

Sieci światłowodowe

Część 5 - wdmuchiwanie kabli

– trochę teorii

MICHAŁ ANDRZEJEWSKI

Cofnijmy się do podstawówki i przypomnijmy sobie podstawowe zasady dynamiki Newtona.

I zasada dynamiki brzmi:

W inercjalnym układzie odniesienia, jeśli na ciało nie działa żadna siła lub siły działające równoważą się, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.

II zasada dynamiki brzmi:

W inercjalnym układzie odniesienia, jeśli siły działające na ciało nie równoważą się (czyli wypadkowa sił F_w jest różna od zera), to ciało porusza się z przyspieszeniem wprost proporcjonalnym do siły wypadkowej, a odwrotnie proporcjonalnym do masy ciała.

Adaptując te znane zasady do naszej sytuacji, czyli procesu wdmuchiwania kabli, możemy śmiało powiedzieć, że kabel będzie się w rurze osłonowej przemieszczał tak długo, jak długo siły – ciągnąca pochodząca od tarcia powietrza o płaszcz kabla (przy metodzie strumieniowej) lub od tłoczka zamocowanego na początku kabla (przy metodzie tłoczkowej) oraz siła pchająca generowana przez podajnik wdmuchiarki – nie zostaną zrównoważone przez siły oporu przy odwijaniu kabla oraz siły tarcia kabla o powierzchnię rury osłonowej.

Siłę tarcia w prostej rurze można wyliczyć ze wzoru:

$$F = m l g \mu$$

Gdzie m – masa właściwa kabla [kg/m], l – długość kabla [m], g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2], μ – współczynnik tarcia. Dla przeciętnego kabla o masie $0,2 \text{ kg/m}$ daje to siłę około 30 kG przy długości kabla 2000 m . Jest to oczywiście wyliczenie teoretyczne, w rzeczywistości siła jest o około 30% większa. Co bardzo istotne, siły tarcia w łuku rury są znaczące i należy je zawsze brać pod uwagę.

$$F_2 = F_1 e^{\mu \alpha}$$

F_1 – siła przed łukiem, F_2 – siła za łukiem, e – stała Eulera, μ – współczynnik tarcia, α – kąt

określający wielkość łuku. Wartość $e^{\mu \alpha}$ dla łuku 90° wynosi około $1,13$. To oznacza, że osiem dziesięćdziesięciostopniowych zakrętów powiększy siłę tarcia dwukrotnie!

Siły występujące przy odwijaniu kabla są niewielkie i nie przekraczają zazwyczaj kilku kilogramów.

Przy metodzie strumieniowej siła ciągnąca kabel pochodząca od tarcia powietrza o kabel określona jest wzorem:

$$F = \frac{\pi}{4} d(D-d) P L_1^2$$

Gdzie d – średnica kabla [m], D – średnica wewnętrzna rury osłonowej [m], L_1 – długość trasy [m], L_2 – długość kabla [m], P – ciśnienie powietrza wdmuchującego (MP). Dla kabla o masie $0,2 \text{ kg/m}$, średnicy 12 mm i rurze osłonowej o średnicy wewnętrznej $D = 35 \text{ mm}$, przy ciśnieniu 8 bar uzyskamy siłę rzędu $17,5 \text{ kG}$. Czyli, aby zrównoważyć siłę tarcia, potrzebujemy jeszcze około $12,5 \text{ kG}$. Tę siłę musi dostarczyć podajnik wdmuchiarki.

Przy metodzie tłoczkowej siła ciągnąca daje się wyliczyć ze wzoru:

$$F = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) P$$

Gdzie d – średnica kabla [m], D – średnica wewnętrzna rury osłonowej [m], P – ciśnienie powietrza wdmuchującego (MP). Dla kabla o średnicy 12 mm i rurze osłonowej o średnicy wewnętrznej $D = 35 \text{ mm}$, przy ciśnieniu 8 bar uzyskamy siłę rzędu $67,8 \text{ kG}$. Z teorii wynika więc, że do wdmuchnięcia 2000 m kabla wystarczy siła ciągnąca tłoczka.

Analizując powyższe wzory, można wyciągnąć następujące wnioski:

❶ Czym mniejsza średnica kabla, tym mniejsza siła ciągnąca przy metodzie strumieniowej, a tym większa przy metodzie tłoczkowej. Metoda strumieniowa zalecana jest więc, gdy różnica między średnicą wewnętrzną rury i średnicą kabla jest niewielka.

❷ Czym większa średnica rury osłonowej, tym większa siła ciągnąca przy obu metodach. Należy jednak pamiętać, że przy większych średnicach potrzebna jest większa ilość powietrza, a więc i większa wydajność kompresora.

❸ Większe ciśnienie w przypadku obu metod skutkuje większą siłą ciągnącą. Trzeba jednak zwracać uwagę na wytrzymałość rur oraz złązek. Większość kompresorów przewoźnych oferuje ciśnienie do 8 bar , a przypadku maszyn do mikrokabli – 15 bar .

❹ Przy metodzie tłoczkowej siła ciągnąca rośnie wraz z długością wdmuchniętego kabla. Niestety opory przepływu powietrza w rurze także rosną wraz z odległością, czyli wdmuchnięcie nieskończonej długości kabla nie jest możliwe. Wraz ze skracaniem długości trasy siła rośnie.

❺ Większa masa kabla powoduje wzrost siły tarcia, należy stosować więc kable o jak najmniejszej masie.

❻ Współczynnik tarcia ma decydujący wpływ na wartość siły oporu. Należy pamiętać o tym, że współczynnik tarcia statycznego jest prawie dwukrotnie wyższy niż tarcia dynamicznego. Dlatego nie należy dopuszczać do zatrzymania procesu wdmuchiwania.

Teorii. Praktyka niestety weryfikuje wyliczenia teoretyczne znacząco w dół. Nie należy zapominać, że tarcie tłoczka o rurę wywołuje siłę rzędu kilkunastu kG . W praktyce udaje się wdmuchnąć samym tłoczkiem nie więcej niż 1000 m . W przypadku mikrokabli siła ciągnąca tłoczka jest z reguły znacząco mniejsza niż siła tarcia tłoczka o ścianki rury, i dlatego mikrokable wdmuchuje się tylko metodą strumieniową.

Jak widać z rozważań teoretycznych, na długość wdmuchniętego kabla ma wpływ wiele czynników. Po dokładniejszej analizie okaże się, że większość tych czynników ma swoje odbicie w zaleceniach, o których pisałem we wcześniejszych artykułach.

Jakość ułożenia kanalizacji i przebieg trasy ma wpływ na siłę tarcia kabla o ścianki rury. Czym bardziej kręta i pofalowana trasa, tym większe tarcie i co za tym idzie – mniejszy zasięg wdmuchiwania. Materiał płaszcz kabla i wewnętrznej warstwy rury osłonowej też ma wpływ na siłę tarcia. Zwiększają ją także wszelkie zanieczyszczenia. Niedokładność geometryczna rury (owalizacja) zwiększa opory przy metodzie tłoczkowej, powoduje także zaburzenia przepływu powietrza przy metodzie strumieniowej. W obu przypadkach zmniejsza zasięg wdmuchiwania. Duże znaczenie ma także jakość wdmuchującego powietrza. Brak chłodnicy powietrza w kompresorze powoduje, że gorące powietrze uplastycznia materiał kabla i rury osłonowej, powodując bardzo duży wzrost siły tarcia. W przypadku wdmuchiwania mikrokabli i stosowania kompresorów o ciśnieniu 15 bar , brak chłodnicy praktycznie uniemożliwia wdmuchiwanie. Nieosuszone powietrze także skraca dystans wdmuchiwania, a dodatkowo przy temperaturach bliskich zeru powoduje oblodzenie silników pneumatycznych, uniemożliwiając ich pracę. Wszelkie tarcie możemy zmniejszyć, stosując odpowiednie płyny poślizgowe. ■