

Izzivi trajnostne rabe fosforja

DEAN ČERNEC

Povzetek Večanje števila prebivalstva in porabe hrane zahtevata vedno večje količine fosforja. Še do nedavnega je veljalo prepričanje, da je zalog fosforja dovolj še za mnogo prihodnjih generacij. Na podlagi dognanj v zadnjih letih pa postaja jasno, da so zaloge fosfatne rude kot glavnega vira fosforja omejene. Pričujoči prispevek povzema te ugotovitve in predstavi možne alternative pridobivanja fosforja iz tokov odpadnih produktov.

Ključne besede: • fosfor • trajnostna raba • odpadni produkti • fosfatna ruda • mineralna gnojila •

NASLOV AVTORJA: Dean Černec, Iluri s.p., Ob potoku 13, 3210 Slovenske Konjice, Slovenija.

<https://doi.org/10.18690/978-961-286-071-4.10>

ISBN 978-961-286-071-4

© 2017 Univerzitetna založba Univerze v Mariboru

Dostopno na: <http://press.um.si>.

Challenges in Sustainable Use of Phosphorus

DEAN ČERNEC

Abstract With the increasing world population growth a global demand for food is increasing rapidly. Until recently phosphate rock deposits were not thought of being a finite reserve and extracting phosphorus from this rock seemed to be the ultimate source of phosphorus for the future generations. But on the basis of new findings it has become evident that these reserves cannot last forever. This article summarizes some of these findings and presents some alternative ways of phosphorus recovering from waste streams.

Keywords: • Phosphorus • sustainable use • waste products • Phosphate rock • mineral fertilizer •

CORRESPONDENCE ADDRESS: Dean Černec, Ob potoku 13, 3210 Slovenske Konjice, Slovenia.

<https://doi.org/10.18690/978-961-286-071-4.10>

ISBN 978-961-286-071-4

© 2017 University of Maribor Press

Available at: <http://press.um.si>.

1 Uvod

Najpomembnejši nutrienti, potrebni za rast rastlin, so dušik, kalij in fosfor. Čeprav jih povezuje dejstvo, da brez njih ne uspeva (in tudi ne zraste) nobena rastlina, se njihov izvor in zaloge precej razlikujejo. Medtem ko je dušika na pretek že v atmosferskem zraku (78% delež), lahko sledi kalija in fosforja najdemo povsod, kjer je ali je bilo prisotno življenje. Vendar pa te zaloge še zdaleč ne dosegajo porabe, ki jo terja sodobno poljedelstvo. Pretežni del porabe teh dveh mineralov se zato pokriva z izkopavanjem zalog, ki se nahajajo v kamninah, tleh in sedimentih, pri čemer pa gre za relativno omejene vire. Rezerve kalija so velike, pri fosforju pa se po nekaterih raziskavah že približujemo višku izrabe razpoložljivih zalog (ang. peak phosphorus), ki bi ga lahko dosegli že v nekaj desetletjih. Pri tem velja omeniti, da je navkljub dobri medijski izpostavljenosti nekaterih okoljskih problematik (v povezavi s poljedelstvom sta v ospredju predvsem poraba in onesnaževanje vode), zavedanje o zmanjševanju zalog fosforja prisotno več ali manj le v akademskih krogih in še ni doseglo širše javnosti.

Kot že omenjeno, se fosfor danes pridobiva predvsem z izkopavanjem fosfatne rude oziroma s fosfatom bogatega minerala apatita, zaloge pa bi po nekaterih ocenah lahko izčrpali že v naslednjih 50 – 100 letih. Pri tem so mišljene zaloge tistih nahajališč, ki so dovolj bogata z vsebnostjo fosforja in je zato pridobivanje ekonomsko upravičeno (fosfor je sicer enajsti najbolj pogost element v zemeljski skorji, a bi bila izraba v mnogih primerih zaradi nizkih koncentracij nesmotna). Fosfor je v zemeljski skorji prisoten povsod po svetu, obsežnejša in bogata nahajališča apatita pa so predvsem v Maroku, Zahodna Afriki, Kitajski, ZDA in Jordaniji. Omenjene države so tudi največji izvozniki fosfatne rude. Zaloge fosfatne rude v Evropi so siromašne, omembe vredna pa so predvsem nahajališča vulkanskega izvora na Finskem.

2 Kroženje fosforja in mineralna umetna gnojila

V geokemičnem smislu je naravno kroženje fosforja eden najpočasnejših ciklov. Ob tektonskih premikih so s fosforjem bogate kamnine izpostavljene vremenskim vplivom in preperavanju. Erozijska tal in kemično preperevanje omogočata nastanek prsti, ki jo reke odnašajo v nižine, jezera in oceane. Del teh fosfatov porabijo rastline, ki jih s pomočjo svojih korenin absorbirajo iz tal in jih vežejo v organske spojine, vezani fosfati pa se nato skozi prehranjevalno verigo vračajo v tla na več načinov (z živalskimi in človeškimi iztrebki, odmrliimi rastlinami, odpadnim listjem, živalskimi kadavri,...). Sledi proces sedimentacije oziroma kopičenje fosforja organskega in mineralnega izvora v sedimentih. Cikel se ponovi, ko so na novo nastale sedimentne kamnine z dvigovanjem površja spet izpostavljene mehanizmu preperevanja.

V predindustrijski družbi so bili procesi pridelave, predelave in porabe hrane med seboj tesno povezani in so se odvijali v istem življenjskem okolju (tam, kjer se je hrana pridelovala, se je tudi porabljal). Fosfor, ki se je porabil za rast pridelkov na poljedelskih površinah, so nadomeščali z načrtnim kolobarjenjem in z uporabo s fosforjem bogatih naravnih gnojil, svoj delež pa so prispevale tudi redne rečne naplavine. Odpadni produkti (gnoj, gvano, iztrebki, ostanki pridelkov,...) so bili torej glavni dejavnik izboljšanja rodovitnosti obdelovalnih površin.

Uvedba umetnih mineralnih gnojil pa je omogočila lažje nadomeščanje fosforja v osiromašenih tleh po spravilu pridelkov. S tem se je, gledano splošno, v precejšnji meri zmanjšala raba naravnih gnojil kmetijskega in komunalnega izvora. Mineralna gnojila so omogočila pridelavo večje količine pridelkov, obenem pa je poljedelstvo začelo postajati dejavnost, ki prostorsko ni bila več nujno povezana z živinorejsko dejavnostjo. To se je še posebej močno odrazilo v razvitem svetu in potreba po mešanem kmetijstvu se je drastično zmanjšala. Ena od posledic je

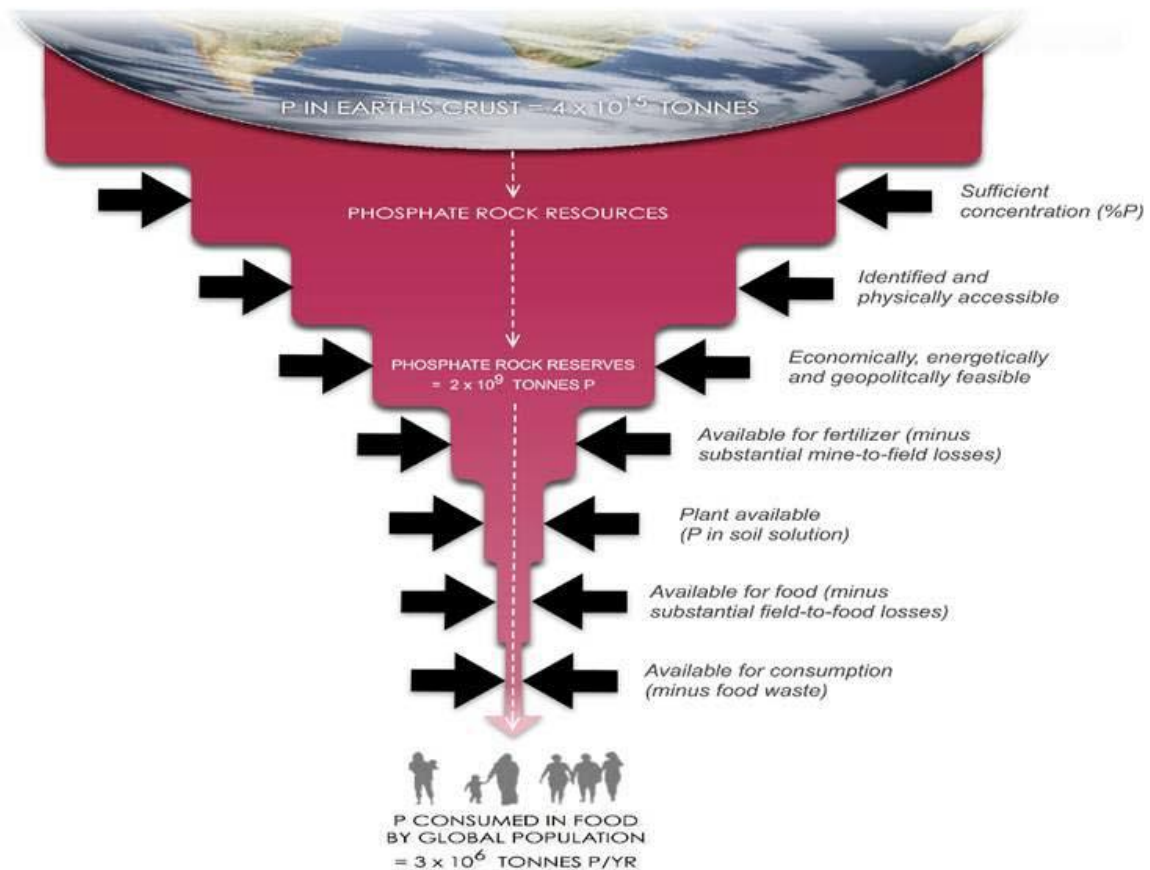
bil nastanek centrov intenzivne živinoreje v bližini gosto naseljenih področij. Uvoz hrane in krmil iz drugih držav je samo še dodatno zmanjšal povezavo med poljedelstvom in živinorejo, kar je rezultiralo v presežnih količinah živalskih iztrebkov in ostalih odpadnih produktov. Količine le-teh so se zaradi intenzivnosti posameznih dejavnosti zvečale do te mere, da jih okoliške obdelovalne površine niso mogle več v celoti absorbirati.

Uporaba umetnih gnojil ni omogočila samo intenzivnejše pridelave in specializacije kmetijskih dejavnosti, temveč je s tem omogočila tudi porast človeške populacije in obilnejše prehranjevalne navade. Žal se je v tem procesu vse manj odpadnih produktov vračalo na obdelovalne površine. Hlevski gnoj, na primer, marsikje sploh ni bil več obravnavan kot dragocen in pomemben vir fosfatov, ki se ga lahko uporabi za obogatitev obdelovalnih površin. Od te točke naprej uporaba naravnih gnojil in mešano kmetijstvo nista bila več nujni pogoj za pridelavo hrane.

Dandanes je pridelava hrane močno odvisna od fosfatnih gnojil, alternativnim virom fosforja pa se še ne posveča dovolj pozornosti. Ta miselnost lahko postane kmalu nevarna, saj so zaloge apatita, ki predstavlja glavni vir fosforja v umetnih gnojilih, kljub vsemu omejene. Prepričanje o samoumevni dostopnosti do hrane, ki je trenutno prisotno v razvitem svetu, bi se z zmanjšanjem zalog fosfatne rude lahko v prihajajočih desetletjih močno omajalo. Če upoštevamo še geopolitično situacijo, ugotovimo, da se glavna rezerva realno razpoložljive fosfatne rude nahaja le v peščici držav, ki lahko iz takšnih in drugačnih razlogov narekujejo in spreminjajo tržno ceno rude ter njenih derivatov (nazadnje so cene fosfatne rude v letih 2007 in 2008 poskočile v štirinajstih mesecih kar za 700 %). Pri tem velja omeniti tudi to, da ne glede na sorazmerno velike rezerve fosfatne rude le-ta ni povsod enako kvalitetna. V tem pogledu povzroča skrb predvsem vsebnost težkih kovin. Navadno so v fosfatni rudi prisotne sledi kadmija, koncentracija le-tega pa je odvisna od izvora kamnine, ki vsebuje fosfatno rudo. Fosfatna ruda vulkanskega izvora ima na primer zelo nizko vsebnost kadmija, medtem ko je v fosfatni rudi v sedimentnih kamninah ta vrednost precej višja. Z uporabo fosfatnih gnojil se torej lahko povečuje vsebnost kadmija v obdelovalnih površinah, kar povzroča nove težave. Seveda bodo v prihodnosti postale tudi tehnologije za odstranjevanje kadmija ekonomsko sprejemljivejše in bi ta element iz rude lahko odstranili, a to v kontekstu širše problematike in iskanja celostne rešitve v zvezi z uporabo fosfatne rude in mineralnih gnojil ne predstavlja bistvenega napredka. Vsa navedena dejstva namreč kažejo na to, da bi kmetijstvo v prihodnosti moralo postati manj odvisno od uporabe mineralnih fosfatnih gnojil.

3 Razpoložljivost zalog fosfatne rude

Ne glede na pogostnost fosforja v zemeljski skorji, se le majhen delež tega pojavlja v takšnih koncentracijah, ki upravičujejo pridobivanje fosfatne rude za uporabo v mineralnih gnojilih in drugih proizvodih (npr. fosforjeva kislina se uporablja tudi v industriji brezalkoholnih pijač, v proizvodnji pralnih praškov,...). Za nameček so bogata nahajališča fosfatne rude pogosto fizično nedostopna (na dnu oceanov) ali pa vsebnosti težkih kovin v rudi presegajo mejne dovoljene vrednosti. Vse našteto zelo zoži izbor nahajališč, ki omogočajo izkopavanje visoko kvalitetne in lahko dostopne fosfatne rude. Slika 1 prikazuje stopnje izgube fosforja v verigi porabe od ocenjenih zalog v zemeljski skorji do dejanskih razpoložljivih zalog za predelavo ter vse do končnega zaužitja hrane.



Slika 10.1: Izgube fosforja v verigi porabe preden se zaužije s hrano

Iz navedb na Sliki 10.1 je razvidno, da na razpoložljivost fosforja za proizvodnjo mineralnih gnojil in s tem hrane kot končnega produkta, vplivajo mnogi fizikalni, ekonomski, socialni in ekološki dejavniki. Zanimivo je tudi, da apatit oz. fosfatna ruda sodi med bolj pogoste in dobro drobljive primarne minerale, a je fosfor kljub temu od vseh najpomembnejših nutrientov biološko najmanj dostopen. Litosfera (zemeljska skorja) je namreč temeljni vir fosforja v biosferi, fosfati, v obliki kovinskih soli fosforjeve kisline, pa so v vodi slabo topni in jih je zato v vodi, ki jo rastline črpajo iz tal, razmeroma malo. Ker fosfatna ruda ni obnovljiv vir, bodo bogata nahajlišča v prihodnosti vedno redkejša. S tem se odpirajo mnoga vprašanja v zvezi s trajnostno rabo fosforja, ki pa jih je potrebno zastaviti v širšem kontekstu, saj se v verigi izgubljanja fosforja izgubljajo tudi drugi viri. Predvsem so tu pomembne energetske izgube in potrošnja vode pri proizvodnji fosforjeve kisline, obenem pa tudi izgube v kasnejših predelovalnih dejavnostih. Pri tem je potrebno upoštevati tudi obremenjujoče vplive na okolje, še zlasti vnos fosforja v hidrosfero in pojav eutrofikacije.

4 Okoljski vplivi izkopavanja fosfatne rude

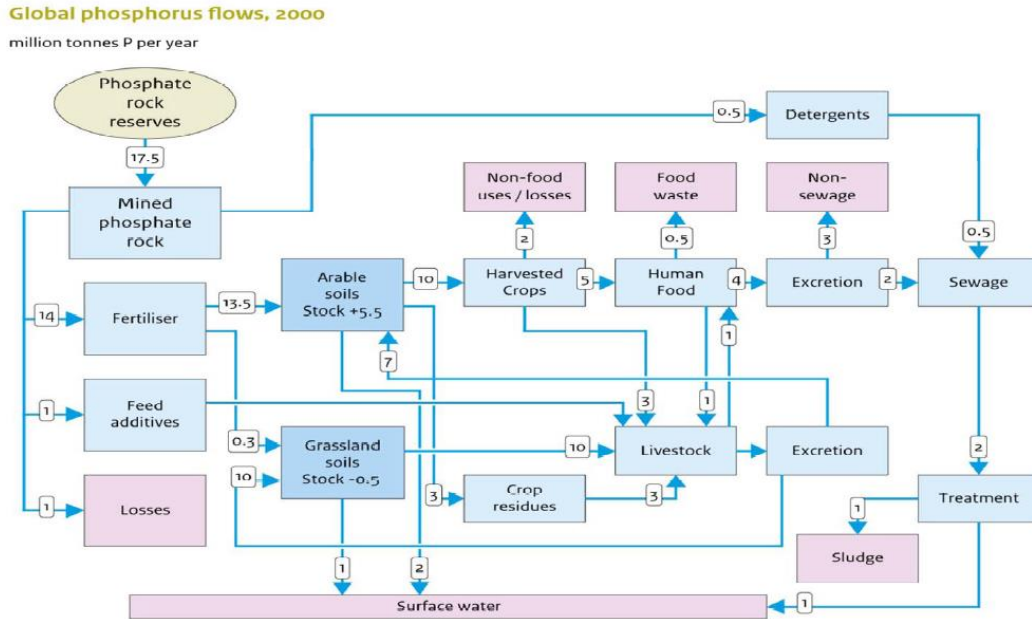
Izkopavanje fosfatne rude je proces, ki se odvija na velikih površinah, saj gre v glavnem za dnevne kope. Po izkopavanju se iz rude najprej odstranijo nečistoče. Ta proces vključuje različne separacijske metode kot so presejanje, izpiranje, separacija v hidrociklonih, flotacija in magnetna separacija. Tu gre za obsežne faze čiščenja z velikimi kapacitetami, pri katerih se porabi veliko energije in vode, nastajajo pa tudi velike količine stranskih produktov (npr. mulj, ki vsebuje glino, silikati, ki se ločijo pri flotaciji,...). Na lokacijah, kjer je omogočena uporaba cenovno ugodnega zemeljskega plina, se v pečeh izvaja tudi kalcinacija fosfatne rude, da se odstranijo nečistoče organskega izvora. Naslednja faza zajema pretvorbo fosfatne rude v

fosforno kislino, pri čemer sta v uporabi dva postopka: kemični in termični. Večina fosforjeve kisline ali superfosfata se proizvaja na prvi način, pri katerem fosfatna ruda reagira z žveplovo kislino. Če namesto žveplove uporabimo dušikovo kislino, dobimo nitrofosfat, v primeru uporabe fosforjeve kisline trojni superfosfat (TSP), z dodajanjem amoniaka pa še monoamonijev fosfat (MAP) in diamonijev fosfat (DAP). TSP, MAP in DAP so mineralna gnojila, ki danes obvladujejo svetovni trg. V procesu pretvorbe fosfatne rude v fosforjevo kislino, se v velikih količinah pojavlja še en stranski produkt – fosforjeva sadra, ki je nizko radioaktivna. Sadra se skladišči v ogromnih skladih ob nahajališčih fosforjeve rude in le majhen odstotek (~ 15%) se je uporabi naknadno v kmetijstvu in gradbeništvu.

Tudi glineni mulj, ki nastaja v fazi čiščenja rude, vsebuje toksične deleže urana in radija in se kot tak ne sme vračati v okolje. Odpadni glineni mulj se zato odvaja v umetna jezera, kjer se delci posedajo in nabirajo na dnu. Negativni vpliv umetnih jezer na okolje se kaže predvsem v prestrazanju določene količine naravnih padavin, saj je s tem oviran proces obnavljanja vodnih zalog v površinskih vodotokih in podtalnici. V primeru, da dno takšnega jezera začne puščati in toksične snovi pridejo v stik z okolico, pa sta lahko resno ogroženi flora in favna v okoliških rekah.

Intenzivno kmetijstvo, ki je daleč največji porabnik proizvodov, katerih osnovna surovina je fosfatna ruda, je poleg kanalizacijskih in določenih industrijskih odplak tudi najpogostejši izvor prekomerne vsebnosti fosfatov v vodnih telesih. Glavni mehanizem prenosa fosforja iz obdelovalnih površin v površinske vode je erozija tal, na območjih, kjer so tla nasičena s fosforjem, pa je za onesnaženje voda dovolj že izpiranje tal. Iz okoljevarstvenega vidika gre tu za dva med seboj povezana problema. Prvi je prekomerna vsebnost fosforja v zemlji, ki sicer ne zavira rasti poljščin, a vpliva na biotsko (ne)raznolikost ekosistema, drugi pa je onesnaženje vodotokov. Povečana koncentracija anorganskih hranil, kot so fosfati in nitrati, je namreč v jezerih, ribnikih in obalnih morjih gonilna sila evtrofikacije (t.j. prekomerne rasti vodnega rastlinja, še posebej alg).

Nevarnost pri uporabi mineralnih gnojil predstavlja tudi vsebnost težkih kovin, predvsem kadmija, ki se ga iz zemlje ne da preprosto odstraniti, ga pa iz zemlje črpajo rastline oziroma poljščine, ki jih gojimo na obdelovalnih površinah. Na »kontaminiranih« področjih lahko tako v sončnicah in oljni repici zaznamo povečano količino kadmija.



Slika 10.2: Svetovni fosforjevi tokovi v milijonih ton P na leto

Slika 10.2 prikazuje svetovne fosforjeve tokove, pri čemer so upoštevani prehrabena veriga, kmetijska industrija in kanalizacijski sistem.

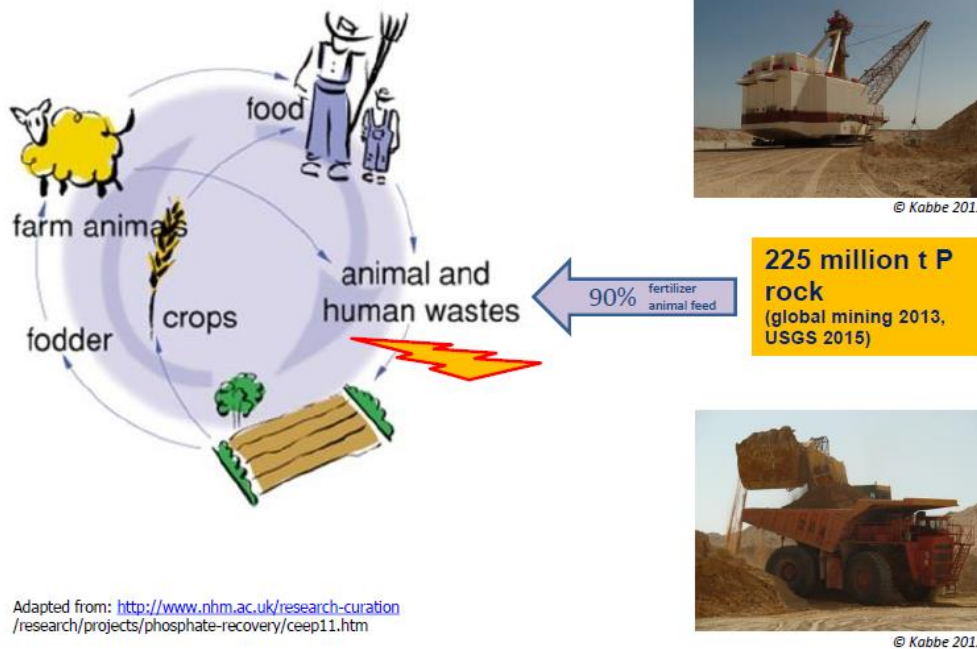
5 Alternativni viri fosforja

»Peak phosphorus« oziroma višek izkopavanja fosfatne rude, ki ga po nekaterih ocenah napovedujejo že v naslednjih 50 letih (čeprav bi po drugih ocenah lahko nastopil šele čez 300 let) je potrebno razumeti manj kot nevarnost in bolj kot vzpodbudo k raziskovanju in uvajanju novih tehnologij ter načinov ponovne uporabe fosforja. Usihanje najbolj dostopnih virov fosfatne rude sicer predstavlja potencialno nevarnost (zvišanje cen, politični pretresi,...), a to še ne pomeni, da bi človeštvo takoj ostalo brez virov fosforja (z napredovanjem tehnologij v rudarstvu bi na primer že izkopavanje siromašnejše fosfatne rude lahko nadomestilo primanjkljaj na tržišču). Tu gre predvsem za to, da se s povečanjem raznovrstnosti virov fosforja zagotovi enakomernjša svetovna in regionalna porazdelitev tega temeljnega nutrienta. Ker se trenutno približno 90 % vse izkopane fosfatne rude na svetu porabi za krmila in gnojila (Slika 10.3), torej za proizvodnjo hrane, tudi ne moremo iskati možnosti glede zmanjševanja njene porabe (razen, ko gre za potrato; na primer pretirano gnojenje z mineralnimi gnojili ali neskrbno, nemarno ravnanje s hrano). Zaključimo lahko, da je porabo fosfatne rude ob nespremenjeni skupni porabi fosforja možno omejiti in ustaliti edinole z uporabo alternativnih virov fosforja (npr. recikliranje in raba fosforja organskega izvora). S takšnim pristopom, ki ima učinke tako na globalnem kot na regionalnem nivoju, omejimo obseg energetsko zelo potratnega izkopavanja in transporta fosfatne rude, obenem pa v regijah, kjer so zaloge fosfatne rude majhne (npr. EU), zmanjšamo vnos težkih kovin »tujega« izvora v »domača« tla ter zaradi povečane samooskrbe iz alternativnih virov zagotovimo večjo varnost oskrbe s fosforjem, ki je povezana z nestanovitnostjo cen in političnimi razmerami v svetu.

Ker je antropogeno kroženje fosforja, ki zajema pridobivanje osnovne surovine (fosfatne rude), uporabo na poljih in živilski industriji ter porabo hrane z nastankom odpadnih produktov, dandanes zelo neučinkovito, so učinkovitejša raba, recikliranje in zmanjševanje odpadnih

produktov postali predmet mnogih raziskav, ki bi v bližnji prihodnosti lahko pripomogle k uvajanju trajnostne rabe fosforja.

The anthropogenic P-cycle



Slika 10.3: Antropogeno kroženje fosforja (90 % fosfatne rude se porabi za gnojila in krmila)

Pri trajnostni rabi fosforja iščemo odgovore na široko zastavljena in kompleksna vprašanja, ki jih je potrebno obravnavati celostno in interdisciplinarno. Če želimo v prihodnosti učinkovito zaključiti antropogeni fosforjev cikel, bo v splošnem potrebno ukrepati na treh ravneh: na izvoru (izkopavanje fosfatne rude), pri uporabi (učinkovitejša raba gnojil ter ohranjanje, zadrževanje fosforja na obdelovalnih površinah) ter pri ravnanju z odpadnimi produkti (zmanjšanje količin le-teh in reciklaža).

5.1 Učinkovitejša pridobivanje fosfatne rude

Učinki velikega povečanja cen fosfatne rude v letu 2008 so vidni tudi v pozitivnem smislu. Po ponovni ustalitvi cen so se vlaganja v panogo povečala, to pa je omogočilo povečanje učinkovitosti v nekaterih rudnikih. Uvedle so se številne tehnološke inovacije v povezavi z izgubljanjem osnovne surovine kot tudi pri obdelavi stranskih produktov. Izvedlo se je veliko ukrepov, ki so bili namenjeni zmanjšanju porabe energije in vode. Zaradi zaostrovanja zahtev glede vsebnosti težkih kovin (tu prednjači EU), se je povečala tudi čistost proizvodov. K napredku je prispevalo tudi zavedanje, da zaloge niso omejene in da je optimalnih zalog vedno manj. Tudi preglednost različnih vrst gnojil se je zaradi boljšega označevanja izboljšala. Ukrepi se navezujejo tudi na omejevanje fosfatov in fosforjevih spojin v pralnih sredstvih.

5.2 Učinkovitejša raba in zmanjševanje izgub v kmetijstvu

V poljedelstvu se učinkovitost rabe fosforja navezuje predvsem na njegovo prisotnost v tleh, da ga lahko poljščine črpajo za svojo rast, ter z nezaželenim odnašanjem in izpiranjem v površinske vode. Pomebno je, da imajo rastline na razpolago dovolj fosforja v vseh fazah rasti,

kar pomeni, da mora biti v zemlji na razpolago t.i. kritična raven fosforja, vendar pa ni dobro, če ga je preveč. Današnja raba mineralnih gnojil nosi pečat kmetovalnih praks, ki so se razvile še v času cenovno ugodnih mineralnih gnojil ter slabše okoljevarstvene zavednosti in osveščanja. Stvari se izboljšujejo na podlagi različnih programov in strategij za varstvo tal, vodotokov ter uvajanja sodobnih metod kmetovanja (npr. vbrizgavanje gnoja v tla, uporaba ustrezne količine in vrste gnojila ob primernem času, preverjanje ravni fosforja v obdelovalni zemlji,...), več naporov pa se vlaga tudi v zmanjševanje izgub fosforja zaradi erozije, ki jo povzročata veter in voda. K ohranjanju tal veliko pripomore tudi intenzivnejše kolobarjenje, učinkovitost uporabe gnojil pa se lahko bistveno izboljša tudi v zaprtih sistemih (vrtnarjenje).

Velik napredek je opazen tudi pri živinoreji, kjer se vsebnost fosforja v krmilih prilagaja glede na potrebe rejenih živali v različnih življenskih obdobjih. S takšnim pristopom se celokupno zmanjšuje poraba fosforja v hrani za živali, hkrati pa se povečuje njena učinkovitost. V zvezi z intenzivno živinorejo se sicer dotaknemo širše problematike, s katero se sooča sodobni človek in pri kateri poraba fosforja ni največja težava. Sodobna živinoreja je namreč kočljiva panoga, ki sproža mnoge polemike na več področjih (razmere v farmah, poraba vode, krčenje gozdov zaradi pridelovanja krme, zdravstveni vidiki,...) in presega okvir tega referata.

5.3 Viri fosforja v odpadnih produktih in ponovna uporaba

Tradicionalne tehnike, ki omogočajo vračanje fosforja v okolje, so na primer kompostiranje, gnojenje zemlje z bolj ali manj predhodno obdelanimi odplakami in gnojenje z živalskim gnojem ter ostanki pridelkov. Te tradicionalne oblike pa v razvitem svetu predstavljajo le majhen delež recikliranega fosforja v sklopu celotnega sistema ravnanja z odpadki. In čeprav v praksi pri ravnanju z odpadnimi produkti še marsikdaj ni vse v okviru regulativ, je napredek v državah, ki so ekološko bolj ozaveščene, občuten. Odpadni produkti, ki vsebujejo fosfor so na primer vsi biorazgradljivi odpadki (npr. kompost, pepel vrtnih rastlin in kuhinjskih odpadkov, pregnito blato,...), fosfor pa vsebujejo tudi ostanki hrane, živalski in človeški iztrebki, urin, kosti,... Kljub velikemu napredku okoljevarstvenih tehnologij v zadnjih desetletjih pa zaključevanje fosforjevega cikla do nedavnega ni bila prednostna naloga in je na tem področju zato še veliko nerešenih vprašanj. Skupne strategije upravljanja številnih tokov odpadkov iz kmetijstva, živinoreje in živilsko predelovalne industrije so šele v začetni fazi razvoja zato se velike količine fosforja nikoli ne prestrežejo. S tem ni mišljeno, da odpadki nekontrolirano končajo v okolju, temveč le, da tehnike obdelave odpadkov še niso prilagojene za reciklažo fosforja. Tako se na primer le majhen delež odpadnega mesa in kostne moke sežge, pepel pa uporabi za proizvodnjo fosforja. Ker se trenutno še vedno preveč biorazgradljivih komunalnih odpadkov odlaga na odlagališčih, kjer se izgubijo precejšnje količine fosforja, je pri ravnanju s temi odpadki potrebno sprejeti nove izzive in iskati nove, varne načine ponovne uporabe.

Drugi pomemben alternativni vir fosforja so odpadne vode. Zaradi raznovrstnosti odplak glede na njihov izvor (živinoreja, različne industrijske panoge, komunalne odplake,...) obstaja za obdelavo odpadnih vod na trgu veliko različnih in učinkovitih tehnologij, med katerimi so tudi tehnologije za odstranjevanje fosforja. Pri tem je zanimivo, da so se postopki za izločanje fosforja iz odpadnih vod razvijali prvenstveno zaradi pojava cvetenja alg v stoječih vodah (eutrofikacije) in ne zaradi pridobivanja fosforja. Glavno gonilo razvoja je bila zahteva, da se lahko v vodotoke spuščjo le odplake, ki ne vsebujejo prekomernih količin nutrientov (predvsem fosfatov in nitratov). Uporaba odpadnega blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu je bila v tem procesu sekundarnega pomena, pomisleke pa je povzročala (in jih še) tudi vsebnost težkih kovin ter drugih škodljivih snovi v odpadnem blatu. V prihodnosti se bo situacija zelo verjetno obrnila in prioriteta bo postala uporaba odpadnega blata v kmetijstvu, pri čemer pa bodo kriteriji glede

vsebnosti škodljivih snovi v blatu še strožji. Podobno kot pri tehnologijah za sežig se tudi pri tehnologijah za obdelavo odpadnih vod pojavlja težava, da so le-te trenutno prilagojene predvsem za odstranjevanje nečistoč in polutantov in ne toliko za njihovo ponovno uporabo, porajajoče tehnologije pa zaenkrat še ne upravičujejo potrebnih finančnih vložkov.

Alternativni viri fosforja so tudi frakcije organskih odpadnih produktov, kamor uvrščamo urin, fekalije, odpadno vodo iz gospodinjstev, živalske iztrebke, mrhovino, odpadke iz klavnic (kosti, kri,...) ter tudi odpadke iz živilske industrije. Pri inovativnih pristopih na tem področju prednjačijo Švedska, Nizozemska, Nemčija in Kanada. Omeniti velja na primer stranišča, kjer se fekalije in urin zbirajo ločeno. Iz frakcije urina z obarjanjem pridobivajo struvit (magnezijev amonijev fosfat), ki se uporablja kot gnojilo s počasnim sproščanjem, fekalije pa skupaj z ostalimi organskimi odpadki posušijo, s čimer močno zmanjšajo volumen odpadnega produkta (odpadno toploto pa izkoristijo za gretje domov). S koncentriranjem fosforja na izvoru tako zmanjšajo prostornino in vsebnost vode odpadnega produkta, s predelavo urina v struvit pa se izognejo oviram pri transportu in znatno zmanjšajo možnost zdravstvene ogroženosti zaradi morebitnih prisotnosti zdravil, hormonov ali bakterij, ki so bile mogoče prisotne v urinu pred predelavo v struvit.

6 Zaključek

Trajnostna raba fosforja bo v prihodnosti le še pridobivala na pomenu, saj se z večanjem števila prebivalstva veča tudi potreba po hrani. Daleč največji delež fosforja, ki ga danes zaužijemo s hrano, je fosfor iz fosfatne rude. Ker se bogata nahajališča fosfatne rude nahajajo le v peščici držav in ker gre za neobnovljiv vir, se zadnje čase tej temi posveča vedno več pozornosti. Glavni namen posvetovanj, izobraževanj in dokumentarnih filmov s to tematiko je, da pride iz okvirov akademskega sveta zavedanje o omejenosti zaloga fosfatne rude tudi v širšo javnost. Ob trenutnem izobilju mineralnih gnojil se seveda hitro pojavijo pomisleki glede nujnosti ukrepanja. Takšno prepričanje pa je gotovo zavajajoče, saj se lahko v primeru neukrepanja prihodnji rodovi soočijo s hudim pomanjkanjem hrane. Ker je fosfor eden od temeljnih elementov potrebnih za obstoj življenja in kot tak nenadomestljiv, bo potrebno idejo o trajnostni rabi fosforja, ki zagotavlja vire fosforja tudi v lokalnem okolju, kmalu začeti uvajati v praksi.

Literature

- [1] Evropska komisija, "Sporočilo komisije evropskemu parlamentu, svetu, evropskemu ekonomsko-socialnemu odboru in odboru regij," Bruselj, 8.7.2013 COM(2013) 517 final
- [2] N. Samec, "Inženirstvo okolja (Študijsko gradivo za univerzitetni študijski program strojništva – smer okoljevarstveno inženirstvo)," Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2005.
- [3] Editors: Tina Schmid Neset & Dana Cordell "Phosphorus and global food security: A Synthesis," Proceedings from the International Workshop on Phosphorus and Global Food Security 24th - 26th February, 2010
- [4] J.J. Schröder, D. Cordell, A.L. Smit & A. Rosemarin "Sustainable Use of Phosphorus," EU Tender ENV.B.1/ETU/2009/0025
- [5] <http://www.asio.cz/en/> "Technologies for phosphorus recycling from water environment"
- [6] www.p-rex.eu, "The anthropogenic P-cycle"
- [7] www.ifu.com, Moritz Bühner "How to Recycle Phosphorus, the Most Least-Known Scarce Resource," May 6, 2013