

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2023 554**
(22) Paraiškos padavimo data: **2023-12-29**
(41) Paraiškos paskelbimo data: **2025-07-10**
(45) Patento paskelbimo data: **2025-08-11**

(73) Patento savininkas:
Kauno technologijos universitetas, K. Donelaičio g. 73, 44249 Kaunas, LT

(72) Išradėjas:
Danutė VAIČIUKYNIENĖ, LT
Gintautas TAMOŠAITIS, LT
Dalia NIZEVIČIENĖ, LT
Aras KANTAUTAS, LT
Ignacio VILLALON FORNE, LT
Olha Boiko, LT

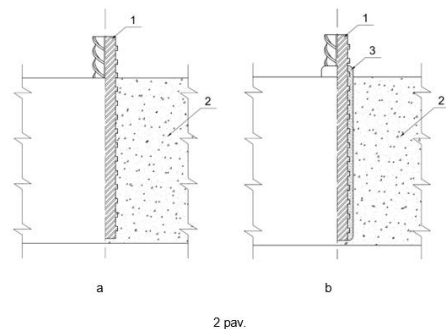
(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
Otilija KLIMAITIENĖ, 35, AAA Law, A. Goštauto g. 40B, Verslo centras „Dvyniai“, LT-03163 Vilnius, LT

(54) Pavadinimas:

Plieninės armatūros antikorozinės dangos kompozicija ir gamybos būdas

(57) Referatas:

Šis išradimas atskleidžia būdą gaminti plieninės armatūros, naudojamos kartu su betonu agresyviose terpėse, apsauginę antikorozinę dangą, šios dangos ir jos kompozicijos gamybos būdą naudojant metalurginį šlaką, stiklo vatos atliekas, bei šarminį aktyvatorių. Gautąja kompozicija padengiama plieninė armatūra 1-2 mm sluoksniu, kuri apsaugo plieno armatūrą nuo korozijos gelžbetonio gaminiuose, ypač agresyvios aplinkos sąlygomis, pavyzdžiui jūros vandenyje. Atlikti eksperimentai parodė sukurtos kompozicijos ir armatūros apsauginės dangos gerą efektyvumą. Šiai kompozicijai/dangai gaminti tinka techninės atliekos: metalurginis šlakas ir atliekinė stiklo/akmens vata, kuri gaunama griauinant pastatus. Išradimas efektyvus gelžbetonio konstrukcijų gamyboje, ypač eksploatuojamų agresyviose aplinkose, taip pat, betono sudėtyje naudojant rišiklį su sumažintu kiekiu portlandcemenčio arba pucolaninį rišiklį, kurie mažina betono kompozicijos šarminį lygį tuo didindami armatūros spartesnės korozijos tikimybę.



TECHNIKOS SRITIS

Šis išradimas priklauso statybos technologijų sričiai. Konkrečiau, išradimas atskleidžia gelžbetoniui skirtos plieninės armatūros antikorozinę dangą, ją suformuoti naudojamą specialią kompoziciją, bei šios kompozicijos gamybos būdą, naudojant sumaltą metalurgijos pramonėje susidariusį šlaką, smulkintas stiklo vatos atliekas, ir šarminį aktyvatorių.

TECHNIKOS LYGIS

Šiuo metu žinomi įvairūs plieninės armatūros antikorozinių savybių gelžbetoninėse konstrukcijose pagerinimo būdai, naudojant sudėtingas technologijas arba brangias rišamąsias medžiagas.

Kinijos naudingojo modelio dokumentas CN206625458U atskleidžia antikorozinę dangą, naudojamą gelžbetonio armatūros strypam. Šiame išradime siūloma plieno armatūros rumbuotą paviršių užtepti apsaugine epoksidine danga. Tokia epoksidinė danga ženkliai nepakeičia armatūros strypo plieninių briaunų dydžio, ir tai užtikrina gerą betono ir šia antikorozine danga padengto armatūros strypo sukibimą. Tačiau, šio techninio sprendimo trūkumas yra tai, kad epoksidinės dangos produktas gaminamas organinės chemijos pramonės gamyklose iš naftos. Dangai gauti epoksidinė derva yra maišoma su dervos kietikliu statybvietėje. Abu šie dangos kompozicijos komponentai yra brangios ir kancerogeninės medžiagos.

Kinijos patentinėje paraiškoje CN106746855A atskleistas išradimas aprašo strypinės, plieninės armatūros korozijos inhibitorių ir jo paruošimo būdą bei pritaikymą. Strypinės plieninės armatūros inhibitorius ruošiamas iš 0,2-2 dalių trietanolamino, 0,5-1,2 dalių natrio dodecilsulfato, 0,1-0,5 dalies cinko sulfato ir 95- 99 dalių vandens. Šio metodo trūkumas yra tas, kad visas sudėtinės inhibitoriaus gradientus reikia tirpinti 40-60°C temperatūros vandenyje, o po to gautą tirpalo produktą atvėsinti iki aplinkos temperatūros. Šis inhibitorius naudojamas pakeičiant dalį vandens betono mišinio sudėtyje, ir toliau maišant paskirstomas tolygiai visoje betono masėje.

Kinijos naudingojo modelio patentas CN206721855U atskleidžia „foster“-tipo betoną maišomą su jūros vandeniu. Išradimas apima padengtus epoksidine danga rifliuotos plieninės strypinės armatūros strypynus, patalpintus užmaišytame jūros

vandeniu betone. Tokiu būdu yra apsaugoma plieno armatūra nuo jūros vandens korozijos įtakos. Šio metodo trūkumai yra tokie patys, kaip ir dokumento CN106746855A atskleidimo atveju.

Dar viena Kinijos patentinė paraiška CN111675511A aprašo geopolimerinės dangos medžiagą, skirtą plieninės strypinės armatūros rūdžių ir korozijos prevencijai, bei jos gamybos ir naudojimo būdus. Dangos medžiaga sudaryta iš šių medžiagų: 90 dalių metakaolino, 10 dalių portlandcemenčio, 10 dalių kalio hidroksido, 70 dalių kalio skystojo stiklo, 65-105 dalių vandens, 160-200 dalių smėlio, polikarboksilato vandens reduktoriaus, kuris sudaro 1,2% bendro metakaolino ir portlandcemenčio masės, ir polipropileno pluošto, kuris sudaro 0,25% metakaolino ir portlandcemenčio bendrosios masės. Teigiamas išradimo poveikis yra tas, kad: medžiaga pasižymi geromis mechaninėmis savybėmis, apsauginė danga padidina plieninių strypų atsparumą chlorido jonų poveikiui. Padengus armatūrinį strypyną apsaugine danga, padidėja gelžbetoninės konstrukcijos ilgaamžiškumas. Tačiau šio išradimo trūkumu galima priskirti, kad minėtos medžiagos gamybai naudojama didelis ingredientų kiekis, kalio šarmas ir kalio tirpusis stiklas yra žymiai brangesni, lyginant juos atitinkamai su natrio šarmu ar natrio skystuoju stiklu. Metakaolino gamybai reikalinga aukšta temperatūra.

Dar viena Kinijos patentinė paraiška CN107673666A aprašo šarminiu būdu aktyvuoto šlako/armatūros strypo paviršiaus antikorozinę dangą ir jos paruošimo būdą. Šarminiu būdu aktyvuota dangos kompozicija paruošiama sumaišant šlaką, pelenus, skystąjį natrio stiklą ir vandenį, kur sumaišyta kompozicija naudojama kaip armatūros strypo paviršiaus antikorozinė danga. Galutinė šios antikorozinės kompozicijos dangos rišimosi trukmė yra 45-60 minučių. Ši kompozicija ir ja padengta armatūros paviršiaus danga gali veiksmingai pagerinti ja padengtos armatūros ir betono sukibimą, bei armatūros atsparumą korozijai. Tačiau, šios dangos ir jos gamybos metodo trūkumas yra tai, kad kompozicijoje naudojamų pelenų cheminė ir mineralinė sudėtis yra nepastovūs bei labai priklauso nuo pelenų susidarymo (atliekų deginimo) technologinio proceso parametrų. Todėl šiam komponentui dangos kompozicijos paruošimo procese yra būtinas nuolatinis sudėties ir rūgštingumo monitoringas.

TRUMPAS IŠRADIMO APRAŠYMAS

Techninė problema. Šio išradimo sprendžiama techninė problema yra plieno armatūros efektyvi apsauginė antikorozinė danga ir efektyvi šios paskirties dangos gamyba.

Techninis sprendimas. Pagal esamą išradimą, plieninės armatūros antikorozinė danga ir jos padengimo kompozicija yra gaminama iš metalurgijos pramonės šlako, statybinių atliekų stiklo vatos, naudojant sumaišytų šių atliekų šarminį aktyvavimą. Toliau, sumaišytoji ir aktyvuota dangos kompozicija, ja padengus plieno armatūrą, ant armatūros paviršiaus yra sukuriama danga, kuri padidina plieno armatūros paviršiaus atsparumą korozijai.

Šiam išradimui artimiausias yra Kinijos patentinėje paraiškoje CN107673666A atskleistas techninis sprendimas. Esamo išradimo ir CN107673666A sprendimo bendros savybės yra abiejuose sprendimuose naudojamas metalo gamybos atliekų šlakas bei šarminio aktyvavimo procesas sukurti dangos kompoziciją, ir toliau iš jos suformuoti armatūros apsauginę dangą. O esminis šio išradimo skirtumas yra tai, kad šio išradimo dangos kompozicijoje yra naudojama smulkinta akmens arba stiklo vata kaip kompozicijos armavimo elementas, o vietoje skystojo natrio stiklo yra naudojamas natrio šarmo tirpalas.

Smulkinta akmens ar stiklo vata, tinkamiausiu atveju, yra surenkama iš statybinių statybinės vatos atliekų. Dangos kompozicija gaunama sumaišoma reikiamomis proporcijomis sumaišius maltą granuliuotą šlaką ir statybinės stiklo vatos atlieką. Tada, šių komponentų mišinys yra aktyvuojamas natrio šarmo tirpalu, tokiu būdu gaunama dangos kompozicija, turinti tešlos konsistenciją. Ši kompozicijos tešla netrukus sukietėja. Minėta tešla padengus ištisiniu sluoksniu plieno armatūros paviršiaus plotą, padengta sukietėjusi tešla suformuoja apsauginę armatūros dangą.

Išradimo efektai. Metalo šlako ir statybinės vatos smulkintų atliekų šarminė aktyvacija užtikrina dangos kompozicijos aukštesnį pH lygį ant armatūros paviršiaus, taip pat geresnę adheziją (sukibimą) su armatūros konstrukciją užliejančio betono paviršiumi, taip pat pakankamai mažą armatūros paviršiaus matmenų pokytį dėl paviršiaus dangos sluoksnio. Sukietėjusi danga turi tankią medžiagos struktūrą, kuri stabdo vandenilio jonų ir CO₂ jonų (kurie yra plieno karbonatinės korozijos iniciatoriai) difuziją prie armatūros paviršiaus.

Taip pat, šios dangos gamyboje pagrindiniai komponentai, tinkamiausiu atveju, yra kitų pramonės sričių gamybinės atliekos: metalo pramonės šlakas bei statybinė vata. Todėl, esant tinkamoms šių komponentų gavimo aplinkybėms, galima efektyvinti gamybos kaštus, mažinti dangos kaip produkto gamybos žalą aplinkai bei didinti gamybos ekologiją.

Išradimo taikymas. Šis išradimas – dangos kompozicija ir iš jos suformuota plieninės armatūros paviršiaus apsauginė danga - tinkamiausiu atveju, yra naudotina kaip armatūrinio plieno apsauginė danga gelžbetonio konstrukcijose. Ypač tose, kurios eksploatuojamos metalui agresyvioje aplinkoje/agresyviomis sąlygomis, pavyzdžiui, jūros vandenyje. Armatūros apsauginė danga padidina gelžbetonio konstrukcijų armatūros atsparumą korozijai ir, atitinkamai, šių konstrukcijų ilgaamžiškumą. Taip pat, efektyvu yra naudoti šią apsauginę armatūros dangą, remontuojant eksploatuojamų statinių pažeistas konstrukcijas.

TRUMPAS BRĖŽINIŲ APRAŠYMAS

Pridedamos schemos, brėžiniai ir grafikai yra išradimo aprašymo sudedamoji dalis ir pateikti kaip nuoroda į galimą išradimo įgyvendinimą, bet neturi riboti išradimo apimties.

1 pav. testinių bandinių išlietų iš antikorozinės dangos kompozicijos, traukimasis (atitinkamai didėjant tankiui) džiūvimo laikotarpiu per 12 parų; traukimosi grafikai pavaizduoti 2 testiniams bandiniams D3 ir D5, kuriuose yra skirtingos kompozicijos komponentų proporcijos;

2 pav. antikorozinės dangos padengtos armatūros betone tyrimo schema: a) bandinys be apsauginės dangos; b) bandinys su apsaugine danga. Žymenys: 1 – plieninės armatūros strypas (skersmuo 10 mm, ilgis 100 mm); 2 – betonas (strygo įbetonavimo gylis 70 mm); 3 - antikorozinė danga (dangos storis 1 - 2 mm).

3 pav. tyrimo rezultatai:

- a) armatūros bandiniai betone su pasireiškusia korozija plieno paviršiuje;
- b) armatūros bandiniai betone su apsaugine danga;
- c) armatūros bandinys išimtas iš betono (kairėje) ir su pašalinta apsaugine danga – dešinėje - korozijos plieno paviršiuje nenustatyta.

DETALUS IŠRADIMO APRAŠYMAS

Dangos kompozicijos žaliavos ir gamybos būdas. Plieninės armatūros antikoroziinių dangų pirmtakas (gamybos žaliava) yra metalurgijos pramonės atliekų šlakas. Jis buvo sumaltas ir dalelių dydis buvo nuo 2,2 μm iki 180,0 μm . Tai atitinka sumaltų dalelių savitojo paviršiaus plotą pagal Bleino metodą, kuris buvo $S = 207 \text{ m}^2/\text{kg}$.

Vidutinė naudoto metalo šlako oksidinė sudėtis masės % pateikta 1 lentelėje. Armatūros dangos kompozicijai gaminti metalo šlako sudėtyje yra svarbiausi CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ir MgO oksidai. Šių visų oksidų suma turi sudaryti nuo 90% iki 95% masės %.

1 lentelė. Metalurginio šlako oksidinė sudėtis, masės %

Metalurgijos šlako komponentas	Komponento masės % šlako sudėtyje
CaO	45,20
SiO_2	37,10
Al_2O_3	6,44
MgO	5,76
SO_3	1,85
Na_2O	1,02
Fe_2O_3	0,793
P_2O_5	0,683
K_2O	0,517
TiO_2	0,285
SrO	0,069
BaO	0,068
ZrO_2	0,02

Kaip armavimo pluoštas (mikropluoštas dangos pačios kompozicijos sudėtyje), yra naudojama atliekinė stiklo (arba akmens) vata gauta iš statybinių griovimo atliekų. Ji išdžiovinta $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ temperatūroje. Vidutinė naudoto stiklo pluošto vatos oksidinė sudėtis masės % pateikta 2 lentelėje.

Dangos ir jos kompozicijos gamybai yra tinkama vata, kurioje pagrindiniai oksidai yra SiO_2 , Na_2O ir CaO , o jų suma gali svyruoti nuo 90 iki 94 masės %. Galima naudoti tiek atliekinę vatą tiek ir naujai pagamintą. Tinkamiausiu atveju, eant galimybėms, naudotina atliekinė vata.

2 lentelė. Stiklo vatos oksidinė sudėtis, masės %

Stiklo vatos komponentas	Komponento masės % bendroje sudėtyje
CaO	7,58
SiO_2	71,42
Al_2O_3	0,847
MgO	3,67
SO_3	-
Na_2O	14,66
Fe_2O_3	0,722
P_2O_5	-
K_2O	1,579
TiO_2	0,005
SrO	0,009
BaO	0,008
ZrO_2	0,002

Antikorozinės dangos aliumosilikatinių žaliavų mišinys (metalo šlako ir stiklo vatos mišinys) aktyvuojamas natrio šarmo vandeniniu tirpalu, paruoštu iš techninio natrio šarmo (kaustinės sodos) ir vandens.

Natrio šarmo NaOH tirpalas paruošiamas, pilnai ištirpdinus natrio šarmą vandenyje, ir gautas tirpalas supilamas į maišyklę. Šis tirpalas pagaminamas iš $10,0 \pm 0,1$ g NaOH ir $35 \pm 0,1$ g vandens. Maišyklės turinys maišomas tol, kol gaunamas vienalytės masės NaOH tirpalas.

Toliau, susmulkintų metalo šlako ir stiklo vatos dalelių mišinys, sudarytas proporcijomis iš režiuose:

nuo 99,0 iki 90,0 g metalo šlako dalelių, ir

nuo 1,0 iki 10,0 g stiklo vatos,

kur metalo šlako ir stiklo vatos dalelių masių bendra suma turi sudaryti 100,0g – aktyvuojamas paruoštu natrio šarmo tirpalu. Natrio šarmu aktyvuotas stiklo vatos ir šlako dalelių mišinys maišomas maišyklėje 5 minutes, iki bus gauta kompozicijos homogeninė masė. Atitinkamai bendru atveju, dangos kompozicijai paruošti reikalingos šios komponentų proporcijos:

62-68% pagal masę metalo šlako dalelių,

0,7-7% pagal masę stiklo vatos dalelių,

$7\% \pm 0,1\%$ pagal masę natrio šarmo (NaOH),

$24\% \pm 0,3\%$ pagal masę vandens,

Sumaišyta dangos kompozicijos homogeninė masė sukietėja maždaug per 45- 60 minučių. Todėl per šį laiką nuo kompozicijos sumaišymo momento reikalinga suspėti padengti armatūros paviršių.

Armatūros paruošimas. Plieniniai armatūros bandiniai buvo pagaminti iš rumbuotos plieninės armatūros, kurios klasė S500, skersmuo 10 mm. Smėlio oro srautu bandiniai buvo nuvalyti iki Sa2,5 klasės švaraus matinio metalinio paviršiaus.

Padengimas dangos kompozicija. Gauta antikorozinė kompozicija tepama ant armatūros strypų, naudojant mentelę.

Kitu įgyvendinimo atveju, antikorozinę kompoziciją (tirštos masės konsistencijos) galima užpurkšti torkretavimo būdu, kuris yra žinomas kaip sutankinto betono ir skiedinio sluoksnio gavimo būdas užpurškiant juos ant padengiamo paviršiaus suslėgtu oru.

Armatūros paviršiaus padengimo kompozicijos sluoksniu tinkamiausias storis

yra ribose nuo 1 iki 2 milimetrų ($1,5 \pm 0,5$ mm). Padengus plieninės armatūros paviršių šia kompozicija, gautoji danga pakankamai sukietėja per 45-60 minučių. Po to, į armatūros tinklinę konstrukciją galima lieti paruoštą betono skiedinį.

Eksperimentiniai kompozicijos ir dangos tyrimai. Tyrimuose suformuoti visi vienodi gelžbetoniniai bandiniai, kurių išmatavimai yra $7,5 \times 7,5 \times 25$ cm, kurių kiekviename betono mišinys buvo sudarytas iš 412 g portlandcemenčio CEM I 42,5 R, 412 g ceolitinės atliekos, 2 472g standartinio smėlio ir 412 g jūros vandens. Tos pačios rūšies bandinių buvo tirta po tris vienetus.

Į gelžbetoninių bandinių sudėtį įdedama faujasito tipo ceolitinė atlieka, kurios oksidinė sudėtis masės % pateikta 3 lentelėje. Šios ceolitinės atliekos paskirtis gelžbetoniniuose bandiniuose taip pat yra padidinti armatūros betono aplinkos agresyvumą bei pagreitinoti armatūros korozijos procesą, tam, kad atlikti eksperimentinį korozijos tyrimą per pakankamai trumpą laiką. Šios ceolitinės atliekos svarbiausi komponentai yra SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O ir CaO oksidai, o jų bendra masė gali svyruoti nuo 80 iki 95 masės %.

3 lentelė. Ceolitinės atliekos sudėtis, masės %

Ceolito atliekų komponentas	Komponento masės % bendroje sudėtyje
CaO	3,26
SiO_2	72,50
Al_2O_3	12,48
MgO	0,638
SO_3	-
Na_2O	0,245
Fe_2O_3	1,72
P_2O_5	-
K_2O	3,59
TiO_2	-

SrO	-
BaO	-
ZrO ₂	-

Tam, kad pagreitinti strypinės plieninės armatūros koroziją, ir stebėti spartesnį korozijos procesą, gelžbetoniniam bandiniui betono mišinys specialiai sumaišytas su jūros vandeniu. Jūros vanduo gautas jūros druską ištirpinus distiliuotame vandenyje (druskos koncentracija vandenyje: 35 gramų jūros druskos 1 litre distiliuoto vandens).

Išradimas testuotas su 2 eksperimentiniais pavyzdžiais – D3 ir D5.

1 pavyzdys. Buvo paruoštas plieninės armatūros antikorozinės dangos mišinys D3, sudarytas iš $97,0 \pm 0,1$ g šlako, $3,0 \pm 0,1$ g stiklo vatos, $10,0 \pm 0,1$ g natrio šarmo (NaOH) ir $35 \pm 0,1$ g vandens. Plieninės armatūros strypai padengti antikorozine danga, naudojant mentelę. Galimas ir armatūros apipurškimas antikorozine danga, ypač didesnių armatūros konstrukcijų atveju.

Susmulkintų stiklo vatos ir šlako dalelių mišinys išmaišomas maišyklėje iki homogeninės masės. NaOH pilnai ištirpdinamas vandenyje, ir jo gautas tirpalas supilamas į maišyklę. Maišyklės turinys maišomas tol, kol gaunama vienalytė masė.

1.1. Sukietėjusios kompozicijos fizinių savybių tyrimas. Tam, kad įvertinti paruoštos antikorozinės kompozicijos (dangos) D3 fizikines mechanines savybes, iš šios kompozicijos buvo suformuoti $4' \times 4' \times 16$ cm bandiniai, kurie po to kietinti 7 paras šiomis oro aplinkos sąlygomis:

- temperatūra $t = (20 \pm 1)^\circ\text{C}$;
- santykinė drėgmė $j = (95 \pm 5)\%$.

Po to, šie bandiniai išdžiovinti $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$ kamerinėje džiovykloje su priverstine oro cirkuliacija iki pastovios jų masės (tai yra, iki kol masė džiūvimo metu nusistovėjo ir nebekito). Šių pagamintų D3 bandinių lenkimo ir gniuždymo stipris buvo nustatyti pagal LST EN 196-1:2016 „Cemento bandymų metodai. 1 dalis. Stiprio nustatymas“ metodiką. Atlikto tyrimo rezultatai pateikti 4 lentelėje.

4 lentelė. Bandinių D3 tankio, lenkimo ir gniuždymo stiprio bandymų rezultatai

Parametras	Vertė
Vidutinis tankis g/cm^3 ; t/m^3	1,921
Vidutinis lenkimo stipris, $ff = 1,5 \cdot F \cdot L / bd^2$; Mpa	1,314
Vidutinis gniuždymo stipris f_c , $f_c = F_c/A$, MPa	31,69

Tam, kad įvertinti D3 antikorozinės dangos tūrio pastovumo savybes buvo atliktas susitraukimo džiūstant matavimo tyrimas pagal EN 12390-16 standartą. Nustatyta, kad D3 dangos susitraukimas siekė 0,35 mm/m po 12 parų, kaip pavaizduota grafike 1 paveiksle.

1.2. Apsaugine danga padengtos armatūros savybių tyrimas. Toliau, gauta D3 mišinio kompozicijos suspensija buvo padengti plieninės armatūros strypai G1, G2, G3. Dangos storis $1,5 \pm 0,5$ mm. Po 1 valandos armatūros strypai su sukietėjusia antikorozine danga buvo panaudoti gelžbetonio bandinio gamybai. Antikorozinės dangos įtakai įvertinti (palyginimo būdu), buvo suformuotas gelžbetonio bandinys su plieninės armatūros strypais K1, K2, K3, kurie nebuvo padengti antikorozine danga.

Tam, kad įvertinti plieninės armatūros galimą koroziją buvo parinktas betonas, specialiai, su 50% portlandcemenčio pakeitimu į ceolitinę atlieką, bei vietoje švaraus vandens buvo panaudotas jūros vanduo. Armatūros korozijos tikimybei tirtame betone įvertinti buvo naudotas konduktometrinis metodas. Šiuo atveju, buvo naudotas vario elektrodas ir išmatuotas betono laidumo potencialas (mV) (5 Lentelė). Remiantis gautomis reikšmėmis galima teigti, kad plieninės armatūros korozijos tikimybė yra didelė > 90%.

5 lentelė. D3 armatūros strypų fizikinės ir mechaninės savybės.

Armatūros bandinio Nr.	Pradinė m_1 , g	Galinė m_2 , g	Santykinis masės pokytis, %	Armatūros išstūmimo jėga F, kN	Gelžbetonio su D3 apsaugine danga vidutinis laidumas, mV
G1	62,71	62,71	-0,001	7,83	-440

G2	63,79	63,79	0,000	8,18	-434
G3	62,29	62,29	0,000	9,23	-437
K1	61,89	61,81	-0,129	10,64	-442
K2	61,87	61,82	-0,081	8,34	-460
K3	61,77	61,71	-0,097	10,32	-438

Atlikus armatūros išstūmimo iš gelžbetonio bandinių bandymą, nustatyta, kad tiek danga padengtų G1, G2, G3, tiek kontrolinių (nepadengtų dangą) K1, K2 K3 strypų išstūmimo jėga buvo panašios ($9,34 \pm 1,30$) kN. Tai įrodo puikias antikorozinės dangos adhezinės savybes, tiek su armatūriniu plieniu, tiek su bandinio betono akmeniu.

Po to, išimti iš betono armatūros strypai buvo pakartotinai nuvalyti smėlio oro srautu nuo betono likučių ir korozijos produktų iki Sa2,5 klasės švarumo, pasverti ir kiekvienam strypui buvo apskaičiuotas santykinis masės pokytis. Bandymų rezultatai surašyti į 5 lentelę. Konstatuota, kad strypų, buvusių su antikorozine apsaugine dangą, santykinis masės pokytis pakito nuo -0,001% iki 0,000%. Tuo tarpu, kontrolinių (tai yra, be apsauginės dangos) strypų santykinis masės pokytis pakito nuo -0,081% iki 0,129%. Šie skirtumai įrodo naujai sukurtos antikorozinės dangos didelį efektyvumą stabdant armatūros korozijos atsiradimo tikimybę gelžbetonio konstrukcijose, eksploatuojamose itin agresyviomis aplinkos sąlygomis.

2 Pavyzdys: Buvo paruošta plieninės armatūros antikorozinės dangos kompozicijos mišinys D5 sudarytas iš $95,0 \pm 0,1$ g šlako, $5,0 \pm 0,1$ g stiklo vatos, $10,0 \pm 0,1$ g NaOH ir $35 \pm 0,1$ g vandens. Susmulkintų stiklo vatos ir šlako dalelių mišinys išmaišomas maišyklėje iki homogeninės masės. NaOH pilnai ištirpinamas vandenyje, ir gautas jo tirpalas supilamas į maišyklę. Maišyklės turinys maišomas tol, kol gaunama vienalytė masė.

2.1. Sukietėjusios kompozicijos fizinių savybių tyrimas. Norint įvertinti D5 antikorozinės dangos fizikines mechanines savybes, iš paruoštos kompozicijos buvo suformuoti $4 \times 4 \times 16$ cm bandiniai, kurie po to buvo kietinti 7 paras $t = (20 \pm 1) ^\circ\text{C}$ temperatūros ir $\phi = (95 \pm 5)\%$ santykinės drėgmės oro aplinkoje. Po to, bandiniai buvo išdžiovinti $(40 \pm 1) ^\circ\text{C}$ kamerinėje džiovykloje su priverstine oro cirkuliacija iki pastovios masės (iki kol masė džiūvimo procese nustojo keistis).

Paruoštų bandinių lenkimo ir gniuždymo stipris buvo nustatyti pagal LST EN 196-1:2016 „Cemento bandymų metodai. 1 dalis. Stiprio nustatymas“ metodiką. Tyrimo rezultatai surašyti į 6 lentelę.

6 lentelė. Bandinių D5 tankio, lenkimo ir gniuždymo stiprio bandymų rezultatai.

Parametras	Vertė
Vidutinis tankis g/cm^3 ; t/m^3	1,875
Vidutinis lenkimo stipris, $f_f = 1,5 \cdot F \cdot L / b d^2$; Mpa	1,877
Vidutinis gniuždymo stipris f_{cm} , $f_c = F_c / A$, MPa	26,20

Tam, kad įvertinti D5 antikorozinės dangos tūrio pastovumo savybes, buvo atliktas susitraukimo džiūstant matavimo tyrimas pagal EN 12390-16 standartą. Nustatyta, kad D5 dangos susitraukimas siekė 0,20 mm/m po 12 parų (1 Pav.). Gauta D5 kompozicijos suspensija buvo padengti plieninės armatūros strypai G4, G5, G6. Iš kompozicijos padengtos dangos storis $1,5 \pm 0,5$ mm. Po 1 valandos armatūros strypai su sukietėjusia antikorozine danga buvo panaudoti gelžbetonio bandinio gamybai (3 pav.). Antikorozinės dangos įtakai įvertinti, suformuotas gelžbetonio bandinys su plieninės armatūros strypais K1, K2, K3, kurie nebuvo padengti antikorozine danga. Tam, kad įvertinti plieninės armatūros galimą koroziją, buvo parinktas betonas su specialiomis agresyvios aplinkos savybėmis - su 50% portlandcemenčio pakeitimu į ceolitinę atlieką, bei vietoje švaraus vandens buvo panaudotas jūros vanduo. Armatūros korozijos tikimybei tirtame betone įvertinti naudotas konduktometrinis metodas. Šiuo atveju buvo naudojamas vario elektrodas ir išmatuotas betono laidumo potencialas (mV) (7 Lentelė). Remiantis gautomis reikšmėmis galima teigti, kad plieninės armatūros korozijos tikimybė yra didelė $> 90\%$.

7 lentelė. Bandinių D5 armatūros strypų fizikinės ir mechaninės savybės.

Armatūros Nr.	Pradinė m_1 , g	Galinė m_2 , g	Santykinis masės pokytis, %	Armatūros išstūmimo jėga F, kN	Gelžbetonio su D3 apsauginė danga vidutinis laidumas, mV
G4	61,72	61,71	-0,001	11,86	-406
G5	61,36	61,36	0,000	8,20	-431
G6	62,10	62,09	-0,001	11,81	-454
K1	61,89	61,81	-0,129	10,64	-442
K2	61,87	61,82	-0,081	8,34	-460
K3	61,77	61,71	-50,097	10,32	-438

Atlikus armatūros išstūmimo iš gelžbetonio bandinių bandymą, nustatyta, kad tiek G4, G5, G6, tiek kontrolinių K1, K2 K3 strypų išstūmimo jėga buvo panašios (9,34 $\pm$ 1,30) kN. Tai patvirtina puikias antikorozinės dangos adhezinės savybes, tiek su armatūriniu plieniu, tiek su bandinio betono akmeniu.

Po to, išimti iš betono armatūros strypai buvo pakartotinai nuvalyti smėlio oro srautu nuo betono likučių ir korozijos produktų iki Sa2,5 klasės švarumo, pasverti ir kiekvienam strypui buvo apskaičiuotas santykinis masės pokytis. Bandymų rezultatai pateikiami 7 lentelėje. Pagal eksperimento rezultatus, konstatuota, kad armatūros strypų, padengtų su paruošta kompozicija ir antikorozine apsaugine danga, santykinis masės pokytis kito nuo -0,001% iki 0,000%. Tuo tarpu, kontrolinių (be apsauginės antikorozinės dangos) armatūros strypų santykinis masės pokytis kito nuo -0,081% iki 0,129%. Tai pademonstruoja šios naujai sukurtos antikorozinės dangos didelį efektyvumą stabdant plieninės armatūros korozijos atsiradimo tikimybę gelžbetonio konstrukcijose, eksploatuojamose itin agresyviomis aplinkos sąlygomis.

Kiti apsauginės dangos taikymo efektai. Taip pat, betono sudėtyje naudojant rišiklį su sumažintu kiekiu portlandcemenčio arba pucolaninį rišiklį, gelžbetonio konstrukcijos armatūrai yra svarbu naudoti ir šią apsauginę armatūros dangą. Nes tokiame betone susidaro palankios sąlygos vykti armatūros korozijai dėl per nepakankamai šarminės aplinkos, kuri, jei pakankamai šarminė - pasyvuotų armatūros paviršių ir stabdytų koroziją. Portlandcemenčio hidratacijos metu, hidratuojantis kalcio silikatams susidaro junginys portlanditas (Ca(OH)_2), kuris sukuria šarminę terpę. Tuo

tarpu, sumažinus portlandcemenčio kiekį betono mišinyje, susidaro mažesnis kiekis portlandito. Taip pat, paprastai sumažėja portlandito kiekis betone, jeigu betono mišinyje yra naudojami ir pucolaniniai priedai: šie priedai cementinėje sistemoje (betono mišinio ir skiedinio kompozicijoje) reaguoja su portlanditu ir sudaro papildomą kiekį hidratacijos naujadarų. Minėta reakcija mažina betono kompozicijos šarmingumą, kuris tiesiogiai įtakoja armatūros koroziją. Taigi, tokie rišikliai su sumažintu portlandcemenčio kiekiu, arba pucolaniniai rišikliai sukuria cementines kompozicijas su padidinta tikimybe sparčiau vykti armatūros korozijai dėl pernelyg mažo šarmingumo lygio.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Plieninės armatūros apsauginės dangos kompozicijos paruošimo būdas, apimantis metalurginio šlako dalelių panaudojimą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad dangos kompozicija paruošiama šiais žingsniais, kuriuose:

- homogenizuojamas aliumosilikatinių komponentų mišinys, apimantis
- 62-68% pagal masę metalurginio šlako dalelių,
- 0,7-7% pagal masę stiklo vatos dalelių,
- homogenizuotas aliumosilikatinių komponentų mišinys aktyvuojamas homogenizuotu natrio šarmo (NaOH) tirpalu, apimančiu
- $7\% \pm 0,1\%$ pagal masę natrio šarmo (NaOH),
- $24\% \pm 0,3\%$ pagal masę vandens,
- gauta aktyvuoto mišinio kompozicija homogenizuojama iki vienalytės kompozicinės masės.

2. Būdas pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad kompozicijai ruošti naudojamos stiklo vatos sudėtyje pagrindiniai oksidai yra SiO_2 , Na_2O ir CaO , o jų bendra masė yra ne mažesnė kaip 90% bendros minėtos stiklo vatos dalelių dalies masės.

3. Būdas pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad kompozicijai ruošti naudojamo metalurginio šlako sudėtyje pagrindiniai oksidai yra CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ir MgO , o jų bendra masė yra ne mažesnė kaip 90% bendros minėto metalurginio šlako dalelių dalies masės.

4. Būdas pagal 1 arba 2 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad kompozicijai ruošti naudojama stiklo vata yra parenkama iš atliekinės stiklo arba akmens vatos, gaunamos iš statybinių atliekų arba iš stiklo arba akmens vatos gamybos atliekų.

5. Būdas pagal bet kuri punktą nuo 1 iki 4, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad

aliumosilikatinių komponentų mišinys yra sumaišomas iš metalurginio šlako ir stiklo ar akmens vatos, juos sumalus į daleles su diametru intervale nuo 2,2 µm iki 180,0 µm.

6. Apsauginės dangos plieninei armatūrai kompozicija, b e s i s k i r i a n t i tuo, kad yra pagaminta paruošimo būdu pagal bet kurį punktą nuo 1 iki 5.

7. Apsauginės dangos kompozicijos pagal 6 punktą panaudojimas, b e s i s k i r i a n t i s šiais žingsniais:

- a) plieninės armatūros paviršius nuvalomas nuo rūdžių ir paviršiaus apnašų;
- b) apsauginės dangos kompozicija padengiama ant armatūros nuvalyto paviršiaus tolygiu sluoksniu;
- c) padengta apsauginės dangos kompozicijai leidžiama išdžiūti mažiausiai 45 minutes iki armatūros užliejimo betono mase.

8. Panaudojimas pagal 7 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad žingsnyje a) plieninės armatūros paviršius nuvalomas suspausto oro srove su smėliu.

9. Panaudojimas pagal 7 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad žingsnyje b) apsauginės dangos kompozicija ant plieninės armatūros paviršiaus padengiama rankiniu būdu mentele.

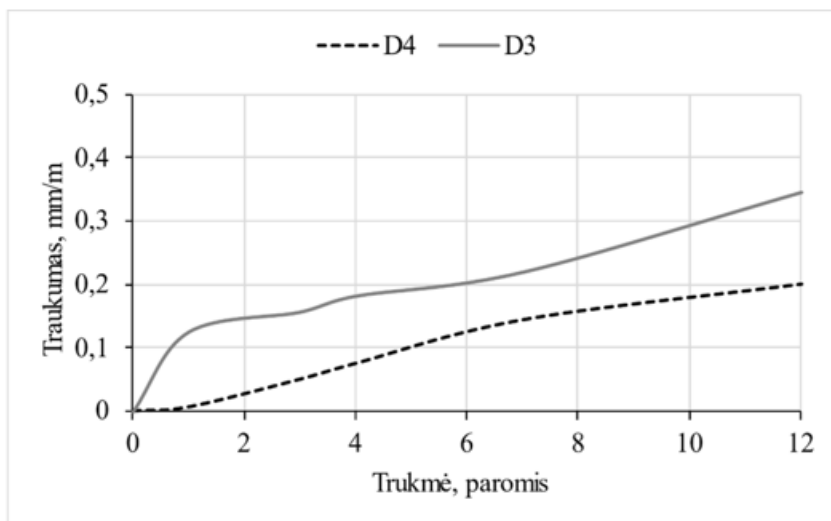
10. Panaudojimas pagal 7 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad žingsnyje b) apsauginės dangos kompozicija ant plieninės armatūros paviršiaus padengiama automatizuotu tonkretavimo būdu, išpurškiant kompoziciją ant armatūros paviršiaus suspausto oro srove.

11. Panaudojimas pagal 7 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad žingsnyje b) apsauginės dangos kompozicijos padengimo optimalus storis yra nuo 1 iki 2 milimetrų;

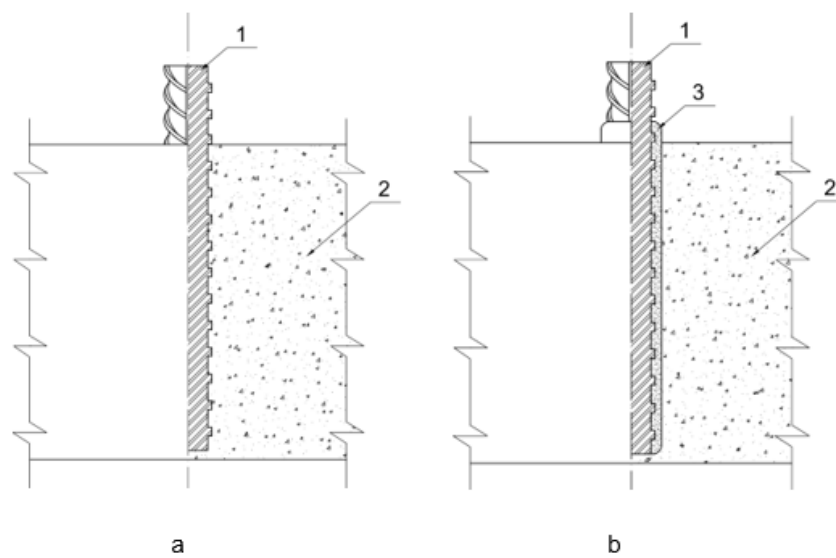
12. Plieninė armatūra su apsaugine antikorozone danga, padengta panaudojus pagal bet kurį iš 7-11 punktų apsauginės dangos kompoziciją pagal 6 punktą.

13. Gelžbetonio gaminys, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad apima armatūrą pagal 12 punktą.

14. Gelžbetonio konstrukcija, b e s i s k i r i a n t i tuo, kad apima armatūrą pagal 12 punktą.



1 pav.



2 pav.



a)



b)



c)

3 pav.