



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBOS TECHNOLOGIJOS IR VADYBOS KATEDRA

Evaldas Matuzevičius

**EKSPLOATUOJAMŲ STOGŲ ĮRENGIMO TECHNOLOGIJŲ IR
PATIKIMUMUI POVEIKĮ DARANČIŲ VEIKSNIŲ ANALIZĖ
INSTALLATION TECHNOLOGIES AND RELIABILITY INFLUENCING
FACTORS OF EXPLOITABLE ROOFS ANALYSIS**

Baigiamasis magistro darbas

Statybos technologijos ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas 621J80003

Statybos technologijos ir vadybos specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2014

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

STATYBOS FAKULTETAS

STATYBOS TECHNOLOGIJOS IR VADYBOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas


(Parašas)
Edmundas Kazimieras Zavadskas
(Vardas, pavardė)

(Data)

Evaldas Matuzevičius

**EKSPLOATUOJAMŲ STOGŲ ĮRENGIMO TECHNOLOGIJŲ IR
PATIKIMUMUI POVEIKĮ DARANČIŲ VEIKSNIŲ ANALIZĖ
INSTALLATION TECHNOLOGIES AND RELIABILITY INFLUENCING
FACTORS OF EXPLOITABLE ROOFS ANALYSIS**

Baigiamasis magistro darbas

Statybos technologijos ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas 621J80003

Statybos technologijos ir vadybos specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

dr. Arūnas Barvydas AB 2014-06-09

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Konsultantas

dr. O. Kadiška [signature]

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

dr. Ona Rutkienė [signature] 2014-06-09

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2014

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
STATYBOS FAKULTETAS
STATYBOS TECHNOLOGIJOS IR VADYBOS KATEDRA

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Statybos technologijos ir valdymo studijų programa, valstybinis kodas 621380003

Statybos technologijos ir vadybos specializacija

TVIRTINU
Katedros vedėjas



(Parasas)
E. K. Zavadskas

(Vardas, pavardė)

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

2012 12 17 Nr. 9

Vilnius

Studentui (ei) Evaldui Matuzevičiui

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Eksploatuojamų stogų įrengimo technologijų ir patikimumui poveikį darančių veiksnių analizė

patvirtinta 2013 m. lapkričio 7 d. dekanų potvarkiu Nr. 572st

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2013 m. 06 09 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Išnagrinėti Lietuvoje ir užsienyje eksploatuojamų stogų įrengimo galiojančias normas, reglamentus ir taisykles, praktikos analizę. Nustatyti hidroizoliacijos patikimumą lemiančius veiksnius ir pasiūlyti metodus, leidžiančius pagerinti darbų kokybę.

Atlikti hidroizoliacijos adhezijos bandymus ir nustatyti vandens pralaidumą lemiančius veiksnius. Parinkti ir pritaikyti daugiakriterinius metodus racionalaus varianto parinkimui hidroizoliacinių dangų įrengimo vertinimui pagal ekonominius ir techninius rodiklius

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: Doc. dr. D. Kalibatas.....

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas



(Parasas)

Doc. dr. A. Barvidas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau



(Vardas, pavardė)

2012 12 17

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas Statybos fakultetas Statybos technologijos ir vadybos katedra	ISBN Egz. sk. Data~.....~.....
Antrosios pakopos studijų Statybos technologijų ir valdymo programos magistro baigiamasis darbas Pavadinimas Eksplatuojamų stogų įrengimo technologijų ir patikimumui poveikį darančių veiksnių analizė Autorius Evaldas Matuzevičius Vadovas dr. Arūnas Barvidas	
Kalba: lietuvių	
Anotacija Baigiamajame magistro darbe nagrinėjama plokščiųjų stogų įrengimo problematika. Darbo tikslas - nustatyti hidroizoliacijos patikimumą lemiančius veiksnius ir pasiūlyti, rekomenduoti metodus, leidžiančius pagerinti darbų kokybę. Analitinėje darbo dalyje atlikta hidroizoliacijos defektų patirties ir tyrimų analizė, panaudojant bibliotekinio tyrimo metodus. Tiriamojoje dalyje atliktas eksperimentinis tyrimas remiantis reglamentais, normomis ir standartais. Skaičiuojamojoje dalyje atliktas alternatyvių technologijų daugiakriteris vertinimas, remiantis tiriamojoje dalyje gautais rezultatais. Apibendrinus tyrimus rekomenduotos priemonės sutapdintų stogų iš bituminių dangų įrengimo patikimumui padidinti. Darbo apimtis – 65 p. teksto, 49 lentelė, 36 pav., 37 bibliografiniai šaltiniai.	
Prasminiai žodžiai: eksploatuojami-sutapdinti stogai, bituminė danga, sukibimas su paviršiais, stiprumas, patikimumas, daugiakriteris vertinimas, kriterijus	

Vilnius Gediminas Technical University Faculty of Civil Engineering Department of Construction Technology and Management	ISBN _____ Copies No. Date-.....-.....
--	---

Master Degree Studies Construction Technologies and Management study programme Master Graduation Thesis	
Title	Installation technologies and reliability influencing factors of exploitable roofs analysis
Author	Evaldas Matuzevičius
Academic supervisor	Dr Arūnas Barvidas

Thesis language: Lithuanian
--

Annotation In the final master's thesis analysed the problems of flat roofs. The main aim is to identify the factors influencing the reliability of waterproofing and to recommend methods which allows to improve the quality of flat roofs installation. In the analytical part of the work carried out waterproofing defects and research experience , using the bibliographic research method. Experimental study was carried out in accordance with the regulations, norms and standards. In estimation part performed multiple criteria evaluation of alternative waterproofing technologies. The recommendation was offered after summarizing the research measures to enhance reliability of flat roofs. The master thesis consists 65 pages of text, 49 tables, 36 figures and 37 bibliographic sources.

Keywords: exploitable roofs, bitumen coating adhesion to surfaces, strength, reliability, multicriteria analysis
--

Vilniaus Gedimino technikos universiteto
egzaminų, sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei
gynimo organizavimo tvarkos aprašas
2011-2012 m. m.

1 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Evaldas Matuzevičius, 20084129

(Studento vardas ir pavardė, studento pažinėjimo Nr.)

Statybos fakultetas

(Fakultetas)

Statybos technologijos ir valdymas, STVfm-12

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO) SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2014 m. birželio 12 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Eksploduojamųjų stojų įrengimo technologijų ir patikimumui poveikio darančių veiksnių analizė“ patvirtintas 2013 m. lapkričio 7 d. dekanų potvarkiu Nr. 572st, yra savarakiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodomis.

Pareikant ir vertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: doc. dr. Darius Kalibatis. Mano darbo vadovas dr. Arūnas Barvidas.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).


(Parasas)

Evaldas Matuzevičius
(Vardas ir pavardė)

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	8
LENTELIŲ SĄRAŠAS	10
ĮVADAS.....	12
1. EKSPLOATUOJAMŲ STOGŲ HIDROIZOLIACIJOS ĮRENGIMO PROBLEMŲ APŽVALGA	14
1.1. Ritininių hidroizoliacinių medžiagų siūlių sandūros patikimumas.....	17
1.2. Ritininių hidroizoliacinių medžiagų prilydymo prie įvairių paviršių patikimumas.....	19
1.3. Daugiakriterių metodų taikymas stogų įrengimo srityje	25
2. EKSPLOATUOJAMŲ STOGŲ HIDROIZOLIACIJOS ĮRENGIMO REIKALAVIMAI .	27
2.1. Hidroizoliacijos įrengimo reikalavimai ir gamintojų rekomendacijos.....	27
2.2. Hidroizoliacinių dangų patikimumo kriterijai	31
3.HIDROIZOLIACINIŲ DANGŲ ATPLĖŠIMO BANDYMAS	34
3.1. Adhezijos bandymo metodika	34
3.2. Hidroizoliacinių dangų atplėšimo bandymo eiga	35
3.3. Hidroizoliacinių dangų atplėšimo bandymo rezultatai.....	49
4. HIDROIZOLIACINIŲ DANGŲ ĮRENGIMO RACIONALIAUS VARIANTO PARINKIMAS	51
4.1. Efektyvumo rodiklių sistema	51
4.2. Optimalios hidroizoliacijos parinkimas taikant COPRAS daugiakriterį metodą	52
4.3. Optimalios hidroizoliacijos parinkimas taikant TOPSIS daugiakriterį metodą	62
4.4. Daugiakriterio vertinimo rezultatai	65
IŠVADOS.....	67
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	68
PRIEDAI	71

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Rūsio hidroizoliaciją veikiančios apkrovos (Sahal, Ozkan 2004).....	15
2 pav. Temperatūros, drėgmės jutikliai (Sanchez et al. 2010)	16
3 pav. Hidroizoliaciją veikiantys išilginiai, tangentiniai įtempiai (Antonin 2007)	18
4 pav. Siūlių atplėšimo modelis (Antonin 2007).....	18
5 pav. Hidroizoliacijos adhezijos su metaliniais paviršiais atvejai (Granne et al. 2000).....	20
6 pav. Šlyties stiprumo priklausomybė nuo paviršiaus šiurkštumo (Zhou et al. 2009).....	21
7 pav. Tiriamų hidroizoliacinių medžiagų tipai (Zhou et al. 2009).....	22
8 pav. Šlyties apkrovų modelio schema (Zhou et al. 2009)	22
9 pav. Plėšimo jėgos modelio schema (Zhou et al. 2009).....	23
10 pav. Lupimo apkrovų modelio schema (Zhou et al. 2009).....	23
11 pav. Hidroizoliacinės dangos atsparumo šlyčiai priklausomybė nuo paviršiaus šiurkštumo.....	24
12 pav. Pašildytos polimerinės-bituminės masės banga („Mida“ dangų gamintojų rekomendacijos)..	27
13 pav. Eksploatuojamo stogo schema	27
14 pav. Atvirkštinio stogo schema.....	28
15 pav. Apželdinto stogo schema	28
16 pav. Vamzdžių aptaisymo fasoninės dalys	29
17 pav. Atplėšimo principinė schema (ISO 4624).....	34
18 pav. Atplėšimo mechanizmas	36
19 pav. Atplėšimo formos, suklijuotos ant bituminės ritininės dangos	36
20 pav. Atplėšti bituminės dangos bandiniai.....	36
21 pav. Medžiagos nr.2 prilydymo darbai.....	37
22 pav. Bandymo formos, suklijuotos ant medžiagos nr.2.	37
23 pav. Medžiagos nr.2 atplėšti bandiniai.....	37
24 pav. Medžiagos nr.3, 4 paruošimas bandymui.....	38
25 pav. Medžiagos nr.3, 4 bandinių atplėšimas.....	38
26 pav. Medžiagos nr.5 priklijuoti bandiniai.....	38
27 pav. Betoninė bandymo plokštė.....	39
28 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo betono paviršiaus diagrama (paviršius gruntuotas)..	40
29 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo betono paviršiaus diagrama (paviršius gruntuotas, drėgnas).....	41
30 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo betono paviršiaus diagrama (paviršius negruntuotas)	42
31 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo betono paviršiaus diagrama (paviršius negruntuotas, drėgnas).....	43

32 pav. Atplėšimo nuo skardos bandiniai	44
33 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo skardos paviršiaus diagrama (paviršius gruntuotas)	45
34 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo skardos paviršiaus diagrama (paviršius gruntuotas, drėgnas).....	46
35 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo skardos paviršiaus diagrama (paviršius negruntuotas)	47
36 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo skardos paviršiaus diagrama (paviršius negruntuotas, drėgnas).....	48
37 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo betono paviršiaus (drėgnumo intervale 3,3-16%) vid. reikšmių pokytis (paviršius gruntuotas)	49
38 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo betono paviršiaus (drėgnumo intervale 3,3-16%) vid. reikšmių pokytis (paviršius negruntuotas).....	50
39 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo skardos paviršiaus (drėgnumo intervale 2-15,4%) vid. reikšmių pokytis (paviršius gruntuotas)	50
40 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo skardos paviršiaus (drėgnumo intervale 2-15,4%) vid. reikšmių pokytis (paviršius negruntuotas).....	50

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Hidroizoliacijos įrengimo defektai ir jų priežastys.....	16
2 lentelė. Atsparumo šlyčiai priklausomybė nuo atmosferos temperatūros.....	24
3 lentelė. Atsparumo lupimui priklausomybė nuo atmosferos temperatūros.....	24
4 lentelė. Rodiklių reikšmių ir reikšmingumų nustatymo metodai.....	26
5 lentelė. Betono stiprio didėjimas (Gurskis 2008)	30
6 lentelė. Minimali betono priežiūros trukmė paromis (Gurskis 2008).....	30
7 lentelė. Techninių kriterijų grupė.....	32
8 lentelė. Ekonominių kriterijų grupė	33
9 lentelė. Atplėšimo tipo klasifikacija (ISO 4624)	34
10 lentelė. Hidroizoliacijos atsparumo plėsimui nuo betono paviršiaus rezultatai (paviršius gruntuotas)	40
11 lentelė. Hidroizoliacijos atsparumo plėsimui nuo betono paviršiaus rezultatai	41
12 lentelė. Hidroizoliacijos atsparumo plėsimui nuo betono paviršiaus rezultatai	42
13 lentelė. Hidroizoliacijos atsparumo plėsimui nuo betono paviršiaus rezultatai	43
14 lentelė. Hidroizoliacijos atsparumo plėsimui nuo skardos paviršiaus rezultatai	45
15 lentelė. Hidroizoliacijos atsparumo plėsimui nuo skardos paviršiaus rezultatai	46
16 lentelė. Hidroizoliacijos atsparumo plėsimui nuo skardos paviršiaus rezultatai	47
17 lentelė. Hidroizoliacijos atsparumo plėsimui nuo skardos paviršiaus rezultatai	48
18 lentelė. Ekspertinis techninių rodiklių vertinimas.....	52
19 lentelė. Ekspertinio vertinimo konkordacijos koeficiento skaičiavimas	53
20 lentelė. Sprendimų matrica	54
21 lentelė. Duomenų matrica.....	56
22 lentelė. Pasverta ir normalizuota matrica	56
23 lentelė. Maksimizuojančių S_{+j} ir minimizuojančių S_{-j} rodiklių sumos.....	57
24 lentelė. Santykinis reikšmingumas.....	57
25 lentelė. Naudingumo laipsnis.....	57
26 lentelė. Ekspertinis ekonominių rodiklių vertinimas	58
27 lentelė. Ekspertinio vertinimo konkordacijos koef.skaičiavimas	58
28 lentelė. Sprendimų matrica	59
29 lentelė. Duomenų matrica.....	60
30 lentelė. Pasverta ir normalizuota matrica	60
31 lentelė. Maksimizuojančių S_{+j} ir minimizuojančių S_{-j} rodiklių sumos.....	61
32 lentelė. Santykinis reikšmingumas.....	61

33 lentelė. Naudingumo laipsnis.....	61
34 lentelė. Duomenų matrica.....	62
35 lentelė. Pasverta ir normalizuota TOPSIS metodo matrica	62
36 lentelė. Idealiausių variantų lentelė.....	63
37 lentelė. Atstumo tarp lyginamojo ir idealaus varianto nustatymas	63
38 lentelė. Idealaus varianto nustatymas.....	63
39 lentelė. Duomenų matrica.....	63
40 lentelė. Pasverta ir normalizuota TOPSIS metodo matrica	64
41 lentelė. Idealiausių variantų lentelė.....	64
42 lentelė. Atstumo tarp lyginamojo ir idealaus varianto nustatymas	65
43 lentelė. Idealaus varianto nustatymas.....	65
44 lentelė. Alternatyvų vertinimas COPRAS,TOPSIS remiantis techniniais rodikliais.....	65
45 lentelė. Alternatyvų vertinimas COPRAS,TOPSIS remiantis ekonominiais rodikliais.....	66

IVADAS

Automobilių stovėjimo vietų stoka didžiuosiuose miestuose, ypač senamiesčiuose, demografiškai tankiose vietose, lemia antžeminių ir požeminių stovėjimo aikštelių populiarumą. Naujausi architektūriniai, konstrukciniai sprendimai, kurie dažnai būna sudėtingų konfigūracijų, reikalauja patikimo darbų atlikimo, todėl atliekamų darbų kokybės stoka, hidroizoliacijos defektai ir vandens pralaidumas yra svarbi problema Lietuvos ir viso pasaulio statybos srityje.

Eksplatuojami plokštieji stogai pasaulyje įrengiami jau senai, tačiau iki šiol daroma įrengimo klaidų, defektų. Eksploatuojamo stogo dydis, forma, išvedimai, inžinerinės sistemos, kampai ir kt. sudaro stogo sudėtingumą, sukelia kliūtis vandens nubėgimui, o tai reikalauja sudėtingų projektavimo, technologijų ir darbų atlikimo sprendimų.

Hidroizoliacijos patikimumui didelę įtaką turi darbų atlikimo, projekto parengimo kokybė, normų, instrukcijų laikymasis, tinkamas pagrindo paruošimas. Tinkamai atlikus visų etapų darbus, panaudojus, medžiagas kaip nurodo gamintojai, hidroizoliacinė danga turi sudaryti stiprą ir ilgalaikišką ryšį su betono paviršiumi, tada stogą galima eksploatuoti 20-30 metų.

Šiame moksliniame darbe bus atliktas hidroizoliacinių dangų adhezijos bandymas, siekiant nustatyti veiksnius, nuo kurių priklauso hidroizoliacijos įrengimo patikimumas.

Tyrimo objektas

Šio tyrimo objektas – plokštieji eksploatuojami stogai (eksploatuojamos terasos, požeminės ir antžeminės stovėjimo aikštelės).

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – nustatyti stogo hidroizoliacinės dangos patikimumą lemiančius veiksnius, parengti pasiūlymus, leidžiančius pagerinti darbų kokybę ir įvertinti alternatyvius sprendimus.

Tikslui pasiekti sprendžiami uždaviniai:

- Išanalizuoti užsienio šalių ir Lietuvos mokslininkų patirtį;
- Išnagrinėti Lietuvoje ir užsienyje galiojančias normas, reglamentus ir taisykles;
- Atlikti hidroizoliacijos adhezijos (atplėšimo) bandymus, siekiant nustatyti vandens pralaidumą lemiančius veiksnius;
- Atrinkti alternatyvas, parengti kriterijų sistemą ir palyginti alternatyvas, pasirinktu daugiakriterio vertinimo metodu.

Temos naujumas

Šio darbo temos naujumas – eksperimentinis tyrimas, kurio metu bus atliktas hidroizoliacijos atplėšimo bandymas (LST EN 13596, 13707:2005, 14023, 12039; EN 14023:2010, ISO 4624, EN 24624, ASTM D 903), siekiant nustatyti veiksnius, darančius įtaką eksploatuojamų stogų, automobilių stovėjimo aikštelių hidroizoliacijos įrengimo kokybei, ilgaamžiškumui.

Temos aktualumas

Hidroizoliacijos defektai, vandens pralaidumas - svarbi problema Lietuvos ir viso pasaulio statybos srityje. Nors ši sritis greitai tobulėja, tačiau klaidų ir defektų įrengimo darbuose yra daroma nemažai.

Tyrimo metodika

Analitinėje darbo dalyje atlikta hidroizoliacijos defektų patirties ir tyrimų analizė, panaudojant bibliotekinio tyrimo metodus. Tiriamojoje dalyje siekiama atlikti eksperimentinį tyrimą remiantis LST EN 13596, 13707:2005, 14023, 12039; EN 14023:2010, ISO 4624, EN 24624, ASTM D 903 ir kitais standartais.

Mokslinė darbo vertė

Šio mokslinio darbo vertė siejama su statybos darbų kokybės gerinimo, kontrolės ir technologinio proceso tobulinimo principais. Šiame darbe siūlomi hidroizoliacijos įrengimo kokybės pagerinimo veiksmai.

1. EKSPLOATUOJAMŲ STOGŲ HIDROIZOLIACIJOS ĮRENGIMO PROBLEMŲ APŽVALGA

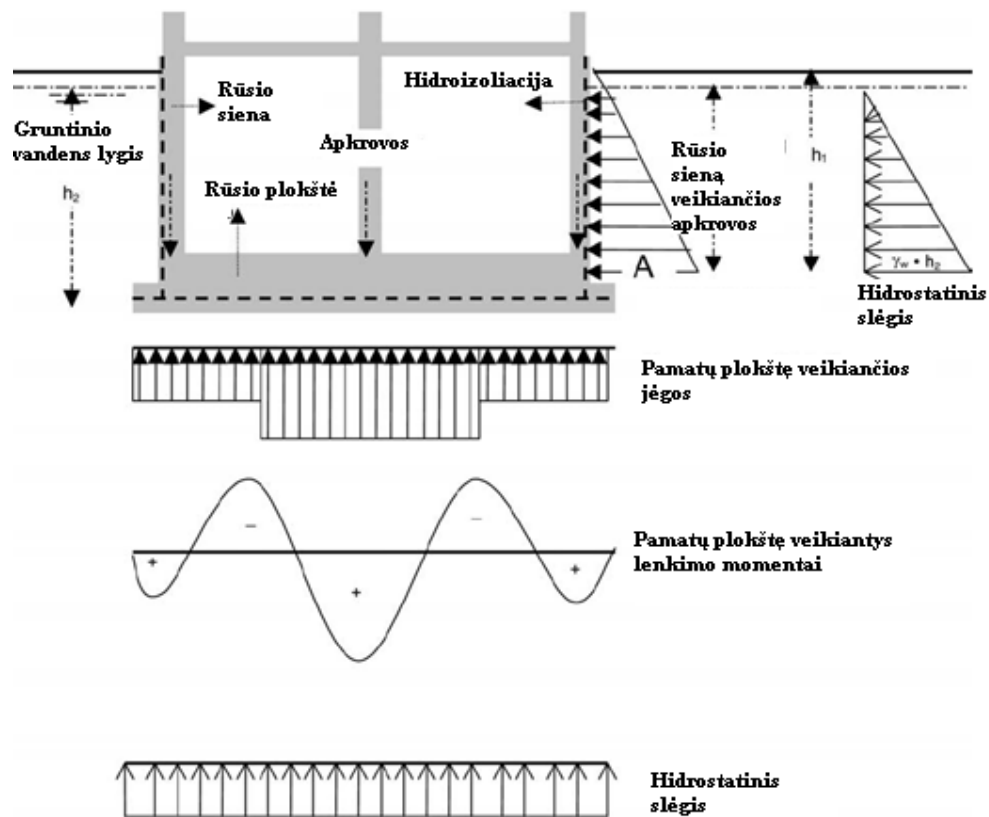
Hidroizoliacijos pralaidumo problema yra reikšminga šių laikų statybos srityje. Užsienio ir Lietuvos mokslininkai įvairiais aspektais nagrinėja hidroizoliacijos patikimumo problematiką, tačiau vieno problemos sprendimo nėra, nes darbų kokybę lemia kompleksas įvairių veiksnių. Eksploatuojamų stogų įrengimo problema tokia pat svarbi kaip neeksploatuojamų stogų, kadangi šio tipo stogai pagal naujausias architektūrines, konstrukcines idėjas ne mažiau populiarūs, nei įprasti plokštieji stogai.

Statybos rinkoje gausu hidroizoliacinių dangų. Naujausių hidroizoliacinių membranų elastingumas gali siekti iki dešimčių kartų, o negrįžtamos deformacijos beveik nepasireiškia. Technologijos leidžia hidroizoliaciją įrengti įvairiausiais būdais: užpurkšti, išlieti, užtepti, užklijuoti, pakloti, priaudyti ir t.t.

Mokslininkai J. Sheahanas ir J. Johnsonas (Sheahan, Johnson, 1991) atliko stogo hidroizoliacinių dangų sulydytų siūlių pralaidumo nustatymo tyrimą. Per paliktą ertmę hidroizoliacinėje dangoje buvo įpompuota 35 kPa slėgis, imituojant siūlės atplėšimo (angl. T-peel test) modelį. Siūlės, kurios praleido dujas, buvo pažymėtos kreida, kad ateityje jas galima būtų sutvarkyti, prilydyti. J. Sheahano ir J. Johnsono tyrimas-naudingas stogo hidroizoliacijos kokybės patikrinimo metodas. Šiuo metu panašius bandymus atlieka Švedijos įmonė „Mataki“, tačiau šį kokybės patikrinimo metodą įmonė yra užpatentavusi ir diagnostiką įvykdo tik po savo darbų atlikimo.

J.M.Hunnicut (1976) teigia, kad automobilių stovėjimo pastatų perdangos absorbuoja didelį kiekį temperatūros vasaros, karštuoju metu, ypač kai važiuojamoji dalis yra tamsios spalvos. Be to, priklausomai nuo nuvažiuoto atstumo, automobilio padangos paviršius gali įkaisti iki 100 °C.

N. Sahalas ir O.Ozkanas (Sahal, Ozkan, 2004) atliko pamatų hidroizoliacijos pralaidumo drėgmei, veikiant hidrostatiniam slėgiui tyrimą. Nustatyta, kad hidroizoliacinių dangų pralaidumas drėgmei (dangą veikiant 0,1-0,25 MPa hidrostatiniu slėgiu) priklauso nuo hidrostatinio poveikio trukmės, o absoliutinė drėgmė (hidroizoliacijos kontakto zonoje) gali pasiekti 27 g/m³ reikšmę. N. Sahalas ir O.Ozkanas tyrimo metu darė prielaidą, kad hidroizoliacinę dangą veikia įtempiai lygūs pamatų plokštės įtempiams (1 pav.)



1 pav. Rūsio hidroizoliaciją veikiančios apkrovos (Sahal, Ozkan 2004)

N. Sahalo ir O.Ozkano (2004) tyrime pasiūlytas naujas būdas įvertinti pamatų hidroizoliacijos pralaidumą drėgmei. Hidrostatinio slėgio poveikio maksimali trukmė į hidroizoliacines membranas siekė 96 valandas. Mokslininkai teigia, kad bandymai, kurių hidrostatinio slėgio trukmė viršytų 96 valandas, būtų naudingi tolimesniems panašaus pobūdžio tyrimams.

E.K. Zavadskas teigia, kad viena iš drėgmės sunkimosi per bituminę ritininę dangą priežasčių - klimatinė oro sąlygų neįvertinimas. Rudens - žiemos metu, stogo pagrindas absorbuoja drėgmę. Užklojus hidroizoliacijos sluoksnį ant įdrėkusio pagrindo, vėliau – drėgmei garuojant susidaro dangos iškilimai (pūsles), kurie mažina stogo dangos patikimumą. Norint suvaldyti pūslių atsiradimo riziką reikia patikrinti pakloto drėgmę. Pagal gamintojų rekomendacijas cemento-smėlio pakloto drėgmė neturi viršyti 4 % pagal masę, o pakloto iš asfaltbetonio – 2,5 %.

Hidroizoliacinių dangų įtrūkius gali nulemti medžiagos temperatūros neužtikrinimas ir oro temperatūros neįvertinimas, kuriuos rekomenduoja gamintojai. Ne visų tipų hidroizoliavimo darbai gali būti atliekami neigiamoje temperatūroje. Kai temperatūra žemesnė kaip -20°C , atvirame ore rekomenduojama dirbti tik su metalinių, polimerinių, mechanškai tvirtinamų hidroizoliacijų tipais. Kitų tipų hidroizoliacines dangas galima įrengti tik taikant specialių priemonių kompleksą (šildant paviršius, medžiagas, naudojant priedus nuo šalčio ir kt.). Klojant stogo dangą esant minusinei temperatūrai, bituminę - polimerinę ritininę stogo dangą reikia pašildyti iki plusinės temperatūros per visą dangos tūrį.

Darbo vietos turi būti apsaugomos nuo atmosferos kritulių, apledėjimo, izoliuojamieji paviršiai turi būti išdžiovinti.

Patyrusios projektavimo, konsultavimo įmonės suteikia detalizuotus lietaus vandens nutekėjimo lataų, įlajų brėžinius, mažesni architektų biurai suteikia mažiau detalių (Mahmoud, 2011). Pagal statybos taisykles plokštieji stogai turi būti suprojektuoti taip, kad praėjus 2 valandoms po lietaus stogo paviršiuje nebūtų gilesnių kaip 5 mm vandens balų.

J.Sanchez ir kt. (2010) atliko stogo sluoksnių stebėjimo eksperimentą. Muziejaus El Prado, Madride, Ispanijoje tradicinis čerpių stogas buvo renovuotas-rekonstruotas į modernų hidroizoliacinės dangos ir metalinės dangos derinio stogą. Mokslininkai į stogo konstrukcijos sluoksnius įtaisė temperatūros, drėgmės, įtempimų matuoklius ir skysto vandens jutiklius (sensorius) (1 pav.).



2 pav. Temperatūros, drėgmės jutikliai (Sanchez et al. 2010)

Stogo stebėjimo metu buvo identifikuota hidroizoliacijos sandarumo defektai (šalia vandens nubėgimo įlajų, lataų, prie stogo jungčių su parapetais). Problemoms išspręsti buvo pasiūlyta padidinti stogo nuolydį konkrečiose vietose ir lietaus nudrenavimo kiekį. Remiantis ekspertų rekomendacijomis stogas buvo pataisytas. Po ištaisymų vandens pratekėjimo per stogo dangą nerasta.

Defektų priežastimi gali tapti pagrindo deformacijos, didelės vertikalios apkrovos, trumpalaikės horizontalios jėgos (pvz., stabdant mašiną). Dangą gali pažeisti virš jos esančių sluoksnių deformacijos, kurias sukelia temperatūrų svyravimai arba drėgmės režimo pasikeitimai. Apželdintiems stogams rimtą pavojų kelia peraugusios augalų šaknys.

Netinkamai atlikti paviršiaus paruošiamieji darbai (hidroizoliacijai įrengti) gali tapti hidroizoliacijos nepatikimumo priežastimi.

Remiantis užsienio ir Lietuvos mokslininkų patirtimi, pagrindinius stogų defektus galima būtų suskirstyti, kaip nurodyta 1 lentelėje:

1 lentelė. Hidroizoliacijos įrengimo defektai ir jų priežastys

Defektai	Priežastys
Išilginiai, skersiniai plyšiai hidroizoliacijos dangoje	Po hidroizoliacijos sluoksniu neįrengta deformacinė, temperatūrinė siūlė
Hidroizoliacinės dangos plyšiai prie vertikalių konstrukcijų, sienų ir kitų iškilimų	Laikančiųjų konstrukcijų bei šilumos izoliacinių sluoksnių nusėdimas; sienų ir stogo konstrukcijų deformacijos nuo temperatūros ir

	drėgmės
Ritininių dangų išilginis ir skersinis susitraukimas	Pabarsto nusidėvėjimas, didelė temperatūrų pokyčių amplitudė
Plyšiai bituminėje masėje aplink konstrukcijas ir kitas vietas	Bitumo nusidėvėjimas, senėjimas dėl saulės radiacijos ir atmosferos poveikio, pabarsto nudevėjimas
Ritininių dangų juostų poslinkiai arba teptinės bituminės dangos nutekėjimas	Dangų nepakankamas atsparumas šilumai
Atsisluoksniavusios ir pažeistos ritininių medžiagų juostos	Neįrengtos cinkuotos skardos apsauginės juostos
Papildomi hidroizoliacijos sluoksniai nesukibę su išsikišusiomis virš stogo vertikaliomis konstrukcijomis	Papildomos ritininės medžiagos priklijuotos ant neparuoštų paviršių.
Ritininė danga atšokusi, pūslėta	Hidroizoliuojamas pagrindas buvo neišdžiovintas arba išalęs, paviršius nenuvalytas nuo sniego, užterštas, danga nepakankamai pakaitinta, neprispausta ar nepervyniota, hidroizoliacijos paviršius sudrėkęs, sušalęs.
Hidroizoliacinė danga praleidžia drėgmę prie įlajų, ventiliacijos kaminėlių	Neįrengti flanšai, sandūros, nehermetiškai sujungta įlaja, kaminėlis, nepanaudotos hermetizuojančios priemonės
Dangos paviršiuje kaupiasi vanduo	Netinkamai įrengtas nuolydis, per mažas nuolydis arba nepervyniota danga prilydant, nearmuotas išlyginamasis sluoksnis

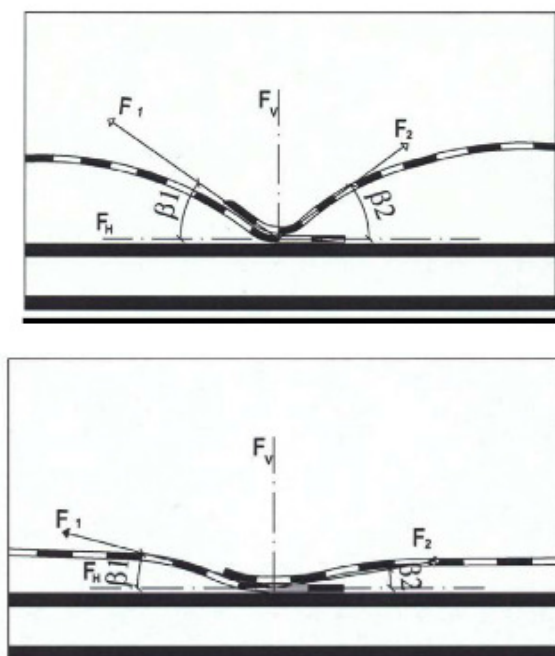
1.1. Ritininių hidroizoliacinių medžiagų siūlių sandūros patikimumas

K.Oba ir kt.(1996) atliko hidroizoliacinių medžiagų atplėšimo tyrimą (angl.T-peel test), siekdami nustatyti ritininių dangų suldytų siūlių stiprumo priklausomybę nuo prilydymo metodo, medžiagų cheminių, fizinių ir reologinių savybių. Tyrime buvo nustatyta, kad siūlių atplėšimo stiprumas (kai prilydymo greitis nuo 2 m/min) labai priklauso nuo prilydymo mechanizmo svorio, tačiau medžiagos su mažu klampumu, didelėse temperatūrose gali būti per stipriai suspaustos. Galutinis hidroizoliacijos storis, suplonėjęs dėl per stipraus suspaudimo, gali būti neigiama siūlių patikimumo priežastis.

Hidroizoliacijos prilydymo metodas, pasak K.Oba ir kt. turėtų būti pasirenkamas atsižvelgiant į medžiagos techninius rodiklius, gamintojo rekomendacijas ir priešgaisrinius reikalavimus. Faktiškai pagrįstas technologijos pasirinkimas sudarytų sąlygas efektyviam darbų atlikimui.

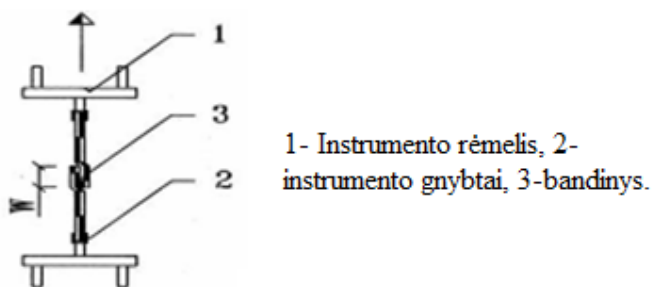
A.Karablikovas (2007) atliko ritininių bituminių prilydomų stogo dangų sluoksnių formavimo tyrimus ir išanalizavo suklijuotų siūlių formavimo mechanizmą, klijavimo technologijos įtaką siūlių savybėms – stiprumui, storiui, nepriklijuotų vietų atsiradimui. Karablikovas eksperimentais nustatė, kad maksimalus siūlių stiprumas neviršija 15-20 % ritininės dangos stiprumo. Įvairių hidroizoliacinių medžiagų sukibimo stiprumo priklausomybė nuo prilydymo temperatūros skiriasi dėl fizinių, cheminių savybių, todėl temperatūra turi būti nustatoma konkrečiai medžiagai.

F. Antoninas (2007) savo tyrimuose siekė nustatyti, kokią įtaką galutiniam ritininės hidroizoliacijos sulydymo siūlės šlyties stiprumui daro siūlės užleidimo plotis ir atmosferos temperatūra. Mokslininkas pateikė hidroizoliacinės dangos siūlės veikiančių apkrovų modelį (3 pav.).



3 pav. Hidroizoliaciją veikiantys išilginiai, tangentiniai įtempiai (Antonin 2007)

F. Antoninas tyrimui atlikti pasirinko dviejų skirtingų gamintojų medžiagas. Atplėšimo bandymas buvo atliktas pagal EN 12317-1 standarto principinę schemą (4 pav.).



4 pav. Siūlių atplėšimo modelis (Antonin 2007)

F. Antoninas nustatė, kad atmosferos temperatūros padidėjimas turėjo neigiamą įtaką siūlės stiprumui.

T.Vilutienė ir A.Karablikovas (2010) pasiūlė naują parametą bituminės hidroizoliacijos įrengimo patikimumui įvertinti – nesuklijuotų siūlių zonų plotą. Karablikovas ir Vilutienė nustatė, kad užlaidinės sandūros siūlėje esančios nesusiklijavusios zonos išnyksta bituminę ritininę dangą kaitinant ne trumpiau

kaip 9 sekundes, tačiau dėl to suplonėja ribinis dangos storis, todėl kaitinimas yra apribojamas iki 5 sekundžių.

K.Peleckis (2011) atliko bituminių stogo dangų siūlių sulydymo kokybės tyrimą. Tyrime pastebėta, kad galutinis sulydytos siūlės storis mažesnis už nekaitintos dangos storį, todėl tai daro neigiamą įtaką siūlės patikimumui. Siūlių patikimumui įvertinti K.Peleckis (2011) siūlo vadovautis šiais parametrais: galutinis siūlės storis, siūlių pralaidumas, nepriklijuotų vietų skaičius. K.Peleckis teigia, kad ištyrus minėtus parametrus ir nustatius optimalias jų reikšmes (priklausomai nuo prilydomųjų medžiagų kaitinimo temperatūros), gautus rezultatus būtų galima susieti su stogo nuolydžio formavimu.

D.Balčiūnas (2012) nagrinėjo sulydomų stogų dangų sandūrų mechanines savybes, priklausomai nuo kaitinimo trukmės. Kaitinimo trukmės įtaka siūlės patikimumo parametrui yra įrodoma atlikus bituminės dangos sandūros atsparumo lupimui ir šlyčiai bandymus pagal LST standartus. Tyrime teigiama, kad sandūros kaitinimo trukmė neturi pastebimos ir dėsningos įtakos jos mechaninėms savybėms, tačiau yra reikšminga jos ribinėms deformacijoms.

D.Balčiūnas įvertino atsparumo lupimui kitimą, priklausomai nuo kaitinimo trukmės: sandūros atsparumas lupimui labiausiai didėjo kaitimo trukmės intervale nuo 3 iki 6 sekundžių, o esant kaitinimo režimui nuo 6 iki 9 sekundžių beveik nekito, todėl norint pasiekti optimalų stiprumą dangą reikia kaitinti 6 sekundes.

D.Balčiūnas tyrimo metu pastebėjo, kad kuo ilgiau buvo kaitinami bandiniai gamintojo metu, tuo labiau sumažėjo jų bendrasis poslinkis prieš bandiniam suyrant.

R. Dupuis (1989) tyrė polimerais modifikuoto bitumo ritininių dangų prilydymo mechanizmą, priklausomai nuo prilydymo ir medžiagos temperatūros. R.Dupuis (1989) nustatė, kad APP modifikuotų bitumo dangų tinkamo prilydymo rodiklis yra 6 mm išteklėjusi bitumo banga. R. Dupuis (1989) teigia, kad bituminės (APP ir SBS modifikuotos) dangos siūlių didžiausias stiprumas (neperkaitinant dangos) pasiekiamas, kai prilydymo temperatūra lygi 204 °C.

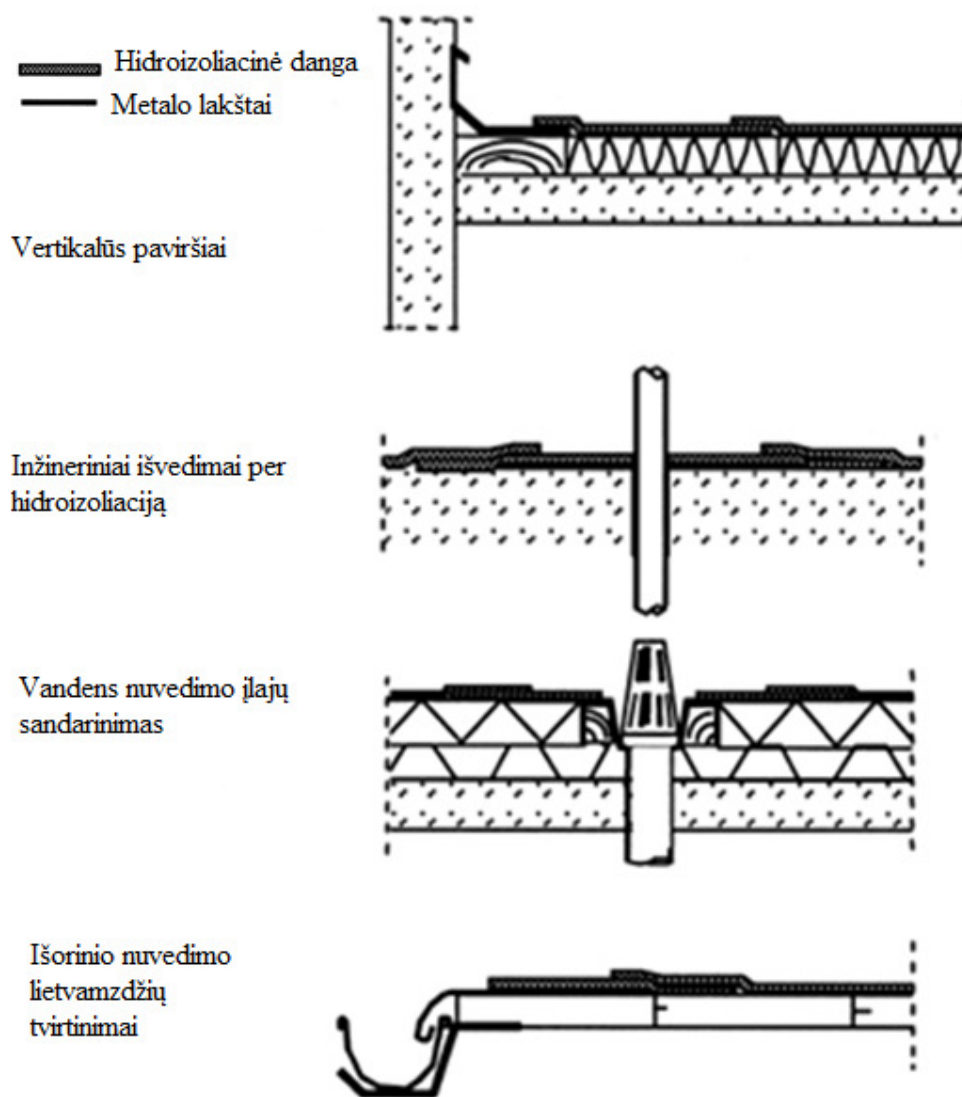
1.2. Ritininių hidroizoliacinių medžiagų prilydymo prie įvairių paviršių patikimumas

Mailvaganamo ir kt. (Mailvaganam et al. 1998) atlikti hidroizoliacijos sukibimo sąveikos su pagrindu bandymai rodo, kad dėl veikiančių apkrovų (automobilių stabdymo, pagreitėjimo ir kt.) ir atmosferos poveikio (sniego, ultravioletinių spindulių ir kt.) atsiranda šlyties, gniuždymo, tempimo įtempiai, įvyksta konstrukcijų deformacijos. Mailvaganamas ir kt. atliko elastomerinį hidroizoliacinių dangų stabilumo su tipiniu mazgu tyrimą. Atsižvelgiant į eksperimento rezultatus nustatyta, kad daugelis hidroizoliacinių dangų turi negrįžtamus deformacinius pokyčius dėl cikliškos temperatūros pasikeitimų, be to sumažėjusią savybę prisitaikyti prie deformacijų esant žemai temperatūrai, dėl to galimi

hidroizoliacijos mikro-įtrūkimai, atplyšimas nuo pagrindo. Nepatikimai įrengta hidroizoliacinė sistema gali būti pralaidi drėgmei.

Mailvaganamas ir kt. įvardija, kad pagrindiniai faktoriai, kurie lemia hidroizoliacijos sukibimą su pagrindu yra: betono šiurkštumas, porėtumas. Šie parametrai tiesiogiai priklauso nuo V/C (vandens/cemento) santykio, paviršiaus paruošimo, betoninio paviršiaus priežiūros kietėjimo periodu.

F.Granne ir kt. (2000) tyrė hidroizoliacinių dangų prilydymo prie įvairių paviršių ir tarpusiuvių siūlių sulydymo kokybės problematiką. Tyrimo tikslas – nustatyti hidroizoliacijų prilydymo prie įvairių paviršių (5 pav.) patikimumą.

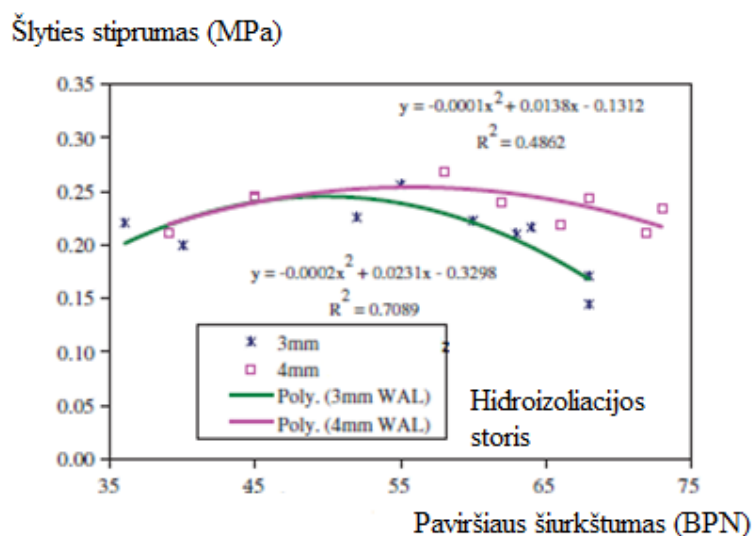


5 pav. Hidroizoliacijos adhezijos su metaliniais paviršiais atvejai (Granne et al. 2000)

Hidroizoliacijos patikimumo veiksniams įvertinti buvo atlikti siūlių atsparumo plėšimui, šlyčiai ir atplėšimo (angl.T-peel test) nuo metalinių paviršių bandymai priklausomai nuo prilydymo temperatūros,

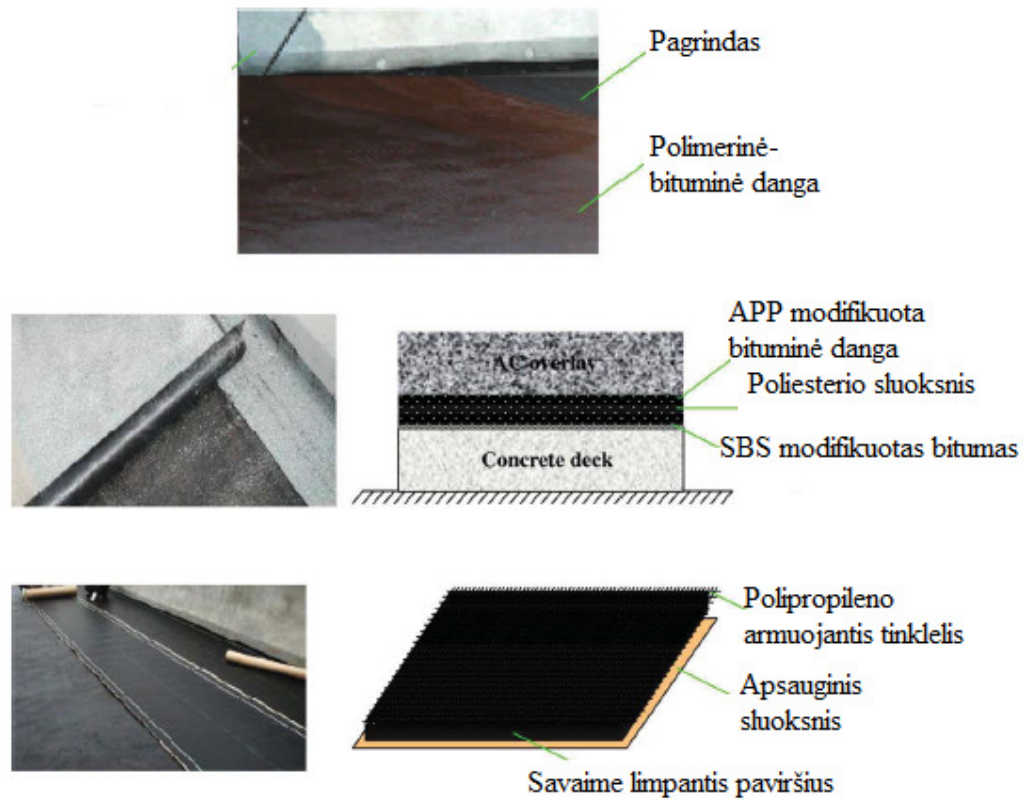
apkrovų poveikio trukmės. Tyrimo metu hidroizoliacinių membranų įtempiai buvo modeliuojami į dvi grupes: trumpalaikiai, (sukelti vėjo gūsių ar transporto apkrovų), bei ilgalaikiai įtempimai (sukelti konstrukcijų poslinkių, įlinkių, ilgalaikių deformacijų). Bandymo rezultatai įrodė, kad naudojantis įprastais (rankiniais) dangų prilydymo metodais, daugelio tipų dangų prilydymo stiprumas gautas mažesnis nei nustatyta reikalavimuose. F.Granne ir kt.(2000) pasiūlė stogo hidroizoliacijos įrengimo kokybei vertinti šiuos parametrus - hidroizoliacinės dangos siūlių sulydymo patikimumą ir sukibimą su metaliniais paviršiais, šių zonų visišką sandarumą.

Zhou ir kt. (2009) nagrinėjo hidroizoliacijos sukibimą su betoniniais paviršiais. Zhou ir kt. nustatė, kad didinant betoninio paviršiaus šiurkštumą BPN (angl.surface roughness, BPN value), atsparumas šlyčiai didėja iki „lūžio taško“ (6 pav.). Didėjant paviršiaus šiurkštumui, šlyties stiprumas padidėja dėl sukibimo efekto tarp hidroizoliacijos ir paviršiaus, tačiau šiurkštus paviršius su per gilia struktūra sumažina kontaktą tarp dangos ir betono paviršiaus.



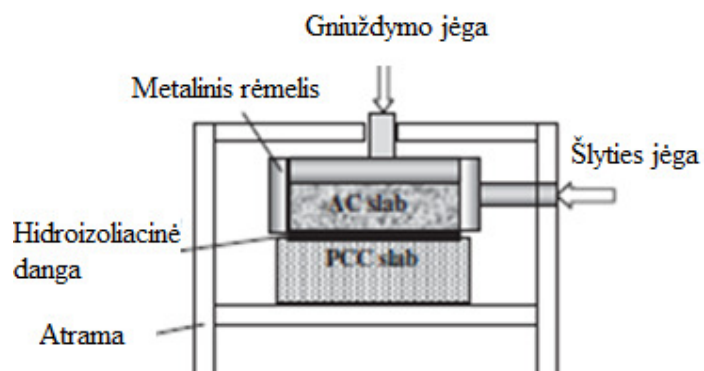
6 pav. Šlyties stiprumo priklausomybė nuo paviršiaus šiurkštumo (Zhou et al. 2009)

Zhou ir kt. (2009) bandymų metu ištyrė tris skirtingas medžiagas: purškiamą bituminę (modifikuotą polimerais) dangą, bituminę ritinę (modifikuotą polimerais) dangą ir savaime limpančią (armuotą polipropilenu) bituminę dangą.



7 pav. Tiriamų hidroizoliacinių medžiagų tipai (Zhou et al. 2009)

Mokslininkai atlikdami bandymus rėmėsi standartais: ASTM D 5321, ASTM D 4541 ir ASTM D 3359, 4624. Tyrimo metu buvo atliktas šlyties jėgų bandymas (8 pav.):



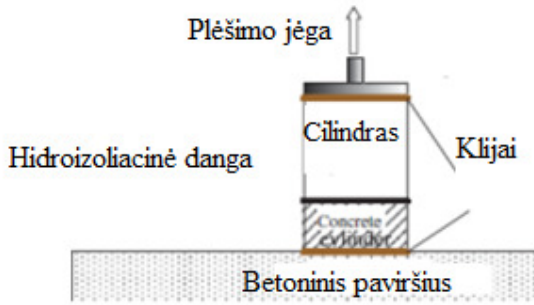
8 pav. Šlyties apkrovų modelio schema (Zhou et al. 2009)

Atplėšimo bandymo (9 pav.) stiprumas apskaičiuotas pagal 1 formulę:

$$|\sigma| = \frac{F}{A}, \quad (1)$$

F-didžiausia jėga (N), A-kontakto plotas (mm²).

Fiksuota bandinių prilydymo temperatūra – 100, 130, 160 ir 190 laipsnių pagal Celsijų.

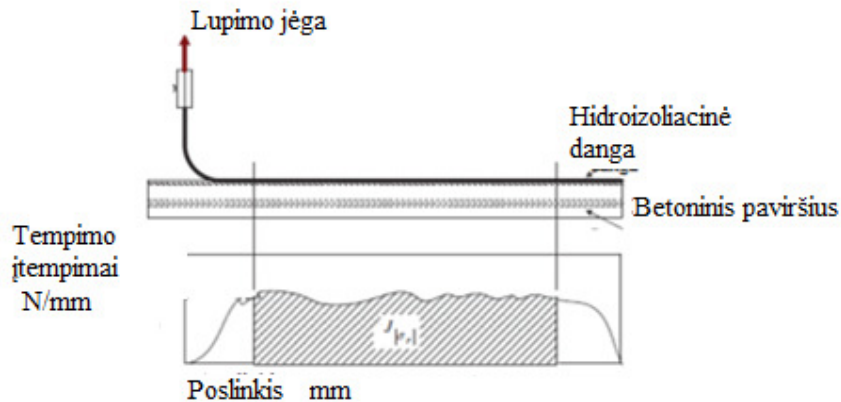


9 pav. Plėšimo jėgos modelio schema (Zhou et al. 2009)

Atlupimo bandymas atliktas 90 laipsnių kampu, palaikant pastovų 100mm/min apkrovos greitį (10 pav.). Atlupimo stiprumas buvo apskaičiuotas pagal formulę:

$$\sigma_p = \frac{F}{b}, \quad (2)$$

Kai F- lupimo jėga (N), b- bandinio plotis (mm²).



10 pav. Lupimo apkrovų modelio schema (Zhou et al. 2009)

Zhou ir kt. (2009), atlikę atlupimo bandymą, nustatė, kad hidroizoliacijos poslinkis svyravo nuo 20 mm iki 260 mm, todėl stiprumui skaičiuoti buvo parinkta integruota formulė:

$$J_{\sigma_p} = \int_{t=20}^{260} |\sigma_p|_i dl = \sum_{t=20}^{260} \frac{F_i}{b} \Delta l. \quad (3)$$

Stiprumo skaičiavimui yra pateikiama suintegruota formulė:

$$|\sigma_p|_m = \frac{1}{L} J_{|\sigma_p|} = \frac{1}{260-20} J_{|\sigma_p|}. \quad (4)$$

Atsižvelgdamas į hidroizoliacijos atplėšimo bandymų rezultatus sukibimo stiprumui užtikrinti, Zhou ir kt. teigia, kad optimali bituminės dangos prilydymo temperatūra yra 120-170° C. Lietuvos statybos taisyklėse reikalaujama, kad klijuojamasis sluoksnis būtų išlydomas 140-160° C temperatūroje.

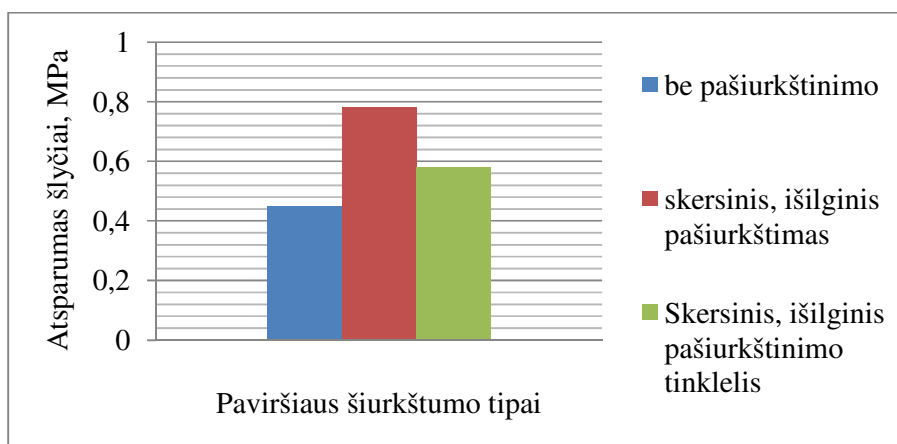
Liu ir kt. (2013) pagal atliktus transporto veikiamos perdangos hidroizoliacijos tyrimus, mechaniniams rodikliams nustatyti išskiria tokius parametrus, lemiančius hidroizoliacijos patikimumą: šlyties stiprumas (2 lentelė), atplėšimo stiprumas (3 lentelė). Šie rodikliai nagrinėjami priklausomai nuo paviršiaus šiurkštumo ir temperatūros (11 pav.).

2 lentelė. Atsparumo šlyčiai priklausomybė nuo atmosferos temperatūros

Temperatūra (°C)	Atsparumas šlyčiai, MPa			
	SBS modifikuotas bitumas	Bitumo-gumos danga	Polimerais modifikuotas bitumas	SBS emulsuotas bitumas
3	3,78	3,82	1,90	0,65
27	0,68	0,72	0,41	0,14
40	0,35	0,37	0,11	0,08

3 lentelė. Atsparumo lupimui priklausomybė nuo atmosferos temperatūros

Temperatūra (°C)	Atsparumas lupimui, MPa			
	SBS modifikuotas bitumas	Bitumo-gumos danga	Polimerais modifikuotas bitumas	SBS emulsuotas bitumas
3	1,82	1,92	1,75	1,68
27	0,85	0,88	0,81	0,62
40	0,26	0,32	0,23	0,2



11 pav. Hidroizoliacinės dangos atsparumo šlyčiai priklausomybė nuo paviršiaus šiurkštumo

Liu ir kt. (2013) teigia, kad projektuojant ir įrengiant konstrukcijų hidroizoliaciją turi būti:

- Atsižvelgta į veikiančias temperatūras;
- Užtikrintas tinkamas pagrindo šiurkštumas;
- Parenkant hidroizoliacijos tipą turi būti įvertintos galimos apkrovos;
- Įvertinta konstrukcijų poslinkių, įlinkių įtaka hidroizoliacijai.

1.3. Daugiakriterių metodų taikymas stogų įrengimo srityje

Daugiatiksliai uždaviniai naudojami, kai reikia objektyviai priimti sudėtingą sprendimą. Šie metodai padeda nustatyti lyginamųjų alternatyvų prioritetinę eilę, parinkti optimalų variantą, vertinant objekto kriterijus, kurie dažnai būna skirtingi. Daugiakriterių metodų yra įvairių, bet visi uždaviniai skirti nustatyti optimalų sprendimą. Rodiklių problema – alternatyvų rodiklių išskirtinumas, nevienodi matavimo vienetai, skirtingai (pagal ne vienodus standartus) pateiktos reikšmės. Šios problemos sprendimo būdas - kokybinių kriterijų įvedimas uždavinyje.

Daugiakriterio sprendimo procesas sudarytas iš: alternatyvų sąrašo sudarymo, alternatyvų vertinimo kriterijų parinkimo, kokybinių, kiekybinių rodiklių priskirimo, alternatyvos atrankos.

Mokslinėje literatūroje daugiakriteris uždavinys skaidomas į šiuos etapus:

- Technologinių, ekonominių ir kt. variantų sudarymas;
- Efektyvumo rodiklių parinkimas, nustatymas;
- Ekspertų apklausa;
- Rodiklių reikšmingumų apskaičiavimas;
- Ekspertų nuomonių suderinamumo patikrinimas;
- Variantų naudingumo nustatymas.

A. Karablikovas ir L. Ustinovičius (2002) pasiūlė daugiabučių namų stogų racionalaus remonto būdo parinkimo metodiką, taikant daugiakriterinius įvertinimo metodus. Sutapdintų stogų remonto būdų optimalaus varianto parinkimas gali būti atliktas, remiantis sistemotechniniais metodais, naudojant matematinius vertinimo kriterijus.

Mokslininkų siūlomos alternatyvos – sutapdinto stogo remontas ir mansardinio aukšto įrengimas. Dėl informacijos apie kriterijus stokos alternatyvoms nustatyti parinktas PROMETHEE metodas, todėl daugiausia remtasi kokybiniais rodikliais. Mansardinio aukšto statybos vertinimo kriterijai: statybos kaina (Lt), naudingas plotas (kv.m.), šildymo lyginamosios metinės sąnaudos (Lt/kv.m.), komforto lygis (balai), konstrukcijų garso izoliacija (balai), fizinis ilgaamžiškumas (balai), atsparumas ugniai (balai). Stogo remonto variantų vertinimo kriterijai: sąmatinė kaina (Lt), eksploatacijos ilgaamžiškumas (metai), šiluminė varža (mk/W), garantinis laikas (metai), eksploatacinis patikimumas (balai).

A. Karablikovo, L. Ustinovičiaus (2002) tyrimas leidžia padidinti daugiakriterių metodų taikymą stogų įrengimo sprendimams priimti.

Vėlesniuose tyrimuose L. Ustinovičius ir kt. (2012) aprašo daugiakriterių metodų taikymą statinių eksploataavimo ir atnaujinimo procesuose, pateikia stogo, sienų ir kitų konstrukcijų atnaujinimo modelį. Alternatyvų vertinimo kriterijai: šilumos perdavimo koeficientas U (W/kv.m.×K), modernizavimo kaina (Lt), prognozuojamas priemonės gyvavimo laikas (metai), galimybė atlikti statybos darbus, neatsižvelgiant į sezoniškumą (balais), metiniai sutaupymai (MWh/kv.m./m), paprastasis atsipirkimo

laikas (metai), eksploataavimo priežiūros sudėtingumas (balais). Kriterijų reikšmių ir reikšmingumų nustatymas atliktas, pasinaudojant 4 lentelę.

4 lentelė. Rodiklių reikšmių ir reikšmingumų nustatymo metodai

Kiekybinių rodiklių reikšmių ir reikšmingumų nustatymo metodai	Kokybinių rodiklių reikšmių ir reikšmingumų nustatymo metodai
Normatyvinis. Nustatoma remiantis normatyviniais dokumentais, sąmatomis, rekomendacijomis ir kt.	Ekspertinis. Nustatoma remiantis ekspertų patyrimu ir intuicija.
Analogiški sprendimai.	Rekomendacijos.
Skaičiavimo. Nustatoma remiantis teorinėmis ir empirinėmis priklausomybėmis, statistiniais duomenimis.	Organoleptinis. Nustatoma vertinant sprendimus per stebintį žmogaus jausmų prizmę.
	Sociologinis. Nustatoma apdorojus sociologinių apklausų duomenis.
	Skaičiavimo. Nustatoma remiantis įvairiomis formulėmis.

L.Ustinovičius ir kt. (2012) rodiklių reikšmingumus nustatė ekspertinio porinio palyginimo metodu. Porinio lyginimo metodas panaudotas, nes ekspertai gali lyginti rodiklius tarpusavyje po du, o rodiklių yra daug. Ekspertų suderinamumas buvo pakankamas, todėl toliau buvo atlikti sprendimų priėmimo metodo skaičiavimai. Pasirinktas racionalumo nustatymo artumo idealiam taškui metodas (TOPSIS-Technique for order preference by Similarity to Ideal Solution).

2. EKSPLOATUOJAMŲ STOGŲ HIDROIZOLIACIJOS ĮRENGIMO REIKALAVIMAI

2.1. Hidroizoliacijos įrengimo reikalavimai ir gamintojų rekomendacijos

Hidroizoliacinė danga turi sudaryti stiprų ir ilgaamžišką ryšį su paviršiumi, hidroizoliacijos sluoksniais. Pagal Aplinkos ministerijos rekomendacijas (statinių ir jų dalių gyvavimo skaičiuojamosios trukmės įvertinimas, R27-01) dvigubos ritininės stogo dangos gyvavimo trukmė turi siekti 20-30 metų.

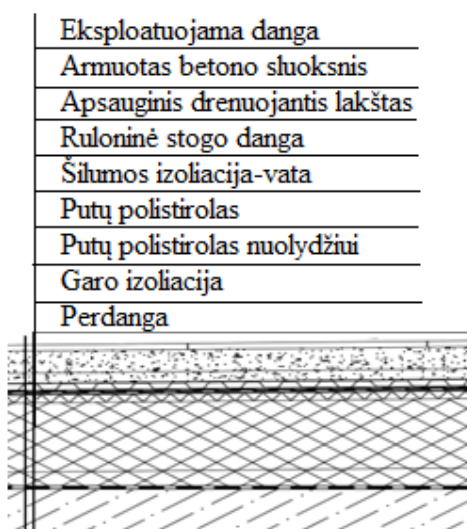
Hidroizoliacinių dangų gamintojų rekomendacijose teigiama, kad kokybiškam medžiagos prilydimui prie pagrindo arba anksčiau pakloto dangos sluoksnio, reikia stengtis palaikyti nedidelę bitumo bangą (9 pav.) sąlyčio su pagrindu vietoje. Požymis, kad medžiaga tinkamai kaitinama, yra polimerinės - bituminės masės išteklėjimas (3-15) mm pro išilgines ir šonines užlaidas. Įrengiant hidroizoliaciją, ritininė danga turi būti vyniojama „į save“ (12 pav.)



12 pav. Pašildytos polimerinės-bituminės masės banga („Mida“ dangų gamintojų rekomendacijos)

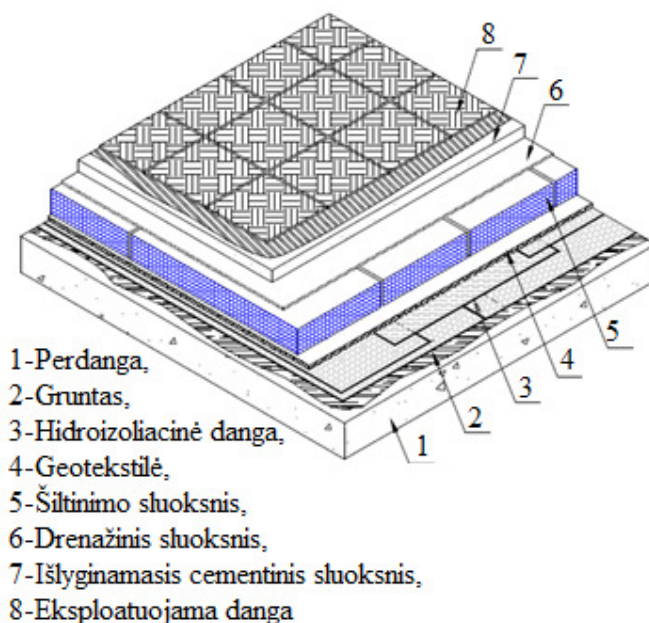
STR 2.05.02:2008 (Statinių konstrukcijos. Stogai) pagal konstrukcinį sprendinį plokštieji eksploatuojami stogai skirstomi į tipus:

- Plokštieji eksploatuojami stogai (13 pav.);



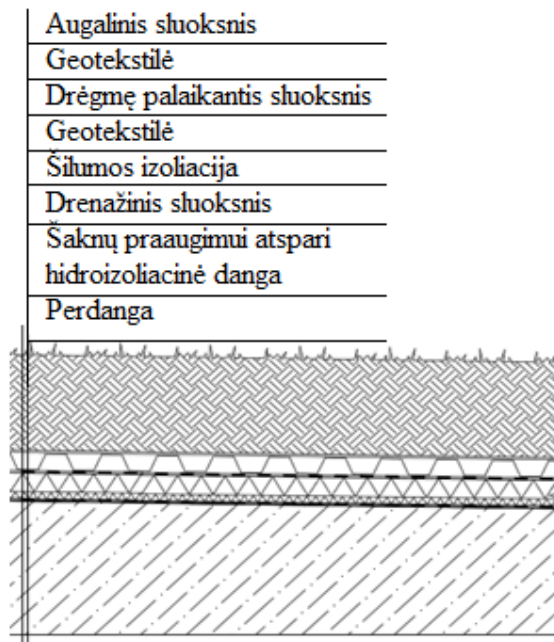
13 pav. Ekspluatuojamo stogo schema

- Plokštieji eksploatuojami atvirkštiniai stogai (eksploatuojamas stogas, kuriame šiluminė izoliacija įrengta virš hidroizoliacinio sluoksnio) (14 pav.);



14 pav. Atvirkštinio stogo schema

- Plokštieji eksploatuojami apželdinti stogai (15 pav.);

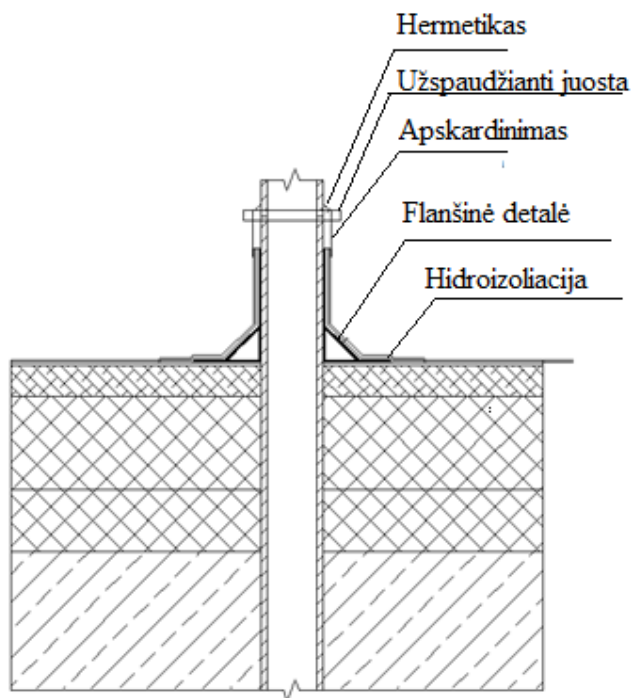


15 pav. Apželdinto stogo schema

Nepriklausomai nuo eksploatuojamo stogo tipo STR 2.05.02:2008 (Statinių konstrukcijos. Stogai) reikalaujama, kad būtų suformuotas ne mažesnis kaip $0,7^\circ$ nuolydis ir turi būti įrengta hidroizoliacinė danga, apsauginis drenuojantis sluoksnis, viršutinės dangos pasluoksnis ir vandens nubėgimo įlajos.

R. Rasiulis (2011) ištyrė plokščiųjų eksploatuojamų stogų nuolydžių formavimo modelius. Tyrimo duomenimis, plokščiųjų stogų reikalaujamas nuolydis, stogo sankirtų vietose gali būti užtikrintas, kai plokštumų nuolydis siekia 3,5%. R. Rasiulis (2011) teigia, kad šį uždavinį galima būtų išspręsti, stogo projektavimą pradedant nuo stogo plokštumų sankirtų.

Stogų įrengimo reikalavimuose nenumatyta, tačiau svarbu paminėti, kad hidroizliacijos gamintojai siūlo stogo dangos ir vamzdžių sandūrų vietose naudoti pereinamuosius elementus iš gumos (16 pav.).



16 pav. Vamzdžių aptaisymo fasoninės dalys

Hidroizoliuojamų paviršių reikalavimai nėra gausiai detalizuoti norminiuose dokumentuose. STR 2.05.02:2008 (Statinių konstrukcijos. Stogai) reikalaujama, kad plastesni, nei 1,5 mm plyšiai turi būti užtaisyti hermetikais.

Betono paviršiaus kokybė, turi būti užtikrinta, kad hidroizliacija patikimai suliptų su paviršiumi. Betonui kietėjant cementas reaguoja su vandeniu. Ši reakcija vyksta esant teigiamai temperatūrai. Priežiūros metu turi būti užtikrinta, kad betonas kietėjimo metu neišdžiūtų dėl saulės ir vėjo poveikio, jo neišplautų lietus ir tekantis vanduo, greitai neatšaltų pirmomis dienomis po suklojimo, neatsirastų didelių betono temperatūros skirtumų, nepakenktų žema temperatūra ir vibracija, nes priešingu atveju būtų neužtikrinta reikiama paviršiaus struktūra.

V.Gurskis (2008) aprašo betono priežiūros procesą, kad betono paviršius nesueizėtų, neatsirastų įtrūkių. Priežiūros laikotarpiu atviri betono paviršiai apdengiami maišo audiniu, dembliais arba kitomis medžiagomis. Betoną reikia pradėti drėkinti ne vėliau kaip po 10-12 val., kai karšta po 2-3 val. Kad

drėgmė taip greitai neišgaruotų, betoną galima padengti polietileno plėvele, bitumo emulsija ar kitomis skystomis medžiagomis, kurios sudaro vandeniui nelaidžią plėvelę.

Priežiūros trukmė nustatoma atsižvelgiant į betono kietėjimo greitį (5 lentelė.), betono projektines savybes, aplinkos temperatūrą, santykinę oro drėgmę.

5 lentelė. Betono stiprio didėjimas (Gurskis 2008)

Betono stiprio didėjimo intensyvumas	Vandens ir cemento santykis	Cemento klasė
Greitas	Mažiau kaip 0,5	42,5 R
Vidutinis	Nuo 0,5 iki 0,6	42,5 R
	Mažiau kaip 0,5	32,5 R ir 42,5 N
Lėtas	Visais kitais atvejais	
Pastaba: 32,5 R ir 42,5 R yra greitai kietėjančio cemento klasės, pasižyminčios dideliu ankstyvuoju stiprumu, 42,5 N- įprastinio ankstyvojo stiprumo cemento klasė.		

Statybos taisyklėse „Betonavimo darbai“ minimali kietėjančio betono priežiūros trukmė nustatoma, atsižvelgiant į cemento hidratacijos greitį, betono savybes, aplinkos temperatūrą ir santykinę drėgmę. Įvertinant tuos faktorius kietėjančio betono priežiūros trukmė būna nuo 2 iki 15 parų.

6 lentelė. Minimali betono priežiūros trukmė paromis (Gurskis 2008)

Betono mišinio ir oro temperatūra ° C	Priežiūros trukmė dienomis			
	Betono kietėjimo intensyvumas $r = f_{c2}/f_{c28}$			
	didelis	vidutinis	lėtas	Labai lėtas
	$\geq 0,5$	$\geq 0,3 \dots < 0,5$	$\geq 0,15 \dots < 0,3$	$< 0,15$
≥ 25	1	2	2	3
$< 25 \dots \geq 15$	1	2	4	5
$< 15 \dots \geq 10$	2	4	7	10
$< 10 \dots \geq 5$	3	6	10	15
Pastabos: 1. Kai betono paviršius turi būti atsparus dilumui, priimti dvigubai ilgesnę priežiūros trukmę, kai betonas eksploatacijos metu gali būti veikiamas nepalankių aplinkos sąlygų (neigiama temperatūra, drėgna aplinka su ledu tirpinančiais agentais, jūros vandens aplinka), nurodyta trukmė taip pat turi būti ilgesnė.				
2. Esant žemesnei kaip 5° C temperatūrai, priežiūros trukmė proporcingai prailginama.				
3. $r = f_{c2}/f_{c28}$ - betono gniuždymo stiprio, pasiekto per 2 ir 28 paras, santykis.				

Betonuojant karštu oru betono priežiūra pradedama tuoj pat suklojus ir sutankinus betono mišinį ir vykdoma, kol betonas pasieks 70 % projekcinio stiprumo. Visą priežiūros laikotarpį paviršius turi būti drėgnas.

STR 2.05.02:2008 nurodyta, kad tarp eksploatuojamo paviršiaus ir hidroizoliacinio sluoksnio turi būti įrengtas skiriamasis pasluoksnis, kad apsaugotų hidroizoliacinę dangą nuo pažeidimų ir (arba) sukibimo su grindų danga.

E. K. Zavadskas teigia, kad hidroizoliavimo procesas turi būti sudarytas iš šių operacijų: izoliuojamųjų paviršių ruošimo, izoliuojamųjų konstrukcijų jungčių ir siūlių sandarinimo, hidroizoliacinės ir, jeigu reikia, apsauginės dangos įrengimo. Izoliuojamieji paviršiai turi būti gerai paruošti, nes nuo paviršiaus kokybės labai priklauso izoliacinių medžiagų sukibimas su pagrindu ir izoliacinės dangos vienytiškumas.

Lietuvos statybos taisyklėse pagrindo paruošimas suskirstytas į tokius punktus:

- Prieš atliekant hidroizoliavimo darbus, statybinių konstrukcijų sandūros ir plyšiai turi būti užtaisyti, nuo jų nuvalytos dulkės ir paviršius gruntuotas;

- Kai hidroizoliacijai naudojamos bituminės medžiagos, gruntuojama bitumo emulsija arba bitumo skiediniu. Izoliacijai taikant cemento pagrindu paruoštas glaistomąsias dangas, gruntuojama vandens pagrindu paruoštais gruntais;

- Hidroizoliacijai taikant sintetinių plėvelių medžiagas, gruntavimui naudojami bituminiai grunta, išskyrus tuos atvejus, kai sintetinė medžiaga yra priešiška bitumui (bitumą atstumia);

- Tuo atveju naudojami grunta, nurodyti plėvelių gamintojų instrukcijose. Izoliuojant betonines statybines konstrukcijas jų drėgnis prieš gruntavimą turi būti ne didesnis kaip 4%;

- Kai gruntuojama vandeniu skiedžiamais gruntais, gruntuojamo paviršiaus drėgnis nereglamentuojamas tik ant gruntuojamo paviršiaus negali būti lašelių pavidalo drėgmės;

2.2. Hidroizoliacinių dangų patikimumo kriterijai

Hidroizoliacinių medžiagų gamintojai siūlo įvairiausias medžiagas, dangas, kurių charakteristikos (cheminės, fizinės) skirtingos. Medžiagą renkant konkrečiam objektui, lyginami kriterijai, tačiau yra problema- gamintojų teikiami parametrai skirtingi. Daugelis hidroizoliacinių dangų gamintojų medžiagų sąveikos su paviršiais rodiklių visiškai neteikia, tačiau pagal mokslininkų atliktus tyrimus šie rodikliai turi lemiamą įtaką stogų įrengimo patikimumui.

A. Karablikovas (2007) savo tyrimuose hidroizoliacinių dangų patikimumą siūlo vertinti šiais kriterijais: siūlės sulydymo stiprumas, galutinis siūlės storis, siūlių nepriklijuotų vietų skaičius. Nepriklijuotų vietų skaičius T.Vilutienės ir A.Karablikovo (2010) buvo pasiūlytas išreikšti nesuklijuotų siūlių zonų plotu.

D. Balčiūnas (2012) rekomendavo bituminių ritininių dangų siūlių tarpusavio sulydymo kokybę vertinti priklausomai nuo kaitinimo trukmės režimo.

Hidroizoliacinių dangų prilydymo prie paviršių patikimumui vertinimui Mailvaganamas ir kt. (1998) siūlo, remtis paviršiaus savybių kriterijais: betono šiurkštumas ir porėtumas.

Hidroizoliacinių dangų sukibimo su betoniniais paviršiais išsamiai nagrinėjo Zhou ir kt. (2009). Mokslininko teigimu, pagrindinis kriterijus lemiantis hidroizoliacijos prilydymo prie pagrindo patikimumą- paviršiaus šiurkštumas.

Vėlesniuose tyrimuose paviršiaus šiurkštumo ir prilydymo temperatūros kriterijus išskiria Liu ir kt. (2013). Mokslininkas teigia, kad paviršiaus šiurkštumas ir prilydymo temperatūra daro lemiamą įtaką dangos atsparumo šyčiai ir atplėšimui nuo pagrindo stiprumui.

Užsienio ir Lietuvos mokslininkų praktika leidžia teigti, kad hidroizoliacijos nepralaidumas drėgmei priklauso nuo gretutinių siūlių sulydymo patikimumo ir prilydymo prie įvairių paviršių sandarumo.

Šiame darbe kriterijai suklasifikuojami į techninius ir ekonominius posistemius.

Techninių kriterijų grupė sudaryta iš 7 lentelėje pateiktų rodiklių:

7 lentelė. Techninių kriterijų grupė

Eil. Nr.	Rodiklis	Mato vnt	min/max
1	Minimali darbinė temperatūra	°C	min
2	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius gruntuotas	MPa	max
3	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius gruntuotas drėgnas	MPa	max
4	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius negruntuotas	MPa	max
5	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius negruntuotas drėgnas	MPa	max
6	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius gruntuotas	MPa	max
7	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius gruntuotas drėgnas	MPa	max

8	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius negruntuotas	MPa	max
9	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius negruntuotas drėgnas	MPa	max
10	Hidroizoliacijos padengimo storis	mm	max

Ekonominių kriterijų grupė sudaryta iš 9 lentelėje pateiktų rodiklių:

8 lentelė. Ekonominių kriterijų grupė

Eil. Nr.	Rodiklis	Mato vnt	min/ max
1	Hidroizoliacinės dangos medžiagos kaina (su gruntu)	Lt/m ²	min
2	Hidroizoliacinės dangos įrengimo kaina	Lt/m ²	min
3	Medžiagos išeiga	%	min
4	Išdirbis	m ² /val.	max

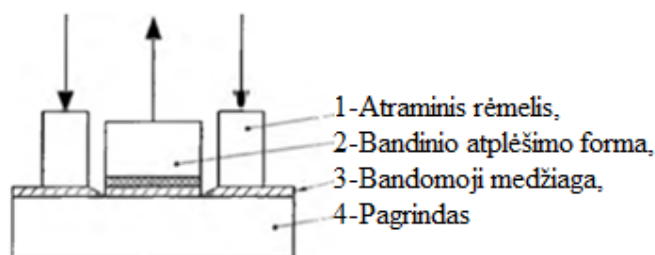
Siekiant nustatyti veiksnius (kriterijus) darančius įtaką hidroizoliacijos patikimumui, atliekamas hidroizoliacijos adhezijos (atplėšimo) nuo betoninių ir skardos paviršių bandymas, pritaikant Lietuvoje, bei užsienyje galiojančias normas, reglamentus.

3.HIDROIZOLIACINIŲ DANGŲ ATPLĖŠIMO BANDYMAS

3.1. Adhezijos bandymo metodika

Šiame tiriamajame darbe atliekamas hidroizoliacinių dangų adhezijos su betono ir skardos paviršiais bandymas. Tyrimo principinė schema atitinka standarto ISO 4624 reikalavimus.

Bandymo principinė schema pavaizduota 17 pav.:



17 pav. Atplėšimo principinė schema (ISO 4624)

Nuplėšimo stiprumas σ išreiškiamas MPa ir apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\sigma = \frac{F}{A}, \quad (5)$$

kai F- nuplėšimo jėga (N), A- nuplėšimo plotas (mm²)

Kai bandymo formos yra 20 mm diametro, nuplėšimo stiprumas skaičiuojamas:

$$\sigma = \frac{4F}{400\pi} = F/314. \quad (6)$$

Tyrimui panaudotos 20 mm diametro atplėšimo formos. Šios formos pasirinktos dėl mechanizmo instrukcijose nurodytų atplėšimo parametrų, atplėšimo ribos 0-20 MPa.

Po atplėšimo buvo vizualiai nustatytas kiekvieno bandinio reljefas 10 % tikslumu (9 lentelė).

9 lentelė. Atplėšimo tipo klasifikacija (ISO 4624)

Atplėšimo žymuo	Atplėšimo atvejis
A	pagrindo nuplėšimas
A/B	pirmojo sluoksnio nuo pagrindo atplėšimas
B	pirmojo sluoksnio sudėtinių dalių išsisluoksniavimas
B/C	pirmo sluoksnio nuo antro sluoksnio atplėšimas
n	sluoksnio nuplėšimas esant daugiakiekiui sluoksnių skaičiui
n/m	nuplėšimas tarp n ir m sluoksnio
-/Y	klijų nuo viršutinio sluoksnio nulūpimas (klijų atsisluoksniavimas)
Y	klijų nulūpimas
Y/Z	nulūpimas tarp bandinio formos ir klijų (klijų atsisluoksniavimas)

Atplėšimo tipo klasifikacinė lentelė panaudota kaip pagalbinė priemonė gautų tyrimo rezultatų apibendrinimui.

3.2. Hidroizoliacinių dangų atplėšimo bandymo eiga

Adhezijos tyrimo tikslas - nustatyti hidroizoliacinių dangų sukibimo su betono, metalo skardos paviršiais stiprumą esant normaliomis ir kritinėms įrengimo sąlygomis, kad surasti veiksnius lemiančius įrengimo patikimumą.

Hidroizoliacijos atsparumą plėšimui įvertinti, esant normaliomis (statybvietės) įrengimo sąlygomis, buvo atlikti šie hidroizoliacijos įrengimo etapai:

- paviršiaus paruošimas (pašalinti paviršiaus nelygumai, dulkės);
- patikrintas paviršiaus drėgnumas;
- betonas padengtas gruntu.

Statybvietės sąlygomis buvo sumontuotas klojinys betono plokštėms (500x500x50, 400x400x50 mm) išlieti.

Betonavimo formos buvo užpildytos, betonas suvibruotas ir paliktas kietėti. Po betonavimo darbų praėjus dviems dienoms buvo nuimti klojiniai, pašalinti paviršiaus nelygumai, betono luitai palikti džiuoti sausoje patalpoje, 15 dienų.

Paviršiaus drėgnumas buvo pamatuotas praėjus 15 dienų. Nustatytas 3,1-5,5 % drėgnumas. Nuspręsta atlikti sekančius darbus, kadangi paviršiaus drėgnumas leistinose ribose.

Reikalaujamoms sąlygoms užtikrinti, nuo betono paviršiaus buvo pašalintos dulkės, plokštės buvo nugruntuotos specialu tam skirtu bituminiu gruntu ir paliktos 48 val. kol gruntas įsigers į betono paviršių.

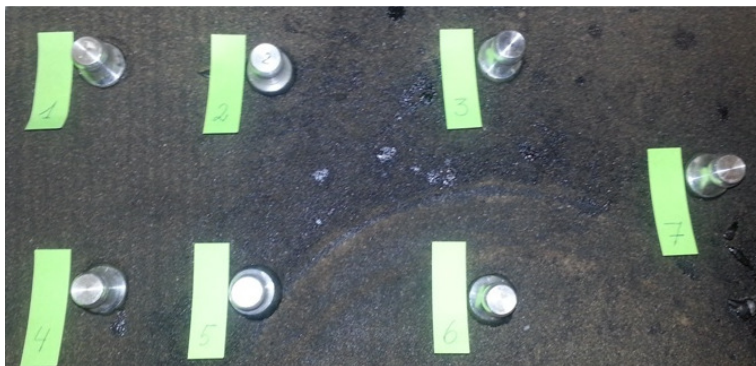
Bandomoji medžiaga nr.1 - bituminė ritininė danga (armuota neaustu poliesteriu). Hidroizoliacinę dangą prilydė specialistai, statybvietės sąlygomis. Ritininė danga buvo kaitinama, kol sąlyčio su betono paviršiumi pasirodė nedidelis (3mm) bitumo išteklėjimas.

Po hidroizoliacijos prilydymo darbų, plokštės buvo paliktos sausoje patalpoje, kol bituminė danga atauš.

Vėliau prie bituminės dangos paviršiaus, epoksidiniais klijais buvo priklijuotos specialios formos, skirtos adhezijos bandymui atlikti. Bandymas buvo atliktas su mechaniniu atplėšimo mechanizmu (angl. DeFelsko PosiTect pull-off adhesion tester).



18 pav. Atplėšimo mechanizmas



19 pav. Atplėšimo formos, sukljuotos ant bituminės ritininės dangos

Tyrimo metu pastebėta, kad nuplėšto bandinio prilydymo reljefas kiekvienu atplėšimo atveju yra skirtingas.



20 pav. Atplėšti bituminės dangos bandiniai

Bandomoji medžiaga nr.2 - prilydoma bituminė danga, modifikuota sbs, armuota poliesterio audiniu (kaitinamas paviršius profiliuotas).



21 pav. Medžiagos nr.2 prilydymo darbai

Bandiniai buvo paruošti laikantis vienodų bandymo sąlygų, numatytų tyrimo metodikoje.



22 pav. Bandymo formos, suklijuotos ant medžiagos nr.2.

Po nuplėšimo buvo nustatytas dangos sukibimo su paviršiumi stiprumas.



23 pav. Medžiagos nr.2 atplėšti bandiniai

Bandymo medžiaga nr.3 ir nr.4 - teptinė polimerinė (vienkomponentė) ir modifikuota SBS mastika.



24 pav. Medžiagos nr.3, 4 paruošimas bandymui



25 pav. Medžiagos nr.3, 4 bandinių atplėšimas

Bandymo medžiaga nr.5 - savaime limpanti bitumo-gumos (kryžmiškai sluoksniuotos HDPE plėvele) ritininė danga.



26 pav. Medžiagos nr.5 priklijuoti bandiniai

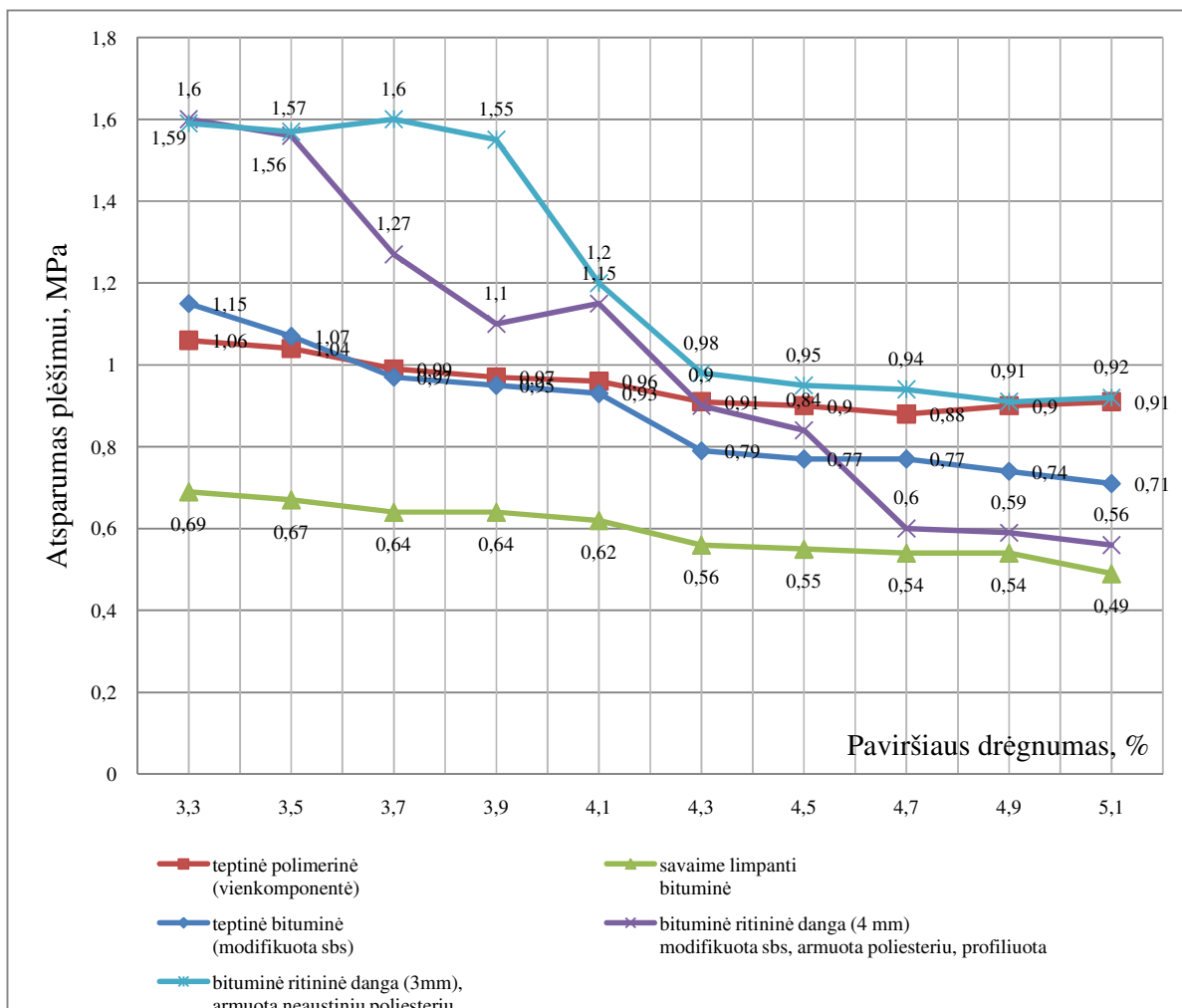
Tyrimo metu siekiant įvertinti sukibimo stiprumą su betonu esant kritinėmis hidroizoliacijos įrengimo sąlygomis, buvo atlikti bandymai, kurių hidroizoliuojamas paviršius paruoštas skirtingomis sąlygomis:

- negruntuotas;
- drėgnas, negruntuotas;
- drėgnas, gruntuotas.



27 pav. Betoninė bandymo plokštė

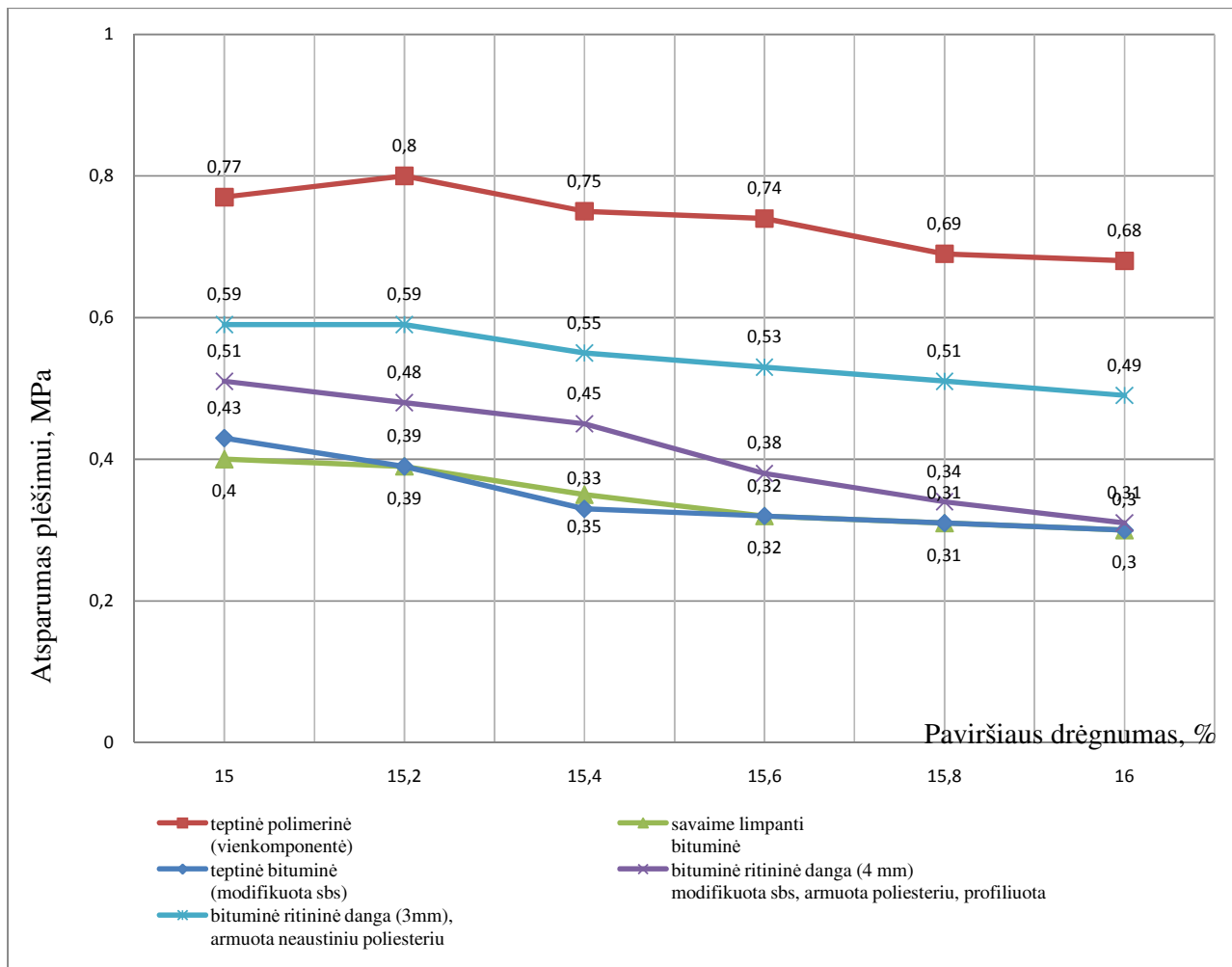
Atlikto tyrimo rezultatai pateikiami atsparumo plėšimui priklausomybės nuo paviršiaus drėgnumo grafikuose (28-31 pav.).



28 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo betono paviršiaus diagrama (paviršius gruntuotas)

10 lentelė. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo betono paviršiaus rezultatai (paviršius gruntuotas)

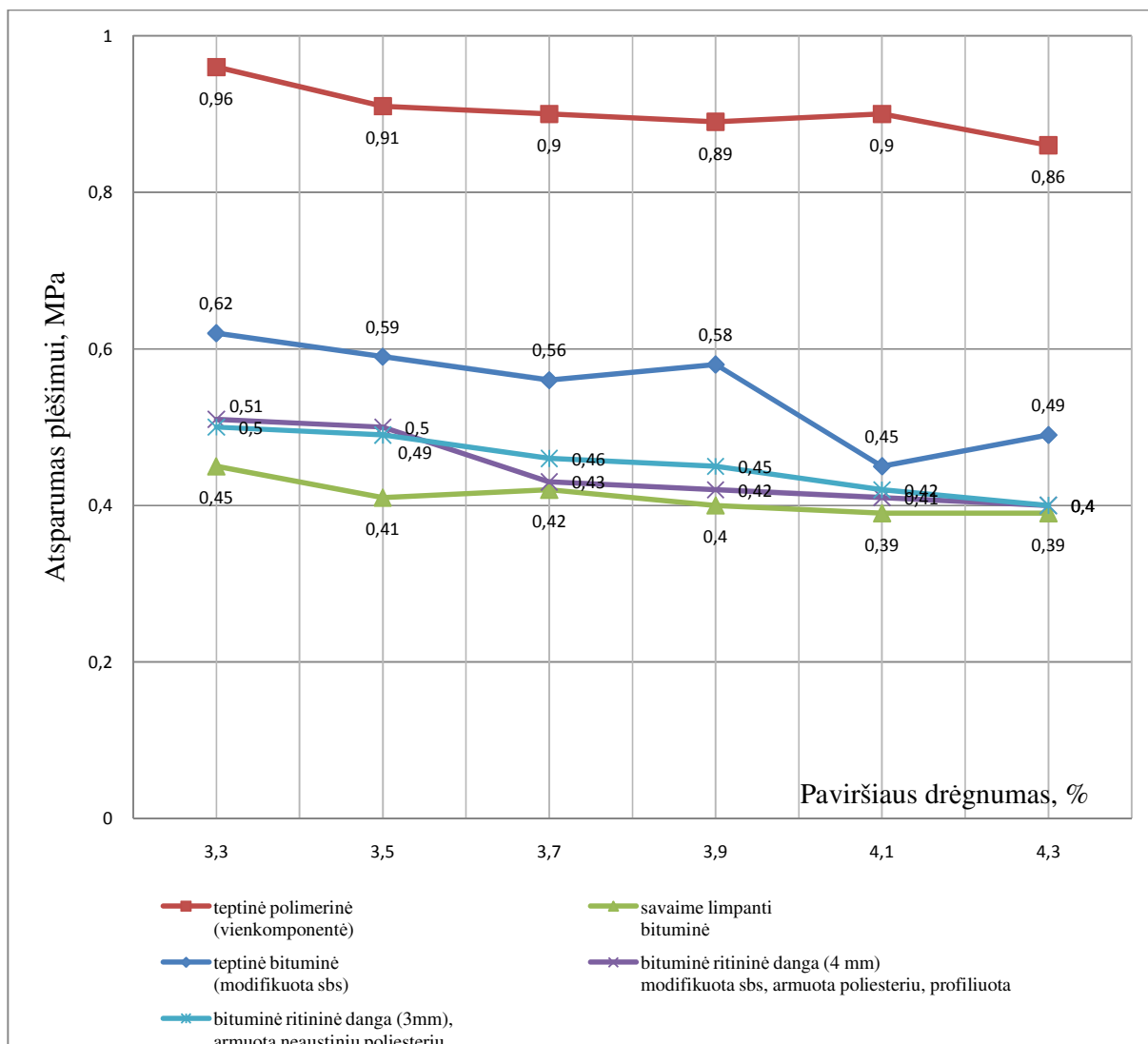
Paviršius gruntuotas					
Drėgnumas, %	teptinė bituminė (modifikuota sbs)	teptinė polimerinė (vienkomponentė)	savaime limpanti bituminė	bituminė ritininė danga (4 mm) modifikuota sbs, armuota poliesteriu, profiliuota	bituminė ritininė danga (3mm), armuota neaustiniu poliesteriu
3,3	1,15	1,06	0,69	1,6	1,59
3,5	1,07	1,04	0,67	1,56	1,57
3,7	0,97	0,99	0,64	1,27	1,6
3,9	0,95	0,97	0,64	1,1	1,55
4,1	0,93	0,96	0,62	1,15	1,2
4,3	0,79	0,91	0,56	0,9	0,98
4,5	0,77	0,9	0,55	0,84	0,95
4,7	0,77	0,88	0,54	0,6	0,94
4,9	0,74	0,9	0,54	0,59	0,91
5,1	0,71	0,91	0,49	0,56	0,92
vidutinė reikšmė	0,89	0,95	0,59	1,02	1,22



29 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo betono paviršiaus diagrama (paviršius gruntuotas, drėgnas)

11 lentelė. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo betono paviršiaus rezultatai

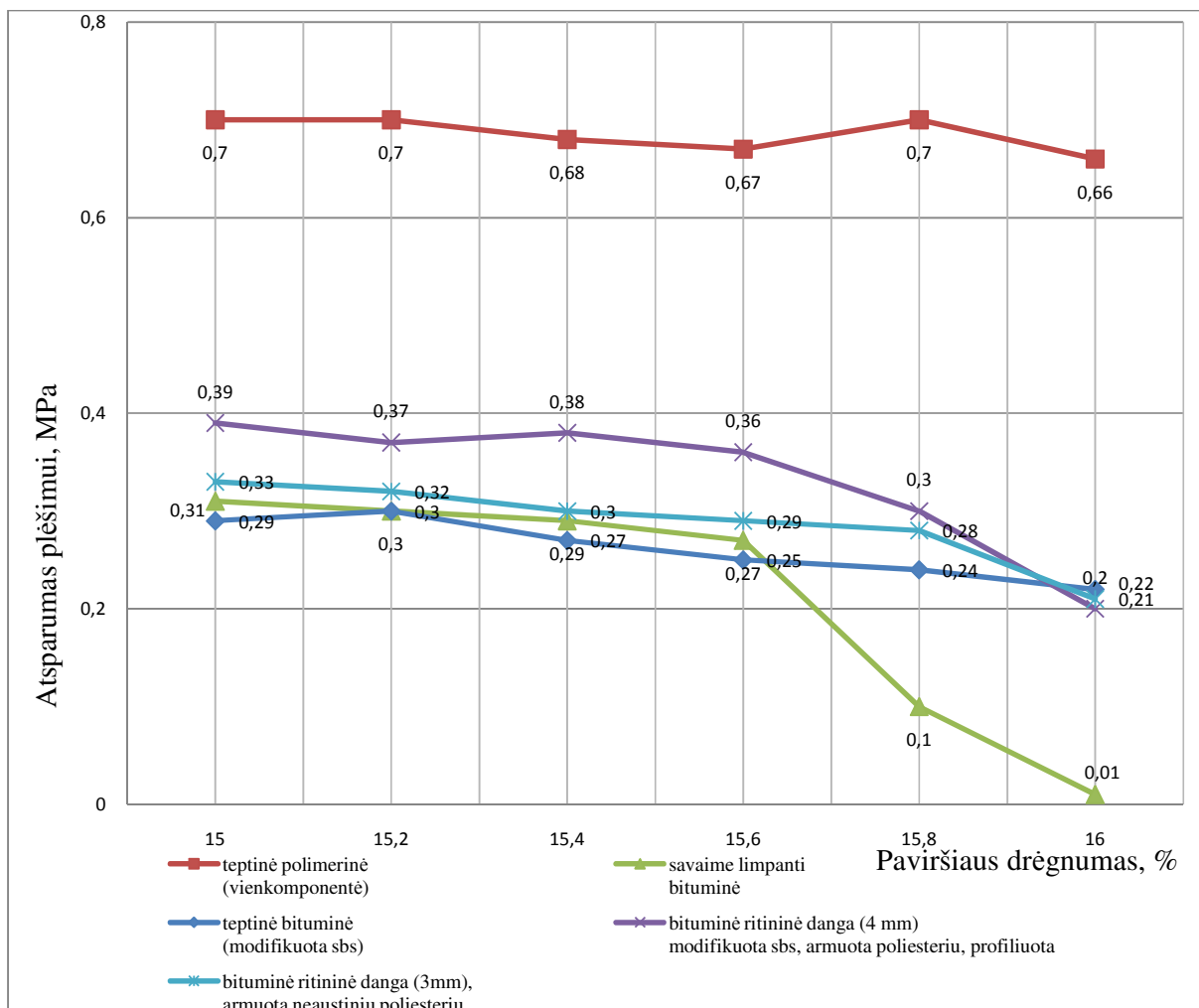
Paviršius gruntuotas drėgnas					
Drėgnumas, %	teptinė bituminė (modifikuota sbs)	teptinė polimerinė (vienkomponentė)	savaimė limpanti bituminė	bituminė ritininė danga (4 mm) modifikuota sbs, armuota poliesteriu, profiliuota	bituminė ritininė danga (3mm), armuota neaustiniu poliesteriu
15	0,43	0,77	0,4	0,51	0,59
15,2	0,39	0,8	0,39	0,48	0,59
15,4	0,33	0,75	0,35	0,45	0,55
15,6	0,32	0,74	0,32	0,38	0,53
15,8	0,31	0,69	0,31	0,34	0,51
16	0,3	0,68	0,3	0,31	0,49
vidutinė reikšmė	0,35	0,74	0,35	0,41	0,54



30 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo betono paviršiaus diagrama (paviršius negruntuotas)

12 lentelė. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo betono paviršiaus rezultatai

Paviršius negruntuotas					
Drėgnumas, %	teptinė bituminė (modifikuota sbs)	teptinė polimerinė (vienkomponentė)	savaime limpanti bituminė	bituminė ritininė danga (4 mm) modifikuota sbs, armuota poliesteriu, profiliuota	bituminė ritininė danga (3mm), armuota neaustiniu poliesteriu
3,3	0,62	0,96	0,45	0,51	0,5
3,5	0,59	0,91	0,41	0,5	0,49
3,7	0,56	0,9	0,42	0,43	0,46
3,9	0,58	0,89	0,4	0,42	0,45
4,1	0,45	0,9	0,39	0,41	0,42
4,3	0,49	0,86	0,39	0,4	0,4
vidutinė reikšmė	0,55	0,90	0,41	0,45	0,45



31 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėsimui nuo betono paviršiaus diagrama (paviršius negruntuotas, drėgnas)

13 lentelė. Hidroizoliacijos atsparumo plėsimui nuo betono paviršiaus rezultatai

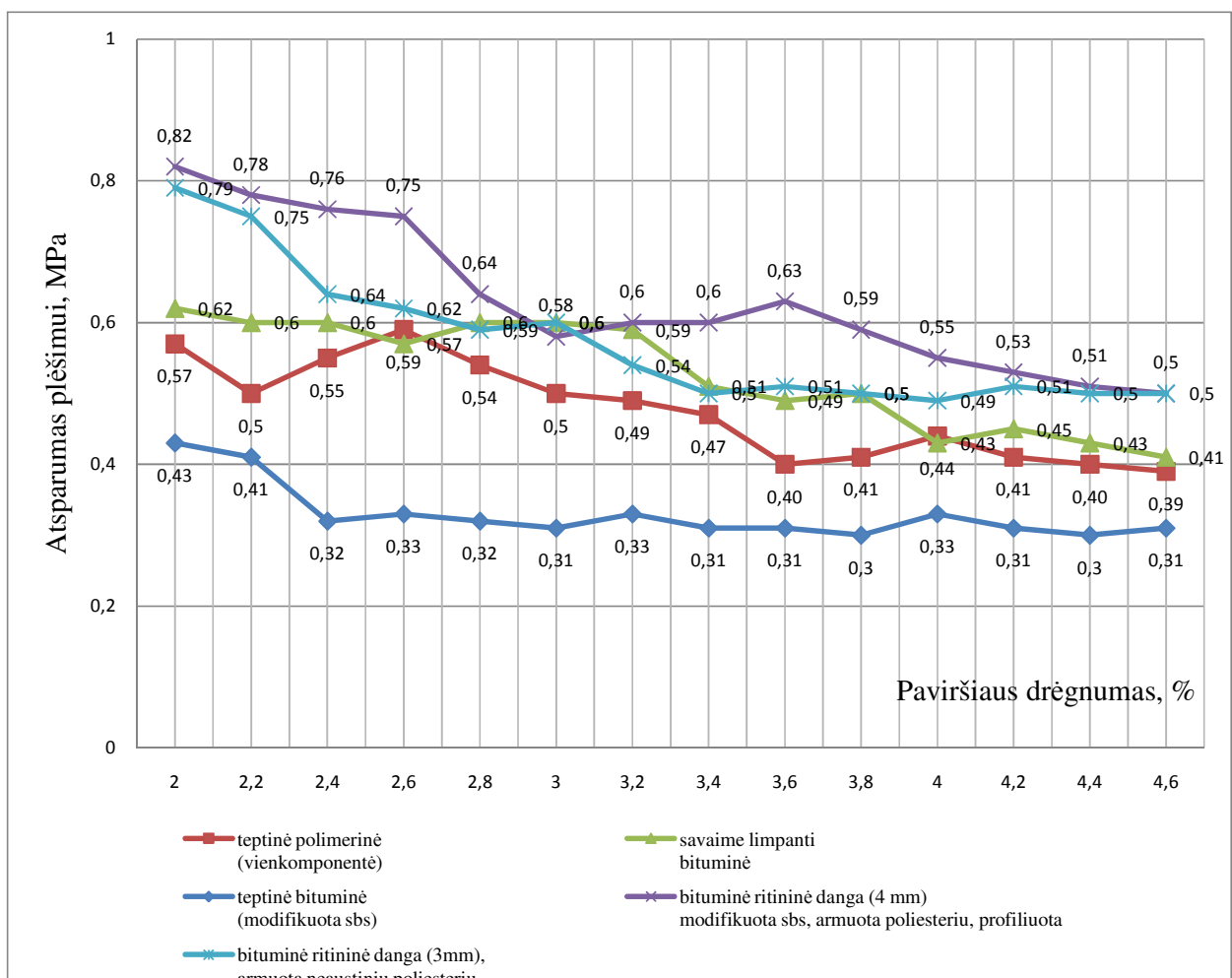
Paviršius negruntuotas drėgnas					
Drėgnumas, %	teptinė bituminė (modifikuota sbs)	teptinė polimerinė (vienkomponentė)	savaimė limpanti bituminė	bituminė ritininė danga (4 mm) modifikuota sbs, armuota poliesteriu, profiliuota	bituminė ritininė danga (3mm), armuota neaustiniu poliesteriu
15	0,29	0,7	0,31	0,39	0,33
15,2	0,3	0,7	0,3	0,37	0,32
15,4	0,27	0,68	0,29	0,38	0,3
15,6	0,25	0,67	0,27	0,36	0,29
15,8	0,24	0,7	0,1	0,3	0,28
16	0,22	0,66	0,01	0,2	0,21
vidutinė reikšmė	0,26	0,69	0,21	0,33	0,29

Kitas bandymas buvo atliktas naudojant medžiagas nr.1-5, kad nustatyti sukibimo stiprumą su metalo skarda, kai paviršius yra paruoštas ne vienodomis sąlygomis.



32 pav. Atlėšimo nuo skardos bandiniai

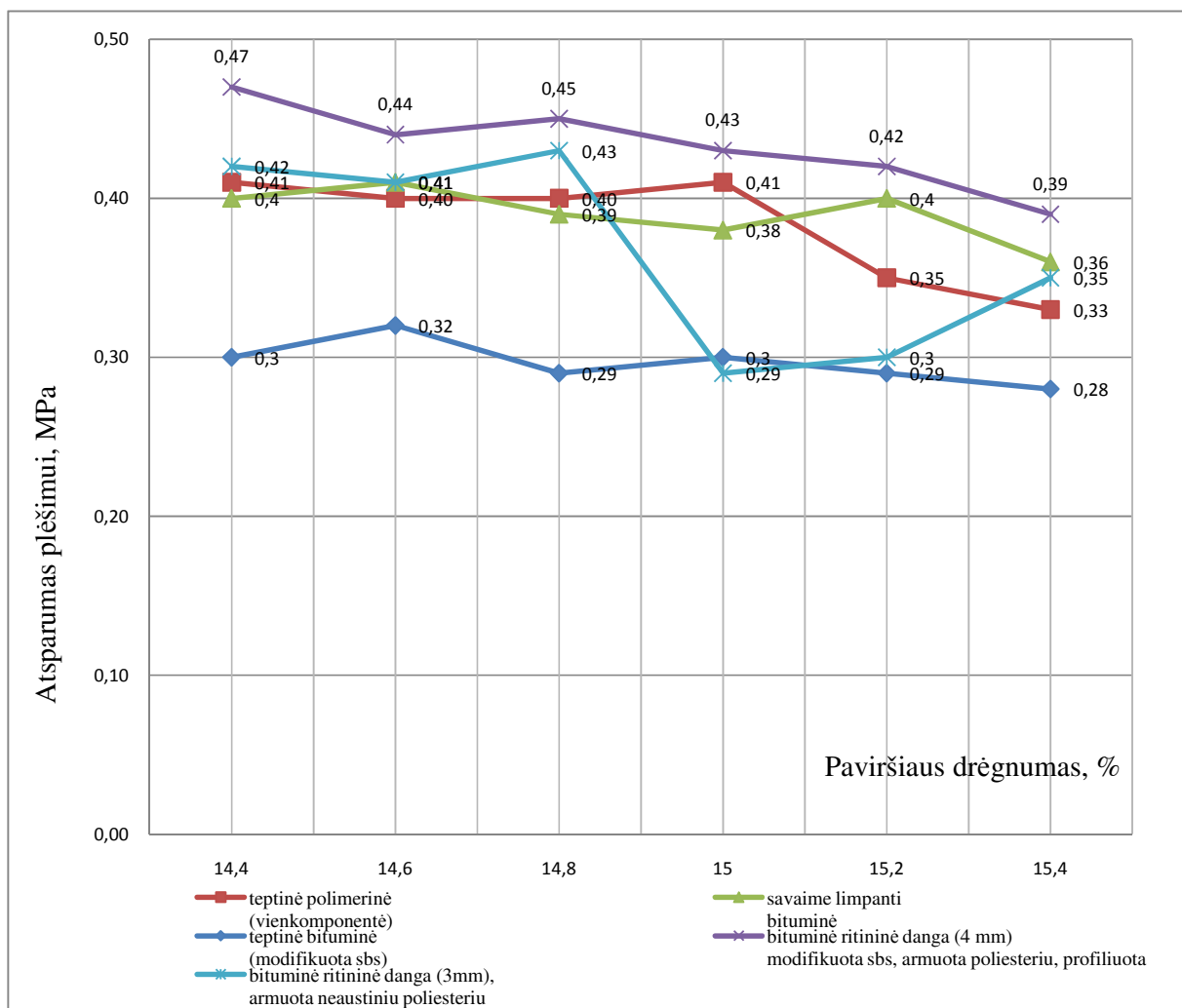
Atlikto tyrimo rezultatai pateikiami atsparumo plėšimui priklausomybės nuo paviršiaus drėgnumo grafikuose (33-36 pav.).



33 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo skardos paviršiaus diagrama (paviršius gruntuotas)

14 lentelė. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo skardos paviršiaus rezultatai

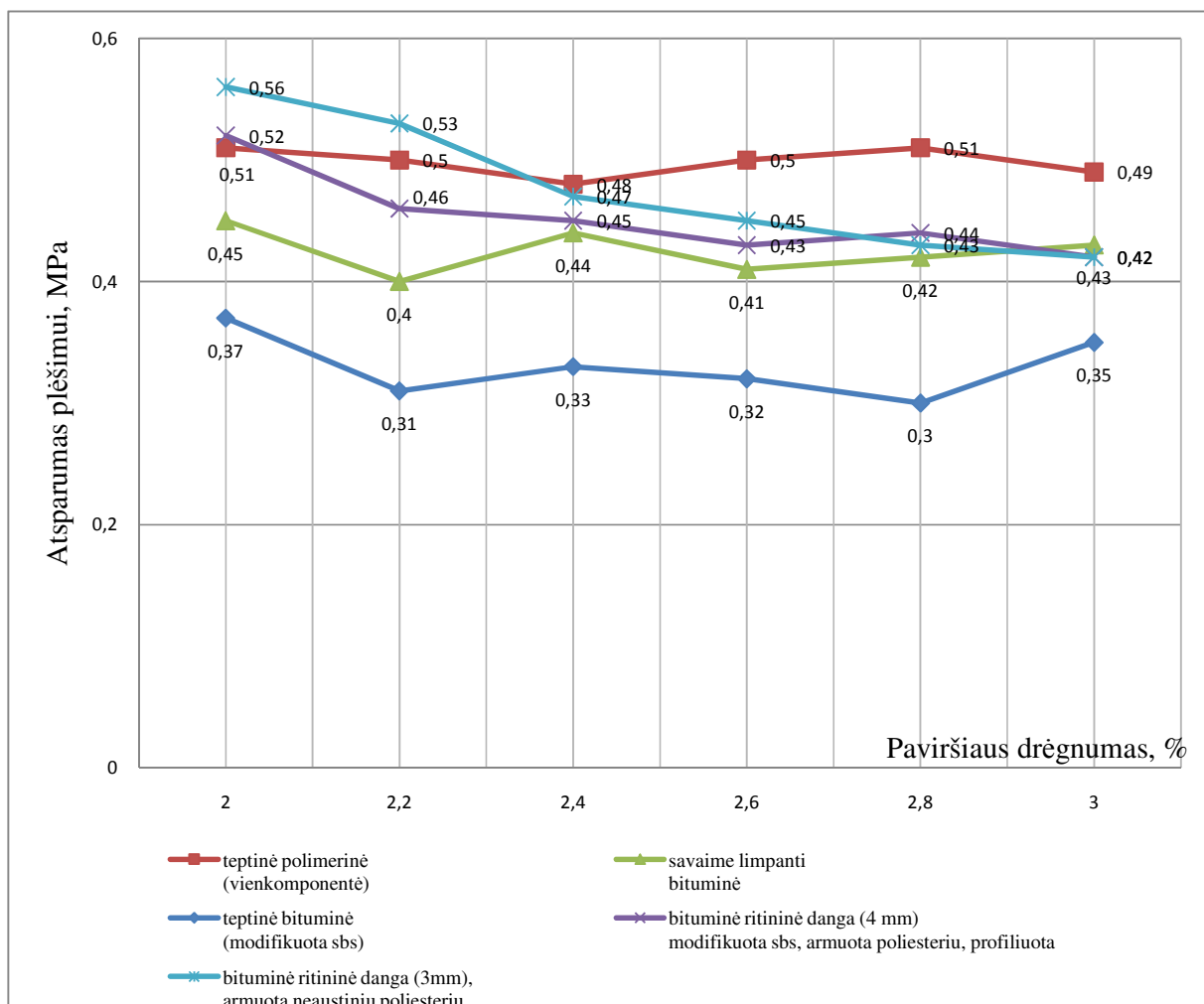
Paviršius gruntuotas					
Drėgnumas, %	teptinė bituminė (modifikuota sbs)	teptinė polimerinė (vienkomponentė)	savaime limpanti bituminė	bituminė ritininė danga (4mm) modifikuota sbs, armuota poliesteriu, profiluota	bituminė ritininė danga (3mm), armuota neaustriniu poliesteriu
2	0,43	0,57	0,62	0,82	0,79
2,2	0,41	0,5	0,6	0,78	0,75
2,4	0,32	0,55	0,6	0,76	0,64
2,6	0,33	0,59	0,57	0,75	0,62
2,8	0,32	0,54	0,6	0,64	0,59
3	0,31	0,5	0,6	0,58	0,6
3,2	0,33	0,49	0,59	0,6	0,54
3,4	0,31	0,47	0,51	0,6	0,5
3,6	0,31	0,40	0,49	0,63	0,51
3,8	0,3	0,41	0,5	0,59	0,5
4	0,33	0,44	0,43	0,55	0,49
4,2	0,31	0,41	0,45	0,53	0,51
4,4	0,3	0,40	0,43	0,51	0,5
4,6	0,31	0,39	0,41	0,5	0,5
vidutinė reikšmė	0,33	0,48	0,53	0,63	0,57



34 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo skardos paviršiaus diagrama (paviršius gruntuotas, drėgnas)

15 lentelė. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo skardos paviršiaus rezultatai

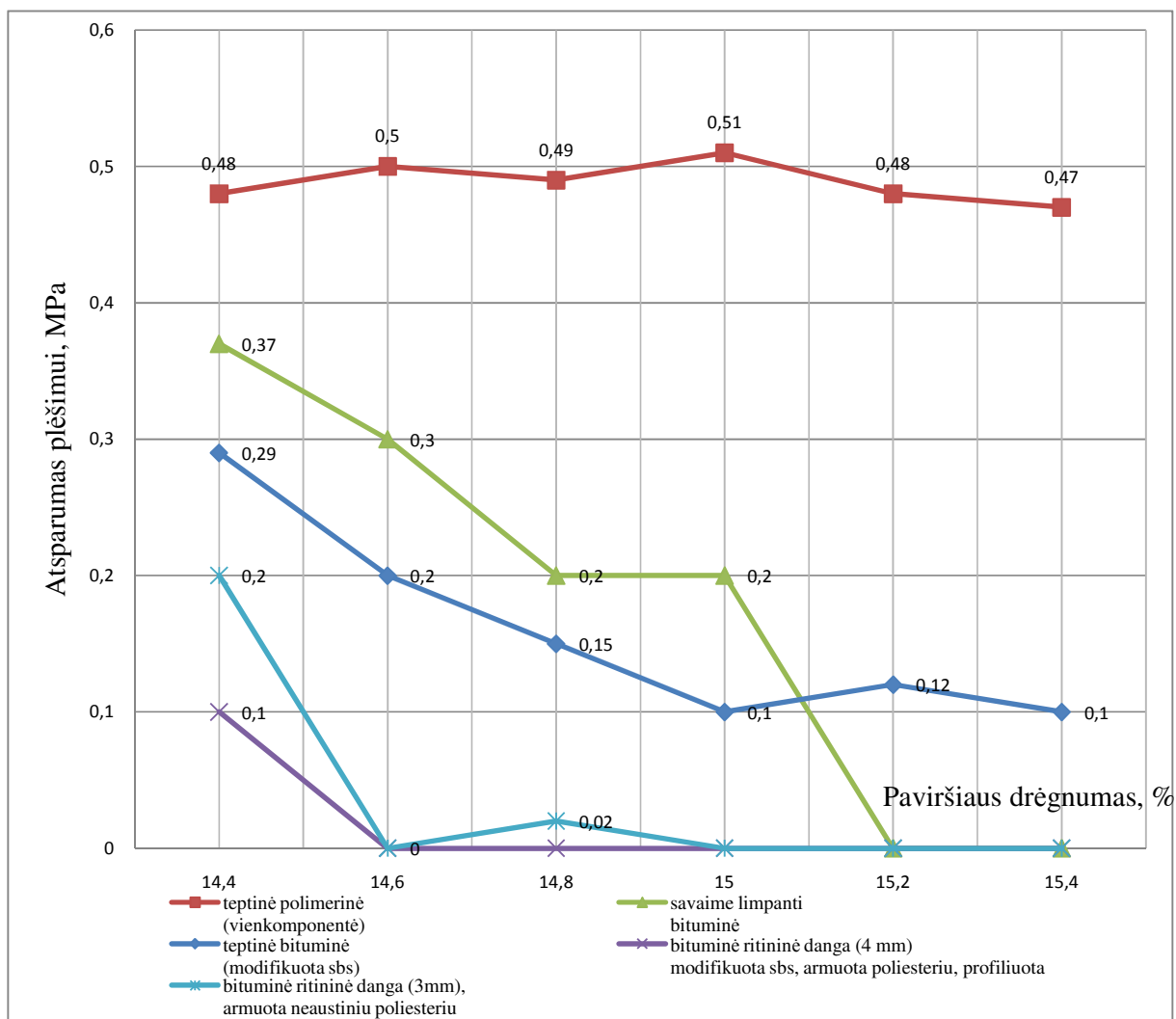
Paviršius gruntuotas drėgnas					
Drėgnumas, %	teptinė bituminė (modifikuota sbs)	teptinė polimerinė (vienkomponentė)	savaime limpanti bituminė	bituminė ritininė danga (4mm) modifikuota sbs, armuota poliesteriu, profiliuota	bituminė ritininė danga (3mm), armuota neaustiniu poliesteriu
14,4	0,3	0,41	0,4	0,47	0,42
14,6	0,32	0,40	0,41	0,44	0,41
14,8	0,29	0,40	0,39	0,45	0,43
15	0,3	0,41	0,38	0,43	0,29
15,2	0,29	0,35	0,4	0,42	0,3
15,4	0,28	0,33	0,36	0,39	0,35
vidutinė reikšmė	0,30	0,38	0,39	0,43	0,37



35 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo skardos paviršiaus diagrama (paviršius negruntuotas)

16 lentelė. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo skardos paviršiaus rezultatai

Paviršius negruntuotas					
Drėgnumas, %	teptinė bituminė (modifikuota sbs)	teptinė polimerinė (vienkomponentė)	savaimė limpanti bituminė	bituminė ritininė danga (4mm) modifikuota sbs, armuota poliesteriu, profiliuota	bituminė ritininė danga (3mm), armuota neaustiniu poliesteriu
2	0,37	0,51	0,45	0,52	0,56
2,2	0,31	0,5	0,4	0,46	0,53
2,4	0,33	0,48	0,44	0,45	0,47
2,6	0,32	0,5	0,41	0,43	0,45
2,8	0,3	0,51	0,42	0,44	0,43
3	0,35	0,49	0,43	0,42	0,42
vidutinė reikšmė	0,33	0,50	0,43	0,45	0,48



36 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo skardos paviršiaus diagrama (paviršius negruntuotas, drėgnas)

17 lentelė. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo skardos paviršiaus rezultatai

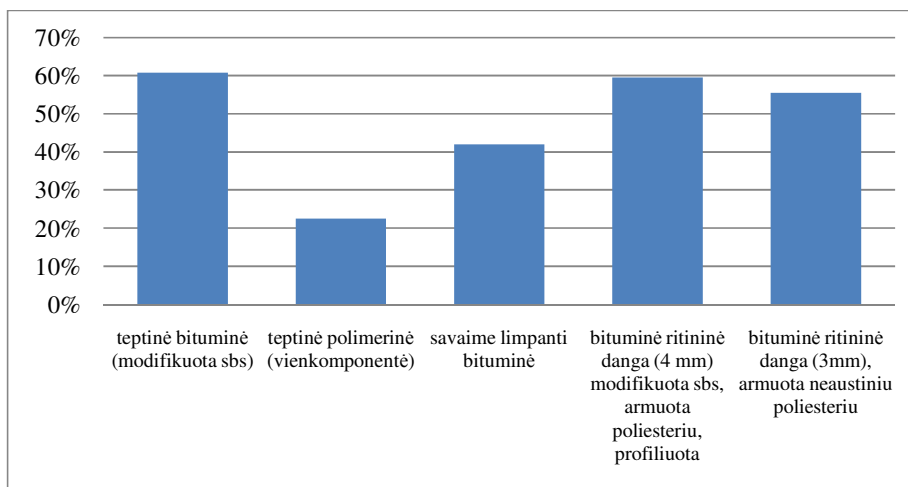
Paviršius negruntuotas drėgnas					
Drėgnumas, %	teptinė bituminė (modifikuota sbs)	teptinė polimerinė (vienkomponentė)	savaime limpanti bituminė	bituminė ritininė danga (4mm) modifikuota sbs, armuota poliesteriu, profiliuota	bituminė ritininė danga (3mm), armuota neaustiniu poliesteriu
14,4	0,29	0,48	0,37	0,1	0,2
14,6	0,2	0,5	0,3	0	0
14,8	0,15	0,49	0,2	0	0,02
15	0,1	0,51	0,2	0	0
15,2	0,12	0,48	0	0	0
15,4	0,1	0,47	0	0	0
vidutinė reikšmė	0,16	0,49	0,18	0,02	0,04

Bandymo metu, buvo pastebėta, kad tepama bituminė danga ant drėgno gruntuoto, negruntuoto paviršiaus tepasi ne tolygiai, vietomis susidaro neužpildytos ertmės, o tai daro neigiamą poveikį galutiniam dangos patikimumui. Tepama vienkomponentė danga ant drėgno paviršiaus tepasi plonesniu sluoksniu, kas daro neigiama įtaką hidroizoliacijos galutiniam sluoksnio storiui. SBS modifikuotos dangos rievėtas paviršius turėjo neigiamos įtakos prilijimo prie skardos stiprumui, nes priešingai nei su betonu, dangos nelygumai sumažino prilijimo paviršiaus plotą.

3.3. Hidroizoliacinių dangų atplėšimo bandymo rezultatai

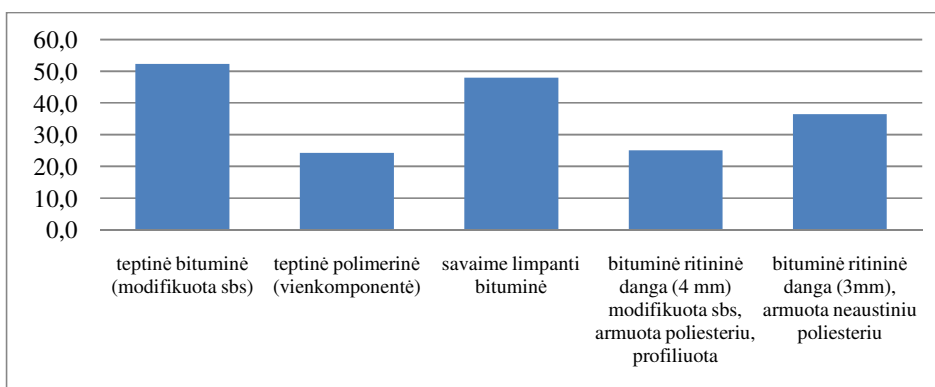
Hidroizoliacijos atplėšimo nuo pagrindo bandymo rezultatai įrodo, kad silpniau sukibusi danga drėgnesnio paviršiaus zonose. Bandymo duomenimis, mažiausias sukibimo su paviršiais stiprumas artimas ribiniam leistinam, kai dangos įrengimo darbų sąlygos normalios. Paviršiui esant drėgnam (15-16 %) hidroizoliacijos atsparumas plėšimui tampa ribinis ir mažesnis.

Hidroizoliacijos atsparumo adhezijai priklausomybės nuo paviršiaus drėgnumo grafike pastabėta, kad daugumos hidroizoliacijų dangų sukibimo su betonu stiprumas sumažėja 22-60%, kur hidroizoliuojamas paviršiaus drėgnumas nustatytas 5,1-15 % (37 pav.). Atsparumas plėšimui mažiausiai kinta vienkomponentės, drėgmei atsparios hidroizoliacinės dangos zonoje, tačiau pastebėta, kad dėl didesnio drėgnumo sumažėja šios dangos padengimo storis.



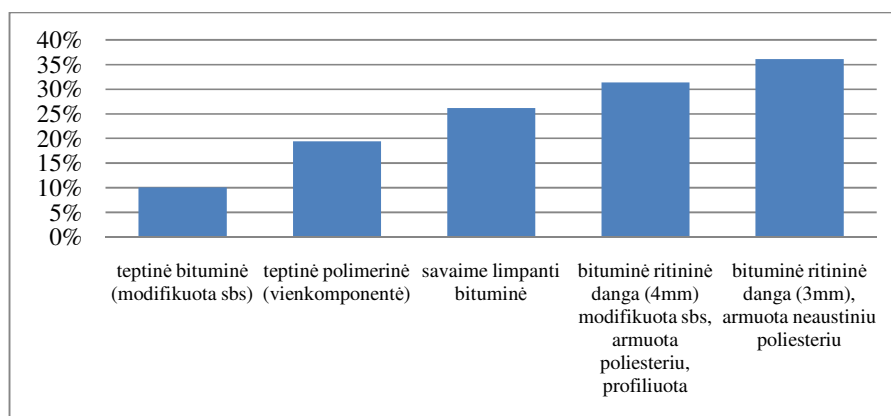
37 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo betono paviršiaus (drėgnumo intervale 3,3-16%) vid. reikšmių pokytis (paviršius gruntuotas)

Negruntuoto, betoninio paviršiaus bandinių, kurių drėgnumas 5-15 %, hidroizoliacinių dangų atsparumas plėšimui vidutiniškai sumažėjo 24-52 % (38 pav.), o kai kur bandiniai visiškai nesukibo su paviršiumi.

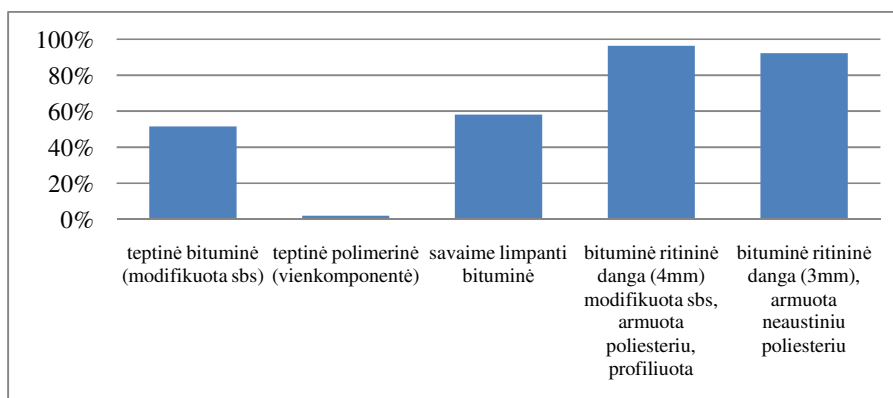


38 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo betono paviršiaus (drėgnumo intervale 3,3-16%) vid. reikšmių pokytis (paviršius negruntuotas)

Hidroizoliacinių dangų adhezijos su skarda tyrime nustatyta, kad gruntuoto paviršiaus zonoje atsparumas plėšimui vidutiniškai sumažėjo 10-36 % (39 pav.), o negruntuoto vidutiniškai 70 % (40 pav.). Mažiausią stiprumo pokitį turėjo vienkomponentė, drėgmei atspari danga, tačiau drėgnesnio paviršiaus zonoje suplonėjo dengiamasis storis.



39 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo skardos paviršiaus (drėgnumo intervale 2-15,4%) vid. reikšmių pokytis (paviršius gruntuotas)



40 pav. Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui nuo skardos paviršiaus (drėgnumo intervale 2-15,4%) vid. reikšmių pokytis (paviršius negruntuotas)

4. HIDROIZOLIACINIŲ DANGŲ ĮRENGIMO RACIONALIAUS VARIANTO PARINKIMAS

4.1. Efektyvumo rodiklių sistema

Hidroizoliacinių dangų įrengimo racionalaus varianto parinkimo skaičiavime buvo atlikta techninių, ekonominių rodiklių klasifikacija remiantis gamintojų teikiama medžiagų charakteristika, eksperimentinėje dalyje nustatytais rodikliais.

Techniniai rodikliai:

Minimali darbinė temperatūra. Matavimo vienetai - Celsijus, °C. Tai kiekybinis minimizavimo rodiklis, rodantis minimalią temperatūrą, kurioje galima dirbti su medžiaga. Kuo žemesnė temperatūra, tuo priimtinau.

Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius gruntuotas. Matavimo vienetai – Megapaskaliai, MPa. Tai kiekybinis maksimizavimo rodiklis, rodantis medžiagos sukibimo su betono pagrindu (kai betono paviršius gruntuotas) patikimumą.

Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius gruntuotas drėgnas. Matavimo vienetai – Megapaskaliai, MPa. Tai kiekybinis maksimizavimo rodiklis, rodantis medžiagos sukibimo su betono pagrindu (kai betono paviršius gruntuotas ir drėgnas) patikimumą.

Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius negruntuotas. Matavimo vienetai – Megapaskaliai, MPa. Tai kiekybinis maksimizavimo rodiklis.

Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius negruntuotas drėgnas. Matavimo vienetai – Megapaskaliai, MPa. Tai kiekybinis maksimizavimo rodiklis.

Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius gruntuotas. Matavimo vienetai – Megapaskaliai, MPa. Tai kiekybinis maksimizavimo.

Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius gruntuotas drėgnas. Matavimo vienetai – Megapaskaliai, MPa. Tai kiekybinis maksimizavimo rodiklis.

Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius negruntuotas. Matavimo vienetai – Megapaskaliai, MPa. Tai kiekybinis maksimizavimo rodiklis.

Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius negruntuotas drėgnas. Matavimo vienetai – Megapaskaliai, MPa. Tai kiekybinis maksimizavimo rodiklis, rodantis medžiagos sukibimo su skardos paviršiumi (kai skardos paviršius negruntuotas ir drėgnas) patikimumą.

Hidroizoliacijos padengimo storis. Matavimo vienetai – milimetrai, mm. Tai kiekybinis maksimizavimo rodiklis, rodantis medžiagos galutinį storį. Kuo rodiklis didesnis, tuo patikimiau.

Ekonominiai rodikliai:

Hidroizoliacinės dangos medžiagos kaina (su gruntu). Matavimo vienetas – Lt/m². Tai minimizavimo rodiklis.

Hidroizoliacinės dangos įrengimo kaina. Matavimo vienetas – Lt/m². Tai minimizavimo rodiklis.

Medžiagos išeiga. Matavimo vienetas - %. Tai kiekybinis minimizavimo rodiklis. Išeiga nustatyta naudojantis formule:

$$\text{Išeiga} = \frac{\text{Medžiagos likutinis plotas nuo dangos ploto vieneto}}{\text{Hidroizoliacinės dangos ploto vienetas}} \times 100. \quad (7)$$

Norminis išdirbis. Matavimo vienetas – kv.m./val.. Tai kiekybinis maksimizavimo rodiklis.

4.2. Optimalios hidroizoliacijos parinkimas taikant COPRAS daugiakriterį metodą

Hidroizoliacinių dangų įrengimo racionalaus varianto parinkimas vykdomas efektyvumo rodiklius suskirstant į skirtingus posistemius: techninius ir ekonominius.

Optimalios alternatyvos parinkimui **pagal techninius parametrus** buvo panaudota ekspertų nuomonė. Šiame uždavinyje apklausti 5 ekspertai, vertinimo skalė nuo 1 iki 5, kai 1- labai prastai, 5- labai gerai, kiti balai – tarpinės reikšmės :

18 lentelė. Ekspertinis techninių rodiklių vertinimas

Ekspertai R=5	Minimali darbinė temperatūra	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius gruntuotas	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius gruntuotas drėgnas	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius neguntuotas	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius neguntuotas drėgnas	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius gruntuotas	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius gruntuotas drėgnas	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius neguntuotas	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius neguntuotas drėgnas	Hidroizoliacijos įrengimo storis
1	3	4	5	1	2	4	3	1	1	1
2	5	4	4	2	2	5	2	2	1	3

3	4	3	3	3	3	3	2	2	3	1
4	2	4	4	1	1	5	3	1	1	2
5	4	3	2	3	3	3	3	3	1	1

Kad nustatyti ar ekspertų nuomonė vieninga, nustatomas nuomonės patikimumas. Konkordacijos koeficientas apskaičiuojamas naudojantis 8 formule:

$$W = \frac{12 S}{r^2(n^3-n)} = \frac{12 \cdot 1956}{5^2(10^3-10)} = 0,95. \quad (8)$$

19 lentelė. Ekspertinio vertinimo konkordacijos koeficiento skaičiavimas

Ekspertai R=5	Minimali darbinė temperatūra	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius gruntuotas	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius gruntuotas drėgnas	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius negruntuotas	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius negruntuotas drėgnas	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius gruntuotas	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius gruntuotas drėgnas	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius negruntuotas	Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius negruntuotas drėgnas	Hidroizoliacijos įrengimo storis
Įvertinimų suma	18	18	18	10	11	20	13	9	7	8
Vidutinės kriterijų reikšmės	3,6	3,6	3,6	2	2,2	4	2,6	1,8	1,4	1,6
Kriterijų ranžiruotė	2	2	2	5	4	1	3	6	8	7
Kriterijų reikšmingumas $q_j = \frac{\bar{t}_j}{\sum_{j=1}^n t_j}$	0,136	0,136	0,136	0,075	0,083	0,151	0,098	0,068	0,053	0,060
$\sum_{k=1}^{r=5} (t_{jk} - \bar{t}_j)^2$	5,2	1,2	5,2	4	2,8	4	1,2	2,8	3,2	3,2
Ekspertinių įvertinimų dispersija	1,3	0,3	1,3	1	0,7	1	0,3	0,7	0,8	0,8
Variacija $\beta_j = \frac{\sigma}{\bar{t}_j}$	0,317	0,152	0,317	0,500	0,380	0,250	0,211	0,465	0,639	0,559

Rangų sumos vidurkis	$V = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r t_{jk} = 26,4$
Įvertinimo rezultatų nuokrypių kvadratų suma S	$S = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{k=1}^r t_{jk} - V \right)^2 = 1956$
Konkordacijos koeficientas W	$W = \frac{12 S}{r^2(n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 1956}{5^2(10^3 - 10)} = 0,95$
Konkordacijos koeficiento reikšmingumas x	$x_{\alpha, v}^2 = \frac{12 S}{rn(n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^r T_k} = 42,7$
Norminis konkordacijos koeficiento reikšmingumas	$x_{\alpha, v}^2 = 42,7 > x_{tbl}^2 = 16,92 - \text{ekspertų nuomonė vieninga.}$

Norminė konkordacijos koeficiento reikšmė parinkta pagal laisvės laipsnio skaičių ir patikimumo reikšmę. Laisvės laipsnis gaunamas :

$$v = n - 1,$$

[9]

Kai n-rodiklių skaičius.

Taikant daugiatikslį COPRAS metodą nustatoma geriausia alternatyva.

20 lentelė. Sprendimų matrica

Eil.Nr.	Rodiklis	Mato vnt	min/max	Reikšmingumas	Alternatyvos		
					Bituminė ruloninė danga	Teptinė bituminė danga	Bituminė savaimė limpanti danga
1	<i>Minimali darbinė temperatūra</i>	C	min	0,1364	5	4	0
2	<i>Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius gruntuotas</i>	MPa	max	0,1364	1,22	0,89	0,59
3	<i>Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius</i>	MPa	max	0,1364	0,54	0,35	0,35

	<i>gruntuotas drėgnas</i>						
4	<i>Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius negruntuotas</i>	MPa	max	0,0758	0,45	0,55	0,41
5	<i>Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius negruntuotas drėgnas</i>	MPa	max	0,0833	0,29	0,26	0,21
6	<i>Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius gruntuotas</i>	MPa	max	0,1515	0,57	0,33	0,53
7	<i>Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius gruntuotas drėgnas</i>	MPa	max	0,0985	0,37	0,3	0,39
8	<i>Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius negruntuotas</i>	MPa	max	0,0682	0,48	0,33	0,43

9	<i>Hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius negruntuotas drėgnas</i>	MPa	max	0,0530	0,04	0,16	0,18
10	<i>Hidroizoliacijos įrengimo storis</i>	mm	max	0,0606	7	1,5	1,6

Sudaroma normalizuota ir pasverta COPRAS matrica, naudojantis formule:

$$d_{ij} = \frac{x_{ij} \cdot q_i}{\sum x_{ij}}. \quad (10)$$

Kai x_{ij} -rodiklis, q_i -rodiklio reikšmingumas, $\sum x_{ij}$ -normalizuojamų rodiklių eilutės suma.

21 lentelė. Duomenų matrica

Duomenys		Kriterijai									
		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
Alternatyvos	A1	5	1,22	0,54	0,45	0,29	0,57	0,37	0,48	0,04	7,00
	A2	4	0,89	0,35	0,55	0,26	0,33	0,30	0,33	0,16	1,50
	A3	1	0,59	0,35	0,41	0,21	0,53	0,39	0,43	0,18	1,60
Reikšmingumai		0,1364	0,1364	0,1364	0,0758	0,0833	0,1515	0,0985	0,0682	0,0530	0,0606
$\sum X_i$		10,00	2,70	1,24	1,41	0,76	1,43	1,06	1,24	0,38	10,10

22 lentelė. Pasverta ir normalizuota matrica

Duomenys		Kriterijai									
		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
Alternatyvos	A1	0,068	0,062	0,059	0,024	0,032	0,062	0,041	0,053	0,004	0,767
	A2	0,055	0,045	0,039	0,030	0,028	0,036	0,033	0,036	0,018	0,164
	A3	0,014	0,030	0,039	0,022	0,023	0,058	0,043	0,047	0,020	0,175
Kryptis		min	max	max	max	max	max	max	max	max	max

Nustatoma maksimizuojančių S_{+j} ir minimizuojančių S_{-j} rodiklių sumos:

$$S_{+j} = \sum_{i=1}^m d_{+ij}, \quad (11)$$

$$S_{-j} = \sum_{i=1}^m d_{-ij}. \quad (12)$$

Kai d_{+ij} - normalizuoti maksimizuojantys rodikliai, d_{-ij} - normalizuoti minimizuojantys rodikliai.

23 lentelė. Maksimizuojančių S_{+j} ir minimizuojančių S_{-j} rodiklių sumos

Maksimizuojančių rodiklių suma		Minimizuojančių rodiklių suma	
S_{+1}	1,104	S_{-1}	0,068
S_{+2}	0,429	S_{-2}	0,055
S_{+3}	0,456	S_{-3}	0,014

Nustatomas santykinis reikšmingumas:

$$Q_{ij} = S_{+j} + \frac{S_{-min} * \sum_{i=1}^m S_{-j}}{S_{-j} * \sum_{i=1}^m \frac{S_{-min}}{S_j}}. \quad (13)$$

24 lentelė. Santykinis reikšmingumas

Santykinis reikšmingumas	
Q_1	1,123
Q_2	0,452
Q_3	0,550
Q_{max}	1,123

Nustatoma geriausia alternatyva:

$$N_{ij} = \frac{Q_j}{Q_{max}} * 100\%. \quad (14)$$

25 lentelė. Naudingumo laipsnis

Rodiklio naudingumo laipsnis	
N_1	100,0%
N_2	40,3%
N_3	49,0%

Atlikus alternatyvų daugiakriterinį COPRAS vertinimą, remiantis techniniais rodikliais buvo gauti tokie rezultatai:

Nustatyta, kad pagal naudingumo laipsnį prioritetų eilė: $N_1(100,0\%) > N_3(49,0\%) > N_2(40,3\%)$.

Optimalios alternatyvos parinkimas pagal **ekonominius parametrus**:

26 lentelė. Ekspertinis ekonominių rodiklių vertinimas

Ekspertai R=5	Hidroizoliacinės dangos medžiagos kaina (su gruntu)	Hidroizoliacinės dangos įrengimo kaina	Medžiagos išeiga	Norminis išdirbis
1	4	4	2	3
2	5	4	4	5
3	5	3	4	4
4	4	4	3	3
5	5	5	3	4

Kad nustatyti ar ekspertų nuomonė vieninga, nustatomas nuomonės patikimumas. Konkordacijos koeficientas apskaičiuotas naudojantis formule:

$$W = \frac{12 \cdot S}{r^2(n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 85,84}{5^2(4^3 - 4)} = 0,69. \quad (15)$$

27 lentelė. Ekspertinio vertinimo konkordacijos koef.skaiciavimas

Ekspertai R=5	Hidroizoliacinės dangos medžiagos kaina (su gruntu)	Hidroizoliacinės dangos įrengimo kaina	Medžiagos išeiga	Norminis išdirbis
Įvertinimų suma	23	20	16	19
Vidutinės kriterijų reikšmės	4,6	4	3,2	3,8
Kriterijų ranžiruotė	1	5	4	3
Kriterijų reikšmingumas $q_j = \frac{\bar{t}_j}{\sum_{j=1}^{n=5} t_j}$	0,295	0,256	0,205	0,244
	1	2	2,8	2,8

$\sum_{k=1}^{r=5} (t_{jk} - t_j)^2$				
Ekspertinių įvertinimų dispersija	0,3	0,5	0,7	0,7
Variacija $\beta_j = \frac{\sigma}{t_j}$	0,119	0,177	0,261	0,220
Rangų sumos vidurkis	$V = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n=4} \sum_{k=1}^{r=5} t_{jk} = 15,6$			
Įvertinimo rezultatų nuokrypių kvadratų suma S	$S = \sum_{j=1}^{n=4} \left(\sum_{k=1}^{r=5} t_{jk} - V \right)^2 = 85,84$			
Konkordacijos koeficientas W	$W = \frac{12 S}{r^2(n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 85,84}{5^2(4^3 - 4)} = 0,69.$			
Konkordacijos koeficiento reikšmingumas x	$x_{\alpha,v}^2 = \frac{12 S}{rn(n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^r T_k} = 10,3$			
Norminis konkordacijos koeficiento reikšmingumas	$x_{\alpha,v}^2 = 10,3 > x_{tbl}^2 = 7,81 - \text{ekspertų nuomonė vieninga.}$			

Norminė konkordancijos koeficiento reikšmė parinkta pagal laisvės laipsnio skaičių ir patikimumo reikšmę. Laisvės laipsnis gaunamas :

$$v = n - 1, \quad [16]$$

Kai n-rodiklių skaičius.

Taikant daugiatikslį COPRAS metodą nustatoma geriausia alternatyva.

28 lentelė. Sprendimų matrica

Eil. Nr.	Rodiklis	Mato vnt	min/ max	Reikšmingumas	Alternatyvos		
					Bituminė ruloninė danga	Teptinė bituminė danga	Bituminė savaime limpanti danga

1	Hidroizoliacinės dangos medžiagos kaina (su gruntu)	Lt/m2	min	0,295	25,68	27,77	28,2
2	Hidroizoliacinės dangos įrengimo kaina	Lt/m2	min	0,256	8	6	3,5
3	Medžiagos išeiga (dėl siūlių ir užleidimų)	%	min	0,205	11,30	5,00	5,20
4	Norminis išdirbis	m ² /val.	max	0,244	2,38	1,61	3,5

Sudaroma normalizuota ir pasverta COPRAS matrica:

$$d_{ij} = \frac{x_{ij} \cdot q_i}{\sum x_{ij}}, \quad (17)$$

kai x_{ij} -rodiklis, q_i -rodiklio reikšmingumas, $\sum x_{ij}$ -normalizuojamų rodiklių eilutės suma.

29 lentelė. Duomenų matrica

Duomenys		Kriterijai			
		x1	x2	x3	x4
Alternatyvos	A1	25,68	8,00	11,30	2,38
	A2	27,77	6,00	5,00	1,61
	A3	28,20	3,50	5,20	3,50
Reikšmingumai		0,295	0,256	0,205	0,244
$\sum X_i$		82	17,50	22	7,49

30 lentelė. Pasverta ir normalizuota matrica

Duomenys		Kriterijai			
		x1	x2	x3	x4
Alternatyvos	A1	0,093	0,117	0,108	0,078
	A2	0,100	0,088	0,048	0,052
	A3	0,102	0,051	0,050	0,114
Kryptis		min	min	min	max

Nustatoma maksimizuojančių S_{+j} ir minimizuojančių S_{-j} rodiklių sumos:

$$S_{+j} = \sum_{i=1}^m d_{+ij}, \quad (18)$$

$$S_{-j} = \sum_{i=1}^m d_{-ij}. \quad (19)$$

Kai d_{+ij} - normalizuoti maksimizuojantys rodikliai, d_{-ij} - normalizuoti minimizuojantys rodikliai.

31 lentelė. Maksimizuojančių S_{+j} ir minimizuojančių S_{-j} rodiklių sumos

Maksimizuojančių rodiklių suma		Minimizuojančių rodiklių suma	
S_{+1}	0,078	S_{-1}	0,318
S_{+2}	0,052	S_{-2}	0,236
S_{+3}	0,114	S_{-3}	0,203

Nustatomas santykinis reikšmingumas:

$$Q_{ij} = S_{+j} + \frac{S_{-min} * \sum_{i=1}^m S_{-j}}{S_{-j} * \sum_{i=1}^m \frac{S_{-min}}{S_j}}. \quad (20)$$

32 lentelė. Santykinis reikšmingumas

Santykinis reikšmingumas	
Q_1	0,271
Q_2	0,313
Q_3	0,417
Q_{max}	0,417

Nustatoma geriausia alternatyva:

$$N_{ij} = \frac{Q_j}{Q_{max}} * 100\%. \quad (21)$$

33 lentelė. Naudingumo laipsnis

Rodiklio naudingumo laipsnis	
N_1	65,0%
N_2	75,0%
N_3	100,0%

Atlikus alternatyvų daugiakriterinį COPRAS vertinimą buvo gauti tokie rezultatai:

Nustatyta, kad pagal naudingumo laipsnį prioritetų eilė: $N_3(100,0\%) > N_2(75,0\%) > N_1(65,0\%)$.

4.3. Optimalios hidroizoliacijos parinkimas taikant TOPSIS daugiakriterį metodą

Rodikliai ir jų reikšmingumai, nustatyti 4.2. skyriuje, buvo suvesti į duomenų matricą (34 lentelė), skirtą TOPSIS normalizuotai matricai suskaičiuoti (35 lentelė).

34 lentelė. Duomenų matrica

Duomenys		Kriterijai									
		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
Alternatyvos	A1	5	1,22	0,54	0,45	0,29	0,57	0,37	0,48	0,04	7,00
	A2	4	0,89	0,35	0,55	0,26	0,33	0,30	0,33	0,16	1,50
	A3	1	0,59	0,35	0,41	0,21	0,53	0,39	0,43	0,18	1,60
Svoriai		0,1364	0,1364	0,1364	0,0758	0,0833	0,1515	0,0985	0,0682	0,0530	0,0606
Σx_i		10,00	2,70	1,24	1,41	0,76	1,43	1,06	1,24	0,38	10,10
$\sqrt{(x_i)^2}$		6,481	1,621	0,733	0,820	0,442	0,845	0,616	0,724	0,244	7,336

Norint palyginti skirtingų dimensijų rodiklius, sprendimų matrica normuojama, rodikliai perskaičiuojami į nedimensinius, naudojantis formule:

$$v_{ij} = q \times \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij})^2}}, \quad (22)$$

Kai q-reikšmingumas, x_{ij} -rodikliai

35 lentelė. Pasverta ir normalizuota TOPSIS metodo matrica

Duomenys		Kriterijai									
		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
Alternatyvos	A1	0,105	0,103	0,101	0,042	0,055	0,102	0,059	0,045	0,009	0,058
	A2	0,084	0,075	0,065	0,051	0,049	0,059	0,048	0,031	0,035	0,012
	A3	0,021	0,050	0,065	0,038	0,040	0,095	0,062	0,041	0,039	0,013
Kryptis		min	max	max	max	max	max	max	max	max	max

Nustatomi idealus ir neigiamai idealus variantai:

$$a = \{(\max_j v_{ij} \mid i \in I), (\min v_{ij} \mid i \in I'), j = 1, 2, 3, \dots, n\}, \quad (23)$$

Kai I-maksimizavimo rodiklių aibė,

I'-minimizavimo rodiklių aibė.

36 lentelė. Idealiausių variantų lentelė

	Kriterijai									
	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
a ₊	0,105	0,050	0,101	0,051	0,055	0,102	0,062	0,045	0,039	0,058
a ₋	0,021	0,103	0,065	0,038	0,040	0,059	0,048	0,031	0,009	0,012

Nustatomas kiekvienos a_j alternatyvos atstumas iki idealaus varianto:

$$L_{j+} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (v_{ij} - v_{i+})^2}, \quad (24)$$

$$L_{j-} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (v_{ij} - v_{i-})^2}. \quad (25)$$

37 lentelė. Atstumo tarp lyginamojo ir idealaus varianto nustatymas

Idealiai geriausias atstumas		Neigiamai idealus atstumas	
L ₊₁	0,243	L ₋₁	0,113
L ₊₂	0,225	L ₋₂	0,075
L ₊₃	0,263	L ₋₃	0,073

Nustatomas santykinis alternatyvos artumas idealiam variantui a*:

$$C_{j*} = \frac{L_{j-}}{L_{j+} + L_{j-}}. \quad (26)$$

38 lentelė. Idealaus varianto nustatymas

C _{j*}	
C _{j1}	0,318
C _{j2}	0,251
C _{j3}	0,217

TOPSIS metodu nustatyta, kad alternatyvų eilė (vertinant techninius rodiklius) išsidėsčiusi A1>A2>A3.

Alternatyvų nustatymas TOPSIS metodu, vertinant ekonominius rodiklius:

Rodikliai surašomi į duomenų matricą (39 lentelė):

39 lentelė. Duomenų matrica

Duomenys	Kriterijai			
	x1	x2	x3	x4

Alternatyvos	A1	25,68	8,00	11,30	2,38
	A2	27,77	6,00	5,00	1,61
	A3	28,20	3,50	5,20	3,50
Svoriai		0,295	0,256	0,205	0,244
ΣX_i		81,65	17,50	21,50	7,49
$\sqrt{(x_i)^2}$		47,179	10,595	13,406	4,5284

Norint palyginti skirtingų dimensijų rodiklius, sprendimų matrica normuojama, rodikliai perskaičiuojami į nedimensinius, naudojantis formule:

$$v_{ij} = q \times \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij})^2}}, \quad (27)$$

Kai q-reikšmingumas, x_{ij} -rodikliai

40 lentelė. Pasverta ir normalizuota TOPSIS metodo matrica

Duomenys		Kriterijai			
		x1	x2	x3	x4
Alternatyvos	A1	0,161	0,193	0,173	0,128
	A2	0,174	0,145	0,076	0,087
	A3	0,176	0,085	0,080	0,189
Kryptis		min	min	min	max

Nustatomi idealus ir neigiamai idealus variantai:

$$a = \{(\max_j v_{ij} \mid i \in I), (\min v_{ij} \mid i \in I'), j = 1, 2, 3, \dots, n\}, \quad (28)$$

Kai I-maksimizavimo rodiklių aibė,

I'-minimizavimo rodiklių aibė.

41 lentelė. Idealiausių variantų lentelė

	Kriterijai			
	x1	x2	x3	x4
a+	0,176	0,085	0,173	0,189
a-	0,161	0,193	0,076	0,087

. Nustatomas kiekvienos a_j alternatyvos atstumas iki idealaus varianto:

$$L_{j+} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (v_{ij} - v_{i+})^2}, \quad (29)$$

$$L_{j-} = \sqrt{\sum_{i=1}^m (v_{ij} - v_{i-})^2}. \quad (30)$$

42 lentelė. Atstumo tarp lyginamojo ir idealaus varianto nustatymas

Idealiai geriausias atstumas		Neigiamai idealus atstumas	
L_{+1}	0,125	L_{-1}	0,105
L_{+2}	0,153	L_{-2}	0,050
L_{+3}	0,093	L_{-3}	0,150

Nustatomas santykis alternatyvos artumas idealiam variantui a^* :

$$C_{j*} = \frac{L_{j-}}{L_{j+} + L_{j-}}. \quad (31)$$

43 lentelė. Idealaus varianto nustatymas

C_{j*}	
C_{j1}	0,456
C_{j2}	0,247
C_{j3}	0,616

TOPSIS metodu nustatyta, kad alternatyvų eilė išsidėsčiusi $A3 > A1 > A2$.

4.4. Daugiakriterio vertinimo rezultatai

Rangavimo metodu nustatyta, kad svarbiausi techniniai rodikliai yra hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai skardos paviršius gruntuotas - $q=0,1515$, hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius gruntuotas - $q=0,1364$, hidroizoliacijos atsparumo plėšimui vidutinė reikšmė, kai betono paviršius gruntuotas ir drėgnas - $q=0,1364$. Visos alternatyvos vertinant pagal techninius rodiklius yra išsidėsčiusios tvarka, kuri pateikta 44 lentelėje.

44 lentelė. Alternatyvų vertinimas COPRAS, TOPSIS remiantis techniniais rodikliais

Vieta	1	2	3
Alternatyvos COPRAS metodu	A1	A3	A2
Alternatyvos TOPSIS metodu	A1	A2	A3

Svarbiausi ekonominiai rodikliai, nustatyti rangavimo metodu: hidroizoliacinės dangos medžiagos kaina (su gruntu) - $q=0,295$ ir hidroizoliacinės dangos įrengimo kaina- $q=0,256$. Visos alternatyvos vertinant pagal ekonominius rodiklius yra išsidėsčiusios tvarka, kuri pateikta 45 lentelėje.

45 lentelė. Alternatyvų vertinimas COPRAS, TOPSIS remiantis ekonominiais rodikliais

Vieta	1	2	3
Alternatyvos COPRAS metodu	A3	A2	A1
Alternatyvos TOPSIS metodu	A3	A1	A2

Bendrose lentelėse pirmą vietą vertinant techninius rodiklius užima alternatyva A1 (bituminė ritininė danga), o vertinant ekonominius rodiklius A3 (savaime limpanti bituminė danga).

IŠVADOS

Išanalizavus užsienio šalių ir Lietuvos mokslininkų patirtį, išnagrinėjus Lietuvoje ir užsienyje galiojančias normas, reglamentus ir taisykles, atlikus hidroizoliacijos adhezijos (atplėšimo) bandymus, siekiant nustatyti vandens pralaidumą lemiančius veiksnius, ir palyginus alternatyvas, taikant parengtą kriterijų sistemą, daugiakriterio vertinimo metodais COPRAS ir TOPSIS, galima teigti:

1. Daugelio mokslininkų požiūriu, hidroizoliacijos patikimumą lemia atsparumas plėšimui nuo pagrindo ir siūlių tarpusavio sulydymo patikimumas;

2. Atlikti adhezijos bandymo rezultatai leidžia įsitikinti, kad atsparumas plėšimui priklauso nuo paviršiaus drėgnumo ir šiurkštumo. Drėgnumas, šiurkštumas priklausomai nuo reikšmės didumo, gali sumažinti prilydomo paviršiaus plotą. Veikiant kritiniams faktoriams (krituliams, aukštai oro drėgmei, cikliškam temperatūrų pasikeitimui, konstrukcijų deformacijoms) sukibimo su betono stiprumas gali nepasiekti ribinės vertės;

3. Bituminės hidroizoliacijos defektai dažnai įvyksta dėl to, kad rangovai hidroizolijuojamų paviršių nenuvalo nuo sniego, drėgmės, neišdžiovina (drėgmė turi neviršyti 4%), o paviršius nutepa gruntu, kuris yra nepritaikytas hidroizoliacinei dangai. Hidroizoliacinės dangos įrengimo metu turi būti kontroliuojamas paviršiaus šiurkštumas (nelygumai turi būti $\leq 1,5$ mm). Pagrindo įtrūkimai platesni nei 1,5 mm turi būti užtaisyti elastomeriniais ar kitokiais hermetikais, kurie sukibtų su danga. Lietuvoje populiariai naudojami degikliai, bituminei dangai prilydyti, neužtikrina pastovios prilydymo temperatūros (140-160 °C);

4. Daugiakriteriui alternatyvų palyginimui atlikti buvo pasiūlyti techniniai, ekonominiai kriterijai ir nustatytas optimalus variantas*;

5. Tolimesniuose tyrimuose būtų naudinga išanalizuoti paviršiaus porėtumą, konstrukcijų galimus faktinius poslinkius ir paviršiaus paruošimui skirtų gruntų įtaką hidroizoliacinių dangų adhezijai;

*Alternatyvų imtis gali turėti įtakos daugiakriterio palyginimo rezultatams, nes šio uždavinio metu buvo įtrauktos trys alternatyvos (prilydoma bituminė danga, tepama mastika ir savaime limpanti bituminė danga).

LITERATŪROS SĄRAŠAS

Antonin F. Temperature impact on sealed mutual overlap strength of bitumen sheets on roof structures, Technol. Fortaleza 28(2), 2007, p. 222–228;

Antuchevičienė J., Stasiulionis A. Statybos verslo projektavimas ir investicijos: mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 2012. 190 p. [7,23 aut. l. 2012-09-12];

Balčiūnas D. Prilydomųjų stogo medžiagų lakštų sandūros patikimumo tyrimas. Civil Engineering. 2012, p. 294–299;

Bituminė hidroizoliacinė danga. 2014. UAB „Renobit“ [žiūrėta 2014 02 08]. Prieiga per internetą: http://www.renobit.lt/index.php?page=shop.browse&category_id=9&option=com_virtuemart&Itemid=62

Bituminės ritininės dangos. 2014. UAB „Icopal“ [žiūrėta 2014 02 08]. Prieiga per internetą: <http://www.icopal.lt/Gaminiai/Sutapdinti%20stogai/Bitumines%20Ritinines%20Dangos.aspx>;

Dupuis R. M. Concerns in the application of modified bitumen, in Proceedings, 9th NIST/NRCA conference on roofing technology, NRCA, Rosemont, III, 1989, p. 7–77;

EN 13596:2004. Lanksčiosios hidroizoliacinės juostos. Betoninių tiltų paklotų ir kitų betoninių paviršių, kuriais vyksta transporto priemonių eismas, hidroizoliacija. Sukibimo stiprio nustatymas;

EN 13707:2004. Lankstieji hidroizoliaciniai lakštai. Armuotieji bituminiai stogo hidroizoliacijos lakštai. Apibrėžtys ir charakteristikos;

EN ISO 4624:2003. Adhezijos bandymas atplėšiant;

Granne F., Bjork F. Joints between roofing felt and sheet metal flashings short and long-term tests. Construction and Building Materials 14, 2000, p. 375-383;

Gurskis V. Statybinės medžiagos. Mokomoji knyga. Lietuvos žemės ūkio universitetas, Kaunas, 2008, p. 136.

Hidroizoliacija pastatams. 2014. UAB „Dauda“ [žiūrėta 2014 02 08]. Prieiga per internetą: http://dauda.lt/viewpage.php?page_id=12;

Hidroizoliacinės technologijos. 2014. W. R. Grace and co. [žiūrėta 2014 02 08]. Prieiga per internetą: <https://grace.com/construction/en-gb/waterproofing>;

Hunnicut J. M. Parking deck deterioration - the reasons why. 1976, p. 444-448;

Jacobson N. G. A case study of parking deck deterioration methods. 1982, p. 47-57;

Karablikovas A. Research on seams formation between the layers of glued bituminous roofing membranes and analysis of their parameters. Technological and Economic Development of Economy 12(2), 2007, p. 134–138;

Karablikovas A., Ustinovičius L. Daugiabučių namų stogų racionalių remonto būdų parinkimas, taikant daugiakriterinius įvertinimo metodus. Inžinerinė ekonomika Nr. 3. 2002;

Karablikovas A., Vilutienė T. The research on gluing reliability of glued roller cover membranes, 10th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques: selected papers. May 19-21, 2010. Vol.1, 2010, p. 425-430;

Litvan G. Waterproofing of parking garage structures with sealers and membranes: the Canadian experience. Construction and Building Materials, Vol. 10, No. I, 1996, p. 95-100;

Mailaganam N.P., Collins P.G., Lacasse M.A., Paroli R.M. The performance of elastomeric parking garage membrane systems, Construction and Building Materials 12, 1998 , p. 393-402;

Oba K., Hean S., Björk F. Study on seam performance of polymer – modified bituminous roofing membranes using T – peel test and microscopy, 1996;

Peleckis K. Prilydomųjų medžiagų suklijavimo siūlių problemos. Civil Engineering. 2011, p. 45–50;

Plokščiųjų stogų įrengimas. 2014. UAB “ Gargždų Mida ” [žiūrėta 2014 02 08]. Prieiga per internetą: http://www.mida.lt/files/Main/instrukcijos/RM.INSTRUKCIJA_2012_05_23.pdf;

Rasiulis R. Plokščiųjų eksploatuojamų stogų nuolydžių modeliavimas esant ribiniams nuolydžiams. Civil Engineering, 2011, p. 35–38;

Sahal N., Ozkan O. Proposed performance – based laboratory test method for measuring vapour and water permeability of waterproofing membranes under hydrostatic pressure, Construction and Building Materials 18, 2004, p. 701–713;

Sanchez J., Andrade C., Fullea J. Hydrothermal monitoring using embedded sensors of the actual roof system of the Prado Museum. Construction and Building Materials 24, 2010, p. 2579–2589;

Sheahan J. P., Johnson, J. E.. Nondestructive methods for determining the waterproof integrity of roof membranes and seams, in Third International Symposium on Roofing Technology. NRCA. Gaithersburg, Md., 1991, p. 55–62;

Shohet I. M., Puterman M. Flat roofing systems: towards integrated techno-economic analysis ,Building Research & Information, 32:2, 2010, p. 165-173;

Statybos inžinieriaus žinynas. Vilnius: Technika, 2004. 1096 p.;

Statybos taisyklės. ST 121895674.215.01:2012 „Stogų įrengimo darbai“;

Statybos taisyklės. ST 121895674.350.01:2012 „Hidroizoliavimo darbai“;

STR 1.03.02:2002 Statybos produktų atitikties deklaravimas. 2002;

STR 1.05.06:2005 Statinio projektavimas. 2005;

STR 1.08.02:2002 Statybos darbai. 2002;

STR 1.09.04:2002 Statinio projekto vykdymo priežiūra. 2007;

STR 2.05.02:2008 Statinių konstrukcijos. Stogai;

Ustinovičius L., Ambrasas G., Alchimovienė J., Ignatavičius C., Vilutienė T. Statinių eksploatavimas ir atnaujinimas: mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 2012, p. 232 ;

Zavadskas E. K. ir kt.. Statybos Procesų technologija. Vilnius: Technika. 2006, 547 p.;

Zhou Q., Xu Q. Experimental study of waterproof membranes on concrete deck: Interface adhesion under influences of critical factors, Materials and Design 30, 2009, p. 1161–1168;

PRIEDAI



PLOKŠČIŲJŲ STOGŲ DANGŲ ĮRENGIMO TECHNOLOGIJŲ IR PATIKIMUMO ANALIZĖ

D.Balčiūnas¹, E.Matuzevičius², D.Migilinskas³, A.Barvydas⁴

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. p. ¹darius.balciunas@statyba.lt, ²evaldasm41@gmail.com, ³darius.migilinskas@vgtu.lt, ⁴arunas.barvidas@vgtu.lt

Santrauka. Dažnai pasitaikančios sutapdintų stogų įrengimo klaidos yra dėl nepatikimo dangos siūlių suldydymo, įrengimo sąlygų nesilaikymo, netinkamo paviršiaus paruošimo ir prastos darbų kokybės. Analizuojant šias problemas, buvo išnagrinėti dangos tarpusavio siūlių suldydymo ir sukibimo su paviršiais principai. Eksperimentiniais būdais buvo nustatyta bituminių dangų siūlių suldydymo stiprumas priklausomai nuo kaitinimo trukmės ir dangos prilydimo prie pagrindo stiprumas priklausomai nuo paviršiaus drėgnumo. Bituminių dangų įrengimo kokybei įvertinti pasiūlyti šie rodikliai – dangos siūlės prilydimo stiprumas, bei dangos sukibimo su paviršiais stiprumas. Apibendrinus tyrimus rekomenduotos priemonės sutapdintų stogų iš bituminių dangų įrengimo kokybei padidinti.

Reikšminiai žodžiai: eksploatuojami-sutapdinti stogai, bituminė danga, siūlių suldydymas, sukibimas su paviršiais, stiprumas, patikimumas

Įvadas

Eksploatuojami plokštieji stogai pasaulyje įrengiami jau senai, tačiau iki šiol daromos įrengimo klaidos, defektai. Eksploatuojamo stogo dydis, forma, išvedimai, inžinerinės sistemos, kampai ir kt. sudaro stogo sudėtingumą, sukelia kliūtis vandens nubėgimui, kas reikalauja sudėtingų projektavimo, technologijų ir darbų atlikimo sprendimų. Svarbu tinkamai parinkti medžiagas, kruopščiai atlikti paruošiamuosius darbus, bei atsakingai įrengti visas detales.

Dėl automobilių stovėjimo vietų stokos didžiuosiuose miestuose, senamiesčiuose, demografiškai tankiose vietose įrengiamos antžeminės ir požeminės stovėjimo aikštelės. Todėl atliekamų veiksmų kokybės stoka, požeminių bei antžeminių stovėjimo aikštelių hidroizoliacijos defektai ir vandens pralaidumas yra svarbi problema Lietuvos ir viso pasaulio statybos srityje.

Mailvaganamo ir kt. (1998) bandymai rodo, kad dėl veikiančių apkrovų (automobilių stabdymo, pagreitinimo ir kt.) ir atmosferos poveikio (sniego, ultravioletinių spindulių ir kt.) atsiranda įlyties, gniuždymo, tempimo įtempiai, įvyksta konstrukcijų deformacijos. Nepatikimai įrengta hidroizoliacinė sistema gali būti pralaidi drėgmei.

Hidroizoliacijos patikimumui didelę įtaką turi darbų atlikimo, projekto parengimo kokybė, normų, instrukcijų laikymasis, tinkamas pagrindo paruošimas. Tinkamai atlikus visus darbų etapus, panaudojus medžiagas kaip nurodo gamintojai hidroizoliacinė danga turi sudaryti stiprų ir ilgalaikišką ryšį su betono paviršiumi, tada stogą galima eksploatuoti 20-30 metų.

Dažniausiai pasitaikančios įrengimo klaidos:

- Hidroizoliacijos plyšiai prie sujungimo vietų;
- Danga atšokusi, pūslėta;
- Nepatikimai suldytos siūlės;
- Nehermetiškai sujungtos įlajos dalys;
- Ruloninių medžiagų mikro-plyšiai dėl išilginio ir skersinio susitraukimo.

Karablikovas (2007) eksperimentais nustatė, kad maksimalus siūlių stiprumas neviršija 15-20 % ritininės dangos stiprumo. Be to, Karablikovas ir Vilutienė (2010) ištyrė, kad užlaidinės sandūros siūlėje esančios nesusiklijavusios zonos išnyksta dangą kaitinant ne trumpiau kaip 9 s, tačiau dėl to suplonėja ribinis dangos storis, todėl kaitinimas yra apribojamas iki 5 s.

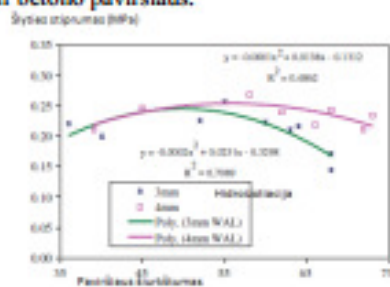
1. Ritinių stogo dangų sukibimo su pagrindu stiprumo tyrimai

Mailvaganamas ir kt. (1998) atliko elastomerinį hidroizoliacinių dangų stabilumo su tipiniu mazgu

tyrimą. Atsižvelgiant į eksperimento rezultatus nustatyta, kad daugelis hidroizoliacinių dangų turi negrįžtamus deformacinius pokyčius dėl cikliškos temperatūros pasikeitimų, be to sumažėjusią savybę pritaikyti prie deformacijų esant žemai temperatūrai, dėl to galimi hidroizoliacijos mikro-įtrūkimai, atplyšimas nuo pagrindo.

Mailvaganamas ir kt. (1998) įvardija, kad vienas iš pagrindinių faktorių vertinant hidroizoliacijos sukibimą su pagrindu yra: betono šiurkštumas, porėtumas, priklausomai nuo V/C (vandens/cemento) santykio.

Zhou ir kt. (2009) nagrinėjo hidroizoliacijos sukibimą su betoniniais paviršiais. Buvo nustatyta, kad didinant betoninio paviršiaus šiurkštumą BPN (angl. surface roughness, BPN value), atsparumas šlyčiai didėja iki „lūžio taško“ (1 pav.). Didėjant paviršiaus šiurkštumui, šlyties stiprumas padidėja dėl sukibimo efekto tarp hidroizoliacijos ir paviršiaus, tačiau šiurkštus paviršius su per gilia struktūra sumažina kontaktą tarp dangos ir betono paviršiaus.

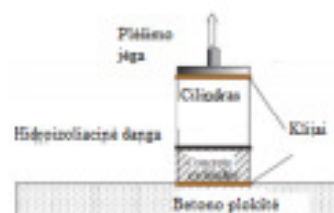


1 pav. Šlyties stiprumo priklausomybė nuo paviršiaus šiurkštumo (Zhou ir kt., 2009).

Fig.1. Shear strength dependence of the surface roughness (Zhou et al., 2009).

Zhou ir kt. (2009) bandymų metu ištyrė 3 skirtingas medžiagas: modifikuotą polimerinę-bituminę dangą (purškiamą), ritinę modifikuotą bituminę dangą ir savaime limpančią armuotą polipropilenu bituminę dangą. Atliekant tiesioginio tempimo eksperimentą buvo remtasi: ASTM D 5321, ASTM D 4541 ir ASTM D 3359, 4624 standartais, kurio metu buvo nustatytas atplėšimo stiprumas (Zhou ir kt. 2009).

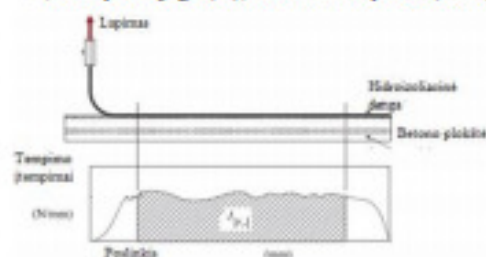
Atplėšimo bandymo (2 pav.) stiprumas apskaičiuojamas pagal formulę: $|\sigma| = \frac{F}{A}$, F–didžiausia jėga (N), A–kontakto plotas (mm^2). Fiksuota bandinių prilydymo temperatūra – 100, 130, 160 ir 190 laipsnių pagal Celsijų.



2 pav. Plėšimo jėgos modelio schema (Zhou ir kt., 2009).

Fig.2. Scheme of tensile strength model (Zhou et al., 2009).

Zhou ir kt. (2009) atplėšimo bandymą atliko 90 laipsnių kampu palaikant pastovų 100mm/min apkrovos greitį (3 pav.), stiprumas buvo skaičiuojamas pagal formulę: $\sigma_p = \frac{F}{b}$, F– lūpimo jėga (N), b– bandinio plotis (mm^2).



3 pav. Lūpimo apkrovų modelio schema (Zhou ir kt., 2009)..

Fig.3. Scheme of peeling load model (Zhou et al., 2009).

Atlikus atplėšimo bandymus pastebėta, kad poslinkis svyravo nuo 20 mm iki 260 mm, todėl stiprumui skaičiuoti buvo parinkta integruota formulė:

$$|\sigma_p| = \int_{t=20}^{260} |\sigma_p|_t dl = \sum_{t=20}^{260} \frac{F_t}{b} \Delta l$$

Suintegravus formulę yra pateikiama supaprastinta stiprumo skaičiavimo formulė:

$$|\sigma_p|_m = \frac{1}{L} \int |\sigma_p| = \frac{1}{260-20} \int |\sigma_p|$$

Atsižvelgiant į hidroizoliacijos atplėšimo bandymų rezultatus sukibimo stiprumui užtikrinti, Zhou ir kt. (2009) teigia, kad optimali bituminės dangos prilydymo temperatūra yra 120-170° C. Lietuvos statybos taisyklėse reikalaujama, kad klijuojamasis sluoksnis turi būti išlydomas 140-160° C temperatūroje.

Liu ir kt. (2013) pagal atliktus transporto veikiamos perdangos hidroizoliacijos tyrimus, mechaniniams rodikliams nustatyti išskiria tokius parametrus: šlyties stiprumas, atplėšimo stiprumas. Jie priklausomi nuo paviršiaus šiurkštumo, temperatūros ir todėl projektuojant bei įrengiant konstrukcijų hidroizoliaciją turi būti:

- Atsižvelgta į veikiančias temperatūras;
- Užtikrintas tinkamas pagrindo šiurkštumas;
- Parenkant hidroizoliacijos tipą turi būti įvertintos galimos apkrovos;
- Įvertinta konstrukcijų poslinkių, įlinkių įtaka.

Bituminių ritinių dangų patikimumą lemia trys pagrindiniai parametrai, tai dangos priklijavimo prie pagrindo stiprumas ir dviejų gretutinių dangos lakštų sandūros siūlės atsparumas lupimui ir šlyčiai, todėl norint išsiaiškinti hidroizoliacijos patikimumui turinčių įtakos veiksnių ir metodų leidžiančius pagerinti darbų kokybę, atliekamas hidroizoliacijos adhezijos (atplėšimo) bei sandūros siūlės atsparumo lupimui ir kirpimui bandymai, pritaikant užsienyje ir Lietuvoje galiojančias normas, reglamentus.

2. Ritinių stogo dangų užlaidinės sandūros stiprumo savybių vertinimas

Europoje bituminių medžiagų užlaidinės sandūros siūlės stiprumas yra vertinamas atliekant du standartizuotus bandymus t. y. remiantis šiais standartais: „Lanksiosios hidroizoliacinės juostos. 1 dalis. Bituminės hidroizoliacinės stogų juostos. Siūlių atsparumo lupimuisi nustatymas.“ (EN 12316-1:2001) ir „Lanksiosios hidroizoliacinės juostos. 1 dalis. Bituminės hidroizoliacinės stogų juostos. Siūlių atsparumo šlyčiai nustatymas“ (EN 12317-1:2001). Šie standartai detalai aprašo bandymo atlikimo sąlygas, tačiau nėra pakankamai informatyvūs bandinių paruošimo reikalavimams, todėl praktikoje pastebima įvairių standartų interpretacijų, kurios turi reikšmingos įtakos galutiniams rezultatams.

Ruošiant bandinius naudojant pusiau automatinį dangų suvirinimo aparatą, kuris klijuoja karštu oru, mokslininkas Koiči Oba (Oba ir kt. 1996) nustatė, kad pakeitus kaitinimo greitį nuo 1 m/min iki 2 m/min, reikšmingai pasikeičia ir bandinių užlaidinės sandūros atsparumas lupimui.

Panaudojus rankinį bandinių suklijavimo būdą, kai kaitinama dujomis, A. Karablikovas (Karablikovas 2007) ištyrė platų, 15 s, bandinių kaitinimo ir atsparumo lupimui priklausomybės diapazoną. Buvo nustatyta, kad intensyvesnis kaitinimas turi teigiamos įtakos sandūros atsparumui lupimui iki pasiekiamo kritinė riba, kurią viršijus tolimesnis kaitinimas tik silpnina sandūrą.

Remiantis aukščiau minimų dviejų mokslininkų tyrimais galima teigti, kad net bandinių ruošimo įrangos pasirinkimas turi įtakos sandūros atsparumui lupimui. Pažymėtina, kad ir sandūros sulydimo tipo parinkimas, karštu oro ar kaitinant dujomis, gali lemti galutinius sandūros stiprumo rodiklius (Gonçalves ir kt. 2008).

Pastebėta, kad ir skirtingo kaitinamojo paviršiaus tipo dangų panaudojimas ruošiant bandinius, remiantis standartų reikalavimais, lemia skirtingą galutinį užlaidinės sandūros stiprumą (Balčiūnas 2013).

Pasaulinėje praktikoje pastebimos įvairios bituminių stogo dangų sandūros stiprumo nustatymo metodikos. Pastebima bandinių apkrovimo nuolatine (standartas reikalauja 100 mm/min apkrovimo) trumpalaikė apkrova (Gränne, Björk 2000). Mokslininkai bandydami imituoti galimą dangos senėjimo įtaką sandūros stiprumui panaudoja dirbtinį sendinimo būdą, kaitinant bandinius prieš tyrimą specialiose orkaitėse (Kersey ir kt. 2007; Gonçalves ir kt. 2011). Pažymėtina, kad tyrimo rezultatai parodė, kad daugumai bandinių dirbtinis sendinimas padidino sandūros siūlės mechaninį atsparumą. Tai pat yra atlikti tyrimai dirbtinai imituojant galimą atmosferos poveikį prieš atliekant suardymą bandinius išlaikant vandenyje (Gonçalves ir kt. 2011), kurių rezultatai yra įvairiareikšmiai, atsižvelgiant į panaudotą bandinių klijavimo būdą.

Mokslininkai atlieka tyrimus ir naudodami nestandardizuotų matmenų bandinius. Mokslininkas Grane (Gränne) su komanda ištyrė visos sumontuotos stogo konstrukcijos mechaninį atsparumą (Gränne ir kt. 2003). Pažymėtina, kad yra atlikti tyrimai padidinant bandinių plotį nuo standartizuoto 50 mm iki 100 mm. Suardžius taip paruoštus bandinius buvo nustatyta, kad daugumoje atveju pločio padidinimas arba padidino, arba neturėjo reikšmingos įtakos sandūros atsparumui lupimui ir šlyčiai (Gonçalves ir kt. 2008).

Išnagrinėjus daugumą skirtingų bituminių medžiagų užlaidinės sandūros siūlės stiprumo vertinimo metodikų yra siūloma užlaidinės sandūros siūlės atsparumą šlyčiai vertinti atsižvelgiant į EN 12317-1:2001 ir EN 12316-1:2001 standartus papildomai atsižvelgiant į bandinių ruošimo sąlygas. T. y. įvedant papildomą kintamąjį – sandūros siūlės kaitinimo trukmę prieš bandinių suklijavimą. Šio rodiklio svarba yra įrodyta tyrimais (Karablikovas 2007; Balčiūnas 2012), nes neatsižvelgiant į šį parametą yra praktiškai neįmanoma palyginti skirtingų mokslininkų darbų, nes visais atvejais galima išvada, kad skirtingi rezultatai buvo gauti būtent dėl panaudoti skirtingo kaitinimo režimo.

Siekiant įvertinti ir galimus bituminių medžiagų sandūros stiprumo pagerinimo būdus, atliekant sandūros siūlės stiprumo vertinimo metodikos pagrindimą, lygiagrečiai buvo nagrinėjamos ir bituminės dangos, kurių klijuojamasis paviršius yra su grioveliais (Europos sąjungos patentas Nr. EP 0.483.274/07.2010).

3. Dangos atlupimo bandymo rezultatai

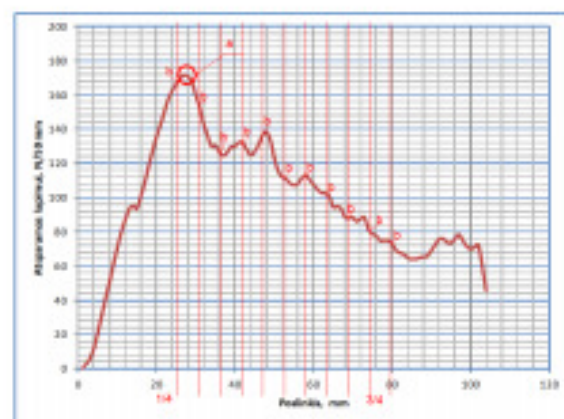
Kiekvieno bandymo metu, atlikto pagal LST EN 12317-1:2004 reikalavimus, buvo gaunama tempimo jėgos ir tempimo prietaiso gnybtų poslinkio (bandinio

pailgėjimo) priklausomybės kreivė (4 pav.), kuri toliau yra nagrinėjama grafiniu būdu. Dėl didelės bandymo darbų apimties, remiantis Karablikovo (2007) tyrimo rezultatais bandymams buvo pasirinktas 2, 3, 5 ir 6 sekundžių kaitinimo režimas. Atsparumo lupimui didžiausios ir vidutinės vertės yra pateikiamos 5 ir 6 pav.

Atsižvelgiant į šiuos rezultatus, galima teigti, kad panaudojus dangą, kurios klijuojamasis paviršius su grioveliais, galima pasiekti optimalią didžiausio atsparumo lupimui kaitinant 2 s mažiau, lyginant su danga su lygiu klijuojamuoju paviršiumi, be to, pasiekama absoliutinė didžiausio atsparumo lupimui vertė buvo pasiekta 70 % didesnė.

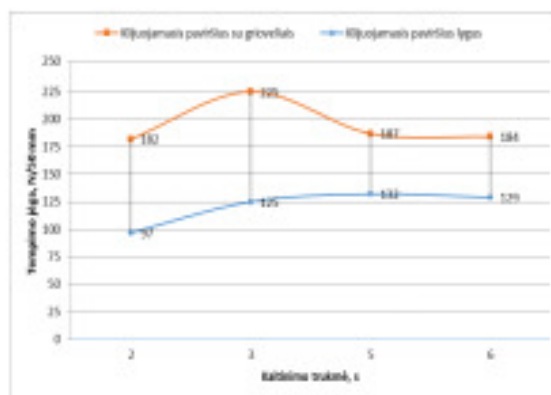
Nagrinėjant vidutinio atsparumo lupimui rezultatus pateiktus 6 pav. pastebima, kad aukščiau minima atsparumo lupimui ir kaitinimo režimo priklausomybė nėra pastebima, tačiau galima teigti, kad panaudojus dangą, kurios klijuojamasis paviršius su grioveliais, galima pasiekti geresnių atsparumo lupimui rezultatų. Kontroliniuose kaitinimo režimo 2, 3, 5 ir 6 s taškuose vertės buvo atitinkamai didesnės 66,7 %, 26,7 %, 79 % ir 71 %.

Analizuojant atsparumo šlyčiai rezultatus, atliktus remiantis LST EN 12316-1:2002 reikalavimais, kaitinimo režimo ir sandūros atsparumo šlyčiai priklausomybė nebuvo pastebėta (7 pav.).



4 pav. Užlaidinės sandūros siūlės atsparumo lupimui vertinimas grafiniu būdu: a – didžiausias atsparumas lupimui; b – vidutinio atsparumo lupimui skaičiuojamosios vertės tolygiai pasiskirsčiusios intervale $\frac{1}{4} - \frac{3}{4}$ (Balčiūnas 2013)

Fig. 4. Graphical analysis of overlap joint peel test: a – maximum peel resistance; b – average peel resistance calculated in between $\frac{1}{4} - \frac{3}{4}$ (Balčiūnas 2013)



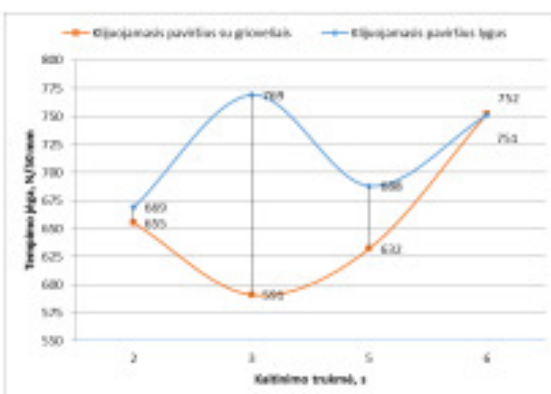
5 pav. Didžiausio atsparumo lupimui priklausomybės, nuo kaitinimo režimo, kreivė (Balčiūnas 2013)

Fig. 5. The dependence of maximum peel resistance and heating time (Balčiūnas 2013)



6 pav. Didžiausio vidutinio atsparumo lupimui priklausomybės, nuo kaitinimo režimo, kreivė (Balčiūnas 2013)

Fig. 6. The dependence of average peel resistance and heating time (Balčiūnas 2013)



7 pav. Atsparumo šlyčiai bandymo rezultatai (Balčiūnas 2013)

Fig. 7. Results of shear resistance research (Balčiūnas 2013)

Nagrinėjant absoliutines atsparumo šlyčiai vertes pastebima, kad šiuo atveju didesnį atsparumą pasiekė bandiniai, kurie buvo suklijuoti iš dangos, kurios klijuojamasis paviršius lygus, tačiau, atsižvelgiant į tai, kad tik du bandiniai (lygaus klijuojamojo paviršiaus bandiniai kaitinti 2 s) suiro dėl sandūros adhezijos netekimo, galima teigti, kad tai neturėtų suprastinti abiejų dangų stiprumo savybių.

Atkreipiant dėmesį į tai, kad atsparumo šlyčiai bandymo metu didžioji dauguma bandinių, suiro už sandūros ribų, galima teigti, kad sandūra buvo stipresnė už pačią dangą, todėl technologinis 8 – 10 cm siūlių perleidimas yra pakankamas užtikrinti užlaidinės sandūros stiprumą šlyties jėgų atžvilgiu, tačiau galima detalesnė analizė dėl galimų sandūros siūlės struktūrinių pokyčių veikiant šioms jėgoms.

4. Dangos atplėtimo nuo pagrindo bandymas

Sukibimo stiprumui nustatyti buvo atliekamas prilydytos bituminės dangos atplėtimo bandymas. Bandymas buvo atliktas su mechaniniu atplėtimo mechanizmu (angl. DeFelsko PosiTest pull-off adhesion tester) laikantis ISO 4624 (EN 24624) standarto nustatytą dangos atplėtimo reikalavimų.

Nuplėtimo stiprumas σ išreiškiamas MPa ir apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

kai F – nuplėtimo jėga (N), A – nuplėtimo plotas (mm^2)

Kai bandymo formos yra 20 mm diametro, nuplėtimo stiprumas skaičiuojamas:

$$\sigma = \frac{4F}{400\pi} = F/314$$

Hidroizoliacinė danga buvo prilydyta prie betoninių (500x500 mm, 400x400 mm) plokščių, kurių drėgnis svyravo 3,1-5,5 %. Vėliau atplėtimo formos buvo priklijuotos prie bituminės dangos. Bandymas buvo atliekamas tada, kai klajai pasiekdavo reikiamą stiprumą.

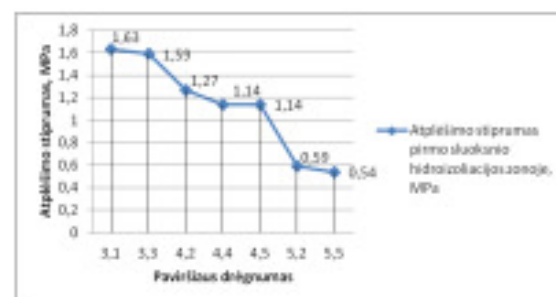
Tyrimui panaudotos 20 mm diametro atplėtimo formos. Šios formos pasirinktos dėl mechanizmo instrukcijoje nurodytą atplėtimo parametru, atplėtimo ribos 0-20 MPa. Bandiniai pažymėti Nr.1-7 buvo priklijuoti ant pirmojo sluoksnio hidroizoliacinės dangos, o Nr. 8-14 prie antrojo sluoksnio hidroizoliacinės dangos.

Atlikus tyrimą, dangos atplėtimo vietose buvo pastebėtas atplėtimo reljefas (betono paviršiaus „pienelio“ nutrūkimas, bei pačios dangos atsiskuosiavimas) (8 pav.). Po atplėtimo buvo vizualiai nustatytas kiekvieno bandinio reljefas 10 % tikslumu.



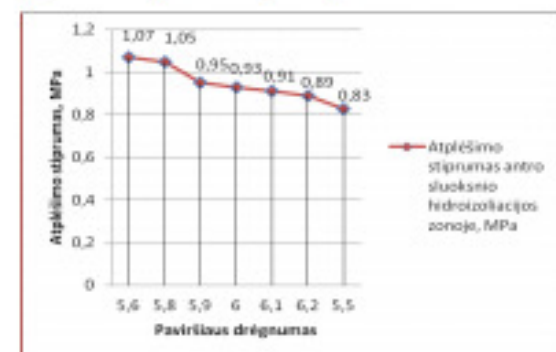
8 pav. Atplėštų bandinių reljefas

Fig.8. Tested samples



9 pav. Pirmojo sluoksnio atplėtimo bandymų grafikas

Fig.9. The first layer of waterproofing adhesion test results



10 pav. Antrojo sluoksnio atplėtimo bandymų grafikas

Fig.10. The second layer of waterproofing adhesion test results

5. Dangos atplėtimo nuo pagrindo bandymo rezultatai

Atlikus hidroizoliacinės dangos atplėtimo nuo pagrindo tyrimą buvo nustatytas atplėtimo stiprumas. Mažiausias atplėtimo stiprumas (0,54-0,59 MPa) gautas vieno sluoksnio hidroizoliacinės dangos zonoje, kur pastebėtas betono paviršiaus („pienelio“) nuskilimas. Bandinių pažymėtų Nr.3-7 paviršiaus sukibimo stiprumas 1,14-1,59 MPa, Nr.8-14 0,83-1,07 MPa. Apibendrinant rezultatus nustatyta, kad didžiausias dangos prilydymo stiprumas buvo pasiektas 3% drėgnumo plokštės zonoje.

Remiantis adhezijos bandymo metodika (LST EN 13596; ISO 4624; EN 24624; LST EN 13707:2005, LST EN 14023, 12039; LST EN 14023:2010; ASTM D903,

TY 21-27-66-80), norminiai sukibimo stiprumo (MPa) su betonu reikalavimai po 72 val. nemažiau 0,5 MPa.

Veikiant kritiniams veiksniams tikėtina, kad sukibimo su betoniniu paviršiumi stiprumas būtų mažesnis, už ribines reikšmes.

Išvados

Atlikus dangos atplėšimo nuo pagrindo bandymą, pastebėta, kad silpniau sukibusi danga drėgnosio paviršiaus zonoje. Norint išvengti nepatikimo sukibimo su pagrindu, reikia nustatyti paviršiaus drėgnumą ir tinkamai paruošti pagrindą dangos prilydymui.

Nustatyta, kad dangos prilydymo stiprumas didžiausias 3% drėgnumo plokštės zonoje.

Remiantis adhezijos eksperimentinio bandymo rezultatais, mažiausias sukibimo su betono paviršiumi stiprumas artimas ribiniam leistinam stiprumui ir po 72 val. >0,5 MPa.

Pasiūlyta sandūros siūlės stiprumo vertinimo metodika, kuri įrodama praktiniais bandymais ir nustatyta, kad panaudojus dangą, kurios klijuojamasis paviršius yra su grioveliais, galima pasiekti 70 % didesnį sandūros siūlės atsparumą lupimui kaitinant dangą 2 sekundes.

Nustatyta, kad technologinis sandūros perdengimas 8-10 cm yra pakankamas užtikrinti sandūros atsparumą kirpimui.

Literatūra

- Baltūnas, D. 2012. Priydomųjų stogo medžiagų lakštų sandūros patikimumo tyrimas, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 4(4): 294-299.
- Baltūnas, D. 2013. Dangos iš priydomųjų polimerinių bituminių medžiagų siūlių patikimumo tyrimai, remiantis CEN/TC 254 reikalavimais: baigiamasis magistro darbas. Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika. 78 p.
- Gonçalves, M.; Lopes, J. G.; Brito, J. D. 2008. Mechanical performance of lap joints of flat roof waterproofing membranes, *Experimental Techniques* 32: 50-57.
- Gonçalves, M.; Lopes, J. G.; Brito, J. D. 2011. Mechanical performance of lap joints of flat roof waterproofing membranes subjected to artificial weathering, *Experimental Techniques* 35: 21-28.
- Gränne, F.; Björk, F.; Noreng, N. 2003. Wind load resistance tests of heat-welded joints between roofing felt and sheet metal flashings, *Construction and Building Materials* 17: 319-324.
- Gränne, F.; Björk, F. 2000. Joints between roofing felt and sheet metal flashings—short and long-term tests, *Construction and Building Materials* 14: 375-383.
- Hunnicut, J.M. 1976. Parking deck deterioration -the reasons why, p.444-448.

Karablikovas, A. 2007. Klijavimo siūlių tarp stogo dangos iš ritininių priydomųjų medžiagų sluoksnių formavimo ir jų parametrų tyrimas, *Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas* 12(2): 134-138.

Karablikovas, A., Vilutienė T. 2010. The research on gluing reliability of glued roller cover membranes, 10th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques: selected papers. May 19-21, 2010. Vol. 1:425-430.

Igal Shohet, M.; Puterman, M. 2010. Flat roofing systems: towards integrated techno-economic analysis, *Building Research & Information*, 32:2, p.165-173.

Kersey, T.; Goodrum, K.; Turner, J. 2007. Performance properties of interply adhesives used with SBS-Modified bitumen membranes, in 11 th Canadian Conference on Building Science and Technology. Banff, Alberta, 1-15.

Liu, Y., Wu, J., Chen, J. 2014. Mechanical properties of a waterproofing adhesive layer used on concrete bridges under heavy traffic and temperature loading, *International Journal of Adhesion and Adhesives* 48, p.102-109

Mailvaganam, N.P.; Collins, P.G.; Lacasse, M.A.; Paroli, R.M. 1998. The performance of elastomeric parking garage membrane systems, *Construction and Building Materials* 12, p. 393-402.

Oba, K.; Hean, S.; Björk, F. 1996. Study on seam performance of polymer-modified bituminous roofing membranes using T-peel test and microscopy, *Materials and Structures* 29: 105-115.

Zhou, Q.; Xu, Q. 2009. Experimental study of waterproof membranes on concrete deck: Interface adhesion under influences of critical factors, *Materials and Design* 30, p.1161-1168.

TECHNOLOGY AND RELIABILITY ANALYSIS OF FLAT ROOF COATINGS

D.Baltūnas, E. Matuzevičius, D. Miglinskas, A. Barvydas

Summary

The most common defects of built-up roofs are appearing due to the lack of seam adhesion because of inadequate installation process, inadequate deck surface preparation and the poor quality of installation works. In research of these problems the adhesion of two bituminous covering layers and an adhesion to the deck surface were analysed. The dependence of welding time and overlap strength, also adhesion strength of layers dependence to the surface moisture were tested in the experimental research. To achieve good quality of the bituminous coverings it is necessary to evaluate these indicators – strength of the covering adhesion to other layers and the substrate surface. In conclusion the methods of improving quality of the bituminous roofing materials are presented.

Keywords: exploited built-up roofs, bituminous coverings, welding seams, adhesion to surface, strength reliability