Karakterizacija ispitnih sustava za magnetsku metodu

Guliš, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2007

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:519951

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb







Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI PROJEKT

Karakterizacija ispitnih sustava za magnetsku metodu

Mentor:
Doc.dr.sc. Damir Markučić

Student:
Matija Guliš 0035150561

Zagreb, 2007.

Sadržaj:

1. Uvod....6
2. Izrada etalona....7
2.1. Materijal etalona....7
3. Oprema za provođenje mjerenja....10
3.1. Magnetski jaram....10
3.2. Uređaj za mjerenje magnetskog polja (Hallova sonda)....12
4. Mjerenje jakosti magnetskog polja....13
4.1. Magnetsko polje....13
4.2. Magnetiziranje etalona....13
4.3. Mjerenje jakosti magnetskog polja....14
4.5. Postupak provođenja mjerenja odziva od ugrađenih nepravilnosti....16
5. Dobiveni rezultati....18
5.1. Analiza dobivenih rezultata....22
5.2. Utjecaj nastavaka magnetskog jarma na jakost magnetskog polja....36
6. Reference....39
7. Literatura....40
8. Prilog....40

Popis slika:

Slika 2.1. CAD model radnog etalona Test Bar
Slika 2.2. CAD model radnog etalona Ketos Ring
Slika 2.3. Izrađeni etalon Test Bar
Slika 2.4. Izrađeni etalon Ketos Ring
Slika 3.1. Magnetski jaram
Slika 3.2. Ploča za određivanje parametara magnetizacije
Slika 3.3. Shematski prikaz Hallove sonde
Slika 3.4. Uređaj za mjerenje jakosti magnetskog polja
Slika 4.1. Silnice
Slika 4.2. Učinak izmjenične i istosmjerne struje
Slika 4.3. Raster na površini etalona Test Bar-a
Slika 4.4. Raster nalijepljen na površinu etalona
Slika 4.5. Postupak mjerenja
Slika 4.6. Postupak mjerenja
Slika 4.7. Postupak mjerenja
Slika 5.1. Linijski prikaz podataka iz tablice 5.1.
Slika 5.2. Linijski prikaz podataka iz tablice 5.2.
Slika 5.3. 3D Prikaz podataka iz tablice 5.1.
Slika 5.4. 3D Prikaz podataka iz tablice 5.2.
Slika 5.5. Jakost magnetskog polja duž osi uvrta (u smjeru osi y na slici 4.3.).
Slika 5.6. Jakost magnetskog polja duž osi uvrta (u smjeru osi y na slici 4.3.).
Slika 5.7. Linijski prikaz podataka iz tablice 5.3.
Slika 5.8. 3D Prikaz podataka iz tablice 5.4.
Slika 5.9. 3D Prikaz podataka iz tablice 5.3.
Slika 5.10. 3D Prikaz podataka iz tablice 5.4.
Slika 5.11. Jakost magnetskog polja duž osi uvrta (u smjeru osi y na slici 4.3.).
Slika 5.12. Jakost magnetskog polja duž osi uvrta (u smjeru osi y na slici 4.3.).
Slika 5.13. Zaostali magnetizam u etalonima.
Slika 5.14. 3D prikaz podataka iz tablice 5.5.
Slika 5.15. 3D prikaz podataka iz tablice 5.1.
Slika 5.17. Linijski prikaz podataka iz tablice 5.1.
Slika 5.16. Linijski prikaz podataka iz tablice 5.5.
Slika 5.19. Jakost magnetskog polja duž osi uvrta (u smjeru osi y na slici 4.3.).
Slika 5.18. Jakost magnetskog polja duž osi uvrta (u smjeru osi y na slici 4.3.).
Slika 5.20. 3D prikaz podataka iz tablice 5.6.
Slika 5.21. 3D prikaz podataka iz tablice 5.2.

Slika 5.22. Linijski prikaz podataka iz tablice 5.6.
Slika 5.23. Linijski prikaz podataka iz tablice 5.2.
Slika 5.24. Linijski prikaz podataka iz tablice 5.7.
Slika 5.25. Linijski prikaz podataka iz tablice 5.8.
Slika 5.26. 3D prikaz podataka iz tablice 5.7.
Slika 5.27. 3D prikaz podataka iz tablice 5.8.

Popis tablica:

Tablica 5.1. Podaci: ST37-2, AC, razmak polova 144mm

Tablica 5.2. Podaci:X20Cr13, AC, razmak polova 144mm

Tablica 5.3. Podaci: ST37-2, AC, razmak polova 204 mm

Tablica 5.4. Podaci:X20Cr13, AC, razmak polova 204mm

Tablica 5.5. Podaci: ST37-2, DC, razmak polova 141mm

Tablica 5.6. Podaci: X20Cr13, DC, razmak polova 141mm

Tablica 5.7. Podaci: ST37-2, DC, bez nastavaka, razmak polova 141mm

Tablica 5.8. Podaci: X20Cr13, DC, bez nastavaka, razmak polova 141mm

1. Uvod

Magnetska metoda kontrole kvalitete koristi se za otkrivanje površinskih i podpovršinskih grešaka (približno do dubine 6 mm) kod feromagnetskih materijala. Zasniva se na principu magnetske indukcije. Oko vodiča kroz koji prolazi električna struja (magnetski jaram, magnetske elektrode) formira se magnetsko polje, čije silnice, po pravilu desne ruke, prolaze između ostaloga i kroz feromagnetični materijal koji se ispituje, odnosno koji je u kontaktu s magnetskim jarmom ili magnetskim elektrodama. Da bi se otkrila pukotina potrebno je da smjer silnica magnetskog polja bude što više okomito na pukotinu. Pospu li se magnetske čestice (suhe čestice ili mokre čestice) po površini ispitivanog materijala, ako postoji pukotina okomito na smjer prolaska silnica magnetskog polja, čestice će se okupiti oko pukotine. Ova metoda kontrole kvalitete ima ograničenja s obzirom na ne feromagnetične materijale, greške duboko ispod površine, te nemogućnost određivanja dubine pukotine koja je otkrivena kod feromagnetičnih materijala.

Ovisno o položaju greške unutar objekta ispitivanja, ostalim parametrima greške i magnetskim karakteristikama objekta ispitivanja, potrebno je vršiti izbor načina magnetiziranja (magnetskim jarmom, s elektrodama, magnetiziranje na uređaju za magnetiziranje), izbor odgovarajućih parametara (jakost struje AC/DC), te odabir različitih magnetskih čestica (različitih osjetljivosti), tj. izbor ispitnog sustava. Kod izbora ispitnog sustava, potrebno je izvršiti provjeru radnih karakteristika tog sustava, te provjeru uspješnosti detekcije pogrešaka. U tu svrhu se redovito koriste radni etaloni s ugrađenim umjetnim nepravilnostima. Konvencionalni radni etaloni za magnetsku metodu nerazornih ispitivanja prvenstveno su namijenjeni za kvalitativnu ocjenu pojedinih elemenata ispitnog sustava ili ispitnog sustava u cjelini.

Dobivanje kvalitativne ocjene odziva od ugrađenih nepravilnosti brže je i jednostavnije nego da se za svaki ispitni sustav kvantitativno odredi odziv od ugrađenih nepravilnosti.

U ovom radu pokazano je:

- Izrada radnih etalona
- Potrebna oprema za provođenje mjerenja jakosti magnetskog polja
- Parametri magnetizacije
- Postupak mjerenja jakosti magnetskog polja
- Kvantitativno određivanje odziva od ugrađenih nepravilnosti
- Dobiveni rezultati mjerenja

2. Izrada etalona

Trebalo je izraditi radne etalone pomoću kojih će biti moguće za različite sustave magnetiziranja (uzbude) kvantitativno odrediti odziv od ugrađenih nepravilnosti poznate geometrije i dimenzija, kao što su npr. bočni uvrti i/ili utori.

U tu svrhu za izradu odabrana su dva radna etalona, jedan u obliku ploče za uzdužno ravninsko magnetiziranje (Test Bar), drugi u obliku prstena za kružno magnetiziranje pomoću centralnog vodiča (Ketos Ring).

Test Bar je izrađen prema dokumentaciji tvrtke MAGNAFLUX, prema američkom standardu ASTM 1444 [1] (standard za ispitivanje magnetskim česticama). Koristi se kao radni etalon s umjetnim nepravilnostima da bi se ustanovili jakost magnetskog polja i utvrdile adekvatne razine jakosti struje za otkrivanje pojedinih nepravilnosti. Radni etalon ima ugrađene površinske i podpovršinske nepravilnosti poznate geometrije i dimenzija. Etalon je izrađen prema priloženom crtežu (Crtež broj 1).

Ketos Ring (Ketov prsten) izrađen je također prema američkom standardu ASTM 1444 [1] (standard za ispitivanje magnetskim česticama). Koristi se kao radni etalon s umjetnim podpovršinskim nepravilnostima u obliku provrta koji su smješteni na raznim udaljenostima od središta prstena. Time se omogućuje da se s različitom jakosti struje magnetiziranja uoče mogućnosti formiranja indikacije nepravilnosti na različitoj dubini od površine prstena. Etalon je izrađen prema priloženom crtežu (Crtež broj 2).

2.1. Materijal etalona

Magnetska svojstva materijala ovise o vrsti i strukturi materijala. Materijale se može s obzirom na magnetičnost, ili mogućnost magnetiziranja, podijeliti u tri osnovne skupine: dijamagnetske, paramagnetske i feromagnetske.

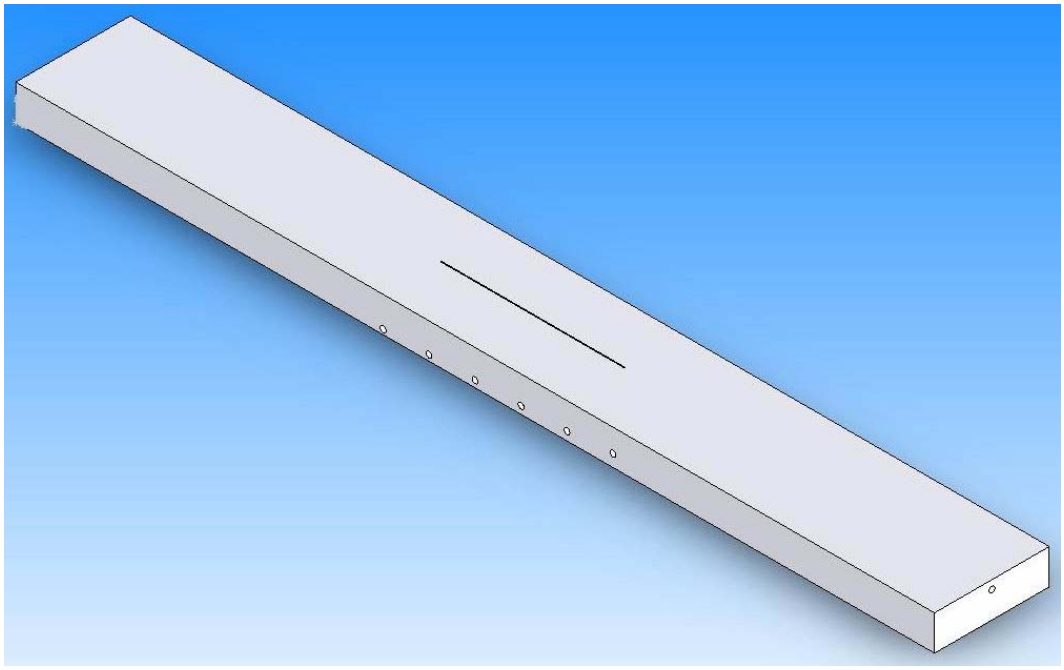
Stupanj magnetičnosti koji postoji ili se može postići kod feromagnetskih materijala ima praktičnu primjenu, jer se sve ove materijale može magnetizirati. Feromagnetski materijali, nazvani po svom najčešće korištenom predstavniku su: željezo, nikal, kobalt, gadolinij i neke legure ovih materijala.

Svaki je tip etalona izrađen od dva različita materijala. Tako se može usporediti kakve odzive dobivamo od istih nepravilnosti na etalonima izrađenim od različitog materijala.

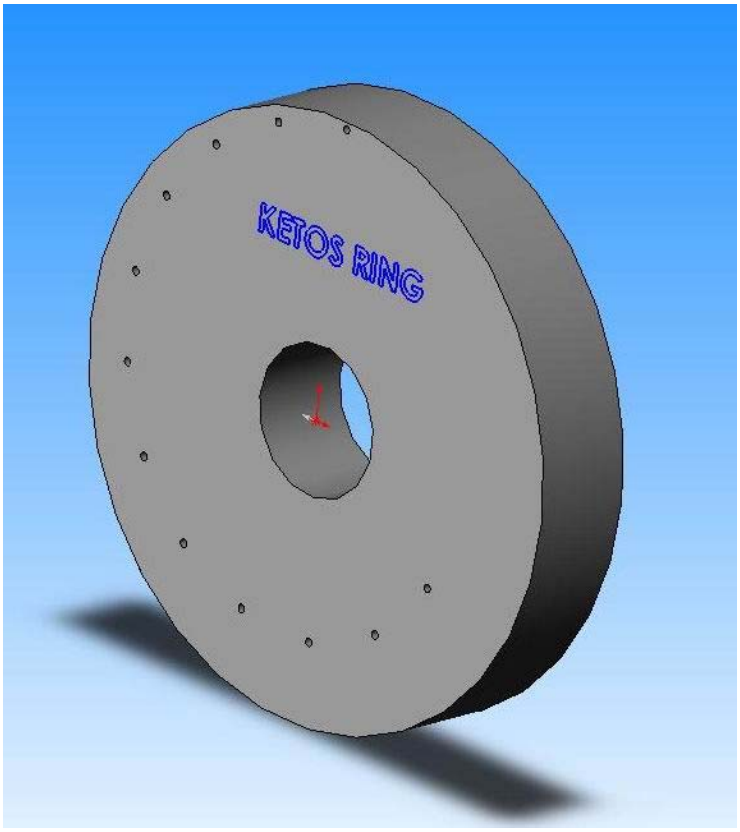
Za materijale etalona izabrani su feromagnetski materijali:

- ST37-2 (DIN), S235JRG2 (EN) [2] opći konstrukcijski čelik
- X20Cr13 (EN) [3] martenzitni čelik

Pošto su u dokumentaciji koja je pribavljena sve mjere u anglosaksonskom mjernom sustavu, bilo je potrebno ponovo izraditi radioničke crteže etalona u metričkom mjernom sustavu. Pri tome su korištene CAD aplikacije u kojima su izrađeni 3D modeli etalona iz kojih se onda radila dokumentacija.



Slika 2.1. CAD model radnog etalona Test Bar



Slika 2.2. CAD model radnog etalona Ketos Ring

Etaloni su obrađeni strojnom obradom, poslije koje su polirani. Na slikama 2.3 i 2.4 vide se etaloni nakon izrade.



Slika 2.3. Izrađeni etalon Test Bar



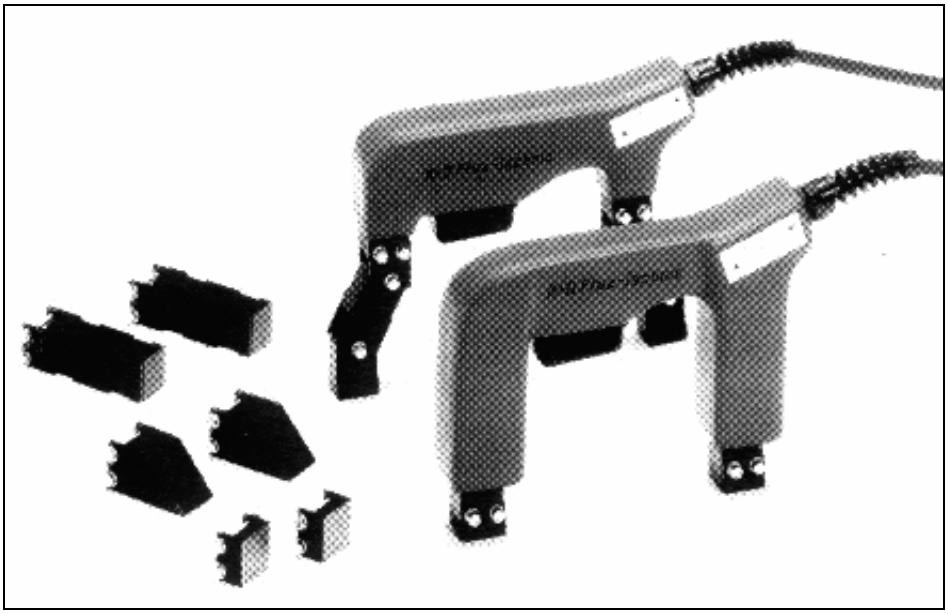
Slika 2.4. Izrađeni etalon Ketos Ring

3. Oprema za provođenje mjerenja

Oprema koja je korištena, sastoji se od: ručnog uređaja za magnetiziranje (magnetski jaram), uređaja za mjerenje magnetskog polja (Hallova proba).

3.1. Magnetski jaram

Magnetski jaram je većinom sastavljen iz jezgre U-oblika, na kojem su jedan ili dva namota zavojnice. Namotaji se aktiviraju ugrađenim ručnim prekidačem. Magnetski jaram u primjeru sadrži dva namotaja, čiji su polovi opremljeni sa zamjenjivim i rastavljivim produžecima koji se upotrebljavaju zbog prilagođavanja površinama različitih oblika ili zakrivljenim ispitnim uzorcima.



Slika 3.1. Magnetski jaram

Magnetski jaram se napajaja sa izmjeničnom ili istosmjernom strujom, upotreba izmjenične struje je češća nego istosmjerne. Obično se rade s priključcima direktno na električnu mrežu (230V/50Hz). Niskonaponski uređaji koji se upotrebljavaju u zatvorenim prostorima i pri povećanoj opasnosti od udara električne struje, rade s naponom od 42V, koji osigurava odgovarajući transformator.

Jakost magnetskog polja magnetskog jarma ovisi o vrsti jarma, uzbudnoj struji magnetizacije jarma i razmaku između polova.

Ispitivanje s magnetnskim jarmom izvodi se po segmentima. Veličina segmenta koja se ispituje s jednim magnetiziranjem ovisi o:

- Kvaliteti jarma (induktivitet navoja) i jakost struje
- Međusobnoj udaljenosti polova jarma (razmak između polova)
- Kvaliteti kontakta (nalijeganja) na predmet ispitivanja

Veličina ispitivanog segmenta za magnetski jaram se izračuna, ako se definira područje s jakosti komponente tangencijalnog magnetskog polja minimalno 2kA/m i maksimalno 6kA/m.

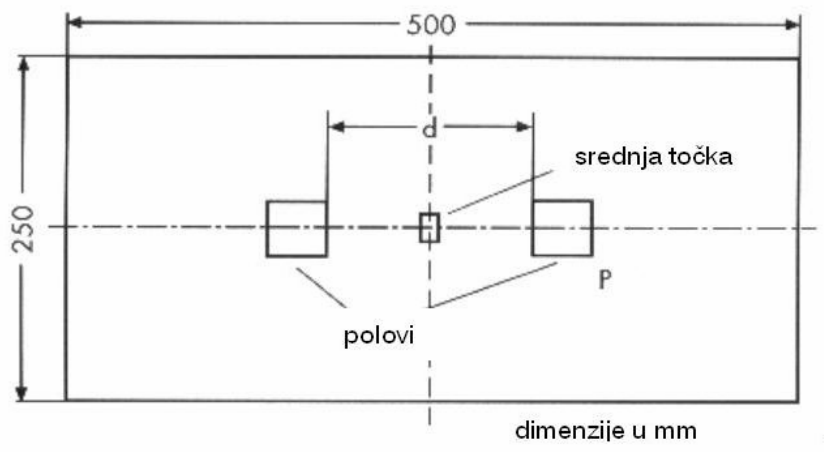
Područje 25mm oko polova jarma ne uzimaju se rezultati mjerenja. Zahtijevane karakteristike magnetskog jarma su definirane u EN ISO 9934-3 [4]. Pri tom se kao osnova za određivanje parametara magnetizacije uzme ploča iz materijala C15 (Č.1220) [5] mase 4,5 kg (slika 3.2) koju mora magnetski jaram (AC) držati (test dizanja težine). Ploča mora imati dimenzije 250x500mm, pri čemu se magnetski jaram postavlja u uzdužnom smjeru. Magnetskim se jarmom mora pri maksimalnom razmaku polova ostvariti u sredini među kontaktnim točkama jakost magnetskog polja minimalno 2kA/m.

Standardom EN ISO 9934-3 [6] proizvođać opreme treba navesti sljedeće informacije:

- maksimalni i minimalni razmak polova
- dimenzije presjeka polova
- električne parametre napajanja
- vrstu elek. struje (oblika strujnog vala) i njegovu regulaciju
- relativno trajanje uključivanja
- vrijeme uključivanja
- jakost komponente tangencialnoga magnetskog polja pri minimalnom i maksimalnom razmaku polova
- dimenzije i masu (težina)

Minimalni zahtjevi za magnetski jaram su navedeni u EN ISO 9934-3 [7]:

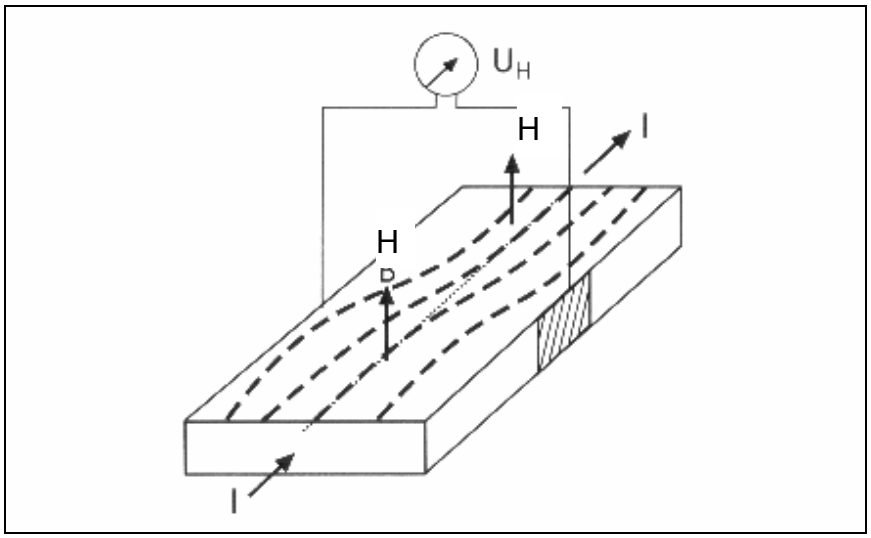
- relativno trajanje uključivanja $\geq$ 10 %
- vrijeme uključivanja $\geq$ 5 s
- temperatura površine u području magnetiziranja $\leq$ 40 ^{0}C
- jakost tangencialnoga polja $\geq$ 2 kA/m
- sila dizanja težine$\geq$ 44 N



Slika 3.2. Ploča za određivanje parametara magnetizacije

3.2. Uređaj za mjerenje jakosti magnetskog polja (Hallova sonda)

Hallova sonda sastoji se od tanke pločice izrađene od poluvodiča. Izvor struje, odnosno baterije, promjenjivi otpor i ampermetar omogućuje da kroz pločicu uzdužno teče struja upravljanja poznate veličine. Ako se pločica stavi u magnetsko polje tako da magnetske silnice prolaze okomito kroz pločicu (slika 3.3.) javlja se okomito na magnetsko polje napon tzv. Hallov napon, koji se može očitavati na prikladnom osjetljivom voltmetru.



Slika 3.3. Shematski prikaz Hallove sonde

Napon proizveden magnetskim poljem H uz poznatu struju upravljanja (slika 3.3.), proporcionalan je jakosti magnetskog polja, te je na instrumentu za mjerenje tangencijalne komponente magnetskog polja moguće baždariti i označiti neposredno iznose jakosti magnetskog polja H u jedinicama (A/m,kA/m...).

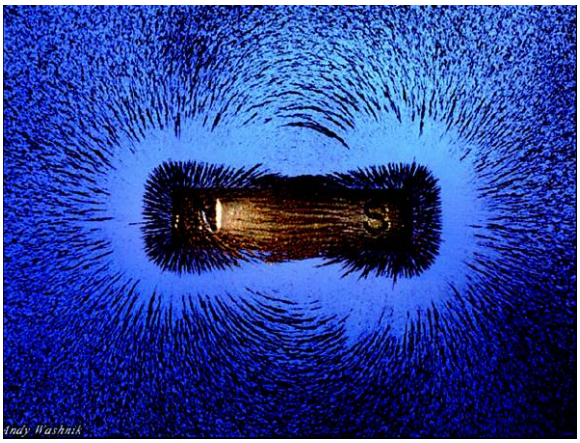


Slika 3.4. Uređaj za mjerenje jakosti magnetskog polja

4. Mjerenje jakosti magnetskog polja

4.1. Magnetsko polje

Područje u kojemu djeluju magnetske silnice naziva se magnetsko polje. Uobičajan način prikazivanja smjera djelovanja magnetskog polja je provlačenjem linija u smjeru djelovanja polja. Takve linije se nazivanju magnetske silnice i pokazuju smjer magnetske sile u svakoj točki prostora. Unese li se u magnetsko polje magnetska igla ona će odrediti smjer silnice, međutim, ne smije se zaboraviti da je to samo dogovoreni način prikazivanja polja. Magnetsko polje u prostoru djeluje trodimenzionalno.



Slika 4.1. Silnice magnetskog polja

Dogovorno se također uzima smjer magnetskih silnica tako da izviru iz sjevernog pola, a poniru u južnom magnetskom polu.

Smjer silnica ukazuje na smjer magnetskog polja, a gustoća silnica odražava gustoću magnetskog toka.

4.2. Magnetiziranje etalona

Etaloni su magnetizirani pomoću izmjenične i istosmjerne struje.

Istosmjerna struja generira magnetsko polje koje prodire dublje ispod ispitne površine, pa je važna primjena kada se otkrivaju podpovršinske greške. Karakterističan je jednoliki protok magnetskih silnica kroz čitav presjek ispitnog objekta, uz pretpostavku da se radi o jednostavnom obliku.

Magnetiziranje istosmjernom strujom ima slične osobine kao i magnetiziranje permanentnim magnetom. Baterije kao izvor istosmjerne struje imaju ograničenja u jačini struje za magnetizaciju. Osim toga baterije su skupe i zahtijevaju održavanje.

Izmjenična struja za magnetizaciju objekta se obično uzima iz standardne električne mreže i ima frekvenciju 50Hz.

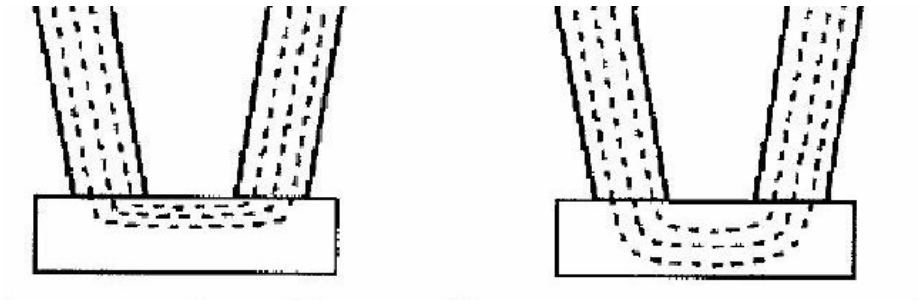
Izmjenična struja za magnetizaciju mora biti jednofazna. Iz valnog oblika jednofazne i trofazne izmjenične struje vidi se da bi u slučaju trofazne izmjenične struje postigli vrlo slaba magnetska polja radi međusobnog poništavanja i male rezultirajuće jačine struje za pobuđivanje magnetskog polja.

Struje od 100A do približno 5000A, potrebne za magnetiziranje se dobivaju pomoću jakostrujnih transformatora.

Radi sigurnosti rukovanja opremom, mrežni napon se transformira na niske vrijednosti. Budući da su objekti kojima teku potrebne struje relativno debeli i radi toga ne predstavljaju otpor struji, može se i uz niski napon postići struje navedene jačine. Izlazni napon sekundarnih navoja je u pravilu 42V.

Izmjenične struje uslijed skin efekta teku uvijek bliže površini. Posebno kod ispitnih objekata oblika šipke ili valjka pri protjecanju struje kroz vodič, a naročito u slučaju struja viših frekvencija, može se očekivati nagli pad jačine magnetskog polja prema unutrašnjosti.

Radi skin efekta potrebno je prstenaste i cjevaste objekte magnetizirati tzv. tehnikom centralnog vodiča.



Slika 4.2. Učinak izmjenične i istosmjerne struje

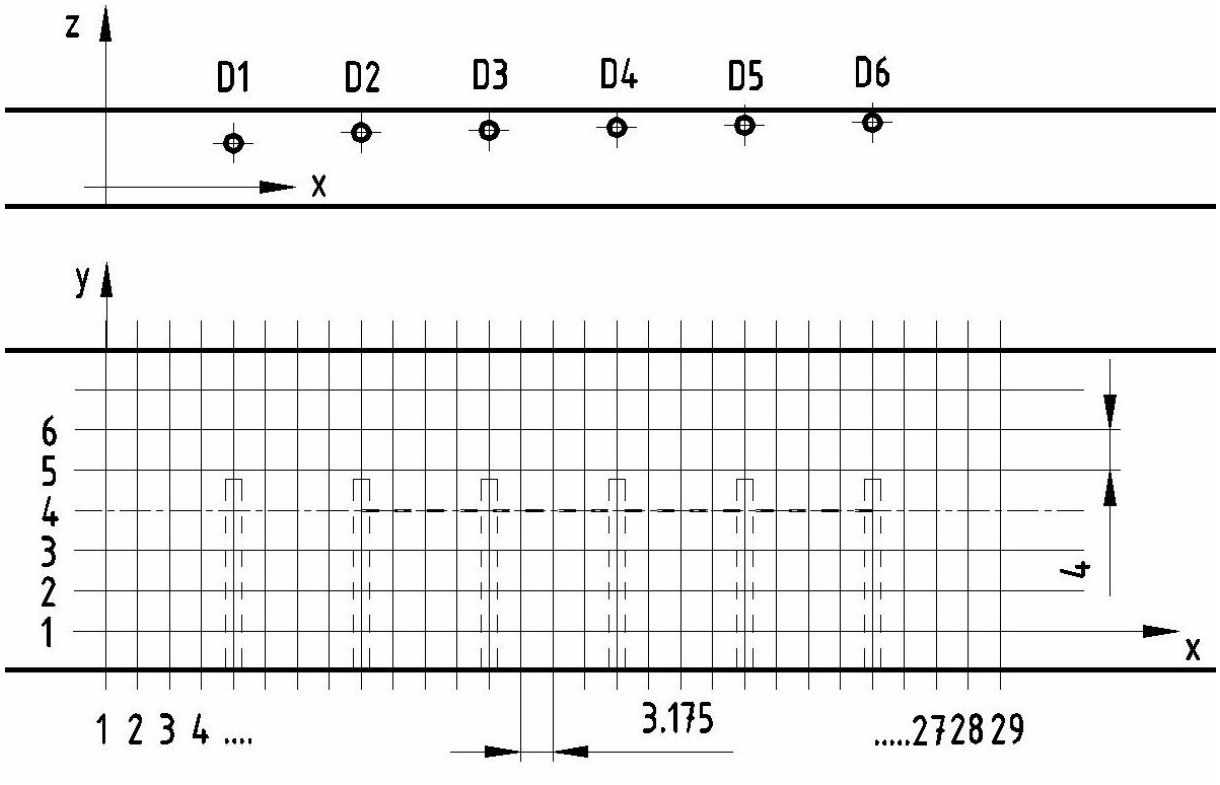
4.3. Mjerenje jakosti magnetskog polja

Magnetsko polje određeno je smjerom i intezitetom. Da bi se mjerila jakost magnetskog polja ili gustoća magnetskog toka treba presjeći linije magnetskog toka, i to u smjeru okomitom na magnetski tok. Praktički, to bi značilo da unutar objekta ispitivanja mjerenje magnetskog toka zahtjeva uvođenje mjerne sonde u objekt ispitivanja, što je neostvarivo bez razaranja. Nadalje brušenjem provrta ili utora, te uvođenjem mjerne sonde još uvijek ne daje stvarno polje, već samo približno, jer postoji zračni raspor između sonde i materijala.

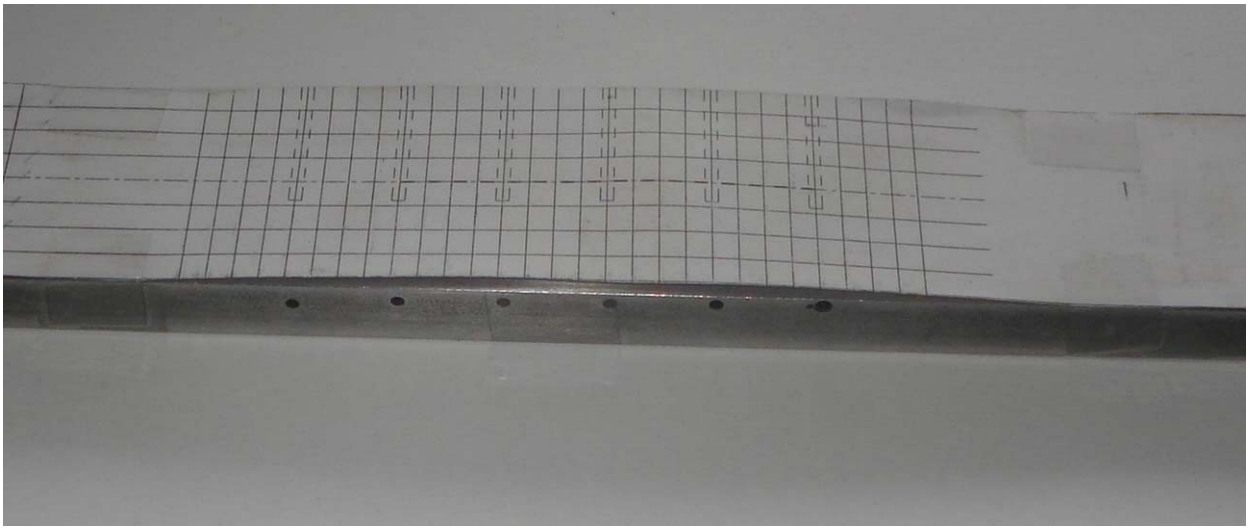
Ovaj način mjerenja daje dobru sliku gradijenta polja od površine ispitanika prema unutrašnjosti, međutim, budući da se ne može koristiti uz ispitivanje bez razaranja, magnetografska slika polja radi se za polje na površini i izvan objekta ispitivanja, a zaključuje se smjer i jakost polja unutar ispitanika. Instrumenti za mjerenje magnetskog polja, magnetometri mogu biti različiti ovisno o jačini polja koje treba mjeriti i metodi mjerenja. Neki magnetometri mjere apsolutne vrijednosti polja, dok drugi mjere komponentu polja u određenom smjeru.

Metoda mjerenja hallovom sondom, radi malih dimenzija hallove sonde, je vrlo prikladna za mjerenje jačine normalne i tangencijalne komponente magnetskog polja.

Da bi olakšali samo mjerenje magnetskog polja i dobili ravnomjerno postavljene točke mjerenja na površini etalona, napravljen je raster koji je nalijepljen na površinu etalona. Pri tome treba imati na umu da papir na kojem je nacrtan raster ima malih utjecaja na dobivene rezultate.



Slika 4.3. Raster na površini etalona Test Bar-a



Slika 4.4. Raster nalijepljen na površinu etalona

Svi uvrti su istoga promjera D=∅1,6mm, duljine 19mm, a njihova udaljenost od gornje površine etalona dana je tablicom:

Uvrt	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Udaljenost od površine (mm)	3,3	2,3	2	1,8	1,5	1,3

4.4. Postupak provođenja mjerenja odziva od ugrađenih nepravilnosti

Mjereno je u Laboratoriju za nerazorna ispitivanja Katedre za nerazorna ispitivanja. Kod mjerenja korišteni su sljedeći uređaji:

- Magnetski jaram proizvođača Tiede

  Izmjenične struje 16A, 42V

  Istosmjerne struje 20A, 24V

- Uređaj za mjerenje jakosti magnetskoga polja –proizvođača: Hirst

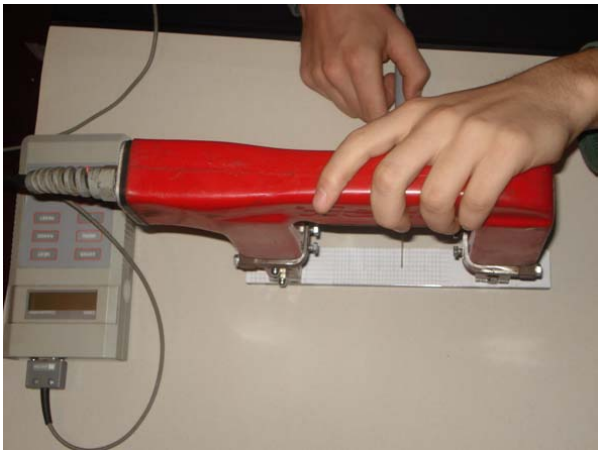
Mjerenje je provedeno samo na etalonima Test Bar (na oba materijala), zbog potrebe ovog projekta.

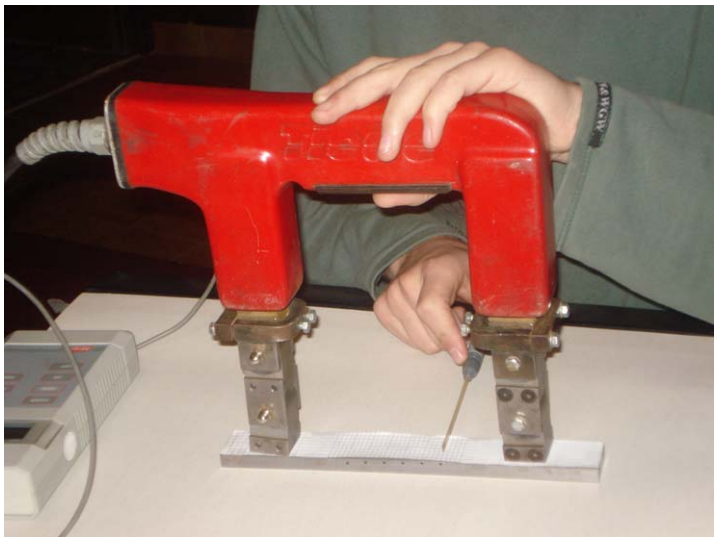
Mjerilo se na više načina s obzirom:

- na vrstu struje magnetiziranja (izmjenična, istosmjerna)
- na međusobni razmak između polova jarma
- na materijal etalona.

Na sljedećim slikama se može vidjeti sam postupak mjerenja u laboratoriju:







Slike 4.5., 4.6., 4.7. Postupak mjerenja

Postupak mjerenja

Na izrađene etalone prvo je zaljepljen papir na kojem je bio nacrtan raster (sl. 4.4.). Raster je bio napravljen u svrhu da dobijemo položaj mjernih mjesta. Zatim se je na etalonima odredio položaj na koji su se stavili polovi magnetskog jarma, tako da bočni uvrti budu simetrično raspoređeni između polova magnetskog jarma (sl. 4.5). Rađena su mjerenja s minimalnim i maksimalnim razmakom polova magnetskog jarma i potrebno je bilo odrediti položaje polova za jedno i drugo mjerenje. Magnetski jaram na etalonu je bio fiksno postavljen tijekom mjerenja. Kada su polovi magnetskog jarma bili namješteni na određene pozicije, tada se počelo sa magnetiziranjem mjernog etalona, a potom su vršena mjerenja jakosti magnetskog polja na površini etalona prethodno spomenutim uređajem, što je zahtjevalo mnogo vremena. Kod samog mjerenja neophodna je bila pomoć još jedne osobe koja je zapisivala dobivene rezultate. U postupku istosmjernog magnetiziranja potrošeno je mnogo više vremena nego kod izmjeničnog magnetiziranja zbog jakog zagrijavanja magnetskog jarma.

5. Dobiveni rezultati

Nakon provedenih mjerenja po točkama rastera (slika 4.3) dobiven je velik broj podataka koje je trebalo obraditi da bi ih mogli analizirati. Dobiveni podaci prikazani su u sljedećim tablicama.

Podaci za etalon Test Bar napravljen od materijala ST37-2, magnetiziran izmjeničnom strujom (AC) sa minimalnim razmakom polova:

Uvrt	1	2	3	4	5	6
	6,56	6,49	6,49	6,58	6,64	6,74
	6,44	6,46	6,58	6,51	6,63	6,57
	6,35	6,27	6,44	6,42	6,44	6,45
	6,26	6,26	6,43	6,29	6,35	6,32
D1	6,31	6,27	6,21	6,19	6,26	6,25
	6,12	6,02	6,09	6,11	6,17	6,18
	6,06	6	6,13	6,11	6,15	6,11
	6,07	6,05	6,15	6,12	6,12	6,1
D2	6,46	6,26	6,27	6,18	6,15	6,07
	5,99	6	6,03	6,11	6,05	6,06
	5,87	5,85	5,98	6,05	5,96	6,01
	5,96	5,92	6,01	6,07	5,99	6,02
D3	6,54	6,35	6,26	6,27	6,02	6,04
	5,86	5,85	5,88	6,06	6,11	6,02
	5,74	5,79	5,92	6	6,07	5,99
	5,89	5,88	6	6,06	6,05	5,96
D4	6,6	6,44	6,35	6,35	6,11	6
	5,92	5,9	5,99	6,03	6,07	6,03
	5,8	5,81	5,87	6,02	6,05	6,06
	5,98	5,97	6,06	6,12	6,16	6,11
D5	6,97	6,82	6,6	6,65	6,47	6,22
	5,83	6,01	6,06	6,17	6,26	6,2
	5,89	5,97	6,02	6,16	6,27	6,19
	6,01	6,13	6,35	6,35	6,39	6,31
D6	7,42	7,34	7,36	6,97	6,85	6,33
	6,31	6,3	6,5	6,43	6,47	6,43
	6,25	6,28	6,46	6,46	6,48	6,44
	6,3	6,39	6,49	6,58	6,6	6,48
	6,44	6,62	6,76	6,75	6,74	6,65

Tablica 5.1. Podaci: ST37-2, AC, razmak polova 141mm

Podaci za etalon Test Bar napravljen od materijala X20Cr13, magnetiziran izmjeničnom strujom (AC) sa minimalnim razmakom polova:

Uvrt	1	2	3	4	5	6
	6,93	6,93	6,99	6,9	7,01	6,83
	6,89	6,82	6,79	6,77	6,81	6,7
	6,76	6,69	6,66	6,58	6,7	6,58
	6,6	6,58	6,58	6,51	6,56	6,51
D1	6,7	6,58	6,51	6,46	6,47	6,45
	6,54	6,46	6,39	6,38	6,44	6,37
	6,37	6,39	6,32	6,26	6,35	6,31
	6,33	6,4	6,33	6,28	6,33	6,27
D2	6,79	6,69	6,52	6,43	6,39	6,3
	6,37	6,32	6,23	6,26	6,29	6,23
	6,13	6,18	6,17	6,2	6,22	6,2
	6,15	6,26	6,26	6,18	6,21	6,19
D3	6,89	6,66	6,58	6,49	6,35	6,23
	6,19	6,2	6,26	6,2	6,07	6,19
	6,01	6,1	6,15	6,11	6,06	6,15
	6,07	6,11	6,17	6,15	6,19	6,18
D4	6,97	6,77	6,62	6,58	6,42	6,23
	6,23	6,28	6,17	6,15	6,2	6,14
	6,03	6,02	6,07	6,09	6,19	6,19
	6,06	6,17	6,26	6,18	6,23	6,26
D5	7,21	6,99	7,03	6,92	6,67	6,31
	6,26	6,24	6,35	6,25	6,37	6,32
	6,12	6,13	6,2	6,22	6,33	6,38
	6,23	6,19	6,33	6,37	6,42	6,39
D6	7,9	7,49	7,47	7,15	6,84	6,46
	6,63	6,58	6,47	6,46	6,62	6,55
	6,46	6,47	6,55	6,43	6,61	6,58
	6,48	6,62	6,66	6,6	6,7	6,65
	6,73	6,8	6,81	6,77	6,87	6,81

Tablica 5.2. Podaci:X20Cr13, AC, razmak polova 141mm

Podaci za etalon Test Bar napravljen od materijala ST37-2, magnetiziran izmjeničnom strujom (AC) sa maksimalnim razmakom polova:

Uvrt	1	2	3	4	5	6
	5,63	5,5	5,57	5,49	5,56	5,43
	5,61	5,52	5,45	5,47	5,57	5,37
	5,49	5,49	5,46	5,43	5,46	5,34
	5,49	5,41	5,35	5,39	5,36	5,29
D1	5,51	5,41	5,35	5,34	5,3	5,22
	5,42	5,34	5,32	5,27	5,3	5,21
	5,35	5,24	5,29	5,29	5,27	5,21
	5,39	5,37	5,34	5,27	5,26	5,22
D2	5,68	5,47	5,45	5,34	5,31	5,22
	5,36	5,32	5,22	5,21	5,21	5,19
	5,26	5,24	5,24	5,22	5,18	5,17
	5,33	5,3	5,27	5,24	5,19	5,16
D3	5,78	5,57	5,43	5,41	5,26	5,18
	5,29	5,22	5,22	5,19	5,14	5,15
	5,19	5,17	5,17	5,16	5,14	5,15
	5,24	5,26	5,24	5,2	5,17	5,16
D4	5,81	5,64	5,52	5,41	5,28	5,2
	5,23	5,24	5,22	5,22	5,19	5,15
	5,14	5,14	5,15	5,16	5,14	5,15
	5,29	5,3	5,32	5,24	5,18	5,21
D5	6,1	5,88	5,72	5,6	5,41	5,27
	5,27	5,26	5,22	5,24	5,2	5,23
	5,16	5,19	5,2	5,23	5,19	5,23
	5,27	5,37	5,37	5,32	5,26	5,27
D6	6,39	6,24	6,03	5,88	5,51	5,32
	5,41	5,42	5,38	5,37	5,3	5,29
	5,27	5,3	5,29	5,31	5,22	5,23
	5,31	5,3	5,31	5,22	5,24	5,22
	5,34	5,36	5,35	5,35	5,28	5,28

Tablica 5.3. Podaci: ST37-2, AC, razmak polova 204mm

Podaci za etalon Test Bar napravljen od materijala X20Cr13, magnetiziran izmjeničnom strujom (AC) sa maksimalnim razmakom polova:

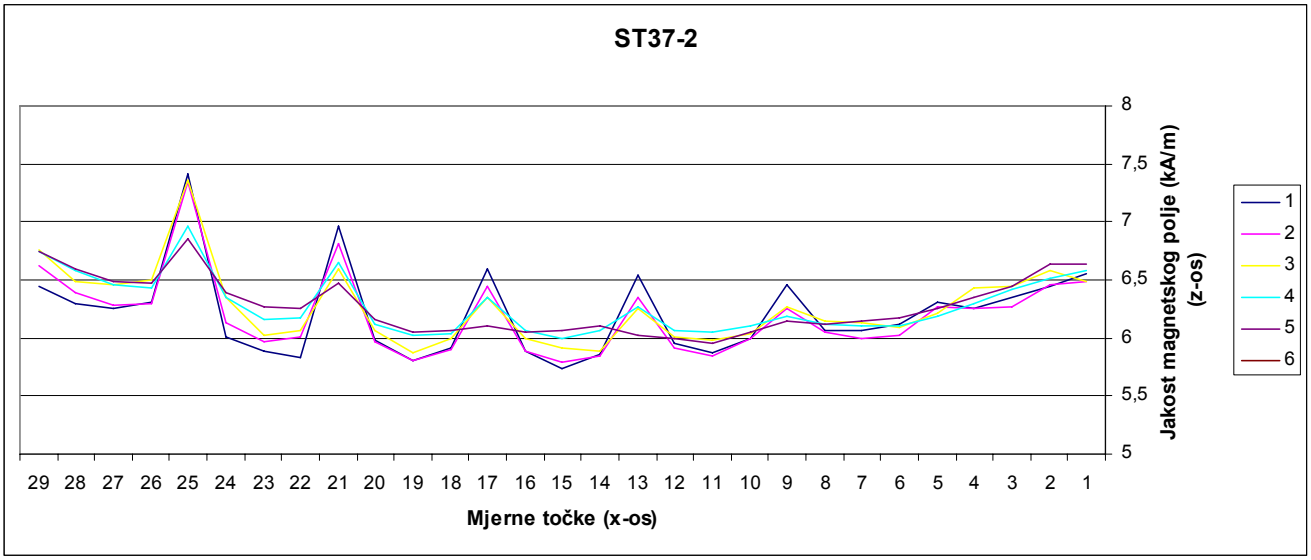
Uvrt	1	2	3	4	5	6
	5,51	5,56	5,55	5,63	5,5	5,46
	5,5	5,41	5,53	5,55	5,54	5,45
	5,45	5,48	5,5	5,5	5,49	5,41
	5,39	5,44	5,46	5,47	5,44	5,39
D1	5,48	5,45	5,42	5,45	5,36	5,36
	5,37	5,43	5,39	5,41	5,36	5,32
	5,32	5,33	5,27	5,37	5,32	5,3
	5,31	5,36	5,29	5,35	5,31	5,29
D2	5,74	5,61	5,49	5,45	5,41	5,29
	5,29	5,38	5,3	5,3	5,35	5,26
	5,19	5,23	5,2	5,27	5,29	5,22
	5,26	5,22	5,23	5,26	5,3	5,22
D3	5,77	5,67	5,52	5,5	5,36	5,23
	5,29	5,29	5,29	5,26	5,24	5,22
	5,14	5,17	5,18	5,19	5,22	5,19
	5,2	5,26	5,19	5,22	5,24	5,17
D4	5,92	5,75	5,61	5,54	5,38	5,23
	5,26	5,24	5,29	5,23	5,23	5,2
	5,1	5,14	5,17	5,18	5,2	5,18
	5,2	5,24	5,24	5,19	5,24	5,22
D5	6,14	6	5,7	5,76	5,53	5,29
	5,32	5,28	5,26	5,22	5,26	5,26
	5,09	5,15	5,2	5,21	5,25	5,23
	5,18	5,34	5,36	5,26	5,29	5,27
D6	6,41	6,34	6,2	5,94	5,6	5,33
	5,5	5,37	5,46	5,36	5,35	5,35
	5,2	5,25	5,29	5,29	5,26	5,28
	5,24	5,26	5,29	5,3	5,26	5,24
	5,3	5,31	5,32	5,32	5,27	5,26

Tablica 5.4. Podaci:X20Cr13, AC, razmak polova 204mm

5.1. Analiza dobivenih rezultata

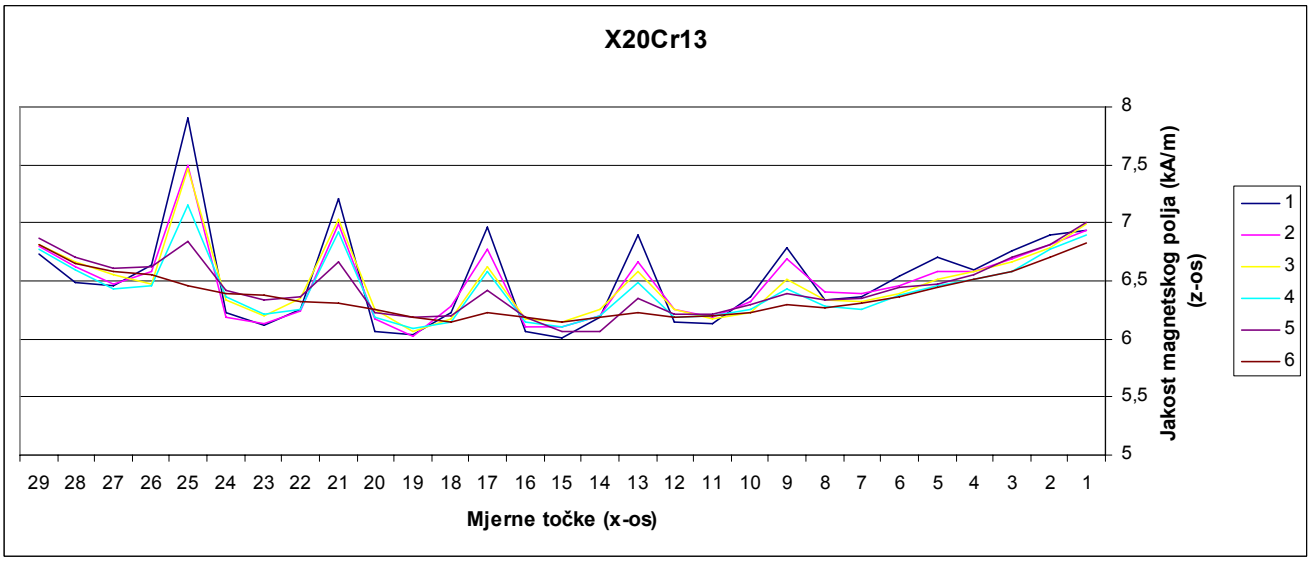
Analiza podataka pomoću grafova.

Test Bar, ST37-1, minimalni razmak polova.



Slika 5.1. Linijski prikaz podataka iz tablice 5.1.

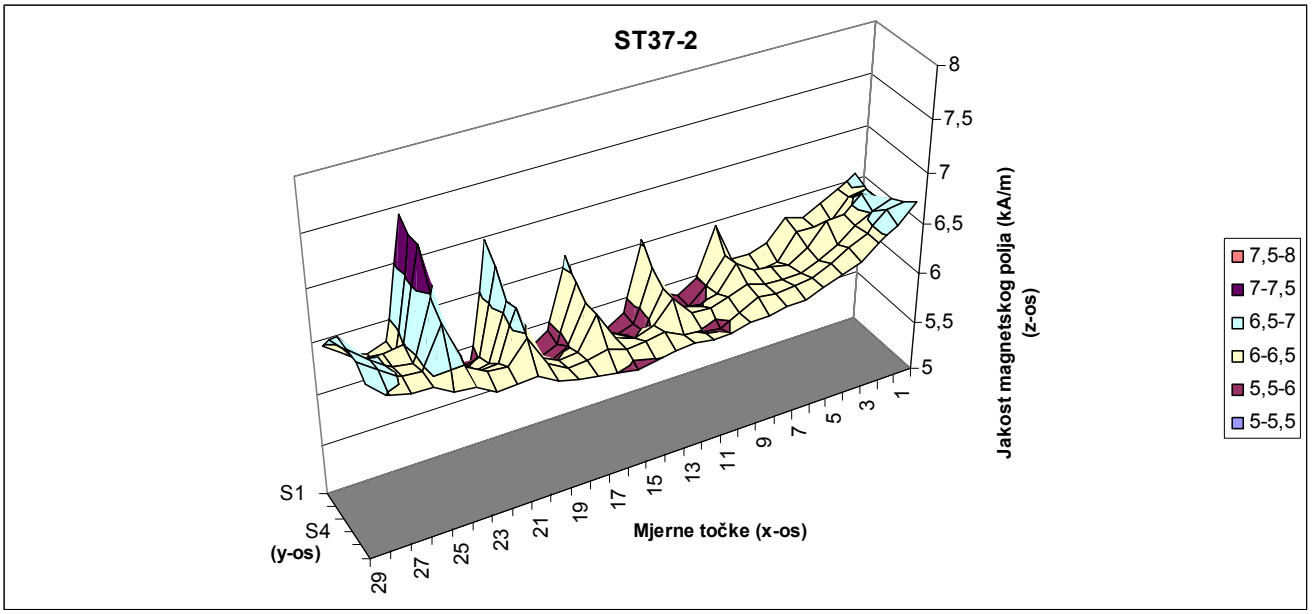
Test Bar, X20Cr13, minimalni razmak polova.



Slika 5.2. Linijski prikaz podataka iz tablice 5.2.

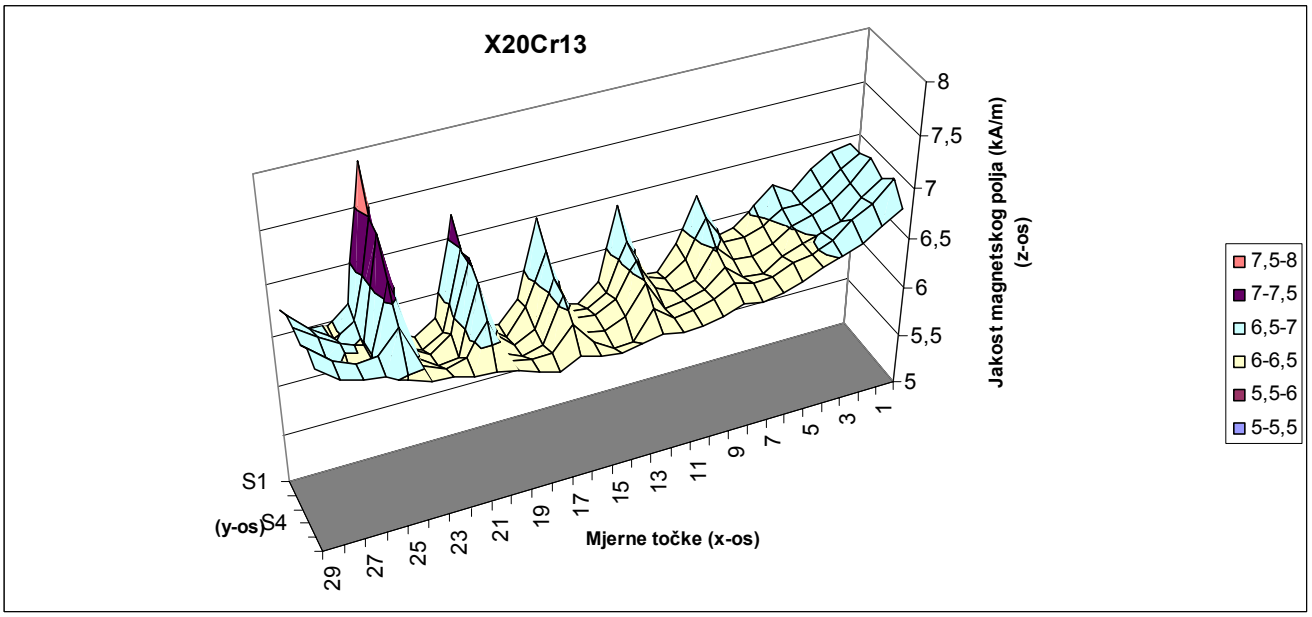
Na ovim grafovima se zorno vide postignute vrijednosti jakosti magnetskog polja duž etalona po svakoj izvodnici. Pošto su ovdje polovi magnetskoga jarma bili minimalno razmaknuti gustoća magnetskog toka je veća. Zbog toga se na slici 5.2. vide razlike u rasipanju rezultata između rupa. Ako sliku 5.1. usporedimo sa slikom 5.2. vidjet ćemo razliku u postignutim vrijednostima jakosti magnetskog polja i razliku u rasipanju podataka između provrta. Ovdje su između provrta manja rasipanja jakosti magnetskog polja nego kod etalona od materijala ST37-2.

Test Bar, ST37-1, minimalni razmak polova.



Slika 5.3. 3D Prikaz podataka iz tablice 5.1.

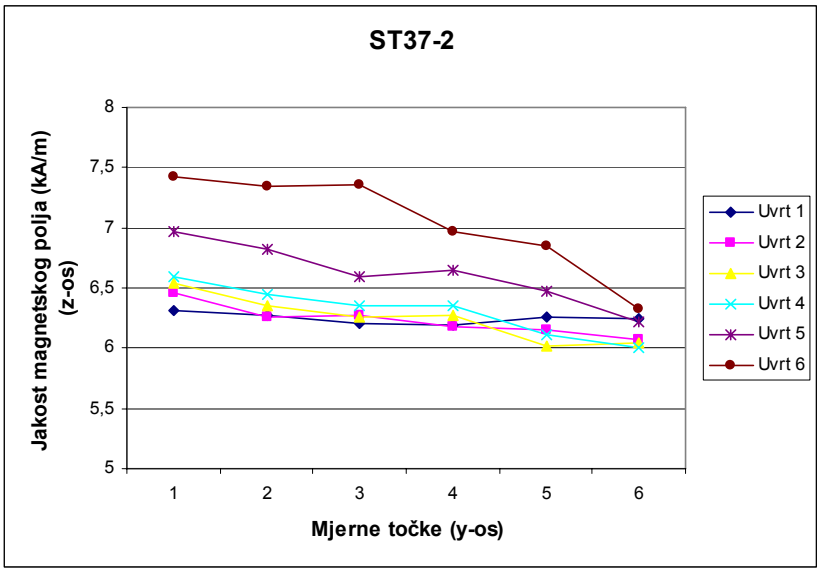
Test Bar, X20Cr13, minimalni razmak polova.



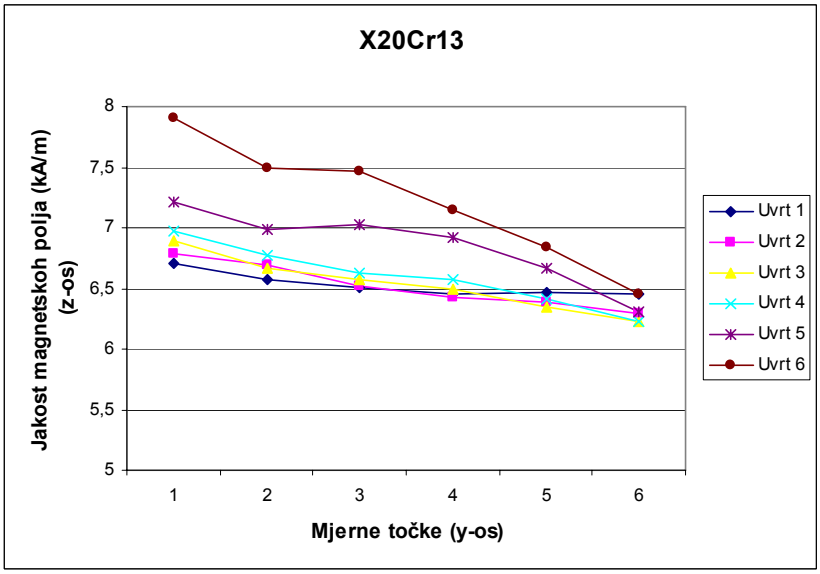
Slika 5.4. 3D Prikaz podataka iz tablice 5.2.

Na prostornoj slici oba etalona vidi se kako se duž izvodnica mijenja jakost magnetskog polja od ruba prema sredini etalona (od linije 1 do linije 6). Sa grafova se zorno vide mjesta mjerenja iznad uvrta, mjesta s većom jakosti magnetskog polja. Na slici 5.4., vidi se kako su na etalonu izrađenom od materijala X20Cr13 izmjerene veće vrjednosti jakosti magnetskog polja nego kod prethodnog etalona. Što se tiče izmjerenih vrijednosti, zorniju sliku daju nam slike 5.1. i 5.2. na kojima se vide vrijednosti jakosti magnetskog polja gledano u bočnom presjeku etalona.

Sad ćemo na slikama 5.5. i 5.6. promatrati kako se jakost magnetskog polja mijenja duž uvrta, promatrajući od ruba etalona (točka 1) prema sredini etalona (prema slici 4.3).



Slika 5.5. Jakost magnetskog polja duž osi uvrta (u smjeru osi y na slici 4.3.).

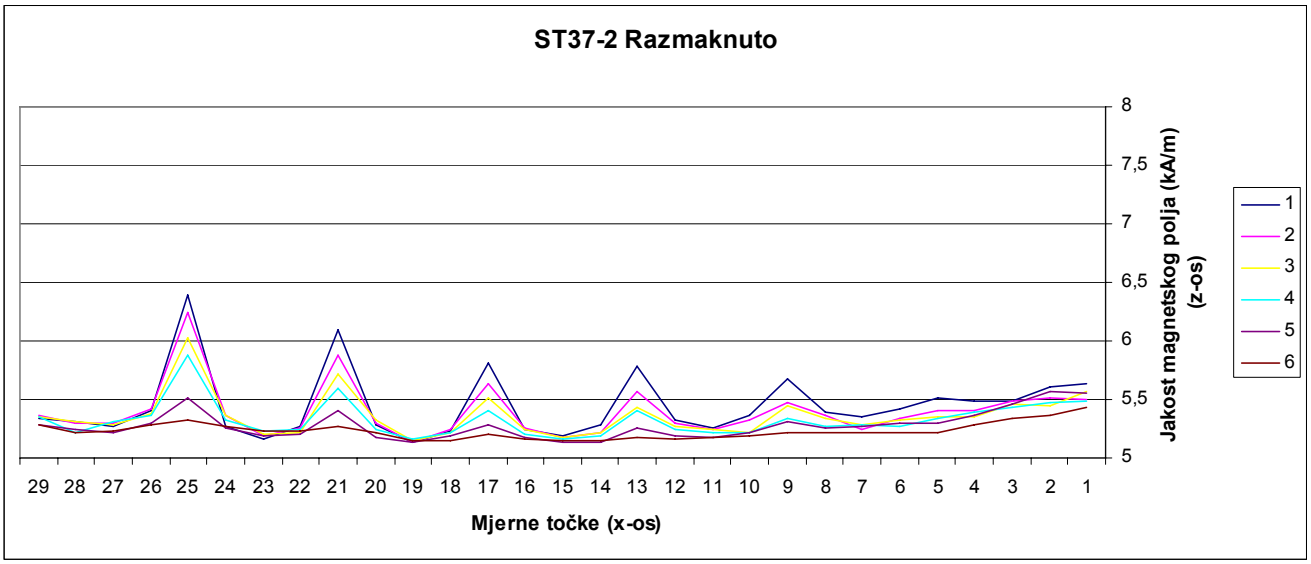


Slika 5.6. Jakost magnetskog polja duž osi uvrta (u smjeru osi y na slici 4.3.).

Ovdje se vidi kako vrijednosti jakosti magnetskog polja padaju od ruba (točka 1) prema sredini etalona. Zbog utjecaja blizine ruba etalona kod svih uvrta u točki 1 postignute su najveće jakosti magnetskog polja. Prema sredini etalona vrijednosti se jakosti magnetskog polja smanjuju i u području etalona ispod kojeg nema uvrta (točka 5), vidi se utjecaj uvrta na vrijednost jakosti magnetskog polja. Dok se u točci 6, vidi da uvrt više nema utjecaj na izmjerene vrijednosti.

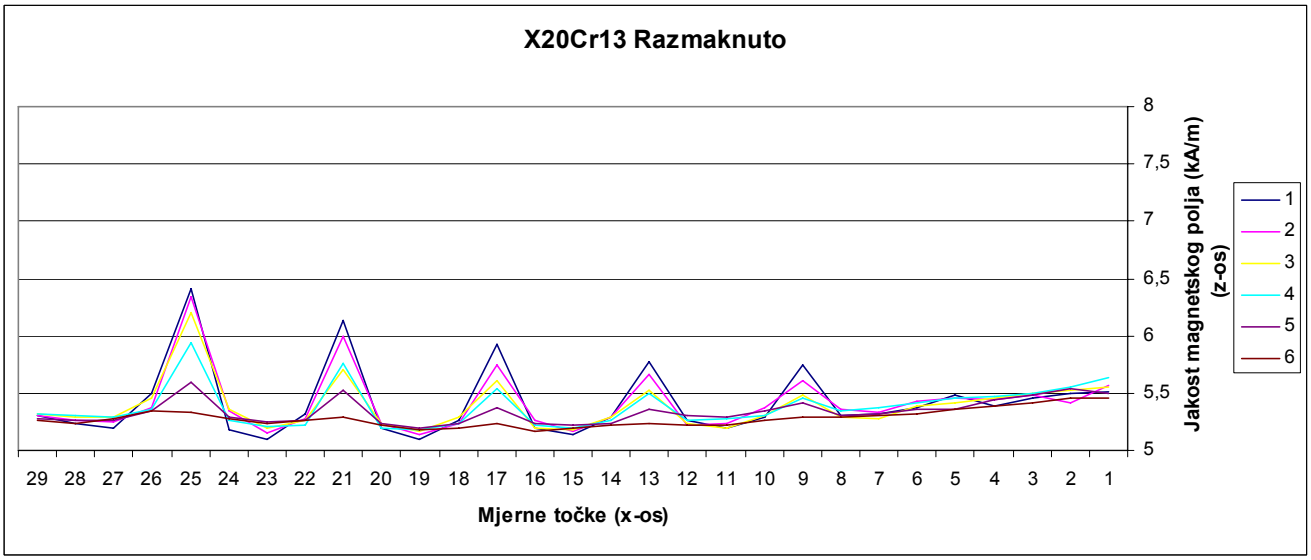
Analiza podataka iz tablice 5.3. i 5.4.

Test Bar, St37-2, maksimalni razmak polova.



Slika 5.7. Linijski prikaz podataka iz tablice 5.3.

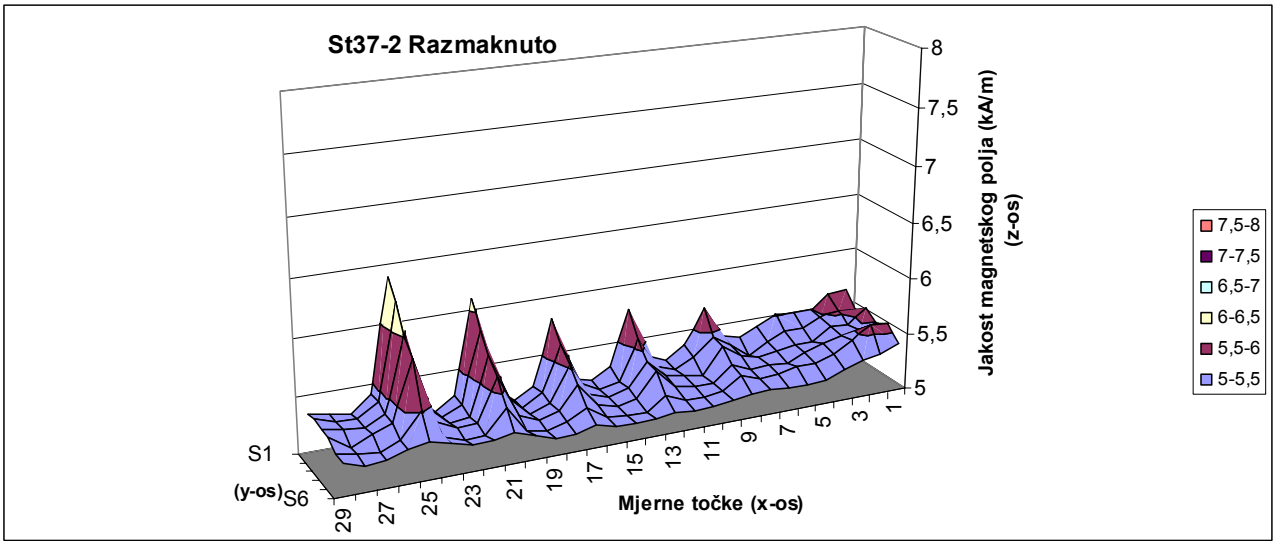
Test Bar, X20Cr13, maksimalni razmak polova.



Slika 5.8. 3D Prikaz podataka iz tablice 5.4.

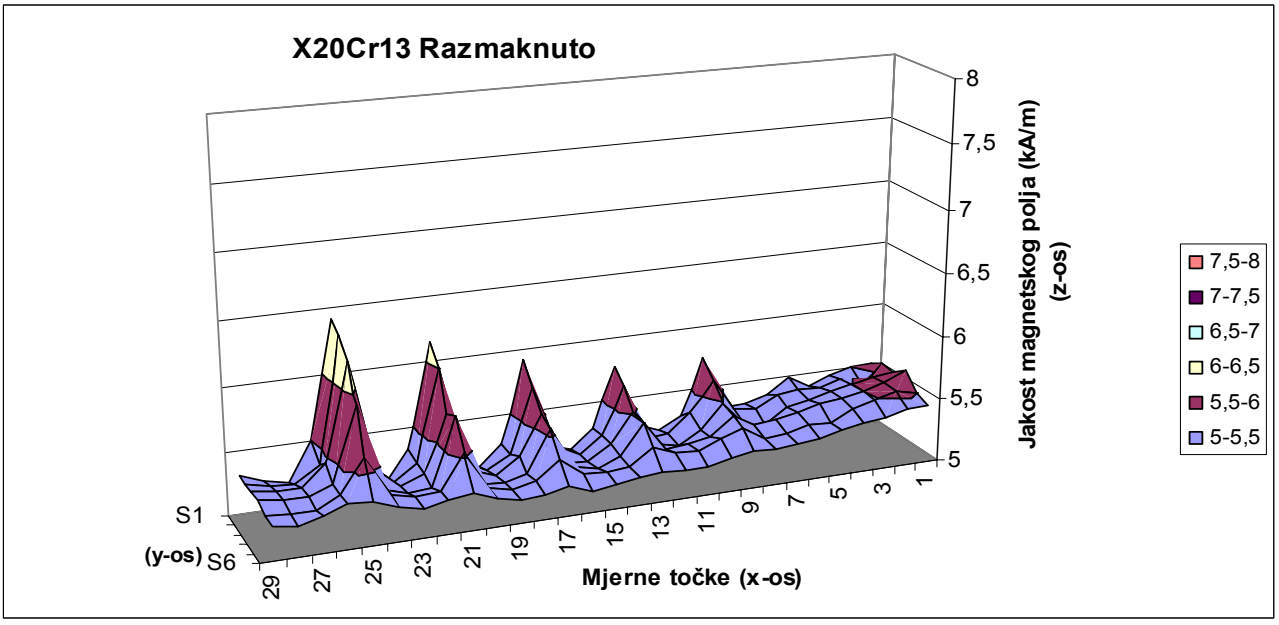
Kod magnetiziranja etalona s maksimalno razmaknutim polovima jarma, izmjerene su niže vrijednosti jakosti magnetskoga polja, što se može i vidjeti usporedbom slika 5.7. i 5.8. s slikama 5.1. i 5.2. Na ovakvom se prikazu bolje vidi da su u području između uvrta manja rasipanja rezultata, što proizlazi iz manje gustoće silnica magnetskog toka, te su izmjerene vrijednosti jakosti magnetskog polja, kod oba etalona približno jednake tako da se na slici skoro niti ne vidi razlika. Znači da se s manjim razmakom polova mogu bolje uočiti razlike u jakosti magnetskog polja.

Test Bar, ST37-1, maksimalni razmak polova.



Slika 5.9. 3D Prikaz podataka iz tablice 5.3.

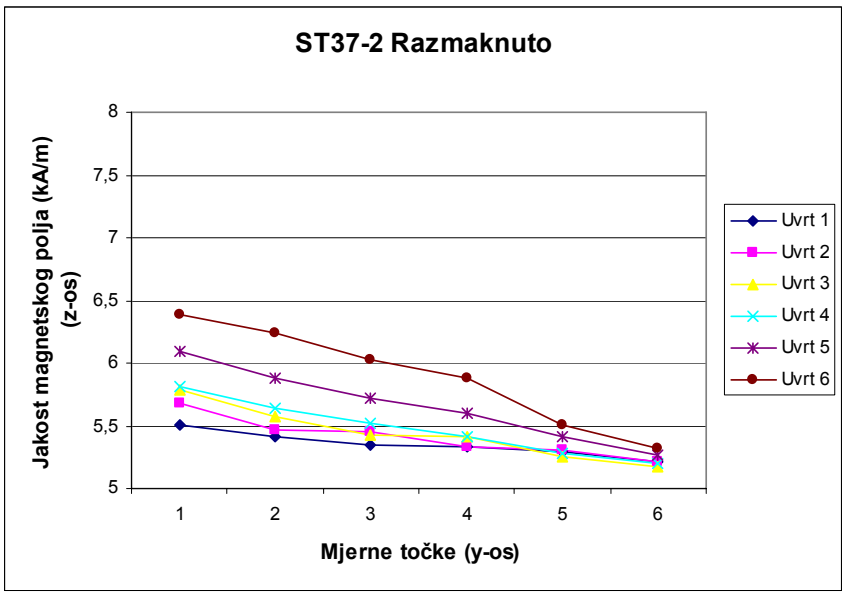
Test Bar, X20Cr13, maksimalni razmak polova.



Slika 5.10. 3D Prikaz podataka iz tablice 5.4.

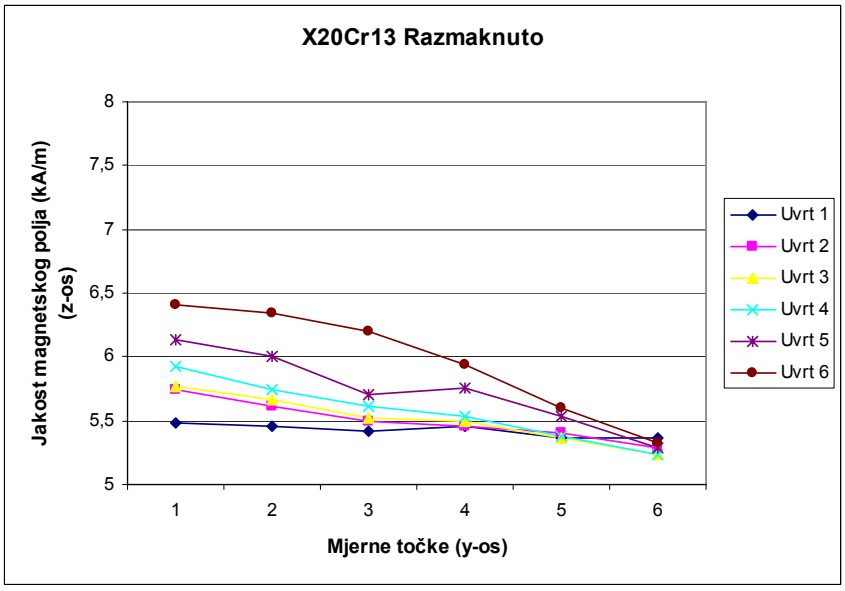
Na slikama 5.9 i 5.10 plava boja pokazuje da u području između uvrta nema velikih rasipanja rezultata. To se i očekivalo budući da je gustoća silnica magnetskog toka manja nego kod slučaja sa minimalno razmaknutim polovima jarma. Ovdje se nisu pojavile tako velike razlike vrijednosti jakosti magnetskog polja između jednog i drugog etalona kao kod prethodnog slučaja mjerenja.

Test Bar, St37-2, maksimalni razmak polova.



Slika 5.11. Jakost magnetskog polja duž osi uvrta (u smjeru osi y na slici 4.3.).

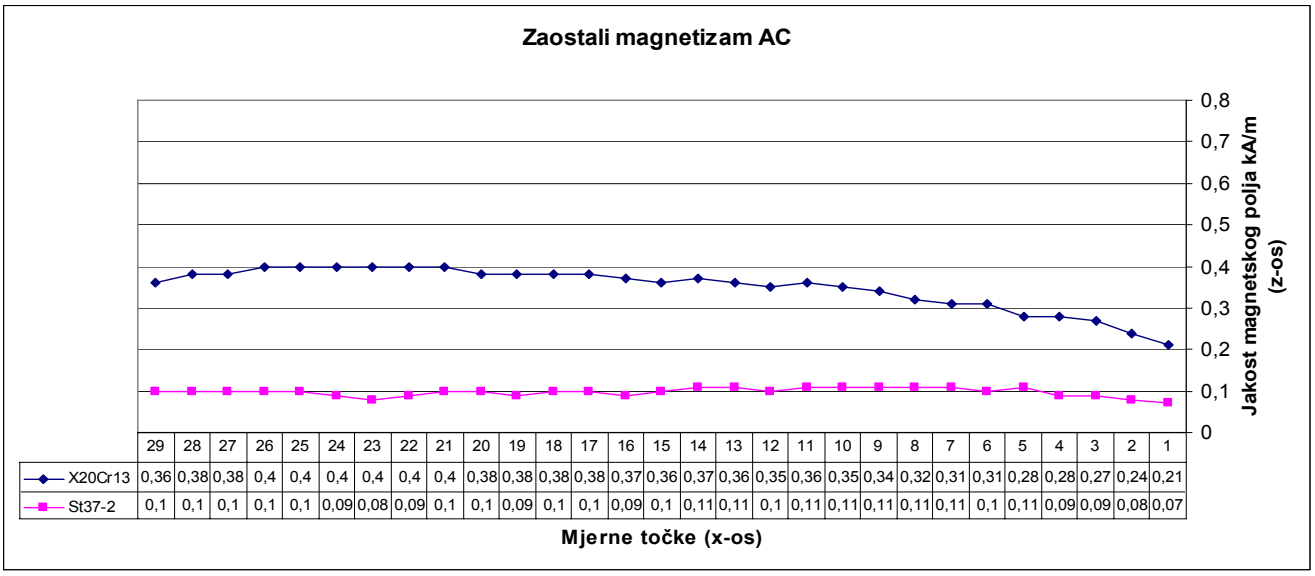
Test Bar, X20Cr13, maksimalni razmak polova.



Slika 5.12. Jakost magnetskog polja duž osi uvrta (u smjeru osi y na slici 4.3.).

Sa slika 5.11. i 5.12. vidi se da kod razmaknutih polova jarma, utjecaj uvrta na vrijednosti jakosti magnetskog polja na izvodnici 6, je manji nego kod minimalnog razmaka polova, manja su rasipanja vrjednosti jakosti magnetskog polja u točci 6.

Nakon magnetiziranja etalona izmjeničnom strujom, etalone ćemo magnetizirati istosmjernom strujom. No prije toga izmjeriti ćemo uzduž jedne izvodnice rastera (linija 4) etalona da vidimo ima li u etalonu zaostalog magnetizma. Za oba etalona dobiveni su ovi podaci:



	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
X20Cr13	0,36	0,38	0,38	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,38	0,38	0,38	0,38	0,37	0,36	0,37	0,36	0,35	0,36	0,35	0,34	0,32	0,31	0,31	0,28	0,28	0,27	0,24	0,21
St37-2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,09	0,08	0,09	0,1	0,1	0,09	0,1	0,1	0,09	0,1	0,11	0,11	0,1	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,1	0,11	0,09	0,09	0,08	0,07

Slika 5.13. Zaostali magnetizam u etalonima.

Vidi se da su u materijalu X20Cr13 izmjerene veće vrijednosti jakosti magnetskog polja, što znači da je materijal X20Cr13 ima veću permabilnost nego St37-2.

Magnetiziranje istosmjernom strujom napravljeno je tako da je magnetski jaram koji je korišten za magnetiziranje izmjeničnom strujom spojen na akumulatorski izvor od 24V/20A. Ovdje treba napomenuti da se tijekom mjerenja magnetski jaram puno brže zagrijavao nego kod magnetiziranja izmjeničnom strujom, pa ga je zbog toga bilo potrebno često hladiti (potrošeno je pet puta više vremena za hlađenje magnetskog jarma nego što je potrošeno za samo mjerenje na etalonima).

Što se tiče etalona, kod magnetiziranja izmjeničnom strujom, etaloni su se dosta zagrijavali tijekom mjerenja, dok se kod magnetiziranja istosmjernom strujom etaloni uopće nisu zagrijavali.

Podaci za etalon Test Bar napravljen od materijala ST37-2, magnetiziran istosmjernom strujom (DC) sa minimalnim razmakom polova:

Uvrt	1	2	3	4	5	6
	5,65	5,57	5,59	5,24	5,81	5,59
	5,49	5,39	5,4	5,1	5,65	5,57
	5,41	5,29	5,24	5,02	5,62	5,63
	6,04	5,71	5,64	5,5	5,93	5,97
D1	8,06	8,13	7,94	7,32	7,37	6,72
	6,52	6,39	6,08	6,02	6,3	6,23
	5,02	5,04	5,02	5,48	5,56	5,64
	5,22	5,08	5,29	5,55	5,7	5,82
D2	7,89	8,14	8,05	8,14	7,03	6,43
	6,22	5,96	6,03	6,27	5,8	5,98
	4,72	4,82	4,74	5,2	5,3	5,47
	5,1	5	4,96	5,39	5,47	5,64
D3	8,1	8,37	8,11	7,99	7,16	6,29
	5,88	6,21	6,19	6,01	5,8	5,88
	4,62	4,67	4,67	5,1	5,22	5,41
	4,84	5,03	5,21	5,42	5,31	5,55
D4	8,46	8,32	8,05	8,02	7,09	6,19
	5,72	5,49	5,63	5,63	5,91	5,74
	4,67	4,71	4,89	5,1	5,24	5,38
	5,01	5,08	5,26	5,38	5,48	5,61
D5	8,69	8,58	8,08	8,16	7,49	6,42
	5,6	5,58	6	5,88	6,05	6,07
	4,86	4,82	4,85	5,05	5,37	5,51
	5,05	5,35	5,16	5,32	5,69	5,84
D6	9,85	9,03	8,33	8,61	7,83	6,7
	5,91	6,18	6,25	5,99	6,13	6,11
	5,14	4,99	5	5,17	5,34	5,47
	5,15	5,06	4,87	5,14	5,29	5,22
	5,2	5,15	4,93	5,13	5,35	5,16

Tablica 5.5. Podaci: ST37-2, DC, razmak polova 141mm

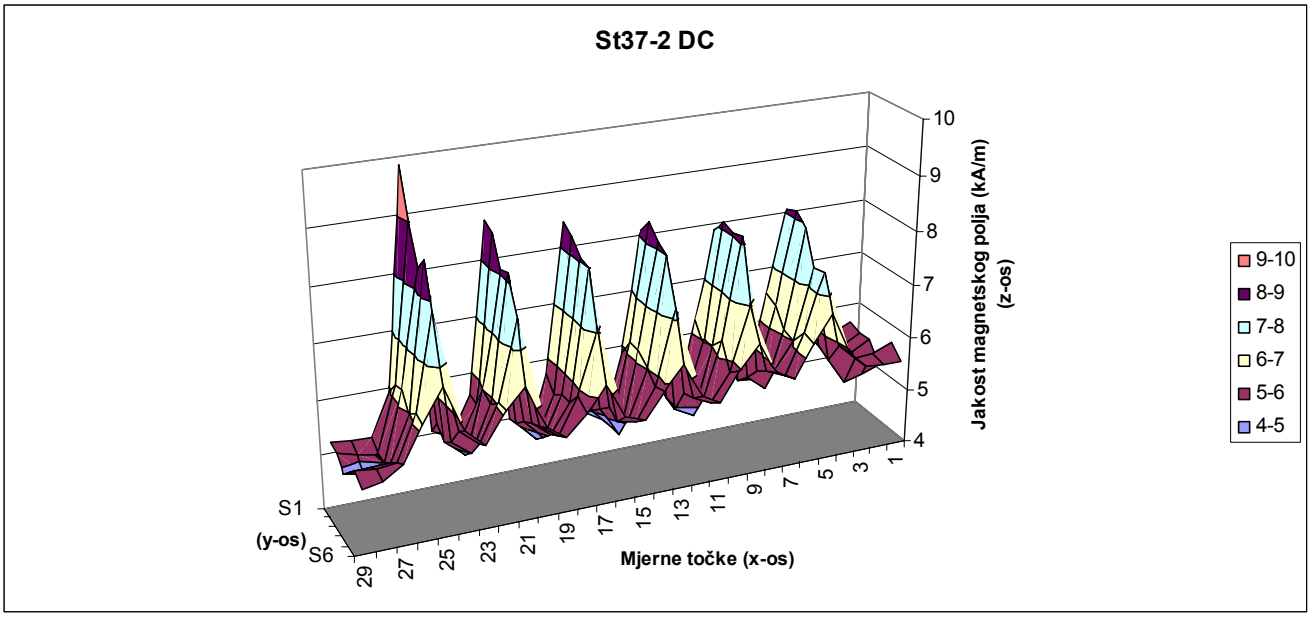
Podaci za etalon Test Bar napravljen od materijala X20Cr13, magnetiziran istosmjernom strujom (DC) sa maksimalnim razmakom polova:

Uvrt	1	2	3	4	5	6
	6,07	6,18	6,03	5,86	5,73	6,13
	5,78	5,94	5,87	5,63	6,07	5,97
	5,64	5,74	5,64	5,51	6,01	6,02
	5,72	6,09	5,88	5,63	6,3	6,4
D1	8,63	8,53	8,76	7,71	7,97	7,72
	6,54	6,62	6,85	6,65	6,75	6,93
	5,37	5,42	5,32	5,26	5,89	6,01
	5,32	5,62	5,47	5,39	5,96	6,15
D2	8,43	8,44	8,88	7,77	7,82	7,43
	6,27	6,49	6,15	6,02	6,88	6,41
	5,07	5,09	4,89	4,95	5,47	5,75
	5,08	5,15	5,2	5,13	5,64	5,99
D3	8,59	8,41	8,46	7,55	7,13	7,06
	6,37	6,42	5,74	6,22	6,11	6,28
	4,86	4,94	4,82	4,8	5,48	5,58
	4,98	5,05	4,9	4,97	5,72	5,89
D4	8,54	8,03	8,33	7,78	7,77	7
	6,27	6,47	6,03	5,66	6,39	6,19
	4,78	4,92	4,83	4,81	5,49	5,68
	5,08	5,26	5,17	4,92	5,69	6,04
D5	9,52	9,14	8,8	8,07	7,75	7,41
	6,68	6,29	5,99	6,02	6,42	6,55
	5,08	5,05	4,93	5	5,63	5,96
	5,42	5,34	6,07	5,22	6	6,3
D6	9,54	9,04	9,03	8,62	8,54	7,7
	6,83	7,01	6,68	6,76	6,74	6,89
	5,41	5,33	5,14	5,19	5,84	5,95
	5,35	5,29	5,18	5,13	5,71	5,7
	5,45	5,35	5,23	5,1	5,7	5,68

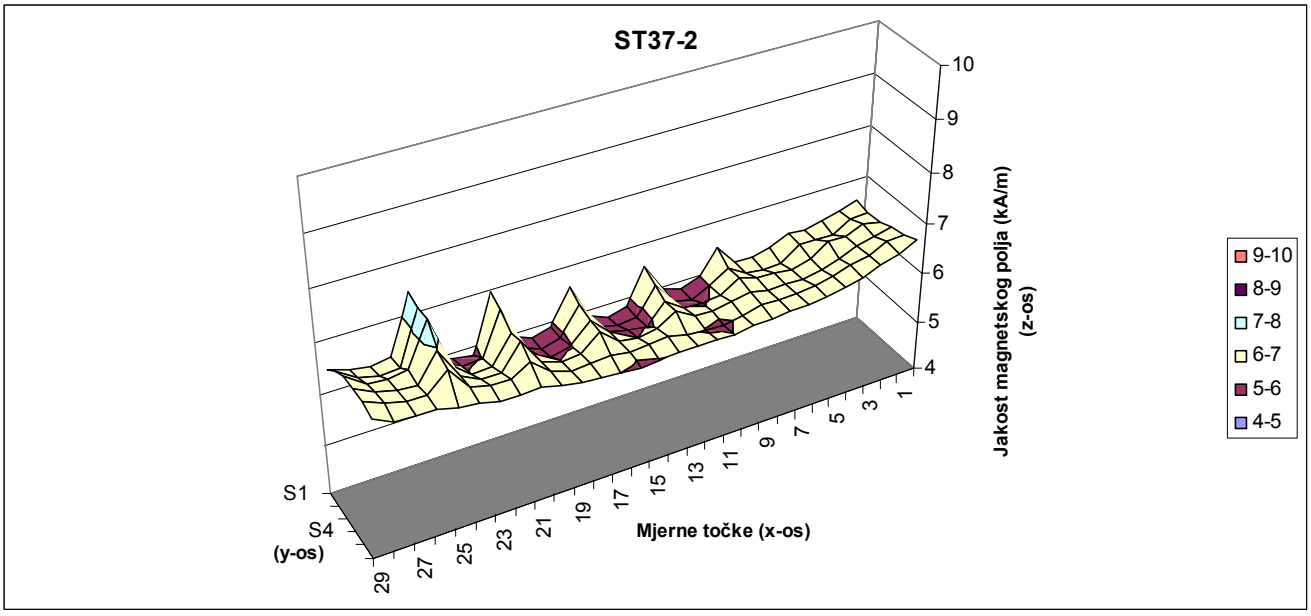
Tablica 5.6. Podaci:X20Cr13, DC, razmak polova 141mm

Test Bar, ST37-2, minimalni razmak polova.

Da bi lakše vidjeli razlike između razultata dobivenih izmjeničnom i istosmjernom strujom prikazat ćemo podatke iz tablice 5.6. i 5.1. pomoću grafova u istom mjerilu (potrebno je bilo promjeniti mjerilo na već postojećom grafovima na slikama 5.1.- 5.12. na mjerilo koje odgovara grafovima za istosmjernu struju).

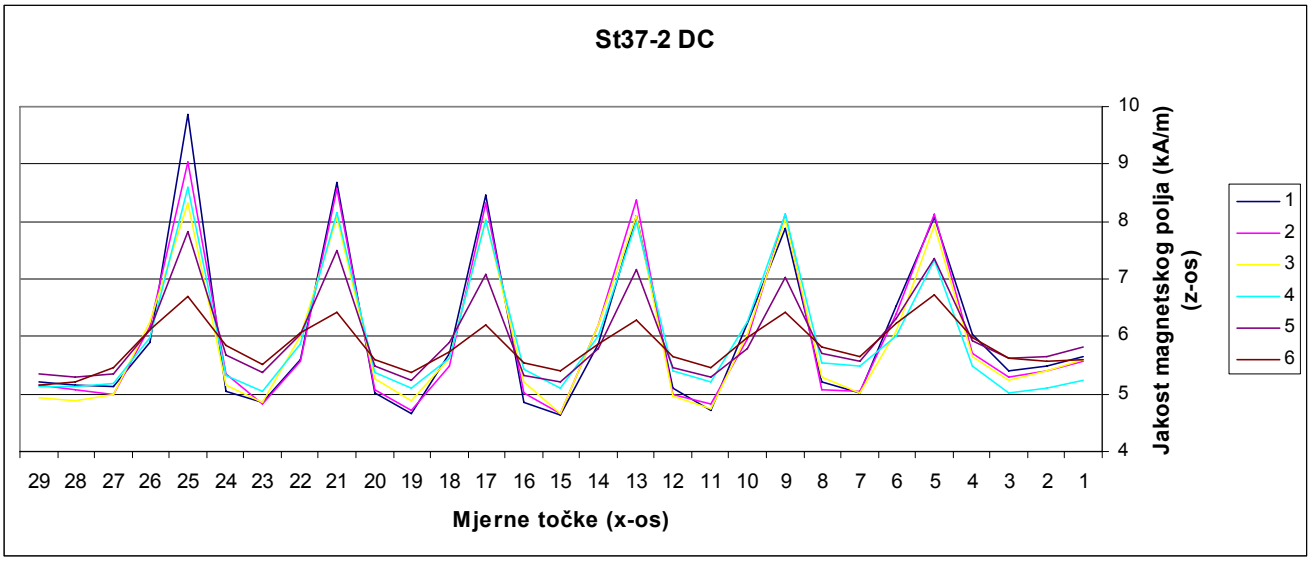


Slika 5.14. 3D prikaz podataka iz tablice 5.5.

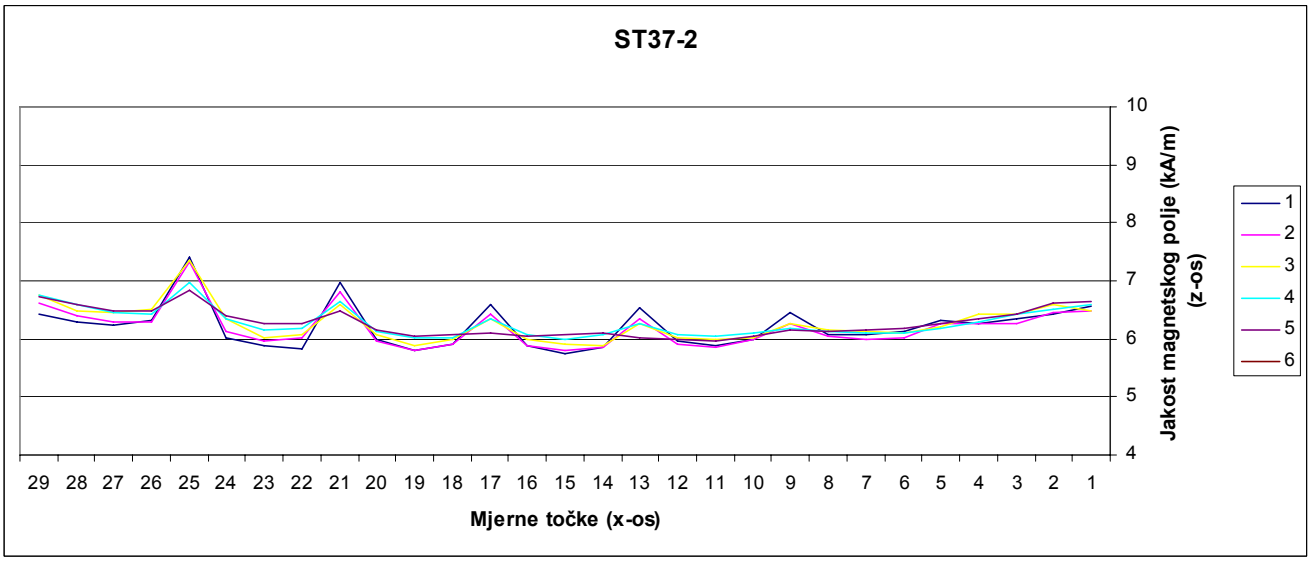


Slika 5.15. 3D prikaz podataka iz tablice 5.1.

Sa ove dvije slike lijepo se vide razlike između magnetiziranja istosmjernom i izmjeničnom strujom. Kod istosmjerne struje izmjereno je jače magnetsko polje iznad uvrta, dok su između uvrta izmjerene vrijednosti magnetskog polja slične onima kod izmjenične struje. Ove će se razlike u rezultatima bolje vidjeti na slikama 5.16. i 5.17.

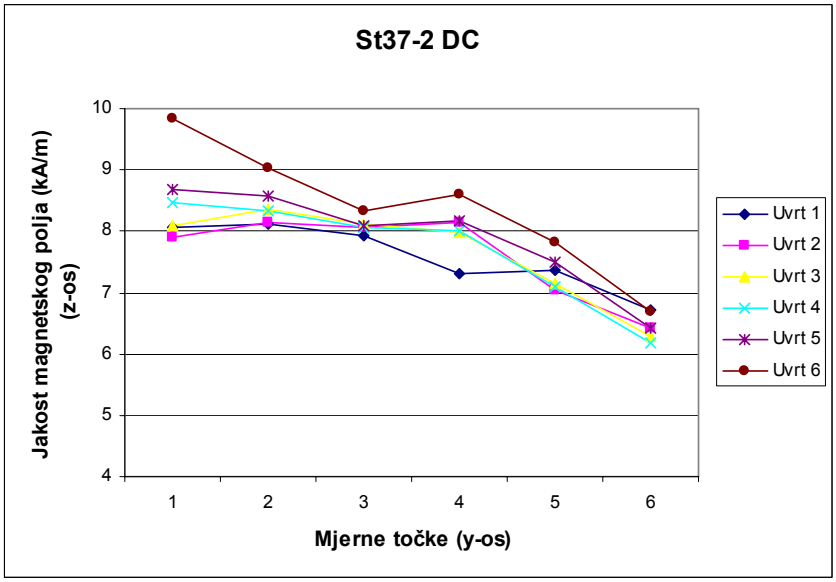


Slika 5.16. Linijski prikaz podataka iz tablice 5.5.

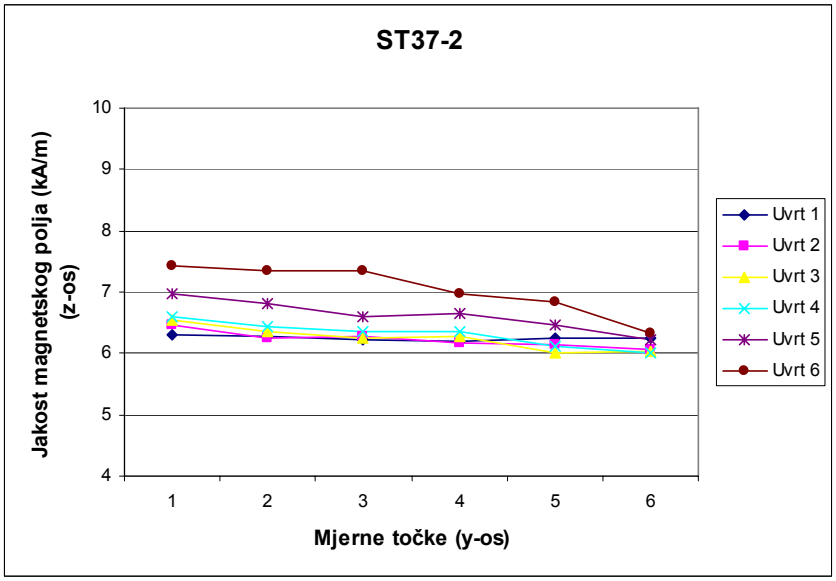


Slika 5.17. Linijski prikaz podataka iz tablice 5.1.

Sa ovih slika može se lijepo vidjeti učinak istosmjerne struje. Kako je već prije spomenuto izmjenična struja zbog skin efekta stvara magnetski tok ispod površine, dok istosmjerna struja djeluje dubinski i magnetski tok prolazi dublje u materijal nego kod izmjenične struje (slika 5.12.). Zbog toga su kod istosmjerne struje, za uvrte koji su dalje od površine, izmjerene visoke vrijednosti magnetskog polja. Čak su kod prvog uvrta na nekim izvodnicama izmjerene veće vrijednosti nego kod drugog ili trećeg uvrta koji su bliže površini.



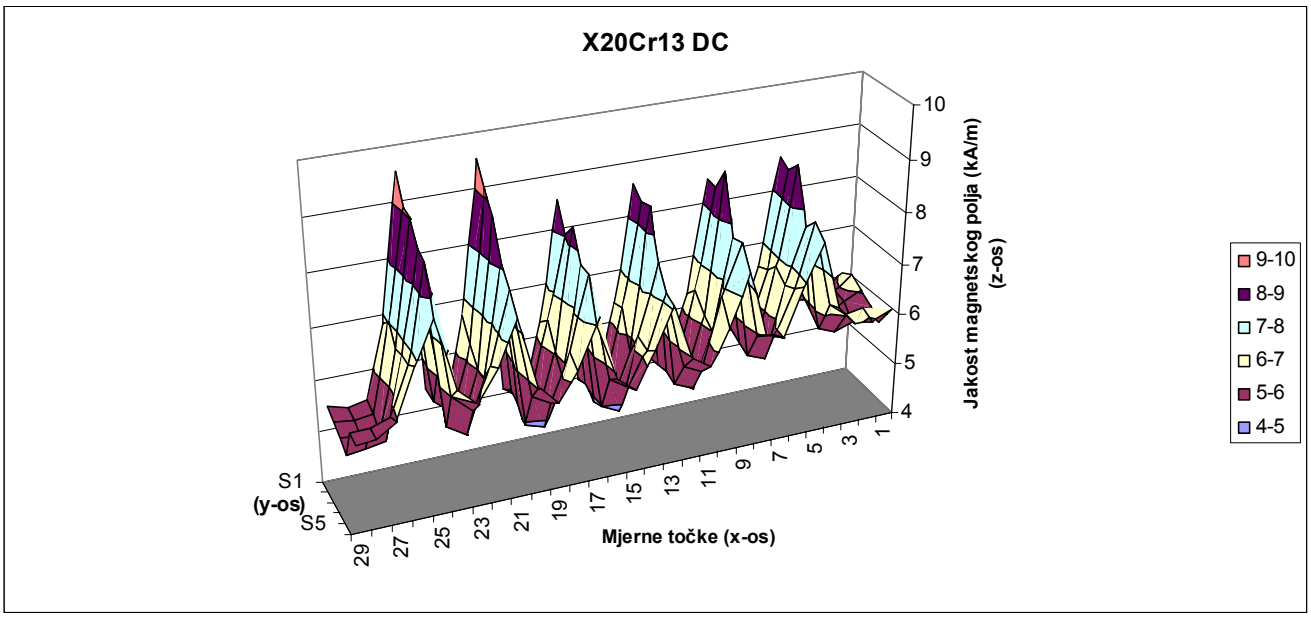
Slika 5.18. Jakost magnetskog polja duž osi uvrta (u smjeru osi y na slici 4.3.).



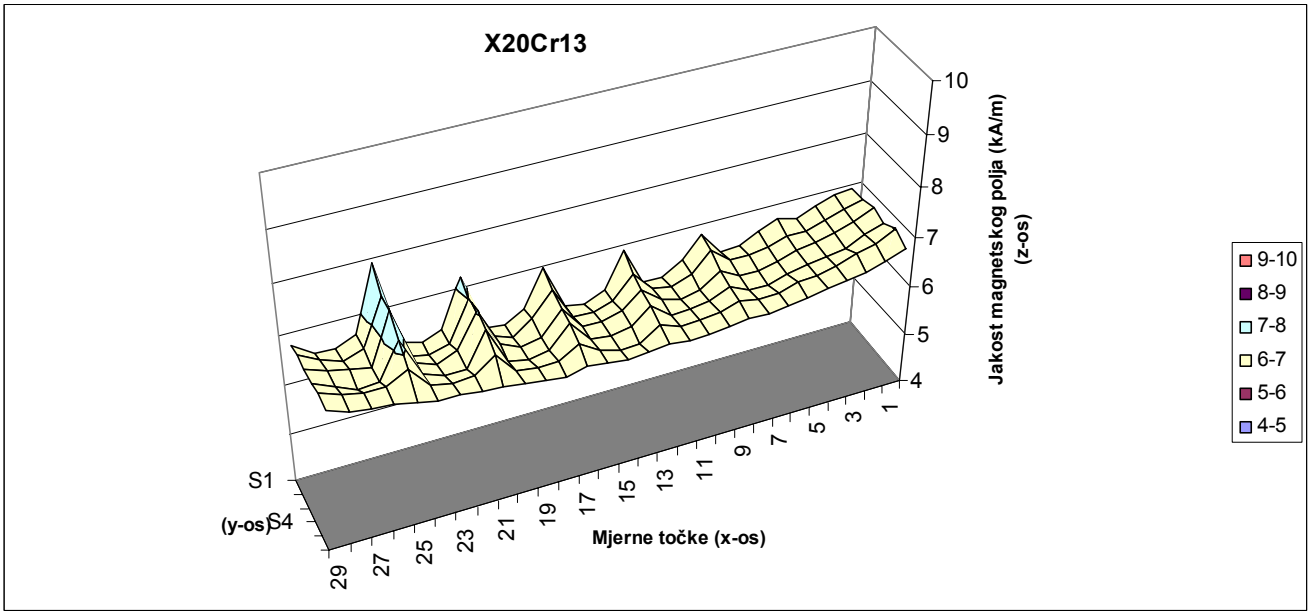
Slika 5.19. Jakost magnetskog polja duž osi uvrta (u smjeru osi y na slici 4.3.).

Sa ovih grafova se vidi da u području ispod kojeg nema uvrta vrijednosti jakosti magnetskog polja padaju brže nego kod izmjenične struje i imaju u točki šest vrijednosti približno iste kao i kod izmjenične struje. Lako je uočiti da su kod istosmjerne struje mnogo veće razlike u vrijednosti jakosti magnetskog polja između prve i zadnje izvodnice nego kod izmjenične struje.

Test Bar, X20Cr13, minimalni razmak polova.

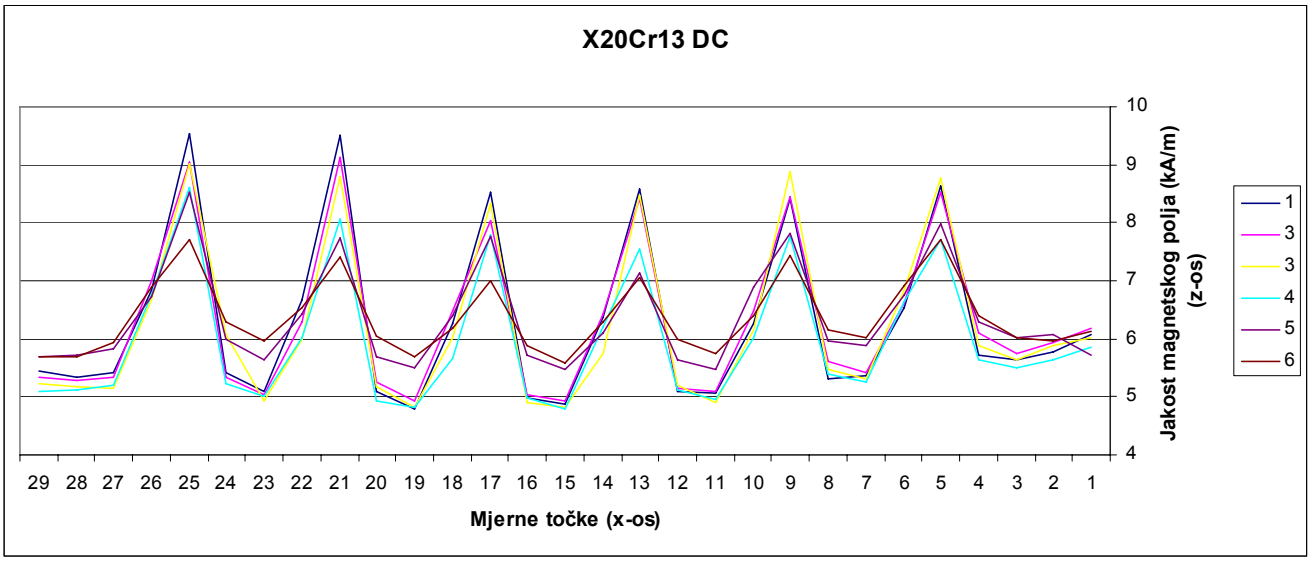


Slika 5.20. 3D prikaz podataka iz tablice 5.6.

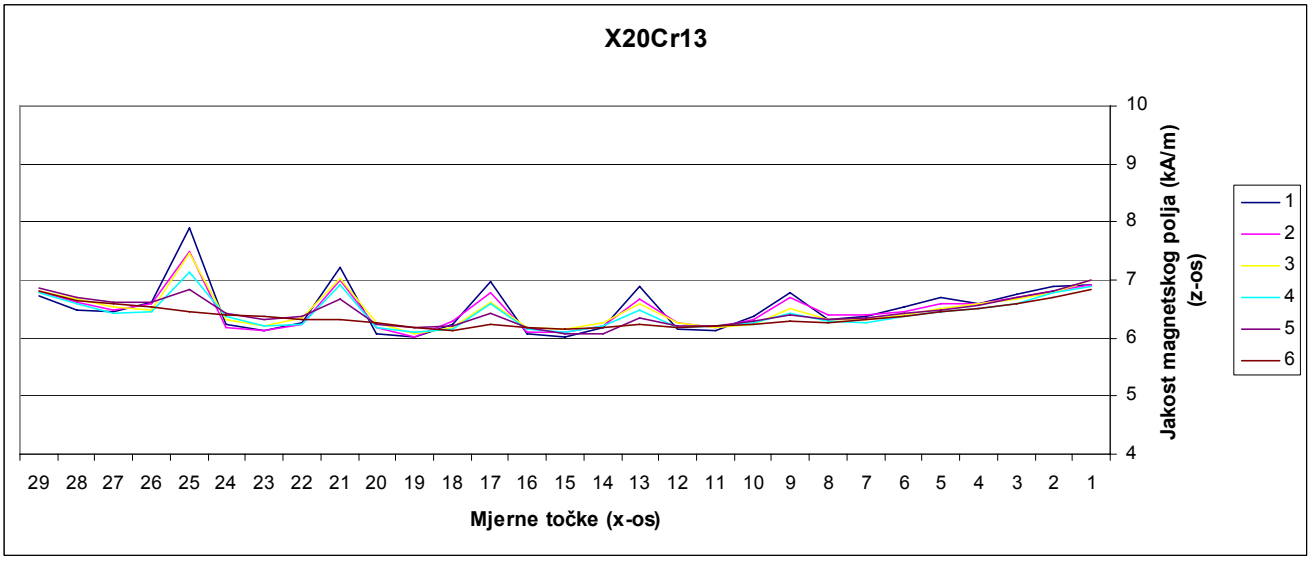


Slika 5.21. 3D prikaz podataka iz tablice 5.2.

Ako se bolje pogleda na slici vidjet će se da su duž zadnje izvodnice, između uvrta veće vrijednosti nego kod ostalih izvodnica, to je područje ispod kojeg nema uvrta. To se može zornije vidjeti na slici 5.22. uspoređujući ga s slikom 5.23.



Slika 5.22. Linijski prikaz podataka iz tablice 5.6.



Slika 5.23. Linijski prikaz podataka iz tablice 5.2.

Ako se prati izvodnica 6 na slici 5.22. vidjet će se da vrijednosti jakosti magnetskog polja u području između uvrta dosta odstupaju od vrijednosti jakosti magnetskog polja izmjerenih na ostalim izvodnicama na istim područjima.

5.2 Utjecaj nastavaka magnetskog jarma na jakost magnetskog polja

Magnetiziranjem etalona istosmjernom strujom bez nastavaka magnetskog jarma postignute se dva do tri puta veće vrijednosti jakosti magnetskog polja. Razlog tomu je nekoliko zračnih raspora između elemenata nastavka, te mala kontaktna površina jarma i nastavka zbog čega se gubi dio magnetskog toka u magnetskom jarmu.

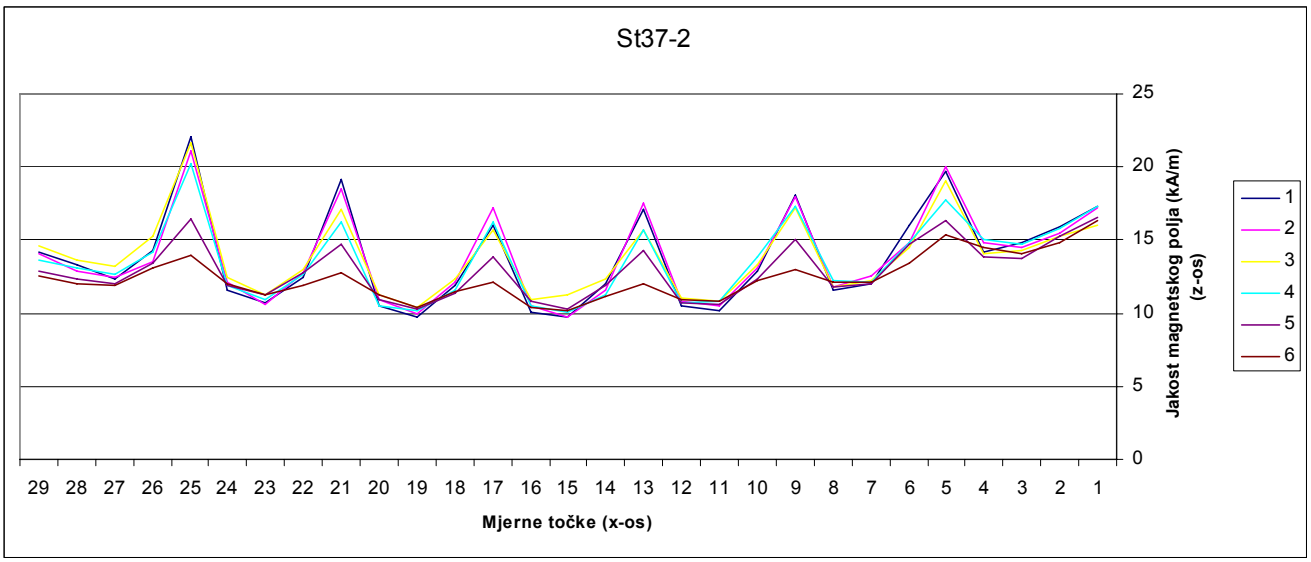
Bez nastavaka magnetskog jarma ostvarene su ove vrijednosti magnetskog polja:

Uvrt	1	2	3	4	5	6
	17,27	17,25	16,07	17,37	16,51	16,34
	15,9	15,48	15,3	15,81	15,22	14,88
	14,83	14,53	14,31	14,76	13,73	14,09
	14,2	14,84	14,06	14,99	13,89	14,47
D1	19,7	19,97	19,04	17,7	16,31	15,37
	16,01	14,78	14,54	14,79	14,76	13,43
	12	12,53	12,27	12,07	11,96	12,16
	11,55	11,8	11,83	12,22	11,85	12,07
D2	18,03	17,96	17,22	17,28	15,07	13,02
	12,85	13,14	13,28	13,82	12,34	12,19
	10,21	10,46	10,87	10,83	10,61	10,78
	10,49	10,8	11,07	10,76	10,71	10,9
D3	17,06	17,56	15,66	15,73	14,33	12,03
	12,06	11,57	12,31	11,22	11,95	11,16
	9,69	9,78	11,3	10,03	10,25	10,13
	10,03	10,49	10,88	10,54	10,81	10,39
D4	16,02	17,26	15,69	16,19	13,82	12,08
	11,88	12,13	12,35	11,57	11,31	11,46
	9,77	9,97	10,39	10,13	10,28	10,36
	10,52	10,98	11,3	10,52	10,92	11,26
D5	19,15	18,51	17,06	16,24	14,75	12,74
	12,42	12,81	13,01	12,66	12,82	11,86
	10,69	10,63	11,27	10,95	11,22	11,22
	11,58	12,11	12,46	11,95	11,92	12,02
D6	22,1	21,09	21,67	20,22	16,41	13,96
	14,27	13,48	15,23	14,21	13,42	13,06
	12,31	12,44	13,21	12,63	11,96	11,95
	13,31	12,85	13,65	13,09	12,35	12,03
	14,17	14,09	14,61	13,59	12,93	12,51

Tablica 5.8. Podaci: ST37-2, DC, bez nastavaka, razmak polova 141mm

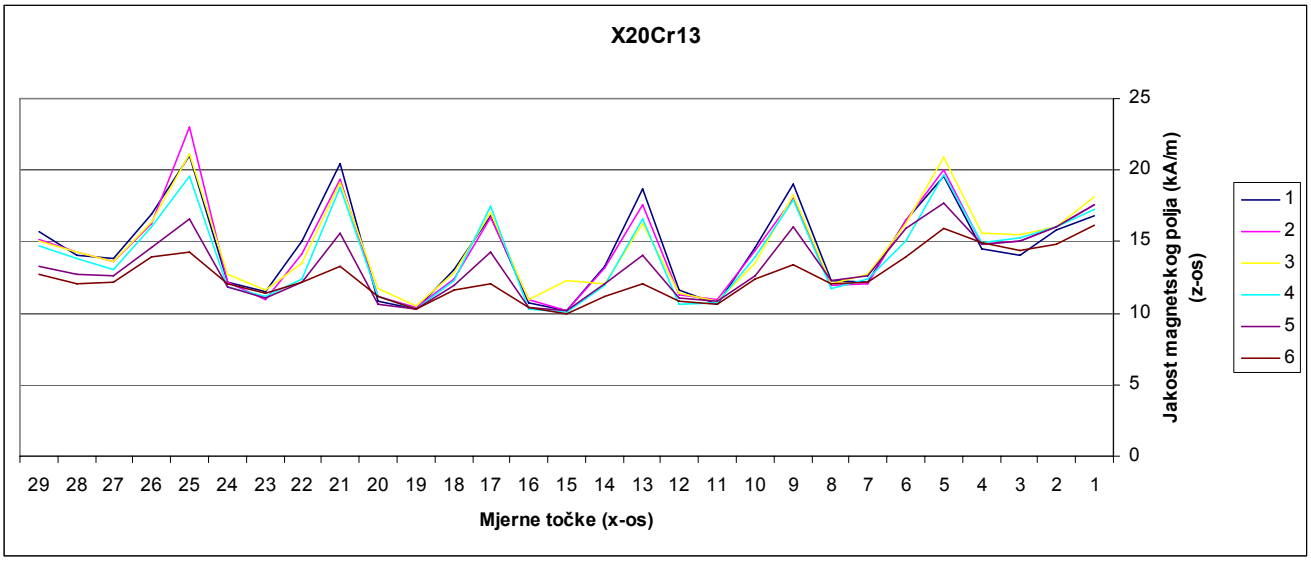
Uvrt	1	2	3	4	5	6
	16,84	17,57	18,15	17,31	17,64	16,17
	15,78	15,99	15,99	16,09	16,08	14,82
	14,08	15,07	15,52	15,28	15,08	14,37
	14,46	14,8	15,58	14,88	14,79	14,92
D1	19,55	20,01	20,96	19,66	17,65	15,89
	16,45	16,52	16,3	15,05	15,89	13,97
	12,18	12,02	12,73	12,36	12,58	12,12
	12,32	11,96	12,05	11,76	12,31	12,08
D2	19,02	18	18,2	17,97	16,01	13,41
	14,59	14,42	13,52	13,96	12,64	12,42
	10,65	10,93	10,84	10,71	10,83	10,64
	11,61	11,24	11,4	10,6	11,05	10,87
D3	18,71	17,64	16,31	16,63	14,03	12,03
	13,3	13,21	12,03	11,96	12,02	11,2
	10,16	10,2	12,25	10,05	10,19	9,99
	10,72	10,93	10,96	10,3	10,45	10,35
D4	16,82	16,7	17,05	17,52	14,25	12,03
	13,05	12,44	12,81	12,32	12	11,64
	10,31	10,36	10,55	10,32	10,29	10,24
	10,79	11,22	11,76	11,22	10,61	11,16
D5	20,45	19,4	19,1	18,81	15,59	13,27
	15,05	14,2	13,5	12,41	12,22	12,2
	11,53	11	11,58	11,2	11,05	11,38
	12,2	12,14	12,75	11,89	11,79	12,1
D6	21,05	23,06	21,1	19,59	16,55	14,31
	16,95	16,24	16,38	16,05	14,62	13,92
	13,83	13,63	13,61	13,02	12,66	12,15
	14,09	14,24	14,22	13,85	12,69	12,1
	15,68	15,2	15,07	14,67	13,31	12,75

Tablica 5.8. Podaci: X20Cr13, DC, bez nastavaka, razmak polova 141mm

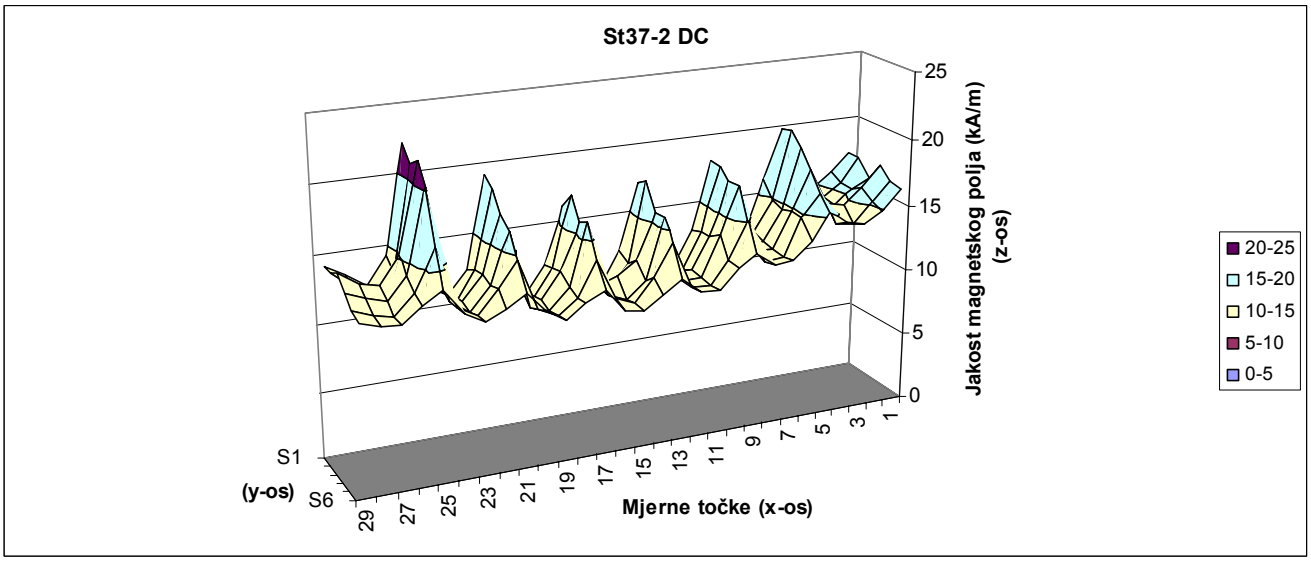


Slika 5.24. Linijski prikaz podataka iz tablice 5.7.

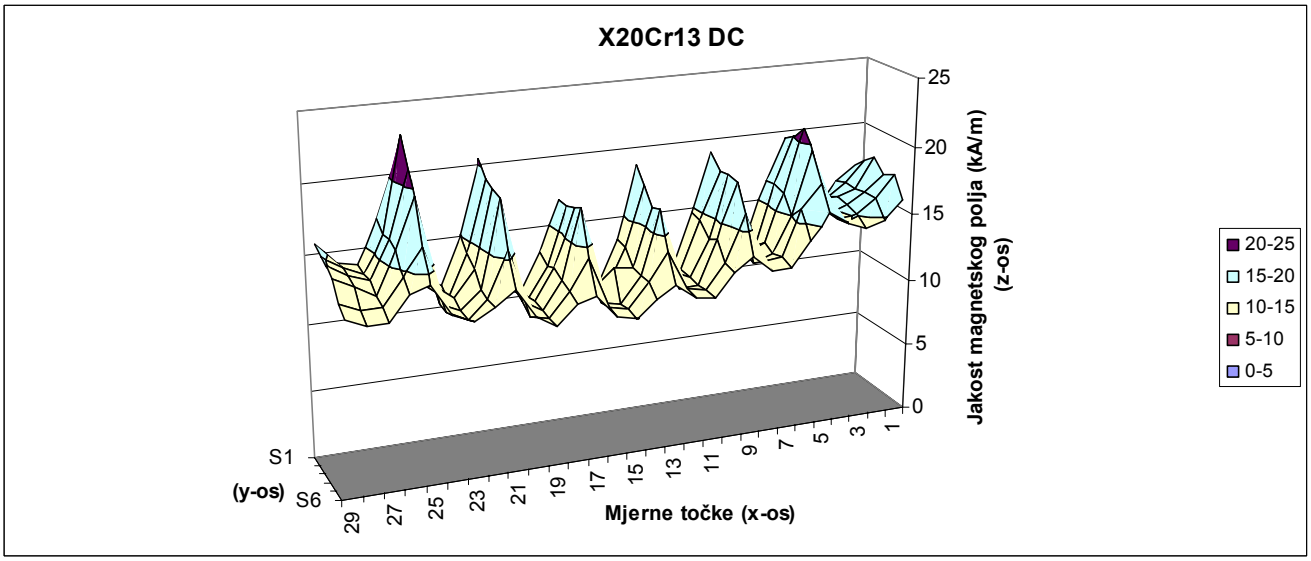
Treba uočiti da je na grafovima na slikama 5.24.- 5.27. promjenjeno mjerilo o smjeru vertikalne osi (z-os).



Slika 5.25. Linijski prikaz podataka iz tablice 5.8.



Slika 5.26. 3D prikaz podataka iz tablice 5.7.



Slika 5.27. 3D prikaz podataka iz tablice 5.8.

Sa slika 5.24. i 5.25. vidi se da kod magnetiziranja bez nastavaka, polovi magnetskog jarma imaju jako veliki utjecaj na jakost magnetskog polja u blizini polova. U blizini polova gdje se nalaze dublji uvrti (uvrt D1 i D2) izmjerene su veće vrijednosti nego kod onih uvrta koji su bliže površini.

6. Reference

[1] www.astm.org, Nondestructive Testing, E1444 Standard Practice for Magnetic Particle Testing

[2] Svojstva i primjena materijala, T. Filetin, F. Kovačiček, J. Indof; Zagreb 2002, str. 44, 242.

[3] Svojstva i primjena materijala, T. Filetin, F. Kovačiček, J. Indof; Zagreb 2002, str. 73-74, 250.

[4] EUROPEAN STANDARD, EN ISO 9934-3, Non-destructive testing - Magnetic particle testing - Part 3: Equipment; 2002,

[5] Svojstva i primjena materijala, T. Filetin, F. Kovačiček, J. Indof; Zagreb 2002, str. 55-56, 244.

[6] EUROPEAN STANDARD, EN ISO 9934-3, Non-destructive testing - Magnetic particle testing - Part 3: Equipment; 2002, str. 5

[7] EUROPEAN STANDARD, EN ISO 9934-3, Non-destructive testing - Magnetic particle testing - Part 3: Equipment; 2002, str. 6

7. Literatura

1. www.magnaflux.com
2. EUROPEAN STANDARD, EN ISO 9934-3, Non-destructive testing, 2002.
3. Magnetska montrola (odabrana polja) HKBR, Zagreb 1995.
4. Svojstva i primjena materijala, T. Filetin, F. Kovačiček, J. Indof; Zagreb 2002
5. www.astm.org, Nondestructive Testing, E1444 Standard Practice for Magnetic Particle Testing
6. MT level I,II, SECTOR Cert, Germany 2005.

8. Prilog

1. Crtež broj 1.
2. Crtež broj 2.

U izradi ovog projekta uz korištenje navedene literature pružana mi je i pomoć djelatnika Katedre za nerazorna ispitavanja, te moje obitelji i prijatelja koji su mi pomogli kod praktičnog dijela ovog projekta.