

# Przejazdy w godzinach nocnych lub dziennych

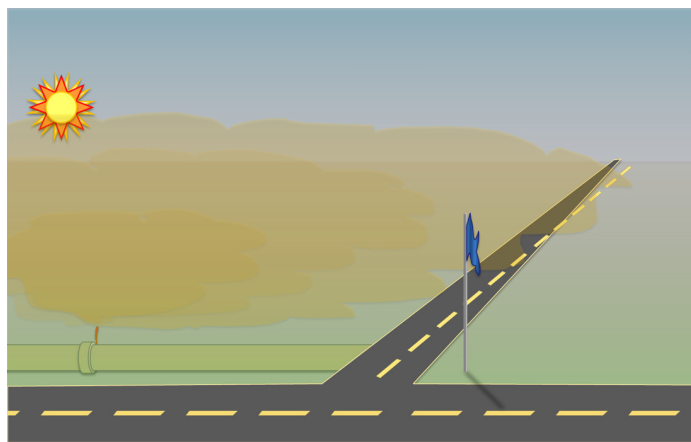
Optymalizacja wydajności i dokładności gromadzenia danych

# PICARRO

## Wstęp

Wydajność operacyjna, jakość i spójność danych to kluczowe filary wdrożenia programu Zaawansowanego Mobilnego Wykrywania Nieszczelności (AMLD) zapewniającego kompleksową kontrolę infrastruktury dystrybucji gazu. W celu optymalizacji powyższych aspektów, Picarro zaleca gromadzenie danych w godzinach nocnych. W niniejszej białej księdze wskazano najważniejsze korzyści płynące z realizacji przejazdów w ciągu nocy, w oparciu o analizę danych zgromadzonych w tym samym obszarze geograficznym w godzinach dziennych i nocnych. Wyniki wskazują, że:

1. Przejazd w godzinach nocnych umożliwia kontrolę większych odcinków rurociągu przy mniejszym nakładzie trasy.
2. Kwantyfikacja natężeń przepływów jest dokładniejsza w godzinach nocnych, co przekłada się na lepszą kwantyfikację w skali całej sieci.
3. Kontrole w godzinach nocnych generują mniejszą ogólną liczbę detekcji na kilometr (lub milę) i pozwalają na skuteczniejszą identyfikację poważnych wycieków, a tym samym wydajniejszą redukcję emisji i zagrożeń.
4. Przejazdy w godzinach nocnych zmniejszają liczbę fałszywych wyników dodatnich (tj. detekcji przy braku faktycznego wycieku), co zwiększa wydajność operacyjną działań.



## Kontekst

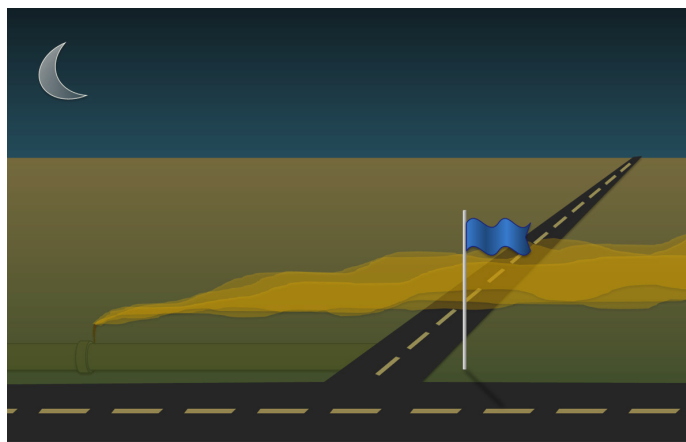
Skuteczność wykrywania smug metanu przez system Picarro jest zależna od warunków pogodowych. W związku z powyższym, stosowany protokół opiera się na definicjach klas stabilności Pasquilla (1), które charakteryzują warunki meteorologiczne takie jak natężenie wiatru czy nasłonecznienie dzieląc je na określone klasy.

Warunki w godzinach dziennych:

1. **Klasa A** występuje w warunkach silnego nasłonecznienia i słabych wiatrów powodujących znaczne turbulencje termiczne i mieszania się warstw w atmosferze; idealnych dla dyspersji wertykalnej, lecz nieoptymalnych dla wykrywania metanu i kwantyfikacji przepływów w rozszczelnieniach.
2. **Klasa B** wiąże się z warunkami silnego do umiarkowanego nasłonecznienia i słabych wiatrów, podobnymi do obserwowanych w Klasie A, lecz mniej intensywnymi.
3. **Klasa C** występuje w warunkach zachmurzenia lub słabego nasłonecznienia, przy mniejszym współczynniku mieszania się pionowego niż w przypadku klas A i B.

Warunki w godzinach nocnych:

1. **Klasa D** występuje w warunkach silnego zachmurzenia i przy umiarkowanej sile wiatru. Są



Rys. 1. Schemat smugi metanu w warunkach dziennych i nocnych. W nocy występują bardziej stabilne warunki meteorologiczne, dzięki czemu smuga nie ulega rozproszeniu, jak ma to miejsce w ciągu dnia.

to neutralne warunki charakteryzujące się niską turbulencją termiczną i słabym mieszaniem się warstw. Klasę tę można zaobserwować w ciągu dnia przy zachmurzeniu obejmującym przynajmniej 95% nieba.

2. **Klasa E** występuje w godzinach wieczornych przy czystym niebie i słabym wietrze, tworząc umiarkowanie neutralne warunki. Występuje niska turbulencja termiczna i słabe mieszanie się warstw.
3. **Klasa F** występuje przy czystym niebie i słabym wietrze w godzinach nocnych i wczesnych godzinach porannych, tworząc stabilne warunki. Charakteryzuje się minimalną turbulencją termiczną i bardzo słabym mieszaniem się warstw.

Aby zmaksymalizować prawdopodobieństwo wykrycia smug metanu i poprawnej kwantyfikacji natężenia wycieków, Picarro stara się gromadzić dane w najbardziej stabilnych warunkach pogodowych, które zazwyczaj występują w klasach stabilności D, E i F. Dodatkowo, w godzinach nocnych obserwowana jest znacznie niższa aktywność w obszarach takich jak ruch uliczny czy pieszy, co również poprawia bezpieczeństwo i wydajność prac prowadzonych w terenie. W poniższych paragrafach omawiamy wpływ tego rodzaju warunków na jakość danych i ogólną opłacalność rozwiązania Picarro.

## Metodologia i wyniki

Aby uzyskać punkt odniesienia na potrzeby porównania, przeanalizowaliśmy dane gromadzone na tym samym obszarze geograficznym i w tym samym roku, zarówno w dzień jak i w nocy. Dane nocne definiowane są jako uzyskane z pomiarów w warunkach klas stabilności D, E i F, zaś dane dzienne w warunkach klas A, B i C.

Nasze analizy objęły dane pochodzące z 12 zakresów geograficznych, reprezentując zróżnicowanych odbiorców na terenie półkuli północnej, w obszarach zarówno

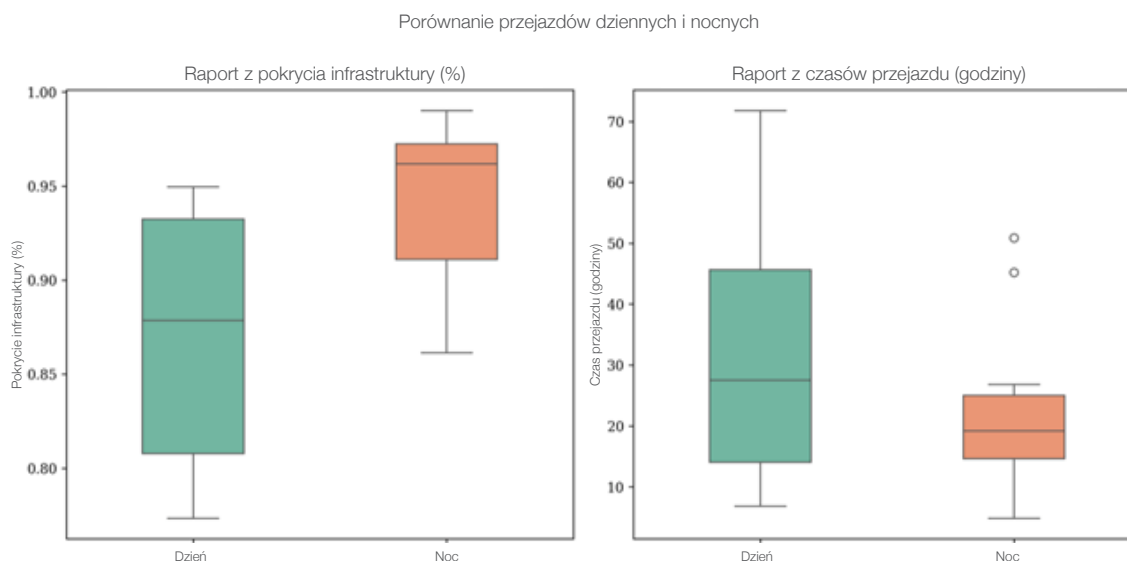
Przejazdy wykonywane w godzinach nocnych umożliwiają pokrywanie większych obszarów w krótszym czasie, wskazując przy tym na mniejsze wahania zakresów i czasów kontroli w porównaniu z przejazdami dziennymi.



miejskich jak i podmiejskich. Dane gromadzone były na przestrzeni roku 2023, w różnych warunkach pogodowych, z uwzględnieniem znacznych wahań temperatury i scenariuszy klimatycznych odpowiadających różnym porom roku. Pomiarów dokonywano w ramach sieci o łącznej długości około 800 km (500 mil), w której odnotowano ok. 1 900 wskazań obszarów potencjalnych nieszczelności (LISA). Długości rurociągów zbadanych w godzinach nocnych i dziennych były porównywalne; 664 km (412 mil) linii skontrolowano w ciągu nocy, zaś 718 km (446 mil) w ciągu dnia, co odpowiada różnicy na poziomie jedynie 7,8%. Zarówno przejazdy dzienne jak i nocne realizowane były zgodnie ze standardowo przyjętym przez Picarro protokołem sześciu przejazdów.

Uzyskane wyniki wskazują na kilka istotnych korzyści przejazdów realizowanych w godzinach nocnych w porównaniu z przejazdami dziennymi.

Poniżej prezentujemy obszary sieci skontrolowane w toku tych przejazdów oraz informacje na temat czasu potrzebnego do sprawdzenia tych obszarów. Omawiamy też różnice w zakresie Pola Widzenia (FOV) i wskazujemy na korzyści wynikające z możliwości kontrolowania większych obszarów w czasie przejazdów nocnych. Następnie porównujemy rozmiary nieszczelności kwantyfikowanych w toku przejazdów w godzinach nocnych i dziennych. Na koniec, omawiamy liczbę wskazań LISA wygenerowanych w ciągu dnia i w nocy oraz wyniki odpowiadających im kontroli.

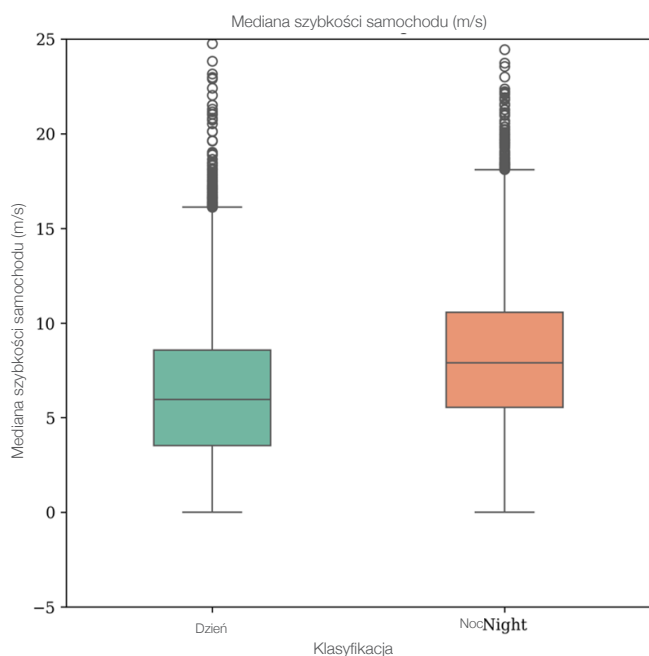


Rys. 2. Pokrycie infrastruktury sieci i czas trwania przejazdu w czasie gromadzenia danych w ciągu dnia i w nocy. Zaobserwowano wyższy poziom pokrycia (lewy panel) przy krótszym czasie jazdy (prawy panel).

Przejazdy w godzinach nocnych umożliwiają nie tylko rozszerzenie pokrywanych obszarów lecz również poprawę ogólnej wydajności operacyjnej, optymalizację wykorzystania zasobów i lepsze zarządzanie kosztami.

## Pokrycie sieci i czas przejazdu

Nasza analiza wskazuje, że przejazdy wykonywane w godzinach nocnych umożliwiają pokrycie większych obszarów w krótszym czasie, wskazując przy tym na mniejsze wahania zakresów i czasów kontroli w porównaniu z przejazdami dziennymi. Odnotowaną poprawę wydajności ilustruje zbiorczy wykres skrzynkowy przedstawiony na Rys. 2. Mediany na wykresie po lewej wskazują na 10% zwiększenie obszaru sieci badanego w ciągu nocy, zaś mediany na prawym wykresie informują o 36% skróceniu czasu przejazdów w godzinach nocnych. Ponadto, węższe przedziały międzykwartyłowe sugerują mniejszą zmienność i



Rys. 3. Mediana szybkości samochodu w czasie przejazdów w godzinach dziennych i nocnych. Jak widać na wykresie, mediana szybkości dla przejazdów w ciągu dnia jest niższa, prawdopodobnie ze względu na większe natężenie ruchu pieszego i drogowego.

wyższą jednorodność wyników przejazdów w godzinach nocnych. Tym samym, przejazdy w godzinach nocnych są nie tylko bardziej wydajne pod względem pokrycia obszarów rurociągów, lecz również łatwiejsze do zaplanowania dzięki lepszej przewidywalności ich czasu trwania.

Niższa mediana czasu przejazdów wiąże się prawdopodobnie z mniejszym natężeniem ruchu ulicznego, na co wskazuje Rys. 3 porównujący średnie

szybkości pojazdów osiągane w godzinach dziennych i nocnych. Uśredniona mediana szybkości pojazdu wynosi 5,95 m/s dla przejazdów w ciągu dnia i 7,90 m/s dla przejazdów nocnych, wskazując na ok. 25% obniżenie tempa jazdy w ciągu dnia.

Wyniki te sugerują, że przejazdy w godzinach nocnych umożliwiają nie tylko zwiększenie pokrywanych obszarów lecz również poprawę ogólnej wydajności operacyjnej, optymalizację wykorzystania zasobów i lepsze zarządzanie kosztami.

## Pole widzenia

Porównaliśmy pola widzenia (FOV) rejestrowane w godzinach nocnych i dziennych, wskazujące obszar skutecznego wykrywania nieszczelności przez poruszający się pojazd. W czasie przejazdów nocnych, obszar skanowany przez system Picarro był niezmiernie większy niż ten uzyskiwany w ciągu dnia. Jak wynika z Tabeli 1, mediana obszarów FOV w czasie przejazdów nocnych jest ok. 56% większa niż ta rejestrowana dla przejazdów dziennych. Tym samym, jedną z korzyści wynikających z przejazdów w godzinach nocnych jest możliwość kontrolowania większych obszarów, co z kolei zwiększa potencjał redukcji emisji i poprawy bezpieczeństwa sieci.

Parametr statystyczny	Warunek	Obszar FOV (km <sup>2</sup> )
Mediana	Dzień	2,0
Mediana	Noc	3,12
Średnia	Dzień	2,0
Średnia	Noc	3,7

Tabela 1. Porównanie obszarów FOV w dzień i w nocy.

Choć parametry obszaru FOV i pokrycia zasobów są ze sobą ściśle powiązane, oba powinny być brane pod uwagę. Mimo, że jazda w godzinach nocnych wiąże się z jedynie umiarkowaną poprawą pokrycia rurociągu (ok. 10%), pozwala również na znaczne zwiększenie FOV (>50%, jak wskazano na Rys. 3). Poszerzenie FOV w godzinach nocnych ma szczególne znaczenie dla pokrycia zasobów oddalonych od dróg, przykładowo linii serwisowych i stacji pomiarowych, co umożliwia znaczne poszerzenie łącznego zakresu detekcji (rurociągi główne, serwisowe i pomiarowe) w czasie przejazdów nocnych, w porównaniu z dziennymi. Na Rys. 4 przedstawiono nałożone na siebie obszary FOV dla dwóch zestawów danych zgromadzonych na tym samym obszarze geograficznym (przejazdy w godzinach dziennych oznaczono kolorem jasnozielonym, a w godzinach nocnych kolorem jasnoczerwonym), wykazujące wyraźne różnice pomiędzy przejazdami dziennymi i nocnymi.



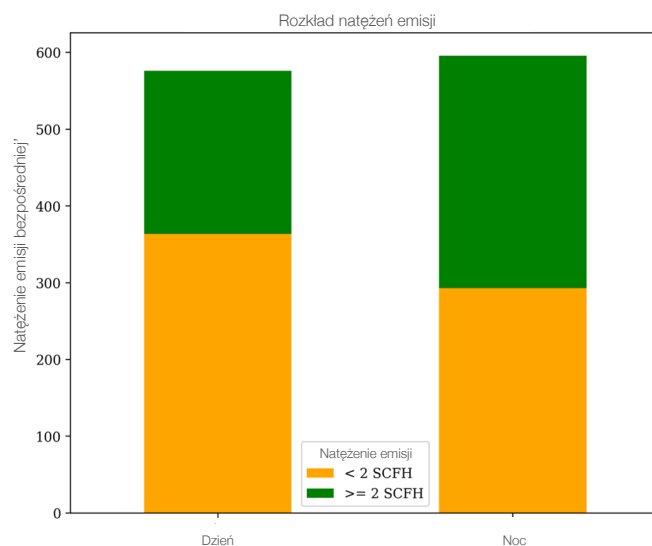
Rys. 4. Nałożone na siebie zakresy FOV, dzienne (jasnozielone) i nocne (jasno czerwone), dla dwóch serii przejazdów w tym samym obszarze geograficznym.

## Wykrywanie nieszczelności i kwantyfikacja emisji

W następnej kolejności należy rozważyć wykrywanie nieszczelności i pomiary natężeń przepływów. Z łącznej liczby 1 911 miejsc potencjalnych wycieków (LISA) ujętych w zestawieniu danych, 880 wykryto w godzinach nocnych, zaś 1 031 w godzinach dziennych. Różnicę 151 przypadków przypisać można wpływowi warunków atmosferycznych. W ciągu dnia, ciepło słoneczne powoduje zwiększenie turbulencji termicznej i pionowego mieszania się warstw atmosfery. Dyspersja ta może skutkować rozniesieniem emisji na większym obszarze, zwiększając prawdopodobieństwo detekcji w czasie przejazdu pojazdu w otoczeniu. Z kolei w godzinach nocnych, stabilniejsze warunki atmosferyczne i ograniczone mieszanie się pionowe sprawiają, że gaz koncentruje się bliżej źródła wycieku, dzięki czemu zmniejsza się prawdopodobieństwo, że generowane LISA nie doprowadzą do identyfikacji faktycznego wycieku (zob. dalszą sekcję dotyczącą wyników kontroli nieszczelności).

Po przeliczeniu na kilometr (milę) sieci, otrzymujemy zagęszczenie na poziomie 1,6 LISA/km (2,5 LISA/milę) w przypadku przejazdów dziennych, i 1,2 LISA/km (2,0 LISA/milę) dla przejazdów nocnych. Jest to kolejny wynik wskazujący na większą precyzję wykrywania potencjalnych emisji w godzinach nocnych dzięki uniknięciu efektów turbulencji występujących zazwyczaj w ciągu dnia. Pomimo niższej liczby wykrytych LISA, suma natężeń przepływów wykrywanych w ciągu nocy była o 4% wyższa, jak widać na Rys. 5.

Ta różnica w natężeniach przepływów może również wynikać z wpływu efektów atmosferycznych. W ciągu dnia, silniejsza konwekcja ma tendencję do unoszenia smug metanu, zmniejszając tym samym stężenie wykrywalne na poziomie linii zderzaka samochodu. Skutkuje to niższym rejestrowanym natężeniem przepływu, nawet w przypadku wykrycia smugi. Około połowy źródeł wykrytych w godzinach nocnych sklasyfikowano jako  $>2$  SCFH, w porównaniu do jedynie jednej trzeciej źródeł w godzinach dziennych. Fakt ten ma kilka istotnych konsekwencji operacyjnych.



Rys. 5. Przełożenie na całkowitą emisję przy wartości progowej 2 SCFH, w czasie przejazdów nocnych i dziennych.

Parametr statystyczny	Warunek	Współczynnik emisji (SCFH)	Maksymalna amplituda (ppm)	Trwałość
Mediana	Dzień	0,24	0,17	0,16
Mediana	Noc	0,26	0,19	0,18
Średnia	Dzień	0,56	0,35	0,26
Średnia	Noc	0,69	0,54	0,31

Tabela 2. Parametry mierzone w ciągu dnia i w nocy

Dane zgromadzone w ciągu dnia wymagają wysłania zespołów do zbadania w terenie większej liczby LISA o niewielkich natężeniach przepływów oraz wykonywania większej ilości napraw, w porównaniu z danymi nocnymi, w celu osiągnięcia takiego samego ograniczenia emisji. Ponadto, system Picarro zidentyfikował niemal dwukrotnie więcej poważnych wycieków ( $\geq 10$  SCFH) podczas przejazdów w nocy - siedem w godzinach nocnych w porównaniu do czterech w ciągu dnia.

W Tabeli 2 przedstawiono kilka dodatkowych parametrów, które mogą pomóc w ocenie jakości detekcji uzyskiwanej w ciągu dnia i w nocy. W szczególności, średnie wartości i mediany natężeń przepływów rejestrowanych w ciągu nocy, jak również maksymalnej amplitudy (tj. stężenie powyżej tła otoczenia) były regularnie wyższe niż te w ciągu dnia. Większa różnica pomiędzy wartością średnią i medianą natężenia przepływów wskazuje, że większe wycieki są łatwiejsze do wykrycia w ciągu nocy ponieważ choć mogą one być również wykrywane w ciągu dnia, ich powaga jest często zaniżana. Innym ważnym parametrem przedstawionym w Tabeli 2 jest Stałość określająca jak często dana smuga była wykrywana w tym samym miejscu w czasie kolejnych przejazdów. Przykładowo, w przypadku sześciokrotnego wykrycia smugi w czasie sześciu przejazdów, stałość tej smugi wynosi jeden. W przypadku wykrycia jej dwa razy w ciągu sześciu przejazdów, stałość smugi to jedna trzecia. Wyższa stałość wskazuje na występowanie bardziej stabilnych smug, co pomaga systemowi w ich poprawnej identyfikacji i kwantyfikacji, zwiększając tym samym dokładność i wiarygodność pomiarów. Wyższa o 20% średnia stałość smug wykrywanych w ciągu nocy potwierdza wniosek, iż przejazdy w godzinach nocnych umożliwiają dokładniejszą i bardziej wiarygodną kwantyfikację.

## Wyniki kontroli nieszczelności

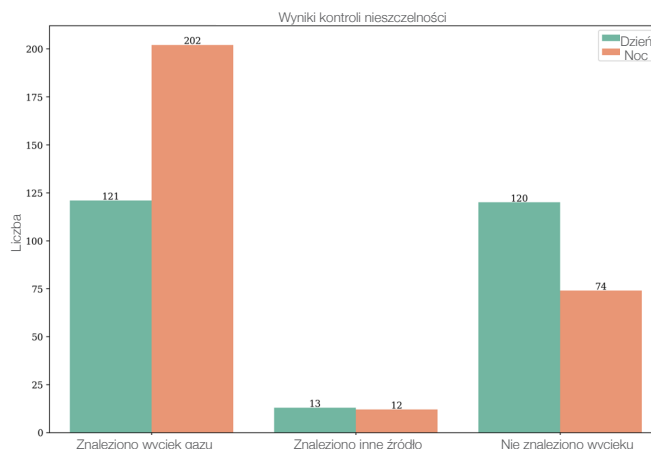
Zbadaliśmy wyniki kontroli nieszczelności przeprowadzonych w związku z każdym wskazanym obszarem LISA. Mimo że, jak wskazano powyżej, przejazdy w ciągu nocy wygenerowały 16% mniej ostrzeżeń LISA (880 do 1 031), z Rys. 5 wynika, że na podstawie LISA zidentyfikowanych w godzinach nocnych zlokalizowano o 67% więcej faktycznych

nieszczelności niż w przypadku tych wygenerowanych w ciągu dnia. Ponadto, liczba przypadków „nieznalezienia wycieku” spadła o 38%. Istotny wzrost liczby znajdowanych nieszczelności, w połączeniu ze spadkiem przypadków „nieznalezienia wycieku”, wskazuje na kolejną korzyść wynikającą z przeprowadzania operacji w godzinach nocnych.

## Wnioski

Firma Picarro przeanalizowała wpływ przejazdów pomiarowych w godzinach nocnych i dziennych na podstawie swojego pokaźnego zbioru danych AMLD. Nasza analiza wskazuje, że przejazdy w ciągu nocy mają znaczący, pozytywny wpływ na dokładność i produktywność pomiarów, wobec czego możemy zarekomendować ten tryb działania.

Dzięki słabszym prądom konwekcyjnym występującym w godzinach nocnych, Picarro jest w stanie wykrywać nieszczelności i kwantyfikować natężenia przepływów z większą dokładnością. Ponadto, gromadzenie danych w ciągu nocy ogranicza konieczny czas jazdy i zwiększa pole widzenia czujników, z korzyścią dla ogólnej produktywności i wydajności operacyjnej. Przeprowadzając kontrole w nocy, użytkownicy mogą wykrywać nieszczelności z większą dokładnością i niezawodnością, przy jednoczesnej redukcji kosztów i maksymalizacji wykorzystania zasobów.



Rys. 6. Wyniki kontroli potencjalnych nieszczelności na podstawie analizowanych raportów. 67% więcej nieszczelności wykryto na podstawie LISA wskazanych w nocy, w porównaniu do tych zarejestrowanych w ciągu dnia, przy 38% niższym współczynniku przypadków „nieznalezienia wycieku”.

## Literatura:

[1] The Estimation of the Dispersion of Windborne Material [Ocena dyspersji materiałów w powietrzu].  
Pasquill, F. 1961, Meteorological Magazín, str. 33-49.