

Kwas azotowy jest jednym z podstawowych i ważniejszych produktów chemii nieorganicznej. Jego światowa roczna produkcja szacowana jest na 60 mln ton (w 2016 r.), z czego ponad 50% wykorzystywane jest do produkcji nawozów. Praktycznie cała produkcja kwasu azotowego na skalę przemysłową odbywa się w procesie Ostwalda, który opiera się na utlenianiu amoniaku. Jednak do syntezy tego amoniaku w procesie Habera-Boscha niezbędny jest wodór, którego 70% zapotrzebowania zapewniane jest przez reforming parowy metanu. Proces Habera-Boscha to jedna z najważniejszych technologii naszej cywilizacji, pozwalająca na stały wzrost populacji. Jej skala jest tak ogromna, że odpowiada za 5% całkowitego światowego zużycia gazu ziemnego i 2-3% światowego zapotrzebowania na energię. Innymi słowy, chociaż tylko część amoniaku pochodzącego z Habera-Boscha jest wykorzystywana do produkcji kwasu azotowego, jego wytworzenie wymaga dużej ilości gazu ziemnego. Stwarza to zagrożenie silnego uzależnienia od zasobów tego paliwa kopalnego. Ponadto konwersja takich ilości gazu ziemnego powoduje znaczną emisję dwutlenku węgla. W związku z tym, wiele wysiłku wkłada się w uczynienie tego zależnego od paliw kopalnych procesu bardziej zrównoważonym, poprzez sprzężenie go z zielonym wodorem i energią odnawialną [9,10]. Wydaje się jednak, że w przypadku kwasu azotowego jego produkcję można oddzielić od produkcji amoniaku. Rozwiązaniem mogą być technologie plazmowe. Co ciekawe, początki wiązania azotu (poprzez tworzenie NO) sięgają właśnie wykorzystania plazmy w procesie Birkelanda Eyde'a. Chociaż proces ten okazał się znacznie mniej skuteczny niż proces Habera-Boscha i został zastąpiony przez niego w latach dwudziestych XX wieku, obecna świadomość ekologiczna, rynek gazu ziemnego i wielki postęp w technikach plazmowych mogą odwrócić sytuację.

Ostatnie badania nad zastosowaniem plazmy do tworzenia NO_x (suma NO i NO₂) sugerują, że najbardziej efektywną ze wszystkich rodzajów plazmy jest plazma mikrofalowa pracująca pod ciśnieniem atmosferycznym (*atmospheric pressure microwave plasma* - APMP). Tak wysoką wydajność przypisuje się wysokiej temperaturze plazmy (do 5000-6000 K) oraz obecności cząsteczek wzbudzonych oscylacyjnie. W przypadku plazmy powietrznej lub tlenowo-azotowej oba te związki mogą ulegać wzbudzeniu oscylacyjnemu. W rezultacie mają znacznie wyższą energię (uzyskiwaną w wyniku zderzenia z elektronami plazmy) niż w stanie podstawowym i mogą obniżyć energię aktywacji reakcji tworzenia NO. Bardzo często właśnie tym wzbudzonym cząsteczkom, zwłaszcza azotu, przypisuje się odpowiedzialność za bardzo dobry wynik APMP w kontekście produkcji NO_x. Co więcej, części stosowane w reaktorach APMP (zasilacze, magnetrony MW, falowody) są komponentami dojrzałymi technologicznie i produkowanymi przez wiele firm. Reaktory mogą pracować przy dużym przepływie gazu i dużą mocą – stwarza to potencjał na zwiększenie skali technologii. Co najważniejsze, reaktory plazmowe oddziałują bezpośrednio na gaz i dlatego charakteryzują się natychmiastową procedurą włączania/wyłączania. To wydaje się idealnie pasować do zależnych od czasu odnawialnych źródeł energii, takich jak energia słoneczna lub wiatrowa. Innymi słowy, zastosowanie APMP zasilanego energią odnawialną i powietrzem lub mieszaniną O₂-N₂ wydaje się obiecującą technologią, która mogłaby zastąpić tradycyjny proces Habera-Boscha/Ostwalda, zmniejszając zależność od gazu ziemnego i znacznie ograniczając emisję CO₂.

Należy jednak zwrócić uwagę, że najnowsze badania wskazują, iż proces z użyciem APMP wciąż jest daleki od optymalnej efektywności energetycznej. Co więcej, rola wzbudzonych oscylacyjnie cząsteczek w tym procesie wciąż nie jest w pełni poznana i udowodniona. Dlatego celem tego projektu jest między innymi zastosowanie i zbadanie „quenchingu” jako możliwego sposobu poprawy wydajności procesu. W tym celu zastosowana zostanie dysza de Laval'a i dodatkowy gaz chłodzący. Dysza zamienia energię cieplną na kinetyczną, schładzając gaz i poprawiając wymianę ciepła. Powinno to zapewnić bardzo szybkie tempo chłodzenia (quenching). W rezultacie powinno być możliwe uzyskanie wyższej wydajności NO_x. Bez quenchingu duża część udziału NO_x jest tracona z powodu odwracalnych racji, które prowadzą do odtwarzania tlenu i azotu. Eksperymenty zostaną przeprowadzone w reaktorze APMP o mocy 3 kW z dużymi prędkościami przepływu gazu (do 100 L/min) dla różnych stężeń azotu i tlenu. Wyniki eksperymentów zostaną poparte zaawansowanym modelem numerycznym 3D. Model, zweryfikowany wynikami eksperymentalnymi, zostanie wykorzystany do optymalizacji procesu quenchingu i oceny roli wzbudzenia oscylacyjnego w powstawaniu NO_x.

Wyniki projektu będą mogły być korzystane w wielu dziedzinach, w których stosuje się plazmę mikrofalową w konwersji gazów. Jednak głównym celem jest lepsze zrozumienie i rozwój procesu, który może mieć kluczowe znaczenie dla bardziej zrównoważonego rozwoju naszego społeczeństwa.