

Mjerenje hrapavosti pomoću usporednih pločica, Testex traka i mjernog uređaja MarSurf PS1

Kočiš, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:880368>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

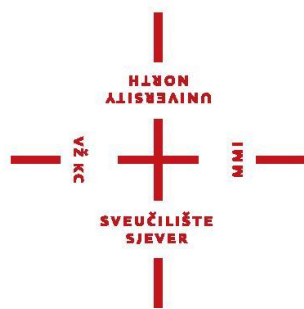
Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-20**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište
Sjever**

Završni rad br. 215/PS/2017

**Mjerenje hrapavosti pomoću usporednih pločica, Testex
traka i mjernog uređaja MahrSurf PS1**

Kočič Luka, 0061/336

Varaždin, srpanj 2017. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za strojarstvo		
PRISTUPNIK	Luka Kočiš	MATIČNI BROJ	0061/336
DATUM	26.06.2017.	KOLEGIJ	Mjerenja u proizvodnji
NASLOV RADA	Mjerenje hrapavosti pomoću usporednih pločica, Testex traka i mjernog uređaja MarSurf PS1		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Measurement of roughness using comparing tiles, Testex tape and measuring device MarSurf PS1		
MENTOR	mag.ing.mech. Veljko Kondić	ZVANJE	predavač
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. Marko Horvat, dipl.ing., predavač 2. mag.ing.mech. Veljko Kondić, predavač 3. prof.dr.sc. Živko Kondić, redoviti profesor 4. prof.dr.sc. Vinko Višnjić, redoviti profesor 5.		

Zadatak završnog rada

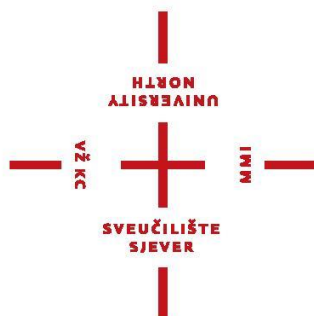
BROJ	215/PS/2017
OPIS	U Završnom radu je potrebno obraditi sljedeće točke: - stanje tehničkih površina, površinska hrapavost - mjerni instrumenti u području ispitivanja hrapavosti - površinska zaštita i utjecaj na hrapavost površine - mjerenja hrapavosti površine na odabranim primjerima pomoću usporednih pločica, Testex traka i mjernog uređaja MarSurf PS1 - analiza rezultata ispitivanja - zaključak - osvrt na temu Završnog rada

ZADATAK URUČEN 04.07.2017.



POTPIS MENTORA

[Signature]



**Sveučilište
Sjever**

Proizvodno strojarstvo

Završni rad br. 215/PS/2017

**Mjerenje hrapavosti pomoću usporenih pločica, Testex
traka i mjernog uređaja MahrSurf PS1**

Student

Kočiš Luka, 0061/336

Mentor

mag. ing. mech. Kondić Veljko

Varaždin, srpanj 2017. godine

Sveučilište
Sjever

UNIVERSITÄT
SIEVER



SVEUČILIŠTE
SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnog rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, LUKA KOČIŠ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom MJERENJE HRPAVOSTI POMOCU USPOREDNIH PLOČICA, TESTEX TRAKA I MJERNOG UREĐAJA MAHR SURF PSI (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Luka Kočiš
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, LUKA KOČIŠ (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom MJERENJE HRPAVOSTI POMOCU USPOREDNIH PLOČICA, TESTEX TRAKA I MJERNOG UREĐAJA MAHR SURF PSI (upisati naslov) čiji sam autor/ica. PSI

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Luka Kočiš
(vlastoručni potpis)

Predgovor

Završni rad " Mjerenje hrapavosti pomoću usporednih pločica, Testex traka i mjernog uređaja MahrSurfPS1" izradio sam samostalno koristeći stečeno znanje tijekom studiranja , uz pomoć stručne literature te na temelju iskustva koje sam stekao obavljajući stručnu praksu i radom u poduzeću Ferokotao.

Zahvaljujem se mentoru mag. ing. mech. Kondić Veljku na uloženom vremenu, pomoći koju mi je pružao te trudu i praćenju cijelog toka izrade završnog rada. Razumijevanje, savjeti i stalno usmjeravanje pomogli su mi kod izrade završnog rada.

Zahvaljujem se ujedno i poduzeću Ferokotao na pruženoj pomoći i korisnim savjetima.

Također se zahvaljujem obitelji, prijateljima te kolegama na potpori, koji su mi pružali veliku podršku tijekom izrade završnog rada.

Sažetak

Ovaj rad pojašnjava načine mjerenja i kontrole hrapavosti pjeskarenih površina. U radu se prikazuju tri metode mjerenja.

Rad se sastoji od dva djela:

- Teoretski dio
- Praktični dio

U teorijskom djelu pojašnjene su vrste mjernih tehnika, stanja tehničkih površina te vrste grešaka koje se javljaju na samoj površini, bazirao sam se na stanje čeličnih površina, definiran je pojam hrapavosti, označavanje hrapavosti te istaknuti su osnovni parametri hrapavosti. Pošto je u praktičnom djelu mjerena hrapavost pjeskarenih površina, spomenuta je površinska zaštita materijala te njezin utjecaj na hrapavost površine. Na kraju teorijskog djela pojašnjene su metode mjerenja hrapavosti pjeskarenih površina.

U praktičnom djelu mjerena je hrapavost pjeskarenih površina na tri različita proizvoda. Radi se o čeličnome limu, poklopcu valovitog kotla i poklopcu velikih kotlova. Svaki proizvod mjeran je sa tri metode: usporednim pločicama (komparatorom), testex (replika) trakicama te mjernim uređajem s ticalom MahrSurf PS1. Također, izmjerena je hrapavost pribornice pomoću mjernog uređaja nakon operacije tokarenja.

Ključne riječi: ispitivanje, mjerenje, kontrola, površina, pjeskarenje, hrapavost, usporedni komparator, testex trakica, mjerni uređaj

Abstract

This paper explains how to measure and control roughness of sanded surfaces. This paper presents three methods of measurement.

The work consists of two works:

- Theoretical part
- Practical part

In the theoretical part, the types of measurement techniques, the state of the technical surfaces and the types of errors occurring on the surface have been clarified, based on the state of the steel surfaces, the definition of roughness, roughness designation, and the basic parameters of roughness. Since roughness of blasted surfaces is measured in the practical part, the surface protection of the material and its impact on the roughness of the surface are mentioned. At the end of the theoretical work, methods of roughness measurement of sandblasted surfaces have been clarified.

In the practical part, roughness of sanded surfaces was measured on three different products. They are steel plate, corrugated bonnet lid, and large boiler lid. Each product was measured with three methods: parallel plates (comparator), testex (replica) straps and a measuring device with the MahrSurf PS1. Also, the flange roughness was measured with the measuring device after the turning operation

Keywords: testing, measurement, control, surface, sandblasting, roughness, comparator, testex trace, measuring device

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. MJERNE TEHNIKE	2
3. STANJE TEHNIČKIH POVRŠINA	4
3.1. STANJA ČELIČNIH POVRŠINA PREMA ISO 8501	6
3.1.1. Norme za analizu čeličnih površina	7
4. POVRŠINSKA HRAPAVOST	8
4.1. METODE MJERENJA HRAPAVOSTI	8
4.1.1. Kontaktne metode	8
4.1.2. Tehnike uspoređivanja	9
4.1.3. Bez kontaktne metode	9
4.2. OSNOVNI PARAMETRI HRAPAVOSTI	10
4.2.1. Srednje aritmetičko odstupanje profila : Ra	10
4.2.2. Najveća visina profila hrapavosti : Rz	10
4.2.3. Najveća visina izbočine profila: Rp	11
4.2.4. Najveća dubina udubine profila: Rv	12
4.2.5. Referentna duljina : Lr	12
4.3. OZNAČAVANJE HRAPAVOSTI NA TEHNIČKIM POVRŠINAMA	13
5. MJERNI INSTRUMENTI U PODRUČJU ISPITIVANJA HRAPAVOSTI	16
5.1. UREĐAJI S TICALOM	16
5.1.1. Prednosti:	17
5.1.2. Nedostaci:	17
5.2. MJERENJE MJERNIM UREĐAJEM S TICALOM	17
5.2.1. Mjerenje na horizontalnoj površini	18
5.2.2. Mjerenje na drugim površinama	18
5.3. ODABIR CUT-OFF-A I DULJINA MJERENJA	19
5.4. UMJERAVANJE ILI KALIBRACIJA UREĐAJA ZA MJERENJE	20
6. POVRŠINSKA ZAŠTITA I UTJECAJ NA HRAPAVOST POVRŠINE	22
6.1. PJESKARENJE	22

6.1.1. Procjena kvalitete sačmarene (pjeskarene površine).....	23
6.2. UTJECAJ NA HRAPAVOST	24
7. METODE MJERENJA HRAPAVOSTI POVRŠINE NA ODABRANIM	
PRIMJERIMA	25
7.1. ODREĐIVANJE VELIČINE PROFILA USPOREDNIM PLOČICAMA (KOMPARATOR) PREMA ISO 8503-1 I ISO 8503-2	25
7.2. MJERENJE HRAPAVOSTI POMOĆU TESTEX (REPLIKA) TRAKA I MIKROMETRA PREMA ISO 8503-5	27
7.2.1. Testex (replika) trake	28
7.2.2. Postupak mjerenja	29
7.2.3. Prednosti i nedostaci.....	30
7.3. MJERNI UREĐAJ MARSURF PS1	30
8. PRAKTIČNI DIO	32
8.1. MJERENJE HRAPAVOSTI PJESKARENE POVRŠINE	32
8.1.1. Iz protočne pjeskare	32
8.1.2. Pjeskare valovitih kotlova	38
8.1.3. Velike pjeskare	43
8.2. MJERENJE HRAPAVOSTI PRIRUBNICE NAKON TOKARENJA.....	46
8.2.1. Prvo mjerenje mjernim uređajem	47
8.2.2. Drugo mjerenje mjernim uređajem	48
8.3. KOMENTAR I ANALIZA REZULTATA	50
9. ZAKLJUČAK.....	54
POPIS SLIKA.....	55
POPIS TABLICA.....	57
LITERATURA	
PRILOZI	

1. Uvod

Svaka uspješna tvrtka morala bi težiti što boljoj kontroli kvalitete svojih proizvoda jer je to završna faza u svakom proizvodnom sustavu. Sustav kontrole kvalitete mora biti dobro posložen i organiziran te točan i ispravan. Da bi se ostvarivali pozitivni rezultati treba imati odgovarajuća mjerna sredstva te koristiti se pravilnim mjernim tehnikama.

U radu se izlaže konkretan primjer mjerenja hrapavosti pjeskarenih površina. To je jedna od kontrola koje su neophodne u proizvodnji kotlova za transformatore. Mjerenje hrapavosti pjeskarenih površina u ovom slučaju izvodi se zbog zahtjeva proizvođača boja i zaštitnih premaza. Oni daju parametre i uvjete koje kontrola mora zadovoljiti. Određena hrapavost mora postojati da bi se boja ili neki drugi premaz pravilno primio za površinu i tako je zaštitio.

U industriji zaštitnih premaza, testex (replika) traka se široko koristi za određivanje površinskog profila, hrapavosti. Međutim, kao i kod većine drugih načina mjerenja, traka određuje samo maksimalnu visinu profila. Druge mjere površinskog profila, ne manje značajne, mogu se dobiti i pomoću mjernih uređaja s ticalom te usporednim pločicama (komparatorom). Metode i načini mjerenja prikazani su u radu.

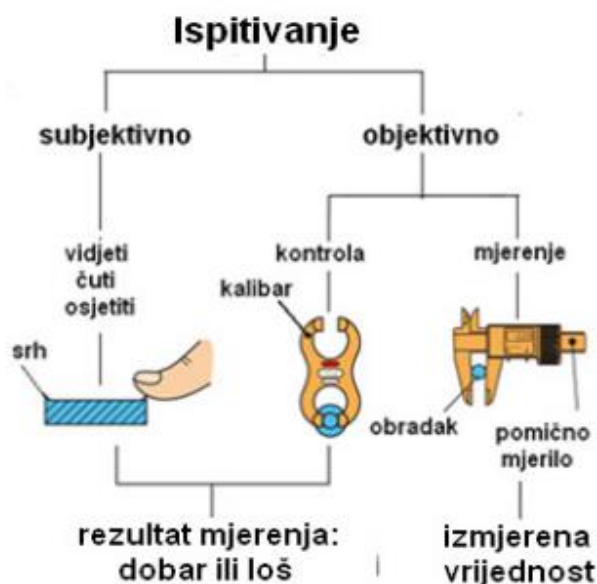
2. Mjerne tehnike

Mjeriteljstvo je znanost koja promatra određivanje mjernih jedinica ispitivanjem, pomoću mjernih metoda i mjernih uređaja za mjerenje. U mjeriteljstvu se najviše koriste pojmovi ispitivanje, mjerenje i kontrola.

Osnovni zadaci mjeriteljstva su: [1]

- Određivanje mjerne jedinice i priprema njihovih uzoraka
- Proučavanje pojedinačnih metoda, načina mjerenja i njihova realizacija pomoću mjernih uređaja
- Analiza točnosti mjernih metoda i rješavanje faktora koji utječu na točnost mjerenja

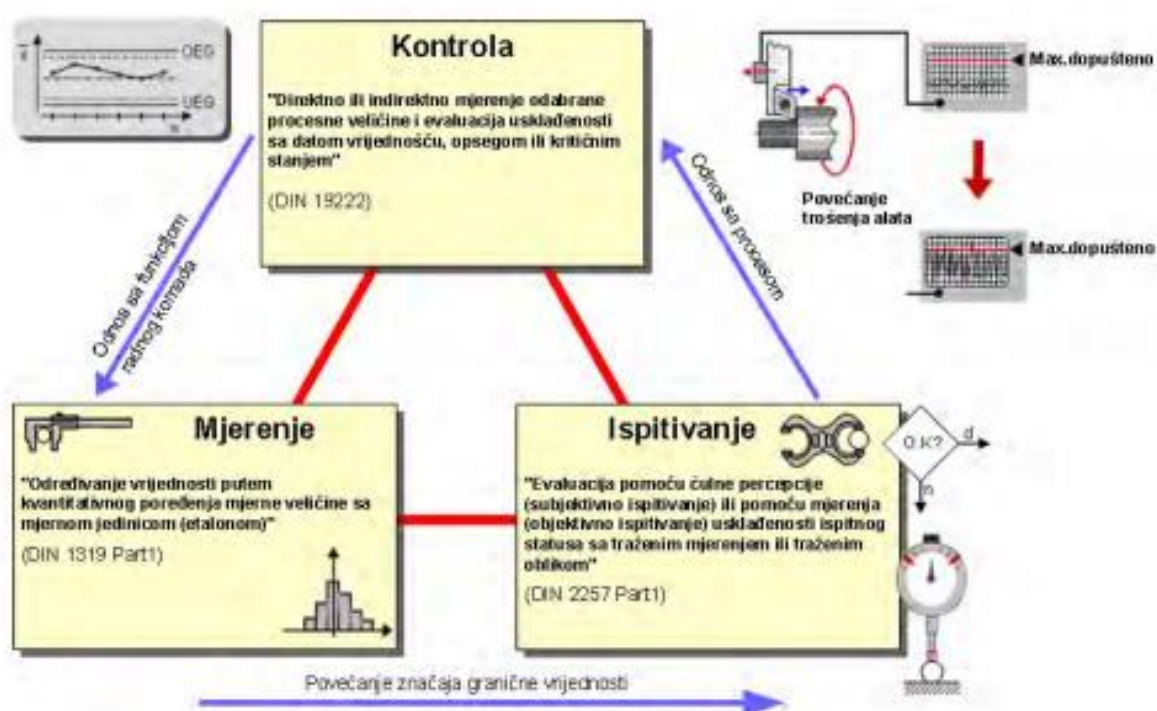
Da bi se ostvarili zahtjevi s crteža nekog proizvoda moramo ispitivati točnost mjera, oblika i položaja površina. Razlikujemo subjektivno i objektivno ispitivanje. [2] Subjektivno ispitivanje je ispitivanje osjetilima i ono je uvijek prisutno jer se može provoditi i prije objektivnog ispitivanja, dok se objektivno vrši pomoću ispitnih pomagala i ono se dijeli na mjerenje i kontrolu. (Slika 2.1)



Slika 2.1 Podjela ispitivanja[2]

Mjerenjem smatramo skup postupaka kojima se određuje vrijednost određene veličine. Možemo reći da je to uspoređivanje dviju istoimenih veličina. Kao rezultat se dobiva brojčana vrijednost koju možemo analizirati i uspoređivati s ostalim veličinama.

Kontrola je objektivan postupak ispitivanja i njome ne dobivamo brojčanu vrijednost kao rezultat mjerenja, već se dobiva informacija ako je mjerena veličina u granicama nekih tolerancija ili zahtijevanih granica. Dobiva se podatak ako je predmet mjerenja dobar, odnosno zadovoljava, loš ili ne zadovoljava, a treća opcija je kada je potrebna neka dorada da bi se kriteriji zadovoljili.[2]



Slika 2.2 Kontrola, mjerenje i ispitivanje [2]

3. Stanje tehničkih površina

Tehničkim površinama smatramo sve površine koje dobivamo nekom od obrada odvajanja čestica ili obradama bez odvajanja čestica. Naravno tijekom tih obrada površine su izložene djelovanju različitih vrsta opterećenja, npr. mehanička, toplinska, kemijska, biološka. U strojarstvu su najzanimljivija mehanička i kemijska opterećenja jer ona uzrokuju trošenje materijala i najveći problem u konstrukcijskom strojarstvu, a to je korozija. Nijedna površina nije idealno glatka, već ona posjeduje niz neravnina različitih oblika, veličine i rasporeda. Ako je hrapavost površine velika onda se smanjuje dinamička izdržljivost ili čvrstoća, povećava se trenje te se ubrzava nastajanje korozije. Dakle, hrapavost uvelike utječe na kvalitetu površine, a njezina veličina ovisi naravno o području primjene tih površina. [3] Odstupanja tehničkih površina mogu se podijeliti u 4 grupe: (slika 3.1.)

1) Površinske greške

Mogu se definirati kao odstupanje nekog djela površine od predviđenog oblika, nastalog kod obrade ili nakon obrade nekog proizvoda uslijed djelovanja nepredviđenih oštećenja površine, moguće ih je uočiti golim okom.

2) Odstupanje oblika

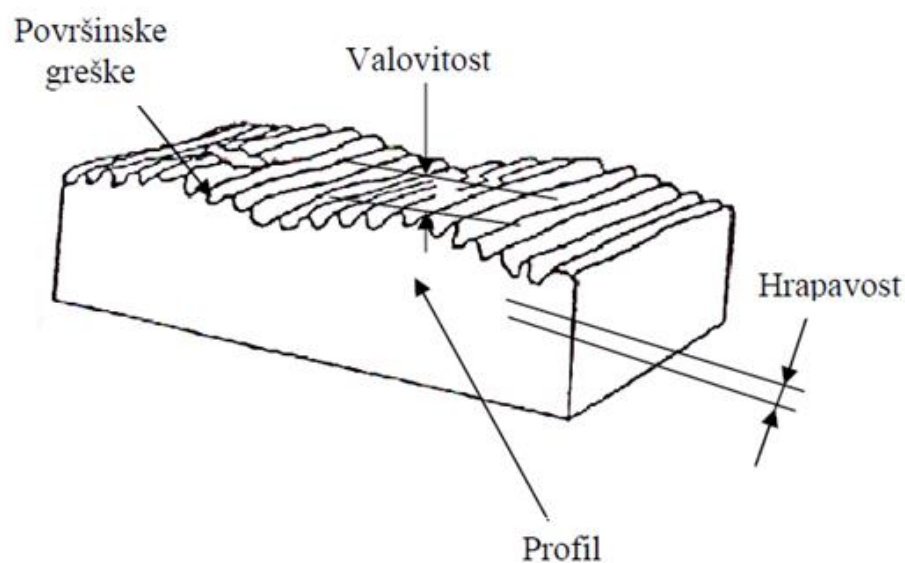
Nastaju u procesu proizvodnje zbog greške vođenja alata i obratka, krivog stezanja obratka, trošenje alata i ostalih nepravilnosti stroja. Velike temperature kod obrade utječu na savijanje profila obratka te se javljaju zaostala naprezanja na površini.

3) Valovitost

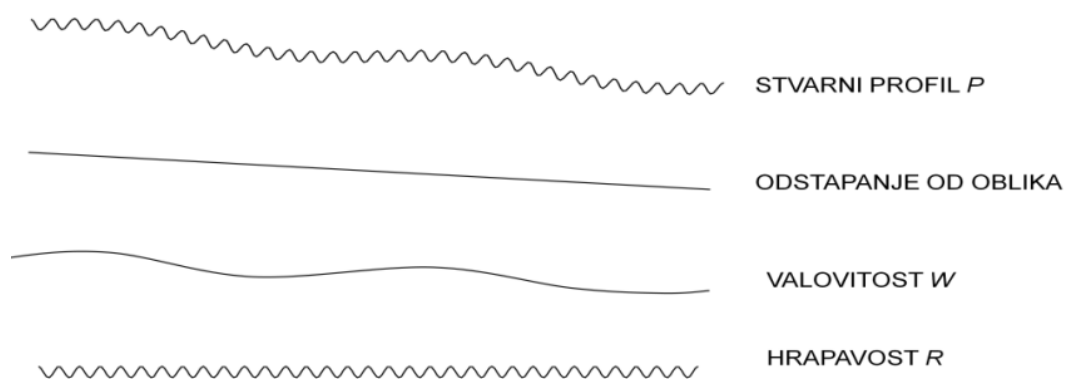
Pojavljuje se u obliku dugih valova na površini. Valovitost je rezultat greške stroja, vibracija. Ovisi o karakteristikama stroja, npr. nebalansirani brus za brušenje, nepravilno stegnuti alati. Po iznosu odstupanja valovitost se nalazi između grešaka oblika i hrapavosti površine.

4) Hrapavost

Rezultat nepravilnosti koji se razlikuje od obrade do obrade, odnosno hrapavost je produkt odabrane proizvodne metode, strukture alata ili režima obrade. Hrapavije se površine obično brže troše i imaju veće koeficijente trenja od glatkih površina.



Slika 3.1 Osnovna odstupanja na površini [3]

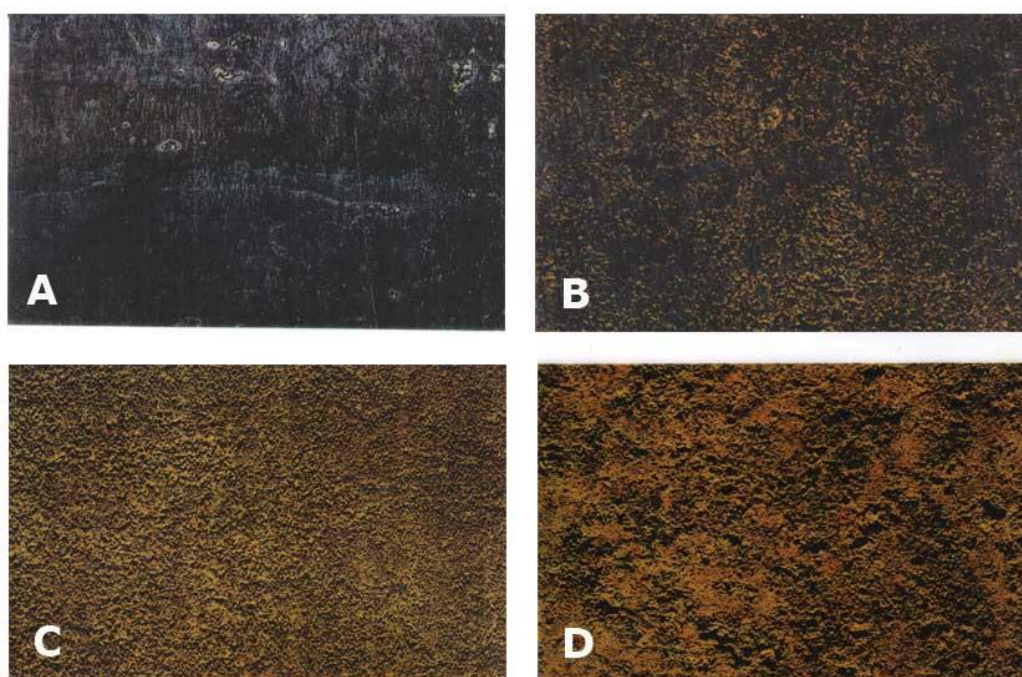


Slika 3.2 Odstupanja na stvarnom profilu [3]

3.1. Stanja čeličnih površina prema ISO 8501

Prema ISO 8501 normi „Priprema čeličnih konstrukcija prije nanošenja boja i srodnih proizvoda“ - Vizualna procjena čistoće površine, razlikujemo četiri tipa stanja čeličnih površina : [4]

- A** – Čelična površina znatno pokrivena okujinom koja dobro prijanja uz podlogu uz malo ili nikakvo prisustvo hrđe
- B** – Čelična površina koja je počela hrđati i s koje se okujina počela ljuskati
- C** - Čelična površina na kojoj je okujina zahrđala do te mjere da je otpala ili se može skinuti struganjem, ali koja pokazuje vrlo blagu rupičastu koroziju vidljivu golim okom
- D** – Čelična površina na kojoj je okujina zahrđala



Slika 3.1.1 Četiri tipa stanja čeličnih površina [4]

3.1.1. Norme za analizu čeličnih površina

Norma 8501 za boje i lakove, priprema čeličnih konstrukcija prije nanošenja boja i srodnih proizvoda spada u vizualnu procjenu čistoće površine. Izvedba zaštitnih premaza boje i srodnih proizvoda koji se nanose na čelik značajno utječe na stanje čelične površine.[4] Glavni čimbenici koji utječu na tu izvedbu jesu :

- a) Prisutnost hrđe
- b) Prisutnost površinskih nečistoća, uključujući soli, prašinu, ulja i masti
- c) Površinski profil

Međunarodni standardi ISO 8501, 8502, 8503 služe za pružanje metoda procjene tih čimbenika, dok ISO 8504 daje smjernice za metode pripreme koje su dostupne za čišćenje čeličnih podloga.[4] Dakle, četiri navedena međunarodna standarda bave se sljedećim područjima pripreme čeličnih površina:

ISO 8501 - vizualna procjena čistoće površine

ISO 8502 - testovi za procjenu čistoće površine

ISO 8503 - površinska hrapavost čišćenih čeličnih podloga

ISO 8504 - metode pripreme površine

Ove norme ne sadrže preporuke za zaštitne sustave oblaganja koji se primjenjuju na čeličnu površinu. Niti sadrže preporuke za kvalitetu površine koje zahtijevaju specifične situacije, iako kvaliteta površine može izravno utjecati na izbor zaštitnog premaza koji se primjenjuje i na njegovu učinkovitost. Takve preporuke dane su u drugim dokumentima kao što su nacionalni standardi i kodeksi prakse.[4]

4. Površinska hrapavost

Površinska hrapavost su mikro geometrijske nepravilnosti na površini nekog obratka. Nakon mehaničke pripreme površine poput čišćenja eksplozijom površina dobiva određeni profil površine ili hrapavost. Oba područja i oblik površine variraju s korištenim abrazivnim sredstvom. Kako bi se postiglo kvalitetno i brzo čišćenje površine, raspodjela veličine čestica mora sadržavati i male i velike čestice. Male čestice omogućuju brzo uklanjanje hrđe i drugih stranih tvari, dok veće čestice povećavaju površinsku hrapavost čelika. Hrapavost se mora zadovoljiti, u protivnom trebamo veću debljinu temeljnog premaza.[5]

Nema izravne korelacije između površinskog profila i površinske čistoće. Dakle, ako se čelik procjenjuje da je bio pročišćen sa Sa 2 1/2 prema ISO 8501-1, to nam ne govori ništa o hrapavosti površine. [5]

4.1. Metode mjerenja hrapavosti

Hrapavost površina određuje se na osnovu nekoliko metoda:

- Kontaktnim metodama
- Tehnikama uspoređivanja
- Bez kontaktnim metodama

4.1.1. Kontaktne metode

Kontaktne mjerni instrumenti dodiruju površinu profila u točkama čiji položaj se registrira. Profil se dodiruje pomoću ticala koje predstavlja jedini dio instrumenta koji je u kontaktu s mjernim komadom, odnosno koji ga mjeri. Važno je da su dimenzije i oblik ticala izabrani na odgovarajući način kako bi se izbjegli negativni utjecaji na rezultate mjerenja. Ticalo utječe na rezultat mjerenja na nekoliko načina:

- Ticalo većeg promjera vrha ne prodire u udubljenja i ne mjeri njihovu visinu, pa se mora izabrati ticalo odgovarajućeg promjera

- Kada sferno ticalo prelazi preko uzvišenja na površini ono je u kontaktu sa vrhovima i dolazi do ukrućivanja vrhova uzvišenja i kada ne može mjeriti udubljenja koja su iskrivljena

4.1.2. Tehnike uspoređivanja

Uspoređivanje s uzorcima površina je uobičajena metoda koja se koristi za određivanje stanja hrapavosti površina. Postupak je manje točan od direktnih metoda mjerenja. Prilikom uspoređivanja zahtijeva se pažnja izvršitelja, pošto se radi o subjektivnoj metodi, pa se za istu površinu mogu dobiti različiti rezultati ako ih tumače različiti izvršitelji. Poslije uspoređivanja treba dati numeričku vrijednost rezultata što se radi odgovarajućom opremom za direktno mjerenje hrapavosti. Temelji se na vizualizaciji i opipu površine.

Prednosti postupka su:

- jednostavnost upotrebe
- cijena u odnosu na skupe mjerne instrumente
- brzina dobivanja rezultata

Nedostaci postupka su:

- subjektivnost u ocjenama
- potreba za dugogodišnjom praksom i iskustvom na istim poslovima

4.1.3. Bez kontaktne metode

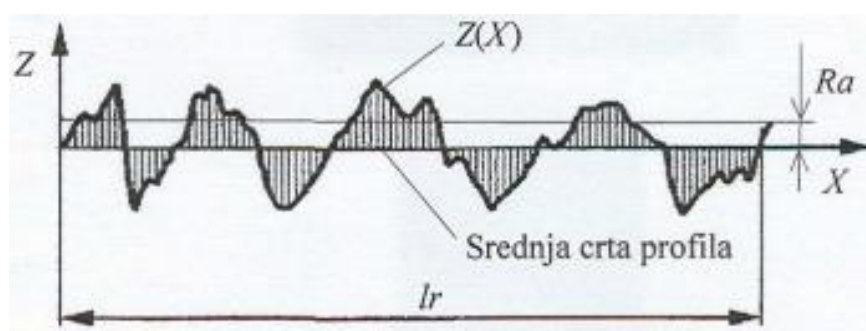
Bez kontaktne metode osiguravaju identifikaciju kvalitete površine preko određivanja brojnih vrijednosti parametra hrapavosti (na digitalnom ili analognom mjernom instrumentu) ili formiranje profila hrapavosti kontrolirane površine.

4.2. Osnovni parametri hrapavosti

Najčešće korišteni parametri hrapavosti su: R_a, R_z, R_p, R_v i L_r [6]

4.2.1. Srednje aritmetičko odstupanje profila : R_a

R_a je najčešće korišten parametar hrapavosti. Jednak je srednjoj aritmetičkoj vrijednosti apsolutnih vrijednosti visine profila neravnina na mjerenoj duljini l_r .



Slika 4.2.1 Srednje aritmetičko odstupanje profila, R_a [6]

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)|$$

Gdje je: R_a [μm] - srednje aritmetičko odstupanje profila

l [μm] - referentna duljina

$y(x)$ [μm] - visina profila hrapavosti s obzirom na referentnu crtu

4.2.2. Najveća visina profila hrapavosti : R_z

R_z je najveća visina neravnina unutar referentne duljine, koja je jednaka zbroju aritmetičke sredine apsolutnih vrijednosti visine pet najviših vrhova i aritmetičke sredine apsolutnih vrijednosti pet najvećih dubina udolina na mjernoj duljini l . Sljedeća jednadžba nam daje izraz za R_z :

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |R_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |R_{vi}| \right) \approx 4 \cdot R_a$$

Gdje je: R_z [μm] - prosječna visina mjerena u 10 točaka

R_{pi} [μm] - visina i-tog najvišeg vrha

R_{vi} [μm] - udubina i-te najniže udubine



Slika 4.2.2 Prikaz odnosa R_z , R_p i R_v [6]

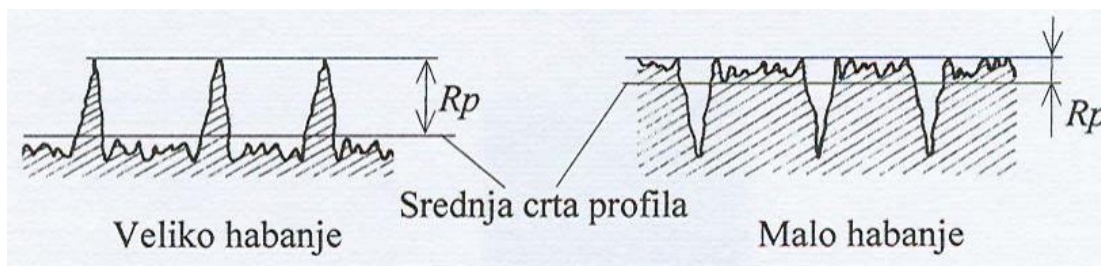
Iz slike 4.2.2 vrijedi:

$$R_z = R_p + R_v$$

dakle najveća visina profila jednaka je zbroju najveće visine izbočine i najveće dubine udubine profila hrapavosti.

4.2.3. Najveća visina izbočine profila: R_p

R_p predstavlja najveću visinu vrha profila. Matematički, najveće odstupanje vrha profila hrapavosti od srednje linije unutar referentne duljine. Kada se analizira više od jedne referentne duljine, R_p predstavlja srednju vrijednost pojedinih R_p -ova unutar svake pojedine referentne duljine. Vidljivo na slici 4.2.3.

Slika 4.2.3 Različite varijante R_p -a [6]

4.2.4. Najveća dubina udubine profila: R_v

R_v predstavlja najveću dubinu udubine profila hrapavosti. To je najveće odstupanje dna profila od srednje linije unutar referentne duljine. Vidljivo na slici 4.2.2.

4.2.5. Referentna duljina : L_r

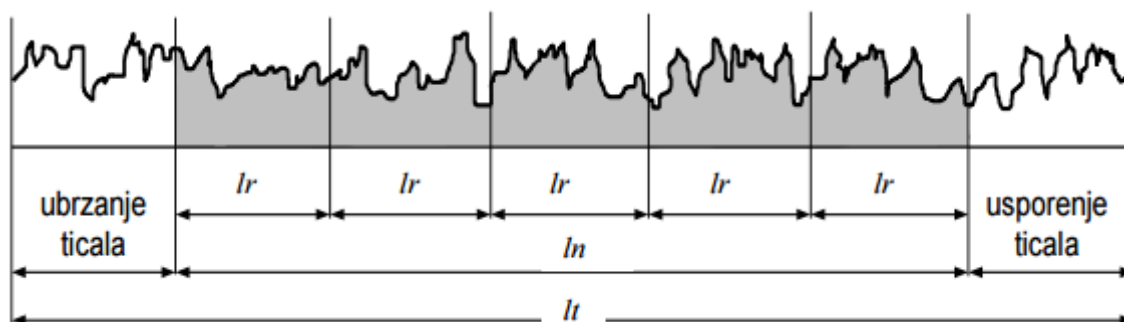
Referentna dužina ili ravnina je odabrana veličina na kojoj se utvrđuje hrapavost površine, pri čemu se ne uzimaju u obzir druge vrste nepravilnosti, kao što su skošenja, udubljenja, odstupanja oblika i druge.[7] Standardom su opisane referentne duljine:

Vrijednost referentnih dužina (mm)					
0.08	0.25	0.80	2.5	8.00	25.00

Tablica 4.2.1 Standardne referentne dužine [7]

Napomena: u praktičnom djelu rada referentna duljina iznosi 2.5 mm.

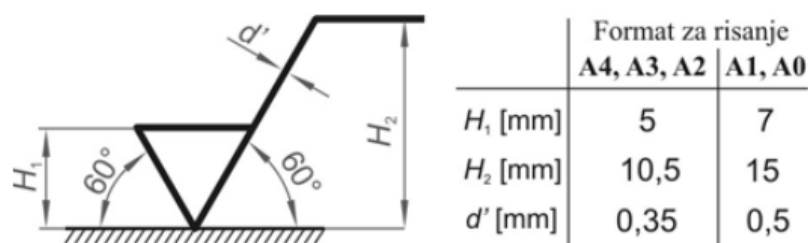
Duljina putanje uključuje početnu duljinu "run up" koja omogućuje nosaču ticala na mjernom uređaju da ubrza do određene konstantne brzine i krajnju duljinu "run out" pri kojoj se ticalo uređaja zaustavlja. Samo dio duljine L_t se mjeri, odnosno koristi za ocjenu i određivanje hrapavosti. L_n se po pravilu uvijek sastoji od više referentnih duljina L_r . [7] Vidljivo na slici 4.2.4.

Slika 4.2.4 Prikaz duljine putanje l_t , duljine mjerenja l_n i referentne duljine l_r [6]

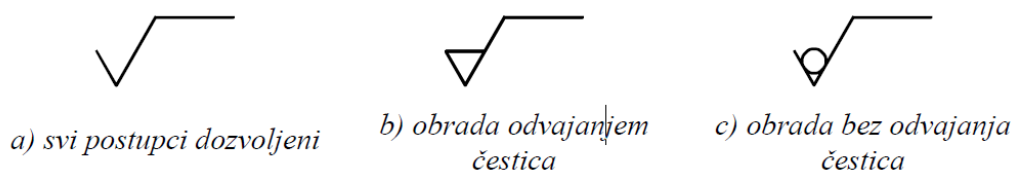
4.3. Označavanje hrapavosti na tehničkim površinama

Kao i svi ostali zahtjevi, tako se i hrapavost mora propisati na pravilan način. Oznake i simboli te pravila označavanja jasno su definirani. Postoje osnovni i dopunski simboli.[3]

Osnovni simboli sastoje se od ravnih crta nejednake dužine nagnute za 60° u odnosu na liniju koja predstavlja označenu površinu (Slika 4.3.1). Osnovni simboli se ne upotrebljavaju bez dopunskih oznaka.

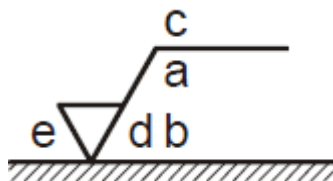


Slika 4.3.1 Prikaz osnovnog simbola i njegove dimenzije [3]



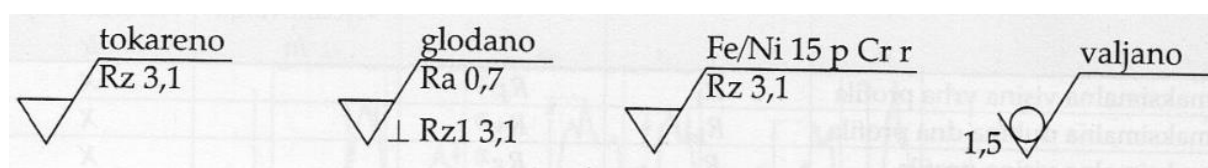
Slika 4.3.2 Grafički simboli za vrste obrade [3]

Nekad je neophodno pokraj oznake hrapavosti navesti i neke druge dopunske zahtjeve.



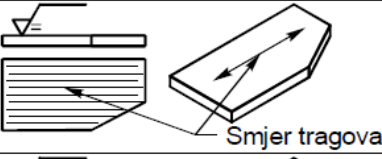
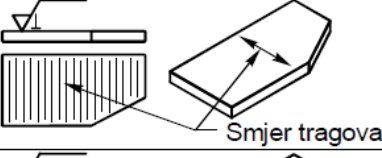
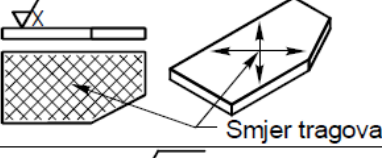
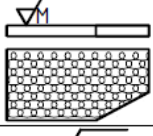
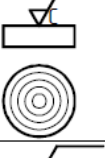
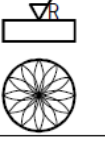
Slika 4.3.3 Položaj oznaka (od a do e) dopunskih zahtjeva [3]

- a:** zahtjev za hrapavost površine - pokazuje stupanj i vrstu (R,W,P) hrapavosti površine, graničnu brojnu vrijednost i duljinu vrednovanja ili duljinu uzorkovanja
- b:** drugi zahtjev za hrapavost površine - ove se oznake većinom primjenjuju za granice područja zahtijevane hrapavosti ili za dvije vrste oznaka hrapavosti
- c:** postupak obrade - označuje postupak obrade, tretiranje površine, vrstu prevlake ili druge zahtjeve za proces obrade (obrađena, pocinčana, galvanizirana)
- d:** smjer obradbe s obzirom na projekcijsku ravninu (= usporedno, $\perp$ okomito, X križno, M višesmjerno, C kružno prema središtu, R radijalno prema središtu)
- e:** dodatak za strojnu obradu



Slika 4.3.4 Primjeri označavanja zahtjeva obrade površina [3]

Znakovi u sljedećoj tablici 4.3.1 prikazuju tragove obrade i smjer tragova u odnosu na ravninu crtanja.[3]

Grafički znak	Opis i primjer	
=	Paralelno na ravninu projekcije u kojoj je znak upotrebljen	
⊥	Okomito na ravninu projekcije u kojoj je znak	
X	Križno u dva pravca na relativnu ravninu projekcije u kojoj je znak	
M	Višesmjerno	
C	Približno kružno prema središtu površine na kojoj je znak	
R	Približno radijalno prema središtu površine na kojoj je znak	

Tablica 4.3.1. Simboli za tragove obrade na površinama [3]

5. Mjerni instrumenti u području ispitivanja hrapavosti

Mjerni instrumenti u području ispitivanja stanja površine različiti su i podjela je zasnovana prema fizikalnim načelima snimanja površine. [8]

Tako razlikujemo:

- skenirajući mikroskopi
 - mikroskopi sa skenirajućom sondom
 - pretražni elektronski mikroskopi

- optički uređaji
 - uređaji na principu fokusa
 - interferometrijski mikroskopi
 - elipsometri

- **uređaji s ticalom**

Mene u ovom radu zanimaju uređaji sa ticalom pa ću njega posebno obraditi, jer u praktičnom djelu koristim jedan takav uređaj.

5.1. Uređaji s ticalom

Uređaji s ticalima se najduže koriste za ispitivanje stanja površine. Prvi uređaj s ticalom izumljen je 1960-ih godina. Kako ticalo prelazi površinu ispitivanja, nožica pretvara mehaničko gibanje ticala u analogni signal koji se pojačava u pojačalu. Nakon toga analogni signal se digitalizira u A/D pretvaraču i proslijeđuje do računala.[8]

Ispitivanje površine vrši se iglom ticala u pravcu mjerenja. Pomaci igle, koji su proporcionalni neravninama na površini, pretvaraju se u električni signal. Takav signal putuje u upravljačku jedinicu i pretvara se u grafički prikaz na zaslonu. Iz takvog prikaza iščitavaju se razni parametri hrapavosti.

Prema funkciji, elementi uređaja s ticalom mogu se podijeliti u dvije grupe:

- sklopovi namijenjeni za vođenje i pretvorbu mehaničkog pomaka igle ticala u električni signal, sastoji se od ticala i mjerne glave
- sklopovi namijenjeni za obradu dobivenog električnog signala, pisac i računalna jedinica

5.1.1. Prednosti:

Mogu se ostvariti vrlo točna mjerenja kako u laboratorijskim tako i u industrijskim uvjetima s vertikalnim rasponom od nekoliko milimetara s rezolucijom u nanometrima, s mogućnošću uzdužnog skeniranja preko 100 mm.[9]

5.1.2. Nedostaci:

Oblik igle ticala kao i sustavi vođenja mogu znatno utjecati na točnost reprodukcije snimljenog profila. Osim toga sila pritiska uslijed ticala na površinu može izazvati plastične deformacije na površini (neupotrebljivi na mekim materijalima).[9]

5.2. Mjerenje mjernim uređajem s ticalom

Postoje neka pravila za provedbu mjerenja da bi ono bilo što preciznije:[8]

- Površina koja se mjeri mora biti slobodna od vibracija te mjerni uređaj mora biti stabilan tijekom mjerenja
- Igla ticala uvijek mora biti okomita na mjernu površinu, a ticalo uvijek paralelno s mjernom površinom

5.2.1. Mjerenje na horizontalnoj površini

Mjerenja na horizontalnim površinama su najčešći slučajevi stoga postoje neke stvari na koje treba obratiti pozornost:[8]

- Mjerna površina se mora očistiti tako da bude bez abrazivnih materijala, masti, pjena, nečistoća zbog bolje točnosti mjerenja i smanjenja trošenja nožice ticala
- Treba odabrati vrijednosti za cut-off duljinu i parametre
Pojam "cut-off" (granična vrijednost) numerički određuje graničnu frekvenciju ispod ili iznad koje su komponente ili eliminirane.
- Pogonska jedinica i ticalo moraju biti postavljeni tako da igla ticala dodiruje mjernu površinu. Treba provjeriti je li duljina površine dovoljna za mjerenje
- Pritisnuti tipku za mjerenje. Kada se mjerenje završi, rezultati će biti prikazani na ekranu uređaja i ticalo se vraća na početnu poziciju
- Ako se javi neka greška, treba pronaći uzrok greške, otkloniti ga, te ponoviti mjerenje

5.2.2. Mjerenje na drugim površinama

Na valjkastim površinama potrebno je i bilo bi poželjno postaviti dodatne cilindrične ploče. Na okomitim površinama, ako je potrebno treba držati pogonsku jedinicu rukom da se ne pomiče tijekom mjerenja. U malim dubokim provrtima treba postaviti dodatni štapni produžetak između ticala i držača ticala.[8]



Slika 5.2.1 Prikaz mjerenja pomoću uređaja s ticalom na više načina [10]

5.3. Odabir Cut-off-a i duljina mjerenja

Iskustvom dokazano, mjereći na nekoliko različitim podlogama neki su rezultati vrlo ovisni o odabranoj vrijednosti cut-off-a. Zbog toga je vrlo važno odabrati odgovarajući cut-off. Iz toga proizlazi da fino obrađene površine zahtijevaju kratke vrijednosti cut-off-a, dok grublje površine veće vrijednosti cut-off-a. U tablici 2 nalaze se smjernice za njegov odabir.[8]

Periodični profili	Iregularni profili		Cut-off	Referentna duljina/Duljina ocjenjivanja
RSm (mm)	Rz (μm)	Ra (μm)	λc (mm)	$\lambda c/L$ (mm)
>0.013 to 0.04	(0.025) to 0.1	(0.006) to 0.02	0.08	0.08/0.4
>0.04 to 0.13	>0.1 to 0.5	>0.02 to 0.1	0.25	0.25/1.25
>0.13 to 0.4	>0.5 to 10	>0.1 to 2	0.8	0.8/4
>0.4 to 1.3	>10 to 50	>2 to 10	2.5	2.5/12.5
>1.3 to 4	>50 to 200	>10 to 80	8	8/40

Tablica 5.3.1. Vrijednosti cut-off-a [8]

5.4. Umjeravanje ili kalibracija uređaja za mjerenje

Umjeravanje ili kalibracija je skup operacija, koje u određenim uvjetima stavljaju odnose među vrijednostima i pokazuje mjerni sustav ili vrijednosti što predstavljaju materijaliziranu mjeru ili referentni materijal i pripadajuće vrijednosti dobivene s etalonima.[10]

Kako auto moramo redovito voziti na servis, mijenjati ulje, svjećice, filtre i jednom godišnje odvesti ga tehnički pregled svima nama je to jasno. To zahtjeva zakon. Pored toga govorimo da je to dobro zbog naše sigurnosti te životnog vijeka i kvalitete vozila kojeg vozimo. Tako je i mjernom instrumentu potrebno održavanje, servis, tehnički pregled, čak kad i nije u kvaru. Kako se u automobilu potroše dijelovi, tako i u mjernim instrumentima stare komponente od kojih je sastavljen. Za vrijeme uporabe, posebno kod pogrešne uporabe, pouzdanost instrumenta se smanjuje.[10]

Te vremenski ovisne promjene, odnosno otkloni, smanjuju pouzdanost mjernih rezultata. To posebno vrijedi za kompleksne elektroničke mjerne instrumente, pri kojima su pojedini parametri međusobno ovisni na posve nepredvidljiv način. To znači da očekivanu točnost mjernog instrumenta možemo ograničiti samo na određeni vremenski period.

Skoro svi proizvođači elektroničkih mjernih instrumenata zato ograničavaju valjanost objavljivanja mjernih rezultata (točnost mjerenja za pojedine parametre) na period od jedne godine, posebno samo na period od dvije godine, češće samo na nekoliko mjeseci. Upitne vremenski ovisne promjene se ne mogu izbjeći, možemo ih pravovremeno otkriti i računski korigirati ili pa mjerne instrumente sukladno podesimo umjeravanjem. Pravilnim umjeravanjem mjernog instrumenta može se povećati proizvodnost, optimizirati izvore, osigurati konzistentnost, primjenjivost i kompatibilnost proizvoda ili usluga te njihovu primjenu bilo gdje na svijetu.[10]

U ovom radu koristit će se mjerni uređaj s ticalom MarSurf PS1 proizvođača njemačke tvrtke Mahr prikazan na slici 5.4.1.



Slika 5.4.1 Mjerni uređaj MarSurf PS1 za mjerenje hrapavosti površine [10]

6. Površinska zaštita i utjecaj na hrapavost površine

Svaki konstrukcijski materijal u obliku bilo kakvih tvorevina podložen je nenamjernim štetnim promjenama, odnosno procesima koji smanjuju njegovu uporabnu vrijednost. Te nepoželjne promjene na materijalu javljaju se tijekom prerade, obrade, skladištenja, prijevoza, montaže, popravaka i sl. Te nepoželjne promjene pokušavaju se spriječiti mjerama i postupcima površinske zaštite materijala. Većina tih pojava događa se pri dodiru materijala s nekim fluidnim medijem, plinom ili kapljevnom. Ta štetna pojava naziva se korozija i najveći je problem u primjeni konstrukcijskih materijala u strojarstvu.[11]

Korozija je kemijsko trošenje materijala djelovanjem plinovitog ili kapljevog medija pri čemu nastaju čvrsti, otopljeni ili plinoviti produkti. Ona razara materijal i izaziva štetne promjene u tehničkim sustavima. Veliki dio površinske zaštite bavi se upravo sprečavanjem nastanka korozije. To područje naziva se antikorozivna zaštita materijala (kratica AKZ).[11]

Površinska zaštita je uvijek finalna u procesima proizvodnje nekog konstrukcijskog proizvoda, jer se provodi zaštita proizvoda, mjere za estetski dojam ili neki drugi učinak bitan za funkciju proizvoda.[11] Nju definira kupac, odnosno naručitelj. Tamo se definira debljina sloja boje, nijansa boje, broj slojeva zaštitnog premaza, stanje površine prije nanošenja premaza, način nanošenja sloja i druge stvari koje kupac smatra važnim za njegov proizvod. U prilogu se nalazi jedan takav dokument sa zahtjevima kupca. (*Prilog 3- AKZ lista*)

U praktičnom djelu rada provedeno je mjerenje hrapavosti sačmarenih (pjeskarenih površina), stoga ću se osvrnuti na spomenutu površinsku zaštitu.

6.1. Pjeskarenje

Pjeskarenje je postupak modificiranja površine mehaničkom hladnom obradom. Pri postupku se izravno sudaraju kuglice sredstva s površinom materijala kod velike brzine u kontroliranim uvjetima. Pjeskarenje čisti obrađivanu površinu, no osnovna funkcija je povećanje zamorne čvrstoće jer površinska tlačna naprezanja kod udara mlaza abraziva smanjuje mogućnost širenja zamorne pukotine. Postiže se još i smanjenje vlačnih naprezanja i veća otpornost prema koroziji.[12]

Intenzitet pjeskarenja ovisi o brzini, tvrdoći, veličini i masi kuglica te o kutu pod kojim one udaraju u obrađivanu površinu.

Kuglice koje se koriste u pjeskarenju su od željeza, čelika ili stakla. U praktičnom djelu rada za postupak pjeskarenja koriste se čelične kuglice kao abrazivno medij. One se izrađuju u poboljšanom stanju na tvrdoću 40-50 HRC-a. [12]

Oprema za pjeskarenje je slična kao oprema za abrazivno čišćenje te sadrži radnu komoru, kotače, mlaznice i trake. Pjeskarenjem se mogu obrađivati čelici (ugljični, niskolegirani, nehrđajući), lijevana željeza, obojeni metali, tvrdi metali. Najčešće nakon pjeskarenja nije potrebna naknadna obrada, pa se ono smatra kao završna obrada.[12]

6.1.1. Procjena kvalitete pjeskarene (sačmarene površine)

Stupnjevi čistoće pjeskarenih površina određuju se slikama koje se nalaze u standardu EN 8501-1, vizualna procjena kvalitete površine. Stupnjevi čistoće pjeskarene površine nabrojani su i opisani u *tablici 6.1.1*. Definiraju se prema oznakama Sa1, Sa2, Sa2½, Sa3.[4]

Oznaka	OPIS
Sa1 – lagano pjeskarena površina	Ako se površina pogleda bez povećala, površina će biti BEZ vidljivih mrlja ulja, masti, nečistoća i slabo prionjive okujine, hrđe, boje i stranih tijela. (Prilog 1. Vidi fotografije B Sa1, C Sa1, D Sa1)
Sa2 – temeljito pjeskarena površina	Ako se površina pogleda bez povećala, površina će biti BEZ vidljivih mrlja ulja, masti, nečistoća, bez velikog dijela okujine, hrđe, boje i ostalih stranih materijala. Ostale nečistoće će se čvrsto držati za osnovni materijal (Prilog 1. vidi fotografije B Sa2, C Sa2, D Sa2)
Sa2½ - iznimno temeljito pjeskarena površina	Ako se površina pogleda bez povećala, površina će biti BEZ vidljivih mrlja ulja, masti, nečistoća, bez okujine, hrđe, boje i ostalih stranih materijala. Ostale nečistoće će se lagano vidjeti u obliku točkica i pruga (Prilog 1. Vidi fotografije A Sa2½, B Sa2½, C Sa2½, D Sa2½)
Sa3 – Pjeskarena površina do čistog čelika	Ako se površina pogleda bez povećala, površina će biti BEZ vidljivih mrlja ulja, masti, nečistoća, bez okujine, hrđe, boje i ostalih stranih materijala. Imat će jednaku metalnu boju, (bez sjena i točkica) (Prilog 1. Vidi fotografije A Sa3, B Sa3, C Sa3, D Sa3)

Tablica 6.1.1 Stupnjevi čistoće pjeskarenih površina [4]

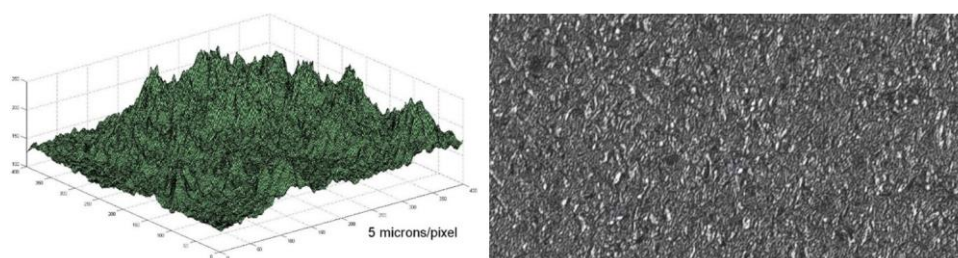
U prilogu 1. se nalaze slikovni prikazi stanja pjeskarenih čeličnih površina svih 4 stanja (A, B, C, D) opisanih u poglavlju 3.1.

6.2. Utjecaj na hrapavost

Čelična površina nakon površinske obrade (čišćenja mlazom, pjeskarenja) sastoji se od slučajnih nepravilnosti s vrhovima i dolinama koje se ne mogu lako okarakterizirati (*Slika 6.1*). To se naziva još profil površine ili hrapavost. Oblik dobivene površine određuje nam prijanjanje boje ili zaštitnog završnog premaza. Ako je razlika vrha profila hrapavosti površine i doline profila hrapavosti nedovoljan, odnosno premalen, boja se neće pridržavati kako treba i može doći do ljuštenja boje.[5]

Dakle, to je slučaj kada nam je površina previše glatka i na nju se boja ne može pravilno primiti. Ako pak imamo obratnu situaciju, tj. ako je vrh profila hrapavosti previše udaljen od doline profila, najniže točke, ti visoki vrhovi mogli bi doći do izražaja nakon bojanja jer bi stršali van, a u takvim slučajevima korozija napada te vrhove i time lagano uništava cijelu površinu. Hrapavost se mora zadovoljiti, u protivnom trebamo veću debljinu temeljnog premaza.[5]

Stoga, potrebno je pronaći optimalnu hrapavost koja je potrebna pa ju moramo mjeriti. Zato nam proizvođač boja daje propisane vrijednosti koje trebamo zadovoljiti da bi se boja pravilno primila po cijeloj površini. U prilogu se nalazi jedan takav zahtjev od proizvođača boja s propisanim vrijednostima hrapavosti. (*Prilog 2*)



*Slika 6.2.1 Računalno generirana slika površine čelika nakon čišćenja (lijevo)
i realna površina (desno) [8]*

Nema izravne veze između površinskog profila i površinske čistoće. Dakle, ako se čelik procjenjuje da je bio pročišćen sa Sa 2 1/2 prema ISO 8501-1, to nam ne govori ništa o hrapavosti površine.[4]

7. Metode mjerenja hrapavosti površine na odabranim primjerima

Postoje različite metode mjerenja hrapavosti koje su dostupne kontrolorima, uključujući korištenje mikroskopa, komparatora površine, mikrometra i mjernih uređaja. U praktičnom djelu rada za mjerenje hrapavosti koristi se usporedni komparator, testex trake i mikrometar te mjerni uređaj za mjerenje hrapavosti.[5]

7.1. Određivanje veličine profila usporednim pločicama (komparator) prema ISO 8503-1 i ISO 8503-2

1988. usvojena je internacionalna norma ISO 8503 za određivanje hrapavosti površine. Standard ima četiri dijela i označen je EN ISO 8503 - priprema čeličnih podloga prije nanošenja boja i srodnih proizvoda - površinska hrapavost karakteristika čišćenih čeličnih podloga.[5]

- ISO 8503-1 Specifikacije i definicije za kompare ISO površinskih profila za procjenu čeličnih podloga očišćenih mlazom
- ISO 8503-2 Metode za klasifikaciju površinskog profila kod korištenja abrazivnog pročišćenog čeličnog komparatora

Određivanje površinske hrapavosti radi se usporedbom komparatora i površine. Za tu namjenu imamo dva komparatora:

1. Komparator za lomljenu (Grit) sačmu (Slika 7.1.1)
2. Komparator za okruglu (Shot) sačmu (Slika 7.1.1)



Slika 7.1.1 Komparatori: lijevo "Grit" komparator, desno "Shot" komparator [5]

Komparatori su podijeljeni u četiri segmenta. Na poledini komparatora, za svaki segment je dana hrapavost u μm .

Postupak usporedbe komparatora i površine :

1. Sa površine, koja se ispituje, otkloniti prašinu i nečistoće
2. Odabrati odgovarajući komparator, Grit za površine pjeskarene lomljenom sačmom ili Shot za površine pjeskarene „okruglom“ sačmom
3. Komparator postaviti na površinu, tako da su segmenti okrenuti prema promatraču. Zatim je površinu potrebno usporediti sa svih 4 segmenta. Površina se može usporediti sa povećalom (s povećanjem do 7 puta)
4. Procijeniti koji od segmenta je najbliži po izgledu sa površinom i odrediti stupanj:

Stupanj	Profil
Fini	Jednak segmentu 1 i do, ali isključujući segment 2
Srednji	Jednak segmentu 2 i do, ali isključujući segment 3
Grub	Jednak segmentu 3 i do, ali isključujući segment 4

Tablica 7.1.1. Stupnjevi stanja površine kod mjerenja usporednim pločicama [4]

5. Zapisati opažanje, za sve površine na kojima se radio test. U slučaju da se ocjeni da je površina na donjoj granici segmenta 1, u izvještaj je potrebno napisati finije od finog, u slučaju da se procjeni da je površina na gornjoj granici grubog, u izvještaj napisati Grublja od grubog.

Komparatori služe za procjenu površine pjeskarene na čistoću Sa2½ i Sa3. Ako je teško vizualno ocijeniti površinu, možemo prstom kao osjetilom opipa povući po segmentu komparatora i po površini koju mjerimo, te onda ocijeniti stanje što preciznije.

Ako biramo između dva segmenta, dozvoljeno je koristiti se aritmetičkom sredinom iznosa hrapavosti tih dvaju segmenta.

7.2. Mjerenje hrapavosti pomoću testex (replika) traka i mikrometra prema ISO 8503-5

Norma ISO 8503-5 opisuje metodu replika trake za određivanje površinskog profila. Mjerenje se vrši pomoću mikrometra ELCOMETER 124 i Testex traka ELCOMETER 122 ReplicaTape.



Slika 7.2.1 Oprema za mjerenje hrapavosti (mikrometar, pakiranje testex traka i njihov izgled)[5]

7.2.1. Testex (replika) trake

Mjerenje replika trakama dugo je poznata metoda za određivanje površine. Jednostavna je, relativno jeftina i pokazuje dobru preciznost uspoređujući druge metode. Korisna je za mjerenje na zakrivljenim površinama koje se teško mogu mjeriti izravno s instrumentima s ticalom ili laserskim skeniranjem. Može se raditi na terenu, brza je, ne smetaju vibracije i uvjeti u kojima se izvodi mjerenje. Može se proglasiti najpopularnijom metodom za mjerenje površinskog profila. Replika traka se sastoji od sloja pjene koja se može komprimirati, pričvršćena na nepropusnu poliestersku podlogu debljine ($50\text{ }\mu\text{m} + 2\text{ }\mu\text{m}$). [5]

Traka je izrađena iz samoljepljive trake, koja na sredini ima otvor sa zalijepljenom „pločicom“ pjenastog oblika. Iz dijagrama, koji se nalazi na dnu trake, vidljivo je da postoje tri vrsta traka podijeljena u područja: (Slika 7.2.2)

- područje od 20 – 38 μm s oznakom C
- područje od 38 – 64 μm s oznakom C+XC
- područje od 64 – 115 μm s oznakom XC

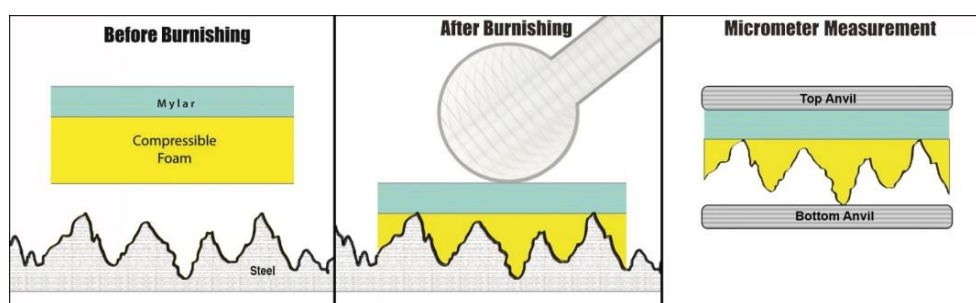


Slika 7.2.2 Izgled replika trake s otisnutim uzorkom [5]

7.2.2. Postupak mjerenja

Prije nego što se krene mjeriti, površinu je potrebno pregledati usporednim komparatorima kako je opisano u poglavlju 7.1, kako bi se odredilo koja traka će se uzeti za ispitivanje.

Traku treba odlomiti s paketa, i skinuti foliju, te taj skinuti dio sačuvati za kasniju upotrebu. Traka se lagano lijepi na čistu površinu. Pomoću nekog zaobljenog vrha (u pravilu svaki proizvođač u paketu daje original "olovku za utiskivanje") traku na označenom mjestu utrljati u površinu tako dugo dok se ne pojave crne točkice, po cijeloj površini (*Slika 7.2.4*). Kada se pritisne na grubu čeličnu mjernu površinu, pjena stvara dojam ili obratnu repliku površine. Najdublje doline na uzorku stvaraju najviše vrhove replike. Taj komprimirani otisnuti uzorak trake stavlja se između nožice mikrometra i mjeri. Od dobivene se vrijednosti oduzima debljina trakice (koja iznosi 50 μm) te nam daje mjeru (R_z), najveću visinu profila hrapavosti. Prilikom mjerenja s mikrometrom paziti, da su nožice mikrometra čiste. *Slika 7.2.3* prikazuje presjek trakice prije uzimanja uzorka i nakon uzimanja uzorka, te kako se traka mjeri pod mikroskopom.[5]



Slika 7.2.3 Princip mjerenja pomoću replika trake i mjerenje hrapavosti mikrometrom [5]



Slika 7.2.4 Utiskivanje pjenastog materijala u površinu koju mjerimo [5]

7.2.3. Prednosti i nedostaci

Replika traka je korištena za mjerenje hrapavosti profila abrazivnog nanosa čelika od kasnih 1960-ih. U usporedbi s drugim metodama, relativno su niski troškovi mjerenja, ima dobru ponovljivost i mogućnost zadržavanja fizičke replike površine koja se procjenjuje. Metoda je naširoko korištena i široko poznata. Dodatna prednost je ta, da je jedan primjerak replike uzorka pjene približno 31 mm, što je relativno velika površina uzorka.

Uz ove prednosti, međutim, dolaze nedostaci. Loša karakteristika replika trake je da su mjerenja najpreciznija u sredini svakog raspona razreda, a najmanje točni na vanjskim krajevima raspona svakog razreda, dakle postoji određena neravnomjernost otisnutog uzorka.

7.3. Mjerni uređaj MarSurf PS1

Spada u mjerne uređaje s ticalom koji su objašnjeni u poglavlju 4. Koristit ću ga u praktičnom djelu rada. [10]

Specifikacije uređaja: [10]

- Malen i lagan, idealan mjerni instrument za mjerenje hrapavosti mobilne površine
- Veliki zaslon
- Vrlo jednostavan za rukovanje
- Gumb za pokretanje je i na desnoj i lijevoj strani, jednostavan za rukovanje bez obzira jeste li lijevak ili dešnjak, ali isto tako praktično za provođenje naglavačke
- Može se koristiti vodoravno, okomito, naopako
- Nudi prikaz 31 parametara, isti raspon funkcija kao što je laboratorijski instrument
- Možete odabrati parametre izravno Ra, Rz
- Omogućuje slobodno programiranje, koristiti F1 tipku za izravan pristup bilo kojim našim parametrima
- Dinamička funkcija kalibracije
- Odaberite standarde (DIN-ISO / JIS / ASME)
- Postavke za zaključavanje i postavljanje lozinke

- Ugrađena punjiva Li-ion baterija, može se koristiti za najviše 500 mjerenja prije nego što se mora nanovo puniti
- Jezici: engleski, njemački, francuski, talijanski, španjolski, portugalski, nizozemski, švedski, češki, poljski, ruski, japanski, kineski, korejski, turski
- Precizni Lc * mm 0,25 / 0,8 / 2,5
- Duljina prolaza Lt * mm 1,75 / 5,6 / 17,5
- Procjena duljine Ln * mm 1,25 / 4,0 / 12,5
- Broj n duljina uzorkovanja * Izbor: od 1 do 5
- Datum vrijeme
- Dimenzije mm 140 × 50 × 70
- Težina 400 g

Prikaz ekrana mjernog uređaja:



Odabir standarda
(DIN-ISO / JIS / ASME)

Odabir cut-off-a :
0,25 / 0,8 / 2,5 mm
Odabir duljine prolaza:
1,75 / 5,6 / 17,5mm
Odabir mjerne duljine:
1,25 / 4,0 / 12,5mm

Simbol hrapavosti Rz ili Ra,
te ispisani rezultat mjerenja.

Slika 7.3.1 Prikaz ekrana mjernog uređaja MahrSurf

8. PRAKTIČNI DIO

Praktični dio završnog rada obavljen je u firmi FEROKOTAO iz Donjeg Kraljevca. Oni se bave izradom kotlova za energetske, distribucijske i specijalne transformatore.

U radu su prikazani rezultati mjerenja hrapavosti na nekoliko različitih obrađenih površina. Najprije se mjeri lim koji je pjeksaren u protočnoj pjeskari, zatim poklopci valovitih i velikih kotlova koji su pjeskareni u velikoj pjeskari i pjeskari valovitih kotlova. Svaka površina izmjerena je tri puta, odnosno na tri različita načina: usporednim komparatorom, mjernim trakicama i mjernim uređajem MarSurf PS1. Izmjerena je hrapavost i na prirubnici nakon obrade tokarenja. Tijekom mjerenja rezultati se prate i uspoređuju, te na kraju analiziraju i komentiraju.

8.1. Mjerenje hrapavosti pjeskarene površine

8.1.1. Iz protočne pjeskare

Zbog skladištenja limova na otvorenom, oni nisu zaštićeni od vremenskih uvjeta, pa se ubrzo javlja korozija i drugi oblici nečistoća. Stoga je potrebno lim pjeskariti u protočnoj pjeskari. Pjeskari se s lomljenom sačmom. Potrebno je mjeriti hrapavost takvih površina jer se treba riješiti hrđe i okujine jer u daljnjim obradama kao što je zavarivanje, te nečistoće predstavljaju problem te utječu na kvalitetu zavarenog spoja.



Slika 8.1.1 Lomljena čelična sačma (lijevo) i protočna pjeskara (desno)

a) Uspoređivanje pomoću usporednih pločica komparatora

Ova metoda je najjednostavnija i najbrža metoda. Može se svrstati u vizualnu metodu gdje procjenjujemo hrapavosti na osnovu vida, čak i opipa između mjerne površine i našeg uzorka. Više služi kao provjera, te grubo mjerenje koje služi za lakši odabir replika trakica s kojima ću izvesti sljedeće mjerenje.



Slika 8.1.2 Usporedna pločica - komparator



Slika 8.1.3 Vrijednosti pojedinih segmenata komparatora (Grit sačma)

Pločicu stavljamo na naš ispitni materijal te procjenjujemo s kojim poljem se najviše podudara. Nakon procjene na stražnjoj strani pločice imamo vrijednosti hrapavosti za pojedina polja, jednostavno ih očitamo ili ako biramo između dva polja određujemo hrapavost na temelju iskustva ili aritmetičkom sredinom tih dvaju vrijednosti. Procjena hrapavosti pada u prvi ili drugi segment. Dakle, prema podacima to je između 25 mikrometara i 60 mikrometara. Ako bi uzeo aritmetičku sredinu, ispada mi 42,5 μm .

Dakle, na temelju toga orijentacijski znamo kolika bi mogla biti hrapavost, te prema tome biramo replika trakicu.

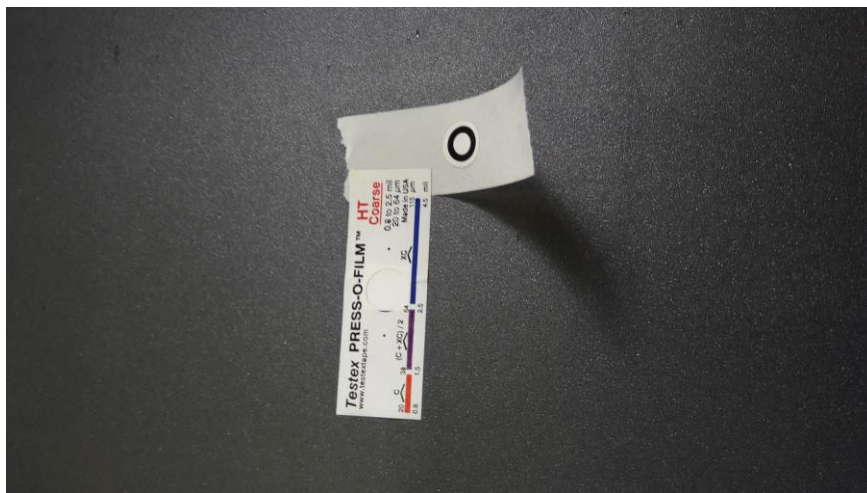
b) Mjerenje testex (replika) trakicama

Mjerenje replika trakicama izvodi se u samom pogonu. Hrapavost se mjeri na pjeskarenom limu koji je izašao iz protočne pjeskare. Odabir trakice ovisi o hrapavosti koju smo dobili prvom metodom mjerenja s usporednom pločicom. Biramo trakicu 20 do 64 μm .

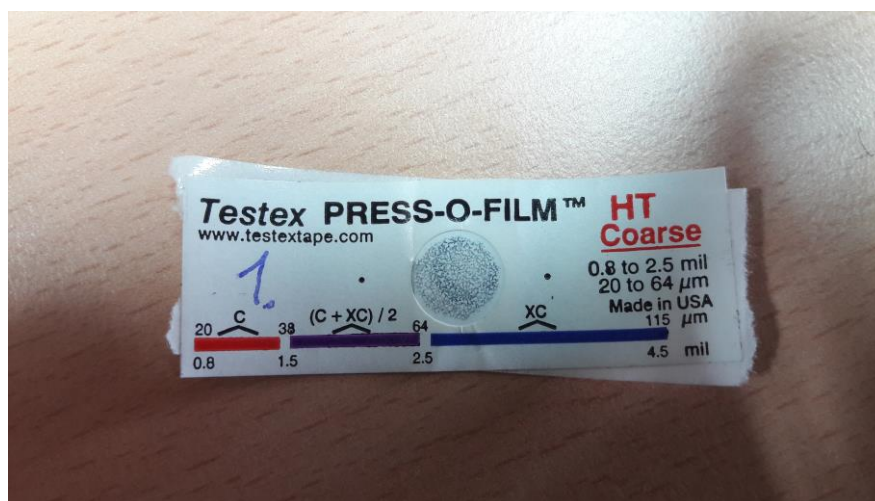


Slika 8.1.4 Oprema za mjerenje replika trakom

Trakica se lijepi na samu pjeskarenu površinu lima, te se područje uzorka u kojem se nalazi pjenasti materijal utiskuje batićem da se stvori uzorak otiska. (Slika 8.1.6)



Slika 8.1.5 Zalijepljena trakica na limu



Slika 8.1.6 Otisnuti uzorak mjerne površine

Kad se otisne uzorak trakica se skida te se ide na provjeru otiska pod mikrometar. Tamnija polja simboliziraju vrhove neravnina površine, dok su bijela polja udubine tih neravnina.

Pomoću mikrometra izmjereno je $91\text{ }\mu\text{m}$, a pošto je debljina trakice $50\text{ }\mu\text{m}$, nju moramo oduzeti od izmjerene veličine, pa mi hrapavost iznosi $41\text{ }\mu\text{m}$. Rezultat je gotovo jednak kao usporedbom s pločicom.



Slika 8.1.7 Prikaz rezultata mjerenja na mikrometru

c) Mjerenje mjernim uređajem

Dakle, pjeskareni lim mjerim s uređajem MarfSurf PS1. Uređaj se najprije postavlja prema ISO 8503-4 normi , normi za pripremu prije nanosa antikorozivnih zaštita.

Lt	Lc * n	ln
1.750 mm 5.600 mm 17.50 mm	(0.250 * 5) (0.800 * 5) (2.500 * 5)	1.250 mm 4.000 mm 12.50 mm
0.070in 0.224in 0.700in	(0.010 * 5) (0.032 * 5) (0.100 * 5)	0.050in 0.160in 0.500in

Tablica 8.1.1 Parametri potrebni za mjerenje hrapavosti [10]

Odabir cut-off-a i duljine mjerenja:

Nekoliko probnih mjerenja na različitim podlogama uskoro će pokazati da su neki dobiveni rezultati vrlo ovisni o odabranoj vrijednosti cut-off-a. To pokazuje da je važno odabrati cut-off koji odgovara mjerenoj površini. Općenito, fino obrađene površine zahtijevaju kratke vrijednosti cut-off-a, dok grubo obrađene površinama valja mjeriti uz veće vrijednosti cut-off-a.

Duže duljine ocjenjivanja uglavnom se koriste za mjerenja hrapavosti na limovima i sličnim materijalima, gdje je potrebno snimiti dulji trag mjerne površine da bi se ispitivani profil s materijala mogao smatrati reprezentativnim. Stoga biramo cut-off od 2.500 mm i duljinu mjerenja 12.50 mm.

Prema normi parametri su sljedeći:

- Ukupna duljina koju ticalo prolazi: $L_t=17.50$
- Duljina koja se ne mjeri, ulazna i izlazna: $L_c=2.500$
- Mjerena duljina, duljina na kojoj se mjeri hrapavost: $L_n=12.50$
- Broj vrhova koji se uzima u obzir: $n=5$

Dakle uređaj stavljamo na površinu lima, te se ticalo giba po svojoj zadanoj dužini L_t i mjeri hrapavost. Postavljeno je dakle 5 mjernih vrhova ($n=5$), stoga ticalo ima svoj „prazan hod“ odnosno ulaznu i izlaznu putanju kad se giba, ali ne mjeri, to je veličina $L_c=2.500$. Dakle radna duljina mjerenja je $L_n=12.50$.

Nakon sto prođe duljinu $L_t = 17.50$ izbacuje nam se rezultat hrapavosti:

- srednje aritmetičko odstupanje profila od srednje linije profila
 $R_a = 6,955 \mu\text{m}$
- srednja visina neravnina
 $R_z=39,5 \mu\text{m}$



Slika 8.1.8 Rezultati mjerenja hrapavosti pjeskarenog lima mjernim uređajem

8.1.2. Pjeskare valovitih kotlova

Sljedeći proizvod koji se mjeri je poklopac valovitog kotla. Za pjeskarenje valovitih kotlova koristi se okrugla sačma. Zahtjev za hrapavošću prepisuje proizvođač boja. U prilogu se nalazi jedan takav zahtjev. (Prilog 2)

a) Uspoređivanje pomoću usporednih pločica komparatora

Dakle, postupak je isti kao i u prvom primjeru. Usporednu pločicu stavljamo na površinu poklopca te uspoređujemo stupanj hrapavosti. Vrijednosti hrapavosti pločice za lomljenu i okruglu sačmu razlikuju se.



Slika 8.1.9 Određivanje hrapavosti poklopca valovitog kotla pomoću usporedne pločice

Hrapavost je najbliža trećem segmentu. Pošto svaki segment ima svoju vrijednost hrapavosti, za odabrani treći segment ona iznosi 70 mikrometara. Kad znamo tu vrijednost možemo kasnije u ispitivanju trakicama odabrati odgovarajuće grubu trakicu.



Slika 8.1.10 Vrijednosti hrapavosti za Shot (okruglu sačmu)

b) Mjerenje testex (replika) trakicama

Na osnovu parametra iz prethodnog mjerenja biramo grubost odnosno granice vrijednosti hrapavosti površine. Za naših 70 mikrometara odgovara grublja trakica od 38 do 115 mikrometara. Dakle, mjeri se s grubljom trakicom nego u prošlom mjerenju kod protočne pjeskare. Postupak je isti kao u prethodnom mjerenju



Slika 8.1.11 Mjerenje testex trakicom na poklopcu valovitog kotla.

Dakle, lijepimo trakicu na površinu, trljamo pjenasti uzorak dok se ne pojave crne točkice ili otisak. Zatim mjerimo debljinu otiska mikrometrom. Dobiveni broj oduzimamo sa debljinom trakice (50µm) te dobivamo traženu hrapavost.



Slika 8.1.12 Prikaz rezultata mjerenjem debljine otiska pomoću mikrometra

Mikrometar pokazuje vrijednost 110 μm , oduzimanjem debljine trakice (50 μm) dobivamo traženu hrapavost. Hrapavost pjeskarenog poklopca valovitog kotla iznosi 60 μm .

c) Mjerenje mjernim uređajem

Izvodi se jedno mjerenje. Dimenzije poklopca nisu velike pa nema potrebe za više mjerenja. Princip mjerenja je isti kao u prethodnom primjeru. Uređaj ima ulazne podatke prema ISO 8503-4 normi za pripremu prije nanošenja boje ili drugih zaštita:

- Ukupna duljina koju ticalo prolazi: $L_t=17.50$
- Duljina koja se ne mjeri, ulazna i izlazna: $L_c=2.500$
- Mjerena duljina, duljina na kojoj se mjeri hrapavost: $L_n=12.50$
- Broj vrhova koji se uzima u obzir: $n=5$

Uređaj se postavlja na poklopac i počinje mjeriti. Nakon što prođe svoju zadanu duljinu, na ekranu nam se pojavljuju rezultati R_a i R_z :

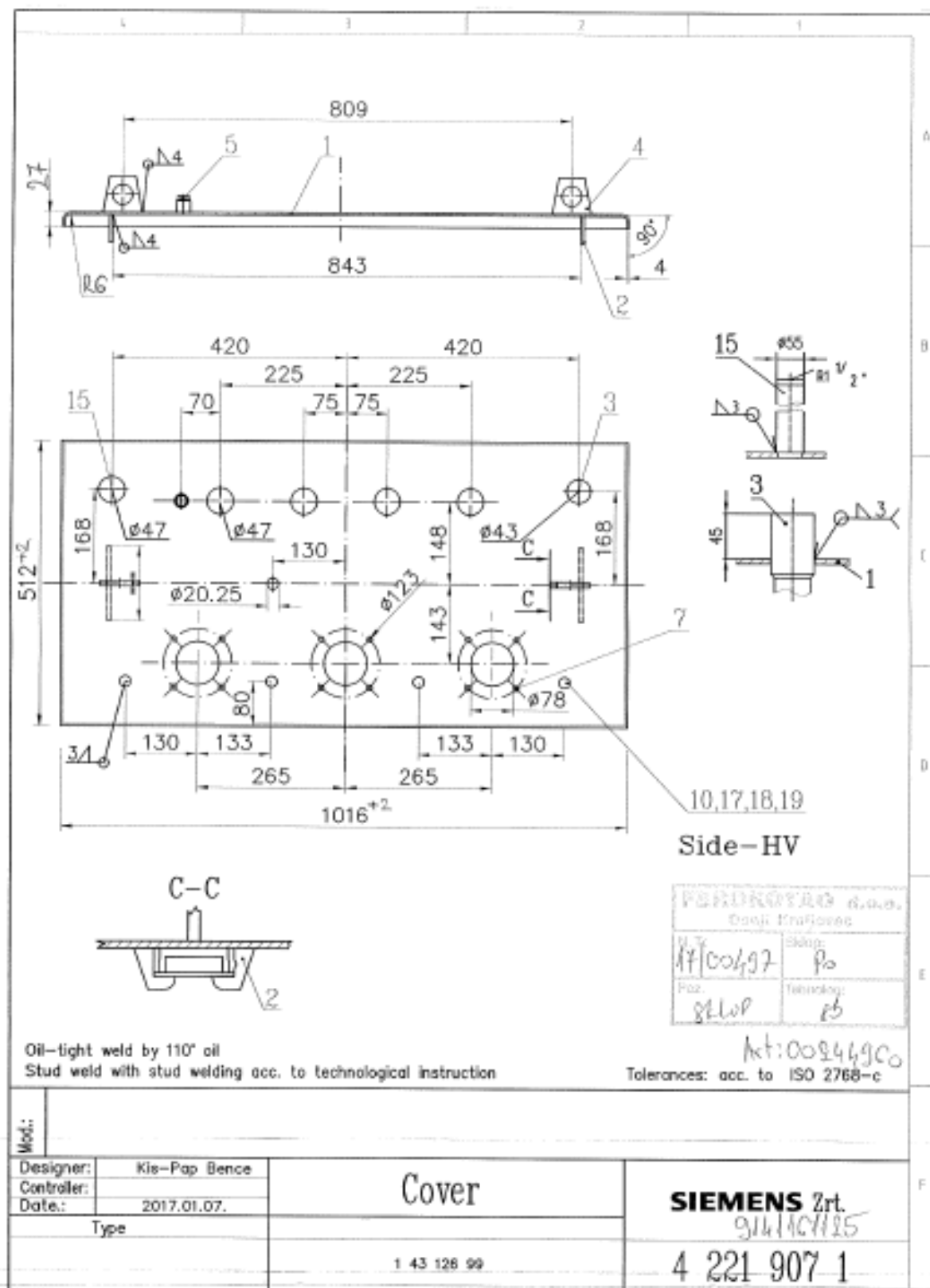


Slika 8.1.13 Prikaz rezultata mjerenja hrapavosti poklopca mjernim uređajem

Vidimo da su rezultati sljedeći:

$$R_a = 7,550 \mu\text{m}$$

$$R_z = 50,7 \mu\text{m}$$



Slika 8.1.14 Nacrt poklopca čija se hrapavost mjeri

8.1.3. Velike pjeskare

Mjerit ćemo hrapavost pjeskarenog poklopca velikog kotla. Radi veličine proizvoda potrebno je mjeriti na više mjesta. Nama je potrebno tri mjerenja. Pjeskari se lomljenom sačmom kao u prvom primjeru kod pjeskarenja limova. Najprije je mjerenje s pločicom i dok se ustanovila približna hrapavost, onda se moglo zaključiti da trebaju grublje trakice. Zadnje je mjerenje mjernim uređajem.

a) Uspoređivanje pomoću usporednih pločica komparatora

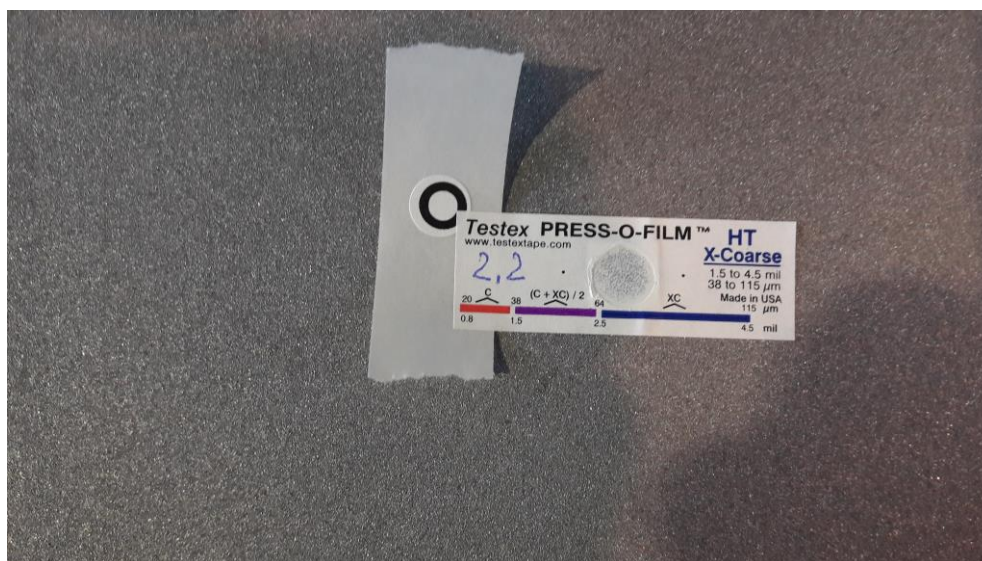
Najprije idemo mjeriti pomoću pločice da vidimo otprilike koje rezultate bi mogli očekivati. Pošto imamo lomljenu sačmu biramo komparator za lomljenu (Grit) sačmu. Pločicu stavimo na poklopac i uspoređujemo segmente s površinom poklopca. Najviše se podudara segment 3 čija hrapavost iznosi 100 μm .



Slika 8.1.15 Uspoređivanje površine poklopca sa površinom pojedinih segmenata komparatora

b) Mjerenje testex (replika) trakicama

Zbog veličine poklopca mjerili smo hrapavost na 3 mjesta, istim postupkom kao i u prethodnom mjerenju. S obzirom na to da smo izmjerili 100 μm pomoću usporednih pločica, uzet ćemo grublje trakice od 38 do 115 μm . Lijepimo trakice na površinu te ih trljamo u uzorak, koji kasnije mjerimo pomoću mikrometra. Pošto je debljina trakice 50 mikrometara, potrebno je od izmjerene veličine oduzeti tu debljinu, te dobivamo traženu hrapavost. Ponovimo postupak 3 puta.



Slika 8.1.16 Mjerenje hrapavosti pomoću testex trakica na velikom poklopcu



Slika 8.1.17 Tri otisnuta uzorka hrapavosti i mjerenje mikrometrom

Rezultati mjerenja su sljedeći:

$$\text{Mjerenje 1.} \rightarrow 132 \mu\text{m} - 50 \mu\text{m} = \mathbf{82 \mu\text{m}}$$

$$\text{Mjerenje 2.} \rightarrow 130 \mu\text{m} - 50 \mu\text{m} = \mathbf{80 \mu\text{m}}$$

$$\text{Mjerenje 3.} \rightarrow 128 \mu\text{m} - 50 \mu\text{m} = \mathbf{78 \mu\text{m}}$$

Možemo primijetiti da su rezultati mjerenja veoma blizu i skoro jednaki.

c) Mjerenje mjernim uređajem

Postupak mjerenja i parametri uređaja jednaki kao u prošlom primjeru. Mjerni uređaj je također isti kao u prethodnim mjerenjima. Dakle uređaj se stavlja na površinu poklopca i mjeri hrapavost. U tri mjerenja izbacuje nam Ra i Rz.

Prema normi parametri su sljedeći:

- Ukupna duljina koju ticalo prolazi: $L_t=17.50$
- Duljina koja se ne mjeri, ulazna i izlazna: $L_c=2.500$
- Mjerena duljina, duljina na kojoj se mjeri hrapavost: $L_n=12.50$
- Broj vrhova koji se uzima u obzir: $n=5$

Rezultati mjerenja su sljedeći:

$$\begin{aligned} \text{Mjerenje 1.} - \quad & \text{Ra} = 12,93 \mu\text{m} \\ & \text{Rz} = 86,9 \mu\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mjerenje 2.} - \quad & \text{Ra} = 12,70 \mu\text{m} \\ & \text{Rz} = 82,8 \mu\text{m} \end{aligned}$$

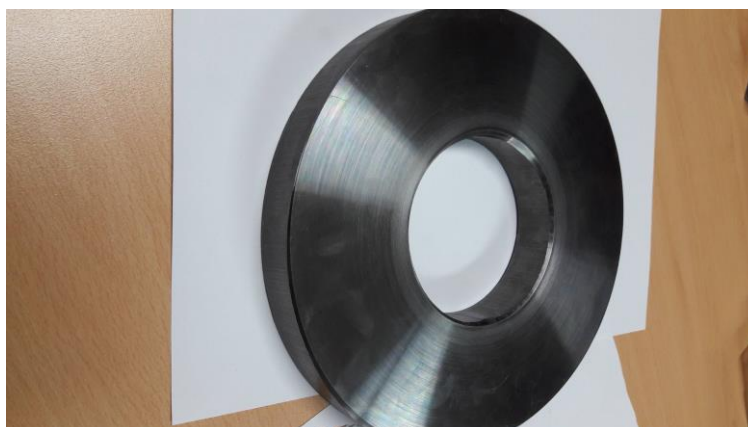
$$\begin{aligned} \text{Mjerenje 3.} - \quad & \text{Ra} = 12,33 \mu\text{m} \\ & \text{Rz} = 79,7 \mu\text{m} \end{aligned}$$



Slika 8.1.18 Prikaz rezultata mjerenja mjernim uređajem

8.2. Mjerenje hrapavosti prirubnice nakon tokarenja

Također, i nakon postupka obrade odvajanjem čestica potrebno je provjeriti hrapavost površine. U ovom slučaju predmet mjerenja je prirubnica nakon operacije tokarenja na klasičnoj tokarilici. Zadana hrapavost prirubnice je zadana na tehničkim crtežima ,stoga se ona mora zadovoljiti. Mjerenja se izvode samo mjernim uređajem.



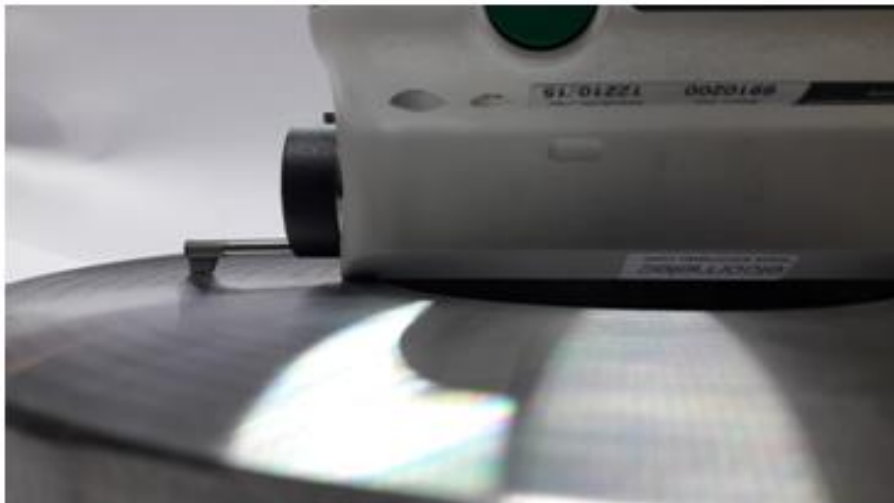
Slika 8.2.1 Prirubnica čiju hrapavost mjerimo

8.2.1. Prvo mjerenje mjernim uređajem

Ulazni podaci uređaja su sljedeći:

- Ukupna duljina koju ticalo prolazi: $L_t=17.50$ mm
- Duljina koja se ne mjeri, ulazna i izlazna: $L_c=2.500$ mm
- Mjerena duljina, duljina na kojoj se mjeri hrapavost: $L_n=12.50$ mm
- Broj vrhova koji se uzima u obzir: $n=5$

Uređaj postavljamo na samu prirubnicu, te pritiskom na tipku start ticalo se počinje kretati po površini i mjeriti.



Slika 8.2.2 Prikaz mjerenja hrapavosti prirubnice mjernim uređajem

Izmjerene su sljedeće vrijednosti:

- srednje aritmetičko odstupanje profila od srednje linije profila
 $R_a = 0,865 \mu\text{m}$
- srednja visina neravnina
 $R_z = 5,57 \mu\text{m}$



Slika 8.2.3 Prikaz rezultata mjerenja

8.2.2. Drugo mjerenje mjernim uređajem

Uvijek i u svakom procesu nastaje škart, odnosno dolazi do pogreške u izradi nekog komada ili slično. Kod postupka tokarenja na klasičnim tokarilicama greške su veće nego kod npr. CNC tokarilica, zbog ljudskog rada, čovjeka koji je sklon greškama, odnosno mogućeg umora radnika, manjak koncentracije, krivo očitavanje mjera iz crteža i kojekakvih razloga, greške stroja, istrošenosti alata, manjak rashladne tekućine. Stoga se svaki izradak treba kontrolirati i mjeriti.

Sljedeće mjerenje je van granica traženih parametara, te proizvod nije dobar.

Mjeri se mjernim uređajem i izmjerene veličine hrapavosti su sljedeće:

- srednje aritmetičko odstupanje profila od srednje linije profila
 $R_a = 9,512 \mu\text{m}$
- srednja visina neravnina
 $R_z = 55,9 \mu\text{m}$



Slika 8.2.4 Rezultati mjerenja hrapavosti – hrapavost izvan dopuštenih granica



Slika 8.2.5 Prikaz grublje, hrapavije površine i finije površine prirubnice nakon tokarenja

8.3. Komentar i analiza rezultata

Mjerenje hrapavosti pjeskarenih površina nužno je u svakom proizvodnom procesu gdje se materijal dodatno zaštićuje nekim zaštitnim premazima ili bojama. Uvjet za dobro prijanjanje tih premaza je naravno zadovoljiti hrapavost površine. Ako je površina previše glatka, tada postoji opasnost da se premaz ne primi dovoljno dobro za površinu i taj će se premaz početi ljuštiti sa površine, a s druge strane opet ne smije biti previše hrapava površina jer bi se nakon nanosa boje mogli vidjeti mali znakovi prodiranja neravnina kroz boju, a to nam opet privlači koroziju i tako možemo uništiti sva dobra svojstva boje ili premaza.

Limovi se pjeskare isključivo zbog zaštite od vanjskih utjecaja da se uklone nečistoće, masti, okujina te korozija. To je neizbježno zbog obrade zavarivanja gdje bi to predstavljalo velik problem. Iz rezultata mjerenja se vidi da je hrapavost u protočnoj pjeskari najfinija, odnosno najmanja.

Stoga kod velikih kotlova imamo propisano područje hrapavosti, uvjete i parametre za obradu od proizvođača boja koja se mora zadovoljiti. Ta vrijednost iznosi od 70 do 90 μm . U prilogu se nalazi primjer takvog propisanog dokumenta. (*Prilog 2*)

Kod valovitih kotlova se ne propisuje hrapavost, već se ona mjeri iz razloga da vrijednost hrapavosti ne bude ekstremno mala ili ekstremno velika, odnosno, u slučaju većih odstupanja. Razlog tome je što se zbog svoje konstrukcije valoviti kotlovi jako teško mogu ravnomjerno i pravilno pjeskariti pa stoga se ne može očekivati konstantna hrapavost po svim površinama. Zato se za valovite kotlove koristi posebna boja koja ima funkciju bolje zaštite od korozije i svih negativnih utjecaja te se nanosi u debljem sloju.

List zahtjeva za hrapavost nalazi se u prilogu. (*Prilog 2*) Dakle što propisuje i zahtjeva kupac, a što nam o tome kaže proizvođač boja. Što, kako i pod kojim uvjetima se mora izvesti da bi antikorozivna zaštita imala svoj smisao.

Jedina razlika između ta dva proizvoda je da se sačmare s različitim sačmama. Veliki poklopci se sačmare s lomljenom sačmom (grit), dok se valoviti kotlovi sačmare s okruglom sačmom (shot). Iz rezultata mjerenja možemo primijetiti da je okrugla sačma finija, odnosno postiže se bolja, finija hrapavost od obrade sa lomljivom sačmom.

Postupak obrade	Stupanj površinske hrapavosti															
	$R_a, \mu\text{m}$															
	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50	100	200	400	800
Pjeskarenje																
Sačmarenje																
Plinsko rezanje																
Tokarenje																
- grubo																
- fino																

Tablica 8.3.1 Orijentacijske vrijednosti hrapavosti s obzirom na vrstu obrade [3]

Iz tablice se vidi koji se stupanj pože postići kojom obradom. Vidljivo je da sačmarenje poprima vrijednosti R_a od 3,2 do 12,5 μm . Svi rezultati upadaju u te granice, te su svi uvjeti hrapavosti zadovoljeni i po tim podacima.

U radu je također izmjerena hrapavost kod grubog i finog tokarenja. To se vidi po rezultatima koji također upadaju u granice prema gornjoj tablici. Međutim, prirubnica je imala propisanu hrapavost $R_{z\max} = 50$, (Prilog 5) stoga je grubo tokarenje nepravilno i neispravno. U daljnji proces proizvodnje ide prirubnica koja je fino tokarena.

U sljedećim tablicama 8.3.2 i 8.3.3 ispisani su svi rezultati mjerenja, te napomene prema kojima se vidi ako su mjerenja zadovoljila ili nisu.

MJERENJE HRAPAVOSTI POVRŠINE POMOĆU MJERNOG UREĐAJA MahrSurf PS1				
Predmet mjerenja	Redni broj mjerenja	Ra	Rz	Napomena
Čelični pjeskareni lim	1	6,955 μm	39,5 μm	Protočna pjeskara, lomljiva sačma Cilj: očistiti lim od nečistoća i hrđe ISPRAVNO
Poklopac velikog kotla	2.1	12,93 μm	86,9 μm	Lomljiva sačma Zahtjev 70-90 μm ISPRAVNO
	2.2	12,70 μm	82,8 μm	Lomljiva sačma Zahtjev 70-90 μm ISPRAVNO
	2.3	12,33 μm	79,7 μm	Lomljiva sačma Zahtjev 70-90 μm ISPRAVNO
Poklopac valovitog kotla	3	7,550 μm	50,7 μm	Okrugla sačma Cilj: provjera hrapavosti radi mogućih velikih odstupanja ISPRAVNO
Prirubnica nakon tokarenja	4	0,865 μm	5,57 μm	Fino tokarenje (Rz=50 max) ISPRAVNO
	5	9,512 μm	55,9 μm	Grubo tokarenje (Rz=50 max) NEISPRAVNO

Tablica 8.3.2 Rezultati mjerenja mjernim uređajem MahrSurf PS1

MJERENJE HRAPAVOSTI POVRŠINE POMOĆU TESTEX TRAKICA I MIKROMETROM							
Predmet mjerenja	Redni broj mjerenja	Izmjereno	Debljina trakice	Hrapavost	Napomena	Trakica	
Čelični pjskareni lim	1	91 μm	50 μm	41 μm	Protočna pjeskara, lomljiva sačma Cilj: očistiti lim od nečistoća i hrđe ISPRAVNO		
Poklopac velikog kotla	2.1	132 μm	50 μm	82 μm	Lomljiva sačma Zahtjev: 70-90 μm ISPRAVNO		
	2.2	130 μm	50 μm	80 μm	Lomljiva sačma Zahtjev: 70-90 μm ISPRAVNO		
	2.3	128 μm	50 μm	78 μm	Lomljiva sačma Zahtjev: 70-90 μm ISPRAVNO		
Poklopac valovitog kotla	3	110 μm	50 μm	60 μm	Okrugla sačma Cilj: provjera hrapavosti radi mogućih velikih odstupanja ISPRAVNO		

Tablica 8.3.3 Rezultati mjerenja Testex (replika) trakicama

9. Zaključak

Dakle, kako bi se neki materijal očistio od starih premaza, hrđe, nečistoća najčešće se koristi postupak pjeskarenja. To je postupak čišćenja raznih materijala do željenog stupnja čistoće određenim abrazivom uz pomoć komprimiranog zraka. Pjeskarenje i sačmarenje najbolja je metoda pripreme površine ako treba odstraniti velike debljine hrđe, boje, premaza.

Naravno takvim postupkom stanje površine se mijenja, dobiva svoju hrapavost koju je potrebno mjeriti.

Komentirajući i uspoređujući rezultate zaključuje se da rezultati upadaju u sve propisane zahtjeve za kvalitetu površine i tablice propisane za to. U ovom području hrapavost se može puno puta određivati i na temelju iskustva.

Metode komparatorom i Testex trakicama su veoma praktične i brze metode, jer se mogu koristiti u samom pogonu, ne smetaju vibracije i ostale poteškoće. Sa mjernim uređajem to nije slučaj. Preporučuje se mjerenje bez pojave vibracija. Sa svim navedenim metodama rezultati se dobivaju brzo i mogu se smatrati točnim.

U Varaždinu, 04.07.2017

Potpis:
Kočiš Luka

POPIS SLIKA

Slika 2.1 Podjela ispitivanja [2]	2
Slika 2.2 Kontrola, mjerenje i ispitivanje [2]	3
Slika 3.1 Osnovna odstupanja na površini [3].....	5
Slika 3.2 Odstupanja na stvarnom profilu [3]	5
Slika 3.1.1 Četiri tipa stanja čeličnih površina [4]	6
Slika 4.2.1 Srednje aritmetičko odstupanje profila, Ra [6]	10
Slika 4.2.2 Prikaz odnosa Rz, Rp i Rv [6].....	11
Slika 4.2.3 Različite varijante Rp-a [6]	12
Slika 4.2.4 Prikaz duljine putanje lt, duljine mjerenja ln i referentne duljine lr [6].....	13
Slika 4.3.1 Prikaz osnovnog simbola i njegove dimenzije [3]	13
Slika 4.3.2 Grafički simboli za vrste obrade [3].....	13
Slika 4.3.3 Položaj oznaka (od a do e) dopunskih zahtjeva [3]	14
Slika 4.3.4 Primjeri označavanja zahtjeva obrade površina [3]	14
Slika 5.2.1 Prikaz mjerenja pomoću uređaja s ticalom na više načina [10]	19
Slika 5.4.1 Mjerni uređaj MarSurf PS1 za mjerenje hrapavosti površine [10]	21
Slika 6.2.1 Računalno generirana slika površine čelika nakon čišćenja (lijevo)	24
Slika 7.1.1 Komparatori: lijevo "Grit" komparator, desno "Shot" komparator [5].....	26
Slika 7.2.1 Oprema za mjerenje hrapavosti (mikrometar, pakiranje testex traka) [5]	27
Slika 7.2.2 Izgled replika trake s otisnutim uzorkom [5]	28
Slika 7.2.3 Princip mjerenja pomoću replika trake i mjerenje hrapavosti mikrometrom [5]...	29
Slika 7.2.4 Utiskivanje pjenastog materijala u površinu koju mjerimo [5].....	29
Slika 7.3.1 Prikaz ekrana mjernog uređaja MahrSurf	31
Slika 8.1.1 Lomljena čelična sačma (lijevo) i protočna pjeskara (desno).....	32
Slika 8.1.2 Usporedna pločica - komparator	33

Slika 8.1.3 Vrijednosti pojedinih segmenata komparatora (Grit sačma)	33
Slika 8.1.4 Oprema za mjerenje replika trakom	34
Slika 8.1.5 Zalijepljena trakica na limu	35
Slika 8.1.6 Otisnuti uzorak mjerne površine	35
Slika 8.1.7 Prikaz rezultata mjerenja na mikrometru	36
Slika 8.1.8 Rezultati mjerenja hrapavosti pjeskarenog lima mjernim uređajem	38
Slika 8.1.9 Određivanje hrapavosti poklopca valovitog kotla pomoću usporedne pločice	39
Slika 8.1.10 Vrijednosti hrapavosti za Shot (okruglu sačmu)	39
Slika 8.1.11 Mjerenje testex trakicom na poklopcu valovitog kotla.	40
Slika 8.1.12 Prikaz rezultata mjerenjem debljine otiska pomoću mikrometra	40
Slika 8.1.13 Prikaz rezultata mjerenja hrapavosti poklopca mjernim uređajem	41
Slika 8.1.14 Nacrt poklopca čija se hrapavost mjeri	42
Slika 8.1.15 Uspoređivanje površine poklopca sa površinom segmenata komparatora	43
Slika 8.1.16 Mjerenje hrapavosti pomoću testex trakica na velikom poklopcu	44
Slika 8.1.17 Tri otisnuta uzorka hrapavosti i mjerenje mikrometrom	44
Slika 8.1.18 Prikaz rezultata mjerenja mjernim uređajem	46
Slika 8.2.1 Prirubnica čiju hrapavost mjerimo	46
Slika 8.2.2 Prikaz mjerenja hrapavosti prirubnice mjernim uređajem	47
Slika 8.2.3 Prikaz rezultata mjerenja	48
Slika 8.2.4 Rezultati mjerenja hrapavosti – hrapavost izvan dopuštenih granica	49
Slika 8.2.5 Prikaz grublje, hrapavije površine i finije površine prirubnice nakon tokarenja ...	49

POPIS TABLICA

Tablica 4.2.1 Standardne referentne dužine [7]	12
Tablica 4.3.1. Simboli za tragove obrade na površinama [3]	15
Tablica 5.3.1. Vrijednosti cut-off-a [8]	19
Tablica 6.1.1 Stupnjevi čistoće pjeskarenih površina [4]	23
Tablica 7.1.1. Stupnjevi stanja površine kod mjerenja usporednim pločicama [4]	26
Tablica 8.1.1 Parametri potrebni za mjerenje hrapavosti [10]	36
Tablica 8.3.1 Orijentacijske vrijednosti hrapavosti s obzirom na vrstu obrade [3]	51
Tablica 8.3.2 Rezultati mjerenja mjernim uređajem MahrSurf PS1	52
Tablica 8.3.3 Rezultati mjerenja Testex (replika) trakicama	53

LITERATURA

- [1] dr. Želimir Dobovišek, dipl. ing., Tehniške meritve v strojništvu, Maribor, 1996
- [2] <http://www.am.unze.ba/papers/ProizvodnaMjerenjaPoglavlje2.pdf>
- [3] https://www.fsb.unizg.hr/elemstroj/pdf/design/2007/hrapavost_tehnickih_povrsina.pdf
- [4] ISO 8501-1:2007 The Rust Grade book , Swedish standard institute
- [5] Inspector"s book of reference, Corrosion protection, Denmark, 2003
- [6] http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_kons_stroj/nas/LabVjezbe_A/Download/Lab_vj_hrapavost_slike.pdf
- [7] <http://www.quality.unze.ba/zbornici/QUALITY%202005/053-Q05-047.pdf>
- [8] http://repozitorij.fsb.hr/1913/1/09_07_2012_Ante_Jovic.PDF
- [9] https://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1484642872-0-hrapavost.pdf
- [10] Operating Instructions Mahr GmbH, Carl-Mahr-Strasse 1, D-37073 Gottingen
- [11] Ivan Esih, Osnove površinske zaštite, Zagreb, 2010.
- [12] Mirko Gojić prof. dr. sc., Površinska obrada materijala, Sisak 2010

PRILOZI

Prilog 1. Stanja pjeskarenih površina prema ISO 8501-1:2007

Prilog 2. Zahtjevi proizvođača boja za pripremu prije premaza i za hrapavost

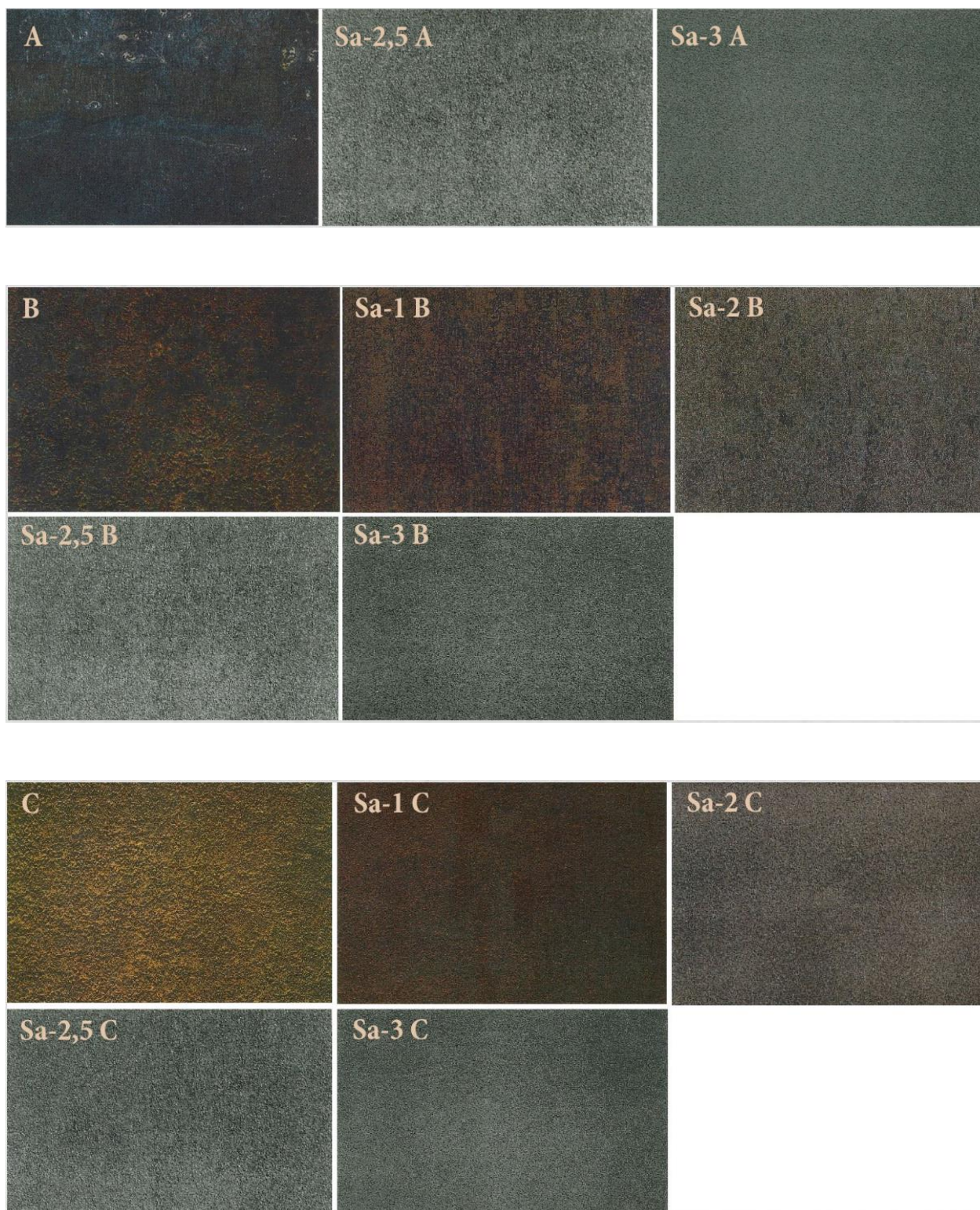
Prilog 3. Zahtjevi kupca za antikorozivnu zaštitu površine, AKZ lista

Prilog 4. Crtež poklopca velikog kotla

Prilog 5. Nacrt prirubnice

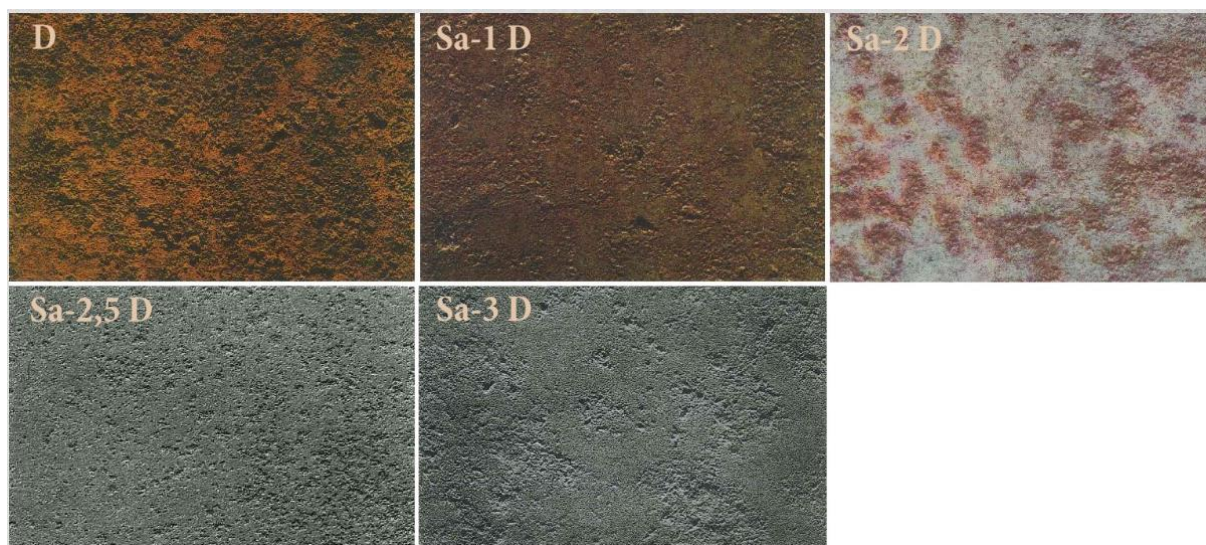
Prilog 1. Stanja pjeskarenih površina prema ISO 8501-1:2007 . (1. dio)

Vidi poglavlje 6.1.1.



Prilog 1. Stanja pjeskarenih površina prema ISO 8501-1:2007 . (2. dio)

Vidi poglavlje 6.1.1.



Prilog 2. Zahtjevi proizvođača boja za pripremu površine prije premaza i za hrapavost

F_013

TECHNISCHES DATENBLATT / TECHNICAL DATA SHEET

2-K BESCHICHTUNG / 2-PACK MATERIAL


CHING
 PROTECTIVE COATINGS • INDUSTRIAL COATINGS

1. Allgemeine Stoffangaben
general data

Bindemittel
binder

Register
register

EP

-

Bezeichnung
name of product

CHING-EP-Zinkstaub-Grund
dickschichtig 60-100 µm
EMD 156-HS

Härter
hardener

CHING-Härter M 026

Mischungsverhältnis
mixing ratio

100 : 11
 100 : 31 bzw. 3,2 : 1

Massenteile KI : K II / *parts by weight*
 Volumenteile KI : KII / *parts by volume*

Art
generic type

zinkstaubhaltige Grundbeschichtung auf Epoxidharzbasis für Stahlbauten
 im schweren Korrosionsschutz

Einsatzgebiet
field of application

Industriehallen, Flughafengebäude, Lager, Parkhäuser, Chemieanlagen,
 Schilderanlagen, Ingenieurbauten, Industrie- und Hallenbau, Tankanlagen,
 Müllverbrennungsanlagen, Kraftwerksbereich u.a.

Lieferbare Farbtöne
available colours

grau, graurötlich

2.* Zusammensetzung
composition*

Bindemittelbasis
binder

Epoxidharz

Pigmentbasis
pigments

Zinkstaubkombination

Lösemittel
thinner

Aromaten und Glykolether

3.* Lacktechnische Daten
technical data

* alle Daten bezogen auf den Farbton /
 all facts referring to colour

grau

Glanzgrad
gloss

matt

Festkörpervolumen
solids by volume

223

cm³ / kg

49

Vol-%

Dichte
density

2,2

± 0,1 g/cm³

theoretischer Verbrauch
theoretical consumption

358

g / m²

Viskosität
viscosity

18 - 23

DIN-8-
 Sekunden

Theoretische Ergiebigkeit
theoretical spreading rate

2,8 m² / kg

80 µm

Temperaturbeständigkeit
temperature resistance

ca. 160°C trockene Wärme
dry load

Topfzeit/*pot-life*

ca. 6 - 8 h

im 10 kg
 Gebinde
 bei 20 °C

Das Beschichtungssystem ist erfahrungsgemäß für die Vapour-
 Phase-Trocknung sowie für die Betriebstemperaturen von
 Transformatoren geeignet.

Prilog 2. Zahtjevi proizvođača boja za pripremu prije premaza i za hrapavost površine

4. Trockenzeiten drying time				
TG 1 staubtrocken <i>dust – dry</i>	ca. 20 min.	bei /at	80	µm Normklima <i>µm standard climate</i>
TG 5 griffest <i>dry to touch</i>	ca. 3 h	bei /at	80	µm Normklima <i>µm standard climate</i>
TG 7 mech. belastbar <i>mechanical stress resistance</i>	ca. 8-10 h	bei /at	80	µm Normklima <i>µm standard climate</i>
überarbeitbar nach <i>recoatable after</i>	ca. 4-6 h	mit geeigneter Folgebeschichtung z.B. 2K-EP-Zwischenbeschichtung, sowie CHING-HYDROVERSAL-Zwischenbeschichtung mit geeigneter Folgebeschichtung z.B. 2K-PUR-Deckbeschichtung sowie CHING-HYDROVERSAL-Deckbeschichtung		

5. Verarbeitungshinweise application				
Oberflächenvorbereitung <i>substrate preparation</i>	gemäß DIN EN ISO 12944-4; Stahl, gestrahlt Sa 2 ½ (bis Sa 3) mit kantigen Strahlmittel, Rauheitsgrad gemäß EN ISO 8503-1 mittel (G), Rautiefe Rz 70-90µm			
Streichen <i>brush application</i>	Lieferform			
Rollen <i>roller application</i>	in Lieferform bedingt möglich - wegen Strukturbildung und Minderschichtdicken wird beim Rollen mehrfache Applikation empfohlen			
Fluten <i>ow application</i>	---			
	ca. DIN – 4 Sek. <i>approx. DIN – 4 sec.</i>	Verdünnungszugabe <i>thinning ratio</i>	Druck <i>pressure</i>	Düse <i>nozzle</i>
Hochdruckspritzen <i>h</i>	40 - 90	ca. 7 - 12 % EM 01 Verdünnung	4 - 5 bar	1,5 - 2,5 mm
Airless-Spritzen <i>airless spraying</i>	Lieferform	bis zu 5 % EM 01 Verdünnung	140 - 240 bar	0,28 - 0,45 mm
andere Applikationen <i>other applications</i>	---			
air-subject-temperature ^r	mind./min: +7 °C, maximal/max: +40 °C			
Taupunkt <i>point</i>	mind. 3 °C unter Luft- und Objekttemperatur dew <i>at least 3°C below air- and subject temperature</i>			
empfohlene Schichtdicke <i>recommended thickness</i>	60 - 100 µm			

6. Sonstiges other information	
Lagerstabilität <i>shelf life</i>	12 Monate im ungeöffneten Originalgebinde, kühl aber frostfrei lagern
weitere Hinweise <i>further information</i>	222-156-002

Ausgabedatum/date of issue:		01/2017
Wir empfehlen unsere Erzeugnisse aufgrund der heutigen Erkenntnisse. Für die Verarbeitung und Verwendung unserer Beschichtungsstoffe und Lacke sind die einschlägigen Normen maßgebend, für den Korrosionsschutz DIN-EN-ISO 12944, soweit nicht andere Stoff- und Verarbeitungsvorgaben vorliegen. Wegen der Vielseitigkeit der Anwendungs- und Verarbeitungsmöglichkeiten kann jedoch hieraus keine Verbindlichkeit abgeleitet werden. Soweit das in diesem Datenblatt vorgesehene Produkt Teil eines Systems ist, sind die technischen Regeln für den Gesamtaufbau zu beachten. Mit Erscheinen dieses Datenblattes verlieren die bisherigen Ausgaben ihre Gültigkeit; bitte fordern Sie vor der Anwendung das neueste Datenblatt und Sicherheitsdatenblatt an. <i>We recommend our products on the basis of the latest research findings. For processing and applying our coating materials and varnishes, the official standards apply. That is DIN-EN-ISO 12944 for corrosion protection if no other processing instructions apply. Due to the versatility of processing and application opportunities, these standards are not generally applicable. In case the product described here is part of a system, the technical rules for this system must be considered. This data sheet replaces all preceding editions. Before applying our product, please ask for our actual data sheet and security data sheet.</i>		

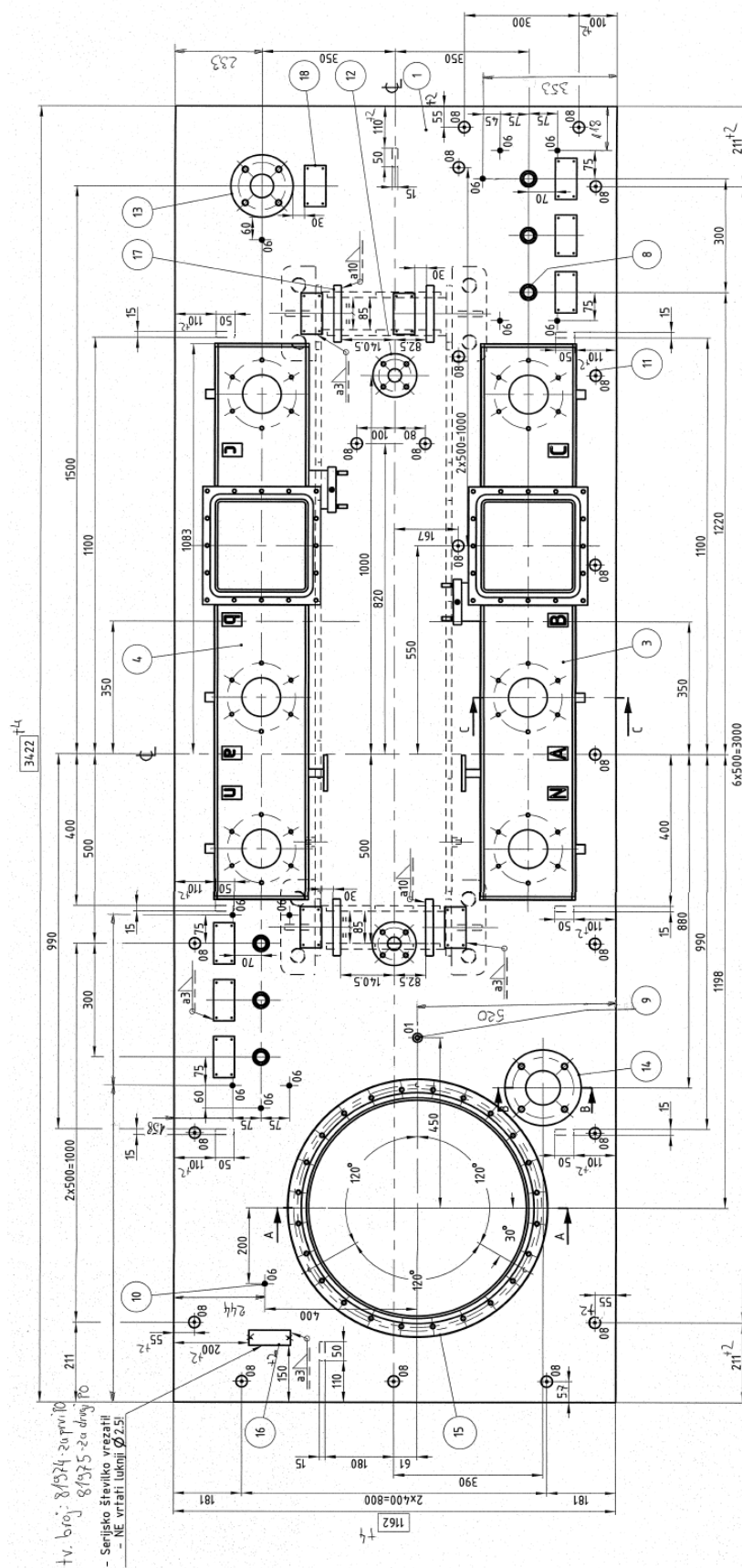
Prilog 3. Zahtjevi kupca za antikorozivnu zaštitu površine, AKZ lista

PROTIKOROZIJSKI SISTEM KATEGORIJE C4, A4.20.21 (H) ISO 12944-5:2007 Transformatorskega kotla in opreme < EP s cinkom v prahu – EP vmesna barva – PUR >		PRILOGA 2 H CHING		
		Kar. štev.: 4029		
		Datoteka: C4_ISO_12944_A4.20.21H_C_4029_CHING		

Paint sistem N ^o - A4.21 - Σ=240 μm	PREMAZ	NOTRANJI OSNOVNI	ZUNANJI		
			OSNOVNI	MEDSLOJNI	POKRIVNI
	Naziv premaza	EMC 182 white K-DB	CHING EMD 156 HS grey	CHING EMD 30 DB 703	CHING PUR POKRIVNI PREMAZ
	Vrsta premaza	epoksidni temeljni premaz	epoksidni temeljni premaz s cinkom v prahu	epoksidna smola in železov luskavec	nasičeni poliestri izocian. trdilec
	Niansa	bela mat	siva mat	temno siva mat	Ral 7032 ADD 47
	Proizvajalec premazov	CHING	CHING	CHING	CHING
	Stanje površin pred peskanjem ISO 8501-1:2007	A ali B	A ali B	/	/
	Stanje površin pred nanašanjem premazov ISO 8501-1:2007	Sa 2½	Sa 2½	- suha - razprašena - nemastna	- suha - razprašena - nemastna
	Število in debelina slojev	1x40 μm	1x90 μm	1x80 μm	1x70 μm
	Skupno odstopanje debeline slojev	± 10 μm	(2)*	(2)*	(2)*
T. Parkelj J. Rapuš A. Grčar	Način nanašanja slojev	- airless - zračno brizganje - valjček - čopič	- airless - zračno brizganje - valjček - čopič	- airless - zračno brizganje - valjček - čopič	- airless - zračno brizganje - valjček - čopič
	Oprijem nanosov EN ISO 2409:2013	1	1	1	2
	Izdatnost (orientacijsko)	~ 5,7 m²/kg	~ 2,3 m²/kg	~ 4,3 m²/kg	~ 5,3 m²/kg
Izdelal: 07.08.2006 Pregledal: 07.08.2006 Odobril: 07.08.2006	OPOMBE: 1. Končna kontrola oprijema in debeline nanosov se opravi na dobro presušenem premazu. 2. Stopnja očiščenosti površin peskanih z jeklenimi kroglicami ali drugim izbranim sredstvom, se določa po ISO 8501-1:2007, na podlagi slikovnih vzorcev. 3. (2)* Debelina suhega barvnega filma mora biti v skladu z ISO 12944-5:2007, poglavje 5.4. 4. Za aplikacije je potrebno uporabljati tehnična navodila proizvajalca premaznega sredstva ter standard ISO 12944-5:2007. 5. Pri delu z izbranimi premazi je potrebno upoštevati minimalni oziroma maksimalni čas, ki mora oziroma sme preteči od nanosa predhodnega premaza. 6. Za morebitna odstopanja od gornjih zahtev mora izvajalec pridobiti soglasje naročnika, o čemer obvesti odgovorno osebo naročnika ¹⁾ (tistega, ki je dokument izpolnil in podpisal).				

Dokument izpolnil ¹⁾ :	Datum:	Podpis:	KOLEKTOR ETRA Energetski transformatorji d.o.o.
M. Pegam	06.02.2017		

Prilog 4. Crtež poklopca velikog kotla



NAPOMENA: Prilikom mjerenja hrapavosti poklopca, potrebno je bilo mjeriti na tri mjesta zbog veličine poklopca.

Prilog 5. Nacrt prirubnice

