

Zdravko Pamić, dipl. ing. el.

zdravko.pamic@gmail.com

TIPSKA ISPITIVANJA SN, NN I SKS KABELA

SAŽETAK

U Hrvatskoj se za energetske kabele koriste slijedeće norme: HRN HD 620 S2:2010 za SN kabele, HRN HD 603 S1:2001/A3:2008 za NN kabele i HRN HD 626 S1:2001/A2:2007 za SKS kabele. Prema ovim normama predviđene su četiri vrste ispitivanja svih navedenih tipova kabela: rutinska ispitivanja, preuzimna ispitivanja, tipska ispitivanja te preporučena ispitivanja kabela nakon polaganja i ugradnje kabelskih završetaka, spojnica i ostalog pribora.

U ovom referatu obradit će se samo tipska ispitivanja za navedene tipove kabela koji se koriste u HEP ODS-u sa svim zahtjevima kojima se određuje kvaliteta proizvedenog i korištenog kabela te navesti norme prema kojima se ta ispitivanja provode.

Ključne riječi: tipska ispitivanja, SN kabele, NN kabele, SKS kabele

TYPE TESTS OF MV, LV AND ABC CABLES

SUMMARY

For energy cables the following standards are used in Croatia: HRN HD 620 S2:2010 for SN cables, HRN HD 603 S1:2001/A3:2008 for NN cables and HRN HD 626 S1:2001/A2:2007 for ABC cables. According to these standards, four types of testing, of all of the above mentioned cable types, are foreseen: routine tests, sample tests, type tests and recommended cable testing after laying and building in cable ends, connectors and other accessories.

In this paper only type tests will be carried out for these cable types which are used in HEP DSO with all the requirements that determine the quality of the cable manufactured and used and specify the standards under which these tests are made.

Key words: type tests, MV cables, LV cables, ABC cables

1. UVOD

Tipsko ispitivanje kabela je postupak pri kojem se ispituje i potvrđuje da ispitani reprezentativan uzorak kabela, uzet iz proizvodnje neke od konstrukcije istog tipa kabela, ispunjava sve zahtjeve propisane normom za taj tip kabela, neovisno koja konstrukcija tog tipa kabela se uzela za ispitivanje.

Tipska ispitivanja provode se za svaki tip kabela koji se upotrebljava u HEP ODS-u. Za ispitivanje može se koristiti više konstrukcija kabela no u konačnosti dobije se jedinstven tipski izvještaj koji pokriva sve konstrukcije kabela koje se mogu pojaviti za taj tip kabela.

Tipska ispitivanja se ne moraju ponavljati osim ako se ne promjeni pojedini element konstrukcije kabela ili neki od materijala koji mogu proizvesti promjenu radnih značajki kabela.

Razlikuju se električna i neelektrična tipska ispitivanja. U ovom referatu bit će navedena i opisana sva tipska ispitivanja koja su propisanim navedenim normama za kabele koji se koriste u HEP ODS-u.

2. ELEKTRIČNA TIPSKA ISPITIVANJA

2.1. Općenito

Električnim tipskim ispitivanjima provjeravaju se električne značajke pojedinog kabela, neovisno o kojoj konstrukciji kabela se radi, kao što su mjerenje specifičnog otpora izolacije, naponsko ispitivanje izolacije, mjerenje parcijalnih izboja te ispitivanje na savijanje na gotovom kabelu, mjerenje tanđ u ovisnosti o temperaturi, ispitivanje na cikličko zagrijavanje kabela te nakon toga mjerenje parcijalnih izboja, ispitivanje udarnim naponom, harmonizirano dugotrajno ispitivanje u trajanju 2 godine (što se daje u posebnom izvještaju) te površinski otpor vanjskog zaštitnog plašta, i druga navedena u nastavku.

2.1.1. Električna tipska ispitivanja SN kabela

Kod SN kabela provode se sljedeća tipska električna ispitivanja prema normi HRN HD 620 S2:2010 Part 10, za oba tipa SN kabela opisanih u Section B (tip kabela koji se koristi u HEP ODS-u: EAXeCWB 20,8/36 (41,5) kV) i Section C (tip kabela koji se koristi u HEP ODS-u: NA2XS(F)2Y 12/20 (24) kV) :

- mjerenje specifičnog otpora izolacije
- mjerenje parcijalnih izboja
- ispitivanje parcijalnih izboja nakon savijanja
- mjerenje tgδ na sobnoj i povećanoj temperaturi
- ispitivanje parcijalnih izboja nakon cikličkog zagrijavanja i hlađenja
- ispitivanje udarnim naponom
- ispitivanje izmjeničnim naponom
- harmonizirano dugotrajno ispitivanje (2 godine), poseban izvještaj
- ispitivanje debljine zaslona izolacije
- otpor zaslona vodiča i zaslon izolacije

2.1.1.1. Mjerenje specifičnog otpora izolacije

Specifični otpor izolacije mjeri se samo na SN kabelima tipa EAXeCWB 20,8/36 (42) kV, izrađenim prema normi HRN HD 620 S2:2010 Part 10, Section B, na uzorku izolacije uzete s proizvoljno odabrane konstrukcije SN kabela, kojom prilikom se mjeri prvo na sobnoj temperaturi (20 °C) te na najvećoj radnoj temperaturi kabela (90 °C), a vrijednosti ispitivanja moraju biti veće od:

- na 20 °C $\geq 10^{16} \Omega \cdot \text{cm}$
- na 90 °C $\geq 10^{14} \Omega \cdot \text{cm}$

2.1.1.2. Mjerenje parcijalnih izboja

Ovo ispitivanje provodi se naponom $2U_0$, neovisno koja konstrukcija i koje naponske razine SN kabela se ispituje i tom prilikom najveći izmjereni parcijalni izboji smiju biti ≤ 2 pC.

2.1.1.3. Mjerenje parcijalnih izboja nakon savijanja kabela

Ovo ispitivanje provodi se na način da se kabel savije na promjer $20 (d+D) \pm 5\%$, gdje je d promjer vodiča a D promjer kabela, te se ispituje naponom $2U_0$, neovisno koja konstrukcija i koje naponske razine SN kabela se ispituje. Tom prilikom najveći izmjereni parcijalni izboji smiju biti ≤ 2 pC.

2.1.1.4. Mjerenje tgδ u ovisnosti o temperaturi

Mjerenje tgδ obavlja se na uzorku izolacije kabela, uzete s proizvoljno odabrane konstrukcije SN kabela i proizvoljno odabrane naponske razine, kojom prilikom se prvo mjeri na sobnoj temperaturi (20°C) te na temperaturi kabela $95 - 100^\circ\text{C}$ i prilikom mjerenja vrijednosti moraju biti veće od:

- na $20^\circ\text{C} \leq 40 \cdot 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$
- na $90^\circ\text{C} \leq 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$

2.1.1.5. Mjerenje parcijalnih izboja nakon ispitivanja na cikličko zagrijavanje kabela

Ovo ispitivanje provodi se na način da se prvo uzorak kabela (vodič) zagrije na temperaturu 95 do 100°C te se grije na toj temperaturi 3 sata a potom hladi na sobnu temperaturu 3 sata i nakon takvog jednog ciklusa ispituje naponom $2U_0$, neovisno koja konstrukcija i kojeg naponskog nivoa SN kabela se ispituje, i tom prilikom najveći izmjereni parcijalni izboji smiju biti ≤ 2 pC. Ovakvi ciklusi ponavljaju se 20 puta.

2.1.1.6. Ispitivanje udarnim naponom

Ovo ispitivanje provodi se na način da se prvo uzorak kabela (vodič), uzet iz proizvoljno odabrane konstrukcije SN kabela i proizvoljno odabrane naponske razine, zagrije na temperaturu $95 - 100^\circ\text{C}$ te ispituje udarnim naponom, oblikom vala $1,2/50 \mu\text{s}$, tjemene vrijednosti 125 kV za $12/20 (36) \text{ kV}$ kabele odnosno 200 kV za $20,8/36 (42) \text{ kV}$ kabele ($10 (+)$ i $10 (-)$ impulsa) a tom prilikom ne smije doći do proboja.

2.1.1.7. Ispitivanje izmjeničnim naponom

Naponsko ispitivanje provodi se na uzorku kabela, uzetog s proizvoljno odabrane konstrukcije SN kabela i proizvoljno odabrane naponske razine, naponom $3U_0$ u trajanju 4 sata. Tijekom ispitivanja ne smije doći do proboja izolacije. Ovo ispitivanje nije obavezno za kabele tipa EAXeCWB $20,8/36 (42) \text{ kV}$.

2.1.1.8. Harmonizirano dugotrajno ispitivanje („Long duration test“)

Ovo ispitivanje provodi se 2 godine na 12 uzorka kabela, uzetih s proizvoljno odabrane konstrukcije SN kabela i proizvoljno odabrane naponske razine, i za njega se izrađuje poseban izvještaj.

Prije samog ispitivanja, uzorci se kondicioniraju u vodenoj kupki temperature $(55 \pm 5)^\circ\text{C}$ najmanje 500 sati. Nakon opisanog kondicioniranja, uzorci se izlažu starenju na način da se uzorci stavljaju u vodenu kupku na temperaturu $(40 \pm 5)^\circ\text{C}$ te ispituju na $3U_0 \text{ AC}$, 6 uzoraka u trajanju ≥ 8750 sati te 6 uzoraka u trajanju ≥ 17500 sati, te se nakon ovih ispitivanja vrši procjena stanja uzoraka: nakon oba razdoblja starenja uzorci se izrežu na po $6 \times 10 \text{ m}$ i na njih se montiraju kabelski završeci te se isti ispituju u koracima $1 \times U_0 \text{ AC}$ svakih 5 minuta do proboja izolacije.

Određivanje preostale dielektrične čvrstoće temelji se na nominalnoj vrijednosti Welbull-ove distribucije za svaki uzorak. Dozvoljeno je 6 uzoraka električnim poljem pri probouju $\geq 23 \text{ kV/mm}$, ≥ 4 uzorka s električnim poljem pri probouju $\geq 29 \text{ kV/mm}$ te ≥ 2 uzorka s električnim poljem pri probouju $\geq 35 \text{ kV/mm}$.

2.1.1.9. Ispitivanje debljine zaslona izolacije

Debljina zaslona izolacije definirana je najmanjom i najviše dozvoljenom vrijednostima i iznosi za 12/20 (24) kV kabele $\geq 0,3\text{mm}$ i $\leq 0,6\text{mm}$, a za 20,8/36 (42) kV kabele između 0,6mm i 1,2mm, s time da razlika između najveće izmjerene i najmanje izmjerene vrijednosti smije biti $\leq 0,4\text{mm}$. Kod 20,8/36 (42) kV kabela propisana je i ovalnost, kao razlika između najveće izmjerene i najmanje izmjerene vrijednosti na uzorku kabela, koja smije iznositi $\leq 1,0\text{mm}$, no kod ovih kabela ovo ispitivanje nije obavezno. Ukoliko se ovi zahtjevi ne bi ispunili, također postoji veća mogućnost za stvaranje treeinga u izolaciji.

Mjerenje debljine zaslona izolacije (Slika 1.) provodi se na uzorku kabela, uzetog s proizvoljno odabrane konstrukcije SN kabela i proizvoljno odabrane naponske razine, i to na 6 mjesta, a rezultati mjerenja su valjani ukoliko srednja vrijednost svih 6 mjerenja bude $\geq$ od normom propisane nazivne debljine, s time da najmanje izmjerena vrijednost na jednom mjestu mora biti $\geq$ od najmanje normom propisane vrijednosti debljine zaslona izolacije.



Slika 1. Ispitivanje debljine zaslona izolacije

2.1.1.10. Ispitivanje otpora zaslona vodiča i zaslona izolacije

Ispitivanje otpora zaslona vodiča i zaslona izolacije provodi se na način da se na odabranom uzorku kabela, uzetog s proizvoljno odabrane konstrukcije SN kabela i proizvoljno odabrane naponske razine, izradi epruveta koja se stavi na temperaturu $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ s time da nakon 7 dana izmjerene vrijednosti smiju biti $\leq 1000\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ izmjerene za zaslon vodiča i $\leq 500\text{ }\Omega\cdot\text{m}$ izmjerene za zaslon izolacije.

2.1.2. Električna tipska ispitivanja NN kabela

Kod NN kabela, izrađenim prema normi HRN HD 603 S2:2012 Part 5, Section G (tip kabela koji se koristi u HEP ODS-u: NA2XY-O), provode se slijedeća tipska električna ispitivanja:

- mjerenje specifičnog otpora izolacije
- ispitivanje izmjeničnim naponom
- ispitivanje površinskog otpora vanjskog zaštitnog plašta

2.1.2.1. Mjerenje specifičnog otpora izolacije

Specifični otpor izolacije mjeri se na NN kabelima na uzorku izolacije uzete s proizvoljno odabrane konstrukcije NN kabela kojom prilikom se mjeri na najvećoj radnoj temperaturi kabela (90 °C) i prilikom mjerenja vrijednosti moraju biti $\geq 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$.

2.1.1.2. Ispitivanje NN kabela izmjeničnim naponom

Na proizvoljno odabranoj konstrukciji NN kabela, duljine uzorka 10 – 15 m, ispituje se izmjeničnim naponom 1,8 kV u trajanju 4 sata i tom prilikom ne smije doći do proboja.

2.1.1.3. Ispitivanje površinskog otpora vanjskog zaštitnog plašta

Na proizvoljno odabranoj konstrukciji NN kabela ispituje se površinski otpor vanjskog zaštitnog plašta kabela koji mora biti $\geq 10^9 \Omega$.

2.1.3. Električna tipska ispitivanja SKS kabela

Kod SKS kabela, izrađenih prema normi HRN HD 626 S1:2001/A2:2007 Part 4, za oba tipa SKS kabela opisanih u Section 4E (tip kabela koji se koristi u HEP ODS-u: FR-N1XD4-AR) i Section 6E (tip kabela koji se koristi u HEP ODS-u: FR-N1XD9-AR), provode se sljedeća tipska ispitivanja:

- mjerenje specifičnog otpora izolacije
- ispitivanje izmjeničnim naponom
- ispitivanje udarnim naponom

2.1.3.1. Mjerenje specifičnog otpora izolacije

Specifični otpor izolacije mjeri se na uzorku izolacije SKS kabela uzete s proizvoljno odabrane konstrukcije SKS kabela, kojom prilikom se uzorak kabela duljine ≈ 10 m prije ispitivanja drži u vodi 2 sata na temperaturi 80 °C, te izmjerene vrijednosti moraju biti $\geq 1000 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}$.

2.1.3.2. Ispitivanje izmjeničnim naponom

Na proizvoljno odabranoj konstrukciji SKS kabela, duljine uzorka ≥ 20 m, koji se prethodno drži u vodi 24 sata na sobnoj temperaturi, ispituje se 30 minuta izmjeničnim naponom 10 kV i tom prilikom ne smije doći do proboja.

2.1.3.3. Ispitivanje udarnim naponom

Na proizvoljno odabranoj konstrukciji SKS kabela uzorak duljine ≈ 3 m ostavi se najprije 24 sata na sobnoj temperaturi. Potom se ispituje udarnim naponom tjemene vrijednosti 20 kV, s 5 pozitivnih i 5 negativnih impulsa i tom prilikom ne smije doći do proboja.

3. NEELEKTRIČNA TIPSKA ISPITIVANJA

3.1. Općenito

Neelektričnim tipskim ispitivanjima provjeravaju se na proizvoljno odabranim konstrukcijama kabela neelektrične značajke pojedinog tipa kabela, neovisno o kojoj konstrukciji kabela se radi, kao što su mehaničke značajke izolacije, upijanje vode, skupljanje izolacije, umreženje zaslona vodiča i zaslona izolacije, mehaničke značajke vanjskog zaštitnog plašta, termoplastičnost i termička stabilnost vanjskog zaštitnog plašta, lom u mediju vanjskog zaštitnog plašta, sadržaj čađe u vanjskom zaštitnom plaštu, starenje na kompletnom kabelu, tvrdoća vanjskog zaštitnog plašta kabela, ovalnost zaslona izolacije, nepravilnosti zaslona vodiča u izolaciju, mjerenje debljine zaslona izolacije, otpornost NN kabela na udar

pri niskoj temperaturi, starenje na kompletnom kabelu, otpornost na širenje plamena, otpornost na atmosferilije, mehanička naprezanja izolacije SKS kabela ...

3.1.1. Neelektrična tipska ispitivanja SN kabela

Kod SN kabela provode se slijeća neelektrična tipska ispitivanja prema normi HRN HD 620 S2:2010 Part 10, Section B i Section C:

- mehaničke značajke izolacije
- upijanje vode
- skupljanje izolacije
- umreženje zaslona vodiča i zaslona izolacije
- mehaničke značajke vanjskog zaštitnog plašta
- termoplastičnost vanjskog zaštitnog plašta
- lom u mediju (SRC) vanjskog zaštitnog plašta
- sadržaj čađe u vanjskom zaštitnom plaštu
- tvrdoća vanjskog zaštitnog plašta
- starenje na kompletnom kabelu
- ovalnost zaslona izolacije
- nepravilnosti zaslona vodiča u izolaciju
- mjerenje debljine zaslona izolacije

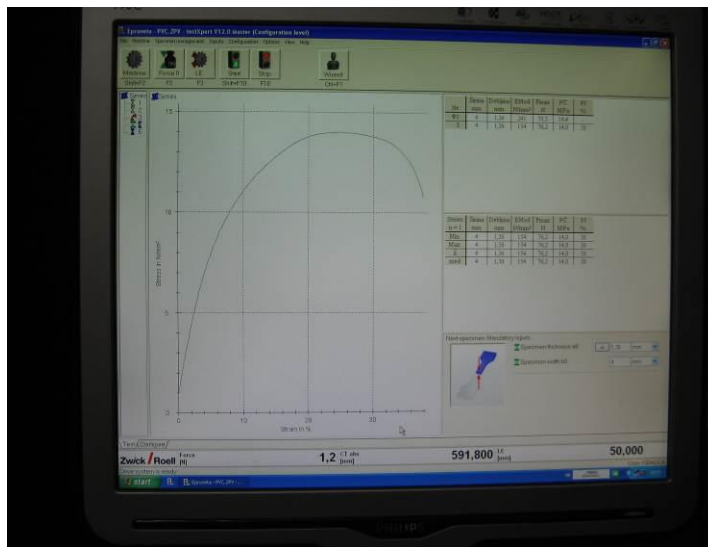
3.1.1.1. Ispitivanje mehaničkih značajki izolacije

Prvo se ispituju mehaničke značajke izolacije prije starenja (Slika 2.), koje za tip izolacije DIX8 smiju iznositi:

- prekidna čvrstoća $\geq 12,5 \text{ N/mm}^2$
- prekidno istezanje $\geq 200 \%$

Zatim se ispitni uzorak stavi na starenje u zračnu sušnicu 168 sati na temperaturu 135°C te se uzorak ponovno ispita i tada su dozvoljene slijedeće promjene na uzorcima:

- prekidne čvrstoće $\pm 25 \%$
- prekidnog istezanja $\pm 25 \%$



Slika 2. Ispitivanje prekidne čvrstoće i istezanja

3.1.1.2. Ispitivanje upijanja vode izolacije

Upijanje vode (nije obvezno ali se preporuča) izvodi se na uzorku izolacije kabela koji se ostavi 14 dana na temperaturi $85 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ nakon čega se dozvoljava upijanje vode $\leq 1 \text{ mg/cm}^2$.

3.1.1.3. Ispitivanje skupljanja izolacije

Skupljanje izolacije izvodi se na uzorku izolacije kabela duljine 300 mm koji se stavi 6 sati na temperaturu $130 \text{ }^{\circ}\text{C}$ i dozvoljava se skupljanje $\leq 4 \text{ } \%$.

3.1.1.4. Umreženje zaslona vodiča i zaslona izolacije

Na odabranom uzorku SN kabela provjerava se umreženje zaslona vodiča i zaslona izolacije na način da se uzorci stave na temperaturu $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ u trajanju 15 minuta, pod naprežanjem od $0,1 \text{ Mpa}$, i nakon ispitivanja ne smije doći do prekida uzoraka.

3.1.1.5. Mehaničke značajke vanjskog zaštitnog plašta

Prvo se ispitaju mehaničke značajke vanjskog zaštitnog plašta kabela prije starenja (Slika 2.) koje smiju iznositi:

- prekidna čvrstoća $\geq 18 \text{ N/mm}^2$
- prekidno istezanje $\geq 300 \text{ } \%$

Zatim se ispitni uzorak stavi na starenje u zračnu sušnicu 14 dana na temperaturu $110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ te se uzorak ponovno ispita i tada su dozvoljene slijedeće promjene na uzorcima:

- prekidnog istezanja $\geq 300 \text{ } \%$

3.1.1.6. Termoplastičnost vanjskog zaštitnog plašta

Termoplastičnost vanjskog zaštitnog plašta izvodi se na uzorku plašta kabela duljine 300 mm koji se stavi 6 sati na temperaturu $115 \text{ }^{\circ}\text{C}$ i dozvoljava se dubina utiskivanja u plaštu $\leq 30 \text{ } \%$.

3.1.1.7. Lom u mediju (SRC) vanjskog zaštitnog plašta

Ispitivanje otpornosti vanjskog zaštitnog plašta, opisano u normi HRN EN 60811-406, gdje se uzorci plašta kabela izrežu u pločice posebnih dimenzija, pojedine i zarežu, sve zajedno podvrgne se mehaničkom naprezanju i postavi u posudu s posebnom tekućinom te se nakon 1.000 sati isti uzorci pregledaju i promatra se da li je na kojem od njih došlo do napuknuća: ukoliko nije došlo do napuknuća ni na jednom uzorku, ispitivanje je zadovoljavajuće.

3.1.1.8. Sadržaj čađe u vanjskom zaštitnom plaštu

Po posebnoj metodi ispitivanja, opisanoj u HRN EN 60811-605, određuje se sadržaj čađe u vanjsko zaštitnom plaštu kabela i taj postotak ne smije biti manji od $2,5 \pm 0,5 \%$.

3.1.1.9. Tvrdća vanjskog zaštitnog plašta

Po posebnoj metodi ispitivanja, opisano u normi HRN HD 605 u točki 2.2.1., određuje se tvrdoća vanjskog zaštitnog plašta kabela koja mora biti ≥ 55 shore D.

3.1.1.10. Starenje na kompletnom kabelu

Starenje kompletnog kabela izvodi se u zračnoj sušnici u trajanju 168 sat na 100°C te se nakon takvog tretmana uzoraka ispituju:

- na izolaciji:

- prekidna čvrstoća, promjena $\pm 25 \%$
- prekidno istezanje, promjena $\pm 25 \%$

- na zaštitnom plaštu kabela:

- prekidno istezanje $\geq 300 \%$

3.1.1.11. Uzdužna vodonepropusnost zaslona kabela

Ovo ispitivanje provodi se na uzorku kabela uzetog s proizvoljno odabrane konstrukcije SN kabela i proizvoljno odabrane naponske razine, i za njega se izrađuje poseban izvještaj.

Uzorak kabela duljine 3 m postavlja se u posebnu aparaturu u kojoj je cijev duljine 1 m u koju se stavi voda. Prethodno se uzorak kabela podvrgne savijanju prema zahtjevima u normi HRN HD 605 (opisano u točki 2.4.9.3.f) a potom se sa sredine uzorka skine vanjski zaštitni plašt kabela u obliku prstena (kako bi zaslon kabela došao u dodir s vodenim stupcem). Tako pripremljen uzorak kabela se podvrgne ciklusima po 8 sati grijanja i hlađenja: grijanje traje 5 sati na $95 - 100^\circ\text{C}$ a potom hlađenje 3 sata na sobnoj temperaturi.

Nakon 126 ciklusa grijanja i hlađenja ne smije doći do prodora vode na krajevima kabela.

3.1.1.12. Samo kod SN kabela napona 20,8/36 (42) kV, izrađenih prema normi HEN HD 620 S2, postoje još 3 neelektrična ispitivanja i to su:

3.1.1.12.1. Ovalnost zaslona izolacije

Nakon ispitivanja debljina zaslona izolacije određuje se i ovalnost koja je definirana kao razlika između najvećeg i najmanje izmjerenog promjera preko zaslona izolacije i po navedenoj normi to mora biti $\leq 1,0$ mm.

3.1.1.12.2. Nepravilnosti zaslona vodiča u izolaciju

Prema navedenoj normi, dozvoljava se da se kod ispitivanja pojave nepravilnosti zaslona vodiča u izolaciji $\leq 0,08$ mm, a dozvoljeno je sporadično i $\leq 0,2$ mm.

3.1.1.12.3. Mjerenje debljine zaslona izolacije

Izmjerene vrijednosti debljina zaslona izolacije dozvoljene su $\geq 0,4$ mm.

3.1.2. Neelektrična tipska ispitivanja NN kabela

Kod NN kabela, izrađenih prema normi HRN HD 603 S2:2012 Part 5, Section G, provode se sljedeća tipska neelektrična ispitivanja:

- mehaničke značajke izolacije
- upijanje vode
- skupljanje izolacije
- umreženje izolacije
- mehaničke značajke vanjskog zaštitnog plašta
- termoplastičnost vanjskog zaštitnog plašta
- termička stabilnost vanjskog zaštitnog plašta
- otpornost vanjskog zaštitnog plašta na niske temperature
- gubitak mase vanjskog zaštitnog plašta nakon starenja
- starenje na kompletnom kabelu

3.1.2.1. Mehaničke značajke izolacije

Prvo se ispituju mehaničke značajke izolacije prije starenja (Slika 2.), koje za tip izolacije DIX3 smiju iznositi:

- prekidna čvrstoća $\geq 12,5$ N/mm²
- prekidno istezanje ≥ 200 %

Zatim se ispitni uzorak stavi na starenje u zračnu sušnicu 168 sati na temperaturu 135 °C te se uzorak ponovno ispita i tada su dozvoljene slijedeće promjene na uzorcima:

- prekidne čvrstoće ± 25 %
- prekidnog istezanja ± 25 %

3.1.2.2. Ispitivanje upijanja vode izolacije

Upijanje vode izvodi se na uzorku izolacije kabela koji se ostavi 14 dana u zračnu sušnicu, na temperaturu 85 ± 2 °C, nakon čega se dozvoljava upijanje vode ≤ 1 mg/cm².

3.1.2.3. Ispitivanje skupljanja izolacije

Skupljanje izolacije izvodi se na uzorku izolacije kabela duljine 300 mm koji se stavi 1 sat na temperaturu 130 °C i dozvoljava se skupljanje ≤ 4 %.

3.1.2.4. Umreženje izolacije

Izreže se uzorak izolacije koji se optereti utegom 0,2 Mpa i stavi na temperaturu 200 °C u trajanju 15 minuta. Potom se ispita istezanje izolacije koje smije biti ≤ 175 %. Zatim se s istog uzorka skine uteg kojim je uzorak bio opterećen i stavi ponovno na temperaturu 200 °C u trajanju 15 minuta te se nakon 5 minuta držanja uzorka na sobnoj temperaturi ispituje istezanje koje smije imati promjenu ≤ 15 %.

3.1.2.5. Mehaničke značajke vanjskog zaštitnog plašta

Prvo se ispituju mehaničke značajke vanjskog zaštitnog plašta kabela (tip DMV 6) prije starenja (Slika 2.) koje smiju iznositi:

- prekidna čvrstoća $\geq 12,5 \text{ N/mm}^2$
- prekidno istezanje $\geq 150 \%$

Zatim se ispitni uzorak stavi na starenje u sušnicu 7 dana na temperaturu 100°C te se uzorak ponovno ispita i tada su dozvoljene slijedeće promjene na uzorcima:

- prekidna čvrstoća $\geq 12,5 \text{ N/mm}^2$
- promjena prekidne čvrstoće $\pm 25 \%$
- prekidno istezanje $\geq 150 \%$
- promjena prekidnog istezanja $\pm 25 \%$

3.1.2.6. Termoplastičnost vanjskog zaštitnog plašta

Termoplastičnost vanjskog zaštitnog plašta izvodi se na uzorku plašta kabela duljine 300 mm koji se stavi 6 sati na temperaturu 90°C i dozvoljava se dubina utiskivanja u plaštu $\leq 50 \%$.

3.1.2.7. Termička stabilnost vanjskog zaštitnog plašta

Termička stabilnost vanjskog zaštitnog plašta izvodi se na uzorku materijala plašta kabela na temperaturi 200°C koji ne smije degradirati unutar 80 minuta.

3.1.2.8. Otpornost vanjskog zaštitnog plašta na niske temperature

Prvo se ispita prekidno istezanje vanjskog zaštitnog plašta kabela, prije starenja na nisku temperaturu -15°C / 4 sata, koje smije iznositi $\geq 20 \%$.

Zatim se ispitni uzorak stavi na temperaturu -15°C / 6 sata, na savijanje i udar, i ne smije doći do pucanja plašta.

3.1.2.9. Gubitak mase vanjskog zaštitnog plašta nakon starenja

Nakon starenja uzorka kabela 168 sati u zračnoj sušnici na temperaturi 100°C dozvoljava se gubitak mase $\leq 1,5 \text{ mg/cm}^2$.

3.1.2.10. Starenje na kompletnom kabelu

Starenje kompletnog kabela izvodi se u zračnoj sušnici u trajanju 168 sat na 90°C te se nakon takvog tretmana uzoraka ispituju se:

- na izolaciji:

- prekidna čvrstoća, promjena $\pm 25 \%$
- prekidno istezanje, promjena $\pm 25 \%$

- na zaštitnom plaštu kabela:

- prekidna čvrstoća $\geq 12,5 \text{ N/mm}^2$
- prekidna čvrstoća, promjena $\pm 25 \%$
- prekidno istezanje $\geq 150 \%$
- prekidno istezanje, promjena $\pm 25 \%$

Otpornost na gorenje PVC vanjskog zaštitnog plašta provjerava se prema postupku opisanom u HRN EN 60332-1-2 gdje se zahtijeva da se upaljeni kabel sam ugasi. Ovo svojstvo se naziva samogasivost, a najčešće vrijednosti samogašenja PVC vanjskog zaštitnog plašta iznose do 10 sekundi.

Završno ispitivanje kompletnog kabela je ispitivanje otpornosti na povišenu temperaturu. Uzorak kabela se ostavi 168 sati na temperaturu 120 ± 2 °C i nakon tog vremena ne smije doći do promjene boje izolacije i vanjskog zaštitnog plašta kabela na kojem se ne smiju pojaviti ni napukline.

3.1.3. Neelektrična tipska ispitivanja SKS kabela

Kod SKS kabela, izrađenim prema normi HRN HD 626 S1:2001/A2:2007 Part 5, Section G, provode se slijedeća tipska neelektrična ispitivanja:

- ispitivanje vodiča: promjer, linearni otpor, mehaničke značajke
- ispitivanje mehaničkih značajki izolacije
- ispitivanje skupljanja izolacije
- otpornost izolacije na mehaničko probijanje
- ispitivanje upijanja vode izolacije
- ispitivanje sadržaja čađe u izolaciji

3.1.3.1. Ispitivanje vodiča

Ispituju se promjeri svih vodiča koji je definiran za svaki presjek u normi HRN ND 383 kao i za nosivi vodič. Jednako se odnosi i na linearni otpor koji je propisan najvećom vrijednošću na 20 °C. Za vodiče se propisuje i njihova prekidna sila koja je propisana najmanjom vrijednošću u daN.

3.1.3.2. Ispitivanje mehaničkih značajki izolacije

Prvo se ispitaju mehaničke značajke izolacije prije starenja (slika 2), koje za tip izolacije TIX-5 smiju iznositi:

- prekidna čvrstoća ≥ 30 N/mm²
- prekidno istezanje ≥ 200 %

Zatim se ispitni uzorak stavi na starenje u sušnicu 168 sati na temperaturu 135 °C te se uzorak ponovno ispita i tada su dozvoljene slijedeće promjene na uzorcima:

- prekidne čvrstoće ± 25 %
- prekidnog istezanja ± 25 %

3.1.3.3. Ispitivanje skupljanja izolacije

Nakon starenja uzorka kabela 1 sat na temperaturi 100 °C dozvoljava se skupljanje izolacije ≤ 4 %.

3.1.3.4. Otpornost izolacije na mehaničko probijanje

Promatraju se uzorci sa i bez separatora te se zahtijeva da izolacija sa separatorom izdrži mehaničko naprezanje ≤ 5 sekundi a sa separatorom ≤ 10 sekundi.

3.1.3.5. Ispitivanje upijanja vode izolacije

Upijanje vode izvodi se na uzorku izolacije kabela koji se ostavi 14 dana na temperaturi 85 ± 3 °C nakon čega se dozvoljava upijanje vode ≤ 1 mg/cm².

3.1.3.6. Ispitivanje sadržaja čađe u izolaciji

Po posebnoj metodi ispitivanja, opisanoj u HRN EN 60811-605, određuje se sadržaj čađe u izolaciji kabela i taj postotak ne smije biti manji od $2,5 \pm 0,5 \%$.



Slika 3. Ispitivanje izolacije neutralnog vodiča prema postupku 2.2.2

3.1.3.7. Mehaničko naprezanje izolacije

Mehaničko naprezanje izolacije provodi se na neutralnom vodiču prema 2 postupka:

- postupkom 2.2.2. (Slika 3.) određuje se prianjanje izolacije neutralnog vodiča koja ne smije biti manja od 20 dN
- postupkom 2.2.5. (Slika 4.) određuje se smicanje izolacije neutralnog vodiča koja ne smije biti manja od 1600 dN



Slika 4. Ispitivanje izolacije neutralnog vodiča prema postupku 2.2.5

4. ZAKLJUČAK

Tipska ispitivanja se u skladu s navedenim normama provode na kabelima kako bi se provjerile radne značajke kabela za odgovarajuću namjenu i jedinstvena su za jedan tip kabela, bez obzira o kojoj se konstrukciji tog tipa kabela radi, jer se ni u jednom ispitivanju ne govori o nekoj određenoj konstrukciji tog kabela, već o značajkama zajedničkim za sve moguće konstrukcije toga tipa kabela. U svakoj od navedenih normi, govori se samo o preferiranim konstrukcijama toga tipa kabela, gdje se navodi koje presjeke vodiča koristiti od bakra koje od aluminija, kojeg oblika vodiča (okrugli, sektorski) te od najmanjeg broja žica kojima se izrađuju pojedini vodiči (jednožični, višežični) i nezaobilazno: najveći otpor vodiča.

5. LITERATURA

- [1] Zdravko Pamić, „Dijagnostika kabela“, 4. (10.) savjetovanje HO CIRED, Sv. Martin na Muri, svibanj 2014. SO1 -24
- [2] Zdravko Pamić, „Ispitivanja energetskih kabela“, 32. međunarodno savjetovanje o novim tehnologijama – Dani Josipa Lončara, SONT 2016 EDZ, svibanj 2016. S 7.2.
- [3] HRN HD 603 S1:2001/A3:2008
- [4] HRN HD 620 S2:2010
- [5] HRN HD 626 S1:2001/A2:2007
- [6] HRN HD 605 S2:2008