

**Jerzy Lachamjer**

## **Technologia nitrogliceryny w zakładach Dynamit Nobel A.G. w Bydgoszczy**

Odkrycie nitrogliceryny w XIX wieku, choć z początku nie zapowiadało znacznych zmian cywilizacyjnych, stało się w gruncie rzeczy wynalazkiem epokowym.

Jako pierwszy nitroglicerynę uzyskał włoski chemik Ascanio Sobrero (1812-1888). Jego badania nad związkami nitrowymi zaczęły się w 1840 r., kiedy to przez dwa lata w Paryżu badał nitrowanie naturalnych substancji organicznych. W 1845 r. został profesorem chemii w Turynie, gdzie kontynuował badania nad nitrowaniem. W 1846 r. uzyskał po raz pierwszy nitroglicerynę. Sobrero zbadał podstawowe właściwości fizykochemiczne nitrogliceryny i nadał jej nazwę „glicerina fulminate”, którą tłumaczyć można jako piorunującą glicerynę.

Przez kolejne lata po odkryciu jedynym zastosowaniem nitrogliceryny był preparat farmaceutyczny o działaniu nasercowym o nazwie „glonoina”. Dopiero nitrogliceryna zastosowana jako materiał wybuchowy oddała liczne usługi gospodarce światowej i technice wojskowej, wprowadzając je w nową erę, w wiek „pary i atomu”.

Umożliwiły to między innymi prace rosyjskiego chemika Mikołaja Zinina (1812-1880). Zinin samodzielnie otrzymał nitroglicerynę i zbadał jej właściwości, nie wiedząc o odkryciu A. Sobrero. Zinin jednakże skupił swoje prace nad zastosowaniem nitrogliceryny jako materiału wybuchowego. W latach wojny krymskiej (1853-1856) wraz z generałem artylerii Wasilijem Pietruszewskim próbowali elaborować nią amunicję wojskową. Dalszy rozwój zastosowań nitrogliceryny możliwy był dzięki dwóm odkryciom: w 1863 r. dynamitu oraz w 1888 r. balistytu. Obu odkryć dokonał Alfred Nobel. Dynamit był

mieszaniną nitrogliceryny i ziemi krzemkowej, co redukowało główną wadę nitrogliceryny jako materiału wybuchowego, tzn. jej wrażliwość. Dzięki czemu zastosowano go w inżynierii cywilnej. Balistyt był roztworem nitrogliceryny i nitrocelulozy, który – znany pod nazwą *proch bezdymny* – zastosowano w amunicji wojskowej. Należy wspomnieć, że niezależnie od Nobla w 1863 r. Pietruszewski i Czerniowski-Sokół rozpoczęli w Rosji produkcję, podobnej w swoich właściwościach do dynamitu, mieszaniny nitrogliceryny z węglanem magnezu.

Nitrogliceryna umożliwiła wydajne wydobywanie złóż kopalnych, kształtując gospodarkę światową i stymulując rozwój przemysłu. Umożliwiła również liczne przedsięwzięcia inżynieryjne kształtujące obraz dzisiejszego świata. Dzięki niej budowano tamy na rzekach, tunele, drogi, porty, a nawet kanały morskie, jak słynny Kanał Panamski (do którego budowy zużyto aż 30 000 ton tego materiału w formie dynamitu). W XIX wieku jedynym materiałem wybuchowym stosowanym w górnictwie i inżynierii lądowej był proch czarny. Był to materiał z wielu powodów niedogodny i mało wydajny. Był wrażliwy na wilgoć i miał niewielką energię wybuchu wymagającą stosowania dużych ładunków, a co za tym idzie – trudnych i czasochłonnych w wykonaniu odwiertów. Właściwości kruszące w dużej mierze zależały od ciśnienia, w którym następowało spalanie. Aby je zapewnić, napotymano problemy związane z uszczelnianiem urobkiem odwiertów pod ładunki. Znaczna ilość powstających gazów po wybuchu nie pozostawała też bez wpływu na zdrowie górników. Zastąpienie prochu czarnego nitrogliceryną spowodowało kilkukrotne zwiększenie wydajności i było pozbawione powyższych wad.

Również w technice wojskowej nitrogliceryna jako komponent nowoczesnych bezdymnych prochów nitroglicerynowo-nitrocelulozowych wprowadziła nową epokę. Proch bezdymny dla wojska to lepsze maskowanie stanowisk ogniowych, których położenie zdradzał teraz jedynie błysk i huk (w dobie prochu czarnego stanowiska ogniowe były widoczne jak na dłoni, zasnuwane całunami białego dymu powstającego w ogromnych ilościach po każdym wystrzale). Proch bezdymny, spalając się, nie pozostawiał w lufie i mechanizmach broni tak dużej ilości korozyjnych osadów jak proch czarny. Dzięki temu możliwe było wprowadzenie automatyki do broni palnej. Gdyby nie proch bezdymny, nie powstałaby broń samopowtarzalna, a już tym bardziej automatyczna. Proch nitrocelulozowo-nitroglicerynowy (nitrocelulozowo-nitroglukolowy) był również pierwszym zastosowanym z powodzeniem materiałem pędnym w wojskowej technice raketowej. Przykładem tego były niemieckie rakiety o wspólnej nazwie kodowej Nebelwerfer. Tak oto wynalazek jednej substancji chemicznej zainicjował rozwój nauki, techniki i gospodarki, medycyny, a nawet przemiany polityczno-wojskowe.

W latach II wojny światowej w Bydgoszczy wybudowano wytwórnię nitrogliceryny zwaną strefą nitrogliceryny „NGL”. Stanowiła ona jedynie część kombinatu filii zakładów zbrojeniowych Dynamit Nobel A.G. w Bydgoszczy. Zadaniem tego kombinatu była produkcja miotających i kruszących materiałów wybuchowych oraz wypełnianie nimi skorup pocisków i łusek amunicji wojaskowej (tzw. elaboracja). Kombinat budowano począwszy od roku 1939, kiedy to rozpoczęto prace przygotowawcze (geodezyjne, planistyczne i ogrodzeniowe). W latach 1942-1943 w kombinacie uruchomiono: instalację produkcji nitrocelulozy „NC”, obróbki końcowej prochów strzelniczych i artyleryjskich „POL”, rozpoczęto ruch w instalacji produkcji kruszących materiałów wybuchowych „TRI”, „DIB” oraz elaboracji amunicji na wydziale „Fülstelle”. Finałnie w 1944 r. uruchomiono wytwórnię nitrogliceryny „NGL”, na której się skupimy. Podczas gdy niektóre elementy kombinatu nie były jeszcze zbudowane, reszta zakładów pracowała z wykorzystaniem surowców i półproduktów przywożonych z Niemiec. Dopiero po 1944 r. kombinat zyskał niemalże pełną autonomiczność, sprowadzając jedynie surowce, tj. kwasy, celulozę, glicerynę i dodatki. Czynnione były wysiłki, by powiększyć autonomiczność zakładu, budując instalację kwasu siarkowego (niezbudowaną do wyzwolenia). Z chwilą wyzwolenia zakładów przez armię radziecką w 1945 r. nastąpiła ewakuacja kombinatu, wtedy też zniszczeniu prawdopodobnie uległa znaczna część dokumentacji. Po zdobyciu zakładów armia radziecka przystąpiła do ich demontażu i przenoszenia, czyniąc znaczne zniszczenia. Wymontowane aparaty i urządzenia wywieziono prawdopodobnie na Ukrainę, jednak brak sygnałów, by zachowały się po dzień dzisiejszy.

Aby zrozumieć rolę wytwórni NGL w kombinacie produkcyjnym miotających materiałów wybuchowych, przedstawimy pokrótce zarys jego funkcjonowania. Później skupimy się wyłącznie na strefie NGL.

Na samym początku poddawano obróbce mechanicznej celulozę, tak by nadać jej pożądane własności. Odpowiednio rozdrobnioną celulozę poddawano nitrowaniu w dziale NC, działając na nią kwasem azotowym i siarkowym. Otrzymaną nitrocelulozę przewożono w stanie mokrym do strefy NGL, gdzie rozpuszczano ją w wytwarzanej tam nitroglicerynie. Uzyskane tak wilgotne tzw. ciasto prochowe poddawano w strefie POL następującym procesom:

- mieszanii – dokonywano tego w magazynach poprzez zasyp świeżych partii prochu warstwami poziomymi, a pobór do dalszej przeróbki warstwami pionowymi (uzyskiwano w ten sposób uśrednienie jakości prochu z wielu partii);
- wprowadzeniu dodatków, jak np.: sól, tlenek magnezu, grafit, wosk, czego dokonywano w ugniataczkach;

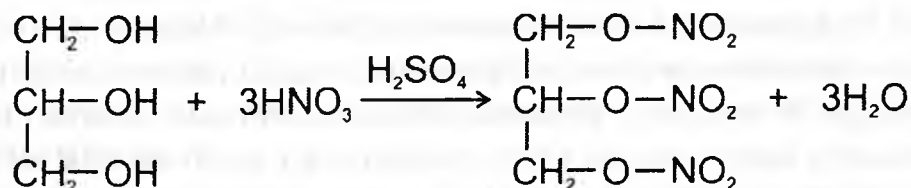
- walcowaniu żelatynizującemu w temperaturze 95°C, w wyniku czego otrzymywano z masy prochowej jednolite i przezroczyste arkusze prochu;
- wyciskaniu w prasie poprzez matryce z otworami o kształtach okręgów, gwiazdek lub prostokątów (i innych), uzyskując ziarno prochu o odpowiednim kształcie;
- krajaniu nitek prochu odbieranych z prasy;
- ewentualnemu polerowaniu w obecności grafitu, tzw. grafitowaniu (w przypadku prochów moździerzowych).

Ponadto na wstępie należy wspomnieć, że ustalenia dotyczące konkretnych rozwiązań zastosowanych w zakładzie nie są oparte na dokumentacji technicznej zakładów DAG, gdyż takowa uległa zniszczeniu. Ustalenia w większości stanowią hipotezy, trafne – jak sądzę – o tyle, o ile w zakładzie nie wprowadzono wniosków racjonalizatorskich, powodując tym samym odstępstwa od „sztancy” obowiązującej w budowie tego typu zakładów w Niemczech hitlerowskich. Ustalenia są efektem badań nad pozostałościami po zakładzie oraz stanu techniki w tym okresie. W trakcie badań porównano liczne istniejące i wykorzystywane przez Niemców technologie z ich hipotetycznymi pozostałościami na terenie NGL. W wyniku tak prowadzonych prac ponad wszelką wątpliwość stwierdzono typ instalacji produkcji nitrogliceryny i jej wydajność oraz rozlokowanie jej elementów. Instalacja podobnego typu działała również w innych zakładach produkujących nitroglicerynę, co umożliwiło podanie szczegółów technicznych niektórych wspólnych aparatów. W wyniku badań pozostałości po zakładzie identyfikuję także technologię denitracji i zateżania kwasu azotowego oraz żelatynizacji. Jednakże w tej kwestii podaję głównie opisy ogólne, gdyż nie poznamy nigdy budowy działających tu instalacji ze względu na brak dokumentacji w tym zakresie. Całość opisu ma na celu stworzenie u czytelnika obrazu zakładu, tak by poznał on cele stosowanych tu technologii i środków prowadzące do ich uzyskania, jak również problemy technologiczne i ich rozwiązanie. Mam nadzieję, że czytelnik, gdy zapozna się z prezentowanymi treściami oraz zwiedzi pozostałości po zakładach, zobaczy w nich nie tylko puste budynki i tunele, lecz pełne maszyn i ludzi zakłady, które umożliwiały armii niemieckiej walkę na froncie wschodnim.

## **Właściwości fizykochemiczne i otrzymywanie nitrogliceryny**

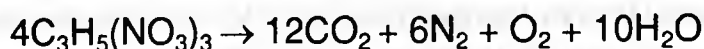
*Nitrogliceryna* to nazwa zwyczajowa, bowiem związek ten nie jest związkiem nitrowym, lecz estrem kwasu azotowego. Jego poprawna nazwa chemiczna to *trójazotan gliceryny*. Przez ponad 150 lat technologii tego związku znany był on pod nazwą *nitrogliceryna* i tą nazwą jako powszechnie znaną

i rozumianą będziemy się posługiwać. Nitrogliceryna jest cieczą o gęstości  $1,6 \text{ g/cm}^3$  (w temperaturze  $15^\circ\text{C}$ ). Jest pozbawiona barwy i dzięki znacznej lepkości zachowuje się jak olej, stąd jedna z jej potocznych nazw to *olej wybuchowy*. W temperaturze powyżej  $75^\circ\text{C}$  (w obecności kwasów już w  $40^\circ\text{C}$ ) nitrogliceryna zaczyna się rozkładać, wydzielając między innymi wolny kwas azotowy, który jeszcze bardziej przyspiesza rozkład. Wolny kwas azotowy utlenia nitroglicerynę. Proces ten zachodzi we wspomnianej temperaturze przez 3-4 dni, gdy nitrogliceryna jest czysta, jednak gdyby była kwaśna, rozkładałaby się w czasie kilku godzin. Utlenieniu nitrogliceryny towarzyszy wyzwalać się ciepła, przez co prędkość rozkładu, jak i temperatura rosną, aż osiągną wartość krytyczną i eksplozji. Ta wartość krytyczna to  $200\text{-}222^\circ\text{C}$  (zależy od prędkości ogrzewania). Dlatego tak ważne było dokładne odmycie i neutralizacja nitrogliceryny w procesie technologicznym. W nitroglicerynie rozpuszcza się dobrze nitroceluloza, co wykorzystano do otrzymywania prochów bezdymnych. Nitrogliceryna wykazuje wpływ na organizmy ludzi i zwierząt. Oddziałując na nie, poszerza światło naczyń krwionośnych, co powoduje obniżenie ciśnienia tętniczego. Obserwowalnym objawem zatrucia u ludzi są zawroty i bóle głowy. U większości osób w wyniku długotrwałej ekspozycji wytwarzają się mechanizmy odpornościowe, w wyniku czego objawy zatrucia nie występują.



Nitroglicerynę otrzymuje się w procesie estryfikacji gliceryny kwasem azotowym wobec kwasu siarkowego. Mieszaninę kwasów azotowego i siarkowego nazywa się mieszaniną nitrującą. Do otrzymywania nitrogliceryny stosuje się mieszaninę o stosunku wagowym 1:1, sporządzoną z dymiącego kwasu azotowego i stężonego kwasu siarkowego, obu o śladowej zawartości wody. W trakcie reakcji wydziela się ciepło oraz powstaje woda, rozcieńczając środowisko reakcji. Duża ilość wody powoduje spowolnienie i zatrzymanie procesu, a nawet odwrócenie reakcji. Sama reakcja jest egzotermiczna, co znaczy, że wydziela się w jej trakcie ciepło ( $14,7 \text{ kcal/mol}$  otrzymanej nitrogliceryny, czyli na każde  $227 \text{ g}$ ), które należy sprawnie odbierać, aby nie dopuścić do eksplozji, temperatura nie może przekroczyć  $30^\circ\text{C}$ . Ważne dla technologii jest to, że nitrogliceryna słabo rozpuszcza się w wodzie ( $1,8 \text{ g/dm}^3$  w  $20^\circ\text{C}$ ) i w rozcieńczonych kwasach, nie rozpuszcza się też w glicerynie, co ułatwia jej otrzymywanie w formie czystej.

Nitrogliceryna jest materiałem wybuchowym kruszącym. Obarczona jest pewną negatywną cechą, jaką jest wielka pobudliwość. Oznaczono, że upadek 2 kg z wysokości 2,5 cm powoduje jej wybuch. Dlatego właśnie nie stosuje się nitrogliceryny w formie czystej, tylko w postaci mieszanin, jak dynamit o niskiej wrażliwości. Również inne czynniki, jak temperatura czy tarcie, powodują wybuch. Nitrogliceryna w trakcie wybuchu rozkłada się według równania:

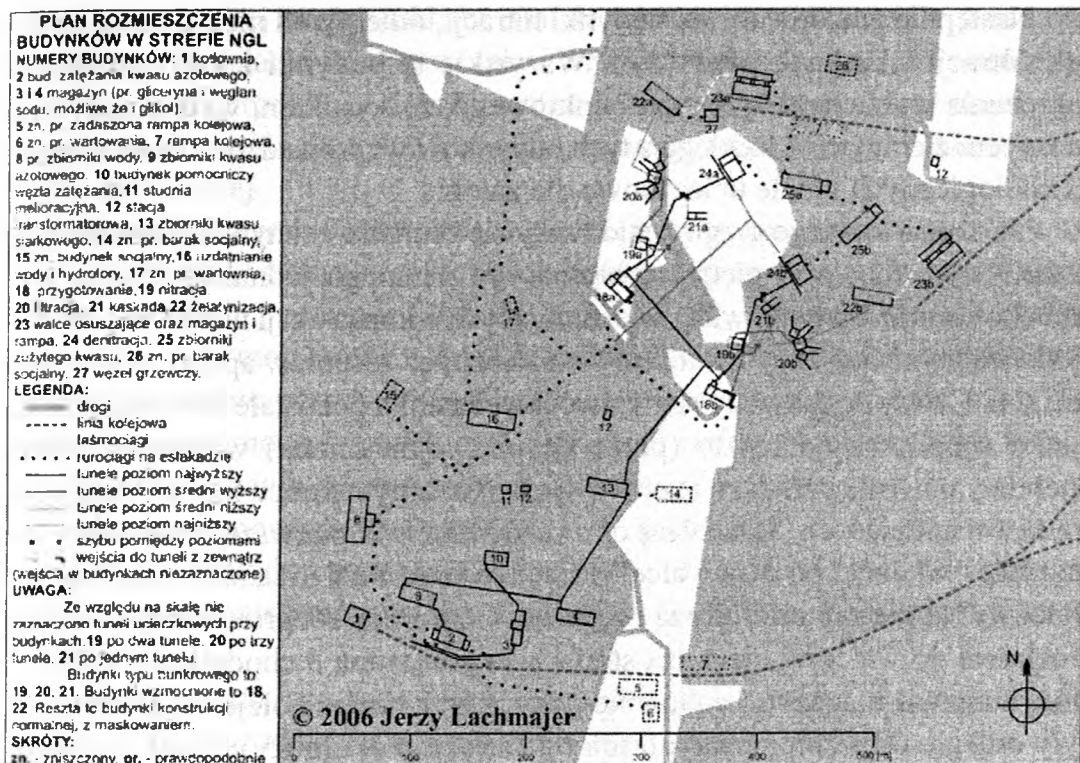


Zatem obliczyć można, że z 1 cm<sup>3</sup> nitrogliceryny powstaje w wyniku wybuchu 1500 razy większa objętość gazów (z prędkością ok. 7800 m/s). Dodatkowo wydziela się 1455 kal ciepła na każdy kilogram nitrogliceryny, co nadaje gazom znaczną temperaturę i jeszcze większą objętość w chwili wybuchu. Te właśnie zjawiska odpowiedzialne są za efekty, takie jak: fala uderzeniowa, akustyczna oraz wydzielone ciepło. Te efekty z kolei odpowiedzialne są za zniszczenia powstałe w wyniku wybuchu. Nitrogliceryna jest obok dinitroglukolu jednym z najsilniejszych znanych dziś materiałów wybuchowych.

## Budowa zakładu

Technologia nitrogliceryny zastosowana w zakładach Dynamit Nobel A.G. (DAG) w Bydgoszczy jest odmianą technologii Schmidta-Meissnera. Jej odmienność jest wynikiem przeznaczenia głównego produktu do produkcji prochu bezdymnego. W związku z czym zachodziła konieczność starannej filtracji i oczyszczania nitrogliceryny, tak by produkowany proch nie miał zdolności do samozapłonu i przypadkowej eksplozji. Całość produkowanej nitrogliceryny przeznaczona była do żelatynizacji nitrocelulozy w procesie wytwarzania prochu nitrocelulozowo-nitroglicerynowego. Instalacje produkcji nitrogliceryny były sprzężone w ciągu technologicznym z instalacją żelatynizacji nitrocelulozy i znajdowały się we wspólnej strefie NGL (pozostałe instalacje związane z technologią prochu oraz nitrocelulozy znajdują się w odrębnej części kombinatu). Ponadto na terenie strefy NGL znajdują się instalacje do denitracji kwasów odpadkowych, zateżniania kwasu azotowego, liczne zbiorniki surowców i odpadów, budynki wstępnego walcowania i odwadniania ciasta prochowego oraz inne budynki pomocnicze.

Całość procesu prowadzona była w dwóch niezależnych ciągach technologicznych, tak by na wypadek awarii lub konserwacji jednego z ciągów można było zachować zdolność produkcyjną zakładu. Większość instalacji zbudowano w budynkach typu bunkrowego. Znaczna większość rurociągów w zakładzie znajdowała się w obetonowanych, podziemnych korytarzach. W skład każdego



ciągu produkcyjnego wchodziły następujące budynki (połączone podziemnymi korytarzami): budynek przygotowania, nitracji, filtracji, kaskada popłuczyn, magazyn kwasów odpadkowych, budynek żelatynizacji, walców odwadniających i denitracji.

Instalacje ułożono na stoku, tak by transport nitrogliceryny odbywał się wyłącznie grawitacyjnie. W celu dodatkowego zwiększenia bezpieczeństwa, nitrogliceryna pomiędzy budynkami transportowana była w postaci emulsji w wodzie.

Na początku każdego ciągu znajdował się budynek przygotowania typu bunkrowego otoczony nasypem ziemnym z 3 stron. To w nim sporządzano mieszaninę nitrującą i roztwór węgla sodu. Tu również mieściły się zbiorniki zimnej i ciepłej wody oraz sprężonego powietrza. W tym budynku znajdowała się instalacja do opróżniania beczek gliceryny oraz jej ogrzewany zbiornik. Podgrzewanie było o tyle istotne, że pozwalało tłoczyć glicerynę rurociągami, gdyż lepkość gliceryny w niskiej temperaturze jest tak duża, że nie można byłoby jej przesyłać w powyższy sposób. W budynku znajdował się zapas surowców, umożliwiający kilkugodzinną pracę instalacji. Budynki te były oddległe o jakieś 35 metrów od budynku nitracji, do którego podawano przygotowane surowce.

Następnie znajdowały się budynki nitracji, odległy od nich o 60 m budynek filtracji i kaskada popłuczyn. Wszystkie te budynki z racji wielkiego zagrożenia wybuchem były typu bunkrowego, ze ściankami wydmuchowymi i nasypem ziemnym. Z każdego z tych budynków wyprowadzono oprócz tuneli technologicznych tunele ucieczkowe dla załogi.

Na końcu każdego ciągu znajdowały się budynki żelatynizacji konstrukcji przeciwwybuchowej, 4-piętrowe, bez nasypu ziemnego, jednak ze ścianką wydmuchową oraz budynki walców osuszających o konstrukcji normalnej. W budynku żelatynizacji znajdowało się 6 niezależnych zespołów aparatów w trzech celkach. Cztery znajdowały się w dwóch celkach, a pozostałe dwa oddzielone klatką schodową od reszty (przez co podwójna ściana) w trzeciej celce. Spełniały one rolę urządzeń rezerwowych. Na samym końcu linii był budynek walców osuszających. Składał się on z dwóch stref. W pierwszej znajdowały się trzy cele, w każdej po dwa walce osuszające oraz 6 cel urządzeń napędowych walców. Na piętrze mieścił się przenośnik taśmowy rozprowadzający ciasto prochowe do walców. Pierwsza strefa była połączona 3 chodnikami z drugą, którą stanowił magazyn i pakownie połączone z rampą kolejową. Budynki te były odległe od siebie: żelatynizacji od filtracji o około 65 m, walce odwadniające od żelatynizacji o około 70 m.

W każdej linii były dodatkowo ulokowane na skarpie, w odległości 100 m od budynków nitracji, budynki denitracji (4-piętrowe normalnej konstrukcji). W każdym znajdowały się po dwie kolumny. Za budynkami denitracji znajdował się budynek magazynu zużytego kwasu siarkowego.

W południowej części zakładu znajdowała się kotłownia, w której pracowały dwa kotły parowe oraz plac magazynowy na węgiel. Stan budynku kotłowni umożliwia stwierdzenie, że kotły wysokopiętrowe typu opłomkowego (spaliny opływają rury wypełnione wodą) wyposażone były w palenisko mechaniczne z rusztem posuwowo-zwrotnym. Głównym zadaniem kotłowni było dostarczanie wysokociśnieniowej pary potrzebnej w procesie denitracji i zateżania kwasu azotowego, oprócz tego ogrzewała budynki produkcyjne. W południowej części był również węzeł zateżania kwasu azotowego. Składały się na niego hala zbiorników (dla kwasu azotowego i kwasu siarkowego), budynek zateżania o wysokości ok. 15 m oraz budynek pomocniczy. Zlokalizowane tu hale zbiorników miały znacznie większą pojemność magazynową od typowej, miało to na celu zabezpieczenie pracy zakładu bez przerwy przy zniszczeniu połączeń kolejowych.

W tej części ponadto były ulokowane magazyny beczek z gliceryną. Każdy magazyn miał podejście rur grzewczych, co zapewniało możliwość utrzymania właściwej temperatury we wnętrzu.



W środkowej części zakładu istniała instalacja oczyszczania wody oraz hydrofory. Instalacja ta oczyszczała i zmiękczała wodę, co było warunkiem dobrej jakości produktu i dobrego stanu kotłów parowych. Tłoczono do niej wodę z Wisły i prawdopodobnie ze znajdującego się w obrębie zakładu ujęcia wody głębinowej.

Z odnalezionych pozostałości wynika, iż na terenie zakładów stosowano stal kwasoodporną chromoniklową do konstrukcji aparatów mających styczność z mieszaniną nitrującą (nitrator, separator, odpowiednie zbiorniki i rurociągi) oraz rury metalowe z platerą ołowianą. Na terenie zakładu odnaleziono również armaturę porcelanową i kamionkową (rury, zawory, elementy kolumny), stosowano ją wszędzie tam, gdzie używano i magazynowano kwasy, oraz przy wykonaniu aparatów węzła denitracji i zatężania.

Materiały konstrukcyjne odnalezione w strefie NGL świadczą o swoistym kompromisie między wykorzystaniem deficytowych w czasie wojny materiałów a rzeczywistymi potrzebami technologicznymi i najlepszymi ich rozwiązaniami.

Na terenie zakładów nie było żadnego magazynu stabilizowanej nitrogliceryny. Całość produkcji zużywano od razu do produkcji prochu.

## Zagadnienia bezpieczeństwa

W celu zwiększenia bezpieczeństwa pracy stosowano szereg rozwiązań technicznych.

Konstrukcja budynków produkcyjnych, w których znajdowała się nitrogliceryna (zwanych dalej zagrożonymi), miała na celu minimalizację efektów ewentualnego wybuchu. Budowano w tym celu dwa typy budynków: lekkie obwałowane i bunkrowe. Budynki lekkie wykonane były z cegły i otoczone wałem ziemnym o wysokości przekraczającej nieznacznie wysokość budynku. W przypadku wybuchu cały podmuch skierowywany był ku górze. Wał uniemożliwiał również poziome rozprzestrzenianie odłamków, które mogłyby ranić ludzi i niszczyć sąsiednie budynki. Odłamki mogły jednak zostać wyrzucone w powietrze, po czym opadając, czyniły zniszczenia na terenie zakładu. Budynki typu bunkrowego były budowane na planie czworoboku z trzema ścianami i stropem z grubego żelbetu. Trzeci bok stanowiła ścianka wydmuchowa wykonana z drewna i szkła. Ich wewnętrzna architektura ukształtowana była w taki sposób, żeby skierować podmuch ewentualnej eksplozji na ściankę wydmuchową. Za ścianką wydmuchową znajdował się wał ziemny, na którym zatrzymywały się odłamki. Budynki typu bunkrowego w odróżnieniu do typu lekkiego wytrzymywały falę uderzeniową po eksplozji i nie rozpadały się

na odłamki. Eksplozja w takim budynku nie powodowała zniszczeń sąsiednich budynków. Praktyka wykazała jednak, że eksplozja w budynkach typu lekkiego pociągała za sobą mniej ofiar w ludziach jak w budynkach typu bunkrowego.

Na terenie strefy NGL wszystkie zagrożone budynki były typu bunkrowego. W innych częściach zakładu znajdowały się budynki zagrożone typu lekkiego, z przeznaczeniem na magazyny prochów. Zastosowanie tu budynków typu bunkrowego jest przejawem troski o zakład i podtrzymanie zdolności produkcyjnej jego elementów po wypadku, a nie o pracowników.

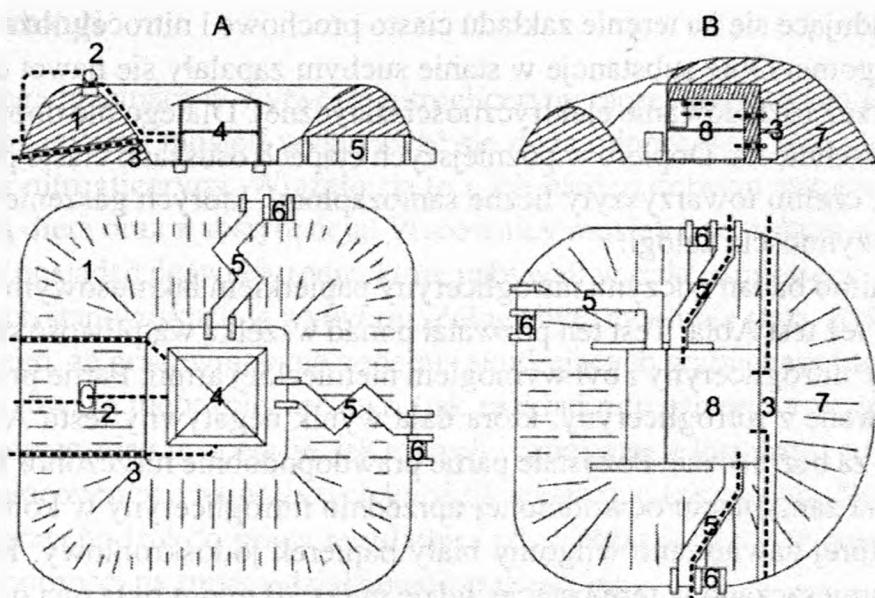
Do budynków zagrożonych prowadziły tunele ucieczkowe. Tunele te umożliwiały sprawną ewakuację załogi z budynku w przypadku zaistnienia zagrożenia. Każde pomieszczenie i każda kondygnacja miały własny tunel uciezkowy. Tunele były łamane, co uniemożliwiało rozprzestrzenianie się w ich świetle odłamków i minimalizowało w nich skutki ruchu fali uderzeniowej.

Uciekająca tunelem załoga, po wyjściu z tunelu, chroniła się w niszy znajdującej się obok wyjścia i równoległe do niego. W niszy znajdowały się poręcze. Miały one zapobiegać wyciągnięciu chroniącej się tu załogi przez falę podciśnienia, która przemieszczała się zaraz za falą uderzeniową.

W budynkach zagrożonych podłoga wykonana była z blachy ołowianej, która pokrywała również kilkanaście centymetrów ściany nad podłogą. Rozwiązanie to uniemożliwiało wsiąkanie rozlanych substancji w podłogę. Najważniejszą cechą tej posadzki było to, że nie iskrzyła przy upadku na nią metali. Posadzka twarda, np. betonowa, gdy rozlano na nią nitroglicerynę, stwarzała wielkie zagrożenie. Upuszczenie do takiej kałuży jakiegoś przedmiotu powodowało eksplozję. Posadzka ołowiana to niebezpieczeństwo minimalizowała.

Na terenie zakładu nitroglicerynę transportowano w postaci emulsji. Emulsję wytwarzano, tłocząc wodę do inżektora, który wprowadzał w nią nitroglicerynę, jednocześnie wytwarzając jej drobne kropelki. Emulsja wodna nitrogliceryny jest mało wrażliwa i może być łatwo wytwarzana i rozdzielana. Dla zwiększenia bezpieczeństwa emulsji nie pompowano, lecz zastosowano spływ grawitacyjny w rynnach ołowianych.

Pod nitratorem i separatorem znajdowała się kadź bezpieczeństwa. Był to otwarty zbiornik o przekroju prostokąta. Jego objętość była kilka razy większa od objętości cieczy w reaktorze i separatorze. Zbiornik wyłożony był blachą ołowianą. Na dnie znajdowały się bełkotki, do których tłoczono powietrze w celu mieszania zawartości kadzi. Kadź wypełniona była do ok. 2/3 wysokości wodą lub kwasem siarkowym (brak tu jednoznacznych źródeł). W przypadku zagrożenia tu właśnie spuszczano zawartość aparatów produkcyjnych.



**Typy budynków:** A – budynek typu lekkiego, B – budynek typu bunkrowego, 1 – obwałowanie, 2 – zbiornik naporowy na wale, 3 – przepusty dla rurociągów, 4 – budynek lekkiej konstrukcji, 5 – tunel dostępowy łamany, 6 – nisza do ukrycia, 7 – nasyp ziemny, 8 – budynek ciężki żelbetowy

W węźle nitracji i separacji zamontowany był automatyczny system bezpieczeństwa. Praca systemu wyzwalana była ręcznie lub automatycznie. Na system składały się termometry kontaktowe, które po dojściu mierzonej temperatury do określonego poziomu powodowały zwarcie obwodu. W wyniku zwarcia siłowniki otwierały dopływ sprężonego powietrza do kadzi bezpieczeństwa oraz zwalniały ciężarki. Opadające ciężarki otwierały, poprzez system cięgien, zawory awaryjne w reaktorze i separatorze. Opróżnienie tych aparatów następowało w krótkim czasie, prawdopodobnie 30 s. Taką procedurę można było wyzwolić również ręcznie poprzez wyłącznik. Wyłączniki takie usytuowano na ścianach wszystkich tuneli uciezkowych. Ewakuująca się załoga, uciekając, uruchamiała system, o ile nie uruchomił się on automatycznie.

W celu zapewnienia bezpiecznej pracy co pewien czas przeprowadzano testy ciśnieniowe chłodziń. Dotyczyło to nitratora i separatora, ponieważ nie szczelność w tych aparatach mogła doprowadzić do wybuchu. Test polegał na zatrzymaniu pracy i zamknięciu zaworu z jednej strony chłodzińcy. Następnie do chłodzińcy podawano sprężone powietrze i zamykano drugi zawór. Po czym na manometrze obserwowano ciśnienie wewnątrz chłodzińcy. Jeśli z biegiem czasu spadało, chłodzińcę należało wymienić.

Znajdujące się na terenie zakładu ciasto prochowe i nitroceluloza były zawsze wilgotne. Obie substancje w stanie suchym zapalały się nawet od potarcia lub przez rozładowanie elektryczności statycznej. Dlatego nie dopuszczano do ich wyschnięcia. Dopiero w późniejszych etapach osuszano ciasto prochowe zupełnie, czemu towarzyszyły liczne samozapłony, których gaszenie było rutynową czynnością załogi.

Pomimo badań odczynu nitrogliceryny papierkiem lakmusowym przeprowadzano też test Abła. Test ten pozwalał ponad wszelką wątpliwość stwierdzić stabilność nitrogliceryny i był wymogiem niemieckiej armii. Partie prochu wyprodukowane z nitrogliceryny, która dała wynik negatywny testu Abła, były uważane za bezpieczne. Pozostałe partie prawdopodobnie niszczone. Test Abła polegał na zamknięciu odwodnionej uprzednio nitrogliceryny w kolbie szklanej, w której zawieszano wilgotny biały papierek jodoskrobiowy. Kolbę następnie umieszczano w termostacie, gdzie przez 20 minut była ona ogrzewana do temperatury 82°C. Jeśli papierek stał się granatowy, oznaczało to, że nitrogliceryna miała skłonność do rozkładu. Gdy papierek pozostawał biały, nitrogliceryna była bezpieczna. Sam test opierał się na reakcji: w trakcie ogrzewania kwaśna nitrogliceryna rozkładała się, wydzielając kwas azotowy i tlenki azotu. Opary te utleniały jodek w papierku do jodu. Jod ze skrobią dawał związek chemiczny o barwie granatowej.

Bardzo istotne dla bezpieczeństwa było oczyszczanie ścieków wodnych z nitrogliceryny. Ścieki zawierające nitroglicerynę w studzienkach i rurach ściekowych ulegały schłodzeniu i rozwarstwieniu. Skutkiem tego było zbieranie się nitrogliceryny na dnie rurociągów. Było to przyczyną przypadkowych eksplozji, nawet w bardzo odległych od zakładu elementach systemu kanalizacyjnego. Aby temu zapobiec, ścieki wodne kierowano do kaskad. Ścieki można podzielić na dwa typy, zimne i ciepłe. Ścieki zimne zawierały (w 15°C) 1,8 g/litr, ciepłe zawierały (w 50°C) 2,5 g/litr rozpuszczonej nitrogliceryny. Ścieki ciepłe oczyszczano na kaskadzie zawierającej w sumie 8 stopni, po uprzednim ochłodzeniu do 15°C i zmieszaniu ze ściekami zimnymi. Każdy stopień był zbiornikiem kształtu sześcianu z wewnętrznymi przegrodami. Przegrody wymuszały ruch cieczy w górę i w dół na przemian w trakcie przepływu. Na dnie każdego zbiornika gromadziła się nitrogliceryna, którą okresowo spuszczano do ołowianych kanek i zwracano do procesu.

Na terenie strefy NGL stwierdzono ślady wybuchu. Wybuch nastąpił w budynku nitracji. W wyniku wybuchu nastąpiło całkowite zniszczenie budynku. Pozostałości ściany tylnej i stropu znajdują się w znacznej odległości od miejsca wybuchu. Na miejscu wybudowano kolejny budynek o tym samym przeznaczeniu.

## Dobór załogi

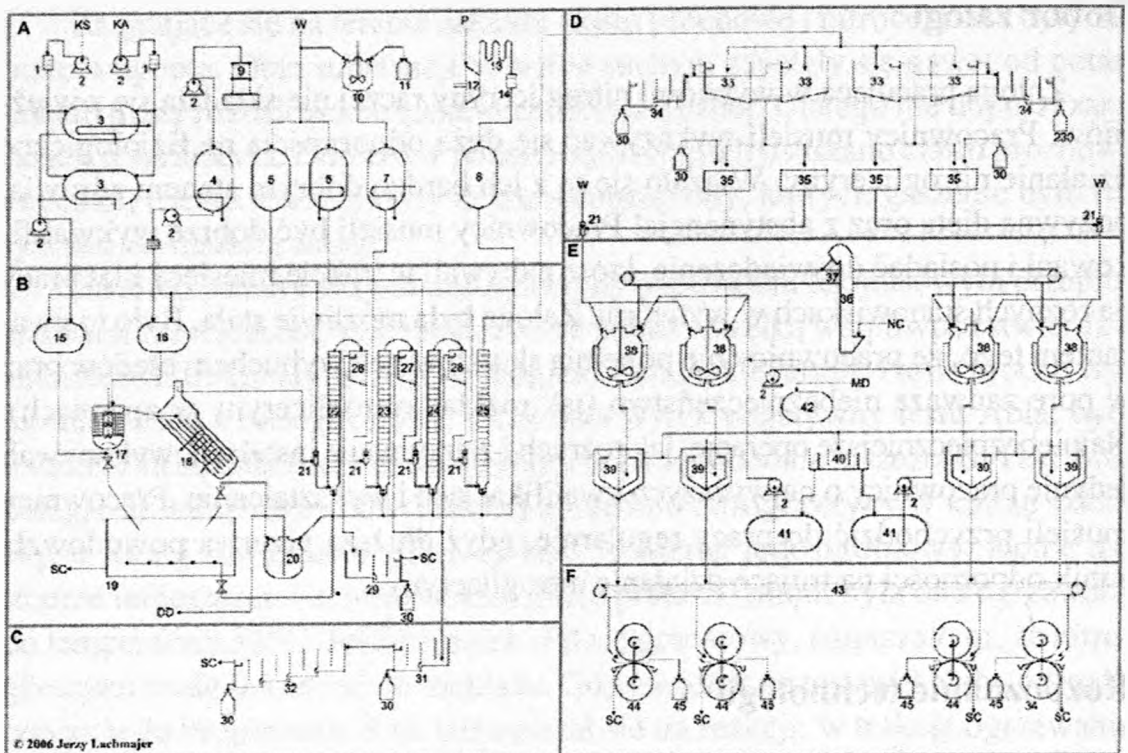
Załoga pracująca w wytwórni nitrogliceryny raczej nie składała się z więźniów. Pracownicy musieli wykazywać się dużą odpornością na fizjologiczne działanie nitrogliceryny. Wiązało się to z ich bardzo dobrym stanem zdrowia, pożywną dietą oraz z abstynencją! Pracownicy musieli być dobrze wykwalifikowani i posiadać doświadczenie, które nabywali w trakcie miesięcy i lat pracy na różnych stanowiskach w wytwórni. Załoga była możliwie stała. Było to gwarantem tego, że pracownicy nie popełnią skutkujących wybuchem błędów oraz w porę zauważą niebezpieczeństwo (jak rozkład nitrogliceryny w aparatach). Najniebezpieczniejsze operacje, jak rozruch i zatrzymanie instalacji, wykonywali jedynie pracownicy o najwyższych kwalifikacjach i wykształceniu. Pracownicy musieli przychodzić do pracy regularnie, gdyż dłuższa przerwa powodowała zanik odporności na trujące działanie nitrogliceryny.

## Rozpoznanie technologii

Istotnym zagadnieniem jest określenie wydajności instalacji. Wiadomo, że była to instalacja w technologii Schmida-Meissnera. Technologia ta była opracowana dla dwóch wariantów: w skali technicznej o wydajności 600 kg/h i półtechnicznej o wydajności 100 kg/h. Zestawienie i analiza wymiarów aparatów i wymiarów postumentów pod nie w budynkach strefy NGL posłużyły do identyfikacji. Za najważniejsze dowody należy uznać:

- w obu budynkach nitracji śruby do mocowania podstaw wszystkich płuczek wieżowych umieszczone są w taki sposób, że znajdują się na rogach trójkąta równobocznego o boku ok. 37 cm. Świadczy to, że zastosowano tu płuczki wieżowe o średnicy kolumny charakterystycznej dla technologii o wydajności 600 kg/h;
- w obu budynkach nitracji wymiar otworu pod reaktor wskazuje na zastosowanie aparatu o objętości, która umożliwia produkcję 600 kg/h;
- inne aparaty w budynku filtracji i żelatynizacji mają wymiary umożliwiające dalsze przetwarzanie strumienia 600 kg nitrogliceryny na godzinę. Wnioskuje, że taka właśnie była wydajność z jednej linii.

Sercem całej instalacji był reaktor nitracji. W zakładzie zastosowano unowocześnioną formę aparatu z oryginalnego patentu Schmida z 1933 r. W reaktorze nitracji mieściło się 200 dm<sup>3</sup> mieszaniny reakcyjnej. Pusty aparat bez silnika ważył zaś 800 kg. Istotna dla bezpiecznego funkcjonowania tego aparatu była szczelność układu chłodzenia. Zagrożeniem w przypadku nieuszczelnienia układu była wydostająca się do wnętrza reaktora woda, która

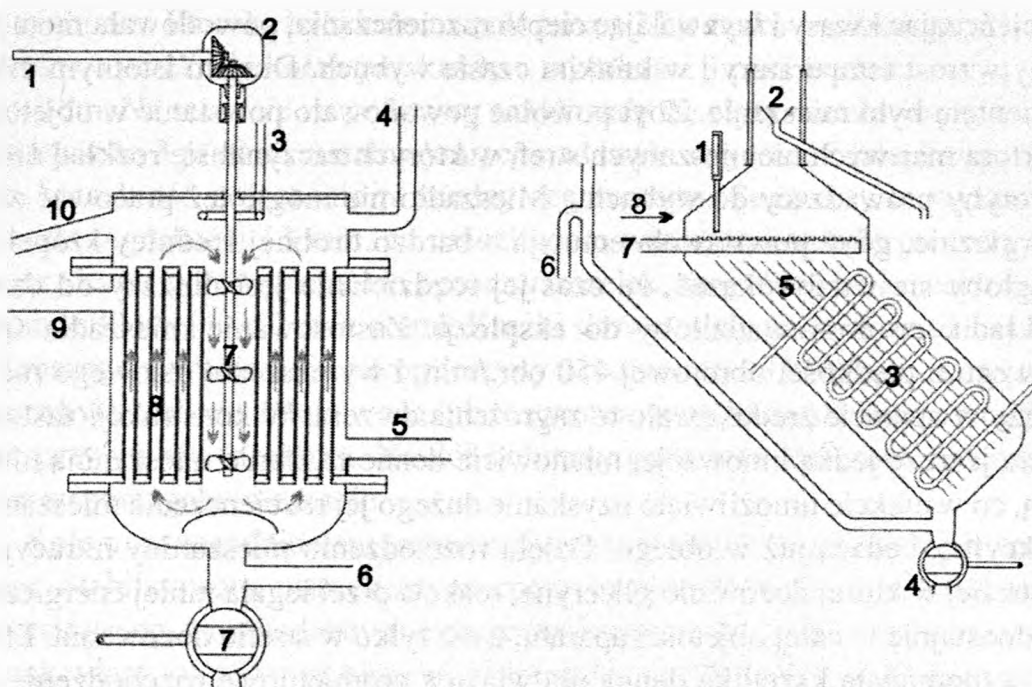


### Legenda:

A – budynek przygotowania, B – budynek nitracji, C – budynek kaskady popłuczyn, D – budynek filtracji, E – budynek żelatynizacji, F – budynek walców osuszających

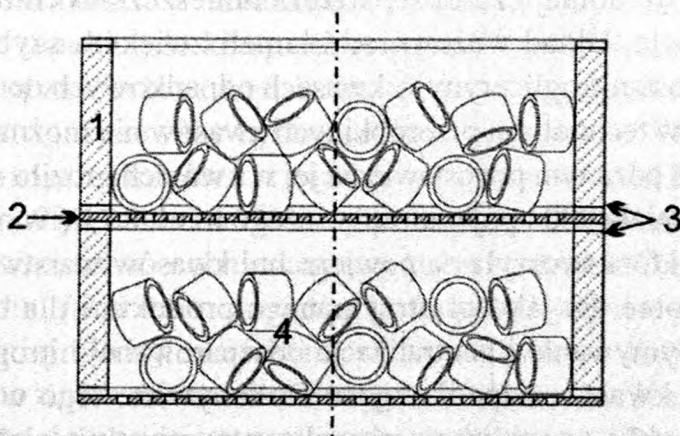
1 – filtr ceramiczny, 2 – pompa, 3 – zbiornik mieszaniny nitrującej, 4 – zbiornik gliceryny, 5 – zbiornik zimnej wody, 6 – zbiornik ciepłej wody, 7 – zbiornik roztworu węglańu sodu, 8 – zbiornik sprężonego powietrza, 9 – beczki gliceryny, 10 – mieszalnik, 11 – worki węglańu sodu, 12 – sprężarka, 13 – chłodnica, 14 – filtr, 15 – dozownik mieszaniny nitrującej, 16 – dozownik gliceryny, 17 – reaktor, 18 – separator, 19 – kadź bezpieczeństwa, 20 – przetłocznka kwasów odpadkowych, 21 – inżektory, 22 – płuczka kolumnowa zasilana zimną wodą, 23 – j.w. zasilana roztworem węglańu sodu, 24 – j.w. zasilana ciepłą wodą, 25 – j.w. zasilana zimną wodą, 26, 27, 28 – rozdzielacz między-płuczkowy, 29 – mała kaskada, 30 – kanka na nitroglicerynę, 31 – mała kaskada, 32 – duża kaskada, 33 – odstojnik, 34 – mała kaskada, 35 – filtr flanelowy, 36 – podnośnik (prawdopodobnie kubełkowy), 37 – taśmociąg, 38 – mieszalniki żelatynizujące, 39 – wirówki pionowe, 40 – odstojnik, 41 – zbiornik wody obiegowej, 42 – zbiornik zawiesiny dodatków, 43 – taśmociąg, 44 – prasy odwadniające, 45 – gumowe worki na ciasto prochowe

KS – kwas siarkowy, KA – kwas azotowy, W – woda, P – powietrze, SC – ścieki, DD – do denitracji, MD – zawiesina dodatków, NC – nitroceluloza



**Nitrator Schmid-Meissnera:** 1 – wał napędowy mieszadła, 2 – zasilanie gliceryną, 3 – rura wydechowa, 4 – zasilanie wodą chłodzącą, 5 – zasilanie mieszaniną nitrującą, 6 – zawór awaryjny, 7 – śmigła mieszadła w rurze centralnej, 8 – rurki chłodnicy, 9 – wylot wody chłodzącej, 10 – przelew odbiorczy, 11 – szklana pokrywa, strzałki – ruch cieczy

**Separator Schmid-Meissnera:** 1 – termometr, 2 – przelew odbiorczy nitrogliceryny w kominku szklanym, 3 – węzownica chłodząca, 4 – zawór awaryjny, 5 – lamele, 6 – przelew kwasów odpadkowych, 7 – dopływ mieszaniny reakcyjnej, 8 – przybliżone położenie granicy faz



**Dwa segmenty płuczki kolumnowej:** 1 – ścianka szklana, 2 – krążek sitowy, 3 – uszczelki, 4 – pierścienie szklane

rozcieńczając kwasy i wyzwalaając ciepło rozcieńczania, powodowała momentalny wzrost temperatury i w krótkim czasie wybuch. Drugim istotnym mankamentem było mieszanie. Zbyt powolne powodowało powstanie w objętości reaktora martwych niemieszanych stref, w których zaczynał się rozkład nitrogliceryny prowadzący do wybuchu. Mieszadło nie mogło też pracować zbyt energicznie, gdyż powstawała emulsja o bardzo drobnej średnicy kropelek. Mogłoby się wtedy okazać, że czas jej rozdzielania jest dłuższy od czasu rozkładu, co doprowadziłoby do eksplozji. Zastosowanie mieszadła śmigłowego o prędkości obrotowej 450 obr./min. i wymuszenie osiowego ruchu cieczy w aparacie zredukowało te zagrożenia do zera. W konstrukcji zastosowano jeszcze jedną innowację, mianowicie denne zasilanie mieszaniną nitrującą, co w efekcie umożliwiło uzyskanie dużego jej rozcieńczenia mieszaniną reakcyjną, będącą już w obiegu. Dzięki rozrzedzeniu mieszaniny nitracyjnej w strefie, w której dozowano glicerynę, reakcja przebiegała mniej energicznie i jednostajnie w całej objętości aparatu, a nie tylko w strefie dozowania. Efekt ten wspomagała kształtka denna ułatwiająca promieniowe rozchodzenie się podawanej dołem mieszaniny.

Kolejnym zagadnieniem była konieczność szybkiego rozdzielania nitrogliceryny od kwasów odpadkowych, którego dokonywano w separatorze. Ze względu na skłonność kwaśnej nitrogliceryny do rozkładu ważna była tu szybkość. Ponieważ im szybciej była odseparowana od kwasów odpadkowych, tym szybciej mogła być neutralizowana w kolejnych aparatach. Emulsja nitrogliceryny w kwasach odpadkowych była w tym aparacie rozwarstwiana pod wpływem grawitacji na dwie fazy. Separator był zbudowany w układzie ukośnie położonego zbiornika cylindrycznego. Na jego szczycie znajdowało się zwężenie, a na nim kominek szklany umożliwiający obserwację granicy rozdziału płynów. W dolnej części separatora umieszczono chłodnicę i skośne płyty, tzw. lamele. Układ węzownicy i lameli zwiększa szybkość separacji i obniża zawartość nitrogliceryny w kwasach odpadkowych do max 0,8%. Jest to ważne, gdyż w technologii przeróbki tych kwasów nie można było odzyskać nitrogliceryny, a poza tym pozostawienie jej w kwasach groziło wybuchem. Całość separatora miała 900 l pojemności, z czego mieściło się w nim około 70 kg nitrogliceryny, która tworzyła na powierzchni kwasów warstwę około 30 cm.

Bardzo istotne dla jakości otrzymanego produktu i dla bezpieczeństwa zakładu było wymywanie i neutralizacja odseparowanej nitrogliceryny, która zawierała 10% kwasów odpadkowych. Dokonywano tego w płuczkach kolumnowych. Szybka neutralizacja nitrogliceryny niweluje niebezpieczeństwo jej samorzutnego rozkładu. Płuczki znajdowały się w budynku nitracji, tuż obok nitratora i separatora, tak by skrócić czas transportu kwaśnej nitrogliceryny



do minimum. Płuczka była kolumną ułożoną z 24 jednakowych szklanych segmentów o przekroju kołowym, każdy o wysokości 8 cm i średnicy wewnętrznej 22 cm. Na szczycie i u podstawy znajdowały się płyty metalowe połączone między sobą 3 prętami metalowymi, co nadawało sztywność całej konstrukcji oraz szczelność połączeniom między segmentami. Segmenty te wykonano ze szkła o grubości 13 mm, co umożliwiało wizualną kontrolę procesu. Po między każdą parą segmentów, oprócz uszczeltek, znajdował się krążek ze stali chromoniklowej z 950 otworkami. Krążki sitowe miały na celu umożliwienie najlepszego wymieszania nitrogliceryny z roztworem w kolumnie. Każda kolumna była zasilana z dołu wodą lub roztworem węgla sodu oraz nitrogliceryną przy użyciu iniektora. Na dół kolumny podawano sprężone powietrze, które wspomagało mieszanie.

Kolejnym zagadnieniem technologicznym ważnym w tych latach była filtracja. Stabilizowana nitrogliceryna często zawierała zanieczyszczenie stałe, pochodzące np. z uszkodzonych elementów kamionkowej i ołowianej aparatury produkcyjnej, jak również z korozji zbiorników magazynowych. Było to o tyle ważne, o ile kawałki kamionki czy choćby ziarna piasku w trakcie walcowania żelatynizującego suchej masy prochowej stawały się często przyczyną pożaru i wybuchu. Filtr stanowiła kadź, na której umieszczono siatkę mosiężną. Na siatce rozpięte było płótno flanelowe.

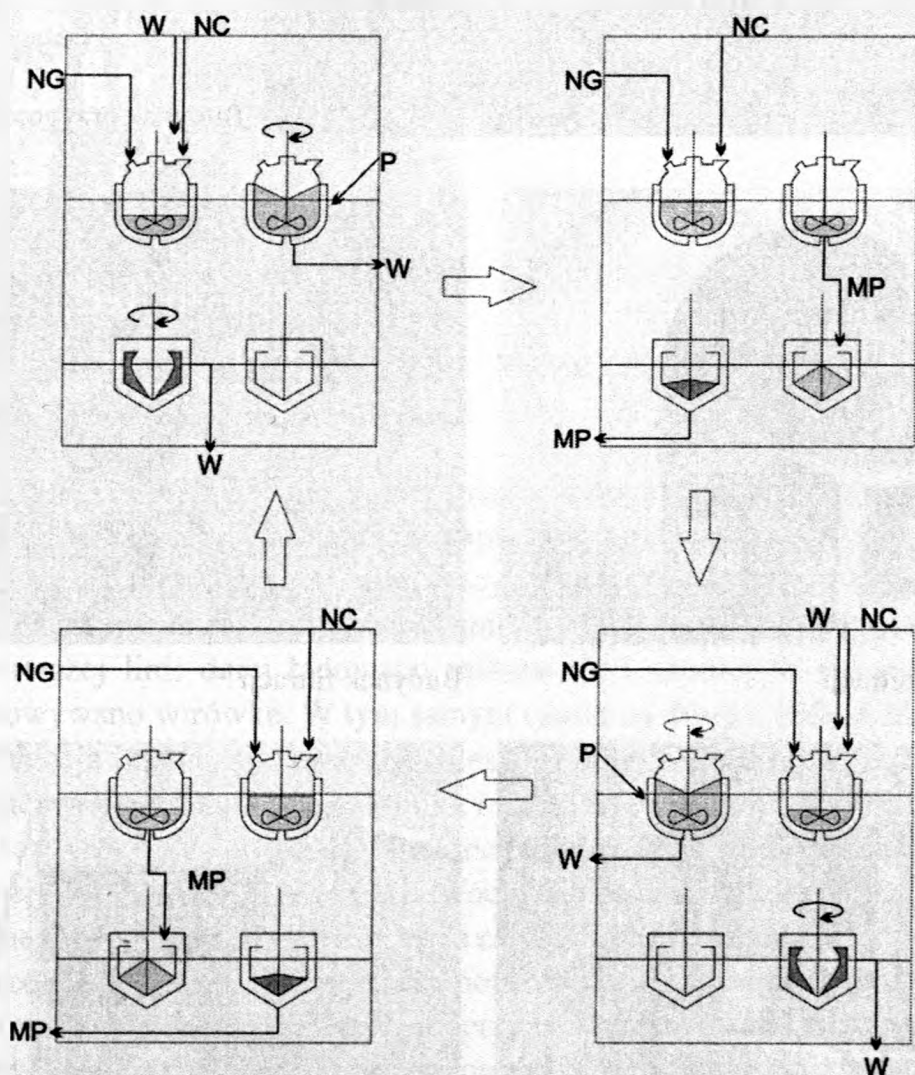
## Opis produkcji

Wszystkie surowce dowożone były do zakładu w cysternach i wagonach kolejowych. Gliceryna w beczkach stalowych po 200 l, kwasy w cysternach kolejowych. Oleum i kwas siarkowy składowano w zbiornikach poziomych wykonanych z kamionki. W zbiornikach znajdowała się węzownica grzejna, której działanie zapobiegało krzepnięciu oleum. Pobór kwasu ze zbiorników odbywał się rurą zawieszoną nad dnem, tak by nie zasysać osadu dennego. Kwas azotowy magazynowany był w osobnym budynku, w 7 zbiornikach poziomych wykonanych z kamionki i umieszczonych w basenie. Magazynowano tam po zateżeniu 98% kwas i 65% kwas przysyłany do zakładu. Beczki z gliceryną magazynowano w osobnym ogrzewanym budynku. Oleum, kwas azotowy z magazynu, jak i ten z zateżania trafiały do budynku przygotowania. Tam po uprzedniej filtracji, na filtrach ceramicznych, w dwóch zbiornikach przygotowywano z nich mieszaninę nitrującą. W danej chwili z jednego zbiornika pompowano pompą wirową mieszaninę do dozownika, a w drugim ją komponowano i chłodzono. Po wyczerpaniu jednego zbiornika następowała zamiana (ok. 3 godzin). Do budynku przygotowania trafiały beczki z gliceryną,

które podgrzewano na metalowym pomoście. Następnie rozładowywano je do zbiornika. Zbiornik podgrzewano do 35°C i jego zawartość tłoczono sprężonym powietrzem do dozownika w budynku nitracji.

Z dozownika gliceryna była tłoczona sprężonym powietrzem do reaktora, w podobny sposób króćcem dennym podawano mieszaninę nitrującą. Oba strumienie przepływały przez zespół zaworu i rotametu, co umożliwiło kontrolę natężenia przepływu. Ciepło reakcji było odbierane przez wodę chłodzącą w wewnętrznym wymienniku płaszczowo-rurkowym. Mieszanina reakcyjna opuszczała następnie reaktor przez przelew i przepływała pochyłą rurą do separatora. W separatorze rozdzielała się na dwie warstwy, górną nitroglicerynową i dolną kwasów odpadkowych. Dolna warstwa była dodatkowo chłodzona przez wymiennik płaszczowo-rurkowy w celu zmniejszenia ilości rozpuszczonej w niej nitrogliceryny. Z góry separatora przelewem odbierano kwaśną nitroglicerynę, która następnie spływała grawitacyjnie do inżektora zasilanego zimną wodą. Inżektor wytwarzał emulsję i wtłaczał ją do pierwszej płuczki kolumnowej zasilanej dodatkowo od dołu sprężonym powietrzem. Kolumny wykonane były z grubego szkła, co ułatwiało kontrolę procesu. Zawiesina odbierana przelewem ze szczytu kolumny trafiała do rozdzielacza międzypłczkowego, w którym wydzielano dolną warstwę nitrogliceryny i kierowano do inżektora kolejnej płuczki. Górną warstwę z rozdzielacza kierowano do dwustopniowej kaskady w tym samym budynku. Wydzielały się tam resztki nitrogliceryny, potem wodę kierowano do ścieku. Kolejna płuczka zasilana była ciepłym (50-70°C) 3-4% roztworem wodnym węgla sodu. Odbierana z niej nitrogliceryna trafiała do trzeciej płuczki, zasilanej ciepłą (50-70°C) wodą i w końcu do czwartej, zasilanej zimną wodą. Zasilanie trzeciej płuczki ciepłą wodą miało na celu wymycie resztek węgla i soli sodowych powstałych po neutralizacji. Ścieki z reszty płuczek kierowane były do budynku kaskady, gdzie były dokładnie oczyszczane z porwanej i rozpuszczonej nitrogliceryny. Media używane w tym procesie podawane były z budynku przygotowania. Odebrana z ostatniej płuczki emulsja płynęła do budynku filtracji, gdzie trafiała do 4 odstożników (zbiorników cylindrycznych z pochyłym dnem), spełniających ponadto rolę zbiorników buforowych. Ich zadaniem było dokładne wydzielenie całej nitrogliceryny z wody. Odbieraną z ich dołu nitroglicerynę kierowano na 4 filtry flanelowe z warstwą soli. Odbieraną z góry odstożników-zbiorników wodę kierowano do dwóch dwustopniowych kaskad. Zbierano z nich porwaną i rozpuszczoną nitroglicerynę. Wyfiltrowana nitrogliceryna spływała do inżektorów wodnych. Wytworzona emulsja spływała do budynku żelatynizacji. Zastosowanie emulsji wodnej, a nie czystej nitrogliceryny znacznie skraca czas żelatynizacji i podnosi jakość otrzymywanego

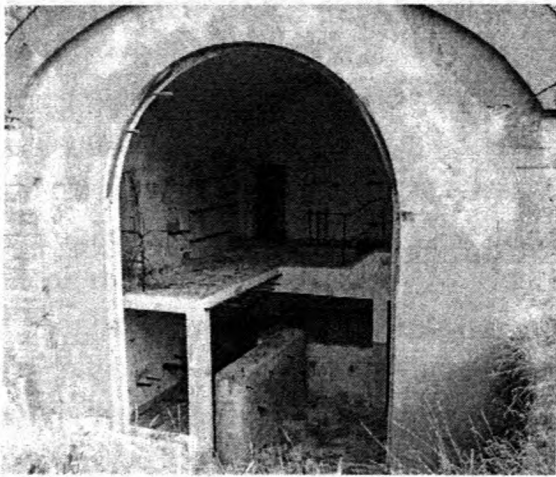
prochu. Zastosowanie emulsji nitrogliceryny umożliwia uzyskanie produktu o jednorodnym wysyceniu nitrocelulozy nitrogliceryną w każdym miejscu, co eliminuje konieczność późniejszego dokładnego uśredniania składu. W budynku żelatynizacji nitrogliceryna, ciepła woda ( $60^{\circ}\text{C}$ ), nitroceluloza i dodatki trafiały do mieszalników. Dodatki stanowiły: centralit lub wazelina. Nitrocelulozę podawano na szczyt budynku podnośnikiem i następnie przenośnikiem taśmowym doprowadzano do mieszalników. Mieszalniki znajdowały się na przedostatnim piętrze, nad wirówkami i były ogrzewane płaszczem grzejnym, tak by utrzymywać temperaturę  $60^{\circ}\text{C}$ . Z mieszalników zawartość trafiała do wirówek odśrodkowych, z których odbierano wstępnie odwodnioną masę prochową (zawierała ona jeszcze do 30% wody). Proces ten był realizowany



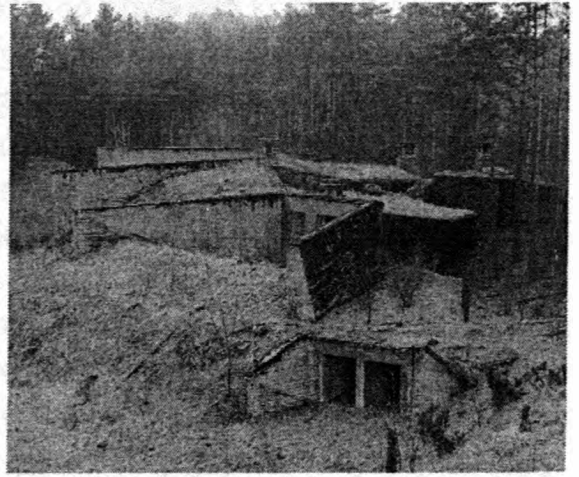
Cykl pracy w jednej z trzech linii bloku żelatynizacji: NG – nitrogliceryna, NC – nitroceluloza i dodatki, MP – masa prochowa, W – woda, P – para



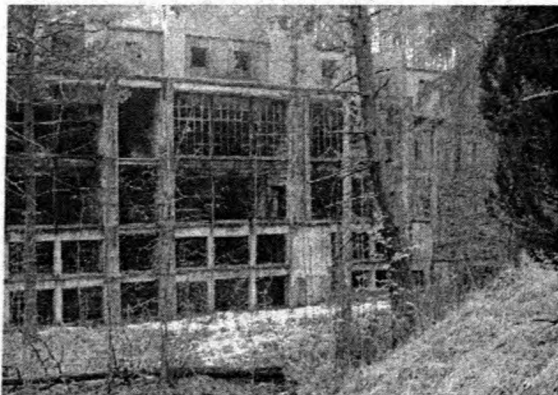
Budynek przygotowania



Budynek nitracji



Budynek filtracji



Budynek żelatynizacji



Budynek kaskady popłuczyn



Budynek denitracji



Magazyn kwasów odpadkowych



Budynek zateżania kwasów

w dwóch liniach (była również trzecia linia, zapasowa). W każdej linii były po dwa mieszalniki i dwie wirówki. Taki układ aparatów zapewniał pracę półciągłą. Pracował on prawdopodobnie w następującym cyklu: gdy na pierwszej części linii trwało ładowanie mieszalnika i wirowanie, na drugiej trwała żelatynizacja. Gdy na pierwszej linii dalej ładowano mieszalnik i skończyło się wirowanie, rozładowywano wirówkę. W tym samym czasie na drugiej linii skończyła się żelatynizacja i zrzucano zawartość mieszalnika do wirówki. Następnie druga linia zaczynała załadunek mieszalnika i wirowanie, podczas gdy na pierwszej linii zaczynała się żelatynizacja. I tak na zmianę. Dzięki takiej organizacji nitrogliceryna ciągle napływała do dwóch mieszalników jednocześnie, czyli do jednego w każdej linii. Dzięki temu nie były potrzebne jakiegokolwiek zbiorniki przejściowe na nitroglicerynę, co poprawiało bezpieczeństwo ruchu. Praca całego ciągu produkcji nitrogliceryny, przy braku jej magazynowania, możliwa była wyłącznie przy ciągłym obiorze produktu przez dwie linie żelatynizacji.

Pojemność zbiorników buforowych zapewniała pewną rezerwę wystarczającą na rozruch linii awaryjnej. Nie można było regulować wydajności

całego procesu w szerszym zakresie i dlatego na wypadek awarii jednej linii musiała istnieć linia awaryjna.

Wstępnie odwodnione ciasto prochowe z budynku żelatynizacji trafiało przenośnikiem taśmowym do budynku walcowania, gdzie w osobnych celkach pracowało sześć walców osuszających, których bębny ogrzewano do temperatury 60°C. Walce ustawione były w płaszczyźnie poziomej i obracały się w kierunkach przeciwbieżnych. Otrzymana tak osuszona masa prochowa była pakowana w tymczasowe pojemniki i kierowana do dalszej przeróbki w innej części zakładu.

Odbierana z wirówek woda zawierała drobnoziarnistą zawiesinę nitrocelulozy i nitroglicerynę, dlatego kierowano ją do odstojnika, a następnie do zbiorników pod budynkiem żelatynizacji. W odstojniku zbierano osad. Wodę ze zbiorników zwracano do procesu, ze względu na zawartość nitrogliceryny.

Odbierane z dołu separatora kwasy odpadkowe spływały do przetłoczki, skąd za pomocą sprężonego powietrza tłoczono je do budynku denitracji.

## Bilans zakładu

Zakładając: 24-godzinną pracę jednej linii, wydajność jednej linii 600 kg/h, 93,8% (typowa dla instalacji Schmida-Meissnera), wydajność w odniesieniu do gliceryny, średnie zużycie mieszaniny nitrującej 5,3 kg na kg gliceryny i jej skład wagowy 1:1, średnią zawartość nitrogliceryny ok. 44% w prochach nitroglicerynowo-nitrocelulozowych różnych typów, obliczam:

Przychód 1 linia/2 linie [t/dobę]	
Kwas azotowy	16,48/32,96
Kwas siarkowy	16,48/32,96
Gliceryna	6,22/12,44
Produkcja 1 linia/2 linie [t/dobę]	
Nitrogliceryna (przerabiana dalej na proch w całości)	14,4/28,8
Kwasy odpadkowe	24,78/49,56

Otrzymywano finalnie: ok. 65,45 ton na dobę (miesięcznie ok. 1964 tony) prochów nitroglicerynowo-nitrocelulozowych różnych typów przy pracy obu linii. Bez dokładnych danych dotyczących procesu denitracji i zateżania trudno obliczyć ilość kwasów dostarczanych do zakładu. Dokładny typ technologii i wydajności tych procesów nie jest znany, co uniemożliwia wykonanie bilansu.

Przyjmując dla szacunku udział masowy prochu w amunicji: karabinowej 3,25 g/szt. dla 7,92 mm Mauser, artyleryjskiej dla uproszczenia w przybliżeniu

2,5 kg/szt. dla 75-88 mm, 7,5 kg/szt. dla ładunku pełnego naboju kaliber 15 cm, obliczam, że z materiałów miotających uzyskanych w ciągu jednej doby produkcji obu linii można było wykonać ładunki miotające w:

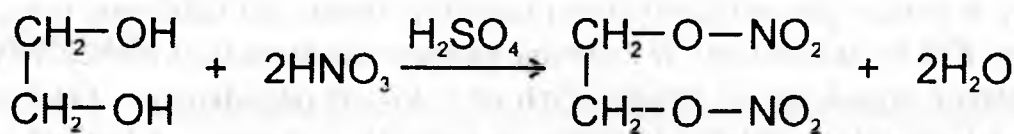
- 20,1 mln sztuk amunicji karabinowej lub
- 26,2 tys. sztuk amunicji artyleryjskiej kalibru 75-88 mm lub
- 8,7 tys. sztuk amunicji artyleryjskiej dużego kalibru.

Analiza tych obliczeń wskazuje, że wykluczenie zakładu z produkcji, w wyniku np. poważnej awarii lub bombardowania, w krótkim okresie spowodowałoby zatrzymanie działań wojennych na froncie wschodnim w wyniku wyczerpania lokalnych zasobów amunicyjnych i problemów logistycznych z ich odnowieniem.

Wynika stąd wielka i niedoceniana rola bydgoskich zakładów dla przebiegu II wojny światowej.

### Modyfikacje technologii w zakładzie

Ze źródeł historycznych wynika, że DAG w Bydgoszczy uzyskały zdolność produkcyjną paliw raketowych. Wobec stanu techniki w tym okresie niezbędne było do tego otrzymywanie dinitroglikolu, tzw. „DNG”. Był on stosowany do produkcji prochu zamiast nitrogliceryny. Nitrowanie glikolu przebiegało niemalże identycznie jak gliceryny.



Z analizy linii produkcyjnych wnioskować można, że możliwa była produkcja dinitroglikolu lub nitrogliceryny na obu tych liniach. Glikol etylenowy, stanowiący surowiec procesu, był znacznie droższy od gliceryny. Magazynowano go w ten sam sposób co glicerynę i podobnie też go dozowano. Dinitroglukol znajdował zastosowanie nie tylko jako komponent prochów raketowych, ale też i prochów dla artylerii przeciwlotniczej oraz najcięższej (dział kolejowych lub moździerzy oblężniczych).

Podstawowe różnice przy produkcji DNG były następujące:

- zbędne jest podgrzewanie glikolu przed przetaczaniem i użyciem, z powodu mniejszej lepkości;
- jest bardziej lotny niż nitrogliceryna, dlatego przy stabilizacji nie używa się dodatkowo sprężonego powietrza, tak by nie zwiększać strat;

- jest bardziej rozpuszczalny w wodzie niż nitrogliceryna, co wymusza użycie mniejszej ilości wody do stabilizacji;
- w reakcji nitrowania wydziela mniej ciepła, co przy tym samym układzie chłodzenia pozwala na podwyższenie wydajności procesu;
- łatwiej rozpuszcza nitrocelulozę, dzięki czemu łatwiej przebiega żelatynizacja i zbędne jest stosowanie podwyższonej temperatury;
- wolniej rozkłada się w obecności kwasów i podwyższonej temperatury, co zwiększa bezpieczeństwo procesu;
- jest 10-krotnie mniej pobudliwy od nitrogliceryny, co podwyższa bezpieczeństwo procesu;
- wykazuje silniejsze działanie fizjologiczne tego samego typu i mechanizmu co nitrogliceryna.

## **Kwasy odpadkowe**

Denitracja miała na celu odzyskanie jak największej ilości kwasu azotowego. Kwasy odpadkowe zawierały do 15% kwasu azotowego, zawierały również 15% wody. Kwasy włączano na szczyt kolumny denitracyjnej. Aparat miał przekrój kołowy i wypełniony był kilkumetrową warstwą pierścieni Raschiga (ceramiczne krótkie rurki) ułożonych na ruszcie. Kolumna miała wysokość około 8 m. Od dołu włączano do niego przegrzaną parę wodną o temperaturze 300-350°C. W kolumnie następowało uwolnienie kwasu azotowego, który w postaci par opuszczał szczyt kolumny. Dołem zaś odbierano rozcieńczony 70% kwas siarkowy. W kolumnie następowała degradacja resztek innych substancji organicznych, znajdujących się w kwasie odpadkowym. Odebrany dołem kwas spływał do magazynu kwasu siarkowego zużytego, gdzie był ostatecznie chłodzony. Odbierane ze szczytu pary kwasu azotowego i tlenki azotu były chłodzone w chłodnicy powietrznej. Jej rury wykonane były prawdopodobnie z kamionki. Na dnie każdej z 8 gałęzi chłodnicy zbierał się kwas azotowy, skąd tłoczono go do magazynu. Rozcieńczony kwas siarkowy sprzedawano z powodzeniem do innych zakładów. Do odbiorców należały zakłady produkujące nawozy fosforowe, stosujące kwas do trawienia metali lub do zraszania kolumn absorpcyjnych.

## **Zateżanie kwasu azotowego**

W wyniku odparowania roztworu wodnego samego kwasu azotowego nie można uzyskać bardziej stężonego kwasu niż 68%. Aby uzyskiwać większe stężenia, należy zastosować dodatek substancji obniżającej lotność wody.



Do tego celu stosuje się kwas siarkowy, azotan sodu, azotan magnezu lub wapnia. W zakładzie zastosowano najprawdopodobniej metodę polegającą na dodawaniu kwasu siarkowego. Głównym aparatem była kolumna składająca się z dwóch części, dolnej i górnej. Zasilanie rozcieńczonym kwasem azotowym odbywało się pomiędzy obiema częściami kolumny. Kwas azotowy spływał po półkach dolnej części i mieszał się tam z kwasem siarkowym spływającym z górnej części kolumny. W przeciwnym kierunku unosiła się mieszanina pary wodnej i powietrza o temperaturze 300-350°C. W dolnej części „denitrującej” w miarę spływania cieczy po półkach w dół następowało odparowanie kwasu azotowego. Uzyskana para miała większą zawartość kwasu azotowego niż w normalnej destylacji, dzięki obecności kwasu siarkowego w cieczy wrzącej. Dolną część kolumny opuszczał dołem ciekły i rozcieńczony 68% kwas siarkowy, a górą para wodna i pary kwasu azotowego. Kwas siarkowy spływał na dno kolumny do tzw. kubu, w którym znajdowały się bełkotki parowe. Opary unoszące się z dolnej części kolumny trafiały do górnej części „odwadniającej”. Spotykały się w przeciwnym kierunku ze spływającym w dół, po wypełnieniu kolumny, stężonym 98% kwasem siarkowym. Kwas był uprzednio podgrzany do 100°C. Spływając w dół, absorbował wilgoć z oparów. Odwodnione pary kwasu azotowego i powietrze trafiały następnie do chłodnicy, w której ulegały skropleniu. Zakończeniem chłodnicy był separator oddzielający powietrze z tlenkami azotu od 98% kwasu azotowego, który spływał do zbiornika.

## Bibliografia

- Cetner W.P., *Chemia i technologia materiałów wybuchowych: preparatyka materiałów wybuchowych i produktów pośrednich*, Warszawa 1986
- Czerniakowski W., *Amunicja wojskowa 1840-1870*, Lublin 2004
- Groggins P.H., *Procesy jednostkowe w syntezie organicznej*, Warszawa 1961
- Gruszka Z., *Tabliczki z Dynamit AG vorm. Alfred Nobel & CO Bromberg*, Bydgoszcz 2000
- Kępiński J., *Technologia chemiczna nieorganiczna*, Warszawa 1974
- Korzuń M., *1000 słów o materiałach wybuchowych i wybuchu*, Warszawa 1986
- Książkiewicz S., Kubicki J., Tęsiorowski E., *Nitroceluloza*, Warszawa 1961
- Malina K.M. (red.), *Kwas siarkowy. Poradnik inżyniera technika*, Warszawa 1975
- Meyer R., *Explosives*, New York 1977
- Raczyński S., *Nitrogliceryna. 100 lat przemysłowego wytwarzania*, Warszawa 1967
- Smoleński D., *Teoria materiałów wybuchowych*, Warszawa 1954
- Technologia chemiczna organiczna*, praca zbiorowa, Warszawa 1958
- Termoenergetyka*, praca zbiorowa, Warszawa 1965
- Urbański T., *Chemia i technologia materiałów wybuchowych*, Warszawa 1954-1955

Urbański T., *Teoria nitrowania*, Warszawa 1955

Urbański T., *Wstęp do technologii materiałów wybuchowych*, Warszawa 1954

Warych J., *Aparatura chemiczna i procesowa*, Warszawa 2004

## Patenty

### US1590043

(LENTZ HOWARD N., *Production of concentrated nitric acid from waste acids*, 1926)

### US1939634

(HANS SCHMID, IRMA SCHMID, *Apparatus for the continuous separation and after separation of nitroglycerine and residuary acid*, 1933)

### US1901003

(HANS SCHMID, IRMA SCHMID, *Process of washing nitroglycerine and similar esters*, 1933)

### US1893447

(HANS SCHMID, IRMA SCHMID, *Process of and apparatus for nitrating glycerine, glycol, and similar alcohols*, 1933)

### DE 292831

(JOSEF MEISSNER, *Vorrichtung zum kontinuierlichen Waschen von Nitroglycerin und ähnlichen Sprengölen*, 1953)

### DE 852842

(BECK CHRISTOPH DR, WEISSBACH HELMUT DR, *Verfahren zum Konzentrieren wasserhaltiger Salpetersaeure*, 1952)

oraz:

Instrukcja Inspektoraru Szkolenia Wojska Polskiego: Teoria Strzału, MON, Warszawa 1970

Instrukcja Polowa Armii USA (U.S. War Department Technical Manual): TM-E 30-451 Hanbook on German Military Forces