VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
KELIŲ KATEDRA

Rita Kleizienė

STANDŽIŲJŲ DANGŲ TAIKYMO KELIŲ TIESYBAI ANALIZĖ IR PANAUDOJIMO GALIMYBIŲ TYRIMAS

THE ANALYSIS OF USE OF RIGID PAVEMENTS AND RESEARCH OF APPLICATION POSIBILITIES

Magistrantūros baigiamasis darbas

Civilinės inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H20002
Kelių specializacija
Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
KELIŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

_____
(Parašas)

Alfredas Laurinavičius
(Vardas, pavardė)

_____
(Data)

Rita Kleizienė

STANDŽIŲJŲ DANGŲ TAIKYMO KELIŲ TIESYBAI ANALIZĖ IR PANAUDOJIMO GALIMYBIŲ TYRIMAS

THE ANALYSIS OF USE OF RIGID PAVEMENTS AND RESEARCH OF APPLICATION POSIBILITIES

Magistrantūros baigiamasis darbas

Civilinės inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H20002

Kelių specializacija

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas	doc. dr. Audrius Vaitkus (mokslinis laipsnis, vardas, pavardė)	 (Parašas)	2012 05 28 (Data)
Konsultantas	 (mokslinis laipsnis, vardas, pavardė)	 (Parašas)	 (Data)
Lietuvių kalbos konsultantas	D. Žukienė (mokslinis laipsnis, vardas, pavardė)	 (Parašas)	2012-05-28 (Data)

Vilnius, 2012

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo organizavimo tvarkos aprašo 2011–2012 m. m.
2 priedas

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Rita Kleizienė, 20053208
(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)
Aplinkos inžinerijos fakultetas
(Fakultetas)
Civilinės inžinerijos studijų programa, Kmf 10/1grupė
(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO) SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2012 m. gegužės 30 d.
(Data)

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas (projektas) tema „Standžiųjų dangų taikymo kelių tiesybai analizė ir panaudojimo galimybių tyrimas“

patvirtintas 20____ m. _____ d. dekano potvarkiu Nr. _____, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe (projekte) pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Parenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą (projektą), mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: Regina Žukienė

Mano darbo (projekto) vadovas doc. dr. Audrius Vaitkus

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

(Parašas) Rita Kleizienė
(Vardas ir pavardė)

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Rita Kleizienė, 20053208

(Student's given name, family name, certificate number)

Faculty of Environmental Engineering

(Faculty)

Study programme of Civil Engineering, Kmf 10/1

(Study programme, academic group no.)

DECLARATION OF AUTHORSHIP IN THE FINAL DEGREE PROJECT

2012-05-30

(Date)

I declare that my Final Degree Project entitled "The Analysis of Use of Rigid Pavements and Research of Application Possibilities" is entirely my own work. The title was confirmed on _____ (Date) by Faculty Dean's order No. _____. I have clearly signalled the presence of quoted or paraphrased material and referenced all sources.

I have acknowledged appropriately any assistance I have received by the following professionals/advisers: Regina Žukienė

The academic supervisor of my Final Degree Project is doc.dr. Audrius Vaitkus .

No contribution of any other person was obtained, nor did I buy my Final Degree Project.



(Signature)

Rita Kleizienė

(Given name, family name)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
KELIŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

_____
(Parašas)
Alfredas Laurinavičius
(Vardas, pavardė)
_____
(Data)

Technologijos mokslai	mokslo sritis
Statybos inžinerija (02 T)	mokslo kryptis
Civilinė inžinerija	studijų programa, valstybinis kodas 621H20002
Keliai	specializacija

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO UŽDUOTIS

2012 Nr.
Vilnius

Studentui (ei) *Ritai Kleizienei*

Baigiamojo darbo tema: „*Standžiųjų dangų taikymo kelių tiesybai analizė ir panaudojimo galimybių tyrimas*“

patvirtinta 2010 m. lapkričio 3 d. dekano potvarkiu Nr. *390* ap.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2012 m. gegužės 30 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Išanalizuoti betono fizines-mechanines savybes.
Surinkti duomenis apie pasaulyje klojamo betono dangas.
Aprašyti standžių dangų konstrukcinius ir technologinius sprendinius.
Atlikti betono mišinio medžiagų sudėties analizę (rišikliai, užpildai, cheminiai priedai ir kt.) ir priklausomybę fizinėms mechaninėms savybėms remiantis literatūros apžvalga.
Atlikti Lietuvoje gaminamo betono stiprio gniuždant statistinę analizę bei palyginti tyrimų duomenis su norminiais reikalavimais.
Pateikti išvadas ir rekomendacijas standžių dangų pritaikymui Lietuvos keliuose.
Pateikti bendrąsias išvadas ir rekomendacijas.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: .....
.....
.....
(Moksl. laipsnis, vardas, pavardė)

Vadovas ..... doc. dr. Audrius Vaitkus
(Parašas)

Užduotį gavau
.....
(Parašas)
Rita Kleizienė
.....
(Vardas, pavardė)
2012-01-04
.....
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Kelių katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. .....
Data .....-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Civilinės inžinerijos** programos baigiamasis darbas

Pavadinimas **Standžiųjų dangų taikymo kelių tiesybai analizė ir panaudojimo galimybių tyrimas**

Autorius **Rita Kleizienė**

Vadovas **doc. dr. Audrius Vaitkus**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Nestandžiosios dangos konstrukcijos projektinis eksploatacijos laikotarpis yra 20 metų, o pir-mosios pažaidos dažnai susidaro jau po pirmųjų eksploatacijos metų. Kasmet didėjantys sunkio-jo transporto srautai ir apkrovos įtakoja greitesnę asfalto dangos degradaciją. Vertinant kylančias naftos, o kartu ir bitumo kainas bei išlaidas kelių priežiūrai, kaip alternatyva Lietuvos kelių ir gatvių tiesimui analizuojamos betono dangų panaudojimo galimybės. Standžiosios dangos konstrukcijos eksploatacinis laikotarpis yra nuo 25 iki 40 metų ir daugiau bei yra 1,5 - 2 kartus ilgesnis nei asfalto dangos konstrukcijų, įrengtų tokiomis pačiomis sąlygomis. Baigiamajame darbe analizuojami standžių (betono) dangų projektiniai ir konstrukciniai sprendiniai, pasaulio šalių ir Lietuvos panaudojimo patirtis. Analizuojama ir vertinama skirtingų Lietuvos gamintojų gaminamo betono mišinių stiprio gniuždant verčių sklaida ir norminių dokumentų reikalavimų atitikties.

Prasminiai žodžiai

Standžioji danga, betono danga, betonas, betono stipris gniuždant, deformacinės siūlės

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Roads

ISBN ISSN
Copies No. .....
Date .....-.....-.....

Master Degree Studies **Civil Engineering** study programme Final work

Title **The Analysis Of Use Of Rigid Pavements And Research Of Application Posibilities**

Author **Rita Kleizienė**

Academic supervisor **Assoc Prof Dr Audrius Vaitkus**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

Flexible pavement design lifetime is 20 years, and often the first failure formed after the first years of use. Every year, increasing traffic volumes and heavy transport loads influences faster degradation of the asphalt pavement. Assessing rising oil and the same time bitumen prices and costs for road maintenance, as an alternative to the Lithuanian road and street construction ana-lyzed usability of concrete pavement. Rigid pavement lifecycle period is from 25 to 40 years and more and is 1.5-2 times longer than asphalt pavement structures built under the same condi-tions. In the final work were analyzed rigid (concrete) pavement and structural design solutions, the world's countries and Lithuania experience in use of concrete pavement. The evaluation and analysis of concrete mixtures compressive strength values of the different Lithuanian producers and compliance with the requirements of normative documents.

Keywords

Rigid pavement, concrete pavement, concrete, concrete compressive strength, deformation joints

TURINYS

Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracija 3
Declaration of Authorship in the Final Degree Project 4
Užduotis 5
Anotacija 6
Abstract 7
Turinys 8
Lentelių sąrašas 10
Paveikslų sąrašas 11
Pagrindinės sąvokos, terminai ir apibrėžtys 13
Įvadas 14
1. Automobilių kelių ir gatvių dangos konstrukcijų funkcionavimo principai 15
1.1. Lietuvos automobilių kelių funkcionavimo principai 15
1.2. Gatvių dangos konstrukcijos funkcionavimo principai 19
1.3. Automobilių kelių ir gatvių dangos konstrukcijų rūšys 22
1.4. Standžiosios dangos konstrukcijų taikymas 25
1.5. Standžiosios ir nestandžiosios dangos konstrukcijų ekonominis palyginimas 28
1.6. Darbo tikslas ir uždaviniai 31
2. Standžiųjų dangų projektavimo, įrengimo ir priežiūros principai 32
2.1. Standžiųjų dangų fizinės mechaninės savybės 32
2.2. Standžiųjų dangų medžiagos 35
2.2.1. Betono klasifikacija 35
2.2.2. Betono mišinio sudėtis 37
2.3. Standžių dangų tipai 42
2.3.1. Sujungtų betono plokščių danga 43
2.3.2. Sujungtų gelžbetonio plokščių danga 44
2.3.3. Nepertraukiamai armuota betono danga 45
2.3.4. Dispersiškai armuota danga 46
2.4. Standžiųjų dangos konstrukcijų projektavimo metodai 47
2.4.1. Transporto eismo įtaka 47
2.4.2. Žemės sankasa ir pagrindo sluoksniai 48
2.4.3. Standžiosios dangos storio parinkimas 50

2.5. Deformacinės siūlės ... 52
2.5.1. Įdėklai, jungiamieji strypai ... 53
2.5.2. Deformacinių siūlių užsandarinimas ... 54
2.5.3. Siūlių išdėstymo planas dangoje ... 55
2.5.4. Asfalto ir betono dangų sujungimas ... 55
2.6. Nepertraukiamai armuotos betono dangos armavimas ... 56
2.7. Betono priežiūra kietėjimo metu ... 58
2.8. Standžiosios dangos paviršius ... 59
2.9. Standžiųjų dangų įrengimo technologijos ... 60
2.10. Standžiųjų dangų eksploatacija ir priežiūra ... 62
2.11. Dangos rekonstrukcija naudojant betono sluoksnį ... 63
2.12. Antrojo skyriaus išvados ... 65
3. Lietuvoje gaminamo betono stiprumo gniuždant eksperimentinis tyrimas ir analizė ... 67
3.1. Tyrimo objektas ir metodika ... 67
3.2. Tyrimo rezultatų analizė ir vertinimas ... 68
3.3. Trečiojo skyriaus išvados ... 71
4. Standžiųjų dangų panaudojimo galimybių tyrimas ... 72
4.1. Gatvės rekonstrukcijos standžiąja ir nestandžiąja danga ekonominis palyginimas ... 72
4.2. Standžiosios dangos ruožo įrengimas magistraliniame kelyje A5 ... 77
4.3. Rekomendacijos standžiųjų dangų taikymui Lietuvoje ... 77
4.4. Ketvirtojo skyriaus išvados ... 78
Bendrosios išvados ... 79
Literatūros sąrašas ... 81
A Priedas ... 86
B Priedas ... 87
C Priedas ... 89
D Preidas ... 93

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Valstybinės reikšmės magistraliniai keliai patenkantys į Europinius magistralinius koridorius 16
1.2 lentelė. Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių dangos tipai (2010-01-01) 17
1.3 lentelė. Nestandžiosios ir standžiosios dangos konstrukcijų skirtumai 22
2.1 lentelė. Pagrindinės bendros betono klasės 35
2.2 lentelė. Reikalavimai betonui standžių dangų įrengimui (ZTV Beton-StB 07 2008) 37
2.3 lentelė. WSDOT Projektavimo nuorodose pateiktos ESA_{80} reikšmės skirtingoms dangoms 48
2.4 lentelė. Dažniausiai pasitaikančių gruntų k-vertės (AASHTO 1998) 49
2.5 lentelė. Hidrauliniais rišikliais nesurišto dangos pagrindo k-vertės priklausomybė nuo sluoksnio storio ir žemės sankasos grunto k-vertės 49
2.6 lentelė. Rekomenduojami mažiausi betono dangos sluoksnio storiai pagal BCH 139-80 51
2.7 lentelė. Rekomenduojami išilginės armatūros skersmenys ir kiekiai (Delatte 2008, FHWA 1990b) 57
2.8 lentelė. Paviršiaus charakteristikų suvestinė (PIARC 1987) 59
2.9 lentelė. Standžiosios dangos priežiūros darbai 35 metų laikotarpiui (Stubstad ir kt. 2005) 62
2.10 lentelė. Dangos rekonstrukcijos (remonto) tipai su betono paviršiaus sluoksniu (Harrington 2008) 64
4.1 lentelė. VPEI ir SVPEI kitimas Savanorių pr. 73
4.2 lentelė. Asfalto dangos paruošiamųjų, įrengimo ir remonto darbų kiekiai (I. var.) 74
4.3 lentelė. Betono dangos paruošiamųjų, įrengimo ir remonto darbų kiekiai (II. var.) 75
B.0.1 lentelė. Projektinės apkrovos A skaičiavimas rekonstruojamoje Savanorių pr. atkarpoje. 87

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Europinės magistralės Lietuvos kelių tinkle (www.lra.lt 2012 05) 17
1.2 pav. Valstybinės reikšmės magistralinių kelių SVMPEI pasiskirstymo histograma 18
1.3 pav. Vilniaus miesto greito eismo gatvių SVMPEI pasiskirstymo histograma 21
1.4 pav. Įtempių pasiskirstymo nestandžiosios dangos konstrukcijos schema (WSDOT) 22
1.5 pav. Įtempių pasiskirstymo standžiosios dangos konstrukcijos schema (WSDOT) 22
1.6 pav. Vilkiko, važiuojančio asfalto danga (kairėje) ir betono danga (dešinėje), rato – dangos sąveikos schema (ACPA 2006) 23
1.7 pav. 1930 m. kelių tiesimui Belgijoje naudotos betono dangos konstrukcijos (Jasienski 2006) 25
1.8 pav. Atskirų šalių kelių tinklo dangų sudėtis ir standžių dangų procentinis pasiskirstymas 26
1.9 pav. Asfalto ir betono dangų taikymo priklausomybės nuo sunkiojo transporto eismo intensyvumo ir ypatingosios apkrovos rizikos schema (Breyer 2004) 28
1.10 pav. Bitumo, dyzelinio kuro ir cemento kainų kitimas 1969 - 2002 metais (Federbeton 2010) 30
2.1 pav. Betono plokštėje susidarę įtempiai ir jų įtakoti plyšiai esant neigiamai temperatūrai (Springenschmid ir kiti 1993) 32
2.2 pav. Betono plokštės išsigaubimas veikiant aplinkos temperatūrai (www.acpa.org 2012) 33
2.3 pav. Kritiniai apkrovų deriniai betono plokštėje (Delatte 2008) 34
2.4 pav. Betono mišinio sudėties ir užpildų sąryšis (Shilstone ir Shilstone Jr. 2002) 39
2.5 pav. Standžiosios dangos konstrukcijos schema. 43
2.6 pav. Skersinės siūlės šoninio pjūvio schema: a) nesujungtos betono plokštės; b) betono užpildų susikabinimas; c) betono plokštės sujungtos jungiamaisiais įdėklais. 43
2.7 pav. Sujungtų gelžbetonio plokščių dangos konstrukcija (WSDOT) 45
2.8 pav. Nepertraukiamai armuota betono dangos konstrukcija (WSDOT) 46
2.9 pav. Fibrų naudojamų kelių betone pavyzdžiai. Kairėje – sintetinės makro fibros. Viduryje – plieinės fibros užlenktais galais. Dešinėje – plieninės spiralinės fibros (S. A. Altoubat et al. 2008) 47
2.10 pav. Atstumų tarp siūlių priklausomybė nuo betono sluoksnio storio ir žemės sankasos k-vartės (FAA 2004) 49
2.11 pav. Belgijoje naudojamų deformacinių siūlių konstrukcijos (Jasienski 2006) 52
2.12 pav. Jungiamųjų įdėklų išdėstymas trijų eismo juostų kelio profilyje (ZBT Beton – StB 07 2008) 53
2.13 pav. Siūlės užsandarinimo schema (Jasienski 2006): a) naudojamas karštas sandariklis (pvz., bituminė mastika); b) naudojamas šaltas sandariklis (pvz., silikonas) 55

2.14 pav. Siūlių išdėstymo plane pavyzdžiai (Jasienski 2006) 55
2.15 pav. Asfalto dangos išspaudimas (Griffiths ir Thom 2007) 56
2.16 pav. Betono ir asfalto sujungimo schema (Griffiths ir Thom 2007) 56
2.17 pav. Armatūros surišimo variantai (Russel ir Lenz, 2011) 57
2.18 pav. Armatūros įtempimo inkarų išdėstymo schema ir įrengimo detalė (Griffiths ir Thom, 2007) 58
2.19 pav. Mikrofrezavimo freza betono dangos paviršiaus apdorojimui (MDOSI TP 92, 2010) 60
2.20 pav. Surenkami klojiniai standžių dangų įrengimui (ACPA 1996) 61
2.21 pav. Standžios dangos įrengimas surenkamais klojiniais (ACPA 1996) 61
2.22 pav. Betono klotuvo schema (Wirtigen, 2009) 61
2.23 pav. Betono dangos įrengimas klotuvu su slenkančiais klojiniais (Wirtigen, 2009) 62
3.1 pav. Betono gniuždymo mašina Impact CT340 68
3.2 pav. Betono stiprio gniuždant verčių sklaida 68
3.3 pav. Betono klasės C30/37 gniuždomojo stiprio histograma 69
3.4 pav. Atskirų gamintojų betono C30/37 klasės stiprio gniuždant verčių sklaida 70
4.1 pav. Rekonstruojamas 100 m ruožas Savanorių pr. prieš sankryžą su Vilkpėdės gatve (www.maps.lt 2012) 72
4.2 pav. Rekonstrukcijos variantai: I. Asfalto danga; II. Betono danga 73
4.3 pav. I ir II dangos rekonstrukcijos variantų išlaidų palyginimas (pagal C priedą) 76
4.4 pav. Magistralinio kelio A5 VMPEI ir SVMPEI pasiskirstymas ruožuose 77
B.0.1 pav. Asfalto dangos IRI kitimo grafikas 88

PAGRINDINĖS SĄVOKOS, TERMINAI IR APIBRĖŽTYS

Nestandžioji danga (Flexible pavement) – viensluoksnė arba daugiasluoksnė asfalto danga, įrengta ant mineralinių medžiagų pagrindo

Pusiau standžioji danga (Semi-rigid pavement) – asfalto danga, įrengta ant hidrauliškai surišto pagrindo sluoksnio

Standžioji danga (Rigid pavement) – danga, kurios viršutinysis sluoksnis yra betoninis

Betono danga (Concrete pavement) – standžioji danga, kurios dėvimasis paviršius betoninis

Sunkusis transportas SV – krovininiai automobiliai, kurių bendroji masė didesnė negu 3,5 t, be priekabų ir su jomis, vilkikai, autobusai, turintys daugiau kaip 9 sėdimas vietas, įskaitant ir vairuotojo vietą

Ypatingosios apkrovos – tai sunkiojo transporto priemonių sukeliamas papildomas poveikis dangai lėtaeigio eismo, stabdymo, greitėjimo, mažų kreivių posūkio ir sankryžų zonose, stovėjimo vietose bei eismui vykstant tomis pačiomis vėžėmis.

VMPEI – vidutinis metinis paros eismo intensyvumas

SVMPEI – sunkiojo transporto vidutinis metinis paros eismo intensyvumas

ESA – ekvivalentinių standartinių ašių skaičius

AŠAS – apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis

Deformacinės siūlės – dangoje įrengtos specialios siūlės skirtos sumažinti dangoje susidarančius temperatūrinius išsiplėtimo ir susitraukimo įtempius arba įrengtos skirtingų klojimo etapų sujungimo vietoje.

Užpildai (Aggregates) – įvairios frakcijos mineralinės dalelės betono mišinyje

Įdėklas (Dowel) – lygus plieninis strypas

Inkarinis strypas (Tai bar) – rifliuotas plieninis strypas

SBP – sujungtų betono plokščių danga

SGBP – sujungtų gelžbetonio plokščių danga

AB – nepertraukiamai armuota betono danga

XF... – aplinkos poveikio klasė, kai yra užšalimo ir atšilimo poveikiai

C.../... – betono stiprio gniuždant klasė

CEM... – cemento tipas pagal EN 197

v/c – vandens ir cemento santykis betono mišinyje

CBR (California Bearing Ratio) – Kalifornijos santykinio atsparumo rodiklis

ĮVADAS

Kasmet didėjantys sunkiojo transporto srautai ir apkrovos įtakoja greitesnę asfalto dangos degradaciją, o kelių priežiūros tarnybos išleidžia milijonus litų kelių remontui. Išlaidos kelių priežiūrai yra aktuali problema visame pasaulyje, todėl kalbant apie dangos konstrukciją akcentuojamas kelio dangos eksploatacinis laikotarpis ir ilgaamžiškumas. Dangos eksploatacinis laikotarpis – tai periodas, kuriam tiesioginę įtaką turi žemės sankasos būklė, klimato sąlygos bei transporto sukeltos apkrovos.

Automobilių kelių ir gatvių tinkle, pasaulyje ir Lietuvoje, dažniausiai naudojamos nestandžiosios dangos. Nestandžiosios dangos konstrukcijos projektinis eksploatacijos laikotarpis yra 20 metų, o pirmosios pažaidos dažnai susidaro jau po pirmųjų eksploatacijos metų. Packard (1994) teigia, kad betono dangos eksploatacinis laikotarpis yra nuo 25 iki 40 metų ir daugiau bei yra 1,5-2 kartus ilgesnis nei asfalto dangų įrengtų tokiomis pačiomis sąlygomis. Standžioji danga automobilių sukeltas apkrovas paskirsto ir perduoda didesniame plote, todėl slėgis į dangos konstrukcijos pagrindo sluoksnių ir žemės sankasą lyginant su nestandžiomis dangomis yra ženkliai mažesnis.

Standžiosios (betono) dangos naudojamos įvairiuose transporto statiniuose: magistraliniuose keliuose, aerodromuose, gatvėse, krantinėse, įvairios paskirties aikštelėse. Betono dangos naudojamos ten, kur danga veikiama ypatingąja apkrova (greitėjimo, stabdymo posūkių zonose), didelėmis statinėmis apkrovomis (lėktuvų peronuose, konteinerių iškrovimo ir saugojimo aikštelėse). Iš betono įrengiami keliuose naudojami konstrukciniai elementai: pralaidos, saugos sienutės, bordiūrai, atraminės sienutės.

Lietuvoje automobilių kelių dangos yra projektuojamos ir įrengiamos pagal nusistovėjusią metodiką ir yra orientuotos į asfalto dangas. Vertinant kylančias naftos, o kartu ir bitumo kainas bei išlaidas kelių priežiūrai, kaip alternatyva Lietuvos kelių ir gatvių tiesimui analizuojama betono dangų panaudojimo galimybė.

Darbe apžvelgiama betono dangų panaudojimo Lietuvoje ir kitose šalyse raida, taikomi standžiųjų dangų projektavimo, konstrukciniai ir technologiniai sprendiniai. Taip pat analizuojama skirtingose Lietuvos gamyklose pagamintų betono mišinių stiprio gniuždant verčių sklaida ir norminių dokumentų reikalavimų atitiktis. Atliktas betono ir asfalto dangų įrengimo ekonominis palyginimas pateiktos išvados ir rekomendacijos.

1. AUTOMOBILIŲ KELIŲ IR GATVIŲ DANGOS KONSTRUKCIJŲ FUNKCIONAVIMO PRINCIPAI

Lietuva Europos mastu – maža valstybė. Tačiau pagal geografinę padėtį ir Lietuvos susisiekimo komunikacijų infrastruktūrą – tranzitinė šalis, kuri jungia Vakarų ir Rytų Europos bei Pietų ir Šiaurės Europos šalis. Labai svarbu užtikrinti saugumą, mobilumą ir patogumą keliuose, kad šalies infrastruktūra būtų patraukli krovinių vežėjams, keliautojams, o kelių naudotojai patirtų kuo mažiau išlaidų.

V. Puodžiukas ir D. Miškinis (2009) teigia, kad valstybė, puoselėdama kelių tinklą, gauna tiesioginę ir netiesioginę materialią naudą: saugumą keliuose, mažesnę laiko gaištį, mažesnes kelionės išlaidas, mažesnes išlaidas transporto priemonių remontui. Išplėtota kelių infrastruktūra pritraukia daugiau tranzitinio eismo dalyvių, o tai sudaro palankias sąlygas verslui plėtojimui. Prižiūrėti ir tvarkingi keliai gerina šalies įvaizdį, kelių naudotojai jaučiai saugiai ir komfortabiliai važiuodami, geri keliai turi įtaką paslaugų suteikimo kokybei, gerėja ir ekologinė situacija.

Lietuvoje didžiausią dalį kelių ir gatvių sudaro nestandžiosios dangos, kurias dėl dangoje susidariusių defektų reikia remontuoti ir atnaujinti kas 7 – 10 m. 2009 metais ženkliai sumažėjęs susisiekimo komunikacijų finansavimas turėjo didelę įtaką šiandieninei kelių ir gatvių būklei. Nors ES lėšos toliau sėkmingai įsisavinamos kelių ir gatvių tinklo plėtimui lėšų stygius kelių ir gatvių priežiūrai lėmė esamų asfalto dangų greitesnę degradaciją.

Šiame skyriuje apžvelgiamas Lietuvos automobilių kelių tinklas ir sunkiojo transporto eismo intensyvumas juose, analizuojamos miesto gatvių dangas veikiančios sąlygos bei pateikiamas sunkiojo transporto eismo intensyvumas Vilniaus miesto greito eismo gatvėse. Pateikiami standžiųjų ir nestandžiųjų dangos konstrukcijų ypatumai ir skirtumai, pasaulio ir Lietuvos standžiųjų dangų naudojimo patirties analizė. Suformuluotas darbo tikslas ir uždaviniai.

1.1. Lietuvos automobilių kelių funkcionavimo principai

Lietuvos automobilių kelių tinklo ilgis yra apie 80 tūkst. km. LR Kelių įstatymo 3 straipsnis nurodo, kad „..keliai, atsižvelgiant į transporto priemonių eismo pralaidumą, socialinę ir ekonominę jų reikšmę, skirstomi į valstybinės reikšmės ir vietinės reikšmės kelius.“. Lietuvoje svarbiausi yra valstybinės reikšmės keliai, kuriems tenka daugiau kaip pusė visų nuvažiuotų kilometrų ir apie 80 proc. pervežtų krovinių. Valstybinės reikšmės automobilių kelių bendras ilgis – 21 268,4 km (1.2 lentelė). Lietuvoje 1,0 tūkst. km^2 tenka 326 km ilgio valstybinės reikšmės kelių tinklo, 1 tūkst.gyv. tenka 6,39 km kelių tinklo. Valstybinės reikšmės keliai pagal transporto priemonių eismą ir sudėtį skirstomi į:

„1) magistralinius kelius. Tai pagrindiniai Lietuvos keliai ir jų tęsiniai – gatvių važiuojamoji dalis, kuriais vyksta intensyviausias transporto priemonių eismas. Jiems priskiriami ir visi į Europos tarptautinį kelių tinklą įtraukiami valstybinės reikšmės keliai;

2) krašto kelius. Jie sudaro pagrindinio kelių tinklo dalį. Tai keliai ir jų tęsiniai – gatvių važiuojamoji dalis, kuriais vyksta intensyvus transporto priemonių eismas tarp Lietuvos Respublikos teritorijos administracinių vienetų centrų, taip pat tranzitinio ir turistinio transporto priemonių eismas;

3) rajoninius kelius. Tai keliai, naudojami ... susisiekimo reikmėms ir jungiantys miestų ir kaimų gyvenamąsias vietoves su pagrindinių kelių tinklu.“ (LR Kelių įstatymas 1995).

Magistraliniai keliai Lietuvos automobilių kelių tinkle sudaro 8,2 %, krašto keliai – 23,2 % ir rajoniniai - 68,6 %.

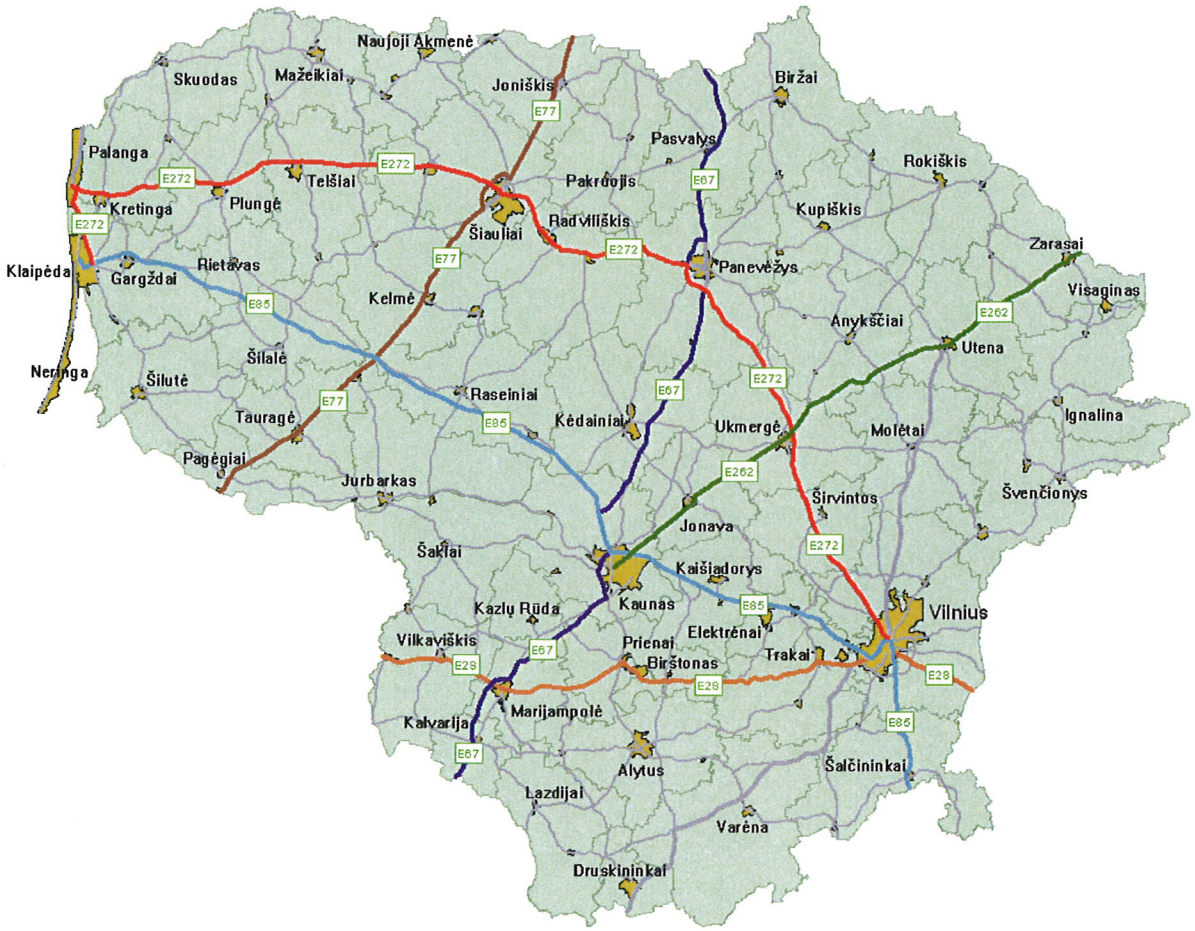
Lietuvos teritoriją kerta 6-ios Europinės magistralės (žr. 1.1 pav.):

- E67 VIA BALTICA (Helsinkis – Talinas – Ryga – Panevėžys – Kaunas – Varšuva – Vroclavas – Praha);
- E28 (Berlynas – Gdanskas – Karaliaučius – Marijampolė – Prienai – Vilnius – Minskas);
- E77 (Pskovas – Ryga – Šiauliai – Karaliaučius – Varšuva – Krokuva –Budapeštas);
- E85 (Klaipėda – Kaunas – Vilnius – Lyda – Černovcai – Bukareštas – Aleksandropolis);
- E262 (Kaunas – Utena – Daugpilis – Rezeknė – Ostravas);
- E272 (Vilnius – Panevėžys – Šiauliai – Palanga – Klaipėda).

Europos magistralių koridoriai persidengia su valstybinės reikšmės magistraliniais keliais (1.1 lentelėje). Magistraliniai keliai A4 ir A14 nepatenka į Europos magistralinius koridorius.

1.1 lentelė. Valstybinės reikšmės magistraliniai keliai patenkantys į Europinius magistralinius koridorius

Europinės magistralės	E67 VIA BALTICA	E28	E77	E85	E262	E272
Lietuvos magistraliniai keliai	A10 A17 A8 A1 (atkarpa) A5	A7 A16 A3	A12 A18	A1 A15	A6	A2 A17 A9 A11 A13 (atkarpa)



1.1 pav. Europinės magistralės Lietuvos kelių tinkle (www.lra.lt 2012 05)

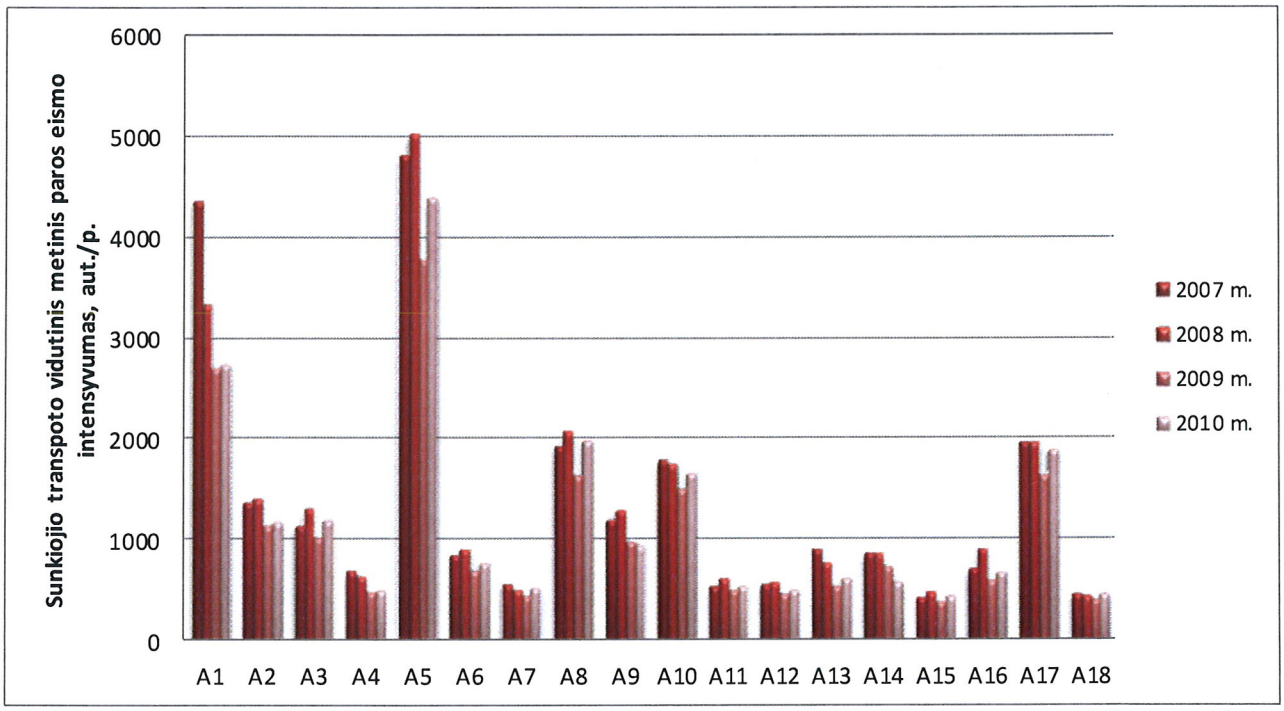
Lietuvoje didžioji dalis kelių yra nestandžia asfalto danga – 63,9 % (žr. 1.2 lentelę). Žvyro dangos sudaro 35,6 % Lietuvos kelių ir taikomos tik rajoninės reikšmės keliuose. Betono dangos sudaro 0,34 % visų kelių.

1.2 lentelė. Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių dangos tipai (2010-01-01)

Dangos	Valstybinės reikšmės keliai, km			
	Magistraliniai	Krašto	Rajoniniai	Iš viso
Asfalto	1666,93	4939,354	6978,105	13584,389
Betono	71,12	-	1,34	72,46
Žvyro	-	-	7604,084	7604,084
Grindinys	0,42	-	7,006	7,426
Iš viso	1738,47	4939,354	14590,585	21268,409

A. Braga (2005) teigia, kad vienas svarbiausių kelio dangos degradaciją veikiančių veiksnių yra transporto priemonių eismas. Poveikis dangai didėja didėjant transporto priemonių svoriui, slėgiui

padangose, mažėjant ašių skaičiui, todėl didžiausią įtaką dangai turi sunkusis transportas (Braga 2005). Lietuvos valstybinės reikšmės keliais kasmet pervežama apie 80 % (apie 170,2 mln. tonų) visų Lietuvos krovinių (Ambrazevičius 2008). Didžiausias dėmesys ir finansavimas skiriamas magistralinių kelių remontui ir priežiūrai, nes šiais keliais pervežami didžiausi kiekiai krovinių. Siekiama užtikrinti keleivių ir krovinių pervežimo kokybę, mažesnę transportavimo kainą, mažesnes išlaidas transporto priemonių eksploatacijai. Sunkiojo transporto vidutinio metinio paros eismo intensyvumo pasiskirstymas Lietuvos magistralinių kelių tinkle pateiktas 1.2 paveiksle.



1.2 pav. Valstybinės reikšmės magistralinių kelių SVMPEI pasiskirstymo histograma

Dėl ekonominio nuosmukio šalyje 2009 metais užfiksuotas staigus sunkiojo transporto eismo intensyvumo mažėjimas, kuris 2010 metais 89 % magistralinių kelių ėmė didėti. Magistralinių kelių SVMPEI pasiskirstymo histogramoje matyti, kad didžiausias sunkiojo transporto srautas yra magistraliniame kelyje A5, 2010 metais šiuo kelių pravažiavo vidutiniškai 4,4 tūkst.SV aut./p. Dideli sunkiojo transporto srautai tenka magistraliniams keliams A1, A8, A10 ir A17. Sunkiojo transporto svėrimo tyrimais nustatyta, kad bendras perkrautų transporto priemonių skaičius sudarė 13,4 % viso sunkiasvorio transporto.

Nestandžioji danga pasižymi gebėjimu atsistatyti po apkrovimo, sugrįžti į pirminį būvį. Dangos atsistatymas, įlinkio sumažėjimas priklauso nuo medžiagų tamprumo savybių ir laiko tarpo tarp apkrovimo. Magistraliniuose keliuose vienas paskui kitą važiuojančios sunkiojo transporto priemonės (vilkikai) sukelia žalingą poveikį dangai, dėl labai dažno ašių apkrovų pasikartojimo danga nespėja at-

sistatyti į pradinį būvį. Be tampriųjų deformacijų susidaro liekamosios (plastinės), ir tokiu būdu formuojasi provėžos.

Didžiausią poveikį kelio dangos konstrukcijai transporto apkrovos sukelia pavasario ir rudens laikotarpiais, kai padidėja vandens ir drėgmės kiekis pagrindo sluoksniuose. Pagrindo sluoksniai praranda stiprumą ir danga gali sulūžti, susidaryti nuovargio plyšiai bei plyšių tinklas. Didžiausią poveikį dangos konstrukcijai sunkusis transportas turi šiltuoju metu, kai asfalto danga įkaista iki 40°C ir daugiau. Esant aukštai temperatūrai bitumas suminkštėja, paranda rišančiąsias savybes ir dangoje pasireiškia pažaidos: bitumo išplaukimas, deformacijos, provėžos, bangos, slinktys.

Pažaidos, o ypatingai provėžos, keliuose sukelia pavojų eismo dalyviams ir blogina eismo saugumą. Atliekant lenkimo manevrą vairuotojai gali nesuvaldyti dideliu greičiu važiuojančio automobilio. Ši problema tampa ypatingai aktuali esant krituliams, kai provėžose susikaupia vanduo, kuris mažina rato sukibimą su danga ir automobilis gali tapti nevaldomas.

1.2. Gatvių dangos konstrukcijos funkcionavimo principai

Lietuvos automobilių kelių tinklą sudaro kelių jungtys (keliai), kurios susijungia tarpusavyje transporto mazguose ir sankryžose, dažniausiai prie miestų arba miestuose. Didėjant automobilizacijos lygiui ir augant automobilių eismo intensyvumui keliuose, tranzitinio transporto mazgai miestuose tampa vis didesnė problema, sukelianti transporto priemonių spūstis, laiko gaištį, aplinkos taršą ir triukšmą, padidintą dangos dėvėjimąsi.

Miesto gatvių dangos eksploatacijos ir funkcionavimo sąlygos iš esmės skiriasi nuo kelių dangos. Eksploatuojant miesto gatves labai svarbu atsižvelgti į gatvės dangos būklės degradacijos prognozę per gatvės dangos eksploatacinį laikotarpį. Nuo gatvės dangos būklės priklauso dangos lygumas ir tolesnės gatvės dangos degradacijos sparta. Atitinkamai nuo to priklauso dangos priežiūros (pavyzdžiui, dangos plyšių ir duobių užtaisymui), remonto (jei danga irs greičiau, ją reikės dažniau remontuoti) bei gatvės naudotojų išlaidos – transporto priemonių eksploataciniai kaštai, automobilių srauto greitis, o kartu kelionėje sugaištas laikas.

Didžiausią ardantį poveikį gatvės dangos konstrukcijai turi mechaniniai veiksniai. Miesto gatvių dangas veikia šios ypatingosios sunkiojo transporto apkrovos:

- dažnas transporto priemonių stabdymas ir greitėjimas (sankryžose, viešojo transporto sustojimuose, prieš greičio apribojimus ir pan.);
- transporto priemonių stovėjimas (transporto priemonių spūsčių metu, prie sankryžų ar viešojo transporto sustojimuose);
- lėtaeigis eismas;

– nenutrūkstamas sunkiojo transporto srautas (pvz., viešojo transporto eismas viena eismo juosta).

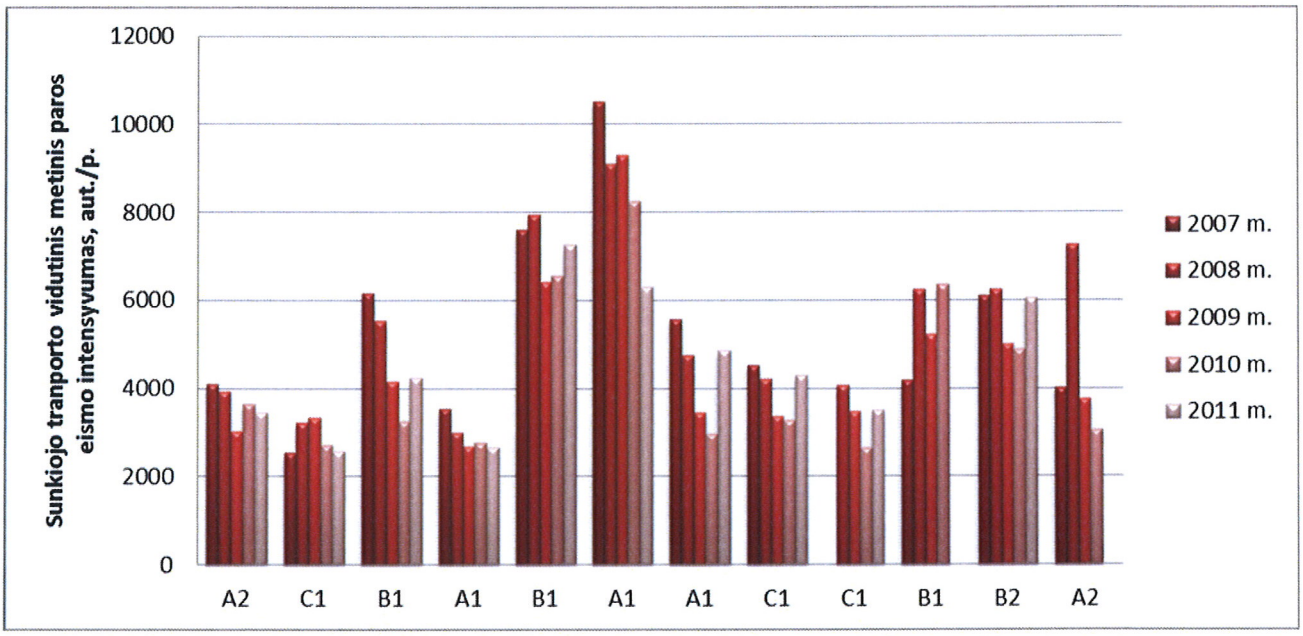
Transporto priemonių sukeliamas apkrovų poveikis dangos konstrukcijai priklauso nuo važiavimo greičio. Atstumai tarp transporto priemonių mieste būna mažesni, automobiliai gatvėse dažniausiai juda nepertraukiamu srautu ir perduoda didesnę lyginamąją apkrovą į dangą. Važiuojant lėčiau sumažėja rato ir kontakto su dangos (pėdsako) plotas, t.y. į mažesnį plotą perduodama ta pati apkrova. Vidutinis srauto greitis mieste nedidelis, apie 40 – 70 km/h. Sankryžų zonose, be normalinių įtempių, papildomai atsiranda dideli tangentiniai įtempiai dėl transporto priemonių stabdymo ir greitėjimo. Atsiradus pirmiesiems nelygumams, plastinėms deformacijoms ir bangoms važiavimas tampa netolygus ir apkrovos dangoje pasiskirsto nevienodai. Transporto priemonių sukeliamos apkrovos įgauna dinaminį-smūginį poveikį, kuris laikui bėgant įtakoja plastinių deformacijų susidarymą dangos konstrukcijoje.

Išanalizavus įvairių tyrimų rezultatus apie kelių dangos irtį dėl sunkiųjų transporto priemonių ratų apkrovų poveikio, šių apkrovų rodiklius galima suskirstyti į eilę, jų ardančio poveikio mažėjimo tvarka:

– ašies apkrovos;
– atstumas tarp ašių ir atstumas tarp ratų;
– padangų skaičius ratuose ir oro slėgis padangose;
– padangų ir pakabų tipas;
– sunkiųjų transporto priemonių važiavimo greitis.

Apkrovų poveikis didėja dėl klimato sąlygų įtakos. Dėl miestuose susidarančios užuovėjos, vasaros metu asfalto dangos temperatūra būna (8–10)°C aukštesnė nei užmiesčio keliuose. Esant aukštai asfalto dangos temperatūrai (iki +60°) sumažėja bitumo rišamosios savybės, o tai įtakoja asfalto dangos standumo mažėjimą (Paliukaitė ir Vaitkus 2011). Dėl dažno sunkiojo transporto priemonių stabdymo ir greitėjimo, esant aukštai aplinkos temperatūrai, gatvių dangose susidaro plastinės deformacijos – bangos, raukšlės, slinktys.

Miesto gatvėse skirtingai nei užmiesčio keliuose, transporto priemonių srautų intensyvumui ir pasiskirstymui turi reikšmės piko valandos (nuo 7 iki 12 val. ryto ir nuo 16 iki 19 val. vakaro) ir savaitės dienos (pirmadienis – penktadienis). Savaitgaliais ir tamsiuoju paros metu eismas gatvėse ženkliai sumažėja. 1.3 paveiksle pateiktas sunkiojo transporto vidutinio paros eismo intensyvumo pasiskirstymas Vilniaus miesto greito eismo gatvėse. Transporto srautai mieste gali stipriai pasikeisti dėl remontuojamų gatvių, todėl sudėtinga vertinti priežastis, kodėl pasikeitė transporto srautai vienoje ar kitoje gatvėje.



1.3 pav. Vilniaus miesto greito eismo gatvių SVMPEI pasiskirstymo histograma

Iš 1.3 paveikslo matyti, kad sunkiojo transporto eismas Vilniaus miesto gatvėse 4 metų laikotarpyje mažėjo. Savanorių g. 2011 metais SVMPEI buvo didesnis nei 6 tūkst. aut./p., kai tuo tarpu labiausiai apkrautame A5 kelyje (1.2 pav.) SVMPEI 2010 metais nesiekė 5 tūkst. aut./p. Lyginant 1.2 ir 1.3 paveikslų duomenis ir nevertinant sunkiojo transporto ESA, galima teigti, kad miestų gatvėse sunkiojo transporto eismas yra sąlyginai didesnis.

Miesto teritorija turi būti efektyviai išnaudota, todėl po gatvės konstrukcija yra įrengiami įvairūs požeminiai inžineriniai tinklai. Įrengiant naujas ir remontuojant senas požemines komunikacijas, esančias po važiuojamąja gatvių dalimi, ardoma gatvių dangos konstrukcija. Vykdant požeminių komunikacijų, esančių gatvės važiuojamojoje dalyje, remonto darbus, dažnai, gatvės dangos konstrukcija yra netinkamai atstatoma, nepasiekiama prieš tai buvusi gatvės dangos konstrukcijos būklė. Todėl pablogėja važiuojamosios dalies lygumas bei dangos konstrukcijos stiprumas. Tokiu būdu trumpėja dangos eksploatacijos periodas, blogėja važiavimo kokybė ir transporto eismo sąlygos.

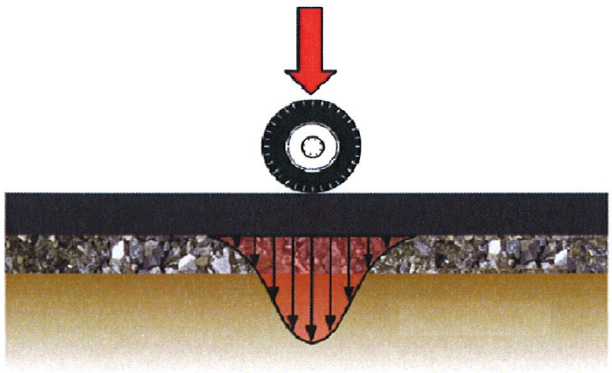
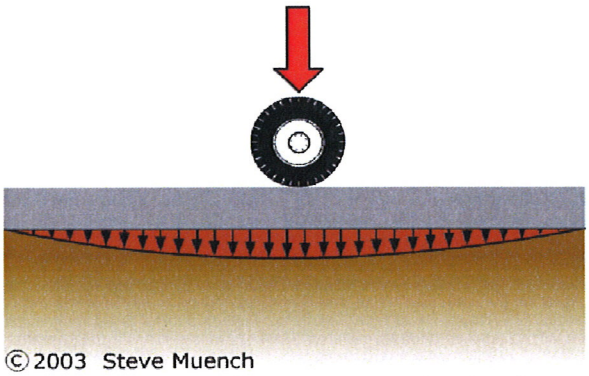
Miesto gatvių asfalto dangose susidarančios pažaidos yra aktuali problema. Plastinės deformacijas (provėžas) labiausia įtakoja ypatingosios apkrovos ir aplinkos temperatūra. Betono dangos stiprumui aplinkos temperatūra įtakos neturi, todėl pasaulyje šio tipo dangos naudojamos miesto gatvių dangų įrengimui probleminėse vietose: autobusų sustojimuose, prie sankryžų, viešojo transporto juostose.

1.3. Automobilių kelių ir gatvių dangos konstrukcijų rūšys

Automobilių kelių ir gatvių danga gali būti: standžioji, pusiau standžioji ir nestandžioji. Dangos konstrukcija su standžiąja ir nestandžiąja danga iš esmės skiriasi ne tik naudojamomis medžiagomis, bet ir funkcionavimu veikiant apkrovoms, įrengimo technologija bei priežiūra. Nestandžioji danga, tai yra asfalto danga, standžioji – betono.

Nestandžioji danga plačiai aprašyta ir išnagrinėta šalies mokslininkų, parengtos projektavimo ir taikymo kelių tinkle metodikos yra nusistovėjusios ir patikimos. Tuo tarpu standžiosios dangos Lietuvoje nėra plačiai naudojamos, nėra pakankamai patirties ir informacijos. 1.3 lentelėje pateikiami įvairių literatūros šaltinių surinkti pagrindiniai nestandžiųjų ir standžiųjų dangos konstrukcijų skirtumai.

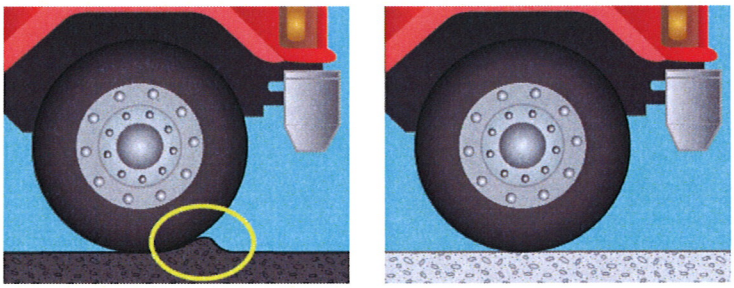
1.3 lentelė. Nestandžiosios ir standžiosios dangos konstrukcijų skirtumai

Nestandžioji dangos konstrukcija	*Standžioji dangos konstrukcija*
– tai daugiasluoksnė konstrukcija susidedanti iš asfalto viršutinio, apatinio ir pagrindo sluoksnių (III – SV dangos konstrukcijos klasė) įrengtų ant stambios frakcijos nesurišto pagrindo;	– tai konstrukcija susidedanti iš viršutinio betono sluoksnio įrengto ant betono pagrindo, kuris esant mažiems transporto srautams nėra būtinas;
– danga įrengta iš asfalto sluoksnių, kur rišamoji medžiaga bitumas;	– danga įrengta iš betono, kur rišamoji medžiaga portlandcementis;
– apkrovos sukelti įtempiai koncentruotai perduodami pagrindo sluoksniams ir žemės sankasai (žr. 1.4 pav.);	– apkrovos sukelti įtempiai perduodami išskirstyti ir yra ženklai mažesni lyginant su asfalto dangos konstrukcija (žr. 1.5 pav.);
 **1.4 pav.** Įtempių pasiskirstymo nestandžiosios dangos konstrukcijos schema (WSDOT)	 **1.5 pav.** Įtempių pasiskirstymo standžiosios dangos konstrukcijos schema (WSDOT)
– dangos konstravimo metodai remiasi dvisluoksnės konstrukcijos skaičiavimo modeliu pagal tamprųjį įlinkį;	– dangos konstravimo metodai remiasi betono plokštės stiprumo lenkiant skaičiavimo metodu;
– tarp asfalto sluoksnių turi būti užtikrintas sukibimas, kad sistema dirbtų kaip monolitinis daugiasluoksnis junginys;	– tarp betono sluoksnių (jei projektuojama dvisluoksnė betono danga) nėra sukibimo, sluoksniai yra atskiriami naudojant geosintetines medžiagas arba 6 cm storio asfalto sluoksnį;

1.3 lentelės tęsinys.

Nestandžioji dangos konstrukcija	*Standžioji dangos konstrukcija*
– mažesni įrengimo kaštai, tačiau didesnės išlaidos dangos priežiūrai;	– didesni įrengimo kaštai, tačiau mažos išlaidos dangos priežiūrai;
– dangos tarnavimo trukmė iki 20 metų ir kas 7-10 metų asfalto dangą reikia renovuoti, atnaujinti ar patobulinti;	– dangos tarnavimo trukmė iki 40 metų ir kas 12-15 metų atliekami siūlių užtaisymo darbai ir dangos mikrofrezavimas;
– nestandžiosios dangos stiprumas labai priklauso nuo pagrindo sluoksnio ir žemės sankasos stiprumo. Asfalto dangos privalo būti įrengtos ant gerai sutankinto ir paruošto pagrindo;	– standžiosios dangos stiprumas mažai nuo pagrindo sluoksnių. Esant mažam SV eismui betono dangas galima rengti tiesiog ant sutankintos ir išlygintos žemės sankasos, jei nereikalingas AŠAS;
– asfalto stiprumas kylant temperatūrai mažėja, nes minkštėja bitumas prarasdamas rišančiąsias savybes;	– betono stiprumas kylant temperatūrai nesikeičia, tačiau aplinkos temperatūra įtakoja temperatūrinius įtempius dangoje;
– temperatūriniai įtempiai asfalto dangoje yra palyginus maži. Kol bitumo savybės nėra pakitusios asfalto danga yra elastinga, gali nevaržomai plėstis ir trauktis nesukeldama temperatūrinių plyšių.	– temperatūriniai įtempiai betono dangoje yra dideli, įtakoja betono plokštės išsigaubimą, išsiplėtimą ir susitraukimą;
– asfalto dangoje nereikia įrengti deformacinių siūlių;	– betono dangoje turi būti įrengtos deformacinės siūlės;
– transporto srautas gali būti leidžiamas jau po 24 valandų nuo sutankinimo.	– transporto srautas yra ribojamas 28 paras po dangos paklojimo.

ACPA (American Concrete Pavement Assosiation) teigia, kad transporto priemonės, važiuodamos betono dangomis, sunaudoja mažiau degalų. Degalai paverčiami mechanine energija, kuri priverčia transporto priemonę judėti. Nestandžiojoje dangos konstrukcijoje, važiuojant transporto priemonei, susidarančios deformacijos sugeria tam tikrą dalį energijos, kuri gali būti panaudota transporto priemonės judėjimui (1.6 pav.).



1.6 pav. Vilkiko, važiuojančio asfalto danga (kairėje) ir betono danga (dešinėje), rato – dangos sąveikos schema (ACPA 2006)

Priklausomai nuo sunkiojo transporto priemonės tipo ir bendrosios masės degalų sąnaudos gali sumažėti nuo ~1 iki ~6 %. Šios išvados formuluojamos remiantis Consulting T. (2002) ir Taylor, Patten (2006) atliktais tyrimais.

Betono dangos gali būti perdirbamos. Nuvargusi ir neberenovuojama betono danga gali būti suskaldoma ir panaudojama: pagrindo sluoksnių įrengimui, betono mišinio gamybos procese (naudojant sutrupintą betoną kaip užpildą).

Betono dangos yra šviesesnės lyginant su asfalto dangomis ir atspindi daugiau šviesos, todėl tamsiu paros metu yra geresnis matomumas. Gajda ir Van Geem (1997) teigia, kad asfalto dangoms reikia daugiau šviestuvų norint pasiekti tą patį dangos apšvietimo lygį kaip betono dangose. Tyrimais nustatyta, kad naudojant betono dangas sutaupoma 31% nuo apšvietimo bendrų energijos ir priežiūros kaštų lyginant su asfalto dangos apšvietimu.

Betono dangos yra vėsesnės nei asfalto dangos. Kelio dangos paviršiaus atsispindi tam tikrą dalį saulės energijos, likusi saulės energija absorbuojama kaip šilumos energija, kuri įtakoja temperatūros kilimą dangoje. Pomerantz ir kiti (2000) nustatė, kad betono paviršius yra 12°C žemesnės temperatūros nei juodosios asfalto dangos.

Standžiosios dangos yra ekologiškos. Norint objektyviai įvertini ir palyginti skirtingų dangų įtaką aplinkai vertinamas išskiriamų dujų kiekis ir poveikis aplinkai viso gamybos ir priežiūros proceso metu nuo medžiagų gamybos iki paskutiniųjų dangos tarnavimo metų. Milachowski et. al. (2011) atliko skirtingų dangos konstrukcijų įrengimo ir 30 metų eksploatacijos periodo poveikio aplinkai vertinimą pagal ISO 14040. Tyrimas atliktas 1 km ilgio dviejų eismo juostų viena kryptimi magistralinio kelio atkarpai su skirtingomis dangos konstrukcijomis:

- asfalto danga su viršutinius skaldos mastikos asfalto sluoksniu;
- asfalto danga su viršutiniu poringojo asfalto sluoksniu;
- betono danga su mechaniškai apdorotu paviršiumi;
- betono danga su plonu 50 mm storio specialiu dėvimuoju betono sluoksniu.

Tyrimo metu buvo analizuoti statybinių medžiagų gamybos procesai, lyginamas asfalto ir betono dangos įrengimo metu išskiriamų dujų kiekis, vertinamas perdirbtų medžiagų naudojimas pagrindų įrengimui bei transporto priemonių poveikis aplinkai. Nustatyta, kad betono dangos įrengimo ir priežiūros poveikis aplinkai yra 9,6 karto mažesnis nei asfalto dangos.

Federbeton 2010 metais publikavo asfalto ir nepertraukiamai armuoto betono dangų įrengimo ekonominį palyginimą. Skaičiavimai atlikti 2001 metų kainomis. Buvo lyginamos šešios dangos konstrukcijos: 4 standžiosios dangos variantai ir 2 nestandžiosios dangos variantai (konstrukcijos pateiktos A Priede). Atlikti skaičiavimai parodė, kad nepertraukiamai armuotos betono dangos įrengimo kaštai 30 – 40 % didesni, nei asfalto dangos. Tačiau betono dangos ekonominis efektyvumas (atsiperkamumas)

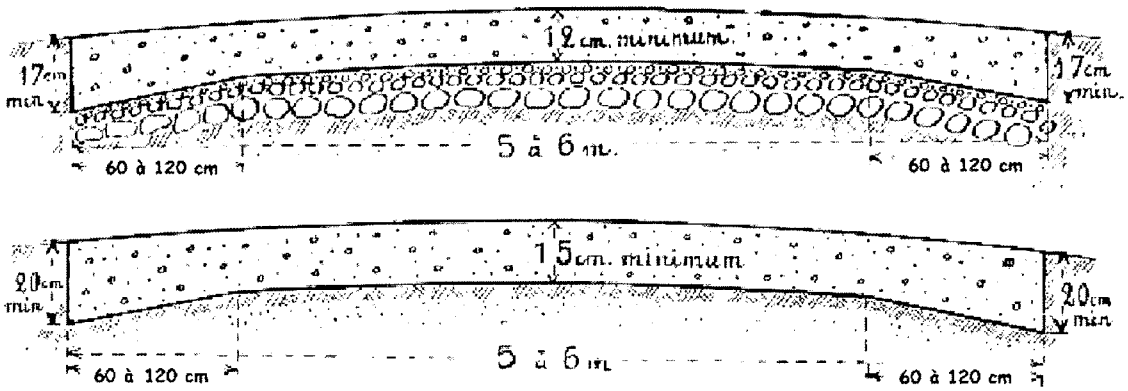
gali būti pasiektas jau po 7-14 metų priklausomai nuo šalies ekonominės situacijos, finansų valdymo strategijos ir eksploatacinio laikotarpio.

Standžiosios ir nestandžiosios dangos iš esmės skiriasi dėl dangos sluoksniuose naudojamų rišiklių, kurių savybės įtakoja tolimesnius skirtumus: dangos konstravimo, įrengimo, priežiūros, poveikio aplinkai. Abi dangos turi ir trūkumų, ir privalumų, todėl pasirenkant dangos tipą svarbu detaliai išanalizuoti visus aspektus įtakojančius tinkamiausio sprendimo pasirinkimą.

1.4. Standžiosios dangos konstrukcijų taikymas

Standžiosios dangos pradėtos kloti XIX a. pabaigoje. Pirmieji bandomieji ruožai betono danga buvo nutiesti Didžiojoje Britanijoje 1865-1866 metais (Skėrys 2009). 1879 metais Škotijoje kelių tiesyboje buvo naudotas betonas su portlandcemenčio užpildu (Delatte 2008). Tačiau PCA (Portlando Cemento Asociacija) pirmuoju betono dangos statiniu laiko 1891 metais Ohajo Valstijoje JAV nutiestą gatvę, kuri iki šiol funkcionuoja. Pirmasis greitkelis su betono danga buvo nutiestas 1913 metais Arkanzaso Valstijoje (PCA 1991). Tai buvo 38,6 km ilgio ir 2,7 m pločio atkarpa, kurios betono sluoksnio storis 12,7 cm. Iki 1922 m. standžiosios dangos buvo klojamos be deformacinių siūlių. 1921-1923 metais Illinoi'aus Valstijoje buvo įrengtas bandomasis ruožas „Bates Road Test" su 78 skirtingomis dangos konstrukcijomis. Nustatyta, kad standžiosios dangos kraštai turi būti papildomai sustiprinti ir dangoje turi būti įrengta išilginė siūlė (Pasko Jr. 1998).

1930 metais vyko pirmasis Belgijos kelių kongresas, kurios metu buvo publikuotas leidinys „Betono dangos Belgijoje – 15 metų patirties – Išvados – Pasiūlymai" („La Rout en Beton en Belgique – 15 annees d'experience – Conclusions – Propositions"). 1.7 paveiksle pateikiami skersiniai betono dangos skersiniai pjūviai iš 1930 metų brošiūros.



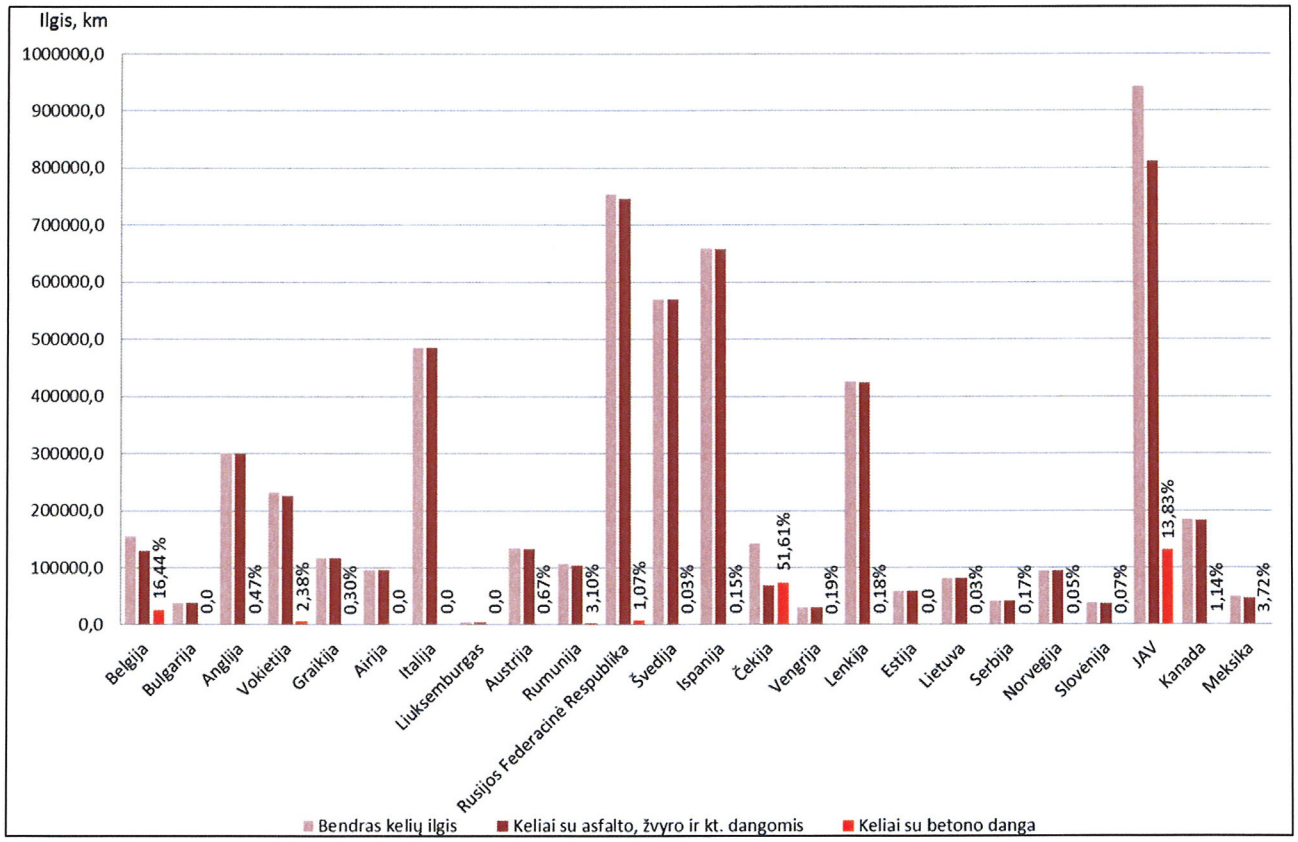
1.7 pav. 1930 m. kelių tiesimui Belgijoje naudotos betono dangos konstrukcijos (Jasienski 2006)

Nuo 1950 m. JAV daugiausiai buvo klojamos nepertraukiamai armuoto betono dangos. 1958-1960 metais JAV AASHO (American Association of State Highway Officials) įrengė šešis dviejų eis-

mo juostų bandomuosius poligonus su skirtingomis dangos konstrukcijomis (AASHO Road Test). 1986 m. išleista pirminė AASHTO dangų konstravimo metodika, pagrįsta AASHO Road Test tyrimais (Pasko Jr. 1998). 1993 m. JAV patvirtinta AASHTO dangų konstravimo metodika, kuri 1998 m. buvo atnaujinta ir galioja iki šiol. Kai kuriose valstijose betono dangų projektavimui buvo papildomai taikomos PCA 1984 procedūros. 2004 metais JAV Transporto tyrimo departamentas išleido programinį dangų konstravimo paketą MEPDG (Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide). Tačiau ji nėra plačiai naudojama dėl nusistovėjusių, laiko patikrintų projektavimo metodikų. Laikui bėgant specialistai tikisi, kad MEPDG išstums AASHTO 1998 ir PCA 1984 projektavimo metodikas.

Vakarų Europoje standžiosios dangos paprastai konstruojamos ir projektuojamos pagal konkrečioje šalyje priimtus projektavimo katalogus (tipines dangos konstrukcijas) ir įrengimo taisykles. Detaliau konkrečių šalių tipiniai dangos konstrukciniai sprendiniai bei skaičiavimo metodikos pateiktos skyrelyje 2.4. Standžiosios dangos konstrukcijos projektavimo metodai.

1.8 paveiksle pateiktas Europos ir Šiaurės Amerikos šalių kelių tinklo dangų sudėtis ir standžių dangų procentinis pasiskirstymas.



1.8 pav. Atskirų šalių kelių tinklo dangų sudėtis ir standžių dangų procentinis pasiskirstymas[1]

[1] Duomenys surinkti naudojantis internetinėmis prieigomis prie atskirtų šalių kelių direkcijų puslapių ir remiantis įvairiais leidiniais.

Iš 1.8 pav. matoma, kad vyraujančios dangos yra asfalto, žvyro ir kt. dangos ir tik nedidelę dalį sudaro standžiosios dangos. Histogramoje matyti, kad didžiausią procentą net 51,6 % (apie 73,6 tūkst. km) Čekijos kelių sudaro standžiosios dangos, Belgijoje – 16,4 % (apie 25,5 tūkst. km), JAV – 13,8 % (apie 130,4 tūkst. km), Vokietijoje – 2,4 % (apie 5,5 tūkst. km), Rusijoje – 1,07 % (apie 8,1 tūkst. km). Histogramoje nėra pateiktų Azijos šalių kelių tinklo duomenų. Visgi daugiausia kelių su standžiomis dangomis paklota Kinijoje 2 460 tūkst. km tai sudaro 31,9 % šalies kelių tinklo. Remiantis procentinio pasiskirstymo duomenimis (žr. 1.8 pav.), galima spręsti kokį prioritetinį vaidmenį standžiosios dangos turi tam tikrose šalyse. Matoma, kad Čekijoje standžiosios dangos yra naudojamos dažniau nei asfalto dangos.

Lietuvoje standžių dangų yra 72,5 km ir tai nesudaro net 1 % kelių tinklo. Standžioji danga įrengta magistralinio kelio A14 ruože nuo 16,92 km iki 39,2 km ir nuo 51,55 km iki 89,37 km ir magistralinio kelio A3 ruože nuo 23,3 km iki 32,91 km. Šios atkarpos įrengtos apie 1970-80 metus ir tarnauja iki šiol. Nors važiuoti šiuo keliu nėra komfortabilu, dėl padidėjusių tarpų deformacinėse siūlėse, tačiau plastinių deformacijų dangoje nėra. Turint omenyje, kad danga yra eksploatuojama daugiau kaip 30 metų galima teigti, kad danga yra ilgaamžė.

Standžiosios dangos naudojamos ne tik keliuose bet ir kituose statiniuose: aerodromų riedėjimo takų ir peronų, specializuotų aikštelių įrengimui. 2010 metasi UAB „Šiaulių plentas“ įrengė betono dangą Šiaulių karinio aerodromo perone. Betono dangos konstrukcijos tipas – sujungtų gelžbetoninių plokščių danga, armuota dvigubu armatūros tinklu. Kas 30 m skersine ir išilgine kryptimi buvo įrengtos temperatūrinio išsiplėtimo siūlės. Betono danga buvo klojama klotuvu su slenkančiais klojiniais. Po paklojimo dangos paviršius buvo šiurkštinamas rankiniu būdu, šepečiais, ir apipurkštas vandenscheminių medžiagų tirpalu apsaugančiu dangą nuo per greito išdžiūvimo. Po 6 – 24 val. nuo dangos palojimo kas 6 m buvo išpjautos susitraukimo siūlės. Gamybininkai teigia, kad po 2 parų, betono stipris gniuždant buvo 35 - 40 MPa, po 28 parų – 45 – 55 MPa. Betono dangos stiprumas po 2 parų buvo pakankamas, kad danga galėtų važiuoti dangos įrengimui būtina technika.

UAB „Šiaulių plentas“ įrengimo metu susidūrė su didelėmis problemomis. Pirmiausia, teko konsultuotis dėl betono dangos įrengimo klotuvu su slenkančiais klojiniais, detaliai išsinagrinėti betono dangos įrengimo principus, nes Lietuvoje nėra standžių dangų įrengimo patirties. Betoną tiekiantis gamintojas neužtikrino reikiamo betono mišinio slankumo, mišinys buvo per skystas, todėl buvo atsisakyta gamintojo paslaugų ir rangovas betoną gamino savo gamybinėje bazėje. Nepaisant visų nesklandumų, darbai buvo baigti per keturis mėnesius. Įrengta 103,0 tūkst. m^2 perono betono danga. Išviso pa-

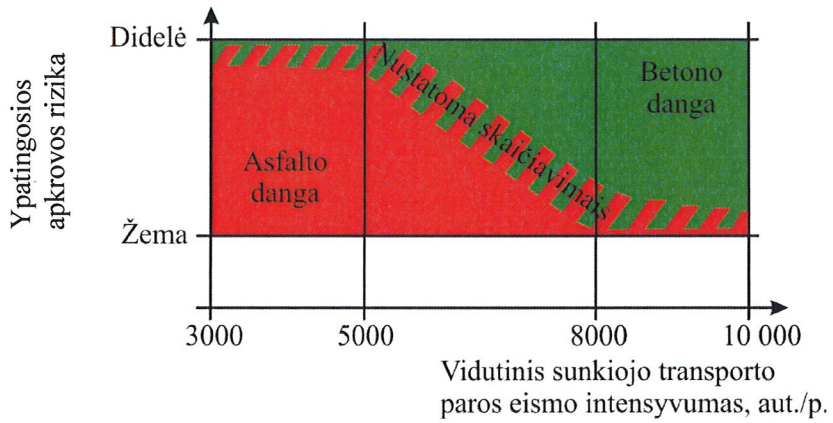
naudota 1800 t armatūros ir paklota 32 tūkst.m^3 C30/37 betono. Šis peronas – pirmoji standžioji danga Lietuvoje įrengta betono klotuvu su slenkančiai klojiniais.

Apibendrinant, standžios dangos nuo seno naudojamos visame pasaulyje įvairių statinių dangoms įrengti. Nustatytos, tyrimais pagrįstos standžiųjų dangų konstravimo, įrengimo ir technologijos metodikos. Visgi Lietuvoje šio tipo dangos nėra naudojamos naujų kelių tiesybai. Ir norint įrengti standžiąją dangą Lietuvoje reikia papildomai konsultuotis su patirtį turinčiomis šalimis ir įmonėmis.

1.5. Standžiosios ir nestandžiosios dangos konstrukcijų ekonominis palyginimas

Vienas svarbiausių aspektų renkantis dangos konstrukciją yra investicijų atsiperkamumas. Kiekvienas kelių valdytojas suinteresuotas investuoti į statinį, kuris nereikalauja didelių kaštų statybai, priežiūrai, yra saugus ir ilgaamžis.

Austrijoje kelio dangų konstrukcijos parinkimas ir ekonominis palyginimas yra skaičiuojamas nuo 2001 metų vadovaujantis RVS 2.21 „Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Oberbaukonstruktionen im Straßenbau“. G. Breyer (2004) teigia, kad esant sunkiojo transporto eismui > 8000 aut./p. betono dangos yra vienareikšmiškai pranašesnės už asfalto dangas ir jas taikyti ekonomiškai naudingiau (žr. 1.9 pav.).



1.9 pav. Asfalto ir betono dangų taikymo priklausomybės nuo sunkiojo transporto eismo intensyvumo ir ypatingosios apkrovos rizikos schema (Breyer 2004)

Kai sunkiojo transporto eismas kinta ribose 5000÷8000 aut./p. reikia atlikti ekonominio efektyvumo skaičiavimus. Kai danga veikiama ypatingąja apkrova (lėtaeigis transportas, periodinės spūstys, sankryžų dangos ir pan.) betono danga svarstytina ir esant mažesniems eismo srautams (Breyer 2004). Nors Lietuvos keliuose ir gatvėse nėra sunkiojo transporto eismo didesnio už > 8,0 tūkst.aut./p., tačiau yra dangų veikiamų ypatingąja apkrova. Šiose vietose betono dangos panaudojimas turėtų būti pagrįstas ekonominiais skaičiavimais.

Ekonominis vertinimas atliekamas sudarant skirtingus scenarijus betono ir asfalto dangoms įvertinant:

- statybos kaštus;
- eksploatacinį laikotarpį;
- priežiūros ir remonto kaštus;
- laiko gaištį
- eismo saugumą ir patogumą;
- diskonto normą.

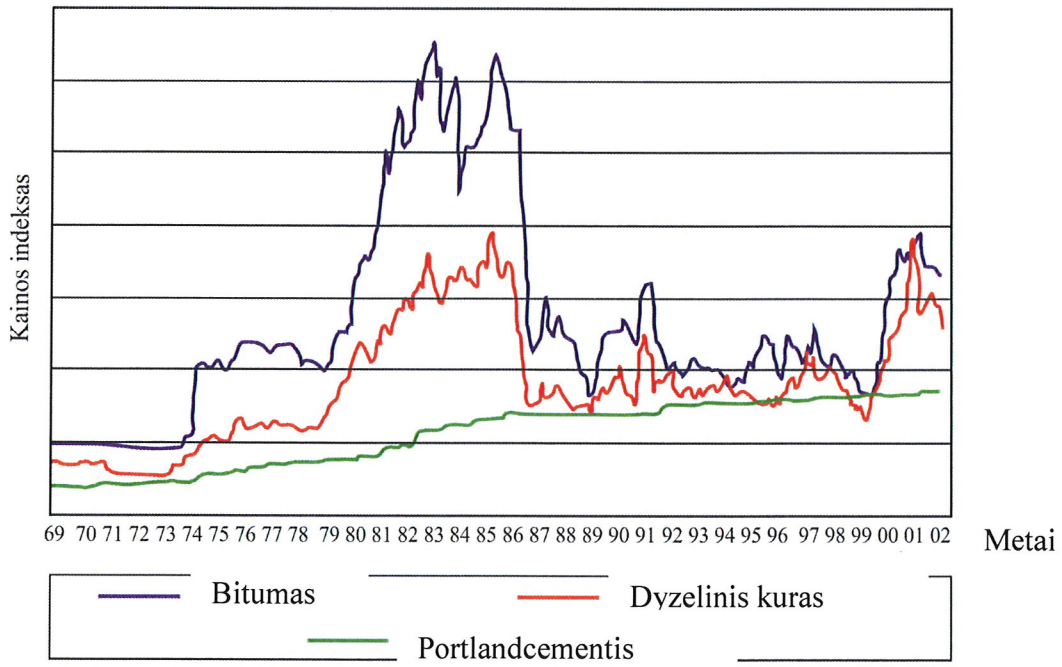
EUPAVE ir ACPA teigimu, norint objektyviai įvertinti ir palyginti standžiųjų ir nestandžiųjų dangų kainą be prieš tai išvardintų aspektų reikia įvertinti ir kitus faktorius:

- poveikį aplinkai;
- degalų sąnaudas važiuojant skirtingomis dangomis;
- dangos šviesumą ir apšvietimo kainas.

Naudos ir kaštų analizė atliekama eksploataciniam laikotarpiui keičiant diskonto normą. Diskonto norma - tai palūkanų norma, skaičiuojama pagal grįžtamąją vertę (www.vikipedija.lt 2012 05) Diskonto norma priklauso nuo kiekvienos šalies ekonominės aplinkos, infliacijos ir yra kintamas dydis. Vertinant skirtingas dangas diskonto norma yra rodiklis ženkliai įtakojantis ekonominį efektyvumą.

Tačiau Federbeton (2010) teigimu, diskonto norma neįvertina statybos produktų kainų kitimo, o prognozuojant skirtingų dangų atsiperkamumą tai gali stipriai įtakoti efektyvumo rodiklius. 1.10 paveiksle pateiktas bitumo, dyzelinio kuro ir portlandcemenčio metinių kainų indekso kitimas Belgijoje 1969-2002 metų laikotarpyje.

Nuo 1980 iki 1986 metų užfiksuotas staigus bitumo ir dyzelinio kuro kainų indekso šuolis aukštyn, tačiau Belgijoje infliacija buvo 1 - 2 %. Iš 1.10 pav. matyti, kad bitumo kainos, o taip pat ir dyzelinio kuro, kainos yra nepastovios, nenuoseklios ir priklauso ne tik nuo šalies ekonomikos. Federbeton (2010) teigimu, jei vertinant ekonominį efektyvumą būtų papildomai įtrauktas medžiagų kainų kitimas, kurį įtakoja ne vien šalies ekonominė situacija, o pasaulinėje rinkoje vyraujančios tendencijos, ekonominis efektyvumas gali ženkliai pasikeisti.



1.10 pav. Bitumo, dyzelinio kuro ir cemento kainų kitimas 1969 - 2002 metais (Federbeton 2010)

Nėra duomenų apie Lietuvos bitumo ir portlandcemenčio kainų indekso kitimą, tačiau galima vertinti degalų kainas, kurios nuo 2009-03 iki 2012-05 išaugo iki 50 % (benzino A95 kaina nuo 3,27 lt/l iki 4,92 lt/l) (www.degalukainos.lt 2012 05). Degalų kainos priklauso nuo pasaulinės rinkos kainų ir nuo šalyje pritaikytų akcizų mokesčių. Vertinant tai, kad bitumas, kaip ir degalai, yra gaminamas iš naftos, daroma prielaida, kad bitumo, o taip pat ir asfalto, kaina Lietuvos rinkoje nuolat kyla. Labai svarbu ieškoti alternatyvių sprendinių ir būdų siekiant sumažinti kaštus kelių tiesybai, mažinant naftos produktų panaudojimą, tačiau užtikrinant reikiamą ir ilgaamžį dangos konstrukcijos tvarumą.

Laszlo G. (2012) teigia, kad norint pastatyti ilgaamžį statinį svarbiausia yra pirminė statinio koncepcija. Kelio dangos pasirinkimas įtakoja priežiūros kaštus bei naudojimo kokybę, todėl turi būti apsvarstyti visi galimi ir alternatyvūs variantai. Parenkant dangos konstrukciją svarbu įvertinti transporto priemonių srautus bei atsižvelgti į vietovėje, regione esančius gruntus ir vietines medžiagas. Dažniausia naudojant vietines medžiagas kelią pakloti yra pigiau ir ekonomiškiau. Lietuvos automobilių kelių ir gatvių dangų įrengimui naudojamos asfalto dangos, tačiau tiek Europoje, tiek Šiaurės Amerikoje taikomos ir standžiosios dangos. Atsižvelgiant į tai, kad Lietuvoje nuolat brangsta importuojami naftos produktai, o portlandcemenčio pramonė yra gerai išvystyta, standžiųjų dangų taikymas Lietuvoje turėtų būti skatintinas. Lietuvoje nusistovėjusi kelių dangų projektavimo ir įrengimo metodika bei informacijos stygius nesudaro sąlygų asfalto dangai alternatyvių technologijų (betono dangos) taikymui.

1.6. Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – didinti Lietuvos automobilių kelių dangų konstrukcijų tvarumą bei efektyvinti vietinių medžiagų panaudojimą įvertinant standžiųjų (betono) dangų panaudojimo galimybes.

Darbo tikslui įgyvendinti keliami šie uždaviniai:

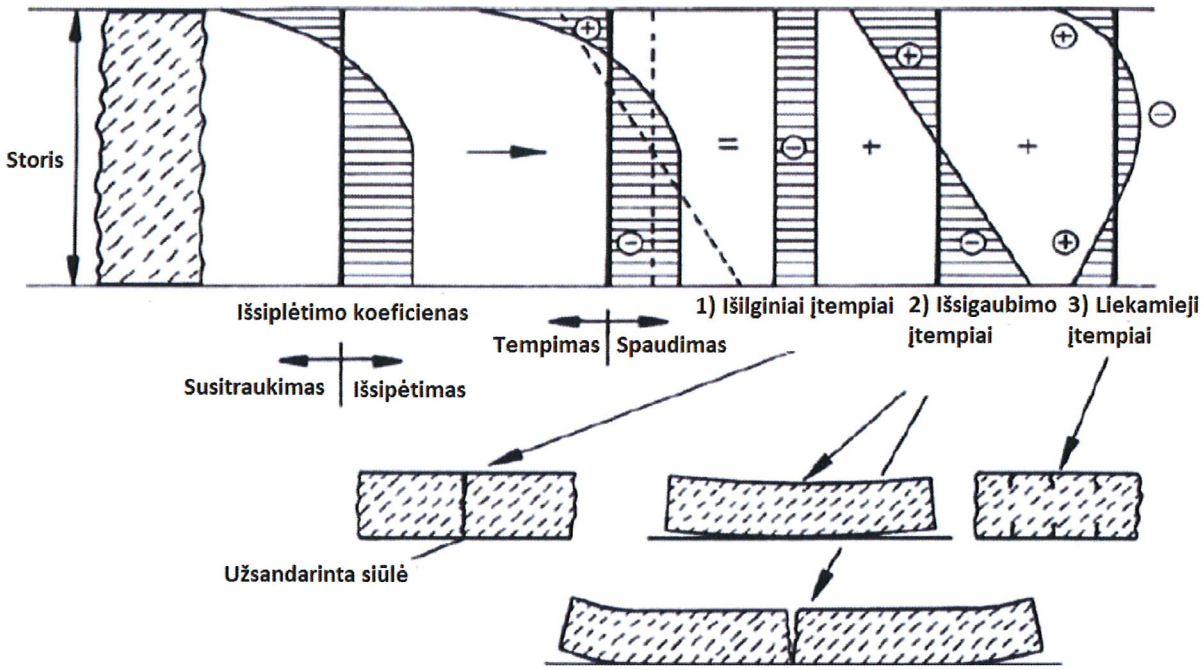
1. Išanalizuoti betono fizines-mechanines savybes.
2. Surinkti duomenis apie pasaulyje klojamo betono dangas.
3. Aprašyti standžių dangų konstrukcinius ir technologinius sprendinius.
4. Atlikti betono mišinio medžiagų sudėties analizę (rišikliai, užpildai, cheminiai priedai ir kt.) ir priklausomybę fizinėms mechaninėms savybėms remiantis literatūros apžvalga.
5. Atlikti Lietuvoje gaminamo betono stiprio gniuždant statistinę analizę bei palyginti tyrimų duomenis su norminiais reikalavimais.
6. Pateikti rekomendacijas standžių dangų pritaikymui Lietuvos keliuose.
7. Pateikti bendrąsias išvadas ir rekomendacijas.

2. STANDŽIŲJŲ DANGŲ PROJEKTAVIMO, ĮRENGIMO IR PRIEŽIŪROS PRINCIPAI

Antrajame skyriuje aprašomos medžiagos naudojamos standžių dangų tiesyboje, joms keliami reikalavimai, medžiagų kokybės ir atitikties bandymų metodai, konstrukciniai standžiosios dangos projektavimo principai, technologiniai procesai. Trumpai apžvelgiamos naujausios technologijos standžių dangų įrengimo srityje.

2.1. Standžiųjų dangų fizinės mechaninės savybės

Dangoje susidarę plyšiai ir įtrūkimai yra sukelti įtempių. Įtempius betono dangoje sukelia du veiksniai: transporto priemonių apkrovos ir aplinkos poveikis. Neapkrautoje betono plokštėje susidarę įtempiai nuo aplinkos (temperatūros) poveikio pateikti 2.1 pav.



2.1 pav. Betono plokštėje susidarę įtempiai ir jų įtakoti plyšiai esant neigiamai temperatūrai (Springenschmid ir kiti 1993)

Springenschmid ir kiti (1993) teigia, kad temperatūrinis deformacijos koeficientas susideda iš trijų įtempių dedamųjų (žr. 2.1 pav.), kurias sukelia dangos susitraukimas arba išsiplėtimas:

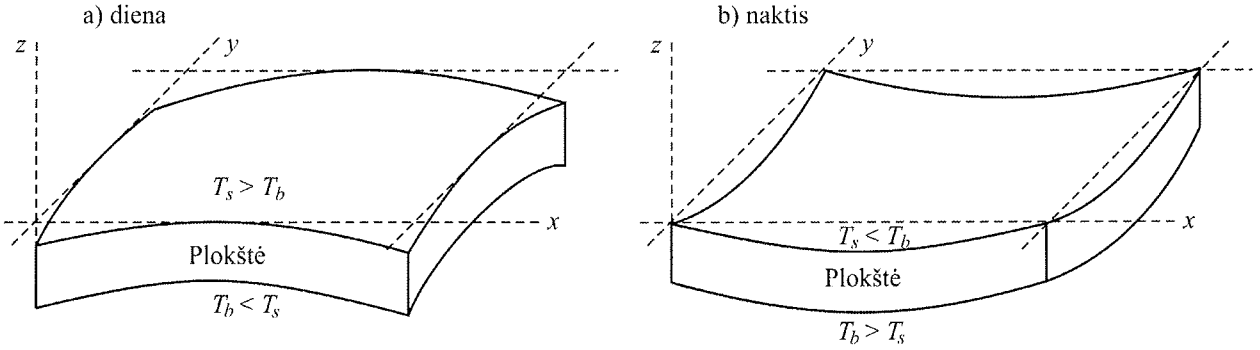
1) išilginiai pastovaus dydžio įtempiai;

2) išsigaubimo įtempiai;

3) liekamieji įtempiai.

Išilginiai pastovaus dydžio įtempiai susidaro dėl betono plėtimosi ir traukimosi, keičiantis sezonams, aplinkos temperatūrai ir drėgmei, ir sukelia skersinius plyšius (žr. 2.1 pav. 1). Įtempių dydis

sumažinamas įrengus siūles. Siūlės betono dangą padalina į plokštes. Betono plokštės išsigaubia keičiantis aplinkos temperatūrai dienos periode (žr. 2.1 pav. 2). Kai aplinkos temperatūra yra didesnė už betono plokštės temperatūrą plokštė išsigaubia į viršų (žr. 2.2 pav. kairėje), kai aplinkos temperatūra yra mažesnė už betono temperatūrą – plokštė išsigaubia į apačią (žr 2.2 pav. dešinėje). Išsigaubimo įtempiai priklauso ne tik nuo aplinkos temperatūros, bet ir nuo plokštės dydžio. Kuo didesni tarpai tarp siūlių tuo stipriau plokštė yra linkusi išsigaubti.



2.2 pav. Betono plokštės išsigaubimas veikiant aplinkos temperatūrai (www.acpa.org 2012)

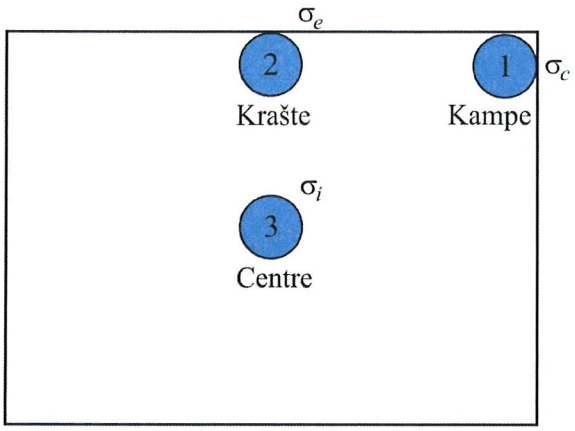
Liekamieji įtempiai (žr. 2.1 pav. 3) susidaro betono kietėjimo metu. Betono sluoksnis kietėti (o tuo pačiu ir plėstis) pradeda nuo viršaus ir apačios, todėl šiuose sluoksnio dalyse atsiranda tempimas, kuris gali įtakoti plyšių tinklo betono dangoje susiformavimą (map cracking). Mindess ir kiti (2003) teigia, kad suskilinėjimas yra netinkamos betono priežiūros kietėjimo metu pasekmė. Betono danga kietėjimo metu padengiama apsauginiais mišiniais siekiant užtikrinti tolygesnį betono kietėjimą, taip išvengiant plyšių tinklo susidarymo (žr. 2.6 skyrių).

R. Breitenbücher ir C. Sievering (2008) teigia, kad didžiausią įtaką betono dangos paviršiaus plyšiams turi temperatūra pačiame betono sluoksnyje. S. Kim ir kiti (2010) nustatė, kad pirmąsias 8 h nuo dangos paklojimo temperatūra betono sluoksnyje nepriklauso nuo aplinkos temperatūros ir yra šiek tiek aukštesnė dėl hidratacijos procesų vykstančių kietėjimo metu. Po pirmųjų 8 h nuo dangos paklojimo temperatūra betono plokštėje susilygina su aplinkos temperatūra. Aplinkos pokyčiai dienos ir nakties metu didžiausią poveikį turi pirmąsias 2 paras po paklojimo. Jei įrengiama nearmuota danga, siekiant išvengti plyšių susidarymo per pirmąsias dvi dienas dangoje turi būti išpjautos susitraukimo siūlės. M. Won (2005) tyrė temperatūrinio išsiplėtimo koeficiento kitimą priklausomai nuo betono amžiaus ir nustatė, kad po daugiau kaip 3 savaičių nuo betono paklojimo temperatūrinis koeficientas sluoksnyje nekinta.

Betonas yra atsparus gniuždymui, tačiau mažai atsparus lenkimui. Važiuodamos transporto priemonės spaudžia betono plokštė vertikaliai – gniuždo, todėl vienas svarbiausių betono rodiklių at-

sparumas gniuždymui. Siekiant išvengti betono plokštės lenkimo, turi būti įrengtas pakankamai stiprus pagrindas, kad viso dangos eksploatavimo metu pagrindas išliktų stabilus. Plieniniai įdėklai neturi įtakos dangos atsparumui lenkiant ar stiprumui gniuždant, jie naudojami siekiant kontroliuoti deformacinių siūlių darbą.

Visgi atsparumas lenkimui privalo būti įvertintas ir apskaičiuotas. Lenkimo įtempiai įtakoti transporto priemonių apkrovos priklauso nuo apkrovimo vietos betono plokštėje. Atsparumas lenkimui skaičiuojamas skirtingiems kritiniams apkrovų deriniams (žr. 2.3 pav.).



2.3 pav. Kritiniai apkrovų deriniai betono plokštėje (Delatte 2008)

Iš 2.3 pav. matyti, jog yra trys betono plokštės apkrovimo būdai plokštės centre, kampe ir centre-krašte. Įtempiai kai apkrova apkrauta centrinė plokštės dalis (žr. 2.3 pav. 3) yra pakankamai maži, todėl projektuojant dangos konstrukciją skaičiuojami ir vertinami apkrovų deriniai, kai apkrova yra plokštės kampe (2.3 pav. 1) arba krašte (2.3 pav. 2). Taigi, nuo užkrovimo vietos priklauso įtempių dydis ir poveikis betono dangai, pvz.: apkrova kampe įtakoja lūžius kampuose, centrinis ir kraštinis apkrovimas įtakoja skersinį plokštės lūžį.

Įtempiai nuo transporto priemonių ir aplinkos poveikio tuo pačiu metu veikia betono dangą. Norint tinkamai suprojektuoti dangą reikia įvertinti visų įtempių veikimą. Aplinkos poveikio sukelti įtempiai mažiau įtakoją betono dangą palyginus su transporto sukeliamais įtempiais, todėl kai kuriose skaičiavimo metodikose nėra įvertinami (Delatte 2008).

Eksploatacinis dangos laikotarpis priklauso nuo daugelio aspektų: projektuotojų ir konstruktorių patirties standžių dangų projektavime, norminės bazės paremtos tyrimais ir pritaikytos šalies klimatui, priimamų sprendimų kokybės, projektavimo, statybos ir priežiūros metu, griežto statybos darbų metu atliekamų veiksmų vykdymo plano ir kitų. Atsižvelgiant į išvardintus aspektus pateikiamas skirtingas standžiosios dangos eksploatacinis periodas pvz. ACPA vertindama 1940-50 metais paklotą betono dangą teigia, kad dangos naudojimo laikotarpis gali būti 50-60 metų ir daugiau. R. Springensch-

mid ir W. Fleischer (2001) teigia, naujai įrengtų betono dangų prognozuojama realistiška naudojimo trukmė 25 – 40 metų. A. Laurinavičius (1988) disertacijoje teigė, kad betono dangos eksploatacinis laikotarpis Lietuvos klimato sąlygomis yra ne didesnis kaip 20 metų.

Standžiosios dangos kokybė ir ilgaamžiškumas neatsiejamas nuo betono mišinio savybių, technologinių procesų nuoseklaus vykdymo (tinkamo betono mišinio paruošimo, klojimo technologijos, deformacinių siūlių įrengimo, dangos priežiūros betono kietėjimo metu, betono paviršiaus apdorojimo ir t.t). Standžiosios dangos konstrukcinius ir technologinius sprendinius įtakoja betono fizines mechanines savybes.

2.2. Standžiųjų dangų medžiagos

Pagrindinė medžiaga iš kurios įrengiamos standžiosios dangos – betonas. Tai medžiaga, gaunama maišant rišamąją medžiagą, stambiuosius ir smulkiuosius užpildus bei vandenį, galimas papildomų priedų panaudojimas. Standžiosios dangos atsparumas aplinkos veiksnių poveikiui tiesiogiai priklauso nuo šių pagrindinių betono savybių:

- Stiprumo;
- Atsparumo lenkimui;
- Išsiplėtimo koeficiento.

2.2.1. Betono klasifikacija

Betonas naudojamas kelių dangoms turi būti stiprus, atsparus dilumui ir smūgiams, šalčio, temperatūros, drėgmės svyravimas bei cheminėms medžiagoms naudojamoms ledui tirpdyti. Lietuvoje betonas yra gaminamas pagal patvirtintą darnųjį standartą LST EN 206-1 „Betonas. 1 dalis. Techniniai reikalavimai, savybės, gamyba ir atitiktis“. Betonas yra klasifikuojamas pagal tankį, užpildų rūšį ir stambumą, rišamosios medžiagos rūšį, kietėjimo sąlygas ir paskirtį. Pagrindinės betono mišinio klasės pateiktos 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Pagrindinės bendros betono klasės

Rodiklis	**Klasės pavadinimas**	**Charakteristika**
Pagal tankį	Sunkusis	> 2600 kg/m^3;
	Normalusis	2000 kg/m^3 ÷ 2600 kg/m^3;
	Lengvasis	800 kg/m^3 ÷ 2000 kg/m^3;
	Ypač lengvas	< 800 kg/m^3.
Pagal stiprį gniuždant	C 30/37	Mažiausias charakteristinis cilindrinis stipris 30 N/mm^2
		Mažiausias charakteristinis kubinis stipris 37 N/mm^2
Pagal atsparumą dėvėjimuisi (dilumui)	XM1	Vidutiniai įtempiai. Laikančios arba sustiprintos pramonės statinių grindys, kuriomis važinėja transporto priemonės su pneumatiniais ratais

2.1 lentelės tęsinys

Rodiklis	Klasės pavadinimas	Charakteristika
Pagal atsparumą dėvėjimuisi (dilumui)	XM2	Dideli įtempiai. Laikančios arba susitirpintos pramonės statinių grindys, kuriomis važinėja automobiliniai krautuvai su pneumatiniais arba guminiais ratais.
	XM3	Labai dideli įtempiai. Laikančios arba sustiprintos pramonės statinių grindys, kuriomis važinėja automobiliniai krautuvai su plastikiniais arba metaliniais ratais, vikšrinis transportas.
Pagal aplinko poveikio klasę	XF1	Vidutinis vandens įmirkis be ledo tirpinimo medžiagų.
	XF2	Vidutinis vandens įmirkis su ledą tirpinančiomis medžiagomis.
	XF3	Aukštas vandens įmirkis be ledo tirpinimo medžiagų.
	XF4	Aukštas vandens įmirkis su ledą tirpinančiomis medžiagomis arba jūros vandeniu. Kelių dangos, viekiamos druskų, kiti betono paviršiai, tiesiogiai veikiami druskų ir šalčio.

Pagal struktūrą skiriamos tokios betono rūšys:

- tankusis - sutankintame mišinyje ne daugiau kaip 6 % tuštumų;
- smulkiagrūdis - mišiniui naudojami tik smulkieji užpildai;
- stambiaporis (porėtasis) - tarpai tarp stambaus užpildo grūdelių yra ne visiškai užpildyti smulkiu užpildu;
- smulkiaporis - protarpiai tarp užpildų grūdelių už pildyti rišančiąja medžiaga;
- akytasis – cheminėmis reakcijomis mišinyje dirbtinai formuotos poros;
- impregnuotasis – poros užpildytos polimerais, monomerais, sieros junginiais, skystuoju stiklu ir t.t.
- fibrobetonas, kurio mišinyje yra polimerinių arba plieninių fibrų.

Reikalavimai betono dangoms pagal dangos konstrukcijos klasę reglamentuojami Vokietijos techniniame apraše ZTV Beton-StB 07 (Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton 2008) pateikiami 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė. Reikalavimai betonui standžių dangų įrengimui (ZTV Beton-StB 07 2008)

Dangos konstrukcijos klasė	Padėtis konstrukcijoje	Aplinkos poveikio klasė	Stiprio gniuždant klasė	Atsparumo lenkimui stiprumo klasė		Mažiausia reikalaujama užpildų frakcija, mm
SV, I-III	Dėvimasis betono sluoksnis	XF4, XM2	C 30/37	F 4.5	4,5 N/mm^2	0/2, 2/8, > 8 0/4, 4/8, > 8 0/2, ≤ 8
	Betono pagrindas	XF4				
IV - VI	Dėvimasis betono sluoksnis	XF4, XM1		F 3.5	3,5 N/mm^2	0/4, > 4
	Betono pagrindas	XF4				

Aplinkos poveikio klasė FX4 apibrėžia, kad betonas bus eksploatuojamas aukštame vandens įmirkyje su ledą tirpdinančiomis medžiagomis ir turi būti atsparus užšalimo/atšilimo ciklams. Betono dangai, kurią veikia druskos atsparumas šalčiui turi būti ne mažesnis nei F300 (LST EN 206-1, LST 1974/1K).

2.2.2. Betono mišinio sudėtis

Betono sudėtis ir sudedamosios medžiagos parenkamos taip, kad atitiktų betono mišiniui (konsistencijai, slankumui, susitankinimui, drėgnumui ir t.t.) ir sukietėjusiam betonui (tankiui, stipriui gniuždant, atsparumui lenkiant, ilgaamžiškumui) keliamus reikalavimus. Pagrindinės betono mišinio sudedamosios dalys: portlandcementis (rišiklis), vanduo, užpildai ir priedai.

Cementas (portlandcementis) - betono rišamoji medžiaga turinti didžiausią įtaką betono kokybei. Cementas gaminamas iš pelenų, šlakų, kvarco ir kitų priemaišų vadovaujantis LST EN 197 ir LST 1164 standartais. Pagal gamybos technologiją ir sudedamąsias dalis skiriamas į 5 tipus: CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV ir CEM V. Cemento tipas parenkamas pagal gamybos darbų vykdymą, kietėjimo sąlygas, konstrukcijos gabaritus, konstrukcijos eksploatavimo sąlygas.

Betono dangos dėvimojo sluoksnio mišiniui rekomenduojama parinkti CEM I tipo cementą, kurio stiprumo klasė 32,5 R. Švedijoje betono dangų įrengimui naudojamas CEM I 42,5. Vokietijoje CEM I 42,5 klasės cementas betono gamybai naudojamas tik esant specialiems užsakovo reikalavimams. Visgi, dažniausiai naudojamas betono mišinio rišiklis - CEM I 32,5 R. Cementas turi tenkinti šiuos papildomus reikalavimus (TL Beton-StB 06):

- norminis vandens kiekis reikiamam stiprumui pasiekti < 28% nuo bendros mišinio masės;
- gniuždomasis stipris po 2 parų negali viršyti 29,0 MPa (N/mm^2);

- tankis priklauso nuo dangos eksploatacijos sąlygų, tačiau < 3500cm^2/g.
- įrengiant SV, I-III dangos konstrukcijas cemento minimalus kiekis > 340 kg/m^3.

Mindess et. al. (2003) teigė, kad didžiausias problemas sukelia cheminė reakcija tarp šarminių medžiagų naudojamų cemento gamybai ir silicio užpildų. Ši cheminė reakcija gali įtakoti plyšių tinklo susidarymą. Todėl kelių betono mišinyje naudojamam portlandcemenčiui keliami papildomi reikalavimai cheminei sudėčiai (šarminių medžiagų kiekiui nuo bendros masės).

Vanduo. Betono mišinio įmirkis (absorbcija) ir paviršiaus drėgnumas įtakojamas vandens kiekio mišinyje ir yra apskaičiuojamas pagal mišinio proporciją. Vandens ir cemento (v/c) santykis labai svarbus, esant per dideliam vandens kiekiui betono sluoksnyje stengimo metu atsiranda poros, kurios gali įtakoti betono dangos ilgaamžiškumą. Betono mišiniui ruošti ir betonui laistyti naudojamas švarus, be žalingų ir normalų betono kietėjimą stabdančių priemaišų (rūgščių, sulfatų, riebalų) vanduo.

Švedijoje taikomi techniniai reikalavimai betono dangų įrengimui nurodo, kad klojamo betono v/c santykis turi būti 0,4 arba mažesnis. ZTV Beton-StB 07 (2008) reglamentuojamas v/c - ne daugiau kaip 0,45.

Užpildai. Lietuvoje reikalavimai gaminamo betono mišinio granuliometriniai sudėčiai, fizinėmis ir cheminėms savybėms reikalavimai apibrėžti LST EN 12620:2003+A1:2008 standartu. Užpildai betono mišinyje sudaro 70-80 % – tai įvairios frakcijos grūdėtosios medžiagos:

- gamtinės – mineralinės kilmės užpildas, gaunamas mechaninio perdirbimo būdu: akmens skalda, žvyras ir smėlis;
- dirbtinės – užpildas gaunamas mineralinę žaliavą gamybos procese paveikus termiškai arba kitaip modifikavus;
- antrinės žaliavos – užpildas pagamintas iš anksčiau statyboje naudotų neorganinių medžiagų.

J. M. Shilstone ir J. M. Shilstone Jr. (2002) pateikė betono mišinio ir užpildų sąryšio schemą (žr. 2.4 pav.). Betono mišiniai pagal užpildų granuliometrinę sudėtį ir kiekį suskirstyti į 5 kategorijas:

I kategorijos mišiniai segreguoja klojimo metu;

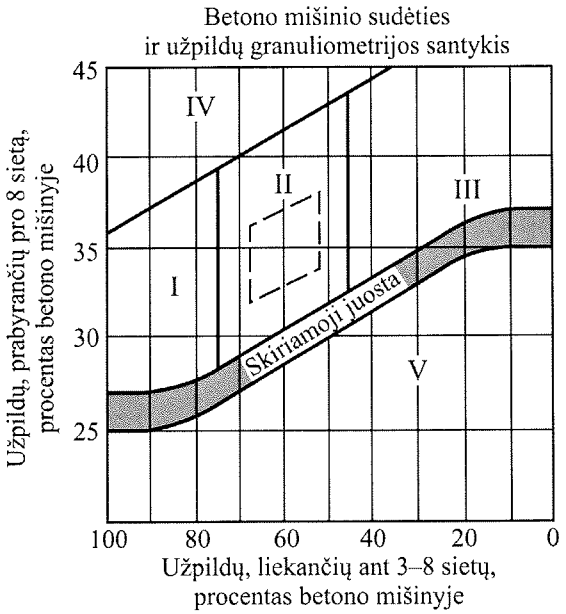
II kategorijos mišiniai tinkamiausi dangos konstrukcijos įrengimui;

III kategorijos mišiniai pridedant II kategorijos mišinį 13 mm stambiųjų užpildų ir smulkiaisiais užpildais;

IV kategorija mišinių turi per daug cemento ir smulkiųjų užpildų, sukelia plyšius dangos paviršiuje, prastą laikomąją gebą ir segreguoja sutankinimo metu;

V kategorijos mišiniai turi per daug stambiųjų užpildų.

Viduryje esanti įstriža juosta skiria smėlinguosius mišinius nuo mišinių su dideliu stambiųjų užpildų kiekiu (Shilstone ir Shilstone J. 2002).



2.4 pav. Betono mišinio sudėties ir užpildų sąryšis (Shilstone ir Shilstone Jr. 2002)

Taigi, betono mišinio gamybai naudojami smulkieji ir stambieji užpildai, kurie klasifikuojami pagal tankį: sunkusis užpildas (jo išdžiovintų dalelių tankis > 3 000 kg/m^3), normalusis užpildas (išdžiovintų dalelių tankis 2 000 ÷ 3 000 kg/m^3) ir lengvasis užpildas (mineralinės kilmės užpildas, kurio iš džiovintų dalelių tankis < 1 200 kg/m^3). Užpildų savybės įtakoja kelio betono paviršiaus tekstūrą, vienalytiškumą, sunkį, svorį, fizinį ir cheminį ilgaamžiškumą ir stiprį. Užpildo stiprumas tiesiogiai įtakoja betono stiprį ir atvirkščiai, jei užpildai nėra atsparūs dilumui, irimui, dėvėjimuisi, tai ir betono mišinys bus nebus atsparus išvardintiems rodikliams.

Vienas pagrindinių ir svarbiausių parametrų yra betono išsiplėtimo koeficientas. Nuo užpildų tipo, stambiųjų užpildų kiekio ir santykinio drėgnumo labai priklauso betono temperatūrinis išsiplėtimo koeficientas (Chung ir Shin 2011). Dėl šio betono išsiplėtimo koeficiento priklauso siūlių tankumas, atsirandančių plyšių dažnumas ir plokštės išsigaubimas veikiant temperatūros pokyčiams. Betono išsiplėtimo koeficientas gali variuoti 7,4÷13 με/°C ribose (Delatte, 2007). Kadangi užpildai užima didžiausią dalį betono mišinyje, todėl ir nulemia betono išsiplėtimo koeficientą. Kalkakmenis yra žemo terminio išsiplėtimo - 6 με/°C, tuo tarpu smiltainiai – aukšto 11÷12 με/°C (Mindess et al. 2003). Betono plokštės pagamintos iš mišinio su smiltainių užpildu išsiplės beveik dvigubai daugiau, nei tos betoninės plokštės, kurių sudėtyje didžiausią dalį sudaro kalkakmenis ar panašios kilmės užpildai. Temperatūrinės siūlės turi būti projektuojamos atsižvelgiant į didžiausią išsiplėtimą. Tačiau reikia turėti omenyje, kad didėjant tarpui tarp siūlių didėja plokštės išsigaubimas ir plyšių susidarymo rizika.

Pagrindiniai parametrai užpildams – didžiausios dalelės dydis ir granuliometrinės sudėties kreivė. Reikalavimai betono mišinio užpildams nustatyti LST EN 1260+A1 standarte. TL Beton – StB 07 (2008) pateikti papildomi reikalavimai betono dangos mišinio užpildams 5 lentelėje. Svarbu užtikrinti, kad stambiausios užpildo dalelės skersmuo būtų ne didesnis kaip 1/3 betono sluoksnio storio. Ši sąlyga turi būti tenkinama siekiant užtikrinti betono sluoksnio homogeniškumą. Rengiant SV, I-II dangos konstrukcijas dėvimojo sluoksnio stambiosios frakcijos užpildų (dalelių dydis ≥ 8 mm) turi būti ne mažiau 50 % nuo bendros mišinio masės. TL Beton – StB 07 rekomenduojami stambieji užpildai su 90/1 skelto paviršiaus proporcija. Smulkios frakcijos užpildų ($D \leq 2$ mm) turėtų būti ne mažiau 35 % nuo bendros mišinio masės.

Granuliometrinė užpildų sudėtis nustatoma sijojant. Sudėčiai nustatyti imamas 1 kg sauso mineralinės medžiagos mišinio. Sietai nuosekliai dedami pagal akučių skersmenį. Ant kiekvieno sieto likusios dalinės liekanos pasveriamos ir apskaičiuojamas smulkiojo užpildo frakcijos procentinis kiekis. Pasvėrus dalines liekanas apskaičiuojama ir suminė (pilnoji) liekana: sieto dalinę liekaną sudedant su dalinėmis retesnių sietų liekanomis. Žinant sumines liekanas ($A_{2(2,5)}$, $A_{1(1,25)}$, $A_{0,5(0,63)}$, $A_{0,25(0,315)}$, $A_{0,125(0,14)}$, apskaičiuojamas smulkiojo užpildo modulis:

$$M_S = \frac{A_2 + A_1 + A_{0,5} + A_{0,25} + A_{0,125}}{100} \qquad (1)$$

čia:

A_2, A_1, $A_{0,5}$, $A_{0,25}$, $A_{0,125}$ – suminės liekanos ant sietų, kurių akelių dydis yra 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,125 mm arba sietų, kurių akelių dydis – 2,5 mm, 1,25 mm, 0,63 mm, 0,315 mm, 0,16 mm.

Stambumo/smulkumo modulis, tuštymėtumas ir savitasis paviršius – pagrindinės charakteristikos, nuo kurių priklauso užpildų pasirinkimas betono mišiniui. Mažiausią tuštymėtumą turintys smulkaus užpildo mišiniai maišomi iš skirtingų frakcijų medžiagų.

Stambiais vadinami užpildai, kurių dalelės yra nuo 4 iki 63 mm dydžio. Pagal dalelių formą stambieji užpildai skirstomi į žvirgždą ir skaldą. Stambiųjų užpildų granuliometrinė sudėtis nustatoma sijojant. Stambiausių dalelių skersmuo *(D_{max})* - tai to sieto akučių skersmuo, ant kurio lieka ne daugiau nei 5 % sijoto užpildo masės. Smulkiausių dalelių skersmuo *(D_{min})* - tai to sieto akučių skersmuo, ant kurio lieka daugiau nei 95 % sijoto užpildo masės. Didžiausias užpildų stambiausių dalelių skersmuo D_{max} betonui turi būti parenkamas atsižvelgiant į armatūros tinklą ir mažiausią konstrukcijos pjūvio matmenį.

Stambiųjų ir smulkiųjų užpildų įtaka betono stipriui yra skirtinga. Betono stipris priklauso nuo stambių užpildų savybių. Tai yra dėl to, kad stambių užpildų dalelės sudaro betono karkasą ir turi įtakos betono įtempimų pasiskirstymo pobūdžiui, deformacijoms bei pleišėjimui dėl veikiančių įvairių išorinių

apkrovų. Nuo smulkiųjų užpildų priklauso, kiek reikia vandens betono mišiniui ir kokios bus mišinio technologinės savybės.

Priedai – tai medžiagos, kurios pagerina tam tikras betono mišinio savybes. Betonui naudojamus priedus galima suskirstyti į reguliuojančius betono mišinių reologines savybes (plastikliai, stabilizatoriai); rišimąsi, kietėjimą, betono poringumą (poringumas didinamas orą mišinyje sulaikančiais priedais, dujodarais, putokšliais) bei suteikiančius betonui specifinių savybių (priedai, kurie mažina dalelių drėgstamumą, didina patvarumą agresyviojoje aplinkoje).

Betono mišiniams naudojamų priedų grupės:

– *Plastikliai.* Į betono mišinį plastiklių dedama 0,2 – 0,5 % cemento masės. Dažniausiai naudojamas plastiklis - modifikuotas lignino sulfonatas. Šie priedai netinka betono konstrukcijoms, kurios turi būti kiek galima greičiau išimtos iš klojinių.

– *Superplastikliai.* Smulkių dalelių paviršiuje sudaro apvalkalus, kurie sumažina trintį tarp betono mišinio dalelių. Rišamosios medžiagos dalelės mažiau sulimpa ir taip pat suintensyvėja kietėjimo procesas. Didina betono slankumą ir leidžia efektyviau sutankinti betono mišinį, leidžia naudoti mažesnį vandens kiekį. Į betono mišinį šių priedų įmaišoma 1 – 2 % nuo cemento masės. Superplastikliai naudojami betono konstrukcijoms, kurioms reikalingas didelis pradinis stipris, gaminti.

– *Lėtikliai.* Reguliuoja hidratacijos proceso greitį. Lėtikliai naudojami transportuojant betoną dideliais atstumais.

– *Priedai nuo šalčio.* Keičiama betono mišinio kietėjimo trukmė bei vandens užšalimo temperatūra. Kiekis priklauso nuo aplinkos, kurioje bus betonuojami elementai, temperatūros ir gal būti 1 – 2 % cemento masės. Kai aplinkos temperatūra yra – 5 °C, betono mišinio temperatūra turi būti + 10 °C. Kietėjančio betono temperatūra turi būti palaikoma uždengiant konstrukcijas šilumą izoliuojančiomis medžiagomis kol betonas pasieks 5 MPa stiprį.

– *Smulkiadispersiai priedai.* Naudojami norint gerinti cemento ir inertinių medžiagų sukibimą betone, didinti betono stiprį, mažinti vandens pralaidumą, didinti atsparumą šalčiui ir tirpioms druskoms, cheminiam poveikiui, taip pat atsparumą korozijai.

– *Orą įtraukiantys priedai.* Naudojami norint didinti betono atsparumą temperatūrų pokyčiui ir tirpioms druskoms, mažinti reikalingą vandens kiekį betono mišiniui užmaišyti, tačiau naudojant šiuos priedus mažėja betono stipris. Betono mišinyje turėtų būti 5 - 6 % porų. Orą įtraukiantys priedai naudojami betonui skirtam lauko aikštelėms, tiltams, vandens talpykloms, kanalų šliuzams, hidroelektrinėms ir kitoms drėgnoje ir agresyvioje aplinkoje eksploatuojamoms konstrukcijoms.

– *Fibros.* Gali būti pagamintos iš polipropileno pluošto ar plieno. Plieninės fibros – tai

30 ÷ 70 mm ilgio juostelės įmaišytos į betoną maišymo metu. Fibros mišinyje tolygiai pasiskirsto, tačiau fibrų orientacija atsitiktinė.

Betono mišinio kokybiniam įvertinimui taikomi įvairūs metodai. Vienos betono savybės nustatomos betono mišiniui nesukietėjus, kitos savybės nustatomos betonui pasiekus projektinį stiprį. Betono mišinio bandymai jam dar esant minkštoje konsistencijoje naudojami klojimo metu savikontrolei. Išskiriami šie bandymai:

- betono mišinio savojo svorio bandymas;
- betono mišinio susitankinimo bandymas;
- betono mišinio slankumo bandymas.

Betonui pasiekus projektinį stiprį atliekami šie bandymai:

- betono stipris gniuždant;
- betono atsparumas lenkiant;
- betono tempiamasis stipris skeliant.

Pagrindinis rodiklis, apibūdinantis betono stiprį, yra cilindrinis gniuždomasis betono stipris f_{ck}. Cilindro formos kernai gręžiami paklotoje dangoje. Paprastai betono stipris gniuždant tikrinamas po 2 parų ir po 28 parų nuo paklojimo. Gniuždomasis betono kubo stipris $f_{ck\ cube}$ taikomas tik kaip alternatyvus parametras betono tinkamumui patikrinti. Betono mišinio ėminiai supilami į metalines kubo formas. Plačiau Lietuvoje gaminamo betono stiprumo gniuždant bandymas ir rezultatai bei analizė pateikti 3 skyriuje.

2.3. Standžių dangų tipai

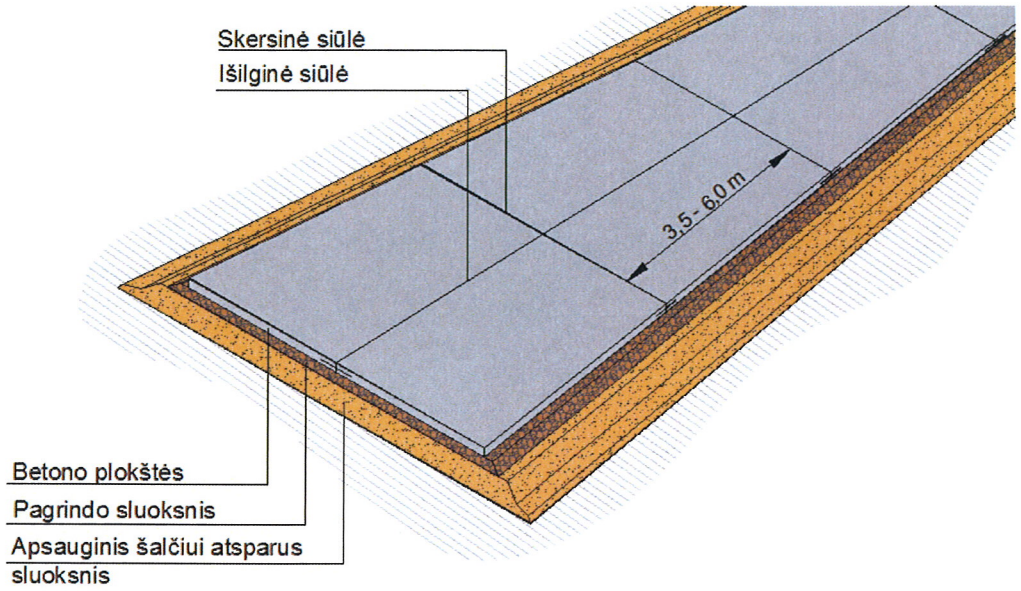
Standžiosios dangos konstrukcija gali būti labai įvairi. Standžių dangų dėvimasis dangos sluoksnis gali būti: betoninis, surenkamų elementų, su 5 cm storio porėtu betono sluoksniu arba su 5 cm storio asfalto sluoksniu. Betono sluoksnis įrengiamas ant pagrindo sluoksnio, kuris gali būti: betoninis, skaldos, skaldos arba žvyro stabilizuotas hidrauliniais rišikliais, asfalto, stabilizuotos nejautros šalčiui mineralinės medžiagos. Siekiant užtikrinti standžiosios dangos ilgaamžiškumą turi būti įrengtas šalčiui atsparus sluoksnis ir užtikrintas vandens nuvedimas. Standžiosios dangos konstrukcijos sluoksnių parinkimo metodikos ir storių nustatymas kiekvienoje šalyje yra skirtingas, nes skiriasi aplinkos sąlygos bei tos šalies standžių dangų patirtis. Plačiau dangos konstrukcijos parinkimas aprašytas 2.4. skyrelyje.

Dalatte (2008), Griffiths, Thom (2007) ir kiti išskiria pagrindinius standžiosios dangos tipus:

- sujungtų betono plokščių (SBP);
- sujungtų gelžbetonio plokščių danga (SGBP);

- nepertraukiamai armuota betono danga (AB);
- dispersiškai armuota danga (DA).

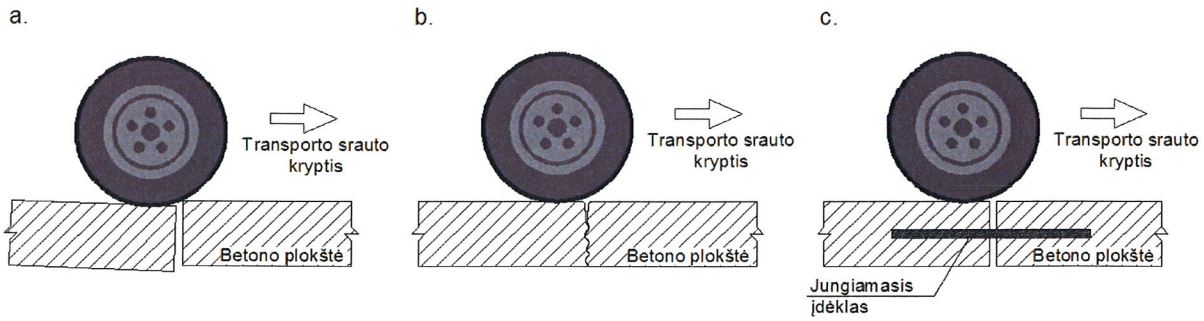
Taip pat prie standžių priskiriamos dangos su įtemptojo gelžbetoniu ir dangos iš surenkamų betoninių plokščių, tačiau šie tipai rečiau naudojami. Specializuotų dangų įrengimui gali būti naudojamas volais tankintas betono sluoksnis (roller compacted concrete RCC). Pastaraisiais metais JAV pradėtos kloti sujungtų surenkamų betono elementų betono danga.



2.5 pav. Standžiosios dangos konstrukcijos schema.

2.3.1. Sujungtų betono plokščių danga

Dažniausiai klojama sujungtų betono plokščių (toliau – SBP) danga, nes ji pigiausia iš visų standžių dangų ir paprasčiausia įrengti. SBP danga yra iš nearmuoto betono, kuris kietėjimo metu skersine kryptimi supjaustomas į 3,5 ÷ 6,0 m ilgio plokštes (žr. 2.5 pav.). Siūlės įpjaunamos pakankamai arti viena kitos siekiant išvengti neprognozuojamų plyšių atsiradimo. Svarbu užtikrinti apkrovos perdavimą tarp plokščių (žr. 2.6 pav.).



2.6 pav. Skersinės siūlės šoninio pjūvio schema: a) nesujungtos betono plokštės; b) betono užpildų susikabinimas; c) betono plokštės sujungtos jungiamaisiais įdėklais.

Skersinės siūlės šoninio pjūvio schemoje (2.6 pav. a.) matoma, kad neužtikrinus sujungimo tarp plokščių transporto priemonių sukeltos apkrovos įspaudžia pagrindo sluoksnius, plokštė praranda stabilumą, važiavimo sąlygos tampa sudėtingos, ilgainiui lenkiamos plokštės sulūžta ir dangą reikia remontuoti. Yra du metodai, kuriais SBP dangose sujungiamos plokštės: betono užpildų susikabinimu (2.6 pav. b.) ir įdėklais (2.6 pav. c.).

Betono užpildų susikabinimo (aggregate interlock) skersinės siūlės suformuojamos betonui kietėjant, kai dangoje įpjaunama 1/4 – 1/3 gylio siūlė sukurianti „silpną vietą" plokštėje, kad besitraukiantis betonas trūktų prognozuojamose vietose. Plyšys formuojasi esant minkštam betonui, prasideda įpjautoje vietoje iš skverbiasi gilyn apeidamas užpildo daleles. Kol plyšys išlieka siauras apkrova tarp plokščių perduodama per atramines jėgas susidariusias tarp betono užpildų dalelių esančių plyšio vietoje. Tačiau šis ryšys nutrūksta, padidėjus tarpui tarp plokščių ir suyra, jei dangą veikia intensyvus ir didelio greičio sunkiojo transporto eismas (žr. 11 pav. a.). Siekiant išvengti plokščių vertikalaus judėjimo ir ryšių praradimo, siūlių vietoje įrengiami įdėklai. Įdėklai – tai lygaus paviršiaus plieniniai strypai, kurių viena pusė padengta alyva arba bitumu užtikrinantys, kad plokštės judėtų tik horizontalia kryptimi.

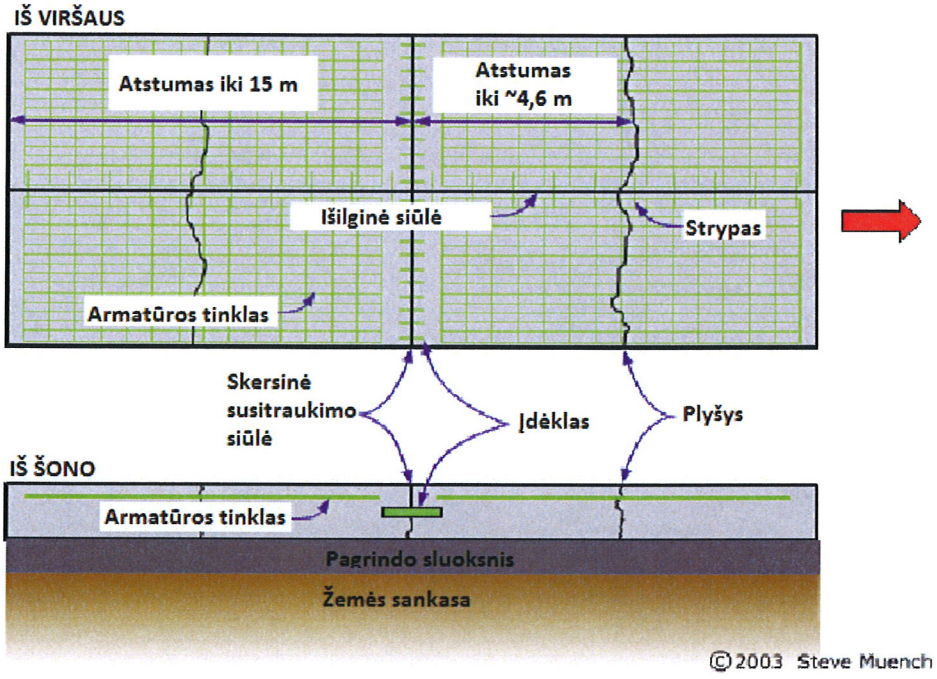
Išilginės siūlės įrengiamos siekiant monolitiškai sujungti eismo juostas. Išilginėse siūlėse naudojami jungiamieji strypai iš rifliuotos armatūros (žr. 2.3. skyrių).

2.3.2. Sujungtų gelžbetonio plokščių danga

Sujungtų gelžbetonio plokščių danga (toliau – SGBP) skiriasi nuo SBP didesniais tarpais tarp siūlių ir papildomu armatūros tinklu. Atstumas tarp deformacinių siūlių priklauso nuo aplinkos sąlygų, todėl skirtingų šalių metodiniuose nurodymuose pateikti skirtingi dydžiai. Delatte (2008) knygoje rašo, kad atstumai tarp skersinių siūlių SGBP dangoje yra nuo 7,5 iki 9,0 metrų. Tuo tarpu Australijos CCAA metodiniuose nurodymuose siūlės įrengiamos kas 10 – 15 metrų. Griffiths, Thom (2007) teigia, kad maksimalus tarpas tarp skersinių siūlių 25,0 metrai ir kas trečia skersinė siūlė turi būti išsiplėtimo.

SGBP dangoje įrengiamos deformacinės siūlės (žr. 2.5 skyrių) ir jungiamąja skersine ir išilgine armatūra. Tai tarpinis standžiosios dangos tipas tarp nearmuotos ir nepertraukiamai armuotos betono dangos. Armatūros tinklas SGBP dangoje atlieka dvi funkcijas (Griffiths, Thom 2007):

- kontroliuoja plyšių plotį, glaudžiai sujungia betono plokštes;
- įtakoja bendrą betono dangos stiprį.



2.7 pav. Sujungtų gelžbetonio plokščių dangos konstrukcija (WSDOT)

Armatūra gali būti įrengiama sluoksnio viršuje, apačioje arba arčiau vidurio. Paprastai išilgine kryptimi įrengiama 16 mm diametro armatūra, skersine kryptimi - 12 mm. Armatūros tinklas orientuotas taip, kad išilgine kryptimi būtų mažesni tarpai tarp strypų. Armatūra pjūvyje sudaro 0,10-0,25 % plokštės ploto (Delatte 2008).

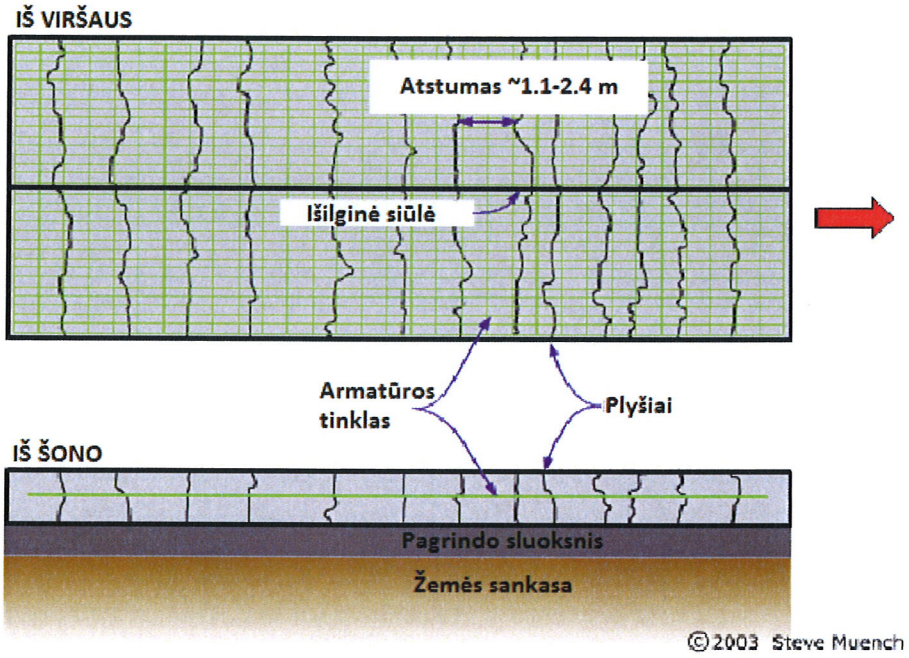
Šiandieniniuose kelių tiesybos objektuose SGBP dangos retai naudojamos. Vienintelis šios dangos tipo privalumas – didesni tarpai tarp siūlių. Tačiau dangoje papildomai atsiveria plyšiai, kurie ilgainiui platėja įtakodami prastas važiavimo sąlygas (Delatte 2008).

2.3.3. Nepertraukiamai armuota betono danga

Nepertraukiamai armuota betono (toliau – AB) danga – tai danga sustiprinta išilginiu armavimu be skersinių susitraukimo siūlių. Armatūros skersmuo ir tinklo išdėstymas apskaičiuojami įvertinant transporto srautus ir aplinkos temperatūros svyravimus taip, kad dangoje atsivėrę plyšiai veikiami apkrovų išliktų standus. Plyšiai dangoje susiformuoja kas ~1÷3 m priklausomai nuo betono mišinio ir aplinkos sąlygų, ir yra ne didesni kaip 1,0 mm. Apkrovų perdavimo metu armatūros tinklas laiko plyšius glaudžiai suspaustus ir užtikrina standų užpildų susikabinimą plyšiuose. Dangos pradžioje ir pabaigoje armatūra turi būti užinkaruota siekiant išvengti dangos galų sutrupėjimo temperatūrinio išsiplėtimo ir susitraukimo metu, taip pat neleidžia plyšiams platėti. Klojant AB dangą etapais įrengiamos konstrukcinės skersinės siūlės. Šiose konstrukcinėse siūlėse armatūros strypai perdengiami 0,9 m ir

standžiai sutvirtinami. Plačiau apie armatūros išdėstymą, sujungimą ir AB dangos galų inkaravimą žr. 2.6 skyriuje.

McCullough ir Cawley (1981) tyrinėjo nepertraukiamai armuotos betono dangos išsiplėtimą ir nustatė, kad neįtvirtinta AB danga gali išsiplėsti iki 50 mm, o inkaravimas sumažina apie 50 % viso išsiplėtimo dydžio. Taigi prijungiant AB dangą prie kitų statinių (tiltų, viadukų, rampų ir pan.) turi būti įrengtos išsiplėtimo siūles su užpildu, kuris absorbuotų betono išsiplėtimą.



2.8 pav. Nepertraukiamai armuota betono dangos konstrukcija (WSDOT)

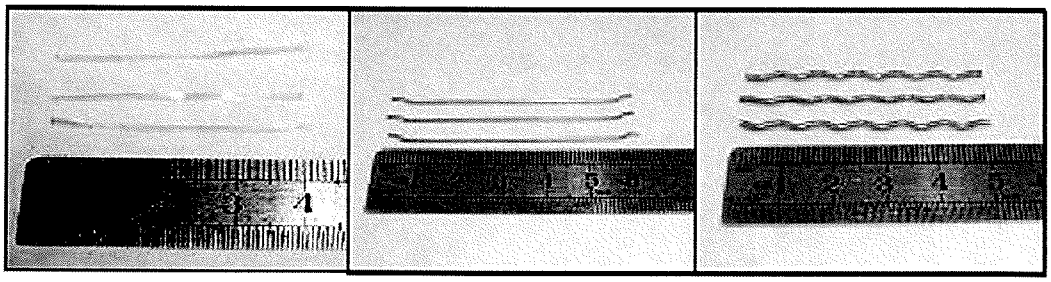
Nepertraukiamai armuota betono danga dažniausiai naudojama oro uostų dangų įrengimui. Dėl didesnių kaštų medžiagoms ir įrengimui AB danga rečiau naudojama kelių tiesyboje, nei SBP dangos. Tačiau nepertraukiamai armuotos betono dangos užtikrina lygesnį važiavimą ir ilgesnį tarnavimo laikotarpį, nei kitų tipų dangos. AB dangos dėvimajam paviršiui gali būti naudojamas 4 - 5 cm poréto betono arba asfalto sluoksnis siekiant sumažinti triukšmo lygį bei pagerinti važiavimo sąlygas.

2.3.4. Dispersiškai armuota danga

Dispersiškai armuota (toliau – DA) danga – tai betono danga, kurios mišinyje papildomai įmaišyta polipropileno pluošto ar plieno fibros, kitaip dar vadinama fibrobetono danga. Dispersiškai armuotas betonas daugiausiai naudojamas pastatų konstrukcijose siekiant sumažinti gelžbetoninių elementų pleišėjimą, sumažinti tempimo įtempius betone ir didesnių plyšių atsiradimo tikimybę (Tan et al 1995). Dispersiškai armuotas betonas pasižymi mažesniu įtrūkių kiekiu atsiradusių kietėjant betonui, didesniu betono atsparumu smūginei apkrovai, mažesniu dilumu ir vandens pralaidumu. Al-Shannag

(2007) teigė, kad racionalus armavimas pasiekiamas, kai betono konstrukcija armuojama armatūra ir fibrobetonu. Griffiths ir Thom (2007) knygoje rašoma, kad optimalus fibrų kiekis betone 0,5 % nuo bendros betono masės ir kombinuojamas su SBP, SGBP ir NA dangomis.

S. A. Altoubat et al. (2008) atliko bandymus su skirtingomis fibromis (žr. 2.9 pav.) ir nustatė, kad naudojant fibras padidėjo betono dangos atsparumas lenkiant. Išvadose teigiama, kad naudojant fibras galima sumažinti betono sluoksnio storį iki 30% automobilių keliuose ir iki 17% įrengiant aerodromų dangas.



2.9 pav. Fibrų naudojamų kelių betone pavyzdžiai. Kairėje – sintetinės makro fibros. Viduryje – plieinės fibros užlenktais galais. Dešinėje – plieninės spiralinės fibros (S. A. Altoubat et al. 2008)

Fibrobetono dangos paprastai naudojamos gamybinių pastatų grindų įrengimui. Belgijoje dispersiškai armuota danga keliuose naudojama plonų sluoksnių įrengimui (Jasienski, 2006).

2.4. Standžiųjų dangos konstrukcijų projektavimo metodai

Standžiosios dangos sluoksnio storio parinkimas yra labai svarbus, nes įtakoja kitų konstrukcinių elementų išdėstymą (deformacinių siūlių tankumą, armatūros kiekį). Projektuojant standžią dangos konstrukciją reikia kompleksiškai vertinti apkrovų skaičių ir temperatūros svyravimus.

2.4.1. Transporto eismo įtaka

Dangos degradaciją įtakoja sunkiojo transporto sukeliamos apkrovos (Oginskas 2006, Braga 2005, ir kt.). Įvairios šalyse taikomi dangų projektavimo metodai pagrįsti sunkiojo transporto eismo sukeliamos apkrovos poveikiu kelio dangai. Priimta, kad tiek standžioms, tiek nestandžioms dangoms lengvasis transportas turi labai mažą įtaką, todėl vertinamas tik sunkiojo transporto eismas.

Apkrovos poveikis dangai yra teorinis dydis sunorminantis transporto priemonių ašių apkrovas su standartinei, tam tikro svorio, ašies apkrovai ir yra skaičiuojamas tam tikram periodui (projektiniam laikotarpiui). Lietuvoje sunkiojo transporto priemonių ašių apkrovos yra norminamos 100 kN ašiai. JAV dangų konstravimo programose transporto priemonių eismo poveikis dangai norminamas 80 kN ašiai. 2.3 lentelėje pateiktas transporto priemonių poveikis standžiosioms ir nestandžiosioms dangoms nuo skirtingų apkrovimų dydžių ir ašių išdėstymo.

2.3 lentelė. WSDOT Projektavimo nuorodose pateiktos ESA_{80} reikšmės skirtingoms dangoms

Ašių tipas	**Ašies apkrova**		**ESA_{80} (iš AASHTO, 1993)**	
	(kN)	**(lbs)**	**Nestandžioji**	**Standžioji**
Viena ašis	8.9	2,000	0.0003	0.0002
	44.5	10,000	0.118	0.082
	62.3	14,000	0.399	0.341
	80.0	18,000	**1.000**	**1.000**
	89.0	20,000	1.4	1.57
	133.4	30,000	7.9	8.28
Suporintos ašys (2 ašių junginys)	8.9	2,000	0.0001	0.0001
	44.5	10,000	0.011	0.013
	62.3	14,000	0.042	0.048
	80.0	18,000	0.109	0.133
	89.0	20,000	0.162	0.206
	133.4	30,000	0.703	1.14
	151.2	34,000	1.11	1.92
	177.9	40,000	2.06	3.74
	222.4	50,000	5.03	9.07

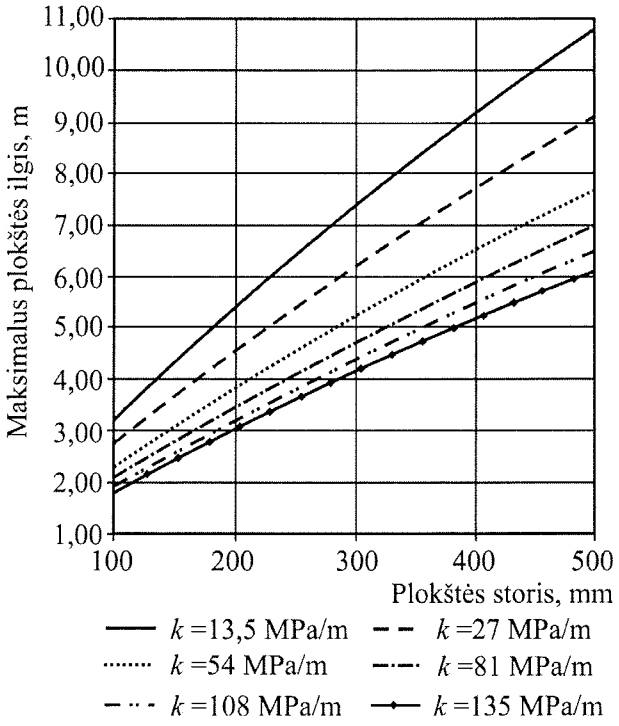
Iš 2.3 lentelės matyti, kad suprotintų ašių nuo vienodos apkrovos poveikis dangai yra ženkliai mažesnis, tai yra dėl didesnio kontakto ploto.

Konstruojant dangą pirmiausiai paskaičiuojama koks standartinių ašių skaičius pravažiuos danga per visą projektinį laikotarpį. ESA_{100} ir ESA_{80} įvertina bendrą kaupiamąjį transporto priemonių poveikį dangai nuo standartinės ašies.

2.4.2. Žemės sankasa ir pagrindo sluoksniai

Standžiosios dangos turi būti įrengtos ant tinkamai paruošto pagrindo. Pagrindas gali būti stabilizuotas hidrauliniais arba bituminiais rišikliais, nesustiprintas rišikliais, šalčiui atsparus sluoksnis arba sutankintas žemės sankasos paviršius.

Projektuojant standžias dangas reikia atkreipti dėmesį į žemės sankasos gruntą. Nuo betono sluoksnio storio ir grunto k-vertės (k-value) priklauso atstumas tarp deformacinių siūlių (pagal AASHTO 1993). Atstumų tarp siūlių priklausomybė nuo betono sluoksnio storio ir žemės sankasos k-vartės pateikta 2.10 pav.



2.10 pav. Atstumų tarp siūlių priklausomybė nuo betono sluoksnio storio ir žemės sankasos k-vartės (FAA 2004)

K-vertė (modulis) nustatomas pagal grunto atsistatymą ir tankį. Įtempiai žemės sankasos paviršiuje tiesiogiai didėja didėjant įtempiams betono dangoje. 2.4 lentelėje pateikiami k – vertės atitikmenys nuo medžiagos CBR procento.

2.4 lentelė. Dažniausiai pasitaikančių gruntų k-vertės (AASHTO 1998)

Grunto pavadinimas	Piltinis tankis, kg/m^3	CBR, %	k-vertė, MPa/m
Žvyras	2000-2240	60-80	81-122
	1920-2080	35-60	81-108
Stambus smėlis	1760-2080	20-40	54-108
Smulkus smėlis	1680-1920	15-25	41-81
Dulkingas žvyras	2080-2320	40-80	81-136
Dulkingas smėlis	1920-2160	20-40	81-108
Molingas žvyras	1920-2240	20-40	54-122
Molingas smėlis	1680-2080	10-20	41-95

Dangos pagrindo sluoksnio storiai parenkami pagal žemės sankasos k-vertes ir pateikti 2.5 lentelėje.

2.5 lentelė. Hidrauliniais rišikliais nesurišto dangos pagrindo k-vertės priklausomybė nuo sluoksnio storio ir žemės sankasos grunto k-vertės

Žemės sankasos k-vertė, MPa/m	Dangos pagrindo k-vertė, MPa/m			
	100 mm	150 mm	225 mm	300 mm
13,5	16,2	19	23	28
27	34	38	43	51
54	62	68	73	81
81	84	87	92	95

Visgi Delatte (2008) teigia, kad į grunto k-vertė reikia atsižvelgti, tačiau sluoksnio storiui šis modulis nėra labai reikšmingas, todėl daugelyje standžiosios dangos projektavimo metodikų esami gruntai nėra įvertinti. Kur kas didesnį poveikį turi grunte esanti drėgmė bei šalčio poveikis. Todėl kaip ir asfalto dangoms, taip ir betono dangoms turi būti užtikrintas funkcionuojantis vandens nuvedimas: įrengiant šalčiui atsparų sluoksnį, drenažą, paviršinio vandens surinkimo ir nuvedimo uždaras arba atviras sistemas.

2.4.3. Standžiosios dangos storio parinkimas

Betono dangos stiprumas priklauso nuo betono storio. Visiems betono dangos tipams sluoksnio storiai parenkami vienodai, nes nei armatūros kiekis, nei įdėklų skaičius tiesiogiai betono dangos stiprumo neįtakoja. Plieniniai elementai betono dangoje įrengiami siekiant kontroliuoti transporto priemonių apkrovų sukeliamus įtempius atsirandančius siūlėse.

Standžiosios dangos sluoksnio storis gali būti apskaičiuojamas arba parenkamas pagal tipinių konstrukcijų katalogą atsižvelgiant į $ESA_{80(100)}$ skaičių. Kiekvienoje šalyje tipinės betono dangos konstrukcijos šiek tiek skiriasi, jos yra pritaikytos prie konkrečios šalies aplinkos sąlygų.

Lietuvoje, kaip ir Vokietijoje, betono dangos storis parenkamas pagal tipinių dangos konstrukcijų katalogą, atsižvelgiant į projektinę apkrovą visam eksploataciniam laikotarpiui. Lietuvoje dangos projektinis laikotarpis – 20 metų (KPT SDK 07). Lietuvoje taikomos tipinės dangos konstrukcijos pateiktos A priede B.1 lentelėje.

Švedijoje dangos konstrukcijos projektuojamos pagal ATBVÄG technines specifikacijas (SNRA 2003). ATBVÄG (SNRA 2003) nurodyta, kad betono dangos projektinis laikotarpis – 40 metų. Šiame dokumente išskiriamos 7 eismo klasės pagal kurias parenkamos dangos konstrukcijos. Standžiosios dangos projektuojamos kai $ESA_{100} > 9{,}0$ mln. Išskiriamos trys dangos konstrukcijos klasės:

5 – $ESA_{100} = 9{,}0$ mln.;

6 – $ESA_{100} = 19{,}0$ mln.;

7 – $ESA_{100} > 19{,}0$ mln.

Betono dangos keliams Švedijoje yra įrengiamos ant 10 cm asfalto pagrindo sluoksnio arba ant 15 cm hidrauliškai surišto pagrindo sluoksnio. Pagal ATBVÄG (SNRA 2003) dangos konstrukcijos storis priklauso nuo betono atsparumo lenkiant. Pvz. jei betono atsparumas lenkiant F 4,5 (4,5 MPa), dangos konstrukcijos klasė 5 (ESA_{100} - 9,0 mln.), betonas įrengiamas ant 10 cm asfalto pagrindo sluoksnio, tai betono sluoksnio storis $\geq$ 18 cm.

Čekijoje kelių dangos projektuojamo pagal MDCR patvirtintas kelių projektavimo taisykles TP 170 (MDCR 2004). Pagal TP 170 dangos konstrukciją galima pasirinkti tipinių dangos konstrukcijų

kataloge A priede (MDCR 2004). Čekijoje dangos projektuojamos 25 metų laikotarpiui. Čekijos dangų konstravimo kataloge nėra betono dangos konstrukcijos ant asfalto sluoksnio, betono dangos įrengiamos ant hidrauliškai surišto pagrindo sluoksnio, stabilizuoto pagrindo sluoksnio arba sutankinto skaldos pagrindo sluoksnio. Dangos sluoksnio storis priklauso nuo sunkiojo transporto paros eismo intensyvumo ir pagrindo sluoksnio tipo, pvz. betono dangos sluoksnio storis:

- Kai SVMPEI ≥ 10 000 aut./p.:
  - 27 cm – ant 15 cm storio hidrauliškai surišto pagrindo sluoksnio;
  - 27 cm – ant 15 cm storio stabilizuoto pagrindo sluoksnio;
  - 30 cm – ant 25-20 cm storio skaldos pagrindo sluoksnio.
- Kai SVMPEI ≥ 5 000 aut./p.:
  - 25 cm – ant 15 cm storio hidrauliškai surišto pagrindo sluoksnio;
  - 25 cm – ant 15 cm storio stabilizuoto pagrindo sluoksnio;
  - 28 cm – ant 25-20 cm storio skaldos pagrindo sluoksnio.

Čekijoje taikomos tipinės betono dangos konstrukcijos, magistraliniuose ir didelio SVMPEI keliuose, mažai skiriasi nuo Lietuvoje ir Vokietijoje taikomų tipinių dangos konstrukcijų. Tačiau TP 170 numatoma galimybė betono dangas taikyti keliams, kuriuose žemas SVMPEI.

Rusioje betono dangos projektuojamos ir įrengiamos vadovaujantis techniniu reikalavimo aprašu BCH 139-80 (1980). Dangos pagrindo sluoksnių storiai priklauso nuo klimato zonos, kurioje įrengiamas kelio ruožas. Betono dangos storis taip pat priklauso nuo apskaičiuoto sunkiojo transporto paros eismo intensyvumo (žr. 2.7 lentelę).

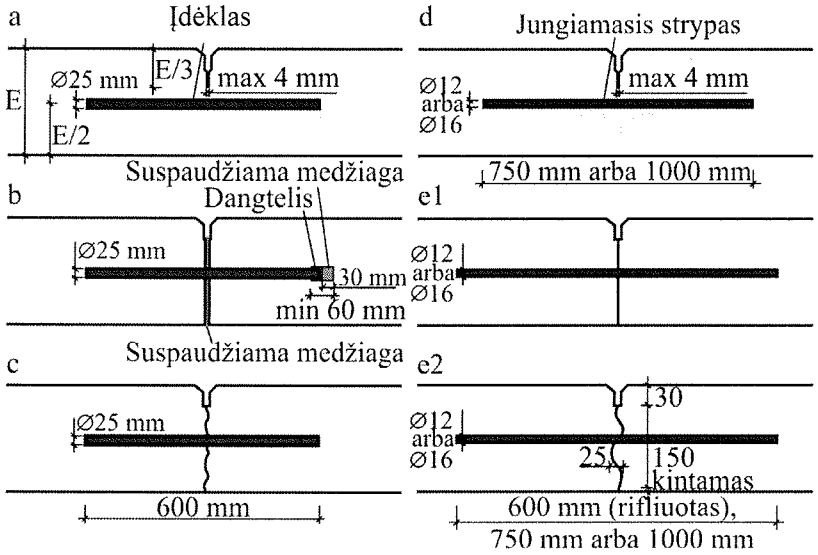
2.6 lentelė. Rekomenduojami mažiausi betono dangos sluoksnio storiai pagal BCH 139-80

	Kelio kategorija pagal apskaičiuotą eismo intensyvumą, aut./p.					
	I		II		III	
	>10 000	7 000 – 10 000	5 000 – 7 000	3 000 – 5 000	2 000 - 3 000	1 000 – 2 000
Pagrindo sluoksnis	Betono dangos sluoksnio storis, cm					
Akmens arba dolomito skalda, sustiprinta cementu arba kitais neorganinės kilmės rišikliais	24	22	22	20	18	18
Skalda arba gruntai susitirpinti organinės kilmės rišikliais,	-	-	22	20	18	18
Smėlis, smėlio – žvyro mišinys	-	-	-	22	20	18

2.5. Deformacinės siūlės

Priklausomai nuo standžiosios dangos tipo deformacinės siūlės gali būti įrengiamos arba susiformuoti betono traukimosi metu. Siekiant kontroliuoti betono dangoje vykstančius susitraukimo (kietėjimo metu) ir išsiplėtimo (keičiantis aplinkos temperatūrai) įtempius, turi būti įrengiamos deformacinės siūlės (Delatte 2008). Siūlių įrengimo dažnumas priklauso nuo betono sluoksnio storio ir pagrindo sluoksnio k-vertės (Delatte 2008, Griffiths ir Thom 2007).

2.11 pav. pateiktos Belgijos standžių dangų tiesybos praktikoje naudojamos deformacinių siūlių konstrukcijos (Jasienski 2006).



2.11 pav. Belgijoje naudojamų deformacinių siūlių konstrukcijos (Jasienski 2006)

Pagal siūlių įrengimo vietą, orientaciją transporto priemonių važiavimo kryptimi ir funkciją išskiriamos tokios deformacinės siūlės:

- Skersinės siūlės:
  - susitraukimo (žr. 2.11 pav. a);
  - išsiplėtimo (žr. 2.11 pav. b);
  - technologinės (žr. 2.11 pav. c).
- Išilginės siūlės:
  - susitraukimo (žr. 2.11 pav. d);
  - technologinės (žr. 2.11 pav. e1, e2).

Susitraukimo siūlės dangoje išpjaunamos per dvi dienas nuo dangos paklojimo. Paprastai susitraukimo siūlės įrengiamos kas 3,5 – 6,0 m.

Išsiplėtimo siūlės leidžia betono plokštėms išsiplėsti ir susitraukti, t.y. judėti horizontalia kryptimi nedarant įtakos gretimiems statiniams. Taip pat sumažina susispaudimo įtempius, kurie gali įtakoti

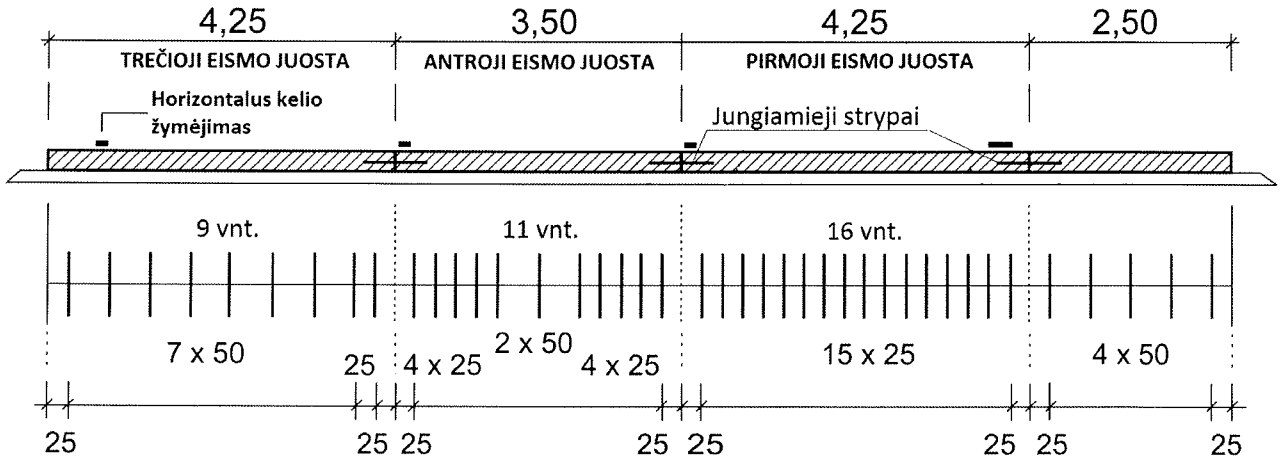
betono dangos plokščių išspaudimą. Standžiosiose dangos konstrukcijose betono dangą įrengiant klotuvu su slenkančiais klojiniais nereikia įrenginėti išsiplėtimo siūlių kas 30 m (ZBT Beton – StB 07 2008, BCH 139-80). Tačiau išsiplėtimo siūlės privalo būti įrengtos prie stacionarių statinių: šulinių dangčių, kolonų, atraminių sienučių ir pan. Taip pat artėjant prie tiltų konstrukcijų įrengiamos mažiausiai 2 išsiplėtimo siūlės. Pagal ZBT Beton – StB 07 (2008) išsiplėtimo siūlių nereikia įrengti jei tarp betono dangos ir tilto konstrukcijos yra bent 15 m asfalto dangos atkarpa.

Išsiplėtimo siūlės įrengiamos su 1-2 cm storio užpildu, absorbuojančiu betono plokščių temperatūrinio išsiplėtimo/susitraukimo pokyčius (Delatte 2007). Suspaudžiama medžiaga gali būti medinė lenta arba kitas gaminys iš bitumo ir/ar polimerinių fibrų, kuris būtų ne platesnis 20 mm ir absorbuotų temperatūrinį betono išsiplėtimą. Dideliuose betonuojamuose plotuose, peronuose, aikštelėse išsiplėtimo siūlės rengiamos ir išilgine kryptimi.

2.5.1. Įdėklai, jungiamieji strypai

Įdėklai ir jungiamieji strypai standžioje dangoje atlieka skirtingas funkcijas. Įdėklai leidžia horizontalų judėjimą tarp plokščių, jungiamieji strypai monolitiškai sujungia elementus. Dėl skirtingos funkcijos skiriasi plieninių elementų skersmuo, forma ir ilgis.

Plieniniai įdėklai įrengiami skersinėse siūlės užtikrinant betono plokščių tarpusavio sujungimą viename aukštyje, bei tolygų apkrovų perdavimą tarp betono plokščių bei plokščių nesideformavimą dėl temperatūros pokyčių. Įdėklai dangoje leidžia ne didesnį kaip 1 mm plokščių tarpusavio pasislinkimą horizontalia kryptimi. Įdėklų ilgis, skersmuo, plieno tipas, išdėstymo tarpai ir atstumai yra standartizuoti konkrečių šalių norminiuose dokumentuose. Plieninių įdėklų išdėstymo pavyzdys pateiktas 2.12 paveiksle.



2.12 pav. Jungiamųjų įdėklų išdėstymas trijų eismo juostų kelio profilyje (ZBT Beton – StB 07 2008)

2.12 pav. matyti, kad tankiausiai įdėklai sudėti pirmoje eismo juostoje, kur vyksta didžiausias sunkiojo transporto eismas. Antroje eismo juostoje įdėklai tankiau įrengti ratų vėžių plotyje. Trečiojoje eismo juostoje, kur didžiausią procentą sudaro lengvasis transportas, įdėklai išdėstyti pakankamai retai kas 0,5 m. Svarbu užtikrinti, kad įdėklai sujungtų plokštes, tačiau leistų dangai pasislinkti plokštumoje (Griffits, Thom 2007), todėl bent viena įdėklo dalis turi būti padengta medžiaga leidžiančia įdėklui judėti (pvz. emulsija, alyva ar pan.).

Inkariniai strypai įrengiami išilginėse siūlėse siekiant išvengti horizontalaus ir vertikalaus plokščių pasislinkimo, siūlės tarpelio didėjimo ir užtikrinantys standų apkrovos perdavimą tarp plokščių. Inkariniai strypai yra mažesnio skersmens, ilgesni ir įtvirtinti per visą ilgį. Paprastai inkariniai strypai yra iš rifliuotos armatūros. Centrinė inkarinio strypo dalis turi būti papildomai apsaugota nuo korozijos. ZTV Beton – StB 07 (2008) nurodyta, kad išilginėse siūlėse kiekvienoje betono plokštėje turi būti įrengti 3 - 5 inkariniai strypai (SV-III dangos konstrukcijos klasei – 5 vnt., VI-V – 3vnt).

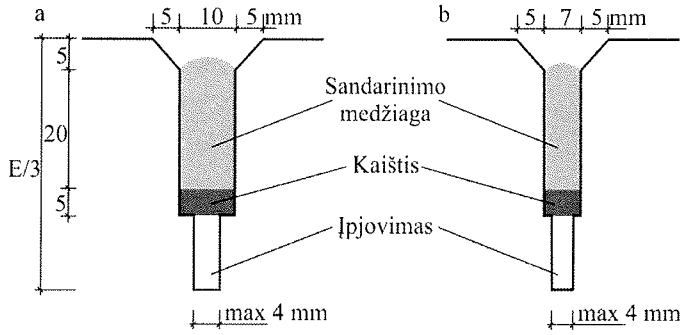
Įdėklai ir jungiamieji strypai standžioje dangos konstrukcijoje yra labai reikšmingi ir taip pat įtakoja dangos eksploatacijos laikotarpį. Netinkamai įrengtos jungtys gali sukelti lūžius ir ištrupėjimus dangoje. Korozijos pažeisti plieniniai strypai įtakoja defektus dangoje. Siekiant išvengti metalinių dalių korozijos naudojami antikorozinėmis medžiagomis padengti įdėklai ir inkariniai strypai. JAV standžių dangų praktikoje naudojami nerūdijančio plieno pilnaviduriai ir tuščiaviduriai, vamzdžio tipo įdėklai.

2.5.2. Deformacinių siūlių užsandarinimas

Išpjautos siūlės turi būti užsandarintos, kad į betono dangos konstrukciją nepatektų vanduo, dulkės ir, kad siūlės tinkamai funkcionuotų. Šaltuoju metų laiku betono plokštės susitraukia įtakodamos siūlių tarpelio išplatėjimą. Jei siūlės užpildas tampa neelastingas į atsiradusius plyšelius patenka įvairios dulkės, dalelės, vanduo ir plyšys nebegali užsidaryti pasikeitus temperatūrai, betono išsiplėtimo metu. Siūlės užsikimšimas gali įtakoti dangos išspaudimą.

Siūlės užsandarinimas susideda iš (žr. 2.13 pav.):

- snadariklio – medžiagos, kuri plečiasi ir traukiasi užtikrindama sandarumą siūlėje;
- kaiščio – medžiaga laikanti sandariklį reikiamoje vietoje ir neleidžianti skverbtis gilyn į dangos konstrukciją.

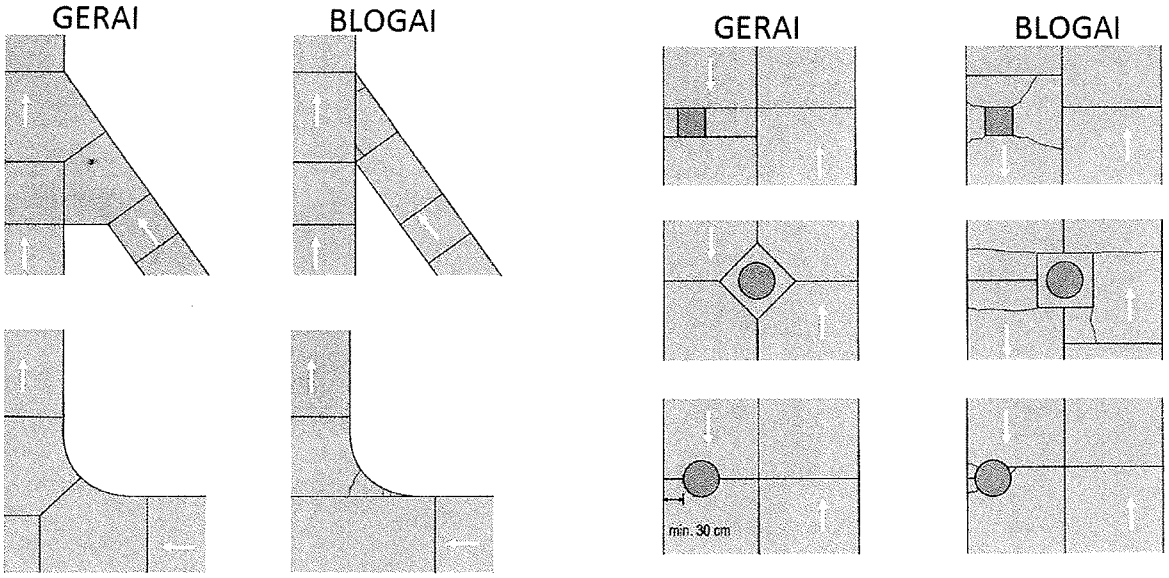


2.13 pav. Siūlės užsandarinimo schema (Jasienski 2006): a) naudojamas karštas sandariklis (pvz., bituminė mastika); b) naudojamas šaltas sandariklis (pvz., silikonas)

Kad nenutrupėtų, siūlės kraštai turi būti išpjauti 45° kampu arba apvalinti. Betonui sukietėjus ir pasiekus norminį stiprį apytiksliai po 28 parų nuo paklojimo, deformacinės siūlės užsandarinamos bitumo mastika arba silikoniniu užpildu pagal 2.13 pav. pateiktą schemą.

2.5.3. Siūlių išdėstymo planas dangoje

Projektuotojai ir konstruktoriai rengdami projektus turi tinkamai išdėstyti siūles plane. Siūlės turi būti įrengiamos vengiant smailių kampų plokščių kraštuose. 2.14 pav. pateiktas siūlių išpjovimų pavyzdžiai plane.

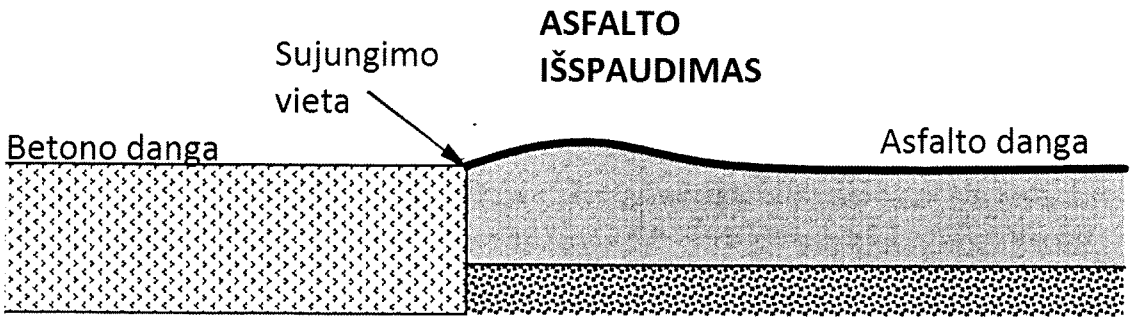


2.14 pav. Siūlių išdėstymo plane pavyzdžiai (Jasienski 2006)

2.5.4. Asfalto ir betono dangų sujungimas

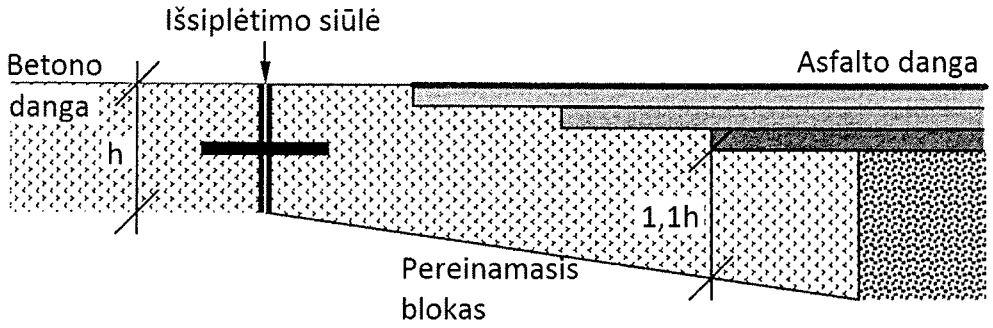
Betono dangos išsiplėtimą ir susitraukimą kompensuojantis sujungimas turi būti įrengtas prie visų tiltų ir viadukų konstrukcijų, stacionarių konstrukcijų ir kai betono danga sujungiama su asfalto danga. Burke (2004) teigia, kad ilgainiui betono dangoje „kaupiasi“ išilginiai įtempiai. Tai atsitinka todėl, kad į siūlių trapus patenka įvairios medžiagos (dulkės, smėlis, maži akmenys ir pan.) ir neleidžia

siūlėms pilnai užsiverti, todėl betono danga yra linkusi plėstis į ilgį. Šis išsiplėtimas gali sugadinti tiltų konstrukcijas, įtakoti asfalto dangos (žr. 2.15 pav.) ar betono plokščių išspaudimą.



2.15 pav. Asfalto dangos išspaudimas (Griffiths ir Thom 2007)

Dangos išspaudimai gali atsirasti po 10 – 20 metų nuo eksploatacinio periodo pradžios ir priklauso nuo dangos ir siūlių priežiūros. Sujungimo zonoje, nuo transporto priemonių apkrovų, gali pradėti trupėti betono sluoksnis. Siekiant išvengti betono ir asfalto dangų pažaidų rekomenduojam įrengti sujungimą su išsiplėtimo siūle ir pereinamuoju betono bloku (žr. 2.16 pav.).



2.16 pav. Betono ir asfalto sujungimo schema (Griffiths ir Thom 2007)

2.6. Nepertraukiamai armuotos betono dangos armavimas

Nepertraukiamai armuota betono danga yra įrengiama be susitraukimo siūlių. Armatūra betono dangoje skirta ne atsparumo lenkimui padidinti, o siekiant užtikrinti įtempių stabilizavimą betono dangoje. Išilginė armatūra sukabina betono dangą, kuri kietėjimo metu sutrūksta į 1-3 m ilgio dalis, ir užtikrina konstrukcijos darbą apkrovimo metu. Skersinė armatūra dangoje naudojama tik išilginės armatūros įrengimui projektinėje pozicijoje.

Išilginės armatūros kiekis apskaičiuojamas atsižvelgiant į šiuos kriterijus (Delatte, 2008):

- atstumu tarp plyšių – 1,1 ÷ 2,4 m – siekiant išvengti betono dangos sutrupėjimų;
- plyšių pločiu – iki 1 mm – siekiant išvengti vandens patekimo ar lūžinėjimo;
- armatūros įtempimo apribojimu – iki 75 % - siekiant išvengti armatūros sulūžinėjimo.

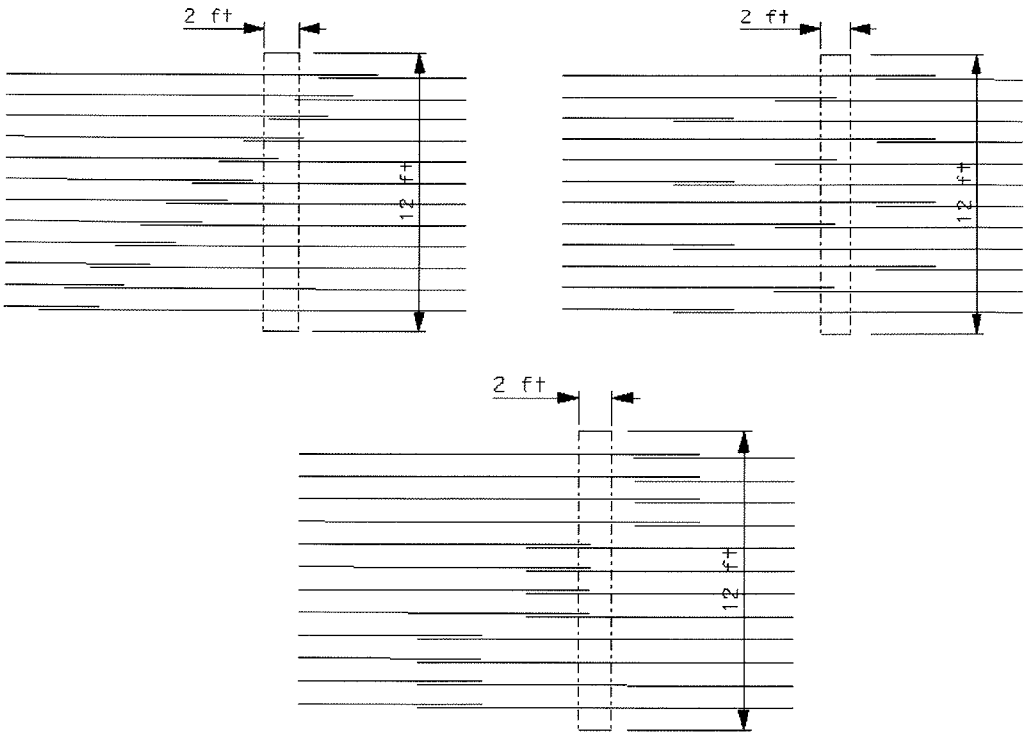
Rekomendacijos išilginės armatūros kiekiui ir skersmeniui priklausomai nuo betono sluoksnio storio pateiktos 2.7 lentelėje.

2.7 lentelė. Rekomenduojami išilginės armatūros skersmenys ir kiekiai (Delatte 2008, FHWA 1990b)

Kiekis, %	Dangos storis, mm					
	203	229	254	280	305	330
0,60	13, 16	16, 19	16, 19	16, 19	16, 19	19
0,62	16, 19	16, 19	16, 19	16, 19	16, 19	19
0,64	16, 19	16, 19	16, 22	16, 22	16, 22	16, 22
0,66	16, 19	16, 22	16, 22	16, 22	16, 22	16, 22
0,68	16, 19	16, 22	16, 22	16, 22	16, 22	16, 22

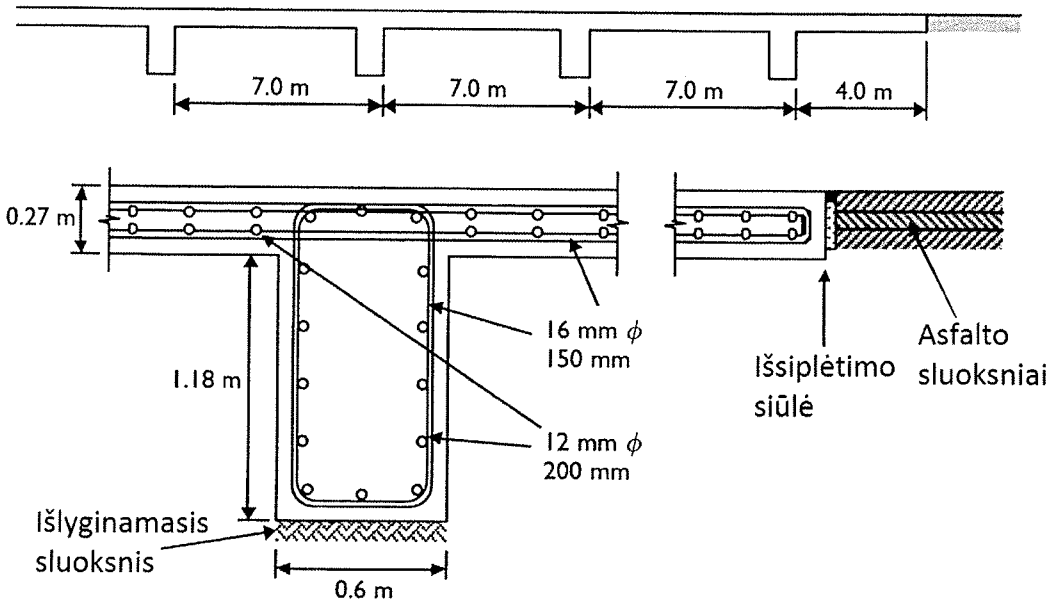
Betono armavimo plieno institutas (Concrete Reinforcing Steel Institute www.crpi.org) pritaikė armatūros kiekio skaičiavimą programinės įrangos paketuose: PowerPave, CRC-HIGHWAY PAVE, CRC-AIRPAVE ir kit.

Išilginės armatūros tinklo sujungimo variantai pateikti 2.17 pav. Armatūros strypai turi persidengti apie 90 cm ir būti suvirinti arba tvirtai sukabinti viela. Taip pat turi būti užtikrinta, kad sujungimai nebūtų vienoje juostoje. Armatūros sujungimai persidengia kas ketvirtame armatūros strype. Gali būti išdėstyti įstrižai, paslenkant sujungimą per 1/3 nuo bendro sujungimo ilgio.



2.17 pav. Armatūros surišimo variantai (Russel ir Lenz, 2011)

Nepertraukiamai armuotos dangos galuose, sujungimuose su asfalto danga ir prie tiltų konstrukcijų, armatūros galai yra įtvirtinami, užinkaruojami. Inkaravimas reikalingas siekiant išlaikyti armatūrą įtemptą. Įtempimo inkarų schema pateikta 2.18 pav.



2.18 pav. Armatūros įtempimo inkarų išdėstymo schema ir įrengimo detalė (Griffiths ir Thom, 2007)

Armatūros įtempimo inkarų skaičius, išdėstymo atstumai ir dydis priklauso nuo aplinkos sąlygų, atkarpos ilgio, armatūros kiekio ir yra projektuojami kiekvienam objektui atskirai.

Išilginiai išsiplėtimo įtempiai sumažinami įrengiant išsiplėtimo siūles. Armatūros įtempimo inkarai įrengiami 12-15 m atstumu iki tilto konstrukcijos arba asfalto dangos krašto. Šioje vietoje įrengiama sujungtų plokščių betono danga su 2-3 išsiplėtimo siūlėmis.

2.7. Betono priežiūra kietėjimo metu

Labai svarbu užtikrinti tinkamas sąlygas betono kietėjimui, nes tai stipriai atsiliepia dangos kokybei ir ilgaamžiškumui. Mišiniui kietėjant vyksta reakcijos, kurių metu išsiskiria šiluma ir sugeriamas vanduo. Svarbu užtikrinti tolygų ir pakankamą drėgmės kiekį dangoje, kad betonas kietėtų tolygiai ir traukimosi metu nesusidarytų liekamieji įtempiai (žr. 2.1 skyrių) įtakojantys plyšių tinklo susidarymą betono dangos paviršiuje.

Iškarto po paklojimo betono danga yra apipurškiama (1 arba 2 kartus) baltu arba šviesios spalvos apsauginiu mišiniu. Naujai paklota danga turi būti apsaugota nuo lietaus pvz.: uždengiant dangą polietilenine plėvele. Perdžiūvęs betonas tampa trapus, perdrėkintas betonas kietėja netolygiai ir taip pat gali įtakoti dangos paviršiaus suskilinėjimą.

2.8. Standžiosios dangos paviršius

Dangos paviršiaus tiesiogiai įtakoja važiavimo kokybę, eismo saugumą, sukeliamą triukšmą ir vibraciją, todėl paviršiaus apdailai turi būti skiriamas ypatingas dėmesys. PIARC (1987) techninio komiteto Nr. 1 ataskaitoje apibrėžtos dangų paviršiaus charakteristikos ir poveikis važiavimo kokybei.

2.8 lentelė. Paviršiaus charakteristikų suvestinė (PIARC 1987)

Dangos paviršiaus savybės	Matmenų ribos, mm		Priklauso nuo:	Įtakoja:
	Horizontaliai	Vertikaliai		
Mikrostruktūra	0-0,5	0-0,2	Užpildų dalelių dydžio arba tarpelių tarp griovelių	sukibimą; aukšto dažnio triukšmą.
Makrostruktūra	0,5-50	0,2-10	Užpildų dalelių dydžio ir paviršiaus apdorojimo būdo	sukibimą šlapioje dangoje; taškymąsi; aukšto ir žemo dažnio triukšmą; pasipriešinimą riedėjimui.
Megastruktūra	5-50	1-50	Dangos įrengimo, paviršiaus suformavimo taisyklingumo	tr. pr. valdymą; pasipriešinimą riedėjimui; važiavimo kokybę; padangų ir tr.pr. eksploataciją; žemo dažnio dundėjimą
Nelygumas	500 mm - 500 m	1-20	Dangos tolygumo	važiavimo kokybę; degalų sunaudojimą; tr.pr. eksploataciją; tr.pr. valdymą.

Hosking (1992) teigia, kad smulkiųjų užpildų kiekis betone įtakoja standžiosios dangos sukibimo rodiklius. Teigiama, kad pasipriešinimą slydimui įtakoja: smėlio kiekis, betono stiprumas, stambiųjų užpildų kietumas.

Paviršius iškarto po paklojimo yra suteikiama tekstūra:

– prie klotuvo prikabinta mente – naudojama įrengiant aikšteles, netinka kelių paviršiaus tekstūrai nes neužtikrina reikiamo sukibimo kai danga yra šlapia;

– rankiniu būdu valdoma glaistymo mente – naudojama mažo eismo gatvėse;

– prie klotuvo prikabintu 0,6 – 1,2 ilgio šiurkščiu audiniu (dirbtinės žolės ar pan.) – suteikia išilginės krypties tekstūrą, naudojama mažo greičio gatvėse;

– švelniai braukiant šepečiu 90° kampu eismo važiavimo kryptimi – naudojama įrengiant mažo greičio gatvėse, keliuose, aikštelėse ir kitose dangose.

Didelio greičio keliuose paviršiui suteikiama tokia tekstūra:

- įspaudžiama į dangos paviršių skaldelę (10-14 mm arba 14-20 mm);
- padengiant paviršių plonu 50 mm storio mineralinio mišinio (7-8 mm) sluoksniu;
- dangos frezavimas mikrofreza (žr. 2.19 pav.) – nufrezuojanti 2-3 mm gylio griovelius;
- dangos padengimas plonu 4-5 cm poringuoju betonu ar asfalto sluoksniu.



2.19 pav. Mikrofrezavimo freza betono dangos paviršiaus apdorojimui (MDOSI TP 92, 2010)

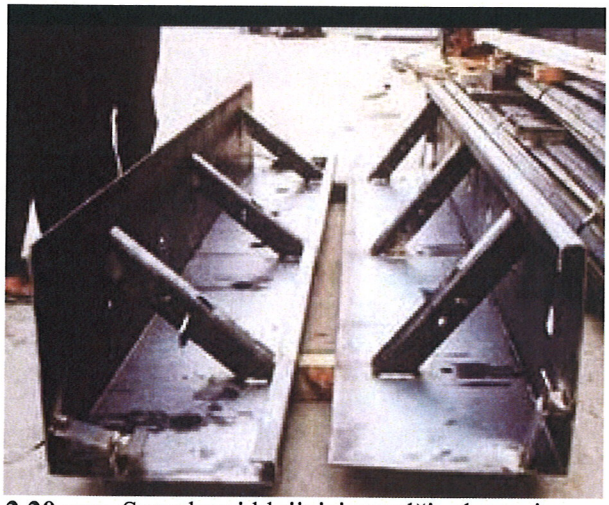
2.9. Standžiųjų dangų įrengimo technologijos

Standžios dangos gali būti klojamos vietoje ir surenkamos gamykloje pagamintos betono plokštės. Surenkamos betono plokštes naudojamos esant sudėtingoms vietos sąlygoms. 1980-1998 metais Lietuvos kelininkai tiesė kelią iš surenkamų betono plokščių per pelkes Vakarų Sibire (Palšaitis, 2004). Žemės sankasa buvo įrengiama tiesiai ant durpių, vadinamasis „plaukiantis pylimas". Betono danga buvo klojama dviem etapais: pirmiausia 15 cm storio gelžbetonio plokštės buvo sudedamos ant žemės sankasos ir sukabinamos kampuose, praėjus žiemos sezonui plokštės susėsdavo, jos buvo nurenkamos išlyginama žemės sankasa, paklojamas 15 cm storio cementu stabilizuoto sluoksnis, plokštės perklojamos ir sujungiamos, o siūlės užpildomos bitumine mastika (Palšaitis, 2004). Toks įrengimo būdas naudotas Vakarų Sibire dėl sudėtingų, ekstremalių vietovės ir aplinkos sąlygų.

JAV Teksaso valstijoje buvo bandoma kloti surenkamų betono elementų dangas didelio intensyvumo keliuose. Betoniniai elementai išilgine kryptimi buvo surišti įtemptąja armatūra. Sutrenkamų elementų privalumas, kad danga gali būti eksploatuojama iškarto po surinkimo, o gamykloje pagaminti elementai yra kokybiški. Tačiau nėra dažnai naudojama dėl sudėtingo įrengimo ir specializuotos gamybos.

Visgi dažniausia standžios dangos klojamos vietoje, dviem būdais: naudojant surenkamus klojinius arba klotuvą su slenkančiais klojiniais. Tiek vienas tiek kitas būdas turi savų privalumų ir trūkumų.

Surenkami klojiniai dažniausiai naudojami dangų klojimui užstatytose teritorijose, gatvių ir vietinių kelių įrengimui, mažų atkarpų bei sudėtingų geometrinių formų plotų įrengimui. Vienoje ir kitoje dangos pusėje surenkami klojiniai (žr. 2.20 pav.), projektiniam aukštyje įtvirtinami įdėklai ir jungiamieji strypai.



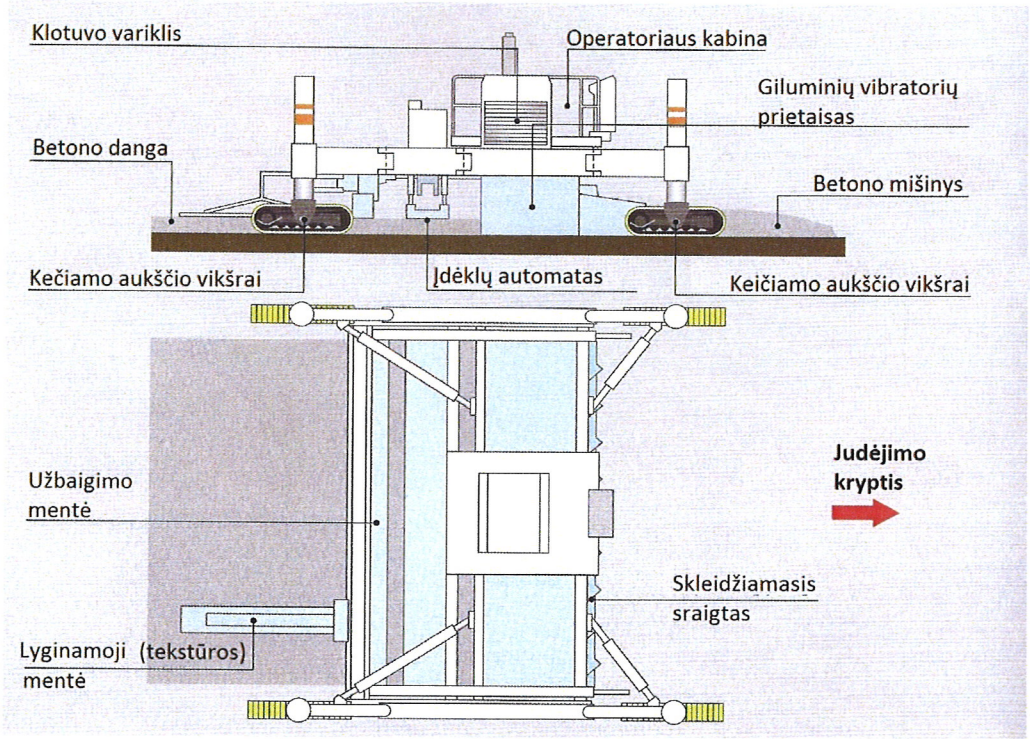
2.20 pav. Surenkami klojiniai standžių dangų įrengimui (ACPA 1996)



2.21 pav. Standžios dangos įrengimas surenkamais klojiniais (ACPA 1996)

Surenkamų klojinių detalės yra patepamos alyva ar kita medžiaga kuri neleistų betono prikibti prie metalo. BCH 139-80 (1980) rekomenduojama klojant dangą surenkamais klojiniais kas 30 m įrengti išsiplėtimo siūles. Betonas yra pilamas prieš mechaninį tankinimo volą ir rankiniu būdu paskleidžiamas. Standžios dangos įrengimas naudojant surenkamus klojinius reikalauja daug darbo rankomis, todėl didelėms teritorijoms nėra taikomas.

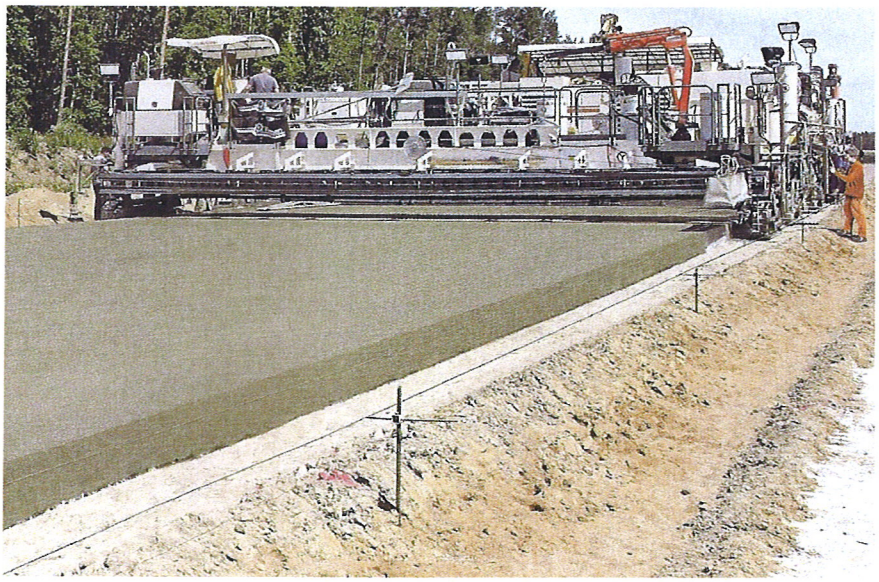
Betono dangos įrengimui magistraliniuose keliuose, dideliuose plotuose naudojami betono klotuvai su slenkančiais klojiniais (žr. 2.22 pav.).



2.22 pav. Betono klotuvo schema (Wirtigen, 2009)

Kad betonas klojimo metu įgautų reikiamą formą naudojamas mažo vandens cemento santykio betono mišinys (kai v/c iki 0,35) ir giluminiai vibratoriai sutankinimui. Įrengiant dangą klotuvu su slenkančiai klojiniais per vieną dieną galima nutiesti apie 1,6 km 6-12 m pločio (priklausomai nuo klotuvo techninių galimybių) betono dangą.

Betono dangos aukštis ir klotuvo judėjimo trajektorija nužymimi įtempta viela. Prieš pradedant betonavimo darbus kelkraštyje įrengiami kuoliukai ir įtempiama viela (žr. 2.23 pav.). Klotuvas automatiškai reguliuoja dangos aukštį pagal sensoriais užfiksuotą įtemptos vielos aukštį.



2.23 pav. Betono dangos įrengimas klotuvu su slenkančiais klojiniais (Wirtigen, 2009)

2.10. Standžiųjų dangų eksploatacija ir priežiūra

Stubstad ir kt. (2005) ataskaitoje rašė, kad betono dangos atnaujinimas gali būti atliekamas suteikiant naują tekstūrą dangai pvz. supjaustant dangą mažais grioveliais išilgine arba skersine kryptimi. Taip pat betono dangoje tam tikrais periodais reikia užtaisyti siūles, išpjauti ir naujai išbetonuoti suskilusias plokštes, permontuoti siūlėse esančius įdėklus. Standžios dangos priežiūros darbai 35 metų eksploatacijos laikotarpiui pateikti 2.9 lentelėje.

2.9 lentelė. Standžiosios dangos priežiūros darbai 35 metų laikotarpiui (Stubstad ir kt. 2005)

Dangos eksploatavimo metai	**Priežiūra**	
5	Išvalomos ir užtaisomos išilginės siūlės	25 %
	Išvalomos ir užtaisomos skersinės susitraukimo siūlės	5 %
	Išvalomos ir užtaisomos skersinės išsiplėtimo siūlės	0 %
10	Išvalomos ir užtaisomos išilginės siūlės	25 %
	Išvalomos ir užtaisomos skersinės susitraukimo siūlės	5 %
	Išvalomos ir užtaisomos skersinės išsiplėtimo siūlės	0 %

2.9 lentelės tęsinys

Dangos eksploatavimo metai	Priežiūra	
15	Išvalomos ir užtaisomos išilginės siūlės Išvalomos ir užtaisomos skersinės susitraukimo siūlės Išvalomos ir užtaisomos skersinės išsiplėtimo siūlės	25 % 10 % 5 %
20	Duobių išpjovimas ir betonavimas Skersinių siūlių sutaisymas pakeičiant mažiausiai 5 įdėklus Plyšių stabilizavimas Dangos paviršiaus šlifavimas Išvalomos ir užtaisomos išilginės siūlės Išvalomos ir užtaisomos skersinės susitraukimo siūlės Išvalomos ir užtaisomos skersinės išsiplėtimo siūlės Ribojamas transporto priemonių greitis ir eismas	5 % 1 % Maž. 25 % 100 % 100 % 100 % 7 %
25	Išvalomos ir užtaisomos išilginės siūlės Išvalomos ir užtaisomos skersinės susitraukimo siūlės Išvalomos ir užtaisomos skersinės išsiplėtimo siūlės	25 % 10 % 10 %
30	Duobių išpjovimas ir betonavimas Skersinių siūlių taisymas pakeičiant mažiausiai 5 įdėklus Plyšių stabilizavimas Dangos paviršiaus apdorojimas deimantiniais pjūklais Išvalomos ir užtaisomos išilginės siūlės Išvalomos ir užtaisomos skersinės susitraukimo siūlės Išvalomos ir užtaisomos skersinės išsiplėtimo siūlės Ribojamas transporto priemonių greitis ir eismas Laiko gaištis	2 % 1 % Maž. 25 % 100 % 100 % 100 % 7 %
35	Atliekami tyrimai dėl tolimesnės dangos eksploatacijos ir priežiūros.	

Plyšių stabilizavimas – tai sulūžusios plokštės dalių sukabinimas įrengiant jungiamuosius strypus arba įgręžiant 45° kampu metalinius kaiščius.

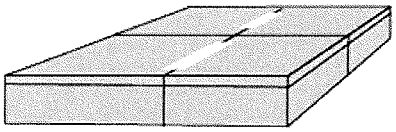
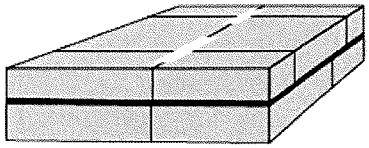
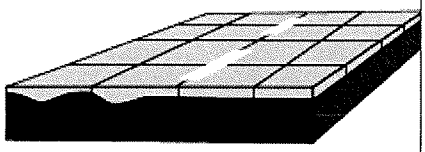
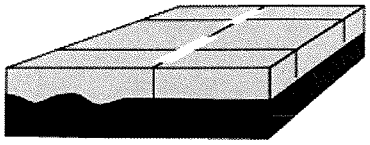
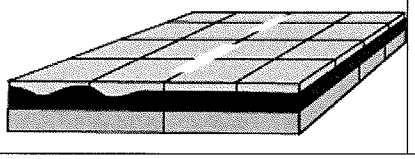
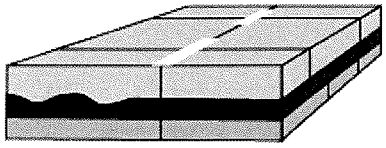
2.11. Dangos rekonstrukcija naudojant betono sluoksnį

Jungtinėse Amerikos Valstijose betonas naudojamas dangų renovacijai. Amerikos Betono Dangų Asociacija (ACPA) 2008 metais išleido rekomendacijas viršutinio betono sluoksnio įrengimui ant esamų dangų. Viršutinio sluoksnio remontas naudojant betoną taikomas magistralinių kelių, uostų pakrančių, konteinerių aikštelių, stovėjimo aikštelių dangų remontui ir miestų gatvių atkarpose, kur veikia ypatingosios apkrovos: dideli viešojo transporto srautai (autobusų sustojimuose), greitėjimo ir lėtėjimo zonose (sankryžose), greito eismo gatvėse, stovėjimo zonose. Harrington D. ir kiti (2008) išskiria dviejų tipų paviršiaus renovavimą betonu (žr. 2.10 lentelę):

- betono viršutinis sluoksnis sukibęs (2.10 lentelė 1 stulpelis) su esamos dangos pagrindu ir veikia kaip viena sistema;

- betono viršutinis sluoksnis atskirtas (2.10 lentelė 2 stulpelis) nuo esamos dangos pagrindu ir veikia nepriklausomai nuo pagrindo sluoksnio.

2.10 lentelė. Dangos rekonstrukcijos (remonto) tipai su betono paviršiaus sluoksniu (Harrington 2008)

		1. Sukibęs betono viršutinis sluoksnis	2. Atskiras betono viršutinis sluoksnis
Esamas pagrindas	a. Standi dangos konstrukcija		
	b. Nestandi dangos konstrukcija		
	c. Pusiau standi dangos konstrukcija		

Prieš pasirenkant rekonstrukcijos tipą turi būti įvertinama esamos dangos būklė, atliekami esamų sluoksnių tyrimai, analizuojamos pažaidų susidarymo priežastys (nuo eismo sukeltų apkrovų, drenažo ar vandens poveikio, aplinkos poveikio ir pan.), numatomas paviršinio vandens nuvedimas ir gruntinio vandens lygio sumažinimas (jei reikia), numatomas pažaidų, defektų ir deformacijų pašalinimas (užtaisomos duobės, plyšiai).

Priklausomai nuo transporto priemonių eismo ir aplinkos poveikio parenkama betono sluoksnio konstrukcija sukibusi arba atskira. Sukibusi su esama dangos konstrukcija (2.10. lentelė 1 stulpelis) viršutinis betono sluoksnis naudojamas kai ESA_{80} neviršija 10 mln.aut. Sukibusio su asfalto danga betono sluoksnio storį (2.10 lentelė 1 stulpelis, b eilutė) galima nesunkiai apskaičiuoti naudojantis ACPA tinklapyje esančia nemokama skaičiuokle (Internetinė prieiga: http://apps.acpa.org/apps/bcoa.aspx). Skaičiuoklės langeliuose reikia suvesti ESA_{80} skaičių (kurį šioje skaičiuoklėje taip pat galima apskaičiuoti), faktinį temperatūros gradientą, po frezavimo likusio asfalto storį, asfalto elastingumo modulį, žemės sankasos k-vertę, betono stiprumą po 28 parų, betono elastingumo modulį, betono temperatūrinio išsiplėtimo koeficientą, atstumą tarp projektuojamų plokščių. Paspaudus „Calculate“ skaičiuoklės lange nurodomos rekomendacijos ir betono sluoksnio storis. Reikia turėti omenyje, kad JAV matavimo vienetai nėra SI sistemoje. Rekomenduojamas mažiausias sluoksnio storis 7,6 cm (3 in.). Didžiausias sukibusios su apatiniu sluoksniu betono plokštės storis neturėtų būti didesnis 15,2 cm (6 in.).

Jei atsižvelgus į aplinkos ir eismo sąlygas rekomenduojamas sluoksnio storis yra didesnis kaip 15,2 cm, reikia įrengti atskirą betono viršutinį sluoksnį (2.10 lentelė. 2 stulpelis). Atskiras betono viršutinis sluoksnis gali būti įrengtas kaip SBP, SGBP arba AB danga (žr. 2.3. skyrių).

2.12. Antrojo skyriaus išvados

1. Standžiosios dangos konstrukciniai sprendiniai ir įrengimo technologija priklauso nuo betono fizinių mechaninių savybių. Betono fizinės mechaninės savybės priklauso nuo betono mišinio sudėties. Betono temperatūrinis išsiplėtimo koeficientas priklauso nuo mišinyje esančių užpildų tipo ir kiekio mišinyje. Ankstyvoje betono kietėjimo stadijoje (0-2 dienos po paklojimo) didžiausią įtaką dangai turi drėgmės kiekis ir oro temperatūra, todėl po paklojimo būtina naudoti mišinius apsaugančius nuo per greito išdžiūvimo.

2. Standžiosiose dangose dažniausiai naudojamas šių savybių betonas:
   - stiprumo gniuždant klasė C30/37;
   - atsparumo lenkiant klasė F4,3 (F3,5);
   - aplinko poveikio klasė XF4;
   - atsparumas dėvėjimuisi (dilumui) XM2;
   - portlandcemenčio klasė CEM I 32,5 (42,5);
   - vandens ir cemento santykis – iki 0,45.

3. Betono dangos storis priklauso nuo sunkiojo transporto eismo, aplinkos sąlygų ir Betono sluoksnio storis visiems dangos tipams parenkamas vienodai. Armatūra dangose naudojama ne stiprumui didinti, o plyšiams sujungti. Betono dangos storis gali būti apskaičiuojamas pagal AASHTO 1998 metodiką arba parenkamas pagal tipines dangos konstrukcijas.

4. Pagrindiniai standžiųjų dangų tipai yra keturi: sujungtų betono plokščių (SBP), sujungtų gelžbetonio plokščių (SGBP), nepertraukiamai armuota betono (NA) ir dispersiškai armuota (DA) danga. Nuo standžiosios dangos tipo priklauso dangos konstrukciniai sprendiniai ir elementai.

5. Standžiosiose dangose būtinos deformacinės siūlės. Atstumai tarp skersinių susitraukimo siūlių priklauso betono sluoksnio storio, pagrindo sluoksnio ir standžiuos dangos tipo: SBP – 3,5-6 m; SGBP – 7-9 m; NA – nėra skersinių susitraukimo siūlių (tik išsiplėtimo). Išilginės siūlės yra įrengiamos visais atvejais. Išsiplėtimo siūlės turi būti įrengiamos prie stacionarių konstrukcijų (tiltų, kolonų, šulinių, atraminių sienučių ir pan.).

6. Standžiosios dangos tekstūra įtakoja transporto priemonių rato sukibimą su danga. Tekstūra dangoje formuojama dar nesukietėjusiam betonui. Nudilus tekstūrai danga atnaujinama išfrezuojant 2 - 3 mm gylio griovelius.

7. Standžiosios dangos gali būti klojamos surenkamais klojiniais ir klotuvais su slenkančiais klojiniais.

8. Betono dangų projektavimui, įrengimui ir priežiūrai yra keliami specialūs reikalavimai, kurie nereglamentuojami arba dalinai reglamentuojami Lietuvoje galiojančiuose norminiuose dokumentuose.

3. LIETUVOJE GAMINAMO BETONO STIPRUMO GNIUŽDANT EKSPERIMENTINIS TYRIMAS IR ANALIZĖ

Siekiant nustatyti šiuo metu Lietuvoje gaminamo betono mišinių kokybę, jo atitikimą deklaruojamoms stiprio gniuždant vertėms bei jų tolygumą, buvo atliktas eksperimentinis tyrimas. Eksperimentinio tyrimo metu analizuotos ir vertintos skirtingų gamintojų C20/25, C25/30, C30/37, C35/45 ir C40/50 betono markių pagaminto betono mišinio partijos.

3.1. Tyrimo objektas ir metodika

Betono stiprio gniuždant bandymai buvo atlikti 2010 – 2012 metais Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos inžinerijos fakulteto Kelių tyrimo instituto Automobilių kelių mokslo laboratorijoje. Įvairių objektų statybos metu buvo pagaminti kontroliniai betono bandiniai. Laboratorijoje buvo bandomi skirtingų gamintojų ir stiprumo klasių betono bandiniai. Analizuojant pateiktus duomenis buvo atsižvelgta į bandinių imčių dydžius, nes kiekvienos klasės ir gamintojų bandinių skaičius skirtingas:

Iš viso ištirta 318 bandinių:

- C20/25 – 17 bandinių;
- C25/30 – 76 bandiniai;
- C30/37 – 218 bandinių;
- C35/45 – 3 bandiniai;
- C40/50 – 4 bandiniai.

Betono stipris gniuždant buvo nustatomas pagal LST EN 12390-3:2009 metodiką. Bandymams buvo naudojami (150x150x150) mm dydžio kubeliai, kurie nuo gamybos pradžios iki bandymo buvo išlaikomi 28 paras nustatytose sąlygose vandenyje (20±2°C) siekiant užtikrinti optimalias betono tvirtėjimo sąlygas. Po išlaikymo buvo tikrinamas bandinių matmenų tikslumas, esant būtinybei bandiniai buvo šlifuojami specialia šlifavimo mašina.

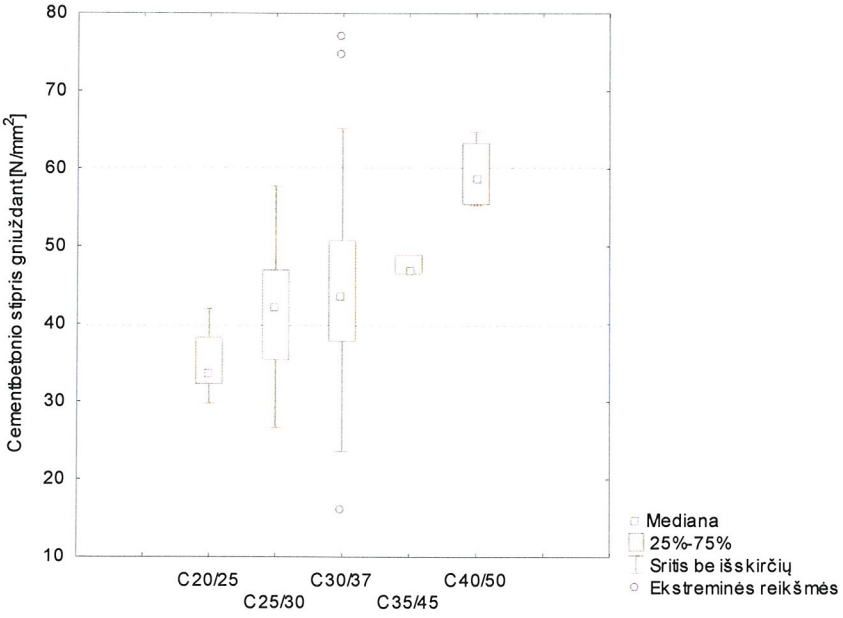
Bandinių gniuždymui buvo naudojamas hidraulinis presas (3.1 pav.), generuojantis pastovią 0,6±0,2 MPa/s jėgą. Kiekvienu atveju buvo analizuojamas bandinio stiprumas. Naudojant jėgos ir deformacijos priklausomybės grafiką apskaičiuotos betono bandinių stiprio gniuždant vertės. Kiekvienu atveju stiprio gniuždant vertė gauta naudojant trijų bandinių stiprio gniuždant vidurkį.



3.1 pav. Betono gniuždymo mašina Impact CT340

3.2. Tyrimo rezultatų analizė ir vertinimas

Eksperimento duomenys buvo apdorojami su programa STATISTICA 8. Visų betono bandinių, nepriklausomai nuo gamintojo, stiprio gniuždant verčių pasiskirstymas, bei statistiniai rodikliai pateikti 3.2 pav.

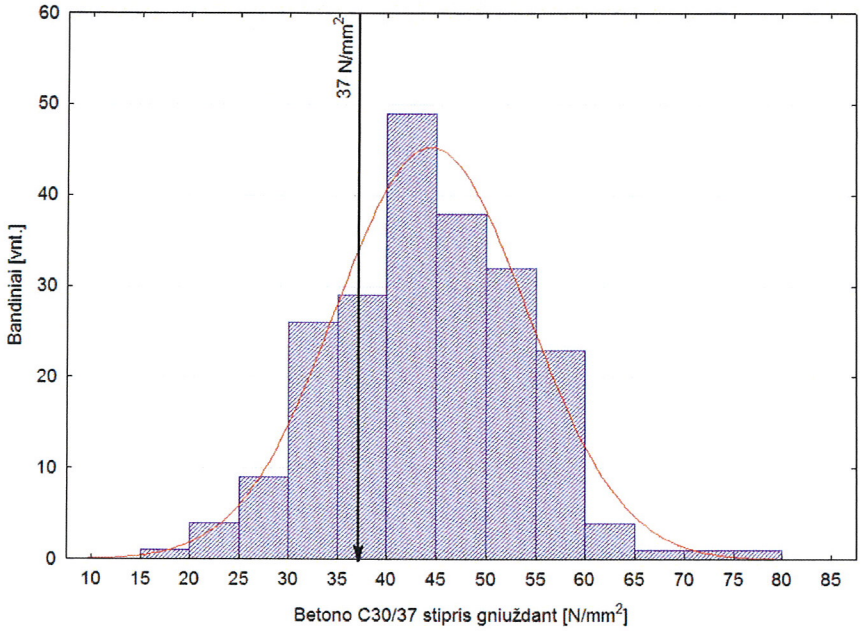


3.2 pav. Betono stiprio gniuždant verčių sklaida

Kiekvienos klasės medianos (imties nuo 25% iki 75% vidurkis) vertės parodo nuosekliai didėjantį stiprumą ir yra didesnės už LST EN 206-1 nurodytas reglamentuojamas. Didžiausias reikšmių aibės plotis nustatytas C25/30 ir C30/37 betono klasėms, kurių bandinių buvo daugiausiai. Betono

C25/30 klasės bandinių stiprumas gniuždymui kito nuo 26,7 N/mm^2 iki 57,8 N/mm^2 ir visais atvejais buvo didesnis už reikalaujamą 25 N/mm^2 stiprumą. Tuo tarpu, betono C30/37 vertės kito plačiame diapazone. Nustatytos ekstreminės mažiausia 16,3 N/mm^2 ir didžiausia 77,0 N/mm^2 stiprio gniuždant vertės.

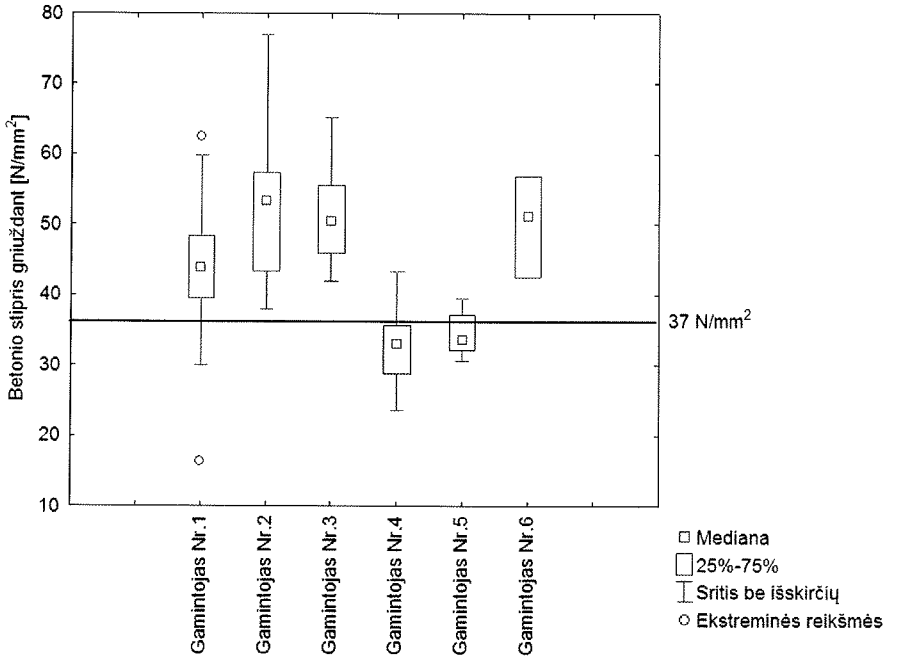
Atliekant stiprio gniuždant verčių pasiskirstymo vertes galima teigti, kad verčių sklaida ženkliai didėja didėjant bandinių imčiai. Taip pat pastebima, kad betono C25/30 ir C30/37 medianos vertės skyrėsi tik (5-6)%. Galima teigti, kad C25/30 betono bandinių stipris gniuždant, daugeliu atvejų tenkino C30/37 betono stiprio gniuždant reikalavimus. Tolesnei analizei pasirinkta kelių dangoms naudojamo bei plačiausios imties C30/37 betono bandinių stiprio gniuždant verčių kitimo vertinimas. Šios markės betono bandinių imties stiprio gniuždant verčių pasiskirstymas atitinka normalinį skirstinį (žr. 3.3 pav.)



3.3 pav. Betono klasės C30/37 gniuždomojo stiprio histograma

Iš 3.3 pav. matyti, kad daugiausiai 22% (49 iš 218 bandinių) reikšmių yra intervale nuo 40 iki 45 N/mm^2. Šios betono klasės stipris gniuždant kubiniams bandiniams yra 30 N/mm^2. Nustatyta, kad 6% (14 iš 218) bandinių nepasiekė norminio stiprio ir buvo mažiau už 30 N/mm^2.

3.4 pav. pateiktos betono C30/37 klasės stiprio gniuždymui vertės išskaidytos pagal gamintojus.



3.4 pav. Atskirų gamintojų betono C30/37 klasės stiprio gniuždant verčių sklaida

Iš 3.4 pav. matyti, kad tos pačios betono klasės stipris gniuždant skiriasi priklausomai nuo gamintojo. Visų gamintojų išskyrus Nr.1 ir Nr.4 bandinių stiprio gniuždymui vertės yra didesnės už 30 N/mm^2. Mažiausia reikšmė 16,3 N/mm^2 užfiksuota 1 bandinyje iš 115 (gamintojo Nr. 4) ir yra 37% mažesnė už vidutinį šio gamintojo gaminamos produkcijos, todėl nėra vertinama kaip kokybinis rodiklis. Tuo tarpu gamintojo Nr.4 27 % (9 iš 33) bandinių stipris gniuždant buvo mažesnis už 30 N/mm^2.

Gamintojo Nr.1 ištirta 115 betono bandinių ir nustatyta, kad 50 % (58 iš 115) bandinių stipris gniuždant yra intervale 39,5÷48,4 N/mm^2. Šios srities vidurkis (mediana) – 43,8 N/mm^2 ir yra 46% didesnis už norminį stiprį. Apskaičiuotas standartinis nuokrypis - 7,5.

Gamintojo Nr.2 stipris gniuždant atliktas 31 bandiniui ir nustatyta, kad gaminamos produkcijos stipris gniuždant kinta 38÷77 N/mm^2 ribose, verčių mediana – 53,4 N/mm^2 ir yra 78% didesnis už norminį C30/37 klasės stiprį. Šio gamintojo bandinių stiprio gniuždant verčių standartinis nuokrypis didžiausias – 9,5.

Tyrimai atlikti 31 gamintojo Nr.3 bandiniui ir nustatyta, kad stipris gniuždant kinta 41,9÷65,2 N/mm^2 ribose, verčių mediana – 50,5 N/mm^2 ir yra 68% didesnis už 30,0 N/mm^2. Standartinis nuokrypis – 6,2.

Bandymai atlikti 33 gamintojo Nr.4 betono bandiniams, stipris gniuždant kinta nuo 23,6 iki 43,3 N/mm^2, pusė imties mediana – 33 N/mm^2, o standartinis nuokrypis 5,1.

Gamintojo Nr.5 (5 bandiniai) ir Nr.6 (3 bandiniai) gaminamo betono stipris gniuždant buvo tenkinantis norminius reikalavimus, tačiau dėl mažos imties detaliau neanalizuojama.

Atlikus tyrimą nustatyta, kad gamintojo Nr. 4 pagaminto betono 25 % neatitinka norminio stiprio gniuždant. Gamintojas Nr.2 ir Nr.3 gamina 78 % ir 68 % per stiprų betoną. Nustatyta, kad betono stiprio gniuždant standartinis nuokrypis didžiausias gamintojo Nr.2 bandiniams.

Projektuojant ir rengiant betono dangas reikia turėti omenyje, kad betono gamintojai pateikia skirtingas specifikacijas turinčius gaminius ir ne visi gaminiai yra tinkami standžių dangų įrengimui.

3.3. Trečiojo skyriaus išvados

1. Lietuvos gamintojų gaminamo betono stipris gniuždant priklauso nuo betono klasės ir kinta labai plačiose ribose, tačiau daugeliu atvejų tenkina konkrečios klasės stiprio gniuždant reikalavimus.

2. Automobilių kelių dangoms naudojamo betono C30/37 stiprio gniuždant aritmetinio vidurkio vertė kito nuo 32,5 N/mm2 (gamintojas Nr.4) iki 52,3 N/mm2 (gamintojas Nr.2). Tai rodo, kad Lietuvoje gaminamo betono stipris gniuždant skiriasi priklausomai nuo gamintojo gamybos proceso.

3. Remiantis eksperimentinio tyrimo rezultatais betono gamintojams rekomenduojama dažniau tikrinti gaminamos produkcijos kokybę ir atitinkamai reguliuoti gamybos procesą.

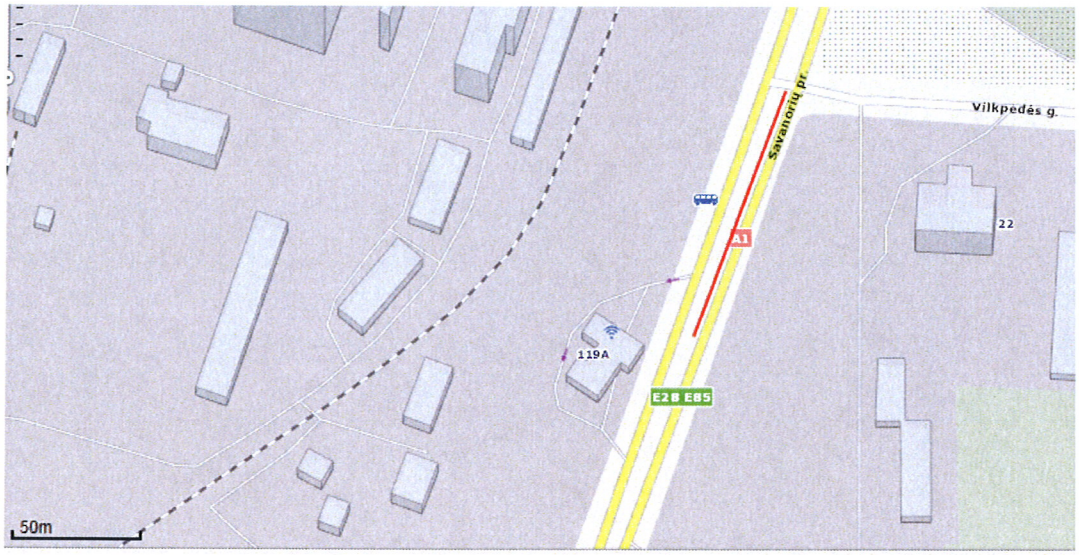
4. STANDŽIŲJŲ DANGŲ PANAUDOJIMO GALIMYBIŲ TYRIMAS

Standžiosios dangos gali būti naudojamos kelių, gatvių, pėsčiųjų dviračių takų, aerodromų, uostų krantinių, stovėjimo aikštelių, sandėliavimo aikštelių dangų įrengimui, taip pat rekonstruojant esamų dangų konstrukcijas. G. Breyer (2004) teigimu, tam tikrais atvejais kai dangą veikia ypatingosios apkrovos betono danga yra efektyvesnė už asfalto dangas. Šiame skyriuje aprašomos standžios dangos panaudojimo galimybės.

4.1. Gatvės rekonstrukcijos standžiąja ir nestandžiąja danga ekonominis palyginimas

Standžiosios ir nestandžiosios dangos ekonominis palyginimas skaičiuojamas tik medžiagoms ir įrengimo darbams nevertinant infliacijos, laiko gaišties, sumažėjusio avaringumo ir atsiperkamumo, aplinkos apsaugos aspektų.

Ekonominiam dangos rekonstrukcijos palyginimui pasirinkta Vilniaus miesto Savanorių pr. 100 m atkarpa prieš sankryžą su Vilkpėdės gatve (4.1 pav.). Savanorių pr. patenka į A1 valstybinės reikšmės magistralinio kelią, o taip pat ir E28, E85 europinius koridorius, taigi prospekte bendrąjį eismo intensyvumą sudaro: vietinis miesto transportas, viešasis transportas, tarpmiestinis transportas ir tranzitinis transportas. Analizuojamos atkarpos pirmoje eismo juostoje asfalto dangoje susiformavusios 5-7 cm gylio provėžos.



4.1 pav. Rekonstruojamas 100 m ruožas Savanorių pr. prieš sankryžą su Vilkpėdės gatve (www.maps.lt 2012)

Savanorių pr. yra A1 kategorijos 6 eismo juostų (su skiriamąja juosta) greito eismo gatvė. Vienos eismo juostos plotis – 3,75 m, važiuojamosios dalies kraštuose papildomai yra įrengtos 0,25 m ir 0,5 m apsauginės juostos. Iš viso rekonstruojamas 100 m ilgio ir 12,0 m pločio ruožas.

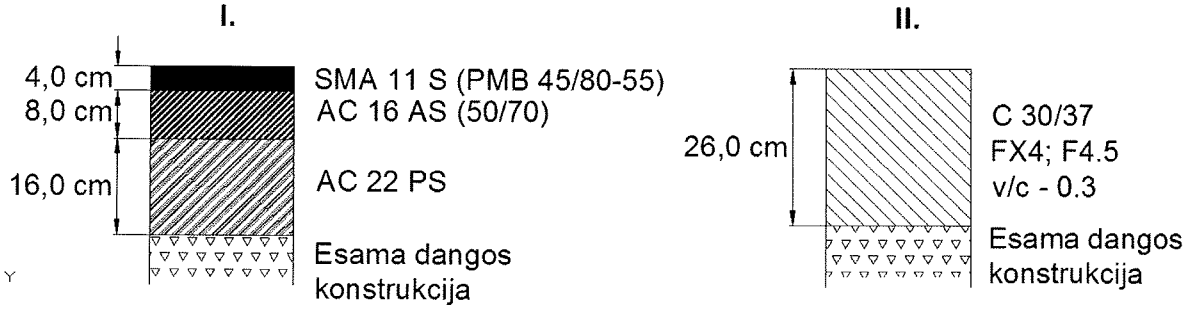
Savanorių pr. vidutinis bendras ir sunkiojo transporto metinis paros eismo intensyvumas pateiktas 4.1 lentelėje. Matoma, kad didžiausias bendras eismo intensyvumas užfiksuotas 2010 metais ir siekė 54,5 tūkst.aut./p. Didžiausias sunkiojo transporto eismo intensyvumas užfiksuotas 2007 metais – 10,5 tūkst.aut./p. Nors sunkiojo transporto eismas nuo 2007 iki 2011 metų ženkliai sumažėjo (40 %), tačiau vis tiek yra didelis – 6,3 tūkst.aut./p..

4.1 lentelė. VPEI ir SVPEI kitimas Savanorių pr.

	2007	2008	2009	2010	2011
VMPEI, aut./p.	50841	49905	53664	54571	41052
SVMPEI, aut./p.	10528	9111	9313	8260	**6310**

Atsižvelgiant į FHWA (1996) ir PIARC (2009) rekomendacijas projektinis dangos naudojimo laikotarpis betono dangoms yra 35 metai. Projektinė apkrova A apskaičiuota vadovaujantis KPT SDK 07 1 priedu, skaičiavimo duomenys pateikti B priede (žr. B.1 lentelę). Apskaičiuota, kad projektinė apkrova 35 metų laikotarpiui - 34,65 mln. ir atitinka SV dangos konstrukcijos klasę (A > 32 mln.).

Analizuojami du rekonstrukcijos variantai asfalto (žr. 4.2 pav. I.) ir betono (žr. 4.2 pav. II.).



4.2 pav. Rekonstrukcijos variantai: I. Asfalto danga; II. Betono danga

I. varianto dangos asfalto sluoksnių storiai parinkti pagal KPT SDK 07 14 lentelę. II. varianto betono sluoksnio storis parinktas pagal KPT SDK 07 10 lentelę, kai betono danga įrengiama ant asfalto sluoksnio. Paskaičiuoti darbų kiekiniai asfalto ir betono dangų įrengimui (žr. 4.2 ir 4.3 lentelės).

Asfalto dangos remonto etapai numatyti pagal IRI kitimą (žr. B priedą B.1 pav.). Priimta, kad dangos nelygumas po rekonstrukcijos – 1 m/km. Remontas asfalto dangai atliekamas 15, 23 ir 29 eksploatavimo metais, visais atvejais numatyta nufrezuoti ir perkloti viršutinį asfalto sluoksnį.

Betono dangos priežiūros darbai paskaičiuoti pagal 2.9 lentelę. Numatyti du remonto etapai 20 ir 30 eksploatavimo metais. Betono dangoje pašalinami įtrūkimai, išvalomos ir užsandarinamos siūlės, perklojama danga ir tt.

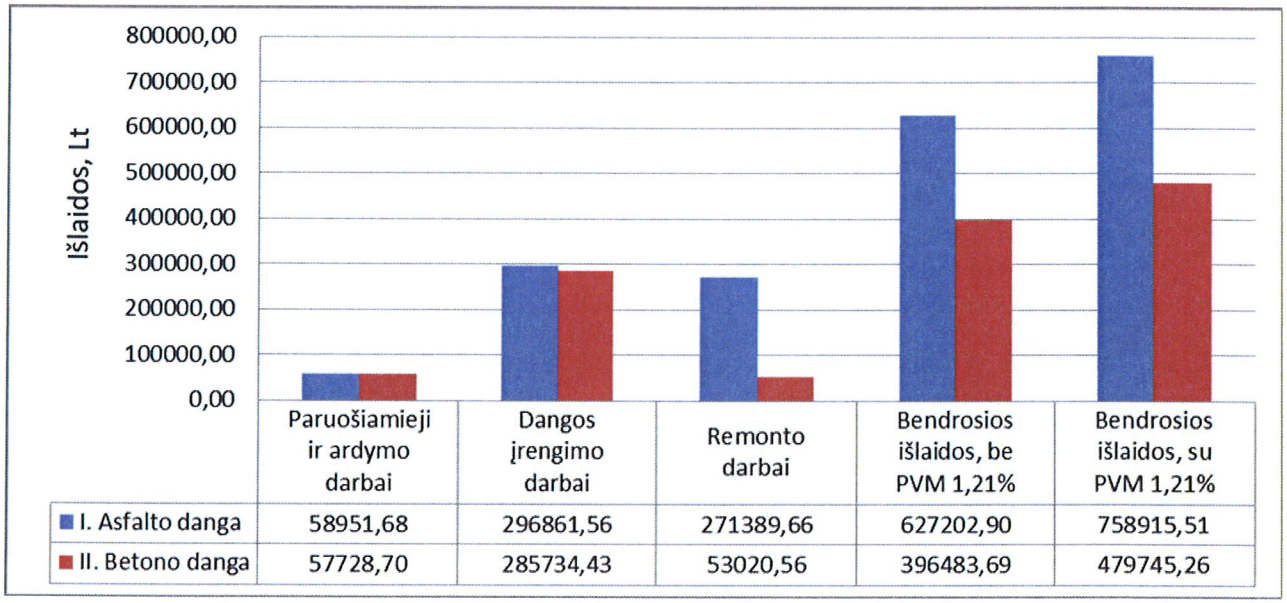
4.2 lentelė. Asfalto dangos paruošiamųjų, įrengimo ir remonto darbų kiekiai (I. var.)

Pozicija, Eil.Nr	Pavadinimas ir techninės charakteristikos	Mato vnt.	Kiekis
Paruošiamieji ir ardymo darbai			
1.	Asfalto dangos nufrezavimas (iki 28 cm gylio)	100 m^2	12
2.	Statybinių šiukšlių pakrovimas į autosavivarčius ir išvežimas iki 15 km	t	684
Asfalto dangos sluoksnių įrengimas			
3.	16 cm storio asfalto pagrindo sluoksnio iš mišinio AC 22 PS (50/70) įrengimas	m^2	1200
4.	Bituminės emulsijos C 60 BP 1-S išpurškimas ant naujai įrengto asfalto pagrindo sluoksnio (150-250g/m2)	m^2	1200
5.	8 cm apatinio asfalto pagrindo sluoksnio iš mišinio AC 16 AS su SZ_{22} /LA_{25} įrengimas	m^2	1200
6.	Bituminės emulsijos C 60 BP 1-S išpurškimas ant naujai įrengto asfalto apatinio sluoksnio ir frezuoto asfalto paviršiaus (250-350g/m2)	m^2	1200
7.	4 cm storio asfalto dangos iš mišinio SMA 11 S su PMB įrengimas klotuvu	m^2	1200
8.	Asfalto viršutinio sluoksnio siūlių ir prijungčių prie bordiūrų 4 cm gyliu sandarinimas 15 mm storio bituminė juosta k9=1.15	m	200
Remonto darbai			
15 eksploatavimo metais			
1.	Asfalto dangos nufrezavimas (iki 4 cm gylio)	100 m^2	12
2.	Statybinių šiukšlių pakrovimas į autosavivarčius ir išvežimas iki 15 km	t	110
3.	Bituminės emulsijos C 60 BP 1-S išpurškimas ant nufrezuoto paviršiaus (250-350g/m2)	m^2	1200
4.	4 cm storio asfalto dangos iš mišinio SMA 11 S su PMB įrengimas klotuvu	m^2	1200
23 eksploatavimo metais			
1.	Asfalto dangos nufrezavimas (iki 4 cm gylio)	100 m^2	12
2.	Statybinių šiukšlių pakrovimas į autosavivarčius ir išvežimas iki 15 km	t	110
3.	Bituminės emulsijos C 60 BP 1-S išpurškimas ant nufrezuoto paviršiaus (250-350g/m2)	m^2	1200
4.	4 cm storio asfalto dangos iš mišinio SMA 11 S su PMB įrengimas klotuvu	m^2	1200
29 eksploatavimo metais			
1.	Asfalto dangos nufrezavimas (iki 4 cm gylio)	100 m^2	12
2.	Statybinių šiukšlių pakrovimas į autosavivarčius ir išvežimas iki 15 km	t	110
3.	Bituminės emulsijos C 60 BP 1-S išpurškimas ant nufrezuoto paviršiaus (250-350g/m2)	m^2	1200
4.	4 cm storio asfalto dangos iš mišinio SMA 11 S su PMB įrengimas klotuvu	m^2	1200

4.3 lentelė. Betono dangos paruošiamųjų, įrengimo ir remonto darbų kiekiai (II. var.)

Pozicija, Eil.Nr	Pavadinimas ir techninės charakteristikos	Mato vnt.	Kiekis
Paruošiamieji ir ardymo darbai			
1.	Asfalto dangos nufrezavimas (iki 26 cm gylio)	100 m^2	12
2.	Statybinių šiukšlių pakrovimas į autosavivarčius ir išvežimas iki 15 km	t	662
Betono dangos įrengimas			
3.	Skersinių siūlių įrengimas su 600 mm ilgio Ø25 mm apsaugotų nuo korozijos plieniniais įdėklais, kurių 2/3 padengta bitumine emulsija	vnt.	738
4.	Išilginių siūlių įrengimas su 700 mm ilgio Ø12 mm rifliuotos armatūros apsaugotos nuo korozijos inkariniais strypais	vnt.	122
5.	Išsiplėtimo siūlių įrengimas rankiniu būdu (kas 30 m): 600 mm ilgio Ø25 mm apsaugotų nuo korozijos plieninių įdėklų įtvirtinimas Suspaudžiama medžiaga 20mm storio 160mm aukščio	vnt. m	164 48
6.	26 cm storio betono C30/37 dangos įrengimas su klotuvu, kuris į dangą automatiškai sunardina plieninius įdėklus	m^3	288
7.	Betono paviršiaus šiurkštinimas šepečiais	m^2	1200
8.	Apsaugantis mišinys (apsauga nuo išdžiovimo), specialiai šviežiam betonui purškiamas rankiniai purkštuvais	m^2	1200
9.	Betono dangos pjovimas iki 80 mm gylio 4 mm pločio diskiniu pjūklu	m	664
10.	Betono dangos pjovimas iki 40 mm gylio 10 mm pločio diskiniu pjūklu	m	264
11.	Betono dangos pjovimas iki 40 mm gylio 7 mm pločio diskiniu pjūklu	m	200
12.	Siūlių briaunų formavimas 45° kampu pjaunant diskiniu pjūklu	m	664
13.	Siūlių užsandarinimas kaiščiu (7 ir 10 mm storio)	m	664
14.	Deformacinių siūlių užpildymas bitumine mastika	m	664
Remonto darbai			
20 eksploatavimo metais			
1.	Duobių betono dangoje išpjovimas	m^2	60
2.	Statybinių šiukšlių pakrovimas į autosavivarčius ir išvežimas iki 15 km	t	7,5
3.	Įdėklų pakeitimas	vnt.	15
4.	Duobių betonavimas C30/37	m^3	14,4
5.	Siūlių išvalymas rankiniu būdu	m	664
6.	Siūlių užsandarinimas kaiščiu (7 ir 10 mm storio)	m	664
7.	Deformacinių siūlių užpildymas bitumine mastika	m	664
8.	Dangos paviršiaus mikrofrezavimas	m^2	1200
30 eksploatavimo metais			
9.	Duobių betono dangoje išpjovimas	m^2	60
10.	Statybinių šiukšlių pakrovimas į autosavivarčius ir išvežimas iki 15 km	t	7,5
11.	Įdėklų pakeitimas	vnt.	15
12.	Duobių betonavimas C30/37	m^3	14,4
13.	Siūlių išvalymas rankiniu būdu	m	664
14.	Siūlių užsandarinimas kaiščiu (7 ir 10 mm storio)	m	664
15.	Deformacinių siūlių užpildymas bitumine mastika	m	664
16.	Dangos paviršiaus mikrofrezavimas	m^2	1200

Pagal numatytus darbų kiekius buvo paskaičiuotos sąmatos su skaičiavimo programa SISTELA (žr. C priedą.). Išlaidų palyginimas I ir II dangos rekonstrukcijos variantams pateiktas 4.3 pav.



	Paruošiamieji ir ardymo darbai	Dangos įrengimo darbai	Remonto darbai	Bendrosios išlaidos, be PVM 1,21%	Bendrosios išlaidos, su PVM 1,21%
I. Asfalto danga	58951,68	296861,56	271389,66	627202,90	758915,51
II. Betono danga	57728,70	285734,43	53020,56	396483,69	479745,26

4.3 pav. I ir II dangos rekonstrukcijos variantų išlaidų palyginimas (pagal C priedą)[2]

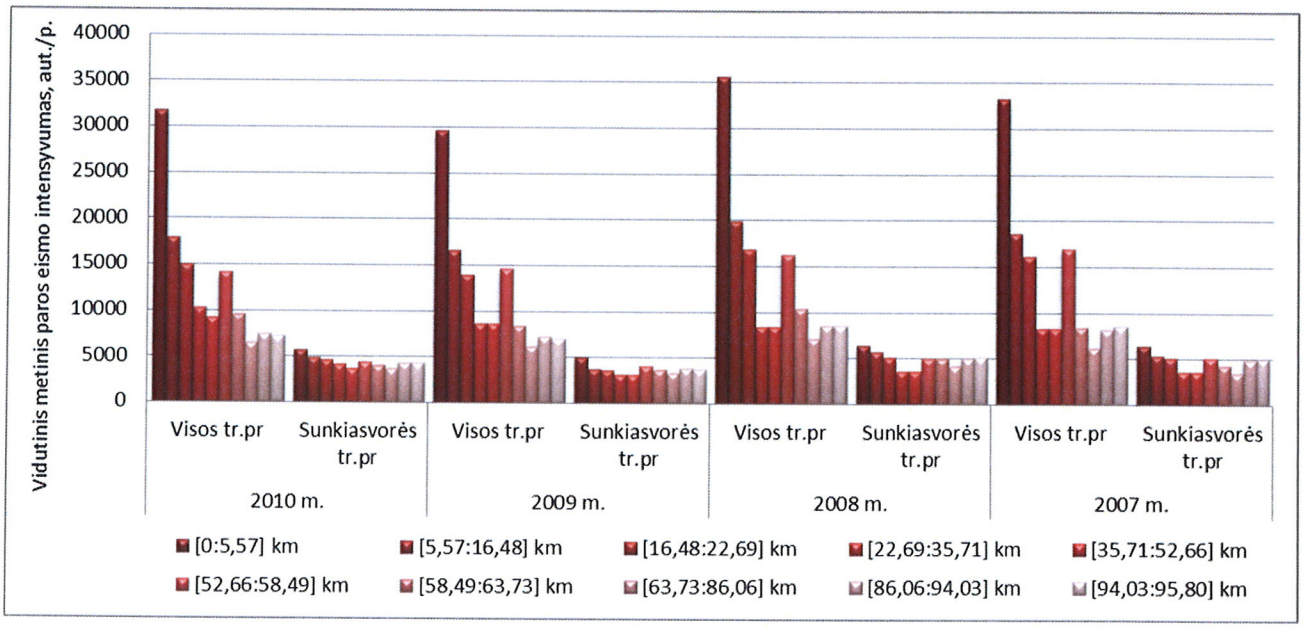
Iš 4.3 pav. matyti, kad paruošiamieji ir ardymo darbai praktiškai nesiskiria. Paskaičiavus įrengimo darbus matoma, kad 4 % yra mažesnė. Šie skaičiavimai yra apytiksliai, neįvertinantys išsiplėtimo siūlių, kurias būtina įrengi prie šulinių. Taip pat yra įskaičiuotos tik medžiagos, klotuvo nuoma ir kitos įrengimo išlaidos nebuvo įtrauktos, taigi reali kaina gali apie 10-15 % išaugti. Didžiausias išlaidų skirtumas pastebėtas lyginant remonto darbus. Remonto darbai 35 metų laikotarpiui betono dangoje buvo net 80 % mažesni nei asfalto. Į dangos remonto išlaidas nėra įtrauktos išlaidos dangų priežiūrai žiemos metu ir gali skirtis dėl dangos rūšies. Bendrosios išlaidos betono dangos įrengimui ir priežiūrai yra 37 % mažesnės nei asfalto dangos. Atliktas ekonominis palyginimas yra preliminarus ir norint daryti konkretesnes išvadas rekomenduojama atlikti detalius ekonominio efektyvumo skaičiavimus įvertinant visus dangų skirtumų aspektus Lietuvos ekonominėmis sąlygomis.

Vilniaus mieste statomi aplinkkeliai turėtų nukreipti tranzitinio transporto srautus ir sunkiojo transporto eismo intensyvumas gatvėse turėtų sumažėti, provėžų susidarymo problemos taip pat sumažės. Visgi Savanorių pr. kaip ir kitų Vilniaus miesto greito eismo gatvių dangos būklė yra prasta ir artimiausiu metu turėtų būti rekonstruojama. Remiantis atliktais preliminariais skaičiavimais ir literatūros apžvalga miestų gatvėse, kur dangą veikia ypatingosios apkrovos, tikslinga naudoti betono dangą.

[2] Skaičiavimai atlikti SISTELA 2012 metų kovo mėn. kainomis.

4.2. Standžiosios dangos ruožo įrengimas magistraliniame kelyje A5

Standžios dangos dažniausiai naudojamos magistralinių kelių dangų įrengimui. G. Breyer (2004) teigimu, jei sunkiojo transporto eismas yra nuo 5 iki 8 tūkst. aut./p. reikia ekonomiškai pagrysti betono dangos naudojimą. Sunkiojo transporto eismo intensyvumo duomenys Lietuvos automobilių kelių tinkle rodo, kad didesnis nei 5 tūkst.aut./p. intensyvumas nustatytas tik magistraliniame kelyje A5. 4.4 pav. pateikti eismo intensyvumo duomenys išskaidyti pagal ruožus, kuriuose yra eismo intensyvumo matuokliai.



4.4 pav. Magistralinio kelio A5 VMPEI ir SVMPEI pasiskirstymas ruožuose

Iš 4.4 pav. matyti, kad didžiausias eismo intensyvumas buvo 2008 metais ruože nuo 0 km iki 5,57 km ir buvo daugiau nei 5 tūkst. aut./p. Šis ruožas yra laibai intensyvus, tai yra prie sankryžos su A1 keliu. Šiame ruože susidaro didelės bendrojo ir sunkiojo transporto spūstys. 2010 metais sunkiojo transporto eismo intensyvumas ruože 0 - 5,57 km buvo 5,75 tūkst.aut./p. Ruože 5,57 - 16,48 km – sumažėjo apie 15 % (4,9 tūkst.aut./p.), trečiajame ruože sumažėjo dar 4 %. Pasienyje su Lenkija sunkiojo transporto srautas sudaro 56-59 % viso važiuojančio transporto. 2010 metais ruožuose 86,06 - 94,03 km ir 94,03 - 95,08 km buvo 4,2 tūkst.aut./p. Taigi, tikslinga A5 magistralinio kelio ruože nuo 86,06 km iki 94,03 km įrengti 8 km bandomąjį ruožą sujungtų betono plokščių danga.

4.3. Rekomendacijos standžiųjų dangų taikymui Lietuvoje

Atsižvelgiant į senkančius naftos išteklius naftos produktų kainos nuolat kyla. Ekonomistai teigia, kad naftos produktų kaina neturėtų leistis žemyn. Todėl labai svarbu ieškoti alternatyvių sprendinių ir būdų siekiant sumažinti kaštus kelių tiesybai, mažinant naftos produktų panaudojimą, tačiau

užtikrinant reikiamą ir ilgaamžį dangos konstrukcijos tvarumą. Betono danga – alternatyva asfalto dangoms, kuri tam tikais atvejai gali būti efektyvesnė už asfalto dangas ir taikytina kelių ir gatvių dangų įrengimui. Turint omenyje, kad Lietuva smėlingas ir žvyrinas kraštas, turintis cemento gamyklą ir visus reikiamus išteklius betono dangų įrengimui. Tačiau Lietuvoje nėra pakankamai patirties betono dangų įrengimui ir priežiūrai.

Kelininkai ir specialistai turi per mažai žinių apie betono dangų projektavimą bei įrengimo specifiką. Pirmasis etapas standžių dangų panaudojimui Lietuvos keliuose turi būti atlikti detalūs tyrimai ir ekonominis betono dangos panaudojimo efektyvumo vertinimas. Būtina atlikti papildomus tyrimus siekiant nustatyti Lietuvos klimatui ekonomiškai efektyviausius standžiosios dangos panaudojimo būdus.

Lietuvoje nėra norminių dokumentų ar reikalavimų betono dangos priežiūrai, todėl techniniame projekte privalo būti detaliai išspręsta ir aprašyta betono dangos įrengimo bei eksploatavimo reikalavimai.

4.4. Ketvirtojo skyriaus išvados

1. Atlikus betono ir asfalto dangų ekonominio palyginimo skaičiavimus nustatyta, kad paruošiamųjų (ardymo) ir įrengimo darbų kaštai praktiškai nesiskiria, tačiau ženkliai skiriasi eksploatacijos kaštai. Remonto darbai 35 metų laikotarpiui betono dangoje buvo net 80 % mažesni nei asfalto dangos.

2. Bendrosios išlaidos 100 m ilgio ir 12 m pločio (3 eismo juostų) dangos rekonstrukcijai betono danga yra 37 % (479 745,26 Lt) mažesnės nei asfalto dangos (758 915,51 Lt).

3. Lietuvoje nėra pakankamai dokumentų ir informacijos apie standžiųjų dangų darbo ir įrengimo technologiją, todėl norint įrengti betono dangą Lietuvoje reikia perimti gerąją kitų šalių patirtį. Inžinieriai techninėse specifikacijose turi apibrėžti standžiųjų dangų įrengimo metodiką siekiant išvengti klaidų įrengimo metu bei užtikrinant dangos ilgaamžiškumą.

BENDROSIOS IŠVADOS

1. Standžiosios dangos naudojamos susisiekimo komunikacijų tiesyboje nuo 1891 metų. Čekijoje standžiosios dangos kelių tiesyboje yra naudojamos dažniau nei nestandžiosios dangos ir sudaro net 51 % visų kelių tinklo. Pagal standžiųjų dangų tinklo ilgį pirmauja Kinija, antroji JAV. Standžiosios dangos dažniausiai yra naudojamos magistralinių kelių dangų įrengimui, yra ilgaamžės ir tinkamai įrengtos gali tarnauti iki dviejų kartų ilgiau nei asfalto dangos.

2. Atlikus kitų šalių patirties analizę nustatyta, kad betono dangos įrengimo ir priežiūros poveikis aplinkai yra 9,6 karto mažesnis nei asfalto dangos. Betono dangos yra vienareikšmiškai pranašesnės už asfalto dangas, kai sunkiojo transporto eismas > 8000 aut./p. Kai sunkiojo transporto eismas kinta ribose 5000÷8000 aut./p. prieš parenkant dangos tipą reikia atlikti ekonominio efektyvumo skaičiavimus. Tačiau betono dangos panaudojimas gali būti efektyvus ir svarstytinas esant mažesniems sunkiojo transporto srautams kai danga veikiama ypatingąja apkrova.

3. Išskiriami keturi pagrindiniai standžiųjų dangų tipai: sujungtų betono plokščių (SBP), sujungtų gelžbetonio plokščių (SGBP), nepertraukiamai armuota betono (NA) ir dispersiškai armuota (DA) danga. Nuo standžiosios dangos tipo priklauso dangos konstrukciniai sprendiniai ir elementai.

4. Lietuvoje norminiais dokumentais reglamentuojamas tik betono sluoksnio storis pagal projektinę apkrova eksploataciniam laikotarpiui. Numatant taikyti betono dangas Lietuvoje bei rengiant techninius projektus, dėl nepakankamos patirties šalyje, būtina perimti gerąją kitų šalių patirtį. Projektuojant Lietuvos automobilių keliuose ir gatvėse standžias dangas techniniame projekte turi būti detaliai aprašyti įrengimo, kontrolės ir technologiniai nurodymai.

5. Atlikus Lietuvoje gaminamo betono stiprio gniuždant tyrimą ir statistinę analizę, nustatyta, kad didžioji dalis ėminių tenkino standartais reglamentuojančias gniuždomojo stiprio reikšmes. Automobilių kelių dangoms naudojamo betono C30/37 stiprio gniuždant aritmetinio vidurkio vertė kito nuo 32,5 N/mm^2 (gamintojas Nr.4) iki 52,3 N/mm^2 (gamintojas Nr.2). Tai rodo, kad Lietuvoje gaminamo betono stipris gniuždant skiriasi priklausomai nuo gamintojo gamybos proceso. Remiantis eksperimentinio tyrimo rezultatais betono gamintojams rekomenduojama dažniau tikrinti gaminamos produkcijos kokybę ir atitinkamai reguliuoti gamybos procesą.

6. Atlikus betono ir asfalto dangų ekonominio palyginimo skaičiavimus nustatyta, kad abiem atvejais paruošiamųjų (ardymo) ir įrengimo darbų kaštai praktiškai nesiskiria, tačiau ženkliai skiriasi eksploatacijos kaštai. Betono dangos 35 metų eksploatacijos laikotarpiui remonto darbų kaštai net 80 % mažesni už asfalto dangos to paties periodo remonto darbų kaštus. Bendrosios išlaidos 100 m

ilgio ir 12 m pločio (3 eismo juostų) dangos rekonstrukcijai betono danga yra 37 % (479 745,26 Lt) mažesnės nei asfalto dangos (758 915,51 Lt).

7. Norint pradėti naudoti standžiąsias dangas Lietuvos automobilių keliuose ir gatvėse reikia pritaikyti gerąją kitų šalių patirtį Lietuvos klimato ir eismo sąlygoms. Norint nustatyti racionalų lėšų panaudojimą rekomenduojama įrengti eksperimentinį bandomąjį kelio ruožą ir atlikti detalų betono dangų ekonominio efektyvumo tyrimą papildomai įvertinant: transporto priemonių degalų sąnaudas, poveikį eismo saugumui, gamybos, įrengimo ir eksploatacijos poveikį aplinkai, išlaidas apšvietimui bei priežiūrai žiemos metu.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

Al-Shannag, M. J. 2007. *Durability of Steel Fiber Reinforsed Concrete in Sulfate Environment,* Final Research report, No. 38/426:60.

Altoubat, S.A.; Roesler, J.R.; Lange, D.A.; Rieder, K.A. 2008. *Simplified method for concrete pavements design with discrete structural fibers.* Construction and Building Materials *22.* 384-393p.

Ambrazevičius, A. 2008. *Lietuvos transporto sistema.* Mokomoji knyga. Generolo Jono Žemaičio Lietuvos karo akademija. 192p.

Braga, A. 2005. *Dangų degradacijos modeliai ir jų taikymas Lietuvos automobilių keliams.* Daktaro disertacija. 154p.

Breitenbücher, R.; Sievering, C. 2008. *Cracking in concrete pavements – an interaction of various influences.* Pavement Cracing. London: Taylor & Francis Group. 127-136p.

Breyer, G. 2004. *Entscheidungskriterien für den Bau von Betonfahrbahndecken in Österreich.* 1. Internationale Konferenz «Betonfahrbahnen 2004» in Slavkov, CZ. 4p

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung Straßenbau. 2008. ZTV Beton-StB 07 für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton. Bekanntmachung der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern vom 10. 104p.

Butkevičius, S. 2007. *Sunkiasvorio transporto įtaka automobilių kelių asfaltbetonio dangos funkcionavimo trukmei.* Daktaro disertacija. 137p.

Cement and Concrete Association of Australia. 2004. *Guide to Residential Streets and Path.* C&CAA T51. 50p.

Chung, Y. ir Shin, H.-C. 2011. *Characterization of the coefficient of thermal expansion and its effect on the performace of Portland cement concrete pavements.* Canadian Journal of Civil Engineering, Vol.: 38. 175-183p.

Delatte, N. 2008. *Concrete pavement design, construction and performance.* Taylor & Francis Group. 371p.

Engineering Department Highway Engineering and Soil Machanics Section. 1996. *General Technical Construction Specifications For Roads ROAD 94.* Chapter 3. Pavement Design. Swedich National Road Adminstration.

Federal Aviation Administration (FAA). 2004. *Airport pavement desin, Advisory Circular (AC).* Washington, DC: Federal Aviation Administration. Internetinė prieiga: http://www.faa.gov/airports_airtraffic/airports/resources/advisory_circulars/

FEDERBETON. 2010. *Pavimentazioni autostradali. Un confronto economico nell'ottica della sostenibilita.* PUBBLICEMENTO S.r.l.

Gadja, J.W., ir M.G.Van Geem. 1997. *A Comparison of Six Environmental Impacts of Portland Cement Concrete and Asphalt Cement Concrete Pavement.* PCA R&D Seria. Skokie, IL: Portland Cement Association.

Griffiths, G.; Thom, N. 2007. *Concrete Pavement design Guidance Notes.* Taylor and Francis Group. London and New York. 165p.

Guciute Scheving, A. 2011. *Liefe Cycle Cost Analysis of Asphalt and Concrete Pavements.* Master of Science. School of Sience and Engineering at Reykjavik University. 94p.

Hall, K. et al. 2007. *Long-Life Concrete pavements in Europe and Canada.* U.S. Department of Transport. Federal Highway Administration. 84p.

Hall, K.; Dawood, D.; Vanikar, S. et al. 2007. *Lon-Life Concrete Pavements in Europe and Canada.* International Technology Scanning Program. Report No. FHWA-PL-07-027. 80p.

Harrington D. et al. 2008. *Guide to Concrete Overlays. Sustainable Solution for Resurfacing and Rehabilitating Existing Pavements. Second Edotion.* National Concrete Pavements Technology Center. 31p.

Hosking, R. 1992. *Road aggregates and skidding.* State of the Art Review 4, HMSO, London. 236p.

Jasienski, A. 2006. *A Galance at the Belgian experience in concrete pavement.* Spacial edition on the occasion of the 10th International Symposium on Concrete Roads, Brussel. Published by: Federation of the Belgian Cement Industry. 93p.

Kim, S.; Kasthurirangan, G.; Halil, C.; Kejin, W. 2010. Early-age response of concrete pavements to temperature and moisture variations, The Baltic Journal of Road and Bridge engineering 5(3): 132-138.

Laszlo, G. 2012. *Lifetime engineering for roads.* CETRA 2012 2nd International Conference on Road and Rail Infrastructure. 25-34p.

Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. 2008. *Automobilių kelių standartizuotų dangų konstrukcijų projektavimo taisyklės KPT SDK 07.* Normatyvinis dokumentas. 42 p.

Lietuvos Respublikos (LR) Kelių įstatymas 1995 Nr.I-891 Žin., 1995, Nr.44-1076 Aktuali redakcija nuo 2011.11.22

LST EN 12390-3:2009. Sukietėjusio betono bandymai. 3 dalis. Bandinių gniuždymo stipris. Lietuvos standartizacijos departamentas. 18p.

LST EN 13877-1:2004 „Betoninės kelio dangos. 1 dalis. Medžiagos". Lietuvos standartizacijos departamentas prie Lietuvos Respublikos aplinkos ministerijos. 2004. 11p.

LST EN 206-1:2002. Betonas. 1 dalis. Techniniai reikalavimai, savybės, gamyba ir atitiktis. Lietuvos standartizacijos departamentas. 68p.

McCullough, B.F.; Cawley, M.L. 1981. *CRCP Design Based on Theoretical and Field Performance,* Proceedings, 2nd Internatinal Conference on Concrete Pavement Design, West Lafayette, IN: Purdue University, pp. 239-251.

Michael S.; Mamlouk John P. Zaniewski *Materials for Civil and Construction Engineers* 2011

Milachowski, Ch.; Stengel, T.; Gehlen, Ch. 2011. *Life Cycle Assessment for Road Construction and Use.* Centre for building Materials, Technische universität München, Germany. Published by: EUPAVE European Concrete Paving Association. 20p.

Mindess, S.; Young, J.F.; Darwin, D. 2003. *Concrete, 2nd Edition,* Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.

Ministerstvo Dopravy Ceské Republiky (MDCR). 2004. *Navrhování Vozovek Pozemních Komunikací TP 170.* Část A – Katalog vozovek. Schváleno MD CR OPK. 104p.

Ministerstvo Dopravy Odbor Silniční Infrastruktury (MDOSI). 2010. Navrhování Údržby a Oprav Vozovek s Cementobetonovým Krytem TP 92. Technické podmínky. 97p.

Oginskas, R. 2006. *Provėžų, susijusių su šlyties deformacijomis automobilių kelių asfaltbetonio dangose, mažinimas naudojant geosintetines medžiagas.* Daktaro disertacija. 99p.

Packard, R. G. 1994. *Pavement Costs and Quality.* Concrete International. Volume 16, Issue 8.

Paliukaitė, M.; Vaitkus A. 2011. *Analysis of temperature and moisture influence on asphalt pavement strength.* Environmental Engineering – the 8th International Conference. Vilnius: Technika, p. 1160-1165.

Palšaitis, E. 2004. *Lietuviški keliai Tiumenėje.* Lietuvos keliai. Nr. 1, 88-91p.

Palšaitis, E.; Vidugris, L. 1999. *Automobilių kelių projektavimas. Teorija ir praktika.* Vilnius: Technika. 440p.

Papagiannakis, A. T.; Masad E.A. 2008. *„Pavement design and materials"*, 552p.

Pasko Jr., T. J. 1998. Concrete Pavements – Past, Present and Future. U.S. Departtment of Transportation Federal Highway Administration. Public Roads. Vol.62 No.1, July/August.

PIARC 1987. *Surface Characteristics*. Technical Committee Report No.1. XVIIIIth World Road Congress, Brussels.

Pomerantz, M.; Pon, B.; Akbari, H. ir Chang, S.C. 2000. *The Effect of Pavements' Tempratures on Air Tempretures in Large Cities*. Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBL-43442. Berkeley, CA.

Portland Cement Association. 1991. *Concrete Paving – 100 Years of Prigress Through Innovation.* Concrete in Highway Transportation. PCS 75th Anniversary. No.10. 12p.

Prieiga per internetą: www.degalukainos.lt 2012 05.

Prieiga per internetą: www.lra.lt 2012 05.

Prieiga per internetą: www.maps.lt 2012 05.

Prieiga per internetą: www.vikipedija.lt 2012 05.

Puodžiukas, V.; Miškinis D. 2009. *Lėšų reikia ne kelininkam, o kelių naudotojams*. Lietuvos keliai 2009/1. 4-11p.

Shilstone, J.M. Sr. and Shilstone, J.M. Jr. 2002. *Performance-Based Concrete Mixtures and Specifications for Today.* Concrete International , Vol.24, No.2, 80-83p.

Skerys, K. 2009. *Kelio istorija. Kelių tiesimo medžiagos*. Lietuvos keliai 2009/1 62-67p.

SNRA. 2003. *Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktioner ATBVÄG*. Swedish National Road Administration, Borlänge, 2003b.

Springenschmid, R. & Fleischer, W. 1993. *Oberflächenrisse in älteren Betonfahrbahndecken.* Tiefbau- Ingenieurbau-Straßenbau, Vol. 10: 724–732p.

Springenschmid, R.; Fleischer, W. 2001. *Recent Developments in the Design and Construction of Concrete Pavements for German Expressways (Autobahns).* 7th International Conference on Concrete Pavement. International Society for Concrete Pavements. Florida, USA. 15p.

Stubstad, R. C. et al. 2005. *Effectiveness of Diamond Grinding Concrete Pavements in California.* Sacramento, CA: California Department of Transportation. 40p.

Šiaudinis, G. 2007. *Lietuvos automobilių kelių nestandžių dangų konstrukcijų stiprumo nustatymo metodai.* Daktaro disertacija. 150p.

Tan, K. H.; Paramasivam, P.; Tan, K. C. 1995. *Cracking characteristics of reinforced steel fiber concrete beams under short and long-term loadings*, Jurnal of Advanced Cement Based Materials 2: 127-137.

Walls III J.; Smith R.M. 1998. *Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design – Interim Technical Bulletin.* Federal Highway Administration. 123p.

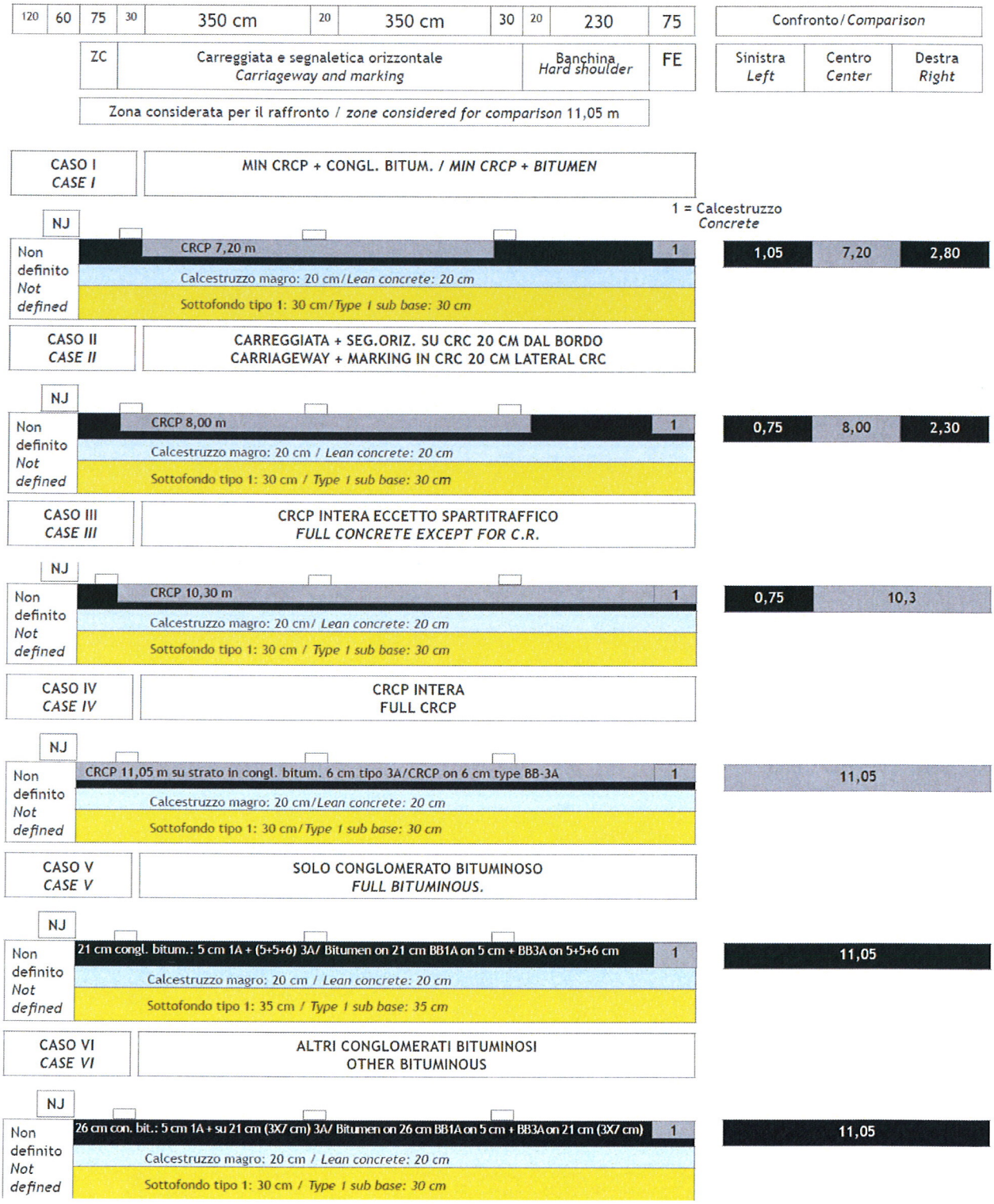
Won, M. 2005. Improvement of testing procedures for concrete coefficient of thermal expansion. Journal of the Transportation Research Board, No. 1919, Washington, D.C.

WSDOT 1995 *Pavement Guide. Volume 2. Pavement notes for design, evaluation and rehabilitation.* Washington State Department of Transportation. 540p.

WSDOT 1995. *Pavement Guide. Volume 1. Pavement policy for design, evaluation and rehabilitation.* Washington State Department of Transportation. 40p.

Марышевым, Б.С.; Шейниным, А. М. и Черниговым, В. А. 1980. *Инструкция по строительству цементобетонных покрытий автомобильных дорог ВСН 139-80.* Министерство транспортного строительства СССР, Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт (Союздорнии). Москва. Союздорнии. 65 р.

A PRIEDAS


120 60 75 30 350 cm 20 350 cm 30 20 230 75
Confronto/Comparison
ZC
Carreggiata e segnaletica orizzontale
Carriageway and marking
Banchina
Hard shoulder
FE
Sinistra
Left
Centro
Center
Destra
Right
Zona considerata per il raffronto / zone considered for comparison 11,05 m
CASO I
CASE I
MIN CRCP + CONGL. BITUM. / MIN CRCP + BITUMEN
1 = Calcestruzzo
Concrete
NJ
Non definito
Not defined
CRCP 7,20 m
1
Calcestruzzo magro: 20 cm/Lean concrete: 20 cm
Sottofondo tipo 1: 30 cm/Type 1 sub base: 30 cm
1,05 7,20 2,80
CASO II
CASE II
CARREGGIATA + SEG.ORIZ. SU CRC 20 CM DAL BORDO
CARRIAGEWAY + MARKING IN CRC 20 CM LATERAL CRC
NJ
Non definito
Not defined
CRCP 8,00 m
1
Calcestruzzo magro: 20 cm / Lean concrete: 20 cm
Sottofondo tipo 1: 30 cm / Type 1 sub base: 30 cm
0,75 8,00 2,30
CASO III
CASE III
CRCP INTERA ECCETTO SPARTITRAFFICO
FULL CONCRETE EXCEPT FOR C.R.
NJ
Non definito
Not defined
CRCP 10,30 m
1
Calcestruzzo magro: 20 cm/ Lean concrete: 20 cm
Sottofondo tipo 1: 30 cm / Type 1 sub base: 30 cm
0,75 10,3
CASO IV
CASE IV
CRCP INTERA
FULL CRCP
NJ
Non definito
Not defined
CRCP 11,05 m su strato in congl. bitum. 6 cm tipo 3A/CRCP on 6 cm type BB-3A
1
Calcestruzzo magro: 20 cm/Lean concrete: 20 cm
Sottofondo tipo 1: 30 cm/Type 1 sub base: 30 cm
11,05
CASO V
CASE V
SOLO CONGLOMERATO BITUMINOSO
FULL BITUMINOUS.
NJ
Non definito
Not defined
21 cm congl. bitum.: 5 cm 1A + (5+5+6) 3A/ Bitumen on 21 cm BB1A on 5 cm + BB3A on 5+5+6 cm
1
Calcestruzzo magro: 20 cm / Lean concrete: 20 cm
Sottofondo tipo 1: 35 cm / Type 1 sub base: 35 cm
11,05
CASO VI
CASE VI
ALTRI CONGLOMERATI BITUMINOSI
OTHER BITUMINOUS
NJ
Non definito
Not defined
26 cm con. bit.: 5 cm 1A + su 21 cm (3X7 cm) 3A/ Bitumen on 26 cm BB1A on 5 cm + BB3A on 21 cm (3X7 cm)
1
Calcestruzzo magro: 20 cm / Lean concrete: 20 cm
Sottofondo tipo 1: 30 cm / Type 1 sub base: 30 cm
11,05

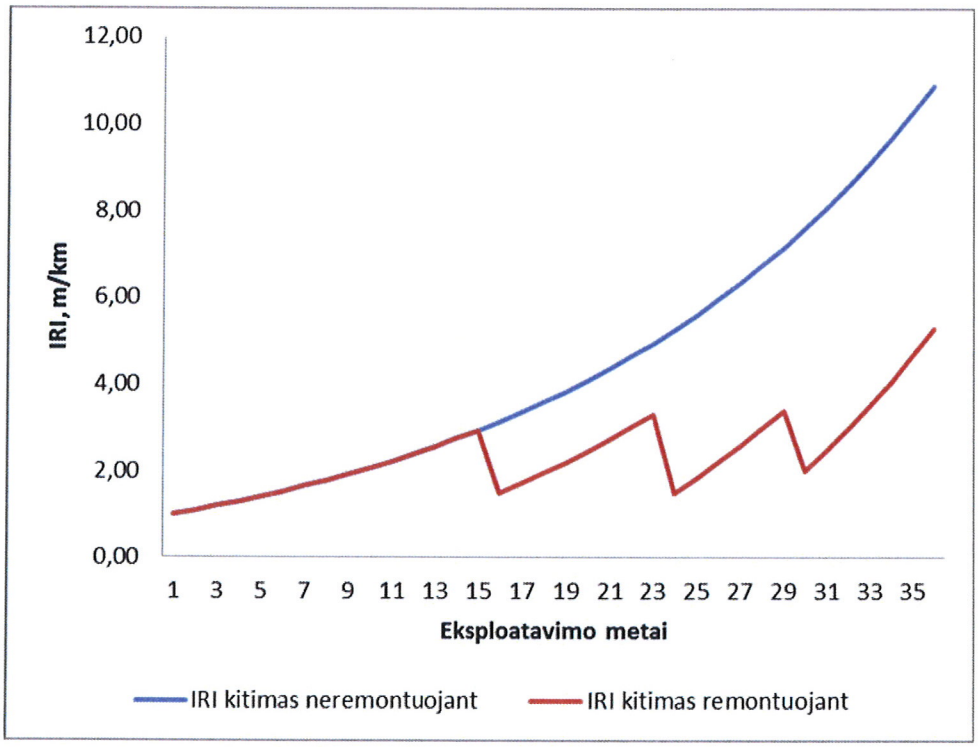
B PRIEDAS

B.0.1 lentelė. Projektinės apkrovos A skaičiavimas rekonstruojamoje Savanorių pr. atkarpoje.

Metai		$VPI^{(SV)}$	f_A	$VPA^{(SV)}$	f_1	f_2	$(1+p_i)$	$VPA^{(SV)} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot (1+p)$
			4,2		1,0	1,1	1,02	
-	2012	1367,00		5741,40			1,02	6441,85
1	2013	1394,34		5856,23			1,02	6570,69
2	2014	1422,23		5973,35			1,02	6702,10
3	2015	1450,67		6092,82			1,02	6836,14
4	2016	1479,68		6214,68			1,02	6972,87
5	2017	1509,28		6338,97			1,02	7112,32
6	2018	1539,46		6465,75			1,02	7254,57
7	2019	1570,25		6595,06			1,02	7399,66
8	2020	1601,66		6726,97			1,02	7547,65
9	2021	1633,69		6861,50			1,02	7698,61
10	2022	1666,37		6998,73			1,02	7852,58
11	2023	1699,69		7138,71			1,02	8009,63
12	2024	1733,69		7281,48			1,02	8169,82
13	2025	1768,36		7427,11			1,02	8333,22
14	2026	1803,73		7575,66			1,02	8499,89
15	2027	1839,80		7727,17			1,02	8669,88
16	2028	1876,60		7881,71			1,02	8843,28
17	2029	1914,13		8039,35			1,02	9020,15
18	2030	1952,41		8200,13			1,02	9200,55
19	2031	1991,46		8364,14			1,02	9384,56
20	2032	2031,29		8531,42			1,02	9572,25
21	2033	2071,92		8702,05			1,02	9763,70
22	2034	2113,35		8876,09			1,02	9958,97
23	2035	2155,62		9053,61			1,02	10158,15
24	2036	2198,73		9234,68			1,02	10361,31
25	2037	2242,71		9419,38			1,02	10568,54
26	2038	2287,56		9607,76			1,02	10779,91
27	2039	2333,31		9799,92			1,02	10995,51
28	2040	2379,98		9995,92			1,02	11215,42
29	2041	2427,58		10195,83			1,02	11439,73
30	2042	2476,13		10399,75			1,02	11668,52
31	2043	2525,65		10607,75			1,02	11901,89
32	2044	2576,17		10819,90			1,02	12139,93
33	2045	2627,69		11036,30			1,02	12382,73
34	2046	2680,24		11257,03			1,02	12630,38
35	2047	2733,85		11482,17			1,02	12882,99
							$\sum_{i=1}^{N}$:	334939,96
							$A_{1-35} = 365 \cdot q_{Bm} \cdot f_3 \cdot \sum_{i=1}^{N}$:	34646523,97
							Iš viso A_{1-35} [mln.]:	34,65

Čia: $f_3 = 1{,}09$

$q_{Bm} = 0{,}26$



B.0.1 pav. Asfalto dangos IRI kitimo grafikas

C PRIEDAS

SUDERINTA: _____ TŪKST.LT.

ATSAKINGAS ATSTOVAS _____

2011 M. MĖN. D.

TVIRTINU: _____ TŪKST.LT.

ATSAKINGAS ATSTOVAS _____

2011 M. MĖN. D.

LOKALINĖ SĄMATA

Sudaryta pagal 2012.03 kainas

Statinių grupė **210 Savanorių prospekto rekonstrukcija**

Statinys **1 Eksperimentiniai skaičiavimai**

Žiniaraštis **1 Asfaltbetonio dangos konstrukcijos įrengimui**

2012.05.30 **Suma žiniaraščiui 758915,51 Litų**

Sąm. eil.	Darbo kodas	Darbų ir išlaidų aprašymai	Mato vnt	Kiekis	Kaina Lt	
					Vieneto kaina	Iš viso
	1	**Paruošiamieji ir ardymo darbai**				
1	R27P-9-3	Daugiau kaip 50 mm storio asfaltbetonio dangos sluoksnio frezavimas freza W-500 , kai frezuojamas plotas daugiau 5m2 k4=2.000,k9=1.15	100m2	12,0	1744,01	20928,12
2	R23-65	Statybinių šiukšlių išvežimas 10 km atstumu automobiliais-savivarčiais	t	684,0	55,59	38023,56
		Skyriuje 1				58951,68
	2	**Asfalto dangos sluoknių įrengimas**				
1	N27P-13-1	.AC 22 PS asfaltbetonio pagrindo įrengimas (sluoksnis 16.0 cm storio , klotuvas iki 200 t/h) k8=1.17,k9=1.15	100m2	12,0	10998,95	131984,61
2	N27P-18-2	AC 16 AS asfaltbetonio dvisluoksnės dangos apatinio sl. įrengimas (sluoksnis 8.0 cm storio , klotuvas iki 200 t/h) k8=1.17,k9=1.15	100m2	12,0	7886,46	94637,52
3	N27P-19-6	SMA 11 S su PMB asfaltbetonio dvisluoksnės dangos viršutinio sl. įrengimas (sluoksnis 4.0 cm storio , klotuvas iki 200 t/h) k8=1.17,k9=1.15	100m2	12,0	5309,71	63716,52
4	N27-333	Juodų dangų paviršiaus gruntavimas bitumine emulsija k8=1.17,k9=1.15	t.m2	3,6	638,03	2296,91
5	N27-144-1	Asfaltbetonio viršutinio sluoksnio siūlių ir prijungčių prie bortų 4 cm gyliu sandarinimas 15 mm storio bituminė juosta k8=1.09,k9=1.15	m	200,0	21,13	4226,0
		Skyriuje 2				296861,56
	3	**Remonto darbai**				
		15 Eksploatavimo metais				

1	R27P-9-1	Iki 50 mm storio asfaltbetonio dangos sluoksnio frezavimas freza W-500 , kai frezuojamas plotas daugiau 5m2 k9=1.15	100m2	12,0	729,12	8749,44
2	R23-65	Statybinių šiukšlių išvežimas 10 km atstumu automobiliais-savivarčiais	t	110,0	55,59	6114,9
3	N27P-19-6	SMA 11 S su PMB asfaltbetonio dvis-luoksnės dangos viršutinio sl. įrengimas (sluoksnis 4.0 cm storio , klotuvas iki 200 t/h) k8=1.17,k9=1.15	100m2	12,0	5309,71	63716,52
4	N27-333	Juodų dangų paviršiaus gruntavimas bitumine emulsija k8=1.17,k9=1.15	t.m2	12,0	638,03	7656,36
5	N27-144-1	Asfaltbetonio viršutinio sluoksnio siūlių ir prijungčių prie bortų 4 cm gyliu sandarinimas 15 mm storio bituminė juosta k8=1.09,k9=1.15	m	200,0	21,13	4226,0
		23 Ekploatavimo metais				
6	R27P-9-1	Iki 50 mm storio asfaltbetonio dangos sluoksnio frezavimas freza W-500 , kai frezuojamas plotas daugiau 5m2 k9=1.15	100m2	12,0	729,12	8749,44
7	R23-65	Statybinių šiukšlių išvežimas 10 km atstumu automobiliais-savivarčiais	t	110,0	55,59	6114,9
8	N27P-19-6	SMA 11 S su PMB asfaltbetonio dvis-luoksnės dangos viršutinio sl. įrengimas (sluoksnis 4.0 cm storio , klotuvas iki 200 t/h) k8=1.17,k9=1.15	100m2	12,0	5309,71	63716,52
9	N27-333	Juodų dangų paviršiaus gruntavimas bitumine emulsija k8=1.17,k9=1.15	t.m2	12,0	638,03	7656,36
10	N27-144-1	Asfaltbetonio viršutinio sluoksnio siūlių ir prijungčių prie bortų 4 cm gyliu sandarinimas 15 mm storio bituminė juosta k8=1.09,k9=1.15	m	200,0	21,13	4226,0
		29 Eksloatavimo metais				
11	R27P-9-1	Iki 50 mm storio asfaltbetonio dangos sluoksnio frezavimas freza W-500 , kai frezuojamas plotas daugiau 5m2 k9=1.15	100m2	12,0	729,12	8749,44
12	R23-65	Statybinių šiukšlių išvežimas 10 km atstumu automobiliais-savivarčiais	t	110,0	55,59	6114,9
13	N27P-19-6	SMA 11 S su PMB asfaltbetonio dvis-luoksnės dangos viršutinio sl. įrengimas (sluoksnis 4.0 cm storio , klotuvas iki 200 t/h) k8=1.17,k9=1.15	100m2	12,0	5309,71	63716,52
14	N27-333	Juodų dangų paviršiaus gruntavimas bitumine emulsija k8=1.17,k9=1.15	t.m2	12,0	638,03	7656,36
15	N27-144-1	Asfaltbetonio viršutinio sluoksnio siūlių ir prijungčių prie bortų 4 cm gyliu sandarinimas 15 mm storio bituminė juosta k8=1.09,k9=1.15	m	200,0	21,13	4226,0
		Skyriuje 3				271389,66
		Žiniaraštyje 1				627202,9
		Pridėtinės vertės mokestis 21.00%				131712,61
		Iš viso žiniaraštyje 1				758915,51

Sudarė :

/Pavardė/

SUDERINTA: _____ TŪKST.LT.

ATSAKINGAS ATSTOVAS _____

2011 M. MĖN. D.

TVIRTINU:_____TŪKST.LT.

ATSAKINGAS ATSTOVAS_____

2011 M. MĖN. D.

LOKALINĖ SĄMATA

Sudaryta pagal 2012.03 kainas

Statinių grupė **210 Savanorių prospekto rekonstrukcija**

Statinys **1 Eksperimentiniai skaičiavimai**

Žiniaraštis **2 Betono dangos konstrukcijos įrengimas**

Suma žiniaraščiui **479745,26**
Litų

2012.05.30

Sąm. eil.	Darbo kodas	Darbų ir išlaidų aprašymai	Mato vnt	Kiekis	Kaina Lt	
					Vieneto kaina	Iš viso
	1	**Paruošiamieji ir ardymo darbai**				
1	R27P-9-3	Daugiau kaip 50 mm storio asfaltbetonio dangos sluoksnio frezavimas freza W-500, kai frezuojamas plotas daugiau 5m2 k4=2.000,k9=1.15	100m2	12,0	1744,01	20928,12
2	R23-65	Statybinių šiukšlių išvežimas 10 km atstumu automobiliais-savivarčiais	t	662,0	55,59	36800,58
		Skyriuje 1				57728,7
	2	**Betono dangos įrengimas**				
1	N60-18	Skersinių siūlių įrengimas su 600 mm ilgio 25 mm skresmens įdėklais k9=1.15	m	156,0	66,46	10367,76
2	N60-19	Išilginių siūlių įrengimas su 700 mm ilgio 12 mm skresmens rifliuotais strypais k9=1.15	m	300,0	74,36	22308,0
3	R27P-21-1	Išsiplėtimo siūlių įrengimas rankiniu būdu k8=1.09,k9=1.15	m	48,0	300,06	14402,88
4	N11-165-7	.26 cm storio betono dangos įrengimas klotuvu iš C30/37 betono	100m2	12,0	19215,84	230590,11
5	N27-159-6	Betono paviršiaus šiurkštinimas šepečiais k8=1.17,k9=1.15	100m2	12,0	80,36	964,32
6	H12K-6	Apsauga nuo išdžiūvimo k9=1.15	100 m2	12,0	591,78	7101,36
		Skyriuje 2				285734,43
	3	**Remonto darbai**				
1	R27P-9-3	Daugiau kaip 50 mm storio betono dangos sluoksnio frezavimas freza W-500, kai frezuojamas plotas daugiau 5m2 k9=1.15	100m2	0,6	872,0	523,2

2	R23-65	Statybinių šiukšlių išvežimas 10 km atstumu automobiliais-savivarčiais	t	7,5	55,59	416,93
3	N11-165-7	5 cm storio betono dangos įrengimas klotuvu iš C30/37 betono	100m2	0,6	8935,78	5361,47
4	N60-19	Išilginių ir skersinių deformacinių siūlių remontas k9=1.15	m	40,0	74,36	2974,4
5	N11-64	Betoninės dangos šlifavimas	100m2	12,0	1436,19	17234,28
6	R27P-9-3	Daugiau kaip 50 mm storio betono dangos sluoksnio frezavimas freza W-500, kai frezuojamas plotas daugiau 5m2 k9=1.15	100m2	0,6	872,0	523,2
7	R23-65	Statybinių šiukšlių išvežimas 10 km atstumu automobiliais-savivarčiais	t	7,5	55,59	416,93
8	N11-165-7	5 cm storio betono dangos įrengimas klotuvu iš C30/37 betono	100m2	0,6	8935,78	5361,47
9	N60-19	Išilginių ir skersinių deformacinių siūlių remontas k9=1.15	m	40,0	74,36	2974,4
10	N11-64	Betoninės dangos šlifavimas	100m2	12,0	1436,19	17234,28
		Skyriuje 3				53020,56
		Žiniaraštyje 2				396483,69
		Pridėtinės vertės mokestis 21.00%				83261,57
		Iš viso žiniaraštyje 2				479745,26

Sudarė :

/Pavardė/

LAIS

TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA
15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „MOKSLAS – LIETUVOS ATEITIS" straipsnių rinkinys, 2012 m. gegužės 4 d., Vilnius, Lietuva

TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT
Proceedings of the 15th Conference for Lithuania Junior Researchers SCIENCE – FUTURE OF LITHUANIA, 4 May 2012 Vilnius, Lithuania

ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК
Сборник статей 15-ой конференции молодых ученых Литвы «НАУКА – БУДУЩЕЕ ЛИТВЫ», 4 мая 2012 г., Вильнюс, Литва

STANDŽIŲ DANGŲ PANAUDOJIMO LIETUVOS KELIŲ TIESYBOJE ANALIZĖ IR GAMINAMO BETONO STIPRIO GNIUŽDANT TYRIMAS

Rita Kleizienė [1], Audrius Vaitkus [2]
Vilniaus Gedimino technikos universitetas
El. paštas: [1]rita.kleiziene@vgtu.lt; [2]audrius.vaitkus@vgtu.lt

Santrauka. Nestandžios dangos konstrukcijos projektinis eksploatacijos laikotarpis yra 20 metų, o pirmosios pažaidos dažnai susidaro jau po pirmųjų eksploatacijos metų. Kasmet didėjantys sunkiojo transporto srautai ir apkrovos įtakoja greitesnę asfalto dangos degradaciją. Vertinant kylančias naftos, o kartu ir bitumo kainas bei išlaidas kelių priežiūrai, kaip alternatyva Lietuvos kelių ir gatvių tiesimui analizuojama betono dangų panaudojimo galimybės. Betono dangos konstrukcijos eksploatacinis laikotarpis yra nuo 25 iki 40 metų ir daugiau bei yra 1,5–2 kartus ilgesnis nei asfalto dangos konstrukcijų įrengtų tokiomis pačiomis sąlygomis. Straipsnyje apžvelgiama betono dangų panaudojimo Lietuvoje ir kitose šalyse raida, taikomi standžių dangų konstrukciniai sprendiniai. Taip pat analizuojama skirtingose Lietuvos gamyklose pagamintų betono mišinių stiprio gniuždant verčių sklaida ir atitikimas norminių dokumentų reikalavimams.

Reikšminiai žodžiai: kelias, gatvė, standi danga, cementbetonis, betono stipris gniuždant, betono dangos konstrukcija.

Įvadas

Standi danga – tai danga iš betono mišinio. Priklausomai nuo transporto srautų ir aplinkos sąlygų konstrukcija gali būti armuota arba nearmuota. Standžios (betono) dangos naudojamos transporto statiniuose: greitkeliuose, aerodromuose, gatvėse, įvairios paskirties aikštelėse. Iš betonio įrengiami keliuose naudojami konstrukciniai elementai: pralaidos, saugos sienutės, bordiūrai, atraminės sienutės.

Standi danga automobilių sukeltas apkrovas paskirsto ir perduoda didesniame plote, todėl slėgis į dangos konstrukcijos pagrindo sluoksnių ir žemės sankasą lyginant su nestandžiomis dangomis yra ženkliai mažesnis (Palšaitis, Vidugris 1999). Packard (1994) teigia, kad betono dangos eksploatacinis laikotarpis yra nuo 25 iki 40 metų ir daugiau bei yra 1,5–2 kartus ilgesnis nei asfalto dangų įrengtų tokiomis pačiomis sąlygomis. Betono dangos konstrukcijos taikytinos keliuose, kuriuose susidaro didelis sunkiojo transporto eismo intensyvumas, taip pat sunkusis transportas dangą veikia ypatingąja apkrova. Betono dangos atlaiko keturis kartus didesnes apkrovas nei nestandžios dangos (Packard 1994).

Standžios dangos pradėtos kloti XIX a. pabaigoje. 1879 metais Škotijoje kelių tiesyboje buvo naudotas betonas su portlandcemenčio užpildu (Delatte 2008). Tačiau Portland Cement Asociacija (PCA) pirmuoju cementbetonio dangos statiniu laiko 1891 metais Ohajo Valstijoje JAV nutiestą gatvę, kuri iki šiol funkcionuoja. Pirmasis greitkelis su betono danga buvo nutiestas 1913 metais Arkanzaso Valstijoje (PCA 1991). Tai buvo 38,6 km ilgio ir 2,7 m pločio atkarpa, kurios betono sluoksnio storis 12,7 cm. Iki 1922 m. standžios dangos buvo klojamos be deformacinių siūlių. 1921–1923 metais Illinoi'aus Valstijoje buvo įrengtas bandomasis ruožas „Bates Road Test" su 78 skirtingomis dangos konstrukcijomis. Nustatyta, kad standžios dangos kraštai turi būti papildomai sustiprinti ir dangoje turi būti įrengta ašinė konstrukcinė siūlė (Pasko Jr. 1998). Nuo 1950 m. JAV daugiausiai buvo klojamos nepertraukiamai armuoto betono dangos.

1958–1960 metais JAV AASHO (American Association of State Highway Officials) įrengė šešis dviejų eismo juostų bandomuosius poligonus su skirtingomis dangos konstrukcijomis (AASHO Road Test). 1986 m. išleista pirminė AASHTO dangų konstravimo metodika, pagrysta AASHO Road Test tyrimais (Pasko Jr. 1998). 1993 m. JAV patvirtinta iki šiol galiojanti AASHTO dangų konstravimo metodika. Pagal šią metodiką sukurta kompiuterinė standžių dangų konstravimo programinė įranga. Hadi ir Arfiadi (2001) atliko standžių dangų projektavimo optimizavimo studiją taikant genetinius algoritmus, siekiant sumažinti standžios dangos plokštės storį taip sumažinant dangos įrengimo kaštus. Vakarų Europoje standžios dangos paprastai klojamos greitke-

© Vilniaus Gedimino technikos universitetas

liuose pagal konkrečioje šalyje priimtus projektavimo katalogus (tipines dangos konstrukcijas) ir įrengimo taisykles.

2001 m. FHWA duomenimis 6,5 % visų dangų JAV sudarė standžios dangos. Vokietijoje 25 % (626 800 km) greitkelių įrengti cementbetonio danga. Austrijoje du trečdaliai šalies greitkelių yra cementbetonio danga (apie 4 000 km). Belgijoje 17 % visų kelių sudaro standžios dangos (Hall *et al.* 2007). Tuo tarpu Lietuvos automobilių kelių direkcijos prie Susisiekimo ministerijos duomenimis Lietuvoje betono dangos sudaro tik 0,34 % visų kelių, nestandžios dangos (asfalto dangos) – 63,9 % (1 lentelę).

1 lentelė. Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių dangos tipai (2010-01-01)

Dangos	Valstybinės reikšmės keliai, km			
	Magistraliniai	Krašto	Rajoniniai	Iš viso
Asfalto	1 666,93	4 939,354	6 978,105	13 584,389
Betono	71,12	–	1,34	72,46
Žvyro	–	–	7 604,084	7 604,084
Grindinys	0,42	–	7,006	7,426
Iš viso	1 738,47	4 939,354	14 590,585	21 268,409

Viena aktualiausių problemų Lietuvos automobilių keliuose ir gatvėse yra asfalto dangoje susidarančios plastinės deformacijos, provėžos ir plyšiai. Lietuvos kelių dangos dėl nepakankamo konstrukcijos stiprio neatlaiko sparčiai didėjančių sunkiojo transporto apkrovų (Šiaudinis 2007). Sunkusis transportas didžiausią įtaką asfalto dangai turi šiltuoju metu. Kylant aplinkos temperatūrai bitumo klampa mažėja, danga praranda tamprumo savybes ir pradeda formuotis pažaidos. Didėjantys asfalto dangų įrengimo ir priežiūros kaštai – aktuali problema Lietuvoje. Alternatyva asfalto dangoms – ilgaamžė standi danga, nereikalaujanti didelių priežiūros kaštų. Darbo tikslas išanalizuoti standžių dangų konstrukcinius sprendinius, reikalavimus mišiniui bei nustatyti Lietuvoje gaminamo betono tinkamumą kelių tiesybai.

Standžių dangų įrengimo ypatumai

Dėl betono mišinio fizinių ir mechaninių savybių standžios dangos pasižymi dideliu stipriu gniuždant, tačiau gali suirti, jei nebus užtikrintas dangos atsparumas lenkimui. Standžios dangos armuojamos siekiant kontroliuoti dangos plyšių susidarymą. Delatte (2007) pateikia betono dangų tipus:

- sujungtų betono plokščių danga;
- sujungtų gelžbetonio plokščių danga;
- nepertraukiamai armuota betonio danga.

Betonas yra gaminamas maišant rišamąją medžiagą portlandcementį (CEM I, CEM II ir CEM III) su stambiuoju užpildu (2/4 ÷ 32/63), smulkiuoju užpildu (0/2 ÷ 0/5) ir vandeniu (iki 28 %). Siekiant pagerinti betono savybes į mišinį dedami įvairūs priedai (plastikliai, klampą modifikuojantys, cemento rišimąsi lėtinantys/greitinantys priedai). Betono mišinio sudedamosios dalys, santykiai, priedai ir savybės turi atitikti standarto LST EN 206-1 (2002) keliamus techninius reikalavimus. Vokietijoje techniniai reikalavimai betono mišiniams ir standžioms dangoms reglamentuojami ZTV Beton StB 06 (2008) dokumentu. Pagrindiniai betono naudojamo kelių tiesyboje techniniai rodikliai pateikti 2 lentelėje.

2 lentelė. Automobilių kelių tiesybai naudojamo betono klasės (ZTV Beton – StB 07, LST EN 206-1)

Kelio kategorija	Aplinkos poveikis	Stiprumas gniuždant	Atsparumas šalčiui	Tempiamasis stiprumas
SV, I-III	XF4, XM2	C 30/37	F 300	F 4.5
IV-VI	XF4, XM1			F 3.5

Iš 2 lentelės matyti, kad nepriklausomai nuo kelio kategorijos kelių tiesimui naudojamas C30/37 betonas atsparus agresyviai aplinkai XF4 (besikeičiančioms aplinkos sąlygoms, temperatūrai, dideliam drėgmės kiekiui, cheminėms medžiagoms naudojamoms kelių priežiūrai žiemą).

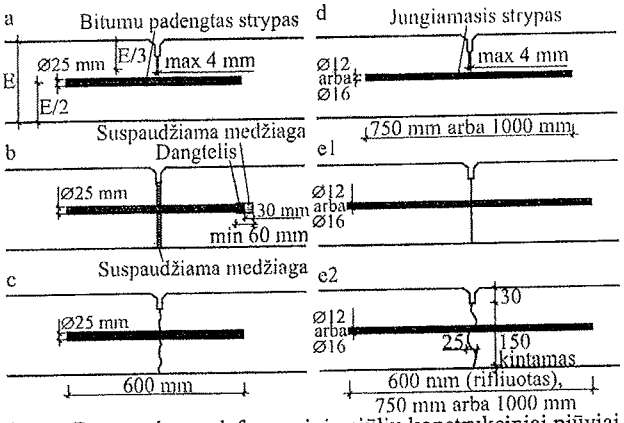
Betono dangos kokybei ir ilgaamžiškumui didelę įtaką turi mišinio kokybė, įrengimo metodai ir dangos priežiūra kietėjimo metu. Mišiniui kietėjant vyksta cheminės reakcijos, kurių metu išsiskiria šiluma ir sugeriamas vanduo (Sunghwan *et al.* 2010). Svarbu užtikrinti tolygų ir pakankamą drėgmės kiekį dangoje, kad betonas kietėtų tolygiai ir traukimosi metu nesusidarytų papildomi plyšiai. Siekiant kontroliuoti betono dangoje vykstančius susitraukimo (kietėjimo metu) ir išsiplėtimo (keičiantis aplinkos temperatūrai) įtempius, turi būti įrengiamos deformacinės siūlės (Delatte 2008). Siūlių įrengimo dažnumas priklauso nuo betono sluoksnio storio (Griffiths, Thom 2007). Pagal siūlių įrengimo vietą, orientaciją transporto priemonių važiavimo kryptimi ir funkciją išskiriamos tokios deformacinės siūlės:

- Skersinės siūlės:
  - ✓ susitraukimo (1 pav. a);
  - ✓ išsiplėtimo (1 pav. b);
  - ✓ konstrukcinė (1 pav. c).
- Išilginės siūlės:
  - ✓ susitraukimo (1 pav. d);
  - ✓ konstrukcinė (1 pav. e1, e2).

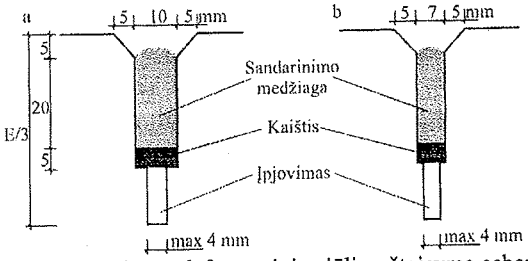
Jasienski (2006) pateikia Belgijos standžių dangų tiesybos praktikoje naudojamų deformacinių siūlių konstrukcinius sprendinius (1 pav.).

Susitraukimo siūlės dangoje išpjaunamos per dvi dienas nuo dangos paklojimo. Įprastai susitraukimo siūlės įrengiamos kas 3,5–6 m. Skersinės išsiplėtimo siūlės įrengiamos kas ~28 m, kai eksploatacijos metu aplinkos temperatūra gali nukristi žemiau 4 °C. Išsiplėtimo siūlės įrengiamos su 1–2 cm storio užpildu, absorbuojančiu betono plokščių temperatūrinio išsiplėtimo/susitraukimo pokyčius (Delatte 2008).

Betonui sukietėjus ir pasiekus norminį stiprį apytiksliai po 28 parų nuo paklojimo, deformacinės siūlės užsandarinamos bitumo mastika arba silikoniniu užpildu pagal 2 pav. pateiktą schemą.



1 pav. Betono dangų deformacinių siūlių konstrukciniai pjūviai (Jasienski 2006)



2 pav. Betono dangų deformacinių siūlių užtaisymo schema (Jasienski 2006)

Taigi, norint pakloti ilgaamžę, daugiau kaip 40 metų tarnaujančią, dangą turi būti užtikrinta betono mišinio kokybė, parinkti tinkami konstrukciniai sprendiniai ir kokybiškai atliekami darbai. Šiandieniniai Lietuvos norminiai dokumentai neapibrėžia standžių dangų projektavimo ir įrengimo reikalavimų. Automobilių kelių standartizuotų dangų konstrukcijų projektavimo taisyklėse KPT SDK 07 (2008) pateikiamos tipinės betono dangos konstrukcijos, su tam tikru betono dangos storiu priklausomai nuo dangos konstrukcijos klasės. Tačiau nenurodomi įrengimo reikalavimai: mišinio markei, stipriui, sutankinimui, deformacinių siūlių įrengimui. Kelių projektavimo, tiesybos ir priežiūros įmonės neturi pakankamai patirties betono dangų projektavimui, įrengimui ir priežiūrai. Iki šiol Lietuvoje įrengti ir eksploatuojami keliai su betono dangomis sukelia prieštaringų vertinimų. Todėl siekiant užtikrinti racionalų betono dangų taikymą automobilių keliams, turi būti įrengti bandomieji kelių ruožai taikant šiuolaikines dangų konstravimo, tiesimo ir priežiūros technologijas.

Eksperimentinis tyrimas

Siekiant nustatyti šiuo metu Lietuvoje gaminamo betono mišinių kokybę, jo atitikimą deklaruojamoms stiprio gniuždant vertėms bei jų tolygumą, buvo atliktas eksperimentinis tyrimas. Eksperimentinio tyrimo metu analizuotos ir vertintos skirtingų gamintojų C20/25, C25/30, C30/37, C35/45 ir C40/50 betono markių pagaminto betono mišinio partijos.

Betono stiprio gniuždant bandymai buvo atlikti 2010–2012 metais Vilniaus Gedimino technikos universiteto Aplinkos inžinerijos fakulteto Kelių tyrimo instituto Automobilių kelių mokslo laboratorijoje. Įvairių objektų statybos metu buvo pagaminti kontroliniai betono bandiniai. Laboratorijoje buvo bandomi skirtingų gamintojų ir stiprumo klasių betono bandiniai. Analizuojant pateiktus duomenis buvo atsižvelgta į bandinių imčių dydžius, nes kiekvienos klasės ir gamintojų bandinių skaičius buvo skirtingas:

Iš viso ištirta 318 bandinių:

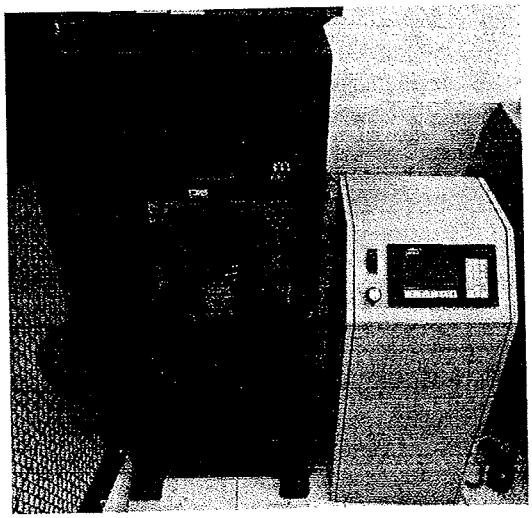
- C20/25 – 17 bandinių;
- C25/30 – 76 bandiniai;
- C30/37 – 218 bandinių;
- C35/45 – 3 bandiniai;
- C40/50 – 4 bandiniai.

Betono stipris gniuždant buvo nustatomas pagal LST EN 12390-3 (2009) metodiką. Bandymams buvo naudojami (150 × 150 × 150) mm dydžio kubeliai, kurie nuo gamybos pradžios iki bandymo buvo išlaikomi 28 paras vandenyje (20±5 °C) siekiant užtikrinti optimalias betono tvirtėjimo sąlygas. Po išlaikymo buvo tikrinamas bandinių matmenų tikslumas, esant būtinybei bandiniai buvo šlifuojami specialia šlifavimo įranga. Bandinių gniuždymui buvo naudojamas hidraulinis presas (3 pav.), generuojantis pastovų 0,6±0,2 MPa/s ($N/mm^2 \times s$) slėgį. Kiekvienu atveju buvo analizuojamas bandinio stiprumas. Naudojant jėgos ir deformacijos priklausomybę, pagal formulę (1) apskaičiuotos betono bandinių stiprio gniuždant vertės.

$$f_c = \frac{F}{A_c}, \qquad (1)$$

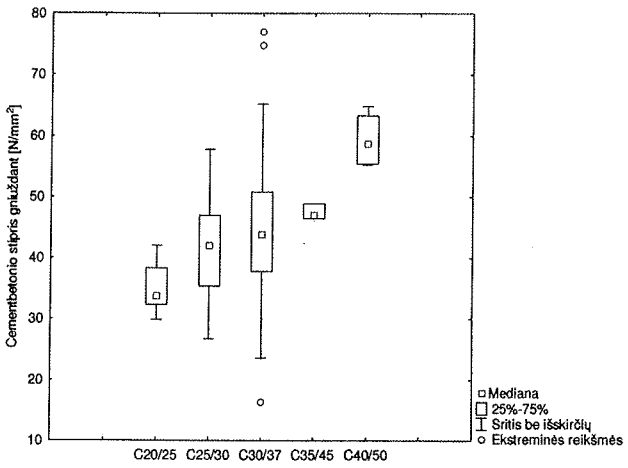
čia: f_c – stipris gniuždant, MPa (N/mm^2); F – jėga bandinio suirimo metu, N; A_c – gniuždymo plotas, mm^2.

Kiekvienu atveju stiprio gniuždant vertė gauta naudojant trijų bandinių stiprio gniuždant vidurkį.



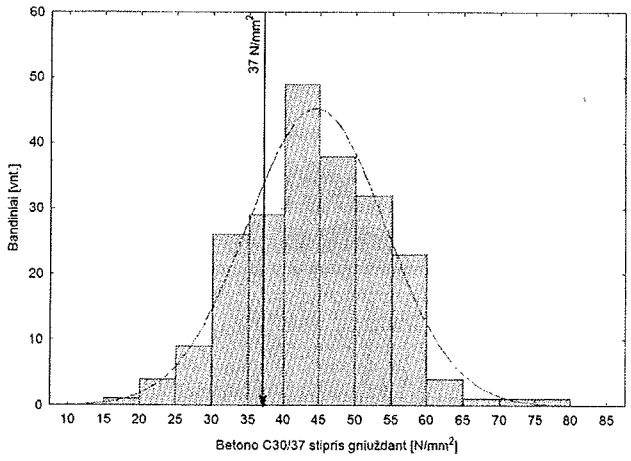
3 pav. Betono gniuždymo mašina Impact CT340

Eksperimento duomenys buvo apdorojami su programomis Excel ir STATISTICA 8. Visų betono bandinių, nepriklausomai nuo gamintojo, stiprio gniuždant verčių pasiskirstymas, bei statistiniai rodikliai pateikti 4 pav.



4 pav. Betono stiprio gniuždant verčių sklaidos stulpelinė diagrama

Kiekvienos klasės medianos (imties nuo 25 % iki 75 % vidurkis) vertės parodo nuosekliai didėjantį stiprumą ir yra didesnės už standarte LST EN 206-1 (2002) reglamentuojamas. Didžiausias reikšmių išsibarstymo aibės plotis nustatytas C25/30 ir C30/37 betono klasėms, kurių bandinių imtis buvo didžiausia. Betono C25/30 klasės (n = 76) stiprumas kito nuo 26,7 N/mm^2 iki 57,8 N/mm^2 ir 96 % bandinių stipris gniuždant buvo didesnis už LST EN 206-1 (2002) reglamentuojamą 30 N/mm^2 stiprumą. Betono C30/37 klasės stiprio gniuždant vertės kito nuo 16,3 N/mm^2 iki 77,0 N/mm^2. 77,5 % bandinių stipris gniuždant buvo didesnis už LST EN 206-1 (2002) reglamentuojamą 37 N/mm^2 stiprumą. Tai rodo, kad gaminamo betono stipris gniužinat priklauso nuo betono markės ir kinta labai plačiose ribose. Analizuojant betono stiprio gniuždant verčių sklaidos stulpelinę diagramą (4 pav.) galima teigti, kad sklaida ženkliai didėja didėjant bandinių imčiai. Taip pat pastebima, kad betono C25/30 ir C30/37 medianos vertės skyrėsi tik (5–6) %. Galima teigti, kad C25/30 betono bandinių stipris gniuždant daugeliu atvejų (70 % visų C25/30 klasės bandinių) tenkino C30/37 betono stiprio gniuždant reikalavimus.

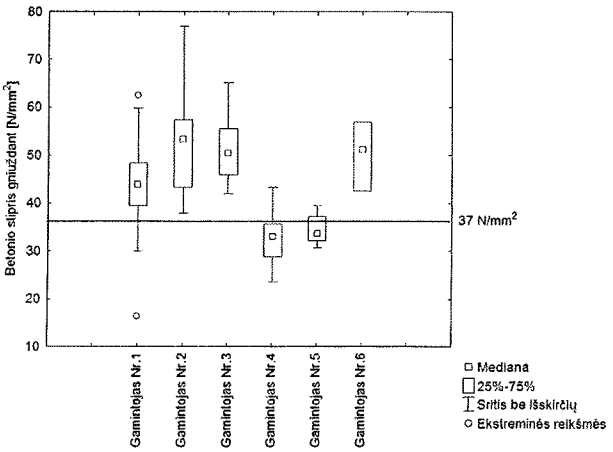


5 pav. Betono klasės C30/37 gniuždomojo stiprio histograma ir normalinio skirstinio kreivė

Tolesnei analizei pasirinkta kelių dangoms naudojamo bei didžiausios imties C30/37 betono bandinių stiprio gniuždant verčių kitimo vertinimas. Šios betono klasės imties dydis n = 218 bandiniai, aritmetinis vidurkis x = 44,3 N/mm^2, standartinis nuokrypis s = 9,6 N/mm^2. Šios markės betono bandinių imties stiprio gniuždant verčių normališkumui nustatyti taikytas χ^2 kriterijus, kai reikšmingumo lygmuo p = 0,0797. Betono C 30/37 klasės stiprio gniuždant verčių histograma ir normalinio skirstinio kreivė pateiktos 5 pav.

Iš 5 pav. matyti, kad daugiausiai 22 % (49 iš 218 bandinių) reikšmių yra intervale nuo 40 iki 45 N/mm^2. Nustatyta, kad 22,5 % (49 iš 218) bandinių reikšmių nepasiekė norminio stiprio ir buvo mažesnės už 37 N/mm^2.

6 pav. pateiktos betono C30/37 klasės stiprio gniuždant verčių skaida priklausomai nuo gamintojo.



6 pav. Atskirų gamintojų betono C30/37 klasės stiprio gniuždant verčių sklaida

Iš 6 pav. matyti, kad tos pačios betono klasės stiprio gniuždant vidurkiai kinta 52,3 ÷ 32,5 N/mm^2 ir priklauso nuo gamintojo. Gamintojų Nr. 2, Nr. 3 ir Nr. 5 bandinių stiprio gniuždymui vertės yra didesnės už 37 N/mm^2. Mažiausia reikšmė 16,3 N/mm^2 gauta 1 bandinyje iš 115 (gamintojo Nr. 4) ir yra 37 % mažesnė už vidutinį 43,8 N/mm^2 šio gamintojo gaminamos produkcijos, todėl nėra vertinama kaip kokybinis rodiklis. Gamintojo Nr. 4 ir Nr. 5 bandinių stipris gniuždant 81,8 % (27 iš 33) ir 60,0 % (2 iš 5) buvo mažesnis už 37 N/mm^2.

Gamintojo Nr.1 ištirta 115 betono bandinių ir nustatyta, kad 50 % (58 iš 115) bandinių stipris gniuždant yra intervale 39,5 ÷ 48,4 N/mm^2. Šios srities vidurkis (mediana) – 43,8 N/mm^2 ir yra 46 % didesnis už norminį stiprį. Apskaičiuotas standartinis nuokrypis – 7,5 N/mm^2.

Gamintojo Nr. 2 betono stipris gniuždant atliktas 31 bandiniui ir nustatyta, kad gaminamos produkcijos stipris gniuždant kinta 38 ÷ 77 N/mm^2 ribose, aritmetinis vidurkis – 52,3 N/mm^2 ir yra 41,4 % didesnis už norminį C30/37 klasės stiprį. Šio gamintojo bandinių stiprio gniuždant verčių standartinis nuokrypis didžiausias – 9,5 N/mm^2.

Gamintojo Nr. 3 ištirta 31 betono bandinys ir nustatyta, kad stipris gniuždant kinta 41,9 ÷ 65,2 N/mm^2 ribose, aritmetinis vidurkis – 51,3 N/mm^2 ir yra 38,7 % didesnis už 37,0 N/mm^2. Standartinis nuokrypis – 6,2 N/mm^2.

Gamintojo Nr. 4 stipris gniuždant nustatytas 33 betono bandiniams, gautos vertės kinta 23,6 ÷ 43,3 N/mm^2, aritmetinis vidurkis – 32,5 N/mm^2, o standartinis nuokrypis 5,1 N/mm^2.

Dėl mažos imties negalima vienareikšmiškai vertinti gamintojų Nr. 5 (n = 5) ir Nr.6 (n = 3) betono stiprio gniuždant, todėl šių gamintojų produkcijos rodikliai nėra detalizuojami.

Atlikus tyrimą nustatyta, kad gamintojo Nr. 4 pagaminto betono 81,8 % neatitinka norminio stiprio gniuždant. Gamintojas Nr. 2 ir Nr. 3 gamina 41,4 % ir 38,7 % stipresnį už norminį 37 N/mm^2 betono stiprį gniuždant. Nustatyta, kad betono stiprio gniuždant standartinis nuokrypis didžiausias gamintojo Nr. 2 bandiniams – 9,5 N/mm^2. Eksperimentinio tyrimo metu nustatyta, kad Lietuvoje gaminamo betono stipris gniuždant kinta plačiose ribose ir priklauso nuo konkretaus gamintojo.

Išvados

1. Betono dangos naudojamos susisiekimo komunikacijų tiesyboje nuo 1891 metų yra ilgaamžės ir tinkamai įrengtos gali tarnauti iki dviejų kartų ilgiau nei asfalto dangos.

2. Betono dangų projektavimui, klojimui ir priežiūrai yra keliami specialūs reikalavimai, kurie nereglamentuojami arba dalinai reglamentuojami Lietuvoje galiojančiuose norminiuose dokumentuose.

3. Pagrindinis betono dangų taikymo trūkumas yra iki 30 % didesni įrengimo kaštai, lyginant su asfalto dangomis, ir vėlesnis kelio eksploatacijos pradžios periodas, dėl betono tvirtėjimo termino.

4. Lietuvos gamintojų gaminamo betono stipris gniuždant priklauso nuo betono klasės ir kinta labai plačiose ribose, tačiau daugeliu atvejų tenkina konkrečios klasės stiprio gniuždant reikalavimus.

5. Automobilių kelių dangoms naudojamo betono C30/37 stiprio gniuždant aritmetinio vidurkio vertė kito nuo 32,5 N/mm^2 (gamintojas Nr. 4) iki 52,3 N/mm^2 (gamintojas Nr. 2). Tai rodo, kad Lietuvoje gaminamo betono stipris gniuždant skiriasi priklausomai nuo gamintojo gamybos proceso.

6. Remiantis eksperimentinio tyrimo rezultatais betono gamintojams rekomenduojama dažniau tikrinti gaminamos produkcijos kokybę ir atitinkamai reguliuoti gamybos procesą.

7. Tiesiant Lietuvos automobilių keliuose standžias dangas būtina nustatyti ir apibrėžti norminiais dokumentais kelių tiesimui naudojamo betono fizinių ir mechaninių savybių kontrolės metodus.

Literatūra

Delatte, N. 2008. Concrete pavement design, construction and performance. *Taylor & Francis Group*. ISBN 0-203-96108-0. 371 p.

Griffiths, G.; Thom, N. 2007. Concrete Pavement design Guidance Notes. *Taylor and Francis Group*. London and New York. 165 p.

Hadi, M. N. S.; Arfiadi, Y. 2001. Optimum rigid pavement design by genetic algorithms. *Computers and Structures 79*, 1617–1624p.

Hall, K.; Dawood, D.; Vanikar, S. et al. 2007. Lon-Life Concrete Pavements in Europe and Canada. *International Technology Scanning Program. Report No. FHWA-PL-07-027.* 80 p. http://www.cement.org/pavements/pv_cp_highways.asp.

Jasienski, A. 2006. A Galance at the Belgian experience in concrete pavement. Spacial edition on the occasion of the 10th International Symposium on Concrete Roads, Brussel. *Published by: Federation of the Belgian Cement Industry.* 93 p.

Lietuvos automobilių kelių direkcija prie Susisiekimo ministerijos. 2008. Automobilių kelių standartizuotų dangų konstrukcijų projektavimo taisyklės KPT SDK 07.

LST EN 12390-3:2009. Sukietėjusio betono bandymai. 3 dalis. Bandinių gniuždymo stipris. Lietuvos standartizacijos departamentas. 18 p.

LST EN 206-1:2002. Betonas. 1 dalis. Techniniai reikalavimai, savybės, gamyba ir atitiktis. Lietuvos standartizacijos departamentas. 68 p.

Packard, R. G. 1994. Pavement Costs and Quality. *Concrete International* 16(8). August.

Palšaitis, E.; Vidugris, L. 1999. Automobilių kelių projektavimas. Teorija ir praktika. Vilnius. 440 p.

Pasko Jr., T. J. 1998. Concrete Pavements – Past, Present and Future. U.S. Departtment of Transportation Federal Highway Administration. *Public Roads* 62(1). July/August.

Portland Cement Association. 1991. Concrete Paving – 100 Years of Prigress Through Innovation. *Concrete in Highway Transportation. PCS 75th Anniversary. No.10.* 12 p. Prieiga per internetą: Sunghwan, K.; Kasthurirangan, G.; Halil, C.; Kejin, W. 2010. Early-age response of concrete pavements to temperature and moisture variations, *The Baltic Journal of Road and Bridge engineering* 5(3): 132–138.

Šiaudinis, G. 2007. Lietuvos automobilių kelių nestandžių dangų konstrukcijų stiprumo nustatymo metodai. Daktaro disertacija. 150 p.

ZTV Beton-StB 07 für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton. Bekanntmachung der Obersten Baubehörde im Bayerischen Staatsministerium des Innern vom 10. November 2008, Az.: IID9-43415-003/08. 104 p.