plzeňský	55,23	52,85	51,94	51,54	51,17
karlovarský	41,18	40,88	41,03	37,45	36,86
ústecký	28,89	29,35	29,42	29,84	29,9
liberecký	47,43	46,07	45,55	45,53	45,98
královehradecký	43,94	43,85	44,48	43,94	44,45
pardubický	50,79	48,81	47,36	47,33	46,39
vysočina	50,44	48,27	47,7	46,24	45,56
jihomoravský	22,94	22,23	21,86	21,76	21,53
olomoucký	38,22	38,06	38,34	38,64	39,97
zlínský	43,4	44,4	44,08	44,09	43,94
moravskoslezský	49,60	48,64	48,48	49,72	48,42

Tabulka 14 ukazuje výměru slabě kyselých půd s pH 5,5-6,5 v jednotlivých krajích za daná období. Z uvedených hodnot opět vidíme, že některé kraje mají relativně nízké zastoupení slabě kyselých půd, jedná se opět o kraje jihomoravský - 21,53% a ústecký - 29,9%. Naopak jiné kraje mají zastoupení těchto půd velmi vysoké, např. plzeňský - 51,17% a moravskoslezský 48,42%. Hodnoty jsou přehledně zpracovány do obrázku 10.

Zastoupení slabě kyselých půd s pH 5,5 - 6,5 v jednotlivých krajích za vybraná období



Obr.10: Vývoj procentuálního zastoupení půd s pH 5,5-6,5 ve vybraných obdobích.

Z obrázku 10 je patrná klesající tendence ve výměře slabě kyselých půd. Tato klesající tendence není opět u všech krajů stejná, některé kraje, např. středočeský, mají tento úbytek slabě kyselých půd malý, naopak jiné kraje mají toto klesání velmi strmé - jihočeský. Výrazně nejmenší zastoupení slabě kyselých půd má jihomoravský kraj. Nejvyšší zastoupení má v prvním cyklu jihočeský kraj, který ovšem je v předposledním cyklu překonán plzeňským krajem.

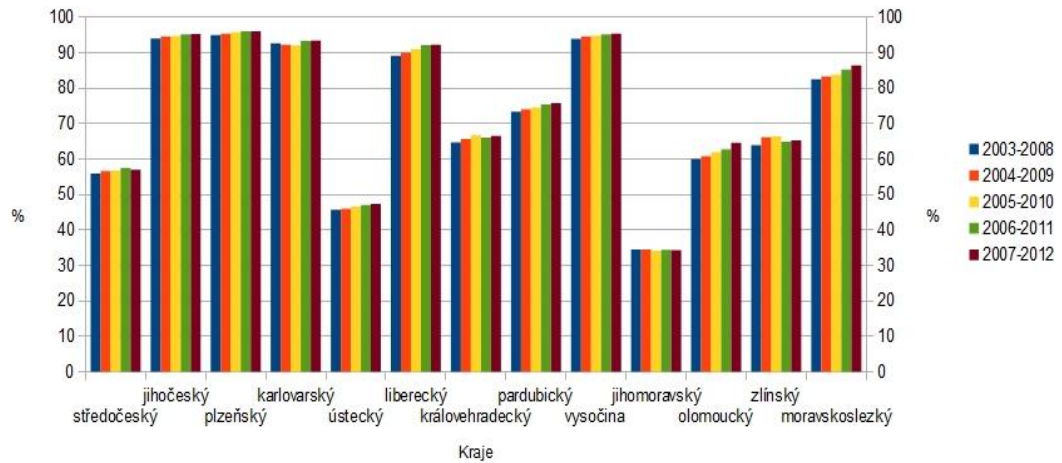
Jaké je to s vývojem procentuálního zastoupení všech kyselých půd s pH pod 6,5 v jednotlivých krajích ukazuje tabulka 15.

Tabulka 15: Procentuální zastoupení celkově kyselých půd s pH <6,5 v jednotlivých krajích za vybraná období.

Kraj	pH <6,5 (%)				
	2003-2008	2004-2009	2005-2010	2006-2011	2007-2012
středočeský	55,95	56,66	56,71	57,5	57
jihočeský	94,03	94,57	94,7	95,17	95,33
plzeňský	95,03	95,41	95,8	96,07	96,06
karlovarský	92,68	92,22	92,07	93,31	93,47
ústecký	45,69	46,01	46,55	47,04	47,36
liberecký	89,13	90,05	91,05	92,16	92,23
královehradecký	64,74	65,7	66,76	66,1	66,56
pardubický	73,39	74,08	74,52	75,42	75,84
vysočina	93,94	94,57	94,78	95,18	95,41
jihomoravský	34,54	34,52	34,14	34,4	34,27
olomoucký	60,02	60,8	62	62,75	64,56
zlínský	63,9	66,15	66,41	64,93	65,24
moravskoslezský	82,5	83,3	83,82	85,23	86,42

V tabulce 15 je znázorněno procentuální zastoupení všech kyselých půd. Vidíme zde, že několik krajů v České republice má zastoupení kyselých půd nad 95%, konkrétně se jedná o kraje jihočeský, vysočina a plzeňský, který absolutně nejvyšší zastoupení těchto půd - 96,06%. Je zde také vidět, že téměř všechny kraje mají procentuální zastoupení kyselých půd nad 50%. Výjimkou jsou pouze kraje ústecký, který se 47,36% se této hranici blíží a kraj jihomoravský, který se svými 34,27% má absolutně nejnižší zastoupení kyselých půd. Data jsou vynesena na obrázku 11.

Celkové zastoupení kyselých půd s pH <6,5 v jednotlivých krajích za vybraná období



Obr.11: Vývoj procentuálního zastoupení půd s pH <6,5 ve vybraných obdobích.

Na obrázku 11 vidíme zastoupení kyselých půd za vybraná období podle krajů. Z vyobrazených dat je patrná neustálá tendence zvyšujícího se podílu kyselých půd. Výjimku tvoří pouze kraj zlínský a královehradecký, u nichž došlo v posledních dvou cyklech k poklesu kyselých půd. Za zmínku stojí také kraj jihomoravský, který má ve všech obdobích zhruba stejné zastoupení.

10. Závěr

Půdy v České republice jsou acidifikací ohroženy hned z několika důvodů. Prvním je, že značná část půd nacházejících se na území České republiky většinou na kyselých matečných horninách a půdotvorných substrátech. Tyto půdy jsou charakterizovány nízkým obsahem bazických iontů, které by dostatečně neutralizovali kyselé vstupy. Druhým důvodem značné acidifikace půd v České republice je reliéf krajiny. Z horských a podhorských půd s malou mocností půdního jsou vyplavovány bazické ionty a jsou tedy nejvíce ohroženy.

Půdy ve vyšších polohách jsou většinou zalesněny, zemědělská půda v podhůří je využita k trvale travním porostům. Jak je z měření patrné půdy pod trvale travními porosty jsou značně kyselé. Tyto půdy by se měly začít dostatečně vápnit, aby nedocházelo k poškozování a postupující degradaci těchto půd. Naproti tomu vinice, které se ve většině případů nacházejí v nížinách, mají velmi malé zastoupení kyselých půd ve své výměře a jedná se tedy spíše o malé lokální problémy bez většího významu. Tyto malé výměry by se měly dovápnit do standardů vinic. Chmelnice a jen o málo více kyselé ovocné sady mají s acidifikací již o poznání větší problémy. Zde se již nejedná o malé lokální okyselení. Tyto větší lokality ji mohou pociťovat problémy spojené s kyselou půdou. Tyto lokality se sníženým pH je nutno ozdravně dovápnit a zvýšit tak jejich pH, aby nedocházelo k jejich postupné degradaci a snižování úrodnosti. Nejdůležitějším typem zemědělské půdy je ovšem orná půda. Jak vyplývá z výsledků, acidifikace orné půdy v České republice je velká. Tato značná kyselost negativně ovlivňuje úrodnost půdy a příjem živin rostlinami. Aby se zabránilo neustálému snižování pH musí se zvýšit roční dávky vápnění a to především ve výše položených polohách.

Průměrné pH zemědělské půdy v České republice neustále klesá, stejně jako se zvyšuje výměra kyselých půd. Z výsledků je vidět, že výměra slabě kyselých půd s pH 5,5-6,5 klesá, ale to jen díky tomu, že tyto půdy jsou přeřazovány do kategorie silně kyselých. Nejmenší problémy s acidifikací mají kraje, jejichž území leží převážně v nížinách. Jedná se především o 3 kraje - střeodočeský, ústecký a jihomoravský. Tyto kraje mají nejmenší zastoupení kyselých půd jak v procentech tak ve výměře a zvyšování podílu se téměř neprojevuje. V těchto krajích je tedy vápnění zemědělské půdy dostatečné a není potřeba ho měnit. V ostatních krajích jsou již problémy s acidifikací větší a to hlavně v krajích jihočeský, karlovarský a vysočina. Zde je zastoupení kyselých půd značné a každým se zvyšuje. V těchto a ostatních krajích by se mělo zahájit masivní nápravné vápnění, aby se zastavila postupující acidifikace a aby se pH zvýšilo do přijatelných hodnot.

Závěrem lze říci, že téměř všechna zemědělská půda v České republice má problém s nadměrnou kyselostí a tedy s nedostatečným vápněním. Pokud se tento problém nezačne více řešit bude půda neustále degradovat a budou se zhoršovat podmínky pro pěstování kulturních plodin

11. Zdroje

Hlušek J. (2004): Multimediální texty z výživy rostlin, ústav agrochemie a výživy rostlin, MZLU v Brně.

Dostupné na: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/hnojiva/mineralni/cazasady.htm

Hruška J., Cienciala E., Navrátil T., Hofmeister J. (2006): Dlouhodobá acidifikace a nutriční degradace lesních půd, Lesnická práce - časopis pro lesnickou vědu a praxi.

Dostupné na: <http://www.silvarium.cz/lesnicka-prace-c-12-01/dlouhodobaa-acidifikace-a-nutricni-degradace-lesnich-pud>

Hruška J., Oulehle F., Krám P., Skořepová I. (2009): Účinky kyselého deště na lesní a vodní ekosystémy a vliv depozic síry a dusíku na půdy a lesy, časopis živa č. 3/2009.

Dostupné na: <http://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/ucinky-kyseleho-deste-na-lesni-a-vodni-ekosystemy.pdf>

Johnson G. V. (2002): Causes and Effects of Soil Acidity, Division of Agricultural Sciences and Natural Resources.

Dostupné na: http://www.plantstress.com/articles/toxicity_i/cause-effect%20acidity.pdf

Lockwood P.V., Wilson B.R, Daniel H., Jones M.J. (2003): Soil acidification and natural resource management, University of New England Printery.

Matula J. (2007): Půdní kyselost a potřeba vápnění - optimalizace výživného stavu půd pomocí diagnostiky KVK-UF, Výzkumný ústav rostlinné výroby.

Dostupné na: <http://www.vurv.cz/sites/File/Publications/ISBN978-80-87011-16-4.pdf>. Strana 15-20.

Ministerstvo životního prostředí ČR:

Definice půdy - dostupné na: http://www.mzp.cz/cz/definice_pudy

Půda - dostupné na: <http://www.mzp.cz/cz/puda>

Petránek J., Synek J. (2007): Geologická encyklopedie, Česká geologická služba.

Dostupné na: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl>

Poláková Š., Kubík L., Malý S. (2011): Monitoring zemědělských půd v České republice, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno 2011

Porter W.M. (1981): Soil Acidification - the Cause, Department of Ariculture, Western Australia

Dostupné na: <http://www.regional.org.au/au/roc/1981/roc198131.htm>.

Richter R., DrSc.(2004): Multimediální texty z výživy rostlin, ústav agrochemie a výživy rostlin, MZLU v Brně.

Dostupné na: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/a_index_agrochem.htm.

Sáňka M., Materna J. (2004): Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR, Planeta č. 11/2004, MŽP.

Dostupné na: [http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/CEFFC9BDDD360E2EC1256FAF0040EEF6/\\$file/indikatory_el.pdf](http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/CEFFC9BDDD360E2EC1256FAF0040EEF6/$file/indikatory_el.pdf)

Výroční zprávy ÚKZUZ, ze kterých byla získávána data

Klement V., Sušil A. (2009): Výsledky agrochemického zkoušení půd za období 2003-2008. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno

Klement V., Sušil A. (2010): Výsledky agrochemického zkoušení půd za období 2004-2009. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno

Klement V., Sušil A. (2011): Výsledky agrochemického zkoušení půd za období 2005-2010. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno

Klement V., Sušil A. (2012): Výsledky agrochemického zkoušení půd za období 2006-2011. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno

Klement V., Sušil A. (2013): Výsledky agrochemického zkoušení půd za období 2007-2012. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Brno

Seznam obrázků

Obr. 1.: Procentuální zastoupení jednotlivých složek půdy. Autor E.Vrtišková, Prezentace vnější geologické děje. str.11

Obr.2: Schéma koloidní micely. Autor R.Richter

Dostupné na: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/agrochemie_pudy/sorpce_vymenna.htm. str.18

Obr.3: Lesy poškozené kyselým deštěm v jizerských horách. Autor P.Hendl
Dostupné na: <http://www.woodcraft.cz/index.php?right=mainpage&right2=zpravy&iid=741>. str.23

Obr.4: Poškození chlorofylu spadem koncentrované kyseliny. Autor R.Remeš
Dostupné na: <http://www.orlickehory.net/aktuality/usychani.htm>. str.26

Obr.5: Porovnání procentuálního zastoupení a výměry silně kyselých půd s pH <5,5 za uzavřené cykly. str.38

Obr.6: Porovnání procentuálního zastoupení a výměry slabě kyselých půd s pH 5,5-6,5 za uzavřené cykly. str.38

Obr.7: Porovnání procentuálního zastoupení a výměry celkově kyselých půd s pH <6,5 za uzavřené cykly. str.39

Obr.8: Vývoj průměrného pH ve vybraných obdobích v jednotlivých krajích a vývoj průměrného pH v ČR. str.40

Obr.9: Vývoj procentuálního zastoupení půd s pH <5,5 ve vybraných obdobích. str.42

Obr.10: Vývoj procentuálního zastoupení půd s pH 5,5-6,5 ve vybraných obdobích. str.43

Obr.11: Vývoj procentuálního zastoupení půd s pH <6,5 ve vybraných obdobích. str.45

Seznam tabulek

Tabulka 1. Rozdělení půd na základě pH.

Tabulka 2: Množství potřebných prvků na 1t zrna u vybraných plodin.

Tabulka 3. Množství CaO potřebné k neutralizaci na orné půdě a v ovocných sadech.

Tabulka 4. Množství CaO potřebné k neutralizaci na chmelnicích.

Tabulka 5. Množství CaO potřebné k neutralizaci na vinicích.

Tabulka 6. Množství CaO potřebné k neutralizaci trvale travní porostů.

Tabulka 7: Zastoupení kyselých druhů půd v % a ha u jednotlivých druhů zemědělské půdy v letech 2003-2008.

Tabulka 8: Zastoupení kyselých druhů půd v % a ha u jednotlivých druhů zemědělské půdy v letech 2004-2009.

Tabulka 9: Zastoupení kyselých druhů půd v % a ha u jednotlivých druhů zemědělské půdy v letech 2005-2010.

Tabulka 10: Zastoupení kyselých druhů půd v % a ha u jednotlivých druhů zemědělské půdy v letech 2006-2011.

Tabulka 11: Zastoupení kyselých druhů půd v % a ha u jednotlivých druhů zemědělské půdy v letech 2007-2012.

Tabulka 12: Průměrné hodnoty pH v jednotlivých krajích a ČR za vybraná období.

Tabulka 13: Procentuální zastoupení kyselých půd s pH <5,5 v jednotlivých krajích za vybraná období.

Tabulka 14: Procentuální zastoupení slabě kyselých půd s pH 5,5-6,5 v jednotlivých krajích za vybraná období.

Tabulka 15: Procentuální zastoupení celkově kyselých půd s pH <6,5 v jednotlivých krajích za vybraná období.