

ODNOS ANOMALIJA ZRAČNIH RAZMAKA IZMJENIČNOG I ISTOSMJERNOG PRIJENOSA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Mr. sc. Filip Mandarić, Split

UDK 621.13/14:621.315.24
STRUČNI ČLANAK

Pored linearne zavisnosti, kako izmjeničnog tako i istosmjernog napona o razmaku vodiča, iznad 345 kV dolazi do anomalija zračnih razmaka povećanjem naponaprijenosa. U članku se na temelju eksperimentalnih grafova zavisnosti podnosivih napona izvode konstante anomalija zračnih razmaka za izmjenični i istosmjerni napon prijenosa. Takvi rezultati omogućavaju planiranje prijenosnih alternativa sa svrhom ekonomičnosti gradnje prijenosa.

Ključne riječi: anomalije zračnih razmaka, izmjenični napon prijenosa, istosmjerni napon prijenosa, razmak vodiča, naponski odnosi.

1. UVOD

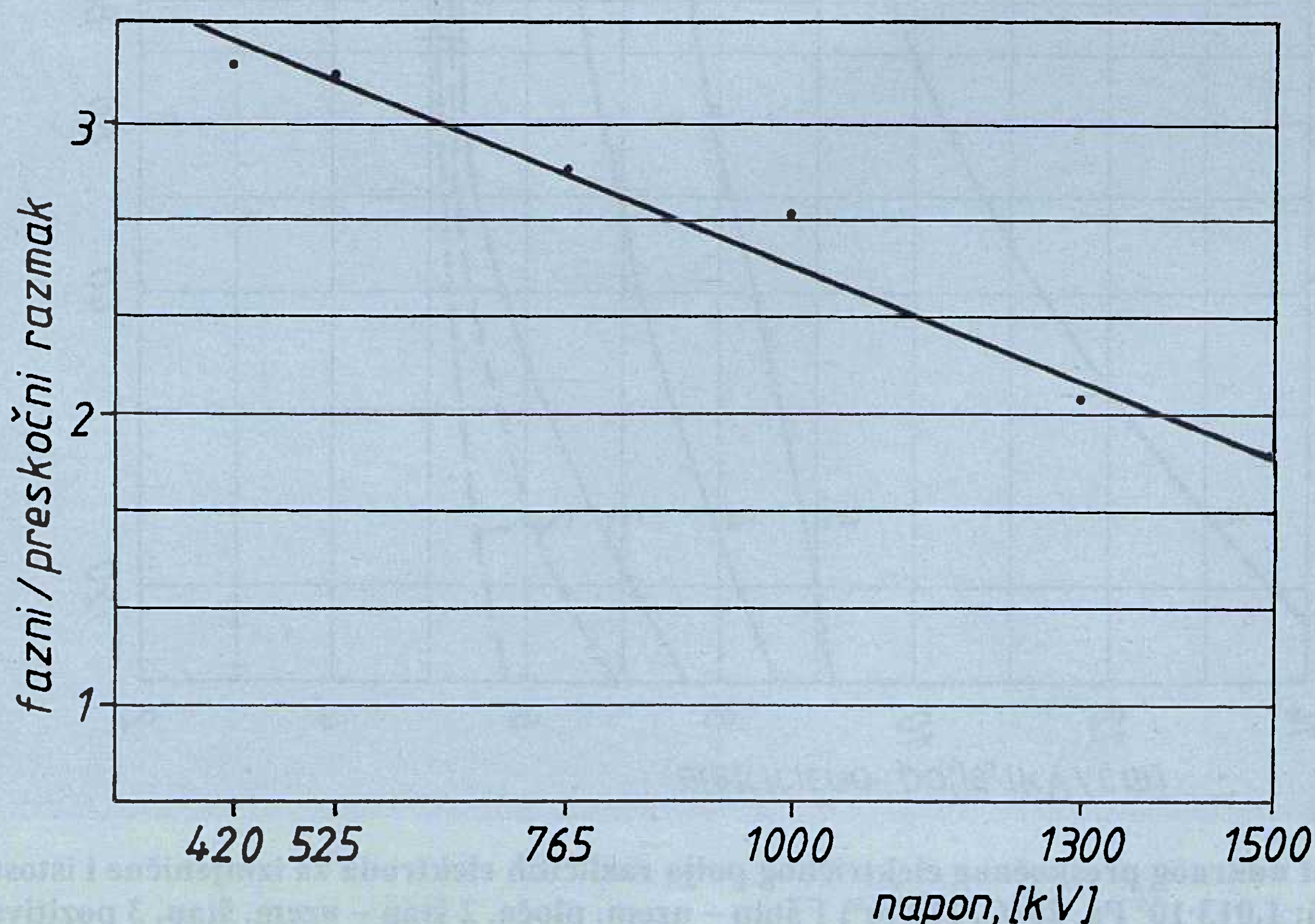
Iako kod nas još neiskorištene pogodnosti istosmjernog prijenosa električne energije u sklopu elektroenergetskog sustava one se u svijetu upotrebljavaju kao sinkrone za prijenos velikih snaga, zatim kao prijenos zajedničkim vodovima izmjeničnog prijenosa, za povezivanje asinkronih sustava te kao veze za poboljšanje stabilnosti, odnosno kompenzacija snaga unutar sustava, literatura [1]. Analizira se odnos napona i razmaka vodiča kod istosmjernog prijenosa u usporedbi s izmjeničnim prijenosom, kada dolaze do izražaja napon-

ske anomalije zračnih razmaka kao razlog više primjene istosmjernog prijenosa.

2. RAZMAK VODIČA I NAPON IZMJENIČNOG I ISTOSMJERNOG PRIJENOSA

2.1. Grafički prikaz anomalija za izmjenične i istosmjerne napone prijenosa

Povijesno, izmjenični prijenos karakterizira povećanje naponskih nivoa, budući da je iznos snage prijenosa za određenu impedanciju između proizvođača i potrošača



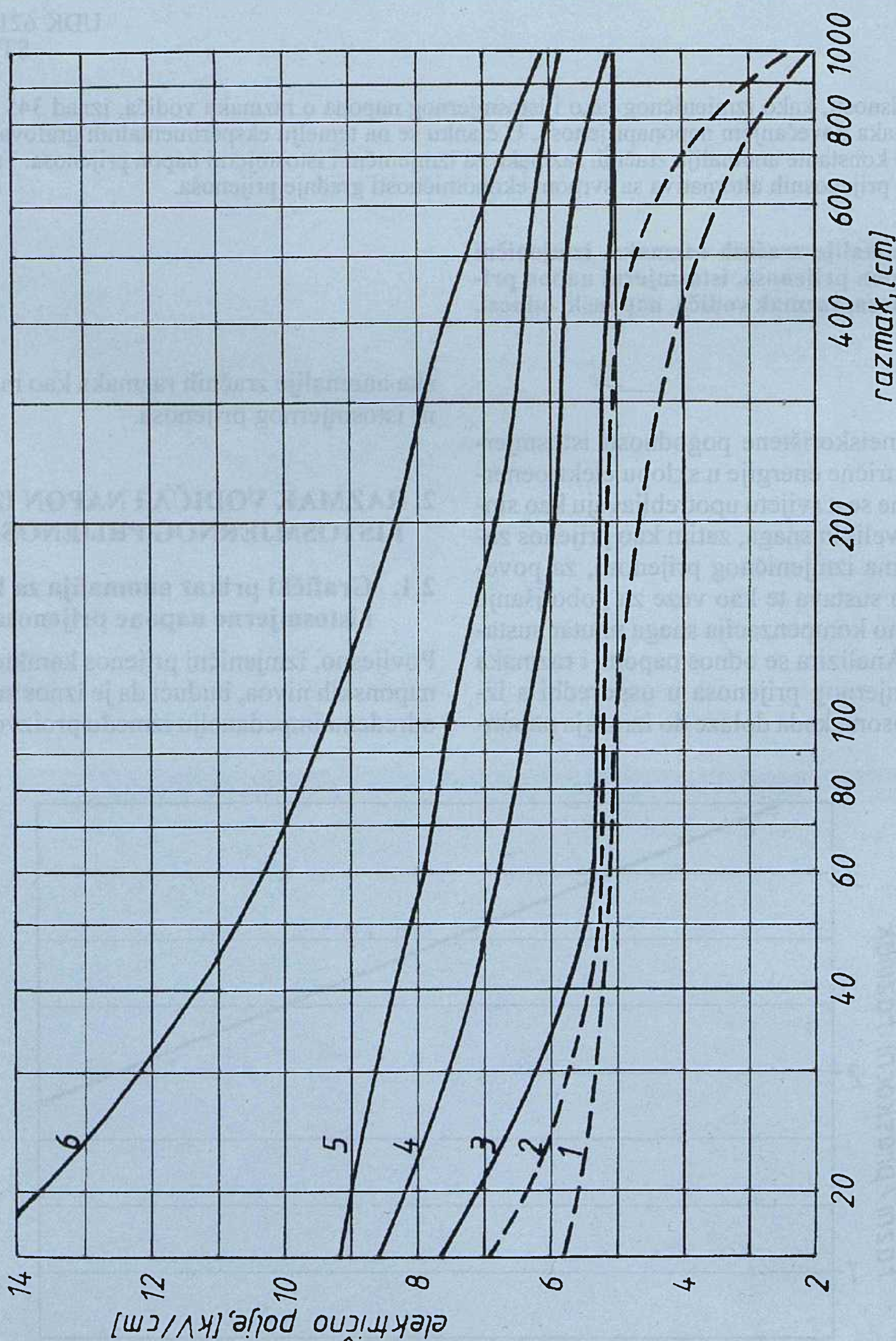
Slika 1. Fazni i preskočni razmaci prema naponima izmjeničnog prijenosa

matematski proporcionalan kvadratu napona prijenosnog sustava. Ista pogodnost prijenosa snage povećanjem napona nije iskoristiva u nedogled. Dolaze do izražaja anomalije zračnih razmaka, posebno na nivoima iznad 345 kV. Prema iskustvu izvedenih vodova izmjeničnog prijenosa je izvedena jednakost odnosa faznih i preskočnih razmaka u obliku:

$$\frac{\text{Fazni razmak}}{\text{Preskočki razmak}} = 3,8416 - 0,0013166 U \text{ [broj]} \quad (1)$$

gdje je U izmjenični linijski napon u [kV]. Isti izraz je nešto određenije izveden na slici 1. a prema literaturi [2] gdje su označene ograde, odnosno njegove rubne vrijednosti. Ako je V fazni napon tada je $U = \sqrt{3} V$.

Od posebnog su interesa razmaci vodiča pri primjeni izmjeničnog i pri primjeni istosmjernog napona. Prema literaturi [3] je na slici 2. prikazana zavisnost specifičnog udarnog preskočnog električnog polja različitih elektroda za izmjenične i istosmjerne napone.



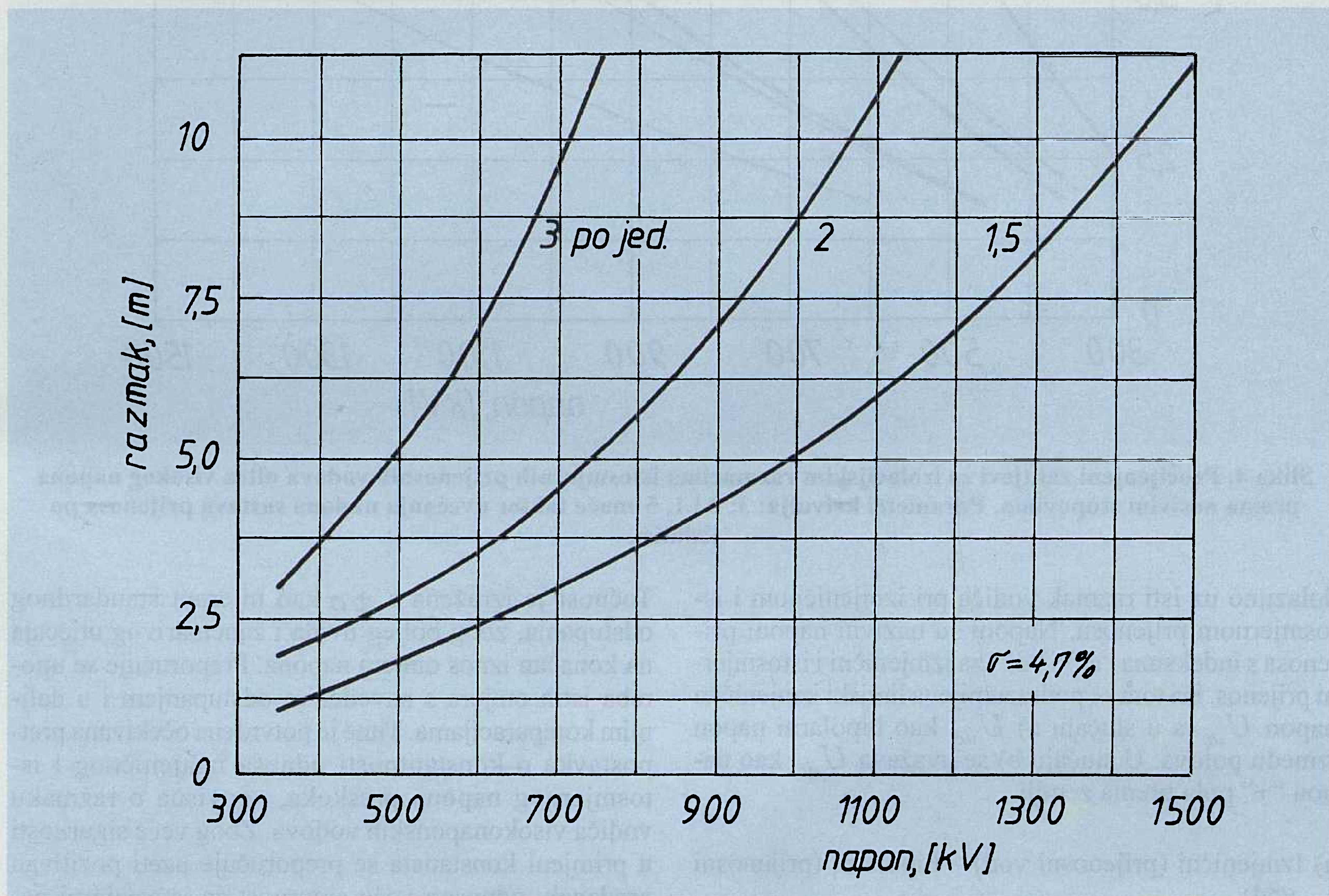
Slika 2. Zavisnost udarnog preskočnog električnog polja različitih elektroda za izmjenične i istosmjerne napone. (Klimatski uvjeti: $1,013 \cdot 10^5$ Pa, 20°C , 11g/m^3) 1 štap – uzem. ploča, 2 štap – uzem. štap, 3 pozitivan štap – uzem. ploča, 4 pozitivan štap – uzem. štap, 5 negativan štap – uzem. štap, 6 negativan štap – uzem. ploča; 1,2 vršna vrijednost izmj. napona, 3,4,5,6 udarni preskočni napon (50% vrijednosti).

Lako je zapaziti veću električnu čvrstoću istosmjernog naponskog napreznja kao i anomalije, odnosno nelinearne zavisnosti. Pažnju posvećujemo usporedbama vodova, odnosno njihovih naponskih napreznja. Grafovi na slici 2. su dakako dobiveni eksperimentalno. Usporedimo li neke od njih s grafovima na slici 5. zapazit ćemo da su probojni naponi znatno iznad 50% izdrživih preskočnih napona. Isti dijagrami uvažavanjem podnosivih naponskih napreznja su izvedeni na slikama 3. i 4. za izmjenične i istosmjerne vodove prijenosa. Posebno je dijagram na slici 3. uzet iz literature [4] dok je dijagram na slici 4. izveden iz prikaza na slici 5.

rojatne preskoke. Napon vodiča prema vodiču je jednak razlici napona vodič – zemlja dvaju susjednih vodiča. Naponsko napreznje k tome nije samo napreznje ukupnog napona $|V_+| + |V_-|$ nego je odnos α zavisnost negativnog sklopnog napona u ukupnom naponu:

$$\alpha = \frac{|V_-|}{|V_-| + |V_+|} \quad [\text{broj}] \quad (2)$$

Razlozi isticanja pozitivnog preskočnog napona su njegova manja električna čvrstoća, krivulje 1-2-3 na slici 5., što daje veću sigurnost procjene razmaka vodiča



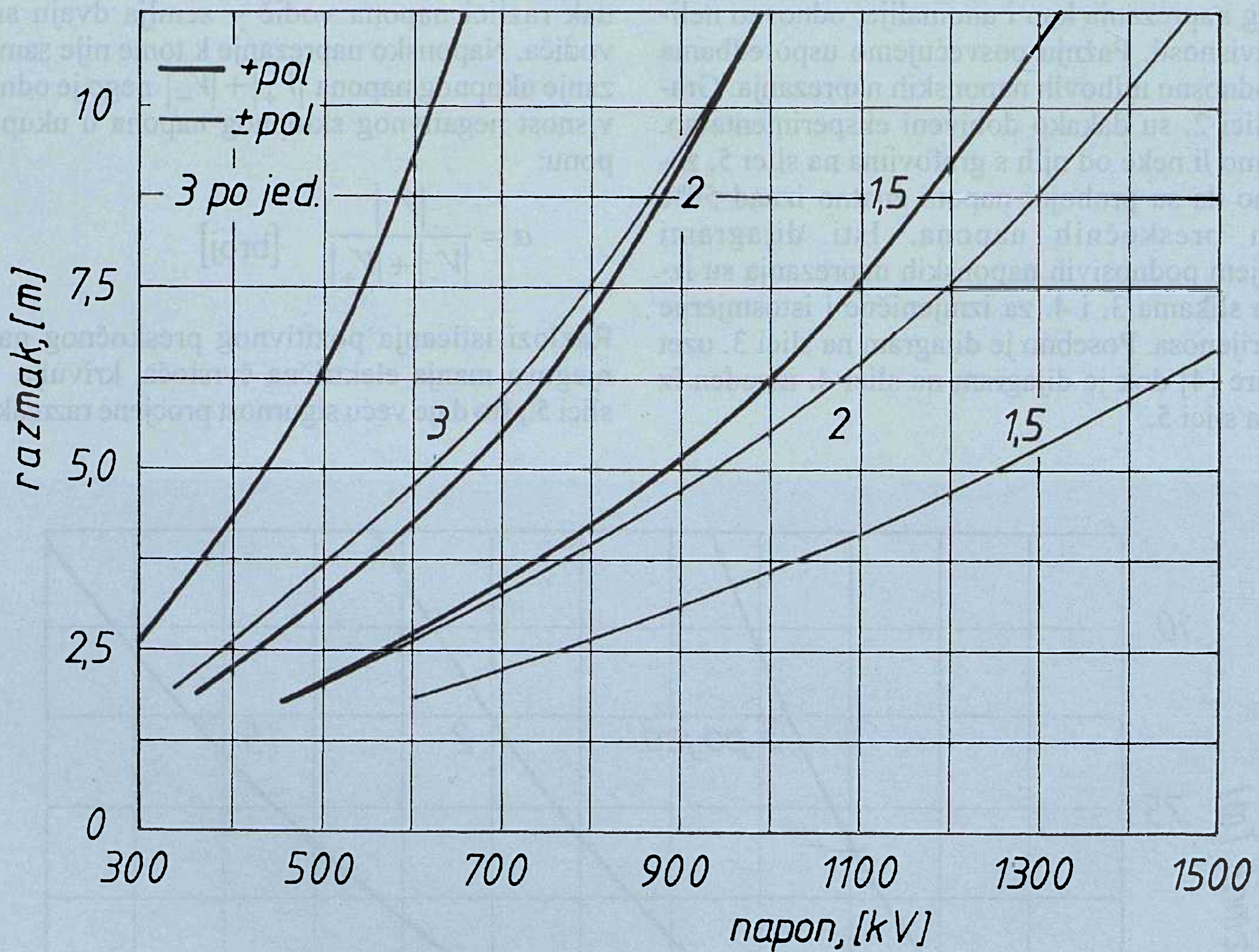
Slika 3. Procijenjeni zahtjevi za izolacijskim razmacima izmjeničnih prijenosnih vodova ultra visokog napona prema nosivim stupovima. (Odobrenje od Westinghouse Electric Corporation.) Parametri krivulja: 3; 2 i 1, 5 znače faktor uvećanja napona sustava prijenosa po jedinici, dok σ predstavlja standardno odstupanje mjerenja, ovdje izraženo u [%].

Napomenimo da istosmjerne prijenosne veze mogu biti unipolarne, bipolarne i homopolarne. Pod time podrazumijevamo prijenos jednim istosmjernim polom (+ ili -) i jednim vodom, zatim prijenos s dva istosmjerna pola (+ i -) jednim vodom suprotno polariziranih vodiča i prijenos istosvrtnim polovima kao homopolarni prijenos. Istaknimo da je zemlja nužno povratni vodič kod unipolarnog i homopolarnog prijenosa. Na slici 4. tako razlikujemo krivulju (+) pola za unipolarni ili homopolarni prijenos i krivulje (\pm) polova za bipolarni prijenos. Posebno, na slici 5. i literaturi [3] su izdvojene krivulje pozitivnog preskočnog vala napona u [kV] za 50% vje-

voda. Za utvrđivanje minimalnih razmaka u zraku preporučuje se ispitivanje dvaju preskočnih napona. Pri tome su vrijednosti odnosa α između 0,33 i 0,5. Konačno se može primijetiti stanovita zakonitost izmjeničnih i istosmjernih preskočnih napona kao i međusobne udaljenosti elektroda.

2.2. Konstante naponskih odnosa izmjeničnog i istosmjernog prijenosa

Prema slikama 3. i 4. odnosno 5. su utvrđeni sljedeći odnosi napona prikazani izrazima (3) i (4). Do njih



Slika 4. Procijenjeni zahtjevi za izolacijskim razmacima istosmjernih prijenosnih vodova ultra visokog napona prema nosivim stupovima. Parametri krivulja: 3; 2 i 1,5 znače faktor uvećanja napona sustava prijenosa po jedinici.

dolazimo uz isti razmak vodiča pri izmjeničnom i istosmjernom prijenosu. Naponi su nazivni naponi prijenosa s indeksima "ac" i "dc" za izmjenični i istosmjerni prijenos. Pri tom se podrazumijeva linijski izmjeničan napon U_{ac} a u slučaju a) U_{dc} kao bipolarni napon između polova. U slučaju b) se uvažava U_{dc} kao napon "+" pola prema zemlji.

a) Izmenični (prijenosni vod) – bipolarni (prijenosni vod)

$$\frac{U_{ac}}{U_{dc}} = 0,779736 \pm 0,009983, \quad (3)$$

$$\frac{U_{dc}}{U_{ac}} = 1,282696 \pm 0,016423.$$

b) Izmenični prijenosni vod – homopolarni (+) prijenosni vod

$$\frac{U_{ac}}{U_{dc}} = 1,133877 \pm 0,008010, \quad (4)$$

$$\frac{U_{dc}}{U_{ac}} = 0,881974 \pm 0,006230.$$

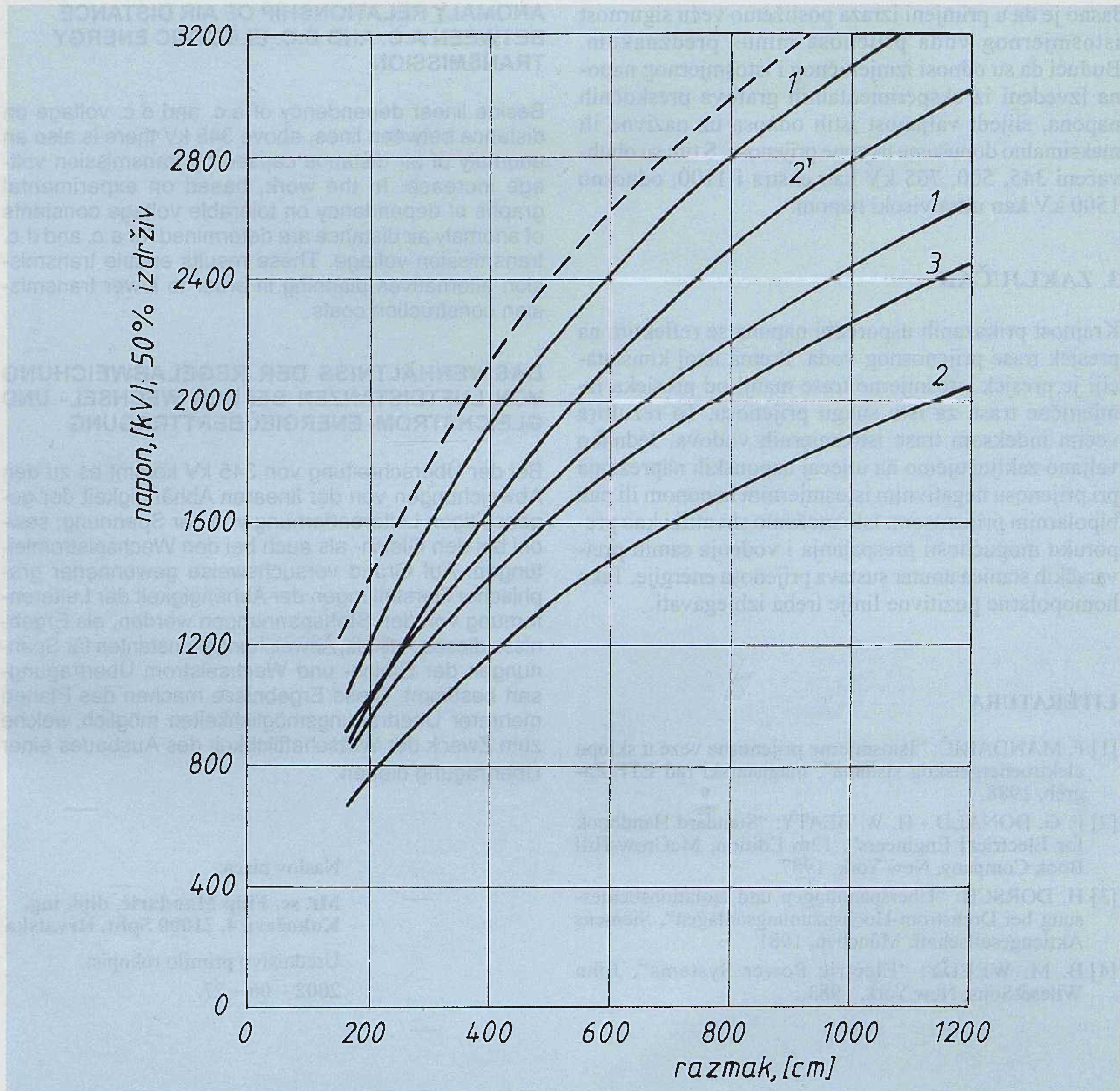
Točnost je izražena s $\pm \sigma$ kao mjerom standardnog odstupanja, zbog boljeg uvida i zanemarivog utjecaja na konačan iznos omjera napona. Preporučuje se uporaba istih omjera s navedenim odstupanjem i u daljnjim komparacijama. Time je potvrđena očekivana pretpostavka o konstantnosti odnosa izmjeničnog i istosmjernog napona preskoka, neovisna o razmaku vodiča visokonaponskih vodova. Zbog veće sigurnosti u primjeni konstanta se preporučuje uzeti pozitivan predznak, odnosno veću sigurnost za istosmjerni napon vodova. Stoga će konačno biti:

$$\text{a) } \frac{U_{ac}}{U_{dc}} = 0,789719, \quad \frac{U_{dc}}{U_{ac}} = 1,266273, \quad (5)$$

$$\text{b) } \frac{U_{ac}}{U_{dc}} = 1,141887, \quad \frac{U_{dc}}{U_{ac}} = 0,875744.$$

2.3. Konstante odnosa razmaka vodiča izmjeničnog i istosmjernog prijenosa

Analogno vrijedi ista zakonitost međusobnog odnosa razmaka vodiča uz primjenu jednakih napona:



Slika 5. Zavisnost razmaka za 50% izdrživosti preskočnog napona

Krivulje (1,2) kod pozitivnog istosmjernog napona (Klimatski uvjeti: $1,013 \cdot 10^5$ Pa, 20°C , 11 g/m^3), IEEE Trans. Vol PAS 94 (1975) str. 58 do 67.

Krivulje (1',2') kod $\alpha = 0,5$ i $\Delta t = 0$, Electra Nr. 29 (1973) str. 29 do 44.

1' štap – štap, 2' poz. štap – neg. ploča, — prsten – prsten, 1 štap – uzem. štap, 2 štap – uzem. ploča, 3 vodič – stup.

Napomena: Isti grafovi su s ograničenom točnošću pa će i izvedene veličine biti prihvatljive s odgovarajućom sigurnošću. Budući da je red veličina znatan, a zahtjevi na točnost mali, dopušta se točnost grafičkog očitavanja.

a) Izmjenični prijenosni vod – bipolarni prijenosni vod

$$\frac{D_{ac}}{D_{dc}} = 1,474895 \pm 0,070340,$$

$$\frac{D_{dc}}{D_{ac}} = 0,679560 \pm 0,032409.$$

(6)

b) Izmjenični prijenosni vod – homopolarni (+) prijenosni vod

$$\frac{D_{ac}}{D_{dc}} = 0,798662 \pm 0,027900,$$

$$\frac{D_{dc}}{D_{ac}} = 1,253624 \pm 0,043793.$$

(7)

Jasno je da u primjeni izraza postizemo veću sigurnost istosmjernog voda prijenosa minus predznakom. Budući da su odnosi izmjeničnog i istosmjernog napona izvedeni iz eksperimentalnih grafova preskočnih napona, slijedi valjanost istih odnosa uz nazivne ili maksimalno dopuštene napone prijenosa. S tim su obuhvaćeni 345, 500, 765 kV kao ekstra i 1100, odnosno 1500 kV kao ultra visoki naponi.

3. ZAKLJUČAK

Krajnost prikazanih usporedbi napona se reflektira na presjek trase prijenosnog voda. Prema istoj konstataciji je presjek istosmjerne trase manji od presjeka izmjenične trase za istu snagu prijenosa. To rezultira većim indeksom trase istosmjernih vodova. Jednako valjano zaključujemo na utjecaj naponskih naprezanja pri prijenosu negativnim istosmjernim naponom ili pak bipolarnim prijenosom. Isto možemo shvatiti i kao preporuku mogućnosti prespajanja i vođenja samih pretvaračkih stanica unutar sustava prijenosa energije. Tako homopolarne pozitivne linije treba izbjegavati.

LITERATURA

- [1] F. MANDARIĆ: "Istosmjerne prijenosne veze u sklopu elektroenergetskog sistema", magistarski rad ETF-Zagreb, 1988.
- [2] F. G. DONALD - H. W. BEATY: "Standard Handbook for Electrical Engineers", 12th Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1987.
- [3] H. DORSCH: "Überspannungen und Isolationsbemessung bei Drehstrom-Hochspannungsanlagen", Siemens Aktiengesellschaft, München, 1981.
- [4] B. M. WEEDY: "Electric Power Systems", John Wiles&Sons, New York, 1983.

ANOMALY RELATIONSHIP OF AIR DISTANCE BETWEEN A.C. AND D.C. ELECTRIC ENERGY TRANSMISSION

Beside linear dependency of a.c. and d.c. voltage on distance between lines, above 345 kV there is also an anomaly of air distance caused by transmission voltage increase. In the work, based on experimental graphs of dependency on tolerable voltage constants of anomaly air distance are determined for a.c. and d.c. transmission voltage. These results enable transmission alternatives planning in order to lower transmission construction costs.

DAS VERHÄLTNISS DER REGELABWEICHUNG VON LUFTDISTANZEN BEI DER WECHSEL- UND GLEICHSTROM- ENERGIEÜBERTRAGUNG

Bei der Überschreitung von 345 kV kommt es zu den Abweichungen von der linearen Abhängigkeit der gegenseitigen Leiterentfernung von der Spannung, sowohl bei den Gleich- als auch bei den Wechselstromleitungen. Auf Grund versuchsweise gewonnener graphischer Darstellungen der Abhängigkeit der Leiterentfernung von den Stehspannungen werden, als Ergebnisse dieses Artikels, Abweichungskonstanten für Spannungen der Gleich- und Wechselstrom Übertragungsort bestimmt. Diese Ergebnisse machen das Planen mehrerer Übertragungsmöglichkeiten möglich, welche zum Zweck der Wirtschaftlichkeit des Ausbaues einer Übertragung dienen.

Naslov pisca:

Mr. sc. Filip Mandarić, dipl. ing.
Kukočeva 4, 21000 Split, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
2002 – 06 – 27.