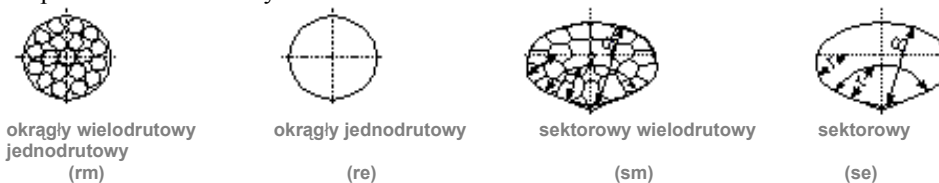


Paweł KIELKOWSKI

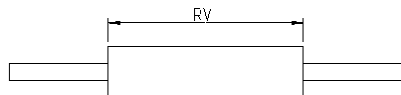
ŁĄCZENIE KABLI W ASPEKCIE POŁĄCZEŃ MECHANICZNYCH ŻYŁ KABLI

Rozmaitość systemów połączeń kabli elektroenergetycznych w postaci połączeń prasowanych i śrubowych, różne techniki rozwiązujące sposób połączenia prasowanego czy też śrubowego powodują, że bardzo często ostatni łańcuch wykonywania połączenia, czyli kadra techniczna wykonawstwa sieci i monter nie do końca są świadomi, że połączenia kabla to złożony system, gdzie jego każda część (związana z rodzajem użytego materiału, jego twardością, budową czy też wymiarami) w postaci kabla, złączki, końcówki i narzędzia z matrycą prasującą ma swoje ważne zadanie i musi wzajemnie sobie odpowiadać, gdyż celem nadrzędnym jest stabilność połączenia i jego długoletnia praca, mająca wpływ na kabel i osprzęt łączący. Świadomość ta bardzo ważna często umyka uwadze ze względu na znikome postrzeganie problemu oraz wiedzę w tym zakresie i powoduje błędy montażowe w tym obszarze, jakże ważnym dla połączeń sieciowych.

Stosowane obecnie w żyłach kabli metale to najczęściej aluminium oraz miedź, będące produkowane z materiałów o stabilnych parametrach jeżeli chodzi o skład materiałowy, jego twardość oraz budowę samej żyły i raczej nie spotyka się odchyłek od parametrów normowych.

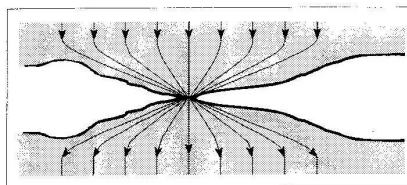


Tego samego niestety nie można powiedzieć o złączkach i końcówkach stosowanych do kabli, gdzie ich skład materiałowy, twardość, nie wspominając o wymiarach są bardzo różne (tania produkcja) a co ma zasadniczy wpływ na tzw. współczynnik dobroci „k” połączenia kablowego jako wyznacznika stosunku rezystancji zrealizowanego połączenia R_V do rezystancji odcinka kabla R_{ref} o tej samej długości.



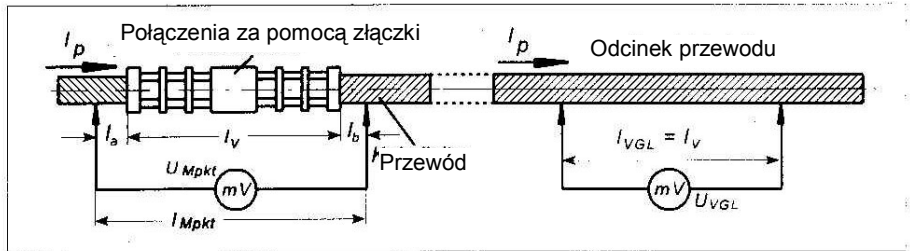
$$R_V = f(R_M; R_K)$$

R_M – rezystancja materiału,
 R_K – rezystancja styku



Połączenie(styk) pomiędzy 2 materiałami odzwierciedlające przepływ prądu

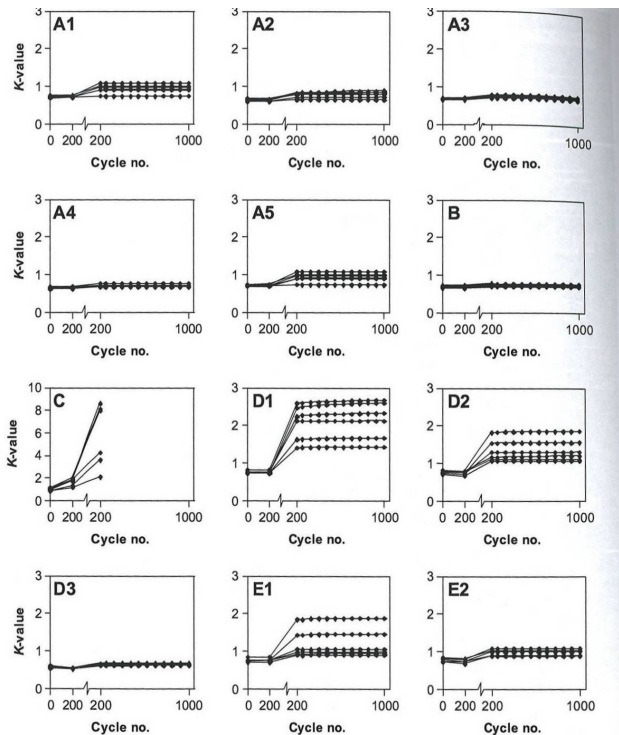
Schematyczne przedstawienie połączenia kablowego można wyrazić następująco,



zaś współczynnik k wyrazimy wówczas odpowiednim wzorem:

$$k_U = \frac{R_V}{R_{ref}} = \frac{R_M - (R_a + R_b)}{R_{ref}} = \frac{U_M - (U_a + U_b)}{U_{ref}}$$

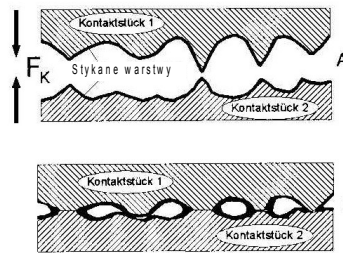
Współczynnik „ k ” większy od 1 oznacza, że połączenie dwóch kabli ma większą rezystancję aniżeli sama żyła, co może doprowadzić w konsekwencji do przegrzania połączenia kablowego i awarii sieci. Poniżej przedstawiono wykresy zależności współczynnika „ k ” przy cyklach zwarcia przeprowadzonych przy badaniach połączeń dla różnych odchyłek od wymiarów, czystości materiałowej i twardości złączek, gdzie widać wyraźnie, że ten współczynnik przy nieodpowiednim materiale bardzo szybko przekracza wartość jedności (badania mają odzwierciedlać około 10 lat pracy połączenia).



Pomiary testowe współczynnika „ k ” wg normy IEC61238-1 złączek o różnych parametrach . Dla połączenia C zaprzestano pomiarów po 200cyklach (za wysokie wartości współczynnika)

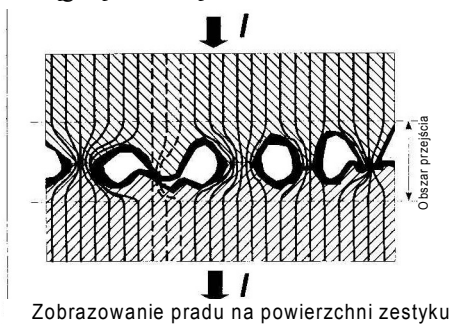
Jak widać, własności oraz wymiary użytych materiałów do połączeń mają zasadnicze znaczenie dla jakości wykonywanego połączenia, gdyż własności te mają wpływ na to, jak będzie temperaturowo (to jest bowiem wynikiem współczynnika) zachowywało się nam połączenie.

Patrząc na następny aspekt połączenia jaki jest sam kontakt pomiędzy żyłą kabla a użytą złączką, musimy rozpatrzyć, w jaki sposób zostało ono wykonane i co ma wpływ na to połączenie. Bezpośredni wpływ na rezystancję przejścia ma siła dociśnięcia do siebie dwóch materiałów.

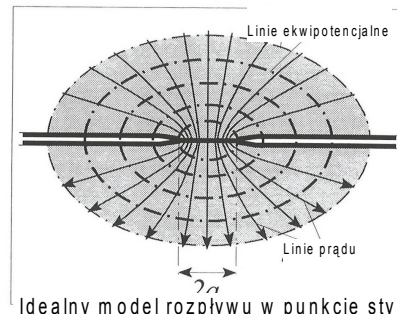


Zbliżony obraz przed i po zaprasowaniu

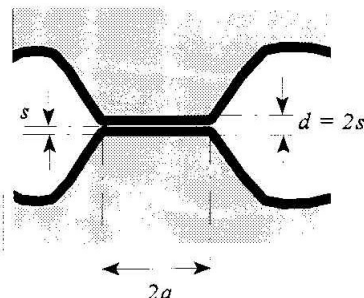
Wziąwszy to pod uwagę, nie możemy być obojętni na taki aspekt sprawy jak niesprawne narzędzie czy też narzędzie o nieodpowiedniej sile zaprasowywania do danego przekroju, które to przekłada się nam później na przepływ prądu. Jednakże za duża siła zaprasowania jest niewskazana na granice plastyczności i elastyczności materiału, gdyż może to spowodować pęknięcie w materiale lub jego za duże rozciągnięcie w złączce.



Zobrazowanie prądu na powierzchni zestyku



Idealny model rozplywu w punkcie styku

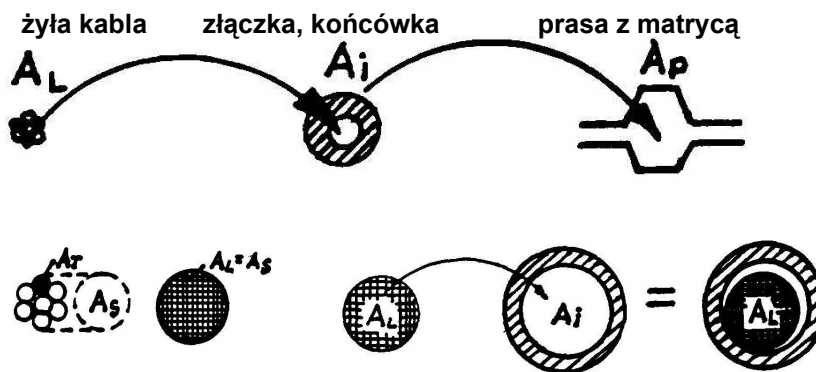


Pojedynczy kontakt z płaszczyzną styk owa złożoną z 2 łączonych warstw

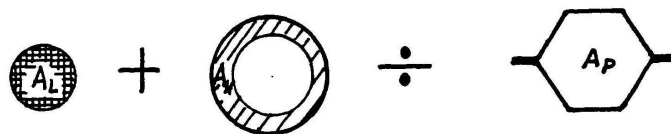
Dlatego połączenie rozpatrujemy w kilku płaszczyznach, bardzo istotnych dla samego połączenia. Płaszczyzna połączenia mechanicznego po zaprasowaniu, która stanowi podstawę również do płaszczyzny samego styku elektrycznego. Obok płaszczyzny mechanicznej mamy płaszczyznę połączenia pozornego pomiędzy zaprasowaniami, jako obszar, który przejmuje odkształcenia plastyczne żyły, nie zmieniając samego styku elektrycznego. Styk elektryczny ma na poziomie nanometrów kilka warstw, które są dla samej istoty styku bardzo ważne; są nimi warstwa izolacyjna zbudowana z tlenków materiału żyły, warstwa półprzewodząca, między tlenkami a rzeczywistym połączeniem materiału oraz warstwy przejściowe, które tworzą się przy krawędziach zaprasowania.

Ważnym aspektem, przy połączeniach prasowanych, jest również wypełnienie złączki, bezpośrednio mające wpływ na powierzchnię zestyku i ewentualne utlenianie materiałów.

Jak wiadomo, trzy istotne elementy systemu prasowanego muszą być dopasowane



Z tych trzech elementów wynikają rozmiary, które mają wpływ na wypełnienie złączki po zaprasowaniu. Sam współczynnik wypełnienia żyły kabla do złączki (liczony jako stosunek pola powierzchni) powinien wynosić około 0,9 zaś po zaprasowaniu powyżej 1 (A_p - obwód matrycy).



$$f_p = \frac{A_H + \sum A_T}{A_p} \geq 1$$

Poniżej przedstawiono różne sposoby połączeń żył kabli stosowane na świecie

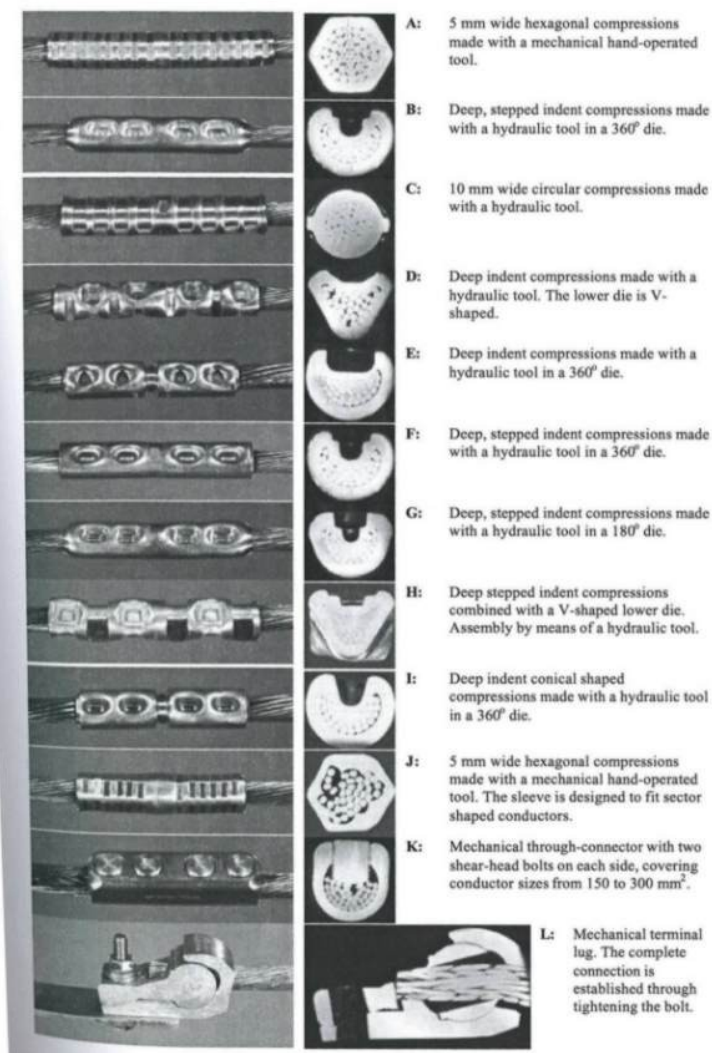
Spawane (kable górnicze, specjalne)

Prasowane (kable elektroenergetyczne, górnicze, morskie)

Wtykowe (sześciokąt, sześciokąt sektorowy, wgniot, W-format, owal)

Śrubowe (kable elektroenergetyczne, górnicze, morskie)

(bezpośredniego kontaktu, kontakt łączony)



Powyżej zdjęcia różnych technik łączenia kabli

Krótki opis poszczególnych technik łączenia poniżej.

- sześciokąt:** przez prasowanie redukcja średnicy zewnętrznej na całym obwodzie złączki i sprasownie jej z żyłą w formie sześciokąta,
- z wgniotem:** przez przeprasowanie materiału z wewnątrz do wewnątrz na pewnym obszarze wprasowanie części materiału złączki do żyły wgniotem,
- prasowanie na okrągło:** przeznaczone tylko do utwardzonych materiałów żył, doprasowanie złączki po obwodzie do żyły.
- śrubowe:** docisk za pomocą stałej siły śruby do wewnętrznej średnicy złączki, często od środka wyfrezowanej dla zwiększenia styku mechanicznego i elektrycznego.

Wszystkie przedstawione metody (każda z nich jest ciągle gdzieś używana) są normatywnie określone jeżeli chodzi o wymiary złączek, kabli, narzędzi z odpowiednią siłą i matrycami i nie wolno, jak się często u nas zdarza, prasować praską z wgniotem złączkę zaprojektowaną do prasowania sześciokątem, czy też złączkę na wgniot praską i matryca do sześciokąta, pierwsze spowoduje pęknięcie złączki i za małe połączenie stykowe a drugie niedoprasowanie.

W Polsce wg zgodności z normami systemem połączeń może być wiele opisywanych wyżej technik, jednakże przyjęto jako poprawne z normami prasowanie na sześciokąt (zgodnie z normą DIN) oraz technikę śrubową, które mają odzwierciedlenie w złączkach, narzędziach i kablu. Wszelkie formy pośrednie matrycy typu sześciokąt z wgniotem, wgniot punktowy (nie wzdłużny) z resztą matrycy na okrągło, to sposób połączeń doprowadzający przy normalnym obciążeniu kabla po jakimś czasie do przegrzania połączenia i awarii.

Połączenia kabli, tak technika prasowana jak i śrubowa są badane na podstawie aktualnej normy IEC 61238-1 oraz wcześniej wg PN-90/E-06401/02 (wzorowanej na VDE0220T1-T3).

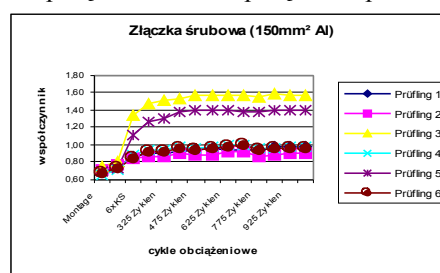
Zakres badań połączeń kablowych to badania mechaniczne w zakresie wytrzymałości na rozciąganie, które to badania zależą od materiału żyły kabla i jego przekroju i wynoszą odpowiednio przeliczone wg metody poniżej

40N x mm² dla przewodów Al

60N x mm² dla przewodów Cu

Po połączeniu kabla z złączką, test, który trwa 1 minutę, nie może spowodować wyciągnięcia żyły z złączki. Ciekawostką jest, że połączenia śrubowe wytrzymują znacznie większą siłę działającą na rozciąganie połączenia aniżeli połączenia prasowane (przy zachowaniu oczywiście normatywów)

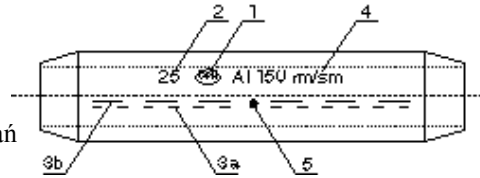
Zakres badań elektrycznych to tysiąc zmiennych cykli obciążeniowych, które obrazują pracę w sieci taką jak zwarcia i przeciążenia, przy tych cyklach temperatura nie może przekroczyć 100 stopni, zaś co 200 cykli jest wykonywane zwarcie (5-sek.) i sprawdzane są parametry złączki takie jak właśnie dobroć połączenia, ewentualne odkształcenia. Pierwsze pomiary są wykonywane po 200 cyklach a następnie co 75 cykli obciążeniowych.



Końcówki i złączki kablowe powinny być dostarczane z nadrukowanymi lub wyciśniętymi informacjami:

Przykład dla 150 ALU-H-T firmy GPH:

- 1) Znak firmowy
- 2) Oznaczenie matrycy (wg DIN)
- 3) Oznaczenie miejsca i ilości zaprasowań
 - 3a - wąskich - mechanicznych
 - 3b - szerokich - hydraulicznych
- 4) Oznaczenie typu żyły kabla (materiał, przekrój i profil)
- 5) Punkt - oznacza przegrodę

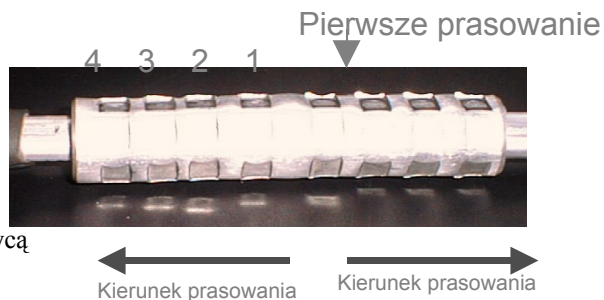


W przypadku końcówki na przyłożeniu dodatkowo jest oznakowana średnica otworu, a w przypadku złączek redukcyjnych są one oznaczane w zależności od wykonania danej redukcji (z każdej strony)

Końcówki i złączki produkowane wg Normy DIN „nie znają“ innego rodzaju prasowania jak tylko matrycą o kształcie sześciokątnym o czym mówi norma DIN 48083, zawierająca również zakres szerokości prasowania:

- szerokość prasowania 5 mm
- szerokość prasowania 7 mm
- szerokość prasowania 14 mm
- szerokość prasowania 17 mm

Przykład prasowania złączki matrycą sześciokątną o szerokości 7 mm

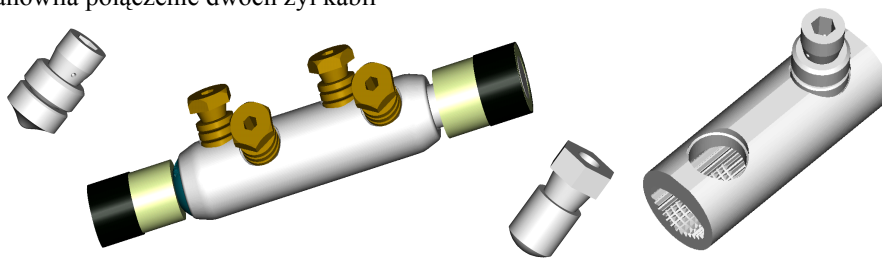


Wskazania dla poprawienia jakości wykonywania połączeń prasowanych

- właściwy wymiar sześciokąta po zaprasowaniu
- wydłużenie tulejki jest pośrednią miarą dla jakości połączenia prasowanego (im dłuższa tym lepiej)
- ważne są wyciśnięte strefy luzowe pomiędzy miejscami prasowania - charakterystyczne wybrzuszenie przewodu (skoszykowanie przewodu)
- w małych odległościach pomiędzy miejscami prasowań lub podwójnych prasowań niszczyliśmy efekt krawędziowy, co powoduje wzrost oporności z tytułu zwiększenia warstwy izolacyjnej pomiędzy 2 materiałami
- używanie jako dodatku do prasowania neutralnego smaru jest mocno niezalecane
- przewód przed połączeniem wyczyścić szczotką

Jak w przypadku złączek prasowanych były potrzebne trzy pasujące do siebie elementy (kabel, złączka/końcówka, prasa z matrycą), tak technika śrubowa połączeń kablowych, wprowadzona końcem lat osiemdziesiątych eliminowała jeden z elementów systemu konieczny do dopasowania, gdyż elementem do połączenia kabla stała się już tylko złączka/końcówka śrubowa, będąca uniwersalnym połączeniem dla różnych przekrojów, różnych materiałów kabla i kabli o różnej budowie.







Ideą połączeń śrubowych był korpus z odpowiednio ukształtowanym wnętrzem dla zwiększenia wytrzymałości elektrycznej i mechanicznej oraz śruba o kilku poziomach zerwania, która po dokręceniu i zerwaniu główki blokowała kabel w korpusie i stanowiła połączenie dwóch żył kabli



Technika śrubowa umożliwiła stworzenie brakującego elementu do zestawów osprzętu kablowego w postaci muf i głowic, który w tym momencie zawierał komplet materiałów o szerokim zakresie stosowania. Złączki śrubowe produkowane z przegrodą lub bez, cynowaniem galwanicznym dla połączenia Al z Cu, z śrubami z większą ilością miejsc zrywających oraz z koncentrycznym otworem kablowym z wytłoczonymi specjalnymi rylcami pozwoliły na zredukowanie błędów montażowych oraz na zminimalizowanie ilości osprzętu koniecznego do napraw i renowacji sieci kablowych. Korzyści jakie użytkownicy osiągnęli z techniki śrubowej to:

- wielozadaniowe możliwości jednej złączki
- prosty, szybki montaż
- dopasowanie docisku kontaktowego z przewodem
- mała możliwość popełnienia różnorodnych błędów montażowych
- niepotrzebna żadna kosztowna otoczka narzędziowa
- możliwość rozporządzenia jako system (z odpowiednim osprzętem dodatkowym)
- obniżenie kosztów magazynowych przy dużej ilości kabli w sieci, a co za tym idzie osprzętu kablowego na magazynie

Poniższe zestawienie możliwości techniki śrubowej z palety firmy GPH dla kabli o zakresie od 16-630 mm² obrazuje, jakie możliwości daje technika śrubowa.

	Al [mm ²]			Cu [mm ²]	
	rm(v)	re		rm(v)	
M16-95	16-95	16-95		10-70	
M50-150	50-150	50-150		35-120	
M95-240	95-240	95-240		95-185	
MRL95-240	95-240	95-240		95-185	
M120-300	120-300	120-300		120-185	
M185-400	185-400	185-400		185-300	
M400-630	400-630	400-630		400-500	

Porównując do techniki prasowanej, jedna złączka śrubowa może zastąpić całą gamę jak złączek prasowanych (redukcji, aluminiowych, miedzianych)

Połączywszy możliwości techniki śrubowej z mufami lub głowicami kablowymi do niskich czy średnich napięć otrzymamy nieograniczone prawie możliwości do połączeń kabli. Trudne do połączenia lub zakończenia kabli kiedyś przekroje 2500mm² lub też 4800mm² nie stwarzają dziś żadnego problemu dzięki technologii śrubowej.