

Autor: mgr inż. Leszek Resner

Promotor: dr hab. inż. Sandra Paszkiewicz, prof. ZUT

Tytuł:

**OPRACOWANIE HYDROFOBOWEGO UKŁADU IZOLUJĄCEGO
DO PODMORSKICH KABLI ELEKTROENERGETYCZNYCH
ŚREDNICH I WYSOKICH NAPIĘĆ, NA BAZIE
TERMOPLASTYCZNYCH KOPOLIMERÓW BLOKOWYCH**

Streszczenie

Prace badawcze prowadzone w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej, dotyczyły opracowania i wdrożenia do produkcji nowej konstrukcji kabli energetycznych, przeznaczonych na średnie i wysokie napięcia, z układem izolującym rdzeń kabla przed wnikaniem wody. Założeniem pracy, było znalezienie takiego materiału lub układu materiałów, który chroniłby izolację XLPE kabla przed wnikaniem do niej wody, a tym samym ograniczającym niekorzystne zjawisko powstawania drzewienia wodnego. Popularnie stosowane do tej pory rozwiązania w zakresie radialnej bariery wodnej, jak np. wytłaczana warstwa ołowiu lub taśma aluminiowa łączona na tzw. zakładkę, posiadają wiele wad i nie nadają się do niektórych konstrukcji kabli, np. kabli dynamicznych. Dlatego skoncentrowano się na znalezieniu materiałów z tworzyw polimerowych, i opracowaniu układu powłokowego, który łączył by w sobie wymagania mechaniczne, związane z ciągłym ruchem kabli podczas eksploatacji i jednocześnie ograniczał wnikanie wody do izolacji, zastępując częściowo stosowaną obecnie radialną barierę wodną. Jednocześnie spełniał by wymagania stawiane przez normy oraz wymagania względem konstrukcji tych kabli i nie wymagałby dużych nakładów inwestycyjnych w infrastrukturę i proces produkcyjny. W pracy obrano dwa kierunki potencjalnego rozwiązania, nazywane w dalszej części pracy modelem 1 i modelem 2.

Pierwszy model rozwiązania problemu, skupiał się na zbadaniu właściwości kopolimeru Kynar Flex na bazie PVDF, oraz jego kompozytów modyfikowanych nieorganicznymi dodatkami, nanorurkami haloizytowymi (HNT) oraz organicznie modyfikowanym bentonitem

(Cloisite C-20A). W tym modelu zakładano, że materiały na bazie fluoropolimerów mogą być lepsze, niż stosowany do tej pory jako powłoka zewnętrzna polietylen wysokiej gęstości (HDPE). Kopolimery na bazie PVDF charakteryzują się doskonałą stabilnością termiczną oraz wytrzymałością mechaniczną jak również niskim poziomem nasiąkliwości wody. Przy czym proces ich wytłaczania jest podobny do HDPE. W celu porównania, zbadano wpływ tych samych dodatków również dla materiału HDPE.

W modelu drugim, skoncentrowano się na znalezieniu rozwiązania z zastosowaniem układu powłok, tzn. zewnętrznej o niskiej przepuszczalności wody i drugiej o wysokiej absorpcji wody. Układ taki pozwolił by na ograniczenie przenikania wody do izolacji kabla, poprzez absorbowanie małych ilości wody przepuszczonych przez warstwę o niskiej dyfuzji. Do badań wybrano termoplastyczny poliuretan (TPU), który był już testowany przez innych producentów. W tej pracy skoncentrowano się na jego modyfikacjach w kierunku zwiększenia efektu absorpcji wody, modyfikując jego strukturę dodatkami krzemionki w postaci struktur mikro i nano oraz zeolitami typu A (proszek o nazwie handlowej L-powder). Do badań wybrano TPU firmy BASF o handlowej nazwie Elastolan, który jest TPU na bazie eterów, charakteryzującym się wysoką odpornością na hydrolizę.

Badania przeprowadzono na 22 kompozycjach, z dodatkiem modyfikatorów odpowiednio 2,5%, 5,0% i 7,0% wag.. W każdym z przypadków porównywano je do referencyjnych, niemodyfikowanych materiałów Kynar Flex, HDPE i Elastollan, co daje w sumie 25 próbek, w 3 różnych seriach. Wykonano również i zbadano układy hybrydowe, czyli mieszając z sobą dwa różne dodatki, w celu oceny efektu oddziaływania ich względem siebie i na właściwości materiału bazowego.

W związku z wdrożeniowym charakterem pracy, badania skupiały się na sprawdzeniu właściwości funkcjonalnych, stawianych powłokom kablowym: właściwości przetwórcze, mechaniczne, termiczne, zbadano również strukturę mieszanin, ich wpływ na właściwości elektryczne oraz kwestie absorpcji wody.

Otrzymane wyniki pozwoliły na wytypowanie najbardziej rokującego rozwiązania i przeprowadzenie procesu wdrożenia, poprzez wykonanie próbki kabla w warunkach przemysłowych.

03. 10. 2024 ²
Zdzisław Rosny

Author: MEng Leszek Resner

Promoter: PhD DSc Sandra Paszkiewicz, associate professor

Title:

**DEVELOPMENT OF A HYDROPHOBIC INSULATING
SYSTEM FOR MEDIUM AND HIGH VOLTAGE SUBMARINE
POWER CABLES, BASED ON THERMOPLASTIC BLOCK
COPOLYMERS**

Summary

The research work carried out as part of this doctoral dissertation, concerned the development and implementation into production of a new design of medium and high-voltage power cables, with a system insulating the cable core against water ingress. The aim of the work was to find a material or system of materials that would protect the cable's XLPE insulation against water ingress, and thus limit the unfavourable phenomenon of water treeing. So far, popularly used solutions in the field of radial water barrier, such as extruded lead layer or aluminum tape connected with the so-called overlap, have many drawbacks and are not suitable for some cable constructions, e.g. dynamic cables. Therefore, the focus was on finding plastic materials and developing an outer sheath or coating system, that would combine the mechanical requirements associated with the constant movement of cables during operation and at the same time limit the ingress of water into the insulation, replacing commonly used radial water barrier. At the same time, it would meet the requirements set by the standards and requirements for the construction of these cables and would not require large investments in infrastructure and the production process. The work takes two directions of potential solution, hereinafter referred to as model 1 and model 2.

The first model for solving the problem, focused on examining the properties of the Kynar Flex copolymer based on PVDF and its composites modified with inorganic additives of halloysite nanotubes (HNT) and organically modified bentonite (Cloisite C-20A). In this model,

03.10.2024

Resner Leszek

it was assumed, that materials based on fluoropolymers could be better than the high-density polyethylene (HDPE), used so far as an external cable sheath. PVDF-based copolymers are characterized by excellent thermal stability and mechanical strength, as well as low water absorption, and their extrusion process is similar to HDPE. Therefore, the test results and the impact of the same additives on HDPE material properties were tested.

In the second model, the focus was on finding a solution using a coating system, i.e. an outer one layer with low water permeability and a second one with high water absorption. Such a system would limit the penetration of water into the cable insulation by absorbing trace amounts of water passed through the low-diffusion layer. Thermoplastic polyurethane (TPU) was selected for testing, which had already been tested by other manufacturers. This work focused on its modifications to increase the water absorption effect by modifying its structure with silica additions in the form of micro and nano structures and A-type zeolites (brand name L-powder). TPU from BASF with the trade name Elastollan, was selected for testing. It is an ether-based TPU characterized by high resistance to hydrolysis.

The tests were carried out on 22 samples with additives in 3 different concentrations, 2.5%, 5.0% and 7.0%, respectively. In each case, they were compared to reference, unmodified materials Kynar Flex, HDPE and Elastollan, which gives 25 samples in 3 different series. Hybrid compositions were also made and tested, i.e. mixing two different additives, in order to assess the effect of their interaction with each other and on the properties of the base material.

Due to the implementation nature of the work, the research focused on checking the functional properties of the cable coating: processing, mechanical, and thermal properties, the structure of the composites, their influence on electrical properties, and water absorption issues were also examined.

The obtained results allowed to select the most promising solution and carry out the implementation process, by making a cable sample in industrial conditions.