

Transport podciśnieniowy ścieków w budynkach – potencjał do wykorzystania w nowoczesnych instalacjach wewnętrznych

Vacuum sewage transport in buildings – potential use in modern internal installations

Daniel Jakubowski¹*, Jarosław Chudzicki¹

¹ Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska

*Kontakt / Correspondence: jaroslaw.chudzicki@pw.edu.pl

Streszczenie:

W artykule przedstawiono rozwój historyczny systemów kanalizacji sanitarnej podciśnieniowej stosowanych w budynkach. Omówiono zasadę działania instalacji, a także rozwiązania inżynierskie i różnice w stosunku do tradycyjnych rozwiązań odprowadzania ścieków. Zwrócono uwagę na rozbieżności w tekstach norm z całego świata oraz przedstawiono kierunki dalszych badań celem ustandaryzowania technologii.

Słowa kluczowe: kanalizacja podciśnieniowa, zawór opróżniający, pompa próżniowa

Abstract:

This article provides a historical development of vacuum sewerage systems used in buildings. The operating principle of the system is discussed, along with engineering solutions and differences from traditional sewage disposal solutions. Differences in international standards are highlighted, and directions for further research aimed at standardizing the technology are presented.

Keywords: vacuum drainage, discharge valve, vacuum pump

1. Rozwój technologii

Podciśnienie w transporcie płynów znane było już starożytnym Grekom. Heron z Aleksandrii w III wieku przed naszą erą używał zjawiska lewara do transportu wody [13]. Pierwsze koncepcje wykorzystania podciśnienia w transporcie ścieków w sieciach zewnętrznych zostały jednak opracowane dopiero w trakcie rewolucji przemysłowej, natomiast pierwszy działający system został zaprojektowany pod koniec XIX wieku przez holenderskiego inżyniera Charlesa Liernura. W pierwszym praktycznym wykorzystaniu nowego wynalazku, ścieki z poszczególnych domów spływały grawitacyjnie do komór zbiorczych zlokalizowanych pod ulicą. Dopiero stamtąd ścieki były podciśnieniowo transportowane dalej. Na jego patencie powstały sieci podciśnieniowe w wielu holenderskich miastach, a także za granicą: w Pradze i Sankt Petersburgu. Jego najdłużej działający system, w miejscowości Trouville-sur-Mer we Francji, działał aż 95 lat, do 1987 roku [1].

Początków zastosowania podciśnienia w instalacjach wewnętrznych w budynkach należy szukać w 1956 roku, kiedy to szwedzki inżynier Joel Liljendahl opracował pierwszy patent toalet, z których ścieki były odprowadzane za pomocą podciśnienia. Jego pomysł znalazł realizację już 3 lata później, gdy wybudował

on pierwszy na świecie system na jednym z osiedli na północ od Sztokholmu, zużywając na spłukanie 1,5 litra wody oraz 50 litrów powietrza. Wydarzenie to rozpoczęło dynamiczny rozwój tej technologii. W 1968 roku szwedzka firma Electrolux nabyła prawa do tego patentu. Małe instalacje podciśnieniowe złożone z toalety i zbiornika zaczęły znajdować zastosowanie w toaletach zlokalizowanych w środkach transportu – samolotach, statkach, pociągach, co obecnie jest standardowym rozwiązaniem. [3] W tym miejscu warto wspomnieć, że równoległe do wynalazku Liljendahla, rozwijała się również technologia kanalizacji podciśnieniowej do odprowadzania wód opadowych. W postaci np. systemu Pluvia firmy Geberit, jest ona obecnie popularnym rozwiązaniem wybieranym przez projektantów.

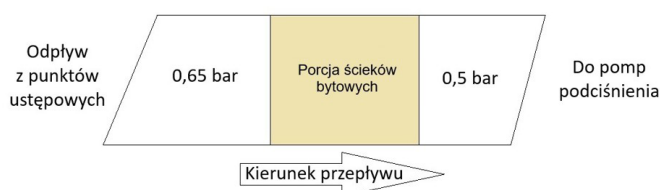
W Polsce jako pierwszy temat zewnętrznej sieci kanalizacji podciśnieniowej podjął w 1992 roku dr inż. Witold Olszewski, gdy opatentował on system kanalizacji próżniowo-lewarowej przystosowany do stosowania w sieciach zewnętrznych. Z powodu wad konstrukcyjnych nie zyskał on popularności [3]. Tematem zewnętrznych sieci podciśnieniowych zajmowała się również dr inż. Katarzyna Miszta-Kruk w swojej rozprawie doktorskiej w roku 2006 [2]. Dokonała tam ona opracowania metodyki ilościowej oceny niezawodności elementów kanalizacji

podciśnieniowej, gdyż do tej pory parametry istniały jedynie w ujęciu jakościowym. Od tamtej pory technika wykorzystania podciśnienia w transporcie ścieków w systemach kanalizacyjnych zlokalizowanych w Polsce ogranicza się w dużej mierze do instalacji kanalizacji deszczowych oraz małych wewnętrznych instalacji kanalizacji sanitarnych w środkach transportu (statki, samoloty, kolej).

W związku z wprowadzeniem przez Komisję Europejską dyrektywy „Fit for 55” [9], coraz częściej stosuje się nowatorskie rozwiązania projektowe w celu spełnienia wizji budynku zero-emisyjnego. Jednym z nich jest coraz popularniejsze, zwłaszcza w krajach skandynawskich, projektowanie wewnętrznych instalacji kanalizacyjnych w systemie podciśnieniowym. W momencie przygotowywania niniejszej publikacji w Polsce działają już dwie pierwsze tego typu duże instalacje wewnętrzne zlokalizowane w budynkach wysokościowych, odprowadzające ścieki z kilkuset toalet [14].

2. Zasada działania

Zasada działania instalacji kanalizacji podciśnieniowej opiera się na wykorzystaniu różnicy ciśnienia do przemieszczania ścieków powstających w toaletach i pisuarach. W warunkach standardowych, cała armatura przy płuczkach ustępowych jest zamknięta, zapewniając szczelność instalacji w części ssawnej. Podciśnienie w tej części jest wytwarzane w jednym punkcie instalacji, przez pompy podciśnienia. Ich zadaniem jest utrzymać w przewodach ciśnienie absolutne w zakresie między 0,5 bar a 0,65 bar. Uzyskana różnica ciśnień w tej wysokości jest wystarczająca do transportu ścieków z prędkością umożliwiającą samooczyszczanie instalacji [6]. W momencie spłukania toalety, zawór odprowadzający dba o dostarczenie do rury odpływowej odpowiednich proporcji wody i powietrza w wysokości 0,7 litra wody oraz 60 litrów powietrza atmosferycznego na jedno użycie. Powstała w ten sposób trójfazowa mieszanina (powietrze, woda, oraz ciała stałe) tworzy porcję ścieków bytowych, która jest transportowana przewodami w wyniku różnicy ciśnienia roboczego (rys. 1).



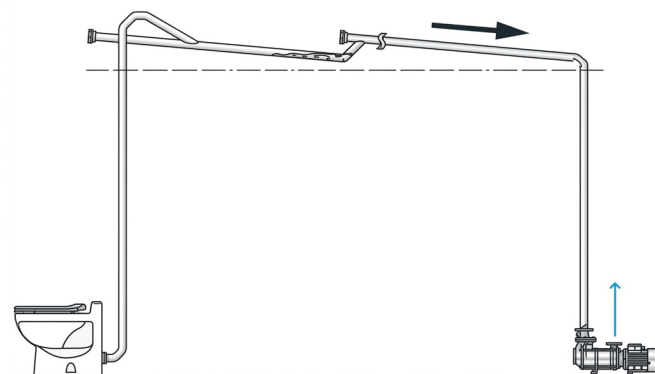
Rys 1. Sposób transportu podciśnieniowego ścieków [14]

Fig 1. Method of vacuum transport of sewage [14]

Wraz ze wzrostem odległości, którą ścieki przebywają w trakcie spłukania, porcja ścieków spłaszcza się pod wpływem siły grawitacji, pojawia się nieszczelność w przekroju przewodu, co w efekcie wyrównuje ciśnienie przed i za nim. Odległość ta wynosi zaledwie kilka metrów, jednakże dzięki ułożeniu spadku przewodów zgodnie z kierunkiem transportu ścieków oraz ponownego podniesienia rzędnej trasy instalacji, wytwarza się samoczynnie zasyfonowanie przewodu, które ponownie tworzy porcję ścieków, umożliwiając jej dalszy transport w kierunku

zestawu pompowego przy następnym użyciu spłuczki (rys. 2).

Na końcu instalacji zlokalizowana jest osiowo wbudowana pompa, która wytwarza podciśnienie na króćcu ssawnym, rozdrabnia fekalia i tłoczy je do sieci miejskiej bez zbiorników pośrednich.



Rys 2. Sposób tworzenia się porcji ścieków bytowych [5]

Fig 2. The method of creating a portion of domestic sewage [5]

3. Różnice w dokumentach normalizacyjnych

W związku z unikalną technologią oraz jej dotychczasowym wykorzystaniem głównie w środkach transportu, istniejące normy i wymagania techniczne znacznie różnią się od siebie, a ich zawartość nie odpowiada aktualnemu poziomowi wiedzy związanej z postępowaniem technologicznym w tej dziedzinie.

Obowiązujące w Polsce Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 z późniejszymi zmianami, w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [11], nie uwzględnia kanalizacji podciśnieniowej jako sposobu odprowadzania ścieków, skupiając się jedynie na rozwiązaniu grawitacyjnym. Nie oznacza to jednak, że instalacje podciśnieniowe znajdują się w próżni prawnej, nie będąc uregulowane żadnymi przepisami. Mimo iż w treści rozporządzenia nie znajduje się ani jedno nawiązanie kanalizacji podciśnieniowej, w wykazie norm można odnaleźć powołanie na normę PN-EN 12109:2003 „Wewnętrzne systemy kanalizacji podciśnieniowej”, co sprawia, że jest ona obowiązującym na terenie Polski aktem prawnym.

Norma PN-EN 12109 [10] jest więc podstawowym dokumentem normatywnym opisującym zasady projektowania, montażu i eksploatacji systemów kanalizacji podciśnieniowej wewnątrz budynków, który obowiązuje w Polsce. Pomimo upływu czasu (pierwsze wydanie tej normy pochodzi z kwietnia 1999 roku), w dokumencie tym nie tylko uporządkowano rozwiązania inżynierskie stosowane w instalacjach kanalizacji podciśnieniowej, lecz zwrócono także uwagę na niezawodność działania instalacji (na przykład poprzez wprowadzenie wytycznych na temat obliczania wskaźników gotowości do działania systemu oraz szacowania jego niezawodności). Wartym podkreślenia jest fakt, iż już 25 lat temu autorzy normy zwrócili uwagę na konieczność projektowania nowych budynków z zachowaniem zasad ekonomii energetycznej oraz wskazywali kierunki optymalizacji, na przykład minimalizacji stosunku woda-powietrze podczas transportu podciśnieniowego ścieków. Pomimo wprowadzenia solidnych podstaw teoretycznych, norma ta jest obecnie nieprzydatna

w kwestii wymiarowania przewodów. W normie zamieszczono zasady obliczania natężenia przepływu ścieków zgodnie z metodologią obowiązującą dla kanalizacji grawitacyjnej. Sprawia to, że w obliczeniach uwzględniona jest jedynie faza płynna i stała, przy pominięciu obecności znacznych ilości powietrza zasysanych do instalacji w trakcie splukiwania toalet. Powoduje to, że projektanci zgodnie z prawem obliczają natężenie przepływu ścieków bytowych, jednakże dobór średnicy przewodu następuje na podstawie danych empirycznych producenta systemu, co ukazuje w praktyce lukę między wymaganiami zapisanymi w normie a osiągnięciami nauki ostatnich 25 lat.

W Australii i Nowej Zelandii obowiązuje z kolei norma AS/NZS 3500 [7]. Ten obszerny dokument zawiera kompendium wiedzy o projektowaniu wewnętrznych instalacji wodociągowych i kanalizacyjnych w budynkach. W normie tej znajduje się obszerny rozdział poświęcony wyłącznie instalacjom kanalizacji podciśnieniowej.

Treść normy obejmuje zagadnienia projektowe i wykonawcze instalacji kanalizacji podciśnieniowych. Z normy tej często korzystają projektanci europejscy.

W normie [7] zamieszczono następujące definicje, kryteria i wytyczne:

- definicja pojemności jednostki próżniowej „Vacuum loading unit (VLU)”, jako sumy objętości splukiwanych ścieków, wody oraz zasysanego powietrza,
- dopuszczalny zakres absolutnego ciśnienia roboczego w instalacji (od 30 kPa do 65 kPa) i związana z tym maksymalna łączna długość odcinków instalacji o kierunku ruchu przeciwnym do siły grawitacji nie większa niż 6 metrów,
- wprowadzenie elementu usztywnienia dwustronnego (bilateral bracing) jako elementu kluczowego w zachowaniu szczelności instalacji poprzez wzmocnienie łączów kształtek i ochronę przed stale występującymi uderzeniami wywołanymi przez poruszającymi się porcjami ścieków,
- sposób przeprowadzenia próby szczelności.

Drugim z przydatnych dokumentów jest australijska norma SA TS 100:2018 [12] stanowiąca uzupełnienie normy AS/NZS 3500. W normie tej skupiono się na wskazówkach dotyczących bezpieczeństwa i niezawodności pracy pojedynczych elementów instalacji podciśnieniowej (misek ustępowych, pisuarów oraz ich zaworów odcinających):

- definicję zaworu opróżniającego „Zawór kontrolujący przepływ nieczystości oraz powietrza pomiędzy stroną atmosferyczną miski ustępowej i pisuaru, a instalacją próżniową”. Definicja w tej postaci jest o tyle istotna, gdyż wynika z niej możliwość modyfikowania współczynnika woda-powietrze w trakcie pracy zaworu (a więc i większą elastyczność w obsłudze instalacji), czego norma PN-EN 12109 nie przewiduje,
- zakres średnic przewodów przyłączeniowych pisuarów oraz misek ustępowych wynoszący DN 35-65 mm,
- wymagania materiałowe dla misek ustępowych oraz pisuarów,
- sposób montowania zaworów antyskażeniowych.

Kolejnym z dokumentów jest północnoamerykańska norma CSA B45.13-19/IAPMO Z1700-2019 [8]. Możliwa do zauważenia jest inspiracja normą australijską AS/NZS 3500. Amerykanie podają tu podobne wartości ilościowe ścieków bytowych jako

wytyczne do projektowania, poszerzając jednak treść normy o wymagania materiałowe (między innymi uwzględniając możliwość stosowania rur miedzianych), a także szeroko opisując sposób przeprowadzania testów systemu.

Różnice w prawodawstwie na całym świecie spowodowały, że firmy aspirujące do miana światowych liderów w produkcji systemów kanalizacji sanitarnej podciśnieniowej opracowują swoje własne szczegółowe wytyczne, uwzględniając jednak ogólne wytyczne zawarte w przytoczonych dokumentach normalizacyjnych. Przykładem może być firma Jets Vacuum AS i jej poradnik do projektowania [5]. Poradnik poza wytycznymi projektowymi zgodnymi ze wspomnianymi wcześniej normami, zawiera także instrukcje montażowe, a także obszerny rozdział o konserwacji oraz serwisowaniu instalacji w razie awarii, co jest szczególnie istotne w kontekście wysokich wymagań szczelności oraz zapewnienia ciągłości działania instalacji. Autorzy poradnika skupili się także na dydaktycznym charakterze tworzonego dokumentu. Poza odpowiedzią na pytanie jak działa instalacja, czytelnik znajdzie tu również odpowiedź na o wiele ważniejsze pytanie, dlaczego jest stosowane takie a nie inne rozwiązanie. W połączeniu ze spójnością z omawianymi w tym rozdziale aktami prawnymi z całego świata, ten obszerny, blisko 50 stronicowy dokument stanowi dobry punkt wyjścia do nauki technologii instalacji podciśnieniowych nie tylko dla instalatora, lecz także projektanta. Warto w tym miejscu zauważyć, iż wymiarowanie oraz modelowanie kanalizacji sanitarnej podciśnieniowej zaproponowane przez producentów systemu jest w dużej mierze empiryczne. Złożoność przepływu trójfazowego wpływa na jego wysoką niestabilność [13], co sprawia, że nie opracowano do tej pory nieempirycznych metod obliczeniowych.

4. Wymiarowanie instalacji

W celu przedstawienia sposobu wymiarowania instalacji kanalizacji sanitarnej podciśnieniowej posłużono się przykładem budynku 30 kondygnacyjnego o funkcji biurowej, posiadającego na każdym piętrze toaletę jedynie z 5 miskami ustępowymi. Wymiarowanie rurociągów podciśnieniowych opiera się na empirycznym współczynniku Vacuum Loading Unit (VLU). VLU jest miarą łącznej objętości powietrza i ścieków stanowiącej obciążenie systemu, która uwzględnia częstotliwość użytkowania przyboru oraz natężenie przepływu. W budynkach biurowych następujące wartości VLU są przypisane poszczególnym elementom białego montażu (tab. 1):

- miska ustępowa oraz pisuar – 4 VLU
- umywalka – 8 VLU
- prysznic – 12 VLU

Suma VLU w przykładowej toalecie wynosi więc 5 misek ustępowych $\times$ 4 VLU = 20 VLU. Poziomy przewód odprowadzający ścieki z toalety do pionu będzie miał w tym przypadku wymiar DN50. Używanie tej metody jest proste i intuicyjne, co umożliwia szybki dobór rurociągów do planowanej inwestycji. Warto w tym miejscu zauważyć, że dane empiryczne posiadane przez producentów ograniczają się do średnicy maksymalnie DN75. Jest to spowodowane małą ilością inwestycji w opisywanej technologii. Generuje to problem widoczny w przykładowym wieżowcu użytym w tym rozdziale. Chcąc dobrać średnicę pionu na najniższej kondygnacji, zsumowano VLU wszystkich toalet, otrzymując

20 VLU $\times$ 30 kondygnacji = 600 VLU. Wynik ten przekracza maksymalne VLU dla przewodu DN75. Wytyczne producentów sugerują wybieranie w tym przypadku średnicy DN110, dopóki badania na większych średnicach nie zostaną ukończone.

Tabela 1. Maksymalne wartości parametru Vacuum Loading Units dla poszczególnych wymiarów przewodów [5]

Table 1. Maximum values of the Vacuum Loading Units parameter for individual pipe dimensions [5]

DN [mm]	Przewody poziome [VLU]	Przewody pionowe [VLU]
50	24	48
75	200	400

5. Zasada działania poszczególnych elementów instalacji

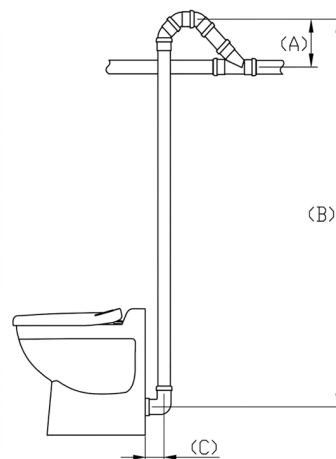
Podciśnieniowe pisuary oraz miski ustępowe do poprawnego działania wymagają współpracy z zaworem opróżniającym (discharge valve – rys. 3). Normalnie zawór pozostaje w pozycji zamkniętej. Po wciśnięciu przycisku spłukującego wysyłany jest sygnał do sterownika zaworu, który zwalnia blokadę zaworu odpływowego. Różnica ciśnienia atmosferycznego oraz ciśnienia roboczego panującego w instalacji wypycha ścieki z ustępu do instalacji. Jednocześnie, sterownik otwiera inny zawór, który steruje dopływem mieszanki wody spłukującej i powietrza. To ten zawór odpowiedzialny jest za główną oszczędność jaką generuje instalacja podciśnieniowa, w postaci redukcji zużycia wody do 0,7 litra na spłukanie. Aby zakończyć spłukiwanie wody, sterownik z powrotem przywraca blokadę zaworu odpływowego, co powoduje odcięcie instalacji od miski ustępowej bądź pisuaru. Z drobnym opóźnieniem sterownik zamyka również dopływ wody, umożliwiając zapewnienie zapasu wody na następne spłukanie. Po całej sekwencji, układ wraca do trybu normalnego, mając zamknięte wszystkie zawory. Co ważne, cały układ działa bez zasilania elektrycznego, gdyż wszystkie sygnały otwarcia i zamknięcia zaworów przekazywane są za pomocą tłoków i sprężyn w sposób pneumatyczno-kinetyczny [4].



Rys 3. Zawór opróżniający [4]
Fig 3. Discharge valve [4]

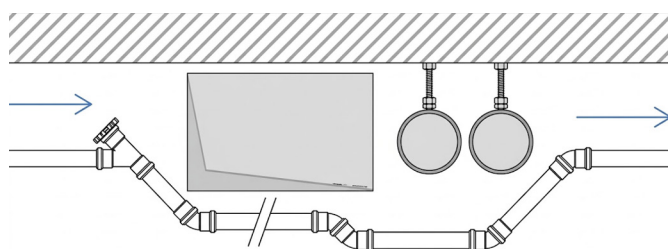
Drugim, najdłuższym elementem instalacji jest ciąg rur transportujących ścieki do zestawu pompowego. Trasa instalacji jest elementem najbardziej wrażliwym na błędy montażowe, gdyż błędne zamocowanie nawet jednej kształtki może zagrozić efektywności pracy znacznej części instalacji. Trasa instalacji wymaga diametralnie innych zasad montażu rurociągów w porównaniu do kanalizacji grawitacyjnej:

- Pozioma trasa instalacji domyślnie prowadzona jest pod stropem. W związku z tym ścieki są transportowane w pierwszej kolejności przewodem pionowym kilka metrów przeciwnie do zwrotu siły grawitacji. Włączenie się do przewodu poziomego należy wykonać poprzez tzw. „Gooseneck” – w wolnym tłumaczeniu: łabędzią szyję, co stanowi zabezpieczenie przed przepływem wstecznym (rys. 4). Zmiana średnicy rur może nastąpić jedynie na odcinku poziomym. Odcinek pionowy instalacji musi być tej samej średnicy (dotyczy to także pionów sekcyjnych), aby uniknąć zmiennej prędkości poruszania się ścieków w trakcie transportu pionowego.
- Przewody poziome są układane ze spadkiem 1% w kierunku zestawu pompowego celem umożliwienia utworzenia się porcji osadów w kieszeni transportowej. Kieszeń wykorzystywana jest także do regulacji wysokości instalacji, co ułatwia rozwiązywanie kolizji z innymi instalacjami i przeszkodami napotykanymi na etapie realizacji (rys. 5). Zalecane jest wykonywanie kieszeni po każdych 15 metrach przewodu poziomego.



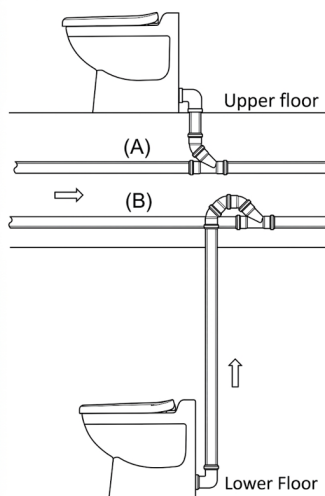
Rys 4. Schemat włączenia się w przewód poziomy rury pionowej [5]
Fig 4. Diagram of connecting a vertical pipe to a horizontal line [5]

- Ciśnienie absolutne w instalacji wynosi do 0,35 bar, co po odjęciu strat ciśnienia wynikających z chropowatości rur przekłada się na efektywną maksymalną wysokość podnoszenia ścieków przeciwnie do grawitacji na poziomie 5 metrów. Suma odcinków transportu ścieków przeciwnie do grawitacji na trasie najbardziej niekorzystnej nie może przekroczyć tej wartości.



Rys 5. Omijanie przeszkód za pomocą kieszeni transportowej [5]
Fig 5. Avoiding obstacles with the transport pocket [5]

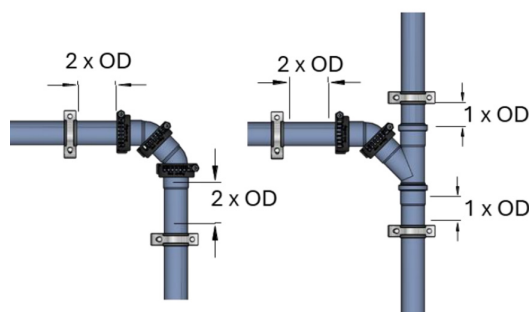
- W przypadku, gdy ograniczenia maksymalnej wysokości podnoszenia nie mogą zostać spełnione, możliwe jest sprowadzenie trasy bezpośrednio na kondygnację niżej. Należy pamiętać w takim przypadku, aby nie łączyć ścieków z piętra wyższego z poziomym przewodem z toalety z piętra niższego (rys. 6). Pozwoli to uniknąć przepływu wstecznego z toalety do toalety między kondygnacjami. Ścieki z różnych kondygnacji muszą być transportowane do pionu osobnymi przewodami.



Rys 6. Sposób prowadzenia ścieków z wyższej kondygnacji [5]

Fig 6. The method of conducting sewage from the upper floor [5]

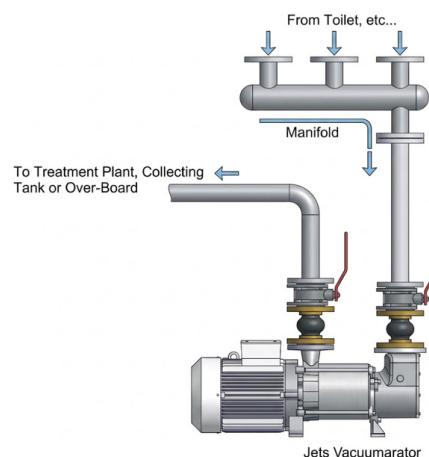
- Ze względu na małą średnicę wykorzystywanych rur, instalacja jest szczególnie narażona na awarie powstałe na skutek umieszczenia w toaletach przedmiotów do tego nieprzeznaczonych. Aby można szybko przywrócić instalację do sprawności, w krytycznych miejscach umieszczane są otwory rewizyjne. Czyszczeniaki należy montować na górnym i dolnym końcu pionów, na każdej kieszeni transportowej, krańcu przewodu poziomego oraz przy zmianach kierunku prowadzenia instalacji o 90 stopni.
- W przeciwieństwie do kanalizacji grawitacyjnej, w instalacji podciśnieniowej warto stosować zawory odcinające poszczególne partie budynku. Ogólna zasada ich lokalizowania jest identyczna jak w instalacji wody użytkowej – zawory muszą umożliwiać odcięcie poszczególnych toalet oraz pionów.
- Zasady stosowania podpór przesuwnych w postaci obejm nie zmieniają się w porównaniu do kanalizacji grawitacyjnej. Same podpory przesuwne są jednak niewystarczające, ze względu na prędkość transportu ścieków mogącą osiągać nawet 10 m/s. Uderzenie z tą prędkością porcji osadów przy zmianie kierunku, w połączeniu ze stosowanym powszechnie w tej instalacji połączeniem kielichowym poszczególnych kształtek i rur, prowadzi do kinetycznego rozłączenia się elementów rurociągu. Aby uniknąć tego problemu, przy każdej zmianie kierunku należy wzmocnić łączenie zaciskiem stawowym (*joint clamp*) (Rys. 7).



Rys 7. Wzmocnienie rurociągu przy zmianie kierunku [5]

Fig 7. Reinforcement of the pipeline when changing direction [5]

- Współcześnie wykorzystywany generator podciśnienia to pompa śrubowa z wbudowanym przy króćcu ssawnym rozdrabniaczem. Pompa, poza rozdrabnianiem, spełnia jeszcze dwie funkcje: transportuje nadciśnieniowo ścieki bytowe do przyłącza kanalizacyjnego oraz generuje podciśnienie robocze, dzięki liniowemu montażowi w instalacji (Rys. 8). Montaż zbiornika próżniowego nie jest potrzebny w tym rozwiązaniu, ze względu na przejęcie jego funkcji przez cały zład instalacji. Warty uwagi jest różnica w stosunku do tradycyjnej pompy próżniowej współpracującej ze zbiornikiem próżniowym. Praca nowoczesnej pompy wykonywana jest na czynniku roboczym jakim jest ciecz. Jako, że ciecz uszczelnia komorę pompy, łopatki nie muszą już szczelnie o nią ocierać oraz nie muszą być smarowane, co ułatwia eksploatację urządzenia [6]. W związku ze zmniejszeniem zajmowanej przestrzeni przez pompę zalecane jest używanie zestawu pompowego złożonego więcej niż z jednego urządzenia, co zwiększa bezawaryjność układu.



Rys 8. Schemat instalacji pompy Vacuumator [6]

Fig 8. Vacuumator pump installation diagram [6]

Dokonano zestawienia najważniejszych różnic między instalacją kanalizacyjną podciśnieniową a grawitacyjną (tab. 2). Warto podkreślić dwie kluczowe różnice. Kanalizacja podciśnieniowa zajmuje znacznie mniej miejsca ze względu na mniejsze średnice przewodów, a także brak konieczności stosowania pionów wentylacyjnych. Drugą różnicą jest znaczna oszczędność wody, co przekłada się na możliwość uzyskania wyższej klasy w trakcie procesu certyfikacji budynku.

Tabela 2. Zestawienie różnic między instalacją kanalizacyjną podciśnieniową oraz grawitacyjną [14]**Table 2.** Summary of the differences between vacuum and gravity sewer systems [14]

Porównywana własność	Kanalizacja podciśnieniowa	Kanalizacja grawitacyjna
Prędkość przepływu	8-10 m/s	0,7-1,5 m/s
Średnica przewodów	DN 40 - 90	DN 40 - 160
Wymagany spadek	1% (z możliwością odcinkowego prowadzenia przeciwnie do grawitacji)	2%
Ciśnienie robocze	0,35 – 0,55 bar	1 bar
Zużycie wody na spłukanie	0,7 l	5 l
Konstrukcja płuczki ustępowej	Zintegrowana z zaworem opróżniającym	Standardowa
Maksymalna odległość płuczki ustępowej od pionu	Ograniczona jedynie mocą pompy	1 m
Sposób łączenia rur	Kielichowe z dodatkowymi obejmami wzmacniającymi	Kielichowe
Sposób wentylacji	Układ zamknięty, bez wentylacji	Dodatkowe piony wentylacyjne

6. Podsumowanie i wnioski

Europejskiemu prawodawstwu brakuje aktualnych oraz wyczerpujących dokumentów na temat instalacji kanalizacji podciśnieniowej. Polskie rozporządzenie o Warunkach Technicznych [11] nie wspomina ani słowem o tej technologii. Obowiązująca w Polsce norma PN-EN 12109 [10] pomimo iż zawiera informacje o tej technologii, to są to informacje uogólnione oraz przestarzałe. W chwili obecnej zastosowanie wymagań wspomnianych norm nie umożliwia zaprojektowania instalacji kanalizacji podciśnieniowej z maksymalną efektywnością, możliwą dzięki postępowi technologicznemu z ostatnich 25 lat.

Brak prawodawstwa na rynku europejskim powoduje niedobór specjalistów w dziedzinie kanalizacji sanitarnej podciśnieniowej. Prowadzi to do sytuacji, w której projektanci zmuszeni są do korzystania z usług specjalistycznych firm zewnętrznych, autorów technologii, o czym świadczą stosowne adnotacje w projektach technicznych budynków [14].

Nowatorskość technologii kanalizacji podciśnieniowej powoduje brak jednolitych wytycznych projektowych, co może prowadzić do utrudnienia jej wykorzystywania. Z przeglądu literatury wynika, jakoby najrozsądniejszym byłoby tymczasowe przyjęcie następujących wytycznych normowych na rynku europejskim:

- Istniejąca europejska EN 12109 – podejście systemowe do problematyki efektywności energetycznej oraz bezpieczeństwa biologicznego.
- Nowozelandzka AS/NZS 3500.2 – wymagania dla projektantów instalacji na temat projektowanej prędkości, spadków, stosowanych ciśnień.

- Australijska SA TS 100 – procedury przeprowadzania testów odbiorczych instalacji.
- Amerykańska CSA B45.13-19 – wytyczne na temat stosowanych materiałów, ich niezawodności oraz sposobu eksploatacji działającej instalacji.

Dotychczasowe stosowanie instalacji kanalizacji podciśnieniowej niemal wyłącznie w środkach transportu powoduje brak badań nad wykorzystaniem tej technologii w skali makro w dużych budynkach. Brak danych z takich budynków zmusza producentów jedynie do ekstrapolacji wyników z małych instalacji do estymacji kosztów eksploatacji dużych instalacji, które niekoniecznie muszą się potwierdzić. Mniejsze zużycie wody na spłukanie jest punktem niezmiennym od skali instalacji i to właśnie ta właściwość skłania pierwszych inwestorów do wyboru kanalizacji podciśnieniowej w celu uzyskania wyższych klas certyfikatów efektywności energetycznej. Warto zauważyć, że zestawy pompowe kanalizacji podciśnieniowej zużywają energię, która nie jest uwzględniana choćby w certyfikacji BREEAM. Dodatkowo, mniejsza ilość wody potrzebnej do spłukania, przekłada się na mniejszą ilość energii zużytej przez zestaw hydroforowy na dostarczenie wody użytkowej do toalet. Patrząc szerzej, zastosowanie instalacji kanalizacji podciśnieniowej wpływa też na sieć miejską, zmniejszając natężenie przepływu do oczyszczalni ścieków, a także ilość wody tłocznej z miejskich stacji uzdatniania wody.

Następnym nieprzewidzianym problemem dla instalacji kanalizacji podciśnieniowej jest twardość wody wodociągowej. Dotychczasowe stosowanie tej technologii na statkach oraz domkach jedno- i wielorodzinnych w Skandynawii wystawiało ją na działanie jedynie wody o niskiej zawartości wapnia i magnezu. Zawory opróżniające dostarczają wodę kanalikami mniejszymi niż DN10, co przy kontakcie z przeważnie twardą wodą pobieraną z ujęć powierzchniowych w Polsce może doprowadzić do szybkiego ich zakamienienia. W efekcie może to skutkować zmniejszoną żywotnością systemu i częstymi pracami serwisowymi. Prowadzi to do przypuszczenia, iż to zawór opróżniający jest najbardziej newralgicznym elementem instalacji podciśnieniowej, co by było odwzorowaniem wniosków z rozprawy doktorskiej [2] (najbardziej awaryjnym elementem sieci zewnętrznych są studzienki przyłączeniowe z zaworem opróżniającym).

Aktualne wyniki badań nad przepływem trójfazowym w instalacjach wewnętrznych trwają w laboratoriach producentów systemów. Niestety, żadna z firm nie opublikowała dokładnych informacji na ten temat. Stworzenie platformy do wymiany wiedzy open source między firmami oraz instytucjami badawczymi przyspieszyłoby stworzenie nieempirycznych wytycznych do projektowania instalacji podciśnieniowych.

Podsumowując, kanalizacja podciśnieniowa w budynkach to technologia nowatorska, mająca liczne przewagi nad jej grawitacyjnym odpowiednikiem. Stawia jednak ona dopiero pierwsze kroki na rynku europejskim. Brak ujednoliconego prawodawstwa oraz przykładów działających, dużych budynków w tej technologii sugeruje traktowanie jej jako prototypu z dużym potencjałem, który należy obserwować w przyszłości.

7. Literatura

- [1] Liljendahl, J. (1966). *Method of hydro-pneumatic conveying system and apparatus*, United States Patent Office.
- [2] Miszta-Kruk, K. (2006). *Analiza niezawodności kanalizacji podciśnieniowej na podstawie badań eksploatacyjnych wybranych systemów*, Rozprawa doktorska. Politechnika Warszawska.
- [3] Piętka, J. (2017). *Kanalizacja podciśnieniowa jako rozwiązanie systemów kanalizacji na terenach zagrożonych powodziami oraz o trudnych warunkach gruntowo-wodnych*. Przegląd budowlany 88(9)
- [4] Jets Vacuum AS. (2022). Instruction Manual No.054100970.
- [5] Jets Vacuum AS. (2018). Piping Guide. Vacuum Piping Guide, Building
- [6] Jets Vacuum AS. (2007). Vacuum theory & background
- [7] AS/NZS 3500.2. (2017). Plumbing and drainage Sanitary plumbing and drainage. Sai global.
- [8] CSA B45.13:19/IAPMO Z1700-2019. (2019) Vacuum waste-collection systems. Standards council of Canada.
- [9] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1275 z dnia 24 kwietnia 2024 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków
- [10] PN-EN 12109:2003. (1999). Wewnętrzne systemy kanalizacji podciśnieniowej. Europejski Komitet Normalizacyjny.
- [11] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U.2024 poz.726
- [12] SA TS 100:2018. (2018). Technical Specification Vacuum WC pans, vacuum urinals and interface valves intended for use with vacuum drainage systems and designs. Sai global.
- [13] Błazejewski, R. & Matz, R. (2026). *Hydraulics of vacuum sewerage system*. CRC Press.
- [14] Jakubowski, D. (2026.) *Analiza porównawcza instalacji kanalizacji sanitarnej podciśnieniowej i grawitacyjnej na przykładzie inwestycji The Bridge w Warszawie*. Praca dyplomowa magisterska. Politechnika Warszawska.