

RAZVOJ SOFTVERA ZA IZBOR IZOLATORA I IZOLATORSKIH LANACA

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR SELECTING INSULATORS AND INSULATOR STRINGS

Milica VLAISAVLJEVIĆ, GPS Insulators, Republika Srbija
Milan OBRADOVIĆ, Elindpro technic, Republika Srbija
Mileta ŽARKOVIĆ, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Republika Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Uloga nadzemnih distributivnih vodova za 10 kV, 20 kV i 35 kV u funkcionisanju distributivnog sistema je fundamentalna. Jedan od delova nadzemnih vodova čine izolatori sa opremom koji imaju ulogu da odvoje delove voda koji su pod naponom od onih koji nisu i prihvataju opterećenje težine provodnika u svim vremenskim uslovima. Pravilno projektovanje izolacije na nadzemnim vodovima je ključalno u aspektu pouzdanosti, bezbednosti i sigurnosti ne samo nadzemnih vodova, nego i celog elektroenergetskog sistema. Kao osnovni korak u razvoju softvera prikazan je teorijski osvrt na najbitnije segmente projektovanja izolacije na nadzemnim distributivnim vodovima, tj. formirana je teorijska baza pomoću koje je kreiran redosled operacija i pravila predstavljen u obliku algoritma softvera za izbor izolatora i izolatorskih lanaca. Algoritam je u potpunosti implementiran u kod koji pokreće softver. Razvijen je i grafički interfejs softvera koji omogućava da on bude korisnički orijentisan.

Ključne riječi: izolatori, izolatorski lanci, nadzemni vodovi, projektovanje

ABSTRACT

The role of overhead distribution lines for 10 kV, 20 kV and 35 kV in the functioning of the distribution system is fundamental. One of the parts of the overhead lines consists of insulators with equipment that have the role of separating the parts of the lines that are under voltage from those that are not and accept the weight of the conductor in all weather conditions. Correct design of insulation on overhead lines is crucial in terms of reliability, safety and security not only of overhead lines, but also of the entire power system. As a basic step in software development a theoretical overview of the most important segments of insulation design on overhead distribution lines is presented, i.e. a theoretical base was formed by means of which the sequence of operations and rules presented in the form of a software algorithm for the selection of insulators and insulator strings were created. The algorithm is fully implemented in the code that runs the software. A graphical interface of the software was also developed, which allows it to be user-oriented.

Key words: design, insulators, insulator strings, overhead lines

Milica Vlaisavljević - milica.vlaisavljevic97@gmail.com.
Milan Obradović - elindpro@gmail.com
Mileta Žarković - mileta@etf.rs

1. UVOD

Izbor izolatora i izolatorskih lanaca je sastavni deo svakog projektovanja nadzemnih vodova za 10 kV, 20 kV i 35 kV. Odabir izolatora može da se podeli u par koraka, koji predstavljaju ključalne delove algoritma softvera predstavljenog u radu. Izolatore je potrebno dimenzionisati mehanički i električno, kroz proračune koji su definisani pravilnicima i standardima.

Vrste izolatora koje se ugrađuju na distributivne nadzemne vodove 10 kV, 20 kV i 35 kV mogu se podeliti u tri grupe: štapne, potporne za vod i kapaste izolatore. Materijal tela izolatora sa jedne strane zavisi od geolokacije distributivne mreže, a sa druge od ekonomskih parametara distributivnog sistema, [1]. Izolatori koji se

ugrađuju na nadzemnim vodovima 10 kV, 20 kV i 35 kV imaju telo izrađeno od stakla, porcelana ili silikonizovane gume.

Izolatorski lanci se formiraju od štapnih ili kapastih izolatora u kombinaciji sa odgovarajućom opremom. Postoji više podela izolatorskih lanaca. Osnovna podela izolatorskih lanaca je prema tome da li se oni montiraju na zatezne ili noseće distributivne nadzemne vodove za 10 kV, 20 kV i 35 kV. Stoga postoje zatezni izolatorski lanci za distributivne nadzemne vodove i noseći izolatorski lanci za distributivne nadzemne vodove. Druga podela se može izvršiti prema tome da li lanci imaju pojačanu električnu izolaciju ili je nemaju. Takođe, postoje jednostruki i dvostruki izolatorski lanci u odnosu na to da li je potrebno da se mehanički pojačaju i na kraju postoji podela izolatorskih lanaca naspram napona na kojima se oni primenjuju.

Razvoj softvera za izbor izolatora i izolatorskih lanaca u elektrodistributivnom sistemu je izvršen korišćenjem programskog paketa MATLAB. To je softverski alat koji se često koristi u inženjerskim proračunima, a takođe pruža i mogućnost formiranja grafičkog interfejsa. Automatizovan izbor izolatora i izolatorskih lanaca olakšava projektovanje elektroenergetskih vodova za 10 kV, 20 kV i 35 kV i sprečava nastajanje greški u proračunima, ali i pri samom odabiru. Kreiranje grafičkog interfejsa omogućava projektantu vizuelizaciju podataka pri izboru. U radu je prikazan i algoritam na osnovu kog je softver razvijen.

2. MEHANIČKO I ELEKTRIČNO DIMENZIONISANJE

Dimenzionisanje izolatora i izolatorskih lanaca je definisano u "Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV". Zahtevi vezani za mehaničko dimenzionisanje podeljeni su u Pravilniku prema vrsti izolatora i prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1 - Proračuni minimalnih mehaničkih prelomih opterećenja izolatora [2]

Vrsta stuba Vrsta izolatora	Noseći	Zatezni
Potporni za vod	Minimalno prelomno opterećenje izolatora mora biti veće najmanje 2,5 puta od <ol style="list-style-type: none"> 1. težine provodnika sa dodatnim opterećenjem 2. opterećenja provodnika usled delovanja vetra U proračunu minimalnog prelomnog opterećenja izolatora se uzima u obzir kritičniji slučaj od moguća dva.	Minimalno prelomno opterećenje izolatora mora biti veće najmanje 2,5 puta od sile zatezanja provodnika.
Kapasti i štapni	Minimalno prelomno opterećenje izolatora mora biti veće najmanje 3 puta od <ol style="list-style-type: none"> 1. težine provodnika sa dodatnim opterećenjem 2. opterećenja provodnika usled delovanja vetra U proračunu minimalnog prelomnog opterećenja izolatora se uzima u obzir kritičniji slučaj od moguća dva	Minimalno prelomno opterećenje izolatora mora biti veće najmanje 3 puta od sile zatezanja provodnika

Na osnovu proračuna i iskustva, može se izvršiti tipizacija minimalnih prelomnih opterećenja koja je prikazana u tabeli 2.

Tabela 2 - Tipizacija minimalnih prelomnih opterećenja u zavisnosti od vrste izolatora i naponskog nivoa na kom se ugrađuju

Nazivni napon mreže \ Vrsta izolatora	10 kV	20 kV	35 kV
Potporni za vod	12,5 kN	12,5 kN	12,5 kN
Kapasti i štapni	40 kN	40 kN	70 kN

Imajući u vidu da su novom edicijom standarda IEC 60433 ukinuti štapni izolatori sa minimalnim prelomnim opterećenjem od 70 kN, na distributivnim vodovima za 35 kV se upotrebljavaju štapni izolatori sa prvim većim minimalnih prelomnim opterećenjem, tj. štapni izolatori sa minimalnim prelomnim opterećenjem od 100 kN.

Ukoliko je potrebno da se izolacija mehanički pojača radi sigurnosti i pouzdanosti, takvo pojačanje izolacije na vodovima se vrši na sledeći način:

- za potporne izolatore za vod: primena dva ili više izolatora postavljena popreko na osu provodnika (prema iskustvu za distributivne vodove dovoljna su dva);
- za izolatorske lance: primena dvostrukog ili višestrukog izolatorskog lanca (prema iskustvu za distributivne vodove dovoljna je primena dvostrukog izolatorskog lanaca), [2].

U tabeli 3 prikazani su izolacioni nivoi za distributivne vodove 10 kV, 20 kV i 35 kV. Prema Pravilniku, novom edicijom standarda IEC 60071-1 najviši napon opreme od 38 kV je ukinut. U softveru je kao najviši naponski nivo opreme za nazivni napon 35 kV upotrebljena vrednost od 36 kV prema važećem standardu IEC 60071-1.

Imajući u vidu da se nivo izolacije bira na osnovu izloženosti atmosferskim prenaponima, načinu uzemljenja neutralne tačke, kao i vrste prenaponske zaštite, na osnovu proračuna i iskustva u matematičkom modelu softvera uzet je u obzir samo pun stepen izolacije.

Tabela 3 - Izolacioni nivoi prema pravilniku [2]

Nazivni napon	Najviši napon opreme Um (efektivna vrednost)	Nazivni podnosivi atmosferski udarni prenapon (temena vrednost)		Nazivni kratkotrajni podnosivi napon industrijske frekvencije (efektivna vrednost)
		stupanj izolacije		
		snižen	pun	
10 kV	12 kV	60 kV	75 kV	28 kV
20 kV	24 kV	95 kV	125 kV	50 kV
35 kV	38 kV	145 kV	170 kV	70 kV

Za delove nadzemnih vodova koji su na nadmorskim visinama većim od 1000 m, potrebno je vrednosti ispitnih napona (standardni podnosivi kratkotrajni napon industrijske frekvencije i standardni podnosivi atmosferski udarni napon) korigovati za vrednosti koeficijenata prikazanih u tabeli 4.

Tabela 4 - Faktori povećanja ispitnih napona u odnosu na nadmorsku visinu [2]

Nadmorska visina	Faktor
od 1000 m do 1500 m	1,075
od 1500 m do 2000 m	1,150
od 2000 m do 2500 m	1,225

Na električno dimenzionisanje izolacije utiče i nivo zagađenja okoline. U tabeli 5 su prikazani nivoi zagađenja i specifična nazivna puzna staza iz tehničkog izveštaja IEC/TR 60185-1.

Tabela 5 - Nivoi zagađenja [3]

Nivoi zagađenja	Primeri tipičnih okolina	Specifična nazivna puzna staza (SCD)
I – Slabo	<ul style="list-style-type: none"> – Područja bez industrije i sa malo kuća sa sopstvenim grejanjem – Područja sa malo industrije ili kuća, ali izložena čestim vetrovima i/ili kišama – Poljoprivredna područja – Planinska područja <p>Sva ova područja mora da budu udaljena najmanje 10 km do 20 km od mora, i ne smeju da budu izložena vetrovima koji duvaju sa mora</p>	16 mm/kV
II - Srednje	<ul style="list-style-type: none"> – Područja sa industrijama koje ne stvaraju posebne dimove koji mnogo zagađuju i/ili sa prosečnim brojem kuća sa sopstvenim grejanjem – Područja sa velikim brojem kuća i/ili industrijska područja izložena čestim vetrovima i/ili kišama – Područja izložena vetru koji duva sa mora ali ne suviše blizu obala (na rastojanju najmanje nekoliko kilometara) 	20 mm/kV
III – Jako	<ul style="list-style-type: none"> – Područja sa jakom industrijom i predgrađa velikih gradova sa velikim brojem postrojenja za grejanje koja proizvode zagađenje – Područja blizu mora ili na bilo koji način izložena relativno jakim vetrovima koji duvaju sa mora 	25 mm/kV
IV – Vrlo jako	<ul style="list-style-type: none"> – Područja koja su generalno u srednjoj meri izložena provodnim prašinama i industrijskom dimu koji proizvode posebno debele provodne naslage – Područja generalno u srednjoj meri veoma blizu obale i izložena morskoj magli ili vrlo jakim i zagađujućim vetrovima sa mora – Pustinjska područja koja karakterišu dugi periodi bez kiše, izložena jakim vetrovima koji duvaju sa mora i koji nose pesak i so, i izložena uobičajenoj kondenzaciji 	31 mm/kV

Tehnički referat IEC/TR 60185-1 u kom je definisana specifična puzna staza je povučen, te je novom edicijom tehničke specifikacije IEC/TS 60185-1 koja je aktivna, umesto specifične puzne staze definisana objedinjena specifična puzna staza (RUSCD). U matematičkom modelu softvera za proračun minimalne nominalne puzne staze upotrebljena je SCD, jer je taj način proračuna definisan i u Pravilniku.

Električno pojačanje izolacije na vodovima se vrši na sledeći način prema Pravilniku:

- za potporne izolatore za vod i štapne izolatore: odabere se izolator sa većom dužinom puzne staze;
- za kapaste izolatore: doda se još jedan kapasti izolator istog tipa, [2].

3. IZOLATORI I IZOLATORSKI LANCI ZA DISTRIBUTIVNE VODOVE ZA 10 kV, 20 kV i 35 kV

Distributivni vodovi za 10 kV, 20 kV i 35 kV se projektuju sa potpornim izolatorima za vod, štapnim ili kapastim izolatorima.

Štapni izolatori su izolatori tipa A, što znači da su neprobojni, tj. da je njihova najkraća staza proboja kroz čvrsti materijal tela izolatora manja od polovine preskočnog razmaka, [4]. Oni se upotrebljavaju najčešće na distributivnim vodovima na nazivnim naponima 20 kV i 35 kV. Na distributivnim vodovima se ugrađuju štapni izolatori sa izolatorskim materijalom od porcelana i silikonizovane gume. Odabir materijala štapnog izolatora sa jedne strane zavisi od okoline ili mreže, a sa druge od politike i ekonomije korisnika, [1].

Kapasti izolatori mogu biti izrađeni sa izolacionim delom od porcelana ili stakla. Oni su, prema IEC standardu, izolatori tipa B, tj. rastojanje između dva metalna kraja za spajanje je manje od polovine preskočnog razmaka, [4]. Ovaj tip izolatora prema standardu se naziva i probojnim izolatorima, tj. izolatorima koji nisu otporni na proboj. Ukoliko se desi proboj u kapastom izolatoru sa izolacionim delom od porcelana, takav kvar neće biti vidljiv okom i neće biti pravovremeno uklonjen. Isti kvar na kapastim izolatorima sa izolacionim delom od stakla će biti uočljiv,

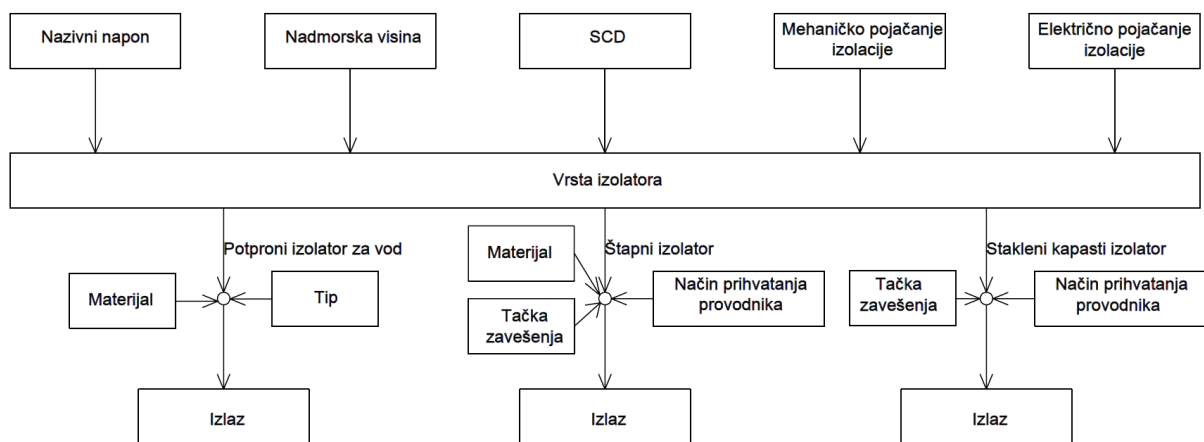
jer će doći do razletanja staklenog dela, [5]. Na osnovu pojašnjenja, ali i uzimanjem u obzir iskustva i postupanja distributivnih preduzeća, softver će preporučiti primenu samo kapastih izolatora sa izolacionim delom od stakla.

Izbor materijala potpornih izolatora za vod vrši se na isti način kao i kod štapnih izolatora. Ranije su se na distributivne vodove ugrađivali potporni izolatori za nosač tipa D. Zbog problema u upotrebi potpornih izolatora za nosač tipa D, softver ih neće preporučivati kao rešenje već je prednost data izolatorima za vod tipa R, [6].

Potporni izolatori za vod su izolatori koji se ugrađuju na vodove pomoću ankera M20 i nikada nisu deo izolatorskog lanaca. Štapni i kapasti izolatori se nikad ne ugrađuju na vod samostalno, već se njihova oni primenjuju formiranjem izolatorskih lanaca. Štapni i kapasti izolatori čine izolatorski niz koji pomoću opreme formira izolatorski lanac.

4. ALGORITAM I GRAFIČKI INTERFEJS SOFTVERA

Algoritam je formiran fuzijom teorijskog i praktičnog znanja u projektovanju izolacije nadzemnih vodova. Izbor izolatora i izolatorskih lanaca za distributivne vodove za 10 kV, 20 kV i 35 kV je automatizovan i algoritam softvera je prikazan na slici 1.

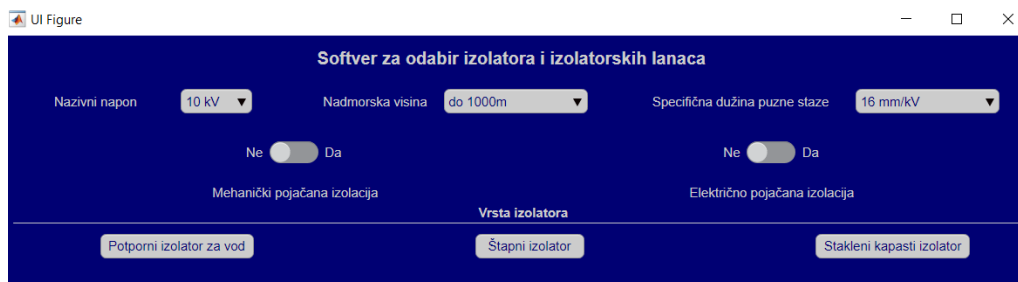


Slika 1 – Algoritam softvera za odabir izolatora i izolatorskih lanaca

Na osnovu mreže i okoline za koje se projektuje izolacija nadzemnih vodova, potrebno je definisati ulazne podatke. Ulazni podaci neophodni za početak odabira, a koji su zajednički i moraju biti definisani od strane korisnika su:

- Nazivni napon
- Nadmorska visina
- SCD
- Mehaničko pojačanje izolacije
- Električno pojačanje izolacije

Korisnik vrši izbor nazivnog napona, nadmorske visine na kojoj će vodovi biti izgrađeni i SCD iz padajućih menija. Vrednosti u padajućim menijima su formirane iz tabela 3, 4 i 5, respektivno. Informacije o mehaničkom i električnom pojačanju izolacije se, takođe mogu birati. Izgled interfejsa početnog prozora prikazana je na slici 2. Nakon podešavanja ulaznih podataka korisnik se odlučuje koju vrstu izolatora želi da upotrebi na distributivnomvodu.



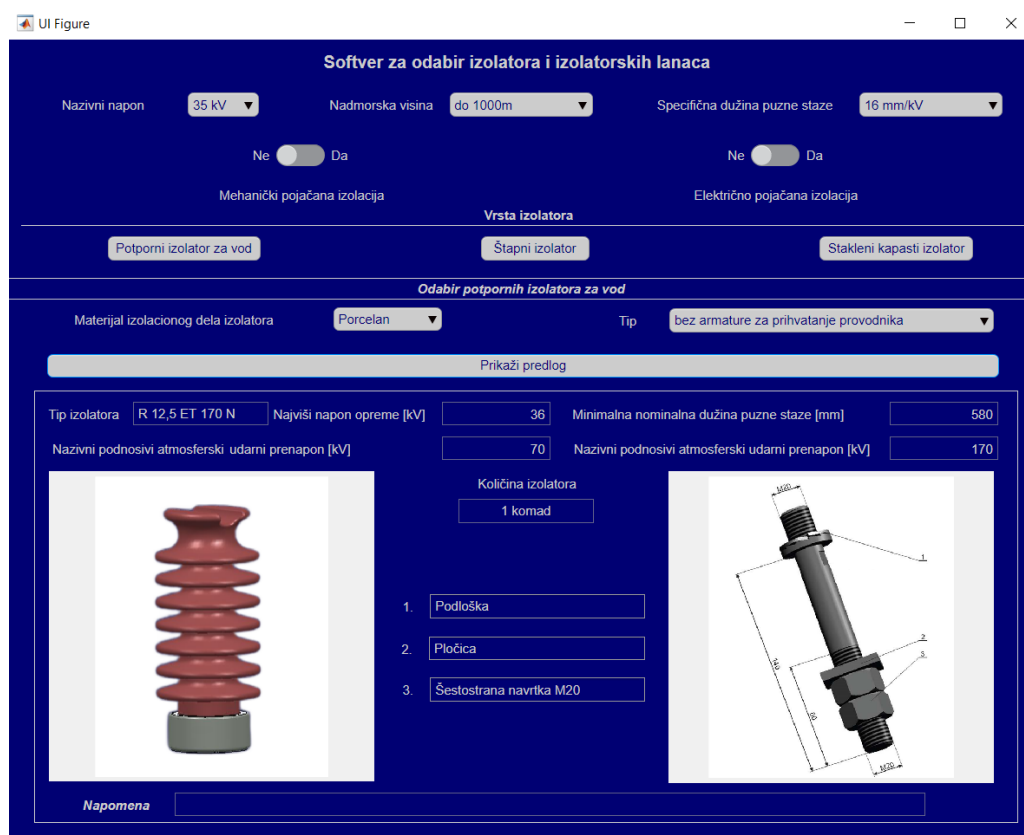
Slika 2 – Početni prozor

Ukoliko je odabran potporni izolator za vod, na algoritmu sa slike 1 se uočava da je potrebno izvršiti dopunu ulaznih parametara izborom materijala izolatorskog dela (porcelan ili silikonizovana guma), kao i izborom tipa potpornog izolatora. Pod tipom se podrazumeva podela potpornih izolatora za vod prema standardu IEC 60720:

- bez armature za prihvatanje provodnika
- sa armaturom za prihvatanje provodnika – vertikalni
- sa armaturom za prihvatanje provodnika – horizontalni [7]

Kao izlazni podaci korisniku će biti prikazane karakteristike izolatora koji je predlog na osnovu unosa ulaznih podataka, slika 3:

- tip izolatora
- najviši napon opreme
- minimalna nominalna dužina puzne staze
- nazivni podnosivi atmosferski udarni prenapon
- nazivni podnosivi atmosferski udarni prenapon
- količina izolatora (na jednom stubu)
- 3D model predloženog izolatora
- 3D model ankera



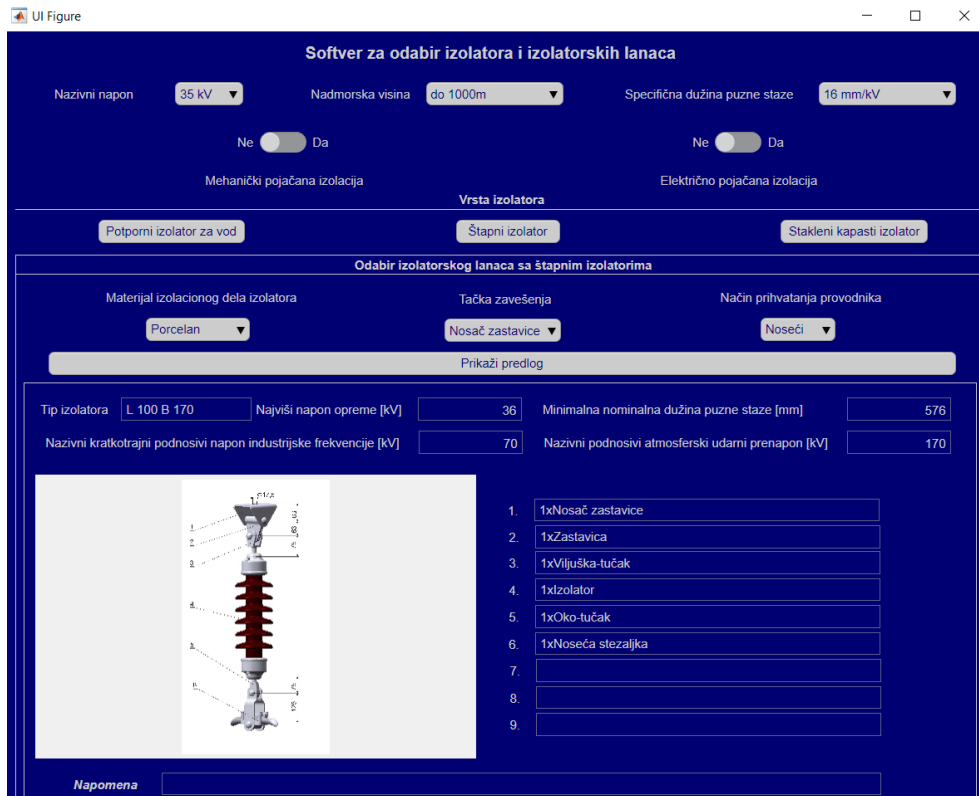
Slika 3 – Grafički interfejs za izbor potpornih izolatora za vod

Ukoliko je odabran štapni izolator, takođe je potrebno izvršiti dopunu ulaznih parametara odabirom:

- materijala - moguće je izvršiti odabir između porcelana i silikonizovane gume
- način prihvatanja provodnika – definiše ga tip stuba, noseći ili zatezni
- tačka zavešenja – deo je stuba i može biti stremen ili nosač zastavice.

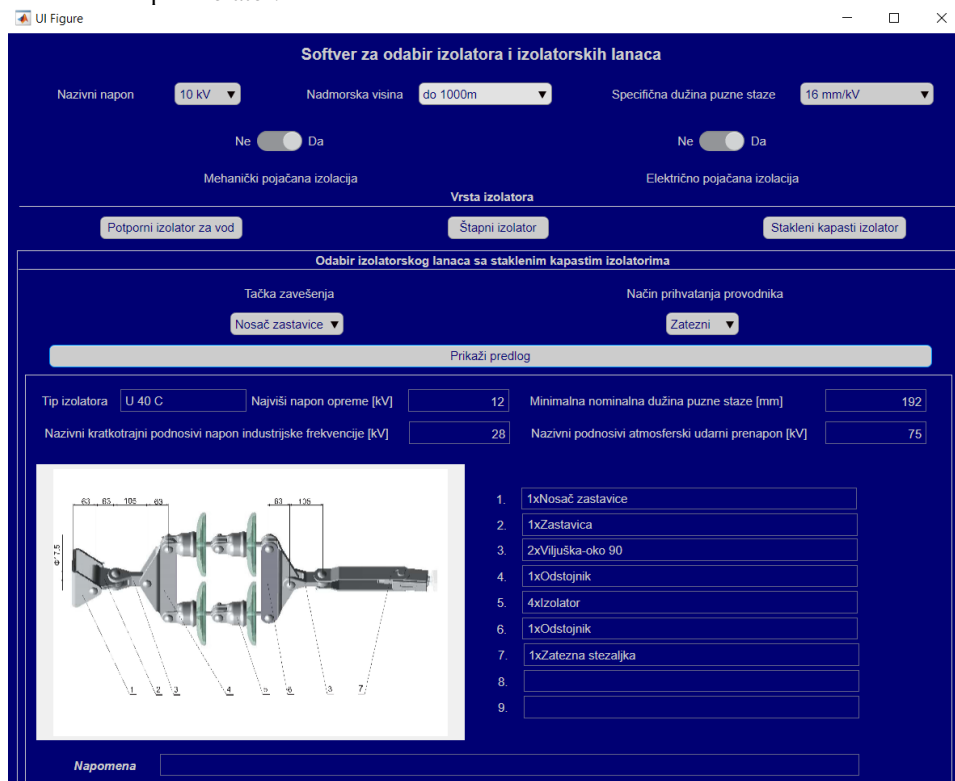
Kao izlazne podatke vezane za izolatorski lanac sa štapnim izolatorom, softver će predložiti (slika 4):

- Tip izolatora
- Najviši napon opreme
- Minimalna nominalna dužina puzne staze
- Nazivni kratkotrajni podnosivi napon industrijske frekvencije
- Nazivni podnosivi atmosferski udarni prenapon
- 3D prikaz izolatorskog lanca i spisak svakog dela lanca, ali i prihvata provodnika (stezaljke), kao i početnog elementa koji je deo stuba.



Slika 4 – Grafički interfejs za izbor štapnih izolatora i opreme lanaca

Ukoliko je odabran stakleni kapasti izolator, potrebno je izvršiti dopunu ulaznih podataka, kao kod štapnog izolatora, sa razlikom što softver već preporučuje samo ugradnju staklenih kapastih izolatora. Kao izlazne podatke u vezi sa izolatorskim lancem sa staklenim kapastim izolatorima, softver će predložiti (slika 5) iste podatke kao za štapni izolator.



Slika 5 – Grafički interfejs za izbor staklenih kapastih izolatora i opreme lanaca

5. ZAKLJUČAK

Razvojem tehnologije, današnji računari su od velike pomoći pri proračunima i simulacijama u projektovanju i odabiru elektroenergetske opreme. Pomenute prednosti treba iskoristiti, jer pružaju velike uštede vremena i novca. Razvoj softvera ima prednost, jer je omogućena neograničena promena ulaznih parametara, što omogućava praćenje promene izlaznih veličina. U softveru koji je prikazan u ovom radu moguće je izvršiti izbor izolatora i izolatorskih lanaca za distributivne vodove 10 kV, 20 kV i 35 kV, što može biti od pomoći projektantima, ali i u edukaciji.

Izolatori i oprema izolatorskih lanaca čine samo jedan segment nadzemnog voda, pa stoga projektovanje ostalih delova distributivnih nadzemnih vodova ostavlja prostor za stvaranje budućih, novih, proširenih verzija softvera predstavljenog u ovom radu. Novije verzije softvera bi mogle da omogućavaju izbor vrste stuba, provodnika, uzemljivača i ostale opreme, ali i da prikazuju rezultate proračuna koji su sastavni deo projektovanja.

LITERATURA

- [1] 2008, „IEC/TS 60815-1 Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions –Part 1: Definitions, information and general principles“, 23. strana
- [2] „Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV“, od 12. do 15. strane
- [3] 1985, „IEC TR 60815:1986 ED1 Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions “, 11. i 13. strana
- [4] 2023, IEC 60383-1, „Insulators for overhead lines with a nominal voltage above 1 kV - Part 1: Ceramic or glass insulator units for a.c. systems - Definitions, test methods and acceptance criteria“, 13. strana
- [5] Dimitrije Anđelković, Milica Vlaisavljević, Vladimir Alempijević, „Proboj porcelanskih kapastih izolatora“, 36. savetovanje CIGRE Srbija 2023
- [6] Milica Vlaisavljević, Alen Gudžević, „Istorijski razvoj potpornih izolatora od porcelana za distributivne nadzemne vodove od izolatora za nosač do izolatora za vodove“, 13. savetovanje o elektrodistributivnim mrežama sa regionalnim učešćem, CIREĐ Srbija 2022
- [7] 1981, IEC 60720 „Characteristics of line post insulators “