

Prof. dr hab. inż. Janusz Badur,
Dr inż. Paweł Ziółkowski
Zakład Konwersji Energii IMP PAN, Gdańsk



Ku bezemisyjnej energetyce gazowej

Życie w mieście jest jednym z gordyjskich węzłów problemów społecznych - z pewnością współczesna pragmatyczna orientacja na rynek i przedsiębiorczość wszechobecna w programach pomocy i integracji społecznej nie służy rozwiązywaniu problemów społecznych. Nie służy również dlatego, że nie wychodzi naprzeciw marzeniom aktywnej ludności o nowej koncepcji miejskości. Mamy bowiem z jednej skrajnej strony podmiotową koncepcję życia miejskiego, w której jest obecna potrzeba odbudowania wspólnotowych więzi i ukształtowania „miasta jako wspólnego pokoju”, a z drugiej skrajnej strony prymat formatu życia społecznego, w którym dominują wartości rynkowe. Czystość i bezpieczeństwo „wspólnego pokoju” jakim jest miasto, nie jest jak dotychczas jeszcze wartością społeczną.

■ Ku zrównoważonemu współzamieszkiwaniu miejskiemu

Koncepcja przymierza społecznego polega na uchwyceniu porządku społecznego jako dzielący „wspólny pokój” mieszkańcy miasta muszą wypracować [1]. Chodzi również o wysiłek nad oczyszczeniem „wspólnego pokoju”, nad usunięciem z niego, zapylenia, zakurzenia, drażniących zapachów czy smogu. Miasto o którym myślimy - Toruń - ma już duże osiągnięcia w osiągnięciu ulicznego porządku - mieliśmy okazję oglądać piękne ulice i domy tego miasta z okazji odbywającej się tu IX-tej konferencji „Gaz w Energetyce - technologie, eksploatacja, serwis”, wiadać, że miasto - ten „wspólny pokój”

dzielony przez współmieszkańców ma dostrzegalny społeczny porządek, budzący poczucie społecznej sprawiedliwości. Mieszkańcy dzielący ten „wspólny pokój”, tworzą porządek korzystania z miejskich urządzeń, poruszają się po ulicach współgospodarząc przestrzenią - widać to zwłaszcza podczas porannego spaceru toruńską starówką. Okazuje się, że kondycja społeczna

współmieszkańców została, wzmocniona o „czystość powietrza” i „bezpieczeństwo energetyczne”. W nieustannym układaniu przestrzeni, od jakiegoś czasu, brakuje w Toruniu, spornego podziału na „przestrzeń brudną” i „czystą” - na miejsca „bezpieczne i niebezpieczne” - osiągnięto bowiem warunki harmonii społecznego ładu, który ustanawiamy, kiedy dzielimy świat miejski na części rozumiane, przez każdego z nas, jako „nasze”.

■ Redukcja emisji w wyniku konwersji węglowo-gazowej

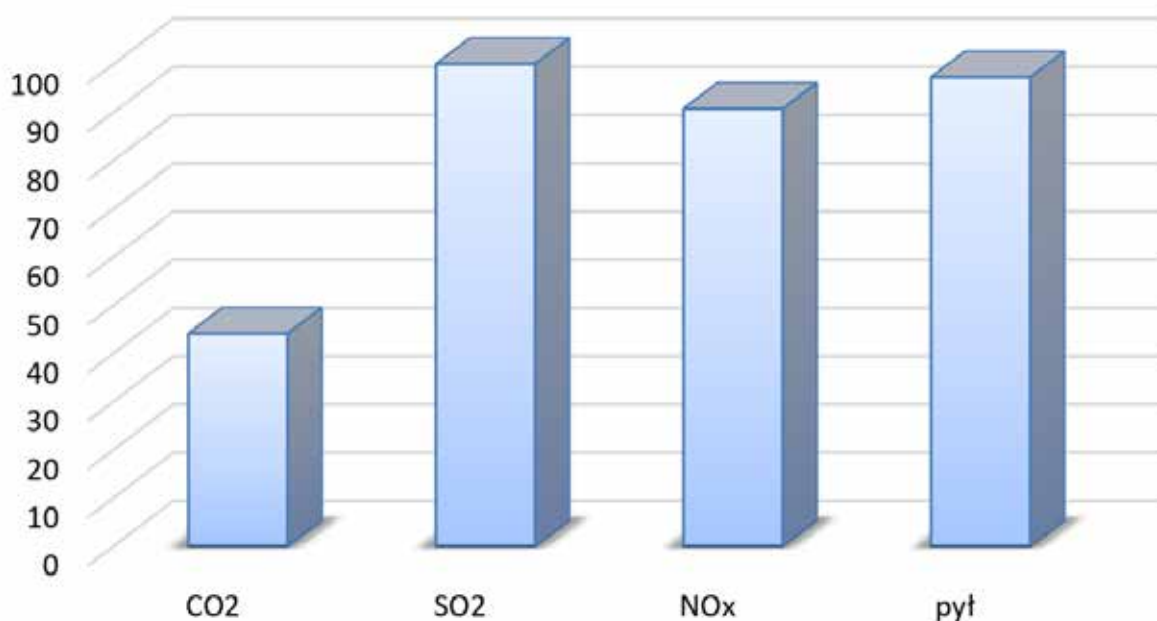
Widać, słyhać i czuć, że mieszkańcy zgadzają się na ten wspólny nowy ład. Powodowany jest on nową inwestycją we „wspólnym pokoju” - jest to inwestycja poważna, poprawiająca społeczną integrację, zbliżająca nas do realizacji marzeń o „bezemisyjnym pokoju”.

Uruchomiona w 2017 r. w PGE Toruń S.A. elektrociepłownia gazowa w sposób radykalny zbliża nas do bezemisyjnego wytwarzania prądu elektrycznego i energii cieplnej. Na potrzeby „wspólnego pokoju” - Torunia - elektrociepłownia produkuje maksymalnie do 106 MW mocy elektrycznej i 237,6 MW mocy cieplnej w kogeneracyjnym bloku gazowym [2] - wystarcza to z dużym naddatkiem na pokrycie dzisiejszych i przyszłych potrzeb mieszkańców grodu Kopernika. Uzyskano długofalowe bezpieczeństwo dostaw energii dla mieszkańców Torunia. Nie ma tu wprawdzie jeszcze mowy o dostawach chłodu - lecz nie od razu „wspólny pokój” musi być w upalne dni chłodzony - otwierając nasze okna jednak wiemy, że chłodzimy się najczystszym w okolicy powietrzem. Ci którzy mają sprężarkowe klimatyzatory mogą być pewni że 70% ich potrzeb pokrywa produkcja energii elektrycznej nowej elektrociepłowni.

Niezwykła jest teraz czystość powietrza miejskiego w Toruniu. Zastąpienie kotłów węglowych paliwem gazowym, radykalnie obniżyło poziom emisji zanieczyszczeń - dwutlenku węgla CO_2 o 44%, tlenków siarki SO_x o 99.9%, tlenków azotu NO_x o 90.6%, pyłów kancerogennych o 97.1% (rys. 1). Elektrociepłownia zmniejszając nocną produkcję o połowę zmniejsza również nocne zagrożenia dla zdrowia, poprawia jakość powietrza porannego w mieście i redukuje wszechobecny smog.

Jednak, dyskutując rozwiązanie toruńskie, jako pewien wzorzec konwersji dla ciepłowni miejskich opartych na kotłach węglowych, winniśmy pamiętać, że w spalinach opuszczających wodny kocioł odzyskowy znajduje się, oprócz CO_2 , również para wodna w ilości około 400 kg/MWh. Wpływ pary wodnej na jakość powietrza miejskiego nie zawsze jest korzystny, powoduje ona czasami lokalny efekt cieplarniany prowadzący

Redukcja emisji



Rys. 1. Zmiana emisji po zamianie pyłowych kotłów węglowych na turbinę gazową spalającą gaz ziemny¹

¹ Redukcje SO₂, NO_x i pyłów odniesiono do wartości pomiarów [2] z kolei dwutlenek węgla na podstawie emisji odniesionej do wartości opałowej

do podniesienia temperatury przestrzeni miejskiej - ten efekt termiczny, uwiadaczający się w letnie wieczory, jest podobny do lokalnych pików temperatury powietrza powodowanych nawet niewielkim stężeniem zapachów anyżu, jaśminu czy lawendy, które są gazami kilkaset razy groźniejszymi niż CO₂.

■ Ku pozbawionej emisji przestrzeni miejskiej

W kraju, w którym życie społeczne powoli odzyskuje sens wracają również dwie klasyczne koncepcje przestrzeni miejskiej - pierwsza to Platońska chora niewiele różniąca się od Sokratejskiej agory, a druga to Arystotelesowska koncepcja przestrzeni jako topos. Przestrzeń Arystotelesa nie ma własności przestrzennych - zbudowana jest bowiem z gęstej mieszaniny powierzchni kontaktu, powstaje jako ład następstw, jako przejaw zdrowia przyrody ożywionej. Gdy „miejski pokój”, który wspólnie zamieszkujemy wypełniony jest zdrowym dla nas powietrzem, zmieniają się relacje międzyludzkiego kontaktu, powstają nowe powierzchnie kontaktu budujące Arystotelesowski topos. Nie jesteśmy wtedy znikąd, lecz z greckiej cywilizacji Zachodu.

Wiemy, że nasza cywilizacja, zarówno w warstwie ożywionej jak i pozbawionej owej niezwyklej mobilności, oparta jest na związkach węgla. Występujące w przyrodzie bilanse węgla nie są jeszcze przez nas zrozumiałe - przez ostatnie trzy dekady pochylały się nad bilansami dwutlenku węgla. Obecność CO₂ w przestrzeni miejskiej coś dla nas oznacza i w czymś nam zagraża. Problematyka zapewnienia odpowiedniej ilości i jakości powietrza wewnętrznego w mieście - „wspólnym pokoju” nas wszystkich - jest przedmiotem wielu, czasami intensywnych analiz interdyscyplinarnych, prowadzonych przez chemików, biologów, medyków, ale również przez energetyków - rzecz bowiem idzie o skarb największy - ludzkie zdrowie. Jeśli ten „wspólny pokój”

w nocy staje się sypialnią to kluczowe i niezbędne stają się badania i ustalenia co do jakości powietrza, którym oddychamy w naszych sypialniach. Smog widoczny nad naszymi miastami w godzinach porannych jest również smogiem w naszych sypialniach - z naszych badań wynika, że godziny poranne okresu grzewczego są największym zgorzeniem dla zdrowia - stąd osoby wylegujące się w łózkach w trakcie zimowych dni są bardziej narażone na choroby niż tzw. „ranne ptaszki”. Również z powodów obiektywnych nad ranem obserwujemy zwiększoną (nawet o 180 ppm) ilość CO₂ w powietrzu zewnętrznym dostarczanym do sypialni - o tą wartość zwiększa się pik uderzeniowy nad ranem.

Każdy, kto dzieli „wspólny pokój” wie, że nocne godziny są większym zagrożeniem dla organizmu człowieka niż godziny dzienne. Śpiący znajduje się w zamkniętej sypialni w której, na poziomie głowy, mamy około 5-tej rano największe stężenia własnego CO₂ sięgające w okresie zimowym nawet 4000 ppm. Paradoksalnie na ilość CO₂ w sypialni mają niekorzystny wpływ również rośliny znajdujące się wewnątrz, w godzinach nocnych one również wytwarzają własne CO₂. Przypomnijmy, za prof. Narkiewiczem, że podczas snu organizmem człowiek zarządza tzw. system przywspółczulny będącym autonomicznym (funkcjonującym poza naszą świadomością) systemem nerwowym. W odróżnieniu od aktywnego współczulnego systemu dziennego, ten system nerwowy ma za zadanie naprawę i uzupełnienie magazynów dziennych oraz autonaprawę systemu regulacji i sterowania jakim jest somatyczny układ nerwowy. Wysoki poziom CO₂ w sypialni przeszkadza nocnemu systemowi nerwowemu w dokonywaniu uzupełnień magazynów dziennych, regeneracji somatycznego układu nerwowego i przeciwdziałaniu symptomom chorób. Zaburzeniami mającymi swe źródło w oddychaniu podczas snu powietrzem o niskiej jakości, są niedomo-

gi obawiające się dniem; lęk i niepokój wewnętrzny, rozdrażnienie, nerwowość, niechęć do aktywności, apatia. W trakcie dnia potrafią się objawić takie zaburzenia czynnościowe jak: biegunka, migrena, bóle głowy, osłabienie krążenia. Są to informacje, że w nocy układ regulacji i sterowania nie wykonał należycie swego zadania i nie przygotował dziennego systemu regulacji do zadań typu aktywność fizyczna i intelektualna, wysiłek zawodowy, etc. Te zaburzenia informują nas, że ciało i dusza potrzebują odprężenia i wypoczynku, a lęki, nerwowość i niepokój dają znaki, że nocny system nerwowy człowieka działa zawodnie i nie przygotowuje ważniejszych narządów wewnętrznych do autonomicznych zadań dziennych typu: szybkie zmiany oddychania, przyspieszanie i opóźnianie tętna krążenia, intensywne trawienie, przemianę materii, temperaturę ciała. Innymi słowy, wydolność dziennego układu regulacji i autosterowania ludzkim organizmem zależy od nocnych działań naprawczych i regeneracyjnych.

Takie reakcje jak przyspieszony oddech i tętno, większe ciśnienie krwi i napięcie mięśni pojawiają się np. z uczuciem wstydu w postaci rumienienia się i jękania ze zdenerwowania. Są to zjawiska świadczące o dobrej wydolności samego układu regulacji i gotowości systemu nerwowego do działania. Gdy takie i inne zjawiska występują bez przyczyny, to oznacza niewłaściwą pracę nocnego, przywspółczulnego systemu regeneracji oraz pewien rozsiew komunikacyjny w organizmie. Dolegliwości psychosomatyczne zawsze nam mówią o jakości naszego snu. W efekcie, po dłuższym czasie układ somatyczny człowieka staje się tak słaby, że nie potrafi uruchomić i sterować niektórymi funkcjami: łaknieniem, połykaniem, oddychaniem, chrypką, kołataniem serca, bolesnym miesiączkowaniem czy impotencją lub przedwczesnym wytryskiem nasienia. Człowiek staje się rozdrażniony, wewnętrznie spięty, wolno się uspokaja, nie potrafi się cieszyć,

nawiązywać rozmów, skupić się, etc. Miasto, nasz „wspólny pokój” potrzebuje więc nocnych bilansów CO₂.

Jeśli bilanse CO₂ w naszym środowisku zostają zakłócone, zwracamy się z pytaniem jak dokonać redukcji najbardziej zakłócających emisji CO₂. Zgodnie z przepisami Unii Europejskiej, w dziedzinie energetyki węglowej, wszystkie budowane współcześnie duże bloki mają zaprojektowaną opcję wychwytywania i sekwestracji CO₂ (CCS). Podobne zasady obowiązują energetykę gazową, stąd naczelnym hasłem badań w ostatnich latach jest „bezemisyjna energetyka gazowa”, prowadząca do technologii kontrolujących, wychwytyjących i usuwających CO₂ wytwarzane przez turbiny gazowe. Liderem badań nad tymi technologiami jest Zakład Miernictwa i Automatyki Procesów Energetycznych Politechniki Śląskiej, prowadzony przez prof. Janusza Kotowicza [3]. Wszystkie wysokosprawne technologie oparte są na tlenowym spalaniu gazu - inertyny gaz, jakim jest azot cząsteczkowy zostaje odseparowany od powietrza i nie bierze już udziału w ekspansji w turbinie gazowej. Innymi słowy - spaliny turbiny gazowej

nie zawierają w takim rozwiązaniu swego dotychczasowego głównego składnika jakim był azot, a składają się z produktów spalania: CO₂ i H₂O.

Tak więc zespół badawczy prof. Kotowicza przebadał i porównał dwa obiegi ze spalaniem tlenowym i wychwytem CO₂. Są to: obieg z zewnętrzną separacją tlenu z powietrza na stacjach ASU (warianty: z suchą i mokrą recyrkulacją spalin), oraz obieg z wewnętrzną separacją tlenu w reaktorze membranowym, który zastępuje komorę spalania. Komora spalania turbiny gazowej jest zintegrowana z reaktorem membranowym, który posiada membranę typu ITM separującą tlen. Udało się pokazać, że zasadnicza formuła na strumień jonów tlenu przepływających przez pory membrany, pochodząca od Waltera Nernsta, mówi iż siłą napędową przepływu jonów tlenu przez porowaty materiał ceramiczny jest różnica ciśnień cząsteczkowych tlenu. Okazuje się, iż nie musi to być znacznie duża różnica ciśnień (wystarczy ok. 20%) ponieważ nie następuje tu przeciskanie gazu przez światło porów, lecz ciągnięcie jonów po ściankach porów w głąb struktury perowskitowej. Mówimy raczej nie

o czystej dyfuzji jonów tlenu typu Darcy, lecz o powierzchniowej mobilności jonów. Stąd wniosek, iż potrzebne są duże powierzchnie wewnętrzne membran, a samo projektowanie separatora membrany przypomina projektowanie ogniwa tlenowego SOFC.

■ Przyszłość bezemisyjnych technologii gazowych

Jeszcze inny bezemisyjny obieg gazo-parowy opracowano w rozprawie Pawła Ziółkowskiego [4]. Opiera się on również na tlenowym spalaniu gazu i późniejszej separacji CO₂ z tym, że separacja powietrza na tlen i azot następuje w osobnych stacjach ASU. Sama koncepcja nowego obiegu bierze się z namysłu nad ilością pary produkowanej ze spalin turbiny gazowej - zwykle na wytworzenie jednego kilograma pary potrzeba 6-10 kilogramów spalin. Skoro jest to niewielka ilość pary przypadająca na całość spalin, to zasadnym jest przekierowanie tej pary nie do turbiny parowej, lecz z powrotem do turbiny gazowej. Gdy turbina parowa jest turbiną ciepłowniczą przeciwpnętną, to uzysku-



jemy w turbinie dużo lepszą ekspansję pary i w efekcie wzrost mocy. Jednak znaczący wzrost mocy turbiny gazowej (GT+GT^m) na nowy czynnik, jakim jest gazo-parę osiągniemy, gdy przedłużymy ekspansję turbiny gazowej do warunków próżni. W próżni musimy wykroplić parę wodną oraz schłodzić CO₂ - później pozostaje problem sprężu CO₂ do jego paramentów nadkrytycznych koniecznych dla transportu - tutaj jest propozycja, aby pierwszy etap sprężu przeprowadzić za pomocą smoczków wodno-gazowych (SEC) (rys. 2.).

Tak więc nowy obieg gazo-parowy realizowany jest w jednej turbinie (GT+GT^m), która ma zalety zarówno turbiny gazowej (wysokie temperatury wlotowe - część GT) jak i turbiny parowej (pełna ekspansja do próżni - część GT^m). Aby uzyskać kompaktowość obiektu, należy pozbyć się największych gabarytowo aparatów obie-

gu którymi są parowy kocioł odzyskowy oraz kondensator pary. Kompaktowość wymaga wprowadzenia opracowania nowej „mokrej komory spalania” i „separatora natryskowo-strumieniowego” ale w zamian otrzymujemy zwiększenie sprawności obiegu, zmniejszenie gabarytów i kosztów inwestycji, zmniejszenie zagrożeń. Paradoksalnie, ten kompaktowy obiekt uzyskuje, przy niezmiennym poziomie wysokiej sprawności, dużo większą elastyczność regulacji produkcji ciepła grzewczego i z łatwością spełnia wymogi minimalnej produkcji ciepła latem oraz maksymalnej produkcji wody grzewczej zimą. Jest on, naszym zdaniem, przyszłością elektrociepłowni małych miast.

□

Literatura:

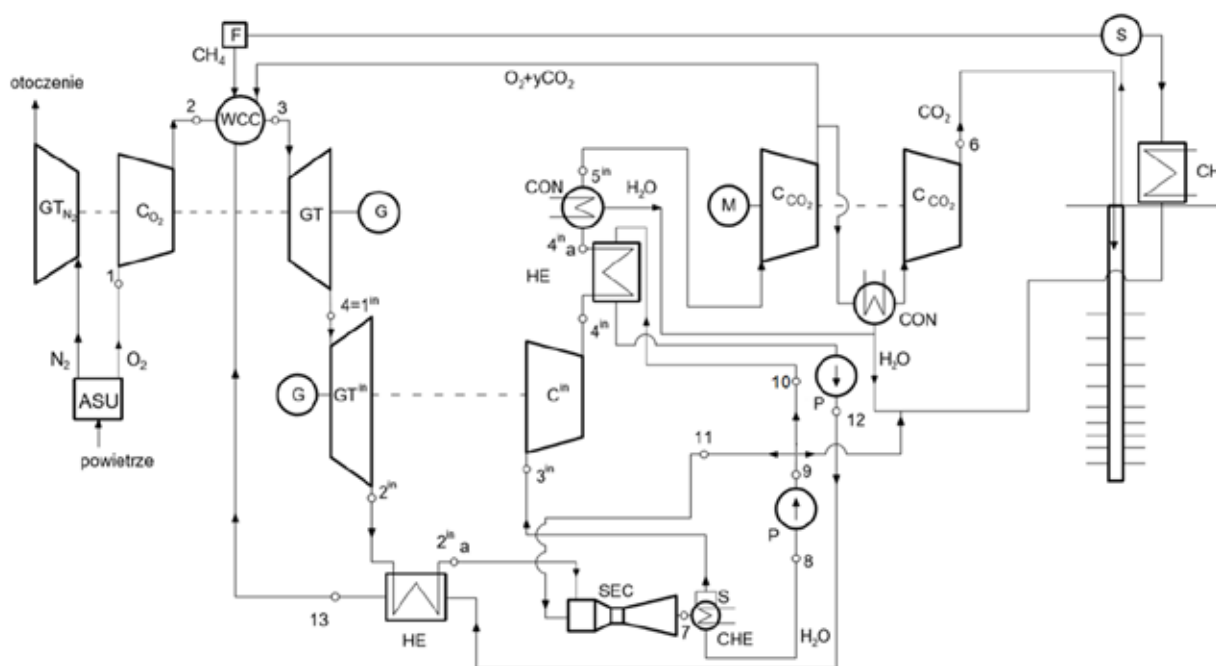
[1] Maria Mendel, "Wspólny pokój" Gdańsk. Miejskie mody co-vivendi w badaniu metodą krytycznej historii miasta, [w:]

ed. M. Mendel, *Miasto jak wspólny pokój Gdańskie mody co-vivendi*. Instytut Kultury Miejskiej, Gdańsk 2015, str. 11-48.

[2] M. Dziura, K. Rogowski, PGE Energia Ciepła S.A. - nowa marka, nowa strategii dla ciepłownictwa. *Elektrociepłownia gazowa w Toruniu*, [w:] IX Konferencja „Gaz w Energetyce - technologia, eksploatacja, serwis”, Toruń 22-23 maja 2018, moderator prof. Krzysztof Badyda.

[3] J. Kotowicz, M. Brzęczek, M. Job, (2017), *Kierunki rozwoju nowoczesnych elektrowni gazowo-parowych z instalacją wychwyty i sprężania CO₂*. *Energetyka, problemy energetyki i gospodarki paliwowej - energetycznej*, listopad (11), (761), pp 683-691.

[4] P. Ziółkowski, *A study of innovative, emission-less, compact gas-steam cycle with oxy combustion*, złożone do Energy Conversion and Management, 2018.



Rys. 2. Schemat bezemisyjnego obiegu gazo-parowego IMP PAN. Charakterystycznymi aparatami jest mokra komora spalania (WCC) i skraplacz natryskowo-strumieniowy (SEC). Brak jest tu kominów, kotła odzyskowego i kondensatora pary wodnej¹

¹ Komplet urządzeń pracujących w obiegu IMP PAN dla kompaktowej, wysokosprawnej i bezemisyjnej elektrowni, należy wymienić odpowiednio: WCC - mokra komora spalania, GT+GT^m - turbina gazowo-parowa, SEC - skraplacz natryskowo-strumieniowy, ASU - stacja separacji tlenu, C_{CO2} - sprężarka O₂, C - sprężarka, HE - wymiennik ciepła, CHE - wymiennik ciepła chłodzący skropliny, CH - wymiennik ciepła chłodzący wodę odpadową, CON - skraplacz, M - silnik, G - generator, P - pompa, S - separator CH₄, R - oddzielnik wody od gazu, F - filtr, GT_{N2} - ekspander N₂, C_{CO2} - sprężarka CO₂.