

## THE SUMMARY

This doctoral dissertation presents the problem of water appearing in medium and low pressure gas network systems that cannot be explained directly by leakage in pipes. I want to show in it that the obligatory analysis of the physicochemical parameters of natural gas in terms of moisture and atmospheric conditions will lead to predictable periods of excessive moisture condensation in the gas network, which will enable its faster removal in order to increase the safety of gas transport, the safety of gas network operation, and increasing the efficiency and environmental friendliness of combustion. I wanted to find a correlation between such factors as: the dew point of the supplied natural gas, ground temperature, atmospheric pressure, gas pressure in the gas network in order to explain more precisely the moments of condensation, and to find methods to minimize such phenomena by changing the applicable regulations in the field of design and construction, and the operation of gas networks. Thanks to this, the increase in the operational safety of end consumers burning natural gas, and improvement of the economy of gas consumption.

The historical orientation of Poland's fuel balance towards solid fuel causes enormous technical, economic and environmental problems for the country, also on an international scale. The Polish government announced an extensive program of ensuring the country's energy security by diversifying the supply of natural gas from various sources and directions thanks to the effective use of the LNG terminal on the Polish coast and the creation of new cross-border connections. In the conditions of the expected development of the domestic gas industry, the key issue is increasing the capacity of the Polish natural gas transmission network and ensuring the reliability of the gas supply process, as well as its appropriate quality. The plan for the implementation of new transmission gas pipelines and their outputs to local distribution systems, the implementation of which will result in the development of the gas supply industry at an unprecedented pace in the coming years. The implementation of this plan is to increase the capacity of the system by 2.49 billion m<sup>3</sup>, which is nearly 40% of the current state. The forecast of natural gas consumption for Poland provides for an increase in the moderate option until 2035 from the current level of 18 bcm to 21.6 bcm, and in the optimal option to 27.3 bcm. Of course, in the implementation of such an undertaking,

there is a need to solve many different aspects, but one of them, and a very difficult one, is the proper transport of such a quantity of gas. And one of the major problems with this is the moisture content of the gas fuel. This problem is additionally aggravated by the increasing use of liquefied natural gas technologically related to cryogenic processes.

It is not widely known that water may appear in gas pipelines that distribute natural gas directly to consumers. On the other hand, specialists in the operation of gas networks deal with this phenomenon on a daily basis. Where is this water coming from? Certainly not due to leaks in the network due to mechanical damage or corrosion, because the gas pipelines are always under positive pressure. Natural gas extracted from the ground is usually contaminated with solid fractions and loaded with moisture, it has corrosive properties. Previously, dehydrated gas taken from underground gas storage facilities is also saturated with water. The presence of water in natural gas is undesirable as it increases corrosion of pipes and equipment, especially in the presence of H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub>, and forms ice plugs in winter conditions. It can also contribute to the formation of hydrates that block the gas flow, especially in the case of liquid hydrocarbon recovery processes, such as freezing or cryogenic processes.

To ensure the proper properties of gas, transmission network operators provide declarations on the properties of the fuel transported on their official websites. Among them, there is the permissible moisture content in the form of the maximum dew point temperature  $t_r$ , separately for summer and winter. The safety of gas in transport and further use depends directly on it, and its efficiency is important from the point of view of meeting tax obligations. However, the dangers that arise during the operation of gas networks in the presence of condensed water in gas pipelines are much more important.

**Keywords:** natural gas, water condensation, gas transport, high pressure, gas moisture

## SŁOWO WSTĘPNE

Jak wykażę w niniejszej rozprawie gaz ziemny dostarczany już bezpośrednio konsumentom nie jest całkowicie osuszony, a ilość wilgoci zależy od zmian temperatury, ciśnienia i przepływów. Czy te fakty nie zaburzają pewnego utartego stereotypu o możliwości pojawiania się wody w sieciach tylko poprzez nieszczelności?

W ostatnich latach wraz z rozwojem technologii budowy sieci z rur polietylenowych zauważa się rosnącą tendencję do odchodzenia od starych sprawdzonych przez lata zasad projektowania i budowy sieci gazowych. Spadki układanych gazociągów wymuszane są tylko w sposób naturalny poprzez spadek terenu, przy remontach i wymianie sieci stalowej na PE masowo usuwane są stare odwadniacze w najniższych punktach sieci i w większości przypadków nie powoduje to problemów w dalszej eksploatacji, nawet gdy w takim systemie część sieci jest już z rur polietylenowych a część jeszcze stalowa. Ale przeważnie jest to układ sieci zasilany gazem podgrupy E, gdzie o brak wilgoci w gazie stara się główny dostawca zobowiązany umową na dostawy wymuszającą dopuszczalną wartość wilgoci określoną przez maksymalny dopuszczalny punkt rosy. Inaczej sytuacja wygląda często gdy system zasilany jest gazem podgrupy Lw lub Ls w której jest coraz mniej tych odwadniaczy, a nagle pojawia się woda nie wiadomo skąd. Biorąc wszystkie wnioski i przypuszczenia co jest możliwe a co nie i skąd może pochodzić woda w sieci gazowej wykażę, że elementy sieci w postaci odwadniaczy są czasami bardzo przydatne. Bowiem jeśli całkowicie wykluczyć możliwość gromadzenia się wody bezpośrednio z transportowanego gazu, a dopuścić jedyną poprzez nieszczelności to i tak ratunek pozostanie tylko w odwadniaczach.

Obowiązujące obecnie akty prawne nie wprowadzają żadnych uwarunkowań co do możliwości lub nawet konieczności stosowania w jednostkowych przypadkach odwadniaczy. Normalną kolejną rzeczą jest, że „stara szkoła” odchodzi a nowi młodzi projektanci i pracownicy eksploatacji bazują na obowiązujących przepisach, więc nie projektują już odwadniaczy. Bezspornie gdyby takowe były zamontowane w rejonie torowiska w Kołobrzegu zaoszczędzono by bardzo dużo pieniędzy w trakcie usuwania jednej z poważniejszych awarii opisanej i zanalizowanej w niniejszej rozprawie, może

więc warto by było dogłębnie zbadać takie przypadki spróbować wpłynąć na zmianę obowiązujących przepisów ?

Pragnę podziękować wszystkim, którzy pomagali mi podczas badań w warunkach laboratoryjnych oraz rzeczywistych oraz wspierali radą. Szczególne podziękowania składam mojemu promotorowi za pomoc i radę podczas prowadzenia badań i tworzenia rozprawy, a także pracownikom Katedry Sieci i Instalacji Sanitarnych.

Podziękowania moje kieruję również do Zarządu Polskiej Spółki Gazownictwa, Dyrekcji Oddziału Zakładu Gazowniczego w Koszalinie za umożliwienie mi pobierania danych eksploatacyjnych dotyczących parametrów pracy stacji gazowych redukcyjno pomiarowych wysokiego ciśnienia, oraz z inspekcji odwadniaczy, jak również wszystkim pracownikom OZG Koszalin którzy okazali mi pomoc w zbieraniu tych danych i oczywiście Wszystkim pracownikom Gazowni w Kołobrzegu bez których moje doświadczenie zawodowe by nie powstało.

# 1. CZĘŚĆ TEORETYCZNA – STUDIUM

## 1.1 Sposoby oczyszczania i osuszania gazu ziemnego

Nie są powszechnie znane fakty, że co pewien czas w gazociągach rozprowadzających gaz ziemny bezpośrednio do konsumentów pojawia się woda. Gdy się o tym mówi każdy zgodnie z działającym stereotypem stwierdzi, że to poprzez nieszczelności powstające na sieci wskutek uszkodzenia mechanicznego lub korozji. Taki stan rzeczy można jednak dokładnie ustalić i przyczynę usunąć. Są jednak sytuacje, które nigdy nie zostały precyzyjnie wyjaśnione.

Gaz ziemny wydobywany z ziemi jest zazwyczaj brudny, żrący i obciążony wilgocią. Jest kilka ważnych powodów, dla których obecność wody w gazie ziemnym jest niepożądana. W czasie wydobycia gazu zawierającego  $H_2S$  lub  $CO_2$  woda może powodować korozję w rurociągach zbiorczych i tworzyć hydraty blokujące jego przepływ. Obecność wody w strumieniu gazu potęguje korozję. Gaz ziemny wydobywany z podziemnych magazynów gazu jest również nasycony wodą. Woda zawarta w gazie ziemnym poddawany procesom odzysku węglowodorów ciekłych, takim jak wymrażanie czy procesy kriogeniczne, powoduje tworzenie się hydratów. Usuwanie wilgoci jest kluczowym etapem przetwarzania gazu ziemnego przed sprzedażą, a jego wydajność jest ważna w celu spełnienia zobowiązań umownych o charakterze podatkowym. Aby zapewnić, że gaz jest bezpieczny w transporcie i ma odpowiednie właściwości do dalszego wykorzystania operatorzy sieci przesyłowych tranzytowych na swoich oficjalnych stronach podają deklaracje dotyczące właściwości przesyłanego gazu między innymi dopuszczalną zawartość wilgoci – czyli deklarowany nieprzekraczalny punkt rosy osobno dla lata i zimy.

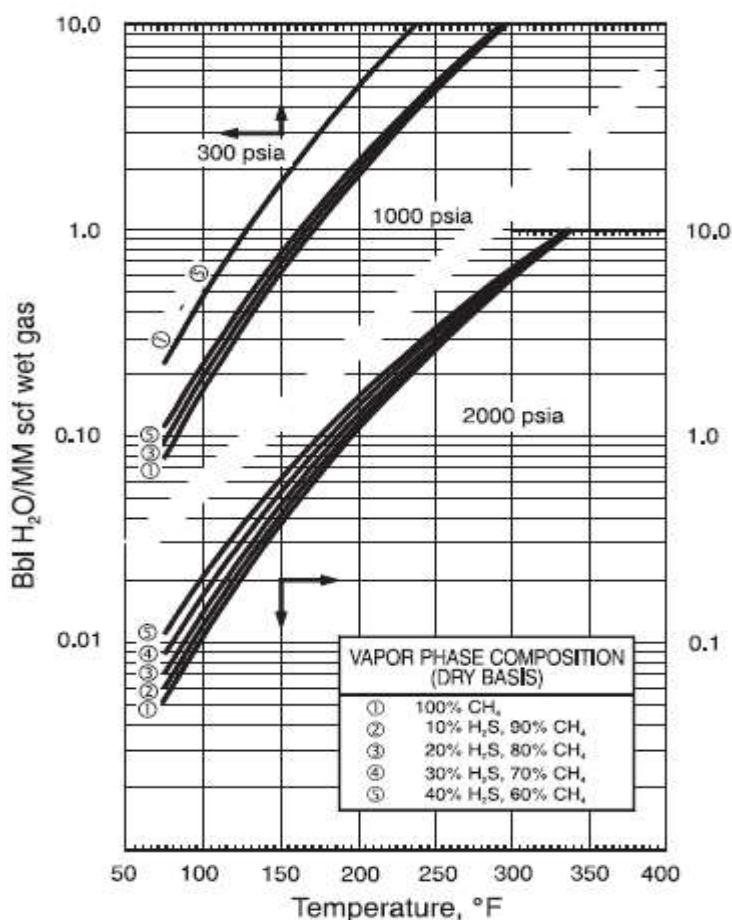
Głośna była awaria rosyjskiego systemu tranzytu gazu, kiedy to polski Gaz System w dniu 22.06.2017 r. ogłosił wstrzymanie wszystkich dostaw gazu od Gazpromu ze względu na awarie instalacji osuszania gazu w obawie o bezpieczeństwo polskich gazociągów. W informacjach tych podawano, że Polska nie posiadała wtedy własnej instalacji do osuszania, a najbliższa jest w Niemczech.

Projektowanie każdej instalacji do osuszania gazu ziemnego wydobywanego metodą górniczą lub technologiczną z zapełnianych w okresach międzyszczytowych podziemnych zbiorników gazu zaczyna się od określenia zawartości wody w gazie.

Zawartość wody w gazie ziemnym jest zawsze funkcją:

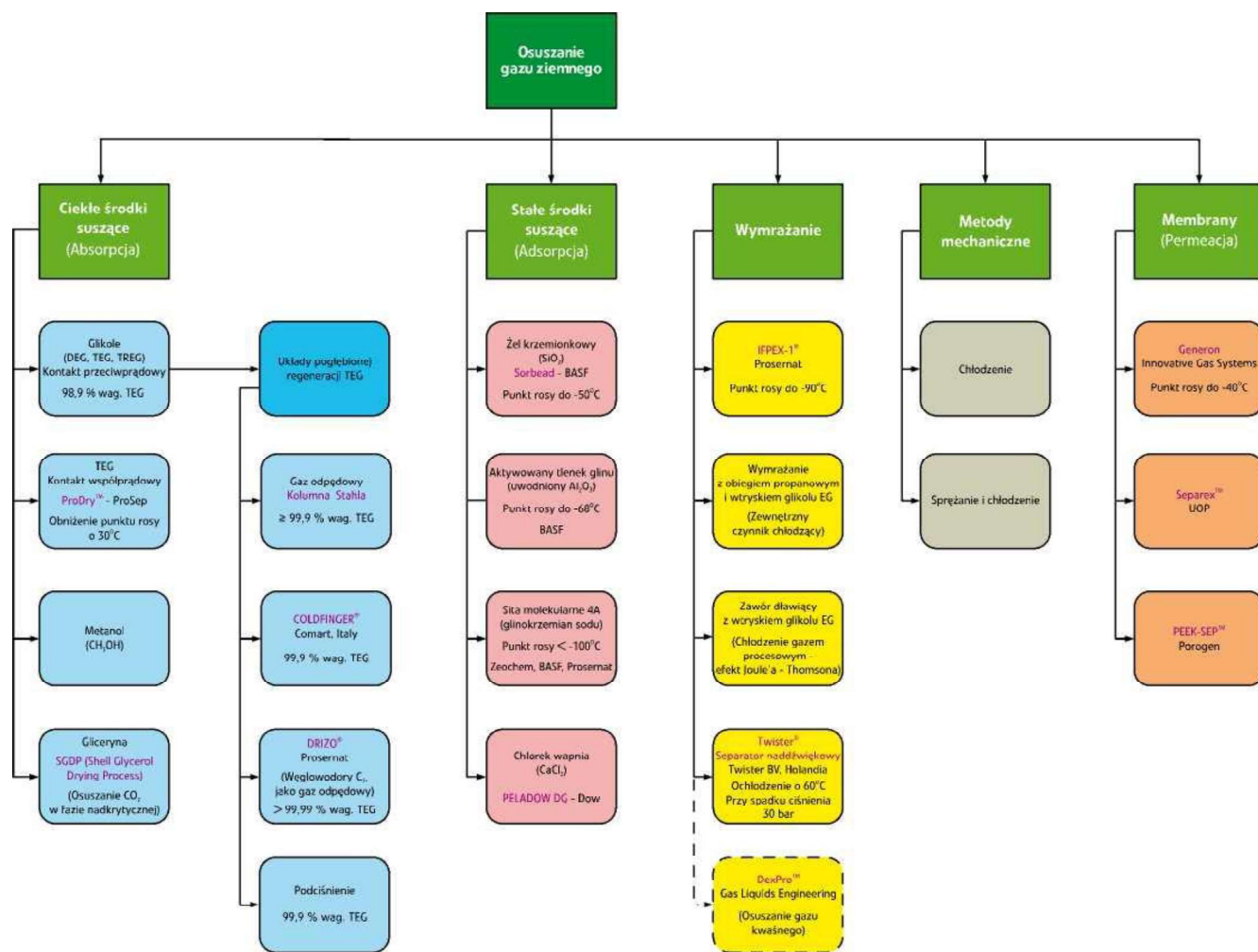
- temperatury - im wyższa temperatura, tym wyższa zawartość wody pod stałym ciśnieniem,
  - ciśnienia - im wyższe ciśnienie, tym niższa zawartość wody w stałej temperaturze,
  - składu gazu - słaby wpływ gazu słodkiego, mocny - zasiarczonego.
- przykładowo gaz o ciężarze właściwym 0,64 (o ciężarze cząsteczkowym =18,7 g/mol) pod ciśnieniem 55 bar i w temperaturze 10°C zawiera maksymalnie 234 mg/Nm<sup>3</sup> wody, podczas gdy w temperaturze 40°C zawiera 5,6 razy więcej wody, czyli 1317 mg/Nm<sup>3</sup>.

Istnieje szereg sposobów wstępnego oszacowania zawartości wody w gazie ziemnym przed jego wydobyciem, a najczęściej stosowaną jest korzystanie z wykresu McKetty, którego dokładność wynosi ±10%.



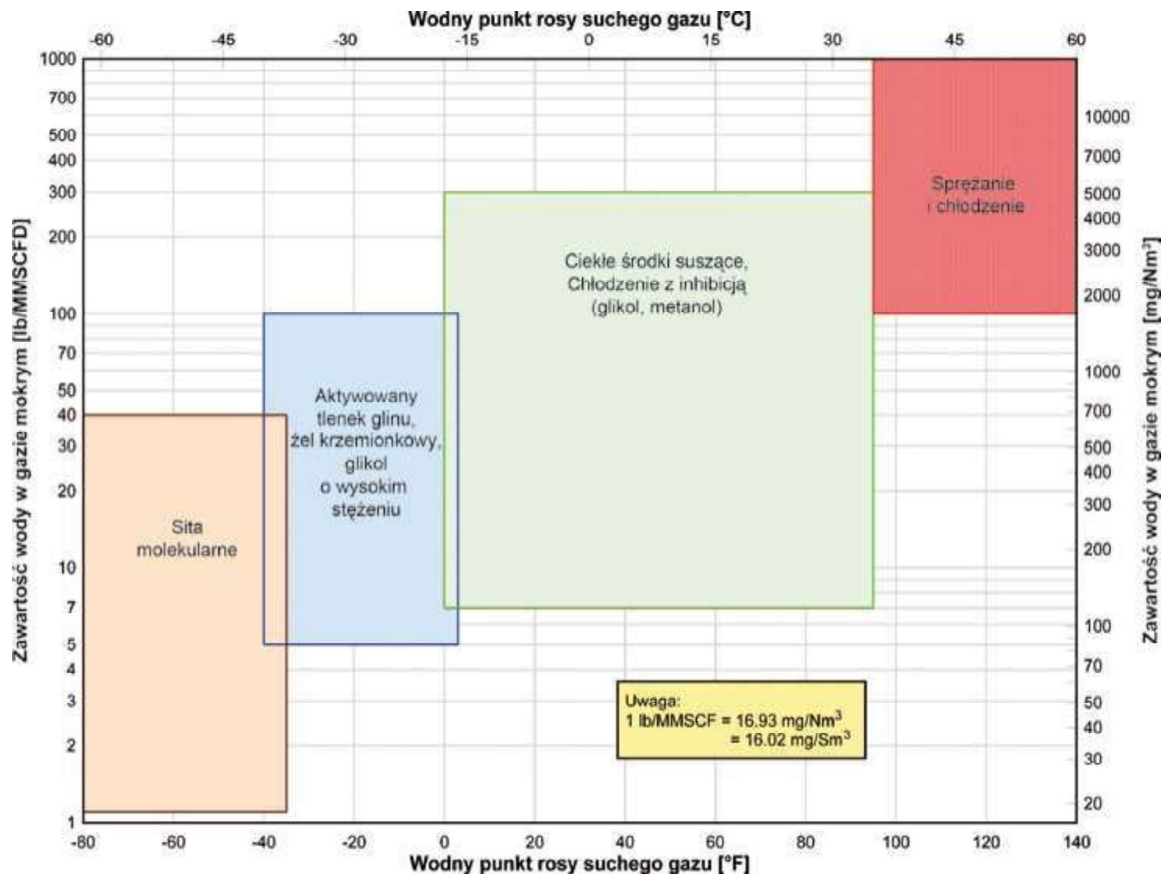
Rys. Nr 1 - wykres McKetty

Temperaturę punktu rosy wyznacza się zwykle metodą kondensacji par na chłodzonej powierzchni lustra - lusterko schładza się, dopóki nie pojawi się na nim mgła. Wilgotnościomierz taki nazywa się w Ameryce północnej Bureau of Mines Dew-point tester (ASTM D-1142). W temperaturach poniżej 0°C punkt rosy wodnej nie istnieje, dlatego nazwę zmienia się na punkt szronu. Gaz ziemny można osuszać na różne sposoby: poprzez absorpcję przy pomocy ciekłych i stałych środków absorpcyjnych. W tym pierwszym sposobie wykorzystuje się m.in. metanol, glicerynę oraz glikole DEG (glikol dwuetylenowy), TEG (glikol trójetylenowy) i TREG (glikol czteroetylenowy), a w tej drugiej Chlorek wapnia ( $CaCl_2$ ), sita molekularne 4A z wykorzystaniem glinokrzemianu sodu, aktywowany tlenek glinu (uwodniony  $Al_2O_3$ ) oraz Żel krzemionkowy ( $SiO_2$ ). Pozostałe sposoby rzadziej stosowane to metody mechaniczne polegające na chłodzeniu, czystym wymrażaniu oraz z dodatkiem absorbentów i przepływ przez membrany.



Rys. Nr 2 - Schemat blokowy sposobów oczyszczania i osuszania gazu ziemnego

Do wstępnego doboru technologii osuszania gazu ziemnego w zależności od zawartości wody w mokrym gazie i pożądanej zawartości wody w suchym gazie można wykorzystać wykres szybkiego doboru metody przedstawiony na Rys Nr 3.



Rys. Nr 3 – Wykres szybkiego doboru metody osuszania gazu ziemnego

Wybór odpowiedniej metody zależy od stopnia wymaganego osuszenia gazu, zgodności (kompatybilności) z innymi zależnymi procesami i ekonomiki procesu do którego ma być on zastosowany. Jeśli celem osuszania jest uniknięcie powstawania ciekłej wody lub tworzenia się hydratów, lub osiągnięcie parametrów gazu handlowego przesyłanego rurociągiem, można wykorzystać dowolny proces opisany powyżej. Instalacje wykorzystujące ciepłe środki suszące mają tę zaletę, że są niewielkich rozmiarów, elastyczne, pracują w sposób ciągły, a także są zwykle tańsze i ich koszty ruchowe są niższe.



Instalacje wykorzystujące stałe środki suszące są bardziej efektywne od osuszaczy ciekłych - glikolowych, ponieważ mogą osuszyć gaz do zawartości wody poniżej 0,1 ppmv (0,05 lb/MM- ScFD). Aby zmniejszyć wielkość tych instalacji, stosuje się często najpierw wstępne osuszanie glikolowe do około 60 ppmv wody. Instalacje ze stałymi środkami suszącymi wymagają wyższych nakładów kapitałowych i kosztów operacyjnych niż instalacje z ciekłymi środkami suszącymi.

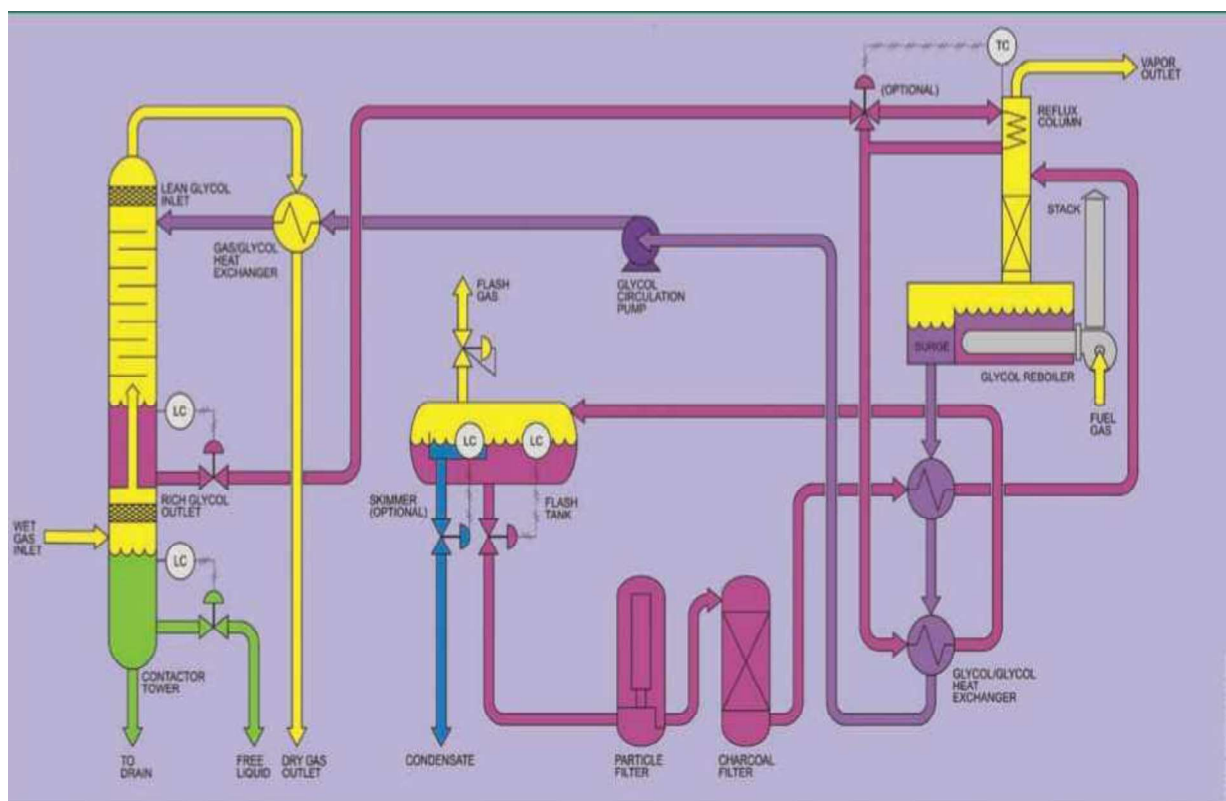
## 1.2 Wybór metody oczyszczania i osuszania gazu ziemnego

Najczęściej stosowanymi rozwiązaniami oczyszczania gazu są instalacje glikolowe, w których rozwiązania konstrukcyjne w ostatnich latach ulegają ciągłemu doskonaleniu zarówno w części absorpcyjnej, jak i regeneracyjnej. Najprostszy układ technologiczny takiej instalacji pokazuje schemat widoczny na Rys. Nr 4.

Glikol wtryskiwany jest do sekcji górnej kolumny kontaktowej (*Contacting Tower*), z której spływa grawitacyjnie w dół, a zawodniony gaz przeznaczony do osuszenia kierowany jest do dolnej sekcji kolumny, skąd przepływa w przeciwnym kierunku do góry. Dzięki swoim właściwościom glikol pochłania z gazu wodę. Suchy gaz opuszcza instalację na szczycie kolumny, a bogaty w wodę glikol gromadzony jest w dolnej części kolumny na płycie przelewowej, skąd automatycznie jest odpuszczany. Glikol bogaty w wodę kierowany jest z kolumny na wężownicę umieszczoną w górnej części regeneratora (*Reflux Column*) a po regeneracji spływa do odgazowywacza (*Flash Tank*). W odgazowywaczu z glikolu separowany jest gaz.

Tak odgazowany glikol przepływa przez filtr cząsteczkowy (*Particulate Filter*) oraz filtr węglowy (*Charcoal Filter*) i wtryskiwany jest do reboilera (*Glycol Reboiler*). W reboilerze glikol jest podgrzewany, tak aby odparowała z niego woda. Następnie ubogi w wodę glikol spływa z regeneratora do zbiornika magazynowego (*Surge Tank*) i za pomocą pomp wtryskowych kierowany jest ponownie do górnej sekcji kolumny kontaktowej. Taki typ instalacji charakteryzuje się pracą w systemie zamkniętym, a więc przy prawidłowo prowadzonym procesie straty glikolu są praktycznie znikome.

Największą zaletą takiej typowej instalacji glikolowego osuszania gazu jest prosta konstrukcja oraz spełnienie wymagań stawianych przez normę PN-C-04752.



Rys. Nr 4 - Schemat typowej instalacji glikolowej osuszania gazu ziemnego

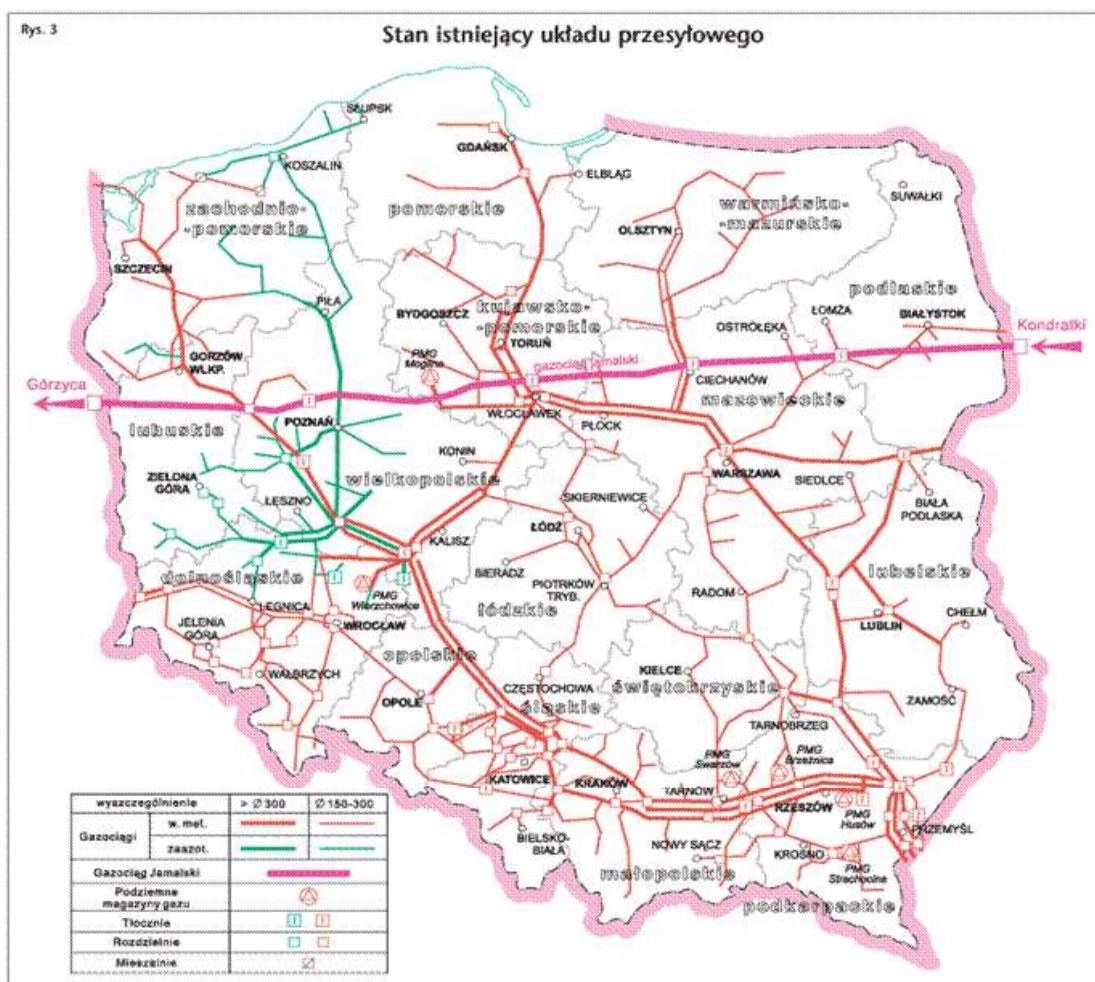
To przekłada się z kolei na niskie koszty budowy instalacji oraz na łatwą obsługę, a więc również i niskie koszty eksploatacji. Glikol pracuje w układzie zamkniętym, co ogranicza jego straty do minimum. Jest to rozwiązanie sprawdzone i od wielu lat wykorzystywane na całym świecie. Jedyną wadą tego procesu jest gwarancja pracy układu w warunkach założonych. W przypadku sporych wahań parametrów osuszanego gazu uzyskanie wymaganego punktu rosy wody może stać się niemożliwe. Obecnie najczęściej stosowaną metodą na świecie do budowy nowych instalacji glikolowych, jest technologia wykorzystująca dodatkowo gaz strippingowy. Charakteryzuje się ona drobną modyfikacją części konstrukcyjnej, która przekłada się na niewielki wzrost kosztów budowy, dając prawie trzykrotnie niższy punkt rosy wody w gazie za relatywnie niskie nakłady finansowe. Wadą jest konieczność skierowania gazu użytego do strippingu do spalania na świeczce lub wykorzystania go do zasilania regeneratora.

Można również poddać go oczyszczeniu i powtórnie wprowadzić do układu gazowego, co wiąże się z kolejnymi nakładami finansowymi.

Przy teoretycznie bardzo długim czasie kontaktu (w odpowiednio niskiej temperaturze) pomiędzy fazą ciekłą (glikolem), a fazą gazową (gazem nasyconym parą wodną) uzyskuje się dobre wyniki osuszania. Wyniki takie trudne są jednak do osiągnięcia przy mocno zmiennym charakterze dynamiki procesu, czyli niemożliwością uzyskania pełnej równowagi termodynamicznej pomiędzy tymi fazami. Instalacja osuszania gazu w firmie Gazprom działa bezsprzecznie rewelacyjnie, ale główną zasługą tego jest ogromna stabilizacja systemu, a więc jest pełna możliwość dobrania takiego czasu kontaktu z glikolami aby był on najbardziej efektywny. Nawet obowiązujące umowy handlowe wymuszają taką stabilizację dostaw, bowiem przy mniejszej podaży nadwyżki gazu tranzytowego zatłaczane są w całej Europie do podziemnych magazynów. Dużo gorzej cykle osuszania gazu działają w lokalnych systemach dystrybucji gazu opartych głównie na lokalnych odwiertach z kopalniami gazowymi. Te systemy cechuje w okresach przejściowych wiosny i jesieni duże wahanie przepływów przy nagłych zmianach pogody np. w nocy i w dzień. Wtedy te procesy osuszania stanowią duży problem ze względu na brak możliwości ustabilizowania czasu kontaktu tych dwóch faz. Sytuacja taka występuje we wszystkich lokalnych systemach sieci dystrybucyjnych w Polsce dostarczających do odbiorców gaz ziemny podgrupy Lw i Ls, według dawnego nazewnictwa GZ – 41 i GZ – 35. Na Rys Nr 5 przedstawiono polski system przesyłowy gazu ziemnego, gdzie kolorem zielonym oznaczono lokalne układy oparte na naziemnym podgrupy Lw i Ls.

Dla zobrazowania różnic w skuteczności procesu osuszania może posłużyć fakt, że gdy rozpocząłem pobieranie próbek gazu ziemnego w kwietniu 2019 r. pomierzony punkt rosy dla gazu podgrupy E wynosił  $-50,0$  [°C], a dla gazu Ls w analogicznym okresie  $(-30) \div (-35)$  [°C]. Z racji tego odstępiałem od pobierania i analizowania próbek gazu wysokometanowego. Widać więc, że osuszanie gazu ziemnego wysokociśnieniowego jest generalnie technologicznie opanowane zarówno przez projektantów tych instalacji, jak i służby eksploatacyjne. Jak wspomniano wcześniej zawartość wody w gazie jest funkcją temperatury i ciśnienia i w tym momencie pojawiają się często problemy, które narastają wraz ze zmniejszaniem się ciśnienia gazu podczas

długotrwałej eksploatacji danego złoża, bowiem istniejące instalacje glikolowe pracując na stałych założonych parametrach nie mogą podać wymaganiom określonym przez normy dopuszczalnego zawilgocenia gazu. Aby zapewnić uzyskiwanie wartości punktów rosy wody w gazie zgodnych z wymogami przepisów, należy ustalić stopień intensywności działań związanych z potrzebą zmian parametrów instalacji osuszania. Istotne jest określenie wzrostu ilości wody w gazie, w związku z obniżeniem jego ciśnienia. Istnieje zatem konieczność dążenia do uzyskiwania jak najniższych temperatur kontaktu glikol-gaz oraz jak najwyższych koncentracji glikolu, stosowanego w procesie absorpcji gazu ziemnego o niskim ciśnieniu. I to jest głównym problemem w instalacjach kopalnianych, który powoduje liczne przypadki niedotrzymywania parametrów transportowych gazu, odpowiadającym aktualnie obowiązującym normom - w zakresie punktu rosy.



Rys Nr 5 - Polski system przesyłowy gazu ziemnego