

**PROBLEM PUSTYCH PRZESTRZENI
POD POWŁOKAMI IZOLACYJNYMI**

**PROBLEM OF EMPTY SPACES UNDER
THE INSULATING COATINGS**

mgr inż. Andrzej Garyantesiewicz

Przedsiębiorstwo Wielobranżowe AGCOR, Poznań

Słowa kluczowe: puste przestrzenie, powłoki izolacyjne
Keywords: empty spaces, insulating coatings

Streszczenie

W referacie omówiono badanie zaniku pustych przestrzeni pod różnego typu powłokami izolacyjnymi produkowanymi na bazie kauczuku butylowego, które powstają w wyniku nierówności na spawach, na przejściach izolacji fabrycznej i opasek izolacyjnych przy połączeniach spawanych rur oraz na zakładkach opasek izolacyjnych, jak również przy niestarannym montażu opasek izolacyjnych na połączeniach spawanych.

Summary

The following paper refers to results of the research on the decay of empty spaces under various types of insulating coating produced from butyl rubber, which are created by uneven welding surfaces especially on transition of manufactured insulation and insulating bands which are in connection with welded pipes as well as on overlap of insulating bands and not precise assembly of insulating bands on welded connections.

Tworzenie pustych przestrzeni pod powłokami izolacyjnymi

Korozja rurociągów stalowych wywołana jest przez reakcje chemiczne zachodzące między materiałem żelaznym oraz pobieranymi z otoczenia tlenem i parą wodną. Jeśli z powierzchni rury usunie się tlen i parę wodną, uniknie się wówczas korozji. Oddzielenie powierzchni stalowej od składników reakcji przy powstawaniu korozji następuje w praktyce przez izolowanie rurociągu. Jako materiałów izolacyjnych używa się materiałów organicznych o niewielkiej przepuszczalności tlenu i pary wodnej. W przypadku powłok izolacyjnych szczególne zastosowanie mają kauczuk butylowy (popularnie nazywany butulokauczukiem) i folie polietylenowe.

Jak wszystkie materiały organiczne również i te są nieznacznie przepuszczalne dla tlenu i pary wodnej. Jeśli pod powłoką pozostanie pusta przestrzeń, wtedy tlen i para wodna przenika na zasadzie ciśnienia cząsteczkowego z zewnątrz do tej pustej przestrzeni, co powoduje korozję pod powłoką. Wprawdzie przepuszczalność jest tak mała, że korozję można zbagatelizować (stopień zniszczenia $< 10 \mu\text{m}/\text{rok}$). Jednak przy przestrzennie rozciągniętej pustej przestrzeni np. wzdłuż wzdłużnego spawu spawalniczego lub uszkodzeń mechanicznych może wystąpić zwiększone niebezpieczeństwo korozji. Dlatego należy możliwie unikać jakichkolwiek pustych przestrzeni.

Wielkości pustych przestrzeni obok wzdłużnego spawu spawalniczego

Utworzona pusta przestrzeń obok wzdłużnego spawu spawalniczego przy izolowaniu rury taśmami lub materiałami termokurczliwymi jest porównywana do „namiotu” nad wklęsłymi nierównościami powierzchni rury lub przy przejściach na izolację fabryczną. Kauczuk spływając z wierzchołka szwa spawalniczego i sąsiednich obszarów do pustej przestrzeni na zasadzie promieniowo działających składników napięcia przy nawijaniu lub kurczeniu, zmniejsza wysokość a tym samym szerokość pustej przestrzeni na stali. Czy pusta przestrzeń całkowicie wypełni się kauczukiem i z jaką prędkością to nastąpi, zależy między innymi od zastosowanej izolacji antykorozyjnej. Celem poniższych badań jest to, by wykazać różnice odnośnie tworzenia się pustych przestrzeni wśród ogólnie dostępnych izolacji antykorozyjnych. Systemy izolacyjne o niewielkim potencjale wypełniania pustych przestrzeni nadają się do izolowania względnie „gładkich” rurociągów, tzn. o bardzo dobrze Zukosowanych przejściach na izolację fabryczną i tylko przy bardzo słabo wystających szwach spawalniczych. Natomiast systemy izolacyjne o wysokim potencjale wypełniania pustych przestrzeni nadają się do izolowania niezupełnie idealnych rurociągów. Ponieważ warunki na placu budowy nie są nigdy idealne, należy tym ostatnim przyjrzeć się dokładniej.

Teoria

Wysokość i szerokość pustej przestrzeni obok wysoko wystającego wzdłużnego szwa spawalniczego jest w następującym związku matematycznym. Zgodnie ze wzorem Pitagorasa:

$$(h + r)^2 = s^2 + r^2$$

przy czym:

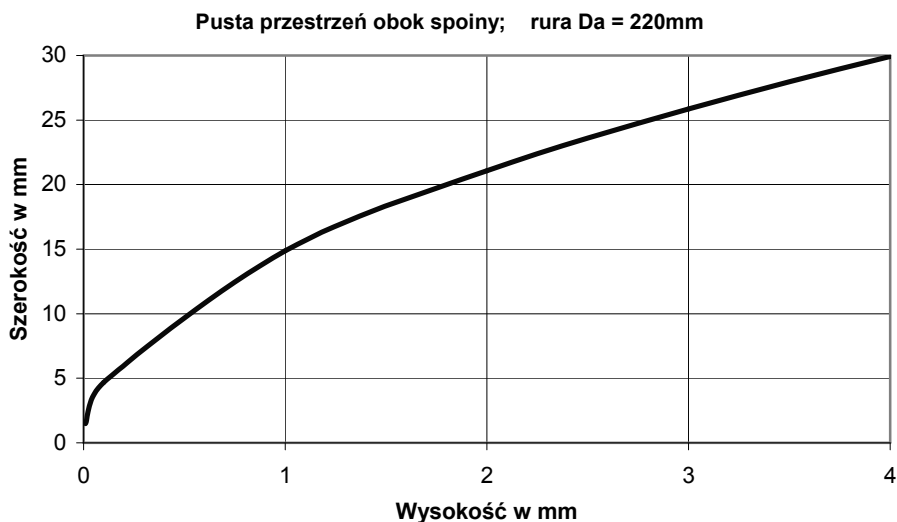
h = wysokość pustej przestrzeni,

r = promień rury,
 s = szerokość pustej przestrzeni obok szwa spawalniczego,
z tego wynika:

$$s = \sqrt{h(h + 2r)}$$

$$h = \sqrt{s^2 + r^2} - r$$

Dla rury stalowej o promieniu $r = 110$ mm i wysokości szwa $h = 2$ mm szerokość pustej przestrzeni wynosi $s = 21$ mm.



Rys. 1. Teoretyczna zależność szerokości pustej przestrzeni obok wzdłużnego szwa spawalniczego od jej wysokości

W praktyce szwy spawalnicze nie są tak wysokie jak w wyżej przyjętym przypadku. Ze względu na większy stosunek szerokości do wysokości rzeczywistego szwa spawalniczego stwierdzono mniejszą szerokość pustej przestrzeni w praktyce występujących szwów spawalniczych niż w rachunku modelowym.

Doświadczenia ostatnich 25 lat pokazują, że przede wszystkim systemy dwutłumowe ostatecznie stanowią izolację pewną, wolną od pustych przestrzeni. Doświadczenia z praktyki wskazują również, że na określonych podłożach (np. wysoko wystające szwy spawalnicze, niezukosowane przejścia izolacji fabrycznej na stal) wymagane jest dodatkowo użycie taśmy kauczukowej do wypełnienia, by uzyskać izolację wolną od pustych przestrzeni. Wynik badań nie ma więc z wyżej podanych względów charakteru rozstrzygającego lecz jest raczej porównawczy.

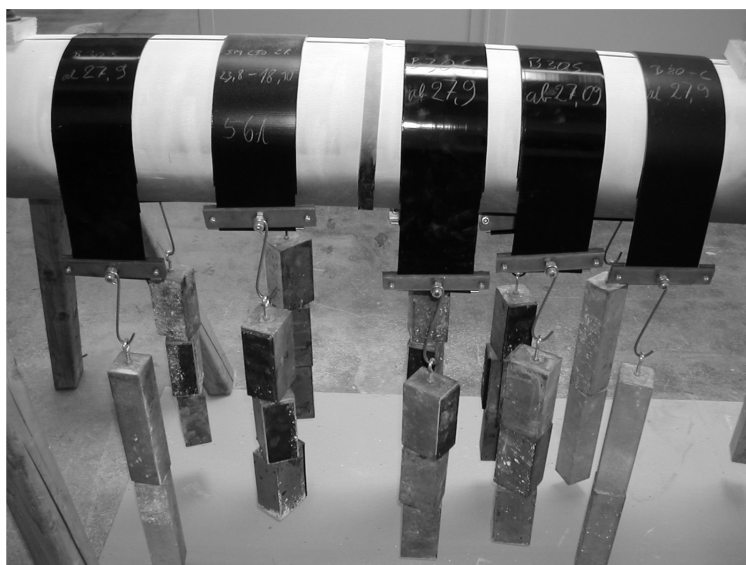
Dla niektórych ogólnie dostępnych systemów izolacji określone zostały wysokość i szerokość pustej przestrzeni obok modelowego wzdłużnego szwa spawalniczego w zależności od upływu czasu od położenia izolacji. Wyniki te są ważnym kryterium przy wyborze systemu izolacji.

Eksperyment

Na piaskowanej rurze stalowej o średnicy zewnętrznej $D_a = 220$ mm został przymocowany na wierzchołku drut o średnicy $\phi = 2$ mm jako symulacja wzdłużnego szwa spawalniczego.

Na całą rurę naniesiono cienką warstwę proszku - TiO_2 jako środka oddzielającego. By rozpocząć badanie z tą zmienioną formą systemu izolowania, położono na takiej samej rurze okrytej papierem silikonowym jedną na drugą 100 mm szerokości taśmę należącą do określonego systemu izolacji. Końcówki taśm zagięto nad drutem $\phi 2$ mm i przymocowano z obu stron taśmy zaciski. Ten pasek izolacyjny nałożono następnie, możliwie nie zmieniając jego formy na rurę pokrytą środkiem oddzielającym. Po obu stronach do zacisków przymocowano ciężarki ($2 \times 8,7$ kg), które miały odpowiadać napięciu nawijania. Po różnie długim czasie obciążania usunięto ciężarki i zdjęto pasek izolacji. Podczas obciążenia wytworzyła się na rurze zwiększająca się strefa przyczepności. Jednak wszystkie paski izolacji można było zdjąć bez ciągnięcia. W obszarze, w którym wewnętrzna taśma miała kontakt z powierzchnią rury, przy zdejmowaniu paska zdjęto również część białego środka dzielącego.

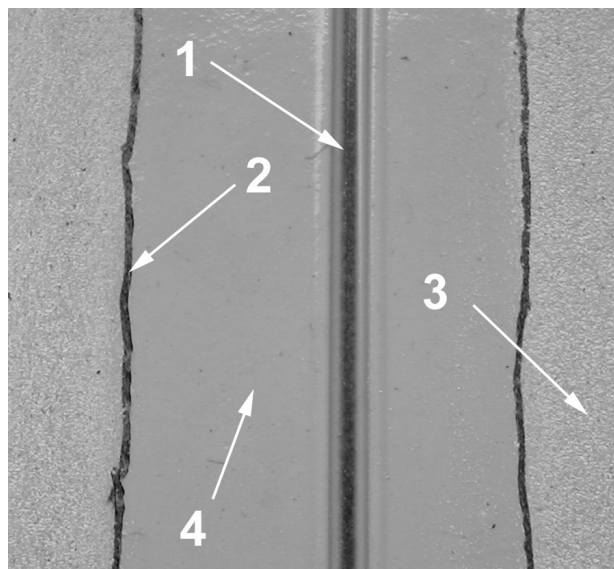
Na rys. 2 pokazany jest ten eksperyment.



Rys. 2. Eksperyment określający puste przestrzenie obok symulowanego wzdłużnego szwa spawalniczego

Ocena

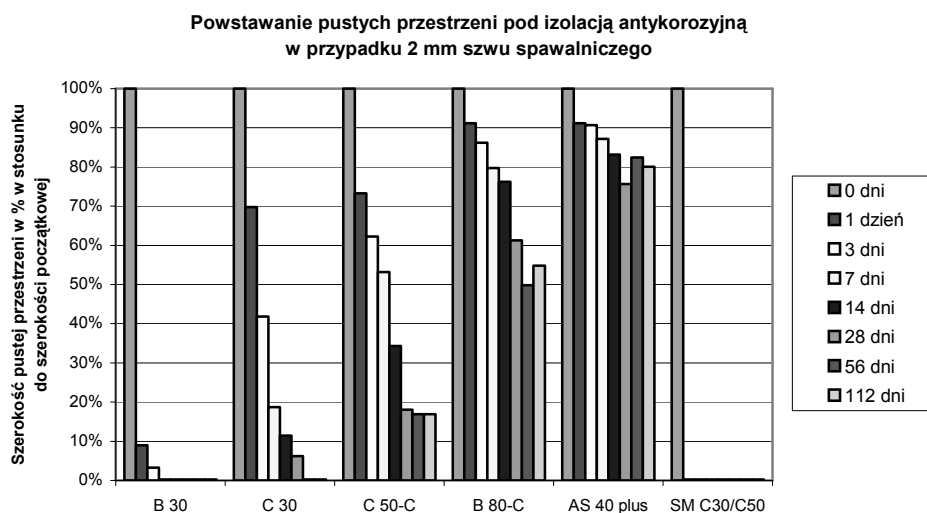
Każdorazowo powierzchnia paska izolacji została pobielona. Można było wizualnie dokładnie rozróżnić utworzoną część mającą kontakt z powierzchnią rury od obszaru pustej przestrzeni (przykłady patrz rys. 3). Na paskach izolacji została zmierzona szerokość pustej nie pobielonej przestrzeni.



Rys. 3. Izolacja zdjęta z rury (1 - odcisk symulowanego wzdłużnego szwa spawalniczego, 2 - ręcznie zaznaczona linia dzieląca obszary 3 i 4, 3 - kauczuk w kontakcie z powierzchnią rury, 4 - kauczuk bez kontaktu z powierzchnią rury)

Wyniki

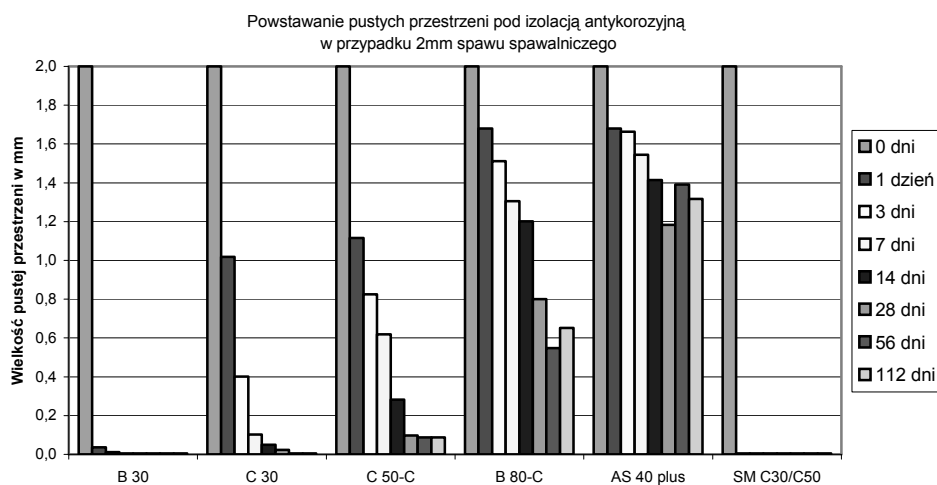
Szerokości pustych przestrzeni po jednej stronie obok symulowanego szwa spawalniczego w stosunku do obliczonych szerokości początkowych podane są na rys. 4 dla różnych systemów izolowania.



Rys. 4. Szerokość pustej przestrzeni obok symulowanego wzdłużnego szwa spawalniczego dla

różnych systemów izolowania w zależności od czasu po zastosowaniu

Na rys. 5 podano zmierzoną wielkość (szerokość w mm) pustej przestrzeni obok wzdłużnego szwa spawalniczego o wysokości 2 mm.



Rys. 5. Szerokość (w mm) pustej przestrzeni obok symulowanego wzdłużnego szwa spawalniczego o wysokości 2 mm dla różnych systemów izolacji w zależności od czasu po zaizolowaniu

System B 30: 2 powłoki taśmy butylokauczukowej Testo 1,5 + 2 warstwy PE-0,40 (system dwutaśmowy)

Taśma butylokauczukowa Testo 1,5 ma 1,5 mm grubości i nie zawiera folii. Taśma PE-0,40 składa się z folii powleczonej przyczepnym klejem termoplastycznym. Stąd w opasce izolacyjnej pod folią PE znajduje się 3 mm warstwa butylokauczuku. Warstwa kauczuku jest tym samym grubsza niż szew spawalniczy. Butylokauczuk płynie pod wpływem naprężania przy nawijaniu bezpośrednio we wszystkie puste przestrzenie. Już po 7 dniach nie można znaleźć żadnych pustych przestrzeni. Zewnętrzne powłoki (PE-0,40) tworzą zgodnie z oczekiwaniami niezmiennie namiot nad szwem spawalniczym, który jednak po spłynięciu kauczuku, wypełnia się całkowicie.

System C 30: 2 warstwy taśmy butylokauczukowej Testo 1,5H + 2 warstwy PE-0,40 (system dwutaśmowy)

Taśma butylokauczukowa Testo 1,5H ma 1,5 mm grubości. Zawiera w środku taśmy folię PE ca. 100 µm grubą, która pozwala uniknąć nadmiernego naciągnięcia przy nawijaniu. Struktura taśmy PE-0,40 jest taka jak opisano w systemie B 30. 3,0 mm grubość całkowita, (z tego 2,8 mm kauczuku) stanowi przy dwóch warstwach taśmy butylokauczukowej Testo 1,5 H o jej większej grubości niż wysokość szwa spawalniczego.

Pusta przestrzeń wypełnia się całkowicie pod wpływem naciągu przy nawijaniu. Proces ten jest jednak znacznie powolniejszy niż w systemie B 30. Mieszanki butylokauczukowe w taśmach butylokauczukowych Testo 1,5 i Testo 1,5H są bardzo podobne. Zmniejszenie prędkości płynięcia butylokauczuku zależy więc od umieszczonej w taśmie Testo 1,5H folii, zabezpieczającej przed nadmiernym naciągnięciem przy nawijaniu.

System C 50 - C: 2 warstwy taśmy butylokauczukowej Testo 1,2H + 2 warstwy PE-0,5 (system dwutaśmowy)

Taśma butylokauczukowa Testo 1,2 H ma 1,2 mm grubości. Zawiera w środku taśmę folię ca. 130 µm grubą, która pozwala uniknąć nadmiernego naciągania przy nawijaniu. Taśma PE-0,5 jest asymetrycznie zbudowaną taśmą antykorozyjną o 0,2 mm warstwie kauczuku po wewnętrznej stronie. Obie warstwy taśmy butylokauczukowej Testo 1,2H o grubości całkowitej 2,4 mm z tego 2,1 mm kauczuku są grubsze niż wysokość szwa spawalniczego. Pusta przestrzeń pod wpływem naciągu przy nawijaniu nie wypełnia się całkowicie. Pozostaje pusta przestrzeń o wielkości > 0,1mm. Według obliczeń cała pusta przestrzeń powinna się wypełnić. Ponieważ to nie następuje, można to odnieść do końcowego czasu obciążenia, tzn. stanu końcowego nie osiągnięto po 112 dniach. Jednak doświadczenia wynikające z praktyki pokazują, że w tym systemie izolacji uzyskuje się izolację pozbawioną pustych przestrzeni. System C 50-C zachowuje się podobnie jak system C 30. Ponieważ włożone folie stanowią grubszą warstwę, a warstwa kauczuku jest cieńszą, pusta przestrzeń wypełnia się wolniej.

Zastosowanie taśmy zewnętrznej PE-0,5 powleczonej od wewnątrz 0,2 mm warstwą kauczuku w porównaniu z taśmami klejącymi PE-0,25 i PE-0,40 w systemach do tej pory opisywanych zmniejsza dodatkowo pozostające puste przestrzenie. Kauczuk po wewnętrznej stronie taśmy PE-0,5 płynie dużo wolniej, gdyż jest on osłaniany przez dwie znajdujące się pod nim warstwy taśmy butylokauczukowej Testo 1,2H.

System B 80 - C: 4 warstwy B 80-C (system jednotaśmowy)

Asymetryczna taśma B 80-C ma 0,8 mm grubości. Składa się ona z 0,22 mm grubej folii nośnej z PE. Po wewnętrznej stronie warstwa kauczuku ma 0,53 mm grubości, a po stronie zewnętrznej 0,05 mm. Grubość całkowita opaski wynosi 3,2 mm z tego warstwa kauczuku ma 2,1 mm grubości, co stanowi, że 4 warstwy B 80-C są grubsze niż wysokość szwa spawalniczego. Pusta przestrzeń nie zasklepiła się całkowicie pod wpływem naciągu przy nawijaniu w czasie przeznaczonym na eksperyment. Po 112 dniach pozostała jeszcze pusta przestrzeń o wielkości ok. 0,6 mm. Względnie gruba folia PE opaski ograniczyła przepływ znajdujących się pod nią warstw kauczuku. By uzyskać izolację wolną od pustych przestrzeni, należałoby dolne folie PE rozciągnąć i wcisnąć w zagłębienia obok szwa spawalniczego. Jako siła dynamiczna oddziałuje tutaj promieniowy składnik naprężania przy nawijaniu.

Kauczuk wyższych warstw spływa bokami ze szwa spawalniczego i naciska obok spawu na dolne warstwy. Dolne warstwy są pod tym samym naprężeniem co warstwy zewnętrzne. By folię bardziej rozciągnąć, a tym samym wcisnąć w zagłębienia potrzebna jest siła. Ostatecznie istnieje równowaga. Poszczególne warstwy oddziałują na siebie osłaniająco.

W systemie jednotaśmowym procesy spływania butylokauczuku przebiegają wolniej niż w wyżej omówionych systemach dwutaśmowych. W systemach dwutaśmowych folie PE (hamulce regulujące) taśm kauczukowych znajdujących się wewnątrz są zdecydowanie cieńsze niż folie PE nośne warstw zewnętrznych. Naprężenie przy nawijaniu warstw zewnętrznych jest więc większe niż warstw wewnętrznych i dlatego kauczuk lepiej wciska się we wgłębienia obok spawu. Natomiast we wszystkich systemach jednotaśmowych folie PE są tak samo grube.

System AS 40 plus: 4 warstwy AS 40 plus (system jednotaśmowy)

Asymetryczna taśma AS 40 plus ma prawie taką samą strukturę, jak taśma B 80-C. Jednak proces spływania jest inny. Pusta przestrzeń wypełnia się znacznie wolniej. Po przyjętym czasie obciążeń (112 dni) pusta przestrzeń w systemie AS 40 plus (1,3 mm) jest dużo większa niż w systemie B 80-C (0,6 mm). Taśma AS 40 posiada inny skład – masa butylokauczukowa i folie PE posiadają inne właściwości.

Manszeta termokurczliwa C 30 / C 50

Manszeta termokurczliwa nakładana jest jako jedna warstwa. Składa się z 1 mm grubej kurczącej się pod wpływem ciepła folii PE, która po stronie wewnętrznej powleczone jest 1,6 mm grubą warstwą masy butylokauczukowej. Warstwa kauczuku jest trochę cieńsza niż w naszym przypadku przyjęty eksperymentalnie spaw. W badaniu porównawczym próbki nie kurczyły się pod wpływem temperatury lecz były położone tak jak taśmy antykorozyjne. Uzyskano przez to lepsze porównanie. Siła kurczenia symulowana była również 2 odważnikami po 8,7 kg (przy kurczeniu termicznym siła kurczenia jest w rzeczywistości prawie dwukrotnie większa).

Pod wpływem naprężenia rozciągającego (co w praktyce odpowiada naprężeniu przy kurczeniu) kauczuk płynie bardzo szybko w pierwotnie puste przestrzenie obok symulowanego spawu. Już po jednodniowym czasie oczekiwania puste przestrzenie nie występują. Manszeta termokurczliwa C 30 / C 50 jest ze względu na warstwę kauczuku (1,6 mm) najlepiej porównywalna z systemem B 30 (3 mm). W obydwóch systemach nie znajdują się wewnątrz w kauczuku folie regulujące, które opóźniają proces spływania. Wprawdzie kauczuk manszety termokurczliwej jest cieńszy, jednak znacznie bardziej miękki, a przez to i bardziej płynny.

Dlatego pod manszetą termokurczliwą wolna przestrzeń wypełnia się szybciej (po < 1 dniu) niż w systemie B 30 (po < 7 dniach).

Podsumowanie

- W systemach nawojowych o grubych warstwach kauczuku bez wewnętrznych (włożonych) folii PE (pozwalających uniknąć nadmiernego naciągania taśmy przy nawijaniu) puste przestrzenie wypełniają się najszybciej (patrz system B 30 i manszeta termokurczliwa C 30 / C 50).
- Przy wewnętrznych (włożonych) foliach PE wypełnianie pustych przestrzeni następuje wolniej (porównaj system B 30 bez i system C 30 z włożonymi foliami).

- Systemy dwutaśmowe zachowują się w zasadzie korzystniej niż systemy jednotaśmowe (porównaj system C 50-C z systemem B 80-C względnie AS 40 plus).
- Dostosowanie się do siebie folii PE i mieszanki butylokauczukowej wpływa na prędkość, z jaką wypełnia się pusta przestrzeń (porównaj ze względu na strukturę podobne systemy B 80-C i AS 40 plus).
- Jeśli warstwy kauczuku są znacznie cieńsze niż spoina, wolna przestrzeń nie zostaje całkowicie wypełniona. Inaczej mówiąc: materiałami nawojowymi o cienkich warstwach kauczuku można izolować tylko niewielkie nierówności na powierzchni rury, jeśli chce się uniknąć pustych przestrzeni.
- Pusta przestrzeń wypełnia się wolniej wraz z większą lepkością kauczuku (w systemie B 30 kauczuk ma wyższą lepkość niż na manszecie termokurczliwej C 30/C 50).

Uwagi:

- W eksperymencie nie stosowano (ze zrozumiałych względów) podkładu gruntującego Testo S, który dla systemów nawojowych jest ich integralnym i koniecznym składnikiem. W przypadku zastosowania podkładu gruntującego Testo S (zgodnie z technologią montażu) „płynięcie” kauczuku odbywa się szybciej co skutkuje szybszym wypełnieniem się pustych przestrzeni.
- W przypadku stosowania izolacji termokurczliwych lub nawojowych z podkładami gruntującymi (klejami) epoksydowymi, samoczynne wypełnianie pustych przestrzeni nie następuje, gdyż te podkłady gruntujące (kleje) tworzą nad pustą przestrzenią twardą skorupę uniemożliwiającą płynięcie butylokauczuku. Pozbycie się pustych przestrzeni w tych przypadkach jest możliwe jedynie w trakcie montażu, w czasie kiedy gorące podkłady epoksydowe (kleje) jeszcze nie uległy stwardnieniu.