

# Kwiatkowski, Eugeniusz

---

## Doroczne Zebranie Uroczyste : dnia 25 listopada 1937 r. : Postępy techniczne i rozwój metod w zakresie syntezy związków azotowych

---

Rocznik Towarzystwa Naukowego Warszawskiego 30, 175-196

---

1937

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych oraz w kolekcji mazowieckich czasopism regionalnych mazowsze.hist.pl.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

### Postępy techniczne i rozwój metod w zakresie syntezy związków azotowych<sup>1)</sup>

Jest to już własnością współczesnej wiedzy popularnej, że t. zw. azot związany, w przeciwstawieniu do azotu wolnego, znajdującego się w tak olbrzymich ilościach w atmosferze nas otaczającej, należy do rzędu najważniejszych półproduktów, wywierających duży wpływ na wiele dziedzin i metod produkcji rolnej i przemysłowej.

Po tylu wiekach, w ciągu ostatnich trzydziestu lat azot przestał być tym, co wyrażać miała jego grecka nazwa „a-zoo” — „zaprzeczenie życia”; stał się elementem żywotnym i pobudzającym życie do bujnego rozkwitu. Wiemy też, że jest on miarodajnym składnikiem najważniejszej grupy nawozów sztucznych, stosowanych w coraz szerszej skali, oraz, że w całkowitej produkcji związków azotowych ok. 85 — 89% absorbują cele nawozowe, 7 — 8% przerabia się na materiały wybuchowe wszelkich kategorii i własności, 1 — 2% zużywa przemysł organicznych barwników syntetycznych, 1 — 2% konsumuje w formie amoniaku chłodnictwo, a 2 — 3% — szereg różnych produkcji przemysłowych, z produkcją jedwabiu sztucznego i pokrewnych związków nitrowych na czele.

Mniej znane natomiast są drogi realizacji problemu „syntezy azotowej”, oraz niezwykle zwycięstwa, które w tej dziedzinie święci ściśle zjednoczona nauka i technika, teoria i praktyka, fizyka i chemia, laboratorium i fabryka.

Ustawmy więc przede wszystkim w pewnej skali cyfrowej charakterystykę ilościową problemu, który dzisiaj mamy omó-

---

<sup>1)</sup> Przy kontrolowaniu ostatnich wyników w zakresie technologii zw. azotowych korzystałem z prac pp.: inż. Bobrownickiego i dr inż. Hawliczka.

wić. Trzydzieści pięć lat temu problemat ten nie miał jeszcze najmniejszego prawa obywatelstwa w życiu praktycznym.

Ja sam, pracując w r. 1910 u Prof. J. Schultza w Monachium, uczyłem się technologii z jego podręcznika, wydane go co prawda w r. 1903, i na str. 99 tej książki konstatowałem, że „najważniejszym nawozem azotowym jest saletra chilijska“, oraz, że „rolnictwo niemieckie konsumuje ją w olbrzymich ilościach. Ponadto siarczan amonowy, pochodzący z rekuperacji produktów ubocznych w koksowniach, posiada duże znaczenie“. O syntezie nie ma jeszcze nawet wzmianki.

W wykładach zaś — w odniesieniu do sytuacji z r. 1907 — dowiadaliśmy się, że są tacy, którzy badania teoretyczne laboratoryjne zdołali przenieść już do fabryki i osiągnąć rezultaty, jednakże bez większego znaczenia praktycznego.

W istocie bowiem, gdy światowa produkcja nawozów azotowych przed trzydziestu laty osiągnęła cyfrę 482 tys. ton w przeliczeniu na czysty azot, t. j. ok. 2,3 milionów t. produktów, to azot syntetyczny reprezentował w tym 500 ton, t. j. ok. 0,1%.

W parę lat później, w przededniu wielkiej wojny światowej, w r. 1913 sytuacja była już zgoła inna. Wedle informacji Bosch'a, zawartej w odczycie w Tow. Przyrodników i Lekarzy w Berlinie, przy sumarycznej produkcji światowej w tym roku, reprezentującej 736 tys. ton  $N$ , na produkcję syntetyczną przypadało już 5,6%. Skok, dokonany w ciągu 6 lat, zwiększył tę produkcję 82-krotnie.

W dwadzieścia lat później przy sumarycznej zdolności produkcyjnej całego światowego przemysłu azotowego — ustalonej ściśle przez Międzynarodowe Porozumienie Azotowe — na 4.610.000 t. czystego azotu, azot syntetyczny reprezentuje 3.422.000 t.  $N$ , t. j. 74,2%, a azot w saletrze chilijskiej już tylko 13,6%, oraz azot, uzyskiwany jako produkt uboczny przy chemicznej przeróbce węgla — 12,2%.

Gdyby więc przyjąć, że cały możliwy do wyprodukowania azot syntetyczny skonsumowany zostanie w formie nawozów sztucznych, że z 1 kg  $N$  uzyskamy nadwyżkę tylko 16 kg ziarna, oraz, że 100 kg ziarna reprezentować będzie średnio wartość 20 zł., to przy cenie tego azotu ok. 4 $\frac{1}{2}$  miliarda zł., wartość zbożowa

azotu, uzyskanego syntetycznie, osiągnie w tym przeliczeniu 11 miliardów złotych.

Sławne złoża saletry chilijskiej zeszyły więc w ciągu 30 lat ze stanowiska dyktatorsko - monopolowego do rządu czynników raczej lokalnych pomimo rozwoju swej produkcji. Sumaryczna zdolność produkcyjna w okresie 30 lat wzrosła 10-krotnie, w tym saletry chilijskiej 2-krotnie, azotu z koksowni 3-krotnie, a azotu syntetycznego w sposób tak lawinowy, że nie podobna wyrażać tej cyfry w procentach.

Pesymistyczne wnioski teorii maltuzjańskiej, dotyczące wyścigu cyfry zaludnienia i pożywienia, zostały złamane przez naukę i technikę. W okresie, w którym ludność Europy wzrosła o 30<sup>0</sup>%, zbiory agrarne wzrosły o 50<sup>0</sup>%, a widmo wyczerpania gleby i jej składników użytecznych zostało usunięte. Zagadnienie, otworzone przez prace Liebiga, a dotyczące regeneracji gleby, zostało opanowane.

Zarazem — na odcinku tego zagadnienia — technika i nauka wykazały szczególnie dobitnie, iż, służąc najszczytniejszym potrzebom ludzkości, pracują przeciwko potędze i przewadze gospodarczej i politycznej, opartej — nie na pracy, organizacji i uzdolnieniu, — ale na szczęśliwym przypadku. One i tu wyzwoliły wszystkie twórcze narody od wyzysku i od przewagi przypadku.

To jedna miara, określająca ciężar gatunkowy „zagadnienia azotowego”.

Druga — to strona jakościowa zagadnienia. Realizacja zjawisk, omówionych przed chwilą, musiała się przebijać przez nieprawdopodobne wprost trudności natury teoretycznej i praktycznej. Gdyby ludzie nauki, pociągnięci przez problemat azotowy, mieli mniej upor, mniej świadomości, że rozwiązać chcą sprawę, która wyźłobi potężne rysy na historii cywilizacji i życia ludzkiego, to, być może, cofnęliby się przed trudnościami i otaczającą ich niewiarą.

Mamy w naturze dwa przejawy niezależne od dyspozycji człowieka, wiążące wolny azot powietrza w związki, mogące już służyć życiu roślinnemu. Oba przejawy reprezentują pewne ekstremy. Jeden, najłatwiej zwracający na siebie uwagę, to wyła-



dowania elektryczne w atmosferze. Jest to potężna, pracująca periodycznie, w okresie wzrostu roślin, fabryka związków azotowych, które w formie kwasu azotowego wchodzą z deszczem do gleby. Drugi przejaw, najbardziej rozpowszechniony, praktycznie od dawna zastosowany, choć najmniej widoczny — to działalność drobnoustrojów w glebie, posiadających — w określonych warunkach — zdolność wiązania azotu powietrza.

W technice rozwinęło się kilka odmiennych kierunków sztucznego wiązania azotu powietrza, przy czym największe znaczenie praktyczne uzyskały następujące trzy zasady:

1) zasada syntezy amoniaku z wodoru i azotu. Na tej zasadzie oparli swe metody techniczne: Haber, Claude, Fauser, Casale i in.;

2) zasada syntezy kwasu azotowego przez t. zw. popularnie „spalanie“ powietrza w łuku elektrycznym. Jest to reakcja endotermiczna, a więc jak gdyby przeciwieństwo procesu spalania, usiłująca zrekonstruować w najkorzystniejszych warunkach technicznych zjawisko naturalne, powstające przy wyładowaniach elektrycznych w atmosferze. Na tych zasadach oparli swe metody: Birkeland-Eyde, Mościcki, Schönherr, Pauling, Sieberth i in.;

3) zasada wiązania azotu za pośrednictwem karbidu do cjanamidu. Przedstawicielem tej zasady jest produkcja azotniaku, cjanamidu wapnia, wedle metody, opracowanej przez Franka i Caro, oraz przez Polzeniusza.

Ponadto jednak istnieje obecnie bogata literatura patentowa, wiążąca oryginalne pomysły nie tylko w pewien system, stanowiący kombinację wymienionych metod, ale otwierających również nowe zupełnie drogi, których wyniki napewno nie są jeszcze zamknięte i podsumowane. Idzie tu zarówno o produkcję np. syntetycznego mocznika, jak też i o produkcję cjanoków oraz azotków metali lekkich, wedle metod Serpeck'a, Mościckiego, Bucher-Thorselt'a i in.

Nie ma wprost możliwości objęcia w jednym skrócie referatowym całokształtu zagadnienia syntezy związków azotowych; i teoria i praktyka i hipoteka pomysłów obstawionych patentami jest w tej dziedzinie tak olbrzymia, jak olbrzymi był roz-

wój techniczno-przemysłowy produkcji azotowej w ostatnich 20 latach.

To też kładę w dzisiejszym sprawozdaniu nacisk główny na sprawę urzeczywistnienia w skali technicznej syntezy amoniaku, traktując inne zagadnienia tylko szkicowo i ubocznie. Ta bowiem reakcja, zarówno z punktu widzenia teoretyczno-naukowego, jak też i z punktu widzenia technologicznego i przemysłowego, zyskała największe znaczenie. Tak więc produkcja, oparta o zasadę syntezy amoniaku, reprezentuje w stosunku do całej światowej produkcji azotu związanego, łącznie z produkcją chilijską i koksowniczą, prawie 50%, a w odniesieniu do sumarycznej zdolności produkcyjnej rozbudowa tych właśnie metod — syntezy amoniaku — przekracza zapewne 60%.

Sądzę, że nie bez znaczenia jest tu sama historia usiłowań otrzymania amoniaku na drodze syntetycznej z pierwiastków, a to dlatego, iż wysiłki te wyprzedziły znacznie epokę, w której pod katalitycznym wpływem pesymistycznego referatu Crookes'a, prorokującego klęskę po bliskim wyczerpaniu złóż chilijskich, rzucono się w pierwszych latach b. stulecia agresywnie na ideę włączenia próżnującego azotu powietrza w służbę ludzkości.

Myśl o syntezie amoniaku, którego skład jakościowy i ilościowy został zbadany w r. 1784 przez Bertholet'a, skryształizowała się już pod koniec XVIII wieku. Hilldebrandt podejmuje wówczas bezskuteczne próby syntezy  $NH_3$  z pierwiastków. Na początek XIX w. przypadają bardzo interesujące z naukowego punktu widzenia próby tej syntezy, bardzo prymitywne, ale potrącające, podświadomie może, o najistotniejsze problemy, związane z tą reakcją, t. j. próby syntezy pod ciśnieniem i w obecności ciał, które dodatnio miały by oddziaływać na przebieg i rezultat reakcji.

Jednakże szanse przeprowadzenia reakcji  $3H_2 + N_2 = 2NH_3 + 22 \text{ kal.}$  w kierunku syntezy amoniaku, mogły urzeczywistnić się dopiero wówczas, gdy uświadomione zostały główne zasady termodynamiki i kinetyki reakcji gazowych, gdy poznano prawo działania mas, gdy nauczono się operować swobodnie wysokimi ciśnieniami, gdy empirycznie stwierdzono ważki wpływ na przebieg reakcji ciał specjalnych, nie biorących formalnie udziału w reakcji, a jednak wpływających na jej chyżość lub

stan równowagi, a zwanych ogólnie *katalizatorami*. W pracach tych, których znaczenie naukowe wyskakuje szeroką falą po za ramy problematu syntezy amoniaku, zapisały się nazwiska ludzi tej miary, jak Le Chatelier, Van t'Hoff, Ostwald, Guldberg, Ramsay, Young, Atkinson. Właśnie dzięki pracom Ramsay'a i Young'a oraz Permana i Atkinsona stwierdzono, że i reakcja syntezy amoniaku z pierwiastków jest procesem odwracalnym, a równowaga między amoniakiem i jego składnikami ustala się każdorazowo w ściślejszej zależności od pewnych warunków.

Szczegółowe prace nad zbadaniem wpływu ciśnienia i temperatury oraz szybkości przepływu gazów nad katalizatorem na stan równowagi reakcji syntezy amoniaku podjął Haber z dużym sztabem współpracowników, a nieco później te stany równowagi badał Nernst i Jost. Długotrwałe i niezmiernie systematyczne prace — czysto naukowe — pokonywały jedną trudność za drugą, ustalały nowe zasady, otwierały nowe perspektywy teoretyczne, przyswajały nowe zdobycze czysto eksperymentalne. Z badań tych, sprawdzanych i korygowanych następnie przez zespół Habera w skali półtechnicznej, przy dodatkowym pokonywaniu trudności materiałowych, wyłaniały się niewzruszone konstatacje.

Ustalono więc, że konwersja wodoru i azotu na amoniak przebiega ze stosunkowo znacznymi wydajnościami przy ciśnieniach wysokich, mianowicie od 100 do 1000 atm. w temperaturach od 400—600°C., przy określonej szybkości przepływu gazów nad katalizatorami.

Z przeprowadzonych badań wynikało, że wpływ ciśnienia przy niskich temperaturach jest wybitny; t. np.: przy 300°C i ciśnieniu jednej atmosfery w stanie równowagi uzyskuje się w mieszance gazów 2.2%  $NH_3$ , a przy 200 atm. ciśnienia procent  $NH_3$  dosięga 63. Wzrasta więc prawie 30-krotnie. Natomiast przy bardzo wysokich temperaturach wzrost ciśnienia nie daje praktycznie poważniejszych rezultatów. T. np.: w temperaturze 1000° i przy ciśnieniu 100 atm. równowaga ustala się poniżej 0.5% zawartości  $NH_3$ , gdy przy podwojeniu ciśnienia do 200 atm. zawartość  $NH_3$  w stanie równowagi ustala się na ok. 0.9%. W końcu stwierdzono też, że dla przyspieszenia ustalenia się końcowego równowagi niezbędne jest współdziałanie katalizatorów.

Teoretycznie — najkorzystniejszą dla tej syntezy była by praca przy niskiej temperaturze. Jednakże w tych warunkach działalność katalizatora jest znikoma i szybkość ustalania się pożądaney równowagi — mała. Dlatego praktycznie należało wyznaleźć optymalne warunki przy uwzględnieniu wszystkich czynników, wchodzących tu w grę.

Ale już nawet po opanowaniu zagadnień natury fizykochemicznej, po poznaniu warunków stanów równowagi, przy praktycznym realizowaniu tej pozornie najprostszej — a jednak czekającej na realizację zwyż 100 lat — syntezy, wyrażającej się wzorem  $3 H_2 + N_2 = 2 NH_3 + 22 \text{ kal.}$ , natrafiono na b. poważne trudności.

Reakcja musiała się odbywać równocześnie przy b. wysokich ciśnieniach i b. wysokich temperaturach. Przed 30 laty było to wymaganie dla materiałów i aparatury zupełnie niezwykle. Wodór, użyty do reakcji w wysokich temperaturach, dyfundował przez ściany materiału, wypłukiwał ze stali zawartość węgla, co wpływało na zmianę własności stali i jej odporność na wysokie ciśnienia.

Jeszcze trudniejszym problematem była początkowo sprawa właściwego katalizatora. Pierwszymi katalizatorami, stosowanymi przez Habera, były uran i osm. Przepuszczając przez te katalizatory stechiometryczną mieszaninę wodoru i azotu pod ciśnieniem 175 atm. w temperaturze  $550^{\circ} \text{ C.}$ , Haber otrzymywał praktycznie 8%  $NH_3$ . Ale katalizatory te były nie tylko kosztowne, ale i b. szybko traciły swą aktywność.

To też podjęto niebawem prace nad znalezieniem katalizatorów tanich i trwałych, t. j. przydatnych do masowej, fabrycznej produkcji amoniaku. Pod nadzorem Habera szeroko zakrojone badania teoretyczne i praktyczne przeprowadził jego współpracownik Mittasch. W wyniku tych eksperymentów zatrzymano się wówczas na katalizatorze, utworzonym z żelaza przez stapianie go z dodatkami, zwanymi „aktywatorami“, które same, nie posiadając własności katalizatora dla tej reakcji, zwiększały znacznie jego aktywność, a nawet trwałość. Aktywatorami tymi były:  $Al_2 O_3$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $ZrO$ .

To rozwiązanie okazało się właściwe i dziś jeszcze, po upływie dwudziestu kilku lat, synteza amoniaku, rozbudowana

na tak olbrzymią skalę, wiążąca ze sobą tylu wybitnych naukowców, posługuje się i nadal prawie wyłącznie katalizatorami, utworzonymi z mieszaniny tlenków żelaza oraz tlenków alkalicznych, glinu itp.

Sprawa mechanizmu tworzenia się amoniaku z jego pierwiastków w obecności katalizatora jest zagadnieniem b. skomplikowanym, uchylającym się dotychczas od eksperymentalnego wyjaśnienia. Po dzień dzisiejszy nie obracamy się tu z tą swobodą i naukową pewnością, z jaką omawiamy wpływy ciśnienia i temperatury na reakcje gazowe. Jeżeli np. z 3 objętości wodoru i 1 obj. azotu powstają 2 obj. amoniaku gazowego, to niejako proste prawo fizjologiczne wskazuje nam, że ciśnienie działa korzystnie na przebieg takiej reakcji; ono ułatwia jej redukcję objętości. Przy reakcjach endotermicznych możemy normalnie mniej się obawiać destrukcyjnego działania temperatury; odwrotnie — przy reakcjach egzotermicznych. Ale fizjologii działania tego instrumentu, tej instytucji, którą w świecie drobin nazywamy katalizatorem, a w świecie ludzi — nazywalibyśmy „biurem pośrednictwa opornych małżeństw” — nie rozumiemy dobrze.

W każdym razie, by nie pominąć i tu — jakby się dziś wydawało — najbardziej zbliżonego do zaakceptowania wyjaśnienia, można przytoczyć, że pewną popularność uzyskało następujące tłumaczenie zjawiska: gazy, użyte do syntezy  $NH_3$ , ulegają w pierwszej fazie rozbiciu na gazy atomowe. Proces ten odbywa się w zaadsorbowanej na powierzchni katalizatora warstwie gazowej, na centrach aktywnych, związanych w wypadku katalizatora żelaznego z t.zw. allotropową  $\alpha$ -odmianą czystego żelaza. To ułatwia powstanie azotku z  $N_2$  i z metalu katalizatora. Utworzony przejściowo azotek, układ bardzo nietrwały, przekształca się pod działaniem wodoru najpierw w t. zw. imid, będący połączeniem wodoru, azotu i metalu, a następnie — na skutek dalszego działania wodoru — w amoniak. Kończącą więc fazą współdziałania katalizatora była by desorbcja, czyli oderwanie się cząsteczek  $NH_3$ , utworzonych na powierzchni katalizatora.

Interesującą rolę odgrywają też t. zw. aktywatory, o których wspomniałem już uprzednio. Mówi się, iż cząstki aktywatorów ochraniają poszczególne grupy drobin metalu i nie dozwalają na ich stapianie się w wysokich temperaturach, panują-



cych w miejscu wiązania azotu z wodorem. Mają one utrzymywać wysoko rozwiniętą aktywną powierzchnię żelaza w fazie  $\alpha$ .

Wreszcie nie małe znaczenie w mechanizmie tej syntezy amoniaku posiada fakt, że używane i opisane katalizatory są na ogół niezwykle wrażliwe na pewne zanieczyszczenie i składniki mieszanki gazowej, posiadające zdolność zatrucia, unicestwienia lub silnego zredukowania zdolności katalitycznej. Takimi truciznami katalizatorów są: zbyt wysoka temperatura, zmieniająca fazę alotropową żelaza, oraz pierwiastki i różne związki siarki, fosforu, arsenu, tlen, para wodna, tlenek i dwutlenek węgla.

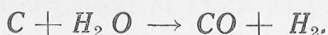
To też przed realizacją tej syntezy powstał nowy, wcale ciężki i dodatkowy, warunek niezwykle starannego oczyszczenia gazów, stanowiących mieszankę, służącą do konwersji na amoniak. To przygotowanie właściwej mieszanki gazowej do syntezy jest w nowoczesnej fabryce osiłą zagadnienia, a pochłania przynajmniej połowę kosztów energii, zużytej na syntezę.

W podstawowej metodzie Habera, na której wynikach oparły się inne metody syntezy amoniaku, pracuje się przy użyciu mieszanki gazowej, otrzymanej przez konwersję gazu wodnego i gazu generatorowego, zmieszanych w takim stosunku, by gaz, przechodzący do syntezy, zawierał stechiometryczny skład wodoru i azotu. Gaz generatorowy jest przy tym źródłem azotu, gaz wodny — wodoru.

Jak wiadomo, gaz wodny powstaje przy działaniu pary wodnej na rozpalony koks (węgiel). Najbardziej pożądaną była by reakcja, która przebiega w temperaturach niskich, np. ok.  $400^{\circ}\text{C}$ . Wówczas następuje spalenie węgla do  $\text{CO}_2$  i obok tego powstają dwie drobiny  $\text{H}_2$ .

Jednakże szybkość tej reakcji w określonej temperaturze jest tak mała, że praktycznie nie może ona mieć zastosowania.

W temperaturze wysokiej (ok.  $800^{\circ}\text{C}$ ) szybkość reakcji jest praktycznie właściwa, a jej kierunek jest następujący:



Ten właśnie gaz wodny konwertuje się następnie w temperaturze ok.  $500^{\circ}\text{C}$  ponad katalizatorami, składającymi się zasadniczo z tlenków żelaza, a przebieg konwersji można przedstawić równaniem:





Gaz generatorowy, powstający przy t. zw. „biegu gorącym“, t. j. podczas wdmuchiwania powietrza pod ruszt napełnionego koksem generatora, składa się z 60 — 62%  $N_2$ , 30 — 32%  $CO$ , 3%  $H_2$ , 3%  $CO_2$ .

Gaz wodny zaś, otrzymywany w fazie następnej, w t. zw. „biegu zimnym generatora“, posiada skład przeciętny:

50%  $H_2$ , 40%  $CO$ , 4—6%  $CO_2$ , 4—6%  $N_2$  i małe ilości  $H_2S$ ,  
 $O_2$ ,  $CH_4$  i t. p.

Przed przeprowadzeniem konwersji miesza się oba gazy w odpowiednim stosunku, odpyła się elektrycznie, uwalnia się znanymi metodami od większej części siarkowodoru, który jest silną trucizną dla katalizatora, i nasycza się go w odpowiednich aparatach parą wodną. Tak spreparowany gaz przechodzi przez wymienniki ciepła i następnie wchodzi do baterii konwerterów, w których styka się z katalizatorem. Przy uregulowaniu chyżości przepływu gazu ciepło reakcji wystarcza do utrzymania optymalnej temperatury reakcji.

W pierwszym konwerterze większość  $CO$  ulega konwersji na  $CO_2$ , z następnych otrzymuje się mieszaninę gazową o zawartości ok. 30%  $CO_2$ , 2—4%  $CO$ . Teraz poddaje się gazy ponownemu procesowi oczyszczania. Skompresowany do 25 atmosfer gaz przemywa się wodą, w której rozpuszcza się głównie  $CO_2$  i małe ilości siarkowodoru. Wody przemywające ekspanduje się w odpowiedniej konstrukcji turbinach Peltona, odzyskując ok. 50% energii, zużytej na kompresję gazu. Po wydzieleniu głównej porcji bezwodnika węglowego komprymuje się mieszaninę gazową dalej aż do granicy 200 atmosfer i w tym stanie odmywa się tlenek węgla,  $CO$ , znajdujący się w gazie jeszcze w ilości 3 — 6%, przy pomocy amoniakalnych roztworów soli miedziowych. Również można  $CO$  i resztę zanieczyszczeń wypłukać płynnym azotem. W wypadku pierwszym pozostaje w gazie jeszcze ok. 0.03%  $CO$ , które to ilości nie są już niebezpieczne dla katalizatora.

W końcu suszy się gazy nad wodorotlenkiem sodowym, a parą wodną wykrapla się przez silne ochłodzenie.

Tak przygotowane i oczyszczone gazy, stanowiące stechiometryczną mieszaninę wodoru i azotu, przechodzą do urządzeń

właściwej syntezy. Konwerter, którym posługiwał się Haber do tego celu w skali fabrycznej, posiada zewnętrzny płaszcz ciśnieniowy ze stali specjalnej, wysokości 12 m., o średnicy zewnętrznej 1 m i grubości ścian 12 cm. W stronę wewnętrzną płaszczu wprawiona jest rura żelazna, mająca na celu osłonę płaszczu ciśnieniowego przed dostępem wodoru. W małym odstępnie od osłony tkwi koncentrycznie umieszczona rura stalowa. Pomiedzy nią i wyłożeniem płaszczu przepływa pod ciśnieniem roboczym konwertera azot, chroniący dodatkowo ściany płaszczu zewnętrznego, wytrzymałego potężne ciśnienie, przed dyfuzją wodoru. W przekroju poziomym czwarty pierścień stanowi izolowana rura stalowa, t. zw. rura reakcyjna, w której znajduje się katalizator. Mieszanka gazowa dopływa do przestrzeni reakcyjnej od góry i opuszcza ją przez wymiennik ciepła. Oczywiście, iż przy rozruchu aparatury mieszanka gazowa musi być sztucznie podgrzana do właściwej temperatury, t. j. do 500—600° C, a rolę tę spełnia grzejnik elektryczny. Natomiast przy pełnym ruchu ciepło, wytworzone podczas reakcji, (11 kal. na 1 mol  $NH_3$ ) wystarcza do samoczynnego podtrzymania właściwej temperatury.

Wreszcie dla całości obrazu warto zaznaczyć, że czas zetknięcia mieszanki gazowej z katalizatorem wynosił w tych pracach ok. 20 sekund. Gaz, opuszczający konwerter, zawiera — przy temperaturze 500 — 600°C i ciśnieniu 200—300 atmosfer — 15 — 25% objętościowo amoniaku, który absorbuje się albo w wodzie pod ciśnieniem, albo też wykrapla się go przez ochłodzenie do — 40°C. Dla uzyskania bowiem ekonomicznie pomyslnych rezultatów syntezy konieczne jest jak najdalsze usunięcie utworzonego amoniaku z gazów powracających — w procesie kołowym — do syntezy.

Wydajności amoniaku, po jednorazowym przejściu gazu przez konwerter, zależą przy identycznych warunkach temperatury i ciśnienia, od czasu zetknięcia z katalizatorem. On to „namawia” wciąż nowe jednostki azotu i wodoru do zawarcia związku. Krótsze więc, czasy dają niższe stężenia  $NH_3$  w gazie końcowym. W technicznym wykonaniu procesu według metody Habera nie uzyskuje się końcowego stanu równowagi, gdyż wymagałoby to zbyt długiego czasu zetknięcia gazu z katalizatorem. Natomiast przy szybkiej cyrkulacji gazu przez aparaturę uży-

skuje się dla urządzenia wyższe wydajności na jednostkę czasu, niż gdyby pracowano na granicy ustalania się równowagi.

Drugą, znacznie nowszą, mogącą budzić szczególne zainteresowanie teoretyczne, jest metoda George Claude'a, opracowana w latach 1917 — 1920, na podstawie wyników badań Habera, ale oparta na innych założeniach technicznych.

Claude — przez zastosowanie w sposób niezwykle śmiały, w precyzyjnej aparaturze, b. wysokich ciśnień, dochodzących do 1000 atmosfer, otrzymał b. znaczne wydajności amoniaku przy jednorazowym przejściu mieszanki nad katalizatorem. Przy tym ciśnieniu, w temperaturze roboczej, t.j. ok. 550°C, można osiągnąć do 40%  $NH_3$  w stanie równowagi.

Przy logarytmicznej skali zależności pracy kompresji od ciśnienia zwiększenie zużycia energii w metodach Claude'a jest tylko nieznaczne; natomiast katalizatory zużywają się tu b. szybko, głównie wskutek lokalnego przegrzania. Sama reakcja przebiega znacznie szybciej i praktyczne rezultaty reakcji są wyższe, niż w innych metodach.

Claude stosuje normalnie gaz koksowniczy jako źródło wodoru, który w drugiej fazie procesu koksowania węgla jest szczególnie bogaty w wodór. Jednakże proces oczyszczania tych gazów jest dość skomplikowany. Mieszankę gazową dla syntezy amoniakalnej otrzymuje się przez dodatek w odpowiednim stosunku azotu, otrzymywanego metodą Linde'go, t. j. przez frakcjonowaną destylację skroplonego powietrza.

Syntezę przeprowadza się tu w kilku konwerterach, t. zw. bombach katalitycznych, ustawionych szeregowo. Po każdym konwerterze usuwa się amoniak — stosunkowo bardzo łatwo — przez wykroplenie, po schłodzeniu gazów zimną wodą. Konwertery posiadają tu budowę prostą, umożliwiającą szybką wymianę katalizatora, i oczywiście wymiary znacznie mniejsze od konwerterów Habera. Przy tej samej objętości katalizatora — jak w metodzie poprzedniej — reaguje znacznie większa ilość gazu, wskutek czego efekt cieplny jest znacznie wyższy. To też, aby opanować ujemne działanie zbyt wysokiej temperatury na katalizator i na rezultat reakcji, Claude nie stosuje wymienników ciepła, a do bomby katalitycznej wchodzi gazy zimne, ogrzewa-

jąc się dopiero stopniowo na ścianach zewnętrznych i następnie wewnętrznych rury reakcyjnej.

Po przejściu przez każdy konwerter ok. 40% mieszanki łączy się na amoniak, tak, że objętość gazu szybko maleje. Odpowiada to 25% zawartości  $NH_3$  w gazie. Z ostatniego konwertera wychodzi gaz bogaty w metan i argon, tak, że nie opłaca się go zawracać do obiegu — jak to ma miejsce w metodzie Habera. Odmywa się więc resztki amoniaku wodą, a pozostały gaz łączy się ze świeżym gazem koksowniczym.

Metodzie Claude'a zarzucano dawniej nieekonomiczną pracę, jednakże i tu, po pokonaniu olbrzymich trudności, pracuje dziś szereg zakładów tą metodą z dobrym powodzeniem.

Inną, dość szeroko rozpowszechnioną w świecie, jest metoda Fausera, interesująca z tego powodu, że, jako najbardziej ekonomiczna dla naszych warunków, znalazła zastosowanie przy budowie wielkiej syntezy amoniaku w Mościcach.

Synteza Fauser'a jest bardzo zbliżona do metody Habera. Stosuje ona ciśnienie ok. 250 atmosfer i temperaturę 450—550°C. Różnica główna polega na konstrukcji konwertera. Należy to przyznać, że Fauser poświęcił dużo uwagi badaniom wpływu temperatury i szybkości przepływu gazów nad katalizatorem, konstruując konwerter, zezwalający na dobrą wymianę ciepłą i pracę w nieco niższej temperaturze, niż w metodzie Habera. Właśnie dzięki tym zaletom konwertera, dzięki niższej temperaturze, Fauser, przy niezmienionych innych parametrach, nie tylko uzyskał zwiększenie wydajności amoniaku, ale zachowuje pełną aktywność katalizatora przez okres szczególnie długi, przekraczający — bez wszelkiej zmiany — ponad rok czasu.

W przemyśle światowym zastosowanie znalazły i inne metody, jak włoska metoda Casale, zrealizowana ok. 1923 r. i stosująca wysokie ciśnienia, zbliżone do metody Claude'a, jak metoda amerykańska „Nitrogen Engineering Comp.“, stanowiąca modyfikację idei Habera i Bosch'a, lub wreszcie dwie metody, posługujące się stosunkowo niskimi ciśnieniami, ok. 100 atm., t. j. metoda „Atmospheric Nitrogen Corp.“ i metoda „Mont - Cenis“, wypracowana w r. 1925 w Westfalii i posługująca się specjalnym katalizatorem z grupy żelazocjanków, a produkująca amoniak

z dobrymi wydajnościami w temperaturze b. niskiej, bo około 400° C.

W chwili obecnej około 100 fabryk światowych opiera swą produkcję związków azotowych o syntezę amoniaku. Z tego jednak 8 fabryk, opartych o metodę Habera i Bosch'a, reprezentuje prawie 50% zdolności produkcyjnej wymienionych fabryk.

Resztę reprezentują inne metody, w tym metoda Fauser'owska znalazła zastosowanie w 16 fabrykach i reprezentuje prawie 11% zdolności produkcyjnej fabryk amoniaku syntetycznego w świecie.

Aby uzyskać w rezultacie te różnorodne produkty azotowe techniczne i przemysłowe, reprezentujące dziś miliardowe wartości, produkty, które wywarły istotny wpływ nie tylko na charakter i metody produkcji agrarnej, ale które w sposób nieraz decydujący zmusiły do postawienia problemu nawet elektryfikacji, które wpłynęły na rozkwit elektrotechniki, które zmieniły podstawy ilościowe produkcji materiałów wybuchowych, które rozszerzyły ramy pracy całego przemysłu chemicznego, które w oczach naszych rozpoczynają walkę o wyzwolenie narodów z pod monopolu bawełny i jedwabiu naturalnego, a które przed 30 laty nie posiadały jeszcze wypracowanych wskazań teoretycznych i laboratoryjnych, posługujemy się kilkoma prostymi elementami.

Przystępując do realizacji zakładu, opartego o syntezę amoniaku, należy w zasadzie rozporządzać czterema czynnikami, które są nieodzowne dla zmontowania i prowadzenia tej produkcji:

Są to: woda — powietrze — pieniądze i wiedza. Dwa pierwsze należą do czynników najbardziej dostępnych na świecie — tak samo jak dwa następne do czynników, które występują, niestety, rzadziej, ale które w produkcji azotowej na wskroś nowoczesnej i rozbudowanej w wielkim stylu odgrywają rolę znacznie większą, niż gdzie indziej. Z tych dwu surowców prymitywnych: wody i powietrza w procesach wcale skomplikowanych uzyskujemy dwa surowce szlachetne, stanowiące podstawę interesującej nas produkcji: wodór i azot w formie możliwie najczystszych technicznie gazów. Wielka część kosztów instalacyjnych, kosztów energetycznych i kosztów ruchu, łącznie z nauko-



wym nadzorem, poświęca się temu właśnie zagadnieniu. Dalszym podstawowym i również subtelnym zagadnieniem jest przepracowanie wymienionych dwu surowców na dwa zasadnicze, fundamentalne półprodukty, na których dopiero wspiera się cała wielka skala nowoczesnej produkcji związków azotowych, stanowiących wyroby gotowe.

Tymi półproduktami są:

amoniak syntetyczny

i kwas azotowy o różnych koncentracjach.

Jeżeli produkcja wyrobów gotowych i technologicznie i naukowo nie odbiega od szablonu produkcji chemicznej, to zarówno produkcja amoniaku, jak też i nowoczesna produkcja kwasu azotowego stanowią raczej potężne i precyzyjne laboratoria, posługujące się ścisłymi metodami pracy, niż fabryki w wyobrażeniu i znaczeniu popularnym.

O syntezie amoniaku mówiliśmy dotychczas. Obecnie chcę poświęcić chwilę uwagi produkcji kwasu azotowego, a to tym bardziej, że właśnie w ostatnim 10-leciu to zagadnienie stało się czołowym i skupia — z dość zrozumiałych powodów — największej uwagi naukowców i techników.

Aż do początków obecnego stulecia saletra sodowa (chilijska) była praktycznie jedynym źródłem otrzymywania kwasu azotowego drogą rozkładu azotanu stężonym kwasem siarkowym i skraplania destylujących par kwasu azotowego.

Choć już przed stu kilkudziesięciu laty Priestley skonstatawał, że iskra elektryczna, przepuszczona przez powietrze, w przestrzeni zamkniętej, w której znajduje się woda, wywołuje zmniejszenie się objętości powietrza oraz skwaśnienie wody; choć Cavendish, powtarzając to doświadczenie — przez absorpcję gazów w roztworze alkalicznym — otrzymał po raz pierwszy azotany i azotyny, jednakże praktycznie próby te były pozabawione znaczenia.

Dopiero na przełomie dziewiętnastego i dwudziestego wieku, gdy zainteresowanie dla problemu azotowego stało się b. żywe, gdy równocześnie przez pojawienie się generatorów prądu elektrycznego i przy zastosowaniu siły wodnej do ich napędu stworzono perspektywę taniej energii elektrycznej, monopol produkcji kwasu azotowego z saletry chilijskiej został zagrożony.



Wówczas to skryształizowały się tendencje do rozwiązania całego problemu azotowego. przez użycie powietrza do produkcji kwasu azotowego i azotanów przy pomocy łuku elektrycznego. Że zaś nad każdym km<sup>2</sup> powierzchni kuli ziemskiej jest do dyspozycji około 10 milionów ton powietrza, przeto wyzyskanie tego surowca stało się pociągające.

Badania, które w tym okresie czasu zostały podjęte, wykazały, że równowaga w układzie „tlenek azotu — powietrze“ przesuwana się wraz ze wzrostem temperatury w kierunku tlenku azotu. Idzie tu jednak o temperatury bardzo wysokie, nieosiągalne przy normalnym procesie spalania. Tak więc w temperaturze 2000°C stężenie *NO* osiąga 1.2% (objętościowy), w temperaturze 2500° — 2.6%, a w temperaturze 3000° — ca 5.3%. I gdy w temperaturze poniżej 1500° równowaga ustala się po godzinach, to w temperaturze powyżej 2500°—w ułamkach sekundy. Jednakże, celem otrzymania tlenku azotu, utworzonego w wysokiej temperaturze, koniecznym jest natychmiastowe schłodzenie całego gazu poniżej 1000°, gdyż dopiero w tych granicach temperatur tlenek azotu jest praktycznie trwały.

Do najbardziej znanych metod produkcji należą: Birkeland - Eyde'go, zrealizowana w skali wielko-przemysłowej w Norwegii, prof. Mościckiego — zrealizowane w Szwajcarii i w Polsce, oraz Schönherra i Pauling'a. Różnią się one między sobą głównie sposobami rozwiązania pieca elektrycznego, chłodzenia gazów oraz absorpcji tlenków azotu. Metody Birkeland'a - Eyde'go i Mościckiego, ujawnione po szeregu lat pracy eksperymentalnej i po całkowitym wykształceniu swej oryginalnej aparatury, prawie równocześnie jako osiągnięcia pionierskie — w skali światowej — są znamienne tym, że dla zwiększenia powierzchni styku powietrza z łukiem elektrycznym stosują silny elektromagnes, w którego polu łuk elektryczny przybiera kształt wirującej tarczy.

Stężenia tlenków azotu, uzyskiwane w piecach przemysłowych, wahają się w granicach 1 — 2% obj. *NO*, a otrzymany przez absorpcję tych tlenków w wodzie kwas był rozcieńczony i rzadko przekraczał 30% *HNO*<sub>3</sub>. Kwas ten przerabiano na saletrę wapniową lub sodową — stosując je w wielkich ilościach,

jako nawozy sztuczne, lub jako materiał wyjściowy do produkcji bardziej stężonego kwasu azotowego.

Z chwilą jednak rozwoju metod produkcji syntetycznego amoniaku i gwałtownego obniżenia kosztów produkcji  $NH_3$ , a następnie metod, zezwalających na ekonomiczną i niezależną od dużych ilości prądu elektrycznego przeróbkę amoniaku na kwas azotowy, metody łukowe na ogół utraciły swą rację bytu, choć w historii rozwoju produkcji i syntezy azotowej odegrały b. wybitną rolę. Jedynie tylko kraje, posiadające praktycznie prawie darmową energię elektryczną, mogły zachować w ruchu piece, związane z metodą łukową.

Generalnie jednak miejsce ich zajęły metody, idące drogą utleniania amoniaku.

I na tym odcinku pracy droga, przebyta w ciągu ostatnich trzydziestu lat, jest olbrzymia. W r. 1907 Ostwald opublikował sprawozdanie p. t.: „Über die Herstellung von Salpetersäure aus Ammoniak“, w którym przedstawia historię pokonywania pierwszych trudności w opanowywaniu tego procesu. Niebawem idea poczęła się realizować w skali fabrycznej.

Jeżeli więc w warunkach normalnych mieszanina amoniaku z powietrzem, wzgl. z tlenem, spala się na wodę i wolny azot, czyli powraca do punktu wyjścia reakcji, związanych z syntezą amoniaku, to, o ile tę samą mieszaninę w temperaturze wyższej zetknie się z substancjami, działającymi tu katalitycznie, wówczas reakcja utlenienia idzie inną drogą i azot łączy się z tlenem, tworząc tlenki, a więc podstawowy półprodukt dla syntezy kwasu azotowego.

Stosowany dla tej reakcji katalizator jest nie tylko wyjątkowo kosztowny, ale i bardzo wymagający i nawet złośliwy. Jest nim platyna chemicznie czysta, względnie platyna z dodatkami bardzo rzadkich metali, j. np. rod, wykształcona w tkaninę o zawartości 3000 — 3600 oczek na  $cm^2$ . Złośliwość tego katalizatora polega na tym, że w zasadzie ma on tendencje doprowadzenia drobin amoniaku do zupełnej separacji, by następnie unieruchomić wodór w postaci wody, a azot aktywny w formie amoniaku zamienić na azot wolny, ale pasywny chemicznie. To też drobin  $NH_3$  w stosunkowo wysokiej temperaturze mogą być wystawione tylko przez czas b. krótki na działanie tego drogocennego

katalizatora, a mianowicie czas kontaktu z katalizatorem określa się od 0,0003 do 0,001 sekundy.

Wreszcie podkreślić należy, że katalizator platynowy jest bardzo wrażliwy na zatrucie. T. np. dwie części fosforowodoru na sto milionów części amoniaku powodowały już silny spadek wydajności katalizatora, i trudności te przechodziliśmy ongiś sami po uruchomieniu pierwszej instalacji utleniania amoniaku w Chorzowie, produkując wówczas bardzo zanieczyszczony amoniak przez rozkład cjanamidu wapnia. Również związki krzemu i nawet zanieczyszczenia mechaniczne działają szkodliwie na katalizator.

Obecnie jednak, gdy coraz wyłącznie posługujemy się amoniakiem syntetycznym, a więc b. czystym, gdy technika utleniania została opanowana, uzyskujemy wydajności utleniania amoniaku w procesie wielko-fabrycznym, dochodzące do 98%.

Rozróżniamy też obecnie dwie grupy metod produkcji kwasu azotowego z amoniaku, a mianowicie metody, posługujące się normalnym ciśnieniem i ciśnieniem zwiększonym. Do pracujących przy normalnym ciśnieniu należy metoda firmy „Bamag” dla otrzymywania kwasu rozcieńczonego i kwasu stężonego, oraz metoda Parsons'a, stosowana głównie w Ameryce. Do metod, opartych o zasadę wyższego ciśnienia, należą metody: Fauser'a i Du Pont'a.

Najbardziej rozpowszechnionymi w Europie są urządzenia dla produkcji kwasu azotowego systemu „Bamag”. W metodzie tej powietrze, wzbogacone w tlen — stojący do dyspozycji w pewnej ilości w każdej prawie fabryce azotowej w formie odpadku z aparatów Linde'go — miesza się z amoniakiem, otrzymując mieszkankę o zawartości ok. 10%  $NH_3$  i 24% tlenu. Podgrzane gazy prowadzi się następnie do utleniaczy, w których rozpięte są często dwie siatki platynowe z 3% dodatkiem rodu. Siatka dolna — pierwsza w kierunku nadchodzenia gazów — posiada ok. 3600 oczek na  $cm^2$ , górna ok. 1200. Utlenianie zapoczątkowuje się przez podgrzanie siatki płomieniem wodorowym. Raz zapoczątkowana reakcja przebiega dalej samoczynnie, utrzymując temperaturę na siatce w granicach 600 — 700°C, dzięki wydzielaniu ciepła reakcji. Gorące gazy z utleniaczy przechodzą do urządzeń rekuperujących ciepło, a po ochłodzeniu wchodzą do wież

absorpcyjnych i przestrzeni utleniających  $NO$  do  $NO_2$ , 75—80% tlenków ulega absorpcji w t. zw. baterii absorberów kwaśnych. Resztę zatrzymuje się w absorpcji alkalicznej.

Metody pracy pod ciśnieniem — opracowane np. przez Fauser'a — mają na celu zarówno jaknajlepszą absorpcję, której ciśnienie sprzyja, jak też i uzyskanie bardziej stężonego kwasu azotowego, już w pierwszej fazie produkcji.

W urządzeniu Fauser'a komprymuje się gazy, idące z utleniaczy amoniakalnych, do 2 — 3 atm. i absorbuje się je w przeciwprądzie nie w wieżach z kamieni kwasoodpornych, ale w cylindrycznych naczyniach, poziomo ustawionych, zbudowanych ze stali kwasoodpornej, chłodzonych z zewnątrz. Z instalacji tej uzyskuje się kwas o stężeniu, dochodzącym do 67%.

Największe jednak, wprost imponujące zdobycze w tej dziedzinie produkcji, przyniosło ostatnie 5-lecie. Na podstawie doświadczeń, zdobytych przy spalaniu amoniaku pod ciśnieniem i przy wyższej zawartości tlenu, pokuszono się z pełnym powodzeniem o realizację metody, która by dawała wprost, bez destylacji i bez dodatkowej koncentracji, jako produkt bezpośredni — kwas o stężeniu ok. 97% — 99.0%, t. j. taki, jaki dla specjalnej produkcji chemicznej jest najbardziej poszukiwany i wartościowy.

Jedna z nielicznych na świecie instalacji tego typu pracuje już od 4-ch lat w Polsce i dała rezultaty techniczne i gospodarcze więcej niż zadawalające. Uczyniła nas całkowicie niezależnymi w tej produkcji od zagranicy przy równoczesnym obniżeniu ceny za kwas — dawniej importowany — o zwyż 50%. Odnośna metoda, b. inteligentnie wykształcona, została opracowana przez firmę „Bamag“, i znana jest pod nazwą „Hoko“. W prawie typowym utleniaczu Bamaga o poziomej siatce platynowej spala się mieszanekę amoniaku z tlenem, przy czym koncentracja  $NH_3$  może dochodzić do 30%. Aby zapobiec eksplozji mieszaniny amoniaku z tlenem, stosuje się pod siatką platynową zamknięcie wodne. Składa się ono z rury, wylewającej strumień wody na gęstą siatkę metalową, przez którą przeciska się mieszanina gazowa pod ciśnieniem. W ten sposób odcięte ruchomą wodą i temperaturą poniżej 100°C gazy zabezpieczone są przed wybuchem. Produkty spalania idą następnie do chłodnika hur-

ganowego, gdzie wykrapla się para wodna, a następnie do wymrażacza, w którym zostaje wykroplony ciekły czterotlenek azotu. W umieszczonych na zewnątrz budynku fabrycznego bombach ciśnieniowych, wyłożonych czystym aluminium, tetroksyd— z obliczoną ilością rozcieńczonego kwasu azotowego, zostaje poddany działaniu tlenu pod ciśnieniem 50 atm., w rezultacie czego uzyskuje się bezpośrednio kwas azotowy, czysty i o najwyższej koncentracji.

Technologia syntetycznych związków azotowych szła w ostatnich dziesięcioleciach wielkimi krokami naprzód. Tak jak w okresie życia poprzedniej generacji zagrożenie pierwiastków promieniotwórczych, czy też synteza barwników i półproduktów organicznych, czy wreszcie mechanizacja urządzeń fabrycznych wycisnęły pewne szczególne piętno na rozwoju cywilizacji ludzkiej, tak dziś — obok techniki lotnictwa i rozwoju automobilizmu, obok radiofonii, obok zdobyczy nauki w zakresie wiedzy o materii i energii — sprawa syntezy związków azotowych zapisze się do księgi dużych zwycięstw człowieka nad materią.

Ten tryumf dokonał się w ogniu walki z przeciwnościami i doprowadził w krótkim okresie czasu do powstania zupełnie nowego, potężnego przemysłu w świecie. Co ważniejsze: w obronie swego cenniejszego choć usprawiedliwionego interesu, nie zahamował on rozwoju i postępu technicznego. Przed trzydziestu laty umiano przekształcić pracę, reprezentowaną przez 1 KW/rok, na 135 — 145 kg azotu związanego. Posługiwano się wówczas pionierską metodą łukową. Przed dwudziestu laty w fabrykach azotniaku z tej samej ilości pracy otrzymywano już 600 kg azotu związanego. Dziś — w metodzie syntezy amoniaku z doliczeniem ekwiwalentu elektrycznego surowca z zaliczeniem pracy, potrzebnej do otrzymania mieszanki gazowej i przeprowadzenia syntezy, uzyskujemy wydajność 2500 — 2700 kg *N* z 1 KW/roku. Prawie 20-krotne zmniejszenie zapotrzebowania energii mechanicznej dla uzyskania tego samego efektu.

Synteza azotowa stała się też reflektorem, oświetlającym cały łańcuch innych zagadnień, pobudziła i przyspieszyła rozwiązanie wielu innych problemów z zakresu chemii czystej i stosowanej, chemii rolniczej, z zakresu fizyki i elektrotechniki, wywołała nowe potrzeby w dziedzinie aparatury, w dziedzinie



stosowania i transformowania wielkich ilości energii elektrycznej, w zakresie transportu surowców gazowych, w technice wysokich ciśnień, b. wysokich i b. niskich temperatur, stworzyła rewolucję w dziedzinie materiałów kwasoodpornych i t. p.

W światowej statystyce produkcji związków azotowych Polska nie zajmuje szczególnie wybitnego miejsca. Posiada jednak pozytywne znaczenie jako producent. W dwu grupach produkcji syntetycznej: w grupie amoniaku i pochodnych i azotniaku zajmujemy ilościowo różne pozycje.

W stosunku do produkcji światowej reprezentują udział procentowy:	Azotniaku:	Amoniak:
1. Niemcy	26,3 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	35,1 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
2. Stany Zjednoczone	9,2 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	10,3 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
3. Francja	8,2 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	8,7 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
4. Japonia	14,6 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	8,0 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
5. Włochy	4,9 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	3,8 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
6. Norwegia	3,4 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	3,4 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
7. Kanada	18,3 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	1,1 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
8. Polska	6,9 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	2,2 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>
9. Czechosłowacja	1,4 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	0,7 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>

Jak widać więc pozycja Polski w tej dziedzinie nie jest podrzędna. Produkcja nasza jest całkowicie nowoczesna i we wszystkich rezultatach technicznych zajmujemy jedno z czołowych miejsc. Ponadto w każdej prawie dziedzinie metod azotowych nazwiska polskie odegrały ważną, pionierską rolę i dziś rozporządzamy pierwszorzędnym zespołem ludzkim, t. zw. szkołą prof. Mościckiego, zespołem, który zasiliał wysiłki w dziedzinie azotowej wielu obcych narodów i zasila po dzień dzisiejszy, a dla kraju stwarza pewność, że każda trudność w tej dziedzinie będzie pomyślnie i sprawnie rozwiązana.

Podobnie — jak w tylu innych dziedzinach — tak i w dziedzinie azotowej dwie potężne i wiecznie żywotne dźwignie postępu: nauka i technika, dały światu rozwiązanie problemu, który wydawał się nierozwiązalny. Gdy wyrosły potrzeby uwielokrotnienia wartości pracy ludzkiej — nauka i technika w fantastycznej skali rozporządzalnych maszyn — uczyniły to. Gdy



człowiek zapragnął poruszać się pod powierzchnią oceanów, gdy zapragnął przebywać olbrzymie przestrzenie w powietrzu, gdy stało się koniecznością niezwłoczne porozumiewanie się dwu najbardziej odległych krańców świata — nauka i technika umożliwiły to. Życie człowieka zostało przedłużone, produkcja gleby została spotęgowana; gdy trzeba było koniecznie i równocześnie wydobyć z węgla kamiennego produkty charakterystyczne dla ropy naftowej, a z pochodnych ropy uzyskać odwrotnie węglowodory aromatyczne, charakterystyczne dla przeróbki węgla, to wiedza i technika dokonały tego.

Ich celem jest dobro ludzi — choć skutki ich wysiłku nie zawsze ten cel osiągają.

Gdyby jednak politycy, trzymający w swej dłoni kierownicę losów ludzkości, chcieli i umieli wyzyskać wkład, z którym przychodzą codziennie nauka i technika, to ludzkość szła by nieprzerwanym pochodem naprzód: ku spotęgowanej cywilizacji w atmosferze kultury i dobrobytu.

---