

Prof. Ing. Jozef Ivanič, CSc.
Doc. Ing. Bohumil Havelka, CSc.
Doc. Ing. Karel Knop, DrSc.

Výživa a hnojenie rastlín

Druhé prepracované a doplnené vydanie

1984

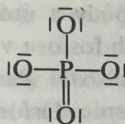
Príroda Bratislava — SZN Praha

a čepelí listů. Je to způsobeno nadměrnou tvorbou antokyanu, který se tvoří následkem poruch glycidového metabolismu. WALLACE (1961) však upozorňuje, že ačkoliv fialový odstín listů a stonků je v podmínkách deficiencie P velmi častý, musí být při provádění diagnózy tento charakteristický symptom používán velmi obezřetně s ohledem na skutečnost, že může vzniknout také z mnoha jiných příčin.

U bobovitých rostlin je redukována asimilace vzdušného dusíku, poněvadž tvorba hlízkových bakterií je při nedostatku fosforu omezena. Proto leguminózy mohou být v důsledku chybějících hlízkových bakterií a s tím spojeným nedostatkem N světle zbarveny.

Fosfor v půdě

Celkové množství fosforu na Zemi je odhadováno řádově na 10^{19} tun, z nichž 10^{15} tun je v kůře zemské, která v průměru obsahuje 0,12 % P (Van WAZER, 1958). Fosfor v přírodě se vyskytuje vždy ve svém nejvyšším oxidačním stupni, tj. pětimocný, je zpravidla jako aniont kyseliny ortofosforečné PO_4^{3-} , který lze strukturně znázornit



Redukce a oxidace fosforu, tak jak jsou známy u dusíku a síry, v půdě a v rostlinném metabolismu neprobíhají.

Obsah veškerého fosforu v půdách kolísá mezi 0,0 až 0,15 %. Rozmístění veškerého fosforu v půdním profilu je ovlivňováno genezí půdy. V půdách černozemního typu je vertikální rozložení P téměř vyrovnané. Ve vyluhovaných půdách je nejvíce fosforu v iluviálním horizontu a v ornici. S přibývajícím organickou substancí v půdě obecně přibývá i obsah organofosfátů. Z toho důvodu povrchové vrstvy půd (humózní horizonty) obsahují zpravidla více fosforu než vrstvy spodní a půdotvorný substrát.

Molekulární sloučeniny půdního fosforu, mající význam jako zdroje užitečného fosforu pro rostliny a půdní mikroorganismy, jsou představovány: 1. primárními fosforečnými minerály (především apatity), 2. sekundárními vysráženými a adsorbovanými fosfáty, 3. organickými sloučeninami fosforu, 4. fosforečnými hnojivy (dosud nezreagovanými).

Agronomicky nejvýznamnějším přirozeným zdrojem fosforu v půdě je primární minerál **apatit**, který se ve všech magmatických horninách vyskytuje rozptýlený v různých formách, tj. jako fluor-, chlor- a hydroxylapatit

— $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3 \cdot \text{F}(\text{Cl}, \text{OH})$, přičemž jeho podíl v bazických horninách je vyšší než v kyselých. V menší míře se nacházejí v půdách jako primární minerály fosforečnanů železa s příměsí Mn — **tripity** nebo vodnaté fosforečnany hliníku — **wawelity**. V málo provzdušených, zamokřených půdách může se také vyskytovat fosforečnan železnatý — **vivianit** $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$.

Zvětráváním primárních fosfátových minerálů se uvolňují anionty kyseliny ortofosforečné, které v důsledku sorpční schopnosti půdy přecházejí do jiných, tzv. sekundárních, velmi rozmanitých forem minerální nebo organické povahy. Přeměny fosforu v půdě, ať už uvolněného zvětráváním, či dodaného v hnojivech, jsou podmíněny v podstatě třemi druhy sorpce:

1. **chemickou sorpcí** — srážení fosfátových iontů z půdního roztoku dvojmocnými a trojmocnými kationty za vzniku těžko rozpustných sekundárních anorganických fosfátů,

2. **fyzikálně chemickou** neboli **výměnnou adsorpcí** — poutání fosfátových iontů na povrchu jílových minerálů a jiných koloidů,

3. **biologickou sorpcí** — imobilizace fosforu životní činností mikroorganismů a rostlin.

Podíl **minerálních sloučenin** fosforu v půdě značně kolísá v závislosti na druhu a typu půdy, hloubce v profilu půdy a úrovni fosforečného hnojení. V našich podmínkách mírného pásma obsah fosforu v minerálních vazbách tvoří zpravidla více než polovinu veškerého množství P v zemědělsky využívaných půdách. Převážná část minerálních sloučenin fosforu v půdě je ve formách ve vodě nerozpustných, a proto fosfor z nich je pro rostliny málo přístupný. Obsah vodorozpustných sloučenin je velmi malý a činí jen asi 0,8 až 8 mg P na 1 kg na vzduchu vyschlé půdy. Podíl přijatelného fosforu pro rostliny tvoří jen asi 1—8 % z celkového obsahu fosforu v půdě.

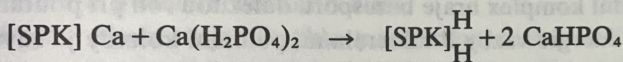
Tvorba sekundárních fosfátových minerálů je určována stupněm zvětralosti půdy, obsahem organické substance v půdě, jílových minerálů, CaCO_3 , výměnného vápníku a volných oxidů železa a hliníku. Děje se tak převážně chemickou sorpcí fosforu, tj. reakcí fosfátových iontů s minerálními sorbenty, především ionty a aktivními sloučeninami Ca, Al a Fe.

Vzájemný poměr a rovnovážný stav jednotlivých forem minerálních fosforečnanů závisí ve značné míře na půdní reakci — pH. Se stoupající hodnotou pH zvyšuje se množství Ca-fosfátů, přičemž, jak uvádějí SCHACHTSCHABEL a HEINEMANN (1964), děje se tak až do pH 6,8 pozvolna a nad tuto hranici pH skokem. Stejným způsobem pak ubývá fosforečnanů železa. Při silně kyselé reakci půdy vykazují fosforečnany železa a hliníku vysokou stabilitu a jsou jen nepatrně rozpustné. Fosforečnany hlinité se však mohou nacházet ve značných množstvích i v neutrálních až slabě alkalických půdách, protože se vytvářejí při poměrně širokém rozmezí pH. Jelikož se anorganické fosfáty v půdě přeměňují vždy od méně stabilních forem k nejstabilnějším, tj. těžko rozpustným minerálním sloučeninám, lze obecně

konstatovat, že v kyselých půdách jsou především fosforečnany železa a hliníku, v neutrálních a zásaditých půdách převládají fosforečnany vápenaté.

V **alkalických a neutrálních půdách** jsou v důsledku toho nejčastějšími formami anorganických fosforečnanů hydrogenfosforečnan vápenatý CaHPO_4 , tetrakalciumhydrogenfosfát $\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, hydroxylapatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3 \cdot \text{OH}$, fluorapatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3 \cdot \text{F}$, karbonátapatit $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6 \cdot \text{CO}_3$ a popřípadě i grandalit $\text{CaAl}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot (\text{OH})_5$, které jsou také většinou výslednými produkty přeměn fosforostliny je dán především produkty jejich rozpustnosti, podle nichž je možno sestavit následující řadu s klesající rozpustností: hydrogenfosforečnan vápenatý > oktokalciumfosfát > hydroxylapatit > fluorapatit > karbonátapatit.

V půdách s neutrální až alkalickou reakcí je tedy odpovědný za sorpci fosforu v minerálních vazbách především vápník. Ionty Ca^{2+} mohou být jednak rozpuštěné v půdním roztoku, jednak poutány jako výměnné kationty v půdním sorpčním komplexu [SPK]. Proto v těchto sorpčně nasycených půdách (černozemě, šedozezemě a některé hnědozemě) probíhá poutání dodaného vodorozpuštěného P podle následující reakce:



Vzniklý hydrogenfosforečnan vápenatý se v těchto půdách skutečně také přechodně nachází. Dále se pak tvoří celá série ve vodě nerozpustných fosforečnanů vápenatých, které byly uvedeny výše. COLE a kol. zjistili též možnost adsorpce iontů kyseliny fosforečné na povrchu jemných částic vápence ve formě monomolekulární vrstvy, aniž by vznikal fosforečnan vápenatý. Kromě toho se předpokládá vznik nerozpustných sraženin fosforečnanu vápenatého koagulací fosforečnanových iontů s vápníkem adsorbovaným na jílových minerálech. Většina autorů nevyklučuje v půdách s vyšším pH ani přítomnost menších množství fosforečnanů hliníku a železa.

V **kyselých půdách** je fosfor vázán hlavně ve formě dihydroxyl-dihydrogen fosforečnanů Al a Fe, což jsou stabilní krystalické minerály série: variscit $\text{Al}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{PO}_4$, strengit $\text{Fe}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{PO}_4$ a jejich izomorfní směs barrandit.

Složky kyselých půd, které hrají důležitou úlohu při vazbě fosforu, jsou: a) aktivní ionty Fe^{3+} a Al^{3+} , b) hydratované sloučeniny železa a hliníku (oxidy a hydroxidy), c) jílové minerály. První dvě skupiny těchto minerálních sorbentů působí při chemické sorpci, a to velmi rychle. Jílové minerály, tj. silikáty mající v krystalické mřížce vázaný Al, popřípadě Fe, vykazují zpravidla pozvolné působení při adsorpci fosforu.

V poslední době většina odborníků pokládá za nepravděpodobné, že by při poutání dodaného fosforu vznikaly v půdě jako sekundární minerální sloučeniny normální fosforečnany železa a hliníku (FePO_4 a AlPO_4). Chemická sorpce fosforu

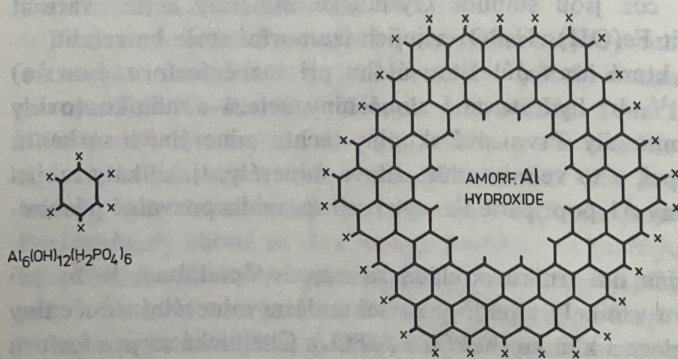
v kyselých půdách probíhá spíše jako srážení rozpuštěných fosfátových iontů ionty železa a hliníku a reakcí s jejich hydratovanými sloučeninami přes řadu metastabilních produktů typu oxi- a hydroxifosfátů Fe a Al. Mohou to být např. draselné amonné taranakyty obecného složení $(\text{NH}_4)_2$ nebo $\text{K}_2\text{O} \cdot 3 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5 \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 26 \text{H}_2\text{O}$ a amonné taranakyty obecného složení $(\text{NH}_4)_2$ nebo $\text{K}_2\text{O} \cdot 3 \text{Al}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot (\text{OH}, \text{F}) \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$, popř. železitý fosforečnan leukofosfit nebo minyulit $\text{KAl}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot (\text{OH}, \text{F}) \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$, popř. železitý fosforečnan leukofosfit nebo minyulit $\text{KAl}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot (\text{OH}, \text{F}) \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$. Dále se předpokládá vznik izomorfní řady minerálů $\text{K}_2\text{O} \cdot 2 \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$. Dále se předpokládá vznik izomorfní řady minerálů podobných palmeritu $(\text{K}, \text{NH}_4)_2\text{O} \cdot 2 (\text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$. Všechny tyto sekundárně vzniklé fosfátové minerály jsou v kyselých půdách nestabilní (zvláště při nedostatku K), a jak uvádí PAVEL (1959), mění se za ztráty vody krystalizací nebo hydrolyzují ve stabilní minerály izomorfní série variscit—barrandit—strengit.

Silně kyselé půdy poutají dvakrát až třikrát více fosforu než půdy neutrální nebo zásadité a také rychlost chemické sorpce je v nich podstatně vyšší. Z uvedeného proto jasně vyplývá, že poutání fosforu v půdách kyselých je ve srovnání s půdami neutrálními a zásaditými podstatně rozdílné.

Názory na poutání fosforu jílovými minerály se značně rozcházejí. Někteří autoři zastávají názor, že tento proces má výměnný charakter, jiní naopak dokazují, že mechanismus této vazby je v podstatě stejný jako při sorpci chemické.

Koloidní půdní komplex hraje bezesporu důležitou roli při poutání fosforu. Bylo prokázáno, že energie vazby P minerálními půdními koloidy je závislá na poměru $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$ v jílovém minerálu, přičemž se zvyšováním podílu sesquioxidů sorpce fosforu vzrůstá. Většina autorů se nyní shoduje v tom, že je to především hliník v jílu a zvláště Al lokalizovaný na povrchu částic, který má rozhodující roli při sorpci fosforu jílem. Podle Hsua (1965) je adsorpce fosfátu speciálním případem srážení, ve kterém hliník nebo Fe, popř. Ca, zůstávají jako složka půdní fáze, tj. půdního jílu a reagují s fosfátem za použití zbytkové síly na povrchu koloidních částic půdy.

Důležité však je, že takto povrchově vázané fosfátové ionty tvoří podstatnou část tzv. poolu labilního P, z něhož jsou doplňovány fosfátové ionty rozpuštěné v půdním roztoku, odkud rostliny v převážné míře čerpají fosfor svými kořeny.



38. Diagram ilustrující podobnost mezi procesy srážení a adsorpce podle Pa Ho Hsua (1955). (Vlevo: fosfát vysrážený; vpravo: fosfát adsorbovaný; x = fosfátový iont)

Orientační posouzení stavu a rozdělení anorganických fosfátů v půdě umožňují chemické metody frakcionace, které je dělí podle jejich rozpustnosti v různých činidlech do několika skupin: P — lehce rozpustný, P — vázaný na Al, P — vázaný na Fe, P — vázaný na Ca a další. I když je toto rozdělení pouze přibližné, přesto zavedení těchto metod do výzkumu znamenalo velký pokrok v poznání forem půdních fosfátů a přeměn fosforečných sloučenin dodávaných v hnojivech do půdy. Nejčastěji používané metody frakcionace minerálních půdních fosfátů jsou: metoda CHANGA a JACKSONA (1957), metoda GINZBURG-LEBEDÉVOVÉ (1961) a metoda podle KURMISE (1972).

Organicky vázaný fosfor v půdě tvoří integrální část půdní organické hmoty. Tato forma půdního P pochází z minerálního podílu fosforu, který byl do organických vazeb imobilizován biologickou sorpcí rostlinami a půdními mikroorganismy. Je to ta část celkového obsahu P v půdě, která je vázána jak v humifikované organické hmotě (humusu), tak i ve zbytcích rostlinných a živočišných organismů a půdních mikrobů. Proto se organicky vázaný fosfor hromadí převážně ve svrchním humusovém horizontu půdy a v půdním profilu je zastoupen v souladu s rozdělením organické hmoty. Jeho podíl tedy zpravidla s hloubkou směrem k půdnímu substrátu klesá.

Organický fosfor představuje obvykle podstatnou část z celkového obsahu P v půdě, i když v zastoupení jsou mezi půdami značné rozdíly (od 10 do 80 %). V našich půdách z různých stanovišť bylo zjištěno 11,5 až 55,0 % organicky vázaného fosforu z jeho celkové zásoby. POSPÍŠIL (1970) našel v ornici černozemí 30 až 50 %, u hnědozemí též 30 až 50 %, v illimerizovaných půdách 40 až 50 % a v ornici oglejených, hnědých a podzolovaných půd 40 až 55 % organického P. V půdách s travním porostem organicky vázaný fosfor převládá a dosahuje někdy až 80 % z veškeré zásoby P v půdě.

Z organických fosfátů, které byly v půdě identifikovány, nacházíme nejčastěji fytin (m-inositol-hexafosfát), dále fosfolipidy, nukleinové kyseliny a nukleoproteidy, fosforylované glycidy a fosforylované pyrimidinové sloučeniny. Největší část organicky vázaného P tvoří fytin a jeho soli fytáty, přičemž v kyselých půdách převládají fytáty železa a hliníku, v půdách zásaditých fytát vápníku. Fytin je chemicky velmi málo reaktivní a půdou téměř nemigruje. Je pokládán za potenciální zdroj využitelného P pro rostliny. Podle posledních poznatků obsah fytinu v intenzivně využívaných půdách stále narůstá. Tento nárůst je v pozitivní korelaci s dávkami používaných fosforečných hnojiv a je také podporován přívodem organických látek do půdy. K málo reaktivním organofosfátům patří i fosfolipidy, nukleotidy a nukleinové kyseliny, kterých je však v půdě mnohem menší množství než fytinu.

Biochemicky nejvýznamnější a nejreaktivnější organické sloučeniny P v půdě jsou fosforylované glycidy, zejména triózy a hexózy, a fosforylované pyrimidinové sloučeniny. Jsou nositeli velkých kvant biochemicky využitelné energie, která je

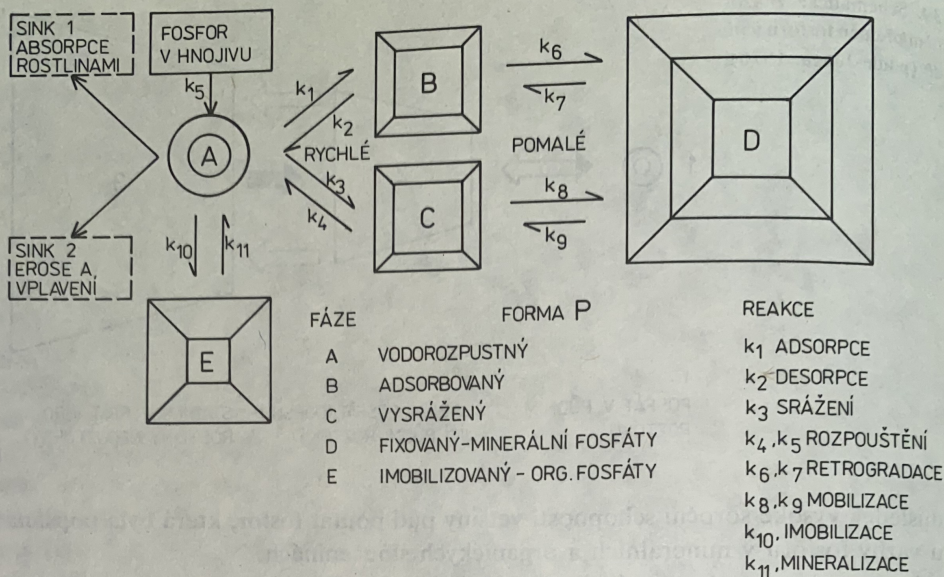
potřebná při mnoha reakcích v půdě. Protože vazba mezi fosfátem a organickou složkou je bohatá energií, je zároveň málo stabilní a fosfátový iont se z těchto látek snadno uvolňuje a stává se pohotový pro další přeměny nebo dobře využitelný pro rostliny. Důležitá je také ta skutečnost, že tyto organofosfáty migrují půdou několikrát rychleji než fosfáty minerální, a proto umožňují distribuci P v půdním profilu (NOVÁK, 1981).

Zvýšené množství fosforu v půdě snižuje energetické ztráty (ve formě tepla) a zlepšuje produktivitu všech endoergických pochodů, především humifikace. Tím tedy fosfor působí na zlepšení bilance půdní organické hmoty a naopak půdní humus zlepšuje fyziologickou využitelnost fosforu z půdy i hnojiv, zejména tím, že jej chrání před reakcemi s těžkými kovy. Mechanismus tohoto účinku se většinou vysvětluje tvorbou chelátových vazeb mezi složkami půdního humusu a minerálními sorbenty fosfátových iontů. Ochranný účinek humusu na fyziologickou funkci půdního fosforu je tedy nepřímý, ale velmi významný a je podstatou tzv. humusového efektu, který se projevuje tím, že přijatelnost P rostlinami za přítomnosti humusových látek v půdním prostředí vzrůstá. Podle GACHONA se v neutrálních vápenatých půdách také vytvářejí fosfo-humátové adsorpční soustavy, které vykazují určitý stupeň stability, ale zároveň fosfor z nich je velmi lehce přijatelný pro rostliny.

Otázka možnosti přímého využití organických fosforečných sloučenin rostlinami byla studována hlavně u fytinu, lecitinu a nukleinových kyselin. Většina autorů je toho názoru, že fosfor musí být z těchto látek nejprve fosfatázou odštěpen (enzymaticky mineralizován) a pak je teprve rostlinami přijímán. Při mineralizaci organických látek chudých na fosfor (obsahujících méně než 0,15 % P) se obsah přijatelného fosforu v půdě nezvyšuje, nýbrž v důsledku imobilizace P půdní mikroflórou se může dokonce snížit. Proto např. rozklad zaorané slámy nebo některých posklizňových zbytků vyžaduje dodání nejen určitého množství dusíku, ale i fosforu.

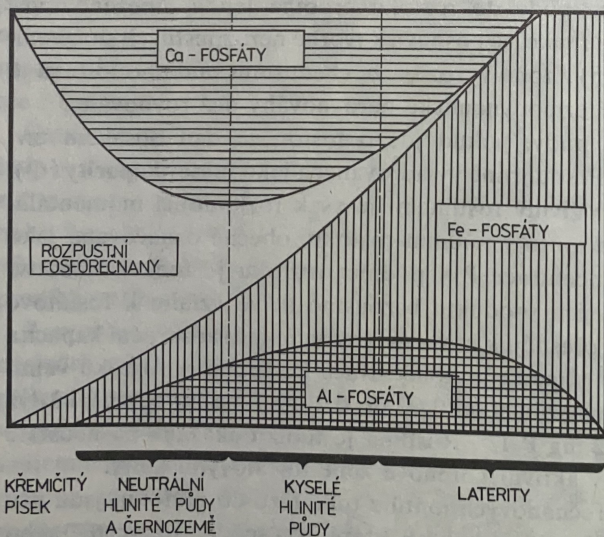
Obsah fosforu, který je přijatelný pro rostliny, může být v půdách vytvořen jednak jako důsledek přirozených půdních procesů, jednak může pocházet z dodaných organických a průmyslových hnojiv. Jelikož přirozená zásoba přístupného P v půdě by byla pro intenzivní výživu rostlin a trvalé dosahování vysokých výnosů nedostatečná, musí být hladina fosforu v půdě zvýšena, což se nejčastěji provádí aplikací hnojiv.

Zapravení fosforečných hnojiv do systému půda—roztok—rostlina má obecně za následek zvýšení koncentrace fosfátových iontů v půdním roztoku, a tím i zvýšený příjem P rostlinami, především však dojde k akumulaci značného množství fosforu v tuhé fázi půdy. Postupný pokles koncentrace fosforu v půdním roztoku v průběhu vzájemného působení půdy a hnojiva a následné snížení přijatelnosti fosforu pro rostliny je nutno přičíst kinetice určitých reakcí, které přeměňují zapravený vodorozpustný anorganický fosfát do různých méně rozpustných forem. Je to



40. Schéma forem fosforu a jejich vzájemných reakcí v systému půda—roztok—rostlina (Haman, 1980)

se jimi rychle mohou stát, neboť ty vytvářejí tzv. pool labilního fosforu. Rozpustnost minerálních půdních fosfátů je do značné míry závislá na reakci (pH) půdního prostředí. V kyselých půdách (pH 3—5) jsou nejvhodnější podmínky pro tvorbu



41. Schéma vázání fosforečnanového iontu na různé kationty u různých půd (podle Klečkovského a Peterburgského, 1964)

a stabilitu železitých i hlinitých fosfátů, a proto rozpustnost a přechod fosfátových iontů do roztoku je zde minimální. K zvýšení jejich rozpustnosti, především Fe-fosfátů, je bezpodmínečně nutné neutralizovat kyselou reakci půdy vápněním. Naopak v půdách neutrálních až alkalických je rozpustnost zde přítomných minerálních fosfátů (především vápenatých) nejvyšší při pH 7—8 a zvyšuje se okyselením půdního roztoku. Půdní Al-fosfáty, zvláště nově vzniklé v amorfním stavu a adsorbované na povrchu jílových minerálů, uvolňují fosfor v poměrně širokém rozmezí pH a mají značný význam pro výživu rostlin fosforem jak v půdách kyselých, tak i neutrálních.

Jestliže je fosfor z půdního roztoku rostlinami odčerpán, musí být doplněn z tuhé fáze labilního P a systém se upraví na nižší hladinu. Obsah fosforu v půdním roztoku je třeba doplňovat co nejrychleji, aby jeho nedostatek neomezoval výživu rostlin. Rychlost, kterou je roztok doplňován fosfátovými ionty z labilních forem, je charakterizována tzv. **kinetickým faktorem** (R). V podstatě jde o množství uvolňovaného (desorbovaného) P v závislosti na čase, což lze vyjádřit rovnicemi:

$$P = R \cdot \sqrt{t} + b \quad (1)$$

kde t je čas v minutách, b je počáteční množství fosfátu v roztoku a R je kinetický faktor, tj. konstanta, která se úpravou první rovnice rovná:

$$R = \frac{P - b}{\sqrt{t}} = \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ P} \cdot \text{min}^{-1/2} \quad (2)$$

Zásobování rostlin fosforem bude však záviset nejen na uvolňování P z tuhé fáze půdy, ale i na pohybu fosfátových iontů v půdním roztoku tak, aby byla jejich koncentrace poblíž kořenů doplněna. V podstatě existují tři druhy pohybů, které mohou zajistit, aby se ionty živin dostaly do těsné blízkosti kořenů: a) difúze iontů, b) transport iontů hmotovým tokem vody, c) aktivní (vstřícný) pohyb kořenů k živinám.

Pro dosažení požadovaného stavu ve výživě rostlin fosforem a zlepšení využitelnosti P z dodaných hnojiv je třeba zabezpečit optimální úroveň všech výše uvedených parametrů fosfátového režimu půdy, tj. intenzitního, kapacitního a kinetického faktoru, i odpovídající pohyb fosfátových iontů v půdním prostředí. Z praktického hlediska to předpokládá správný způsob aplikace vhodného hnojiva s ohledem na dané půdní podmínky a zabezpečení dalších výživářských, agrotechnických a melioračních opatření.

Fosforečná hnojiva

Používání fosforečných hnojiv se datuje již od druhé poloviny 18. století. K prvním zdrojům fosforu pro zemědělství patřil popel z kostí a mleté kosti vůbec. Výroba průmyslových fosforečných hnojiv začala fakticky kolem roku 1853, kdy Angličan LAWES získal patenty na výrobu superfosfátu, přičemž jako výchozí suroviny se nejprve využívaly kosti a později koprolit. Ke konci 19. století se začaly používat ke hnojení i přírodní fosfáty a Thomasova moučka, ale jednoduchý superfosfát zůstal téměř sto let nejvýznamnějším hnojivem.

Od padesátých let našeho století se situace ve výrobě a spotřebě fosforečných hnojiv pronikavě změnila. Zvyšování dávek průmyslových hnojiv nutné pro zabezpečení požadované produkce potravin na jedné straně a měnící se podmínky světové ekonomiky na druhé straně výrazně ovlivnily objem výroby i sortimentní skladbu fosforečných hnojiv v jednotlivých oblastech světa. Primárním zdrojem fosforu k výrobě minerálních hnojiv (tuhých i kapalných) se staly přírodní fosfáty. V přímé následnosti na vypuknutí celosvětové energetické a surovinové krize na počátku sedmdesátých let vzrostla několikanásobně cena přírodních fosfátů a fosfáty se staly strategickou surovinou na světových trzích. Náš stát je plně závislý na dovozu těchto surovin pro výrobu fosforečných hnojiv, protože v ČSSR nejsou a nebudou zdroje fosforečných surovin.

Přesto však je bezpodmínečně nutné, vzhledem k nutnosti udržení vysokých výnosů zemědělských plodin, které mají za následek stále větší export fosforu z půdy, starat se o úhradu této živiny novými vklady do koloběhu živin.

A. Přírodní fosfáty a jejich naleziště

V přírodě se vyskytuje více než 200 nerostů, které obsahují fosfor, avšak pro výrobu fosforečných hnojiv jsou vhodné jen ty fosfáty, které je možno prakticky využít na výrobu fosforu nebo jeho sloučenin. Fosfáty těžené na různých místech zemského povrchu se od sebe podstatně liší chemickým složením, strukturou i původem. Z geologického hlediska se fosfátová ložiska rozdělují na dva typy:

- erupтивní horniny, v kterých jsou apatity,
- sedimentační ložiska, v kterých se nacházejí fosfority.

Apatity jsou minerály, jejichž složení lze vyjádřit obecným vzorcem $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{R}$, kde R může být zastoupeno ionty fluóru F^- , chlóru Cl^- nebo ionty OH^- , CO_3^{2-} a SO_4^{2-} . Podle toho se jedná o fluór-, chlór-, hydroxylapatit, popř. karbonátapatit $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{CO}_3$ a sulfátapatit $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{SO}_4$. Nejčastěji se vyskytuje fluorapatit, který obsahuje v čistém stavu až 18,5 % P a 3,8 % F.

Apatity jsou široce rozšířeny v půdotvorných vyvřelých horninách v disperzním stavu nebo jsou uloženy v žilách s jinými nerosty (magnetitem, nefelinem). Jejich ložiska se však vyskytují velmi řídko, nejčastěji v pásmu při severním polárním

kruhu. Největší naleziště apatitu bylo objeveno v r. 1925 v SSSR na poloostrově titanomagnetit a další. Tato hornina obsahuje fluorapatit a jiné minerály jako nefelin, koncentrát s obsahem 17,1 % P, který se upravuje flotačním způsobem na apatitový závodech. Menší naleziště apatitů jsou také ve Švédsku, Finsku, Norsku, Kanadě, z celkové spotřeby přírodních fosfátů na výrobu fosforečných hnojiv. Mají krystalickou strukturu (krystalují hexagonálně) a i po rozemletí je jejich povrch 10 až 18krát menší, než má mletý fosforit. Proto se nehodí k přímému hnojení.

Fosfority jsou sekundárně vzniklé fosfátové horniny amorfní nebo kryptokrystalické struktury (rozptýlené v jemné mikrokrystalu). Podle KLEČKOVSKÉHO a PETERODUMŘELÝCH organismů obývajících Zemi v dvojitým způsobem: 1. mineralizací koster (organický původ), 2. vysrážením kyseliny fosforečné vápníkem z vody jurských a křídových moří a usazováním fosforečanů vápenatých spolu se zrnky SiO_2 , CaCO_3 , MgCO_3 , alumosilikátů apod. (minerální původ). Fosforečan vápenatý je ve fosforitech obvykle ve formě velmi malých zrněk fluorapatitu, ale jsou přítomny i další druhy apatitu. Proto i přes různý původ apatitů a fosforitů je v jejich chemickém složení mnoho společného. Obojí jsou totiž terciálními solemi vápníku a kyseliny ortofosforečné doprovázené fluórem, chlórem a jinými příměsmi.

Naleziště fosforitů jsou však mnohem více rozšířena a zpravidla se rozdělují do těchto oblastí:

1. **Severoafriká ložiska:** Maroko, Alžír, Tunis, Egypt. Jde o tzv. měkké fosfáty, které se snadno melou a mohou se využívat k přímému hnojení. Obsah fosforu v nich se pohybuje mezi 12,75—15,00 % P.
2. **Africká ložiska:** Jihoafrická republika, Západní Sahara, Senegal, Togo, Fosfority této oblasti mají vynikající kvalitu a průměrný obsah P kolem 15 %.
3. **Severoamerická a středoamerická ložiska:** USA, Mexiko, Antily. V USA patří k nejbohatším na světě naleziště na Floridě, v Severní Karolíně, Utahu a ve státě Tennessee. Na západě USA ve Skalisticích horách se ložiska fosfátů táhnou až do Kanady.
4. **Evropská ložiska:** V evropské části SSSR — kingisepské, vjatskokamské, smolenské naleziště a ložiska v moskevské a leningradské oblasti. Jde většinou o nízkoprocentní fosfority (5—11 % P), které se koncentrují flotací. Menší naleziště jsou dále v Belgii, Francii a Polsku.
5. **Asijská naleziště:** SSSR — Kazachstán v pohoří Kara-Tau, Čína, Indie, Severní Korea, Vietnamská demokratická republika a nedávno objevená ložiska v Mongolské lidové republice. Fosfority zde obsahují průměrně 12 % P.
6. **Naleziště Blízkého a Středního východu:** Izrael, Jordánsko, Sýrie — převážně nová naleziště.

7. **Naleziště v Tichém a Indickém oceánu:** jsou buď vulkanického původu, nebo vznikly na korálových útesech z guana mořských ptáků, které se za tisíciletí přeměnilo v ložiska velmi čistých fosforitů s obsahem až 90 % fosforečnanu vápenatého.

Celosvětové zásoby těžitelných přírodních fosfátů se v současné době odhadují na 130 miliard tun. Jejich převážná část je však lokalizována v několika málo státech (USA asi 55 miliard tun, Maroko asi 40 miliard tun, SSSR asi 11 miliard tun).

Jako další zdroj fosforu pro výrobu fosforečných hnojiv, avšak mnohem méně významný, jsou železné rudy. Při výrobě železa a oceli se fosfor odstraňuje, protože nepříznivě působí na jejich kvalitu. Vazbou na vápník vzniká struska, která po rozemletí slouží jako hnojivo.

B. Výroba fosforečných hnojiv

Vzhledem k tomu, že ložiska přírodních fosfátů jsou rozmístěna na zemském povrchu velmi nepravidelně, což vyvolává potíže a vyšší náklady při transportu velkých množství hmot s poměrně nízkou koncentrací P na značné vzdálenosti, ale především proto, že fosfor je v těchto surovinách pevně vázán a pro rostliny těžko využitelný, byly vybudovány závody chemického průmyslu, které vyrábějí fosforečná hnojiva koncentrovanější a hlavně s přístupnějšími (rozpustnějšími) formami fosforečných sloučenin. Úlohou chemického průmyslu při zpracování surových fosfátů je tedy vyrábět fosforečná hnojiva s vysokou agrochemickou účinností a s dobrými manipulačními vlastnostmi. Chemicky jsou fosfáty zpracovány třemi způsoby:

- rozkladem fosfátů minerálními kyselinami (sem patří i výroba kyseliny fosforečné extrakčním způsobem),
- elektrotermickou výrobou elementárního fosforu a jeho dalším zpracováním na kyselinu fosforečnou (termickou),
- termickým zpracováním fosfátů.

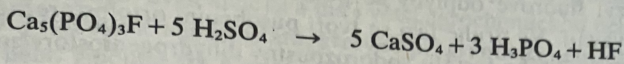
U nás se nejvíce využívá první způsob, který je základem technologií výroby superfosfátů, některých vícesložkových hnojiv i samotné kyseliny fosforečné (extrakcí).

V současnosti náš sortiment **jednosložkových** fosforečných hnojiv zahrnuje zejména: superfosfát jednoduchý (práškový a granulovaný), superfosfát koncentrovaný — z převážné části jde o trojitý superfosfát, zásadité strusky — Thomasova moučka, popř. Martinská struska, jejichž význam trvale klesá, a mleté fosfáty nebo dovážené mikromleté (jemně mleté) fosfáty.

Hlavním rysem současného vývoje u nás i ve světě je však přechod na koncentrovanější formy fosforečných hnojiv, pokračující odklon od výroby jednosložkových P-hnojiv a trvale rostoucí podíl hnojiv **vícesložkových**, zejména pak

fosforečnanů amonných a kapalných NP-hnojiv. Tato skutečnost je však podmíněna dalším rozmachem výroby extrakční nebo termické kyseliny fosforečné jako základního meziprojektu.

Princip výroby kyseliny fosforečné **extrakčním způsobem**: Základní surovinou při výrobě extrakční kyseliny fosforečné je přírodní fosfát. Účinkem kyseliny sírové na fosfát a zahříváním se uvolňuje kyselina fosforečná do roztoku podle rovnice



Vydělený síran vápenatý s nerozpustným zbytkem fosfátu, fluórových solí i zbytky kyseliny fosforečné se nazývá fosfosádra a ta se oddělí filtrací od kyseliny fosforečné.

Princip výroby kyseliny fosforečné **termickým způsobem**: Na rozdíl od extrakční kyseliny fosforečné je zde výchozí surovinou elementární fosfor. Avšak i ten se připravuje elektrotermickou redukcí přírodních fosfátů. Proces se uskutečňuje při vysokých teplotách v elektrických pecích, z kterých fosfor uniká ve formě par. Jejich kondenzací vzniká tuhý produkt, elementární fosfor. Jeho oxidací se získá oxid fosforečný, který při hydrataci vytváří termickou kyselinu fosforečnou.

Rozdělení fosforečných hnojiv podle rozpustnosti fosforu:

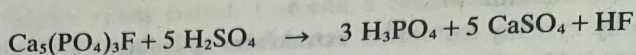
- a) Fosforečná hnojiva s fosforem rozpustným ve vodě: superfosfát jednoduchý, superfosfát koncentrovaný (dvojitý i trojitý) a fosforečnan amonný (amofos).
- b) Fosforečná hnojiva s fosforem rozpustným v citranu amonném: dikalciumfosfát, metafosfáty a termofosfát. U nás se nevyrábějí ani nepoužívají.
- c) Fosforečná hnojiva s fosforem rozpustným ve 2% kyselině citrónové: Thomasova moučka, kostní moučky a část fosforu (asi 1/3) z mletých přírodních fosfátů, které jsou plně rozpustné pouze v silných minerálních kyselinách.
- d) Fosfáty.

Sortiment fosforečných hnojiv vyráběných nebo používaných v ČSSR zahrnuje následující jednosložková, popř. i dvousložková hnojiva:

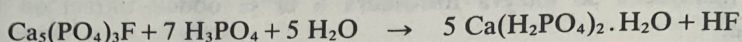
Superfosfát jednoduchý

Superfosfát byl prvním průmyslově vyráběným hnojivem vůbec a do konce šedesátých let tohoto století zaujímal dominantní postavení v sortimentu fosforečných hnojiv na světě. V posledních letech však jeho podíl značně klesá ve prospěch koncentrovaných superfosfátů. V dnešní době slouží jako základní surovina k výrobě superfosfátů přírodní mleté fosfáty — apatity a fosfority. Rozkládají se kyselinou sírovou koncentrace 62—70%. Rozklad fosfátů probíhá ve dvou

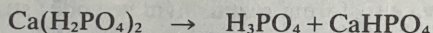
stupních. V první fázi uvolní kyselina sírová z povrchu tuhých částic fosfátu kyselinu fosforečnou za vzniku sádry a fluórovodíku podle reakce:



Vzniklý CaSO_4 zůstává jako anhydrit součástí hnojiva a tvoří asi 50 % jeho hmotnosti. Tzv. fluórové odplyny se pohlcují vodou ve zvláštních absorberech a dále zpracovávají. Ve druhé fázi se tvoří působením ortofosforečné kyseliny na zbývající podíl použitého fosfátu vodorozpustný dihydrogenfosforečnan vápenatý, jako účinná fosforečná složka superfosfátu



Zatímco první stupeň rozkladu trvá 20 až 40 minut, průběh druhé reakce, tzv. zrání superfosfátu, je podstatně pomalejší a rovnovážný stav nastane, jakmile se obsah volné kyseliny fosforečné sníží asi na 1 % a množství P v nerozloženém fosfátu na 0,2 %. Zrání superfosfátu z fosforitů probíhá 3—4 týdny, z apatitů 6 týdnů, přičemž se musí přehazovat na hromadách v halách zrání. Úplné vymizení volné kyseliny fosforečné není žádoucí, poněvadž dihydrogenfosforečnan vápenatý částečně hydrolyzoval na volnou H_3PO_4 a málo rozpustný monohydrogenfosforečnan vápenatý



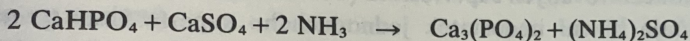
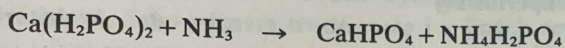
Přebytek volné kyseliny fosforečné není však také ku prospěchu, protože superfosfát více vlhne, stává se mazlavý a má vysoké korozivní účinky. Všechny superfosfáty jsou fyziologicky neutrální, avšak jejich nasycený roztok, zvláště u superfosfátu práškového, je vzhledem k zbytku volných kyselin dosti kyselý (pH asi 2), takže mohou po zapravení mírně okyselovat půdu.

Jednoduchý superfosfát se u nás v současné době vyrábí v podnicích VHI Chemopetrol, a to v PíChZ Přerov a SCHZ Lovosice v množství asi 66 000 t P za rok. Podle struktury finálního výrobku rozlišujeme superfosfát práškový a granulovaný. Každý z těchto dvou druhů je podle použité výchozí suroviny (buď kolský apatit, nebo africké, převážně marocké a tuniské fosfority) vyráběn ve dvou typech, jako **superfosfát Kola** a **Superfosfát Afrika**.

Superfosfát práškový — je bělavě šedý až šedohnědý kyprý prášek, typicky nakyslého zápachu, má být mírně navlhlý, ale nemazlavý, nesmí se spékat a tvořit hrudky. Jeho sypná hmotnost má být do $1100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Průměrný obsah fosforu ve vodorozpustné formě je u typu Afrika 7,26 % P, u typu Kola 8,14 % P. Dále superfosfát práškový obsahuje asi 20 % Ca a 9,5 % S. Podle ČSN 65 4910 musí mít typ Afrika minimálně 6,6 % P rozpustného ve vodě, maximálně 2,2 % P ve

formě volné H_3PO_4 a obsah vody do 13,5 %. U typu Kola tato norma stanoví minimální obsah vodorozpustného P 7,92 %, maximálně 2,6 % P jako volnou H_3PO_4 a obsah vody do 12,5 %.

Superfosfát granulovaný — je vyráběn ve formě šedých až šedohnědých granulí o velikosti 1—4 mm, sytná hmotnost je kolem $900 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. K jeho výrobě vedly ekonomicky výhodnější, hygieničtější a má i větší agrochemickou účinnost. Vyrábí se z vyzrálého práškového superfosfátu, který se při granulaci neutralizuje amoniakální vodou nebo amoniakáty a mletým vápencem. Volná kyselina fosforečná je asi 1 % P. Technologie amoniakalizace se musí provádět bez nadbytku amoniaků v granulátu, aby nedocházelo k retrogradaci vodorozpustného P do méně rozpustných forem podle reakcí:



Granulovaný superfosfát obsahuje v průměru 7,7 % P u typu Afrika a 8,6 % P u typu Kola ve vodorozpustné formě. Obsah vápníku činí asi 20 %, síry 9,5 % a dusíku asi 1 % v amoniakální formě. Technické požadavky na granulovaný superfosfát upravuje rovněž ČSN 65 4910 do těchto parametrů:

- fosforu rozpustného v 2% kyselině citrónové má být minimálně u typu Afrika 7,48 % P, u typu Kola 8,36 % P,
- volné kyseliny fosforečné maximálně 1,1 % P,
- obsah částic 1 až 4 mm minimálně 90 %, u typu Kola 95 %,
- částic pod 1 mm maximálně 3 % a částic nad 4 mm maximálně 7 %.

Pro velkospotřebitele jsou superfosfáty dodávány zásadně volně ložené a pro jejich skladování platí podmínky stanovené ČSN 46 5750. Superfosfát granulovaný je též v maloobchodním prodeji v balení po 5 a 10 kg v polyetylenových sáčcích.

Použití superfosfátů

Jednoduchý superfosfát zaujímá v současné době v ČSSR stále ještě hlavní místo v sortimentu fosforečných hnojiv. Jeho podíl činí více než 50 % dodávaného P do zemědělství. Protože fosfor v superfosfátu je v převážné míře rozpustný ve vodě, poměrně rychle působí a je vhodný jak pro základní hnojení při orbě, tak i před setím, popřípadě i během vegetace, a to pro všechny plodiny. Na kyselých půdách vzniká však, zvláště při použití práškového superfosfátu, nebezpečí, že se větší část rozpustného P přemění rychle do nerozpustných forem reakcí s minerálními sorbenty půdy a stane se pro rostliny těžko využitelná. Před touto nežádoucí reakcí

chrání do určité míry dodaný fosfor v půdě organické látky a úprava půdní reakce vápněním. Proto je účelné zapravovat superfosfát současně s organickými hnojivy. Pro pomalejší průběh retrogradace fosforu je také vhodnější používat na kyselých půdách superfosfát granulovaný a naopak na půdách neutrálních až alkalických superfosfáty práškové, a to zase nejlépe spolu s organickým hnojením.

Ekonomicky i pracovníčně je výhodné přidávat superfosfát, nejlépe práškový, každodenně přímo na hnojiště k vyvážce chlévského hnoje nebo přímo na podestýlku ve stáji. Tím se současně zamezí i ztrátám dusíku ve formě amoniaku při zrání chlévského hnoje. Superfosfát je také vhodný k obohacování močůvky fosforem, neboť se v ní snadno rozpouští a vyrovnává poměr živin v tomto statkovém dusíkatodraselném hnojivu a zároveň zabráňuje ztrátám amoniaku. Na 1 m³ močůvky se přidává 10—20 kg superfosfátu práškového.

Koncentrované superfosfáty

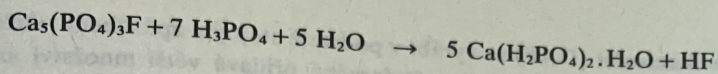
Výroba koncentrovaných superfosfátů (z rozhodující části jde o trojitý superfosfát) odstraňuje hlavní nedostatek jednoduchého superfosfátu, tj. nízký obsah rostlinných živin. V celosvětovém sortimentu fosforečných hnojiv mají koncentrované superfosfáty v posledních desetiletích mírně rostoucí trend a v současné době činí jejich podíl více než 20 % z celkového množství vyráběných P-hnojiv. V podstatě jde o výrobu dvou koncentrovaných superfosfátů — superfosfátu dvojitého, tzv. obohaceného, a superfosfátu trojitého.

Superfosfát dvojitý (obohacený)

Způsob výroby obohaceného superfosfátu se odlišuje od výroby jednoduchého superfosfátu tím, že místo kyseliny sírové se na rozklad fosfátů použije směs kyseliny sírové a fosforečné. Proto se na výrobu obohacených superfosfátů prakticky úplně využívá zařízení pro výrobu jednoduchého superfosfátu (doplněné aparaturami na přípravu směsné kyseliny a přesné dávkování surovin) s upraveným technologickým režimem. Podle množství použité kyseliny fosforečné se získává výrobek s celkovým obsahem 12—15 % P. Asi 11 % P je ve vodorozpustné formě, 2,6 % P jako volná H₃PO₄ a dále obsahuje 12 % H₂O. Agrochemické vlastnosti má podobné jednoduchému superfosfátu, fyzikálně mechanické vlastnosti jsou lepší. Význam dvojitého superfosfátu, co do zastoupení v sortimentu fosforečných hnojiv, není však podstatný.

Superfosfát trojitý

Výroba trojitého superfosfátu je založena na rozkladu přírodních fosfátů kyselinou fosforečnou podle reakce:

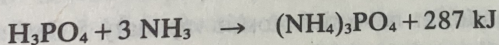
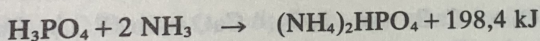
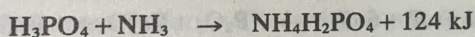


Stejně jako jednoduchý superfosfát obsahuje účinnou fosforečnou složku ve formě $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, ale neobsahuje síran vápenatý. Celkový obsah fosforu činí až 20,7 % P, což je téměř trojnásobek obsahu P v jednoduchých superfosfátech. Ve formě vodorozpustné má asi 17,8 % P a jako volnou H_3PO_4 obsahuje maximálně 2,6 % P. Obsah vody činí maximálně 12 %. Bývá v práškové a granulované formě a jako práškový se používá i na přípravu granulovaných vícesložkových hnojiv. Trojitý superfosfát má podobné vlastnosti jako jednoduchý a obohacený superfosfát, takže i jeho použití je v podstatě stejné jako u ostatních druhů superfosfátů. Jeho velkou výhodou však je, že vzhledem k vysoké koncentraci P jsou náklady na dopravu, skladování a aplikaci podstatně nižší než u jednoduchých superfosfátů.

Výroba a používání trojitého superfosfátu jsou hlavně rozšířeny v USA a v SSSR, odkud se dováží i k nám. V 6. 5LP byla jeho výroba zavedena i u nás v CHZJD v Bratislavě. Jeho význam trvale roste i v jiných zemích RVHP.

Fosforečnany amonné

Fosforečnany amonné se připravují neutralizací kyseliny ortofosforečné amoniakem. Tato kyselina vytváří tři druhy fosforečnanů, neboť postupně může vznikat mono-, di- a triamoniumfosfát, přičemž reakce je silně exotermická:



Poněvadž poslední (normální) fosforečnan amonný je látka nestálá, rozkládající se na vzduchu za ztráty amoniaku, používají se na přípravu hnojiv pouze hydrogen- a dihydrogenfosforečnany. Fosforečnany amonné nepatří již vlastně do jednosložkových hnojiv, ale do hnojiv složených — dvousložkových. Pro účely hnojení se vyrábějí dva druhy fosforečnanů amonných, a to tzv. amofos a diamoniumfosfát.

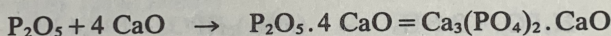
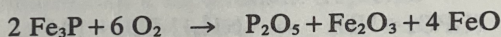
Amofos — obsahuje 11—12 % N a 21,1—22,9 % P a k nám je dodáván z SSSR v granulované formě s velikostí granulek 1—3 mm. Používá se buď jako dvousložkové hnojivo přímo k hnojení, nebo se uplatňuje při výrobě trojsložkových hnojiv, protože dodává fosforečnou složku s vysokým obsahem vodorozpustného P. Před použitím k přímému hnojení jej lze míchat s ostatními granulovanými hnojivy (močovinou i draselnými hnojivy). Jako zásobní hnojení na podzim je možno Amofos zaorávat jen na půdách s dobrou sorpční schopností pro NH_4^+ a raději v pozdní době, kdy nízké teploty snižují nitrifikaci.

Diamoniumfosfát (DAF) se vyrábí v podstatě stejným způsobem jako Amofos, pouze se při neutralizaci kyseliny fosforečné přidává větší množství amoniaku. Vyrábí se rovněž v granulované formě s velikostí granulek 1,5—4 mm, což je výhodnější pro aplikaci. Hnojivo obsahuje 18 % N a 20,2 % P. Má tedy výhodnější poměr živin než Amofos, a proto se častěji používá jako dvousložkové hnojivo k přímé aplikaci do půdy; je ale také dobrým výchozím materiálem pro výrobu trojsložkových hnojiv.

Fosforečnany amonné (především DAF) se v současné době velmi významně uplatňují na mezinárodních trzích, neboť tvoří až 50 % světového obchodu s tuhými fosforečnými hnojivy.

Thomasova moučka

Toto hnojivo je v sortimentu fosforečných hnojiv zahrnováno mezi tzv. zásadité strusky, neboť je to mletá odpadní struska, která vzniká při výrobě oceli z litiny surového železa získaného z rud obsahujících fosfor. Fosfor spolu s křemíkem, uhlíkem a jinými prvky, které nepříznivě ovlivňují kvalitu oceli, se z roztaveného surového železa odstraňuje oxidací a následnou vazbou na pálené vápno v Thomasových konvertorech nebo Siemens-Martinových pecích. Při teplotě asi 1500 °C shoří postupně uhlík, křemík, mangan a potom se oxiduje i fosfid železa podle rovnice



Vzniklý tetrakalciumfosfát nebo silikofosfát vápenatý $5 \text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{SiO}_2$ (za přítomnosti dostatečného množství Si) se ve formě plovoucí strusky sleje do pánví, kde ztuhne, a po roztlučení se mele na jemnou moučku. Thomasova moučka je těžký tmavošedý prášek, který obsahuje 6—7,5 % veškerého P, přičemž 80—90 % podílu fosforu je rozpustných v 2% kyselině citrónové. Kromě fosforu obsahuje 32—36 % Ca, 1,2—2,4 % Mg, 3—4 % Si, 4,5—6 % Mn, 3,9—4,7 % Fe aj.

Přechod na nové technologie výroby oceli vylučuje produkci Thomasovy moučky, takže její podíl mezi fosforečnými hnojivy trvale klesá a předpokládá se, že tento trend bude pokračovat. Zemědělství tím ztrácí velmi cenné a oblíbené hnojivo, které bylo vhodné pro zásobní aplikaci fosforu, zvláště na kyselých, podzolovaných půdách. Velmi dobře se uplatňuje i na loukách a pastvinách, kde podporuje rozvoj jetelovin.

Mletý fosfát

Počátky používání přírodních fosfátů k přímému hnojení se datují do devadesátých let minulého století. Poměrně dobré výsledky s těmito hnojivy vedly ložisky a méně vyvinutým chemickým průmyslem. V Československu došlo k rozvoji tohoto způsobu hnojení až po druhé světové válce, kdy podíl mletých fosfátů v sortimentu fosforečných hnojiv dosáhl 13 %. Nedodržování zásad správného používání, jakož i nevhodná kvalita aplikovaných mletých fosfátů do půdy vedly k špatným zkušenostem v zemědělství a nakonec k zastavení jejich použití. V současné době resort našeho zemědělství však počítá s dodávkami jemně mletých (mikromletých) fosforitů v odpovídající úpravě (granulace, aktivované fosforitové suspenze) pro oblasti s kyselými půdami.

K přímému použití jako fosforečné hnojivo se hodí pouze tzv. **měkké amorfní fosfority**, které se mohou v půdě účinkem slabých kyselin a činností mikroorganismů rozkládat a uvolňovat do půdního roztoku fosfátové ionty. O účinnosti fosforitů a jejich uplatnění ve výživě rostlin nerozhoduje ani tak obsah veškerého fosforu, jako spíše jejich struktura, jemnost mletí, obsah fluóru a pH půdy.

Pokud jde o strukturu, je příčinou rozdílné agrochemické účinnosti přírodních fosfátů neuspořádanost krystalové mřížky, způsobená zabudováním iontů CO_3^{2-} . Kritériem této neuspořádanosti je mřížková konstanta a , měřená rentgenovou difrakční metodou. Na hodnotě a přímo závisí agrochemická účinnost a reaktivita fosfátu hodnocená rozpustností fosforu v 2% roztoku kyseliny citrónové. Tak např. pro agrochemicky účinný fosforit Gafsa je $a = 9,324 \text{ \AA}$ a pro zcela neúčinný Kola-apatit $a = 9,390 \text{ \AA}$. Tuniský fosforit Gafsa je proto z fosfátů dovážených do ČSSR hodnocen jako nejvhodnější pro přímé hnojení. Obsahuje 12,3—12,8 % veškerého P, přičemž asi 4—5 % fosforu se rozpouští v 2% kyselině citrónové.

Využitelnost fosforu rostlinami ze zapravených fosforitů je dále podmíněna vysokou jemností mletí, tzv. mikromletím, které je charakterizováno požadavkem minimálně 90 % částic menších než $63 \mu\text{m}$. Při dodržení této požadované jemnosti je fosforit Gafsa po aplikaci do kyselých půd co do účinnosti rovnocenný nebo dokonce lepší než superfosfát. Škodlivost fluóru je tím nižší, čím je ve fosforitu vyšší obsah uhličitánových iontů a menší koncentrace F.

Jak již bylo naznačeno, je pro uplatnění fosforitů ve výživě rostlin bezpodmínečně nutné zapravovat je pouze do kyselých nebo alespoň mírně kyselých půd. V žádném případě nelze doporučit jejich aplikaci na půdách neutrálních nebo dokonce alkalických, protože se v nich nemohou rozkládat, neboť jak již bylo konstatováno ve stati o fosforu v půdě, jsou všechny fosforečnany vápenaté při neutrální až alkalické reakci vysoce stabilní. Do pH 6,5 je jejich agrochemická účinnost dobrá, zvláště pokud je v půdě vysoký obsah organických látek, dobrá biologická činnost a optimální půdní vlaha. Proto k lepší využitelnosti fosforu

z mletých fosfátů přispívá společně zaorávání se statkovými hnojivy, popřípadě i jejich přidávání do hnoje a kompostů. Nejlepší schopnost využívat fosfor z mletých fosfátů mají všechny bobovité rostliny (leguminózy) a plodiny mající mohutně rozvinutý kořenový systém a dlouhou vegetační dobu.

Z agrochemického hlediska je použití jemně mletých fosfátů při dodržování uvedených zásad výhodné i proto, že umožňuje zásobní hnojení fosforem ve vysokých dávkách bez nebezpečí předávkování i ztrát fosforu v důsledku retrogradace. Dále nezpůsobuje zvyšování zasolenosti půd a na velmi kyselých půdách částečně nahrazuje vápnění. S mletými fosfáty lze také bez nebezpečí retrogradace aplikovat Mg a stopové prvky. Pro výrobu a používání mikromletých fosfátů k přímému hnojení svědčí i další ekonomicky výhodné okolnosti, jako nízké investiční náklady, úspory energie a kyselin.

Jako méně příznivé stránky hnojení mletými fosfáty je třeba uvést: a) požadavek aplikace výhradně na kyselých půdách vylučuje univerzálnost jejich použití a vyžaduje provedení rajonizace, b) komplikace při jejich rozdělování a distribuci, c) vysoká jemnost mletí přináší určité potíže při manipulaci, skladování i aplikaci v práškové formě.

C. Použití fosforečných hnojiv a způsoby jejich aplikace

Racionalizační opatření na úseku používání průmyslových hnojiv vyžadují hledat cesty ke zvýšení účinnosti zejména fosforečných hnojiv, neboť je žádoucí jednak docenit jejich význam pro tvorbu vysokých a jakostních výnosů, jednak zvýšit využitelnost fosforu ze zapravovaných hnojiv, která je obecně velmi nízká. Z aplikované dávky fosforečných hnojiv je v prvním vegetačním období zpravidla rostlinami využito pouze 10—15 % P v suchých podmínkách, 15—20 % P ve vlhčích podmínkách a 15—30 % P v závlahových podmínkách. Roční odběr fosforu různými druhy zemědělských plodin je značně rozdílný a kolísá nejčastěji mezi 15 až 35 kg P z 1 ha. Největší nároky mají olejnin, luskoviny a některé zeleniny. Za nimi následují obilniny a okopaniny.

Při volbě fosforečného hnojiva ke hnojení hraje důležitou roli půdní prostředí. Na půdy neutrální až zásadité jsou vhodné všechny druhy jednoduchého superfosfátu i superfosfátů koncentrovaných, popřípadě i amonné fosfáty. Na půdách kyselých se z jednoduchých superfosfátů lépe uplatňuje granulovaná forma než práškovitá, což platí i pro superfosfát trojitý a obohacený. Dále zde s výhodou můžeme používat fosforečnany amonné, mleté fosfáty i Thomasovu moučku.

Všechna tuhá fosforečná hnojiva je třeba zapravovat do celého orničního profilu, nejlépe orbou, vzhledem k malé pohyblivosti fosforu v půdě. Povrchová aplikace fosforečných hnojiv je neúčinná a na svažitéch pozemcích podmiňuje větší ztráty P erozními smyvy. Je také třeba pamatovat na to, že efektivnost fosforečných hnojiv je na půdách s velmi malou a malou zásobou přístupného P nízká, zvláště

jsou-li aplikovány v malých dávkách. Příčinou toho je, že velká část dodaného fosforu se poutá chemickou sorpcí v málo rozpustných minerálních půdních fosfátech, čili spotřebuje se na tzv. dosycení půdy, a jen malá část zůstane v pohotové formě pro rostliny.

Půdy, v kterých chceme optimalizovat obsah přijatelného fosforu, tedy zvýšit kapacitní zásobu P, musí být pro tento účel připravené. Neměly by mít kyselou nebo dokonce silně kyselou reakci, měly by být dostatečně zásobeny organickou hmotou a půdní vláhou. Zvýšení obsahu přístupného fosforu v půdě a dosycení půd na optimální hladinu využitelného P se v zásadě provádí třemi způsoby hnojení:

1. každoročním zapravením zvýšených dávek fosforečných hnojiv,
2. předzásobním hnojením,
3. melioračním hnojením.

Při každoroční aplikaci fosforečných hnojiv jsou normativy dodávaného P stanoveny tak, aby na půdách s malou zásobou přijatelného fosforu se jeho obsah zvyšoval výrazněji než na půdách středně nebo dobře zásobených touto živinou.

V případě předzásobního hnojení je aplikovaná dávka fosforečných hnojiv v podstatě součtem dávek potřebných pro zabezpečení výživy plodin v následujících dvou, třech, popřípadě i více letech. Počet roků, na které se předzásobně hnojí, je dán především osevním postupem, ale též stavem zkulturnění půdy a jejími fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Bezpodmínečně je nutné pamatovat na předzásobní hnojení fosforem pro jeteloviny, a to nejlépe již na okopaninovém honu, spolu s organickým hnojením.

Meliorační hnojení je vlastně jednorázové zapravení vysokých dávek fosforečných hnojiv (nad $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}$) s cílem zvýšit základní zásobu přístupného P v půdě, a tak vytvořit podmínky pro dosahování stálých úrod pěstovaných plodin (stará půdní síla). Uplatňuje se převážně na rekultivovaných plochách a na půdách s nízkým a velmi nízkým obsahem přijatelného fosforu.

Stanovení dávky fosforečných hnojiv pro úhradu exportovaného P a doplnění této živiny v půdě na tzv. efektivní hladinu se u nás provádějí podle NEUBERGA a kol. (1976) na základě zásoby přístupného fosforu v půdě, ekologicko-výrobní úrovně daného honu, s přihlédnutím k druhu půdy a k množství fosforečných hnojiv, která jsou k dispozici.

4.1.1.3 Draselné hnojivá

4.1.1.3.1. Draslík v rastline a jeho fyziologický význam

Draslík má veľký význam pre vyššie a nižšie rastliny. Patrí k živinám, ktoré rozhodujúcim spôsobom ovplyvňujú glycidový a dusíkatý metabolizmus, a tým aj úrodu a jej kvalitu.