

Áburður og framleiðsla hans

Teitur Gunnarsson

1. útgáfa 1998

2. útgáfa 2008- drög



MANNVIT

VERKFRÆÐISTOFA

AF HVERJU ÁBURÐUR

1. **Áburðarefni eru unninn úr náttúrunni** – þau eru ekki gerð af mannahöndum. Það er erfitt að ímynda sér neitt náttúrulegra en frumefni sem finnast í náttúrunni. Til dæmis köfnunarefni (N), fosfór (P) og kali (K). Það hljómar vægast sagt undarlegt að heyra þessi frumefni sem eru þrjú algengustu áburðarefni kölluð “ónáttúruleg” og “ólífræn”. Staðreyndin er að N, P og K eru víða í náttúrunni. Vandinn er að þau eru sjaldan á réttum stað eða á réttu formi til að nýtast plöntunum. Það sem áburðarframleiðendur gera er að uppskera þessi áburðarefni úr náttúrunni og koma þeim á það form sem plönturnar geta nýtt.
2. **Verið er að skila jarðveginum efnunum sem tekin voru burt í uppskerunni.** Hvað gerirðu ef þú ert búinn með matinn úr ísskápnum? Þú ferð út í búð og kaupir meira til að fylla ísskápinn aftur eða hvað? Þegar jurtirnar eru búnar með matinn í jarðveginum þarf að fara út í búð og kaupa meiri mat og fylla á jarðvegin. Það er það sem áburðargjöfin gerir. Hún endurnýjar matarabirgðir plantanna í jarðveginum svo aftur megi vaxa ný uppskera úr moldinni.
3. **Heimurinn VERÐUR að nýta áburð til að framfleyta íbúum jarðar.** Árið 2025 verður fjöldi jarðarbúa yfir 8 milljarðar. Það er fjölgun um 100 milljónir á ári, 273 þúsund á dag, 4.500 á mínútu, 76 á sekúndu! Ef við reyndum að brauðfæða heiminn án áburðar þá myndu milljarðar manna svelta til bana og þá fyrst myndi verð matvæla hækka úr hömlu. Eins og Nóbilverðlaunahafinn Normann Borlaug sagði: “Líf án áburðar er ekkert líf”.
4. **Nútímaleg áburðargjöf hjálpar til að varðveita umhverfi okkar og lífsmáta.** Ef bændur gætu ekki endurnýjað frjósemi jarðvegarins eftir hverja uppskeru þyrfti að nota meginhluta yfirborðs jarðar til matvælaframleiðslu vegna síaukins fjölda jarðarbúa. Vegna árangurs vísindamanna, nútíma áburðartækni og stjórnunarháttanna geta bændur í dag brauðfætt tvöfalt fleira fólk á helmingi minna landssvæði heldur en fyrir 50 árum og þannig skapa rými fyrir borgir, skóga, þjóðgarða og verndarsvæði fyrir gróður og dýr.
5. **Bændur eru mestu umhverfissinnarnir.** Bændur eru um alla jörðina. Þeir ekki einungis elska land sitt heldur eiga allt sitt undir að fá af því uppskeru til langs tíma. Bændur hafa ekki einungis staðið vörð um náttúruna, skógana, þjóðgarðana og verndarsvæðin – þeim hefur líka tekist á síðustu 50 árum að brauðfæða heimsbyggðina með því að nota til þess minna og minna land. Þeir eru meira en bændur – þeir eru líffræðingar, efnafræðingar og jarðfræðingar. Þeir eru hinir sönnu umhverfissinnar.

HVAÐ ER ÁBURÐUR

Jurtanærandi frumefni eru 18-20 talsins og eru, fyrir utan kolefni, súrefni og vetni, flokkuð sem meginæringarefni og snefilefni.

Framboð kolefnis, súrefnis og vetnis er yfirleitt mikið í náttúrunni og sjaldan sem bóndinn þarf að hafa afskipti af tilfærslu þeirra. Frá þessu eru þó mikilvægar undantekningar t.d. vökvun til að færa plöntum vatn og þar með vetni og súrefni og koltvíoxíðgjöf í gróðurhúsum til að færa plöntum aukið kolefni.

Meginnæringarefni eru þau efni sem plöntur þurfa í miklu magni oft 10-300 kg á hektara á ári. Þessi efni eru:

- N** – köfnunarefni, nitur (Nitrogen) **Ca** – kalsíum (Calcium)
P – fosfór (Phosphorus) **Mg** – magníum (Magnesium)
K – kalí (Kalium, potassium) **S** – brennisteinn (Sulphur)

Oft eru N, P og K kölluð aðalnæringarefni og áburður metinn eftir innihaldi þeirra.

Snefilefni eru efni sem plöntur þurfa í magni frá u.þ.b. 1 kg niður í nokkur grömm á hektara. Þetta eru efni:

- Cl** – klór (Chlorine) **Zn** – sínk (Zinc)
Na – natrín (Natrium, Sodium) **Cu** – kopar (Cuprium, copper)
Mn – mangan (Manganese) **Mo** – molybden (Molybdenum)
Fe – járn (Ferrum, iron) **Co** – kóbolt (Cobalt)
B – bór (Boron)

Tafla 1. Mikilvægustu jurtanæringarefni og jónaformin sem jurtir taka þau upp á.

| Efni | Tákn | Katjónir | Anjónir |
|---------------------|------|------------------------------|--|
| Köfnunarefni, nitur | N | NH ₄ ⁺ | NO ₃ ⁻ |
| Fosfór | P | | H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ⁻² |
| Kalíum | K | K ⁺ | |
| Kalsíum | Ca | Ca ⁺² | |
| Magnesium | Mg | Mg ⁺² | |
| Brennisteinn | S | | SO ₄ ⁻² |
| Bór | B | | B ₄ O ₇ ⁻ , H ₂ BO ₃ ⁻ |
| Mangan | Mn | Mn ⁺² | |
| Kopar | Cu | Cu ⁺² | |
| Sínk | Zn | Zn ⁺² | |
| Járn | Fe | Fe ⁺² | |
| Molybden | Mo | | MoO ₄ ⁻² |

STÆRÐ ÁBURÐARIDNADARINS

Á árinu 2006 var heimsframleiðsla ammoníaks sem er helsta uppspretta köfnunarefnis 150 milljón tonn. Framleiðsla úrea var 135 milljónir tonna og ammoníumnítrats 39 milljón tonn. Heildarframleiðsla köfnunarefnissambanda samsvaraði um 87 milljón tonnum af köfnunarefni. Framleiðsla ammoníaks á Íslandi hætti árið 2000 en var lengst af um 9.000 tonn eða minni en 0,01% af heimsframleiðslunni.

Vinnsla hráfosfats í heiminum árið 2006 var um 170 milljón tonn sem samsvarar um 52 milljón tonnum af P₂O₅.

Framleiðsla kalíefnasambanda árið 2006 var um 48 milljón tonn og það samsvarar um 29 milljón tonnum af K₂O.

Áætluð áburðarnotkun í heiminum á árunum um aldamótin 2000 var um 140 milljón tonn, reiknað í hreinum efnum. Þar af var um 63% notuð í þróunarlöndum en aðeins

um 37% í þróuðum löndunum og hafði hlutfall þróuðu landanna minnkað úr 88% árið 1960. Um 60% af þessum eignum var köfnunarefni og hefur hlutfall þess aukist úr 36% síðan 1960. Á sama tíma hefur hlutfall fosfórs minnkað úr 36% í 24% og kalís úr 24% í 16%. Talið er að árið 2000 hafi 2,2 milljarðar manna átt líf sitt undir notkun áburðar til matvælaframleiðslu. Talið er að fram til 2030 muni notkun tilbúins áburðar aukast í 170-200 milljón tonn á ári og er mestrar aukningar að vænta í Asíu og norðanverðri Afríku.

Í sjálfbærri matvælaframleiðslu er nauðsynlegt að viðhalda og auka frjósemi jarðvegs um allan heim. Áburður er lykillinn að því að hægt sé að halda landbúnaðarlandi frjósömu og að koma í veg fyrir eyðingu jarðvegs. Hæfileg áburðarnotkun skilar til baka þeim næringarefnum sem uppskeran hefur tekið úr jarðveginum.

Andstæðingar tilbúins áburðar halda því fram að hann minnki magn lífrænna efna í jarðvegi. Rannsóknir sýna að tilbúinn áburður er betri en lífrænn áburður við að færa jarðvegi næringarefni. Tilbúinn áburður eykur því vöxt plantna umfram lífrænan áburð og eykur þannig magn lífrænna efna í jarðvegi þar sem magn jurtaleyfa sem eftir verða í moldinni eykst. Í mörgum tilvikum er þó best að nota lífrænan og tilbúinn áburð saman til að veða hvorn annan upp við að færa jarðveginum öll nauðsynleg næringarefni.

HRÁEFNAFRAMBOÐ

Margar skýrslur eru til um framboð hráefna til áburðarframleiðslu í heiminum til framtíðar. Niðurstöðurnar eru nokkuð misvísandi en gefa þó ákveðnar vísbendingar.

Köfnunarefni er unnið úr loftinu og borið á jörðu, þar sem köfnunarefnið losnar smám saman fyrir tilverknad afnítunarbaktería. Hér er um náttúrulega hringrás að ræða þannig að aldrei mun verða skortur á köfnunarefni sem hráefni. Hins vegar eru um takmarkandi þætti að ræða varðandi núverandi tækni til að vinna köfnunarefni úr lofti þ.e. vetnið sem þarf til ammoníakframleiðslunnar.

Núverandi hráefni til vetnisframleiðslu eru:

- | | |
|---------------------------|---|
| Rafgreining á vatni | umhverfisvænt ef gert með vatnsorku, en dýrt. |
| Gufuumbreyting á gasi | ódyrast þar sem annar markaður er ekki fyrir hendi fyrir gasið. |
| Hlutoxun á kolum eða koxi | ekki umhverfisvænt, en hagkvæmara en rafgreining. |

Ammoníakið er notað til framleiðslu á “tæknilegum” köfnunarefnissamböndum (og er þá átt við sprengiefni, plastefni og fleira), ammoníumnítrati og öðrum nítrötum, urea, ammoníumsúlfati, ammoníumfosfati, fljótandi áburðarblöndum og fleiru.

Kalíumbirgðir heimsins sem nú eru nýttar eru aðallega vatnsleysanleg kalíumsölt úr saltlögum, sem mynduðust fyrir meira en 200 milljón árum við uppgufun á innhöfum. Þetta eru aðallega sylvín (KCl), karnallít ($\text{KMgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) og kainít ($\text{KMgClSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Þessi innhöf voru þar sem nú er Þýskaland (Strassfurt), Frakkland (Elsass), Pólland, Rússland (Úral), BNA (Nýja Mexíkó), Kanada (Saskatchewan) og England (Tees). Miðað við áætlaða notkun næstu áratugina má ætla að þekktar birgðir endist næstu 2000 árin. Auk þess er talsvert kalíum í fleiri bergtegundum, t.d. glimmer og feltspati.

Kalsíum finnst í nær óendanlegu magni í kalksteini, skeljasandi og í gipsi. Gips inniheldur auk þess einnig brennistein, þannig að enginn skortur virðist fyrirsjáanlegur á honum.

Þekktar birgðir **fosfórs** eru um 450.000 milljón tonn P sem talið er endist 345 ár miðað við núverandi notkun. Fosfór er afar misdreift í jarðskorpunni og víðast hvar í afar litlum mæli. Mest af fosfórnum er í steindinni apatít ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{F},\text{OH})_2$) en einnig er nokkuð í fosfóríti sem er í reynd aðeins illa kristallað apatít. F^- og OH^- jónirnar geta komið hvor fyrir aðra í kristallinum, en F^- er oftast í meira mæli í fosfóríti.

Helstu svæði þar sem fosfór finnst í jörðu:

| | | |
|---------------------------------|----------|-----------------------|
| Norðurafrika (Túnis-Tógó) | fosfórít | Cd innihald 30-90 ppm |
| USA (Flórída, Idahó, Tennessee) | fosfórít | Cd innihald 6-100 ppm |
| Rússland (Kolaskaginn) | apatít | Cd innihald 0-1 ppm |

Auk þess finnst umtalsverður fosfór í Kína, Suður Afríku, Brasilú og Kanada.

Magnesium finnst í saltnámunum með kalíinu í karnallíti ($\text{KMgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) og kainíti ($\text{KMgClSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) eins og áður sagði, en jafnframt í kíseríti ($\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Auk þess er magnesium í dólómíti ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) og magnesíti (MgCO_3). Á síðari árum hefur sjór sífellt orðið mikilvægari magnesíumuppspretta, einkum við framleiðslu magnesíummálms.

Bór er að finna í sjó eða um 5 mg í lítra. Helstu bórnámurnar eru því á líkan hátt og kalínámur saltlög úr uppþornuðum sjávarbotnum. Langmest af bórframleiðslu heims er í Bandaríkjunum, þar sem unnið er bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) úr miklum saltlögum í Utah og Kaliforníu.

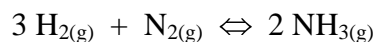
VINNSLA N, P OG K Í NÝTANLEGU FORMI ÚR HRÁEFNUM

Köfnunarefni er almennt auðleyst og nýtanlegt á forminu ammoníum (NH_4^+) og nítrat (NO_3^-). Helstu efnin sem notuð eru til áburðargjafar eru:

| | %N | |
|--------------------------------------|----|--------------------------------|
| NaNO_3 | 16 | Chilesaltpétur |
| $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ | 17 | Noregssaltpétur, kalksaltpétur |
| NH_4NO_3 | 35 | Ammoníumnítrat |
| NH_3 | 83 | Ammoníak |
| 25% NH_3 | 20 | Salmíakspíritus |
| CaCN_2 | 35 | Tröllamjöl |
| $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ | 47 | Þvagefni, úrea |
| $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ | 21 | Ammoníumsúlfat |
| $\text{H}_2\text{NH}_4\text{PO}_4$ | 11 | Mónóammoníumfosfat |
| $\text{H}(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$ | 21 | Díammoníumfosfat |

Víða í nágrannalöndum okkar hefur dreifing á köfnunarefni á fljótandi formi þ.e.a.s. $\text{NH}_3(\text{l})$ eða í vatnslausn köfnunarefnissalta náð verulegri útbreiðslu.

Segja má að nær öll framleiðsla köfnunarefnissambanda byggji á vinnslu úr ammoníaki. Framleiðsla ammoníaks byggist á uppfinningu þjóðverjanna Haber og Bosch frá 1909. Blandað er saman vetni og köfnunarefni í hlutföllunum 3:1 og þjappað í um 200 Bar og hitað í 500°C í viðurvist hvata:



Hluti gasanna hvarfast og myndar ammoníak, sem er kælt og þéttist úr blöndunni áður en nýju gasi er bætt við og hringurinn hefst að nýju. Stærð nýrra verksmiðja hefur vaxið hratt og var oft um 30t/dag fyrstu áratuginna, en er vart undir 1.500 t/dag síðustu árin. Dýrasti hluti vinnslunnar er að útvega vetnið og þjappa gasinu uppí 200 Bar. Hjá Áburðarverksmiðjunni hf. er þetta vetni framleitt með rafgreiningu á vatni. Þetta er umhverfisvænasta aðferðin sem notuð er ef um vatnsorku er að ræða, en mjög kostnaðarsöm vegna raforkunnar og rafgreinanna. Víðast hvar erlendis hefur framleiðsla vetnis úr jarðgasi eða fljótandi gasi verið valin vegna kostnaðar. Þá verður framleiðsla ammoníaks úr jarðgasi vænlegur kostur þar sem erfitt er að selja gasið til annarrar nýtingar t.d. fjarrí iðnaðarsvæðum eða þéttbýli sem þarfnast upphitunar. Dæmi um þetta eru svæði í Rússlandi, Trinidad og Mexíkó.

Jarðgasinu er breytt í vetni á eftirfarandi hátt:

- 1) $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g})$
- 2) $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$

Fyrri skrefið er mjög innvermið og þarf að brenna hluta af gasinu til að halda því gangandi. Þetta er stundum gert með því að setja loft með gasinu og gufunni inni ferilinn og fæst þá köfnunarefni með í blönduna strax. Fyrri aðferðin er nefnd “steam reforming” en sú síðari “partial oxidation”. Oft er blanda þessarra aðferða valin og þá nefnd „autothermal“.

Þar sem vetnið er framleitt með þessum hætti verður til verulegt magn koldíoxíðs, sem aukaafurð. Til að reyna að nýta þetta koldíoxíð hafa margir ammoníak-framleiðendur því hafið framleiðslu á úrea úr ammoníaki og koldíoxíði:

- 1) $2 \text{NH}_{3(\text{g})} + \text{CO}_{2(\text{g})} \rightleftharpoons \text{NH}_2\text{-CO-ONH}_{4(\text{s})}$
- 2) $\text{NH}_2\text{-CO-ONH}_{4(\text{l})} \rightleftharpoons \text{NH}_2\text{-CO-NH}_{2(\text{l})} + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

Út kemur um 70% úrea lausn sem er prilluð og þurrkuð. Úrea hefur náð miklum vinsældum meðal bænda í heitari löndum, einkum í SA Asíu, þar sem hrísgrjónarækt er mikil. Úrea hentar hins vegar illa í NPK blöndur og hefur ekki náð verulegri útbreiðslu í Evrópu.

Flestar áburðarverksmiðjur nota hluta ammoníaks síns til framleiðslu á saltpéturssýru, HNO_3 :

- 1) $4 \text{NH}_3(\text{g}) + 5 \text{O}_2(\text{g}) \Rightarrow 4 \text{NO}(\text{g}) + 6 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
- 2) $2 \text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$
- 3) $3 \text{NO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons 2 \text{HNO}_3(\text{l}) + \text{NO}(\text{g})$

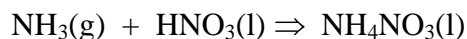
Ammoníakgas er blandað lofti og brennt með aðstoð platínuhvata yfir í NO. Við kælingu og umframloft breytist NO í NO_2 , sem síðan er þvegið með vatni og framleidd saltpéturssýra. Nýtt NO myndast við það sem þarf að oxa aftur í NO_2 og þvo það og svo koll af kalli.

Þrjár gerðir af sýruverksmiðjum eru í notkun:

- 1) Mið-mið þrýstingsverksmiðjur
- 2) Lág-há þrýstingsverksmiðjur
- 3) Há-há þrýstingsverksmiður.

Þar sem átt er við annars vegar þrýsting við ammoníakbrennsluna og hins vegar þrýsting við gasþvottinn. Segja má að nýtni í brennslunni sé því meiri sem þrýstingur er lægri sem og minna platínutap, en nýtni í gasþvotti er því meiri sem þrýstingur er hærri. Verksmiðjur af gerð 2) eru því fræðilega hagkvæmastar, en á móti kemur að þær eru dýrari í uppsetningu og viðhaldi, þar sem setja þarf upp þjöppu til að þjappa gasinu frá brennaranum upp í háan þrýsting. Þessi aðferð er því yfirleitt aðeins beitt í mjög stórum verksmiðjum. Nýtni í sýruverksmiðjum er yfirleitt á bilinu 93-96% reiknað á ammoníaki og nýtni verksmiðjunnar í Gufunesi er um 95%, en hún er af gerð 1) þ.e. brennsla og gasþvottur er við sama þrýsting (6 Bar).

Saltpéturssýran er oftast notuð til að framleiða ammoníumnítrat, sem er t.d. aðalköfnunarefnisgjafinn í íslenskum áburðarblöndum:



Þetta er útvermið hvarf og vatnið sem í sýrunni er sýður upp og myndar gufu, sem oft er virkjuð. Hjá Áburðarverksmiðjunni er það þó ekki gert, þar sem á þeim tíma sem verksmiðja hennar var byggð þótti ekki óhætt að setja nítratmyndara undir þrýsting. Fljótandi ammoníumnítratið er svo látið renna yfir duftblöndu annarra hráefna og myndar korn þegar það storknar. Ammoníumnítrat komst töluvert í fréttir 1947 þegar mikil sprenging varð í skipi í Bandaríkjunum, sem verið var að lesta með ammoníumnítrati. Eldur kom upp í olúfarmi í lest skipsins og var lestinni lokað til að kæfa eldinn. Ammoníumnítrat klofnar hins vegar við upphitun og gefur frá sér súrefni sem viðheldur og eykur brunann, hitinn eykst og ammoníumnítratið bráðnar. Talið er að bráðið ammoníumnítrat hafi runnið saman við brennandi olúna og myndað ANFO, sem er sprengiefni. Viðtækar rannsóknir voru gerðar á öryggi ammoníumnítrats í kjölfarið. Niðurstaðan var að með rétttri meðhöndlun væri það öruggt efni. Hafa verður í huga að efnið er súrefnisgjafi (oxidizing agent) og klofnar við upphitun. Öruggasta geymslan er því undir beru lofti og fjarri eldfimum efnum.

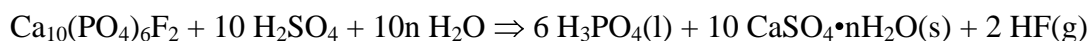
Ammoníumsúlfat er oftast framleitt sem aukaafurð. Við bruna brennisteinsríkra kola í orkuverum losnar SO_2 og fer með reyknum. Það er oxað í SO_3 og þvegið með ammoníaki og vatni. Töluvert er af slíku efni á markaði, einkum frá Rússlandi. Þetta er oft ódýrt efni en inniheldur mikið af aukaefnum úr reyknum m.a. þungmálma. Við framleiðslu á caprolactam, sem notað er í nylon 6 (pólýamíð) verður til mjög hreint ammoníumsúlfat. Framleiðsla ammoníumsúlfats með þessum hætti hefur þó minnkað mikið undanfarin ár með bættum framleiðsluáðferðum caprolactams. Eftirspurn eftir ammoníumsúlfati hefur verið vaxandi þar sem brennisteinsþörf í Evrópu og N-Ameríku fer vaxandi með minnkandi mengun. Súrt regn inniheldur töluvert af brennisteinssýru og áratugum saman var þetta nægilegt magn fyrir ræktarland á þessum slóðum.

Hráefni til **fosfat**framleiðslu er kallað hráfosfat, ýmist apatít eða fosfórít ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$). Segja má að apatít sé gert úr stórum kristöllum, en fosfórít úr litlum og inniheldur auk þess oft talsvert af kalsíumkarbónati. Fosfórít er því hvarfgjarnara og var apatít lítt notað fyrir seinni heimstyrjöldina. Hráfosfat er brotið, malað og styrkt með fleytingu. Fosfatinnihald Kolaapatíts er það hæsta sem fæst eða nálægt 40% P_2O_5 eða 85% $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ BPL.

Fosfatið er ekki á nýtanlegu formi fyrir plöntur í hráfosfatinu, til þess er það alltof torleyst. Til þess að gera fosfatið nýtanlegt er yfirleitt farin sú leið að leysa það upp með síru. Mismunandi vörur fást eftir því hvaða síra er notuð:

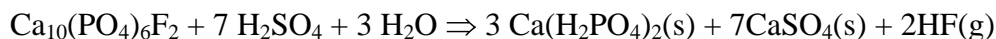
- | | | |
|----|------------------|---|
| 1) | brennisteinssýra | súperfosfat eða fosfórsýra |
| 2) | fosfórsýra | þrífosfat |
| 3) | saltpéturssýra | blandaður áburður (NP eða NPK) |
| 4) | saltsýra | fóðurfosfat ($\text{CaHPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) |

Við framleiðslu á fosfórsýru úr hráfosfati með brennisteinssýru verður eftirfarandi efnahvarf:



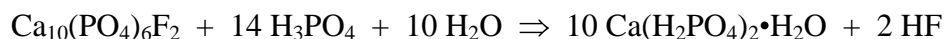
Hér er gerð og stærð gipskristallanna, sem myndast, stýrt með vatnsinnihaldinu og hitanum þannig að blandan verði auðsúð. Vetrísflúoríðið hvarfast áfram við kísilóhreinindi í blöndunni og myndar kísilhexaflúorsýru, sem gufar upp og er þvegin úr afgasinu og seld. Síran sem fæst með þessum hætti er um 40% og þarf að styrkja hana í 70% ef það á að nota hana til framleiðslu á þrífosfati. Mikill vandi stafar af gipsinu sem myndast í efnahvarfinu og erfitt er að finna not fyrir. Það er of óhreint til að nota í byggingargips nema í einstaka tilfellum og þarf oftast að koma því fyrir í landfyllingum.

Súperfosfat er framleitt úr hráfosfati með minni brennisteinssýru og mun minna vatni en ef fosfórsýra er framleidd:



Hvarfið verður í tveimur þrepum. Fyrst hvarfast brennisteinssýran og myndar fosfórsýru, en hún hvarfast svo áfram við hráfosfatið og myndar mónókalsíumfosfat. Þegar efnunum er blandað saman myndast fyrst vellitur sem smám saman þykkar og verður að föstu efni. Hvarfatíminn í verksmiðju er um 3 tímar, en framhaldshvarfið tekur 2-4 vikur á lager áður en efnið er kornað eða blandað öðrum áburðarefnum.

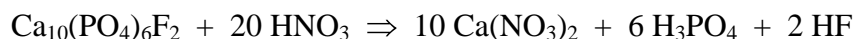
Þrífosfat er framleitt með því að blanda fosfórsýru saman við hráfosfatið. Kosturinn er sá að þá fæst vara sem ekki inniheldur gips sem ballest:



Fosfatinnihald þrífosfatsins er um 45% P_2O_5 og því sparast verulegur flutningskostnaður miðað við súperfosfat.

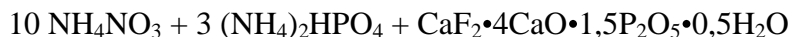
PK áburður er framleiddur með því að blanda KCl eða K_2SO_4 saman við þrífosfat, súperfosfat eða blöndu þeirra.

NP áburður eða nítrófosfat. Tvær gerðir af áburði eru framleiddar með þessari aðferð, kalksaltpétur og NP blöndur (Hægt er að framleiða NPK blöndur). Nokkrar mismunandi útfærslur eru til, en í aðalatriðum er hráfosfatið leyst í saltpéturssýru:



Með kælingu er helmingur kalsíumnítratsins felldur út og hreinsaður frá í skilvindu, kornaður og seldur sem Noregssaltpétur eða kalksaltpétur. Vökvinn, sem eftir er, er hlutleystur með ammoníaki:





Þessi blanda er styrkt eins og hægt er og hægt er að blanda í hana bráðnu ammoníumnítrati eða ammoníumfosfati eftir því hvaða blöndu á að framleiða. Alltaf þegar fosfatafurðir eru ammoneraðar á þennan hátt má búast við að hluti fosfatsins breytist í hydroxýlapatít ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$) sem hefur í för með sér lækun á vatnsleysanleika fosfatsins. Til að draga úr þessu hvarfi er oft bætt úti blönduna um 1% af MgSO_4 fyrir hvarfið við ammoníak. Engu að síður er það einkenni á nitrófosfatblöndum að í þeim er vatnsleysanleiki fosfatsins tiltölulega lágur. Í þessar blöndur má einnig blanda KCl eða K_2SO_4 til að búa til NPK blöndur. Nitrófosfataðferðin er töluvert útbreidd í Evrópu, þar sem Norsk Hydro, BASF og fleiri fyrirtæki notast við þessa tækni og trú á að með henni sé hægt að framleiða ódýrari áburð.

NPK blöndur með ammoníumfosfataðferðinni. Besta aðferðin við að framleiða NPK blöndur með háum styrk allra næringarefna hefur lengi verið álitin ammoníumfosfat aðferðin, þar sem blanda saltþéturssýru, fosfórsýru og brennisteinssýru er hlutleyst með ammoníaki. Blanda ammoníumnítrats, ammoníumfosfats og ammoníumsúlfats myndast, sem svo er blandað saman við KCl eða K_2SO_4 til að búa til NPK blöndur.

Hjá Áburðarverksmiðjunni hf í Gufunesi var afbrigði af þessari síðustu aðferð valið þegar NPK blöndunarverksmiðjan var byggð 1972. Saltþéturssýra er hlutleyst með ammoníaki og síðan er mónóammoníumfosfati, kalíumklóríði eða kalíumsúlfati, magnesíum- eða ammoníumsúlfati og möluðum skeljasandi blandað saman við til að búa til NPK blöndur með Ca, Mg og S.

Kalíklóríð er framleitt úr saltblöndunum með ýmsum aðferðum t.d.:

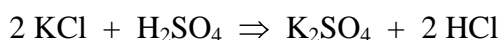
Hitaleysingu byggist á mismunandi leysni salta í blöndunni

Fleytingu Blanda af leysingu og fleytingu (sylvínít)

Stöðurafskiljun byggist á mismunandi stöðurafeiginleikum saltanna

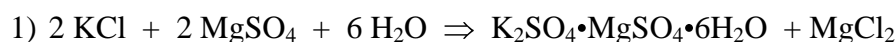
Allri vinnslu kalíklóríðs fylgir mikið magn saltra aukaafurða, sem áður fyrr voru settar í ár og vötn og leiddu til auðnar á viðkomandi vatnasvæði. Nú er þetta víðast aflagt og þessum saltafurðum er oft dælt með háum þrýstingi djúpt í jörðu.

Kalísúlfat er framleitt úr kalíklóríði með brennisteinssýru:



Hér þarf að finna not fyrir saltsýruna sem er aukaafurð.

Önnur aðferð er að láta kalíklóríð hvarfast við magnesíumsúlfat:

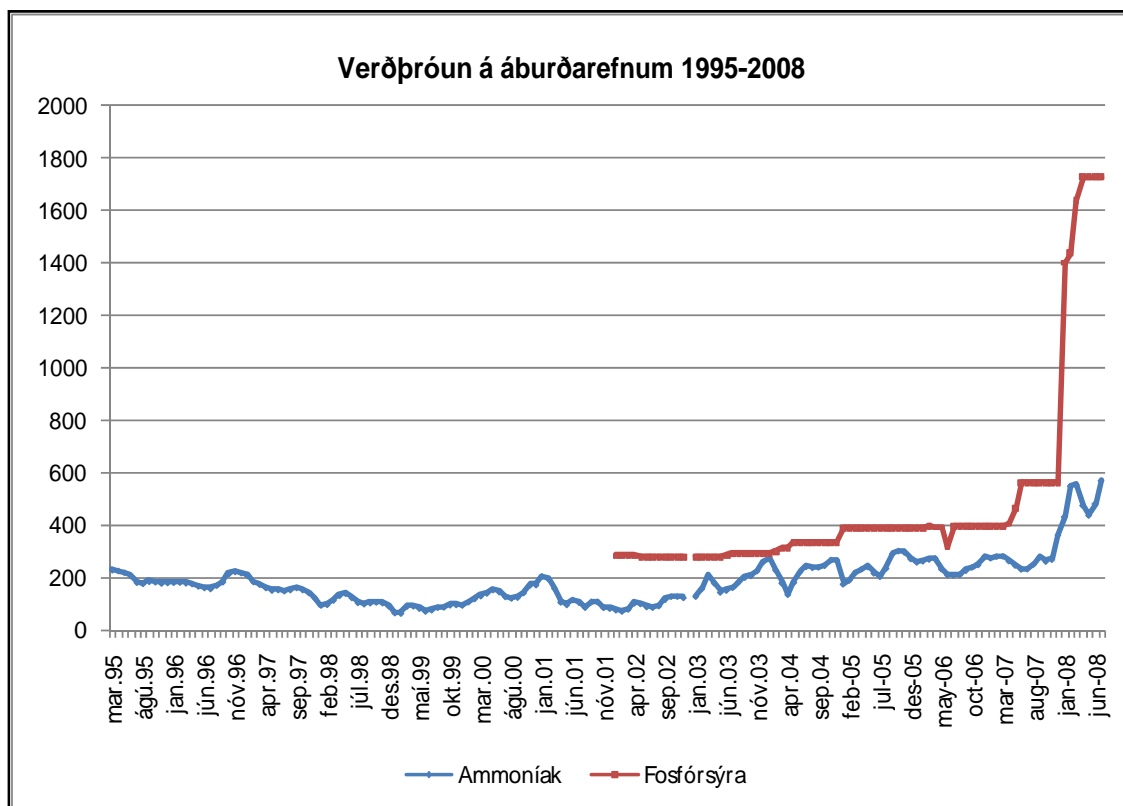


VERÐ Á ÁBURÐI

Verð á áburði á heimsmarkaði ræðst af framboði og eftirspurn. Ammoníak, ammoníumnítrat, ammoníumsúlfat, úrea, fosfórsýra, mónóammoníumfosfat, díammoníumfosfat, kalíklóríð, kalísúlfat, magnesíumsúlfat og fleiri hráefni til áburðargerðar eru seld heimsálfa á milli á verði sem ræðst á hrávörumarkaði. Tilbúnað áburðarblöndur eru einnig seldar á milli landa þó í minni mæli sé. Oftast er

Þá um sérframleiðslu að ræða eða blöndur sem hafa náð markaðsstöðu í fleiri en einu landi. Verð á þessum blöndum er oft erfiðara að fá upplýsingar um.

Verð á köfnunarefnissamböndum eins og ammoníaki, úrea o.fl. er nátengt verði á jarðefnaeldsneyti þar sem ammoníakið er almennt framleitt úr jarðgasi. Þar sem ammoníakið er almennt framleitt þar sem erfitt er að selja gasið til annarra nota er þó oftast um tímaseinkun að ræða frá hækkun olíuverð þar til verð ammoníaks hefur hækkað að sama skapi. Á meðfylgjandi mynd má sjá verðþróun ammoníaks og fosfórsýru á tímabilinu 1995-2008. Nýleg verðhækkun stafar af skyndilegum skorti á áburði vegna aukinnar notkunar til framleiðslu lífoldsneytis og hugsanlega að hluta vegna hækkana á verði eldsneytis. Grunur er um afskipti spákaupmanna til hækkunar verð en hann hefur ekki verið staðfestur.



Samkvæmt línuritinu er núverandi verð á ammoníaki um þrefalt meðalverð næstu 10 ára á undan og verð fosfórsýru að minnsta kosti fjórfalt. Miðað við hina miklu hækkun sem orðið hefur á jarðefnaeldsneyti á árinu 2008 má búast við að mikil hækkun ammoníaks og annarra köfnunarefnissambanda sé framundan.

ÁBURÐARVERKSMIÐJAN Í GUFUNESI

Áburðarverksmiðjan hf var stofnuð 1952 og var tilgangurinn sá að framleiða tilbúinn áburð fyrir íslenskan markað. Lán til byggingarinnar fékkst fyrir milligöngu Marshallaðstoðarinnar frá íslenska ríkinu. Framleiðsla hófst 1954 og var þá eingöngu framleiddur fínkristallaður ammoníumnítratáburður, Kjarni. Hlutafélaginu var breytt í ríkisfyrirtæki 1970. Ástæðan var sú að til að geta haldið áfram framleiðslu var nauðsynlegt að framleiða blandaðan kornaðan áburð sem þá var að verða allsráðandi á markaði, en félagið sem hafði í mörg ár verið undir ströngu verðlagseftirliti opinberra aðila treysti sér ekki til að fjármagna byggingu nýrrar blöndunarverksmiðju.

Niðurstaðan var að ríkið yfirtók félagið og sameinaði það Áburðareinkasölu ríkisins. Framleiðsla á kornuðum blönduðum áburði hófst 1972 þegar ný áburðarverksmiðja var tekin í notkun. Fjármögnunin var hins vegar ekki lokið og ekki tókst að byggja nýja saltpéturssýruverksmiðju sem nauðsynleg var til að fullnýta afkastagetu blöndunarverksmiðjunnar. Ný ríkisstjórn kom til valda 1971 sem setti allt tiltækt fjármagn í kaup á skuttogurum til eflingar atvinnulífs við sjávarsíðuna. Ný umhverfisvænni saltpéturssýruverksmiðja var því ekki tekin í notkun fyrr en 1983 og jukust þá afköstin í um 70 000 t á ári.

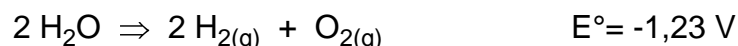
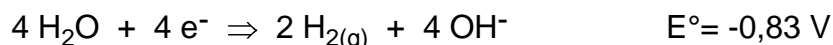
Áburðarverksmiðja ríkisins var svo lögð niður 30. júní 1994 og þá tók nýtt fyrirtæki, Áburðarverksmiðjan hf., við rekstri verksmiðjunnar í Gufunesi. Þetta var hlutafélag sem var alfarið í eigu ríkisins. Í einkavæðingarferli sem fram fór 1998-1999 var allt hlutafélagins selt einkaaðilum. Framleiðsla blandaðs áburðar var svo hætt 2001 og félagið sneri sér að innflutningi áburðar.

Framleiðslu áburðar hjá Áburðarverksmiðjunni mátti skipta í 5-6 skref:

1. Framleiðsla vetnis (H₂).

Í vetnisverksmiðjunni var vetni framleitt með rafgreiningu úr vatni.

Efnahvörfin eru:



Af ýmsum ástæðum er spennan sem nota þarf hærri en 1,23 V eða sem næst 1,80 V. Mismunurinn er nefnd yfirspenna og fer hún vaxandi þegar tímar líða. Skautin eru gerð úr kolefnisstáli, en nikkelhúðuð til að verja þau tæringu og til að minnka yfirspennu. Rafkleyfið er 25 % KOH lausn sem einnig er til að minnka viðnám og draga úr tæringu. Raforkunotkunin er um 4,8 kWh á hvern normalrúmmetra vetnis (mælt við STP) en fer vaxandi með hækkandi yfirspennu. Þegar raforkunotkunin er orðin yfir 5 kWh á rúmmetra eru skautin nikkelhúðuð á ný.

Framleiðslugetan var liðlega 60 000 Nm³ af vetni á dag og raforkunotkunin nálægt 100 GWh á ári eða 2/3 af allri orkunotkun fyrirtækisins.

Meginn hluti vetnisins var notaður til framleiðslu ammoníaks, en einnig fór hluti þess til lýsisherslu hjá Lýsi h/f sem framleiddi herta feiti til fóðurgerðar.

2. Framleiðsla köfnunarefnis (N₂).

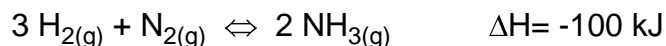
Í köfnunarefnisverksmiðjunni var köfnunarefni hreinsað úr andrúmsloftinu með s.k. Claude aðferð.

Lofti er þjappað saman og það kælt með vatni eins og hægt er. Þá er CO₂ þvegið úr því með vítissóðalausn (þar sem CO₂ frýs við -78°C) og loftið þurrkað. Næst er loftið kælt í varmaskipti með því lofti sem er að koma út úr verksmiðjunni niður í ca -80°C. Þá er loftið kælt ennfrekar (í -160°C) í varmaskipti sem kallaður er vökvamyndari en hluti loftsins verður að vökva við svo lágan hita. Það loft sem ekki verður að vökva í vökvamyndara er látið framkvæma vinnu í þensluvél og kólnar mikið við það.

Vökvinn frá vökvamyndara er leiddur inní eimingarsúlu sem kynt er með loftinu frá þensluvélinni en það er nú um -180°C ! Þar sem suðumark köfnunarefnis (-196°C) er lægra en suðumark súrefnis (-183°C) og argons (-186°C) sýður það fyrst og er skilið frá.

3. Framleiðsla ammoníaks (NH_3).

Framleiðsla ammoníaks hjá Áburðarverksmiðjunni fór fram skv. aðferð Chemico, en hún byggðist á uppfinningu þjóðverjanna Fritz Haber og Karl Bosch frá 1909. Blandað er saman vetni og köfnunarefni og blöndunni þjappað upp í háan þrýsting (200-250 bar) og hún hituð í u.þ.b. 500°C :



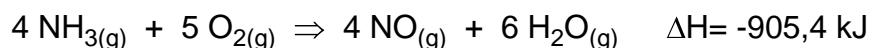
Samkvæmt reglu Le Châtelier gengur hvarfið betur með hækkandi þrýstingi en ver með hækkandi hita. Þrýstingi er haldið eins háum og er tæknilega hagkvæmt en hitann verður að hafa svona háan til að hvarfahraðinn verði nægilega mikill (virkjunarorkan er mjög há). Til að auka hvarfahraðann þarf auk þess að nota hvata, sem gerður er úr járni ($\alpha\text{-Fe}$) með snefil af Al_2O_3 og K_2O . Með þessu móti fæst gasblanda frá ammoníakofninum (reaktorum) sem inniheldur u.þ.b. 15% ammoníak. Þessi gasblanda er kæld í vatnskældum varmaskipti og þéttist þá megnið af ammoníakgasinu og verður að vökva, sem skilinn er frá áður en meira af gasblöndu er dælt inn.

Ammoníakið er að miklum hluta notað til framleiðslu saltpéturssýru en afgangurinn er settur á kældan tank sem geymir ammoníakið við -33°C og andrúmsloftsþrýsting.

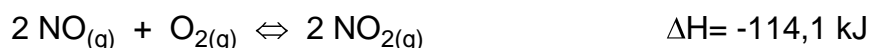
Ammoníak hefur mikinn gufunarvarma ($1263 \text{ kJ/kg v. } 0^{\circ}\text{C}$) og suðumarkið -33°C við þrýstinginn 1 ata. Það er því mjög góður kælimiðill og flest frystihús nota nú orðið ammoníakkælakerfi enda þykir það umhverfissvænna heldur en freon.

4. Framleiðsla saltpéturssýru (HNO_3).

Framleiðsla saltpéturssýru hjá Áburðarverksmiðjunni fór fram með aðferð Grand Paroisse en hún byggist á uppfinningu Wilhelm Ostwald frá 1902. Ammoníaki er blandað saman við mikið magn af lofti (blandan er höfð u.þ.b. 10% NH_3) og leitt til brennara þar sem ammoníakið brennur á hvata, netum gerðum úr 95% platínu og 5% ródíum við 900°C :

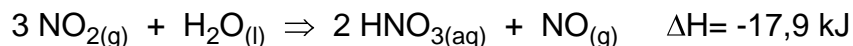


Sá mikli varmi sem losnar í brennarannum er virkjaður í gufukatli og framleidd eru um 12 tonn af 220°C heitri gufu á klukkustund. Gasblandan frá brennarannum er kæld, fyrst í gufukatlinum en síðan í varmaskiptum eins mikið og kostur er til að efnajafnvægið:



liggi sem lengst til hægri. Talsvert umframmagn af súrefni er í brennaraloftinu sem nægir til að þetta hvarf gangi.

Gasblandan sem nú inniheldur aðallega N_2 , NO , NO_2 , N_2O_4 og H_2O er nú þvegin með vatni í sérstöku þvottakerfi, ísogsturnum. Við það myndast saltpéturssýra u.þ.b. 57% miðað við massa:



Eins og sjá má myndast köfnunarefnismónoxíð á ný við myndun sýrunnar. Þetta NO verður að oxa og nota til sýruframleiðslu, en þá myndast meira NO og svo koll af kolli. Nú þarf talsvert af súrefni í viðbót og er því um fimmtungur loftsins frá loftþjöppunni notaður hér. Fyrst er þetta loft notað til að blása uppleystum köfnunarefnisoxíðum úr sýrunni sjálfri, bleikja sýruna, en að því búnu notað til að oxa NO í NO₂ í ísogsturnunum.

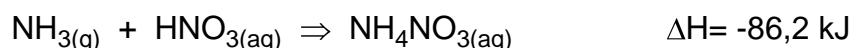
Bæði efnahvörfin í ísogsturnunum eru útvermin og það þarf því að kæla turnana til að hvörfin gangi nægilega vel.

Vegna þess að við myndun sýrunnar verður til köfnunarefnismónoxíð er ekki hægt að hreinsa það alveg úr reyknum. Þetta NO oxast fljótt í rauðbrúnt NO₂ vegna súrefnis andrúmsloftsins og "gulur reykur" sést ef um teljandi magn er að ræða. Þegar ný sýruverksmiðja var byggð 1983 var hins vegar mun öflugra þvottakerfi haft en var á gömlu verksmiðjunni þannig að NO og NO₂ (oft kallað NO_x) í reyknum er nú afar lítið miðað við það sem var áður fyrir.

Að jafnaði hafa farið um 20 t af NO_x út í loftið frá verksmiðjunni á ári undanfarin ár (reiknað sem NO₂). Til samanburðar fara um 140 t af NO_x frá einum meðal frystitogara á ári (reiknað sem NO₂).

5. Framleiðsla á blönduðum áburði (NPK).

Framleiðsla blandaðs áburðar hjá Áburðarverksmiðjunni fór fram með aðferð Péchiney-Saint-Gobain. Blandað er saman saltpéturssýru og ammoníaki og þá myndast ammoníumnítrat:



Varminn er nýttur til að láta vatnið sem er í sýrunni sjóða og minnka vatnið sem er í ammoníumnítratinu í 3-6%. Föstum hráefnum er blandað saman í sívalning sem snýst. Bráðnu ammoníumnítrati er sprautað yfir en við það storknar það og límur saman korn af ýmsum stærðum. Kornin eru þurrkuð með lofti sem hitað er með gufunni frá sýruverksmiðjunni. Rétt kornastærð er sigtuð frá en of stór korn brotin og fara ásamt of smáum kornum á ný til kornunar. Korn af réttri stærð eru kæld og húðuð með rakaverjandi efnum vegna gríðarlegrar rakadrægni áburðarsaltanna og síðan flutt með færíbandi til áburðarskemmu.

Föstu áburðarhráefnin eru: mónóammoníumfosfat (NH₄H₂PO₄), kalíklóríð (KCl), kalísúlfat (K₂SO₄), ammoníumsúlfat ((NH₄)₂SO₄), magnesíumsúlfat (MgSO₄·7H₂O), bórax (Na₂B₄O₇·10H₂O) og skeljasandur (90% CaCO₃).

Áburðarverksmiðjan framleiðir nú 18 mismunandi blöndur þessara efna allt frá Kjarna, sem inniheldur ammoníumnítrat og kalk, upp Blákorn, sem inniheldur öll meginnæringarefni auk bór. Allar þessar tegundir eru sérsniðnar fyrir íslenskan jarðveg og nytjajurtir með aðstoð Rannsóknarstofnunar landbúnaðarins og ráðunauta Búnaðarfélaganna.

6. Sekkjun.

Áburðurinn er fluttur úr áburðarskemmu í sekkjunarstöð þar sem hann er settur í síló. Tvær vogir vigta 40 kg til skiptis og hleypa í plastpoka sem síðan er brætt fyrir.

Pokunum er raðað á bretti 40 saman, brettin hjúpuð með plasti og flutt út á plan þar sem áburðurinn er geymdur þar til hann er fluttur til notenda.

Frá vorinu 1994 bauð Áburðarverksmiðjan upp á áburð sekkjaðan í 600 kg stórsekki í nýjum vélum í sekkjunarstöð.

Áburðarsala.

Áburður er fluttur með skipum á flestar hafnir landsins en með bílum um Suður- og Vesturland.

Áburðarverksmiðjan framleiddi áburð frá 1954 til 2001 eða í hartnær hálfa öld. Framleiðslan var í fyrstu um 20.000 tonn á ári en með tilkomu blöndunarverksmiðju 1972 og sýruverksmiðju 1983 óx framleiðslan stig af stigi í rúmlega 62.000 tonn á ári en minnkaði aftur vegna samdráttar í íslenskum landbúnaði. Áburðarsalan náði hámarki um 1980 þegar hún fór í 73.000 tonn á ári, en er nú innan við 50.000 tonn á ári. Þegar Ísland gekk í EES féll niður einkaréttur Áburðarverksmiðju ríkisins til innflutnings, framleiðslu og sölu á áburði. Áburðarverksmiðjan hf. sem tók við rekstri verksmiðjunnar í Gufunesi 1.7.1994, var hlutafélag alfarið í eigu íslenska ríkisins. Í einkavæðingarferli sem hófst 1998 var sala á hlut ríkisins undirbúin og lauk henni í ársbyrjun 1999 með sölu á öllu hlutafélagi síns. Framleiðsla á blönduðum áburði var svo hætt 2001 og eignirnar í Gufunesi seldar, en áherslan lögð á innflutning áburðar.

Heildaráburðarnotkun á Íslandi var um 70.000 tonn á ári í alllangan tíma en er nú innan við 50.000 tonn á ári. Salan hefur minnkað verulega á síðustu 10 árum vegna bættrar nýtingar tilbúins áburðar, aukinnar notkunar búfjáráburðar og vegna samdráttar í framleiðslu. Frá 1985 til 1997 lækkaði verð áburðar verulega og varð aðeins um helmingur af því sem það var 10 árum fyrr m.v. byggingarvísitölu. Ástæður þessa voru mikið offramboð á áburði í Evrópu á þessum tíma og mikil hagræðing í greininni. Fjöldi verksmiðja í Evrópu var lokað en nýjar byggðar í Miðausturlöndum og í Suðaustur-Asíu.

Með aukinni áherslu á lífrænt eldsneyti hefur milljónum hektara akurlendis í Evrópu og Norður Ameríku sem áður hafði verið dregið út úr ræktun vegna offramboðs matvæla verið breytt í akra til ræktunar repju fyrir bíódísilframleiðslu eða maís til etanólframleiðslu. Þetta hefur leitt til stóraukinnar eftirspurnar og verðhækkana á áburði í Evrópu en nú eru áburðarverksmiðjurnar lokaðar og framleiðsla áburðar í Miðausturlöndum er seld til Asíu, aðallega til Kína og Indlands, og því engin auka framleiðslugeta þar. Ekki er að sjá að þetta ástand breytist til batnaðar fyrr en nýjar áburðarverksmiðjur komast í gang í Evrópu og nýjar ammoníakverksmiðjur auka framboð og lækka verð. Það er því líklegt að þetta ástand muni vara að minnsta kosti í nokkur ár.