

Експериментална истраживања ефеката различитих екрана на смањење јачине електричног поља индустријске учестаности

Јован Нахман¹, Драгутин Саламон², Маја Грбић³

¹ Електротехнички факултет, Булевар краља Александра 73,
11000 Београд, Србија
j.nahman@beotel.net

² Електротехнички факултет, Булевар краља Александра 73,
11000 Београд, Србија
salamon@etf.rs

³ Електротехнички институт Никола Тесла, Универзитет у Београду
Косте Главинића 8а, 11000 Београд, Србија
[maja.grbic@ieent.org](mailto:majagrbc@ieent.org)

Кратак садржај: У раду су описана експериментална истраживања ефеката различитих екрана на смањење јачине електричног поља индустријске учестаности. Циљ ових истраживања је експериментално одређивање материјала који се могу користити за смањење јачине електричног поља у случају када је премашен референтни гранични ниво. На основу резултата мерења, за све испитиване екране израчунат је заштитни фактор, као однос јачине електричног поља пре и након постављања екрана. Анализом вредности заштитних фактора издвојени су најефикаснији екрани.

Кључне речи: јачина електричног поља, нејонизујуће зрачење, смањење јачине електричног поља, заштитни фактор.

1. Увод

Приликом испитивања нивоа нејонизујућих зрачења ниских учестаности, у неким ситуацијама измерене су вредности јачине електричног поља које прекорачују референтни гранични ниво. У оваквим случајевима неопходна је примена техничких мера, како би се ниво електричног поља смањио испод прописане вредности. Према [1]

смањење јачине електричног поља могуће је постићи на неки од следећих начина:

- Постављањем екрана између извора поља и простора у коме је потребно смањити јачину поља;
- Постављањем средства које има могућност да преусмери поље од штићеног простора;
- Додавањем другог извора зрачења. Суперпозиција поља ова два извора зрачења доводи до смањења јачине поља у штићеном простору.

У овом раду је примењена метода која подразумева постављање екрана између извора поља и штићеног простора.

Избор методе зависи од карактеристика извора зрачења, као и од карактеристика штићеног простора. У неким ситуацијама се може применити комбинација претходно наведених метода.

Ефикасност неке методе која се користи за смањење јачине поља у штићеном простору зависи у великој мери од карактеристика извора зрачења, као и топологије и материјала од ког је направљен екран.

У високонапонској лабораторији Електротехничког института „Никола Тесла“ извршена су истраживања ефеката различитих екрана на ограничење јачине електричног поља индустријске учестаности. Циљ ових истраживања је експериментално одређивање материјала који имају значајнијег утицаја на смањење јачине електричног поља.

2. Испитна шема и мерна опрема

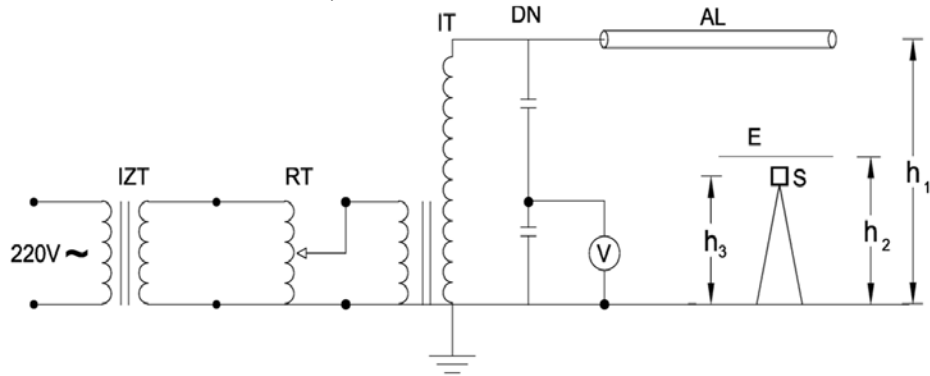
Постоји низ стандарда који се односе на мерење и процену перформанси екрана. Међутим, сви ови стандарди захтевају специфичне услове у погледу конфигурације извора зрачења, штићеног простора и мерне опреме. При томе, треба нагласити да мале промене у овој конфигурацији доводе до различитих резултата [1], [2], [3], [4].

Шема испитног кола које је послужило за описана истраживања дата је на слици 1.

Елементи шеме на слици 1 су:

- IZT - изолациони трансформатор 220 V/220 V, 10 kVA;
- RT - регулациони трансформатор 220 V/0-400 V, 8,8 kVA;
- IT - монофазни испитни трансформатор 0,26 kV/100 kV, 10 kVA;
- DN - делило напона 1000:1;
- V - дигитални волтметар;
- Al - електрода у виду алуминијумске цеви постављена на висини $h_1=225$ cm на коју је доведен напон $U=30$ kV;
- E - екран чији се ефекат испитује постављен на висини $h_2=72$ cm;

- S - сонда за мерење јачине електричног поља (центар сонде се налази на висини $h_3=60$ cm).



Слика 1. Шема испитног кола

Помоћу регулационог трансформатора се подешава напон у секундарном колу који се доводи на алуминијумску электроду постављену на висини $h_1=225$ cm. Овај напон ствара око електроде електрично поље које се мери изотропном мерном сондом. Током испитивања напон на алуминијумској електроди је износио 30 kV. Овај напон је на месту мерне сонде, на висини $h_3=60$ cm, генерисао електрично поље од око 4,1 kV/m. Мерења јачине електричног поља су вршена у истој тачки пре и након постављања екрана. Током испитивања екрани су били постављени у хоризонталној равни, на изолационим носачима висине $h_2=72$ cm (слика 1).

За мерење јачине електричног поља коришћен је анализатор електромагнетског поља који омогућава изотропско мерење ефективних вредности поља. Анализатор електромагнетског поља чине детектор и мерна сонда.

Детектор служи за меморисање и приказ измерене вредности јачине електричног поља на дисплеју и за избор функције мерења (мерни опсег, врста филтера, избор осе мерења, ефективна или вршна вредност).

Сонда за мерење јачине електричног поља се повезује са детектором преко оптичког кабла. Сонда је облика коцке, странице 105 mm и уноси се у електрично поље на постољу од изолационог материјала. У кућишту сонде је смештен сензор за мерење на капацитивном принципу, што омогућава мерење капацитивне струје која је сразмерна јачини електричног поља. Сензор представљају три плочаста кондензатора, постављена међусобно нормално (ортогонално) унутар сонде. Сваки кондензатор чине две међусобно изоловане проводне плоче на одређеном растојању. Ортогоналним постављањем кондензатора у сонди омогућено је истовремено мерење компонената вектора електричног поља, на основу чега инструмент израчунава

ефективну вредност јачине електричног поља. На тај начин је омогућено изотропно мерење јачине електричног поља.

3. Поступак испитивања

Приликом оцене перформанси екрана уобичајено је да се као параметар користи заштитни фактор [5], [6]. Заштитни фактор (k) представља однос јачине електричног поља без присуства екрана (E_1) и јачине електричног поља након постављања екрана (E_2):

$$k = \frac{E_1}{E_2} \quad (1)$$

Заштитни фактор зависи од фреквенције поља, геометрије екрана, места на коме се мери јачина поља, упадног угла и поларизације поља [7].

Испитивање ефеката различитих екрана на смањење јачине електричног поља вршено је мерењем у истој тачки пре и након постављања екрана и анализом добијених резултата. На основу овако измерених вредности, за сваки испитивани екран израчунат је заштитни фактор применом израза (1).

Напон који је доведен на алуминијумску электроду, која представља извор електричног поља, није се мењао током мерења парова вредности E_1 и E_2 , за све испитиване материјале. Изолациони носачи, коришћени за позиционирање екрана, били су постављени на истом месту приликом мерења вредности E_1 и E_2 , односно нису померани током целог експеримента.

Амбијентални услови у лабораторији у току мерења су били следећи:

- температура: 19,2°C;
- релативна влажност ваздуха: 33 %.

Испитивање ефеката различитих екрана на смањење јачине електричног поља спроведено је за екране наведене у табели 1 и њихове комбинације.

Екрани од проводних материјала су испитивани на два начина: први пут као неуземљени, а затим као уземљени. Уземљавање екрана је извршено галванским повезивањем екрана са уземљивачем лабораторије. У неким случајевима је вршено и уземљавање екрана на два места.

Табела 1. Испитивани екрани

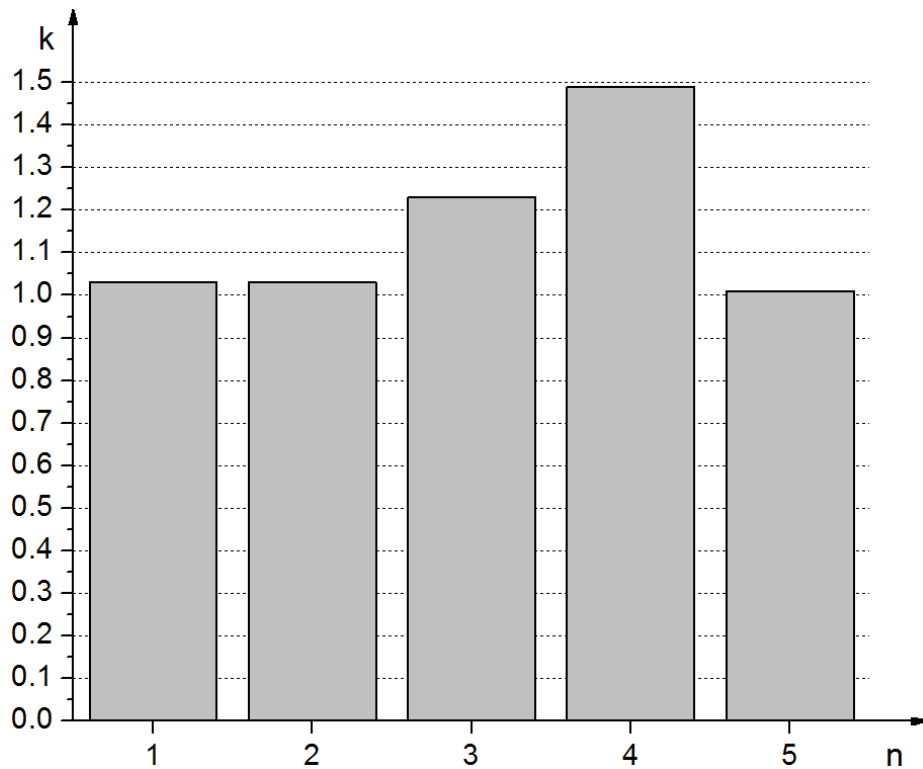
Екран	Димензије екрана [mm]
Алуминијумски лим 1	1000×958×4
Алуминијумски лим 2	1000×723×2
Алуминијумски лим 3	2500×1250×3
Алуминијумска фолија	900×600×0.1
Бакарна плоча	1000×820×2
Бакарна шина	800×40×5
Рам од бакарних шина квадратног облика	800×800×5
Гвоздени лим	1050×1000×4
Трансформаторски лим	1460×620×0.4
Челична мрежа 1	1000×1000×0.6 (димензије окаца 13×13)
Челична мрежа 2	1070×1000×0.6 (димензије окаца 2×2)
Армирано стакло	998×998×6
Пластична плоча	1150×1150×4
Гипсана плоча	1200×1000×12.5
Зид од сипорекс блокова	1250×740×100
Зид од цигала	1000×750×60

4. Резултати испитивања

Вредности заштитних фактора испитиваних екрана приказане су у табелама 2 до 9 и у виду хистограма на сликама 2 до 9 [8].

Табела 2. Вредности заштитних фактора неуземљених алуминијумских лимова

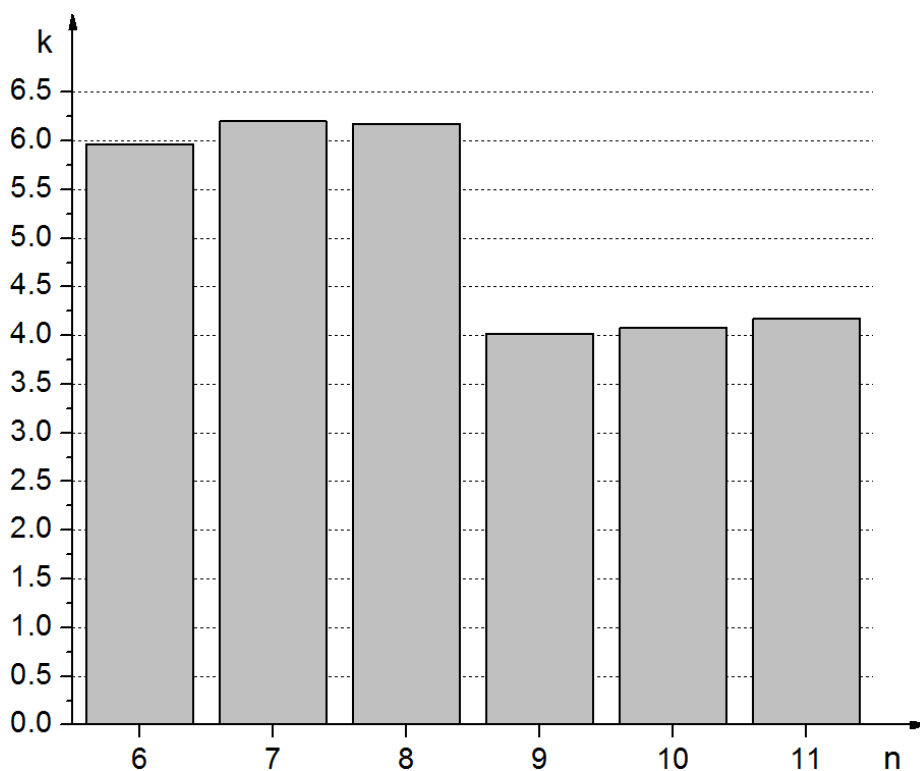
n	Екран	E_1 [V/m]	E_2 [V/m]	k
1	Алуминијумски лим 1	4137.80	4018.10	1.03
2	Алуминијумски лимови 1 и 2 постављени један преко другог	4137.80	4021.50	1.03
3	Алуминијумски лим 3 - дужа страница управна на алуминијумску электроду	4137.80	3375.40	1.23
4	Алуминијумски лим 3 - дужа страница паралелна са алуминијумском електродом	4137.80	2781.60	1.49
5	Алуминијумска фолија постављена на пластичну плочу	4137.80	4101.80	1.01



Слика 2. Хистограм заштитних фактора неуземљених алуминијумских лимова

Табела 3. Вредности заштитних фактора уземљених алуминијумских лимова

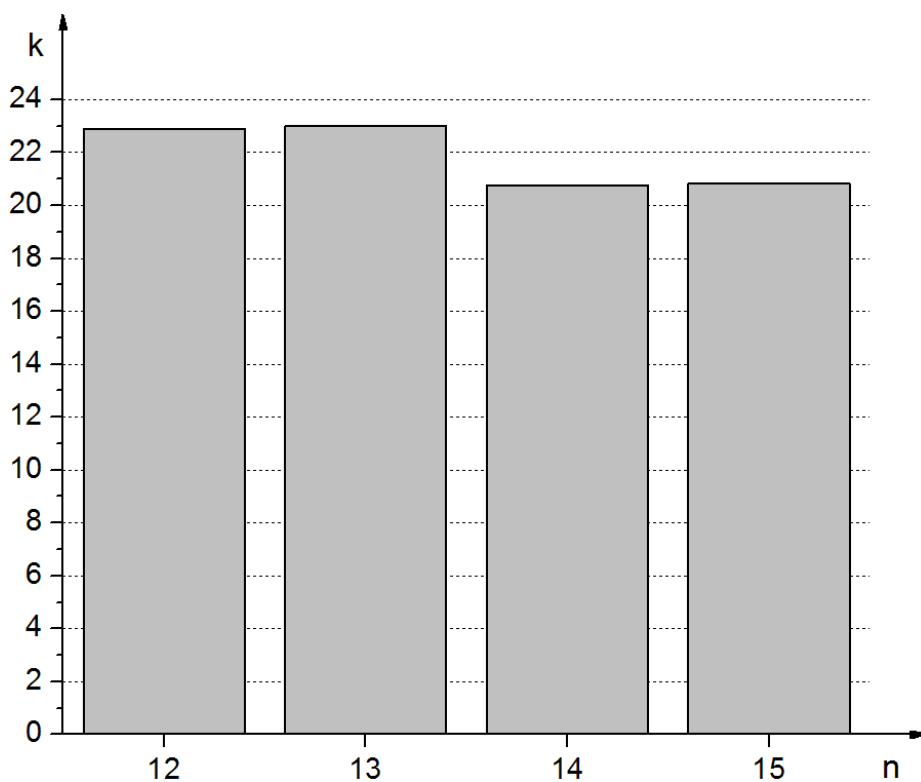
n	Екран	E_1 [V/m]	E_2 [V/m]	k
6	Алуминијумски лим 1 - уземљен на једном месту	4137.80	693.94	5.96
7	Алуминијумски лим 1 - уземљен на два места	4137.80	667.64	6.20
8	Алуминијумски лимови 1 и 2 - постављени један преко другог, уземљени на једном месту	4137.80	670.39	6.17
9	Алуминијумски лим 2 - уземљен на једном месту	4137.80	1029.20	4.02
10	Алуминијумска фолија постављена на пластичну плочу - уземљена на једном месту	4137.80	1013.60	4.08
11	Алуминијумска фолија постављена на пластичну плочу - уземљена на два места	4137.80	991.53	4.17



Слика 3. Хистограм заштитних фактора уземљених алуминијумских лимова

Табела 4. Вредности заштитних фактора алуминијумског лима 3

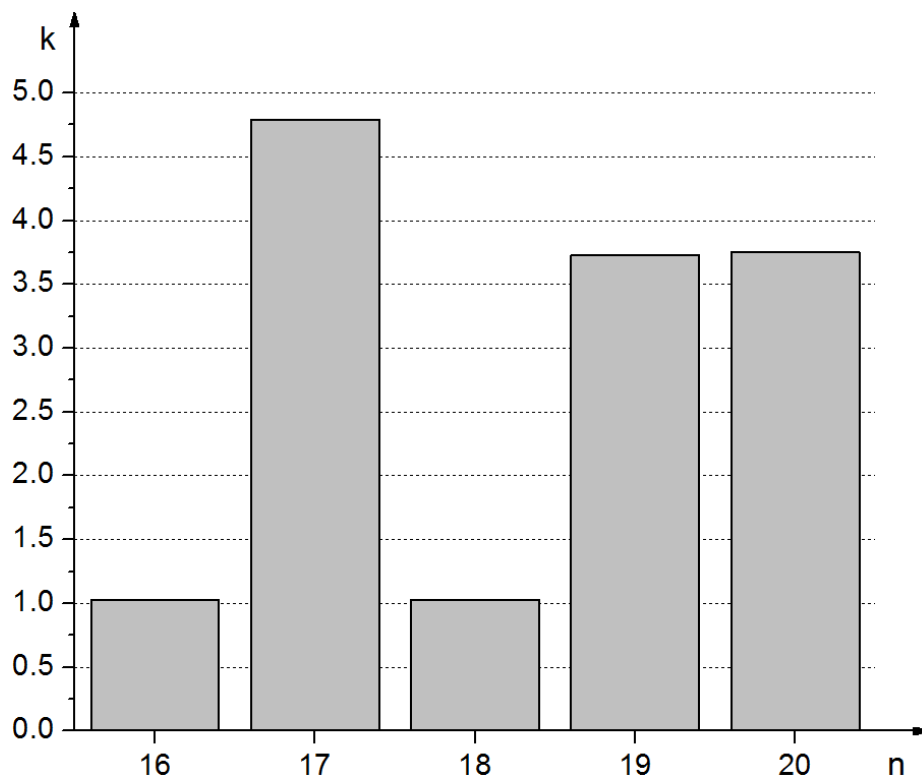
n	Екран	E_1 [V/m]	E_2 [V/m]	k
12	Алуминијумски лим 3 - дужа страница управна на алуминијумску электроду, уземљен на једном месту	4137.80	180.73	22.89
13	Алуминијумски лим 3 - дужа страница управна на алуминијумску электроду, уземљен на два места	4137.80	179.99	22.99
14	Алуминијумски лим 3 - дужа страница паралелна са алуминијумском електродом, уземљен на једном месту	4137.80	199.45	20.75
15	Алуминијумски лим 3 - дужа страница паралелна са алуминијумском електродом, уземљен на два места	4137.80	198.73	20.82



Слика 4. Хистограм заштитних фактора алуминијумског лима 3

Табела 5. Вредности заштитних фактора бакарног и гвозденог лима

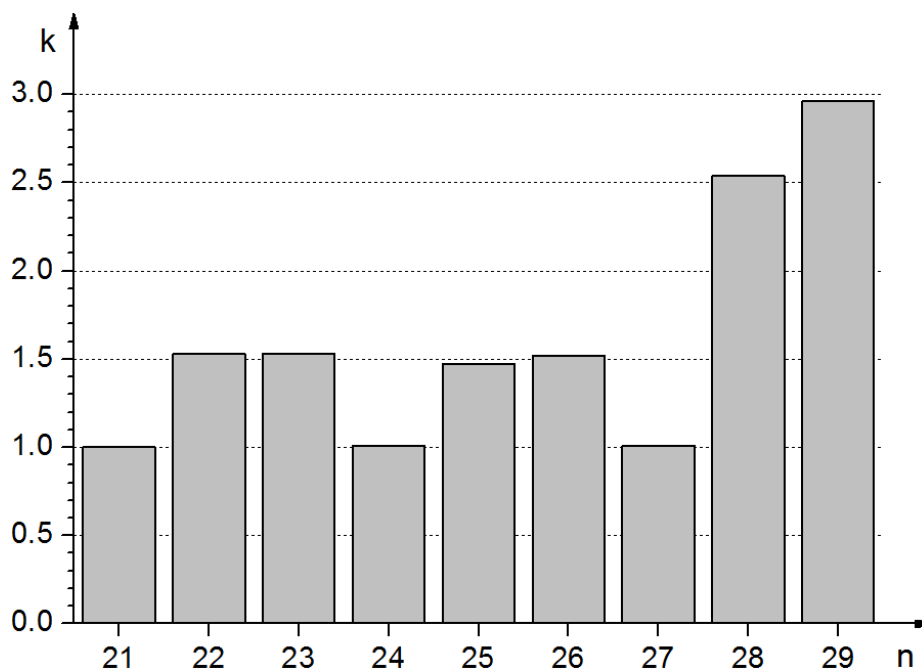
n	Екран	E_1 [V/m]	E_2 [V/m]	k
16	Бакарна плоча - неуземљена	4137.80	4006.60	1.03
17	Бакарна плоча - уземљена на једном месту	4137.80	863.37	4.79
18	Гвоздени лим - неуземљен	4130	4000	1.03
19	Гвоздени лим - уземљен на једном месту	4130	1108	3.73
20	Гвоздени лим - уземљен на два места	4130	1100	3.75



Слика 5. Хистограм заштитних фактора бакарног и гвозденог лима

Табела 6. Вредности заштитних фактора бакарних шина

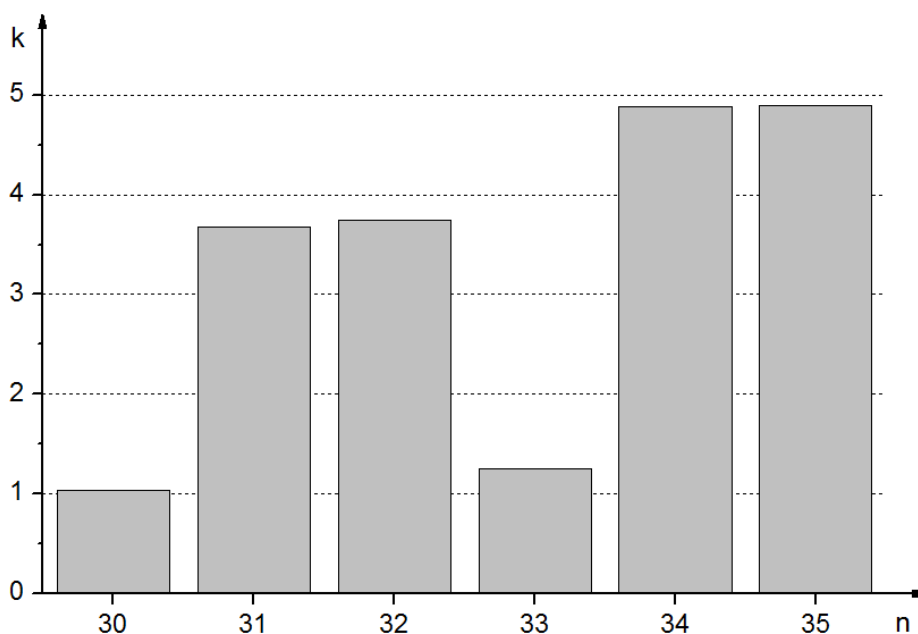
n	Екран	E_1 [V/m]	E_2 [V/m]	k
21	Рам од бакарних шина постављен на пластичну плочу - неуземљен	4137.80	4144.50	1.00
22	Рам од бакарних шина постављен на пластичну плочу - уземљен на једном месту	4137.80	2709.70	1.53
23	Рам од бакарних шина постављен на пластичну плочу - уземљен на два места	4137.80	2699.20	1.53
24	Бакарна шина - неуземљена	4130	4090	1.01
25	Бакарна шина - уземљена са једне стране	4130	2817	1.47
26	Бакарна шина - уземљена са обе стране	4130	2724	1.52
27	Три паралелне бакарне шине - неуземљене	4130	4080	1.01
28	Три паралелне бакарне шине - уземљене са једне стране (повезане међусобно)	4130	1626	2.54
29	Три паралелне бакарне шине - уземљене са обе стране (повезане међусобно)	4130	1396	2.96



Слика 6. Хистограм заштитних фактора бакарних шина

Табела 7. Вредности заштитних фактора трансформаторског лима

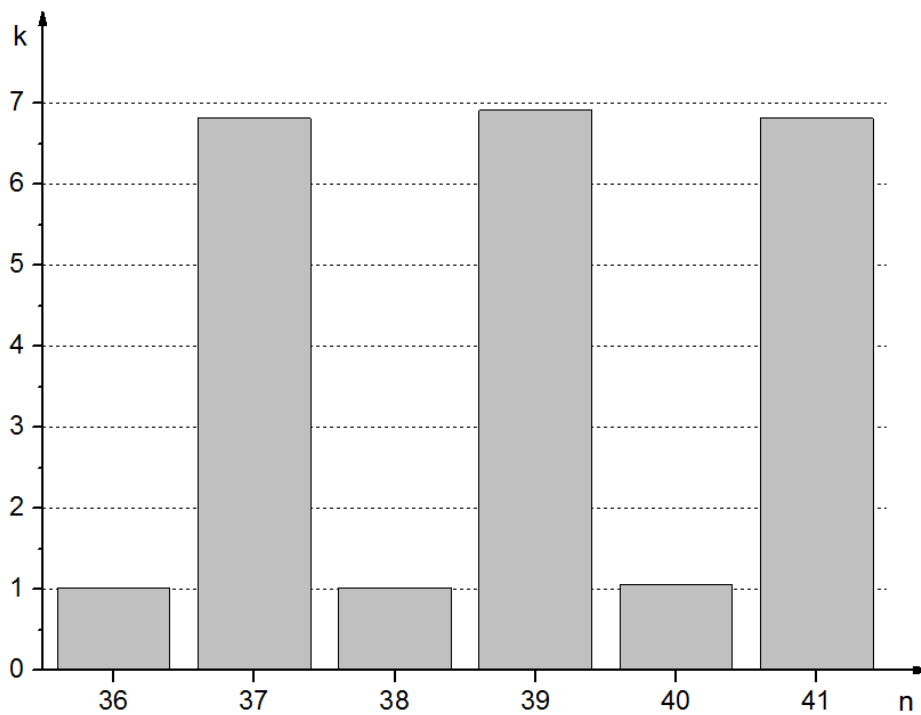
n	Екран	E_1 [V/m]	E_2 [V/m]	k
30	Трансформаторски лим - дужа страница управна на алуминијумску электроду, неуземљен	4137.80	4036.50	1.03
31	Трансформаторски лим - дужа страница управна на алуминијумску электроду, уземљен на једном месту	4137.80	1123.10	3.68
32	Трансформаторски лим - дужа страница управна на алуминијумску электроду, уземљен на два места	4137.80	1103.40	3.75
33	Трансформаторски лим - дужа страница паралелна са алуминијумском електроном, неуземљен	4137.80	3299.00	1.25
34	Трансформаторски лим - дужа страница паралелна са алуминијумском електроном, уземљен на једном месту	4137.80	845.99	4.89
35	Трансформаторски лим - дужа страница паралелна са алуминијумском електроном, уземљен на два места	4137.80	844.97	4.90



Слика 7. Хистограм заштитних фактора трансформаторског лима

Табела 8. Вредности заштитних фактора челичних мрежа и армираног стакла

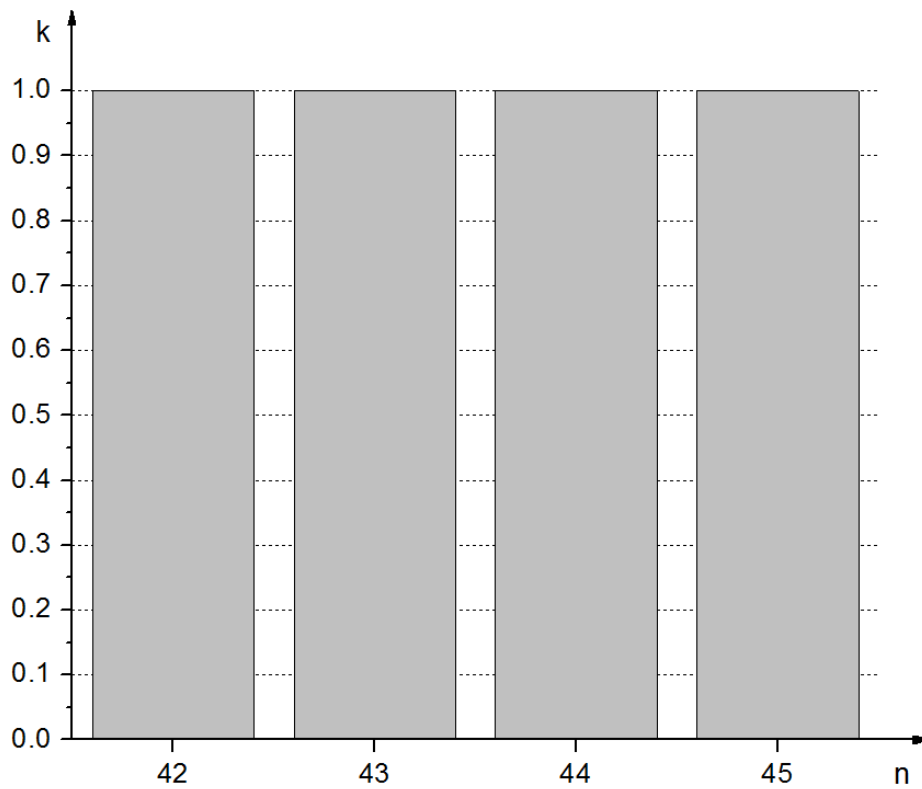
n	Екран	E_1 [V/m]	E_2 [V/m]	k
36	Челична мрежа 1 постављена на пластичну плочу - неуземљена	4130	4030	1.02
37	Челична мрежа 1 постављена на пластичну плочу - уземљена на једном месту	4130	605.5	6.82
38	Челична мрежа 2 постављена на пластичну плочу - неуземљена	4130	4030	1.02
39	Челична мрежа 2 постављена на пластичну плочу - уземљена на једном месту	4130	597	6.92
40	Армирано стакло - неуземљено	4130	3897	1.06
41	Армирано стакло - уземљено	4130	606	6.82



Слика 8. Хистограм заштитних фактора челичних мрежа и армираног стакла

Табела 9. Вредности заштитних фактора осталих испитиваних материјала

n	Екран	E_1 [V/m]	E_2 [V/m]	k
42	Гипсана плоча	4130	4130	1.00
43	Пластична плоча	4130	4130	1.00
44	Зид од сипорекс блокова постављен на пластичну плочу	4130	4130	1.00
45	Зид од цигала постављен на пластичну плочу	4130	4130	1.00



Слика 9. Хистограм заштитних фактора осталих испитиваних материјала

5. Закључак

Експериментална истраживања ефеката различитих екрана на смањење јачине електричног поља показала су да уземљени алуминијумски, бакарни, гвоздени, као и трансформаторски лимови имају значајног утицаја на смањење јачине електричног поља. Осим наведених лимова, утицај на смањење електричног поља показале су и уземљене металне мреже, армирано стакло, као и бакарне шине. Сви поменути материјали имали су утицаја на смањење електричног поља једино у случају када су били уземљени. При томе није било значајне разлике у вредности заштитног фактора у зависности од тога да ли је испитивани екран био уземљен на једном или на два места. Неуземљени материјали нису показали никакав утицај на смањење јачине електричног поља. Остали испитивани материјали, као што су гипс, пластика, цигле и сипорекс блокови нису показали никакав ефекат на смањење поља.

Литература

- [1] S. Celozzi, R. Araneo, G. Lovat, *Electromagnetic Shielding*, New Jersey, 2008.
- [2] R. Morrison, *Grounding and Shielding*, Fifth edition, New Jersey, 2007.
- [3] G. Vijayaraghavan, M. Brown, M. Barnes, *Practical Grounding, Bonding, Shielding and Surge Protection*, Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo, 2004.
- [4] R. Morrison, *Grounding and Shielding Techniques in Instrumentation*, 2nd ed., New York, London, Sydney, Toronto, 1977.
- [5] Working Group C4.204: "Mitigation Techniques of Power-Frequency Magnetic Fields Originated from Electric Power Systems", February 2009.
- [6] *EPRI AC Transmission Line Reference Book – 200 kV and Above*, 3rd ed., December 2005.
- [7] H. W. Ott, *Electromagnetic Compatibility Engineering*, New Jersey, 2009.
- [8] Студија „Мере за ограничење и заштиту од електромагнетских поља индустријске учестаности“, Електротехнички институт „Никола Тесла“, Београд, 2012. година.

Abstract: The paper describes experimental research on the effects of different shields on power frequency electric field mitigation. This

research was performed in order to determine those materials that may be used for electric field mitigation in cases where the reference level is exceeded. Using measured results, the value of the shielding factor has been calculated for all tested shields and the most efficient shields were determined.

Key words: electric field strength, non-ionizing radiation, electric field strength mitigation, shielding factor.

Experimental Research of the Effects of Different Shields on Power Frequency Electric Field Mitigation

