



**KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS**

Jūrų technikos fakultetas

Statybos katedra

VIDMANTAS LAUKYS

**MEDINIŲ ELEMENTŲ PLIENINIŲ JUNGČIŲ KOROZIJA AGRESYVIOJE  
APLINKOJE**

**CORROSION OF STEEL JOINTS OF TIMBER ELEMENTS IN  
AGGRESSIVE ENVIRONMENTS**

Magistro baigiamasis darbas

Uosto statinių studijų programa

Technologijos mokslų kryptis

Vadovas: Lekt. Dr. D. Narmontas

Klaipėda, 2013

# KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS

Jūrų technikos fakultetas

Statybos katedra

**TVIRTINU** \_\_\_\_\_

Katedros vedėjas

Lekt. Dr. D. Narmontas

## MEDINIŲ ELEMENTŲ PLIENINIŲ JUNGČIŲ KOROZIJA AGRESYVIOJE APLINKOJE

Magistro baigiamasis darbas

**Autorius**

**TMSI-11 gr. magistrantas  
V. LAUKYS**

\_\_\_\_\_  
*(data, parašas)*

**Vadovas**

**Lekt. Dr. D. NARMONTAS**

\_\_\_\_\_  
*(data, parašas)*

**Recenzentas**

**Doc. Dr. L. VASILJEVA**

\_\_\_\_\_  
*(data, parašas)*

**Recenzentas**

**Lekt. Dr. A. ŠTUOPYS**

\_\_\_\_\_  
*(data, parašas)*

**CD pateiktas**

**Lekt. Dr. D. NARMONTAS**

\_\_\_\_\_  
*(data, parašas)*

Klaipėda, 2013

# BAKALAURO BAIGIAMŲJŲ DARBŲ LYDRAŠČIO FORMA

**Vidmantas Laukys**

(magistro baigiamojo darbo autoriaus vardas, pavardė)

**Medinių elementų plieninių jungčių korozija agresyvioje aplinkoje**

(magistro baigiamojo darbo pavadinimas lietuvių kalba)

Patvirtinu, kad bakalauro baigiamasis darbas parašytas savarankiškai, nepažeidžiant kitiems asmenims priklausančių autorių teisių, visas baigiamasis bakalauro darbas ar jo dalis nebuvo panaudotas Klaipėdos universitete ir kitose aukštosiose mokyklose.

**Vidmantas Laukys**.....

(magistro baigiamojo darbo autoriaus ir parašas)

Sutinku, kad bakalauro baigiamasis darbas būtų naudojamas neatlygintinai 5 m. Klaipėdos universiteto studijų procese.

**Vidmantas Laukys**.....

(magistro baigiamojo darbo autoriaus ir parašas)

Pildo magistro baigiamojo darbo vadovas

**Magistro baigiamąjį darbą ginti**

**leidžiu**

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

2013 *05 30*  
(data)

**lekt. dr. Darius Narmontas**.....  
(magistro baigiamojo darbo vadovo vardas, pavardė ir parašas)

Pildo katedros, kuruojančios studijų programą, administratorius (sekretorius)

Baigiamasis darbas įregistruotas Statybos katedroje

2013 - -  
(data)

**Svetlana Šlisers**.....  
(katedros sekretorės vardas, pavardė ir parašas)

Pildo katedros, kuruojančios studijų programą, vedėjas

**Bakalauro baigiamąjį darbą ginti**

**leidžiu**

(įrašyti – leidžiu arba neleidžiu)

2013 *05 30*  
(data)

**lekt. dr. Darius Narmontas**.....  
(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

**Recenzentais skiriu**

**doc. dr. Larisą Vasiljeva**  
(įrašyti recenzento vardą, pavardę)

**lekt. dr. Arminą Štuopį**  
(įrašyti recenzento vardą, pavardę)

2013 *05 30*  
(data)

**lekt. dr. Darius Narmontas**.....  
(katedros vedėjo vardas, pavardė ir parašas)

Klaipėdos universitetas  
Jūrų technikos fakultetas  
Statybos katedra

Uosto statinių studijų programos baigiamasis magistro darbas

## **MEDINIŲ ELEMENTŲ PLIENINIŲ JUNGČIŲ KOROZIJA AGRESYVIOJE APLINKOJE**

Autorius: V. Laukys

Vadovas: Lekt. Dr. D. Narmontas

Kalba – lietuvių

### **ANOTACIJA**

Baigiamajame magistrantūros darbe tyrinėjama metalų korozija ir apsauga nuo korozijos agresyviose aplinkose.

Teorinėje dalyje atlikta literatūros apžvalga apie metalų koroziją bei korozijos klasifikavimą, metalų apsaugą nuo korozijos ir agresyvias korozines aplinkas.

Eksperimentinėje dalyje tiriama metalinių dygiuotų plokštelių korozija agresyvioje aplinkoje: pagaminti bandiniai su dygiuotomis plokštelėmis, nustatytas dygiuotų plokštelių šiurkštumas, parinktos antikorozinės dangos ir išmatuoti jų storiai, bandiniai išlaikyti agresyvioje aplinkoje po to nustatyta metalinių dygiuotų plokštelių korozija, bandinių gniuždomasis stipris ir drėgnis. Taip pat nagrinėjamas laivo kilis: nustatytas kilio metalinių dalių korozija pobūdis, medienos drėgnis, gniuždomasis stipris ir tankis.

Baigiamąjį darbą sudaro: 62 puslapiai, 67 paveikslai ir 8 lentelės.

Klaipėda University  
Marine Engineering Department  
Building Department

Port structures study program in the final master's work

## **CORROSION OF STEEL JOINTS OF TIMBER ELEMENTS IN AGGRESSIVE ENVIRONMENTS**

Author: V. Laukys

Academic supervisor: Lekt. Dr. D. Narmontas

Thesis language – Lithuanian

### **ANOTATION**

The final master's work is investigating metal corrosion and protection against corrosion in aggressive environments.

The theoretical part compiles from review of literature on metal corrosion, classification of corrosion, protection of metals against corrosion and environments of aggressive corrosive.

The experimental part investigates corrosion of metal nail plates in aggressive environments: produced the samples with the nail plates, determined the roughness of nail plates, selected anti-corrosion coating and measured their thickness, and maintained the samples in aggressive environment after that established the nail metal plates' corrosion and compressive strength and moisture. It also examined the ship's keel: the nature of corrosion of keel's metal parts, humidity of wood, compressive strength and density.

The structure of final work: 62 pages, 67 images and 8 tables.

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Plieninio vamzdžio korozija skirtinguose gruntuose .....	14
2 pav. Tolygi ištisinė korozija .....	15
3 pav. Netolygi ištisinė korozija .....	15
4 pav. Selektvyioji ištisinė korozija.....	15
5 pav. Taškinės (pitingo) korozijos pavyzdžiai vertikaliuose paviršiuose .....	16
6 pav. Dėmėtoji korozija .....	16
7 pav. Vidinė (popaviršinė) korozija .....	17
8 pav. Kontaktinė korozija. ....	17
9 pav. Struktūrinė korozija .....	17
10 pav. Plyšinė korozija .....	18
11 pav. Erozinė korozija.....	18
12 pav. Kavitacinė korozija .....	19
13 pav. Jūrinės korozijos veikiamą metalinę konstrukciją .....	19
14 pav. Trinties korozija.....	19
15 pav. Įtempties korozija .....	20
16 pav. Plieno, padengto anodine danga, apsaugos nuo korozijos schema ir korozijos veikimo schema .....	21
17 pav. Plieno, padengto katodine danga, apsaugos nuo korozijos schema ir korozijos veikimo schema .....	22
18 pav. Korozijos pobūdis skersiniame pjūvyje.....	25
19 pav. Metalų pažeidimas ir kniedės trūkimas .....	25
20 pav. Projektuojamas bandinys .....	29
21 pav. Metalinės dygiuotos plokštelės skaičiuojamoji schema .....	29
22 pav. Skaitmeninis mikroskopas „Celestron“ .....	31
23 pav. Metalinės dygiuotos plokštelės briaunos vaizdas per mikroskopą.....	31
24 pav. Metalinių dygiuotų plokštelių cinko dangos pažeidimai ties dygiais.....	32
25 pav. Gamintojo išspausintas plokštelės pavadinimas.....	32
26 pav. Paviršiaus šiurkštumo matavimo prietaisai .....	33
27 pav. Paviršiaus šiurkštumo skenavimo principas .....	33
28 pav. Šiurkštumo parametro Rz skaičiavimas.....	34
29 pav. Šiurkštumo parametro Ra skaičiavimas.....	34
30 pav. Antikorozinė danga „DINITROL 4010“ .....	35
31 pav. Dvikomponentis prieškorozinis epoksidinis gruntas ir kietiklis „EOPRIM“ .....	35

32 pav. Bandiniai padengti skirtingomis antikorozinėmis priemonėmis .....	36
33 pav. Dangos storio matavimo prietaisas „PosiTector 6000“ .....	37
34 pav. Apsauginės dangos storio matavimo vietos.....	37
35 pav. Sandari eksperimentui naudojama vonelė .....	40
36 pav. Bandiniai po 90 dienų išlaikymo agresyvioje aplinkoje.....	40
37 pav. Cinko korozija .....	41
38 pav. Plieno korozija plokštelių briaunose.....	41
39 pav. Plieno korozija ties dygiais .....	42
40 pav. Cinko korozijos produktai ant bandinio, apsaugoto „DINITROL 4010“ .....	42
41 pav. Apsauginės dangos „DINITROL 4010“ pažeidimai .....	42
42 pav. Cinko korozijos produktai ant bandinio, apsaugoto epoksidiniu gruntu „EOPRIM“ .....	43
43 pav. Plieno korozija ties briaunomis ir dygiais bandinyje, apsaugotame „EOPRIM“ ..	43
44 pav. Epoksidinio grunto „EOPRIM“ dangos atšokimai.....	43
45 pav. Dangos atšokimų palyginimas mechaniškai pašalinus atšokusias vietas .....	44
46 pav. Drėgni bandiniai (3, 7 ir 10) po gniuždymo bandymo .....	45
47 pav. 7 dienas džiovinti bandiniai (2, 8 ir 9) po gniuždymo bandymo .....	46
48 pav. 90 dienų kambario temperatūroje laikyti bandiniai (5, 11 ir 12) po gniuždymo bandymo .....	46
49 pav. 90 dienų kambario temperatūroje laikytų bandinių (5, 11 ir 12) vaizdas iš viršaus po gniuždymo bandymo .....	47
50 pav. Bandinių laikomosios galios palyginimas .....	47
51 pav. Bandinių drėgnio palyginimas .....	48
52 pav. Bandinių deformacijų palyginimas .....	48
53 pav. Įtempių – deformacijų kreivės .....	49
54 pav. 1882 metų jachtos kilis .....	50
55 pav. Įvairių šiuolaikinių jachtų ir burlaivių kiliai .....	50
56 pav. Pirmasis kilio strypas .....	51
57 pav. Pirmojo kilio strypo išorinės dalies korozija .....	51
58 pav. Pirmojo kilio strypo korozija ties strypo viduriu .....	52
59 pav. Pirmojo kilio strypo korozija ties strypo galu.....	52
60 pav. Antrasis kilio strypas .....	53
61 pav. Strypas paveiktas tarpkristalinės korozijos.....	53
62 pav. Antrojo strypo korozija.....	54
63 pav. Kilio strypų kaiščiai .....	54

64 pav. „Testo 606-2“ drėgmėmatis .....	55
65 pav. Bandinys gniuždomojo stiprio nustatymui .....	56
66 pav. „KERN ABJ 220-4M“ svarstyklės .....	58
67 pav. Džiovinimo kamera „Thermo scientific heraeus UT6“ .....	58

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Bandinių cinko dangos matavimo rezultatai.....	38
2 lentelė. Bandinių apsaugotų papildoma apsaugine plėvele dangų storiai .....	38
3 lentelė. Papildomų apsauginių dangų storiai .....	39
4 lentelė. Medienos drėgno matavimo rezultatai.....	54
5 lentelė. Bandinių gniuždomasis (išilgai pluošto) stipris.....	55
6 lentelė. Normalizuotos medienos drėgno ( $\omega=12\%$ ) gniuždomasis stipris.....	56
7 lentelė. Visiškai sausos medienos tankis .....	58
8 lentelė. 12% drėgnumo medienos tankis .....	58

# TURINYS

<b>ĮVADAS</b> .....	10
<b>1. TEORINĖ DALIS</b> .....	11
1.1 Korozija .....	11
1.1.1 Korozijos klasifikavimas.....	12
1.1.2 Metalų apsaugos nuo korozijos būdai .....	20
1.3.3 Agresyvos aplinkos veikiančios medinių elementų plienines jungtis.....	26
<b>2. EKSPERIMENTINĖ DALIS</b> .....	28
2.1 Metalinių dygiuotų plokštelių apsauga nuo korozijos.....	28
2.1.1 Techniniai duomenys.....	28
2.1.2 Bandinio su metalinėmis dygiuotomis plokštelėmis projektavimas .....	28
2.1.2.1 Pradiniai duomenys bandinio projektavimui .....	28
2.1.2.2 Bandinio projektavimas .....	28
2.1.3 Metalinių dygiuotų plokštelių apžiūra mikroskopu .....	31
2.1.4 Paviršiaus šiurkštumo matavimas .....	33
2.1.5 Antikorozines dangos.....	35
2.1.6 Antikorozinių dangų storio matavimas .....	37
2.1.7 Bandinių išlaikymas agresyvioje aplinkoje.....	40
2.1.8 Bandinių laikomosios galios išbandymas ir drėgnio nustatymas.....	45
2.2 Laivo kilio metalinių jungčių korozija .....	50
2.2.1 Kilio techniniai duomenys .....	50
2.2.2 Kilio metalinių jungčių apžiūra mikroskopu.....	51
2.2.3 Kilio medienos drėgnio nustatymas .....	55
2.2.4 Kilio medienos gniuždomojo stiprio nustatymas.....	56
2.2.5 Kilio medienos tankio nustatymas .....	58
<b>IŠVADOS</b> .....	60
<b>LITERATŪRA</b> .....	62
<b>PRIEDAI</b> .....	63

## ĮVADAS

Pasaulyje maždaug kas trisdešimt sekundžių sukoroduoja viena tona plieno. 2013 metų duomenimis, JAV metiniai korozijos nuostoliai sudaro apie vieną trilijoną dolerių (<http://www.g2mtlabs.com/cost-of-corrosion>). Manoma, kad apie 16% visos pasaulyje sunaudojamos naftos skiriama energetiniams korozijos nuostoliams kompensuoti. Daug dėmesio korozijos tyrinėjimui skiriama visame pasaulyje, todėl ši tema yra aktuali.

Šiame magistriniame darbe nagrinėjama plieno, kuris korodavęs natūraliai, korozija – laivo kilio metalinės detalės ir plieninių jungiamųjų detalių (dygiuotų plokštelių) korozija, kai bandiniai išlaikomi dirbtinėje agresyvioje aplinkoje.

Darbe nagrinėjami du objektai: metalinės dygiuotos plokštelės ir laivo kilis.

Darbo tikslai ir uždaviniai:

- a) Suprojektuoti ir pagaminti bandinius su dygiuotomis metalinėmis plokštelėmis;
- b) Parinkti ir iširti efektyvią dygiuotų metalinių plokštelių apsauginę priemonę;
- c) Nustatyti dygiuotų plokštelių, kurios išlaikomos agresyvioje aplinkoje, korozijos pobūdį;
- d) Nustatyti abiejų kilio strypų metalo korozijos pobūdį ir korodavusio sluoksnio storį;
- e) Nustatyti kilio medienos savybes.

Teorinėje magistrinio darbo dalyje pateikta Lietuvos ir užsienio autorių literatūros apžvalga apie metalų koroziją ir korozijos klasifikavimą, metalų apsaugos nuo korozijos būdus bei agresyvias aplinkas.

Eksperimentinėje dalyje bandymų ir tyrimų metu nustatyta: metalinių dugiuotų plokštelių paviršiaus šiurkštumas, cinko ir papildomų apsauginių dangų storiai, metalinių dygiuotų plokštelių korozijos pobūdis, bandinių su dygiuotomis plokštelėmis gniuždomasis stipris ir drėgnis. Eksperimentų metu taip pat nustatyta laivo kilio metalinių dalių korozijos pobūdis ir korodavusio sluoksnio storis bei medienos savybės: drėgnis, gniuždomasis stipris ir tankis.

Baigiamąjį magistro darbą sudaro įvadas, teorinė dalis, eksperimentinė dalis, išvados, literatūros šaltinių sąrašas ir priedai. Darbo apimtis: 62 puslapiai (be priedų), 67 paveikslai ir 8 lentelės.

# 1. TEORINĖ DALIS

## 1.1 Korozija

Korozija – tai savaiminis metalų irimas, vykstantis dėl metalų ir aplinkos cheminės bei elektrocheminės sąveikos.

Korozija dažniausiai būna metalinių gaminių ir konstrukcijų priešlaikinio susidėvėjimo priežastis. Korozijai būdingi šie požymiai: metalų irimas dažniausiai prasideda nuo paviršiaus; kinta metalinio gaminio savybės; atsižvelgiant į sąveiką su aplinka, metalas, veikiamas korozijos, virsta oksidais, hidroksidais ir kitokiais junginiais; sumažėja metalo stiprumas bei plastiškumas.

Bendriausia metalo oksidacijos reakcija:  $2\text{Me} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Me}(\text{OH})_2$ .

Me – metalas;  $\text{O}_2$  – deguonis;  $\text{H}_2\text{O}$  – vanduo;  $\text{Me}(\text{OH})_2$  – metalo hidroksidas.

Svarbus veiksnys - korozijos greitis  $v_k$ . Jis matuojamas dėl korozijos susidariusių metalo masės nuostolių (g arba mg), tenkančių metalo paviršiaus ploto vienetui ( $\text{m}^2$  arba  $\text{dm}^2$ ) per laiko vienetą (metus, parą ar valandą). Realus korozijos greitis priklauso nuo daugelio veiksnių: metalo paviršiaus struktūros ir būklės, temperatūros, korozinės aplinkos ir judėjimo greičio, medžiagos mechaninių įtempimų ir kt.

Korozijos produktai, susidarę ant metalo ar jo lydinių paviršiaus, vadinami rūdimis. Rūdys susideda iš kristalinių ir amorfinių hidratuotų geležies oksidų mišinio. Rūdžių sluoksnis yra heterogeninis – sudarytas iš kietos, dujinės ir skystos fazių. Jo fizinės ir cheminės savybės priklauso nuo sąlygų, kurioms esant atsirado korozijos produktai. Skirtingose klimatinėse sąlygose susidariusios rūdys gali būti nevienodo tankio – nuo tankių neporingų iki purių byrančių sluoksnių.

Rūdims būdinga fizinė ir cheminė anizotropija. Jose galima išskirti tris sluoksnius. Išorinis sluoksnis yra puriausia rūdžių dalis, kurią lengva mechaniškai pašalinti. Šis sluoksnis sudaro apie 10-30% bendros rūdžių masės. Vidurinis sluoksnis yra sąlyginai mechaniškai tvirtas ir neretai sudaro pagrindinę rūdžių dalį. Vidinis sluoksnis tiesiogiai liečiasi su metalu. Sluoksnių storiai priklauso nuo eksploatacijos sąlygų (atmosferos klimatinio ir cheminio agresyvumo).

Nustatant korozijos greitį, atsižvelgiama į pagrindinius ir šalutinius rodiklius. Pagrindiniai rodikliai: detalės paviršiaus vieneto masės sumažėjimas arba padidėjimas (skaičiuojant per laiko vienetą; šis rodiklis rodo korozijos greitį); korozijos gylis; paviršiaus dalis, pažeista korozijos; korozinių dėmių skaičius paviršiaus ploto vienetu; laikas iki pirmųjų korozijos židinių atsiradimo ir kt. Šalutiniai rodikliai: fizinės ir mechaninės medžiagos savybės; elektrinė varža.

Korozija klasifikuojama pagal įvairius kriterijus.

### 1.1.1 Korozijos klasifikavimas

Korozija gali būti skirstoma į rūšis ir porūšius pagal daugelį veiksnių. Pagal vykstančius procesus korozija skirstoma į *cheminę* ir *elektrocheminę*.

*Cheminė korozija* – tai metalų jungimasis su sausomis (deguonimi, sieros oksidais, halogenais ir kt.) arba su skystomis, nelaidžiomis elektrai medžiagomis (nafta, kai kuriais sintetiniais junginiais). Su šia korozijos rūšimi daugiausia susiduriama metalurgijos (kalant, stampuojant, valcuojant metalus aukštoje temperatūroje) ir chemijos pramonėje.

Cheminė korozija dažniausiai skirstoma į dvi rūšis:

- a) Dujinė korozija;
- b) Korozija neelektrolituose.

Dujinė korozija vyksta oksiduojančių dujų aplinkoje, kai joje nėra drėgmės (tokios sąlygos dažniausiai būna esant aukštai oro temperatūrai). Tada atsiranda metalo ir deguonies heterogeninė sąveika, kurios pasekmė – gaminio paviršiuje susidariusi oksido plėvelė. Cheminė korozija taip pat gali vykti ir kitų oksiduojančių dujų aplinkoje (fluoro, chloro, sieros oksidų ir kt.). Daugeliu atvejų dujinė korozija yra deguonies, esančio ore, ir metalo sąveikos rezultatas. Ant metalo paviršiaus susidaro oksidų sluoksnis, kuris tampa pastebimas esant aukštesnei nei 300°C temperatūrai. Kaitinant anglinį plieną aukštesnėje nei 570°C temperatūroje, oksidacijos intensyvumas didėja šuoliškai. Oksidų plėvelė, kuri susidaro vykstant priešpriešinei deguonies ir geležies atomų difuzijai, yra sudėtingos struktūros.

Korozija neelektrolituose vyksta metalą veikiant skystais neelektrolitais. Neelektrolitai – tai nafta ir jos produktai, nepolinių angliavandenių tirpalai, chlorinti angliavandeniliai, skysti halogenai ar išlydyta siera. Naftos produktai ir nepoliniai angliavandeniliai metalų atžvilgiu dažniausiai būna inertiški, o koroziją sukelia minėtuose skysčiuose esančio vandens, sieros junginių ar druskų priemaišos. Viena iš korozijos neelektrolituose priežasčių gali būti ištirpęs oro deguonis, kurio tirpumas daugelyje organinių skysčių yra daug didesnis nei vandenyje.

*Elektrocheminė korozija* vyksta, kai metalas liečiasi su elektrai laidžiu skysčiu (elektrolitu). Tai labiausiai paplitusi korozijos rūšis. Elektrocheminė korozija pasireiškia korozinių galvaninių elementų susidarymu: tarp dviejų metalų, jiems susilietus arba kai jie sujungti laidininku; tarp lydinio skirtingų metalų kristalų, tarp skirtingos temperatūros arba skirtingų įtempių metalo zonų, tarp metalo ir jame esančių priemaišų. Jei metalo paviršiuje yra taškai ar ploteliai, besiskiriantys elektrodinių potencialų reikšmėmis, tai jie, esant tam tikroms sąlygoms, sudaro mikrokoroziinius galvaninius elementus.

Palankios sąlygos atsirasti korozijai - kai metalo paviršius yra drėgnas arba ant jo susidaro adsorbuotas vandens mikrosluoksnis, kuriame iš aplinkos ištirpsta įvairios dujos ar druskos. Šis

mikrosluoksnis tampa elektrolito tirpalu. Ploteliai, turintys neigiamesnę elektrodinę potencialą (anodiniai ploteliai), yra chemiškai aktyvesni ir elektrolite tirpsta. Metalo jonai pereina į elektrolitą, o susidaręs elektronų perteklius metalu teka į pasyvesnius (katodinius) plotelius, kur juos prisijungia tirpale esantys teigiami jonai, ištirpęs deguonis arba vandens molekulės. Šis metalo tirpimo metu susidariusių elektronų prijungimas vadinamas korozinio proceso depoliarizacija.

Elektrocheminio proceso greitis priklauso nuo koroduojančio paviršiaus aeracijos laipsnio - korozinės aplinkos judėjimo greičio. Metalinei konstrukcijai esant vėjyje arba tekančiame vandenyje, korozija vyksta intensyviau. Be to, korozijos intensyvumas priklauso nuo lydinio cheminės sudėties, tirpalo elektrinio laidumo, kurį lemia ištirpusių druskų ar rūgščių kiekis, korozijos produktų savybių, metalo struktūros nevienalytiškumo (homogeniniai lydiniai mažiau koroduoja), metale esančių vidinių įtempių ir jų pasiskirstymo. Įtempių veikiami metalo ploteliai koroduoja intensyviau.

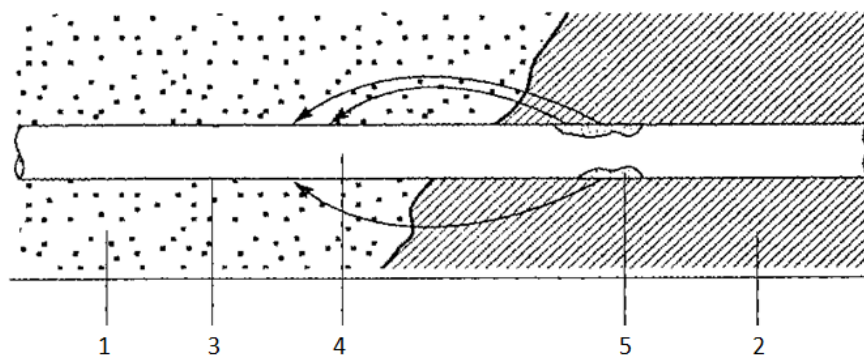
Pagal tai, kokioje aplinkoje vyksta elektrocheminė korozija, ji skirstoma į:

- a) Atmosferinę koroziją;
- b) Koroziją elektrolituose;
- c) Požeminę.

*Atmosferinė korozija* vyksta drėgname ore ar kitose dujose. Tai labiausiai paplitusi korozijos rūšis, nes dauguma metalo gaminių eksploatuojami atvirame ore. Esant pakankamam drėgmės kiekiui ore, ypač kai metalų paviršiaus drėkinimas yra besikeičiančio pobūdžio, atmosferinės korozijos procesas suintensyvėja ir koroziniai pažeidimai įgyja ištisinį charakterį. Atmosferinės korozijos greitis priklauso nuo drėgmės, dujų, dulkių bei kitų teršalų kiekio ore. Intensyviausiai geležies korozija vyksta atmosferoje, kurios sudėtyje yra sieros oksidų arba chlorido jonų.

*Korozija elektrolitų tirpaluose* vyksta, kai metalo gaminiai arba jų dalys yra panardinti į skysčius. Pagal terpę, veikiančią metalus, skiriamos jūrinė, rūgštinė, šarminė, druskinė korozijos rūšys. Projektuojant įrengimus darbui elektrolitų terpėje, būtina įvertinti tai, kad detalių gamyba iš nevienalyčių medžiagų gali skatinti mikrogalvaninių elementų susidarymą. Todėl visus metalų gaminius, dirbančius elektrolitų aplinkoje, rekomenduojama gaminti iš vienalyčių medžiagų.

*Požeminė korozija.* Ši korozijos rūšis dar vadinama korozija dirvoje arba grunte. Labai pavojinga paklotiems vamzdžiams skirtingos sudėties dirva (1 pav.). Metalai molinguose dirvožemiuose sparčiau rūdija nei smėlėtuose. Skiriasi ir dirvožemio korėtumas: 25 % sausuose gruntuose, 90 % durpnyuose. Dirvožemiuose daug ištirpusių įvairių druskų, dujų (CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>) ir kitų medžiagų. Juodžemyje yra daug organinių rūgščių, kurios stipriai veikia metalus: plieną, cinką, šviną. Ypač didelis pelkių, durpynų rūgštingumas (pH≈3).



1 pav. Plieninio vamzdžio korozija skirtinguose gruntuose. 1 – smėlis, 2 – molis, 3 – vamzdis, 4 – katodinė zona, 5 – anodinė zona.

Šaltinis: Kačerauskas J. Kad metalai ilgiau tarnautų. Vilnius: Kronta, 2006., P. 35

Korozijos procesą skatina užterštas arba šiurkštus metalinių gaminių paviršius, dideli temperatūros svyravimai, lydinių nevienalytiškumas. Lygus metalinių gaminių paviršius, gaunamas šlifuojant ar poliruojant, korozijai yra atsparesnis.

Kaip atskiri požeminės korozijos atvejai yra biokorozija (mikrobinė korozija) ir grunte klaidžiojančių elektros srovių sukelta korozija (elektrokorozija).

*Biokorozija* gali vykti dirvožemyje ir vandenyje, kuriame yra mikroorganizmų. Vieniems mikroorganizmams būtinas deguonis (aerobai), kitiems nebūtinas (anaerobai). Mikroorganizmai sukuria nepalankią aplinką arba tiesiogiai dalyvauja metalų korozijoje. Bakterijų gausu geležies karbonatais užterštuose vandenyse ir kitur. Oksiduojantis geležies monoksido druskoms, susidaro netirpus geležies oksido hidratas. Jis ant vandentiekio vamzdžių sienelių sudaro raudonas geležies oksido ir hidroksido nuosėdas, kurios susiaurina, o kartais užkemša vandentiekio vamzdžius.

Elektros srovių sukelta korozija (elektrokorozija) vyksta dėl klaidžiojančių srovių. Klaidžiojančiomis vadinamos tokios srovės, kurios atsiskiria nuo įvairių elektros šaltinių ir teka gruntais ar požeminiais įrenginiais. Klaidžiojanti kintama elektros srovė nėra pavojinga. Intensyvią koroziją sukelia nuolatinė srovė, kurią skleidžia galvaniniai cechai, suvirinimo elektra prietaisai, tramvajų ar elektrinių traukinių bėgių nutekančios srovės. Vamzdyje, kuriuo teka klaidžiojančios srovės, yra išskiriamos trys zonos: katodinė zona (srovė per gruntą patenka į vamždį – korozija nevyksta), neutrali zona (srovės tekėjimo vamzdiu zona – korozija nevyksta), anodinė zona (klaidžiojanti srovė iš metalinio vamzdžio vėl išteka į gruntą – vyksta stipri vamzdžio korozija, susidaro plyšiai).

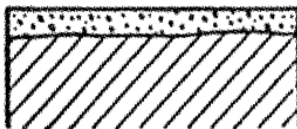
Pagal metalo paviršiaus korozinio pažeidimo požymius korozija skirstoma į *ištisinę* ir *vietinę*.

Ištisinė korozija vyksta visame metalo paviršiuje. Ištisinė korozija dar skiriama į:

a) Tolygią;

- b) Netolygią;
- c) Selektivią (atrankinę).

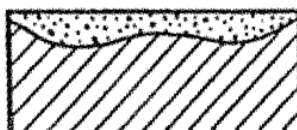
Tolygi ištinė korozija - visas metalo paviršius koroduoja vienodai intensyviai ir korozijos produktai visame jo plote yra pasiskirstę vienodo storio sluoksniu (2 pav.).



2 pav. Tolygi ištinė korozija

Šaltinis: Kačerauskas J. Kad metalai ilgiau tarnautų. Vilnius: Kronta, 2006., P. 39

Netolygi korozija - korozijos greitis atskiruose koroduojančio metalo paviršiaus vietose yra skirtingas. Šiuo atveju korozijos produktai pasiskirstę nevienodo storio zonomis (3 pav.).



3 pav. Netolygi ištinė korozija

Šaltinis: Kačerauskas J. Kad metalai ilgiau tarnautų. Vilnius: Kronta, 2006., P. 39

Selektyvios korozijos atveju vyksta vieno metalo lydinio komponento irimas. Dažniausiai selektyvioji korozija vyksta agresyviose terpėse (4 pav.).



4 pav. Selektivoji ištinė korozija

Šaltinis: Kačerauskas J. Kad metalai ilgiau tarnautų. Vilnius: Kronta, 2006., P. 43

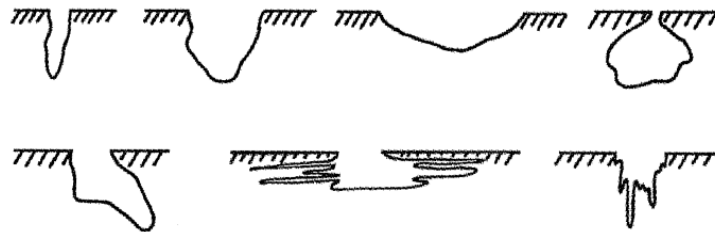
Vietinė (lokali) korozija vyksta esant nevienodai korozinei aplinkai pavienėse metalo paviršiaus vietose. Jai įtakos turi metalo fazių nevienalytiškumas, paviršiaus nelygumai, įvairūs konstrukcinių sprendimų plyšiai, tarpai ir kita. Vietinė korozija skirstoma į:

- a) Taškinę (pitingo);
- b) Dėmėtąją;
- c) Vidinę (popaviršinę);
- d) Kontaktinę (bimetale);
- e) Struktūrinę (tarpkristalinę);
- f) Plyšinę;

- g) Siūlinę;
- h) Erozinę;
- i) Kavitacinę;
- y) Jūrinę (vaterlinijos);
- j) Trinties;
- k) Įtempties;
- l) Koroziją dėl metalų nuovargio;
- m) Koroziją dėl jonizuojančio švitinimo.

Kai kurie autoriai vietinę koroziją skaido į dar daugiau porūšių.

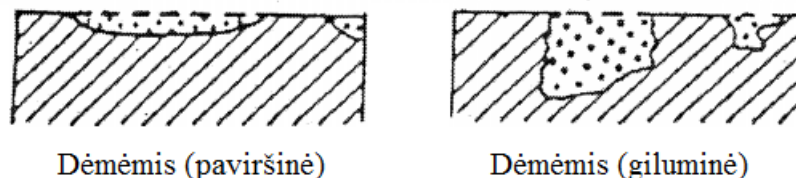
Taškinė (pitingo) korozija - tai metalo paviršiuje pastebimi nedideli korozijos taškeliai (5 pav.), susidarantys dažniausiai dėl metalo paviršiuje iš drėgno oro adsorbuoto vandens kartu su koroziją skatinančiomis medžiagomis - dulkių, druskų, dujų dalelėmis. Taškinė korozija, gali peraugti į gilius korozijos židinius (pitingas). Tokie židiniai, neapimdami didelio ploto gali iš esmės susilpninti metalinių konstrukcijų mechaninį stiprumą. Pitingo korozija - vienas iš pavojingiausių korozijos tipų.



5 pav. Taškinės (pitingo) korozijos pavyzdžiai vertikaliuose paviršiuose

Šaltinis: Kačerauskas J. Kad metalai ilgiau tarnautų. Vilnius: Kronta, 2006., P. 41

Dėmėtoji korozija – kai metalo paviršius koroduoja atskirose vietose, kurių bendras plotas gali apimti iki 20% metalo paviršiaus ploto. Dėmėtoji korozija dar skiriama į paviršinę ir giluminę (6 pav.).

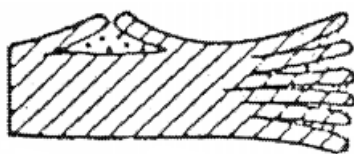


6 pav. Dėmėtoji korozija

Šaltinis: Šulčius A. Metalų korozija ir sauga. Kaunas: Technologija, 2006., P. 12

Vidinė (popaviršinė) korozija kaip nežymi taškinė korozija prasideda metalo paviršiuje ir po juo plėtojasi (7 pav.). Korozijos produktai kaupiasi metalo viduje, todėl jo paviršiuje pastebimi

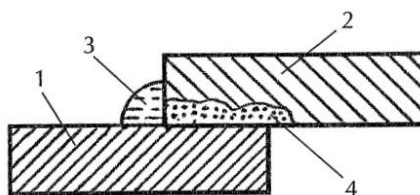
nelygumai, pūslelės. Dėl viduje susikaupusių korozijos produktų gaminio turis padidėja. Šios korozijos atmaina - sluoksninė korozija, kuri plinta metalo plastinės deformacijos kryptimi.



7 pav. Vidinė (popaviršinė) korozija

Šaltinis: Šulčius A. Metalų korozija ir sauga. Kaunas: Technologija, 2006., P. 12

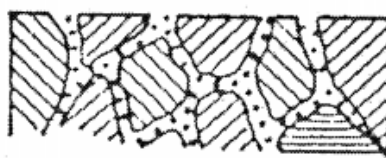
Kontaktinė (bimetalė) korozija pasireiškia ten, kur vienoje konstrukcijoje liečiasi įvairių rūšių metalų vamzdžiai ar detalės su skirtingais elektrodiniais potencialais (8 pav.). Tai būdinga santechnikos įrenginiams.



8 pav. Kontaktinė korozija. 1 – varis (katodas), 2 – aliuminis (anodas), 3 – elektrolitas, 4 – rūdys

Šaltinis: Kačerauskas J. Kad metalai ilgiau tarnautų. Vilnius: Kronta, 2006., P. 40

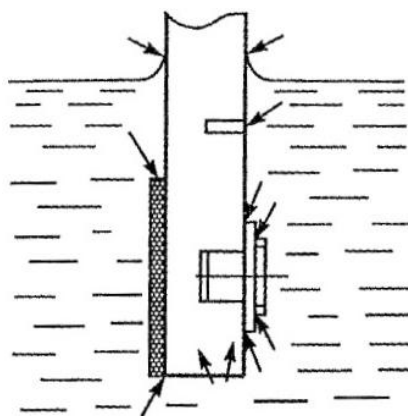
Struktūrinės (tarpkristalinės) korozijos židiniai formuojasi tarp metalo nevienodos struktūros zonų arba pagal metalo kristalų ribas, todėl išoriniai korozijos požymiai sunkiai pastebimi (9 pav.).



9 pav. Struktūrinė korozija

Šaltinis: Šulčius A. Metalų korozija ir sauga. Kaunas: Technologija, 2006., P. 12

Plyšinė korozija vyksta tarpuose tarp dviejų metalų arba esant nesandariam metalo kontaktui su korozijai inertiška medžiaga (10 pav.). Rodyklėmis pažymėtos labiausiai tikėtinos korozijos atsiradimo vietos.



10 pav. Plyšinė korozija

Šaltinis: Kačerauskas J. Kad metalai ilgiau tarnautų. Vilnius: Kronta, 2006., P. 42

Siūlinė korozija - tai specifinė korozijos forma, plintanti ant metalo paviršiaus po apsaugine danga. Šis korozijos būdas pastebimas ant plieno, magnio ir aliuminio lydinių, padengtų metaline (alavo, sidabro, aukso), taip pat ir lako, dažų danga. Plieno paviršiuje susidaro raudonai rudi siūleliai, kurie baigiasi žaliai melsvais taškais. Tai korozijos produktai su divalentinių geležies  $Fe^{2+}$  jonų koncentracija. Paprastai siūlinė korozija plinta aplinkoje, kur santykinė oro drėgmė didesnė kaip 65 %. Vanduo ir ištirpęs deguonis ant metalo paviršiaus patenka per dažų dangoje esančias poras ir įtrūkimus.

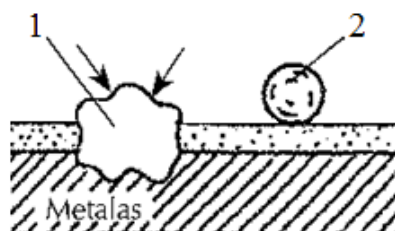
Erozinė korozija - kai korozija ir erozija vyksta vienu metu. Erozinės korozijos atveju metalas laipsniškai mechaniškai ardomas. Erozinė korozija vyksta vamzdžiuose, skysčio krypties pakeitimo vietose (pvz., vamzdžių sulenkimuose, siurbliuose), kai normaliai skysčiui tekėti trukdo įvairūs išsikišimai, staigūs susiaurėjimai (11 pav.).



11 pav. Erozinė korozija

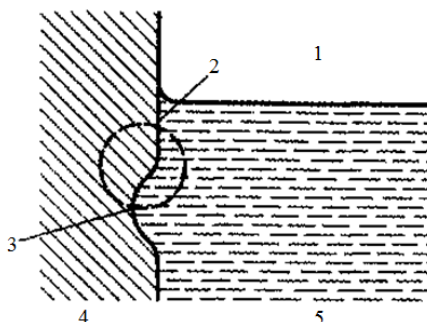
Šaltinis: Kačerauskas J. Kad metalai ilgiau tarnautų. Vilnius: Kronta, 2006., P. 44

Kavitacinė korozija. Kavitacija - garų arba dujų burbuliukų susidarymo ir suirimo procesas. Kavitacijos metu susidaro burbuliukai, kurie smūgiuoja į metalo paviršių (12 pav.). Taip yra metalo apsauginė plėvelė, susidaro mikroplyšiai, trupa ar net atskyla detalės. Šis erozijos (korozijos) procesas vyksta siurbliuose, laivų sraigtuose, pneumatikos ir hidraulikos prietaisuose. Korozija ypač greitai vyksta jūros vandenyse.



12 pav. Kavitacinė korozija. 1 – sprogdantis burbuliukas, 2 – oro burbuliukas  
Šaltinis: Kačerauskas J. Kad metalai ilgiau tarnautų. Vilnius: Kronta, 2006., P. 46

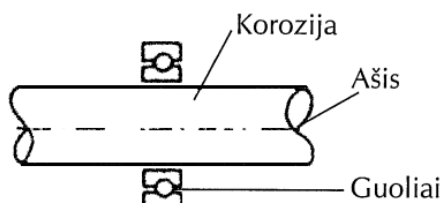
Jūrinė (vaterlinijos) korozija. Jūros vandenyje ištirpusios druskos (druskų chloridai, natrio karbonatai, sulfatai ir kt.) veikia kaip elektrolitai. Be to, jūros vandenyse yra gausu įvairių mikroorganizmų, kurie ardo apsauginį metalo sluoksnį ir spartina jūrinę koroziją. 13 pav. parodyta kaip jūrinė korozija veikia metalinę konstrukciją. Jūrinės korozijos labiausiai paveikiami laivai, prieklaukų statiniai ir įrenginiai, jūros statiniai (naftos platformos, jūrinės vėjo jėgainės ir kt.).



13 pav. Jūrinės korozijos veikiama metalinė konstrukcija. 1 – oras, 2 – katodas (didelė deguonies koncentracija), 3 – anodas (maža deguonies koncentracija), 4 – metalas, 5 – vanduo

Šaltinis: Kačerauskas J. Kad metalai ilgiau tarnautų. Vilnius: Kronta, 2006., P. 45

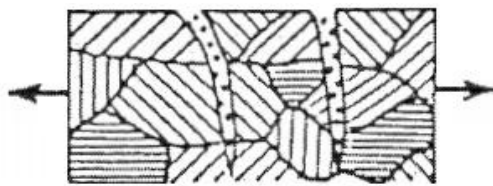
Trinties korozija – tai korozija, kuria sukelia metalų paviršių trintis (14 pav.). Trintis gali susidaryt dėl vibracijų, dinaminių apkrovų ar kitų priežasčių. Trinantis, ypač slystant, pažeidžiama metalo apsauginė plėvelė. Čia svarbiausia sąlyga korozijai atsirasti ne drėgmė, bet oras. Trinties korozijos greitis apie du kartus didesnis negu paprastosios korozijos.



14 pav. Trinties korozija

Šaltinis: Kačerauskas J. Kad metalai ilgiau tarnautų. Vilnius: Kronta, 2006., P. 45

Įtempties korozija - tai vidinių arba išorinių įtempių sukelta korozija. Įtempių vietose, veikiant išoriniams ar vidiniams įtampoms, susidaro mikroplyšiai (15 pav.). Plyšiai plinta kristalo sienelėmis (tarpkristalinis irimas) ir per patį grūdėlį (transkristalinis irimas). Atsparus tas plienas, kurio sudėtyje yra daugiau nikelio.



15 pav. Įtempties korozija

Šaltinis: Šulčius A. Metalų korozija ir sauga. Kaunas: Technologija, 2006., P. 12

Korozija dėl metalų nuovargio vyksta veikiant nepalankiai pasikartojančiais (ciklinei) apkrovai. Įtempiai būna žymiai mažesni už stiprumo ar takumo ribą. Dėl pasikartojančios apkrovos atsiranda įtrūkimų tarp metalo kristalų, todėl jo patvarumas palaipsniui mažėja. Iš pradžių įtrūkimai atsiranda metalo paviršinėje dalyje ir toliau veikiant pasikartojančiai apkrovai plinta gilyn, todėl mažėja darbinis skerspjūvio plotas. Kai likęs skerspjūvio plotas nepajėgia atlaikyti apkrovos, tada gaminys ar detalė lūžta.

Korozija dėl jonizuojančio švitinimo. Jonizuojantis švitinimas – tai stiprus energinis faktorius, kuris atmosferos sąlygomis labai padidina metalų korozijos greitį (kartais net iki 300 kartų). Švitinant metalo korozijos greitis vandeniniuose tirpaluose taip pat didėja, bet tik apie 2-4 kartus, o palankiomis sąlygomis iki 10 – 12 kartų.

### 1.1.2 Metalų apsaugos nuo korozijos būdai

Pasaulyje daug dėmesio yra skiriama metalų apsaugai nuo korozijos, nes dėl jos patiriami metalo nuostoliai per metus sudaro apie 10-12 % išlydomo metalo kiekio. Kadangi korozijos priežastys ir rūšys labai įvairios, tai nėra universalus metodo metalui nuo korozijos apsaugoti. Kaskart reikia atsižvelgti į sąlygas, kuriomis metalinės detalės dirba ir į kitus veiksnius.

Yra žinomi penki metalų korozijos greičio mažinimo būdai: racionalus konstravimas, tinkamas naudojamų medžiagų parinkimas, supančios aplinkos sąlygų kontrolė, elektrocheminė sauga ir apsauginės dangos.

Metalų legiravimas. Pliene be nuolatinių priemaišų dar naudojamos ir specialios priemaišos. Jos naudojamos esamoms savybėms sustiprinti arba suteikti naujas. Legiruojant metalą sudaromas

patvarus paviršinį sluoksnį, įvedami elementai, mažinantys katodinį arba anodinį lydinio aktyvumą bei stabdantys struktūrinę koroziją.

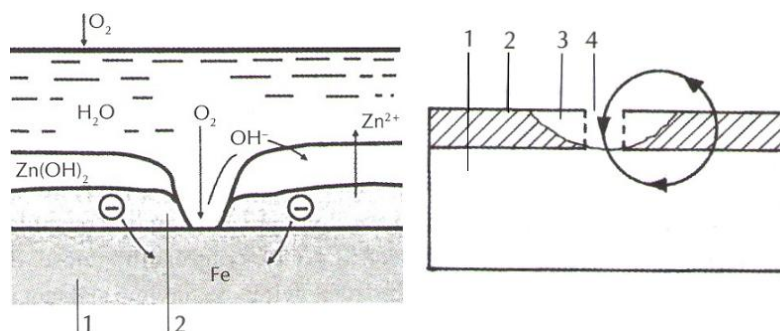
Apsauginės dangos. Jos izoluoja metalą nuo agresyvios aplinkos poveikio. Dangų naudojimas priklauso nuo gaminio, konstrukcijos eksploatacijos sąlygų. Dangos gali būti nuolatinės, laikinos arba periodiškai veikiančios.

Apsauginės dangos skirstomos į:

- a) Metalinės;
- b) Metalų junginių;
- c) Nemetalinės.

Metalinės dangos skirstomos į anodines ir katodines.

Anodinės dangos gaunamos tada, kai metalinis gaminyje padengiamas aktyvesniu (turinčiu mažesnę potencialą) metalu. Jos saugo metalą, izoliuodamos jį nuo agresyvios aplinkos. Šiuo atveju pažeidus dangą koroduoja aktyvesnis metalas, kuris sudaro apsauginę dangą. 16 paveiksle pavaizduota anodinės apsaugos nuo korozijos schema (kairėje) ir korozijos veikimo schema (dešinėje). 1 – plienas, 2 – anodas, 3 – anodo rūdys, 4 – pora. Rodyklėmis pavaizduotos veikimo kryptys.

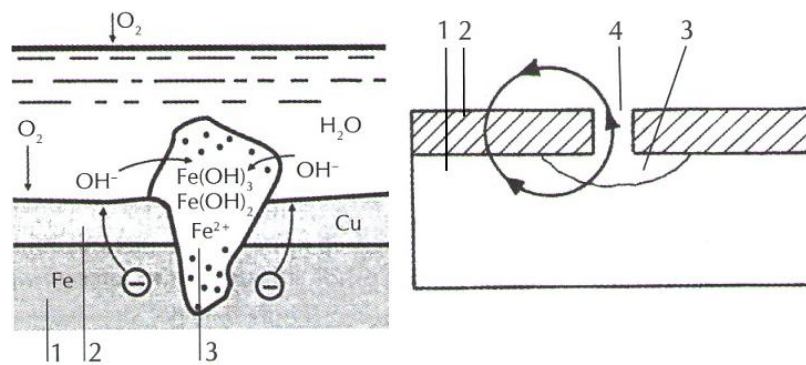


16 pav. Plieno, padengto anodine danga, apsaugos nuo korozijos schema ir korozijos veikimo schema

Šaltinis: Kačerauskas J. Kad metalai ilgiau tarnautų. Vilnius: Kronta, 2006., P. 51

Dažniausiai plieno anodinei dangai apsaugoti naudojamas cinkas, rečiau kadmio arba mangano. Cinko dangos elastingos ir gerai atlaiko valcavimą, lenkimus ar tempimą. Ką tik suformuotos dangos lengvai lituojamos.

Katodinės dangos gaunamos metalą padengiant mažiau aktyviu (didesnio potencialo) metalu. Tokios dangos metalą apsaugo tik mechaniškai. Pažeidus katodinę dangą koroduoja saugomas metalas. 17 paveiksle pavaizduota katodinės apsaugos nuo korozijos schema (kairėje) ir korozijos veikimo schema (dešinėje). 1 – plienas, 2 – katodas, 3 – plieno rūdys, 4 – pora. Rodyklėmis pavaizduotos veikimo kryptys. Katodinei plieno apsaugai naudojamas nikelis, chromas, sidabras, alavas, varis.



17 pav. Plieno, padengto katodine danga, apsaugos nuo korozijos schema ir korozijos veikimo schema

Šaltinis: Kačerauskas J. Kad metalai ilgiau tarnautų. Vilnius: Kronta, 2006., P. 51

Apsauginės metalinės dangos dengiamos tik ant gerai nuvalyto metalo paviršiaus. Paviršiai valomi mechaniniu, cheminiu arba elektrocheminiu būdais. Paruoštas metalo paviršius gali būti dengiamas įvairiais būdais: cheminiu nusodinimu (dangos gavimas, redukuojant metalų jonus cheminėmis medžiagomis), galvanosteginiu (plono metalo sluoksnio nusodinimas kito metalo paviršiuje elektrolizės būdu), termodifuziniu (apsauginio metalo difuzija į saugomą metalą didelėje temperatūroje), metalizavimo (išlydyto metalo užpurškimas ant dengiamo paviršiaus), aplydymo (gaminys įmerkiamas į išlydytą metalą), plakiravimo (saugomas metalas padengiamas apsauginio metalo lakštais).

Metalų junginių (konversinės) dangos gaunamos vykdant metalų paviršiuje chemines reakcijas. Paviršinis metalo sluoksnis reaguoja ir sudaro cheminius junginius, saugančius gilesnius metalo sluoksnius nuo korozijos. Dažniausiai metalai oksiduojami (metalų paviršius apdorojamas naudojant cheminius arba elektrocheminius metodus, kurių metu susidaro korozijai atsparūs metalų oksidai), fosfatuojami (dengiami vandenyje netirpių mangano, geležies ar cinko tretinių fosfatų kristalinėmis plėvelėmis) ar chromatuojami (naudojami chromo rūgštis ar chromatų tirpalai, turintys HCl ir H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> priedą).

Nemetalinės dangos būna neorganinės (sudarytos iš neorganinių medžiagų) ir organinės (pagamintos naudojant organines medžiagas).

Iš neorganinių plačiausiai naudojamos emalės, metalų-keraminės, cemento ir rūgštims atsparios keramikos apsauginės dangos.

Emalės (emalinės) dangos – tai dangos, sudaromos metalinių dirbinių paviršiuje išlydant mineralines medžiagas (boro silikatinį stiklą, lauko špatą, boraksą ir kt.). Emalės atsparios neorganinėms ir organinėms rūgštims, silpniems šarmams, atmosferinei korozijai ir aukštai temperatūrai (iki 1000°C).

Metalu – keraminės dangos gaunamos į oksidus arba sunkiai lydžius junginius pridėjus metalų. Oksidai su metalo priemaiša yra plastiškesni, mažiau trapūs ir laidesni šilumai.

Cemento (cementinės) dangos – tai portlandcemenčio mišinių su inertiniais priedais 5-25 mm storio dangos. Jos gana pigios, paprasta gamybos technologija ir nesudėtingas remontas. Cementinėmis dangomis dengiami vandentiekio vamzdžiai, naftos ir cheminių medžiagų rezervuarai, metaliniai įrenginiai jūros ir kituose vandenyse. Šios dangos neatsparios mechaniniam poveikiui (smūgiams) ir staigiems temperatūros pokyčiams.

Rūgštims atspari keramika gaminama iš molio ir kvarco mineralų (dažniausiai  $\text{SiO}_2$ ). Atsparumas didinamas glazūruojant. Keraminėmis dangomis (plytomis ar plytelėmis) klojami rūgščių rezervuarai, reaktoriai, vamzdynai ir kiti įrenginiai.

Prie organinių dangų priskiriamos nemetalinės įvairių tepalų, lakų, dažų, dervų, gumų dangos.

Tepalai – naudojami laikinai apsaugai nuo korozijos. Naudojami naftos produktai (parafinas, vazelinas, alyva, bitumas ir kt.)

Lakai – tai džiūstančių aliejų, dervų, ar celiuliozės esterių koloidiniai tirpalai lakiuose organiniuose tirpikliuose (benzine, acetone ir kt.). Užpurškus tirpiklis išgaruoja ir lieka plona, gerai sukibusi su metalu polimerinė plėvelė.

Dažai – tai neorganinių pigmentų suspensija plėvelės sudarančiuose organiniuose skysčiuose (pokoste, aliejaus ir dervos mišinyje). Dažais dažniausiai saugoma metalus nuo atmosferinės korozijos.

Dervos – tai asfaltas, bitumai, epoksidinės, organinės silicio ir kitos dangos. Metalai dengiami išlydytomis arba ištirpintomis dervomis arba plastmasių lakštais.

Gumų (guminės) dangos – parengiamos iš gumos lakštų arba skystos gumos masės. Dažniausiai naudojama skysta guma, kuri po užtepimo vulkanizuojama. Gumos danga saugo nuo paviršių nuo korozijos, vibracijos, kavitacijos, erozijos, kibirkščių, dujų ar vandens poveikio. Gumuojami smulkesni, sudėtingos formos paviršiai.

Elektrocheminė sauga – tai metalų saugos nuo korozijos būdas, kai naudojama išorinio elektros šaltinio poliarizacija arba sujungus saugomą metalą su metalu, turinčiu mažesnę potencialą. Plačiai naudojami anodinės ir katodinės saugos būdai.

Anodinė sauga – saugomas metalinis gaminys prijungiamas prie teigiamo elektros šaltinio poliaus ir parenkamas toks potencialas, kad metalų paviršiuje susidarytų pasyvuojantis oksidų sluoksnis. Anodinė sauga tinka nerūdijančio plieno apsaugai 30-60% koncentracijos sieros rūgštyje, titano apsaugai koncentruotose sieros ir azoto rūgštyse.

Katodinė sauga – naudojama požeminių vamzdynų, laivų bei tiltų apsaugai. Katodinė sauga vykdoma sujungus saugomą įrengimą su išoriniu elektros šaltiniu (lygintuvu), kuris kintamą srovę

paverčia nuolatine. Saugomas įrengimas sujungiamas su neigiamu lygintuvo poliumi (virsta katodu), o antrasis elektrodas sujungiamas su teigiamu lygintuvo poliumi (virsta anodu).

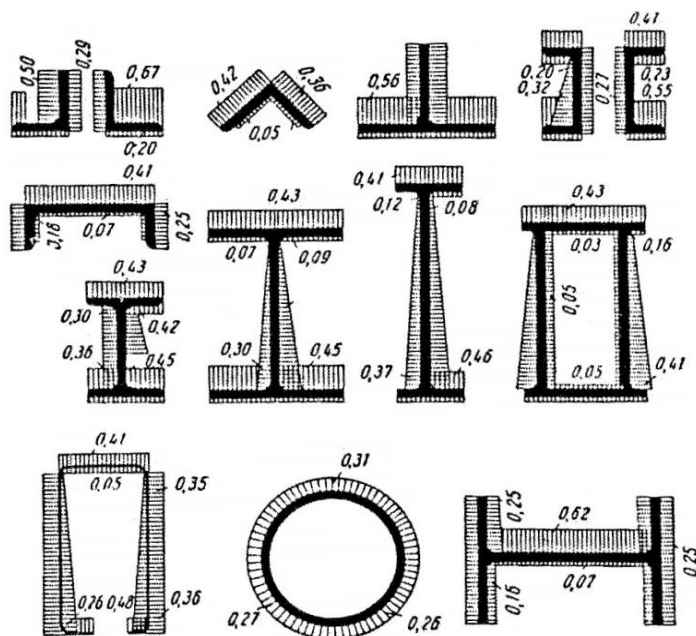
Kai kuriais atvejais saugant metalus nuo korozijos reikėtų skirti nemažai dėmesio korozinės aplinkos aktyvumui sumažinti. Korozinę aplinką dažniausiai įmanoma sumažinti palyginti nedidelėse erdvėse. Gali būti sudaroma apsauginė dujų atmosfera (terminiškai apdorojant ar virinant metalus). Taip pat galima mažinti depoliarizatorių koncentraciją. Depoliarizatoriai dažniausiai yra ištirpę tirpaluose deguonis ar vandenilio jonai. Juos pašalinus iš tirpalų, metalų korozijos greitis sumažėja. Kitas būdas mažinti korozinės aplinkos aktyvumą – inhibitorių naudojimas. Inhibitoriai – medžiagos, mažinančios arba stabdančios korozijos greitį. Nedideli inhibitorių kiekiai įdedami į agresyvią aplinką. Inhibitoriai skirstomi į tris grupes: anodinius (medžiagos turinčios oksidinių savybių ir sudarančios oksidų plėvelę, kuri mažina aktyvių anodinių plėvelių paviršių), katodinius (lėtina katodinį procesą – padidina katodinį viršįtampį ir sumažina deguonies koncentraciją korozinėje aplinkoje) ir bendruosius (įtakoja katodinę ir anodinę korozijos proceso reakcijas).

Daugelis klausimų, susijusių su korozija, gali būti išspręsti jau projektavimo stadijoje. Konstrukcijos ilgaamžiškumas labai priklauso nuo teisingų konstrukcinių sprendimų. Esant neteisingam konstravimui gali susidaryti koroziniai galvaniniai elementai. Žmonių klaidos turi didelę įtaką metalų korozijai. Konstruojant konstrukcijas būtina žinoti, kad įtrūkimų atsiradimas pavojingas tose vietose, kur koncentruojasi mechaniniai įtempiai (staigūs formos pakitimai, skylės ir kt.). Kartais gali būti naudojamas korozijos atsargos koeficientas (medžiagos storis padidinamas tiek, kad kompensuotų koroziją). Tai dažniausiai daroma tose vietose, kur laukiama padidinta korozija (pvz.: skysčio ir oro sąlyčio vietoje).

Korozijos greičiui ir ilgaamžiškumui didelę įtaką turi konstrukcijos forma. Korozijos greitis priklauso nuo daugelių faktorių, svarbiausi iš jų: pjūvių suleidimas, konstrukcijos elementų aptakumas, drėgmės susikaupimas, konstrukcijos elemento sujungimo metodai, korozijos produktų nuo konstrukcijos nuvalymo galimybės ir pakartotinis nudažymas.

Pjūvių suleidimas – tai pjūvio perimetro santykis su jo plotu. Siekiama naudoti pjūvius su minimaliu suleidimu.

Nuo konstrukcijos elementų aptakumas priklauso drėgmės nuo paviršiaus garavimas (korozijos proceso laikas). Labiausiai aptaki yra vamzdinė konstrukcija. Nemažą reikšmę turi ir korozijos plitimo pobūdis pjūvyje (18 pav.). Skaičiai epiūroje rodo korozijos greitį mm/metus.

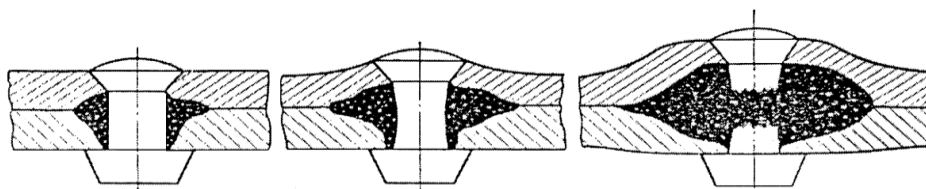


18 pav. Korozijos pobūdis skersiniame pjūvyje

Šaltinis: Šulčius A. Metalų korozija ir sauga. Kaunas: Technologija, 2006., P. 242

Vietose, kuriose kaupiasi vanduo ir purvas korozijos greitis didėja, todėl siekiama gaminti tokias konstrukcijas ant kurių negalėtų kauptis vanduo ar purvas. Taip pat reikėtų vengti ir vandens susikaupimo tarpuose, nes tuomet vyksta intensyvi plyšinė korozija.

Projektuojant konstrukcijas siekiama tokių elementų sujungimo metodų, kurie mažintų koroziją. Geriau naudoti virintas konstrukcijas, nei sujungtas kniedėmis. Naudojant kniedes tarp jungiamųjų metalų gali kauptis drėgmė, dėl kurios korozijos greitis labai padidėja. Korozijos produktų padidėjimas kniedytuose sujungimuose sudaro įtampius. Dėl šių įtampių kniedės trūksta (19 pav.). Jei konstrukcijų virinti negalima tada rekomenduojama konstrukcijas prieš kniedijant gruntuoti, užglaistyti.



19 pav. Metalų pažeidimas ir kniedės trūkimas

Šaltinis: Šulčius A. Metalų korozija ir sauga. Kaunas: Technologija, 2006., P. 245

Siekiant konstrukcijų dekoratyvios išvaizdos bei apsaugos nuo korozijos, jos dengiamos dažų, lakų ar kitomis dangomis, kurios dažniausiai nuo korozijos saugo tik 2-3 metus. Dėl šios priežasties konstruktorius privalo numatyti galimybę nuvalyti nuo konstrukcijos senus dažus ir korozijos produktus bei dangos atnaujinimą.

### 1.1.3 Agresyvos aplinkos veikiančios medinių elementų plienines jungtis

Medinių jungiamųjų elementų korozijai didelės įtakos turi santykinė oro drėgmė, ore ištirpusios cheminės medžiagos, temperatūros svyravimai ir kiti veiksniai.

Pagrindinės agresyvos aplinkos, kuriose naudojamos medinės konstrukcijos su plieninėmis jungiamosiomis detalėmis yra:

- a) Gyvulininkystės statiniai;
- b) Cheminių medžiagų, trąšų saugyklos ir sandėliai;
- c) Baseinai ir vandens pramogų statiniai;
- d) Jūrinio vandens poveikis.

Gyvulininkystės statiniai – fermos, kiaulidės, vištidės ir kiti. Juose didelė santykinė oro drėgmė ir santykinai didelis amoniako ( $\text{NH}_3$ ) kiekis ore.

Santykinė oro drėgmė (drėgnis) gyvulininkystės statiniuose gali siekti iki 100%. Vidutinis santykinis drėgnis apie 70-80%. Drėgnis priklauso nuo daugelio veiksnių: auginamų gyvulių tipo; jų svorio; ploto, tenkančio vienam gyvuliui; išmatų pašalinimo ir valymo mechanizmų bei valymo dažnumo; patalpų vėdinimo ir kitų veiksnių. Didelė santykinė oro drėgmė atsiranda nuo gyvulių šlapimo (išmatų) ir didelės oro temperatūros.

Amoniako ( $\text{NH}_3$ ) emisija priklauso nuo įvairių veiksnių: azoto kiekio pašaruose ir mėšle, mėšlo temperatūros, anglies ir azoto santykio mėšle, mėšluoto paviršiaus ploto, patalpos oro temperatūros, oro judėjimo greičio, vėdinimo intensyvumo ir kitų. Amoniakas pirmiausia formuojasi skylant šlapime esančiam karbamidui. Vidutiniškai iš vienos karvės vietos per parą išgaruoja apie 20-30 gramų amoniako (priklausomai nuo daugumos veiksnių). Per tvartinį laikotarpį (220 dienų) iš vienos karvės vietos vidutiniškai išgaruoja apie 3,7-7,3 kilogramai amoniako. Amoniako išsiskyrimas labai priklauso nuo patalpos temperatūros (temperatūrai pakilus nuo  $0^\circ\text{C}$  iki  $15^\circ\text{C}$  amoniako emisija iš vieno gyvulio vietos suintensyvėja apie 1,5 karto).

Cheminių medžiagų ir trąšų saugyklos ir sandėliai – labai agresyvi korozinė aplinka. Priklausomai nuo sandėliuojamų medžiagų korozijos greitis gali labai išaugti. Pavyzdžiui dažnai naudojamos amonio salietros ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) susideda iš amoniako ( $\text{NH}_3$ ) ir azoto rūgšties ( $\text{HNO}_3$ ). Azoto rūgštis – stipri rūgštis ir oksidatorius. Azoto rūgštyje kai kurie metalai (mažo aktyvumo ir vidutinio aktyvumo) gali visiškai sukoroduoti per kelias minutes. Ne mažiau pavojingos ir kitos trąšos: kalio salietra ( $\text{KNO}_3$ ), kompleksinės trąšos ir kitos.

Baseinuose ir vandens pramogų statiniuose yra didelė santykinė oro drėgmė ir cheminių medžiagų poveikis. Cheminės medžiagos naudojamos bakterijų ir mikroorganizmų naikinimui, dezinfekcijai, pH lygiui reguliuoti, vandeniui skaidrinti ar naikinti dumbliams. Pagrindinės naudojamos cheminės medžiagos: chloras, bromas, algicidas ir kitos. Chloras ir kitos medžiagos,

bei didelė santykinė oro drėgmė gali ženkliai padidinti metalinių elementų korozijos greitį.

Jūros vanduo taip pat pavojinga korozinė aplinka. Jo pH apytiksliai lygus 8. Druskų koncentracija apie 3,5% masės, tačiau pakrantėse ir įvairiose jūrose ar vandenynuose jūros vandens sudėtis dažnai būna kitokia. Pavyzdžiui Atlanto ir Ramiojo vandenynų bendra druskų koncentracija siekia apie 3,5%, Raudonosios jūros apie 4,1%, Juodosios jūros apie 1,8%, Baltijos jūros apie 0,2-0,5%, o palyginimui upių druskingumas siekia apie 0,01-0,03%. Jūros vandenyse yra nemažai NaCl, MgCl<sub>2</sub>, MgSO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ir kitų druskų. Tai pat pavojinga kai kurių jonų koncentracija: Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> ir kitų. Jonų pasiskirstymas jūros vandenyje yra ne vienodas. Pavyzdžiui, tolstant nuo Atlanto vandenyno Cl<sup>-</sup> jonų koncentracija Baltijos jūroje mažėja. Jūrose judančios vandens masės suvienodina druskų koncentracijas, tačiau vyksta tam tikri ypatumai:

a) Įtakos korozijai turi ribotas šviesos pralaidumas ir metalų apaugimas jūros mikroorganizmais laipsnis;

b) Jūros srovės, jas lyginant su visa likusia vandens mase, dažnai turi kitokią temperatūrą ir srauto judėjimo greitį. Dėl to metalų korozijos procesas jūros srovėse skiriasi nuo korozijos proceso srovę supančioje vandens masėje;

c) Kai kuriose jūros srityse dideliame gylyje susidaro piknolijos. Piknolija – riba tarp vandens sluoksnių su skirtingais tankiais.

Saugant laivus ir uosto statinius nuo jūrinės aplinkos poveikio patartina naudoti jūros vandeniui atsparias konstrukcijas (aliuminį, legiruotą cinką, lantaną). Konstrukcijas saugoti apsauginėmis dangomis ir elektrochemine apsauga arba įrengti kompleksinę apsaugą.

## **2. EKSPERIMENTINĖ DALIS**

### **2.1 Metalinių dygiuotų plokštelių apsauga nuo korozijos**

#### **2.1.1 Techniniai duomenys**

Nagrinėjamas objektas – metalinės dygiuotos plokštelės „Mitek GNT100S“.

Jungimo dygiuota plokštele mazgas vienalytis, standus ir patikimas. Taip pat tai patikima jungtis poslinkiams ir tempimui. Jungtis jungiama viena plokštuma (be užleidimų). Metalinių dygiuotų plokštelių pagalba gaminamos santvaros, perdangos reminės ir kitos konstrukcijos.

Dygiuotos plokštelės gaminamos iš galvanizuoto mažaanglio plieno S350GD, padengto Z275 cinku (pagal EN10346:2009 standartą). Konstrukcijas su metalinėmis plokštelėmis labiausiai veikia atmosferinė korozija. Atmosferinė korozija pasireiškia metalo paviršiuje, kur kondensuojasi vandens garai. Dygiuotos plokštelės gaminamos iš plieninių cinkuotų lakštų presavimo būdu, todėl ties dygiais cinko danga yra pažeidžiama ir pažeistose vietose formuojasi korozijos židiniai.

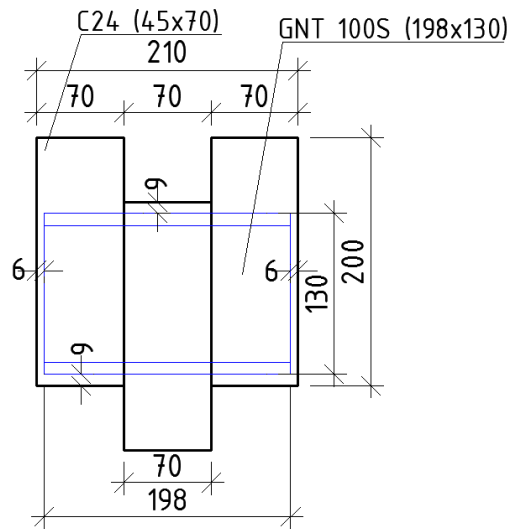
#### **2.1.2 Bandinio su metalinėmis dygiuotomis plokštelėmis projektavimas**

##### **2.1.2.1 Pradiniai duomenys bandinio projektavimui**

Pradiniai duomenys: Projektuojamas bandinys, kurio laikomąją galią būtų galima išbandyti bandymų mašina Zwick/Roell. Projektuojamo bandinio skaičiuojamoji maksimali atlaikoma jėga turi būti 20-30kN ribose. Bandinys projektuojamas iš standartinių matmenų medienos, jungimui naudojant standartinių dydžių metalines dygiuotas plokšteles GNT 100S.

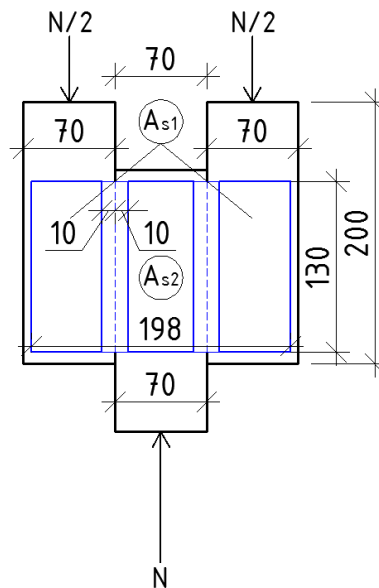
##### **2.1.2.2 Bandinio projektavimas**

Projektuojamas bandinys iš C24 klasės 45x70 mm skerspjūvio medienos su standartinių matmenų metaline dygiuota GNT 100S 198x130 mm (20 pav.). Dygiuotos plokštelės įspaudžiamos į medieną bandymų mašina Zwick/Roell 50kN/dm<sup>2</sup> jėga.



20 pav. Projektuojamas bandinys

Bandinio skaičiuojamoji schema pateikta 21 pav.



21 pav. Metalinės dygiuotos plokštelės skaičiuojamoji schema

Tikrinama dygių laikomoji galia:

$$N = A_{s2} \cdot R_d;$$

$$A_s = N / R_d;$$

$N$  – ašinė jėga;

$A_s$  – reikiamas zonos plotas;

$R_d$  - dygių skaičiuojamasis projektinis stipris;

$$R_d = R_c \cdot k_{mod} / \gamma_M;$$

Kai kampas tarp veikiančios įrašos ir plokštelės krypties  $\alpha=90^\circ$ , o kampas tarp veikiančios įrašos ir medienos pluošto krypties  $\beta=0^\circ$ ):

$$R_c = R_{c,0,k} + k_1 \alpha_0 + k_2 (\alpha - \alpha_0) = 2,63 + 0,002 \cdot 27 - 0,006(90 - 27) = 2,306 \text{ Mpa};$$

Charakteristiniai duomenys skaičiavimui paimti iš plokštelių gamintojo specifikacijos:

$$R_{c,0,k} = 2,63 \text{ Mpa}; k_1 = 0,002; k_2 = -0,006; \alpha_0 = 27^\circ;$$

$k_{\text{mod}}$  – modifikacijos koeficientas;

$$k_{\text{mod}} = 1,0;$$

$\gamma_M$  – medžiagos savybės rodiklio dalinis koeficientas;

$$\gamma_M = 1,25;$$

$$R_d = 2,306 \cdot 1/1,25 = 1,84 \text{ Mpa};$$

$$N = 24 \text{ kN};$$

$$A_s = 24/1,84 \cdot 10^3 = 0,0109 \text{ m}^2 = 130 \text{ cm}^2;$$

Nustatyta, kad prie siūlės, kai nuotolis nuo jos ne mažesnis kaip  $c=10$  mm, plokštelė veikiančios jėgos nelaiko. Pirmo ruožo suprojektuotos plokštelės plotas (įvertinus  $c=10$  mm)  $A_{s1p}=70,20 \text{ cm}^2$ . Plokštelė dedama iš abiejų bandinio pusių, todėl tikrasis pirmo ruožo plotas lygus  $2A_{s1p}=140,40 \text{ cm}^2$ . Antro ruožo suprojektuotos plokštelės plotas (įvertinus  $c=10$  mm)  $A_{s2p}=65,00 \text{ cm}^2$ . Plokštelė dedama iš abiejų bandinio pusių, todėl tikrasis pirmo ruožo plotas lygus  $2A_{s1p}=130,00 \text{ cm}^2$ . Pavojingesnis atvejis antrame ruože, todėl tikrinu antro ruožo stiprumo sąlygą:  $130,00 \geq 130,00$ ; Sąlyga tenkina. Dygių laikomoji galia antrame ruože pakankama.

Plokštelės siūlių stiprumo tikrinimas:

$$N = l_{ef} \cdot R_{pl,s,d};$$

$$l_{ef} = N / R_{pl,s,d};$$

$l_{ef}$  – reikiamas siūlės ilgis;

$R_{pl,s,d}$  – plokštelės projektinis stipris kirpimui;

$$R_{pl,s,k} = R_{pl,s,k0} \cdot k_v \cdot \gamma_0;$$

$R_{pl,s,k}$  – plokštelės charakteristinis stipris kirpimui;

$$R_{pl,s,k0} = 75 \text{ Mpa}; \gamma_0 = 2,5^\circ \text{ (pagal plokštelių gamintojo specifikaciją)};$$

$$k_v = 0,8;$$

$$R_{pl,s,k} = 75 \cdot 0,8 \cdot 2,5 = 73 \text{ Mpa};$$

$$R_{pl,s,d} = R_{pl,s,k} \cdot k_{\text{mod}} / \gamma_M;$$

$$R_{pl,s,d} = 73 \cdot 1/1,25 = 58,4 \text{ Mpa};$$

$$l_{ef} = 24/58,4 = 0,411 \text{ m} = 41,1 \text{ cm};$$

Suprojektuoto bandinio siūlių ilgis (įvertinus  $c=10$  mm)  $2l_{ef,p} = 2 \cdot 11 = 22$  cm. Plokštelė dedama iš abiejų bandinio pusių, todėl tikrasis siūlių ilgis lygus  $4l_{ef,p} = 44$  cm.

$44,0 \geq 41,1$ ; Sąlyga tenkinama. Suprojektuoto bandinio siūlių ilgis pakankamas. Suprojektuotas bandinys atlaiko 24 kN jėgą.

### 2.1.3 Metalinių dygiuotų plokštelių apžiūra mikroskopu

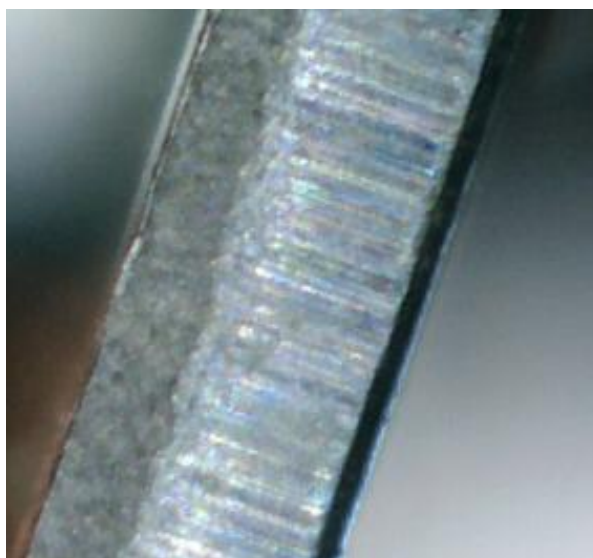
Siekiant geriau nustatyti būsimos korozijos židinius metalinės dygiuotos plokštelės apžiūrėtos skaitmeniniu mikroskopu „Celestron“ (22 pav.), kuris priartina vaizdą iki 150 kartų.



22 pav. Skaitmeninis mikroskopas „Celestron“

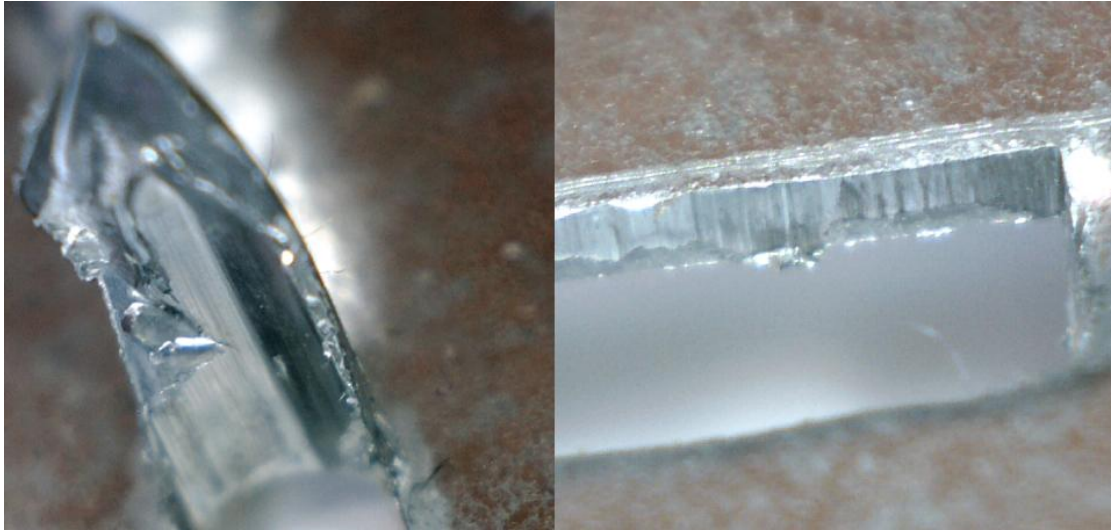
Šaltinis: <<http://www.optics-pro.com/digital-microscopes-with-pc-eyepiece/celestron-microscope-tragbares-digitales-mikroskop-hdm-ii-44-302/p,15265>>

Apžiūros metu buvo aiškiai matomi cinko dangos pažeidimai ant metalinių dygiuotų plokštelių. Kadangi plokštelės gaminamos iš cinkuotų plieno lakštų, cinko dangos plokštelių briaunose visiškai nėra (23 pav.).



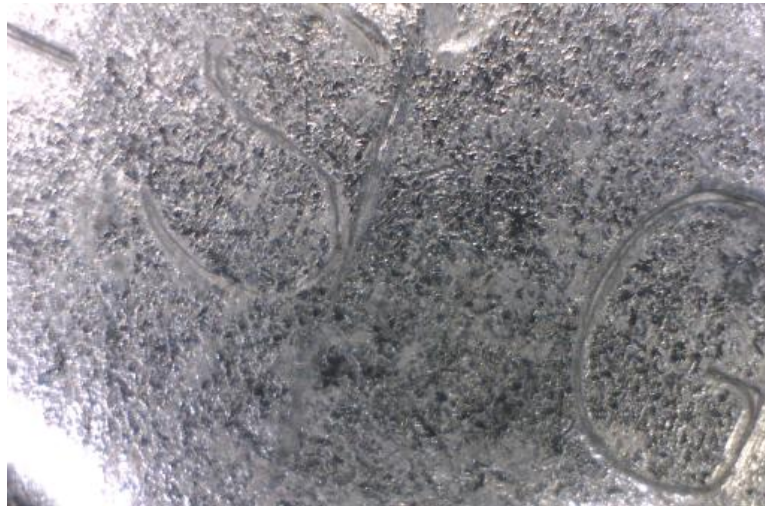
23 pav. Metalinės dygiuotos plokštelės briaunos vaizdas per mikroskopą

Kita pavojinga vieta – plokštelių dygiai. Presuojant plokšteles iš plieno lakštų aplink dygius ir ant plokštelės, kur buvo dygiai cinko dangos visiškai nėra (24 pav.).



24 pav. Metalinių dygiuotų plokštelių cinko dangos pažeidimai ties dygiais

Cinko danga taip pat pažeista tose vietose, kuriose gamintojas išpaudžia plokštelės pavadinimą (25 pav.).



25 pav. Gamintojo išpaustas plokštelės pavadinimas

Ant kai kurių plokštelių taip pat pastebimi ir kiti cinko dangos pažeidimai, kurie galėjo atsirasti jau gaminant skardos lakštus, juos transportuojant, gaminant plokšteles ar jas transportuojant.

Visi šie cinko dangos pažeidimai turi įtakos plieninės plokštelės korozijai. Pažeistose vietose formuojasi korozijos židiniai, pažeista plokštelė pradeda koroduoti greičiau nei nepažeista. Eksploatuojant konstrukcijas, su metalinėmis dygiuotomis plokštelėmis agresyvioje aplinkoje (gyvulininkystės fermose, trąšų sandėliuose ir kt.) korozijos greitis ir mastai ypač išauga, todėl būtina papildomai naudoti kitas apsaugines priemones, kurios užtikrintų ilgesnį konstrukcijų eksploatavimo laiką.

## 2.1.4 Paviršiaus šiurkštumo matavimas

Paviršiaus šiurkštumu vadiname mikogeometrinių paviršiaus nelygumų visumą, kai paviršiaus profilį (reljefą) sudarantys mikronelygumai kartojasi palyginti mažu žingsniu.

Paviršiaus šiurkštumas matuojamas tam, kad būtų galima tinkamai parinkti apsauginę antikorozinę dangą. Kai šiurkštumas didelis galima naudoti beveik visas apsaugines dangas, o kai šiurkštumas nedidelis (pvz.: cinkuotų paviršių) ne visos dangos tinkamai sulimpa su saugomu metalu.

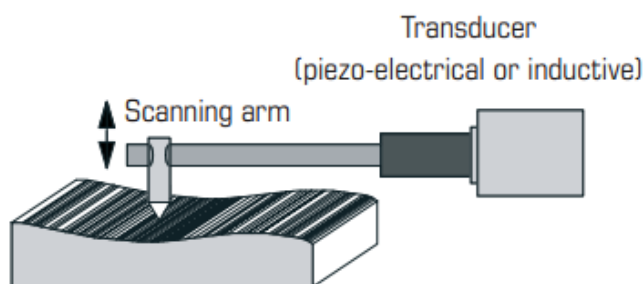
Paviršiaus šiurkštumo matavimo prietaisu „TR100 Surface Roughness Tester“ (26 pav.) nustatytas metalinių dygiuotų plokštelių paviršiaus šiurkštumas.



26 pav. Paviršiaus šiurkštumo matavimo prietaisas

Šaltinis: <[http://www.phynix.de/fileadmin/pdf/tr\\_series\\_e.pdf](http://www.phynix.de/fileadmin/pdf/tr_series_e.pdf)>

„TR100 Surface Roughness Tester“ veikia kontaktiniu metodu. Prietaisas matuojamąjį paviršių liečia matavimo antgaliu (liestuku), kurio judesiai pjezoelektriniu davikliu (27 pav.) perduodami į prietaiso skalę ir šiurkštumo parametrų reikšmės parodomos ekrane. Prietaiso paklaida  $\pm 3\%$ .

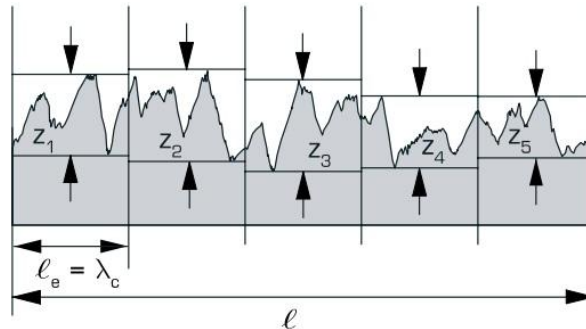


27 pav. Paviršiaus šiurkštumo skenavimo principas

Šaltinis: <[http://www.phynix.de/fileadmin/pdf/tr\\_series\\_e.pdf](http://www.phynix.de/fileadmin/pdf/tr_series_e.pdf)>

Matavimo metu nustatytos šiurkštumo parametro  $R_z$  reikšmės.  $R_z$  – profilio mikronelygumų

$Z_i$  vidutinis aukštis (28 pav.).  $R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 Z_i$ .  $l_e = \lambda_c$  – bazinis ilgis;  $l$  – bendras vertinamas ilgis.



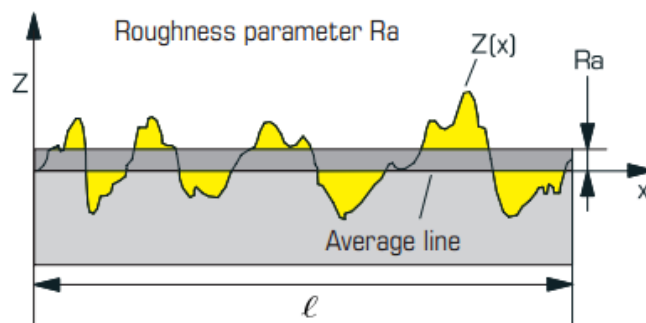
28 pav. Šiurkštumo parametro  $R_z$  skaičiavimas

Šaltinis: < [http://www.phynix.de/fileadmin/pdf/tr\\_series\\_e.pdf](http://www.phynix.de/fileadmin/pdf/tr_series_e.pdf)>

Matuojant pasirinktas bazinis ilgis  $l_e = 2,5$  mm, o bendras vertinamas ilgis  $l = 12,5$  mm. Matavimai atlikti pagal LST EN ISO 4287:2007 standartą.

Vidutinis metalinių dygiuotų plokštelių profilio mikronelygumų aukštis  $R_z = 5,4$   $\mu\text{m}$ . Metalinės dygiuotos plokštelės gaminamos iš cinkuotos skardos lakštų, todėl jų šiurkštumas nedidelis. Atsižvelgiant į tai parenkamos apsauginės antikorozinės priemonės. Palyginimui taip pat buvo nustatytas ir vidutinis bandiniams naudotos medienos profilio mikronelygumų aukštis  $R_z = 36,3$   $\mu\text{m}$ .

Be profilio mikronelygumų  $Z_i$  vidutinio aukščio  $R_z$  gali būti matuojamas ir kitas šiurkštumo parametras:  $R_a$  – vidutinis aritmetinis profilio nuokrypis (nuokrypių nuo vidurinės linijos absoliučiąjų reikšmių aritmetinis vidurkis per visą bazinį ilgį (29 pav.).



29 pav. Šiurkštumo parametro  $R_a$  skaičiavimas

Šaltinis: < [http://www.phynix.de/fileadmin/pdf/tr\\_series\\_e.pdf](http://www.phynix.de/fileadmin/pdf/tr_series_e.pdf)>

Matuojant pasirinktas šiurkštumo parametras  $R_z$ , kuris tiksliau apibūdina šiurkštumą. Tarp parametru  $R_z$  ir  $R_a$  ir bazinio bei bendro vertinamo ilgio egzistuoja ryšys, todėl  $R_z$  reikšmės gali būti perskaičiuotos į  $R_a$  reikšmes.

## 2.1.5 Antikorozinės dangos

Eksperimentui pasirinktos dvi apsauginės antikorozinės dangos, kurios gerai sulimpa su cinkuotais (mažo šiurkštumo) paviršiais: antikorozinė danga „DINITROL 4010“ (30 pav.) ir dvikomponentis prieškorozinis epoksidinis gruntas „EPOPRIM“ (31 pav.).



30 pav. Antikorozinė danga „DINITROL 4010“

Šaltinis: < [http://www.dinitrol.lt/details.php?part\\_number=11250&pro\\_id=3](http://www.dinitrol.lt/details.php?part_number=11250&pro_id=3)>



31 pav. Dvikomponentis prieškorozinis epoksidinis gruntas ir kietiklis „EPOPRIM“

Šaltinis: <[http://www.senukai.lt/out/1/html/0/dyn\\_images/z1/00005065964050659640\\_z1.JPG](http://www.senukai.lt/out/1/html/0/dyn_images/z1/00005065964050659640_z1.JPG)>

„DINITROL 4010“ – antikorozinė danga, skirta apsaugoti nuo korozijos paviršius, eksploatuojamus agresyviose aplinkose bei žemose ir aukštose temperatūrose. Danga purškama aukšto arba žemo slėgio įranga, beorio arba orinio purškimo būdu. Suformuoja kietą, gelsvą, permatomą plėvelę, atsparią rūgštims, šarmams bei temperatūrai iki +200°C. Ši medžiaga gerai sukimba su metalais, guma, plastikumu, mediena ir išlieka elastinga žemose bei aukštose temperatūrose, bei pasižymi labai trumpu džiūvimo laiku. Danga gali būti purškama keliais

sluoksniais. Orientacinė 1 m<sup>2</sup> padengimo kaina purškiant vieno sluoksnio, rekomenduojamo storio (40 μm) danga siekia apie 3,2 – 3,4 Lt.

Dvikomponentis epoksidinis gruntas „EPOPRIM“ yra skirtas gruntuoti plieniniams, aliuminiams ir cinkuotiems paviršiams, eksploatuojamiems atmosferos sąlygomis. Gerų adhezinių savybių ir efektyvių antikoroziųjų pigmentų dėka šis gruntas suteikia ilgalaikę patikimą apsaugą nuo korozijos. Gali būti naudojamas patalpose bei lauke, kur grunto neveikia intensyvūs saulės spinduliai. Jį galima naudoti kaip kietą antikorozinę dangą, kuri gerai atlaiko cheminių medžiagų (atskiestų šarmų tirpalų, silpnų rūgščių, tirpiklių, benzino, tepalų ir kt.) poveikį. Gruntas dengiamas teptuku, voleliu, pneumatiniu purkštuvu arba beoriais purkštuvais. Naudojamas kartu su kietikliu. Grunto spalva – pilka. Džiūvimo laikas priklauso nuo aplinkos temperatūros (20°C temperatūroje išdžiūsta per 4 valandas). Kadangi nuo grunto plėvelės storio labai priklauso antikorozinės dangos savybės, patartina dengti ne plonesniu nei 50 μm sluoksniu. Galima dengti keliais sluoksniais. Orientacinė 1 m<sup>2</sup> padengimo kaina dengiant rekomenduojama 50 μm storio plėvele būtų 2,2 – 2,5 Lt.

Renkantis apsaugines dangas buvo atsižvelgiama į jų antikorozines savybes, sukibimą su mažo šiurkštumo (cinkuotais) paviršiais, kainą bei spalvą.

32 paveiksle pavaizduota kaip atrodo bandiniai su skirtingomis apsauginėmis dangomis. Kairėje – bandinys nepadengtas antikorozine danga, viduryje – bandinys padengtas antikorozine danga „DINITROL 4010“, dešinėje – bandinys padengtas dvikomponenčiu prieškoroziniu epoksidiniu gruntu „EPOPRIM“.



32 pav. Bandiniai padengti skirtingomis antikorozinėmis priemonėmis

Eksperimentui vykdyti pagaminta dvylika vienetų bandinių. Šeši iš jų neapsaugoti papildomomis apsauginėmis dangomis, trys padengti antikorozine danga „DINITROL 4010“, dar trys padengti epoksidiniu gruntu „EPOPRIM“.

### 2.1.6 Antikoroziinių dangų storio matavimas

Antikorozinės dangos storis matuotas dviem etapais: pirmame etape buvo matuojama visų dvylikos bandinių metalinių dygiuotų plokštelių cinko dangų storiai, antrame etape matuota tik papildomai apsaugotų bandinių dangų storiai.

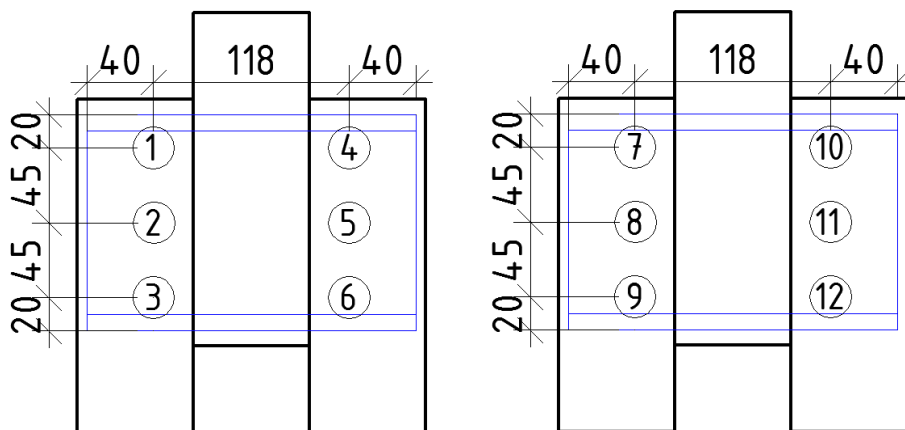
Dangų storiai buvo matuojami prietaisu „PosiTector 6000“ (33 pav.). Šis prietaisas skirtas neardančiu metodu matuoti nemagnetines dangas ant plieninių paviršių.



33 pav. Dangos storio matavimo prietaisas „PosiTector 6000“

„PosiTector 6000“ veikia kontaktiniu metodu. Matuojamasis paviršius liečiamas matavimo antgaliu. Šie elektroniniai prietaisai matuoja magnetinio srauto tankio pokytį nuo magnetinio antgalio paviršiaus iki plieno paviršiaus. Magnetinio srauto tankio dydis yra tiesiogiai susijęs su atstumu nuo plieno paviršiaus. Nustačius magnetinio srauto pokytį ekrane parodomas apsauginės dangos storis. Prietaiso paklaida  $\pm 1\%$ .

Apsauginės dangos storis ant kiekvieno bandinio buvo matuotas dvylikoje vietų (6 vietose vienoje pusėje ir 6 vietose kitoje pusėje). Matavimo vietos parodytos 34 paveiksle.



34 pav. Apsauginės dangos storio matavimo vietos

Bandinių cinko dangos storio matavimo rezultatai pavaizduoti 1 lentelėje.

1 lentelė. Bandinių cinko dangos matavimo rezultatai

Bandinys Taškas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	44	37	14	21	18	40	33	21	18	20	31	42
2	43	29	36	26	23	32	28	20	16	35	33	23
3	39	41	32	21	36	16	23	58	19	41	49	41
4	12	22	26	39	41	25	16	14	21	22	33	39
5	25	31	26	15	21	25	17	11	15	31	22	26
6	31	26	33	19	42	26	17	13	15	18	16	18
7	17	32	26	14	21	36	10	13	20	33	28	39
8	32	35	41	15	26	14	12	37	38	42	31	32
9	38	43	40	19	24	25	26	43	40	46	50	36
10	15	28	20	18	33	30	21	17	16	26	46	26
11	33	30	24	20	36	26	29	20	17	13	28	28
12	17	20	15	19	24	41	12	23	17	14	33	23
<b>Vidurkis:</b>	<b>28,8</b>	<b>31,2</b>	<b>27,8</b>	<b>20,5</b>	<b>28,8</b>	<b>28,0</b>	<b>20,3</b>	<b>24,2</b>	<b>21,0</b>	<b>28,4</b>	<b>33,3</b>	<b>31,1</b>

Iš lentelės matome, kad cinko dangos storis svyruoja nuo 10  $\mu\text{m}$  iki 58  $\mu\text{m}$ . Atskirų bandinių vidutinis dangos storis: 20,3 – 33,3  $\mu\text{m}$ . Visų bandinių bendras vidutinis dangos storis: 26,9  $\mu\text{m}$ .

Bandinių kurie papildomai apsaugoti apsauginėmis dangos dangų storiai pavaizduoti 2 lentelėje.

2 lentelė. Bandinių apsaugotų papildoma apsaugine plėvele dangų storiai

Bandinys Taškas	1 (E)	3 (E)	4 (D)	7 (D)	8 (D)	9 (E)
1	88	136	80	74	92	130
2	66	154	70	72	136	166
3	152	132	82	86	114	130
4	112	142	116	84	126	174
5	78	126	136	106	142	64
6	188	130	118	110	108	136
7	108	86	80	90	74	70
8	80	114	112	154	66	102
9	86	116	88	76	158	190
10	88	70	80	116	174	60
11	76	88	98	100	80	72
12	110	138	78	72	64	94
<b>Vidurkis:</b>	<b>102,7</b>	<b>119,3</b>	<b>94,8</b>	<b>95,0</b>	<b>111,2</b>	<b>115,7</b>

Antroje lentelėje pavaizduoti visuminiai dangų storiai (cinko ir papildomos apsauginės dangos). Raidėmis E pažymėti bandiniai, kurie buvo papildomai padengti dvikomponenčiu antikorozinium epoksidiniu gruntu „EPOPRIM“, D - „DINITROL 4010“. Bandiniai, kurie

papildomai apsaugomi apsauginėmis dangomis parinkti atsitiktiniu būdu.

Iš antros lentelės matyti, kad bandinių, kurie padengti dvikomponenčiu antikorozinu epoksidiniu gruntu „EOPRIM“ dangos storis (kartu su cinko dangos storiu) kinta nuo 60 µm iki 188 µm. Atskirų bandinių (1, 3, 9) vidutinis dangos storis: 102,7 – 119,3 µm. Bandinių, kurie papildomai padengti epoksidiniu gruntu bendras vidutinis dangos storis: 112,6 µm.

Bandinių, kurie papildomai padengti apsaugine priemone „DINITROL 4010“ dangos storis (kartu su cinko dangos storiu) kinta nuo 64 µm iki 174 µm. Atskirų bandinių (4, 7, 8) vidutinis dangos storis: 94,8 – 111,2 µm. Bandinių, kurie papildomai padengti epoksidiniu gruntu bendras vidutinis dangos storis: 100,3 µm.

Siekiant nustatyti papildomų apsauginių dangų storius iš viso dangos storio atimamas cinko dangos storis. Rezultatai pateikti trečioje lentelėje.

3 lentelė. Papildomų apsauginių dangų storiai.

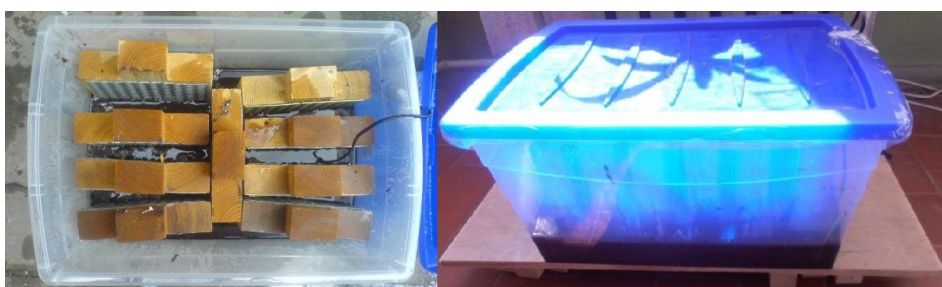
Bandinys Taškas	1 (E)	3 (E)	4 (D)	7 (D)	8 (D)	9 (E)
1	44	122	59	34	71	112
2	23	118	44	40	116	150
3	113	100	61	70	56	111
4	100	116	77	59	112	153
5	53	100	121	81	131	49
6	157	97	99	84	95	121
7	91	60	66	54	61	50
8	48	73	97	140	29	64
9	48	76	69	51	115	150
10	73	50	62	86	157	44
11	43	64	78	74	60	55
12	93	123	59	31	41	77
<b>Vidurkis:</b>	<b>73,8</b>	<b>91,6</b>	<b>74,3</b>	<b>67,0</b>	<b>87,0</b>	<b>94,7</b>

Pagal trečios lentelės duomenis matome, kad bandinių, kurie papildomai padengti epoksidiniu gruntu „EOPRIM“ dangos storis (be cinko dangos storio) kinta nuo 23 µm iki 157 µm. Atskirų bandinių (1, 3, 9) vidutinis dangos storis: 73,8 – 94,7 µm. Epoksidinio grunto bendras vidutinis dangos storis: 86,7 µm.

Bandinių, kurie papildomai padengti apsaugine priemone „DINITROL 4010“ dangos storis (be cinko dangos storio) kinta nuo 29 µm iki 157 µm. Atskirų bandinių (4, 7, 8) vidutinis dangos storis: 67,0 – 87,0 µm. „DINITROL 4010“ bendras vidutinis dangos storis: 76,1 µm.

### 2.1.7 Bandinių išlaikymas agresyvioje aplinkoje

Siekiant nustatyti metalinių dygiuotų plokštelių atsparumą korozijai agresyvioje aplinkoje bei naudotų apsauginių priemonių efektyvumą buvo sukurta dirbtinė agresyvi aplinka. Aplinka sukurta remiantis „LST EN ISO 9227:2006. Korozijos bandymai dirbtinėse atmosferose. Bandymai druskos rūke.“. Į specialią sandariai uždaromą vonelę sudėti devyni bandiniai (trys neapsaugoti nuo korozijos, trys apsaugoti apsaugine priemone „DINITROL 4010“, trys apsaugoti dvikomponenčiu epoksidiniu gruntu „EPOPRIM“). Į vonelę įpilta srutų. Srutos – skystas mėšlas. Srutų įpilta tiek, kad jos liestų dygiuotas plokšteles bent 1 cm (arba 7-8 cm nuo vonelės dugno). Į vonelę įdėtas akvariumo termostatas (šildytuvas), kuris palaiko pastovią 34°C temperatūrą. Vonelė uždaryta dangčiu ir užsandarinta lipnia juosta (35 pav.).



35 pav. Sandari eksperimentui naudojama vonelė

Šiuo eksperimentu sukurta agresyvi aplinka yra labai panaši į aplinką gyvulininkystės statiniuose (karvidėse, kiaulidėse, įvairiose fermose ir kt.). Bandiniai veikiami didelės santykinės oro drėgmės, kuri gyvulininkystės statiniuose susidaro nuo gyvulių kvėpavimo proceso ir garuojant srutomis. Taip pat bandiniai patirs ir amoniako ( $\text{NH}_3$ ) poveikį, kuris susidaro gyvulininkystės statiniuose skylant šlapime esančiam karbamidui.

Bandiniai išlaikomi vonelėje devyniasdešimt dienų ir tada išimami. Bandinių vaizdas juos išlaikius agresyvioje aplinkoje devyniasdešimt dienu parodytas 36 pav. Kairėje parodytas neapsaugotas bandinys, viduryje – apsaugotas su apsaugine priemone „DINITROL 4010“, dešinėje apsaugotas su dvikomponenčiu epoksidiniu gruntu „EPOPRIM“.



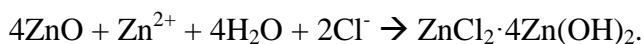
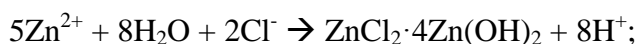
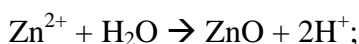
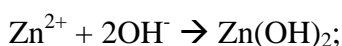
36 pav. Bandiniai po 90 dienų išlaikymo agresyvioje aplinkoje

Ant bandinių, kurie neapsaugoti papildoma antikoroziine danga aiškiai matomi cinko korozijos („baltosios korozijos“) požymiai (37 pav.).



37 pav. Cinko korozija

Cinko korozija prasideda tose vietose, kuriose cinko danga pažeista: ties dygiais ir plokštelių briaunose. Šiose vietose susikaupė daugiausia purių cinko oksidacijos produktų. Cinkui koroduojant susidaro korozijos produktai:  $Zn(OH)_2$ ,  $ZnO$ ,  $ZnCl_2 \cdot 4Zn(OH)_2$ :



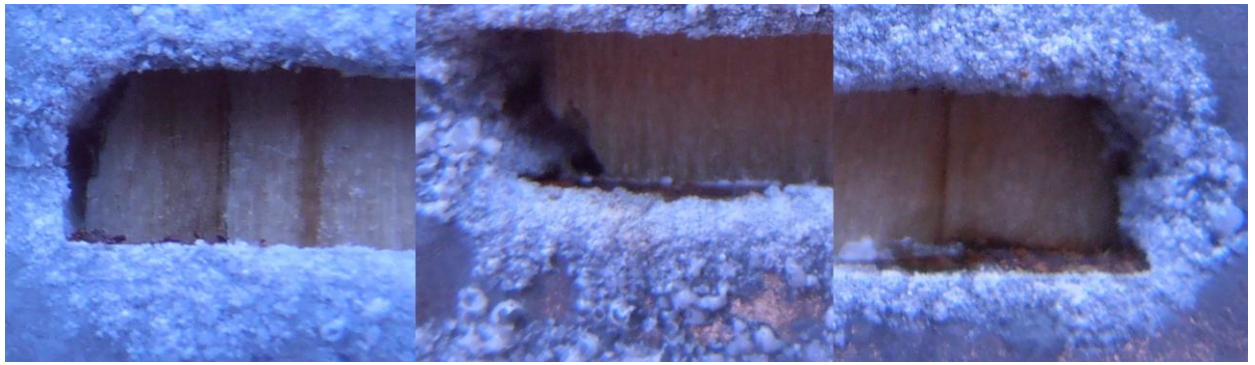
Cinkas yra aktyvesnis (anodas) už plieną, todėl korozinių procesų, vykstančių ant cinkuotų dygiuotų plokštelių, metu tirpsta cinkas. Plienas nekoroduoja tol, kol nenutirpusi cinko danga.

Dygiuotos plokštelės gaminamos iš cinkuotos skardos. Skardą supjausčius ties briaunomis plokštelės visiškai neapsaugotos cinko danga, todėl ties briaunomis prasideda plieno korozija. Plieno korozija aktyviausia tose briaunų vietose, kur kaupėsi daugiausia drėgmės. Šiose vietose aiškiai matomi cinko korozijos produktai (38 pav.).



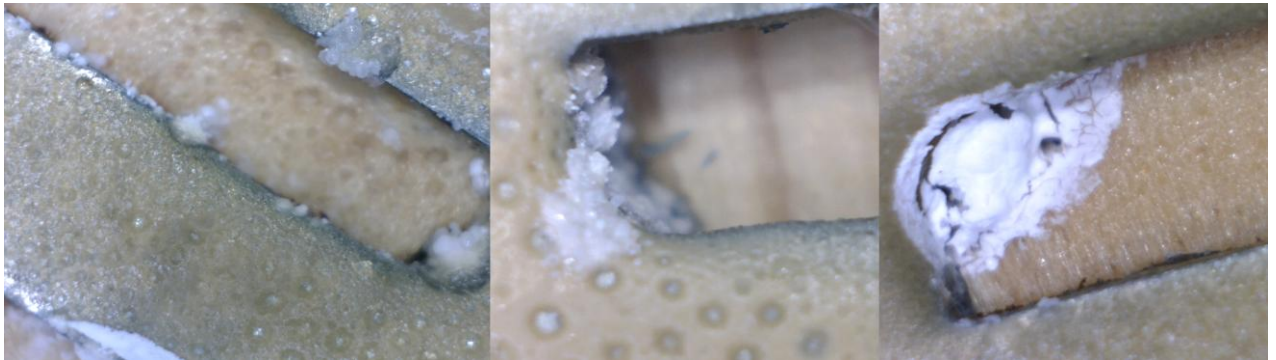
38 pav. Plieno korozija plokštelių briaunose

Plieno korozija taip pat prasidėjo ir ties dygiais: ten kur cinko dangos visiškai nėra. Čia plieno korozija mažiau intensyvi nei ties briaunomis, bet taip pat pastebima (39 pav.).



39 pav. Plieno korozija ties dygiais

Ant bandinių, kurie apsaugoti apsaugine priemone „DINITROL 4010“ taip pat yra šiek tiek cinko korozijos produktų. Cinko korozijos produktų sankaupos pastebimos ties kai kuriais dygiais (40 pav.). Cinko korozija čia prasidėjo dėl to, kad šiose vietose bandiniai tik dalinai pasidengė apsaugine priemone „DINITROL 4010“.



40 pav. Cinko korozijos produktai ant bandinio, apsaugoto „DINITROL 4010“

Apsauginės dangos „DINITROL 4010“ paviršiuje pastebimi kai kurie dangos pažeidimai: duobutės (krateriai) dangos paviršiuje ir dangos atšokimai (41 pav.). Pažeidimai atsirado tik po išlaikymo agresyvioje aplinkoje (prieš įdedant bandinius į sandarią vonelę šių pažeidimų nebuvo). Pažeidimai atsirado dėl to, nes apsauginė danga ne visiškai apsaugo plokštelės paviršių nuo drėgmės. Ši danga dalinai pralaidi drėgmei. Atšokimai galėjo susiformuoti ir dėl nepakankamo sukibimo.



41 pav. Apsauginės dangos „DINITROL 4010“ pažeidimai

Ant bandinių, kurie padengti dvikomponenčiu epoksidiniu gruntu „EOPRIM“ taip pat yra cinko korozijos požymių. Cinko oksidacijos produktai kaupiasi kaip ir ant bandinių, apsaugotų apsaugine priemone „DINITROL 4010“ (dangos pažeidimo vietose): ties dygiais ir briaunomis (42 pav.).



42 pav. Cinko korozijos produktai ant bandinio, apsaugoto epoksidiniu gruntu „EOPRIM“

Pastebima neintensyvi plieno korozija ties plokštelių briaunomis ir dygiais (43 pav.). Plienas šiose vietose pradėjo koroduoti dėl to, kad jis ne visiškai padengtas apsaugine danga.



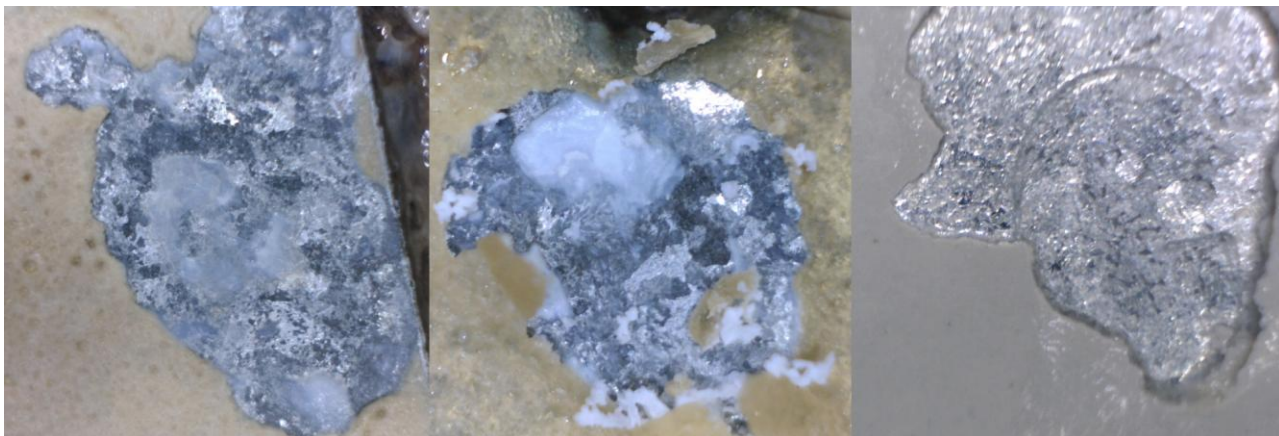
43 pav. Plieno korozija ties briaunomis ir dygiais bandinyje, apsaugotame „EOPRIM“

Dvikomponenčio epoksidinio gruntu „EOPRIM“ paviršiuje pastebimi dangos atšokimai (44 pav.). Pažeidimai atsirado tik po išlaikymo agresyvioje aplinkoje. Atšokimai susiformavo dėl nepakankamo sukibimo su dygiuotomis plokštelėmis, nors gamintojas teigia, kad ši danga labai gerai sulimpa su cinkuotais paviršiais.



44 pav. Epoksidinio gruntu „EOPRIM“ dangos atšokimai

Abiems apsauginėms dangoms būdingi atšokimai nuo cinko paviršiaus, tačiau mechaniškai pašalinus atšokusias vietas pastebimi skirtumai. Po „DINITROL 4010“ dangos atšokimais kaupiasi drėgmė bei cinko korozijos produktai, o po „EPOPRIM“ danga drėgmė ir korozijos produktai nesikaupia (45 pav.). Tai rodo, jog epoksidinis gruntas nepralaidus (arba labai mažai pralaidus) drėgmei.



45 pav. Dangos atšokimų palyginimas mechaniškai pašalinus atšokusias vietas

Atlikus bandinių išlaikymo agresyvioje aplinkoje bandymą nustatyta:

- a) Cinko korozija intensyviausiai vyksta cinko dangos pažeidimo vietose;
- b) Plieno korozija vystosi tik tose vietose, kuriose cinko dangos visiškai nėra;
- c) Papildomomis apsauginėmis dangomis padengti bandiniai atsparesni agresyviai korozinei aplinkai;
- d) Apsauginė priemonė „DINITROL 4010“ pralaidi drėgmei;
- e) Abi bandymo metu naudotos papildomos apsauginės dangos ne visiškai gerai sulimpa su cinkuotais paviršiais;
- f) Sudėtinga tinkamai užpurkšti apsaugines dangas ties dygiuotų plokštelių dygiais. Siekiant tinkamai apsaugoti šias vietas reikėtų bandinius dengti storesniu dangos sluoksniu negu rekomenduoja gamintojai;
- g) Nepastebėta, kad skystyje korozija būtų intensyvesnė.

Abi naudotos apsauginės priemonės prailgina konstrukcijų su dygiuotomis metalinėmis plokštelėmis eksploatacijos laiką. Pagrindinė problema – apsauginės dangos padengimas. Dengiant rekomenduojamo storio danga dygiuotos plokštelės ne visiškai apsaugomos ties dygiais ir briaunomis, dengiant storesnio sluoksniu danga ženkliai padidėja ekonominiai išteklių. Be to, gaminant konstrukcijas su dygiuotomis plokštelėmis pasitaiko nedidelių defektų. Tam tokiose vietose plokštelės ne visiškai priglunda prie medienos paviršiaus, todėl jas visiškai gerai apsaugoti tokiose vietose ypač sudėtinga.

### 2.1.8 Bandinių laikomosios galios išbandymas ir drėgnio nustatymas

Gniuždymo bandymo metu išbandyta devynių bandinių laikomoji galia. Trys bandiniai buvo bandomi drėgnos būsenos – išėmus iš sandarios vonelės ir nedžiovinant (bandinių nr.: 3, 7, 10). Bandinys nr.: 3 – apsaugotas epoksidiniu gruntu „EPOPRIM“, 7 – apsaugotas apsaugine priemone „DINITROL 4010“, 10 – papildomai neapsaugotas nuo korozijos. Trys bandiniai (2, 8, 9) bandomi juos prieš tai džiovinant septynias dienas atmosferos sąlygomis (lauke, vietoje apsaugotoje nuo lietaus). Bandinys nr.: 2 - papildomai neapsaugotas nuo korozijos, 8 - apsaugotas apsaugine priemone „DINITROL 4010“, 9 - apsaugotas epoksidiniu gruntu „EPOPRIM“. Dar trys bandiniai papildomomis apsauginėmis priemonėmis nepadengti, laikyti patalpoje (apie 20°C temperatūroje) 90 dienų. Gniuždymo bandymas atliekamas bandymų mašina Zwick/Roell. Iškart po gniuždymo bandymo prietaisu „Testo 606-2“ nustatytas visų bandinių medienos drėgnis.

Gniuždant bandinį nr. 3 pastebėta, kad jis suiro tada, kai trūko metalinė dygiuota plokštelė, bet tuo pačiu metu buvo sugniuždyta ir mediena. Šis bandinys atlaikė 59,27 kN jėgą, o jo deformacija  $\epsilon=9,31$  mm, drėgnis – 41,0%. Bandinys nr. 7 suiro kitaip nei kiti bandiniai. Šiuo atveju suiro tik mediena, o dygiuota plokštelė liko nepažeista. Taip nutiko dėl didelės bandinio drėgmės (41,8%) ir dėl medienos defekto – šakos gniuždomoje vietoje. Šis bandinys atlaikė tik 49,53 kN jėgą. Bandinys nr. 10 suiro trūkus metalinei dygiuotai plokštei. Jis atlaikė 60,43 kN jėgą. Bandinio deformacija  $\epsilon=9,69$  mm, drėgnis – 39,3%. Vidutinis nedžiovinėtų bandinių drėgnis: 31,7%. 3, 7 ir 10 bandiniai po gniuždymo bandymo parodyti 46 paveiksle.



46 pav. Drėgni bandiniai (3, 7 ir 10) po gniuždymo bandymo

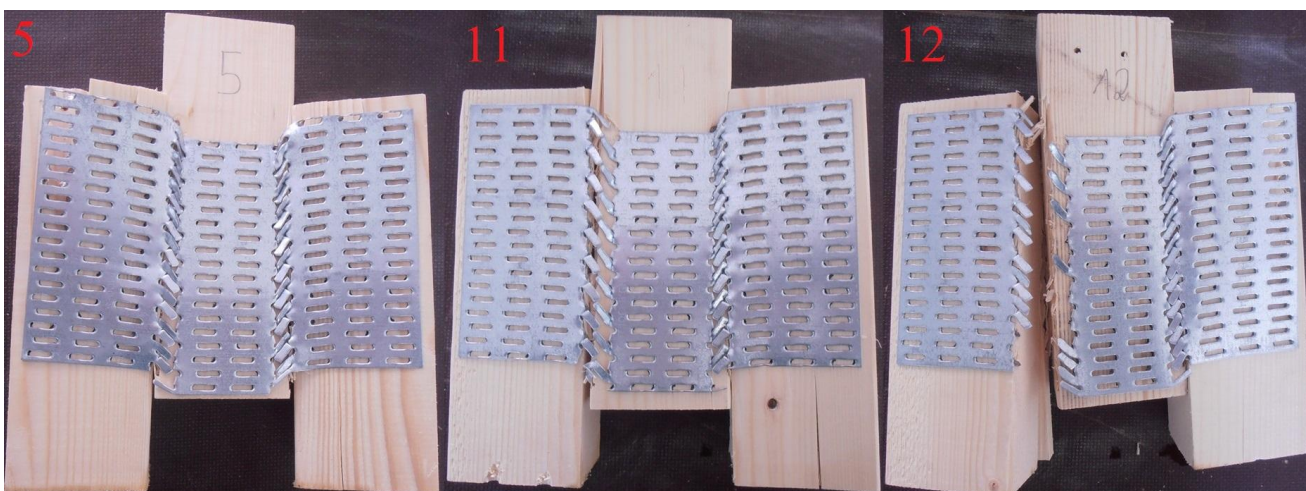
Gniuždant bandinius, kurie buvo džiovinėti atmosferos sąlygomis septynias dienas pastebėtas kitoks suirimo pobūdis. Bandinys nr. 2 suiro kai nebeatlaikė dygiuota plokštelė ties siūle, tačiau pastebimas ir medienos irimas. Mediena skilo dvejose vietose ir susiformavo pleištas (panašiai kaip gniuždant drėgnus bandinius nr.: 3 ir 7). Bandinys atlaikė 64,09 kN jėgą, o jo deformacija  $\epsilon=9,89$

mm, drėgnis – 33,2%. Bandinys nr. 8 taip pat suiro plyšus dygiuotai plokštei ties siūle, bet mediena išliko nepažeista. Maksimali jėga: 59,12 kN, deformacija  $\epsilon=9,65$  mm, drėgnis – 35,6%. Bandinys nr. 9 suiro neatlaikius dygiuotai plokštei, mediena nepažeista. Maksimali jėga, kurią jis atlaikė: 61,45 kN, deformacija  $\epsilon=10,15$  mm, drėgnis – 29,0%. Vidutinis septynias dienas džiovintų bandinių drėgnis: 32,6%. 2, 8 ir 9 bandiniai po gniuždymo bandymo parodyti 47 paveiksle.



47 pav. 7 dienas džiovinti bandiniai (2, 8 ir 9) po gniuždymo bandymo

Atliekant bandymą su bandiniais, kurie nebuvo sudrėkinti ir 90 dienų buvo laikomi kambario temperatūroje pastebėta, kad jie visi suiro neatlaikius metalinėms dygiuotoms plokštelėms ties siūlėmis. Bandinys nr. 5 atlaikė 62,12 kN jėgą, o jo deformacija  $\epsilon=10,66$  mm, drėgnis – 7,1%. Bandinys nr. 11 atlaikė 69,00 kN jėgą, o jo deformacija  $\epsilon=10,73$  mm, drėgnis – 7,0%. Bandinys nr. 12 atlaikė 69,93 kN jėgą, o jo deformacija  $\epsilon=10,54$  mm, drėgnis – 6,9%. Vidutinis kambario temperatūroje laikytų bandinių drėgnis : 7,0%. 5, 11 ir 12 bandiniai po gniuždymo bandymo parodyti 48 paveiksle.



48 pav. 90 dienų kambario temperatūroje laikyti bandiniai (5, 11 ir 12) po gniuždymo bandymo

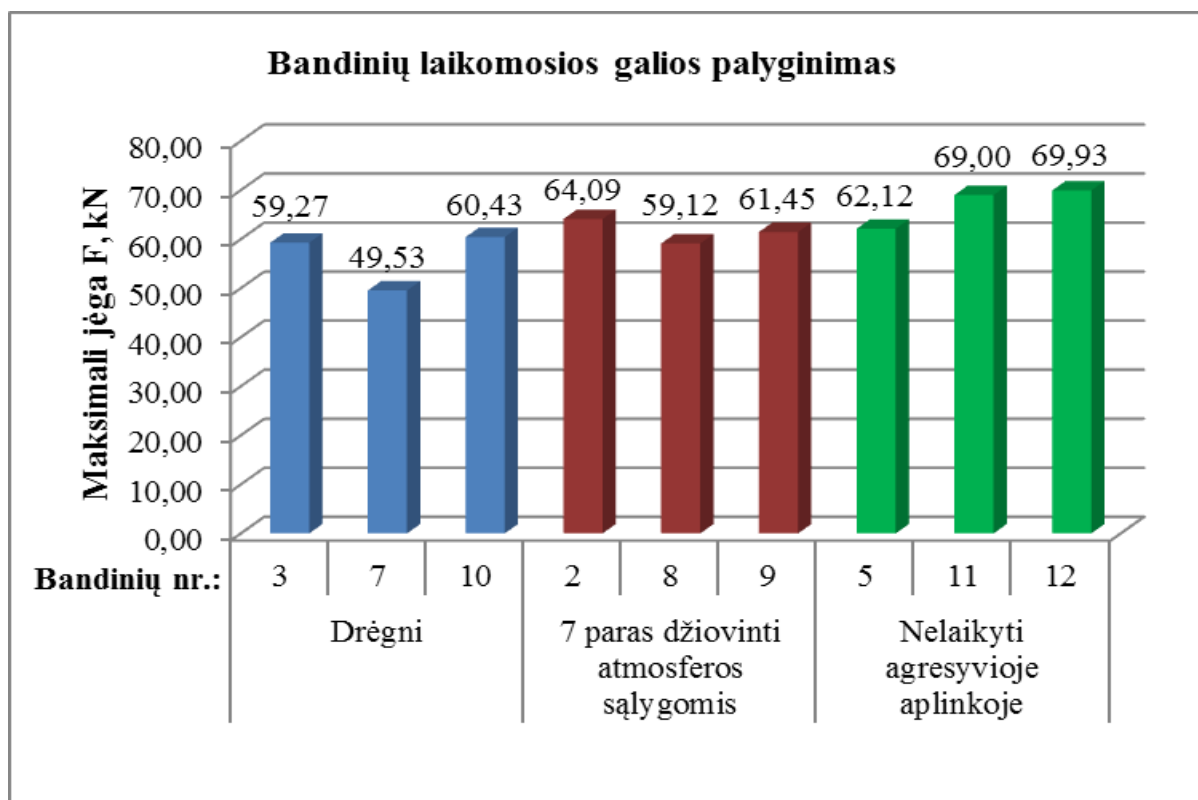
Atliekant gniuždymo bandymą su 5, 11, 12 bandiniais pastebėtas trapesnis medienos irimas. Bandinių mediena skilo keliose vietose. Kai kuriose dalyse plokštelės net atšoko nuo medienos (49 pav.).



49 pav. 90 dienų kambario temperatūroje laikytų bandinių (5, 11 ir 12) vaizdas iš viršaus po gniuždymo bandymo

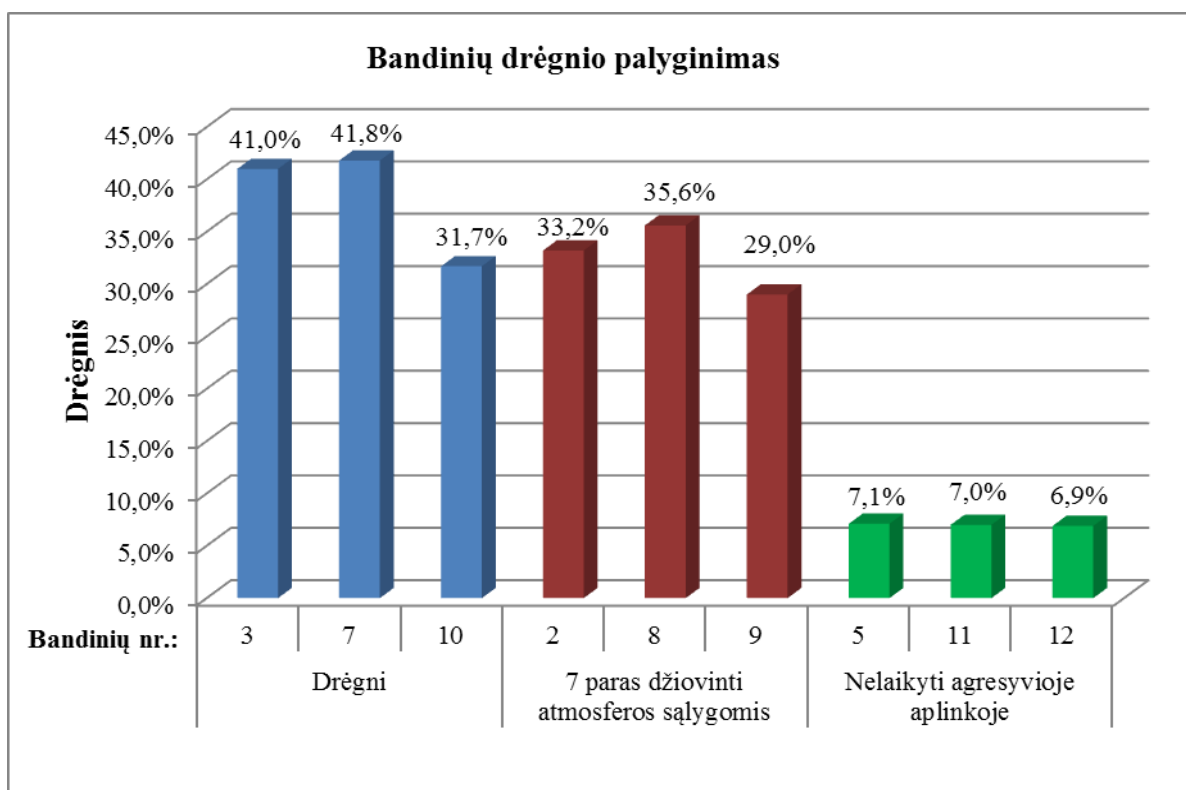
Bandiniai, kurie prieš bandymą nebuvo džiovinami vidutiniškai atlaikė 59,85 kN jėgą, jų vidutinė deformacija 9,50 mm (skaičiuojant vidutines reikšmes bandinys nr. 7 atmetamas dėl medienos suirimo ties defektu). Bandiniai, kurie prieš bandymą atmosferos sąlygomis džiovinti 7 dienas vidutiniškai atlaikė 61,55 kN jėgą, jų vidutinė deformacija 9,90 mm. Bandiniai, kurie buvo 90 dienų laikyti kambario temperatūroje vidutiniškai atlaikė 67,02 kN jėgą, o jų vidutinė deformacija 10,64 mm.

50 paveiksle pavaizduotoje diagramoje palygintos visų bandinių atlaikomos maksimalios jėgos.



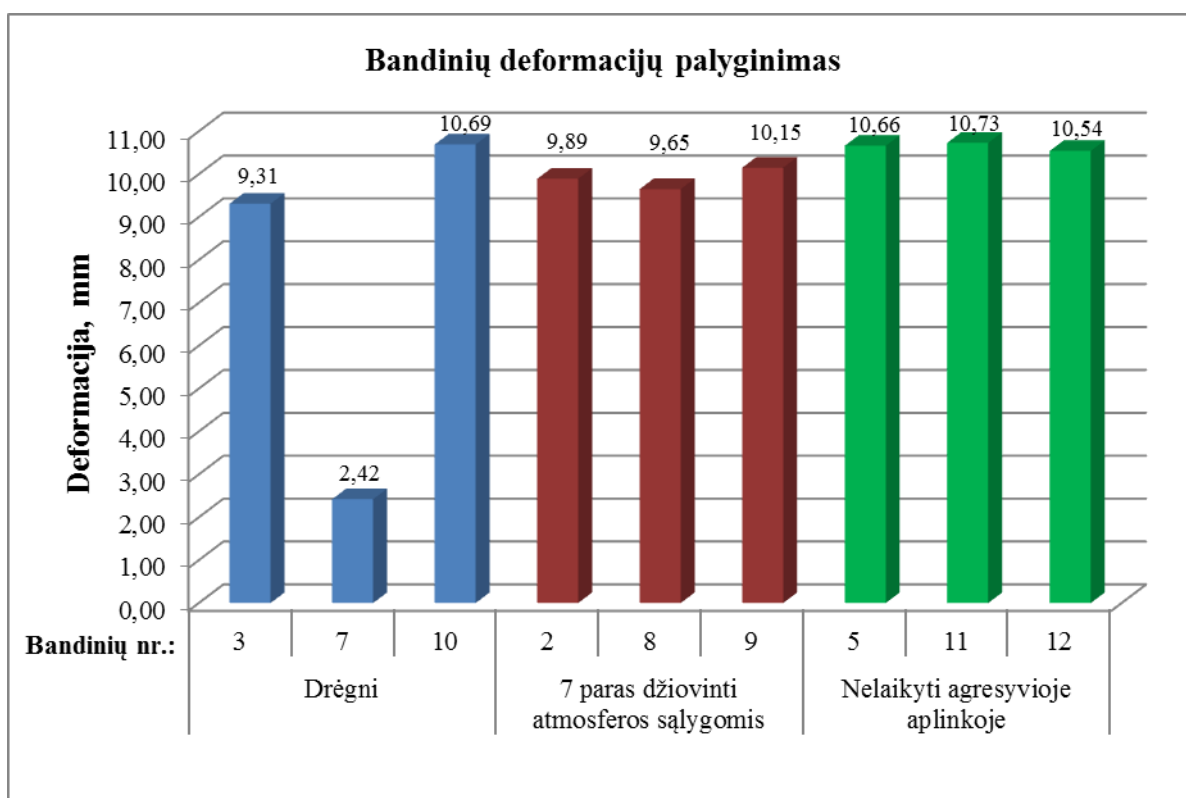
50 pav. Bandinių laikomosios galios palyginimas

51 paveiksle pavaizduotas gniuždomų bandinių drėgno palyginimas.



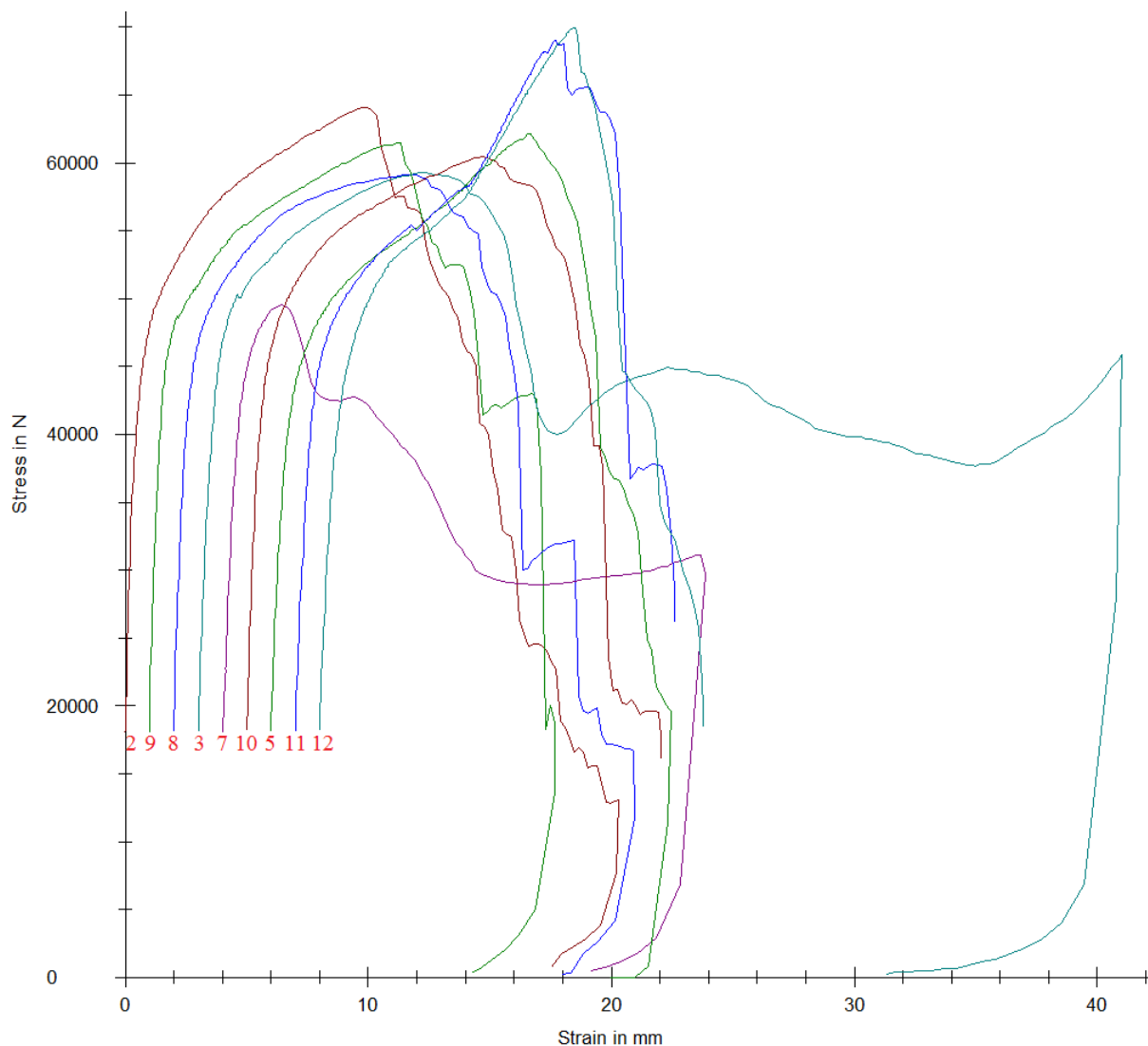
51 pav. Bandinių drėgno palyginimas

52 paveiksle pavaizduotas gniuždomų bandinių deformacijų palyginimas.



52 pav. Bandinių deformacijų palyginimas

53 paveiksle parodytos gniuždymo bandymo įtempių – deformacijų kreivės. Skaičiais pažymėti gniuždomų bandinių numeriai. Kiekviena kreivė atitraukta per 1 mm nuo prieš ją esančios kreivės.



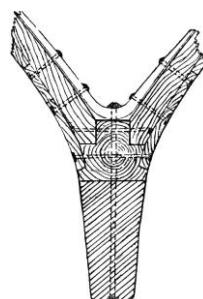
53 pav. Įtempių – deformacijų kreivės

Atlikus gniuždymo bandymą su visais bandiniais pastebėta:

- Labai drėgnoje medienoje bandinių irimas prasideda nuo medienos sugniuždymo;
- Medienos defektai įtakoja bandinių irimo pobūdį, laikomąją galią ir deformacijų dydį;
- Tarp atskirų drėgnos medienos elementų veikia didesnė trintis, kuri priešinasi gniuždymo jėgai;
- Gniuždant drėgnos medienos bandinius medienoje formuojasi pleišto formos dalis, kuri keičia bandinio suirimo pobūdį ir įtakoja laikomąją galią (bandiniai prieš visiškai suyrant dar trumpam sustiprėja ir priešinasi gniuždymo jėgai);
- Sausi bandiniai atlaikė didžiausią gniuždymo jėgą, bet jų suirimas trapesnis nei drėgnų bandinių.

## 2.2 Laivo kilio metalinių jungčių korozija

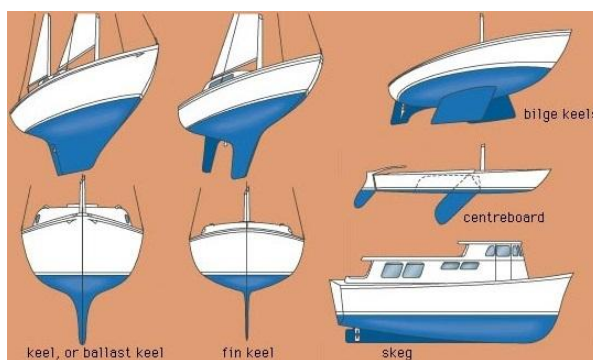
Laivo kilis - dugno išilginė sija nuo priekio iki galo, kuri jungia abi jo dalis, bei atlieka vieną pagrindinių vaidmenų dugno tvirtume (54 pav.). Paprastai kilis yra pirma dalis, pagaminama statant laivą. Dėl šios priežasties pagaminto kilio paklojimas laivų statykloje neretai laikomas paties laivo statybos pradžia. Kiliuose naudotos įvairios įdėtinės metalinės detalės, jungiančios kilį su kitomis laivo dalimis.



54 pav. 1882 metų jachtos kilis

Šaltinis: <<http://fineartamerica.com/featured/yachts-keel-plan-1882-granger.html>>

Burlaiviuose kilis atlieka balasto funkciją ir dalyvauja laivo judėjime naudojant bures. Todėl burlaivių kiliai būna daug didesni, dažniausiai peleko, sparno ar svogūno formos. Pasitaiko dvigubų kilių (55 pav.). Šiuolaikiniuose laivuose kiliai (ir patys laivai) gaminami iš metalinių konstrukcijų.



55 pav. Įvairių šiuolaikinių jachtų ir burlaivių kiliai

Šaltinis: <[http://www.sciencebuddies.org/Files/3552/5/Aero\\_img063.jpg](http://www.sciencebuddies.org/Files/3552/5/Aero_img063.jpg)>

### 2.2.1 Kilio techniniai duomenys

Eksperimento metu tyrinėjama apie vieno metro ilgio laivo kilio dalis. Kilio skerspjūvis apie 280x330 mm. Mediena – ąžuolas. Į medieną įsprausti du armatūros strypai, kurie iš galo apsaugoti mediniais kaiščiais. Pirmo strypo ilgis apie 235 mm, ilgis medienoje 210 mm. Antro strypo ilgis apie 270 mm, strypas medienoje visu savo ilgiu. Abiejų strypų diametras apie 30-32 mm. Armatūra pažeista korozijos.

## 2.2.2 Kilio metalinių jungčių apžiūra mikroskopu

Tyrinėto kilio dalyje buvo du metaliniai strypai. Siekiant ištirti kaip mediena apsaugo metalines detales nuo korozijos kilis perpjauamas ties metaliniais strypais. Pjaunama rankiniu pjūklu. Pjauta labai atsargiai, nepažeidžiant metalinių detalių.

Pirmasis armatūros strypas pažeistas korozijos (56 pav.).



56 pav. Pirmasis kilio strypas

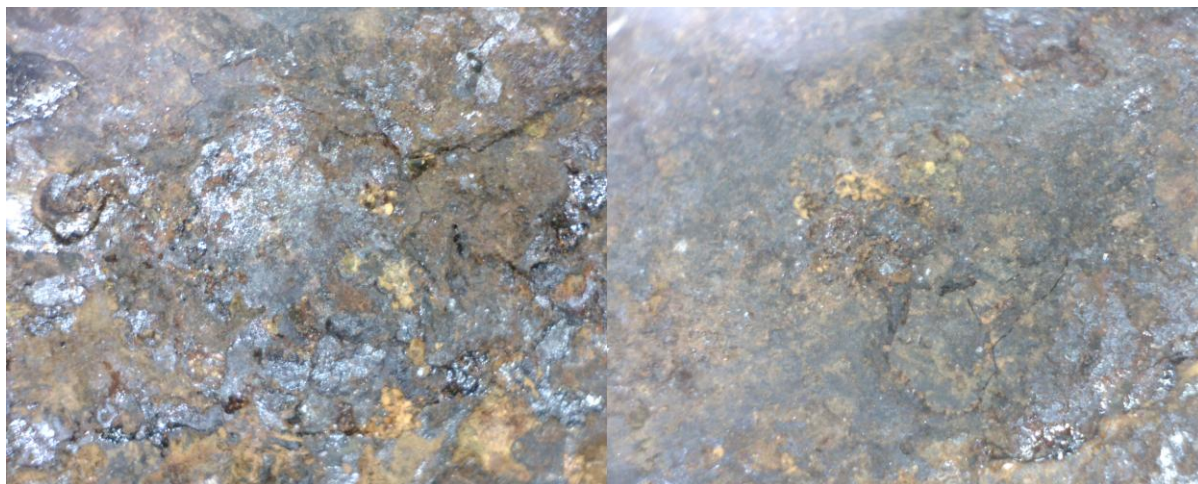
Šio strypo ilgis apie 235 mm. Ilgis medienoje apie 210 mm. Iš nuotraukos matosi, kad strypas įvairiose dalyse korodavęs nevienodai. Strypo pradžios (išorinė dalis) diametras: 30,5 – 31,4 mm. Čia metalą galimai paveikė taškinė (pitingo), dėmėtoji ir erozinė korozija (57 pav.). Švitriniumi dalinai pašalinus korozijos produktus išorinės dalies diametras sumažėjo iki 30,0 – 31,3 mm.



57 pav. Pirmojo kilio strypo išorinės dalies korozija

Mažiausiai strypas pažeistas korozijos apie 60 mm nuo išorinės dalies. Čia strypo diametras maksimalus – 32,0 mm. Korozija netolygi ištisinė.

Maždaug nuo strypo vidurio korozija intensyvesnė. Diametras apie 30,5 – 31,3 mm. Aiškiai matomi korozijos produktai (58 pav.). Matomi ištisinės netolygios, dėmėtosios (paviršinės) ir plyšinės arba įtempties korozijos požymiai. Pašalinus korozijos produktus strypo diametras sumažėjo iki 30,1 – 31,3 mm.



58 pav. Pirmojo kilio strypo korozija ties strypo viduriu

Artėjant link strypo galo (prie kaiščio) korozija dar labiau intensyvėja (59 pav.). Galimai čia strypą veikia ir jūrinio vandens poveikis (nepakankamai sandarus kaištis). Aiškiai matosi korozijos produktai. Šioje dalyje strypas paveiktas ištisinės netolygios korozijos, dėmėtosios (paviršinės) bei galimai paveiktas jūrinės korozijos (jūros vandens druskų poveikio), plyšinės ar įtempties korozijos. Strypo diametras nagrinėjamoje dalyje: 30,4 – 31,4 mm. Dalinai pašalinus korozijos produktus diametras sumažėjo iki: 29,7 – 30,4 mm.



59 pav. Pirmojo kilio strypo korozija ties strypo galu

Po pirmojo strypo detalios apžiūros akivaizdu, kad giliau medienoje esančios įdėtinės detalės koroduoja mažiau. Pirmasis strypas labiausiai buvo paveiktas korozijos toje dalyje, kurioje patyrė tiesioginį jūrinio vandens poveikį. Taip pat korozija buvo intensyvi arčiau medinio kaiščio, kuris galimai praleido nedidelį kiekį jūrinio vandens ir tai buvo intensyvesnės korozijos strypo gale priežastis.

Antrąjį kilio strypą veikė žymiai intensyvesnė korozija (60 pav.).



60 pav. Antrasis kilio strypas

Antrojo strypo ilgis apie 270 mm. Ilgis medienoje taip pat 270 mm. Iš nuotraukos matosi, kad strypas įvairiose dalyse korodavęs nevienodai. Labiausiai korozija veikė ties strypo galais, kur strypas patyrė jūrinio vandens poveikį. Mažiausiai – kilio skerspjūvio viduryje. Iš šio pjūvio taip pat akivaizdžiai pastebime kaip mediena saugo metalą nuo korozijos poveikio.

Antras strypas taip stipriai paveiktas korozijos, kad bandant jį išimti iš medienos didžioji strypo dalis sutrupėjo. Šis strypas labiausiai paveiktas struktūrinės (tarpkristalinės) korozijos (61 pav.).



61 pav. Strypas paveiktas tarpkristalinės korozijos

Ant antrojo strypo pastebimos ir kitos korozijos rūšys: dėmėtoji (paviršinė), ištisinė netolygi, erozinė, plyšinė ar įtempties korozija (62 pav.)



62 pav. Antrojo strypo korozija

Pagrindinė priežastis kodėl antrasis strypas korodavo labiau – jūrinio vandens poveikis. Pirmasis strypas jūrinio vandens buvo veikiamas tik iš vieno strypo galo, antrasis iš abiejų, todėl susidarė labai agresyvi korozinė aplinka ir strypas visiškai korodavo. Antrasis strypas patyrė didesnę jūrinio vandens poveikį dėl netinkamo kaiščio. Pirmojo strypo kaištis gerokai ilgesnis už antrojo, o taip pat ir storesnis bei sandaresnis. 63 paveiksle kairėje parodytas pirmojo strypo kaištis, dešinėje – antrojo.



63 pav. Kilio strypų kaiščiai

### 2.2.3 Kilio medienos drėgnio nustatymas

Medienos drėgnumu vadinama jos būseną, priklausanti nuo drėgmės kiekio, esančio medienoje. Šią būseną apibūdina drėgnis. Drėgnis – medienoje esančios drėgmės (vandens) masės santykis su visiškai sausos medienos mase.

Iš kilio medienos išpjauta trisdešimt bandinių. Šių bandinių drėgnis matuotas konduktometriniu drėgmėmačiu „Testo 606-2“ (64 pav.).



64 pav. „Testo 606-2“ drėgmėmatis

Šaltinis: <[http://www.testo.com/online/abaxx-  
?part=PORTAL.INT.SimpleContentDesk&sevent=show-from-menu&categoryid=52731727](http://www.testo.com/online/abaxx-?part=PORTAL.INT.SimpleContentDesk&sevent=show-from-menu&categoryid=52731727)>

Šis drėgmėmatis medienos drėgnį nustato netiesioginiu matavimo metodu (nustatomas ne drėgmės kiekis, o medienos elektrinis laidis, kuris priklauso nuo medienos drėgnumo). Prietaisas su mediena liečiasi per dviejų adatinių elektrodų daviklį. Elektrodo adatos įbedamos į bandinio paviršių. Drėgmė matuota 20°C kambario temperatūroje. Prietaiso paklaida  $\pm 1\%$ . Drėgmės matavimo rezultatai suvedami į ketvirtą lentelę.

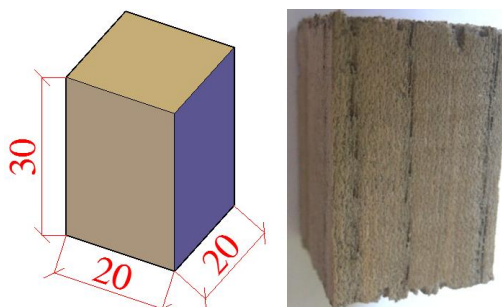
4 lentelė. Medienos drėgnio matavimo rezultatai

<b>Bandinio nr.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Drėgnis, %</b>	30,2	28,5	27,4	28,7	32,0	37,2	26,8	35,7	29,0	25,6
<b>Bandinio nr.</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
<b>Drėgnis, %</b>	29,5	26,6	19,7	25,7	27,3	36,9	37,3	36,8	38,7	36,4
<b>Bandinio nr.</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
<b>Drėgnis, %</b>	32,1	19,5	30,0	25,2	28,5	18,9	29,0	17,8	20,4	20,2

Pagal ketvirtos lentelės duomenis matyti, kad mažiausias 28 bandinio drėgnis: 17,8%. Didžiausias 19 bandinio: 38,7%. Vidutinis bandinių drėgnis: 28,6%.

## 2.2.4 Kilio medienos gniuždomojo stiprio nustatymas

Gniuždymas – viena būdingiausių ir dažniausiai pasitaikančių medienos apkrovimo formų. Bandymams naudojami iš kilio medienos išpjauti stačiakampės prizmės formos 20x20x30 mm bandiniai (65 pav.). Iš viso pagaminta 30 bandinių.



65 pav. Bandinys gniuždomojo stiprio nustatymui

Apskaičiuojamas preliminarus bandinių skaičius:

$$n = \frac{t_{\alpha}^2}{d_{\alpha}^2} \cdot V^2 = \frac{2,045^2}{5^2} \cdot 13^2 = 29 \leq 30;$$

$t_{\alpha}$  – Stjudento koeficientas (priklauso nuo  $\alpha$ );

$V$  – Variacijos koeficientas;

$d_{\alpha}$  – norimas gauti apskaičiuoto bandymo rezultatų vidurkio tikslumas (santykinė paklaida);

$\alpha$  – pasiklovimo tikimybė,  $\alpha = (100 - d_{\alpha}) / 100$ .

Bandiniai gniuždomi išilgai pluošto. Bandinių gniuždomasis stipris nustatytas bandymų mašina „Zwick/Roell Z020“. Gauti rezultatai suvedami į penktą lentelę.

5 lentelė. Bandinių gniuždomasis (išilgai pluošto) stipris

<b>Bandinio nr.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Stipris, Mpa</b>	18,0	17,0	17,0	17,5	20,0	11,7	14,4	13,7	14,0	12,9
<b>Bandinio nr.</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
<b>Stipris, Mpa</b>	13,2	13,2	17,0	17,5	16,1	12,3	13,1	13,5	13,5	14,8
<b>Bandinio nr.</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
<b>Stipris, Mpa</b>	14,4	14,6	13,0	22,3	15,5	14,7	14,6	25,5	18,5	15,5

Gautus bandymo rezultatus perskaičiuojame į standartinį 12% medienos drėgnumą:

$$R_{12} = R_{\omega} \cdot [1 + k(\omega - 12)];$$

$R_{\omega}$  – gniuždomasis stipris gautas bandymo metu;

$\omega$  – bandinio drėgnis gniuždymo bandymo metu;

$k$  – koeficientas, priklausantis nuo bandymo rūšies (gniuždant išilgai pluošto  $k=0,04$ );

Perskaičiuotos stiprio reikšmės pateiktos šeštoje lentelėje.

6 lentelė. Normalizuotos medienos drėgčio ( $\omega=12\%$ ) gniuždomasis stipris

<b>Bandinio nr.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Stipris (<math>\omega=12\%</math>), Mpa</b>	31,10	28,22	27,47	29,19	33,68	23,49	22,92	26,69	23,52	19,91
<b>Bandinio nr.</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
<b>Stipris (<math>\omega=12\%</math>), Mpa</b>	22,44	20,91	22,24	27,09	25,95	24,55	26,36	26,89	27,92	29,13
<b>Bandinio nr.</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
<b>Stipris (<math>\omega=12\%</math>), Mpa</b>	25,98	18,98	22,36	34,07	25,73	18,75	24,53	31,42	24,72	20,58

Nustačius 12% medienos drėgčio stiprio reikšmes, visi gauti rezultatai apdorojami statistiniais metodais. Apskaičiuojamos šios charakteristikos:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 25,56 \text{MPa};$$

$\bar{x}$  - aritmetinis vidurkis;

n – bandinių skaičius.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 4,02 \text{MPa};$$

S – standartinis nuokrypis.

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\% = 15,73\%;$$

V – variacijos koeficientas.

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,73 \text{MPa};$$

$S_x$  - aritmetinio vidurkio standartinis nuokrypis.

$$d_\alpha = t_\alpha \cdot \frac{V}{100\sqrt{n}} = 5,87\%;$$

$d_\alpha$  – aritmetinio vidurkio santykinė paklaida (esant pasiliovimo tikimybei  $\alpha=95\%$ ).

Tikroji gniuždomojo išilgai pluošto stiprio reikšmė:  $x = \bar{x} \pm t_\alpha \cdot S_x = 25,56 \pm 1,49 \text{MPa}$ ;  
Apskaičiuoto aritmetinio vidurkio santykinė paklaida  $d_\alpha=5,87\%$ , o tikroji gniuždomojo išilgai pluošto stiprio reikšmė  $x = 25,56 \pm 1,49 \text{MPa}$ . Tai reiškia, kad stiprio aritmetinis vidurkis, jį nustatant pakartotinai pagal tą pačią metodiką, 95 atvejais iš 100 pateks į (24,07-27,05)MPa diapazoną.

Gauta vidutinė stiprio reikšmė yra daugiau nei du kartus mažesnė už ąžuolo 12% drėgčio stiprį gniuždant išilgai pluošto. Stipris galimai sumažėjo dėl ilgalaikio jūros vandens poveikio.

### 2.2.5 Kilio medienos tankio nustatymas

Medienos tankis – medienos masės ir jos tūrio santykis. Medienos tankiui nustatyti buvo atrinkta penkiolika bandinių. Bandinių tankis nustatomas stereometriniu būdu pagal ISO 3130:1975 standarto reikalavimus.

Bandiniai pasveriami analitinėmis svarstyklėmis „KERN ABJ 220-4M“, kurių tikslumas 0,0001 gramo (66 pav).



66 pav. „KERN ABJ 220-4M“ analitinės svarstyklės

Pasvėrus bandinius, jie įdedami į „Thermo scientific heraeus UT6“ džiovinimo kamerą (67 pav.).



67 pav. Džiovinimo kamera „Thermo scientific heraeus UT6“

Bandiniai džiovinami 105 °C temperatūroje ir kas dvi valandas išimami ir pasveriami. Bandiniai sveriami tol, kol jų svoris nebekinta. Išdžiovintus bandinius iki visiškai sausos būklės, 0,1 mm tikslumo slankmačiu pamatuojami visų bandinių matmenys ir apskaičiuojamas kiekvieno bandinio tūris. Apskaičiavus tūrį randamas visiškai sausos būklės bandinių tankis  $\rho_0 = m_0/V_0$ .

Skaičiavimo rezultatai suvedami į septintą lentelę.

7 lentelė. Visiškai sausos medienos tankis

<b>Bandinio nr.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Tankis <math>r_0</math>, kg/m<sup>3</sup></b>	396	395	396	394	459	406	395	418
<b>Bandinio nr.</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	
<b>Tankis <math>r_0</math>, kg/m<sup>3</sup></b>	408	439	441	441	365	449	463	

Gautas tankio reikšmes perskaičiuojame į normalizuotos medienos (12% drėgnio) tankį  $r_{12}$ .

$$r_{12} = r_0 / 0,946;$$

Perskaičiuotos normalizuoto medienos tankio reikšmės pateiktos aštuntoje lentelėje.

8 lentelė. 12% drėgnumo medienos tankis

<b>Bandinio nr.</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Tankis <math>r_{12}</math>, kg/m<sup>3</sup></b>	418,6	417,5	418,6	416,5	485,2	429,2	417,5	441,9
<b>Bandinio nr.</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	
<b>Tankis <math>r_{12}</math>, kg/m<sup>3</sup></b>	431,3	464,1	466,2	466,2	385,8	474,6	489,4	

Nustačius 12% drėgnio medienos tankio reikšmes, visi gauti rezultatai apdorojami statistiniais metodais. Apskaičiuojamos šios charakteristikos:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 441,51 \text{ kg/m}^3;$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 30,72 \text{ kg/m}^3;$$

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\% = 6,96\%;$$

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}} = 7,93 \text{ kg/m}^3;$$

$$d_\alpha = t_\alpha \cdot \frac{V}{100\sqrt{n}} = 3,85\%;$$

Tikroji 12% drėgnio medienos tankio reikšmė:  $x = \bar{x} \pm t_\alpha \cdot S_x = 441,51 \pm 17,00 \text{ kg/m}^3$ ;

Tankio aritmetinis vidurkis, jį nustatant pakartotinai pagal tą pačią metodiką, 95 atvejais iš 100 patektų į (424,51-458,51)kg/m<sup>3</sup> diapazoną.

## IŠVADOS

1. Metalinės dygiuotos plokštelės apžiūrėtos mikroskopu, nustatyti smulkūs cinko dangos pažeidimo defektai dygių išspaudimo vietose, plokštelių briaunose ir gamintojų įspauduose.

2. Nustatytas vidutinis metalinių dygiuotų plokštelių paviršiaus šiurkštumas ( $R_z = 5,4 \mu\text{m}$ ) ir vidutinis bandiniams naudotos medienos paviršiaus šiurkštumas ( $R_z = 36,3 \mu\text{m}$ ). Šiurkštumas per mažas, kad apsauginės priemonės tinkamai sukibtų su metalo paviršiumi.

3. Pamatuoti antikorozinių dangų storiai: cinko dangos vidutinis storis:  $26,9 \mu\text{m}$ ; antikorozinės priemonės „DINITROL 4010“ vidutinis dangos storis:  $76,1 \mu\text{m}$  (gamintojo rekomenduojamas minimalus storis:  $30-40 \mu\text{m}$ ); dvikomponenčio epoksidinio grunto „EOPRIM“ vidutinis dangos storis:  $86,7 \mu\text{m}$  (gamintojo rekomenduojamas minimalus storis:  $50 \mu\text{m}$ ).

4. Bandiniai su metalinėmis dygiuotomis plokštelėmis išlaikyti dirbtinėje agresyvioje aplinkoje 90 dienų. Ant papildomomis dangomis neapsaugotų bandinių prasidėjo intensyvi cinko korozija bei paviršinė plieno korozija kai kuriose cinko dangos pažeidimo vietose. Ant bandinių, kurie apsaugoti papildomomis apsauginėmis dangomis prasidėjo neintensyvi cinko dangos korozija.

5. Per 90 dienų bandymo laikotarpį korozija išsivystė nežymiai. Korozinės pažaidos neturėjo įtakos bandinių laikomajai galiai.

6. Pastebėta, kad kai kuriose vietose apsauginės dangos atšokinėjusios nuo dygiuotų plokštelių paviršiaus. Kadangi pašiurkštinti paviršių sudėtinga, dengiant cinkuotas metalines plokšteles papildomomis apsauginėmis dangomis rekomenduojama nuo plokštelių paviršiaus nuvalyti riebalus ir nešvarumus bei jas nupurkšti 5% amoniako tirpalu.

7. Gniuždymo bandymo metu nustatyta bandinių laikomoji galia ir deformacijos: bandiniai, kurie prieš bandymą nebuvo džiovinami vidutiniškai atlaikė  $59,85 \text{ kN}$  jėgą, jų vidutinė deformacija  $9,50 \text{ mm}$ ; bandiniai, kurie prieš bandymą atmosferos sąlygomis džiovinti 7 dienas vidutiniškai atlaikė  $61,55 \text{ kN}$  jėgą, jų vidutinė deformacija  $9,90 \text{ mm}$ ; bandiniai, kurie buvo 90 dienų laikyti kambario temperatūroje vidutiniškai atlaikė  $67,02 \text{ kN}$  jėgą, o jų vidutinė deformacija  $10,64 \text{ mm}$ . Prie  $2 \text{ mm}$  ribinės deformacijos bandiniai vidutiniškai atlaikė  $50,04 \text{ kN}$  jėgą (pagal STR 2.05.07:2005 11 lentelę).

8. Gniuždant drėgnos medienos bandinius medienoje formuojasi pleišto formos dalis (mediena atlaiko mažesnę gniuždymo jėgą), kuri keičia bandinio suirimo pobūdį ir įtakoja laikomąją galią.

9. Laivo kilio metalinių detalių apžiūros metu nustatyti taškinės (pitingo), dėmėtosios, erozinės, ištisinės, įtempties, jūrinės ir tarpkristalinės korozijos požymiai.

10. Kilio medienos gniuždymo bandymo metu nustatyta bandinių laikomoji galia: 12% drėgnio medienos vidutinė laikomoji galia -  $25,56 \pm 1,49 \text{MPa}$ . Gauta stiprio reikšmė daugiau nei du kartus mažesnė už ąžuolo stiprį gniuždant išilgai pluošto. Stipris sumažėjo dėl ilgalaikio jūros vandens poveikio.

11. Stereometriniu būdu nustatytas medienos tankis: 12% drėgnio medienos tankio reikšmės kinta nuo  $385,8 \text{ kg/m}^3$  iki  $489,4 \text{ kg/m}^3$ , vidutinis medienos tankis –  $441,51 \text{ kg/m}^3$ . Medienos tankis sumažėjo dėl medienos senėjimo procesų ir ilgalaikio jūros vandens poveikio.

12. Pagal kilio medienos gniuždomąjį išilgai pluošto stiprį kilio medieną galima priskirti D35 stiprumo klasei, tačiau tokios stiprumo klasės medienos tankis turėtų būti  $560 \text{ kg/m}^3$  (arba apie 1,27 karto didesnis nei nustatytas kilio medienos tankis).

## LITERATŪRA

1. Aušrienė M. Metalų korozija ir sauga. Klaipėda, 2002.
2. Cost of Corrosion Estimate for 2013 in United States [interaktyvus]. Houston: G2MT Laboratories, 2009 [Žiūrėta 2013-04-11]. <<http://www.g2mtlabs.com/cost-of-corrosion>>.
3. Čechavičius R. Medinių ir plastmasinių konstrukcijų laboratorinių darbų sąsiuvinis. Vilnius: Technika, 1993.
4. Elzbutas H. Statybinių medžiagų savybių ir struktūros ypatybių tyrimo metodai. Kaunas: Vitae Litera, 2007.
5. ISO 3130-1975 Wood - Determination of moisture content for physical and mechanical tests. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2007.
6. Jakimavičius Č. Medienotyra. Kaunas: Technologija, 2008.
7. Kačerauskas J. Kad metalai ilgiau tarnautų. Vilnius: Kronta, 2006.
8. Kaesche H. Corrosion of Metals. Physicochemical Principles and Current Problems. Berlin: Springer, 2003.
9. Kavolėlis B., Bakutis B. Amonjako emisija karvidėse. Kaunas: Lietuvos mokslo akademijos leidykla, 2004.
10. LST EN 1995-1-1:2005+AC:2006. Eurokodas 5. Medinių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios nuostatos. Bendrosios ir pastatų taisyklės. Lietuvos standartizacijos departamentas. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2007.
11. LST EN ISO 4287:2007. Geometrinės gaminio specifikacijos (GGS). Paviršiaus reljefas. Profilio metodas. Terminai, apibrėžtys ir paviršiaus reljefo parametrai. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2007.
12. LST EN ISO 9227:2006. Korozijos bandymai dirbtinėse atmosferose. Bandymai druskos rūke. Lietuvos standartizacijos departamentas. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2006.
13. Product Catalogue [interaktyvus]. [Žiūrėta 2012-10-03]. <[http://www.dinitrolautohaz.hu/Produktkatalog\\_Ansicht\\_01.pdf](http://www.dinitrolautohaz.hu/Produktkatalog_Ansicht_01.pdf)>.
14. STR 2.05.07:2005. Medinių konstrukcijų projektavimas. Lietuvos standartizacijos departamentas. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2005.
15. Šulčius A. Metalų korozija ir sauga. Kaunas: Technologija, 2006.
16. Tričys V., Ulozas, R.V. Metalų elektrocheminis dengimas. Šiauliai: VŠĮ Šiaulių universiteto leidykla, 2004.

## **PRIEDAI**

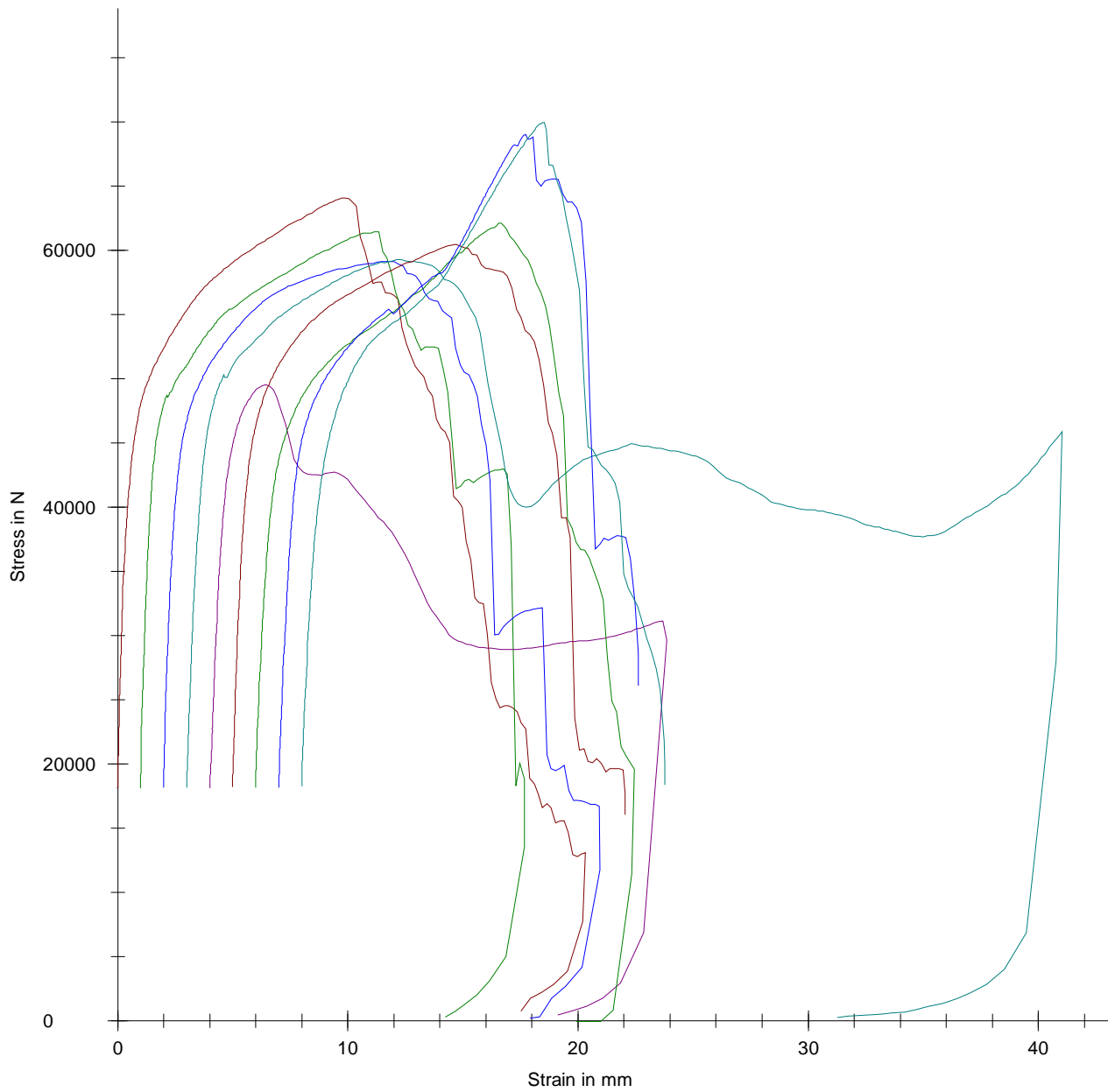
**Parameter table:**

Test protocol	:	Type strain extensometer	:
Tester	:	Machine data	:
Customer	:		: Controller TT0896
Test standard	:		: PistonStroke
Strength grade	:		: LoadCell 3 MN
Creation date	:		
Age	:	0 T	
Other	:		

**Results:**

Nr	$\rho$ g/cm <sup>3</sup>	E <sub>mod2</sub> N/mm <sup>2</sup>	F <sub>m</sub> kN	$\sigma_m$ N/mm <sup>2</sup>	$\varepsilon_m$ mm	F <sub>end</sub> kN	$\varepsilon_b$ mm	$\Delta\varepsilon_{oben}$ %	$\Delta\varepsilon_{lo}$ %
1	3,33	-	64,09	13,08	9,89	0,77	-	-	-
2	3,33	-	61,45	12,54	10,15	0,31	-	-	-
3	3,33	-	59,12	12,07	9,65	0,20	-	-	-
4	3,33	-	59,27	12,10	9,31	0,26	-	-	-
5	3,33	-	49,53	10,11	2,42	0,45	-	-	-
6	3,33	-	60,43	12,33	9,69	16,04	-	-	-
7	3,33	-	62,12	12,68	10,66	-0,06	-	-	-
8	3,33	-	69,00	14,08	10,73	26,10	-	-	-
9	3,33	-	69,93	14,27	10,54	18,38	-	-	-

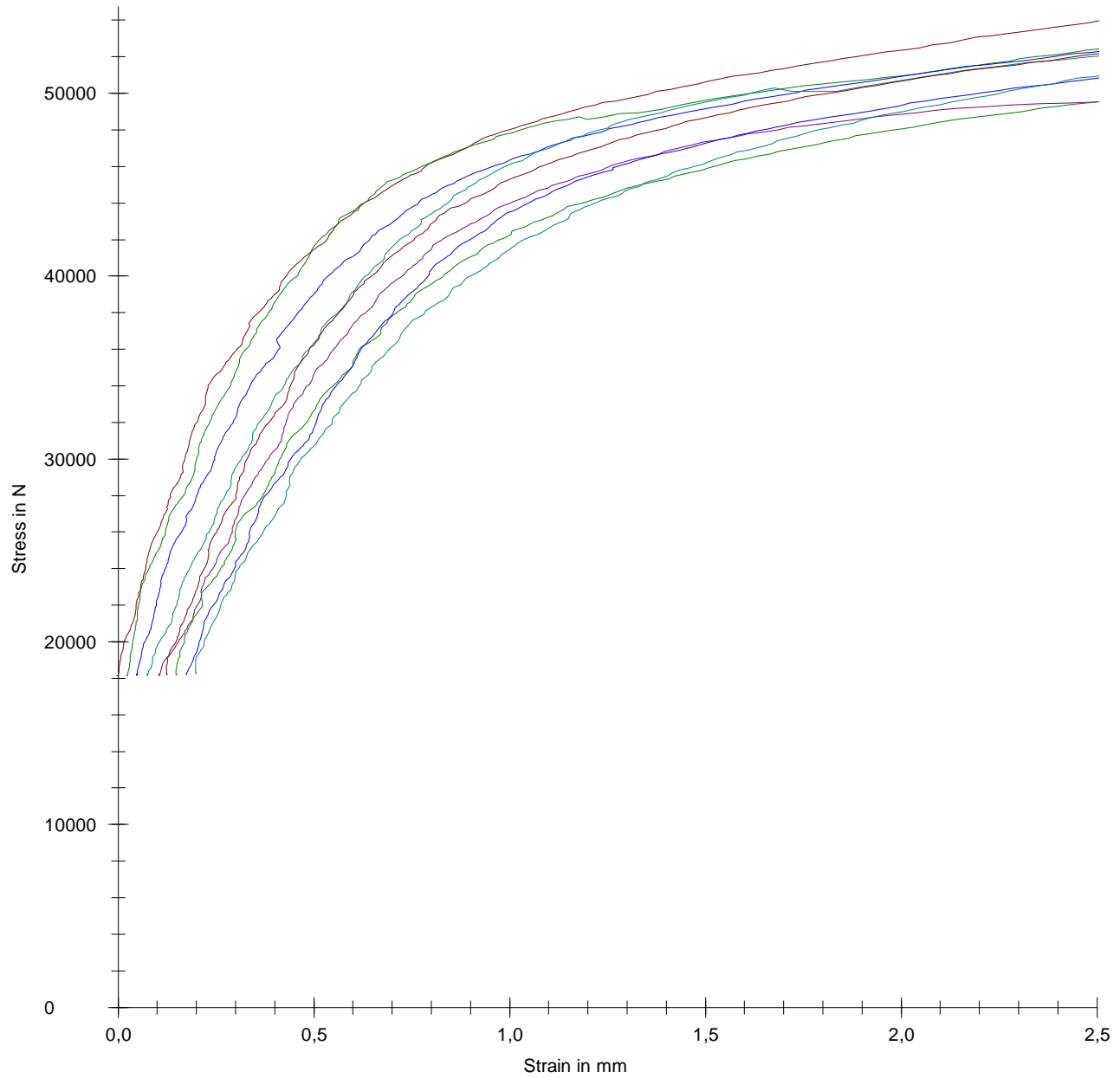
**Series graphics:**



**Statistics:**

Series	$\rho$	Emod2	$F_m$	$\sigma_m$	$\epsilon_m$	$F_{end}$	$\epsilon_b$	$\Delta\epsilon_{oben}$	$\Delta\epsilon_{lo}$
n = 9	g/cm <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kN	N/mm <sup>2</sup>	mm	kN	mm	%	%
x	3,33	-	61,66	12,58	9,23	6,94	-	-	-
s	0,00	-	6,01	1,23	2,60	10,27	-	-	-
v	0,00	-	9,75	9,75	28,19	-	-	-	-

**Series graphics:**



**Statistics:**

Series	$\rho$	Emod2	$F_m$	$\sigma_m$	$\epsilon_m$	$F_{end}$	$\epsilon_b$	$\Delta\epsilon_{oben}$	$\Delta\epsilon_{lo}$
n = 9	g/cm <sup>3</sup>	N/mm <sup>2</sup>	kN	N/mm <sup>2</sup>	mm	kN	mm	%	%
x	3,33	-	61,66	12,58	9,23	6,94	-	-	-
s	0,00	-	6,01	1,23	2,60	10,27	-	-	-
v	0,00	-	9,75	9,75	28,19	-	-	-	-

## Parameter:

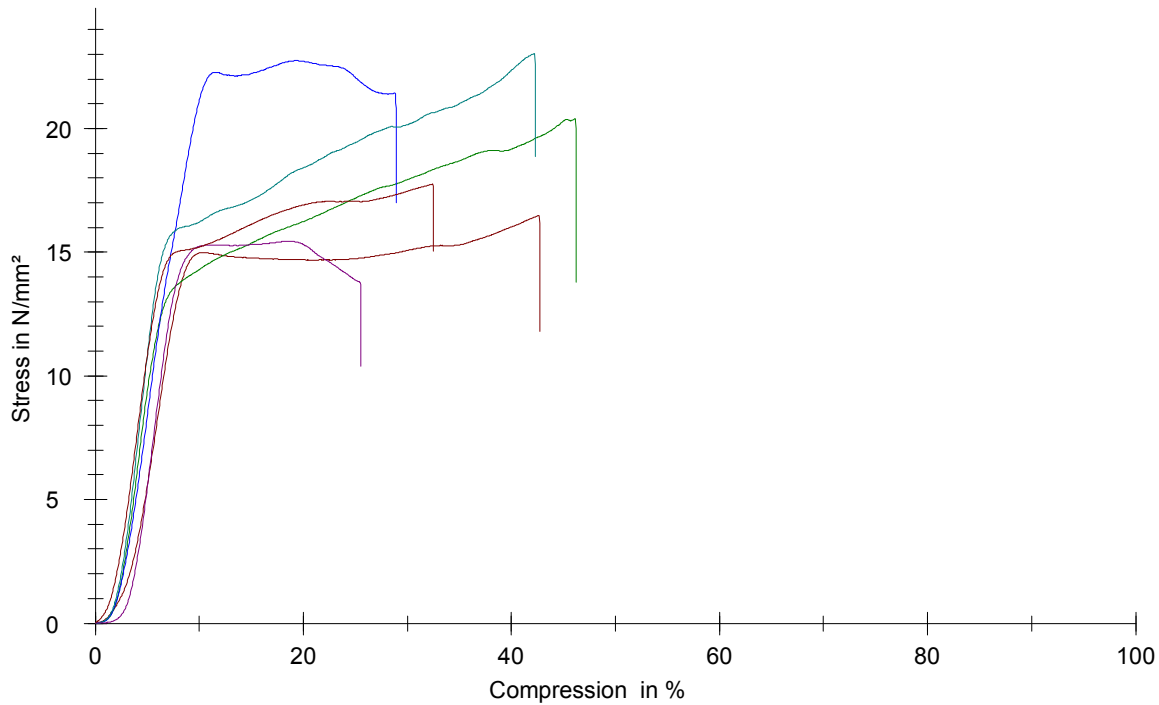
Order number:            Customer :  
 Charge :                Material :  
 Test standard :        Extensometer :  
 Tester :                Load cell :

Pre-load : 2 N  
 Pre-load speed : 10 mm/min  
 Test speed : 50 mm/min

## Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	Height mm	Fmax N/mm <sup>2</sup>	F <sub>Break</sub> N/mm <sup>2</sup>	εBreak mm	ε-F max mm
1	22	21	29,38	16,49	-	-	12,53
2	22	21	31,96	20,41	-	-	14,75
3	20,5	21	31,47	22,75	-	-	6,10
4	20	21	31,86	23,03	-	-	13,45
5	22	21	30,29	15,45	-	-	5,63
6	22	21	31,99	17,75	-	-	10,37

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 6	a0 mm	b0 mm	Height mm	Fmax N/mm <sup>2</sup>	F <sub>Break</sub> N/mm <sup>2</sup>	εBreak mm	ε-F max mm
$\bar{x}$	21,42	21	31,16	19,31	-	-	10,47
s	0,9174	0,000	1,08	3,23	-	-	3,85
v	4,28	0,00	3,47	16,72	-	-	36,73

## Parameter:

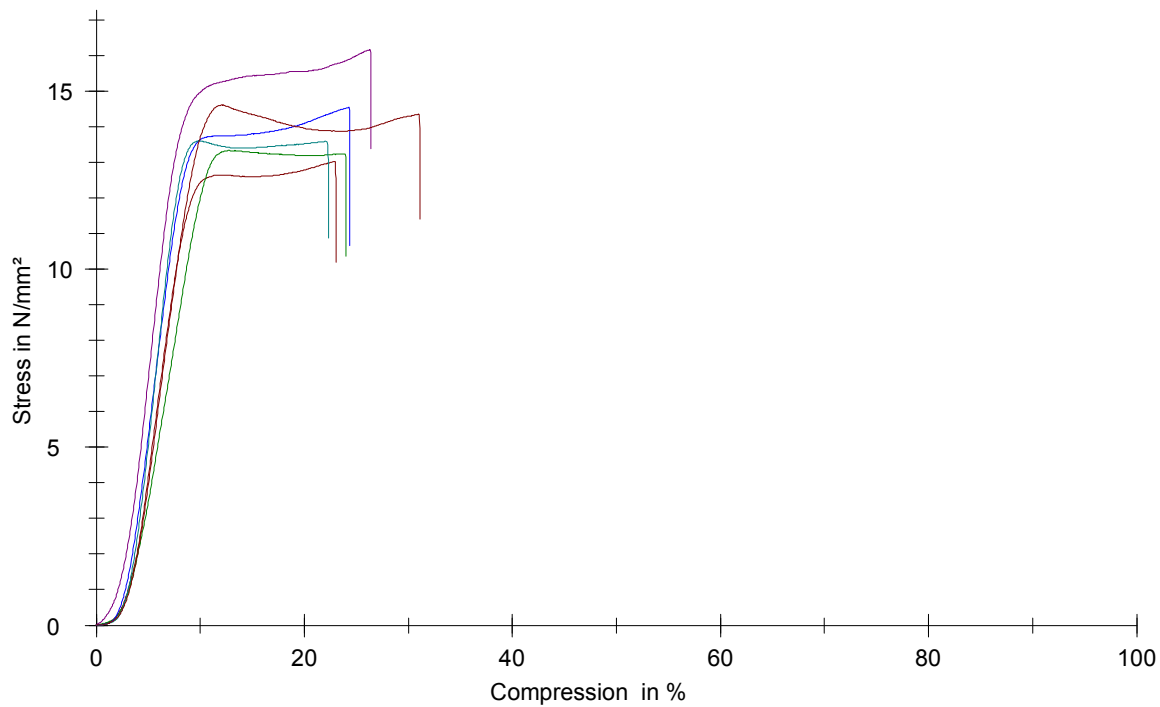
Order number:            Customer :  
 Charge :                Material :  
 Test standard :        Extensometer :  
 Tester :                Load cell :

Pre-load : 2 N  
 Pre-load speed : 10 mm/min  
 Test speed : 50 mm/min

## Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	Height mm	Fmax N/mm <sup>2</sup>	F <sub>Break</sub> N/mm <sup>2</sup>	εBreak mm	ε-F max mm
1	22	21	31,47	13,03	-	-	7,22
2	22	21	31,94	13,33	-	-	4,08
3	22	21	30,43	14,54	-	-	7,38
4	22	21	31,30	13,60	-	-	3,07
5	21	21	31,99	16,16	-	-	8,42
6	21	21	30,76	14,61	-	-	3,71

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 6	a0 mm	b0 mm	Height mm	Fmax N/mm <sup>2</sup>	F <sub>Break</sub> N/mm <sup>2</sup>	εBreak mm	ε-F max mm
$\bar{x}$	21,67	21	31,31	14,21	-	-	5,65
s	0,5164	0,000	0,63	1,15	-	-	2,28
v	2,38	0,00	2,00	8,10	-	-	40,37

## Parameter:

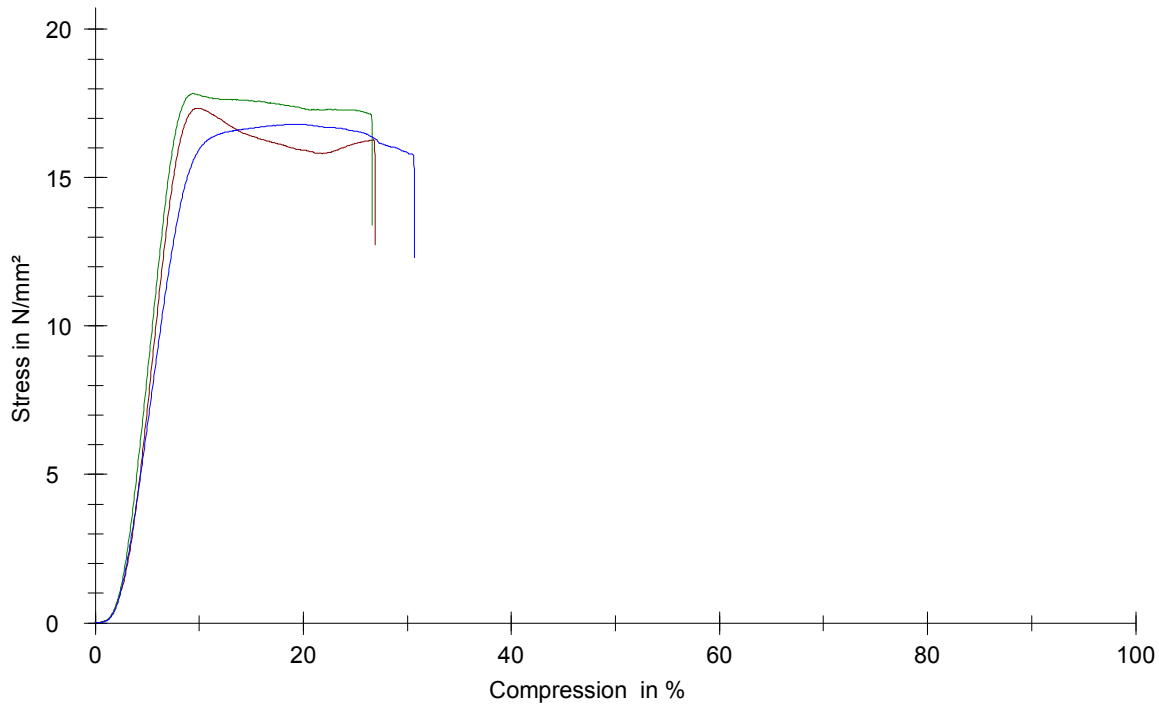
Order number : Customer :  
 Charge : Material :  
 Test standard : Extensometer :  
 Tester : Load cell :

Pre-load : 2 N  
 Pre-load speed : 10 mm/min  
 Test speed : 50 mm/min

## Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	Height mm	Fmax N/mm <sup>2</sup>	F <sub>Break</sub> N/mm <sup>2</sup>	εBreak mm	ε-F max mm
1	23	21	31,30	17,34	-	-	3,06
2	22	21	31,78	17,83	-	-	2,96
3	23	21	30,79	16,80	-	-	5,82

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 3	a0 mm	b0 mm	Height mm	Fmax N/mm <sup>2</sup>	F <sub>Break</sub> N/mm <sup>2</sup>	εBreak mm	ε-F max mm
$\bar{x}$	22,67	21	31,29	17,32	-	-	3,95
s	0,5774	0,000	0,50	0,52	-	-	1,62
v	2,55	0,00	1,58	2,97	-	-	41,06

## Parameter:

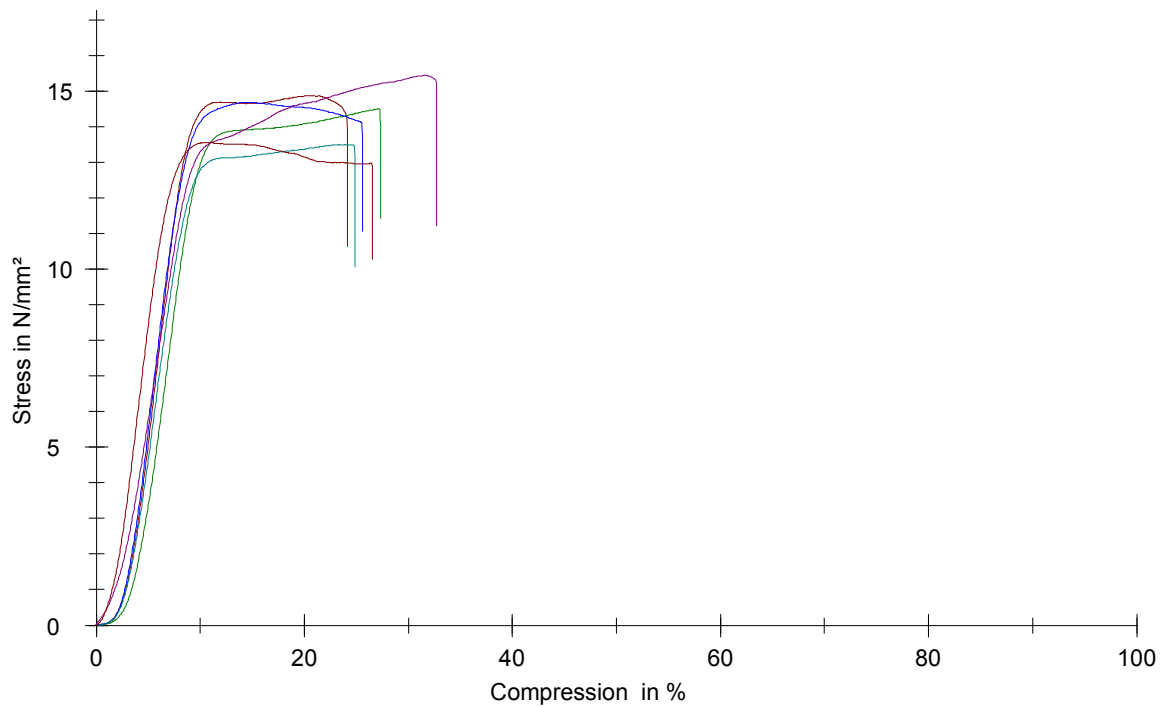
Order number : Customer :  
 Charge : Material :  
 Test standard : Extensometer :  
 Tester : Load cell :

Pre-load : 2 N  
 Pre-load speed : 10 mm/min  
 Test speed : 50 mm/min

## Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	Height mm	Fmax N/mm <sup>2</sup>	F <sub>Break</sub> N/mm <sup>2</sup>	εBreak mm	ε-F max mm
1	20	21	31,79	14,88	-	-	6,64
2	21	21	30,92	14,51	-	-	8,41
3	21	21	31,69	14,68	-	-	4,54
4	21	21	31,43	13,50	-	-	7,52
5	21	21	31,99	15,44	-	-	10,13
6	20	21	31,98	13,55	-	-	3,40

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 6	a0 mm	b0 mm	Height mm	Fmax N/mm <sup>2</sup>	F <sub>Break</sub> N/mm <sup>2</sup>	εBreak mm	ε-F max mm
$\bar{x}$	20,67	21	31,63	14,42	-	-	6,77
s	0,5164	0,000	0,41	0,77	-	-	2,49
v	2,50	0,00	1,29	5,31	-	-	36,69

## Parameter:

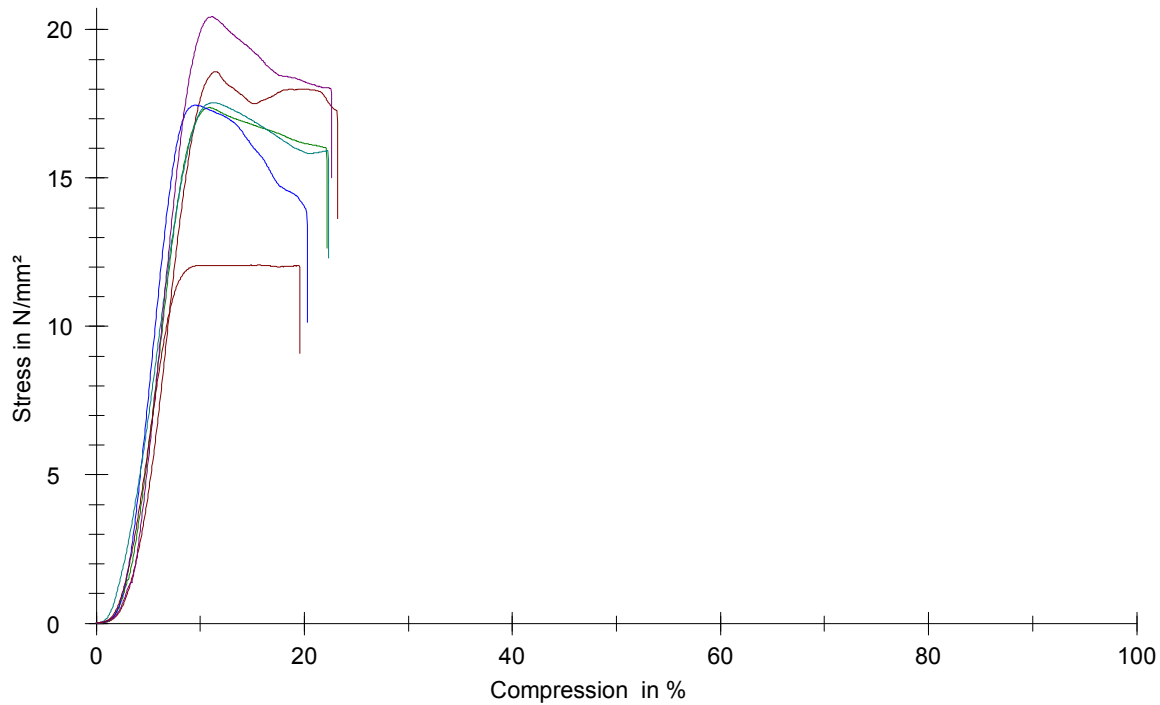
Order number:            Customer :  
 Charge :                Material :  
 Test standard :        Extensometer :  
 Tester :                Load cell :

Pre-load : 2 N  
 Pre-load speed : 10 mm/min  
 Test speed : 50 mm/min

## Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	Height mm	Fmax N/mm <sup>2</sup>	F <sub>Break</sub> N/mm <sup>2</sup>	εBreak mm	ε-F max mm
1	22	19	31,60	18,59	-	-	3,59
2	22	20	31,82	17,38	-	-	3,48
3	22	20	31,76	17,45	-	-	2,99
4	22	20	32,96	17,54	-	-	3,68
5	22	20	32,98	20,44	-	-	3,68
6	21	21	31,21	12,07	-	-	4,89

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 6	a0 mm	b0 mm	Height mm	Fmax N/mm <sup>2</sup>	F <sub>Break</sub> N/mm <sup>2</sup>	εBreak mm	ε-F max mm
$\bar{x}$	21,83	20	32,06	17,25	-	-	3,72
s	0,4082	0,6325	0,74	2,79	-	-	0,63
v	1,87	3,16	2,31	16,18	-	-	16,85

## Parameter:

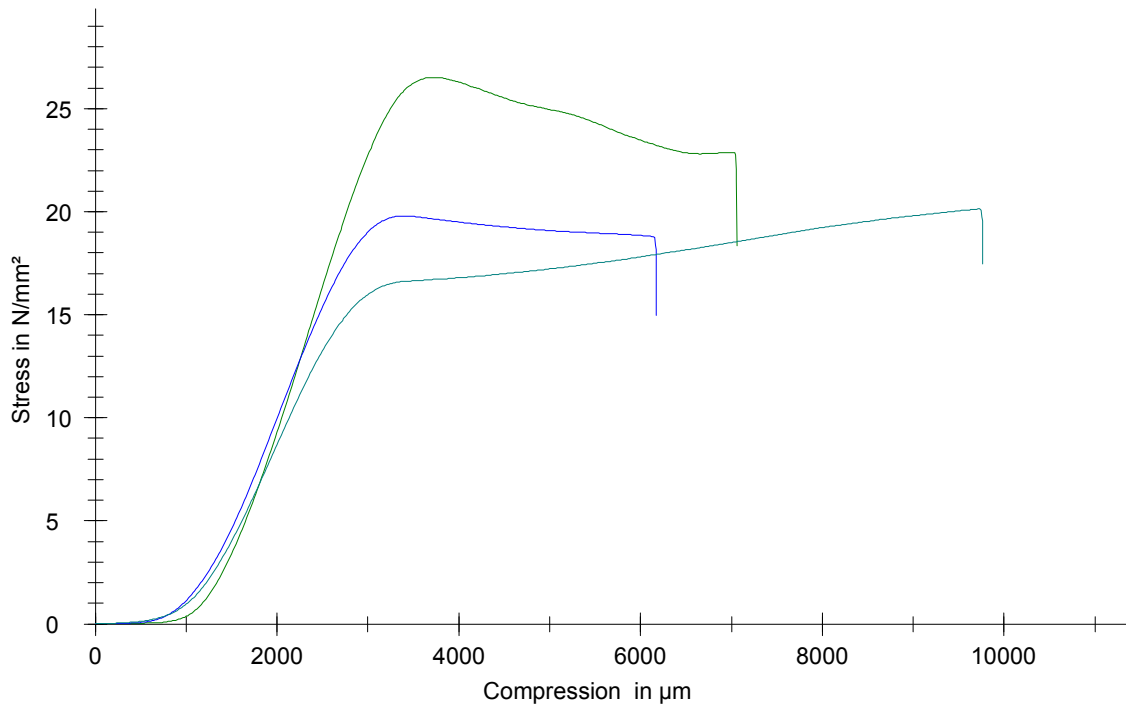
Order number:            Customer :  
 Charge :                Material :  
 Test standard :        Extensometer :  
 Tester :                Load cell :

Pre-load : 2 N  
 Pre-load speed : 10 mm/min  
 Test speed : 50 mm/min

## Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	Height mm	Fmax N/mm <sup>2</sup>	F <sub>Break</sub> N/mm <sup>2</sup>	εBreak mm	ε-F max mm
⊕1	22	21	-	-	-	-	-
2	22	21	31,87	26,51	-	-	3,72
3	22	22	31,02	19,78	-	-	3,39
4	21	22	31,97	20,13	-	-	9,73

## Series graph:



## Statistics:

Series n = 3	a0 mm	b0 mm	Height mm	Fmax N/mm <sup>2</sup>	F <sub>Break</sub> N/mm <sup>2</sup>	εBreak mm	ε-F max mm
$\bar{x}$	21,67	21,67	31,62	22,14	-	-	5,61
s	0,5774	0,5774	0,52	3,78	-	-	3,57
v	2,66	2,66	1,65	17,09	-	-	63,61



0402  
**MiTek Industries AB**  
 09  
 0402-CPD-SC0950-09  
 EN14545:2008



**Punched Metal Plate Fasteners for Structural Timber Products**

**GNT 100S**

Dimensions:

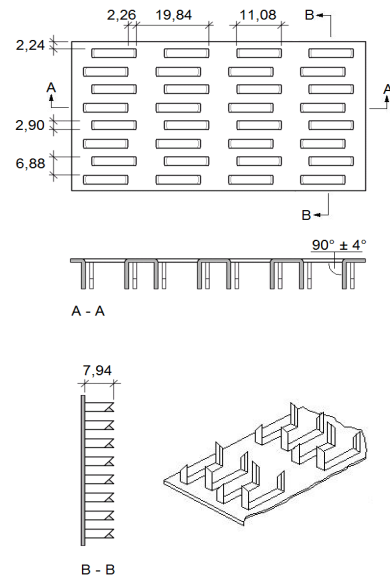
Thickness: 1.00mm

☐ = possible size    S = standard size  
 Width (W) and Length (L) sizes are in millimetres

L =	W =	28	34	41	48	55	76	89	103	130	152	178	206						
40																			
60		S																	
79		S				S													
99		S			S	S													
119		S	S		S	S	S		S										
139						S													
159		S	S			S	S	S	S	S	S								
178																			
198			S			S	S	S	S	S	S								
218						S		S	S	S	S	S							
238			S			S													
258							S		S	S									
278						S													
298													S						
317									S	S	S	S							
337						S					S								
357										S	S								
396									S	S	S	S							

Material: S350GD+Z275 according to EN10346:2009

<b>Mechanical Strength</b>		
Characteristic Plate Anchorage Capacity at a characteristic density $\rho_k$ of 350 kg/m <sup>3</sup>	$f_{a,0,0}$ $f_{a,90,90}$ $k_1, k_2, \alpha_0$	2.63 N/mm <sup>2</sup> 1.52 N/mm <sup>2</sup> 0.002, -0.006, 27°
Characteristic Plate Tension Capacity	$f_{t,0}$ $f_{t,90}$	211 N/mm 144 N/mm
Characteristic Plate Compression Capacity	$f_{c,0}$ $f_{c,90}$	77 N/mm 75 N/mm
Characteristic Plate Shear Capacity	$f_{v,0}$ $f_{v,90}$ $\gamma_0, K_v$	75 N/mm 56 N/mm 2.50; 0.80
<b>Mechanical Stiffness</b>		
Slip Modulus at a mean timber density $\rho_m$ of 410 kg/m <sup>3</sup>	$k_{ser}$	11.1 N/mm <sup>3</sup>
Nail Root Ductility	-	Passed
<b>Durability (i.e. Corrosion protection)</b>		
Z275 Hot-dip zinc coating (Service Class 2 acc. To EN1995-1-1)		



Date/Authorized: 2010-01-15

# EPOKSIDINIS ANTIKOROZINIS GRUNTAS

## EPOPRIM

### APIBŪDINIMAS :

Greitai džiūstantis epoksidinis gruntas, itin gerai sukimbantis su metaliniais paviršiais. Dėl sudėtyje esančių veiksmingų antikorozinių pigmentų, ilgą laiką saugo metalinius paviršius nuo korozijos.

### NAUDOJAMAS :

Gruntuoti plieninius, aliuminius, cinkuotus paviršius naudojamas lauke, prieš dažant juos įvairiais emaliniais dažais. Patalpų viduje arba lauke, ten kur nėra tiesioginių saulės spindulių (pvz. po stogine), gruntas gali būti naudojamas kaip tvirta, dėvėjimuisi, cheminių reagentų (atskiestų šarminių tirpalų, silpnų rūgščių, tirpiklių, benzino, tepalų ir kt.) poveikui, atspari danga.

### TECHNINIAI DUOMENYS:

- spalva

Pilkas.

- nelakių medžiagų tūris, %  
- džiūvimo laikas, kai  
temperatūra +20°C

58±2

4 val.

### NAUDOJIMAS :

Plieniniai paviršiai. Nuo paviršių abrazyviniu valymo būdu nuvalyti rūdis ir purvą iki Sa 2<sup>1/2</sup> arba St 3 laipsnio.

Aliuminiai arba cinkuoti paviršiai. Nuo paviršių nuvalyti riebalus, lengvai nušlifuoti smulkiu švitrinio popieriumi arba lengva abrazyviniu valymo srove, nuplauti 5% amoniako tirpalu ir leisti nudžiūti.

Prieš naudojant, gruntą gerai išmaišyti ir supilti kietiklį santykiu: 100 dalių grunto – 18 dalių kietiklio. Gautą masę gerai išmaišyti ir palaukti 45 min. Jei reikia, iki tinkamo klampumo atskiesti tirpikliu P-4, arba 646: **5-15%** dažant teptuku arba voleliu, **10-20%** dažant pneumopurkštuvu, **0-10%** dažant beorio purškimo prietaisais. Dažyti teptuku, voleliu, pulverizatoriumi arba beorio purškimo prietaisais (purkštuko skersmuo 0,011"÷0,019") kai oro ir dažomo paviršiaus temperatūra ne žemesnė nei +10°C, o santykinė oro drėgmė ne didesnė nei 85%.

Džiūvimo laikas ir laikas prieš dengiant kitus EPOPRIM sluoksnius arba prieš dažant emaliniais dažais nurodytas 1 lentelėje:

1 lentelė.

t°C	Džiūvimo laikas, val.  ne ilgiau	Laikas, kai būtina sunaudoti gruntą sumaišius jį su kietikliu, val ne ilgiau	Laikas, prieš dažant kitus sluoksnius EPOPRIM		Laikas, prieš dažant emaliniais dažais	
			ne anksčiau	ne vėliau*	ne anksčiau	ne vėliau*

+10	7	12	4 val.	12 parų	8 val.	12 parų
+20	4	8	1,5 val.	6 paros	3 val.	6 paros

\*) jeigu prieš dažant kitus sluoksnius praėjo daugiau laiko nei nurodyta lentelėje, tai, kad sluoksniai geriau sukibtų, juos reikia nušlifuoti švitrinium popieriumi.

**SANAUDOS :**

Grunto sąnaudos įvairaus storio sluoksniams padengti nurodytos 2 lentelėje:

2 lentelė:

Grunto plėvelės storis, mkm		Būtinis sluoksnių kiekis, norint gauti nurodytą dangos storį	Grunto sąnaudos su kietikliu, (l/m <sup>2</sup> )
sausas	šlapia (kai gruntas neatskiestas tirpikliu)		
50	85	1	12
100	170	1-2	6

Rekomenduojamas dangos storis yra ne mažesnis nei 50 mkm.

**TIRPIKLIS :**

R-4, 646.

**SAUGOJIMO LAIKAS :**

12 mėn. sandariai uždarytoje gamintojo taroje, kai temperatūra ne aukštesnė nei +30<sup>0</sup>C.

**PAKUOTĖ :**

1,1 l (1,5 kg.), 3,3 l (4,5 kg.), 11l (15 kg.) (tūris ir svoris nurodyti kartu su kietikliu).

**DARBO VIETOS IR APLINKOS APSAUGA:**

Kenksmingas! Degus. Vengti įkvėpti ir stengtis, kad nepatektų ant odos. Gali labai pakenkti akims. Laikyti uždarytą ir saugoti nuo vaikų. Jei pateko į akis, plauti jas dideliu kiekiu vandens ir kuo skubiau kreiptis pagalbos į medikus. Naudoti akių ir veido apsaugos priemones. Nurijus, kuo skubiau kreiptis pagalbos į medikus, parodyti jiems produkto pakuotę arba etiketę. Nepilti į kanalizaciją, vandens telkinį, dirvožemį.



## DINITROL 4010 Spray

Engine Protection Lacquer

### Characteristics:

DINITROL 4010 is a heat-resistant lacquer with the following characteristics: it dries quickly, leaving a hard and transparent glossy film. Labels and type plates are easy to see. Does not attack rubber or plastics. DINITROL 4010 is compatible with practically all lacquers (test recommended before application). Product hardness and adherence increase at high temperatures.

### Application:

Suitable areas of application are:  
engines and engine parts or other objects which are subjected to high temperatures.  
Not suitable for exhaust manifolds.

### Method of Use:

Leave the spray can at room temperature (16 – 20°C) before use and shake well. The surface to be treated must be clean and free from oil and grease. Spray DINITROL 4010 on the surface to be treated and leave to dry at room temperature.

### Technical properties:

Base:	synthetic wax / wax mixture
Colour:	yellow-brown, transparent
Density:	0.89 ± 0,02 g/ml
Flash point:	< - 20°C
Propellant:	Propane/butane
Recommended layer thickness:	30 – 40 µ dry
Heat stability:	> 200°C
Yield / aerosol:	2.5 – 3 m <sup>2</sup>
Storage:	cool and dry
Storage time:	24 months
Delivery form:	500 ml spray can (standard)
<b>Hazard indication:</b>	highly flammable

For all relevant safety advices please read the material safety data sheet or the packaging label.

Die in diesem Merkblatt gemachten Angaben sind das Ergebnis sorgfältiger Untersuchungen. Soweit sie sich auf die Anwendung beziehen, sind sie als Empfehlung zu betrachten, die dem Erfahrungsstand entsprechen. Wegen der Vielseitigkeit der Anwendungs- und Arbeitsweisen können wir jedoch eine Verbindlichkeit nicht übernehmen. Es wird daher ein vertragliches Rechtsverhältnis nicht begründet, und es entstehen aus eventuellen Kaufverträgen keine Nebenverpflichtungen.

All data and recommendations are the result of careful tests by our laboratories. They only can be considered as recommendation which correspond to the level of experience of today. The data are given in good faith. However, in view of the multiplicity of possible application and working methods we are not in a position to assume any responsibility or obligations deriving from the use of our products.

DINOL GmbH  
Pyrmonter Str. 76  
D-32676 Lügde  
Telefon:  
+49 (0) 52 81 / 9 82 98-0  
Telefax:  
+49 (0) 52 81 / 9 82 98-60  
E-Mail:  
service@dinol.com

**1 Identification of the substance/mixture and of the company/undertaking**

- **Product details**
- **Trade name:** Dinitrol 4010
- **Application of the substance / the preparation** Anticorrosion additive
- **Manufacturer/Supplier:**  
Dinol GmbH  
Pyrmonter Strasse 76  
D-32676 Lügde  
Tel: +49 5281 9829 80  
Fax: +49 5281 9829 860  
E-mail: thomas.suerig@dinol.com
- **Further information obtainable from:** Research & Development
- **Information in case of emergency:**  
Giftnotruf Berlin +49(0)30 30686 790 Beratung in Deutsch und Englisch.

**2 Hazards identification**

- **Classification of the substance or mixture**
- **Classification according to Directive 67/548/EEC or Directive 1999/45/EC**  
R10-52/53-66-67: Flammable. Harmful to aquatic organisms, may cause long-term adverse effects in the aquatic environment. Repeated exposure may cause skin dryness or cracking. Vapours may cause drowsiness and dizziness.
- **Information concerning particular hazards for human and environment:**  
The product has to be labelled due to the calculation procedure of the "General Classification guideline for preparations of the EU" in the latest valid version.  
At long or repeated contact with skin it may cause dermatitis due to the degreasing effect of the solvent.  
Has a narcotizing effect.
- **Classification system:**  
The classification is according to the latest editions of the EU-lists, and extended by company and literature data.
- **Label elements**
- **Labelling according to EU guidelines:**  
The product has been marked in accordance with EU Directives / respective national laws.  
The product has been classified and marked in accordance with EU Directives / Ordinance on Hazardous Materials.  
The R and S phrases may be omitted if packaging contains no more than 0.125 litre.
- **Risk phrases:**  
10 Flammable.  
52/53 Harmful to aquatic organisms, may cause long-term adverse effects in the aquatic environment.  
66 Repeated exposure may cause skin dryness or cracking.  
67 Vapours may cause drowsiness and dizziness.
- **Safety phrases:**  
2 Keep out of the reach of children.  
23 Do not breathe fumes/aerosol.  
29/56 Do not empty into drains, dispose of this material and its container at hazardous or special waste collection point.  
36 Wear suitable protective clothing.  
43 In case of fire, use water.  
46 If swallowed, seek medical advice immediately and show this container or label.
- **Special labelling of certain preparations:**  
Contains 2-Butanone oxime. May produce an allergic reaction.

(Contd. on page 2)

Printing date 15.11.2010

Revision: 15.11.2010

**Trade name: Dinitrol 4010**

(Contd. of page 1)

· **Additional information:**

The petroleum naphtha / petroleum distillate / lubricating oil meet the requirements for not being classified as carcinogenic (<0,1% benzene alt<3% (w/w) DMSO extract (IP 346)).

### 3 Composition/information on ingredients

· **Chemical characterization**

· **Description:** Mixture of substances listed below with nonhazardous additions.

· **Dangerous components:**

CAS: 64742-48-9 EINECS: 265-150-3	Naphtha (petroleum), hydrotreated heavy ☒ Xn R65 R10-66	25-<50%
CAS: 64742-82-1 EINECS: 265-185-4	Naphtha (petroleum), hydrodesulfurized heavy ☒ Xn R65; ☒ N R51/53 R10-66-67	10-<25%
CAS: 25619-56-1	Barium alkyl-naphthalenesulfonate ☒ Xn R20/22; ☒ Xi R36/38	1-<5%
CAS: 96-29-7 EINECS: 202-496-6	2-Butanone oxime ☒ Xn R21-40; ☒ Xi R41; ☒ Xi R43 Carc. Cat. 3	<1%

· **Additional information:** For the wording of the listed risk phrases refer to section 16.

### 4 First aid measures

- **After skin contact:** Generally the product does not irritate the skin.
- **After eye contact:** Rinse opened eye for several minutes under running water.

### 5 Firefighting measures

- **Suitable extinguishing agents:**  
CO<sub>2</sub>, powder or water spray. Fight larger fires with water spray or alcohol resistant foam.
- **For safety reasons unsuitable extinguishing agents:** Water with full jet
- **Protective equipment:** No special measures required.

### 6 Accidental release measures

- **Person-related safety precautions:** Wear protective equipment. Keep unprotected persons away.
- **Measures for environmental protection:**  
Do not allow product to reach sewage system or any water course.  
Inform respective authorities in case of seepage into water course or sewage system.  
Do not allow to enter sewers/ surface or ground water.
- **Measures for cleaning/collecting:**  
Absorb with liquid-binding material (sand, diatomite, acid binders, universal binders, sawdust).  
Ensure adequate ventilation.

### 7 Handling and storage

- **Handling:**
- **Information for safe handling:**  
No special measures required.  
Ensure good ventilation/exhaustion at the workplace.  
Prevent formation of aerosols.

(Contd. on page 3)

**Trade name: Dinitrol 4010**

(Contd. of page 2)

- **Information about fire - and explosion protection:**  
Keep ignition sources away - Do not smoke.  
Protect against electrostatic charges.
- **Storage:**
- **Requirements to be met by storerooms and receptacles:** No special requirements.
- **Information about storage in one common storage facility:** Not required.
- **Further information about storage conditions:** Keep container tightly sealed.

## 8 Exposure controls/personal protection

- **Additional information about design of technical facilities:** No further data; see item 7.
- **Ingredients with limit values that require monitoring at the workplace:**  
The product does not contain any relevant quantities of materials with critical values that have to be monitored at the workplace.
- **CAS No. Designation of material % Type Value Unit**  
The product does not contain any relevant quantities of materials with critical values that have to be monitored at the workplace.
- **Additional information:** The lists valid during the making were used as basis.
- **Personal protective equipment:**
- **General protective and hygienic measures:** Wash hands before breaks and at the end of work.
- **Respiratory protection:**  
In case of brief exposure or low pollution use respiratory filter device. In case of intensive or longer exposure use self-contained respiratory protective device.
- **Protection of hands:** Not required.
- **Material of gloves**  
The selection of the suitable gloves does not only depend on the material, but also on further marks of quality and varies from manufacturer to manufacturer. As the product is a preparation of several substances, the resistance of the glove material can not be calculated in advance and has therefore to be checked prior to the application.  
Nitrile rubber  
Chloroprene rubber
- **Penetration time of glove material**  
The exact break through time has to be found out by the manufacturer of the protective gloves and has to be observed.
- **Eye protection:**



Tightly sealed goggles

## 9 Physical and chemical properties

- **General Information**
- **Appearance:**

<b>Form:</b>	Viscous
<b>Colour:</b>	Transparent
<b>Odour:</b>	Characteristic
- **Change in condition**

<b>Melting point/Melting range:</b>	Undetermined.
<b>Boiling point/Boiling range:</b>	142°C
- **Flash point:** 36°C (DIN 53213)
- **Ignition temperature:** 200°C

(Contd. on page 4)

Printing date 15.11.2010

Revision: 15.11.2010

**Trade name: Dinitrol 4010**

(Contd. of page 3)

· <b>Self-igniting:</b>	Product is not selfigniting.
· <b>Danger of explosion:</b>	Product is not explosive. However, formation of explosive air/vapour mixtures are possible.
· <b>Explosion limits:</b>	
<b>Lower:</b>	0.6 Vol %
<b>Upper:</b>	7.0 Vol %
· <b>Vapour pressure At 20°C:</b>	2.1 hPa
· <b>Density At 20°C:</b>	0.89 g/cm <sup>3</sup> (DIN 51757)
· <b>Solubility in / Miscibility with water:</b>	Not miscible or difficult to mix.
· <b>Viscosity:</b>	
<b>Kinematic At 20°C:</b>	25 s (DIN 53211/4)
· <b>Solvent content:</b>	
<b>Organic solvents:</b>	52.1 %
<b>Solids content:</b>	47.8 % (DIN 53216)

### 10 Stability and reactivity

- **Thermal decomposition / conditions to be avoided:** No decomposition if used according to specifications.
- **Materials to be avoided:**
- **Dangerous reactions** No dangerous reactions known.
- **Dangerous decomposition products:** No dangerous decomposition products known.

### 11 Toxicological information

- **Acute toxicity:**

- **LD/LC50 values relevant for classification:**

**64742-48-9 Naphtha (petroleum), hydrotreated heavy**

Oral	LD50	>5000 mg/kg (RAT)
------	------	-------------------

Dermal	LD50	>3000 mg/kg (RAT)
--------	------	-------------------

**64742-82-1 Naphtha (petroleum), hydrodesulfurized heavy**

Oral	LD50	>5000 mg/kg (RAT)
------	------	-------------------

Dermal	LD50	>3000 mg/kg (RABBIT)
--------	------	----------------------

Inhalative	LC50/4 h	>2.8 mg/l (RAT)
------------	----------	-----------------

- **Primary irritant effect:**
- **on the skin:** No irritant effect.
- **on the eye:** No irritating effect.
- **Sensitization:** No sensitizing effects known.

### 12 Ecological information

- **Ecotoxicological effects:**
- **Remark:** Harmful to fish
- **Additional ecological information:**
- **General notes:**  
Water hazard class 2 (German Regulation) (Self-assessment): hazardous for water  
Do not allow product to reach ground water, water course or sewage system.  
Danger to drinking water if even small quantities leak into the ground.

(Contd. on page 5)

Printing date 15.11.2010

Revision: 15.11.2010

**Trade name: Dinitrol 4010**

Harmful to aquatic organisms

(Contd. of page 4)

### 13 Disposal considerations

- **Product:**
- **Recommendation**  
Must not be disposed together with household garbage. Do not allow product to reach sewage system.

· **European waste catalogue**

08 00 00	WASTES FROM THE MANUFACTURE, FORMULATION, SUPPLY AND USE (MFSU) OF COATINGS (PAINTS, VARNISHES AND VITREOUS ENAMELS), ADHESIVES, SEALANTS AND PRINTING INKS
08 01 00	wastes from MFSU and removal of paint and varnish
08 01 11*	waste paint and varnish containing organic solvents or other dangerous substances

- **Uncleaned packaging:**
- **Recommendation:** Disposal must be made according to official regulations.

### 14 Transport information

· **Land transport ADR/RID (cross-border)**



- **ADR/RID class:** 3 Flammable liquids.
- **Danger code (Kemler):** 30
- **UN-Number:** 1139
- **Packaging group:** III
- **Hazard label** 3
- **Description of goods:** 1139 COATING SOLUTION, special provision 640E
- **Limited quantities (LQ) LQ7**
- **Transport category** 3
- **Tunnel restriction code** D/E

· **Maritime transport IMDG:**



- **IMDG Class:** 3
- **UN Number:** 1139
- **Label** 3
- **Packaging group:** III
- **EMS Number:** F-E,S-E
- **Marine pollutant:** No
- **Proper shipping name:** COATING SOLUTION

· **Air transport ICAO-TI and IATA-DGR:**



- **ICAO/IATA Class:** 3
- **UN/ID Number:** 1139

(Contd. on page 6)

Printing date 15.11.2010

Revision: 15.11.2010

Trade name: Dinitrol 4010

(Contd. of page 5)

- **Label** 3
- **Packaging group:** III
- **Proper shipping name:** COATING SOLUTION

### 15 Regulatory information

- **Chemical safety assessment A** Chemical Safety Assessment has not been carried out.
- **National regulations:**
- **Technical instructions (air):**

Class	Share in %
I	0.2
NK	52.1

- **Waterhazard class:** Water hazard class 2 (Self-assessment): hazardous for water.

### 16 Other information

This information is based on our present knowledge. However, this shall not constitute a guarantee for any specific product features and shall not establish a legally valid contractual relationship.

- **Relevant phrases**
  - R10 Flammable.
  - R20/22 Harmful by inhalation and if swallowed.
  - R21 Harmful in contact with skin.
  - R36/38 Irritating to eyes and skin.
  - R40 Limited evidence of a carcinogenic effect.
  - R41 Risk of serious damage to eyes.
  - R43 May cause sensitisation by skin contact.
  - R51/53 Toxic to aquatic organisms, may cause long-term adverse effects in the aquatic environment.
  - R65 Harmful: may cause lung damage if swallowed.
  - R66 Repeated exposure may cause skin dryness or cracking.
  - R67 Vapours may cause drowsiness and dizziness.
- **Department issuing MSDS:** Research & Development
- **Contact:** Dr. Thomas Sürig

GB