

UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO

---

# Predstavitev distribucijskega elektroenergetskega sistema (DEES)

(predavanje na Fakulteti za elektrotehniko)

Dr. Zvonko Toroš



**Elektro Primorska**  
podjetje za distribucijo električne energije, d.d.

Ljubljana, 7. 1. 2013

# Vsebina predstavitve DEES

---

- Splošno o DEES(I.)
- Posebnosti DEES(I.)
- Zakaj potrebujemo DEES(II.)
- Osnovne zahteve DEES(II.)
- Pogoji za delovanje DEES(II.)
- DEES včeraj, danes, jutri(II.)
- Primeri vključevanja novosti v DEES(III.)
- Sklep

# Splošno o DEES

---

- Elektroenergetski sistem (EES) je sestavljen iz treh podsistemov:
  - proizvodnje električne energije,
  - prenosnega elektroenergetskega omrežja in
  - iz distribucijskega elektroenergetskega omrežja, ki je praviloma del elektroenergetskega sistema (EES).

# Splošno o DEES/nadzemni vod

---



# Splošno o DEES/nadzemni vod

---



# Splošno o DEES/transformatorska postaja

---



# Splošno o DEES/ predfabricirana transformatorska postaja

---



# Splošno o DEES/nizkonapetostna razdelilna omarica

---



# Splošno o DEES/razdelilna transformatorska postaja

---



# Posebnosti DEES

---

- Je neposredno povezan do vsakega odjemalca (občana).
- Praviloma deluje po radialnem principu. Ob nenačrtovani prekinitvi voda pride vedno do prekinitve napajanja z električno energijo.
- Veliko število naprav
  - (62.525 km vseh vodov;
  - 16.198 transformatorskih postaj (SN/NN)).

Veliko število naprav razložimo s tem, da moramo vedno celotno proizvedeno energijo distribuirati (razdeliti) vsem odjemalcem in to v času in prostoru.
- Je zelo izpostavljen atmosferskim in drugim zunanjim vplivom.
- Predstavlja potencialno nevarnost električnega udara ob opustitvi varnostnih pravil in drugih ukrepov pri načrtovanju, gradnji, vzdrževanju in obratovanju.
- Električna energija, ki jo razdeljuje, je oblika energije, ki jo potrebujejo praktično vsi sodobni procesi vseh dejavnosti (celotna družba)!
- Upravlja z „nevidno“ obliko energije, kar je povezano z varnostjo. Da je električni tok nevaren moramo »verjeti«.
- Električna energija se zaenkrat še ne more neposredno shranjevati. Kljub temu jo moramo v vsakem trenutku proizvesti natančno toliko kot jo potrebujemo oziroma porabimo. Bilanca proizvedene in porabljene energije mora biti vedno izpolnjena.

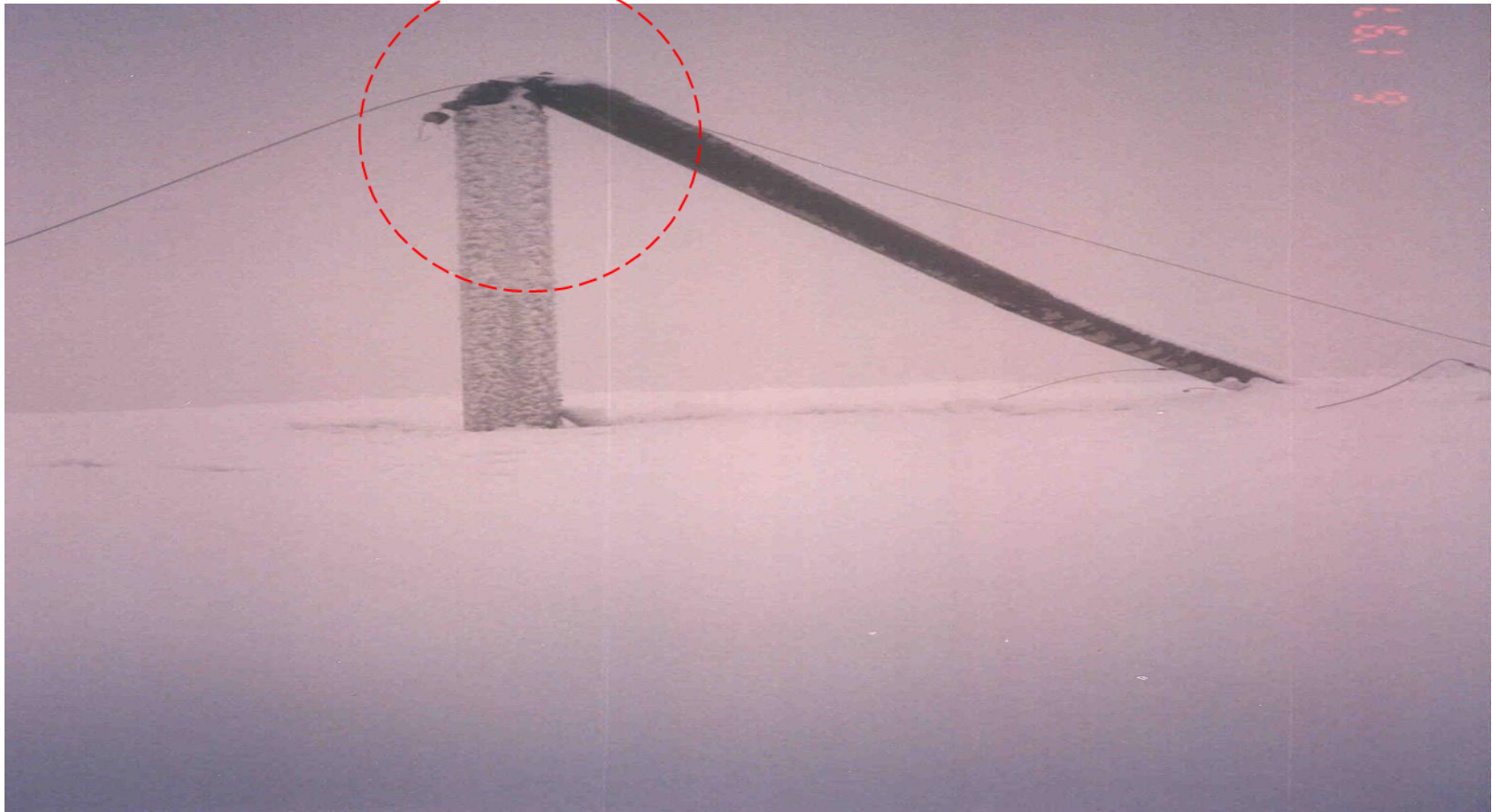
# Posebnosti DEES/žled1

---



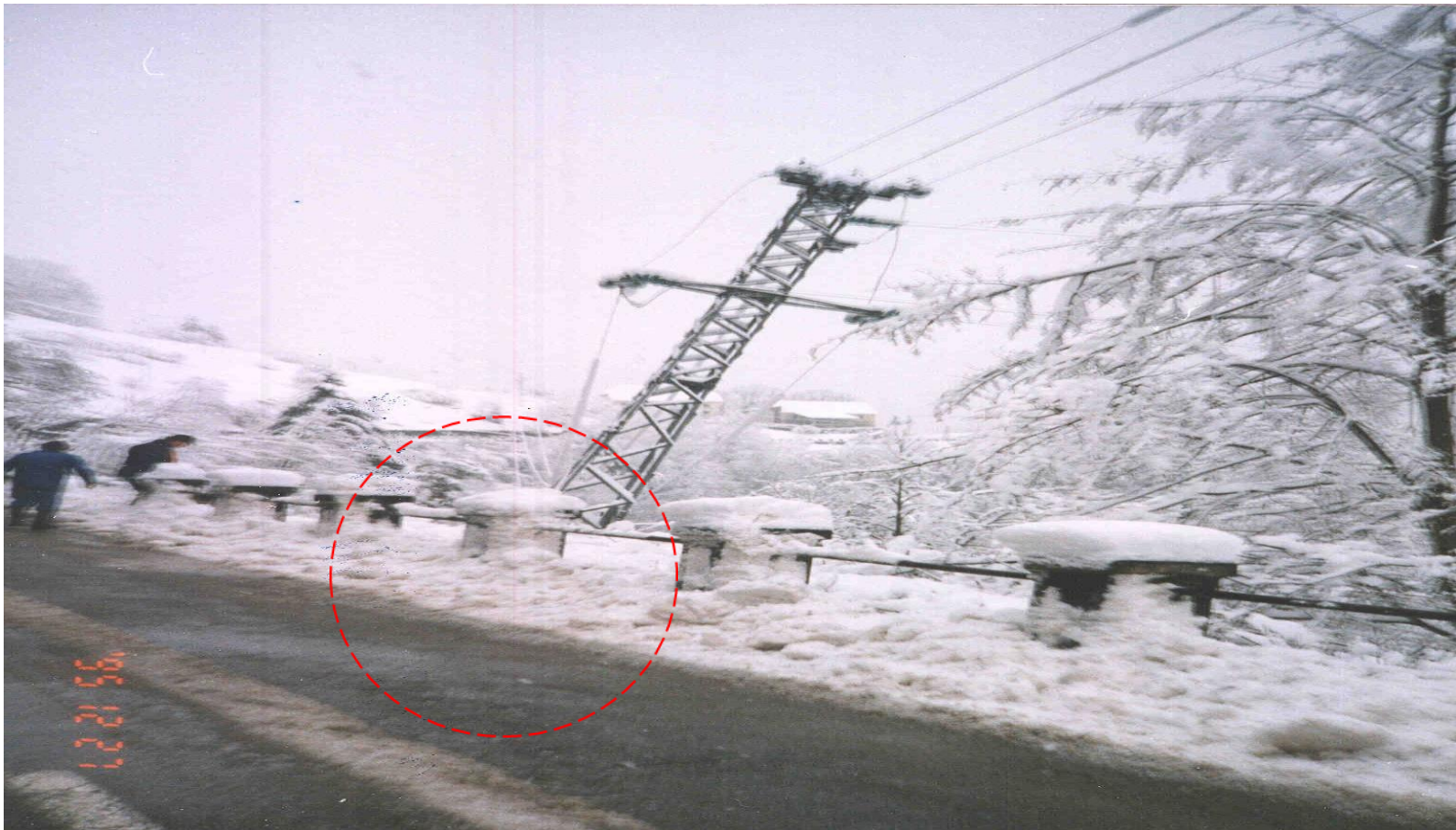
# Posebnosti DEES/žled2

---



# Posebnosti DEES/sneg

---



# Posebnosti DEES/zdrs tal

---



# Posebnosti DEES/potres

---



# Posebnosti DEES/požar

---



7. 1. 2013

predstavitev DEES

16

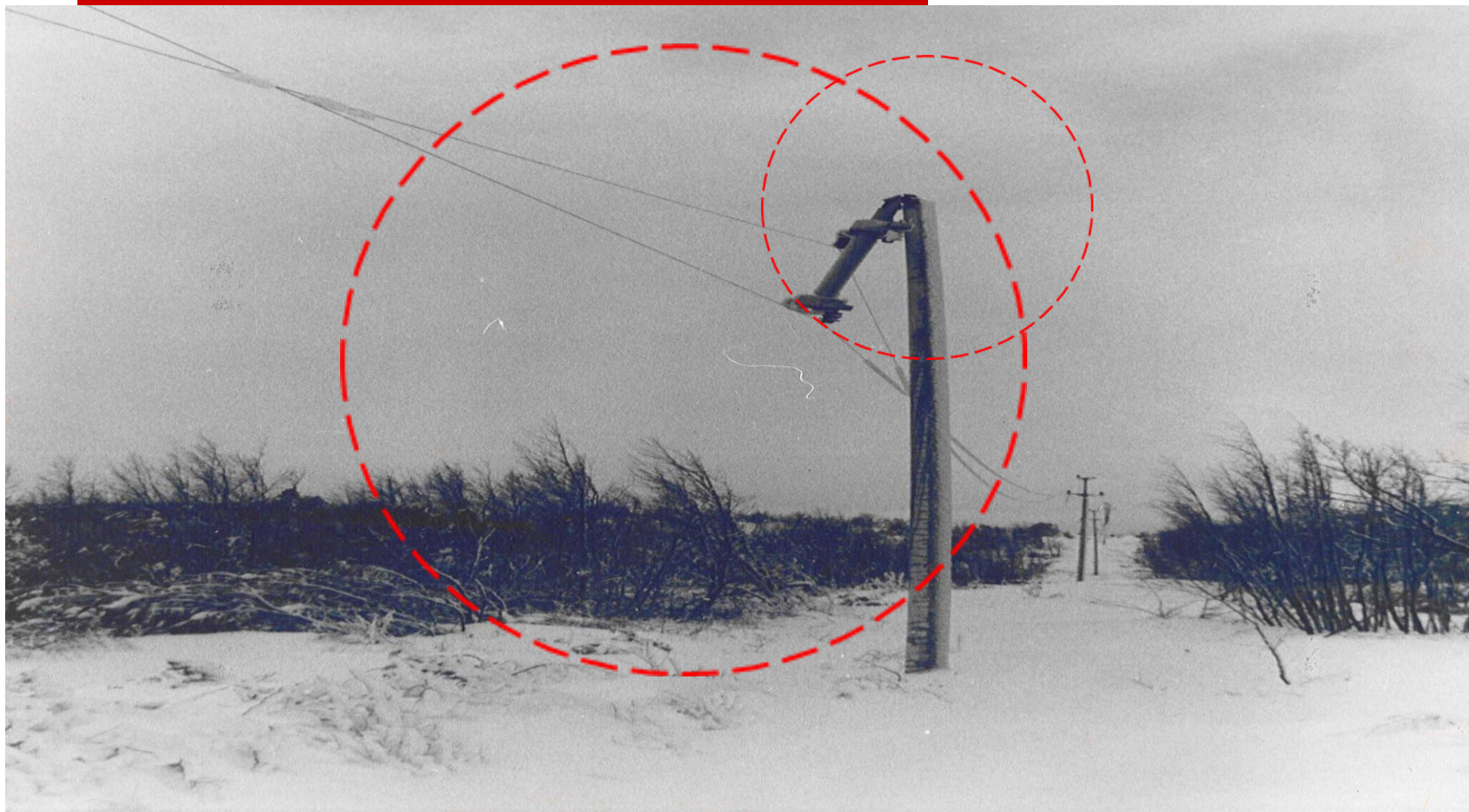
# Posebnosti DEES/žled

---



# Posebnosti DEES/žled+burja

---



# Zakaj potrebujemo DEES

---

- **EES in posledično DEES je osnovni predpogoj za delovanje vseh sistemov in sodobne družbe kot celote.**
- Tehnološki razvoj je v zadnjem času še posebej hiter in praviloma vedno povezan z uporabo električne energije.
- Sodoben DEES omogoča in bo v bodoče omogočal uvajanje novih tehnologij in tehnoloških rešitev.

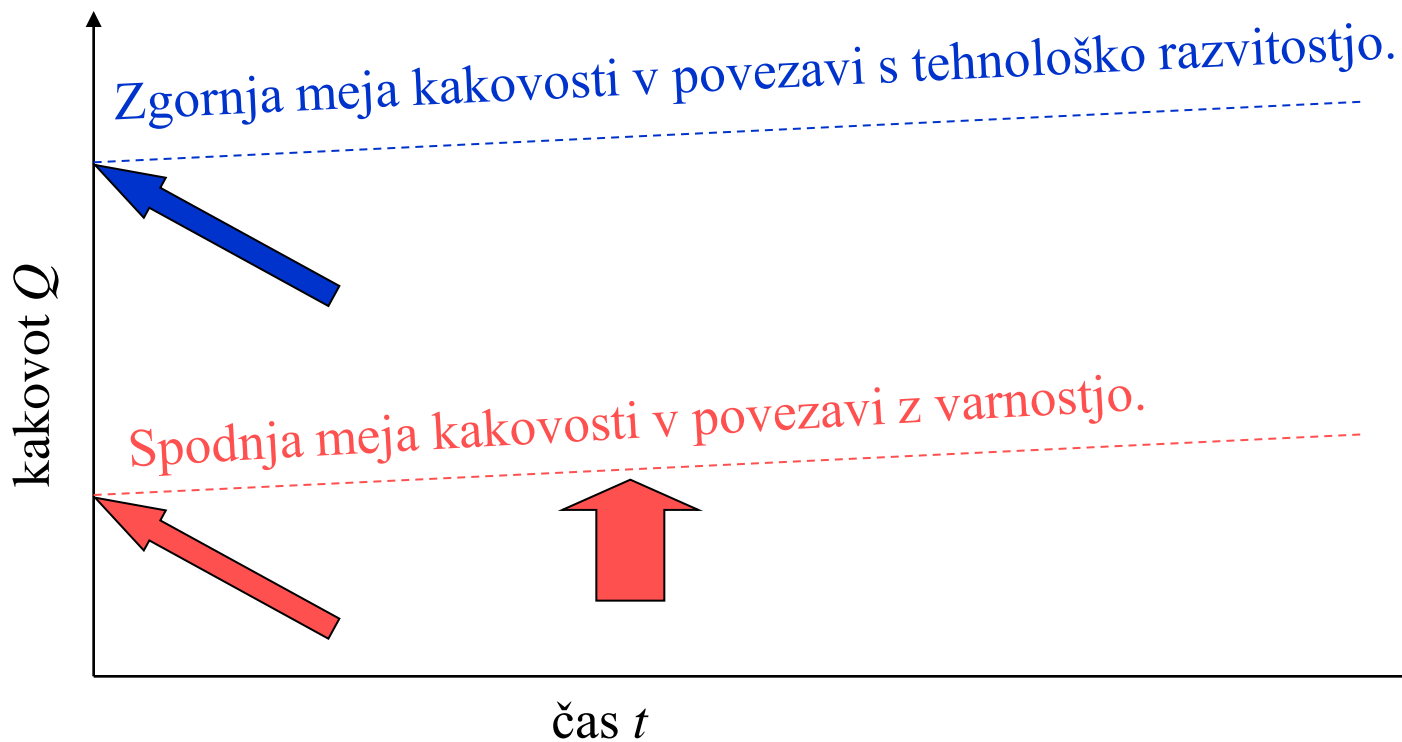
# Osnovne zahteve DEES

---

- **Nediskriminatoren dostop vseh odjemalcev in proizvajalcev do DEES za prenos dogovorjenih količin električne energije in kakovosti.**
  - Načelo poštna znamka. Vsi odjemalci plačamo enake dajatve ne glede na oddaljenost.
  - Dostop ali preprosto pravice in obveznosti se določijo v pogodbi o dostopu.
  - Funkcijo nadzora opravlja regulator trga z energijo. V Sloveniji je to Javna agencija Republike Slovenije za energijo JARSE.
- **Varno obratovanje;** zagotovitev varnosti ljudi in živali.
- **Zanesljivo obratovanje** skladno z zahtevami regulatorja in morebitnih drugih dodatnih zahtev. Izpolnitev zahtev po kakovosti, ki ima tri ravni. Terminologija še vedno ni poenotena, zato se spodaj navedeno razume kot ravni:
  - Stalnost (neprekinjenost); sistemski kazalci za število prekinitev **SAIFI** in trajanja prekinitev **SAIDI**
  - Oblika napetosti (**SIST EN 50160**); izpolnjevanje vseh predpisanih parametrov
  - Komerzialna kakovost; izpolnitev vseh predpisanih zahtev
- **Druge zahteve:**
  - Vključevanje obnovljivih virov energije (OVE)
  - Vključevanje razpršenih virov električne energije (RV)

# Osnovne zahteve DEES/kakovost

---



# Pogoji za delovanje DEES

---

- Dolgoročno načrtovanje; določitev zahtev, ki odražajo pričakovanja od DEES.
- Zagotovitev potrebnih virov; finančni viri, človeški viri.
- Zagotovitev pogojev za izvedljivost; razumne in sprejemljive zahteve za vse udeležence v postopkih, za poseg v prostor.
- Določena mora biti povezava med zahtevami po kakovosti in potrebnimi viri. Zaradi velikih sredstev je optimizacija primerna in aktualna.
- Informacijska podpora.
- Druge specifične zahteve.

# DEES včeraj

---

- Tehnološke rešitve so bile v koraku s stanjem takratne tehnike. Novosti so bile relativno hitro uvedene tudi na našem območju. Prva elektrarna na izmenični tok 14. aprila 1897!
- Odjemalci z robustnimi in skromnimi napravami in »neobčutljivi« na prekinitve.
- Naprave so bile še »čiste« niso povzročale onesnaženja omrežja. Prevladovala so pretežno grela in sijalke (takrat žarnice).

# DEES danes

---

- Uvedene so številne posodobitve DEES:
  - Daljinsko vodenje objektov brez posadke razdelilnih transformatorskih postajah (RTP) in razdelilnih postajah (RP) iz distribucijskega centra vodenja;
  - Uvedba nazivne napetosti 230 V;
  - Sodobnejše rešitve SN in NN vodov;
  - Sodobni distribucijski centri vodenja;
  - Sodobna primarna in sekundarna oprema;...
- Doživeli smo tehnološko zamenjavo zaščitnih naprav s sodobnimi; izvedba je bila uspešna, ker so te naprave montirane znotraj objektov in s kontrolirano klimo ali vsaj z ne preveč agresivnimi atmosferskimi in drugimi vplivi, kot na primer vibracije.
- Doživeli smo intenzivno fazo informatizacije, zlasti z uvedbo digitalnega računalnika v praktično vse postopke načrtovanja, gradenj, obratovanja in vzdrževanja.

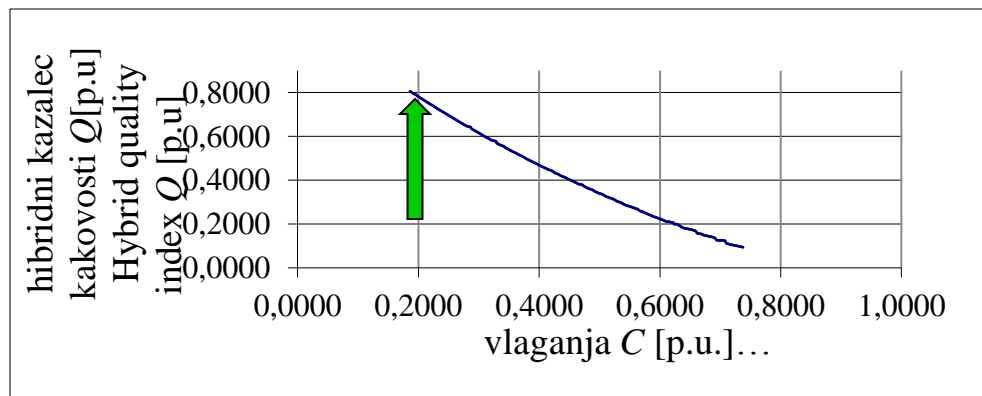
# DEES kje smo danes v primerjavi z ostalimi razvitimi DEES/1

---

- Slovenski DEES je v nekaterih pogledih primerljiv z najbolj razvitimi, na primer glede uporabe sodobnih tehnoloških rešitev, kot tudi uporabe sodobnih materialov oziroma sklopov (kot pilotni projekti).
- V pogledu strukture DEES, predvsem srednjenapetostnega omrežja pa je razlika velika:
  - vzankanost : ciljna vrednost  $\Rightarrow$  100% (sedaj  $\approx$  60%),
  - pokablitev: ciljna vrednost  $\Rightarrow$  100% (sedaj  $\approx$  30%),
  - avtomatizacija (optimizacija) SN in NN omrežja: ciljna vrednost  $\Rightarrow \approx$  100% (sedaj  $\approx$  5%),
  - tehnološke posodobitve RTP, RP, TP (vgradnja novejših primarne in sekundarne opreme, meritve električne energije in kakovosti v vseh objektih!): ciljna vrednost  $\Rightarrow$  100% (sedaj  $\approx$  5%),
  - Telemetrične meritve pri vseh odjemalcih (zahteva EU direktive): ciljna vrednost  $\Rightarrow$  100% (sedaj  $\approx$  10%),
  - Uvedba geografsko informacijskega sistema GIS ciljna vrednost  $\Rightarrow$  100% (sedaj  $\approx$  100% SN, 30% NN),
- Nimamo še vetrnih elektrarn velike moči; za vetrno energijo potrebujemo močno prenosno in distribucijsko omrežje. Hkrati je potrebno vetrno energijo nadomestiti s klasično proizvedeno energijo ali z ustrezno veliko črpalno elektrarno.

# DEES kje smo danes v primerjavi z ostalimi razvitimi DEES/2

- Pričenja se že obdobje onesnaževanja omrežja zaradi nekaterih novih aparatov, ali praktično z vsemi novimi aparati, ki imajo nelinearne karakteristike.
- Ni še v celoti določena povezava med zahtevami po kakovosti DEES s potrebnimi sredstvi in človeškimi viri.  $Q=Q(C)$ .



- Informacijska podpora pokriva sedanje zahteve za DEES.
  - Številni pilot projekti predstavljajo zametek prihodnjih zahtev tako z vidika oblikovanja zahtev kot tudi z vidika izdelave ustreznih programskih orodij in tehnoloških rešitev kot na primer poenotenje komunikacij med energetskimi objekti.

# DEES jutri/1

---

- Sedanji DEES se bo bistveno spremenil zlasti v naslednjem:
  1. Energija ne bo več tekla samo od velikih proizvajalcev električne energije preko prenosnega omrežja do distribucijskega omrežja in naprej do vseh odjemalcev,
    - temveč tudi med posameznimi viri in odjemalci znotraj DEES;
    - v določenih primerih lahko tudi v prenosno omrežje.
    - Če imamo na primer proizvodnjo električne energije iz malih hidro elektrarn, ki presega porabo na tem območju, se le - ta transformira iz nizke napetosti na srednjenapetostni nivo ali celo na visokonapetostni nivo. Tak primer je območje Tolmina oziroma zgornjesoška dolina.
  2. DEES ne bo več obratoval samo radialno,
    - potrebno bo poiskati tehnične možnosti za obratovanje v zanki, da bodo proizvodni viri sledili optimumu »čim več prodati«.
    - Stanje bo podobno kot ga imamo danes na prenosnem omrežju.
    - Potrebno bo spremeniti zakonodajo in dopolniti predpise, da bo zadoščeno varnosti, zanesljivosti, ekološkim zahtevam, pričakovanjem investitorjev v proizvodnjo iz obnovljivih virov.
  3. Nelinearni porabniki bodo povzročili veliko večje onesnaženje sinusoide napetosti,
    - zato bo potrebno to sanirati bodisi s strožjimi predpisi do proizvajalcev
    - bodisi z aktivnimi napravami za kompenzacijo teh vplivov.
    - Danes je že poteka aktivno »dogovarjanje« med proizvajalci opreme široke potrošnje in operaterji. Prvi želijo minimalna odstopanja od nazivne napetosti 230 V, medtem ko drugi (upravičeno) zahtevajo uskladitev z veljavno toleranco  $\pm 10\%$  oziroma za čim večjo zaradi finančnih zahtev, ki naraščajo z zmanjševanjem odstopanj.

# DEES jutri/2

---

- Vprašanje **varnosti pred električnim udarom**
  - bo potrebno vključiti v novo zakonodajo, predvsem zaradi novih postopkov dela, novih materialov, novih elementov, zahtev po delu pod napetostjo,
  - novih množičnih malih proizvodnih virov oziroma
  - zaradi doseganja čim višje stopnje zanesljivosti.
- Vse novosti, na primer zelo aktualen projekt »**aktivnih omrežij**« in uvajanje **električnega avtomobila**, bo potrebno vključevati
  - skladno z možnostmi in
  - pri pogoju, da sedanji »klasični« DEES potrebuje tudi stalno investiranje v posodabljanje in vzdrževanje zaradi zagotavljanja varnosti in zanesljivosti.
  - Navedeno je neposredno povezano s potrebnimi minimalnimi sredstvi po načelu  $C \Leftrightarrow C_{min}$  pri  $Q \Leftrightarrow Q_{max}$ .
- Potrebno bo še **več vlagati v človeške vire v znanje!**
  - Iz prakse in petintridesetletnega poznavanja te problematike distribucijskih podjetij, izhaja, da bomo ne glede na specialistična znanja za posamezni segment potrebovali
  - »splošnega inženirja«, ki bo prepoznal zahteve osnovnih procesov v DEES in
  - postopno vključeval preverjene novosti.

# Primeri vključevanja novosti v DEES/1 (splošne zahteve)

---

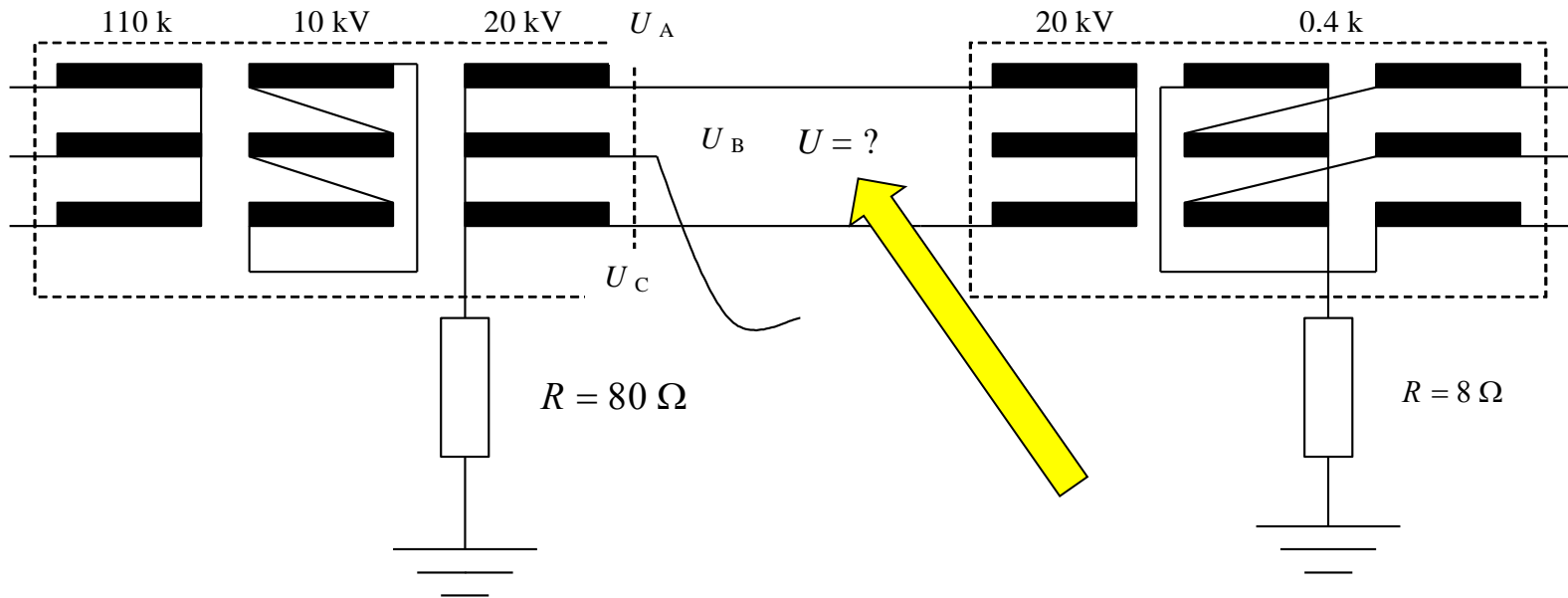
- Na podlagi analize stanja pripraviti :
    - enostavno,
    - zanesljivo in
    - cenovno sprejemljivo
- metodo za rešitev tehničnega problema

# Primeri vključevanja novosti v DEES/1 (LiSa zaščita vodov pri prekinitvi vodnika; opis problema)/1

---

- *Problematika varnosti pri prekinitvi vodnika, ko zaščita ne deluje in ostane vodnik pod napetostjo in obstaja nevarnost pred električnim udarom.*
- *To stanje predstavlja nevarnost za ljudi in živali, ki so naključno na tem mestu, zlasti za otroke in živali.*
- *Načrtovanje, projektiranje, vzdrževanje in obratovanje distribucijskega elektroenergetskega omrežja mora biti tako organizirano, da za predpisane parametre do tega ne pride. Iz prakse pa ugotavljamo, da nastopajo tudi posebne prilike, ko so predpisani parametri prekoračeni, kot na primer zdrs zemljine, ki vendarle povzročijo stanje prekinitve vodnika.*
- *Za te posebne izjemne primere je pomembno, da posebna zaščita deluje zanesljivo in vod s prekinjenim vodnikom neposredno odklopi in tako prepreči nastanek nevarnega stanja.*

# Primeri vključevanja novosti v DEES/1 (LiSa zaščita vodov pri prekinitvi vodnika;osnovna slika)/2



# Primeri vključevanja novosti v DEES/1 (LiSa zaščita vodov pri prekinitvi vodnika; fizikalne osnove)/3

## □ **Zakon o inducirani napetosti**

pravi, da je magnetni pretok določen s pritisnjeno napetostjo neglede na snov znotraj navitja

$$U = k \cdot \Phi_m \cdot N = k_1 \cdot \Phi_m [\text{V}]$$

- **Drugi zakon** pravi, da se pri obremenitvi sekundarne niskonapetostne strani s tokom  $I_2$  ohranja stanje magnetnega pretoka  $\Phi$  s tokom  $I_1$  v povezavi:

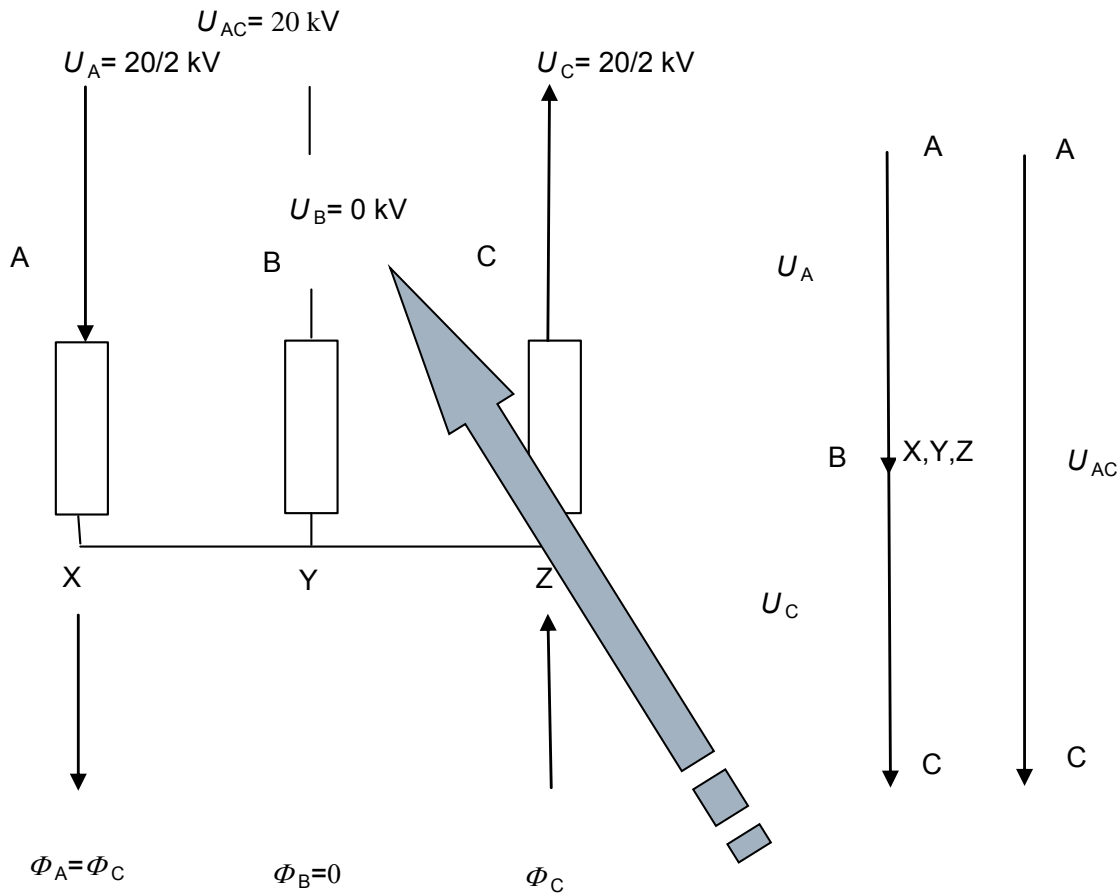
$$I_1 \cdot N_1 = I_2 \cdot N_2 [\text{A}]$$

- **osnovni zakon** elektrotehnike ki povezuje vrednost toka in napetosti

$$I_{2f} = \frac{U_{2f}}{R_2} [\text{A}]$$

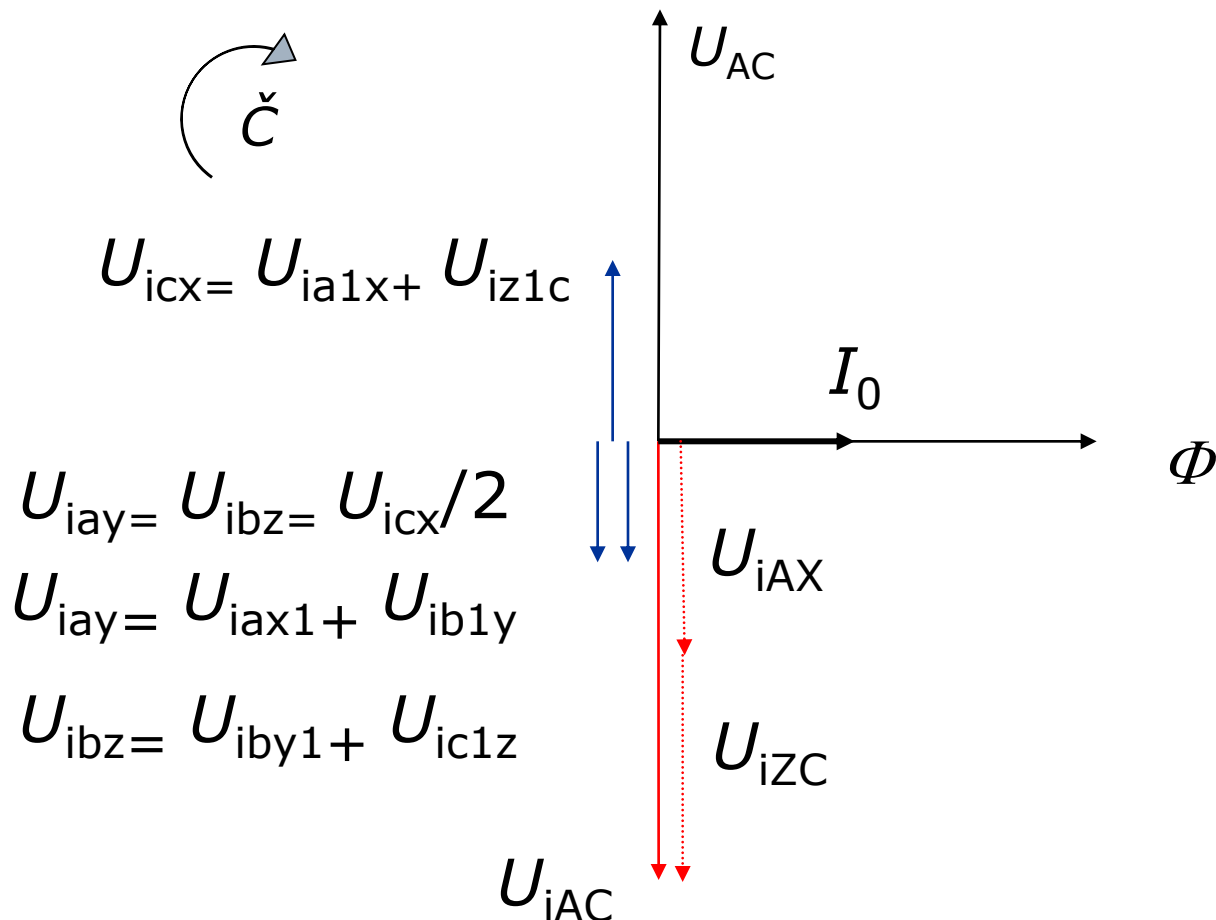
# Primeri vključevanja novosti v DEES/1

(LiSa zaščita vodov pri prekinitvi vodnika; fizikalna slika ob nastanku prekinitve vodnika; sekundarna stran transformatorja- vezava Yzn5) /4



# Primeri vključevanja novosti v DEES/1

(LiSa zaščita vodov pri prekinitvi vodnika; kazalčni diagram; sekundarna stran transformatorja- vezava Yzn5) /5



# Primeri vključevanja novosti v DEES/1 **II.**

(LiSa zaščita vodov pri prekinitvi vodnika; izračun amperovojev sekundarna stran transformatorja- vezava Yzn5) /6

## □ *steber A*

$$i_a \cdot \frac{N_2}{2} + i_c \cdot \frac{N_2}{2} = i_A \cdot N_1 [\text{A}]; i_c = 2 \cdot i_a \longrightarrow i_1 = i_A = \frac{3}{2} \cdot i_a \cdot \frac{N_2}{N_1} [\text{A}]$$

## □ *steber B*

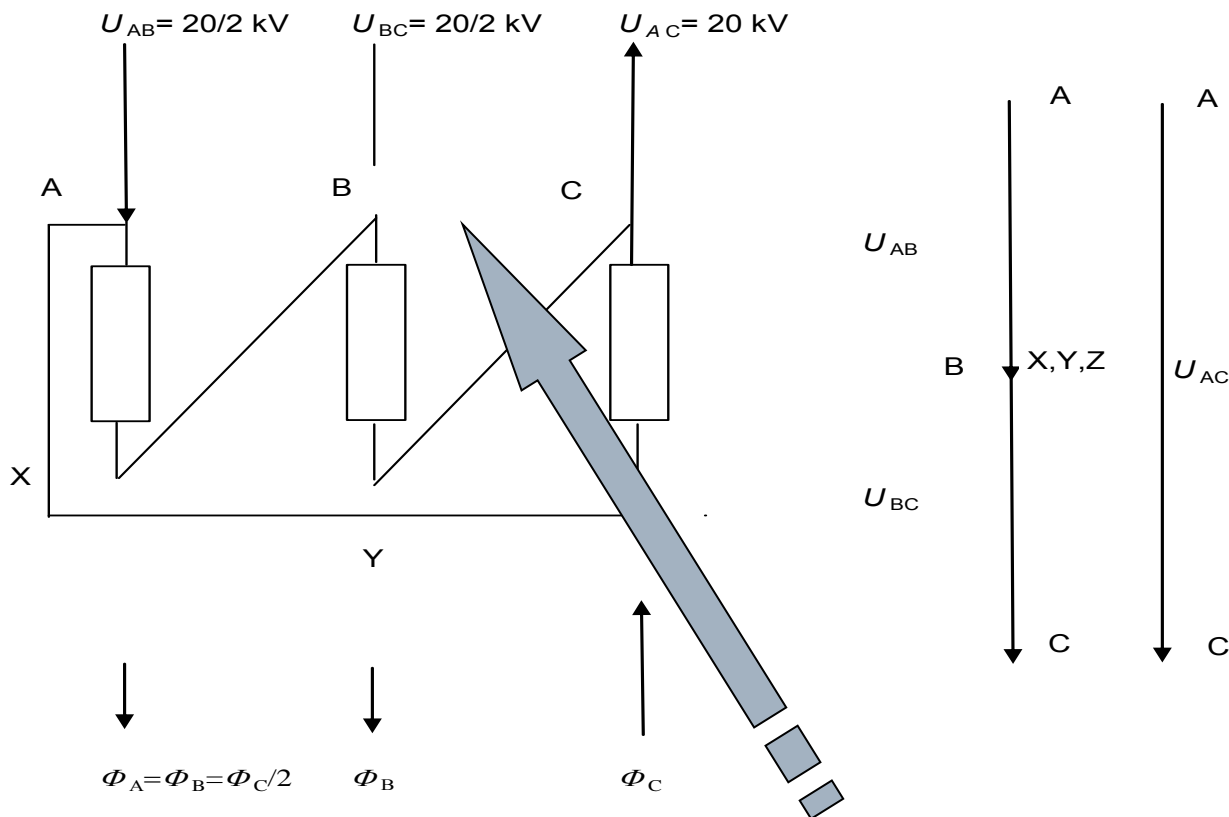
$$i_b \cdot \frac{N_2}{2} - i_a \cdot \frac{N_2}{2} = i_B \cdot N_1 [\text{A}]; i_B = 0 \longrightarrow i_a = i_b [\text{A}]$$

## □ *steber C*

$$i_c \cdot \frac{N_2}{2} + i_b \cdot \frac{N_2}{2} = i_C \cdot N_1 [\text{A}]; i_c = 2 \cdot i_b \longrightarrow i_1 = i_C = \frac{3}{2} \cdot i_b \cdot \frac{N_2}{N_1} [\text{A}]$$

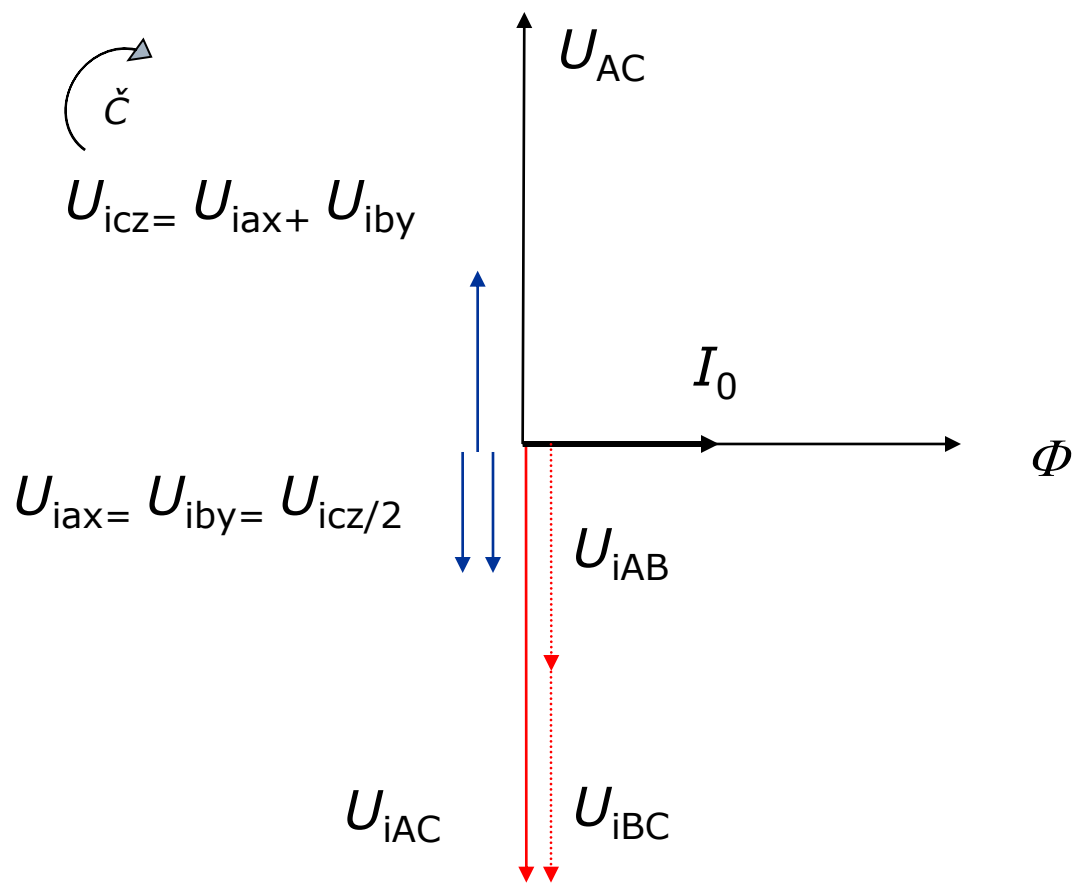
# Primeri vključevanja novosti v DEES/1

(LiSa zaščita vodov pri prekinitvi vodnika; fizikalna slika ob nastanku prekinitve vodnika; sekundarna stran transformatorja- vezava Dyn5) /7



# Primeri vključevanja novosti v DEES/1

(LiSa zaščita vodov pri prekinitvi vodnika; kazalčni diagram; sekundarna stran transformatorja- vezava Dyn5) /8



# Primeri vključevanja novosti v DEES/1

(LiSa zaščita vodov pri prekinitvi vodnika; izračun amperovojev sekundarna stran transformatorja- vezava Dyn5) /9

---

## □ *steber A*

$$i_a \cdot N_2 = i_A \cdot N_1 [\text{A}] \longrightarrow i_A = i_a \cdot \frac{N_2}{N_1} [\text{A}]$$

## □ *steber B*

$$i_b \cdot N_2 = i_B \cdot N_1 [\text{A}] \longrightarrow i_B = i_a \cdot \frac{N_2}{N_1} [\text{A}]$$

## □ *steber C*

$$i_c \cdot N_2 = i_C \cdot N_1 [\text{A}] \longrightarrow i_C = i_c \cdot \frac{N_2}{N_1} = 2 \cdot i_a \cdot \frac{N_2}{N_1} [\text{A}]$$

# Primeri vključevanja novosti v DEES/2 (zaščita upora za ozemljitev zvezdišča TR; opis problema)<sup>1</sup>

---

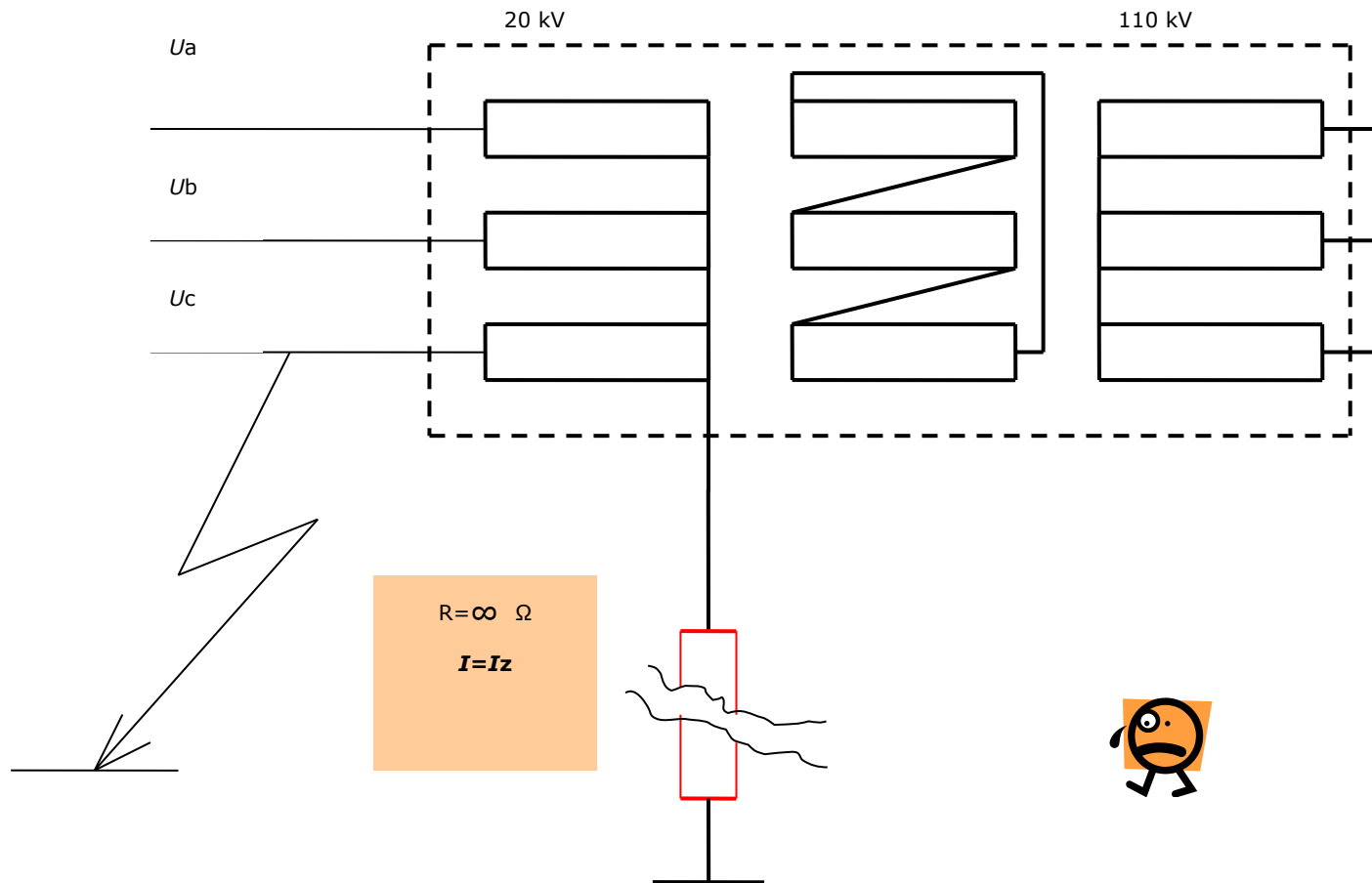
- Slovenski elektroenergetski distribucijski sistemi obratujejo s srednjenapetostnim 20 kV omrežjem s posredno ozemljeno nevtralno točko z uporom za omejitev toka zemeljskega stika.
- Zaradi okvar (prekinitev) upora, omrežje v tem stanju preide v obratovanje z izolirano nevtralno točko, kar (lahko v posebnih primerih) predstavlja neskladje s predpisi in je lahko nevarno za ljudi in živali ter predstavlja možnost nastanka materialne škode.
- Ob prekinitvi upora nastane neskladje s predpisi na treh nivojih:
  - obratujemo s tokom zemeljskega stika, ki prekoračuje dopustno vrednost 15 A (tok je v praksi vedno večji od 15 A!),
  - vrednosti upornosti v posamezni transformatorski postaji je prekoračena, kar pomeni tudi prekoračitev dopustne napetosti dotika
  - nekatere zaščite v posebnih primerih ne delujejo zanesljivo.

# Primeri vključevanja novosti v DEES/2 (zaščita upora za ozemljitev zvezdišča TR; primer okvare)2

---



# Primeri vključevanja novosti v DEES/2 (zaščita upora za ozemljitev zvezdišča TR; shematični prikaz okvare)



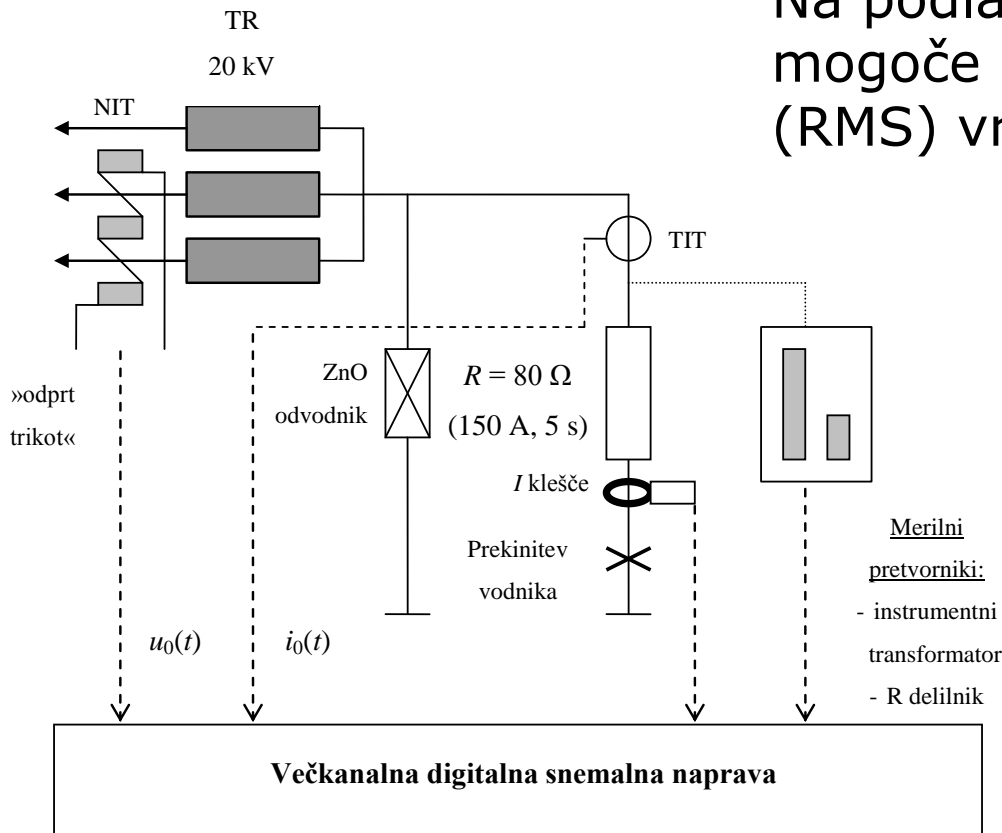
# Primeri vključevanja novosti v DEES/2 (zaščita upora za ozemljitev zvezdišča TR; ideja rešitve problema)<sup>4</sup>

---

- Z meritvami ugotoviti kakšna sta napetost  $U_0$  in tok  $I_0$  na uporu v normalnem obratovanju in ob okvari na uporu  $R$ , ko je ta prekinjen. Ti veličini se že meri in uporablja za namen zaščite.
- Veličine smo merili z različnimi merilnimi pretvorniki.
- Poiskati ustrezen algoritem in ga vključiti kot nadgradnjo obstoječe zaščite.

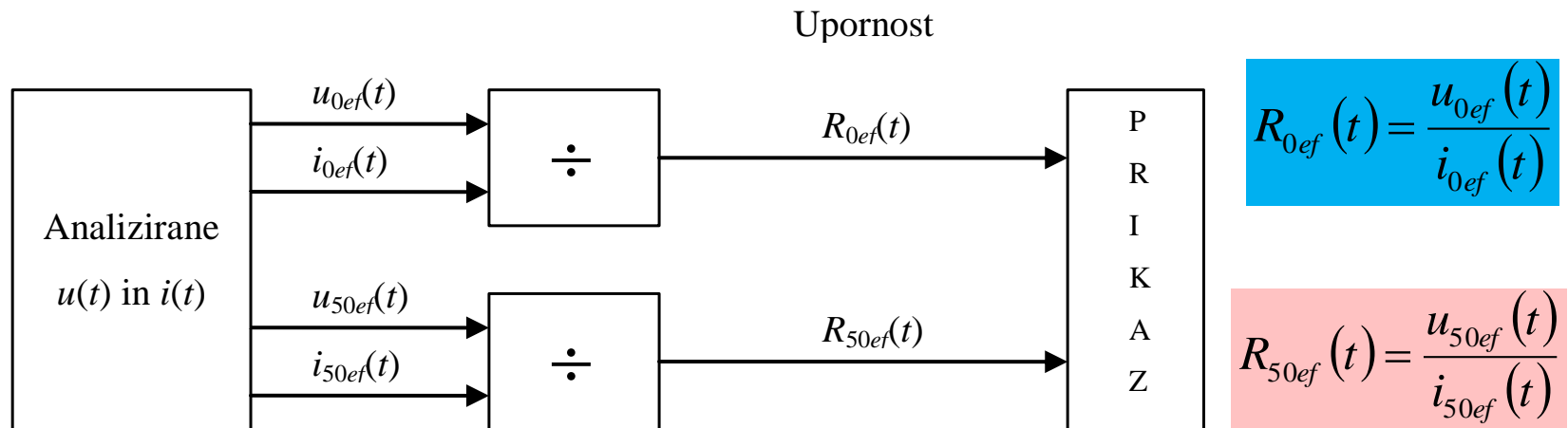
# Primeri vključevanja novosti v DEES/2 (zaščita upora za ozemljitev zvezdišča TR; merilno vezje)5

Na podlagi časovnega poteka je mogoče izračunati efektivno (RMS) vrednost napetosti ali toka.



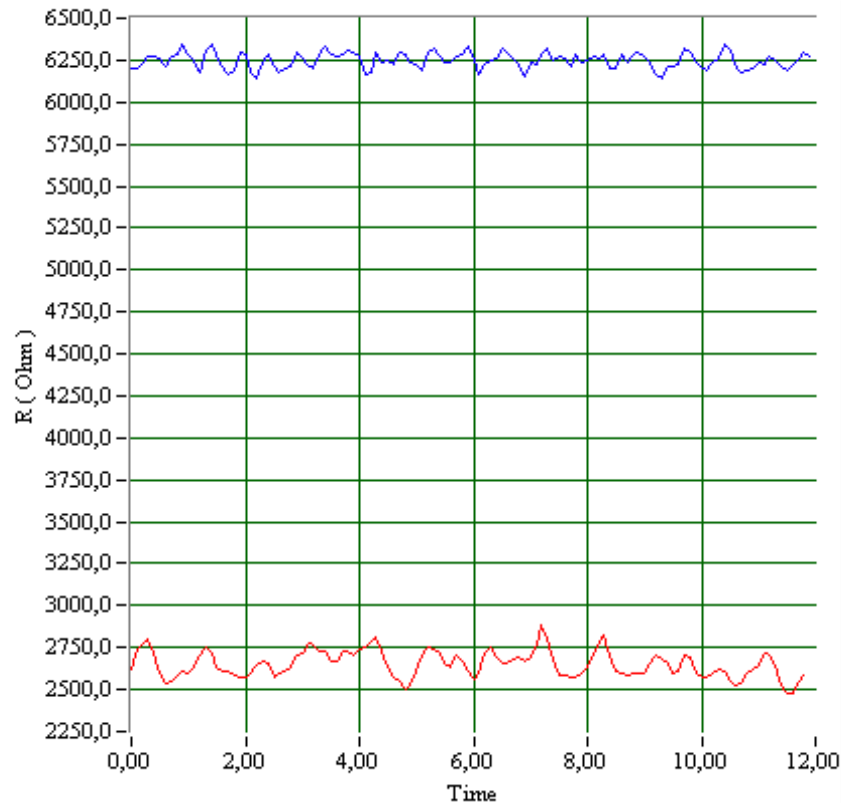
$$Y_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2(t) dt}$$

# Primeri vključevanja novosti v DEES/2 (zaščita upora za ozemljitev zvezdišča TR; postopek izračuna)6



# Primeri vključevanja novosti v DEES/2 (zaščita upora za ozemljitev zvezdišča TR; primer izračuna, ko je upor v normalnem stanju)7

Ohmska upornost



R 50Hz  
R RMS

R 50Hz ( Ohm )

2651,20

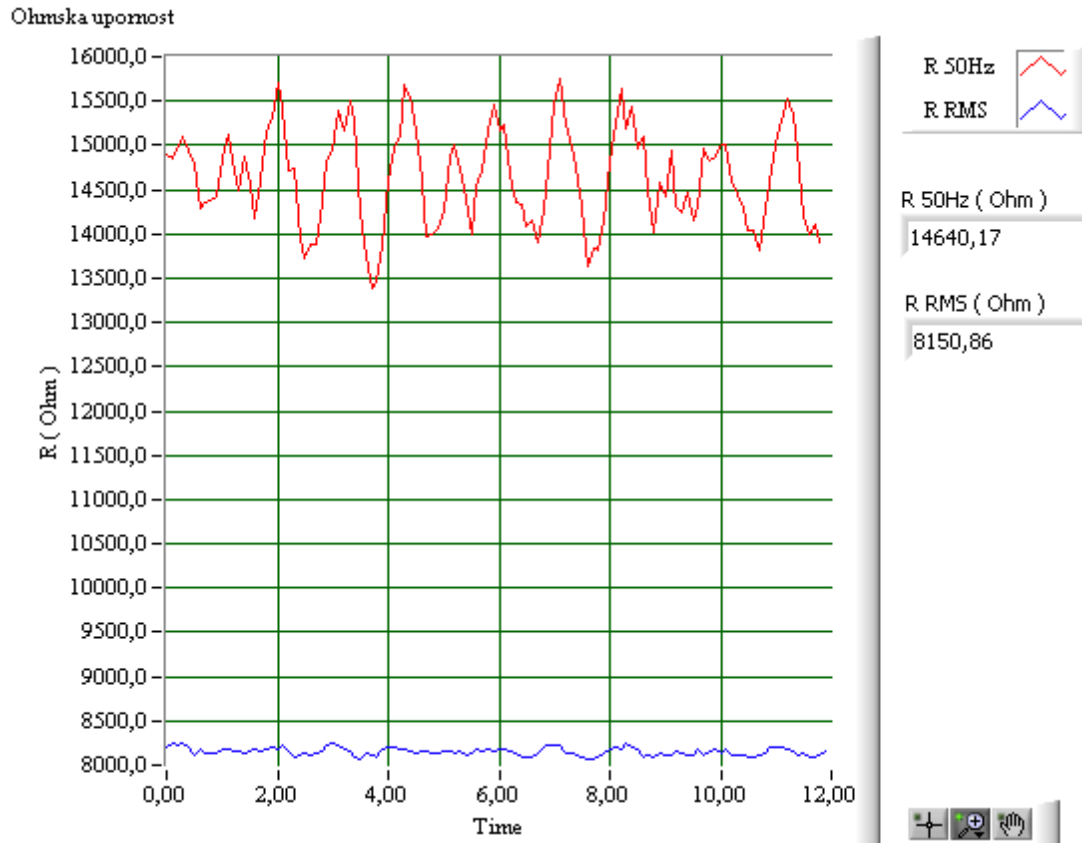
R RMS ( Ohm )

6248,24

$$R_{0ef}(t) = \frac{u_{0ef}(t)}{i_{0ef}(t)}$$

$$R_{50ef}(t) = \frac{u_{50ef}(t)}{i_{50ef}(t)}$$

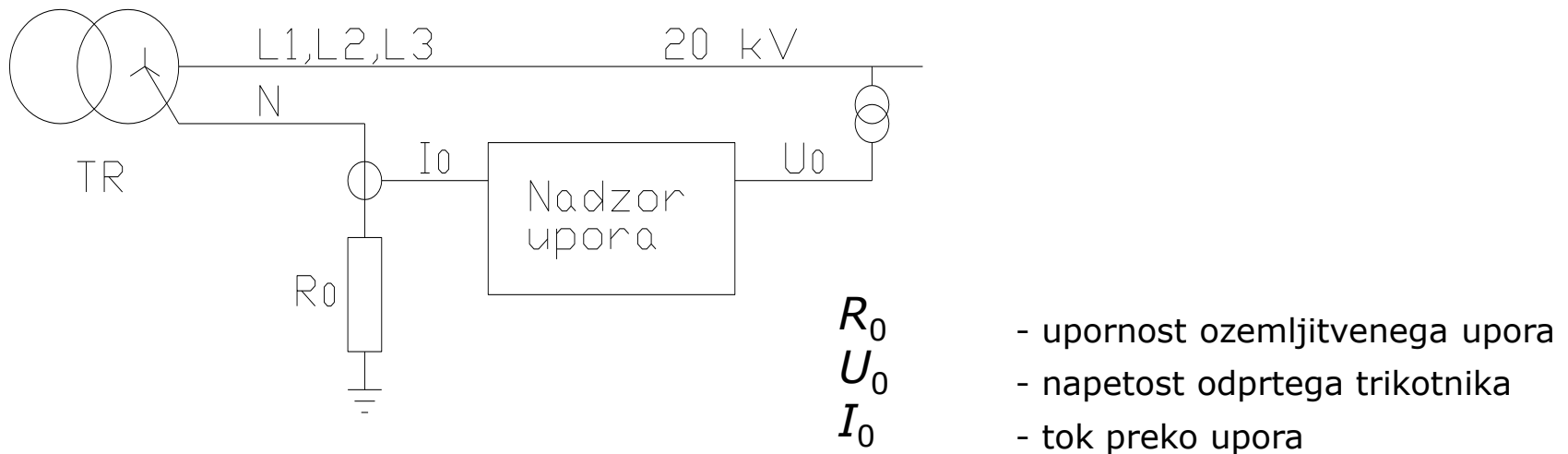
# Primeri vključevanja novosti v DEES/2 (zaščita upora za ozemljitev zvezdišča TR; primer izračuna, ko je upor prekinjen)8



$$R_{50ef}(t) = \frac{u_{50ef}(t)}{i_{50ef}(t)}$$

$$R_{0ef}(t) = \frac{u_{0ef}(t)}{i_{0ef}(t)}$$

# Primeri vključevanja novosti v DEES/2 (zaščita upora za ozemljitev zvezdišča TR; merilno vezje stalnega monitoringa)9



Algoritem je implementiran v zaščitni rele FPC525, proizvajalca Iskra Sistemi.

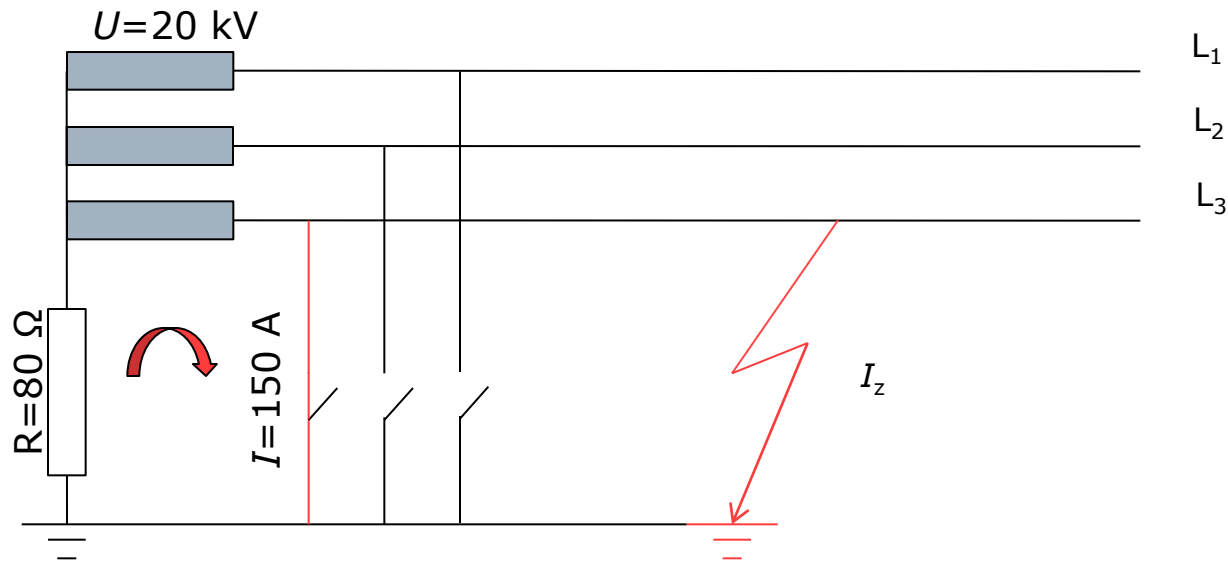
Z vgradnjo zaščit nadzora upora smo pričeli julija 2011 in od takrat je bilo vgrajenih 8 zaščit.

# Primeri vključevanja novosti v DEES/3 (shunt stikalo; osnovno izhodišče)<sup>1</sup>

---

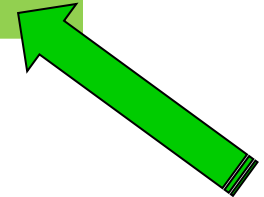
- **z uporabo takoimenovanega shunt-stikala:**
  - omejujemo višino stikalnih prenapetosti in prenapetosti pri zemeljskih stikih,
  - omogočamo selektivno delovanje zaščite in
  - **izločimo bežne zemeljske stike brez motenj za potrošnike.**

# Primeri vključevanja novosti v DEES/3 (shunt stikalo; osnovni princip delovanja)2



# Primeri vključevanja novosti v DEES/3 (shunt stikalo; število uspešnih delovanj)3

leto	število delovanj ZS zaščit	delež prehodnih ZS (%)	delež uspešnosti delovanja shunta (%)
2005	90	/	67
2006	63	83	50
2007	112	81	49
2008	93	92	70
2009	83	95	73
2010	113	91	80
2011	38	89	<b>88</b>



# Primeri vključevanja novosti v DEES/4 (nove ideje - rešitve)

---

- ❑ Pomembne so nove ideje
- ❑ Uporaba osnovnih zakonitosti elektrotehnike
- ❑ Problem poenostaviti in opisati
- ❑ Uporabiti nove metode za kompleksnejši način reševanja problemov
- ❑ Pomembno domače znanje

# Sklep

---

- ❑ Distribucijski elektroenergetski sistem je nujno potreben za delovanje vseh procesov, ki temeljijo na uporabi električne energije.
- ❑ DEES je v dosedanjem času sledil zahtevam oziroma osnovnemu namenu.
- ❑ DEES ima nekatere posebnosti, ki jih je potrebno upoštevati pri načrtovanju, gradnji, vzdrževanju in obratovanju.
- ❑ Za uspešno delovanje DEES je potrebno dolgoročno načrtovanje, sodobna gradnja in vzdrževanje.
- ❑ Zagotovljeni morajo biti ustrezni viri, tako finančni kot človeški za izpolnitev postavljenih zahtev po kakovosti.
- ❑ Zelo pomembna se zlasti v zadnjem času kaže izvedljivost poseganja v prostor z načrtovanimi objekti.
- ❑ Novosti, kot so aktivna omrežja, je potrebno postopno uvajati skladno z možnostmi kot dopolnitev obstoječega DEES, ki še naprej ostaja temelj za delovanje celotne sodobne družbe.
- ❑ Uporabite temeljna znanja elektrotehnike in realizirajte vaše nove ideje.
- ❑ Uporabljajte inženirsko stroko s premislekom, ne pustite, da bo postala elektrotehniška stroka orodje politike.

Hvala za pozornost  
Prosim za vprašanja



Zvonko Toroš