

**Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу  
Војна академија Универзитета одбране у Београду**

**Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство**

**Ниво студија: Основне академске студије**

**Модул: Пројектили и упаљачи**

**Предмет: Корозија и заштита материјала**

**Број индекса: 530/2013**



**Глишић Милан**

**Инструменти за испитивање премаза без разарања**

**Дипломски рад**

**Комисија за преглед и одбрану:**

**1. доц. др Михаел Бучко – ментор**

**Датум одбране: \_\_\_\_\_**

**2. \_\_\_\_\_**

**Оцена: \_\_\_\_\_**

**3. \_\_\_\_\_**

**Крагујевац 2018**

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да:

1. Представи инструменте и начин употребе инструмената за испитивање премаза
2. Представи поступке калибрације уређаја за мерење
3. Опише стандарде за мерење дебљине сувог слоја премаза
4. Опише инструменте помоћу којих се утврђују појаве пора, оштећења и непокривених места на превлаци.

Препоручена литература:

1. В. Вујичић, *Корозија и технологија заштите метала*, Војна академија, Београд, 2002.
2. В. Б. Мишковић-Станковић, *Органске заштитне превлаке*, Савез инжењера и техничара за ЗМ Србије, Београд, 2001.
3. Coating Inspector Program, Level 1, Student Manual, NACE International, December 2007.
4. Tom Swan, *The Coating Inspectors Handbook*, Testco, TX, 2015.
5. A. Bahadori, *Essentials of Coating, Painting, and Lining for the Oil, Gas and Petrochemical Industries*, Chapter 1 - *Surface Preparation for Coating, Painting, and Lining*, 1-105, 2015.
6. National Institute of Standards and Technology
7. International Maritime Organisation (IMO)

Крагујевац, 2018. године

ментор:

доц. др Михаел Бучко

---

## Садржај

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Увод.....                                                                                                                     | 4  |
| 2. Инструменти за испитивање премаза са разарањем.....                                                                           | 5  |
| 3. Инструменти за испитивање премаза без разарања.....                                                                           | 6  |
| 3.1. Уређаји за мерење дебљине влажног слоја .....                                                                               | 6  |
| 3.2. Однос дебљине влажног и сувог слоја.....                                                                                    | 7  |
| 3.3. Магнетни уређаји за мерење дебљине сувог слоја .....                                                                        | 8  |
| 3.4. Површина на којој се мери дебљина премаза .....                                                                             | 13 |
| 3.5. Резолуција MSC.216(82) Међународне поморске организације (ИМО), Мерења дебљине сувог слоја.....                             | 15 |
| 3.6. Магнетни уређај за мерење дебљине сувог слоја са повлачењем .....                                                           | 16 |
| 3.7. Уређај за мерење са повлачењем, модел оловке (SSPC-PA 2 Тип 1В) .....                                                       | 18 |
| 3.8. Уређај за мерење дебљине сувог слоја са сондом под константним притиском.....                                               | 19 |
| 4. Калибрација уређаја за мерење дебљине сувог слоја .....                                                                       | 20 |
| 4.1. Поступак калибрације помоћу NIST стандарда .....                                                                            | 20 |
| 4.2. NIST стандардни узорци за калибрацију .....                                                                                 | 20 |
| 4.3. Калибрација помоћу немагнетних подложних плочица .....                                                                      | 21 |
| 4.4. Ефекат ивице .....                                                                                                          | 22 |
| 4.5. Боје које садрже Fe-оксид као пигмент.....                                                                                  | 23 |
| 5. Опис стандарда за мерење дебљине сувог слоја премаза, SSPC-PA 2 - Мерење дебљине сувог слоја премаза магнетним мерилима ..... | 24 |
| 5.1. Опис уређаја за мерење .....                                                                                                | 25 |
| 5.2. Процедуре калибрације, верификације, подешавања и мерења .....                                                              | 25 |
| 5.3. Потребан број мерења ради усклађивања са спецификацијом дебљине .....                                                       | 27 |
| 6. Утврђивање пора, оштећења и непокривених места на превлаци .....                                                              | 43 |
| 6.1 Нисконапонски детектор оштећења– влажни сунђер.....                                                                          | 43 |
| 6.2. Висконапонски импулсни детектор оштећења са једносмерном струјом.....                                                       | 46 |
| 6.3. Висконапонски детектор оштећења са наизменичном струјом.....                                                                | 49 |
| 7. Практичне вежбе у лабораторији са инструментима које користе инспектори за превлаке .....                                     | 52 |
| 8. Закључак .....                                                                                                                | 55 |
| 9. Литература.....                                                                                                               | 56 |

## 1. Увод

Данашње тржиште нуди широк асортиман инструмената за испитивање премаза. Они могу бити инструменти испитивања са разарањем или без разарања. Овај рад ће ставити акценат на описивање инструмената за испитивање без разарања као и стандарда по којима се употребљавају и калибрацију истих. Најраширенији метод заштите металних конструкција од корозије је наношење заштитних премаза, односно боја и лакова, на површину метала. Када се нанети премаз осуши и очврсне, потребно је исти испитати, како би се утврдило да ли је усклађен са траженим стандардима. Уобичајени тестови испитивања подразумевају проверу одговарајуће дебљине слоја, пора у премазу и других карактеристика материјала [1].

У овом раду, биће речи о инструментима који се користе за мерење дебљине сувог слоја (DFT – dry film thickness) и за утврђивање присуства неравнина и пора у премазу.

Већи део рада посвећен је томе да нанети премаз мора имати дебљину слоја у складу са спецификацијом. Премази који су сувише дебелог или танког слоја често ће за резултат имати рано пропадање и захтеваће трошкове преправки [2].

Непокривена места (оштећења) или поре (тј. неравнине, рупе, укључци, подручја са славим слојем премаза, или пукотине у премазу) требало би идентификовати и отклонити како би премаз имао захтеван учинак. Било какав недостатак, мали чак и попут једне поре, неприхватљив је у кључним ситуацијама за ефекат учинка премаза, попут премаза у поступку потапања код цистерне или посуде под притиском, па може узроковати одбацивање читавог система премаза [3].

## 2. Инструменти за испитивање премаза са разарањем

Данашње тржиште нуди широк асортиман инструмената за испитивање премаза. Они могу бити инструменти испитивања *са разарањем* или *без разарања*.

Део премаза може бити оштећен или уништен током процеса тестирања одређеним методама. Инструменти испитивања са разарањем обично се користе при откривању недостатака органских премаза и других врста превлака. Ретко се употребљавају за уобичајена тестирања у контроли квалитета [3].

Инструменти обично коришћени за тестирање премаза са разарањем обухватају:

- Туков уређај за мерење (Тооке Gauge), за мерење дебљине слоја премаза
- Тестер приањања, за мерење приањања слоја премаза

Ниједан тест који би могао оштетити премаз не би требало применити, сем ако другачије није назначено или дозвољено од стране власника предмета који се штити премазом.

Овај рад ће ставити акценат на описивање инструмената за испитивање без разарања [4].

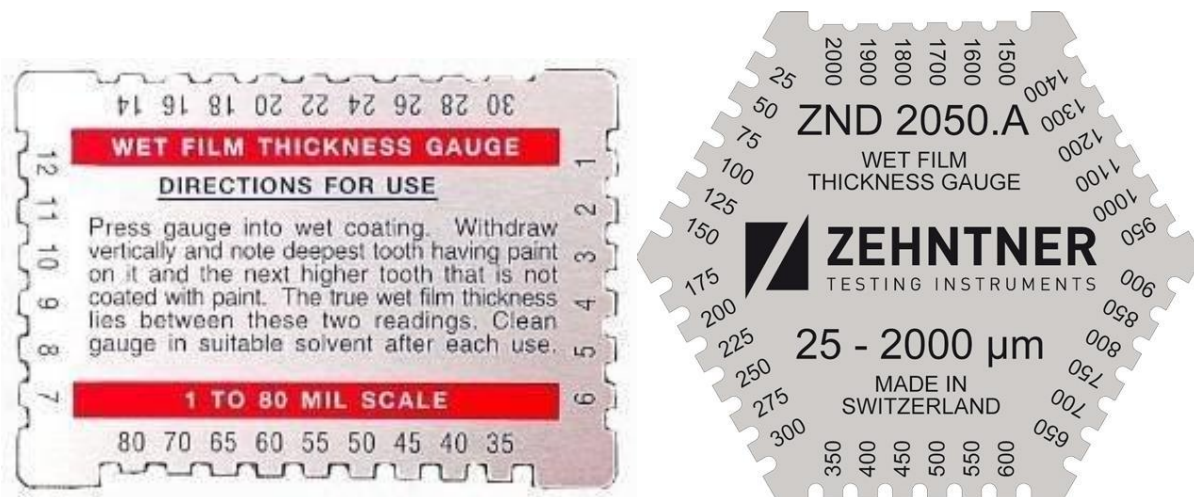
### 3. Инструменти за испитивање премаза без разарања

Инструменти испитивања без разарања, при правилној употреби, не уништавају премаз на коме су коришћени. Већина типова уређаја за мерење дебљине сувог слоја (DFT) функционише без оштећења премаза. У овом делу, даје се опис основних инструмената контроле квалитета, укључујући:

- уређај за мерење дебљине влажног слоја (WFT – wet film thickness)
- уређај за мерење дебљине сувог слоја (DFT – dry film thickness), заједно са:
- Магнетним уређајима за мерење са опругом
- Магнетним уређајима за мерење са фиксираном сондом
- Детектори непокривених места– испитивачи порозности материјала, укључујући:
- Нисконапонски детектор порозности помоћу једносмерне струје и влажног сунђера
- Висконапонски детектор порозности помоћу једносмерне струје
- Висконапонски детектор порозности помоћу наизменичне струје [5].

#### 3.1. Уређаји за мерење дебљине влажног слоја

Важно помоћно средство било ком инструменту за мерење дебљине сувог слоја, јесте уређај за мерење дебљине влажног слоја премаза. Ако је за дати премаз, познат однос између запремине влажног и сувог слоја премаза, онда апликатор може извршити мерење дебљине влажног слоја, неопходне за формирање жељеног нивоа дебљине сувог слоја [5].



Слика 1: Инструменти за мерење дебљине влажног слоја

Најчешћи инструмент за мерење дебљине влажног слоја јесте чешаљ за мерење дебљине влажног слоја (уређај за мерење са зупцима). Састоји се од нанизаних мерних зубаца који се налазе између два спољна зупца. Доступни су чешљеви за мерење дебљине влажног слоја различитих скала (нпр.  $\mu\text{m}$ , mil (хиљадити део инча)).

Уређај за мерење се чврсто утисне у слој влажне фарбе тако да се крајњи зуби споје са металном подлогом или површином на којој је већ чврста превлака. Уређај за мерење мора бити под правим углом према површини. Уређај за мерење се уклања, а зупци испитују. Неки од зуба биће премазани бојом, док остатак остаје чист. Права мера дебљине влажног слоја налази се између последњег зуба који је покривен бојом и следећег (вишег) зуба који је остао непокривен. Права мера дебљине влажног слоја јесте она која се читава са последњег зуба уређаја за мерење који је премазан бојом [1].

### 3.2. Однос дебљине влажног и сувог слоја

Познавање односа дебљине влажног и сувог слоја, омогућава апликатору да претпостави дебљину сувог слоја премаза, већ у тренутку наношења. Овај однос се изражава као

$$\text{Однос дебљине} = \frac{\text{Дебљина сувог слоја}}{\text{Дебљина влажног слоја}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

Како би извођачу радова ова једначина била од користи, њени параметри морају заменити

места. Однос дебљина обично се наводи у листама техничких података произвођача премазног средства. Жељена дебљина сувог слоја такође може бити захтевана у листи техничких података, али је такође врло могуће да се назначи кроз спецификацију. Дебљина влажног слоја може се израчунати следећом једначином:

$$\text{Дебљина влажног слоја} = \frac{\text{Дебљина сувог слоја}}{\text{Однос дебљине}} \times 100 (\%) \quad (2)$$

Извођач радова сада може израчунати жељену дебљину влажног слоја премаза, проверити саму дебљину током наношења, и прилагодити технику наношења како би се достигао жељени ниво дебљине сувог слоја [4].

Додавање разређивача премазима умањује однос дебљине влажног и сувог слоја. Ако је разређивач додат, једначина ће имати смисла уколико је урачуната модификација због додатка разређивача [3].

### 3.3. Магнетни уређаји за мерење дебљине сувог слоја

Уобичајене врсте једноставних инструмената за мерење дебљине сувог слоја премаза обухватају:

Магнетне уређаје за мерење дебљине сувог слоја са повлачењем, који користе калибрисану опругу за повлачење малог постојаног магнета преко премазане површине, укључујући:

- Уређај за мерење са бројчаником



*Слика 2:Магнетни уређај за мерење дебљине сувог слоја са повлачењем и бројчаником*

- Уређај за мерење са повлачењем, модел оловке



*Слика 3:Магнетни уређај за мерење дебљине сувог слоја са повлачењем, модел оловке*

Магнетни уређаји за мерење дебљине сувог слоја са константним притиском, који зависе од промена у магнетном флуксу унутар сонде, и обухватају:

- Уређај за мерење са двоструком сондом
- Уређај за мерење са једном сондом [4].



*Слика 4: Магнетни уређај за мерење дебљине сувог слоја са константним притиском*

Мора се водити рачуна о одређеним проблемима код свих инструмената код којих се користе магнетне сонде. Прво, изложени магнет може привући било које неучвршћене челичне делове, сачму или комадиће песка који се налазе у близини. Магнет најпре треба очистити од било каквих нечистоћа које могу угрозити читавање. Важно је да подручје подлоге на којој се мерење врши буде чисто; у супротном, читавање неће измерити размак између површине предмета и магнета, чему је и намењено. У том размаку се заправо могу наћи рђа, остаци пескарења абразивним средствима, или друге нечистоће, које би могле неповољно утицати на читавање. Важна је пажљива провера чистоће површине, како пре nanoшења премаза, тако и између сваког премаза [3].

Друго, ако је инструмент коришћен на лепљивим слојевима, читавањем се може добити **мања** дебљина од оне реалне. До тога долази јер сам слој задржава магнет уз површину изван одређене тачке када би магнет иначе био одгурнут. При коришћењу на меком премазу, врх би притиснуо сам премаз, доводећи тако до читавања **тањег** слоја [4].

Треће, вибрација подлоге може узроковати одскакање магнета са подлоге пре него што би се то иначе десило, што ће довести до читавања високе дебљине слоја. Магнетни инструменти могу такође бити подложни утицају магнетних поља близу ивица. Уколико је то могуће, инструмент не би требало користити на раздаљини мањој од 25 mm од ивице подлоге [2].

Четврто, код уређаја за мерење са повлачењем и бројчаником, бројчаник се лако окреће и

након тачке где је магнет подигнут од подлоге, што ће резултирати нетачним читавањем. Овај проблем решава се новијим моделима ових инструмената уз помоћ аутоматског механизма, који бројчаник окреће утврђеном брзином и зауставља се онда кад се магнет подигне од премазане површине [3].

Мерења дебљине требало би вршити након примене сваког слоја у вишеслојном систему. Ипак, код уређаја за мерење који испитивање врше без разарања, тешко је одредити тачну дебљину сваког појединачног наредног слоја након самог првог слоја, и мора се урадити укупно мерење дебљине сувог слоја премаза.

Дебљина сваког појединачног слоја може се одредити рачунањем. На пример, други слој се може одредити одбијањем просечне дебљине првог слоја од укупне измерене дебљине. Вредност дебљине сувог слоја биће само процена, јер је мала вероватноћа да друга група мерења буде вреднована исто као група мерења првог слоја, а вредност дебљине сувог слоја код првог слоја може бити лоше приказана [4].

Мерења дебљине слоја врше се ради поштовања спецификације. Јасно је да инспектор не може мерити дебљину сувог слоја за сваки  $\text{cm}^2$  премазане површине. Стога, инспектори морају знати да примене неке стандардне или договорене методе мерења, а добијене вредности би требало да прикажу дебљину сувог слоја премаза [6].

Методе мерења дебљине сувог слоја дефинисане су различитим стандардима. ASTM D 7091 и SSPC-PA 2 дефинишу сличне методе за калибрисање магнетних уређаја за мерење дебљине сувог слоја и за узимање мера дебљине сувог слоја код немагнетних премаза преко челичних магнетних металних површина. Зато ће даље бити размотрена само SSPC-PA 2 спецификација [4].

Одређена спецификација може захтевати друге стандарде, а инспектор мора обратити пажњу код примене стандарда дефинисаног спецификацијом. Ако ниједан стандард није дефинисан, онда би било најприкладније применити стандардни метод, попут SSPC-PA 2, и радити према упутствима утврђеним договором унутар самог пројекта стварања превлаке. Још једна могућност је да инспектор предложи метод за учесталост калибрације и мерења, и метод би требало да буде прихваћен од стране свих укључених страна, по могућству на састанку пре почетка посла [1].

Услови стандарда SSPC -PA 2 су следећи: 5 мерења у тачки (увек се узима просек од 3

очитавања) за сваких измерених  $10 \text{ m}^2$ . Појединачна мерења не подлежу правилима, али су обухваћена у просечној вредности за мерну тачку. Тако добијена просечна вредност са 5 мерења у тачки (тј. 15 појединачних мерења) не може бити ни виша ни нижа од предвиђене дебљине. Свако појединачно мерење у тачки не може бити ниже од 80% предвиђене дебљине, и не више од 120%. Пример евиденције мерења је дат у Табели 1.

| Тачке                        | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Очитавање 1                  | 7.5 | 9.2 | 8.6 | 8.1 | 9.6 |
| Очитавање 2                  | 8.1 | 9.1 | 8.7 | 8.2 | 9.5 |
| Очитавање 3                  | 7.7 | 9.0 | 8.8 | 8.3 | 9.4 |
| Просек                       | 7.8 | 9.1 | 8.7 | 8.2 | 9.5 |
| Укупни просек, $\mu\text{m}$ |     |     |     |     | 8.7 |

Табела 1. Евиденција мерења са стандардом SSPC-PA 2

Минимална дебљина слоја: просек мерења у тачки за сваких  $10 \text{ m}^2$  површине не би требало да буде мањи од захтеване минималне дебљине слоја. Ниједно мерење у тачки у било ком подручју од  $10 \text{ m}^2$  не треба износити мање од 80% захтеване минималне дебљине. Увек се може десити да неко очитавање покаже много мању вредност дебљине од просека. Ако је просек мерења у тачкама за дато подручје од  $10 \text{ m}^2$  усклађен или пређе захтевану минималну дебљину, али једно или више мерних тачки показује мање од 80% захтеване минималне дебљине, морају се извршити додатна мерења како би се дефинисало подручје које није усклађено са критеријумима [4].

Максимална дебљина слоја: просек мерења у тачки за сваких  $10 \text{ m}^2$  површине не би требало да буде већи од захтеване максималне дебљине слоја. Ниједно мерење у тачки у било ком подручју од  $10 \text{ m}^2$  не сме износити више од 120% од захтеване максималне дебљине. Вредност било ког очитавања уређајем за мерење може бити већа у неким

тачкама. Зато, ако је просек мерења у тачки за дато подручје од  $10 \text{ m}^2$  усклађен или је испод дозвољене максималне дебљине, али једно или више мерних тачака показује више од 120% од захтеване максималне дебљине, морају се извршити додатна мерења како би се дефинисало подручје које није усклађено са критеријумима. Од помоћи може бити и литература произвођача уколико су у посебним околностима дозвољене веће вредности читавања максималне дебљине слоја [2].

### 3.4. Површина на којој се мери дебљина премаза

За подручја мања од  $100 \text{ m}^2$ , према стандарду је потребно насумично одабрати и измерити 3 подручја од  $10 \text{ m}^2$ . Ако је дебљина сувог слоја ових подручја у складу са захтеваним ограничењима, наставити са радом. Уколико то није случај, извршити даља мерења како би се одредила подручја неусклађена са критеријумима, а онда почети поново са радом.

За подручја већа од  $100 \text{ m}^2$ , измерити првих  $100 \text{ m}^2$  као што је изнад описано, а, у случају да је дебљина сувог слоја прихватљива, за сваких следећих  $100 \text{ m}^2$ , насумично одабрати и измерити једну област од  $10 \text{ m}^2$  [1].

Све ове одреднице и процедуре, према стандарду, могу варирати самим договором, као што се дефинише у стандарду SSPC-PA 2: „Остале величине подручја или број мерења у тачки могу бити захтевани у документима наручивања посла као прихватљиве, сходно величини и облику структуре која се мери. “Као и код свих стандарда, инспектори за превлаке би требало да се временом детаљно упознају са овом спецификацијом.“

SSPC описује технике калибрације за коришћење две методе и дефинише уређаје за мерење дебљине сувог слоја у две категорије према техникама калибрације. Магнетни уређаји за мерење дебљине сувог слоја са повлачењем означени су као SSPC-PA 2, Тип I, а уређаји за мерење са фиксном сондом означени су као SSPC-PA 2, Тип II [4].

Још један стандард, често наведен у спецификацијама, је ASTM D 7091 „Стандардна методологија мерења без разарања дебљине сувог слоја немагнетних премаза са применом на легуре са железом и немагнетне, непроводне премазе са применом на обојене метале. Као и SSPC-PA 2, овај стандард мери дебљину немагнетних премаза нанетих на подлоге од црних метала (метала који садрже гвожђе), као и немагнетних, непроводних премаза нанетих на обојене метале. Такође може бити у употреби и стандард BS 3900 „Методе

тестирања боја“, део С5 [3].

Који год стандардни метод је примењен, важно је прибележити тачан број мерења. Инспектор за превлаке може користити табелу сличну овој у Инспекторском записнику премаза, ради потврде да су обављена сва важна мерења и калкулације [5].

Први премаз

Захтевана дебљина сувог слоја (DFT) Мин: \_\_\_\_\_ Мах: \_\_\_\_\_

Место: \_\_\_\_\_

| Тачке  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------|---|---|---|---|---|
| 1      |   |   |   |   |   |
| 2      |   |   |   |   |   |
| 3      |   |   |   |   |   |
| Просек |   |   |   |   |   |

Табела 2. Пример евиденције дебљине сувог слоја премаза

Укупни просек дебљине сувог слоја (DFT): \_\_\_\_\_

Минимална дебљина сувог слоја: \_\_\_\_\_

Максимална дебљина сувог слоја: \_\_\_\_\_

Подударање са спецификацијом, Да/ Не?: \_\_\_\_\_

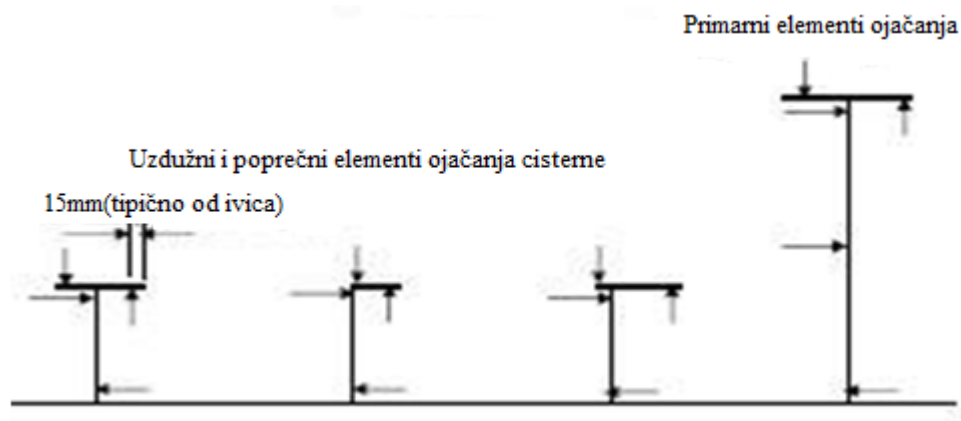
Када се утврде подручја која нису усклађена са стандардима, корисно је обележити она подручја где су слојеви премаза превише дебели или превише танки. Ово се може урадити применом слоја друге боје истог премаза, али ни у ком случају не сме доћи до стварања трагова који би могли оштетити премаз. Метод обележавања недостатака премаза требало би да буде договорен на састанку пре почетка посла [6].

Још једна метода прикупљања података о дебљини премаза, је приказана у Резолуцији MSC.216(82).

### 3.5. Резолуција MSC.216(82) Међународне поморске организације (ИМО), Мерења дебљине сувог слоја

Стандард Међународне поморске организације има посебну методологију за прикупљање мерења дебљине сувог слоја. Потребно је предузети следеће мере провере дебљине сувог слоја:

- Једно мерење уређајем за мерење на сваких  $5 \text{ m}^2$  равне површине
- Једно мерење уређајем за мерење у размацима од 2 m до 3 m и што ближе ивицама цистерне (резервоара), али не даље од 15 mm од ивица цистерне (резервоара).
- Уздужни и попречни елементи ојачања цистерне: једна група читавања се узима на размаку од 2 до 3 m и не мање од две групе мерења се врше између примарних елемената ојачања, као што показује слика 5 [4].



Слика 5: Читавања на уздужним и попречним елементима ојачања.

- Три читавања уређајем за мерење за сваку групу примарних елемената ојачања и два читавања уређајем за мерење за сваку групу других елемената, као што је назначено стрелицама на дијаграму
- За примарне елементе ојачања (носачи и трансверзале), једна група читавања уређајем за мерење у размаку 2 до 3 m, али не мање од три групе
- Око отвора, једно читавање уређајем за мерење са сваке стране отвора;
- Пет читавања уређајем за мерење по  $\text{m}^2$ , али не мање од три читавања извршена на комплексним подручјима (нпр. велики подупирачи примарних елемената ојачања)
- Додатне провере подручја треба да се изврше како би се утврдила дебљина премаза

за било коју област коју инспектор сматра неопходном [5].

### 3.6. Магнетни уређај за мерење дебљине сувог слоја са повлачењем

Магнетни уређај за мерење дебљине сувог слоја са могућношћу повлачења је једноставан механички алат који функционише по принципу магнетног привлачења челичне површине. Сила привлачења умањена је присуством немагнетне препреке између стабилног магнета и површине. Измерена сила потребна да се магнет одгурне од површине, је пропорционална са дебљином слоја [3].



*Слика 6: Калибрација магнетног уређаја за мерење дебљине сувог слоја са повлачењем на подложним плочицама Националног института стандарда и технологија (NIST)*

Уређај за мерење се користи за мерење дебљине сувог слоја немагнетних премаза, без разарања на подлогама од легура које садрже железно. Рад магнетних уређаја за мерење са повлачењем не зависи од батерија или било ког другог извора енергије, па их стога многи корисници сматрају поузданијим за коришћење од стране неискусних корисника. Такође се употребљавају у ризичним окружењима где су обавезни инструменти који не варниче. Упркос појави софистициранијих и прецизнијих електронских уређаја за мерење, ови инструменти су у широкој употреби. Преносиви су, лаки за управљање, и економски врло приступачни [4].

Мерења се врше у складу са спецификацијом или референтним стандардом. Ако у уговорним документима није захтеван ниједан одређени метод, о овој теми би се могло дискутовати на састанку пре почетка радова, где се може договорити примена одговарајућег метода. Кад год је то могуће, увек је боље поштовати индустријске

стандарде [5].

Поступак мерења: поставити уређај за мерење на чисту, суву премазану површину. Не користити уређај за мерење на глатким или лепљивим слојевима. Ротирати бројчаник дуж целе површине до највишег ступња на уређају за мерење, а затим подићи противтег тако да врх магнета дотакне премазану површину. Лагано ротирати бројчаник (повећавајући затегнутост опруге) константном брзином све док магнет *не одскочи* од премазане челичне површине. Тамо где је то могуће, уређај за мерење би требало механички да се стабилизује притиском руке руковаоца [2].

Не допустити контакт врха магнета са магнетним делићима и другим остацима. Не користити уређај за мерење на мање од 2.5 cm од ивице, на вибрирајућој опреми или близу ње, или на завареном металу (елемент се може размагнетисати). На кружним комадима, поставити уређај за мерење дуж уздужне (лонгитудиналне) осе.

Инструмент мора бити калибрисан уколико желимо да мерења буду поуздана. Постоје разни начини да се калибрише магнетни уређај за мерење дебљине сувог слоја. Ако је стандард наведен, попут SSPC-PA 2, метод калибрисања који ће се применити требало би да буде онај дефинисан стандардом [1].

Две основне опције за калибрацију су следеће:

- Калибрисати инструмент на челику чији се површински профил подудара са профилем обојене површине која се мери. Користити немагнетне подупираче (плочице) познате дебљине, једнаке очекиваној (или захтеваној) дебљини сувог слоја.
- Калибрисати инструмент на припремљеним офарбаним комадима, попут оних које дистрибуира Национални институт стандарда и технологија – NIST (за подручје САД). Одабрати плочицу за калибрисање у очекиваном опсегу дебљине сувог слоја која се мери [7].

Поступак који се понекад примењује обухвата употребу малог узорка челика приближне величине од 15 x 10 cm који је пескарен при почетку пројекта. Овај узорак може касније бити употребљен као референтни узорак за утврђени профил површине и као узорак за калибрацију како би се баждарили уређаји за мерење дебљине сувог слоја.

Прецизност оваквих механичких уређаја за мерење вероватно није много већа од  $\pm 10\%$  током примене. Уз посебну пажњу (нпр. у лабораторијским условима), прецизност се

може побољшати, али функција уређаја за мерење зависи од понављања метода употребе од стране инспектора. На мерења врло лако могу утицати брзина кретања бројчаника, близина ивица и кривина структуре, и смер кретања инструмента [6].

Стање магнетне сонде би требало да се проверава (визуелно) у учесталим интервалима, с обзиром на то да уређај за мерење може привлачити металне честице. Кад се једном приближе сонди, ове честице у значајној мери мењају вредност мерења. Провере путем калибрације би такође требало да буду извршене у честим интервалима током читавог радног дана.

Као и код многих других уређаја за мерење, било каква неквалитетна мерења би требало проверити. Није неуобичајено да се повремено наиђе на мерења која су у великој мери другачијих вредности од осталих на истом подручју. Ако се мерење не може поновити, онда би га требало одбацити као неважеће и урадити друго мерење [4].

### 3.7. Уређај за мерење са повлачењем, модел оловке (SSPC-PA 2 Тип 1B)

Уређај за мерење-оловка са повлачењем, тип 1B, је још један модел магнетних уређаја за мерење са могућношћу повлачења. Инструмент изгледа као шупља цев, по величини слична већој оловци, и садржи унутрашњи магнет и опругу.

Додатна опруга причвршћена је за магнет и за врх кућишта инструмента. Инструмент се држи вертикално у односу на површину, а магнет је положен тако да се додирује са површином [1].

Док се инструмент подиже, магнет остаје привучен уз површину све док затегнутост опруге не надјача привлачну снагу магнета и подигне га од површине. Ниво напетости опруге неопходан за подизање магнета читава се са скале, што се може изразити у  $\mu\text{m}$ .

Овај модел инструмента није толико прецизан и стога је у ређој употреби у односу на друге типове магнетних инструмената. Инспектор би требало да са произвођачем или својим надзорником провери употребу и ограничења овог инструмента [2].

### 3.8. Уређај за мерење дебљине сувог слоја са сондом под константним притиском

Уређаји за мерење дебљине сувог слоја са сондом под константним притиском су инструменти испитивања без разарања који врше мерење дебљине сувог слоја немагнетних премаза преко подлога од легура са железом. Стандардом SSPC-PA 2, категоришу се у групу инструмената типа 2. Одређују дебљину премаза кроз мерење промена у магнетном флуксу унутар сонде инструмента или струјних кола инструмента. Сонда инструмента мора остати у додиру са превлаком све време током вршења мерења. Инструменти са сондом под константним притиском могу имати фиксиране интегрисане сонде или одвојене сонде. У оба случаја, сонде су постављене насупрот површини на којој је превлака, и у том положају остају док се врши мерење. Сонде могу бити магнетне или електромагнетне. Дебљина слоја приказана је на бројачу или скали инструмента [4]. Произвођачи уређаја за мерење са фиксираном сондом константног притиска препоручују различите методе калибрације или регулације. Код неких постоје уграђени програми самокалибрације или се могу вратити на фабричке стандарде калибрације. Неки модерни уређаји за мерење нуде многе друге начине калибрисања, од којих сваки може довести до варијација у резултату при мерењу. Сви уређаји за мерење би требало да буду баждарени према упутствима произвођача и/или у складу са договореном процедуром [3].



Слика 7: Калибрација уређаја за мерење са сондом под константним притиском са пластичним плочицама

## 4. Калибрација уређаја за мерење дебљине сувог слоја

### 4.1. Поступак калибрације помоћу NIST стандарда

Ова процедура примењује стандард SSPC-PA 2 за уређаје за мерење типа I.

Као прво, проверити прецизност инструмента мерењем на NIST тест стандардним узорцима, унутар распона вредности дебљине сувог слоја премаза које се очекују на површини. Ако постоји икакво одступање (+ или -), уређај за мерење се може физички прилагодити док не дође до прецизних вредности, или се може прибележити фактор калибрације. Овај фактор се затим, према потреби, додаје, или се одузима од било којих извршених мерења дебљине сувог слоја [2].

Друго, измерити профил храпавости челика који се премазује и убележити овај податак. Ово мерење даје замишљену магнетну основицу у профилу храпавости. Ова замишљена линија назива се читавање основног метала (BMR – base metal reading), и њена вредност се одузима од наредних читавања дебљине сувог слоја, касније извршених на овој површини. Читавање основног метала требало би да буде мали фактор, обично 8 до 20  $\mu\text{m}$ , и не може бити у вредностима изван овог обима [2].

Кад се изврше мерења дебљине сувог слоја, постоје две потенцијалне могућности исправке. Прва је фактор калибрације, који се може додати или одузети од мерења. Друга могућност је вредност основног метала (BMR), која се одузима од мерења.

Напомена: експерименти су показали да уређаји за мерење баждарени на глаткој површини, а затим коришћени на површини пескареној са профилем храпавости од 50  $\mu\text{m}$ , дају непрецизност од око 25  $\mu\text{m}$  при дебљини премаза од 250  $\mu\text{m}$  [4].

### 4.2. NIST стандардни узорци за калибрацију

Стандардни узорци за калибрацију јесу сертификована група од четири прецизно хромиране и никловане челичне плочице, које су постављене на веће плоче димензија 15 x 10 cm. Распон дебљине им је од 0 до 2.032 cm са нивоом прецизности од +/- 0.05%. Свака од плочица има димензије 28 x 28 mm; постављене су на металне плоче како би се превазишла критична маса челика потребна да би се испунили услови магнетног поља магнетних уређаја за мерење (са повлачењем) типова 1A и 1B [1].

У складу са стандардом SSPC-PA 2, приликом калибрације потребно је извршити мерење серија NIST стандардних плочица у оквиру очекиваног распона дебљине боје. Убележити исправке калибрације (+ или -), обавезне код сваке стандардне дебљине. При каснијем вршењу правих мерења, користити се исправљеним вредностима калибрације.

Стандарди (узорци) се коришћењем могу похабати, постати безбојни или огребани. Ако се њихова прецизност доведе у питање, могу се вратити Националном институту за стандарде и технологију ради процене и враћања усклађености са NIST стандардима [3].

#### 4.3. Калибрација помоћу немагнетних подложних плочица

Уређаји за мерење са сондом под константним притиском (SSPC-PA 2, Тип II) обично су калибрисани помоћу пластичних плочица чија се дебљина проверава микрометарским мерилом. Калибрација би увек требало да буде извршена у подручју без магнетних поља (тј. подаље од опреме за заваривање, генератора, или електричних водова).

Поступак калибрације: одабрати стандардне пластичне плочице у распону очекиване дебљине премаза. Ако се, на пример, претпоставља да дебљина сувог слоја премаза буде око 200  $\mu\text{m}$ , баждарити уређај користећи плочицу што је ближе могуће у распону до 200  $\mu\text{m}$  [6].

Код неких електронских уређаја за мерење захтева се калибрација у одређеном опсегу, користећи или челик без превлаке или врло танку пластичну плочицу на једном крају опсега и пластичну плочицу веће дебљине, на другом крају опсега. Прецизност уређаја за мерење након калибрације би увек требало да буде утврђена на вредности близу дебљине премаза која се мери.

Након што се изврши захтевана припрема површине, поставити пластичне плочице на незаштићени део конструкције преко које се наноси премаз. Такође, могу се поставити плочице на плочу од незаштићеног челика величине најмање 7.6 x 7.6 x 0.32 cm, очишћену од рђе. Имати у виду да ако површина за калибрацију није храпава, а премазана површина јесте, мора се извршити кориговање како би се испоштовао профил површине. Ово обично значи да од добијених мерења треба одузети вредност од 12 до 20  $\mu\text{m}$  [3].

Поступак који се понекад примењује обухвата примену малог узорка челика приближне величине од 15 x 10 cm који је пескарен на почетку пројекта. Овај узорак може касније

бити употребљен као референтни узорак за утврђени профил површине и као узорак за калибрацију како би се провериле добијене вредности мерења дебљине сувог слоја. Узорак би требало да буде од сличног материјала (нпр. легирани челик) и дебљине приближне дебљини структуре која се премазује [1].

Избегавати прекомерни притисак који би могао савијати и урезати плочицу или утиснути врхове пескарене површине у додирну површину плочице.

Пластичне плочице које се користе при баждарењу нису направљене од прецизних материјала, а њихова дебљина би требало да се утврди уз помоћ микрометра.

Као код било ког другог уређаја за мерење дебљине сувог слоја, може бити неопходна поновна калибрација кад год се добијени резултати покажу као неусаглашени или погрешни. Мерила која раде помоћу батерија могу дати лоше резултате услед слабљења снаге батерије при раду [1].

Уређаји за мерење са фиксном сондом су обично прецизнији од механичких уређаја за мерење, са нивоом прецизности од приближно  $\pm 3\%$  или више. Њима је потребан извор електричне енергије (батерија), па стога у суштини нису безбедни.

У САД, обично се користе глатке плочице за баждарење које производи NIST. Ако су уређаји за мерење калибрисани на глаткој површини, а затим коришћени за мерење дебљине премаза на грубој површини која је пескарена, мора се извршити прилагођавање како би се обезбедила тачност у раду [1].

Експерименти су показали да уређаји за мерење баждарени на глаткој површини, а затим коришћени на пескареној површини са профилом од 50  $\mu\text{m}$ , дају веће резултате мерења у односу на реалну дебљину сувог слоја за око 25  $\mu\text{m}$  на дебљини премаза од 250  $\mu\text{m}$ . У овом случају, одузети 25  $\mu\text{m}$  од сваког добијеног резултата мерења, како би се на тај начин дошло до праве вредности дебљине сувог слоја [3].

#### 4.4. Ефекат ивице

Углавном није добро мерити дебљину сувог слоја на даљини мањој од 25 mm од ивице, отвора, или унутрашњег угла. Сонда не сме прећи преко ивице узорка који се мери, сем при обављању процедура поновног баждарења [2].

#### 4.5. Боје које садрже Fe-оксид као пигмент

Због тога што пигменти у премазу на бази Fe-оксида често могу да изазову магнетну грешку, мерења дебљине сувог слоја на неким премазима не могу дати поуздане резултате. Стога, важно је да се током наношења често проверава дебљина влажног слоја. Иако овај ефекат можда и није толико уобичајен, ипак може изазвати велике проблеме приликом мерења када се то деси [4].

## 5. Опис стандарда за мерење дебљине сувог слоја премаза, SSPC-PA 2 - Мерење дебљине сувог слоја премаза магнетним мерилима

Овим стандардом описују се процедуре за мерење дебљине сувог слоја немагнетног премаза нанетог на магнетну подлогу, користећи магнетне уређаје за мерење доступне у продаји. Ове процедуре намењене су као допуна упутствима произвођача при ручном коришћењу мерила [5].

Процедуре за подешавање и мерење описане су за две врсте уређаја за мерење: уређаји за мерење са повлачењем (Тип 1) и електронски уређаји за мерење (Тип 2).

Стандард дефинише процедуру како би се одредило да ли дебљина слоја преко одређене површине одговара захтеваним минималним и максималним вредностима. Ова процедура може се модификовати током мерења дебљине сувог слоја на премазаним површинама.

У стандарду се користе следеће дефиниције:

**Очитавање уређајем за мерење:** очитавање на једној тачки.

**Spot мерење (мерење у тачки):** просек најмање три очитавања извршена унутар круга пречника 4 cm [2].

**Подешавање:** поравнавање очитавања дебљине извршених уређајем за мерење са оним очитавањима познатог узорка како би се побољшала прецизност уређаја за мерење на специфичним површинама или у одређеном делу мерног подручја. Већина уређаја за мерење типа 2 може се подешавати на премазаном делу или на плочици, где је позната дебљина премаза или плочице [1].

**Стандардни тест комади познате дебљине слоја премаза:** глатка феромагнетска подлога са немагнетским премазом познате дебљине која следи репрезентативне стандарде.

**Плочица:** танка трака од немагнетске пластике, метала, или другог материјала познате једнаке дебљине, која се користи да утврди тачност у раду уређаја за мерење дебљине сувог слоја премаза.

**Структура:** јединица састављена од једне или више спојених челичних компоненти које чине мост, цистерну, брод, итд. Могуће је да се један челични облик (шипка, угао, Т-комад, цев, канал, итд.) сматра структуром, ако је обојен у радионици [3].

## 5.1. Опис уређаја за мерење

**Типови уређаја за мерење:** тип уређаја за мерење одређен је посебним магнетним параметрима укљученим у процес мерења дебљине и није дефинисан начином на који ће се подаци читавати, тј. дигитални или аналогни модел. Овај стандард не обухвата уређаје за мерење који врше мерење утицаја вртложних струја које су се створиле у подлози.

**Тип 1 – Уређај за мерење са повлачењем:** код уређаја за мерење са могућношћу повлачења, стабилни магнет долази у директан контакт са премазаном површином. Сила неопходна да повуче магнет са површине се мери и приказује као вредност дебљине премаза на скали или екрану уређаја за мерење. Мања сила је потребна да помери магнет са танког премаза. Скала је нелинеарна.

**Тип 2 – Електронски уређаји за мерење:** електронски уређај за мерење користи систем струјних кола да конвертује референтни сигнал у дебљину премаза [1].

## 5.2. Процедуре калибрације, верификације, подешавања и мерења

**Приступ непокривеним подлогама:** сви уређаји за мерење могу донекле бити под утицајем стања подлоге, попут храпавости, облика, дебљине, и састава. Како би се кориговали ови утицаји, препоручује се прво приступ непремазаној подлози. Још једна могућност је коришћење одвојених непремазаних референтних плочица сличне храпавости, облика, дебљине и састава. Референтни узорци морају бити довољне величине да би се спречили ефекти ивице [7].

Мерења непокривене подлоге врше се пре примене премаза или прекривања малих репрезентативних подручја током фарбања. Ако је премаз већ нанет на целу површину, уобичајен поступак је да се уклони премаз са малог подручја ради мерења и да се касније опет нанесе премаз на том месту. Трудити се да процес уклањања не измени својства подлоге. Ако су коришћена хемијска средства за уклањање боја, постојећи профил ће се задржати [6].

**Мерење у тачки (spot мерење):** поновљена читавања уређаја за мерење, чак и у тачкама које су близу једна другој, често се разликују услед мањих површинских неправилности

премаза и подлоге. Стога, минимум од 3 читавања уређаја за мерење би требало да се изврши за свако спот мерење, било подлоге или премаза. За свако ново читавање уређаја за мерење, померити сонду на ново место унутар пречника од 4 cm, дефинишући ново мерно место. Одбацити било какве неуобичајено високе или ниске вредности читавања уређаја за мерење које нису доследно понављане. Узети просечну вредност прихватљивог читавања уређаја за мерење као мерење једне тачке [3].

**Калибрација:** уређаји за мерење морају бити калибрисани од стране произвођача или квалификоване лабораторије. Неопходно је поседовати Сертификат калибрације или другу документацију која доказује доследност стандарду. Не постоји стандардни временски интервал за понављање калибрације, нити је тај поступак нужан. Интервали за калибрацију обично се утврђују на основу искуства и радног окружења. Једногодишња калибрација је уобичајена и препоручена од стране произвођача уређаја за мерење.

**Утврђивање прецизности:** измерити дебљину низа референтних стандарда који обухватају очекивани опсег вредности дебљине премаза. Ради заштите од мерења непрецизним уређајем за мерење, уређај за мерење би требало проверити барем на почетку и на крају сваке смене са једним или више референтних стандарда. Ако се уређај за мерење испусти или постоји вероватноћа да даје погрешна читавања током радне смене, његову прецизност треба поново проверити [5].

Прибележити серијски број уређаја за мерење, коришћени референтни стандард, означену дебљину референтног стандарда, добијену вредност мерене дебљине, као и метод примењен у утврђивању прецизности уређаја за мерење. Ако су у раду коришћени исти уређај за мерење, референтни стандард и метод верификације, онда их прибележити само једном. Означена вредност стандарда и измерене вредности морају се бележити сваки пут када се проверава вредност калибрације [1].

Ако се читавања не подударају са референтним стандардом, сва мерења извршена након последње провере прецизности налазе се под знаком питања. У случају физичке оштећености, похабаности, или претеране употребе, или након одређеног периода баждарења, прецизност мерења уређаја за мерење би требало да буде поново проверена. Ако уређај за мерење не мери прецизно, не би требало да буде коришћен док се не поправи и/или не калибрише поново (обично од стране произвођача).

Плочице од пластике или немагнетних метала које су прихватљиве за проверу прецизности електронских уређаја за мерење типа 2, не користе се за проверу прецизности уређаја за мерење типа 1 [7].

### **Подешавање и мерење – Тип 1, уређаји за мерење са повлачењем**

Уређаји за мерење типа 1 имају нелинеарне скале а сваки параметар подешавања линеаран је по природи. Било какво подешавање ових уређаја за мерење ограничава распон дебљине сувог слоја где уређај за мерење даје прецизне резултате, и зато није препоручљиво.

Прво треба извршити мерење непокривене подлоге на одређеним местима како би се добило репрезентативну просечну вредност. Ова просечна вредност је вредност читавања основног метала (BMR-base metal reading). Уређај за мерење не сме бити подешен на читавање вредности „нула“ (0) на непокривеној подлози. Затим извршити мерење сувог премаза на одређеним местима. Одузети вредност читавања основног метала од читавања уређаја за мерење како би се добило дебљину премаза [2].

### **Подешавање и мерење – Тип 2, електронски уређаји за мерење**

Различити произвођачи електронских уређаја за мерење типа 2 поштују различите методе подешавања за мерење дебљине сувог слоја преко пескарене површине. Треба прилагодити уређај за мерење према инструкцијама произвођача [3].

## **5.3. Потребан број мерења ради усклађивања са спецификацијом дебљине**

**Број мерења:** Извршити 5 одвојених мерења у тачки, смештених произвољно на сваких  $10 \text{ m}^2$  површине која се мери. Ако се уговорне стране слажу, може се извршити више од 5 мерења у датој области. Пет мерења треба извршити на сваких  $10 \text{ m}^2$  по следећем поступку:

За структуре које не прелазе  $30 \text{ m}^2$  у области, мери се на сваких  $10 \text{ m}^2$

За структуре које не прелазе  $100 \text{ m}^2$ , бирају се 3 области од по  $10 \text{ m}^2$

За структуре које прелазе  $100 \text{ m}^2$ , првих  $100 \text{ m}^2$  се мери на начин описан у претходној

реченици, а за сваких додатних  $100 \text{ m}^2$ , бира се једно подручје од  $10 \text{ m}^2$  [5].

Ако дебљина сувог слоја за сваку област од  $10 \text{ m}^2$  није у складу са прописима, онда се морају извршити додатна мерења како би се идентификовала неусклађена област, а мери се свака област од  $10 \text{ m}^2$  премазана током радне смене.

Зависно од величине и облика структуре која се премазује, власник у спецификацијама посла може захтевати друга подручја и мерне тачке за мерење [4].

**Спецификација дебљине:** Препоручује се да се дефинишу максимална и минимална вредност дебљине сувог слоја премаза. Ако максимална вредност дебљине није јасно назначена, она вредност која ће бити захтевана биће минимална вредност.

**Минимална дебљина:** просек мерења у тачки за сваку област од  $10 \text{ m}^2$  не сме бити мањи од захтеване минималне дебљине. Иако ниједно мерење у тачки за сваких  $10 \text{ m}^2$  не сме бити мање од 80% захтеване минималне дебљине, могуће је да било које читавање уређаја за мерење покаже вредност мању од захтеване. Ако је просек мерења у тачки за датих  $10 \text{ m}^2$  усклађен или пређе захтевану минималну дебљину, али је једно или више мерења мање од 80% минималне дебљине, додатна мерења ће прецизније дефинисати неусклађено подручје и олакшати преправке [6].

**Максимална дебљина:** просек мерења у тачки за сваку област од  $10 \text{ m}^2$  не сме бити већи од задате максималне дебљине. Иако ниједно мерење у тачки за сваких  $10 \text{ m}^2$  не сме бити више од 120% задате максималне дебљине, могуће је да било које читавање уређаја за мерење покаже већу вредност. Ако је просек мерења у тачки за датих  $10 \text{ m}^2$  усклађен или испод максималне дебљине, али је једно или више мерења више од 120 % максималне дебљине, додатна мерења ће прецизније дефинисати неусклађено подручје и олакшати преправке.

Како би се квалификовао према овом стандарду као исправан, уређај за мерење мора имати прецизност од  $\pm 5\%$ . За дебљине мање од  $25 \text{ }\mu\text{m}$ , уређај за мерење мора имати прецизност од  $\pm 2.5 \text{ }\mu\text{m}$  [5].

**Додатно премазивање:** одржавање премаза често укључује наношење новог премаза

преко већ постојећег. Веома је тешко прецизно измерити дебљину сувог слоја из свеже нанетог премаза кроз примену неразарајућих метода. Прво, није доступан приступ профилу, што угрожава прецизност читавања основног метала или подешавање уређаја за мерење типа 2. Друго, неуједначеност у дебљини сувог слоја постојећег премаза захтева пажљиво бележење читавања дебљине сувог слоја „пре и после“. Ова неуједначеност такође има утицај и на статистичку варијацију у покушавању да се изврши одузимање основног читавања основне дебљине сувог слоја од коначне вредности дебљине сувог слоја [2].

Уређај за мерење за контролу премаза даје прецизна мерења дебљине сувог слоја, али сече премаз проласком кроз њега, па се свако место мерења мора преправљати. Ултразвучни уређаји за мерење се могу користити, али је њихова прецизност знатно мања од уређаја за мерење Типа 1 или Типа 2. Практични приступ контроли дебљине сувог слоја када се наноси додатни премаз је да се на основу читавања дебљине влажног слоја израчуна дебљина сувог слоја [3].

Ако дебљина сувог слоја постојећег премаза није превише неуједначена, просечна дебљина сувог слоја постојећег премаза се може измерити како би се утврдила основна дебљина сувог слоја. Затим се основна дебљина сувог слоја одузима од укупне дебљине сувог слоја како би се добила вредност дебљине додатног (додатних) премаза [1].

**Принцип рада магнетних уређаја за мерење:** Сваки од ових уређаја за мерење може детектовати и показати само размак између магнетне површине челика и малог облог врха магнета или сонде која је стављена на горњу површину премаза. Како би ова измерена дистанца (од горње површине премаза до нуле на магнету) била усклађена са дебљином премаза изнад врхова, читавања уређаја за мерење мора ју се кориговати због профила челичне површине и у нешто мањој мери састава и структуре челика. Такве преправке се извршавају према одређеним упутствима [4].

Уређаји за мерење типа 1 (са повлачењем) мере силу потребну да погурају мали постојани магнет од површине премазаног челика. Магнетна сила која држи магнет уз површину инверзно се мења као нелинеарна функција размака између магнета и челика, тј. дебљине сувог премаза (уз додатак било којих других присутних слојева) [3].

Нормално, уређаји за мерење типа 1 нису подешени или ресетовани за сваку нову серију

мерења. Плочике од пластике или немагнетних метала, које се могу користити код подешавања (електронских) уређаја за мерење типа 2, не би требало користити за подешавање уређаја за мерење типа 1. Такве плочице су обично прилично круте и закривљене и не лежу савршено равно, чак и на глатким челичним површинама за тестирање. Нашавши се близу тачке гурања у тренутку мерења било којим уређајем за мерење типа 1, плочица се често одгурне натраг од челичне површине, прерано подижући магнет и узрокујући читавања са грешкама [2].

Уређаји за мерење типа 2 (електронски) функционишу на основу два различита магнетна принципа. Неки уређаји за мерење типа 2 користе постојани (фиксни) магнет. Кад се магнет принесе близу челика, густина магнетног флукса на врху магнета је повећана. Мерењем ове промене у густини флукса, која се инверзно мења у односу на размак између магнета и челичне подлоге, може се одредити дебљина премаза. Елементи магнетног отпора позиционирани на врху магнета најчешћи су видови мерења ове промене у густини магнетног флукса. Други уређаји за мерење типа 2 функционишу по принципу електромагнетне индукције. Намотај који садржи лагану железну шипку напаја наизменична струја, тако стварајући променљиво магнетно поље на врху сонде. Као и код постојаних магнета, густина магнетног флукса унутар шипке расте када се сонда принесе челичној подлози. Ова промена се лако опази коришћењем додатних намотаја. Резултат намотаја повезан је са дебљином премаза [4].

**Поновљивост:** магнетни уређаји за мерење су увек осетљиви на најмање неправилности површине на коју се наноси премаз или челичне површине одмах испод средине сонде. Поновљена читавања уређаја за мерење на храпавој површини, чак и на местима у непосредној близини, често се значајно разликују, нарочито код танких слојева преко храпаве површине са високим профилем [6].

**Подешавање на нулту позицију:** магнетни уређаји за мерење типа 1 не би требало да се подешавају или поставе на нулту позицију (0) на скали са уређајем за мерење који се примењује било на храпавој или глаткој непремазаној челичној површини. Неки уређаји за мерење типа 2 се могу подесити на нулто читавање (0) на непремазаној, пескареној површини. У свим случајевима треба пратити препоруке произвођача [1].

**Храпавост челичне површине:** Ако је челична површина глатка и уједначена, њена површинска раван је добра магнетна површина. Ако је челик храпав, као последица пескарења, „видљива“ магнетна површина коју уређај за мерење примећује јесте имагинарна раван лоцирана између врхова и долина профила површине. Уређаји за мерење дебљину изнад замишљене магнетне равни. Ако се користи уређај за мерење типа 1, дебљина премаза изнад врхова добија се одузимањем читавања основног метала. Уз прописно калибрисан и подешен уређај за мерење типа 2, добијено читавање показује вредност дебљине премаза изнад врхова [3].

**Нечисти, лепљиви или глатки слојеви:** површина премаза и сонде уређаја за мерење мора бити очишћена од прашине, масноће, и других страних материја, како би сонда и премаз били у што ближе контакту. Прецизност мерења је подложна утицају премаза ако је он лепљив или превише углачан. Лепљиви слојеви премаза могу довести до нежељеног приањања магнета уређаја за мерење типа 1. Неубичајено глатки слојеви се могу утиснути под притиском сонде уређаја за мерење типа 1 или типа 2. Глатки или лепљиви слојеви некад могу бити успешно измерени уређајима за мерење типа 2, тако што се на слој постави плочица, чиме се мери укупна дебљина премаза, уз додатак плочице, и одузима дебљина плочице. Уобичајена прљавштина од прашине и масноће може се уклонити брисањем меканом крпом. Магнетне честице које се прилепе уз сонду могу се уклонити уз помоћ приањајуће лепљиве траке. Било какав лепљиви остатак на сонди се онда мора уклонити [5].

**Подлоге од легираног челика:** разлике између већине меких нискоугљеничних челика и ниско легираних челика високе чврстоће (HSLA – high strength low-alloy) неће у већој мери утицати на вредности читавања магнетног уређаја за мерење. Што се тиче високо легираних челика, уређај за мерење се мора проверити. Невезано за врсту легуре, уређај за мерење треба подесити према истој врсти челика на коју се наноси премаз [7].

**Закривљеност челичне површине:** читавања магнетних уређаја за мерење могу бити под утицајем закривљености површине. Чак и ако је закривљеност значајнијег обима, још

увек се могу извршити валидна мерења подешавањем уређаја за мерење на површини сличног обима закривљености [1].

**Близина у односу на ивице:** Магнетни уређаји за мерење осетљиви су на геометријске прекиде челика, попут пора, углова или ивица. Осетљивост на ефекте ивице и неправилности различита је од уређаја до уређаја. Мерења на удаљености мањој од 2.5 cm од неправилности могу бити нетачна, сем ако уређај за мерење није подешен управо за ту локацију.

**Близина у односу на другу челичну масу:** старији модели двополних уређаја за мерење са постојаним магнетима осетљиви су на присуство друге челичне масе која се налази близу самог уређаја за мерење. Овај ефекат може се проширити на највише 8 cm од челичне масе [2].

**Нагиб сонде:** сви магнети или сонде морају стајати вертикално у односу на премазану површину, како би резултати мерења били валидни.

**Друга магнетна поља:** јака магнетна поља, попут опреме за заваривање или оближњег далековод, могу отежавати рад уређаја за мерење. Сувишни магнетизам у челичној подлози такође може имати утицај на читавање уређаја за мерење. Код двополних уређаја за мерење са фиксном сондом, код оваквих случајева препоручује се да се из читавања пре и после промене позиција полова извуче просечна вредност. Други уређаји за мерење могу захтевати демагнетизацију челика [3].

**Температурни екстрем:** већина магнетних уређаја за мерење задовољавајуће функционише на температури од 4 °C до 49 °C. Неки уређаји за мерење функционишу и на много вишим температурама. Ипак, ако се ради на тако високим температурама, уређај за мерење мора бити проверен са најмање једним референтним стандардом након што се и стандард и уређај за мерење сведу на исту околну температуру. Већина електронских уређаја за мерење коригује разлике у температури између уређаја за мерење, сонде и површине [4].

**Вибрације:** прецизност уређаја за мерење са повлачењем типа 1 подложна је утицају кретања, потреса, итд. кад се ови уређаји за мерење подесе за вршење калибрације или мерење дебљине слојева премаза, не би требало да буде присутних вибрација [5].

**Стандарди дебљине премаза:** стандарди дебљине премаза који се састоје од премазаних челичних плоча са захтеваним стандардним вредностима доступни су из више извора, укључујући и од стране већине произвођача уређаја за мерење дебљине премаза. Плочице познатих дебљина такође су доступне из већине истих извора [6].

**Варијација у дебљини – 80 % минимум/ 120 % максимум:** у било каквом мерењу постоји извешан ниво несигурности. Два инспектора која користе исти уређај за мерење не морају нужно прибележити исти број за дато мерење користећи исти круг пречника од 4 cm. Како би се ова природна флукуација могла дозволити, вредност појединачног мерења у тачки сме бити испод захтеване минималне дебљине докле год су друга места мерења у подручју од 10 m<sup>2</sup> на довољно високом нивоу да просечна дебљина буде у складу или преко захтеване минималне дебљине. Сличан закључак је и за максималну дебљину. 80% захтеваног минимума и 120% захтеваног максимума допуштени су да би уређај за мерење и референтни стандарди били прецизни, и због присутних варијација у подлози [7].

**Преправка ниске или високе дебљине:** уговорне стране би требало да се договоре око метода за исправљање дебљина слоја које су изнад максимума или испод минимума из спецификације. Овај метод може бити назначен у документима наручивања посла, може пратити упутства произвођача, или може бити донет договором након што се открије неусклађено подручје.

**Уређаји за мерење-оловке типа 1:** могу постојати и случајеви када је уређај за мерење са повлачењем, модел оловке, једини практични метод за мерење дебљине сувог слоја. Иако ови уређаји за мерење обично нису у складу са захтеваном прецизношћу од 5%, могу се применити ако се уговорне стране сложе [7].

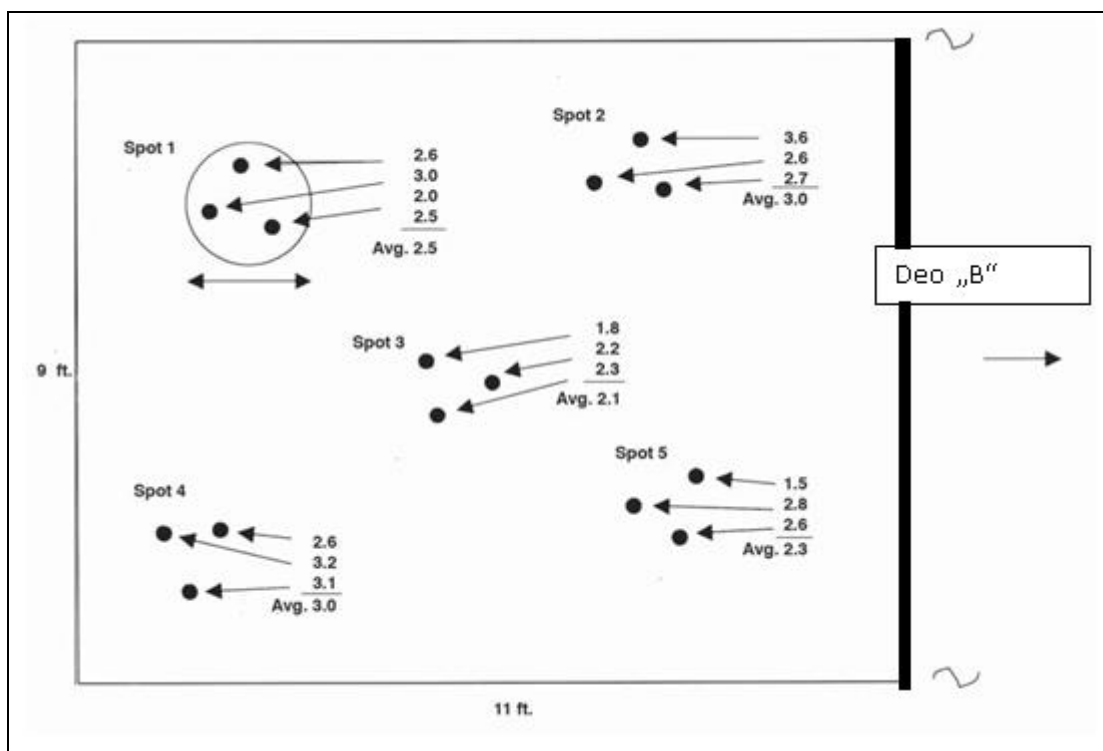
### Нумерички пример мерења просечне дебљине

Нумерички пример који следи приказан је као илустрација мерења дебљине сувог слоја. Претпоставимо да је структура површине  $30 \text{ m}^2$ . Треба да поделимо површину на три једнака дела, сваки део површине око  $10 \text{ m}^2$  [6].

|                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Део А – $10 \text{ m}^2$ | Део В – $10 \text{ m}^2$ | Део С – $10 \text{ m}^2$ |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|

Најпре треба измерити дебљину премаза на делу А. Мерење обухвата најмање 15 читавања уређајем за мерење дебљине (видети слику 8). Претпоставимо да спецификација захтева минималну дебљину од  $64 \mu\text{m}$ . Тада је дебљина слоја за подручје А средња вредност 5 мерења у тачки у подручју А, то јест  $66 \mu\text{m}$  [5]:

| Тачка 1          | Тачка 2          | Тачка 3          | Тачка 4          | Тачка 5          | Просек           |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| $64 \mu\text{m}$ | $76 \mu\text{m}$ | $53 \mu\text{m}$ | $76 \mu\text{m}$ | $58 \mu\text{m}$ | $66 \mu\text{m}$ |



Слика 8: Део “А” у структури (приближно  $10 \text{ m}^2$ ). Очитавање уређаја за мерење у  $1 \times 25 \mu\text{m}$

Разматрање еквивалентних метричких мерења: просечна вредност,  $66 \mu\text{m}$ , прелази

захтевани минимум од 64  $\mu\text{m}$  и на тај начин испоштована је сама спецификација. Затим, треба утврдити да ли је најниже мерење у тачки, 53  $\mu\text{m}$ , унутар 80% захтеване минималне дебљине. 80 % од 64  $\mu\text{m}$  је 51  $\mu\text{m}$  ( $0.80 \times 64 = 51$ ). Иако је 53  $\mu\text{m}$  испод захтеваног минимума, ипак остаје унутар 80% вредности, па је спецификација испоштована. Постоје појединачна читавања уређаја за мерење од 38  $\mu\text{m}$  у тачки 5 и 46  $\mu\text{m}$  у тачки 3, где су обе вредности очито испод 51  $\mu\text{m}$ . Ово је дозвољено јер једино просечна вредност три читавања (тј. мерења у тачки) мора бити већа или једнака вредности од 51  $\mu\text{m}$  [4].

С обзиром да је структура коришћена у овом примеру површине око 30  $\text{m}^2$ , процедура примењена при мерењу дебљине слоја код дела А мора се применити и код делова В и С. Измерена дебљина дела В мора прећи 64  $\mu\text{m}$  захтеваног минимума, а исто се мора десити и код дебљине дела С. Да би се пратила дебљина целокупне структуре од 30  $\text{m}^2$ , најмање 45 појединачних мерних читавања се мора извршити, од чега се израчунава вредност 15 мерења у тачки. Пет мерења из сваког дела структуре од по 10  $\text{m}^2$  узима се ради израчунавања дебљине тог дела [3].

**Примери подешавања уређаја за мерење типа 2 коришћењем плочица:** Овај пример описује метод подешавања ради унапређивања ефикасности рада електронских уређаја за мерење типа 2 на пескареној или некако друкчије грубој површини. Пескарење се користи кроз овај пример, али ове методе применљиве су и на другим типовима припрема површине. Мање уједначена површина, попут делимично зарђалог челика очишћеног ручним алатом, може захтевати већи број мерних читавања како би се достигао задовољавајући ниво статистичког значаја. Пошто се руковање уређајем за мерење разликује од произвођача до произвођача, треба пратити упутства самог произвођача за подешавање конкретног уређаја за мерење [1].

Уређај за мерење типа 2 мора бити подешен како би апсорбовао профил подлоге, ради прецизног читавања дебљине премаза. Део подлоге, након пескарења, али пре премазивања, може се употребити за подешавање уређаја за мерење. Такође, непремазани тест узорак, пескарен онда кад и структура, и који има репрезентативни структурни профил, може се користити за подешавање уређаја за мерење, под условом да је тест плочица од материјала сличних магнетних карактеристика и да има геометријски облик као подлога која се мери. Ако ово није могуће, онда се вредност корекције може

применити код подешавања на глаткој подлози, као што је доле описано [3].

Три технике подешавања се могу применити, у зависности од могућности и особина уређаја за мерење који се користи за контролу. Имати на уму да, услед статистичких варијација насталих због грубе површине, појединачна читавања извршена уз помоћ ове три методе не морају се савршено слагати [2].

Прва два примера описују подешавање и верификацију наспрам једне или више плочица. Кад се користе плочице, добијене вредности мерења мање су прецизне и морају се изнова израчунати. На пример, прецизност правилно калибрисаног уређаја за мерење је вероватно  $\pm 2\%$ . Дебљина плочице може бити прецизности унутар  $\pm 3\%$ . Комбинована толеранција уређаја за мерење и плочице биће  $\pm 4\%$  [2].

Да би уређај за мерење био у складу са плочицом, просечна измерена дебљина мора бити унутар  $\pm 4\%$  од дебљине плочице. Ако просечна измерена дебљина на плочици од  $250\ \mu\text{m}$  износи између  $240\ \mu\text{m}$  и  $260\ \mu\text{m}$ , уређај за мерење је правилно подешен. Минимум од  $240$  је  $250$  мање  $4\%$  од  $250$  ( $9.6$  је  $10$  минус  $4\%$  од  $10$ ); максимум од  $260$  је  $250$  плус  $4\%$  од  $250$  ( $10.4$  је  $10$  плус  $4\%$  од  $10$ ). [ $4\%$  од  $250$  је  $10$ ;  $4\%$  од  $10$  је  $0.4$ ].

**Калибрација у једној тачки:** овај пример користи једну вредност плочице исте или приближне вредности дебљине премаза која се мери. Опсег дебљине у коме ово подешавање може имати тражену прецизност варира заједно са врстом уређаја за мерење. Уз претпоставку да је дебљина премаза која се мери  $100\ \mu\text{m}$ , плочица од приближно  $100\ \mu\text{m}$  би требало да буде коришћена да се уређаја за мерење подеси. Плочица је постављена на подлогу која је пескарена према прописаним стандардима, или на пескареном тест узорку сличног површинског профила. Просечна вредност од  $10$  читања на тест плочици довољна је да омогући статистичку варијацију на пескареном профилу [1].

**Калибрација у две тачке:** овај пример обухвата две вредности дебљине подложне плочице, једну изнад и једну испод очекиване дебљине слоја која ће бити мерена. Требало би знати да не могу сви уређаји за мерење дебљине слоја бити подешавани на овај начин. Уз претпоставку да је дебљина премаза која ће бити мерена  $100\ \mu\text{m}$ , онда су плочице од  $250\ \mu\text{m}$  и  $50\ \mu\text{m}$  погодне за подешавање горњих и доњих вредности на скали уређаја за мерење. С обзиром да се заштитни премази обично наносе на металне пескарене

површине, статистички приступ је обавезан како би се добила правилна вредност за подешавање. Десет читавања на плочици довољна су да се добије поуздана просечна вредност за ту плочицу на храпавој површини. Пратећи упутства произвођача, уређај за мерење се подешава тако да стварна дебљина плочице буде коришћена за подешавање уређаја за мерење. Просечна вредност из 10 читавања на средњој плочици, приближне дебљине 100  $\mu\text{m}$  у случају горе описаном, потврдиће правилно подешавање уређаја за мерење. Прихватљиво је да просечно читавање буде унутар  $\pm 4\%$  дебљине плочице. Овај метод гарантује да уређај за мерење читава дебљину премаза преко врхова профила [3].

**Калибрација на глаткој површини:** ако приступ незаштићеној пескареној подлози није могућ, јер је премаз већ покрива, глатка подлога се може користити за подешавање уређаја за мерење. Треба подесити уређај за мерење на глаткој подлози према упутствима произвођача. Читавања извршена на пескареној подлози биће виша од праве вредности у одређеној мери у зависности од профила подлоге и конструкције сонде уређаја за мерење. Код већине наношења вредност корекције од 25  $\mu\text{m}$  је обично потребна. Имати у виду да се ова вредност не односи на право мерење профила површине. Ова вредност корекције мора се одузети од сваког читавања уређаја за мерење, како би се исправио ефекат профила. Добијена вредност исправке представља дебљину премаза преко врхова [4]. Код финих профила, корективна вредност може бити ниска и до 10  $\mu\text{m}$ , али код грубих профила може ићи високо и до 40  $\mu\text{m}$ . Табела 3 приказује приближне корективне вредности које се користе када пескареној површини није омогућен приступ како би се извршило подешавање уређаја за мерење [4].

| ISO 8503 профилни степени | Корективна вредност ( $\mu\text{m}$ ) |
|---------------------------|---------------------------------------|
| Фини                      | 10                                    |
| Средњи                    | 25                                    |
| Груби                     | 40                                    |

Табела 3. Уобичајене корективне вредности уређаја за мерење користећи ISO 8503 профилне степене (извор: Стандард EN ISO 19840)

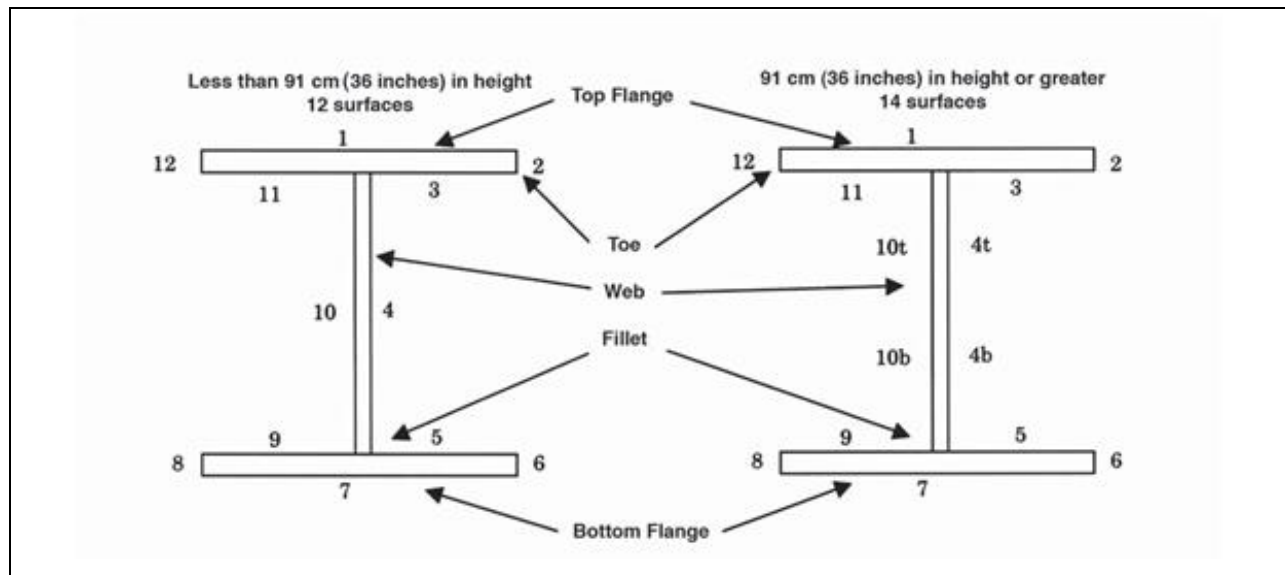
**Методе за мерење дебљине сувог слоја на челичним гредама (носачима):** Овај део рада описује два примера протокола за мерење дебљине сувог слоја на гредама и

носачима. Проблем за лице која ће наносити премаз на челичне греде или носаче је успостављање исте хомогене дебљине преко високих и ниских вертикалних површина, што није тако велики проблем код хоризонталних површина. На греди, налази се сразмерно више ивица које могу имати ниску вредност дебљине сувог слоја (DFT) и унутрашњи углови склони ка високим дебљинама сувог слоја у поређењу са средином равних површина [2].

Сваки фарбар обично врши фарбање према одређеном шаблону. Зато, дебљина сувог слоја може константно бити близу горње или доње границе. Овај тип грешке лако се детектује и исправља. Насумичне грешке представљају тежи проблем. Огромне грешке где је премаз очигледно превише танког или превише дебелог слоја морају се исправити и нису обухваћене овим описом. Број мерења на одређеним тачкама у случају греда и носача може далеко прећи критеријум од „5 мерења у тачки по 10 m<sup>2</sup>“, који се захтева стандардом. Грета има дванаест различитих површина, као што је приказано сликом 9. Било која од ових површина може имати вредност дебљине сувог слоја изван захтеваног опсега, и стога треба да се измери. Ако је дебљина ивице мања од 25 mm, уговорне стране могу одлучити да не мере дебљину сувог слоја на врху, тј. површине 2, 6, 8, и 12 на слици 9. Као неформални начин провере на почетку рада, инспектор за превлаке може испитати хомогеност дебљине сувог слоја преко сваке површине. Да ли је дебљина сувог слоја ивице у близини удубљења као у близини врха? Да ли је дебљина сувог слоја хомогена преко мреже? Инспектор се мора уверити да користи уређај за мерење који није подложен ефектима ивице. Треба пратити упутства произвођача при мерењу ивица [3].

**Процес одређивања сувог слоја код греде:** поделити греду или носач на пет једнаких делова по целој дужини. Одредити 12 површина греде као што је приказано на слици 9 за сваки део. За високе греде где је висина 91 cm или више, поделити мрежу на пола уз дужину греде. За целокупно одређивање дебљине сувог слоја, свака половина мреже сматра се засебном површином. Извршити једно мерење на одређеном месту на површини 1 у свакој од пет делова. Место мерења на површини 1 унутар дела произвољно бира инспектор у сваком од пет делова. Просек ових пет мерења је дебљина сувог слоја површине 1. Поновити поступак за других 11 површина (7 површина ако врх није измерен; 14 површина за високе греде). Подаци се могу забележити у формату приказаном

у табели 4 [5].



Слика 9: Површине челичне греде

| Површина* | Део 1 | Део 2 | Део 3 | Део 4 | Део 5 | Просек |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1         |       |       |       |       |       |        |
| 2         |       |       |       |       |       |        |
| 3         |       |       |       |       |       |        |
| 4г        |       |       |       |       |       |        |
| 4б        |       |       |       |       |       |        |
| 5         |       |       |       |       |       |        |
| 6         |       |       |       |       |       |        |
| 7         |       |       |       |       |       |        |
| 8         |       |       |       |       |       |        |
| 9         |       |       |       |       |       |        |
| 10г       |       |       |       |       |       |        |
| 10д       |       |       |       |       |       |        |
| 11        |       |       |       |       |       |        |
| 12        |       |       |       |       |       |        |

Табела 4. Листа података за бележење вредности мерења и просечних вредности  
дебљине сувог слоја за 12 површина греде или носача

\* г = горња половина мреже (за високе греде); д = доња половина мреже (за високе греде)

Ниједно мерење у тачки не може показати мање од 80% захтеване минималне дебљине сувог слоја. Ниједно тачкасто мерење не може бити више од 120% захтеване максималне дебљине сувог слоја. Просечна вредност дебљине сваке површине мора се ускладити са захтеваном дебљином сувог слоја [3].

**Одређивање дебљине сувог слоја код греде на узорку:** у току целокупног процеса одређивања дебљине сувог слоја сваке греде, спецификација посла може захтевати само пробни узорак одређивања дебљине сувог слоја за одабране греде дужине мање од 18 m. Код пробног узорка одређивања дебљине сувог слоја, мрежа високих греда се не дели [6].

**Греде дужине мање од 6 m:** код греда које су дужине мање од 6 m, треба извршити два тачкаста мерења, насумично распоређена, на свакој од 12 површина (8 површина ако се врх не мери) греде као што је дефинисано у слици 9. Свако мерење у тачки мора се ускладити са захтеваном дебљином сувог слоја [5].

**Греде између 6 m и 18 m:** код греда између 6 m и 18 m, треба извршити три мерења у тачки, насумично распоређена, на свакој од 12 површина (8 површина ако се врх не мери) греде као што је дефинисано у слици 9. Свако мерење у тачки мора се ускладити са захтеваном дебљином сувог слоја [1].

**Неусклађеност:** ако било које мерење у тачки буде изван захтеваног опсега, постоји могућност да се изврше додатна мерења како би се утврдило неусклађено подручје [2].

**Ограничен прилаз:** ако је греда тако позиционирана да се једној или више површина не може прићи, треба извршити мерења само на свакој доступној површини [2].

| Дужина греде | Број мерења у тачки                               |                                     |
|--------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|
|              | Одређивање дебљине сувог слоја по целој површини* | Одређивање дебљине сувог на узорку* |
| Мање од 6 m  | 5                                                 | 2                                   |
| Од 6 до 18 m | 5                                                 | 3                                   |
| Преко 18 m   | 5                                                 | НА                                  |

Табела 4.1. Број потребних мерења у тачки на свакој површини греде за цео процес, или за узорак, током одређивања дебљине сувог слоја

\* За високе греде (91 cm или више), горња половина и доња половина мреже сматрају се одвојеним површинама у процесу пуног одређивања дебљине сувог слоја.

Одређивање дебљине сувог слоја на узорку: у току целокупног процеса одређивања дебљине сувог слоја сваког премазаног комада, спецификацијом посла може бити захтеван само узорак на ком ће се вршити одређивање дебљине сувог слоја за одабране комаде [4].

#### Метод за мерење дебљине сувог слоја на премазаним челичним тест узорцима-плочицама

**Величина плочица:** тест плочица треба да има површину од минимум 116 cm<sup>2</sup> и максимум 930 cm<sup>2</sup>; на пример минимум 7.5 x 15 cm и максимум 30 x 30 cm. **Процедура:** треба користити електронски уређај за мерење типа 2. Извршити два читавања уређајем за мерење са горње трећине, средње трећине, и доње трећине тест плочице. Читавања треба да се изврше на најмање 12 mm од сваке ивице и 25 mm од било ког другог читавања уређаја за мерење. Одбацити било какво необично високо или ниско читавање које не може бити доследно поновљено. Дебљина сувог слоја тест плочице је просечна вредност шест прихватљивих читавања. **Минимална дебљина:** просек прихватљивих читавања не треба да буде мањи од захтеване минималне дебљине. Ниједно читавање не треба да буде мање од 80% од захтеваног минимума. **Максимална дебљина:** просек прихватљивих читавања не треба да буде већи од захтеване максималне дебљине.

Ниједно читавање не треба да буде веће од 120% од захтеваног максимума. **Одбацавање:** ако је читавање мање од 80% захтеване минималне дебљине сувог слоја или прелази 120% захтеване максималне дебљине сувог слоја, додатна мерења се могу обавити како би се поново израчунала дебљина сувог слоја области тест плочице близу ниског или високог читавања. Ако додатна мерења покажу да је дебљина сувог слоја у спорној области плочице испод минимума или изнад максимума дозвољене дебљине сувог слоја, узорак ће бити одбачен [3].

**Метод за мерење дебљине сувог слоја танких премаза на челичним тест плочицама које су пескарене:** Премаз се дефинише као танак ако је дебљина сувог слоја (DFT) приближно 25  $\mu\text{m}$  или мање. Из разлога што је дебљина сувог слоја у овом случају, у области статистичких флукуација вредности дебљине сувог слоја на непокривеном пескареном челику, мора се извршити већи број читавања како би се добио смислен просек. **Величина плочица:** тест плочица треба да има површину од минимум 116  $\text{cm}^2$  и максимум 930  $\text{cm}^2$ ; на пример минимум 7.5 x 15 cm и максимум 30 x 30 cm. **Процедура:** треба користити правилно подешен електронски уређај за мерење типа 2. Извршити десет читавања насумично распоређених на горњој трећини плочице. Израчунати средњу вредност (просек) и стандардну девијацију од ових десет читавања. Налик томе, извршити десет читавања са горње трећине и десет читавања са доње трећине тест плочице и израчунати њихове средње вредности и стандардне девијације. Читавања би требало урадити на најмање 12 mm од било које ивице и 25 mm од вредности било ког другог читавања. Одбацити било коју необично високу или ниску вредност читавања, тј. читавање где има више од три стандардне девијације од средње вредности. Дебљина сувог слоја тест плочица је просек три средње вредности. **Минимална дебљина:** просек средњих вредности не треба да буде мањи од захтеване минималне дебљине. Ниједна средња вредност не треба да буде мања од 80% од захтеваног минимума. **Максимална дебљина:** просек средњих вредности не треба да буде већи од захтеване максималне дебљине. Ниједна средња вредност не треба да буде већа од 120% од захтеваног максимума [2].

## 6. Утврђивање пора, оштећења и непокривених места на превлаци

*Детектори непокривених места* користе се за утврђивање шупљина или рупица, тј. порозности у премазу. Општи типови детектора порозности су:

- Нисконапонски испитивач (детектор) порозности – једносмерна струја (влажни сунђер)
- Висконапонски испитивач порозности – једносмерна струја
- Висконапонски испитивач порозности – наизменична струја [5].
- (Референца NACE Стандард SP0188)

Тестирање непокривених места врши се како би се детектовала оштећена места, поре, и други недостаци или неправилности у премазу. Поправка недостатака у премазу врло је важна за структуре попут цистерни које су намењене за потапање, и за цевоводе под земљом.

Време кад у раду треба извршити тестирање оштећења обично је наведено у спецификацијама. Премаз би требало да буде добро осушен (али не потпуно, ради лакшег кориговања недостатака) пре него што се изврши тестирање [3].



*Слика 10: Детектори непокривених места*

Премази који се нису осушили могу показивати лажна оштећења. На пример, растварач који остане у премазу може створити слабе тачке (лоше електричне отпорности) које високонапонски детектор може пробити, створивши тако шупљину која пре тога није постојала. Ипак, у неким случајевима, попут печених фенола или епоксидних смола са стакленим влакнима, корисник може одлучити да тестира премаз пре коначног сушења, тако да се било који материјал за санирање недостатака може ефикасно везати за основним премазом [5].

Непокривена места у премазима би требало да се санирају. Премаз након санације треба поново тестирати, како би се видело да ли су поправке дале резултата [3].

### **6.1 Нисконапонски детектор оштећења– влажни сунђер**

Овај детектор оштећења је осетљив, нисконапонски електронски уређај са влажним сунђером, са погоном на батерије са излазним напонам распона од 5 до 120 V једносмерне струје, у зависности од шеме струјних кола опреме произвођача [2].

Детектор садржи:

- Преносиви електронски инструмент на батерије

- Непроводни држач са стезаљкама (ради придржавања сунђера)
- Сунђер са отвореним ћелијама (целулоза)
- Жицу за уземљење.



Слика 11: Нисконапонски детектор оштећења – влажни сунђер

Инструмент се обично држи у пластичној кутији са прекидачем за искључивање/укључивање и утичницом за слушалице. Неки нисконапонски детектори порозности имају тачно одређени напон, док се код других напон за тестирање може бирати. Неке уобичајене јачине напона које се користе су 9, 67.5, 90, и 120 V. Са сваким напоном долази се до другачијих резултата, па је важно одабрати одговарајућу јачину напона. У најбољем случају, инструмент који се користи и његов напон би требало да буду наведени [1].

Овај модел инструмента може се користити ради лоцирања оштећења у непроводним премазима нанесеним на проводне подлоге. Према NACE стандарду SP0188, нисконапонски детектор са једносмерном струјом обично се користи на слојевима премаза дебљине мање од 500  $\mu\text{m}$ . Инструмент проналази оштећења и у премазима дебљим од 500  $\mu\text{m}$ , и неки корисници му дају предност управо због тога што не може лако оштетити слој премаза који се тестира [2].

Поступак мерења: проводник за уземљење повезати директно на проводну подлогу ради позитивног струјног контакта. Код челика са превлаком, проводник се повезује директно

са металом, а код бетона, директно са арматуром у бетону (тамо где је то могуће). Ако нема доступне арматуре, треба направити везу између проводника и бетона тако што се постави огољен проводник за уземљење на бетон и учврсти са врећом пуном влажног песка. Влажење бетона у непосредној близини такође је од помоћи да се одржи континуитет електричне проводности.

Сунђер се навлажи раствором који се састоји од воде са чесме (а не дестиловане воде) и благо пенастим агенсом за квашење (попут оних који се користе у развијању фотографског филма), помешаних у размери 7.5 ml агенса на 1 l воде. Сунђер треба да је довољно навлажен, али не превише, тако да се спречи цурење раствора док се њиме прелази преко премаза [4].

Додирнути влажним сунђером откривено место на проводној подлози како би се утврдило да је инструмент прописно уземљен. Ова процедура би требало да се повремено понови током теста.

Уз уземљену жицу повезану за подлогу, обрисати премазану површину овлаженим сунђером максималном брзином од 30 cm у секунди. Избежавати коришћење прекомерне количине раствора у сунђеру, јер отицање може затворити струјно коло око премазане површине ка оштећеном месту које се налази неколико дециметара даље, на тај начин дајући лоше резултате читавања. Два пута прећи сунђером преко сваког дела површине. Овим ће се обезбедити виша прецизност детекције. У тренутку кад се наиђе на оштећено место, апарат ће се огласити звучним тоном [3].

Користити само одобрена средства за квашење. Означити сва оштећења маркером који није штетан, попут беле креде. Очистити подручје које треба преправити како би се обезбедило уклањање агенса за квашење, пре него што се изврше корекције премаза.

Детектор је фабрички калибрисан, па калибрација на месту рада обично није неопходна. Типична фабричка калибрација подешена је на 700  $\mu\text{A}$  ( $\pm 10\%$ ) тока струје да се затвори коло како би се чуо звучни сигнал који ће означити оштећено место на премазу на металним подлогама. Што се тиче премаза на бетонским подлогама, детектор мора бити подешен за струјни ток од 500  $\mu\text{A}$  ( $\pm 10\%$ ). Обично се оваква ситуација постиже уклањањем отпорника из система струјних кола [1].

Детектори оштећења са влажним сунђером су преносиви и лаки за коришћење. Могу се поуздано применити на премазима до 500  $\mu\text{m}$  дебљине. Неразорни су и не оштећују

премаз приликом тестирања. Процедура тестирања може бити успорена током рада, јер може бити потребно много сати како би се обавило комплетно тестирање премаза у великој цистерни. Уређаји обично нису обезбеђени, па се стога не могу користити у ризичним окружењима.

Премаз који се испитује треба да буде потпуно сув и довољно чврст како би руковалац ходао по премазу ако буде потребно, а да га притом не оштети. У најбољем случају, процес премазивања биће потпуно завршен (тј. нанети завршни слојеви) пре испитивања шупљина, како би се умањила могућност да надзорник контроле квалитета направи неко оштећење. Ипак, премаз не би требало да буде потпуно сув, уколико је то могуће, јер поправке треба обавити кад год се детектују оштећена места [7].

Напомена: поједини корисници у одређеним индустријским гранама, попут компанија које се баве вагонима, одлучују се да не користе агенс за квашење између слојева, из страха од контаминације површине или задржавања влаге испод премаза којим је извршена корекција, што би могло довести до прераног пропадања. У овом случају, нисконапонски детектор оштећених места са влажним сунђером ограничен је на примену код премаза испод 250  $\mu\text{m}$  дебљине. Овим поступком, корисник мора модификовати сам стандардни метод (нпр. NACE Стандард SP0188) како би се задовољиле појединачне потребе [2].

## **6.2. Висконапонски импулсни детектор оштећења са једносмерном струјом**

Висконапонски импулсни детектори оштећења обично користе опсег напона од 900 до 15000 V, а у неким случајевима опсег може достићи и јачину од 40000 V. Конструисани су за лоцирање оштећења у непроводним премазима нанетим преко проводне подлоге. Уопште, ови апарати користе се на заштитним премазним слојевима дебљине од 300 до 4000  $\mu\text{m}$  [3].



*Слика 12: Високонапонски импулсни детектор оштећења са једносмерном струјом*

Детектор се састоји од извора напајања, попут батерије, или високонапонског калема (намотаја); електроде којом се врши испитивање; и уземљења од детектора до премазане подлоге. Електродом се прелази преко површине. Варница ће се појавити у ваздуху изнад премаза тамо где се налазе оштећења, празнине, или тачке прекида, истовремено узрокујући да се детектор огласи звучним сигналом.

Проводник за уземљење би требало да се директно споји са металном структуром, где год је то могуће. Ако није могућ директан контакт, високонапонски детектор се може користити заједно са посебним проводником за уземљење, под условом да је структура над којом се врши испитивање такође уземљена. Ова конекција се може постићи директним контактом (као када је цев спуштена на влажно тло) или фиксирањем проводника за уземљење и клина у некој тачки између земље и структуре [2].

На бетонским структурама, за армиране шипке у бетону треба повезати уземљење, или, ако нема арматуре, ставити огољен проводник за уземљење на бетон и учврстити са врећом пуном влажног песка. Врећа треба да покрије површину од најмање  $0.2 \text{ m}^2$  и да на ефикасан начин функционише као кондензатор ради континуитета у раду.

Подесити напон како је приказано захтеваним стандардом. Ако нема упутстава, правила у индустрији САД јесу да се примењује напон подешен на  $2.5 \text{ V}/\mu\text{m}$  дебљине премаза, а у Европи, правило које се најчешће примењује је незнатно другачије:  $5 \text{ V}/\mu\text{m}$  дебљине премаза [4].

Још једна могућност која постоји јесте проналажење поре (или друге врсте недостатка, нпр. мала дебљина сувог слоја) у премазу преко подлоге, и подешавање напона на најнижи могући ниво. Повећавати напон све док не буде довољно висок како би се створила искра на том оштећењу. Користити овај параметар да се испита остатак премаза. Инспектори за превлаке би требало да имају писмено овлашћење:

- да у премазу направе пору, с обзиром да је то тест са разарањем
- да користе ову процедуру за подешавање параметара напона, сем ако то већ није наведено [2].

Требало би нагласити да, у случају када је напон подешен на изузетно висок ниво, премаз се може оштетити. Иста оштећења могу настати ако је премаз испитиван пре него што је отпустио цео или већину растварача. Кад се једном створи варница кроз премаз у односу на подлогу, одређена оштећења настају кроз премаз, чак и кад није било пора или прекида у премазу пре извршења теста [4].

При коришћењу инструмента, подесити брзину сонде на 0.3 m/s у једном прелажењу (према NACE Стандарду SP0188). Пребрзим померањем сонде може се пропустити празнина; преспоро померање може довести до оштећења на местима са танким премазом или показати да је истраживање било детаљније него што је било наведено у спецификацији [5].

Прецизност инструмента може се испитати коришћењем наменског волтметра повезаног између сонде и проводника за уземљење. Инструмент мора бити тачно одређен у односу на тип детектора оштећења, пошто се у обзир морају узети и импулсне карактеристике сигнала. За већину корисника, најбоље би било да уређај врате назад произвођачу ради калибрације [3].

Већина високонапонских детектора шупљина поседује широк распон сонди доступних за различите примене:

- Котрљајуће опруге са равним пресеком користе се за тестирање премаза на цевоводима
- Глатке неопренске клапне (испуњене проводљивим угљеником) користе се за премазе танког слоја, попут епокси прашкастих премаза спојених печењем
- Четке са бакарно-бронзаним чекињама обично се користе код пластичних премаза

са стакленим ојачањем (GPR – glass-reinforced plastic coatings) [4].

Високонапонски детектор оштећења производи значајну количину електричне енергије. Иако то није довољно да повреди руковаоца, чак ни при максималној јачини, сигурно ће га уздрмати, па могуће последице могу бити несрећни случајеви, попут пада са скеле. Руковалац би требало да носи заштитну опрему, попут гумених чизама, и не би требало да рукује опремом у влажним или магловитим условима. Инструмент ће дати лажне индикације оштећења уколико се користи на влажној површини. Уређај може узроковати експлозију уколико се користи у експлозивној околини.

Већина детектора оштећења даје стални сигнал (ниског нивоа), дајући до знања руковаоцу да је уређај укључен и да ради. Ако се уређај не укључи или се радни сигнал не огласи, то би могло да значи да је батерија празна или слаба. Руковалац би требало да замени или допуни батерију [6].

Ако апарат не заискри или не емитује звук при додиривању сонде и уземљења, можда би требало поправити апарат.

Високонапонски детектор оштећења врши детаљнија испитивања у односу на нисконапонски модел. Не само да ће детектовати било каква оштећења или поре које продиру до подлоге, већ ће наћи и недостатке попут подручја са танким слојевима, или празнина унутар премаза [4].

### **6.3. Високонапонски детектор оштећења са наизменичном струјом**

Детектор оштећења на принципу наизменичне струје користи се за испитивање непроводљивих превлака на челичним подлогама, на пример превлаке од гуме или стакла. Детектор са наизменичном струјом поседује извештај опсег јачине напона, али се обично користи за врло дебеле премазе, са напонима за тестирање у опсегу од 25000 до 60000 V.



Слика 13: Висконапонски детектор оштећења са наизменичном струјом

Детектор са наизменичном струјом базира се на принципу Теслиног калема и не користи проводник за уземљење. Сонда испушта електромагнетни талас, који привлачи било која подлога. Кад пређе преко прекидне тачке у превлаци или страног објекта који се налази у превлаци, али још увек у додиру са подлогом, варница ће одскочити на површину код саме тачке недостатка. Загађивачи и влажност подлоге такође могу узроковати варничење, па подручје треба очистити и поново испитати како би се утврдило постојање пора или оштећења [1].

Детектори оштећења са наизменичном струјом (насупротив импулсним детекторима оштећења са једносмерном струјом) обично се ређе срећу у употреби [1].

При неправилној употреби, детектори оштећења са наизменичном струјом могу довести до много озбиљнијих удара него високонапонски детектори оштећења с једносмерном струјом; стога је неопходно добро обратити пажњу при руковању овим апаратом.

Стандарди који се обично користе за дефинисање параметара испитивања оштећења обухватају:

- NACE Стандард SP0188; испитивање неправилности (оштећења) на новим заштитним премазима на проводљивим подлогама
- ASTM G 62; Стандардне методе испитивања за откривање оштећења у премазима на цевоводима
- NACE Стандард RP0490; Откривање оштећења на епокси прашкастим премазима

спојених печењем на спољним цевоводима дебљине од 250 до 760 760  $\mu\text{m}$

- NACE Стандард RP0274; Контрола премаза цевовода помоћу високог напона [4].

## 7. Практичне вежбе у лабораторији са инструментима које користе инспектори за превлаке

Следеће поглавље описује практичне вежбе са инструментима за мерење дебљине превлака и осталим инструментима, описаним у претходним деловима рада. На испитним местима се по правилу користе следећи инструменти:

**Место 1: Опрема за испитивање животне средине** –површински термометар, магнетни челични тест узорак са превлаком, графикони стања околине [1].

**Место 2: Профил хрпавости површине– компаратори и репликативне траке**

**Опрема:** Testex<sup>®</sup> репликативна трака, груба репликативна трака, свака ролна са минимум 30 трака на ролни; микрометарски завртањ; уређај за мерење профила површине; два типа ISO компаратора; један пескарени узорак од нерђајућег челика, са различитим површинским профилима на свакој страни [4].

**Задатак:** Измерити профил површине на сваком узорку користећи један од три наведена инструмента и забележити резултате мерења у одговарајуће празне просторе [2].

|                  | Testex трака | Уређај за мерење профила површине | ISO компаратор |
|------------------|--------------|-----------------------------------|----------------|
| Страна плочице 1 |              |                                   |                |
| Страна плочице 2 |              |                                   |                |

**Место 3: Високонапонски детектор оштећења са једносмерном струјом**

**Опрема:** Високонапонски детектор оштећења са једносмерном струјом [4].

**Место 4: Дебљина премаза – Магнетни уређај за мерење са повлачењем**

**Опрема:** магнетни уређај за мерење дебљине сувог слоја (са повлачењем), тест плочица (ознака РЗ), пластичне плочице за калибрацију, NIST калибрациони стандарди (распона од 0 до 1,000  $\mu\text{m}$ ), микрометарски завртањ (микрометар) [4].

**Задатак:** Применом метода дефинисаног стандардом SSPC-PA 2, проверити уређај за мерење како би се утврдило дебљину сувог слоја две премазане области плочице за тестирање, изражено у  $\mu\text{m}$  [4].

1. Локација: Основни премаз (прајмер) ( $\mu\text{m}$ )

| Тачке  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Укупни просек<br>дебљине сувог слоја<br>на овој локацији | Подешавања                   |           |
|--------|---|---|---|---|---|----------------------------------------------------------|------------------------------|-----------|
| 1      |   |   |   |   |   |                                                          | Очитавање<br>основног метала | Одступање |
| 2      |   |   |   |   |   |                                                          |                              |           |
| 3      |   |   |   |   |   | Пре подешавања                                           | После подешавања             |           |
| Просек |   |   |   |   |   |                                                          |                              |           |

2. Локација: Основни премаз (прајмер) + завршни премаз ( $\mu\text{m}$ )

| Тачке  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Укупни просек<br>дебљине сувог слоја<br>на овој локацији | Подешавања                   |           |
|--------|---|---|---|---|---|----------------------------------------------------------|------------------------------|-----------|
| 1      |   |   |   |   |   |                                                          | Очитавање<br>основног метала | Одступање |
| 2      |   |   |   |   |   |                                                          |                              |           |
| 3      |   |   |   |   |   | Пре подешавања                                           | После подешавања             |           |
| Просек |   |   |   |   |   |                                                          |                              |           |

| Тачке                           | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------------------------------|---|---|---|---|---|
| Очитавање основног метала (BMR) |   |   |   |   |   |
| Просечна вредност               |   |   |   |   |   |

|                                        | Дебљина, $\mu\text{m}$ |
|----------------------------------------|------------------------|
| Очитавање основног метала (BMR)        |                        |
| Дебљина сувог слоја премаза (прајмера) |                        |
| Коначна (укупна) дебљина сувог слоја   |                        |

**Место 5: Нисконапонски детектор оштећења (влажни сунђер)**

**Опрема:** детектор са влажним сунђером, површински активна супстанца, вода, плочица са превлаком димензија приближно 30 x 30 cm са порама.

**Задатак:** Локације оштећених места приказати на цртежу [3].

**Место 6: Дебљина премаза – електромагнетни уређај за мерење**

**Опрема:** уређај за мерење дебљине сувог слоја, тест плочица (ознака P4), NIST

калибрациони стандарди (распона од 0 до 1,000  $\mu\text{m}$ , пластичне плочице, микрометарски завртањ (микрометар).

**Задатак:** Применом метода дефинисаног стандардом SSPC-PA 2, проверити уређај за мерење како би се утврдило дебљину сувог слоја две премазане области плочице за тестирање, изражено у  $\mu\text{m}$ . Резултати се уписују у табеле приказане за радно место 4 [3].

#### Место 7: Чистоћа површине

**Опрема:** приручници SSPC-Vis 1, SSPC- Vis 3, Стандард ISO 8501-1, књига цртежа.

**Задатак:** поредити чистоћу плочице за различите стандарде.

#### Место 8: Уређај за мерење дебљине влажног слоја

**Опрема:** три уређаја за мерење дебљине влажног слоја са осушеном бојом на неким зупцима, под бројевима 1, 2, и 3.

#### Задаци:

1. Измерити дебљину влажног слоја применом три различита инструмента. Ако је запремина чврсте материје фарбе приказана у табели, која би била одговарајућа вредност дебљине сувог слоја [2]?

| Инструмент | ДЕБЉИНА<br>ВЛАЖНОГ СЛОЈА<br>(WFT) | Запремина чврсте<br>материје (%) | ДЕБЉИНА<br>СУВОГ СЛОЈА<br>(DFT) |
|------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 1          |                                   | 50%                              |                                 |
| 2          |                                   | 70%                              |                                 |
| 3          |                                   | 88%                              |                                 |

2. Ако су технички подаци за премаз: препоручена дебљина сувог слоја = 125  $\mu\text{m}$ , чврсте материје у запремини = 55%, додати разређивач = 10%; особе које наносе премаз морају га нанети на површину од 500  $\text{m}^2$  и очекивани губитак је 20%. Колико литара фарбе треба поручити [3]?

## 8. Закључак

У овом дипломском раду су описани инструменти за испитивање премаза без разарања. Данашње тржиште нуди широк асортиман инструмената за испитивање премаза. Тестирања која могу оштетити премаз не би требало изводити сем ако другачије није наглашено. Већина типова уређаја за мерење дебљине сувог слоја функционише без оштећења премаза. У раду је дат опис основних инструмената контроле квалитета као и начини калибрације инструмената за испитивање премаза помоћу NIST стандарда. Такође, описан је стандард за мерење дебљине сувог слоја премаза (SSPC-PA 2). Дат је увид у начине утврђивања пора, оштећења и непокривених места на превлакама уз помоћ детектора порозности. Последњи део рада посвећен је практичним вежбама у лабораторијама са инструментима које користе инспектори за превлаке.

## 9. Литература

1. В. Вујичић, *Корозија и технологија заштите метала*, Војна академија, Београд, 2002.
2. В. Б. Мишковић-Станковић, *Органске заштитне превлаке*, Савез инжењера и техничара за ЗМ Србије, Београд, 2001.
3. Coating Inspector Program, Level 1, Student Manual, NACE International, December 2007.
4. Tom Swan, *The Coating Inspectors Handbook*, Testco, TX, 2015.
5. A. Bahadori, *Essentials of Coating, Painting, and Lining for the Oil, Gas and Petrochemical Industries*, Chapter 1 - *Surface Preparation for Coating, Painting, and Lining*, 1-105, 2015.
6. National Institute of Standards and Technology
7. International Maritime Organisation (IMO)