



Henrikas SIVILEVIČIUS

KELIŲ DANGOS TIESIMO IR JŲ PRIEŽIŪROS TECHNOLOGIJOS

Projekto kodas
VP1-2.2-ŠMM 07-K-01-023

Studijų programų atnaujinimas
pagal ES reikalavimus, gerinant
studijų kokybę ir taikant
inovatyvius studijų metodus

Vilnius „Technika“ 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Henrikas SIMILEVIČIUS

KELIŲ DANGOS TIESIMO IR JŲ PRIEŽIŪROS TECHNOLOGIJOS

Praktinių darbų metodikos nurodymai



Vilnius „Technika“ 2012

H. Sivilevičius. Kelių dangos tiesimo ir jų priežiūros technologijos: praktinių darbų metodikos nurodymai. Vilnius: Technika, 2012. 103 p. [3,90 aut. l. 2012 12 11]

Mokomojoje knygoje pateikti automobilių kelių asfaltinės dangos statybos technologijos procesų vertinimo ir valdymo originalūs metodai. Nagrinėjami veikiančių asfaltbetonio maišytuvų kokybės rodikliai ir jų svarbos nustatymo daugiatisksliai metodai. Taip pat pateikti asfaltbetonio maišytuvų atskirų įrenginių technologinių parametrų atitikties reikiams dydžiams nustatymo matematiniai modeliai. Apibūdintas šiuolaikių asfaltbetonio maišytuvų technologinių parametrų suregulavimo algoritmas, jų baigiamojo dozavimo svariųjų įrenginių tikslumo ir sklaidos parametrų statistinio skaičiavimo metodas. Uždavinių pabaigoje pateikti skaičiavimo pavyzdžiai.

Leidiny skrtas technologijos mokslų transporto inžinerijos (03T) pagrindinių studijų studentams, studijuojantiems Kelių dangos tiesimo ir jų priežiūros technologijos modulį

Leidinį rekomendavo VGTU Transporto inžinerijos fakulteto studijų komitetas

Recenzavo: prof. dr. Kazys Petkevičius, VGTU Kelių katedra,
doc. dr. Rolandas Oginskas, VGTU Kelių katedra

Leidiny parengtas ir išleistas už Europos struktūrinių fondų lėšas, jomis finansuojant VGTU Transporto inžinerijos, Biomechanikos ir Aviacinės mechanikos inžinerijos projektą „Studijų programų atnaujinimas pagal ES reikalavimus, gerinant studijų kokybę ir taikant inovatyvius studijų metodus“ pagal Lietuvos 2007–2013 m. Žmoniškųjų išteklių veiksmų programos 2 prioriteto „Mokymasis visą gyvenimą“ VP1-2.2-ŠMM-07-K priemonę „Studijų kokybės gerinimas, tarptautiškumo didinimas“. Projekto kodas Nr. VP1-2.2-ŠMM 07-K-01-023, finansavimo ir administravimo sutartis Nr. VP1-2.2-ŠMM-07-K-01-023.

VGTU leidyklos TECHNIKA 1424-S mokomosios
metodinės literatūros knyga
<http://leidykla.vgtu.lt>

Redaktorė Zita Markūnaitė
Maketuotoja Daiva Šepetauskaitė

eISBN 978-609-457-369-9
doi:10.3846/1424-S

© Henrikas Sivilevičius, 2012
© Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2012

TURINYS

Įvadas	5
1 uždavinys. Ekspertinių tyrimų taikymas nustatant asfaltbetonio maišytuvo kokybės rodiklių svarbą	6
1.1. Ekspertinių tyrimų metodų taikymo vertinant transporto technologinių sistemų efektyvumą pagrindimas, užduotis ir uždavinio duomenys	6
1.2. Ekspertų nuomonių suderinamumo nustatant transporto technologinio įrenginio kokybę rodančių kriterijų svarbą skaičiavimo metodika	10
1.3. Asfaltbetonio maišytuvo kokybės rodiklių svarbos ir ją nustatiusių ekspertų nuomonių suderinamumo skaičiavimo pavyzdys	18
2 uždavinys. Naudoto asfaltbetonio maišytuvo kokybės modeliavimas ir kompleksinio vertinimo kriterijų skaičiavimas	33
2.1. Daugiakriterių metodų taikymas vertinant technologinio įrenginio kokybę	33
2.2. ABMA kompleksiniam kokybės rodikliui turinčių įtakos kriterijų nustatymo principai	36
2.3. ABMA kokybės kriterijų kintamųjų dydžių modeliai	39
2.3.1. Asfalto mišinio sudėties atitiktis darbinei mišinio formulei (DMF)	39
2.3.2. KMA mišinio homogeniškumas maišinyje	45
2.3.3. Asfalto mišinio temperatūros ir normų atitiktis	51
2.3.4. Aplinkos oro tarša iš ABMA išmetamomis dulkėmis ir dujomis	55
2.3.5. Ekonominiai ABMA rodikliai, nulemti KMA mišinio savikainos	57
2.3.6. ABMA susidėvėjimas, techninei būklei atstatyti skirtos išlaidos	58
2.3.7. ABMA pajėgumo gaminti asfalto mišinius naudojimas	59
2.3.8. ABMA technologinis universalumas	60

2.4. ABMA kompleksinio kokybės rodiklio adityvusis modelis ir jo korektiškumo tikrinimas	62
2.5. Išvados	64
3 uždavinys. Asfaltbetonio maišytuvo tiektuvų reikiamo našumo ir dozatoriais baigiamų sverti medžiagų dozių masės skaičiavimas	66
3.1. Pradinio ir baigiamojo medžiagų dozavimo būtinybė, užduotis ir uždavinio duomenys	66
3.2. Mineralinių medžiagų tolydinių tiektuvų ir diskretinių dozatorių reikiamų parametrų skaičiavimo metodika	68
3.2.1. Šaltųjų mineralinių medžiagų tiektuvų reikiamo pradinio našumo skaičiavimas	68
3.2.2. Diskretiniais dozatoriais baigiamų sverti visų medžiagų dozių reikiamos masės skaičiavimas	74
3.3. Asfaltbetonio maišytuvo įrenginių reikiamo našumo ir medžiagų dozių skaičiavimo pavyzdys	83
3.3.1. Pradinio šaltųjų mineralinių medžiagų tiektuvų našumo apskaičiuotosios vertės	83
3.3.2. Karštųjų mineralinių medžiagų, mineralinio dulkio, mineralinių miltelių ir bitumo dozių masės apskaičiuotosios vertės	89
Literatūra	95
I priedas	99
II priedas	100
III priedas	101

IVADAS

Kelių, geležinkelių, oro ir vandens transporto infrastruktūros objektams statyti naudojami asfalto mišiniai, sudaryti iš skirtingo dydžio užpildų (mineralinių medžiagų), surištų organiniu rišikliu (bitumu) į kietą konglomeratą (asfaltbetonį). Iš asfalto tiesiama kelių važiuojamosios dalies danga ir kelkraščiai, automobilių stovėjimo aikštelės, jo sluoksnis įrengiamas po geležinkelio balastu, iš asfalto įrengiami lėktuvų kilimo ir riedėjimo takai, sudaroma uostų terminalų aikštelių danga. Dažniausiai naudojami karštai maišyti asfalto (KMA) arba šiltai maišyti asfalto (ŠMA) mišiniai, kurie gaminami ilgalaikio naudojimo technologiniuose įrenginiuose, vadinamuose asfaltbetonio maišytuvais (ABMA). Taikant tam tikrą ABMA pritaikytą KMA ar ŠMA mišinio gamybos schemą (seką) atliekamos paruošiamosios ir pagrindinės technologinės operacijos, leidžiančios iš pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų ir karšto arba šilto bitumo pagaminti nustatytos laboratoriniame projekte (darbinėje mišinio formulėje – DMF) sudėties bituminį mišinį. Kaip tiksliai šio mišinio savybės atitinka normų reikalavimus, priklauso nuo ABMA konstrukcijos ir techninės būklės, operacijų valdymo sistemos ir operatoriaus veiksmų, taip pat nuo pradinių medžiagų savybių. KMA mišinio gamybos procese naudojama elektra ir kuras (dažniausiai gamtinės dujos), kuriam degant teršiamas aplinkos oras, technologiniuose įrenginiuose sklinda dulkės. ABMA kokybės vertinimo ir valdymo originali sistema, pateikta mokomojoje knygoje, sudaryta pagal jos autoriaus mokslinius tyrimus, kurie paskelbti mokslo žurnaluose ir pritaikyti praktikoje priimant sprendimus, naudojant seną ar norint pirkti naują (vietoje jo) ABMA. Išmokę spręsti pateiktus uždavinius, absolventai gebės tirti ir vertinti ABMA, kurie priskiriami vieniems iš sudėtingiausių transporto technologinių įrenginių.

1 UŽDAVINYS.

EKSPERTINIŲ TYRIMŲ TAIKYMAS NUSTATANT ASFALTBETONIO MAIŠYTUVO KOKYBĖS RODIKLIŲ SVARBĄ

1.1. Ekspertinių tyrimų metodų taikymo vertinant transporto technologinių sistemų efektyvumą pagrindimas, užduotis ir uždavinio duomenys

Tikslas – supažindinti su ekspertinių tyrimų metodų principais, galimybėmis ir suteikti praktinių žinių juos taikyti vertinant transporto technologines sistemas.

Ekspertu vadinamas mokslo, meno, technologijų, ar kitų sričių žinovas, kviečiamas atsakyti į klausimus, reikalaujančius specialių žinių. Šis terminas kilęs iš lotynų kalbos žodžio *expertus* – įgudęs, prityręs.

Vis sudėtingesnis šalies ūkio valdymas reikalauja veiklos tikslų ir uždavinių, taip pat būdų ir priemonių jiems pasiekti išsamios analizės. Dažnai reikia nustatyti ir įvertinti atskirų veiksmų įtaką darbo efektyvumui ir kokybei didinti. Sprendžiant ekonomines, socialines ir technines problemas, lyginant skirtingų technologijų arba inovacijų projektus, prognozuojant proceso plėtrą, vertinant skirtingas veiklos strategijas arba objekto strateginį potencialą, neįmanoma apsieiti be specialistų (ekspertų) pagalbos. Ekspertų nuomonės ir požiūris į sprendžiamą problemą dažnai skiriasi, gali būti ir prieštaringas (Podvezko 2005).

Ekspertinių vertinimų metodo esmė ta, kad jis leidžia racionaliai organizuoti ekspertų atliekamą problemos, taikant kiekybinę nuomonių įvertinimą ir jų rezultatų apdorojimą, analizę. Apibendrinta ekspertų grupės nuomonė imama kaip problemos sprendinys (sprendimo rezultatas). Jei reikia priimti sprendimą ekspertų vertinimų pagrindu, būtina įvertinti ekspertų nuomonių suderinamumo laipsnį. Labai svarbu nustatyti ekspertų nuomonių suderinamumą, taikant daugiakriterių vertinimų metodus (Завадскас 1987).

Ekspertų grupės vertinimų patikimumas priklauso nuo atskirų ekspertų žinių lygio ir narių skaičiaus. Imant prielaidą, kad ekspertai

yra pakankamai tikslūs vertintojai, galima teigti, jog didėjant jų skaičiui visos ekspertų grupės ekspertizės patikimumas didėja. Eksperto kompetencijos laipsnis kiekybiškai vertinamas kompetencijos koeficientu. Kompetentingumas – eksperto kvalifikacijos laipsnis tam tikroje žinių srityje.

Apklauso rūšis iš esmės nulemia ekspertinio vertinimo metodo atmainą (variantą). Svarbiausi apklauso metodai yra: anketavimas, interviu, smegenų šturmas, Delfos metodas, diskusija (Евланов 1984: 137). Vieno ar kito metodo parinkimas priklauso nuo ekspertizės tikslų, sprendžiamos problemos esmės, pradinės informacijos, išsamumo ir patikimumo, turimo laiko ir apklausai atlikti reikiamų išlaidų.

Anketuojant eksperto apklauso duomenys surašomi į anketą. Anketos klausimus galima klasifikuoti pagal turinį ir tipą. Pagal turinį klausimai skirstomi į 3 grupes: pirmoji – objektyvūs duomenys apie ekspertą (amžius, išsilavinimas, pareigos, specialybė, darbo stažas ir kt.); antroji – pagrindiniai analizuojamos problemos esmės klausimai; trečioji – papildomi klausimai, leidžiantys nustatyti informacijos šaltinius, atsakymų argumentavimą, eksperto savo kompetencijos įvertinimą. Pagal tipą pagrindiniai klausimai klasifikuojami į atviruosius, uždaruosius ir su atsakymų vėduokle [Евланов 1984: 138].

Be anketos pateikiamas kreipimasis į ekspertus – aiškinamasis raštas, kuriame nurodomi ekspertizės tikslai ir uždaviniai, surašoma ekspertui būtina informacija, nurodoma anketos pildymo instrukcija ir būtinos organizacinės žinios.

Atlikus ekspertų grupės apklausą apdorojami duomenys. Rezultatų apdorojimo pradinė informacija yra skaitiniai duomenys, rodantys ekspertų teikiamą pirmenybę, ir šių pirmenybių (gerumo, svarbos) turiningas pagrindimas. Apdorojimo tikslas – gauti apibendrintus duomenis ir naują informaciją ekspertų paslėpta vertinimų forma. Pagal apdorojimo rezultatus formuluojamas problemos sprendimas.

Tarkim, kad yra daugiau kaip 2 ranginiai kintamieji. Atrodytų, jog norint įvertinti šių kintamųjų priklausomybę, pakaktų rasti kintamųjų porų koreliacijos koeficientą (pavyzdžiui, Kendalo), o paskui gautas reikšmės suvidurkinti. Tačiau net ir esant palyginti nedideliame kintamųjų skaičiui, koreliacijos koeficientą tektų daug kartų skai-

čiuoti. Pavyzdžiui, jei būtų 6 kintamieji, tai koreliacijos koeficientus tektų skaičiuoti $\binom{6}{2} = 15$ kartų. Išėitis – konkordancijos koeficientas (Čekanavičius, Murauskas 2004: 40). Dviejų ekspertų nuomonių suderinamumą kiekybiškai gali rodyti koreliacijos koeficientas. Jei ekspertų skaičius didesnis negu du, grupės ekspertų suderinamumo lygį rodo konkordancijos koeficientas (Кендэл 1975).

Tarptautinių žodžių žodyne pateiktas **konkordancijos** termino, kilusio iš lotynų kalbos *concordantis*, apibrėžimas, kuris reiškia „dermė, sutikimas“ ir rodo dvynių požymių sutapimą, o **konkordantiškas** – reiškia „panašus, turintis tokius pat būdingus požymius, darnus“.

Kokia konkordancijos koeficiento skaičiavimo logika? Apskaičiuotoji visų kriterijų rangų nuokrypių nuo vidurkio kvadratų suma S parodo, ar ekspertų vertinimai labai skiriasi nuo bendrojo vidutinio vertinimo. Todėl ekspertizės patikimumas gali būti išreiškiamas ekspertų nuomonių konkordancijos koeficientu W , rodančiu individualių nuomonių panašumo laipsnį. Konkordancijos koeficiento W reikšmių aibė yra $[0, 1]$, t. y. $0 \leq W \leq 1$. Kuo didesnis W , tuo stipresnė kintamųjų koreliacija. Kai visi rangai sutampa, tai $W = 1$.

Įteikus ekspertams (respondentams) $E_1, E_2, \dots, E_n$ tyrėjo parengtą anketą, prašoma, kad jie, vadovaudamiesi žiniomis, patirtimi ir nuojauta, suteiktų objekto kokybės kriterijams $X_1, X_2, \dots, X_m$ kiekybinius svarbos įverčius (balus – $B_1, B_2, \dots, B_m$). Didžiausias balas (sveikasis teigiamas skaičius) suteikiamas svarbiausiam kokybės kriterijui, vienetu mažesnius – antram pagal svarbą kriterijui, o mažiausias – mažiausiai svarbiu kriterijui (paprastai – 1 balas). Didžiausio balo skaitinė vertė pasirenkama priklausomai nuo objekto kokybę rodančių kriterijų skaičiaus n . Pavyzdžiui, kai kriterijų dešimt arba mažiau, svarbiausiam kriterijui suteikiama 10 balų (didžiausias balas gali būti ir mažesnis kaip 10). Praleistų balų, vienodų (susietų) ar trupmeninių balų respondento užpildytoje anketoje gali, bet neturėtų būti, nes tai darytų skaičiavimus sudėtingesnius, o vertinimo tikslumas nepadidėtų.

Iš ekspertų užpildytų ir tyrėjui gražintų anketų eilute ($i = 1, 2, \dots, n$) surašomi kiekvieno eksperto (respondento) objekto kokybės kri-

terijams ($j = 1, 2, \dots, m$) suteikti svarbos įverčiai (balai), užpildant 1.1 lentelę. Galima lentelės eilutėse rašyti objekto kriterijų, o stulpeliuose – kiekvieno eksperto šiems kriterijams suteiktus balus. Tačiau kai ekspertų daug, patogesnė 1.1 lentelės struktūra.

1.1 lentelės kiekvieno individualaus varianto duomenys laikomi užduoties duomenimis, kuriuos bakalaurantas arba magistrantas panaudoja vertindamas transporto technologinio įrenginio kokybę rodančių kriterijų svarbą.

Užduotis. Pagal dėstytojo pateiktus arba paties tyrėjo (bakalauranto, magistranto, doktoranto) sugeneruotus (iš jo patirties, žinių ir nuojaustos surašytus) ar ekspertiniais tyrimais gautus asfaltbetonio maišytuvo kokybės rodiklių svarbos įverčius (balus) apskaičiuoti vidutinį rangą, Kendalo rangų konkordancijos koeficientą W ir nustatyti jo reikšmingumą taikant χ^2 (angl. *chi-kvadrat*) skirstinį. Ataskaitoje pateikti reikiamas lenteles, skaičiavimų seką, rezultatus (nubraižyti kokybės kriterijų vidutinių rangų stulpelinę diagramą, svarbos rodiklių laužčių diagramą) ir suformuluoti išvadas.

1.1 lentelė. Transporto technologinio įrenginio kokybės rodikliams ekspertų (respondentų) suteikti svarbos įverčiai (balai) B_{ij}

Eksperto (respondento) kodas		Kriterijaus (kokybės rodiklio) žymuo, $j = 1, 2, \dots, m$			
		X_1	X_2	$\dots$	X_m
$i = 1, 2, \dots, n$	$E1$	B_{11}	B_{12}	$\dots$	B_{1m}
	$E2$	B_{21}	B_{22}	$\dots$	B_{2m}
	$E3$	B_{31}	B_{32}	$\dots$	B_{3m}
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	E_n	B_{n1}	B_{n2}	$\dots$	B_{nm}
Balų suma $\sum_{i=1}^n B_{ij} = B_j$		B_1	B_2	$\dots$	B_m

1.2. Ekspertų nuomonių suderinamumo nustatant transporto technologinio įrenginio kokybę rodančių kriterijų svarbą skaičiavimo metodika

Parinktų n ekspertų grupė kiekybiškai vertina m objektų (kokybės rodiklių). Vertinimai R_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, m$) sudaro n eilučių ir m stulpelių lentelę (matricą) $\mathbf{R}$. Ekspertai gali vertinti laukiamąją reikšmę R_{ij} skirtingu būdu. Vertinti gali būti pritaikyta bet kokia matavimų skalė, pavyzdžiui, rodiklio vienetais, vieneto dalimis, procentais, dešimties balų sistemoje arba porinio lyginimo *Saaty* skalė. Konkordancijos koeficientui skaičiuoti tinka tik ekspertų rodiklių rangavimas (Podvezko 2005).

Jei ekspertų vertinimai buvo bet kokio kitokio pavidalo, juos preliminarieji reikia ranguoti. Rangavimas yra procedūra, kai pačiam svarbiausiam rodikliui suteikiamas rangas, lygus vienetui, antram pagal svarbą – rangas, lygus dviem, ir t. t., paskutiniam pagal svarbą – rangas, lygus m ; čia m – lyginamų rodiklių skaičius. Ekvivalentiniams rodikliams suteikiama vienoda reikšmė – eilinių rangų aritmetinis vidurkis. Tada, jeigu dviem rodikliams eilės tvarka rangai būtų, pavyzdžiui, 3 ir 4, bet rodiklių svarba, kaip mano ekspertas, vienoda, tai jiems abiem suteikiamas vienodas rangas 3,5.

Turint ekspertų (respondentų) transporto technologinio įrenginio (pavyzdžiui, asfaltbetonio maišytuvo) arba kito transporto sistemos elemento (objekto) kokybės rodikliams 1.1 lentelėje suteiktus svarbos įverčius (balus), jų nuomonių suderinamumas nustatomas skaičiuojant Kendalo rangų konkordancijos koeficientą W . Tam visų pirma kiekvienam kriterijui suteiktus balus B_{ij} būtina pakeisti rangais R_{ij} (1.2 lentelė), rodančiais hierarchiją (pirmumą), nepaisant to, kad vietoje rangų taikant įverčius (balus) gaunamas toks pat W . Terminas „rangas“ kilęs iš vokiečių ir prancūzų kalbų žodžių *rang* – eilė. Tai hierarchijos lygmuo hierarchinėje sistemoje. Todėl svarbiausiam kriterijui suteiktas didžiausias įvertis (balas) paverčiamas skaičiumi 1, t. y. pirmoji vieta (rangas). Antrajam pagal svarbą kriterijui suteikiamas rangas 2 ir t. t. Balus B_{ij} rangais R_{ij} galima keisti taikant (1.1) formulę

$$R_{ij} = (m + 1) - B_{ij}, \quad (1.1)$$

čia B_{ij} – i -ojo eksperto ($i = 1, 2, \dots, n$) j -ajam kriterijui suteiktas svarbos įvertis (balas) ($j = 1, 2, \dots, m$); n – ekspertų (respondentų) skaičius; m – kriterijų (kokybės rodiklių) skaičius.

Pavyzdžiui, devynių kriterijų objekto kiekvieno kriterijaus rangus R_{ij} gauname iš formulės $R_{ij} = 10 - B_{ij}$, o septynių kriterijų – iš formulės $R_{ij} = 8 - B_{ij}$.

Eksperto visiems vertinamo objekto kokybės kriterijams suteiktų balų ir rangų suma dažniausiai būna vienoda.

Kendalo (Кендел 1975) dispersinio konkordancijos koeficiento idėja susijusi su kiekvieno rodiklio (kriterijaus) rangų suma R_j visų ekspertų atžvilgiu:

$$R_j = \sum_{i=1}^n R_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, m), \quad (1.2)$$

tiksliau – su dydžių R_j nuokrypiu nuo bendro vidurkio $\bar{R}$ kvadratų sumos S (dispersijos analogas):

$$S = \sum_{j=1}^m (R_j - \bar{R})^2. \quad (1.3)$$

Bendras vidurkis $\bar{R}$ skaičiuojamas pagal formulę:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{j=1}^m R_j}{m} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{ij}}{m}. \quad (1.4)$$

Jei ekspertai vienodai įvertintų visus rodiklių rangus, tai svarbiausias rodiklis turėtų rangą vieneta ir šių rodiklių visų ekspertų rangų suma būtų lygi n , antrojo pagal svarbumą rodiklio – $2n$ ir t. t., o paskutiniojo rodiklio – nm . Šis atvejis ekspertų nuomonių suderinamumo atžvilgiu yra idealus. Visų n ekspertų m rodiklių rangų suma

$$\sum_{j=1}^m R_j = \frac{1}{2} nm(m + 1) \quad (1.5)$$

ir bendras vidurkis

$$\bar{R} = \frac{1}{2} n(m+1) \quad (1.6)$$

priklauso tik nuo m ir n dydžių ir nepriklauso nuo suderinamumo lygio.

Vidutinį rangą $\bar{R}_j$ ir konkordancijos koeficientą W patogų skaičiuoti matrica, kurios struktūra pateikta 1.2 lentelėje. Jos stulpeliuose pateikti kriterijai ($j = 1, 2, \dots, m$), eilutėse – ekspertai ($i = 1, 2, \dots, n$), o langeliuose – ekspertų kriterijams suteikti (apskaičiuoti) rangai R_{ij} .

1.2 lentelė. Ekspertų nuomonių rangai ir jų naudojimas vidutiniam rangui bei Kendalo konkordancijos koeficiento W vertei nustatyti

Eksperto (respondento) kodas		Kriterijaus (kokybės rodiklio) žymuo ir jo rangas ($j = 1, 2, \dots, m$)			
		X_1	X_2	$\dots$	X_m
I = 1, 2, ..., n	$E1$	R_{11}	R_{12}	$\dots$	R_{1m}
	$E2$	R_{21}	R_{22}	$\dots$	R_{2m}
	$E3$	R_{31}	R_{32}	$\dots$	R_{3m}
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
	E_n	R_{n1}	R_{n2}	$\dots$	R_{nm}
Rangų suma $\sum_{i=1}^n R_{ij}$		$\bar{R}_1$	$\bar{R}_2$	$\dots$	R_m
Vidutinis rangas $\bar{R}_j = \frac{\sum_{j=1}^n R_{ij}}{n}$		$\bar{R}_1$	$\bar{R}_2$	$\dots$	$\bar{R}_m$
$\sum_{i=1}^n R_{ij} - \frac{1}{2} n(m+1)$					
$\left[\sum_{i=1}^n R_{ij} - \frac{1}{2} n(m+1) \right]^2$					

Vidutinis kiekvieno kriterijaus rangas $\bar{R}_j$ gaunamas jam suteiktų rangų sumą dalinant iš ekspertų skaičiaus

$$\bar{R}_j = \frac{\sum_{i=1}^n R_{ij}}{n}, \quad (1.7)$$

čia R_{ij} – i -ojo eksperto j -ajam kriterijui suteiktas rangas, n – ekspertų skaičius.

Jei S yra reali kvadratų suma, apskaičiuota pagal (1.3) formulę, tai konkordancijos koeficientas, kai nėra susietų rangų, apibrėžiamas gautos S ir atitinkamos didžiausios $S_{\max}$ santykiu (Евланов 1984; Кремер 2003; Завадскас 1987):

$$W = \frac{12S}{n^2 m(m^2 - 1)} = \frac{12S}{n^2(m^3 - m)}. \quad (1.8)$$

Kiekvieno kriterijaus (objekto) rangų R_{ij} nuokrypių nuo vidutinio rango kvadratų sumą S patogiu skaičiuoti formule

$$S = \sum_{j=1}^m \left[\sum_{i=1}^n R_{ij} - \frac{1}{2} n(m+1) \right]^2, \quad (1.9)$$

čia m – objektų (kriterijų) skaičius ($j = 1, 2, \dots, m$); n – ekspertų (respondentų) skaičius ($i = 1, 2, \dots, n$).

Atsitiktinio dydžio S vertė skaičiuojama 1.2 lentelėje sudėjus paskutinės eilutės visiems objektams nustatytas vertes.

Naudojant žinomų m natūraliųjų skaičių ir jų kvadratų sumų formules nesunku įrodyti, kad kvadratų suma S , apskaičiuota pagal (1.3) formulę, šiuo idealiu suderintu atveju lygi (Podvezko 2005):

$$S_{\max} = \frac{n^2 m(m^2 - 1)}{12}. \quad (1.10)$$

Tai yra didžiausia įmanoma dydžio S reikšmė, kai ekspertų nuomonės absoliučiai suderintos, t. y. kai visų ekspertų vertinimai vieningi. Priešingas, t. y. blogiausias (nevieningas) ekspertų vertinimas, bus tuo atveju, kai vertinimai bus visiškai prieštaringi, t. y. jei kiekvienam objektui vertinti naudojami visi įmanomi rangai nuo vieno iki m , kada kiekvieno rodiklio rangų suma vienoda ir sutampa su bendru vi-

durkiu. Šiuo atveju S dydžio vertė lygi nuliui, nors toks rezultatas praktikoje gali pasitaikyti labai retai ir gali būti traktuojamas kaip teorinis, ribinis (Podvezko 2005).

Konkordancijos koeficientas gali būti taikomas praktikoje, jei nustatyta jo ribinė reikšmė, kada ekspertų vertinimus dar galima laikyti suderintais. Кендэл (1975) įrodė, kad jeigu objektų (kriterijų) skaičius $m > 7$ konkordancijos koeficiento reikšmingumas gali būti nustatytas naudojant χ^2 (angl. *chi-kvadrat*) Pirsono kriterijų.

Atsitiktinis dydis

$$\chi^2 = n(m-1)W = \frac{12S}{nm(m+1)} \quad (1.11)$$

pasiskirstęs pagal χ^2 skirstinį esant $\nu = m - 1$ laisvės laipsniui. Pagal pasirinktą reikšmingumo lygmenį α (praktikoje α reikšmė imama 0,05 arba dar griežtesnė 0,01) iš χ^2 skirstinio lentelės (1 priedas) esant $\nu = m - 1$ laisvės laipsniui nustatome kritinę reikšmę $\chi_{kr}^2 = \chi_{\nu;\alpha}^2$. Jei apskaičiuota pagal (1.11) formulę χ^2 reikšmė didesnė už χ_{kr}^2 , tai rodo, kad ekspertų vertinimai suderinti.

Kada lyginamų rodiklių (objektų) skaičius m yra nuo 3 iki 7, χ^2 skirstinį reikia taikyti atsargiai, nes skirstinio kritinė χ_{kr}^2 vertė gali būti didesnė už apskaičiuotą, nors ekspertų nuomonių suderinamumo lygis yra dar pakankamas. Tokiu atveju galima taikyti konkordancijos koeficiento tikimybines lenteles arba kritinių reikšmių S lenteles (esant $3 \leq m \leq 7$) (Евланов 1984; Podvezko 2005; Кендэл 1975).

Praktikoje būna atvejų, kai du arba keletas objektų (kriterijų) yra labai panašūs ir negalima suteikti pirmenybės nė vienam iš jų. Sakoma, kad tie objektai yra susiję (susieti). Šiuo atveju visiems susijusiems objektams priskiriamas vienodas rangas – eilinių rangų aritmetinis vidurkis. Pavyzdžiui, jei yra keturi objektai ir jų rangų eilės numeriai 2, 3, 4 ir 5, tai visiems priskiriamas vienodas rangas $\frac{1}{4}(2+3+4+5) = 3,5$.

Įrodyta, kad konkordancijos koeficientas šiuo atveju skaičiuojamas pagal formulę (Евланов 1984; Завадскас 1987; Podvezko 2005; Кендэл 1975):

$$W = \frac{12S}{n^2 m(m^2 - 1) - n \sum_{i=1}^n T_i}. \quad (1.12)$$

(1.12) formulėje i -ojo eksperto susietų rangų rodiklis T_i skaičiuojamas pagal formulę

$$T_i = \sum_k^{H_i} (t_k^3 - t_k), \quad (1.13)$$

čia H_i – lygių (vienodų, susietų) rangų, suteiktų i -ojo eksperto, skaičius; t_k – lygių susietų rangų k -asis grupės skaičius. Jei susietų rangų nėra, tai $H_i = 0$, $t_k = 0$, tada $T_i = 0$ ir formulės (1.8) ir (1.12) sutampa.

Atitinkama χ^2 reikšmė, apskaičiuota pagal (1.11) formulę, dabar turi pavidalą:

$$\chi^2 = n(m-1)W = \frac{12S}{nm(m+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n T_i}. \quad (1.14)$$

(1.14) išraiškos vardiklis gali tik sumažėti lyginant su (1.8) formule, todėl χ^2 reikšmė, apskaičiuota pagal (1.14) formulę, įvertinus susietus rangus, atitinkamai gali tik padidėti ir nebūtina skaičiuoti susietų rangų rodiklio T_i (1.13) ir atitinkamos χ^2 reikšmės (1.14), jei ekspertų suderinamumas įrodytas ir be susietų rangų vertinimo, t. y. skaičiuojant W ir χ^2 vertes pagal (1.8) ir (1.11) formules (Podvezko 2005).

Mažiausia konkordancijos koeficiento $W_{\min}$ reikšmę, kuriai esant dar negalima teigti, kad visų n ekspertų nuomonės apie iš m lyginamų kriterijų sudaryto tiriamojo objekto kokybę, esant nustatytajam (reikiamam) svarbumo lygmeniui α ir laisvės laipsniui $\nu = m - 1$, yra suderintos, galima apskaičiuoti taikant šią formulę:

$$W_{\min} = \frac{\chi_{\nu, \alpha}^2}{n(m-1)}, \quad (1.15)$$

čia $\chi_{\nu, \alpha}^2$ – kritinė Pirsono statistika, kurios vertė randama lentelėje (1 priedas), imant laisvės laipsnį ir α reikšmingumo lygmenį ($\chi_{\nu, \alpha}^2 = \chi_{kr}^2$).

Dažnai praktikoje atliekant kai kuriuos skaičiavimus patogiau taikyti reikšmingumo rodiklius, kurių geriausia vertė yra didžiausia vertė (Завадскас 1987: 109).

Kai objekto kokybė vertinama adityviuoju matematiniu modeliu, pagal kurį apskaičiuojamas jo kokybės kompleksinis rodiklis, leidžiantis vienu skaičiumi nustatyti jo kokybę ir ją lyginti su analogiškais kitais objektais, tai šiam tikslui patogu naudoti ne kriterijų vidutinius rangus $\bar{R}_j$, kurie nerodo, kiek vienas už kitą rangai yra svarbesni, bet jų svarbumo rodiklius Q_j .

Svarbumo rodikliai darbe (Завадскас 1987: 109) išspręstame pavyzdyje buvo nustatyti taip: objekto kiekvieno kriterijaus vidutinis rangas $\bar{R}_j$ buvo dalinamas iš visiems objekto kriterijams pastoviojo dydžio – rangų sumos $\sum_{j=1}^m R_j$, t. y. apskaičiuojamas dydis

$$\bar{q}_j = \frac{\bar{R}_j}{\sum_{j=1}^m R_j}. \quad (1.16)$$

Iš (1.16) formulės apskaičiuotų $\bar{q}_j$ verčių suma visada būna lygi 1,000. Normalizavus rangus geriausias (svarbiausias) kriterijus yra tas, kurio apskaičiuotoji vertė yra mažiausia. Galutinės vertės buvo nustatytos dviem veiksmis. Pradžioje kiekvienam kriterijui apskaičiuotas atvirkštinis $\bar{q}_j$ dydis, gautas iš 1 atėmus $\bar{q}_j$, t. y.:

$$d_j = 1 - \bar{q}_j = 1 - \frac{\bar{R}_j}{\sum_{j=1}^m R_j}, \quad (1.17)$$

o po to apskaičiuoti kriterijų svarbumo rodikliai

$$Q_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} = \frac{d_j}{m-1}, \quad (1.18)$$

kurių suma taip pat lygi vienetui.

Taip apskaičiuoti svarbumo rodikliai Q_j didžiausi būna svarbiausio kriterijaus, kuris tinka adityviojo objekto kokybės kompleksiniam rodikliui K skaičiuoti. Tačiau pagal šią metodiką apskaičiuotieji svarbumo

rodikliai $Q_{j\max}$ mažai skiriasi nuo $Q_{j\min}$. Zavadsko E. K. (Завадский 1987) pateiktame šios metodikos taikymo pavyzdyje penkių kriterijų objekto 35 respondentų nustatytas svarbiausio kriterijaus svarbumo (svo-rio) rodiklis $Q_{j\max} = 0,225$, o mažiausiai svarbaus – $Q_{j\min} = 0,176$, t. y. skiriasi tik 1,278 karto (27,8 %), tai ši rodiklį daro labai nelankstų.

Ekspertų vertinamo objekto kokybės kriterijų normalizuotas (jų sumą prilyginant vienetui) svarbumas gali būti nustatomas skaičiuo-jant autoriaus (Sivilevičius 2011^a) siūlomą kiekvieno kriterijaus svar-bumo rodiklį Q_j iš formulės

$$Q_j = \frac{(m+1) - \bar{R}_j}{\sum_{j=1}^m \bar{R}_j}, \quad (1.19)$$

čia m – objekto kokybę (savybes) rodančių kriterijų (rodiklių) skaičius; $\bar{R}_j$ – j -ojo kriterijaus vidutinis rangas, apskaičiuotas (1.7) formule.

Patikrinama j -ajam kriterijui visų n ekspertų ($i = 1, 2, \dots, n$) su-teiktų svarbos įverčių (balų) sumą dalinant iš objekto visiems n kri-terijams ($j = 1, 2, \dots, m$) tų pačių ekspertų suteiktų visų balų sumos, paimtų iš 1.1 lentelės:

$$\tilde{Q}_j = \frac{\sum_{i=1}^n B_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m B_{ij}}. \quad (1.20)$$

Svarbumo rodiklis Q_j leidžia nustatyti ne tik tai, kad vienas kri-terijus svarbesnis už kitą (tą rodo ir vidutiniai rangai $\bar{R}_j$), bet ir kiek (kiek kartų) vienas kriterijus už kitą yra svarbesnis.

Taikant nepriklausomus kriterijų svarbumo rodiklius Q_j iš adi-tyviojo modelio galima apskaičiuoti asfaltbetonio maišytuvo arba kito objekto kompleksinį kokybės rodiklį

$$K = \sum_{j=1}^m Q_j \cdot x_j = Q_1 x_1 + Q_2 x_2 + \dots + Q_m x_m, \quad (1.21)$$

čia x_j – objekto j -ojo kriterijaus iš faktiškųjų ir leistinių arba ribinių verčių apskaičiuotas normalizuotas (bedimensis) kintamasis, kurio geriausia vertė artima 1, o blogiausia – 0.

1.3. Asfaltbetonio maišytuvo kokybės rodiklių svarbos ir ją nustačiusių ekspertų nuomonių suderinamumo skaičiavimo pavyzdys

Asfaltbetonio maišytuvas priskirtinas sudėtingiems, brangiems, ilgai veikiančioms technologiniams įrenginiams, skirtiems karštai maišyto asfalto (KMA) mišiniui gaminti, tinkančiam kelių, aerodromų, miesto gatvių ir kitų transporto statinių dangai.

1.3 lentelė. Veikiančio asfaltbetonio maišytuvo kokybės kompleksinio vertinimo kriterijų svarbos nustatymo

ANKETA (pirmojo eksperto E_1 suteikti balai B_{1i})

Eksperto (respondento) pavardė, vardas _____

Darbovietė _____

Pareigos _____

Darbo stažas metais _____

Mokslo cenzas (išsilavinimas) _____

Eil. Nr.	Asfaltbetonio maišytuvo kokybę vertinantys rodikliai – kriterijai		Svarbos įverčiai (balai) nuo 9 iki 1
1	KMA mišinio gamybos kokybė	Gaminamo asfalto mišinio sudėties (jo komponentų kiekio nuokrypių pagal IT ASFALTAS 08) atitiktis projekto reikalavimams (C)	9
2		Gaminamo asfalto mišinio temperatūros atitiktis nustatyta TRA ASFALTAS 08 temperatūrai (T)	7
3		Gaminamo asfalto mišinio homogeniškumas maišinyje, išreiškiamas jo komponentų sumaišymo kokybe (H)	8
4	Aplinkos apsauga teršiant atmosferos orą išmetamais iš asfaltbetonio maišytuvo teršalais (E)		1
5	Gamybos išlaidos, tenkančios vienai asfalto mišinio tonai (asfalto mišinio vienos tonos gamybos savikaina) (P)		6
6	Veikiančio asfaltbetonio maišytuvo fizinio ir moralinio nusidėvėjimo laipsnis (amortizacija) (W)		4
7	Asfaltbetonio maišytuvo remontui ir rekonstrukcijai reikalingos (skirtos) išlaidos (R)		5

8	Asfaltbetonio maišytuvo pajėgumų naudojimas (išnaudojimas) asfalto mišiniams gaminti (B)	2
9	Asfaltbetonio maišytuvo technologinis universalumas (gebėjimas gaminti įvairių rūšių, tipų ir markių mišinius) (U)	3

Pastaba: 1. Kuo rodiklis svarbesnis, tuo didesnis jam suteikiamas įvertis: svarbiausiajam – 9, antram pagal svarbą – 8, trečiam – 7 ir t. t., o mažiausiai svarbiam – 1.

2. Atskiriems kriterijams suteikti reikšmingumo koeficientai negali būti tokie patys (vienodi).

3. Visų kriterijų suteiktų reikšmingumo koeficientų suma $1+2+3+4+5+6+7+8+9=45$.

4. Reikšmingumo koeficientai suteikiami ne konkretaus modelio asfaltbetonio maišytuvui, o tinkantys bet kuriam maišytuvui.

5. Įvertindami Jūsų gamybinę patirtį ir kompetenciją, prašome užpildyti šią anketą neatsižvelgiant į tai, ar Jūsų įmonėje naudojami asfaltbetonio maišytuvai ir kokie yra jų modeliai.

1. Asfalto mišinių savybės, kokybės reikalavimus, gamybos technologiją, asfaltbetonio maišytuvų konstrukciją ir įrenginių techninius parametrus išmanantiems 43 specialistams (ekspertams) buvo įteiktos apklausos anketos, kuriose prašoma pateikti asfaltbetonio maišytuvo kokybę nusakančių 9 rodiklių (kriterijų) svarbos įverčius (balus). Naujo perkamo asfaltbetonio maišytuvo kokybę rodantys kriterijai būtų kiti ir jų skaičius skirtingi, nes duomenų apie jo gebėjimus gaminti kokybišką mišinį ir kitus gamybos laikotarpio eksperimentais gaunamus faktinius parametrus nėra.

Anketos forma, struktūra ir pirmojo eksperto tiriamajam objektui (asfaltbetonio maišytuvui) suteikti kriterijų svarbos balai pateikti 1.3 lentelėje.

2. Surinktų iš 43 ekspertų užpildytų anketų duomenys atsitiktine (laisva) tvarka surašomi į asfaltbetonio maišytuvo kokybės rodiklių svarbos įverčių B_j 1.4 lentelę ir susumuojami kiekvienam iš 9 kriterijų visų ekspertų suteikti balai (paskutinė 1.4 lentelės eilutė), kurie gali būti naudojami tikrinant skaičiavimus.

Maišytuvo kokybę pagal pasirinktą kriterijų arba kompleksškai tyrė skirtingų šalių mokslininkai (Sivilevičius 2001, 2002; Divinsky *et al.* 2003; Sivilevičius *et al.* 2008; Brown *et al.* 1989). Konstrukcijos tobulinimo rezultatai pateikti mokslo darbuose (Hobbs 2009) ir patentuose (Brock, Erbie 1995).

3. Taikant (1.1) formulę asfaltbetonio maišytuvo kokybės rodiklių svarbos įverčiai B_j (balai) paverčiami atitinkamais rangais R_{ij} .

Pavyzdžiui, pirmojo eksperto (E1) pirmajam kriterijui (C) suteiktas svarbos įvertis (balas) 9 atitinka rangą 1. Visų B_{ij} balų įverčiai, pakeisti rangais R_{ij} , surašomi 1.5 lentelėje.

4. Apskaičiuojama kiekvieno kriterijaus ($j=1,2,...,m$) visų 43 ekspertų suteiktų rangų suma (1.2 formulė) R_j . Šiam tikslui patogiau naudoti 1.6 lentelę, leidžiančią tiesioginiu būdu kiekvienam asfaltbetonio maišytovo kriterijui apskaičiuoti rangų kartojimosi dažnius ir susumuoti atitinkamų rangų ir dažnių sandaugas. Pavyzdžiui, pirmojo kriterijaus (C) $R_j = R_1 = 60$, antrojo kriterijaus (T) $R_j = R_1 = 116$, trečiojo kriterijaus (H) rangų suma $R_j = R_3 = 104$ ir t. t.

Tikrinama iš (1.1) ir (1.2) formulių gaunama sietis tarp balų sumos ir rangų sumos:

$$R_j = \sum_{i=1}^n R_{ij} = \sum_{i=1}^n (10 - B_{ij}) = n \cdot 10 - \sum_{i=1}^n B_{ij}.$$

Todėl pirmojo kriterijaus C (asfaltbetonio mišinio sudėties atitiktis projektinei sudėčiai) visų rangų suma

$$R_1 = \sum_{i=1}^{43} R_{1i} = (43 \cdot 10) - 370 = 430 - 370 = 60.$$

Antrojo kriterijaus T (asfaltbetonio mišinio temperatūros atitiktis Techninių reglamentų aprašo TRA ASFALTAS 08 (2008:10) reikalavimams) visų rangų suma

$$R_2 = \sum_{i=1}^{43} R_{2i} = 430 - 314 = 116.$$

Trečiojo kriterijaus H (asfaltbetonio mišinio homogeniškumas maišinyje) visų rangų suma

$$R_3 = \sum_{i=1}^{43} R_{3i} = 430 - 326 = 104.$$

Ketvirtojo kriterijaus E (aplinkos apsauga dėl atmosferos oro taršos iš asfaltbetonio maišytovo išmetamomis kenksmingomis medžiagomis) visų rangų suma

$$R_4 = \sum_{i=1}^{43} R_{4i} = 430 - 213 = 217.$$

1.4 lentelė. Asfaltbetonio maišytuvo kokybės rodiklių svarbos įverčiai B_{ij} (balai)

Eksperto (respondento) kodas; $i = 1, 2, \dots, n$	Kriterijaus (rodiklio) žymuo; $j = 1, 2, \dots, m$								
	C	T	H	E	P	W	R	B	U
E1	9	7	8	1	6	4	5	2	3
E2	9	7	8	6	1	3	2	5	4
E3	8	7	9	3	2	5	4	1	6
E4	9	8	6	7	1	5	4	2	3
E5	9	8	7	6	5	4	3	2	1
E6	9	8	7	6	5	4	3	2	1
E7	9	7	8	6	3	5	2	1	4
E8	9	7	6	8	3	2	1	4	5
E9	9	5	8	6	3	4	2	1	7
E10	9	7	8	6	3	1	5	4	2
E11	9	7	8	5	3	1	2	4	6
E12	7	9	5	6	2	3	1	4	8
E13	9	7	8	4	2	5	1	3	6
E14	8	9	7	5	4	2	3	1	6
E15	9	7	8	6	4	3	1	2	5
E16	9	6	7	4	2	3	1	5	8
E17	9	7	8	1	4	6	5	2	3
E18	9	6	8	5	4	3	2	1	7
E19	7	9	8	5	1	2	3	4	6
E20	9	8	7	5	4	6	2	1	3
E21	9	8	7	5	6	2	4	3	1
E22	9	8	7	4	5	3	2	1	6
E23	9	7	6	5	2	3	4	1	8
E24	7	8	9	6	5	4	2	3	1
E25	9	7	8	4	5	1	2	3	6
E26	9	7	8	6	3	4	2	1	5
E27	7	8	9	4	5	1	3	2	6
E28	9	7	8	6	5	2	1	3	4
E29	9	7	8	5	4	3	2	1	6
E30	9	8	7	6	4	5	3	2	1

1.4 lentelės pabaiga

E31	9	7	8	4	5	3	1	2	6
E32	9	7	8	5	4	3	2	1	6
E33	9	8	7	4	2	6	1	3	5
E34	9	8	7	5	6	3	4	1	2
E35	9	8	7	5	6	3	1	2	4
E36	9	7	8	1	6	4	2	3	5
E37	9	7	8	5	4	2	1	3	6
E38	9	8	7	6	3	4	2	1	5
E39	4	3	8	6	9	2	5	1	7
E40	9	7	8	6	4	5	3	1	2
E41	7	8	9	6	4	3	2	1	5
E42	9	8	7	5	4	6	3	2	1
E43	9	7	8	3	5	6	1	2	4
Svarbos įverčių (balų) suma $\sum_{i=1}^n B_{ij} = B_j$	370	314	326	213	168	149	105	94	196

1.5 lentelė. Asfaltbetonio maišytuvo kokybės rodiklių svarbos rangai R_{ij} ir skaičiavimo veiksmai

Eksperto (respondento) kodas; $i = 1, 2, \dots, n$	Kriterijaus (rodiklio) žymuo; $j = 1, 2, \dots, m$									Bendra suma
	C	T	H	E	P	W	R	B	U	
E1	1	3	2	9	4	6	5	8	7	45
E2	1	3	2	4	9	7	8	5	6	45
E3	2	3	1	7	8	5	6	9	4	45
E4	1	2	4	3	9	5	6	8	7	45
E5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	45
E6	1	2	3	4	5	6	7	8	9	45
E7	1	3	2	4	7	5	8	9	6	45
E8	1	3	4	2	7	8	9	6	5	45
E9	1	5	2	4	7	6	8	9	3	45
E10	1	3	2	4	7	9	5	6	8	45
E11	1	3	2	5	7	9	8	6	4	45
E12	3	1	5	4	8	7	9	6	2	45
E13	1	3	2	6	8	5	9	7	4	45
E14	2	1	3	5	6	8	7	9	4	45
E15	1	3	2	4	6	7	9	8	5	45
E16	1	4	3	6	8	7	9	5	2	45

1.5 lentelės pabaiga

E17	1	3	2	9	6	4	5	8	7	45
E18	1	4	2	5	6	7	8	9	3	45
E19	3	1	2	5	9	8	7	6	4	45
E20	1	2	3	5	6	4	8	9	7	45
E21	1	2	3	5	4	8	6	7	9	45
E22	1	2	3	6	5	7	8	9	4	45
E23	1	3	4	5	8	7	6	9	2	45
E24	3	2	1	4	5	6	8	7	9	45
E25	1	3	2	6	5	9	8	7	4	45
E26	1	3	2	4	7	6	8	9	5	45
E27	3	2	1	6	5	9	7	8	4	45
E28	1	3	2	4	5	8	9	7	6	45
E29	1	3	2	5	6	7	8	9	4	45
E30	1	2	3	4	6	5	7	8	9	45
E31	1	3	2	6	5	7	9	8	4	45
E32	1	3	8	5	6	7	8	9	4	45
E33	1	2	3	6	8	4	9	7	5	45
E34	1	2	3	5	4	7	6	9	8	45
E35	1	2	3	5	4	7	9	8	6	45
E36	1	3	2	9	4	6	8	7	5	45
E37	1	3	2	5	6	8	9	7	4	45
E38	1	2	3	4	7	6	8	9	5	45
E39	6	7	2	4	1	8	5	9	3	45
E40	1	3	2	4	6	5	7	9	8	45
E41	3	2	1	4	6	7	8	9	5	45
E42	1	2	3	5	6	4	7	8	9	45
E43	1	3	2	7	5	4	9	8	6	45
Rangų suma $\sum_{i=1}^n R_{ij} = R_j$	60	116	104	217	262	281	325	336	234	1935
Vidutinis rangas $\bar{R}_j = \sum_{i=1}^n R_{ij} / n$	1,395	2,698	2,419	5,046	6,093	6,535	7,558	7,814	5,442	45,000
Skirtumas $\sum_{i=1}^n R_{ij} - \frac{n(m+1)}{2}$	-155	-99	-111	2	47	66	110	121	19	0
$\left[\sum_{i=1}^n R_{ij} - \frac{1}{2}n(m+1) \right]^2$	24 025	9801	12 321	4	2209	4356	12 100	14 641	361	79 818

1.6 lentelė. Rangų dažnio ir jų sumos R_j kiekvienam asfaltbetonio maišytuvo kokybės rodikliui skaičiavimas (dėl patogumo)

Rangas	KMA mišinio sudėtis (C)		KMA mišinio temperatūra (T)		KMA mišinio homogeniškumas (H)		Teršalų emisija iš ABMA – aplinkos apsauga (E)		KMA mišinio gamybos išlaidos (P)	
	dažnis	sandauga	dažnis	sandauga	dažnis	sandauga	dažnis	sandauga	dažnis	sandauga
1	35	35	3	3	4	4	–	–	1	1
2	2	4	15	30	22	44	1	2	0	0
3	5	15	21	63	13	39	1	3	0	0
4	0	0	2	8	3	12	16	64	5	20
5	0	0	1	5	1	5	13	65	9	45
6	1	6	0	0	–	–	7	42	12	72
7	–	–	1	7	–	–	2	14	7	49
8	–	–	–	–	–	–	0	0	6	48
9	–	–	–	–	–	–	3	27	3	27
Suma	43	60	43	116	43	104	43	217	43	262
Rangas	ABMA nusidėvėjimo laipsnis (W)		ABMA remonto ir rekonstrukcijos išlaidos (R)		ABMA pajėgumų naudojimas (B)		ABMA technologinis universalumas (U)			
	dažnis	sandauga	dažnis	sandauga	dažnis	sandauga	dažnis		sandauga	
1	–	–	–	–	–	–	–		–	
2	–	–	–	–	–	–	3		6	
3	–	–	–	–	–	–	3		9	
4	5	20	–	–	–	–	12		48	
5	6	30	4	20	2	10	7		35	
6	8	48	5	30	5	30	5		30	
7	13	91	8	56	8	56	4		28	
8	7	56	15	120	12	96	3		24	
9	4	36	11	99	16	144	6		54	
Suma	43	281	43	325	43	336	43		234	

Penktojo kriterijaus P (asfaltbetonio mišinio gamybos išlaidos – vienos tonos savikaina) visų rangų suma

$$R_5 = \sum_{i=1}^{43} R_{5i} = 430 - 168 = 262.$$

Šeštojo kriterijaus W (asfaltbetonio maišytuvo fizinio ir moralinio nusidėvėjimo laipsnis) visų rangų suma

$$R_6 = \sum_{i=1}^{43} R_{6i} = 430 - 149 = 281.$$

Septintojo kriterijaus R (asfaltbetonio maišytuvo nusidėvėjusiems elementams remontuoti ir rekonstruoti skirtos išlaidos) visų rangų suma

$$R_7 = \sum_{i=1}^{43} R_{7i} = 430 - 105 = 325.$$

Aštuntojo kriterijaus B (asfaltbetonio maišytuvo technologinių pajėgumų naudojimas gaminti asfalto mišinius) visų rangų suma

$$R_8 = \sum_{i=1}^{43} R_{8i} = 430 - 94 = 336.$$

Devintojo kriterijaus U (asfaltbetonio maišytuvo technologinis universalumas, išreiškiamas galimybe jame gaminti įvairių rūšių, tipų ir markių asfalto mišinius) visų rangų suma

$$R_9 = \sum_{i=1}^{43} R_{9i} = 430 - 196 = 234.$$

5. Pagal (1.7) formulę apskaičiuojamas asfaltbetonio maišytuvo kiekvieno kokybės kriterijaus vidutinis rangas $\bar{R}_j$. Pavyzdžiui, pirmojo kriterijaus (C) vidutinis rangas

$$\bar{R}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n R_{ij}}{n} = \frac{60}{43} = 1,395.$$

Visų devynių kriterijų vidutinių rangų $\bar{R}_j$ suma lygi bet kurio eksperto visiems kriterijams suteiktų rangų sumai, t. y. 45,000.

6. Nustatomas pastovusis dydis

$$\frac{1}{2}n(m+1) = \frac{1}{2}43(9+1) = 215,$$

kuris reikalingas pagal (1.9) formulę skaičiuojant kriterijaus rangų R_{ij} nuokrypių nuo vidutinio rango kvadratų sumą S .

7. Kiekvienam kriterijui skaičiuojamas rangų R_{ij} sumos $\sum_{i=1}^n R_{ij}$ ir pastoviojo dydžio $\frac{1}{2}n(m+1)$ skirtumas. Pavyzdžiui, pirmojo kriterijaus (C) šis skirtumas yra:

$$\sum_{i=1}^n R_{ij} - \frac{n(m+1)}{2} = 60 - \frac{43(9+1)}{2} = -155.$$

Kitų kriterijų šis apskaičiuotas skirtumas rašomas (1.5) lentelės priešpaskutinėje eilutėje. Visų devynių kriterijų skirtumų suma lygi nuliui (tikrinimas).

8. Apskaičiuojamas rangų sumos $\sum_{i=1}^n R_{ij}$ ir pastovaus dydžio $\frac{n(m+1)}{2}$ skirtumo kvadratas, kuris pateikiamas 9.5 lentelės paskutinėje eilutėje. Pavyzdžiui, pirmojo kriterijaus (C) šio skirtumo kvadratas

$$\left[\sum_{i=1}^n R_{ij} - \frac{1}{2}n(m+1) \right]^2 = [60 - 215]^2 = -155^2 = 24\,025.$$

9. Paskutinėje 1.5 lentelės eilutėje surašomi skirtumų kvadratai ir pagal (1.9) formulę susumuojamas dydis S . Jų suma S sprendžiamame pavyzdyje yra 79 818.

10. Pagal (1.8) formulę apskaičiuojamas konkordancijos koeficientas W , kai nėra susietų rangų

$$W = \frac{12S}{n^2(m^3 - m)} = \frac{12 \cdot 79\,818}{43^2(9^3 - 9)} = \frac{957\,816}{1\,331\,280} = 0,719.$$

Jis didesnis už 0,5, todėl apytiksliai galima teigti, kad ekspertų nuomonės suderintos.

11. Kadangi sprendžiamame uždavinyje kriterijų skaičius $m > 7$, tai konkordancijos koeficiento reikšmingumas nustatomas naudojant χ^2 kriterijų, kuriam pagal (1.11) formulę skaičiuojamas atsitiktinis dydis

$$\chi^2 = n(m-1)W = \frac{12S}{nm(m+1)} = 43(9-1)0,719 = \frac{12 \cdot 79\,818}{43 \cdot 9(9+1)} = 247,5.$$

12. Ekspertų skaičiui $n = 43$ ir lyginamų kriterijų skaičiui $m = 9$ apskaičiuojamas laisvės laipsnių skaičius $\nu = m - 1 = 9 - 1 = 8$ ir pasirinkamas pakankamai griežtas reikšmingumo lygmuo $\alpha = 0,01$. Iš 1 priedo randama kritinė χ_{kr}^2 vertė, atitinkanti laisvės laipsnių skaičių ir pasirinktą reikšmingumo lygmenį $\chi_{\nu, \alpha}^2$ (Кендэл 1985: 207), kuri lygi 20,0902, t. y. daug mažesnė už apskaičiuotąją χ^2 vertę, lygią 247,5. Kadangi pagal (1.11) apskaičiuota χ^2 reikšmė didesnė už χ_{kr}^2 , tai galima teigti, kad visų ekspertų nuomonės vertinant asfaltbetonio maišytuvo kokybės kriterijų svarbą sutampa, o apskaičiuotieji vidutiniai rangai rodo bendrąją nuomonę.

13. Nubraižoma visų 9 asfaltbetonio maišytuvo kokybės kriterijų vidutinių rangų $\bar{R}_j$ apskaičiuotųjų verčių stulpelinė diagrama (1.1 pav.) ir joje surašomos n, W, χ^2 ir $\chi_{\nu, \alpha}^2$ vertės.

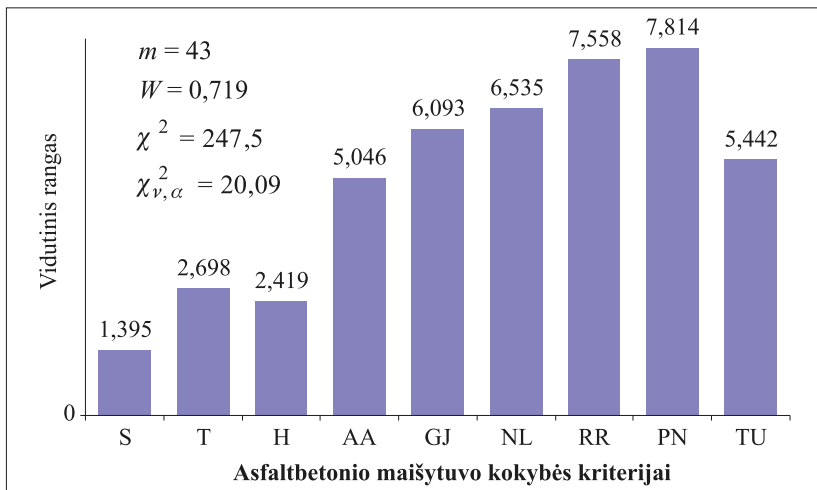
14. Apskaičiuojama (iš (1.11) formulės) mažiausia konkor-dancijos koeficiento W vertė (Айвазян, Мхитарян 2001: 446), esant reikšmingumo lygmeniui $\alpha = 0,01$ ir laisvės laipsnių skaičiui $\nu = m - 1 = 9 - 1 = 8$, pagal kurią būtų galima teigti, kad ekspertų nuomonės yra suderintos:

$$W_{\min} = \frac{\chi_{kr}^2}{n(m-1)} = \frac{20,0902}{43(9-1)} = 0,0584 \ll 0,719.$$

15. Atlikto tyrimo duomenys rodo, kad 43 ekspertų 9 asfaltbetonio maišytuvo kokybės kriterijų svarbos vertinimai sutampa ir gali būti pagrįstai laikomi apibendrinta jų nuomone.

16. Apskaičiuotieji asfaltbetonio maišytuvo kokybės kriterijų vidutiniai rangai $\bar{R}_j$ rodo, kad rodiklis C svarbesnis už H, T, E, U, P, W, R ir B , t. y. gaunama tokia hierarchija: $C > H > T > E > U > W > R > B$. Kiek jie svarbesni vienas už kitą, apskaičiuotieji vidutiniai rangai $\bar{R}_j$ nerodo.

17. Taikant pateiktą (Завадскас 1987) metodiką nustatomi asfaltbetonio maišytuvo kokybės kriterijų svarbumo (svorio) rodikliai Q_j . Tam naudojamos (1.16)–(1.18) formulės, iš kurių pradžioje apskaičiuojami $\bar{q}_j$ ir d_j , o pabaigoje – Q_j . Skaičiavimų duomenys pateikti 1.7 lentelėje ir 1.2 pav.



1.1 pav. Asfaltbetonio maišytuvo kokybės kriterijų vidutinių rangų stulpelinė diagrama

Pirmojo kriterijaus (C) vidutinio rango santykis su visų kriterijų rangų suma iš (1.16) formulės:

$$\bar{q}_1 = \frac{\bar{R}_1}{\sum_{j=1}^m R_j} = \frac{1,395}{45,000} = 0,031.$$

Šio kriterijaus apskaičiuotą rangų santykį $\bar{q}_1$ atėmus iš vieneto iš (1.17) formulės gaunamas atvirkštinis dydis

$$d_1 = 1 - q_1 = 1 - 0,031 = 0,969,$$

kuris, taikant (1.18) formulę, dalinamas iš visų kriterijų d_j sumos, lygios $m - 1$. Gaunamas svorio rodiklis:

$$Q_1 = \frac{d_1}{\sum_{j=1}^m d_j} = \frac{0,969}{8,000} = 0,1211.$$

Antrojo kriterijaus (T) svarbos rodiklis $Q_2 = 0,1175$, trečiojo kriterijaus (H) $Q_3 = 0,1183$, ketvirtojo kriterijaus (E) $Q_4 = 0,1110$, penk-

tojo kriterijaus (P) $Q_5 = 0,1081$, šeštojo kriterijaus (W) $Q_6 = 0,1069$, septintojo kriterijaus (R) $Q_7 = 0,1040$, aštuntojo kriterijaus (B) $Q_8 = 0,1032$ ir devintojo kriterijaus (U) $Q_9 = 0,1099$.

Pagal E. K. Zavadsko metodiką (Завадскас 1987) apskaičiuojamų asfaltbetonio maišytuvo kokybės kriterijų svarbumo rodiklių suma lygi 1,0000. Didžiausio svarbumo rodiklio $Q_1 = 0,1211$ ir mažiausio $Q_8 = 0,1032$ skirtumas lygus 0,0179, o santykis 1,17 rodo jų labai mažą skirtumą, sudarantį apie 15 % nuo maksimalios vertės.

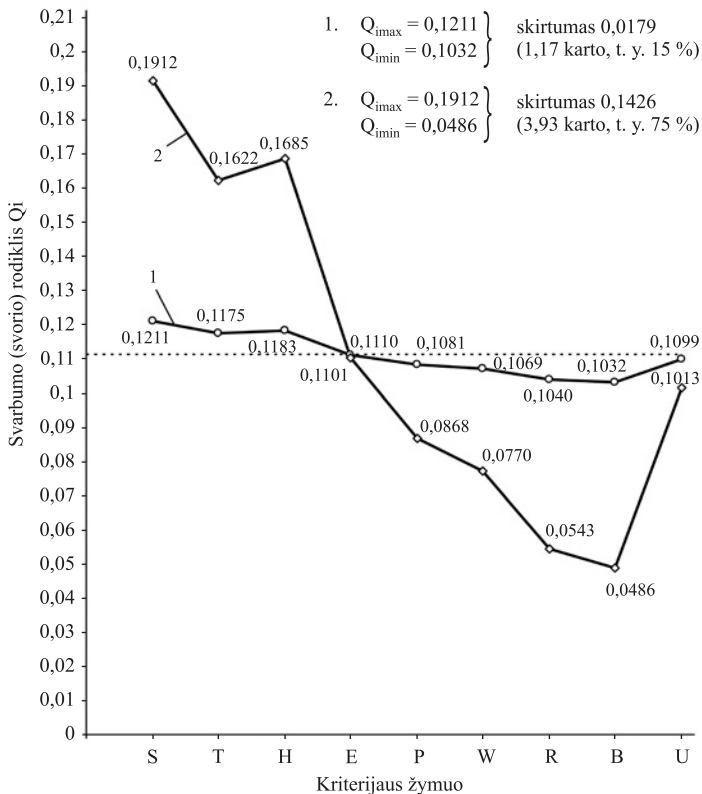
18. Pagal kitą metodiką (Sivilevičius 2011a) nustatoma asfaltbetonio maišytuvo kokybės kriterijų svarba (svoriai). Tam taikoma autoriaus pateikta nauja (1.19) formulė, iš kurios asfaltbetonio maišytuvo pirmojo kokybės kriterijaus C (pagaminto asfaltbetonio mišinio sudėties atitiktis projektinei sudėčiai) svarba.

$$Q_1 = \frac{(m+1) - \bar{R}_1}{\sum_{j=1}^9 \bar{R}_j} = \frac{(9+1) - 1,395}{45,000} = 0,1912.$$

Antrojo (T) kokybės kriterijaus $Q_2 = 0,1622$, trečiojo (H) kokybės kriterijaus $Q_3 = 0,1685$, ketvirtojo (E) kokybės kriterijaus $Q_4 = 0,1101$, penktojo (P) kokybės kriterijaus $Q_5 = 0,0868$, šeštojo (W) kriterijaus $Q_6 = 0,0770$, septintojo (R) kokybės kriterijaus $Q_7 = 0,0543$, aštuntojo (B) kokybės kriterijaus $Q_8 = 0,0486$ ir devintojo (U) kokybės kriterijaus $Q_9 = 0,1013$. Visų kokybės kriterijų svarbumo koeficientų suma lygi 1. Didžiausio $Q_1 = 0,1912$ ir mažiausio $Q_8 = 0,0486$ svarbumo rodiklių skirtumas lygus 0,1426, o santykis 3,93 rodo jų skirtumą, sudarantį apie 75 % maksimalios vertės (1.7 lentelė, 1.2 pav.). Punktyrinė horizontali tiesė rodo visų asfaltbetonio maišytuvo kokybės kriterijų vidutinį svarbos rodiklį $\bar{Q}_i = 1:9 = 0,1111$.

1.7 lentelė. Asfaltbetonio maišytuvo kokybės kriterijų svarbos (svorio) ir prioritetų skaičiavimo rezultatai, gauti taikant skirtingas metodikas

Dydis (formulė)	Kokybės kriterijaus žymuo									Suma
	C	T	H	E	P	W	R	B	U	
$\bar{q}_j$ (1.16)	0,031	0,060	0,054	0,112	0,135	0,145	0,168	0,174	0,121	1,000
d_j (1.17)	0,969	0,940	0,946	0,888	0,865	0,855	0,832	0,826	0,879	8,000
Q_j (1.18)	0,1211	0,1175	0,1183	0,1110	0,1081	0,1069	0,1040	0,1032	0,1099	1,0000
$\underline{Q}_j$ (1.19)	0,1912	0,1622	0,1685	0,1101	0,0868	0,0770	0,0543	0,0486	0,1013	1,0000
$\tilde{Q}_j$ (1.20)	0,1912	0,1622	0,1685	0,1101	0,0868	0,0770	0,0543	0,0486	0,1013	1,0000
Hierarchija	1	3	2	4	6	7	8	9	5	–



1.2 pav. Asfaltbetonio maišytuvo kokybės kriterijų svarbos (svorio) rodiklių Q_j vertės, apskaičiuotos taikant metodą: 1 – E. K. Zavadsko (Завадскас 1987: 109), 2 – H. Sivilevičiaus (Sivilevičius 2011a)

19. Išvados, gautos iš tyrimo rezultatų:

1) Asfaltbetonio maišytuvo kokybė vertinama devyniais nepriklausomais kriterijais, rodančiais jame pagaminto karštojo asfalto mišinio savybių atitiktį normų reikalavimams (C, T ir H): galimybes atitikti aplinkos apsaugos reikalavimus (E) pagal iš jo įrenginių išmetamų teršalų koncentraciją; ekonomiškumą, išreiškiamą produkcijos gamybos išlaidomis, tenkančiomis vienai tonai pagaminto mišinio (P); techninę būklę (nusidėvėjimo laipsnį), kuriai gerinti skirtos investicijos (W ir R); pajėgumų (techninio našumo) naudojimą gaminant asfalto mišinį, reikalingą aptarnavimo racionalioje zonoje esančių transporto tiesinių (kelių, gatvių, aerodromų) dangos konstrukcijos sluoksniams įrengti (B); technologinį universalumą, apibūdinamą galimybe jame gaminti visų TRA ASFALTAS 08 pateiktų grupių, rūšių ir tipų asfalto mišinius (U). Šių kriterijų svarbą asfaltbetonio maišytuvo kokybei įvertino 43 ekspertai pagal devynbalę skalę.

2) Kriterijams suteiktus balus pakeitus rangais, kriterijų vidutiniais rangais $\bar{R}_i$ leido nustatyti jų hierarchiją, rodančią, kad svarbiausi kriterijai asfaltbetonio maišytuvo kokybei yra nulemti jame pagaminto asfalto mišinio savybių ($C = 1,395$, $H = 2,419$, $T = 2,698$), mažiau svarbūs kriterijai, nulemti aplinkos apsaugos ir technologinio universalumo ($E = 5,046$, $U = 5,442$), dar mažiau svarbūs kriterijai, rodantys mišinio gamybos išlaidas ir asfaltbetonio maišytuvo nusidėvėjimo laipsnį ($P = 6,093$, $W = 6,353$), ir mažiausiai svarbūs kriterijai, parodantys maišytuvo remontui ir rekonstrukcijai skiriamų investicijų dydį ir jo pajėgumo naudojimo asfalto mišiniui gaminti laipsnį ($R = 7,558$, $B = 7,814$). Logiška, kad gaminamo asfalto mišinio savybių rodikliai labiausiai lemia technologinių įrenginių komplekso kokybę. Ekspertams beveik nesvarbu, kad asfaltbetonio maišytuvas didžiąją dalį laiko negamins asfalto mišinio (negaus pajamų, pelno ir nekurs pridėtinės vertės). Galima manyti, kad dėl ilgų prastovų didelių nuostolių įmonė neturi ir gauna pakankamą pelną per mišinio gamybos laikotarpį.

3) Visų 43 ekspertų nuomonės yra suderintos, nes apskaičiuotasis konkordancijos koeficientas $W = 0,719$, Pirsono *chi-kvadrat* statistika $\chi^2 = 247,5$ yra daug didesnė už kritinę χ^2_{kr} vertę, atitinkančią laisvės

laipsnių skaičių $\nu = 8$ ir reikšmingumo lygmenį $\alpha = 0,01$ ($\chi^2_{\nu,\alpha} = 20,0902$). Mažiausias konkordancijos koeficientas $W_{\min} = 0,0584$, kuriam esant dar galima būtų teigti (kai $\nu = 8$ ir $\alpha = 0,01$), kad visų ekspertų nuomonės yra suderintos.

4) Asfaltbetonio maišytuvo kokybės kriterijų normalizuotų svarbumo (svorio) rodiklių, apskaičiuotų pagal E. K. Zavadsko metodiką, didžiausia vertė $Q_{\max} = 0,01211$ (C kriterijaus) ir mažiausia $Q_{\min} = 0,1032$ (B kriterijaus) rodo jų mažą skirtumą, lygų 0,0179, t. y. skiriasi 1,17 karto (apie 15 %). Šių kriterijų svarbumo rodiklių, apskaičiuotų pagal H. Sivilevičiaus metodą, didžiausia vertė $Q_{\max} = 0,1912$, o mažiausia $Q_{\min} = 0,0486$: skirtumas yra 0,1426, t. y. 3,93 karto (apie 75 %). Antruoju metodu apskaičiuoti kriterijų svarbumo rodikliai labiau skiriasi vienas nuo kito, dėl to yra jautresni ir labiau veikia kriterijų naudojimo svarbą, asfaltbetonio maišytuvo kompleksinio kokybės rodiklio K adityviojo modelio dėmenų skaičiuojamąsias vertes.

2 UŽDAVINYS.

NAUDOTO ASFALTBETONIO MAIŠYTUVO KOKYBĖS MODELIAVIMAS IR KOMPLEKSNIO VERTINIMO KRITERIJŲ SKAIČIAVIMAS

2.1. Daugiakriterių metodų taikymas vertinant technologinio įrenginio kokybę

Tikslas – susipažinti su transporto technologiniams įrenginiams priskiriamų asfaltbetonio maišytuvų (ABMA) (angl. *asphalt mixing plant* – AMP) reikiamomis savybėmis, jas lemiančiais veiksniais ir šių veiksmų (kokybės kriterijų) skaičiavimo originalia metodika, leidžiančia iš adityviojo modelio nustatyti kiekvieno iš 9 kriterijaus įtaką vienu skaičiumi išreiškiamam veikiančio ABMA kompleksiniam kokybės rodikliui.

Užduotis. Pagal dėstytojo pateiktus individualios (asmeninės) užduoties duomenis (2.1 lentelė) apskaičiuoti veikiančio ABMA kiekvieno kokybės kriterijaus, sudarančio adityvųjį modelį, faktinę kintamosios x_j dalies ($x_j = 1, 2, \dots, 9$) vertę, ją padauginti iš svorio koeficiento Q_j ir, sudėjus gautas sandaugas $Q_j x_j$, apskaičiuoti ABMA kompleksinio kokybės rodiklio K vertę. Išanalizuoti gautus duomenis ir iš atlikto tyrimo padaryti svarbiausias išvadas.

Automobilių kelių danga ruošama iš asfalto arba asfaltbetonio, gaunamo sutankinus paklotą karštai maišyto asfalto (KMA) mišinį, kuris gaminamas brangiam ilgo naudojimo technologiniame įrenginyje – asfaltbetonio maišytuve (ABMA). KMA mišinio gamyba yra sudėtingas daugiaetapis procesas, nuo kurio technologinių operacijų atlikimo sekos, parametrų tikslumo ir stabilumo priklauso mišinio kokybė. Šiam procesui tobulinti ir vertinti, taip pat asfaltbetonio savybėms gerinti skirti anksčiau ir pastaruoju metu atlikti mokslo darbai, kurių svarbiausi rezultatai paskelbti pripažintuose žurnaluose (Petkevičius, Sivilevičius 2008). Griežtinant reikalavimus, keliamus KMA mišinio ir jo gamybos kokybei, savikainai, ABMA technologiniam universalumui, našumui, saugumui, ergonomiškumui ir patiki-

mumui, taip pat ir aplinkosaugos reikalavimus, senesnių modelių ir blogai prižiūrėti įrenginiai šių reikalavimų neatitinka.

2.1 lentelė. Individualios užduoties asfaltbetonio maišytuvo kompleksiniam kokybės rodikliui K skaičiuoti duomenys ir tampa netinkami naudoti (Divinsky et al. 2003; Sivilevičius, Šukevičius 2009).

Asfalto mišinio sudėtis (C) pagal komponentų kieki $Q_1 = 0,1911$				Asfalto mišinio tempe- ratūra (T), $Q_2 =$ 0,1622		Asfalto mišinio homogeniškumas (H) maišinyje, komponentams, $Q_3 = 0,1685$				
$\frac{\Delta k_{fB}}{\Delta k_{nB}}$	$\frac{\Delta k_{fMF}}{\Delta k_{nMF}}$	$\frac{\Delta k_{fCA}}{\Delta k_{nCA}}$	$\frac{\Delta k_{fFA}}{\Delta k_{nFA}}$	$\frac{\left \Delta T_f \right }{\Delta T_n}$	$\frac{\Delta \sigma_{fB}}{\sigma_{jkB}}$	$\frac{\Delta \sigma_{fMF}}{\sigma_{jkMF}}$	$\frac{\Delta \sigma_{fCA}}{\sigma_{jkCA}}$	$\frac{\Delta \sigma_{fFA}}{\sigma_{jkFA}}$		
ABMA aplinkosauginis rodiklis (E) pagal teršalų koncentraciją $\sum_{v=1}^h \frac{c_v}{DLK_v}$, $Q_4 = 0,1100$						Asfalto mišinio gamybos išlaidos (P), $Q_5 = 0,0869$	ABMA nusidė- vėjimo laipsnis (W), $Q_6 =$ 0,00771	ABMA rekon- stravimo ir re- monto išlaidos (R), $Q_7 =$ 0,0542		
Dulkės	NO _x	SO ₂	CO	C _n H _m	CH ₂ O	$\frac{b \left(S_{\max} - S_f \right)}{S_{\max}}$	$\frac{a}{100}$	$\frac{r_f}{r_{\max}}$		
ABMA pajėgu- mų nau- dojimas (B), $Q_8 =$ 0,0487	ABMA technologinis universalumas (U), t. y. galimybė gaminti šiuos asfal- to mišinius, $Q_9 = 0,1013$									
$\frac{p_f}{p_{\max}}$	AC	SMA	MA	PA	BBTM	SA	HRA	RA	WA	CA

Lietuvos ir kitų valstybių KMA mišinio gamybos kompanijose veikiantys senųjų modelių ABMA keičiami naujesniais, tobulesniais Vakarų Europos šalių firmose (*Ammann, Teltomat, Bennighoven, Marini, Wirtgen, Wibau, Ermont, Parker, Amomatic, Barber Green, Lintec, Kalottikone, Machinery*) ir JAV korporacijose (*CMI, Astec*) sukonstruotais ir pagamintais kompiuterizuotais technologiniais įrenginiais. Tačiau ABMA keičiami beveik nerenkant ir nesisteminant objektyvių duomenų apie naudotų technologinių įrenginių nusidėvėjimą, teršalų emisiją, pajėgumų naudojimą, KMA mišinio gamybos kokybę, jo savikainą, galimas rūšis ir markes.

Statybos ir kelių tiesimo projektams, transporto sistemos elementų sąveikai vertinti tinka novatoriški daugiakriterės analizės metodai (Zavadskas *et al.* 2010; Turskis, Zavadskas 2010; Abdelgawad, Fayek 2010; Sivilevičius 2001^b). Sprendimų priėmimo teorijos metodus galima taikyti ir ABMA kokybei vertinti (Sivilevičius 2011^a; Sivilevičius *et al.* 2008). Tam reikia sudaryti kriterijų svorių ir jų kintamųjų dydžių skaičiavimo matematinius modelius.

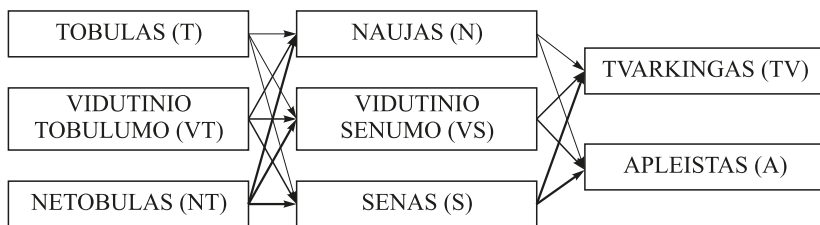
ABMA –tai vienas iš sudėtingiausių ir brangiausių kelių tiesyboje naudojamų technologinių įrenginių. Kaip jis atitinka numatytą paskirtį, vertinama pateiktu (Sivilevičius *et al.* 2008) kompleksiniu kokybės rodikliu K. Kompleksinis daugiakriteris ABMA kokybės rodiklis rodo visas svarbiausias jo įrenginių savybes. Kadangi ABMA skirtas KMA mišiniui gaminti, tai, autorių manymu, technologiniai jo parametrai yra svarbesni už kitus rodiklius, pavyzdžiui, ekonominius ar aplinkosaugos.

Didelė ABMA funkcionavimo trukmė ir jos sklaida rodo, kad vienu technologinių įrenginių (seniausių modelių) kompleksinio kokybės rodiklio vertė gali būti labai maža, o kitų (naujesnių) – pakankamai didelė. Kaip skaičiuoti vertinamojo ABMA kompleksinį kokybės rodiklį (iš kur imti ir kaip naudoti kriterijus sudarančių rodiklių vertes), dėl modelio sudėtingumo dažnam vartotojui nėra aišku. Tiriant ABMA kokybės kompleksinio rodiklio taikymą praktiškai, pateikiamas išsamus matematinio modelio kriterijų mokslinis pagrindimas ir jų apskaičiavimo metodika. Šio darbo tikslas – atskleisti veikiančio ABMA kokybės daugiakriterio modelio dėmenų skaičiavimo pagrįstumą ir parodyti, kaip jį taikyti praktiškai.

2.2. ABMA kompleksiniam kokybės rodikliui turinčių įtakos kriterijų nustatymo principai

Įvairių rūšių ir markių KMA mišiniai gaminami skirtingos funkcionavimo trukmės, nevienodos konstrukcijos, susidėvėjimo ir techninės būklės technologiniuose įrenginiuose. Neatsižvelgiant į tai, juose pagamintas KMA mišinys privalo atitikti normų reikalavimus. Bet kurio ne naujo perkamo, bet naudoto ABMA būklė iš pažiūros ir ribotas duomenų apie mišinio gamybos kokybę duomenų skaičius leidžia tik apytiksliai, intuityviai ir pagal patirtį spręsti apie jo tinkamumą produkcijai gaminti.

Pagal tai, kaip jie atitinka kurį nors 2.1 pav. scheme pateiktų galimų 18 derinių (išdėstytų pagal rangą: T-N-TV, T-VS-TV, VT-N-TV, VT-VS-TV, T-N-A, T-S-TV, NT-N-TV, VT-S-TV, T-VS-A, VT-N-A, NT-VS-TV, T-S-A, VT-VS-A, NT-S-TV, NT-N-A, VT-S-A, NT-VS-A, NT-S-A), negalima pakankamai tiksliai nustatyti ABMA faktinės kokybės lygmens. Žinant ABMA funkcionavimo trukmę, techninį ir technologinį tobulumą ir iš pažiūros nustatčius įvairių įrenginių būklę, galima tik subjektyviai įvertinti jo kokybę.



2.1 pav. ABMA būklės lygmenų sritys schema pagal konstrukciją, funkcionavimo trukmę ir techninę būklę

Veikiančio ABMA kokybei vertinti tinkančius pagrindinius ir papildomus rodiklius (kriterijus) galima suskirstyti į 4 grupes (2.2 pav.). Kiekvieno iš 9 kriterijaus atitiktis geriausiam (idealiui) būviui įvertinama kiekybiškai.

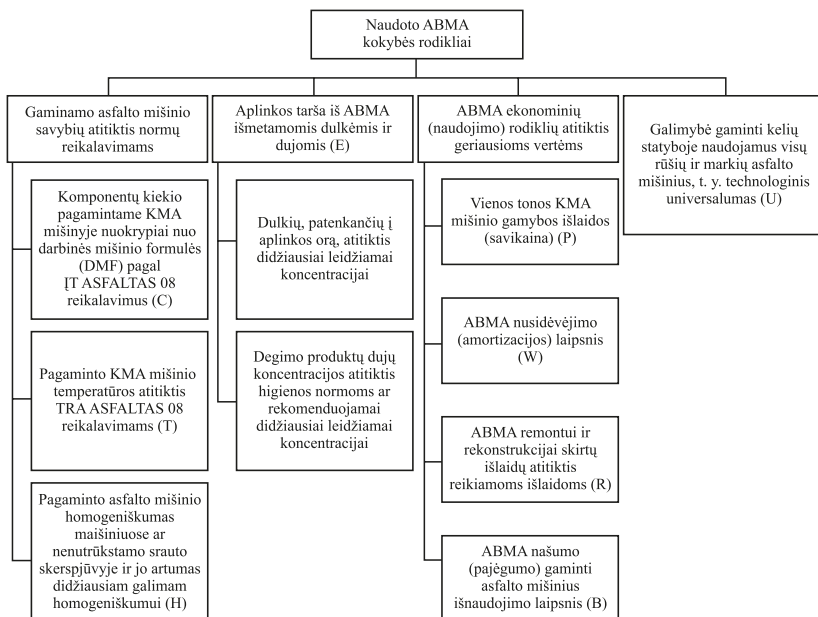
ABMA kokybei įvertinti aiškiai skirtingų derinių stoka paskatino kurti kiekybinį matematinį modelį ir rodiklį K , leidžiančius vienu

skaičiumi nustatyti 9 svarbiausias ABMA savybes pagal jas apibūdinančių rodiklių (kriterijų) skaitinių verčių sumą:

$$K = \sum_{j=1}^m Q_j x_j = Q_1 x_1 + Q_2 x_2 + Q_3 x_3 + Q_4 x_4 + Q_5 x_5 + Q_6 x_6 + Q_7 x_7 + Q_8 x_8 + Q_9 x_9, \quad (2.1)$$

Q_j – j -ojo veiksnio (kriterijaus) vidutinis svorio koeficientas, nustatytas iš rangų (kinta nuo 0 iki 1); m – kriterijų skaičius modelyje; x_j – bedimensis kintamasis nuo 0 iki 1 dydis, priklausantis nuo ABMA j -ojo kriterijaus faktinių ir normuotųjų ar ribinių parametrų santykio; $x_1, \dots, x_9$ – modelį sudarantys ($j = 1, 2, \dots, m$) kintamieji argumentai, kuriais vertinami kiekvieno kriterijaus vertei įtakos turintys faktiniai parametrai.

Adityvųjų matematinį modelį (2.1) sudarančių devynių veiksmių (kriterijų) svarbą rodiklio K vertei rodo ekspertų suteikti pagal devynbalę vertinimo skalę vidutiniai rangai ir iš jų apskaičiuoti svorio rodikliai (Sivilevičius *et al.* 2008). Pirmasis dėmuo $Q_1 x_1$ rodo, kiek gaminamo KMA mišinio sudėtis (C) atitinka projekto ir normų reikalavimus, antrasis $Q_2 x_2$ – ar KMA mišinio temperatūra (T) atitinka normas, trečiasis $Q_3 x_3$ – KMA mišinio homogeniškumą (H), ketvirtasis $Q_4 x_4$ – ar ABMA atitinka aplinkosaugos (E) reikalavimus pagal teršalų emisiją, penktasis $Q_5 x_5$ – KMA mišinio gamybos išlaidas (P), šeštasis $Q_6 x_6$ – ABMA nusidėvėjimą (W), septintasis $Q_7 x_7$ – jam remontuoti ir rekonstruoti (R) reikalingas išlaidas, aštuntasis $Q_8 x_8$ – jo pajėgumo naudojimą (B) ir devintasis $Q_9 x_9$ – ABMA technologinį universalumą (U), t. y. tinkamumą (galimybę) gaminti keliams tiesti ir jų dangai taisyti įvairių rūšių ir markių asfalto mišinius.



2.2 pav. Veikiančio ABMA kokybės kriterijų grupės ir jų sudedamosios dalys

Iš ekspertinių tyrimų (Sivilevičius 2011) gautas Q_j vertės įrašius į (2.1) formulę, gautas modelis (2.2):

$$K = 0,1911x_1 + 0,1622x_2 + 0,1685x_3 + 0,1100x_4 + 0,0869x_5 + 0,0771x_6 + 0,0542x_7 + 0,0487x_8 + 0,1013x_9. \quad (2.2)$$

ABMA kokybės kriterijų svoriai Q_j gali būti patikslinti papildomai apklausus ekspertus. Kintamieji argumentai $x_1, x_2, \dots, x_9$ apskaičiuojami iš gaminamo KMA mišinio savikontrolės duomenų: jo eminių komponentinės sudėties, gaunamos ekstrahavus bitumą ir išsijojus mineralines medžiagas per sietus, taip pat išmatavus temperatūrą.

Kai kurių kriterijų argumentų skaičiuojamosios vertės pateiktos taip, kad jas būtų galima gauti iš specialių eksperimentinių tyrimų ir kitų KMA mišinio gamybos apskaitos patikimų duomenų.

Prieš ABMA kokybę nulemiantį kiekvieną kriterijų pateiktas normalizuotas svorio koeficientas rodo jo reikšmingumą kitų kriterijų atžvilgiu, nustatytą ekspertinių tyrimų metodais.

Matematinio modelio (2.2) visus 9 kriterijus sudarančių kintamųjų rodiklių įverčių reikšmė, jų kaitą lemiantys veiksniai ir nustatymo principai aprašyti kitose darbo dalyse. Modelio struktūra yra tokia, kad kiekvieno kriterijaus įtaka kompleksinio kokybės rodiklio K vertei, išreikšta svarbos (svorio) koeficientu, būtų skirtinga, o šio koeficiento dešinėje skaičiuojamas kintamasis dydis x_j būtų artimas 0 – esant blogiausiai ABMA kokybei, 0,5 – esant vidutinei kokybei ir 1 – esant geriausiai kokybei. Todėl bet kuriam analizuojamam ABMA skliaustuose esantis dydis gali kisti nuo 0 iki 1.

2.3. ABMA kokybės kriterijų kintamųjų dydžių modeliai

2.3.1. Asfalto mišinio sudėties atitiktis darbinei mišinio formulei (DMF)

Pagal rodiklį K sudarantį pirmąjį ir svarbiausią ($Q_1 = 0,1911$) dėmenį vertinama ABMA gaminamo KMA mišinio sudėties (C) atitiktis reikiamai sudėčiai, t. y. jame esančio kiekvieno i -ojo komponento (skaldos – didesnių kaip 2 mm grūdelių, smėlio – 2–0,063 mm grūdelių, mineralinių miltelių – mažesnių kaip 0,063 mm grūdelių, taip pat – bitumo) faktinio kiekio nuokrypio Δk_{fi} nuo projekcinio jo kiekio (darbinės mišinio formulės – DMF) santykis su norminiu leistinuojų pagal IT ASFALTAS 08 to paties komponento kiekio nuokrypiu Δk_{ni} . Mineralinių komponentų kiekio suma KMA mišinyje lygi 100 %. Jų faktinių nuokrypių nuo DMF suma visada lygi nuliui, t.y. $\sum_{i=1}^3 \Delta k_{fi} = 0$.

KMA mišinio sudėties laboratoriniame ir gamybiniame (DMF vertės) projektuose būna numatytas kiekvienos naudojamos sudedamosios šaltosios pradinės mineralinės medžiagos (skaldos, atsijų, gamtinio smėlio, skaldyto žvyro, mineralinių miltelių ir kt.) ir bitumo optimalus masės kiekis. Jas visiškai sumaišius gaunamas Maršalo bandinių geriausias fizines ir mechanines savybes turintis KMA mišinys.

Tokio mišinio visų komponentų (bitumo $-k_{fB}$, mineralinių miltelių $-k_{fMF}$, skaldos $-k_{fCA}$ ir smėlio $-k_{fFA}$) faktinis kiekis, priklausantis nuo gamybos technologinių, ėminių ėmimo ir jų bandymo paklaidų, neturėtų nukrypti nuo DMF daugiau, negu leidžia ĮT ASFALTAS 08 (2.2 lentelė).

Lygindami i -ojo komponento kiekio faktinius nuokrypius Δk_{fi} su jo kiekio normuotaisiais leistinaisiais nuokrypiais Δk_{ni} , gauname įvertį, rodantį, kiek tiksliai pavyksta sureguliuoti ABMA įrenginių technologinius parametrus:

$$x_1 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^k \frac{|\Delta k_{fi}|}{|\Delta k_{ni}|}}{k} = 1 - \frac{\frac{|\Delta k_{fB}|}{|\Delta k_{nB}|} + \frac{|\Delta k_{fMF}|}{|\Delta k_{nMF}|} + \frac{|\Delta k_{fCA}|}{|\Delta k_{nCA}|} + \frac{|\Delta k_{fFA}|}{|\Delta k_{nFA}|}}{4}. \quad (2.3)$$

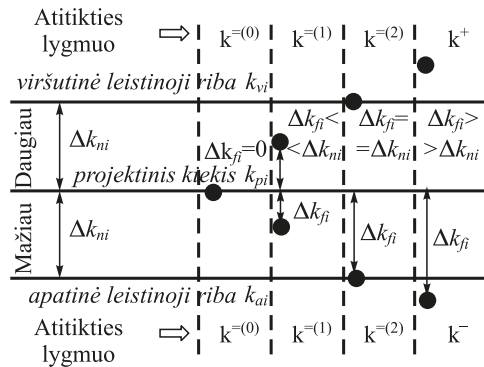
Gaminamame KMA mišinyje esančių komponentų kiekių faktiniai nuokrypiai Δk_{fi} labiausiai priklauso nuo naudojamų medžiagų granulimetrinės sudėties, jos stabilumo ir nuo dozavimo paklaidų. Granulimetrinės sudėties stabilumas, priklausantis nuo medžiagų segregacijos, tyrinėtas (Stroup-Gardiner, Brown 2000), tačiau dar nėra pakankamai išsamiai išanalizuotas.

Galima išskirti keturis skirtingus komponentų kiekio KMA mišinyje atitikties lygmenis (2.3 pav.), leidžiančius vertinti ABMA pagal jame gaminamo KMA mišinio sudėties projekto (DMF) ir normų ĮT ASFALTAS 08 (2008) reikalavimų atitiktį.

2.2 lentelė. KMA mišinio komponentų kiekio aritmetinio vidurkio $\bar{k}_{fi}$ didžiausi leidžiami nuokrypiai Δk_{ni} (%) nuo DMF pagal ĮT ASFALTAS 08

Asfalto mišinio komponentas	Iš atskiro ėminio nustatyto kiekio nuokrypis	Nuokrypiai Δk_{ni} mišinio masės procentais, kai aritmetinis vidurkis gautas iš bandinių skaičiaus N					Mišinio rūšis ir markė
		2	nuo 3 iki 4	nuo 5 iki 8	nuo 9 iki 19	20 ir daugiau	
Rišančioji medžiaga (bitumas)	$\pm 0,5$	$\pm 0,45$	$\pm 0,40$	$\pm 0,35$	$\pm 0,30$	$\pm 0,25$	Visų rūšių ir markių mišiniai
Δk_{nB}							

Mineraliniai milteliai (grūdeliai <0,063 mm)	±3,0	±2,7	±2,4	±2,1	±1,8	±1,5	ACA, ACV, SMA, ACPD
Δk_{nMF}							
Skalda (grūdeliai >2 mm)	±8,0	±6,1	±5,0	±4,1	±3,3	±3,0	ACA, ACV, SMA, MA, ACPD
Δk_{nCA}							
Smėlis (grūdeliai 0,063–2 mm)	±8,0	±6,1	±5,0	±4,1	±3,3	±3,0	ACP, ACA, ACV, SMA, MA, ACPD
Δk_{nFA}							



2.3 pav. Gaminamame asfalto mišinyje esančio i -ojo komponento kiekio nuokrypio nuo projekto (DMF) modelis

Idealiuoju atveju (atitiktis lygmuo $k = {}^{-(0)}$) kiekvieno komponento gaminamame KMA mišinyje yra lygiai tiek, kiek jo privalo būti pagal projektą: $k_{fi} = k_{pi}$, $\Delta k_{fi} = 0$. Kiti du blogesni atvejai (atitiktis lygmenys $k = {}^{-(1)}$ ir $k = {}^{-(2)}$) rodo, kad, nors KMA mišinys gaminamas nevirsijant statistinių tolerancijų, tačiau jame esančio i -ojo komponento kiekio nuokrypis nuo projekcinio kiekio yra pakankamai didelis. Tai liudija, kad ABMA darbas yra tikslus, nes $\Delta k_{fi} < \Delta k_{ni}$ ir $\Delta k_{fi} = \Delta k_{ni}$. Ketvirtasis, blogiausias, lygmuo (atitiktis lygmenys k^+

arba k^-), rodo, kad ABMA konstrukcija, technologinių operacijų seka, įrenginių sureguliuotumas ir valdymo būdas neatitinka tokių paramet-
rų, kurie leistų gaminti kokybišką KMA mišinį, nes $\Delta k_{fi} < \Delta k_{ni}$.

Leidžiamasis KMA mišinio kiekvieno komponento kiekio nuokrypis Δk_{ni} , priklausantis nuo ištirtų bandinių skaičiaus N , pateiktas 2.2 lentelėje, rodo, kad jo vertė skaldai ir smėliui yra tokia pati, bet didžiausia (kinta nuo $\pm 8,0$ iki $\pm 3,0$ %), mineraliniams milteliams – 1,7–2,2 karto mažesnė, o bitumui – net 6 kartus mažesnė už mineralinių miltelių ir 10–13,3 karto mažesnė už skaldos ir smėlio. Šios Δk_{ni} vertės leidžia teigti, kad absoliutaus nuokrypio nuo projekto vienoda vertė (pavyzdžiui, vienas masės procentas) kiekvienam komponentui yra nevienodai reikšminga. Kadangi KMA mišinys dažniausiai būna keturių komponentų (bitumas – B, mineraliniai milteliai – MF, skalda – CA, smėlis – FA), tai jį gaminant dėl technologinių paklaidų (tolydinio ir diskretinio medžiagų dozavimo, segregacijos, džiovavimo, sijojimo, oro valymo, maišymo ir kt.) vieno komponentų gali būti tiek, kiek reikia (=), kitų – per mažai (–), o trečių – per daug (+) (2.3 lentelė). Komponento kiekis „kiek reikia“ rodo, kad faktiškai jo yra tiek, kiek nustatyta sudėties projekte, t. y. jo kiekio nuokrypis nuo DMF neviršija statistinių tolerancijų. Komponento „per mažai“ ir „per daug“ kiekis rodo, kad jis iš tikrųjų nepatenka tarp apatinės ir viršutinės leistinųjų nuokrypių ribų, t. y. neatitinka statistinių tolerancijų.

Gaminamo KMA mišinio sudėtis gali turėti 27 derinius, kurie skiriasi atskirų komponentų faktiniu kiekiu, palygintu su jų projektiniu kiekiu (DMF). Kiekvienam bitumo per mažam (B^-), tokiam, kiek jo reikia ($B^=$), ir per dideliame (B^+) kiekiams galimi mineralinių miltelių per maži (MF^-) kiekiai, tokie, kokių reikia ($MF^=$), ir per dideli (MF^+). Šiuos tris mineralinių miltelių kiekių lygmenis gali atitikti trys skirtingi skaldos kiekiai: per mažas (CA^-), toks, kiek reikia ($CA^=$), ir per didelis (CA^+). Dažniausiai skalda pakeičia smėlį, todėl jos perteklius (CA^+) mažina smėlio kiekį iki jo trukumo (FA^-). Praktikoje beveik niekada nebūna taip, kad trūksta ir skaldos, ir smėlio arba šių abiejų mineralinių komponentų yra per daug. Taip gali būti tik, kai skaldos ir smėlio suminis trūkumas atitinka tokį patį mineralinių miltelių perteklių arba, atvirkščiai, kai jų abiejų procentinis perteklius lygus mineralinių miltelių tokiam pačiam masės trūkumui.

Dažniausiai skaldos faktinis kiekis (kiek reikia (CA⁼)) yra adekvatus faktiniam smėlio kiekiui, atitinkančiam įrengimo taisyklių IT ASFALTAS 08 (kiek reikia SM⁼) reikalavimus. Retai būna, kad kai vieno iš šių dviejų komponentų gaminamame KMA mišinyje yra kiek reikia, pavyzdžiui, skaldos (CA⁼), kito komponento – smėlio – būna per mažai (FA⁻) arba per daug (CA⁺). Taip būna, kai KMA mišinyje yra gerokai per daug (MF⁺) arba per mažai (MF⁻) mineralinių miltelių. Dideli mineralinių miltelių kiekio nuokrypiai nuo projekto būna dėl šaltųjų mineralinių miltelių ir (arba) mineralinio dul্কio dozavimo didelių sisteminių paklaidų arba (ir) neteisingai įvertinto šio komponento (MF) kiekio ABMA išsijotose mineralinių medžiagų karštosiose frakcijose.

2.3 lentelė. Asfalto mišinio sudėties deriniai pagal jo komponentų masės vi-
durkių ir projekto bei tolerancijų atitiktį

Derinio šifras	KMA mišinio komponentai			
	Riškis	Mineraliniai komponentai (Σ 100% masės)		
	bitumas (%) viršijant 100%)	mineraliniai mil- teliai(<0,063 mm)	skalda (>2 mm)	smėlis (0,063–2 mm)
111	Per mažai B ⁻	Per mažai MF ⁻	Per mažai CA ⁻	Per daug FA ⁺
112			Kiek reikia CA ⁼	Kiek reikia FA ⁼
113			Per daug CA ⁺	Per mažai FA ⁻
121		Kiek reikia MF ⁼	Per mažai CA ⁻	Per daug FA ⁺
122			Kiek reikia CA ⁼	Kiek reikia FA ⁼
123			Per daug CA ⁺	Per mažai FA ⁻
131		Per daug MF ⁺	Per mažai CA ⁻	Per daug FA ⁺
132			Kiek reikia CA ⁼	Kiek reikia FA ⁼
133			Per daug CA ⁺	Per mažai FA ⁻
211	Kiek reikia B ⁼	Per mažai MF ⁻	Per mažai CA ⁻	Per daug FA ⁺
212			Kiek reikia CA ⁼	Kiek reikia FA ⁼
213			Per daug CA ⁺	Per mažai FA ⁻
221		Kiek reikia MF ⁼	Per mažai CA ⁻	Per daug FA ⁺
222			Kiek reikia CA ⁼	Kiek reikia FA ⁼
223			Per daug CA ⁺	Per mažai FA ⁻
231		Per daug MF ⁺	Per mažai CA ⁻	Per daug FA ⁺
232			Kiek reikia CA ⁼	Kiek reikia FA ⁼
233			Per daug CA ⁺	Per mažai FA ⁻

2.3 lentelės pabaiga

311	Per daug B ⁺	Per mažai MF ⁻	Per mažai CA ⁻	Per daug FA ⁺
312			Kiek reikia CA ⁼	Kiek reikia FA ⁼
313			Per daug CA ⁺	Per mažai FA ⁻
321		Kiek reikia MF ⁼	Per mažai CA ⁻	Per daug FA ⁺
322			Kiek reikia CA ⁼	Kiek reikia FA ⁼
323			Per daug CA ⁺	Per mažai FA ⁻
331		Per daug MF ⁺	Per mažai CA ⁻	Per daug FA ⁺
332			Kiek reikia CA ⁼	Kiek reikia FA ⁼
333			Per daug CA ⁺	Per mažai FA ⁻

KMA mišinio komponentai turi skirtingą paskirtį sudarant jo struktūrą ir laiduojančius reikiamus fizinius ir mechaninius rodiklius. Jų vienodi procentiniai nuokrypiai nuo optimalaus kiekio, pateikto DMF, nevienodai blogina KMA mišinio savybes. Praktikoje keturių KMA mišinio komponentų kiekio galimi 27 deriniai pagal rangus pateikti 2.4 paveiksle.

Komponento kiekio atitikties lygmuo	Kokybinis rangas																											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	
Per daug +					○	●					○		●			○		●	○		●				●		○	○
Kiek reikia =	● ○ □ △	● ○ □ △	● ○ □ △	● ○ □ △	● ○ □ △	○ ○ □ △	○ ○ □ △	● ○ □ △	● ○ □ △	● ○ □ △	● ○ □ △	○ ○ □ △	○ ○ □ △	○ ○ □ △	○ ○ □ △	○ ○ □ △	○ ○ □ △	○ ○ □ △	○ ○ □ △	○ ○ □ △	○ ○ □ △	○ ○ □ △	○ ○ □ △	○ ○ □ △	○ ○ □ △	○ ○ □ △		
Per mažai -				○		●		○	○	□				●	●		●	○	○	●			●	●		○	●	●
Derinio šifras	222	223	221	212	232	322	122	213	211	231	233	321	323	123	121	332	112	312	132	333	331	113	111	311	313	133	131	
Grupė	A	B	C	D				E			F	G	H	K		L					L				M			

2.4 pav. Gaminamo KMA mišinio komponentų kiekio atitikties projekto ir normų reikalavimams kokybinis rangas ir jo derinio šifras: ● – bitumas (B), ○ – mineraliniai milteliai (MF), f – skalda (CA), △ – smėlis (FA)

Teoriškai ir iš empirinių (eksperimentinių) duomenų įrodyta, kad gaminamame KMA mišinyje esančio ir struktūrą bei savybes lemiančio kiekvieno iš keturių komponentų faktinis kiekis reikiamo projekcinio (optimalaus) kiekio atžvilgiu gali turėti tris atitikties lygmenis. Visi 27 komponentų kiekio sąsajos su leidžiamaisiais nuokrypiais deriniai buvo susisteminti pagal rangus (2.4 pav.) nuo geriausiojo (kokybinis rangas 1) iki blogiausiojo (kokybinis rangas 27). Sudarant komponentų kiekio atitikties projekto (DMF) ir TRA ASFALTAS 08 bei IT ASFALTAS 08 reikalavimams derinių rangų eilę buvo laikomasi asfalto struktūros sudarymo teorijos principų, įrodančių kiekvieno komponento skirtingą paskirtį, funkcijas ir kiekio nuokrypių įtaką savybėms. Kokybiniai rangai sujungti į kategorijas, atitinkančias beveik vienodą KMA kokybės lygmenį: A kategorija laikoma geriausia, o M – blogiausia.

Komponento kiekio faktinis nuokrypis nuo projekto apskaičiuojamas formule:

$$\Delta k_{fi} = \bar{k}_{fi} - k_{pi}, \quad (2.4)$$

$\bar{k}_{fi}$ – i -ojo komponento gaminamame KMA mišinyje vidutinis faktinis kiekis, %, gaunamas iš N maišinių paėmuspo vieną reprezentatyvų ėminį ir iš nesumaišytų ėminių atskirai išsektrahavus bitumą, mineralinę dalį išsijojus per kontrolinių sietų komplektą ir tuomet duomenų sumą padalijus iš N maišinių (bandinių); k_{pi} – gaminamo KMA mišinio sudėties projekte (DMF) numatytas i -ojo komponento optimalus kiekis, %.

Faktinė i -ojo komponento kiekio nuokrypio modulio vertė $|\Delta k_{fi}|$ dalijama iš tos normuotosios jo nuokrypio $|\Delta k_{ni}|$ vertės modulio (2.2 lentelė), kuri atitinka imtyje naudotų bandinių skaičių N .

2.3.2. KMA mišinio homogeniškumas maišinyje

Reikia skirti KMA mišinio partijos ir maišinio vienodumą. Tam, kad nebūtų painiojami terminai, homogeniškumu siūlome vadinti KMA mišinio maišinio atskirose vietose esančių komponentų kiekio sklaidos (variacijos) dydį, o vienodumu ar vienalytiškumu – kompo-

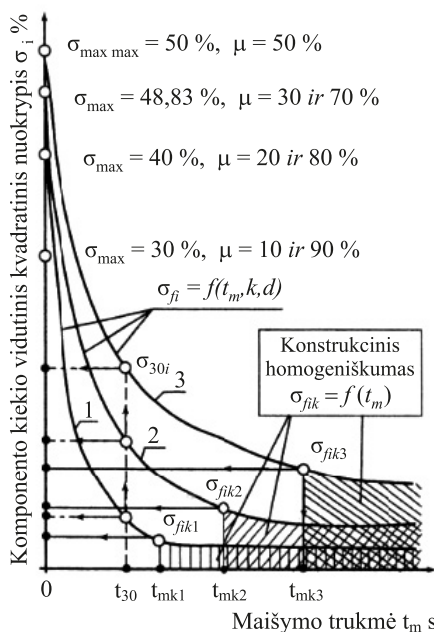
mentų kiekio variacijos dydį tarp jo maišinių, t. y. partijoje (per darbo dieną pagamintoje produkcijoje).

Gaminamo KMA mišinio homogeniškumą (H) įvertinantis dėmuo yra antrasis pagal svarbą ($Q_3 = 0,1685$), kuris rodo, ar kokybiškai maišyklėje sumaišomi visi keturi komponentai. Homogeniškumas norminiuose dokumentuose nereglamentuojamas, dėl to nežinoma jo leidžiamoji vertė. Normose dažniausiai tik pateikiama mažiausia leidžiama medžiagų maišymo maišyklėje trukmė, lemianti homogeniškumą. KMA mišinio maišymas turi būti atliktas per trumpiausią įmanomą laiką, kad būtų gautas tinkamas mišinys. Gamybės maišiniais įrenginiuose sausojo maišymo trukmė turi būti nuo 0 iki 10 s, o įpylus bitumo dar papildomai turi būti maišoma šlapiuoju maišymo būdu nuo 25 iki 50 s (ASTM Standart specification...D3515-01). Minimali maišymo trukmė gali būti nustatyta pagal padengtų bitume dalelių procentinį kiekį. Maišyklės konstrukcija, techninė būklė ir technologiniai rodikliai turi būti tokie, kad pakankamai trumpai maišant dozuotas medžiagas, i -ųjų komponentų kiekių mišinyje faktiniai standartiniai nuokrypiai σ_{fi} būtų artimi nuliui arba kiek galima mažesni. KMA mišinio homogeniškumo įvertis pagal i -ojo komponento kiekio standartinį nuokrypį yra maišymo trukmės (t_m), maišyklės konstrukcijos ir techninės būklės (k) ir darbo technologinio režimo (d) funkcija, t. y. $\sigma_{fi} = f(t_m, k, d)$.

Skirtingos sudėties ir temperatūros KMA mišiniui, sudarytam iš nevienodo dydžio, formos ir paviršiaus mikrostruktūros skirtingų uolienu grūdelių ir skirtingų rūšių bei markių bitumo, yra būdingas didžiausias galimas vienodumas, kurio neįmanoma dar padidinti tobulinant konstrukcinius, technologinius ir organizacinius maišymo proceso parametrus. Šį geriausią KMA mišinio būvį, kai iš skirtingų maišinio vietų paimtuose ėmimuose esančių visų komponentų kiekio standartiniai nuokrypiai yra mažiausi $\sigma_{i\min}$ ir nesikeičia nustojus maišyti medžiagas, siūloma vadinti didžiausiu galimu vienodumu (homogeniškumu). Didžiausias galimas vienodumas skirtingų tipų ir markių KMA mišiniams, sumaišytiems atskirose maišyklėse, nėra vienodas ir gali būti nustatytas tik specialiais eksperimentais.

Didinant diskretinėje priverstinio maišymo dviejų velenų maišyklėje maišomų dozuotų mineralinių medžiagų ir bitumo maišymo truk-

mę t_m nuo 0 iki ∞ sekundžių, pradžioje KMA mišinio kiekvieno komponento kiekio maišinyje faktiniai standartiniai nuokrypiai σ_{fi} staiga ima mažėti. Po kelių ar keliasdešimt sekundžių šis mažėjimas sulėtėja, kol pasiekama tokia maišymo trukmė t_m , kai tolesnis maišymas beveik nedidina mišinio homogeniškumo, nes σ_{fi} vertės beveik nemažėja (2.5 pav.). Šis KMA mišinio homogeniškumas, kai jo i -ojo komponento kiekio maišinyje faktinis standartinis nuokrypis σ_{fi} nemažėja, didinant medžiagų maišymo trukmę t_m , vadinamas konstrukciniu ir žymimas įverčiu σ_{fik} . Skirtingų maišyklių jis atskiriams KMA mišinio komponentams skiriasi: bitumui paprastai pasiekiamas ilgiausiai, o skaldai – trumpiausiai maišant medžiagas.



2.5 pav. Skirtingose maišyklėse maišomo KMA mišinio komponento kiekio maišinyje sklaidos dinamikos modelis

Šią teorinę sąsają patvirtina ir duomenys eksperimentų, (Christauskas 1982; Petkevičius 1989), atliktų D-508-2A modelio ir kituose ABMA (2.4 lentelė). Tobulos konstrukcijos, techniškai tvar-

kingos ir veikiančios optimaliu režimu (optimalus tūrio pripildymas medžiagų, tinkamas velenų greitis, sausojo ir šlapiojo maišymo būdų trukmės santykis ir kt.) maišyklės, kurios maišymo dinamiką rodo 2.5 pav. pirmoji kreivė, kokybė yra aukščiausia. Joje maišomo i -ojo komponento kiekio yra didžiausias vienodumas, įvertintas konstrukcinio homogeniškumo įverčiu σ_{fik1} , gautas esant mažiausiai – tik t_{mk1} maišymo trukmei. Mažiausia reikalinga maišymo trukmė t_{mk1} gali būti net mažesnė kaip 30 s (t_{30}). Tokia trukmė normuota kaip mažiausia leidžiama maišymo trukmė. Ji gamybininkų dažniausiai neteisingai vertinama kaip aksioma, neatsižvelgiant į mišinio tipą ir marķę, ABMA modelį, KMA mišinio maišinio masę. Tipiška maišymo ciklo trukmė būna 45–60 sekundžių (Hunter 1997). Tobulos maišyklės konstrukcinio homogeniškumo įvertis – mažas (σ_{fik1}), vidutinio tobulumo – vidutinis (σ_{fik2}), o netobulos – didelis (σ_{fik3}). Tačiau maišyklė eksploatuojama nuolat dėvisi (dyla ir lūžta mentės, iškloja ir tvirtinimo elementai) – tai didina konstrukcinio homogeniškumo įverčių σ_{fik} faktines vertes.

2.4 lentelė. KMA mišinio maišymo diskretinėje priverstinio maišymo maišyklėje trukmės įtaka jo homogeniškumui

KMA mišinio komponentas	Homogeniškumo įverčio žymuo	Homogeniškumo rodiklis σ_{fi} , %				
		Kai $t_m = 30\text{--}240$ s, imama iš maišinio vežimėliu iki 48 ėminių (Petkevičius 1989)		Kai $t_m = 0\text{--}120$ s, imama iš maišinio semtuviniu ėmikliu po 8 ėminius (Christauskas 1982)		
		$t_m = 30^s$	Mažiausios vertės maišant ilgai (>60 s)	Sausasis maišymas be bitumo maišant 5 s	$t_m = 30^s$	Maišant nuo 30 iki 120 s (σ_{vid})
Bitumas (B)	σ_{fB}	0,55	0,2	–	0,13	0,26
Mineraliniai milteliai (MF)	σ_{fMF}	0,5	0,15	1,8	0,26	0,80
Skalda (CA)	σ_{fCA}	0,8	0,3	5,1	1,75	1,26
Smėlis (FA)	σ_{fFA}	0,9	0,3	–	–	–

Nustatyta (Руководство... 1978), kad ABMA su priverstinio maišymo maišyklėmis smėlio, smulkiagrūdžiai ir vidutinio grūdėtumo KMA mišiniai pradžioje sausuoju būdu turi būti maišomi 15 s, kad suvienodėtų dozuotų karštųjų mineralinių medžiagų frakcijų ir šaltųjų mineralinių miltelių temperatūra. Dar 30–60 s šlapiuoju būdu jos turi būti maišomos, kad bitumas tolygiai pasiskirstytų tarp grūdelių ir juos visiškai padengtų ištisinėmis bitumo plėvelėmis. Net tobuliausiuose kompiuterizuotose ABMA medžiagų maišymo maišyklėje mažiausia trukmė turi būti 45–60 s (Hunter 1997), t. y. visada didesnė kaip 30 s. Tačiau, kaip ji skaičiuojama (nuo kurios technologinės operacijos pradžios iki kurios pabaigos), dažniausiai nesutaria nei mokslininkai, nei gamybininkai.

Pakankamai ilgai maišyklėje maišant mineralines medžiagas ir bitumą, pagamintame KMA mišinyje esančių komponentų kiekių standartiniai nuokrypiai, sumažėję iki mažiausių $\sigma_{imin} = \sigma_{fik}$ verčių, tęsiant maišymo procesą, nedidėja. Todėl KMA mišinį permaišyti suplakant į flokulus, jokio pavojaus nėra. Per ilgai maišant labiau oksiduojasi bitumas. Tą patvirtina maišymo proceso teorija ir pagaminto KMA mišinio vienodumo tyrimo eksperimentiniai duomenys.

KMA mišinio maišinyje esančio *i*-ojo komponento kiekio faktinį homogeniškumo įvertį σ_i būtų galima lyginti su mažiausiu galimu homogeniškumu, kurį rodo įvertis σ_{imax} . Mineralinio komponento kiekio mažiausias homogeniškumas būna visiškai nemašius dozuotų mineralinių medžiagų. Jo įvertis σ_{imax} apskaičiuojamas teorine formule (Evaluation of ... 1967; Mučinis *et al.* 2009):

$$\sigma_{imax} = \sqrt{\mu(100 - \mu)}, \quad (2.5)$$

čia μ – KMA mišinio grūdelių pilnutinė išbira per kontrolinį sieta, masės %.

Modelio (2.2) trečiojo dėmens x_3 sumos, pateiktos (2.7) formulėje, vardiklyje vietoj konstrukcinio homogeniškumo įvertio σ_{fik} naudojant pagal formulę (2.5) apskaičiuotąsias σ_{imax} skaitines vertes (pavyzdžiui, kai $\mu = 50$ %, tai $\sigma_{maxmax} = 50\%$, kai $\mu = 20$ ar 80 %, tai $\sigma_{max} = 40$ %, kai $\mu = 10$ ar 90 %, tai $\sigma_{max} = 30$ %), kurios keliolika ar keliasdešimt kartų yra didesnės už eksperimentais nustatytas vertes

σ_{fi} , gautasis santykis blogai išreikštų medžiagų sumaišymo kokybę. Padalinus σ_{fik} iš $\sigma_{i\max}$ būtų gaunamos labai mažos santykio vertės ir jos mažai skirtųsi netobulo, vidutinio tobulumo ir tobulų maišyklių, o tai darytų šį įvertį labai nelankstų ir dėl to nepatikimą.

Moksliai neįrodyta, koks gali būti mažiausias kiekvieno komponento kiekio standartinis nuokrypis σ_{imin} . Teoriškai jis lygus 0, tačiau, kaip jį tokį ar artimą nuliui pasiekti, praktinių sprendimų nėra. Faktinio KMA mišinio homogeniškumo negalima nustatyti teoriniais skaičiavimais. Jį galima nustatyti tik imant reikalingą kiekį tam tikro dydžio atskirų ėminių ir juos atskirai kiekvieną tiriant. Jei KMA mišinys maišinyje yra homogeniškas, tai jo ėminių ėmimo paklaidų nėra, bet yra ėminių bandymo ekstrahuojant ir sijoiant per kontrolinius sietus paklaidos, kurios neleidžia gauti $\sigma_{fik} = 0$ ir $\sigma_{30i} = 0$ (Bražiūnas, Sivilevičius 2010). Kiekvienos skirtingos konstrukcijos nenaudotai naujai ABMA yra būdingas tam tikras mažiausias konstrukcinis homogeniškumas, pavaizduotas užbrūkšniuoto ploto ordinate σ_{fko} (2.6 pav.).

Naudojamos maišyklės dėl jos elementų nuolatinio dėvėjimosi konstrukcinio homogeniškumo įverčio σ_{fik} vertė didėja (2.6 pav.). Taip pat didėja ir skirtumas $\Delta\sigma_{fik}$ tarp įverčio σ_{30i} , gaunamo 30 s maišant medžiagas (t_{30}), ir konstrukcinio homogeniškumo įverčio σ_{fik} :

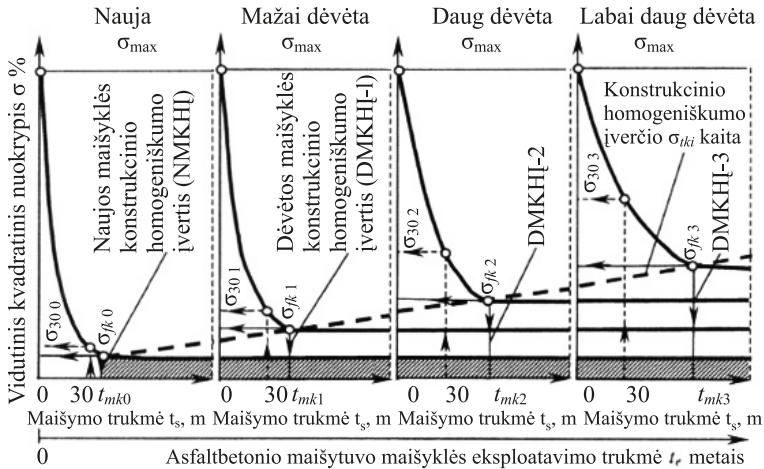
$$\Delta\sigma_{fi} = \sigma_{30i} - \sigma_{fik}. \quad (2.6)$$

Kuo maišyklė labiau sudėvėta, tuo labiau tikėtina, kad šis skirtumas bus didesnis. (2.6) lygties dešinės pusės skirtumas nerodo standartinio nuokrypio, bet jų skirtumą, tinkantį standartiniams nuokrypiams palyginti. Norint apskaičiuoti skirtumo standartinį nuokrypį reikėtų atlikti veiksmą su dispersijomis.

Kadangi kiekvieno komponento kiekio mažiausios galimos standartinių nuokrypių σ_{imin} vertės, priklausančios nuo tiriamosios konkrečios maišyklės savybių, yra nežinomos, tai jų negalima ir naudoti vertinant ABMA kokybę pagal KMA mišinio homogeniškumą. Šiam tikslui geriausiai tinka nusistovėjusio proceso determinuoti parametrai ar nors vienas iš tokių pastoviųjų parametrų, pavyzdžiui, homogeniškumas, gaunamas maišant 30 s ir išreiškiamas įverčiu σ_{30i} .

Todėl ABMA kokybę vertinančio dėmens pagal maišyklėje su maišomų komponentų homogeniškumo faktinę vertę galima apskaičiuoti formule:

$$x_3 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^k \frac{\Delta\sigma_{fi}}{\sigma_{fik}}}{k} = 1 - \frac{\frac{\Delta\sigma_{fB}}{\sigma_{fBk}} + \frac{\Delta\sigma_{fMF}}{\sigma_{fMK}} + \frac{\Delta\sigma_{fCA}}{\sigma_{fCA}} + \frac{\Delta\sigma_{fFA}}{\sigma_{fFA}}}{4}. \quad (2.7)$$



2.6 pav. Maišyklės konstrukcinio homogeniškumo mažėjimo dinamika didėjant ABMA eksploataavimo trukmei, kai netaisomi jos susidėvėję elementai

2.3.3. Asfalto mišinio temperatūros ir normų atitiktis

Trečiasis pagal svarbą ABMA kokybę lemiantis kriterijus ($Q_2 = 0,1622$) yra gaminamo KMA mišinio temperatūra, kuri rodo asfalto mišinio gamybos kokybę. Faktinė KMA mišinio kiekvieno maišinio temperatūra turi atitikti leidžiamas ribas, normuotas ĮT ASFALTAS 08 atsižvelgiant į naudoto bitumo markę ir rūšį.

Reikiama KMA mišinio temperatūra priklauso nuo rišančiosios medžiagos rūšies, markės ir mišinio sudėties. Asfalto mišinio maišymo temperatūra negali būti didesnė už 2.5 lentelėje pateiktą viršutinę T_{nv} ir mažesnė už apatinę T_{na} normuotąsias vertes.

Mineralinių medžiagų ir rišiklio kaitinimo temperatūros parenkamos atsižvelgiant į tai, kad nebūtų žalingo poveikio jų savybėms (IT ASFALTAS 08).

Mažesnė už normuotąją pagaminto KMA mišinio temperatūra blogina jo klojimo ir tankinimo darbų kokybę. Per šaltas mišinys tampa neslankiu klotuvo sraiginiame skirstytuve, jis netankėja po plentolio valcais, dėl to grūdėliai trupa ir nepasiekia geriausio kompaktinio būvio, o asfalto danga būna neleistinai akyta ir nestipri.

2.5 lentelė. Asfalto (KMA) mišinio maišymo leidžiamoji temperatūra

Asfalto mišinio rišiklio rūšis ir markė	Asfaltbetonis (AC)		Skaldos ir mastikos as- faltas (SMA)		Mastikos asfal- tas (MA)		Poringasis asfaltas (PA)	
	$T_{min} - T_{max}$	DT _n	$T_{min} - T_{max}$	DT _n	$T_{min} - T_{max}$	DT _n	$T_{min} - T_{max}$	DT _n
20/30	–	–	–	–	210–230	20	–	–
35/50	150–190	40	–	–	200–230	30	–	–
50/70	140–180	40	150–190	40	–	–	–	–
70/100	140–180	40	140–180	40	–	–	–	–
100/150	130–170	40	130–170	40	–	–	–	–
160/220	130–170	40	–	–	–	–	–	–
PMB 40/ 100–65 E	–	–	–	–	–	–	140–170 ¹	30
PMB 25/55–60	150–190	40	150–190	40	210–230	20	–	–
PMB 45/80–55	150–180	30	150–180	30	200–230	30	–	–
PMB 65/105–50	140–180	40	140–180	40	–	–	–	–

Pastaba. Minimalios ribinės vertės galioja klojimo vietoje iškrautam mišiniui, maksimalios ribinės vertės galioja iš maišytuvo į kaupiamąjį bunkerį iškraunamam mišiniui.

¹ Papildomai turi būti atsižvelgta į gamintojo duomenis.

Didesnė už leistiną pagaminto KMA mišinio temperatūra blogina jame esančio bitumo savybes. Dėl intensyvios oksidacijos jis darosi klampesnis, nes garuojant lakiems alyvų komponentams keičiasi jo grupinė sudėtis. Populiariai sakant, bitumas „sudega“ ir pasensta, labai padidindamas klampį ir prarasdamas adhezijos ir elastingumo savybes.

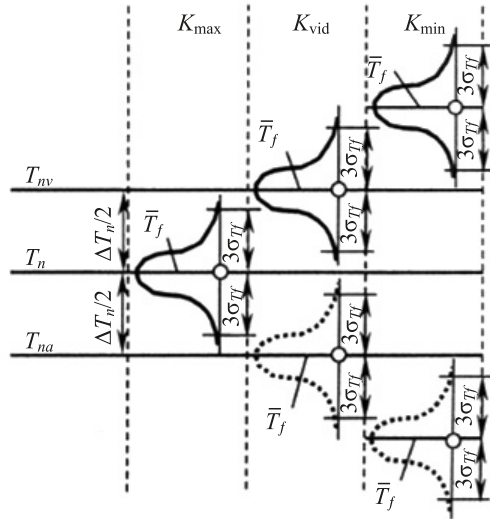
Temperatūros įtaka KMA mišinio kokybei modeliuojama laikant, kad jos faktinis nuokrypis į didesnę ir į mažesnę puses yra vienodai blogas. Šiam nuokrypiui didėjant tolygiai blogėja KMA mišinio, o kartu ir jį gaminančio ABMA kokybė.

Gaminant KMA mišinį dėl šaltųjų mineralinių medžiagų drėgmės ir temperatūros svyravimų šių medžiagų srauto nesuderinamumo su degiklio liepsnos intensyvumu ir šilumos spinduliuote, priklausančia nuo kuro rūšies, kokybės bei santykio su tiekiamo oro srautu, džiovinimo būgno šiluminės inercijos stabdant ir pradedant gamybos procesą ir kitų stochastinių veiksnių, jo faktinė temperatūra dažnai neatitinka leidžiamųjų normuotųjų verčių (2.7 pav.).

Skalda, žvyras, gamtinis smėlis ir atsijos džiovinimo būgne turi būti išdžiovinti ir įkaitinami tiek, kad pridėjus mineralinių miltelių ir kitų šaltųjų medžiagų, būtų pasiekta reikiama KMA mišinio temperatūra.

Temperatūros normuotosios skirtingos vertės gaminamam ir naudojamam KMA mišiniui pateiktos žinant, kad jis laikant, transportuojant ir klojant atšąla. Tačiau jos tarpinių verčių tarp T_{na} ir T_{nv} taikymo sritys IT ASFALTAS 08 nenurodytos.

Pagal gaminamo KMA mišinio temperatūros $\bar{T}_f$ ir normų (IT ASFALTAS 08) ir projektų (DMF) reikalavimų atitikimą geriausia ABMA kokybė yra tokia, kai faktinis KMA mišinio temperatūros vidurkis $\bar{T}_f$ lygus tolerancijų vidutinei vertei $(T_{na} + T_{nv})/2$, t. y. kai $\Delta\bar{T}_f = 0$. Vidutinė jo kokybė atitinka lygmenį, kai faktinis KMA mišinio temperatūros vidurkis $\bar{T}_f$ lygus normuotajai leistinajai viršutinei T_{nv} arba apatinei T_{na} vertėms, t. y. kai faktinis skirtumas $|\Delta T_f|$ lygus pusei normuotojo skirtumo ΔT_n . Blogiausia ABMA kokybė nėra determinuotas dydis, nes KMA temperatūros nuokrypiams didėti nėra teorinės ribos. Netinkamas yra ir toks lygmuo, kai $\bar{T}_f$ nepatenka tarp apatinės T_{na} ir viršutinės T_{nv} normuotųjų leistinųjų verčių. Nutolus KMA mišinio temperatūros vidurkiui $\bar{T}_f$ nuo viršutinės normuotosios ribos T_{nv} į viršų (perkaitintas mišinys) arba nuo apatinės normuotosios ribos T_{na} į apačią (per šaltas mišinys) dydžiu $\Delta T_n/2$, ABMA kokybės rodiklis pagal šį kriterijų yra labai mažas ir artimas nuliui.



2.7 pav. Gaminamo KMA mišinio temperatūros ir normų atitikties modelis

Siūlome tokią ABMA kompleksinio kokybės rodiklio K dėmens, priklausančio nuo to, kaip gaminamo KMA mišinio temperatūra atitinka normas ir projektą (DMF), skaičiavimo formulę:

$$x_2 = 1 - \frac{\left| \frac{T_{nv} + T_{na}}{2} - \bar{T}_f \right|}{T_{nv} - T_{na}} = 1 - \frac{|\Delta T_f|}{\Delta T_n}. \quad (2.8)$$

Atskirų KMA mišinio temperatūros verčių T_j sklaidos apie vidurkį $\bar{T}_f$ plotį rodantis standartinis nuokrypis σ_{Tf} modelyje (2.8) nevertintas.

Gaminamo KMA mišinio temperatūros tikslumo ir stabilumo tyrimų duomenys (Rokas *et al.* 1980) rodo, kad ji pasiskirsto pagal normalųjį dėsnį ir dažnai per darbo pamainą labai nukrypsta nuo normų reikalavimų. KMA mišinio temperatūros kaitos priklausomybę nuo naudojamų medžiagų temperatūros, drėgmės ir masės tyrė kitų šalių mokslininkai (Kennedy, Huber 1985; Леонович *et al.* 1989). Jie įrodė, kad šis technologinis veiksnys yra pakankamai sudėtingas, tačiau valdomas.

2.3.4. Aplinkos oro tarša iš ABMA išmetamomis dulkėmis ir dujomis

Funkcionuojant ABMA, jo technologiniuose įrenginiuose išsiskiria kenksmingos žmogui, gyvūnijai ir augmenijai medžiagos, kurios specialiais oro valymo įrenginiais atskiriamos ir nukenksminamos. Dulkių ir degimo produktų dujų emisija E į aplinką yra ketvirtasis pagal svarbą ABMA kokybės rodiklis ($Q_4 = 0,1100$), kuris priklauso nuo ABMA įrenginiuose vykstančių procesų savybių, HMA mišiniui gaminti naudojamų medžiagų ir kuro rūšies bei savybių, jo gamybos technologijos, įdiegtų darbų organizavimo principų, degiklio ir dulkių atskyrimo iš oro įrenginių konstrukcijos ir techninės būklės.

Dulkių (D) ir kuro degimo dujų (azoto oksidų – NO_x , sieros dioksido – SO_2 , anglies monoksido – CO , naftos angliavandenių – C_nH_m ir anglies formaldehido – CH_2O) faktinė koncentracija c_j mg/m^3 negali būti didesnė kaip kiekvieno šio j -ojo teršalo ($v = 1, \dots, h$) didžiausia leidžiamoji koncentracija DLK_v mg/m^3 , pateikta 2.6 lentelėje (Rekomenduojamos... 1998), t. y. kaip vienkartinė cheminio junginio koncentracija, leidžiama gyvenamosios vietovės ore. Naujų modelių ABMA didžiausia leidžiamoji teršalų koncentracija iki šiol nebuvo pateikta.

Nuolat tobulinant ABMA dulkių šalinimo iš oro įrenginius, pakuros degiklius ir juos tinkamai prižiūrint, taip pat naudojant kokybišką mažai nuodingų dujų išskiriantį kurą ir tinkamai organizuojant KMA mišinio gamybos procesą, teršalų emisija mažėja. Procesą tobulinti skatina ir aplinkosaugos reikalavimų griežtinimas.

Kai kurie cheminiai junginiai pasižymi suminiu kenksmingu poveikiu aplinkai, pavyzdžiui, SO_2 ir NO_2 arba SO_2 ir sieros vandenilis. Išmetant tik vieną iš tokių dviejų teršalų, faktinė jo koncentracija c_v turi būti mažesnė už leidžiamą DLK_v . Kai išmetami du sąveikaujantys teršalai, tai kiekvieno iš jų faktinė koncentracija c_1 ir c_2 turi būti perpus mažesnė, t. y. tokia, kad atitiktų sąlygą:

2.6 lentelė. Rekomenduojamos asfaltbetonio maišytuvų teršalų emisijos normos

Išmetama kenksminga medžiaga	Teršalų emisijos limitas (didžiausia leidžiama koncentracija – DLK) mg/m ³			
	<i>Teltomat</i> – <i>V</i> modelio		DS-117-2K ir D-508 modelio	
	kuras – naftos produktai (mazutas, krosnių kuras)	kuras – dujos	kuras – naftos produktai (mazutas, krosnių kuras)	kuras – dujos
Dulkės D	500	260	550	300
Azoto oksidai NO _x	60	50	70	70
Sieros dioksidas SO ₂	170	–	170	–
Anglies monoksidas CO	1000	570	1000	1000
Naftos angliavandeniliai C _n H _m	500	850	500	850
Formaldehidai CH ₂ O	20	–	10	–

$$\frac{c_1}{DLK_1} + \frac{c_2}{DLK_2} \leq 1. \quad (2.9)$$

Nepaisant šios sąveikos galima teigti, kad kiekvieno *v*-ojo teršalo emisija (faktinė koncentracija) c_v privalo būti mažesnė už jo DLK_v . Todėl ABMA kokybę aplinkos apsaugos požiūriu galima vertinti pagal rodiklio, apskaičiuoto formule (2.10), vertę:

$$x_4 = 1 - \frac{\sum_{v=1}^h \frac{c_v}{DLK_v}}{h} = 1 - \left(\frac{\frac{c_D}{DLK_D} + \frac{c_{NO_x}}{DLK_{NO_x}} + \frac{c_{SO_2}}{DLK_{SO_2}} + \frac{c_{CO}}{DLK_{CO}} + \frac{c_{C_nH_m}}{DLK_{C_nH_m}} + \frac{c_{CH_2O}}{DLK_{CH_2O}}}{6} \right) \quad (2.10)$$

ABMA, kurui naudojantį gamtines dujas, kokybę vertiname pagal keturių teršalų (dulkės, NO_x, CO ir C_nH_m), o ABMA, deginančio skystąjį kurą (krosnių kurą, mazutą, dyzeliną), dar ir pagal SO₂ bei CH₂O faktinę koncentraciją.

Aplinkos apsaugos požiūriu, ABMA laikytinas geriausiu, jei iš jo į atmosferos orą neišmetama jokių teršalų, t. y. kai visi $c_v = 0$. Vidutiniškos kokybės ABMA būtų, jei faktinė kiekvieno teršalo koncentracija sudarytų pusę jo didžiausios leidžiamosios koncentracijos

DLK_v vertės, t. y. kai $c_v = \frac{DLK_v}{2}$. Blogiausiai kokybei pagal šį kriterijų nėra ribų. Tačiau, laikantis labai griežtų aplinkos apsaugos reikalavimų ir imant kai kurių teršalų suminį efektą ((2.9) formulė), galima teigti, kad labai blogas yra toks ABMA, iš kurio išmetamų teršalų faktinės koncentracijos $c_v \geq DLK_v$.

2.3.5. Ekonominiai ABMA rodikliai, nulemti KMA mišinio savikainos

Svarbus ekonominis rodiklis, pagal kurio vertę sprendžiama apie ABMA kokybę, yra jame gaminamo KMA mišinio savikaina ($Q_5 = 0,0869$), priklausanti nuo gamybos išlaidų. Mažinant kuro ir elektros energijos sąnaudas 1 t pagaminto KMA mišinio, ABMA priežiūros išlaidas, tinkamai organizuojant darbus, tobulinant technologiją, naudojant pigias kokybiškas sausas medžiagas, mažėja pagamintos produkcijos (KMA mišinio) savikaina.

Gaminamo KMA mišinio savikaina, rodanti ABMA kokybę, nėra normuota ir negali būti lygi 0. Kuo mažesnė tiriamajame ABMA pagamintos produkcijos faktinė savikaina s_f , tuo geresnės kokybės yra technologinis įrenginys. Konkuruojant KMA mišinio gamintojams, skirtumai tarp skirtinguose ABMA pagamintos produkcijos savikainos turi tendenciją mažėti. Energijos išteklių (elektros, dujų, naftos produktų) kainų didėjimas pasaulio ir šalies rinkose, taip pat mokesčių didinimas brangina medžiagas, naudojamas KMA mišiniams gaminti, jų transportavimo išlaidas, dėl to ir galutinę produkciją. Pagamintą KMA savikainos įtaką ABMA kokybei galima skaičiuoti trimis būdais:

1. Lygindami gaminamo KMA mišinio faktinę savikainą s_f su didžiausia kuriame nors Lietuvos ABMA gaunama savikaina $s_{\max}$, apskaičiuojame rodiklį:

$$x_5 = \frac{b(s_{\max} - s_f)}{s_{\max}} = \frac{b\Delta s}{s_{\max}}, \quad (2.11)$$

čia b – koeficientas, priklausantis nuo geriausiu laikomo nustatyto santykio tarp mažiausios $s_{\min}$ ir didžiausios (laikomos blogiausia) $s_{\max}$

savikainų: kai $s_{\min}/s_{\max} = 0,5$, tai $b = 2$; kai $s_{\min}/s_{\max} = 0,6$, tai $b = 2,5$; kai $s_{\min}/s_{\max} = 0,7$, tai $b = 3,33$; kai $s_{\min}/s_{\max} = 0,8$, tai $b = 5,0$; kai $s_{\min}/s_{\max} = 0,9$, tai $b = 10$ ir kai $s_{\min}/s_{\max} = 0,95$, tai $b = 20$; Δs – skirtumas $s_{\max}$ ir s_f .

2. Jei taisyklėse būtų normuota ar Viešųjų pirkimų konkurso sąlygose nurodyta $s_{\max}$ ir mažiausia $s_{\min}$ gaminamo KMA mišinio savikainos, tai tiriamojo ABMA kokybę būtų galima vertinti pagal rodiklį, apskaičiuojamą formule:

$$x_5 = 1 - \frac{s_f - s_{\min}}{s_{\max} - s_{\min}}. \quad (2.12)$$

3. Praktikoje realiausiu laikomas atvejis, kai konkurso sąlygose yra pateiktos KMA mišinio didžiausia leidžiama savikaina $s_{\max}$ ir Lietuvos Respublikos teritorijoje veikiančiuose visuose ABMA pagaminto KMA mišinio vidutinė savikaina s_{vid} . Mažiausia savikaina $s_{\min}$ neribojama.

Jei būtų pateikta $s_{\max}$ ir s_{vid} , tai žinant s_f vertę, galima apskaičiuoti ABM kokybės kompleksinio rodiklio kintamojo dydžio x_5 vertę, rodančią gamybos išlaidų įtaką:

$$x_5 = 1 - \frac{s_f - 2s_{\text{vid}} + s_{\max}}{2(s_{\max} - s_{\text{vid}})} = 1 - \frac{s_f - s_{\text{vid}} + z}{2z}, \quad (2.13)$$

čia z – skirtumas tarp didžiausios $s_{\max}$ ir vidutinės s_{vid} savikainos, LT/t arba $\text{€}/t$.

2.3.6. ABMA susidėvėjimas, techninei būklei atstatyti skirtos išlaidos

Eksplatuojamas ABMA dėvisi ir sensta morališkai (amortizuojama), mažėja jo likutinė vertė. Kuo didesnis jo faktinio nusidėvėjimo (suminis) įvertis a_f procentais, tuo blogesnės kokybės ABMA. ABMA nusidėvėjimas per kalendorinius metus normuojamas, nustatant ilgalaikio turto nusidėvėjimo metinę normą. Kiekvienais metais nustatytu procentu mažinama jo vertė nuo įsigijimo balansinės kainos.

Pagal nusidėvėjimą ABMA kokybė skaičiuojama paprasta formule, nes ribinė blogiausia jo kokybė atitinka 100 % amortizaciją:

$$x_6 = 1 - \frac{a_f}{100}. \quad (2.14)$$

Trečiasis ekonominis ABMA kokybės įverčio K dėmuo yra jam remontuoti ir rekonstruoti skiriamų išlaidų santykio su būtinosiomis šių darbų investicijomis rodiklis (jo svoris $Q_6 = 0,0771$). Dalį nusidėvėjimo (amortizacijos) galima atstatyti skiriant pakankamai lėšų labiausiai nudilusiems elementams (mentėms, sietams, elevatorių grandinėms ir kt.) keisti. ABMA nudėvėtus ir reikalavimų neatitinkančius įrenginius būtina laiku remontuoti ir rekonstruoti. Šiems darbams atlikti reikalingos išlaidos apskaičiuojamos įvertinus faktinį įrenginių nusidėvėjimą ir pateikiamos remonto ir rekonstrukcijos darbų sąmatoje (išlaidų įvertis $r_{\max}$). Kuo daugiau investicijų šiems darbams skiriama (išlaidų įvertis r_f), tuo geresnės kokybės, jas panaudojus, būna ABMA. Remonto ir rekonstrukcijos investicijų reikšmė ABMA kokybei apskaičiuojama formule:

$$x_7 = \frac{r_f}{r_{\max}}. \quad (2.15)$$

2.3.7. ABMA pajėgumo gaminti asfalto mišinius naudojimas

Funkcionuojančio ABMA pajėgumų naudojimas, rodantis, kiek jis reikalingas gaminti KMA mišinį jo racionalaus naudojimo zonoje (plote), taip pat yra ekonominis rodiklis. Pagal jo skaitinę vertę, skaičiuojamą (2.16) formule, nustatomas per ilgą laiko tarpą (dažniausiai per darbų sezono 8 mėnesius) pagaminamo KMA mišinio faktinio kiekio p_f santykis su didžiausiu galimu pagaminti mišinio kiekiu $p_{\max}$, priklausančiu nuo maišytuvo nominalaus techninio našumo:

$$x_8 = \frac{p_f}{p_{\max}}. \quad (2.16)$$

Kuo daugiau KMA mišinio per darbų sezoną ABMA pagamina, tuo jis reikalingesnis, greičiau sugrįžta investicijos jam įsigyti, trumpiau stovi negamindamas produkcijos – taigi, iš dalies yra geresnis.

2.3.8. ABMA technologinis universalumas

Nominalus ABMA techninis našumas priklauso ne tik nuo jo atskirų įrenginių našumo, bet ir nuo naudojamų mineralinių medžiagų drėgmės – drėgmei didėjant, našumas mažėja. Siekiant didesnio ABMA našumo (artimo maksimaliam galimam) dažniausiai bloginami gamybos proceso technologiniai parametrai. Labai apkrovus intensyviu srautu ABMA sijotuvą, per jo sietus išsijoto karštosios frakcijos būna daugiau užterštos didesniais ir mažesniais šalutiniais grūdeliais. Greitai sveriant baigiamojo dozavimo mineralines medžiagas, padidėja jų dozavimo atsitiktinės paklaidos. Trumpiau maišant medžiagas maišyklėje (mažinant maišymo ciklo trukmę t_m), bitumas nespėja padengti visų grūdelių vientisomis reikiama storio plėvelėmis, o skirtingo dydžio grūdeliai netolygiai pasiskirsto KMA mišinio maišinyje.

ABMA technologinis universalumas, rodantis tinkamumą gaminti kuo daugiau įvairių tipų ir markių asfalto mišinių, naudojamų keliams tiesti, taisyti bei regeneruoti, yra penktas pagal svarbą jo kokybės dėmuo ($Q_9 = 0,1013$).

Techninių reikalavimų apraše TRA ASFALTAS 08 ir Įrengimo taisyklėse IT ASFALTAS 08 pateikti 4 grupių asfalto mišiniai, kuriuose gali būti naudojamas naudotas asfaltas – RA(2.8 pav.). Ateityje Lietuvoje gali būti gaminami dar 3 markių ir tipų asfalto mišiniai (2.9 pav.). Prireikus kelių statybos ir taisymo darbams gaminamas šiltnis asfaltas (WA) ir šaltasis asfaltas (CA). Iš viso gali būti gaminama $N = 10$ markių ir tipų asfalto mišinių. Galimybė gaminti kiekvieną iš jų vertinama 0,1.

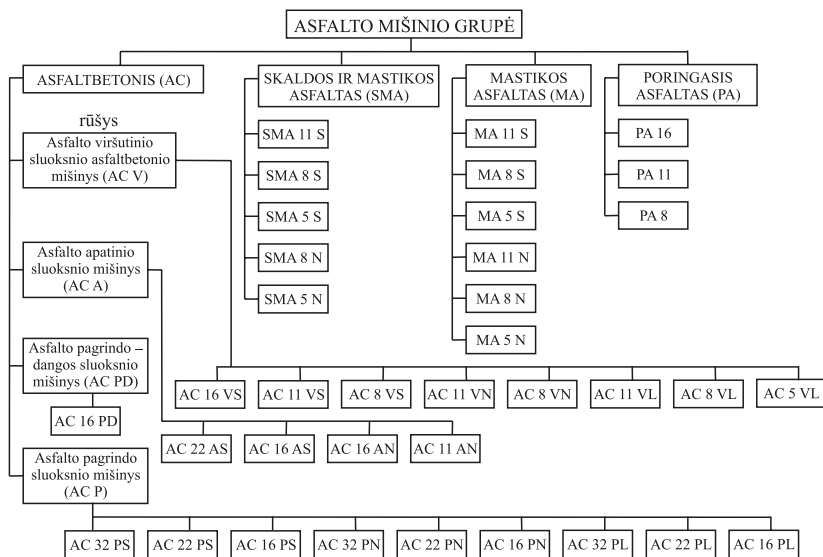
Todėl ABMA kokybę pagal jo technologinį universalumą rodanti įvertį x_9 galima apskaičiuoti formule:

$$x_9 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N P_u = \frac{1}{N} \left(\frac{P_{AC} + P_{SMA} + P_{MA} + P_{PA} + P_{BBTM} + P_{SA} + P_{HRA} + P_{RA} + P_{WA} + P_{CA}}{N} \right), \quad (2.17)$$

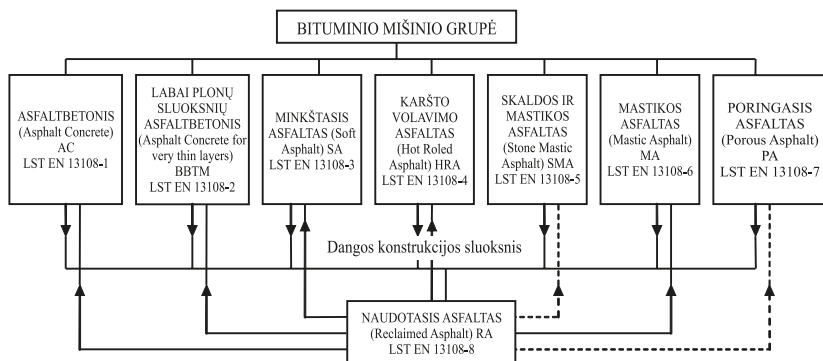
N – pagal šalies normas ABMA gaminamų visų rūšių ir markių asfalto mišinių skaičius $u = 1, 2, \dots, N$; P_u – galimybė gaminti u -osios rūšies ir markės asfalto mišinį ($P_u = 0$, kai u -asis mišinys negaminamas, $P_u = 1$, kai u -asis asfalto mišinys gaminamas).

Pateikti simboliai žymi galimybę jame gaminti asfaltbetonį (AC), skaldos ir mastikos asfaltą (SMA), mastikos asfaltą (MA), poringąjį asfaltą (PA), labai plonų sluoksnių asfaltbetonį (BBTM), minkštąjį asfaltą (SA), karšto volavimo asfaltą (HRA), regeneruotą asfaltą (RA), šiltąjį asfaltą (WA) ir šaltąjį asfaltą (CA). Šių asfalto mišinių naudojimo sritys pateiktos antrame priede.

Geriausiu laikomas ABMA, kai juo įmanoma gaminti kelių tiesyboje naudojamus visus mišinius ($x_9 = 1,0$), o blogiausiu – kai įmanoma gaminti tik vieną iš jų, pavyzdžiui AC (tada $x_9 = 0,1$). Šie įverčiai P_u gali būti skirtingi, bet tuomet jų suma vis tiek turėtų būti lygi 1,0. To asfalto mišinio, kurio pagaminama daugiausiai, P_u turi būti didžiausias.



2.8 pav. Automobilių kelių asfalto mišinių, naudojamų valstybinės reikšmės kelių dangos konstrukcijai įrengti, techninių reikalavimų apraše TRA ASFALTAS 08 klasifikavimo į grupes, rūšis ir tipus pagal paskirtį ir pakrovas schema



2.9 pav. Naujausiųjų Lietuvos standartų medžiagų (techniniuose) reikalavimuose pateikti bituminiai mišiniai, naudojami automobilių kelių dangos konstrukcijos sluoksniams

2.4. ABMA kompleksinio kokybės rodiklio adityvusis modelis ir jo korektiškumo tikrinimas

Veikiančio ABMA kokybė nustatoma pagal prieš jo vertinimo laikotarpį surinktus gamyklos laboratorijoje savikontrolės, techninės priežiūros tarnybos ir specialių eksperimentinių tyrimų duomenis. Tam taip pat reikalingi ABMA kompiuterio laikmenoje esantys asfalto mišinio gamybos technologinio proceso parametrai, pagaminto mišinio kiekio ir savikainos apskaitos duomenys, teršalų koncentracijos ir išmetimų į aplinkos orą matavimų duomenys, ABMA techninio nusidėvėjimo ir jam atstatyti panaudotų lėšų duomenys.

Matematinio modelio (2.18) kriterijų kintamuosius parametrus pakeitę jų geriausiomis, vidutinėmis ir blogiausiomis skaitinėmis vertėmis, gauname ABMA kokybės kompleksinio rodiklio didžiausią (K_{max}), vidutinę (K_{vid}) ir mažiausią (K_{min}) vertes, atitinkančias šio įrenginio geriausią, vidutinę ir blogiausią kokybę.

$$\begin{aligned}
K = & 0,1911 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k \frac{|\Delta k_{fi}|}{|\Delta k_{ni}|}}{k} \right] + 0,1622 \left[1 - \frac{|\Delta T_f|}{\Delta T_n} \right] + \\
& 0,1685 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k \frac{\Delta \sigma_{fi}}{\sigma_{fik}}}{k} \right] + 0,1100 \left[1 - \frac{\sum_{v=1}^h \frac{c_v}{DLK_v}}{h} \right] + \\
& 0,0869 \left[\frac{b(s_{\max} - s_f)}{s_{\max}} \right] + 0,0771 \left[1 - \frac{a_f}{100} \right] + 0,0542 \\
& \frac{r_f}{r_{\max}} + 0,0487 \frac{p_f}{p_{\max}} + 0,1013 \left[\frac{1}{N} \sum_{u=1}^N p_u \right].
\end{aligned} \tag{2.18}$$

Matematinio modelio (2.18) penktasis dėmuo gali būti skaičiuojamas (2.12) arba (2.13) formules. Tai priklauso nuo uždavinio užduotyje pateiktų asfalto mišinio savikainos duomenų.

Uždaviniui spręsti studentui pateikiama pradiniais duomenimis užpildyta lentelė (2.7 lentelė). Studentas naudodamas asmeninius užduoties duomenis, pagal uždavinyje pateiktą seką ir metodiką apskaičiuoja visų 9 kriterijų kintamuosius dydžius x_j ir rodiklį K , išsamiai išanalizuoja gautus rezultatus, parodydamas gebėjimus vertinti naudoto ABMA kokybę.

2.7 lentelė. Individualios užduoties (ABMA) kompleksiniam kokybės rodikliui K skaičiuoti duomenys

KMA mišinio sudėtis pagal komponentų kieki ($Q_1 = 0,1911$)				KMA temperatūra ($Q_2 = 0,1622$)		KMA mišinio homogeniškumas maišinyje, komponentams ($Q_3 = 0,1685$)				
$\frac{\Delta k_{fB}}{\Delta k_{nB}}$	$\frac{\Delta k_{fMM}}{\Delta k_{nMM}}$	$\frac{\Delta k_{fSK}}{\Delta k_{nSK}}$	$\frac{\Delta k_{fSM}}{\Delta k_{nSM}}$	$\frac{ \Delta T_f }{\Delta T_n}$	$\frac{\Delta \sigma_{fB}}{\sigma_{jkB}}$	$\frac{\Delta \sigma_{fMF}}{\sigma_{jkMF}}$	$\frac{\Delta \sigma_{fCA}}{\sigma_{jkCA}}$	$\frac{\Delta \sigma_{fFA}}{\sigma_{jkFA}}$		
$\frac{-0,07}{0,25}$	$\frac{+0,6}{1,5}$	$\frac{+1,3}{3,0}$	$\frac{-1,9}{3,0}$	$\frac{9}{40}$	$\frac{0,08}{0,10}$	$\frac{0,07}{0,10}$	$\frac{0,17}{0,25}$	$\frac{0,13}{0,25}$		
Aplinkosauginis rodiklis pagal teršalų koncentraciją $\sum_{v=1}^h \frac{c_v}{DLK_v} (Q_4 = 0,1100)$						Gamybos išlaidos ($Q_5 = 0,0869$)	Nusidėvėjimo laipsnis ($Q_6 = 0,00771$)	Rekonstravimo ir remonto išlaidos ($Q_7 = 0,0542$)		
Dulkės	NO _x	SO ₂	CO	C _n H _m	CH ₂ O	$\frac{b(S_{\max} - S_f)}{S_{\max}}$	$\frac{a}{100}$	$\frac{r_f}{r_{\max}}$		
$\frac{206}{500}$	$\frac{24}{60}$	$\frac{69}{170}$	$\frac{614}{1000}$	$\frac{212}{500}$	$\frac{7}{20}$	$\frac{3,3(255 - 231)}{255}$	$\frac{7}{100}$	$\frac{27100}{29600}$		
Pajėgumų naudojimas ($Q_8 = 0,0487$)	Technologinis universalumas ($Q_9 = 0,1013$); galimybė gaminti šiuos asfalto mišinius									
$\frac{P_j}{P_{\max}}$	AC	SMA	MA	PA	BBTM	SA	HRA	RA	WA	CA
$\frac{143700}{294000}$	$\frac{0,1}{0,1}$	$\frac{0,1}{0,1}$	$\frac{-}{0,1}$	$\frac{-}{0,1}$	$\frac{0,1}{0,1}$	$\frac{0,1}{0,1}$	$\frac{0,1}{0,1}$	$\frac{0,1}{0,1}$	$\frac{-}{0,1}$	$\frac{0,1}{0,1}$

2.5. Išvados

1. Asfaltbetonio maišytuvo (ABMA) kokybė, apibūdinama kaip jo tinkamumas gaminti kokybišką, pigų, įvairių tipų ir markių asfalto mišinį, neteršiant aplinkos, priklausanti nuo technologinių įrenginių konstrukcijos, techninės būklės, funkcionavimo trukmės, nusidėvėjimo, darbų organizavimo ir kitų veiksnių, nustatoma pateiktu kompleksiniu rodikliu K . Apskaičiuotas ABMA kokybės daugiakriteris rodiklis K leidžia objektyviai nustatyti sudėtingo ir brangaus ilgo naudojimo įrenginio svarbiausias savybes pagal jo kriterijų suminę skaitinę vertę. Jis tinka įvairių ABMA kokybės lyginamajai analizei.

2. Daugiakriterio rodiklio kriterijų skaitinės vertės lemiančių skirtingų parametrų dydžiai gaunami iš eksperimentinių laboratorinių savikontrolės (vidinės gamybos kontrolės) ir kontrolinių bandymų duomenų, produkcijos apskaitos bei finansinių dokumentų, priežiūros, remonto ir rekonstrukcijos darbų sąmatų. Kriterijų svarbos rodikliai,

nustatyti kompetentingų ekspertų, gali būti patikslinti pakitus norminiuose dokumentuose reglamentuojamų parametrų vertėms.

3. Svarbiausias ABMA kokybės rodiklis yra jame pagaminto asfalto mišinio sudėties (C) ($Q_1 = 0,1911$) ir projektinės sudėties atitikimas. Gaminamo mišinio i -ojo komponento (bitumo, mineralinių miltelių, skaldos arba smėlio) kiekio faktinis nuokrypis, negali viršyti įrengimo taisyklių IT ASFALTAS 08 reglamentuotų leistinųjų ribų (statistinių tolerancijų). Kuo asfalto mišinyje faktinis komponento kiekis k_{fi} yra artimesnis jo projektiniam kiekiui k_{pi} , tuo kokybiškesniu laikomas ABMA.

4. Gaminamo asfalto mišinio homogeniškumas ($Q_3 = 0,1685$), pagal kurį vertinama ABMA kokybė, priklauso nuo maišyklėje sumaišytų komponentų pasiskirstymo tolygumo KMA mišinio mišiniuose. Asfalto mišinio homogeniškumas nėra reglamentuotas norminiuose dokumentuose, todėl nėra žinoma jo įverčio etaloninė ar leistinoji vertė, su kuria būtų galima lyginti faktinio homogeniškumo rodiklį (komponento kiekio standartinį nuokrypį) maišyklėje maišant medžiagas bet kurį laiką. Fiksuoto homogeniškumo maišymo trukme galima laikyti $t_m = 30$ s. Pakankamai ilgai maišant medžiagas pasiekiamą tokia trukmė t_m , kai komponentų kiekių asfalto mišinio mišinyje standartinis nuokrypis σ_{fi} nemažėja. Mažiausias σ_{fi} vertes, priklausančias tik nuo maišyklės konstrukcijos, jos elementų nusidėvėjimo ir darbo režimo, rodo konstrukcinio homogeniškumo įvertis σ_{fik} .

Faktinis homogeniškumas vertinamas i -ojo komponento kiekio KMA mišinio standartinio nuokrypio skirtumo $\Delta\sigma_{fi}$, gaunamo iš šio komponento, maišomo 30 s ($t_m = 30$ s), kiekio standartinio nuokrypio σ_{30i} atėmus konstrukcinio homogeniškumo rodiklį σ_{fik} , santykiu su σ_{fik} .

5. Pagrįsti visų 9 kriterijų rodiklių faktinėms vertėms įtakos turinčių parametrų skaičiavimo teoriniai principai leidžia objektyviai nustatyti bet kurio funkcionuojančio ABMA kompleksinio kokybės rodiklio K vertę ir pagal ją spręsti apie technologinio įrenginio tinkamumą naudoti. Parinkus teorines (galinčias būti ir praktikoje) geriausią, vidutinę ir blogiausią ABMA kokybę atspindinčių kriterijų parametrų vertes, patikrintas pateikto matematinio modelio adekvatumas, leidžiantis teigti, kad gauti skaičiavimų rezultatai atitinka iškeltas teorines hipotezes ir jų realizavimo principus.

3 UŽDAVINYS.

ASFALTBETONIO MAIŠYTUVO TIEKTUVŲ REIKIAMO NAŠUMO IR DOZATORIAIS BAIGIAMŲ SVERTI MEDŽIAGŲ DOZIŲ MASĖS SKAIČIAVIMAS

3.1. Pradinio ir baigiamojo medžiagų dozavimo būtinybė, užduotis ir uždavinio duomenys

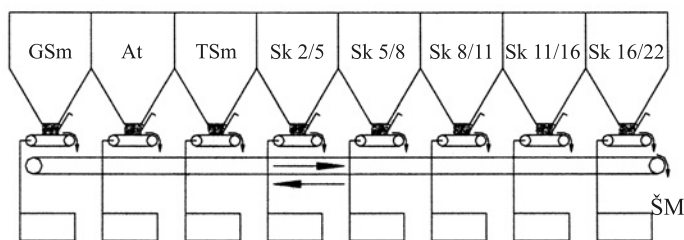
Tikslas – supažindinti su asfaltbetonio maišytuvo (ABMA) technologinių parametrų, leidžiančių gaminti karštai maišyto asfalto (KMA) mišinį pagal jo sudėties laboratorinį projektą, nustatymo principais ir metodika, išmokyti skaičiuoti pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų tolydinių tiektuvų-dozatorių reikiamą našumą ir baigiamų dozuoti visų medžiagų dozių tinkamą masę, pradedant gaminti KMA mišinį.

KMA mišinio struktūra ir savybės priklauso nuo jame esančių komponentų (bitumo, mineralinių miltelių, smėlio ir skaldos) procentinio kiekio. Šių komponentų optimalus (geriausias) kiekis parenkamas apskaičiuojant projektuojamos markės KMA mišiniui gaminti naudojamų pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų ir bitumo masės santykį kartu įvertinant jų savybes (kokybę). Laboratorijoje suprojektuotos sudėties KMA mišinys turi būti gaminamas taip, kad iš ABMA maišyklės išbūrėjusiuose jo mišiniuose esančių komponentų kiekis (masės %) nesiskirtų nuo reikiamų verčių (darbinės mišinio formulės – DMF) daugiau, negu leidžia normos (IT ASFALTAS 08). KMA mišinio komponentų kiekis priklauso nuo to, kaip teisingai parenkamas jų sudarančių medžiagų srautų intensyvumas ir dozių masė.

Pradedant gaminti KMA mišinį, reikia apskaičiuoti pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų tolydinių dozatorių reikiamą našumą (3.1 pav.). Nuo šių dozatorių ciferblatinių ar elektroninių rodytuvų nustatomųjų rodyklių padėčių ar rodmenų apskaičiavimo teisingumo priklauso, ar reikės (jei reikės, tai kiek) koreguoti jų našumą pradėjus gaminti KMA mišinį. Pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų tolydinių dozatorių faktinio našumo nustatymo patikimos metodikos ir algorit-

mo, tinkančio praktiniam vartojimui, nėra. Darbų instrukcijoje DI-04 pateiktas tokios metodikos taikymo išspręstas pavyzdys, tačiau joje yra esminių klaidų ir netikslumų.

Lietuvos asfaltbetonio gamyklose (bazėse) daugumą sudaro ABMA, gaminantys KMA mišinį pagal klasikinės technologijos schemą (3.2 pav.), pasižyminčią tuo, kad tolydžiai dozuotų pradinių mineralinių medžiagų išdžiovinintas ir įkaitintas mišinys sijojamas į atskiras 3-6 karštasias frakcijas, kurios diskrečiai (porcijomis) galutinai sudozuojamos.



3.1 pav. Asfaltbetonio maišytuvo (ABMA) pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų priėmimo bunkerių su tolydiniais dozatoriais (tiektuvais) ir jais matuojamų srautų tikrojo intensyvumo duomenų schema

Užduotis. Pagal dėstytojo pateiktus duomenis (3.1 lentelė) apskaičiuoti periodinio (diskretinio, nutrūkstamojo) veikimo ABMA pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų išbyrančių srautų intensyvumą (tolydinių dozatorių-tiektuvų reikiamą našumą) ir galutinai dozuojamų medžiagų (karštųjų frakcijų, mineralinių miltelių, mineralinio dulquio, bitumo ir naudoto asfalto granulių) dozių reikiamą masę pradedant gaminti KMA mišinį. Nubraižyti reikiamas schemas ir jose pateikti apskaičiuotus duomenis.

3.1 lentelė. Individualios užduoties 3 uždaviniui spręsti duomenų lentelė

Studento vardas ir pavardė										
Gaminamo KMA mišinio rūšis ir tipas										
Asfaltbetonio maišytuvo (ABMA) modelis										
Vieno maišinio nustatyta vidutinė masė Q_{vid} = kg.										
Mišinio maišymo maišyklėje ciklą t_m sudarančių operacijų trukmė, s:										
t_1 =										
t_2 =										
t_3 =										
t_4 =										
Mažesnių už 0,063 mm dalelių procentinė masė atvežtuose mineraliniuose milte- liuose $m_{0,053\text{ Mm}}$										
KMA mišinį sudarančių pradinį šaltųjų mineralinių medžiagų projektinis kiekis (skaitiklyje) ir drėgmė (vardiklyje), %										
Mm	GSm	At	TSm	Sk2/5	Sk5/8	Sk8/11	Sk11/16	Sk16/22	RA	
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
KMA mišinį sudarančių baigiamojo dozavimo karštųjų mineralinių medžiagų frak- cijų skaičius ir stambumas, mineralinis dulkis (Md), mineraliniai milteliai (Mm) bei bitumo (B) procentinė masė – DMF										
Fr0/2; Fr2/5; Fr5/8; Fr8/11; Fr11/16; Fr16/22; B = ; RA =										
Gaminamo KMA mišinio mineralinių medžiagų pilnutinės išbiros per sietus mm, %										
0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	5,6	8	11,2	16	22,4

3.2. Mineralinių medžiagų tolydinių tiektuvų ir diskretinių dozatorių reikiamų parametų skaičiavimo metodika

3.2.1. Šaltųjų mineralinių medžiagų tiektuvų reikiamo pradinio našumo skaičiavimas

Šaltųjų mineralinių medžiagų srautų, išbyrančių per laiko vienetą iš tolydinių dozatorių, reikalinga masė (faktinis dozatorių-tiektuvų našumas) priklauso nuo numatyto gaminti KMA mišinio reikiamo kiekio per laiko vienetą, t. y. nuo asfaltbetonio maišytuvo (ABMA) planuojamojo valandinio našumo. Tiektuvų nustatomasis našumas (3.1 pav.) privalo būti toks, kad jiems tolygiai (be pertrūkių) veikiant būtų tiekia-
mas KMA mišinio sudėties laboratoriniame projekte nustatytas visų

reikalingų mineralinių medžiagų procentinis kiekis, atmetus vandenį ir sijojant iš jų mišinio pašalinamus nenaudotinus didžiausius grūdellius (negabaritinius ir perteklių).

KMA mišinio sudėtis (masės %) pagal projektą dažniausiai pateikiama imant, kad mineralinės medžiagos sudaro $M_{\Sigma} = 100\%$, o bitumo kiekis m_B duotas %, viršijantis 100 % mineralinių medžiagų kiekį. Todėl visų mineralinių ir organinių medžiagų suma $M_{\Sigma+B} = M_{\Sigma} + m_B$. Patogu skaičiuoti sudarant lentelę (žr. 3.2 lentelę).

Kadangi pradinio tolydinio dozavimo metu į džiovinimo būgną tiekiamos tiktai šaltos ir drėgnos mineralinės medžiagos, vienakaušiu krautuvu atvežtos iš rietuvių ir išpiltos į priėmimo bunkerius be mineralinių miltelių, kurie laikomi uždaramose silose, todėl būtina perskaičiuoti jų procentines masės proporcijas, imant, kad ši mineralinių medžiagų dalis M_{Σ} lygi 100 %. Iš gamyklos atvežtų mineralinių miltelių kiekį % KMA mišinyje pažymime m_{Mm} , o likusiųjų mineralinių medžiagų (gamtinis smėlis, atsijos, trupintas smėlis, žvyro skalda, skaldytas žvyras, granitinė skalda) kiekį – M'_{Σ} . Norint gauti mineralinių medžiagų be atvežtinių mineralinių miltelių masės santykį, reikia kiekvienos i -osios mineralinės medžiagos kiekį m_i (masės %) padauginti iš santykio $M_{\Sigma} / (M_{\Sigma} - m_{Mm})$ arba $100 / (100 - m_{Mm})$.

ABMA priverstinio maišymo dviejų velenų maišyklės talpą (KMA mišinio maišinio masę) pažymėję Q , o viso ciklo (baigiamojo dozavimo medžiagų pakrovimas, maišymas, KMA mišinio iškrovimas) trukmę – t_m , technologinio įrenginio (ABMA) našumą apskaičiuojame pagal formulę:

$$N_{ABMA} = \frac{3600}{t_m} \cdot Q, \quad (3.1)$$

3.2 lentelė. Šaltųjų mineralinių medžiagų, tiekiamų į asfaltbetonio maišytuvą (ABMA), pradinio kiekio skaičiavimas

Eil. Nr.	Medžiagos pavadinimas	KMA sudėtis pagal projektą, %	Mineralinių medžiagų kiekis be Mm, %	Sausųjų medžiagų srautų intensyvumas, t/h	Mineralinių medžiagų drėgnis D, %	Tikrasis pradinis dozavimas, įvertinus drėgnį, t/h
A	B	C	D	E	F	G
1	Aktyvintieji mineraliniai milteliai (Mm)	m_{Mm}	–	–	–	–
2	Gamtinis smėlis 0/2 mm (GSm)	m_{GSm}	m'_{GSm}	N_{GSm}	D_{GSm}	N'_{GSm}
3	Atsijos 0/2 mm (At)	m_{At}	m'_{At}	N_{At}	D_{At}	N'_{At}
4	Trupintas smėlis 0/5 mm (TSm)	m_{TSm}	m'_{TSm}	N_{TSm}	D_{TSm}	N'_{TSm}
5	Granitinė skalda 2/5 mm (Sk 2/5)	$m_{Sk2/5}$	$m'_{Sk2/5}$	$N_{Sk2/5}$	$D_{Sk2/5}$	$N'_{Sk2/5}$
6	Granitinė skalda 5/8 mm (Sk 5/8)	$m_{Sk5/8}$	$m'_{Sk5/8}$	$N_{Sk5/8}$	$D_{Sk5/8}$	$N'_{Sk5/8}$
7	Granitinė skalda 8/11 mm (Sk 8/11)	$m_{Sk8/11}$	$m'_{Sk8/11}$	$N_{Sk8/11}$	$D_{Sk8/11}$	$N'_{Sk8/11}$
8	Granitinė skalda 11/16 mm (Sk 11/16)	$m_{Sk11/16}$	$m'_{Sk11/16}$	$N_{Sk11/16}$	$D_{Sk11/16}$	$N'_{Sk11/16}$
9	Granitinė skalda 16/22 mm (Sk 16/22)	$m_{Sk16/22}$	$m'_{Sk16/22}$	$N_{Sk16/22}$	$D_{Sk16/22}$	$N'_{Sk16/22}$
10	Naudoto asfalto granulės (RA)	m_{RA}	m'_{RA}	N_{RA}	D_{RA}	N'_{RA}
11	Pradinių mineralinių medžiagų suma	M_{Σ} (100 %)	M'_{Σ} (100 %)	N_{Σ}	–	N'_{Σ}
12	Bitumas	m_b	–	–	–	–
13	KMA mišinys	M'_{Σ}	–	–	–	–

čia N_{ABMA} – reikiamas asfaltbetonio maišytuvo (ABMA) našumas, t/h (jis priklauso nuo medžiagų drėgmės ir būna mažesnis už konstrukcinį maksimalųjį našumą $N_{\max}$); Q – reikiama (užsiduota) priverstinio maišymo maišyklės talpykla, t (ji pasirenkama lygi arba mažesnė už didžiausią konstrukcinę talpyklą $Q_{\max}$ ir atitinka KMA mišinio vieno maišinio vidutinę masę Q_{vid}).

Maišyklėje medžiagų neturi būti daugiau kaip iki viršuje esančių menčių galų ir mažiau – už velenų aukštį; t_m – KMA mišinio gamybos vieno ciklo trukmė, s:

$$t_m = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \quad (3.2)$$

čia t_1 – karštųjų frakcijų, mineralinių miltelių ir mineralinio dulquio įpylimo į maišyklę trukmė, s (jų sausojo maišymo trukmė būna minimali, t. y. 1–3 s, o vartojant plaušą – 10 s); t_2 – medžiagų šlapiojo (su bitumu) maišymo trukmė, s; (būna 27 s, kai naujos mentės, ir 33 s, kai nusidėvėjusios mentės); t_3 – maišymo trukmės padidrinimo dėl bitumo savybių trukmė, s (naudojant polimerinį bitumą arba plaušą būna 10–15 s); t_4 – pagaminto KMA mišinio maišinio iškrovimo iš maišyklės trukmė, s (būna 3–7 s).

Bendroji KMA mišinio maišinio maišymo trukmė (laikas) yra sausojo ir šlapiojo maišymo trukmių suma ($t_1 + t_2 + t_3$), o vienas KMA mišinio maišymo ciklas lygus bendrajai mišinio maišymo trukmei ir laikui t_4 , per kurį sumaišytas mišinys išpilamas iš maišyklės. Ciklu vadinama laiko trukmė tarp dviejų gretimų to paties pavadinimo technologinių operacijų.

Kad tokiu nustatytu našumu funkcionuotų ABMA, apskaičiuojame, kiek reikės tiekti į jo agregatus (įrenginius) pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų, mineralinių miltelių ir bitumo per valandą. Reikalingas bitumo kiekis per valandą (siurblio našumas) skaičiuojamas iš formulės:

$$N_b = N_{ABMA} \cdot \frac{m_B}{M_{\Sigma+B}}, \quad (3.3)$$

čia N_b – reikalingas bitumo kiekis, tiekiamas dozatoriumi, atitinkantis jo projektinį kiekį mišinyje, t/h; N_{ABMA} – asfaltbetonio maišytuvo

(ABMA) reikiamas našumas, t/h; m_B – bitumo kiekis pagal projektą masės %, viršijantis 100 % mineralinės dalies; $M_{\Sigma+B}$ – visų mineralinių medžiagų ir organinio rišiklio (bitumo) suma masės % $(100 + m_B)$.

Reikiamas visų pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų kiekis (tiektuvų našumas) $N_{\Sigma} + N_{Mm}$, tiekiamų srautų intensyvumas per vieną valandą apskaičiuojamas pagal (3.4) formulę atsižvelgiant į bitumo kiekį. Pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų be atvežtinių mineralinių miltelių kiekis N_{Σ} per valandą skaičiuojamas atsižvelgiant į bitumo kiekį iš (3.5) formulės:

$$N_{\Sigma} + N_{Mm} = N_{ABMA} \cdot \frac{M_{\Sigma}}{M_{\Sigma+B}}, \quad (3.4)$$

$$N_{\Sigma} = N_{ABMA} \cdot \frac{M_{\Sigma} - m_{Mm}}{M_{\Sigma+B}}, \quad (3.5)$$

čia $N_{\Sigma} + N_{Mm}$ – reikalingas pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų tolydiniais ir mineralinių miltelių diskretiniais dozatoriais tiekiamas kiekis, t/h; N_{Σ} – reikalingas pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų be atvežtinių mineralinių miltelių (Mm) tolydiniais dozatoriais tiekiamas kiekis, t/h; N_{ABMA} – asfaltbetonio maišytuvo (ABMA) reikiamas našumas iš (3.1), t/h; M_{Σ} – visų mineralinių medžiagų kiekis KMA mišinyje, masės % (100 %); $M_{\Sigma} - m_{Mm}$ – mineralinių medžiagų be atvežtinių mineralinių miltelių kiekis KMA mišinyje, masės %; $M_{\Sigma+B}$ – visų mineralinių medžiagų ir organinio rišiklio masės suma KMA mišinyje, masės % (daugiau kaip 100 %).

Aktyvintųjų arba neaktyvintųjų mineralinių miltelių (atvežtinių) per vieną valandą suvartojamas kiekis KMA mišiniui gaminti apskaičiuojamas pagal formulę:

$$N_{Mm} = N_{ABMA} \cdot \frac{m_{Mm}}{M_{\Sigma+B}}, \quad (3.6)$$

čia m_{Mm} – laboratoriniame projekte pateiktas optimalus mineralinių miltelių (kaip medžiagos, o ne komponento t. y. ne visose mineralinėse medžiagose esančių mažesnių kaip 0,063 mm dalelių) kiekis, masės %.

Dabar reikia apskaičiuoti, kiek kiekvienos atskirai pradinės šaltosios mineralinės medžiagos, t/h, reikės tiekti tolydiniais (nenutrūkstamaisiais) dozatoriais.

Pavyzdžiui, skaičiuojant gamtinio smėlio 0/2 mm kiekį N_{GSm} , reikia pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų be atvežtinių mineralinių miltelių kiekį per valandą daugini iš šios medžiagos kiekio masės % be mineralinių miltelių ir padalyti iš 100 %:

$$N_{GSm} = \frac{N_{\Sigma} \cdot m'_{GSm}}{100}, \quad (3.7)$$

čia N_{GSm} – gamtinio smėlio 0/2 mm frakcijos reikalingas kiekis (tolydinio dozatoriaus našumas), t/h; N_{Σ} – reikalingas visų pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų be atvežtinių mineralinių miltelių kiekis, t/h; m'_{GSm} – perskaičiuotas gamtinio smėlio 0/2 mm frakcijos kiekis KMA mišinyje be atvežtinių mineralinių miltelių masės %.

Perskaičiuojant medžiagos reikalingą nenutrūkstamai tiekti kiekį iš t/h į kg/min, reikia gautąjį rezultatą t/h padauginti iš 1000 ir padalyti iš 60.

Analogiškai sausojo gamtinio smėlio 0/2 mm nenutrūkstamojo srauto reikiamam intensyvumui nustatyti skaičiuojami ir kitų pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų tolydinių dozatorių reikiamas našumas t/h. Tuomet (3.7) formulėje vietoj m'_{GSm} rašoma atitinkama medžiagos procentinė masė iš 3.2 lentelės skilties D .

Dažniausiai be stoginių sandėliuojamos mineralinės medžiagos yra drėgnos, todėl turi būti nustatyta kiekvienos medžiagos tikroji vidutinė darbo pamainos drėgmė. Faktinis pirminis mineralinių medžiagų dozavimas yra apskaičiuojamas reikalingą sausųjų medžiagų kiekį t/val. padauginus iš drėgmės koeficiento, didinančio kiekvienos drėgnos medžiagos kiekį $N_{GSm}, N_{At}, \dots, N_{Sk16/22}$, įvertinant tai, kad džiovavimo būgne išgaravus vandeniui jos taps lengvesnės. Dulkių, nesulaikytų oro sausojo valymo filtruose ir pašalintų į aplinką, kiekis skaičiuojant medžiagų poreikį šiuo atveju nevertinamas.

Mineralinės medžiagos drėgmės koeficientas skaičiuojamas pagal formulę:

$$k_D = 1,000 + D, \quad (3.8)$$

čia D – šaltojoje mineralinėje medžiagoje esančio vandens kiekis vieto dalimis.

Jei pradiniai šaltųjų mineralinių medžiagų dozatoriai yra svoriniai su ciferblatinių rodytuvų skalėmis (pavyzdžiui, Teltomat-5 modelio ABMA), suskirstytomis t/h, tai kiekvienos medžiagos tiektuvo reikiamas našumas nustatomas ir stebimas paslankiomis rodyklėmis, atitinkančiomis apskaičiuotųjų verčių rodmenis. Jei dozatoriai yra sukalibruoti kitokiais vienetais, šiuos kiekius perskaičiuojame, pavyzdžiui, kg/min, m³/h ir kt.

Kompiuterių valdomuose asfaltbetonio maišytuvuose (ABMA) pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų tolydinių dozatorių-tiektuvų tikrasis reikiamas našumas nustatomas technologinio gamybos proceso valdymo programoje ir matomas kompiuterio vaizduoklyje, kurį nuolat stebi ABMA operatorius.

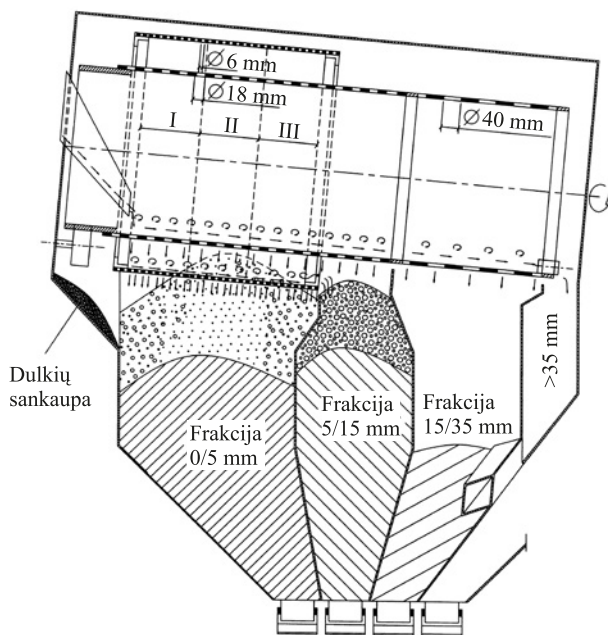
3.2.2. Diskretiniais dozatoriais baigiamų sverti visų medžiagų dozių reikiamos masės skaičiavimas

Galutinis dozavimas priklauso nuo karštojo maišymo asfalto (KMA) mišinio maišinio nustatytos masės ir ABMA maišyklės tūrio. Tarkime, kad KMA mišinio vieno maišinio reikiama masė lygi Q kilogramų. Baigiamajam dozavimui naudojamos gamybiniame projekte nurodytos karštosios frakcijos (Fr), kurios gaunamos ABMA sijotuvo technologiniais sietais išsijojus išdžiovintų karštųjų mineralinių medžiagų mišinį (3.2 pav.) Skirtingų ir tų pačių modelių ABMA gali būti naudojami standartiniai arba rečiau – nestandartiniai technologiniai sietai su nevienodomis kvadratinėmis arba apskritomis akutėmis. Mineralinės medžiagos ABMA karšto bunkerio sekcijose laikomos atskirai ir, atsižvelgiant į KMA mišinio markę, dozuojamos visos ar tik kai kurios iš jų. Dėl ABMA sijotuvo didelio reikalingo našumo grūdeliai, mažesni už technologinio sieto akutes, nespėja (sluoksniuodamiesi pagal stambumą) segreguodami pasiekti sieto paviršiaus ir iškristi per akutes. Dėl to į karštojo bunkerio sekciją, skirtą viršutiniam (pagal sieta) produktui, subyra mineralinių medžiagų frakcija ir su smulkesniais grūdeliais nei jos stambumo formulės apatinio (d) sieto akučių dydis. Įvertinant tokią mineralinių medžiagų karštųjų frakcijų sijojimo kinetiką, technologinių sietaų akutės būna apie 1,25 karto didesnės už

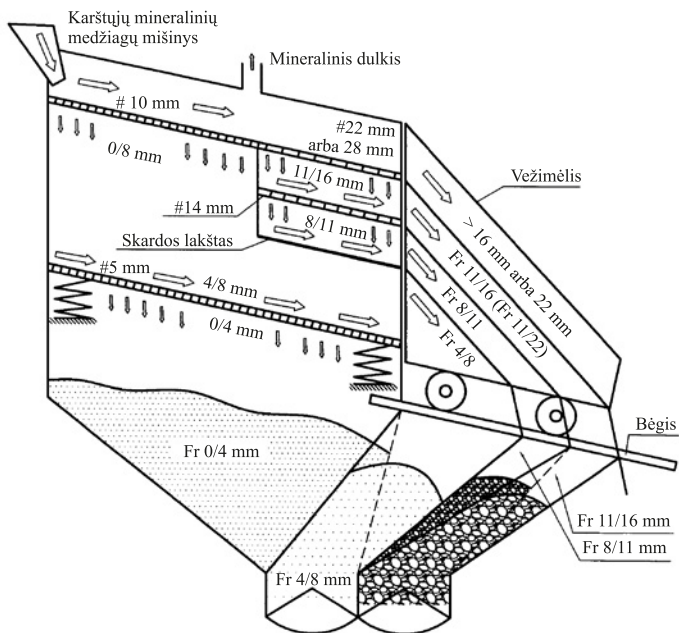
norimos gauti frakcijos didžiausių grūdelių (viršutinio (D) sieto akučių dydį) skersmenį. Dažniausi technologinių sietų akučių matmenys ir per jas išbyrančių grūdelių apytiksliai dydžiai pateikti 3.3 lentelėje.

Gaminamas KMA mišinys sudaromas iš galutinai diskretiškai dozuojamųjų (baigiamojo dozavimo) medžiagų:

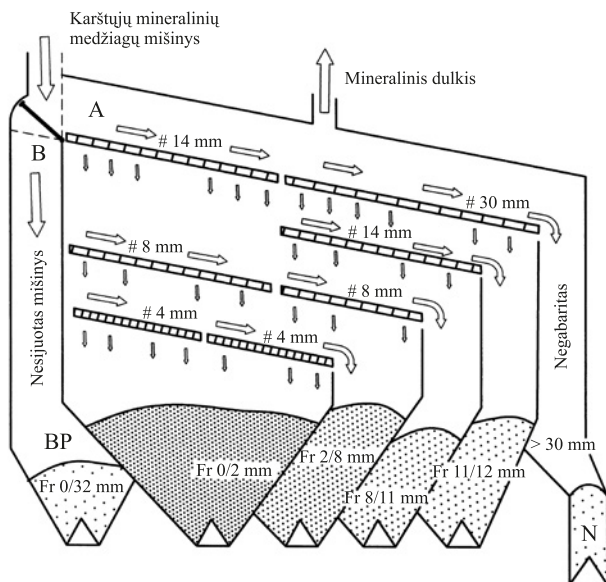
- ABMA technologiniais sietais išsijotų mineralinių medžiagų, esančių karštojo bunkerio sekcijose (karštųjų frakcijų – Fr1, ..., Fr6, kurių indekso skaičius čia rodo eilės numerį, o ne didumą);
- atvežtųjų aktyvintųjų arba neaktyvintų šaltųjų mineralinių miltelių užpildo (mineralinių miltelių – Mm);
- grąžinamų iš ABMA oro sausojo valymo įrenginių dulkių dalies (mineralinio dulgio – Md);
- bitumo (organinio rišiklio).



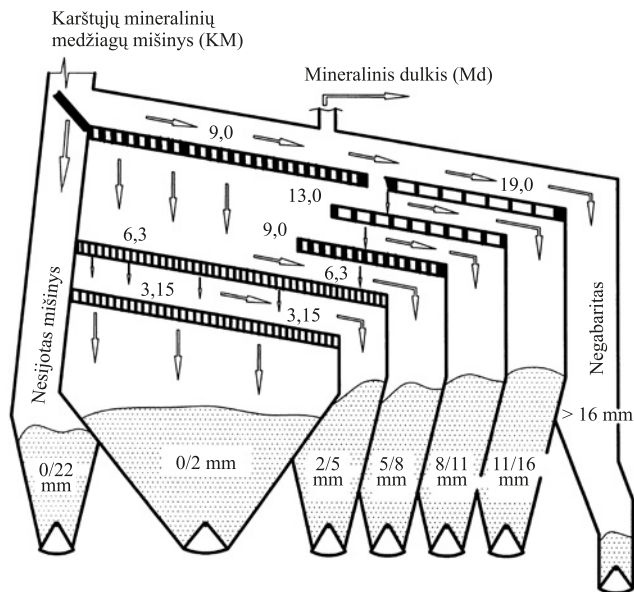
a)



b)



c)



d)

3.2 pav. Skirtingų modelių ABMA sijotuvų sandara, technologinių sietų akučių matmenys ir jais išsijotų karštųjų frakcijų mažiausių ir didžiausių grūdelių skersmuo: a) *D-597 A, D-508-2A*; b) *Teltomat-V /3S*; c) *Ammann Euro A240*; d) *Ammann 160 Global H, Teltomat- 160, Marini MAP 155E 190L*

Priklausomai nuo ABMA sijotuve sumontuotų technologinių sietų skaičiaus ir akučių dydžio, sijoiant karštųjų mineralinių medžiagų mišinį, bunkerio sekcijose gaunamos skirtingos frakcijos. Jei visos mineralinės medžiagos būtų tiekiamos į pirminį dozatorių (su mineraliniais milteliais), tai galutinai dozuoiant būtų apskaičiuojama, kiek medžiagų (masės %) reikėtų paimti iš kiekvienos bunkerio sekcijos. Iš suprojektuoto KMA mišinio granulimetrinės sudėties kreivės (3.3 pav.) randame reikalingų dozuoti karštųjų frakcijų masę %. Visų skirtingų markių Lietuvoje naudojamo KMA mišinio granulimetrinės sudėties normuotųjų kreivių ordinatės ir rekomenduojamos bitumo kiekio jame vertės pateiktos ketvirtame priede. Tam pradžioje nustatome ABMA technologiniais sietais sijojamos smulkiausios (pirmosios) karštosios frakcijos didžiausių grūdelių skersmenį mm. Pavyzdžiui,

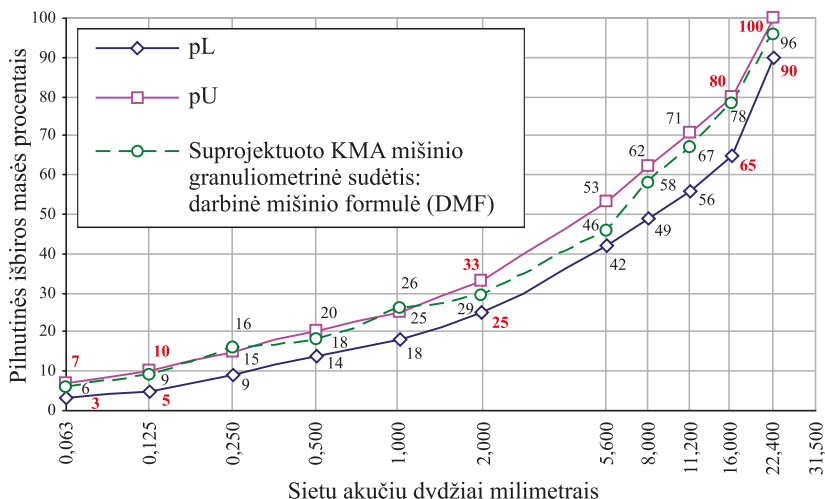
jei pirmoji frakcija yra 0/2 mm, tai jos didžiausi grūdėliai yra 2 mm, o jei – 0/4 mm, tai – 4 mm skersmens. Granulimetrinės sudėties grafiko abscisių ašyje randame kontrolinį sieta, kurio akutės lygios pirmosios karštosios frakcijos didžiausiems grūdėliams, ir nuo jų vertės keliame statmenį, iki jis susikerta su suprojektuotojo KMA mišinio granulimetrinės sudėties kreive. Nuo susikirtimo taško su kreive į kairę brėžiama horizontalė, ordinačių ašyje pažyminti šios pirmosios karštosios frakcijos reikalingą kiekį m_{Fr1}'' kartu su mineraliniu dulkiu m_{Md} ir šaltaisiais mineraliniais milteliais m_{Mm} .

3.3 lentelė. ABMA technologinių sietų kvadratinį akučių kraštinės ilgio ir per jas išsijojamos karštosios frakcijos didžiausių grūdėlių skersmens sietis

Technologinio sieto akučių kraštinės ilgis l_t , mm	Išbyrančių per technologinio sieto akutes grūdėlių skersmuo l_k , mm	Santykis l_t / l_k
3	2	1,50
7	5	1,40
10	8	1,25
14	11	1,27
19	16	1,19
26	22	1,18
36	32	1,13
Vidurkis		1,27

Tačiau mineraliniai milteliai tiekiami atskirai (tik jiems ir mineraliniam dulkiui sverti skirtu baigiamojo dozavimo dozatoriumi), todėl iš apskaičiuotojo pirmojoje bunkerio sekcijoje esančios karštosios frakcijos kiekio m_{Fr1}'' masės % reikia atimti mineralinių miltelių kiekį m_{Mm} , masės %:

$$m_{Fr1}' = m_{Fr1}'' - m_{Mm} \cdot \quad (3.9)$$



3.3 pav. KMA mišinio mineralinės dalies granulometrinės sudėties techninių tolerancijų viršutinė p_u ir apatinė p_L (žr. ketvirtą priedą) ribos ir iš vartojamųjų medžiagų suprojektuoto KMA optimali kreivė (pavyzdys 0/22S-A markės KMA mišinio)

Be to, džiovinant ir sijojant pradinių mineralinių medžiagų mišinį, dalis smulkiųjų medžiagų grūdelių, kurių daugumą sudaro mažesni už 0,063 mm grūdeliai, yra ištraukiami ir nusodinami ciklonuose, audeklinuose ar kituose sausojo dulkių atskyrimo iš oro įrenginiuose. Šie sugauti ir atskirai talpykloje laikomi smulkieji grūdeliai yra mineralinis dulkis (Md).

Tarkime, kad per 0,063 mm akučių kontrolinį sieta išbyra $m_{0,063ABM}$ (masės %) KMA mišinio visų grūdelių (3.3 pav.). Be to, ne visi šaltųjų mineralinių miltelių grūdeliai mažesni už šį 0,063 mm sieta, o tik tai jų $m_{0,063Mm}$ masės % dalis. Mineralinių miltelių (mažesnių kaip 0,063 mm grūdelių) komponento KMA mišinyje dalis, sudaryta iš atvežtųjų šaltųjų aktyvintųjų arba neaktyvintųjų mineralinių miltelių, apskaičiuojama iš formulės:

$$m_{0,063KMA}^{(Mm)} = \frac{m_{Mm} \cdot m_{0,063Mm}}{100}, \quad (3.10)$$

čia $m_{0,063KMA}^{(Mm)}$ – mineralinių miltelių komponento dalis KMA mišinyje, sudaroma iš šaltuosiuose mineraliniuose milteliuose esančių mažesnių kaip 0,063 mm grūdelių, masės %; m_{Mm} – reikiamų dozuoti šaltųjų mineralinių miltelių kiekis (kaip medžiagos) KMA mišinyje pagal projektą, masės %; $m_{0,063Mm}$ – mineralinių miltelių komponento (<0,063 mm grūdelių) dalis dozuojamuose šaltuosiuose mineraliniuose milteliuose, gaunama iš mineralinių miltelių granulimetrinės sudėties tyrimų, masės %.

Kita smulkios karštosios frakcijos (Fr1) dalis skaičiuojant keičiama mineraliniu dulkiu, grąžinamu iš ciklonų, audeklinių ar kitų sausojo dulkių atskyrimo iš oro įrenginių. Grąžinamo dozuojuojant medžiagas mineralinio dulgio (Md) kiekis apskaičiuojamas iš formulės:

$$m_{Md} = m_{0,063KMA} - m_{0,063KMA}^{(Mm)}, \quad (3.11)$$

čia m_{Md} – grąžinamo iš oro sausojo valymo įrenginių mineralinio dulgio kiekis, masės %; $m_{0,063KMA}$ – KMA mišinio visų grūdelių (mineralinių miltelių komponento), išbyrančių per 0,063 mm akučių sieta, kiekis, masės %; $m_{0,063KMA}^{(Mm)}$ – mineralinių miltelių (mažesnių kaip 0,063 mm grūdelių), kaip KMA mišinio komponento, gaunamo iš dozuojamų šaltųjų mineralinių miltelių dalis, %, (3.10) formulė.

Reikiamo dozuoti mineralinio dulgio kiekio m_{Md} skaičiavimo formulėje (3.11) imta, kad jį sudaro visi mažesni kaip 0,063 mm grūdeliai. Priklausomai nuo ABMA oro valymo įrenginių konstrukcijos ir būklės nusėdintajame mineraliniame dulkyje gali būti ir didesnių kaip 0,063 mm grūdelių.

Pradėjus gaminti KMA mišinį, po tam tikro laiko mineralinio dulgio reikėtų dozuoti tiek, kiek jo surenkama oro sausojo valymo įrenginiuose ir beriama į talpyklą (silosą):

$$N_{Md \text{ doz}} = \frac{3600 \cdot q_{Md}}{t_m} = N_{Md}, \quad (3.12)$$

čia $N_{Md \text{ doz}}$ – mineralinio dulgio dozatoriaus reikiamas valandos našumas, kg/h; q_{Md} – mineralinio dulgio vienos dozės reikiama

masė, kg; t_m – ABMA vieno ciklo trukmė, s; N_{Md} – oro sausojo valymo įrenginiuose per laiko vienetą surenkamo mineralinio dul্কio srauto intensyvumas, kg/h.

Jei mineralinis dulkis negrąžinamas, tai apskaičiuotąją jo dalį [(3.11) formulė] turi kompensuoti šaltuosiuose mineraliniuose milteliuose esančio mineralinių miltelių komponento dalis. Taigi iš pirmosios karštųjų frakcijų bunkerio sekcijos galutinai dozuojant reikia tiekti tokį kiekį mineralinės medžiagos:

$$m_{Fr1} = m'_{Fr1} - m_{Md}, \quad (3.13)$$

čia m_{Fr1} – tiekiamos galutinai dozuojant iš karštųjų frakcijų bunkerio pirmosios sekcijos mineralinės medžiagos kiekis, masės %, iš 100 % nuo viso mineralinių medžiagų mišinio; m'_{Fr1} – pagal (3.9) formulę apskaičiuotas iš suprojektuotojo KMA mišinio granulimetrinės sudėties kreivės (3.4 pav.) reikalingas dozuoti karštosios mineralinės medžiagos Fr1 iš karštojo bunkerio pirmosios sekcijos kiekis, masės %; m_{Md} – grąžinamojo mineralinio dul্কio kiekis, masės %.

Reikalingas karštųjų mineralinių medžiagų m_{Fr2} , m_{Fr3} , m_{Fr4} , m_{Fr5} ir m_{Fr6} kiekis, apskaičiuojamas iš KMA mišinio granulimetrinės sudėties kreivės (3.3 pav.). Uždavinio pabaigoje pateiktas pavyzdys, kai karštosios mineralinės medžiagos imamos iš šešių bunkerio sekcijų. Imant medžiagas iš mažiau (dviejų, trijų, keturių arba penkių) bunkerio sekcijų, skaičiuojama analogiškai.

Taikydami KMA mišinio maišinio masę Q kg ir žinodami jame esančio bitumo projektinę masę m_b %, apskaičiuojame bitumo dozės reikiamą masę q_{pb} :

$$q_{pb} = \frac{Q \cdot m_b}{M'_\Sigma} = \frac{Q \cdot m_b}{100 + m_b}, \quad (3.14)$$

čia M'_Σ – visų medžiagų KMA mišinio maišinyje masė, %.

Gaminamo KMA mišinio vieno maišinio mineralinės dalies vidutinė masė bus tokia:

$$Q_{md} = Q - q_{pb} = \frac{Q \cdot M_{\Sigma}}{M'_{\Sigma}}, \quad (3.15)$$

čia M_{Σ} – KMA mišinio mineralinės dalies masė, % ($M_{\Sigma} = 100$ %).

Kiekvienos j -osios mineralinės medžiagos projektinė dozės masė q_{pj} gaunama jos procentinį kiekį KMA mišinio mineralinėje dalyje m_j % padauginus iš maišinio mineralinės dalies masės Q_{md} kg ir padalinus iš 100 %:

$$q_{pj} = \frac{m_j \cdot Q_{md}}{100}. \quad (3.16)$$

Šis algoritmas leidžia apskaičiuoti, į kokias padėtis reikia pasukti baigiamojo dozavimo karštųjų ir šaltųjų mineralinių medžiagų diskretinių dozatorių ciferblatinių rodytuvų nustatomąsias rodykles arba valdymo programoje nustatyti dozių masę. Jis tinka tik pirminėms diskretinių dozatorių nustatomųjų rodyklių padėtimis. Pradėjus gaminti KMA mišinį, reikia paimti pagal LST EN 12597-27 ir LST EN 932-1 ir laboratorijoje iširti karštųjų frakcijų ėminius, apskaičiuoti jų faktinę granulimetrinę sudėtį pagal LST EN 933-1 ir pagal metodiką (Методические...1984) pakoreguoti ciferblatinių rodytuvų nustatomąsias rodykles. Taip reikėtų elgtis kiekvieną kartą, kai gaminamo KMA mišinio tikroji granulimetrinė sudėtis nukrypsta nuo laboratoriniame projekte pateiktų mineralinių komponentų kiekio daugiau, nei leidžia IT ASFALTAS 08 ir kai pasikeičia pradinės šaltosios mineralinės medžiagos.

Pradedant gaminti KMA mišinį, būtina taip nustatyti pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų dozatorių faktinį našumą, kad iš jų išbyrančių srautų masės santykis laikui bėgant būtų pastovus ir atitiktų laboratoriniame KMA mišinio sudėties projekte nustatytą procentinį medžiagų masės santykį.

Įvertinus KMA mišinio gamybos technologinio proceso veiksnius (medžiagų drėgnį, taršą, maišinio masę, maišymo ciklo trukmę, ABMA nustatytą našumą, technologinių sietų akučių matmenis, naudojamų karštųjų frakcijų dydį ir skaičių, pradinių mineralinių medžiagų masės santykį ir bitumo kiekį), sudaryta pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų dozatorių pradinio suregulavimo seka. Naudojant

autoriaus pateiktas matematinės formules ir skaičiavimo algoritmą, galima teisingiau, negu iki šiol buvo daroma, apskaičiuoti pradinį šaltųjų mineralinių medžiagų dozatorių našumą, leidžiantį gaminti tikslesnės ir stabilesnės sudėties KMA mišinį.

3.3. Asfaltbetonio maišytuvo įrenginių reikiamo našumo ir medžiagų dozių skaičiavimo pavyzdys

3.3.1. Pradinio šaltųjų mineralinių medžiagų tiekėjų našumo apskaičiuotosios vertės

Užduoties duomenys uždavinio pavyzdžiui spręsti pateikti 3.4 lentelėje.

3.4 lentelė. Individualios užduoties uždaviniui spręsti duomenų lentelė

Studento vardas ir pavardė

Gaminamo KMA mišinio rūšis ir tipas AC 22 AS (asfalto apatinio sluoksnio mišinys)

Asfaltbetonio maišytuvo (ABMA) modelis Ammann Euro A 240

Vieno maišinio nustatyta vidutinė masė $Q = 2800$ kg.

Mišinio maišymo maišyklėje ciklą $t_m = 51$ s sudarančių operacijų trukmė, s:

$t_1 = 3$ s, nes plaušas „Fibrocelas“ nenaudojamas;

$t_2 = 33$ s, nes maišyklės mentės susidėvėjusios;

$t_3 = 11$ s, nes vartojamas polimerais modifikuotas bitumas, o ne kelių bitumas;

$t_4 = 4$ s, nes KMA mišinys stambus, o maišyklės tūris nevisiškai užpildytas.

Bitumo rūšis polimerais modifikuotas bitumas PMB 45/80–55

Aktyvieji mineraliniai milteliai turi 84 % mažesnių už 0,063 mm daleles.

KMA mišinį sudarančių pradinį šaltųjų mineralinių medžiagų projektinis kiekis (skaitiklyje) ir drėgmė (vardiklyje), %

Mm	GSm	At	TSm	Sk2/5	Sk5/8	Sk8/11	Sk11/16	Sk16/22	RA
4/0	13/4,1	7/3,7	11/4,3	10/2,9	17/2,8	8/2,4	9/2,6	21/2,0	–

KMA mišinį sudarančių baigiamojo dozavimo karštųjų mineralinių medžiagų frakcijų skaičius ir stambumas, mineralinis dulkis (Md), mineraliniai milteliai (Mm) bei bitumo (B) procentinė masė – DMF

Fr0/2 + ; Fr2/5+ ; Fr5/8 + ; Fr8/11+ ; Fr11/16+ ; Fr16/22 + ; B = 5,0 %

Gaminamo KMA mišinio mineralinių medžiagų pilnutinės išbiros per sietus mm, %

0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	5,6	8	11,2	16	22,4
6	9	16	18	26	29	46	58	67	78	96

Pirminis (šaltas) mineralinių medžiagų dozavimas (tolydinių dozatorių reikiamas našumas) priklauso nuo pasirinkto gaminti KMA mišinio gamybos kiekio per laiko vienetą, t. y. nuo asfaltbetonio maišytuvo (ABMA) tikrojo valandinio našumo. Jis privalo būti toks, kad per valandą tolygiai būtų tiekiamas reikiamas visų naudojamų medžiagų kiekis. Tarkime, kad pagal karštojo AC 22 AS markės mišinio sudėties laboratorinį projektą reikia naudoti tokį pradinį šaltųjų mineralinių medžiagų kiekį, masės %, kuris pateiktas 3.5 lentelės C grafoje.

Asfaltbetonio mišinio sudėtis pateikta, kai mineralinės medžiagos sudaro $M_{\Sigma} = 100$ %, o bitumo kiekis priklauso nuo mineralinių medžiagų kiekio (viršijantis 100 %). Gaminamas ABM susideda iš $M_{\Sigma} = 100$ % mineralinių medžiagų ir $m_B = 5,0$ % bitumo. Todėl visų mineralinių ir organinių medžiagų suma sudaro $M_{\Sigma+B} = 105$ % (3.5 lentelė, grafos B ir C).

Kadangi pirminio dozavimo metu į džiovinimo būgną tiekiamos tiktai mineralinės medžiagos iš rietuvių be mineralinių miltelių, kurie laikomi silose, tai perskaičiuojame jų masės procentines proporcijas, tardami, kad ši mineralinių medžiagų dalis sudaro $M_{\Sigma} - m_{Mm} = 100$ %. Visas mineralines medžiagas sudaro $m_{Mm} = 4$ % mineralinių miltelių ir $M_{\Sigma} - m_{Mm} = 96$ % likusiųjų medžiagų (gamtinis smėlis, atsijos, trupintas smėlis, granitinė skalda). Kad gautume mineralinių medžiagų, be atvežtinių mineralinių, tarpusavio proporcijas, dauginame kiekvieną medžiagų kiekį m_i (grafos C eilutės 2-4) iš $M_{\Sigma} / (M_{\Sigma} - m_{Mm}) 100 / (100 - 4) = 100 : 96$, t. y. iš koeficiento 1,0420), ir rezultatai įrašome į grafą D.

3.5 lentelė. Šaltųjų mineralinių medžiagų, tiekiamų į asfaltbetonio maišytuvą, pradinio kiekio skaičiavimo pavyzdys

Eil. Nr.	Medžiagos pavadinimas	ABM sudėtis pagal projektą, %	Mineralinių medžiagų kiekis be Mm, %	Sausųjų medžiagų srautų intensyvumas, t/h	Mineralinių medžiagų drėgnis D, %	Tikrasis pradinis dozavimas, įvertinus drėgnį, t/h
A	B	C	D	E	F	G
1	Aktyvintieji mineraliniai milteliai (Mm)	4	–	–	–	–

3.5 lentelės pabaiga

2	Gamtinis smėlis 0/2 mm (GS m)	13	13,5	24,40	4,1	25,40
3	Atsijos 0/2 mm (At)	7	7,3	13,20	3,7	13,69
4	Trupintasis smėlis 0/5 mm (TSm)	11	11,5	20,79	4,3	21,68
5	Granitinė skalda 2/5 mm (Sk 2/5)	10	10,4	18,80	2,9	19,35
6	Granitinė skalda 5/8 mm (Sk 5/8)	17	17,7	31,99	2,8	32,89
7	Granitinė skalda 8/11 mm (Sk 8/11)	8	8,3	15,00	2,4	15,36
8	Granitinė skalda 11/16 mm (Sk 11/16)	9	9,4	16,99	2,0	17,43
9	Granitinė skalda 16/22 mm (Sk 16/22)	21	21,9	39,58	2,0	40,37
10	Naudoto asfalto (RA) granulės	–	–	–	–	–
11	Pradinių minerali- nių medžiagų suma	100	100	180,75	–	186,17
12	Bitumas	5,0	–	–	–	–
13	ABM	105,0	–	–	–	–

Žinome, kad KMA mišinį gaminsime *Ammann Euro 1240* modelio asfaltbetonio maišytuve, kurio priverstinio maišymo $Q = 2800$ kg, talpyklos maišyklės mentės padėvėtos.

Sausųjų mineralinių medžiagų (karštųjų frakcijų, šaltųjų mineralinių miltelių ir mineralinio dulquio) krovimo į maišyklę trukmė imama $t_1 = 3$ s, nes plaušas (Arbocelis) nenaudojamas. Šlapiojo (su supiltu bitumu) maišymo trukmę imame $t_2 = 33$ s, nes maišyklės mentės padėvėtos, naudojamas polimerais modifikuotas bitumas, tai pridėdame dar $t_3 = 11$ s. Pagaminto KMA mišinio maišinio iškrovimo iš maišyklės trukmė imama $t_4 = 4$ s. Todėl vieno ciklo trukmė $t_m = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 3 + 33 + 11 + 4 = 51$ s. Per vieną valandą iš maišy-

klės išbyrės $3600 / t_m = 3600 / 51 = 70,6$ KMA mišinio. Asfaltbetonio maišytuvas (ABMA) per vieną valandą pagamins KMA mišinio pagal (3.1) formulę:

$$N_{ABMA} = \frac{3600 \cdot Q}{t_m} = \frac{3600 \cdot 2,800}{51} = 70,6 \cdot 2,800 = 197,7 \text{ t/h.}$$

Tam, kad tokiu nustatytu našumu funkcionuotų ABMA, apskaičiuojame, kiek per valandą į jo įrenginius reikės tiekti mineralinių medžiagų, mineralinių miltelių ir bitumo.

Reikalingas bitumo kiekis per valandą apskaičiuojamas pagal (3.3) formulę. Nustatytas (reikiamas) asfaltbetonio maišytuvo valandinis našumas dauginamas iš bitumo projektinio kiekio, % ir dalijamas iš viso asfaltbetonio mišinio kiekio, %:

$$N_b = N_{ABMA} \cdot \frac{m_B}{M_{\Sigma+B}} = 197,7 \cdot \frac{5}{105} = 9,41 \text{ t/h,}$$

čia m_B – projektinis bitumo kiekis, masės % KMA mišinyje; $M_{\Sigma+B}$ – viso KMA mišinio maišinio sudedamųjų medžiagų procentinė suma, masės %.

Reikalingas visų mineralinių medžiagų kiekis per valandą skaičiuojamas iš (3.4) formulės. Nustatytas ABMA valandinis našumas (197,7 t/h) dauginamas iš mineralinių medžiagų procentinio kiekio ir dalijamas iš viso KMA mišinio kiekio, %:

$$N_{\Sigma} + N_{Mm} = N_{ABMA} \cdot \frac{M_{\Sigma}}{M_{\Sigma+B}} = 197,7 \cdot \frac{100}{105} = 188,29 \text{ t/h.}$$

Reikalingas pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų be mineralinių miltelių (atvežtinių) kiekis per valandą skaičiuojamas iš (3.5) formulės. Nustatytas ABMA valandinis našumas (197,7 t/h) dauginamas iš pradinių mineralinių medžiagų be mineralinių miltelių kiekio ir dalijamas iš viso KMA mišinio kiekio, %:

$$N_{\Sigma} = N_{ABMA} \cdot \frac{M_{\Sigma} - m_{Mm}}{M_{\Sigma+B}} = 197,7 \cdot \frac{96}{105} = 180,75 \text{ t/h.}$$

Atvežtinių (aktyvintųjų arba neaktyvintųjų) mineralinių miltelių per vieną valandą turi būti suvartojama pagal (3.6) formulę:

$$N_{Mm} = N_{ABMA} \cdot \frac{m_{Mm}}{M_{\Sigma+B}} = 197,7 \cdot \frac{4}{105} = 7,53 \text{ t/h.}$$

Taip gaminant $N_{ABMA} = 197,7$ t/h asfaltbetonio mišinio reikės per vieną valandą suvartoti $N_{\Sigma} = 181$ t pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų, $N_{Mm} = 7,5$ t mineralinių miltelių ir $N_b = 9,4$ t bitumo.

Apskaičiuojama, kiek reikės per vieną valandą suvartoti konkrečių sausųjų mineralinių medžiagų. Tam bendrąjį mineralinių medžiagų kiekį (šiuo atveju $N_{\Sigma} = 180,75$ t) dauginame iš kiekvienos medžiagos proporcijos (3.5 lentelės D grafa) ir įrašome į grafą E. Skaičiuodami gauname, kad:

- gamtinio smėlio 0/2 mm (GSm) kiekis, reikiamas tiekti tolydiniu dozatoriumi (iš 3.7 formulės), bus toks:

$$N_{GSm} = \frac{N_{\Sigma} \cdot m'_{GSm}}{100} = \frac{180,75 \cdot 13,5}{100} = 24,40 \text{ t/h;}$$

- atsijų 0/2 mm (At) bus:

$$N_{At} = \frac{N_{\Sigma} m'_{At}}{100} = \frac{180,75 \cdot 7,3}{100} = 13,20 \text{ t/h;}$$

- trupinto smėlio 0/5 mm (TSm) bus:

$$N_{TSm} = \frac{N_{\Sigma} \cdot m'_{TSm}}{100} = \frac{180,75 \cdot 11,5}{100} = 20,79 \text{ t/h;}$$

- granitinės skaldos 2/5 mm (Sk 2/5) bus:

$$N_{Sk2/5} = \frac{N_{\Sigma} \cdot m'_{Sk2/5}}{100} = \frac{180,75 \cdot 10,4}{100} = 18,80 \text{ t/h;}$$

- granitinės skaldos 5/8 mm (Sk 5/8) bus:

$$N_{Sk5/8} = \frac{N_{\Sigma} \cdot m'_{Sk5/8}}{100} = \frac{180,75 \cdot 17,7}{100} = 31,99 \text{ t/h;}$$

- granitinės skaldos 8/11 mm (Sk 8/11) bus:

$$N_{Sk8/11} = \frac{N_{\Sigma} \cdot m'_{Sk8/11}}{100} = \frac{180,75 \cdot 8,3}{100} = 15,00 \text{ t/h;}$$

- granitinės skaldos 11/16 mm (Sk 11/16) bus:

$$N_{Sk11/16} = \frac{N_{\Sigma} \cdot m'_{Sk11/16}}{100} = \frac{180,75 \cdot 9,4}{100} = 16,99 \text{ t/h};$$

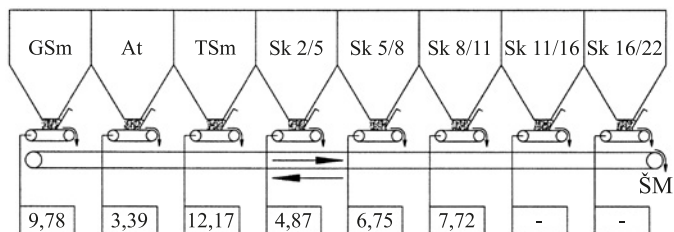
- granitinės skaldos 16/22 mm (Sk 16/22) bus:

$$N_{Sk16/22} = \frac{N_{\Sigma} \cdot m'_{Sk16/22}}{100} = \frac{180,75 \cdot 21,9}{100} = 39,58 \text{ t/h}.$$

Sudėjus iš visų ABMA tiekuvų-dozatorių ant bendrojo juostinio transporterio byrančių ir į džiovinimo būgną nenutrūkstamai tiekiamų sausųjų mineralinių medžiagų srautų reikiamą intensyvumą gaunama kontrolė (3.5 lentelės E skiltis):

$$N_{\Sigma} = 24,40 + 13,20 + 20,79 + 18,80 + 31,99 + 15,00 + 16,99 + 39,58 = 180,75 \text{ t/h}.$$

Rietuvėse be stoginių sandėliuojamos mineralinės medžiagos yra drėgnos, todėl tyrimais turi būti nustatyta jų tikroji drėgmė, % ir įrašyta į 3.5 lentelės grafą F. Šiuo atveju nustatyta visų medžiagų drėgmė, kurios vertės pateiktos (%), 3.5 lentelės grafoje F. Todėl tikrasis pirminis medžiagų dozavimas yra padidinamas, reikalingą sausųjų medžiagų kiekį per valandą (grafa E) dauginant iš drėgmės koeficiento k_D . Pavyzdžiui, gamtinio smėlio, kai jis sausas, tiektuvo našumą $N_{GSm} = 24,40 \text{ t/h}$ reikia padidinti iki $24,40 \cdot (1,000 + 0,041) = 25,40 \text{ t/h}$ (šiuo atveju atskirų medžiagų 1,041, 1,037, ..., 1,020). Reikiami drėgnų medžiagų dozavimo rezultatai surašomi grafoje G. Jei ABMA naudojami tolydiniai dozatoriai yra svoriniai ir jų skalė žymėta t/h, tai kiekvienos medžiagos tiektuvo rodmenys pagal grafos G duomenis nustatomi į tam tikrą padėtį. Jei dozatoriai sukalibruoti kitokiais vienetais, tai reikiamas drėgnų mineralinių medžiagų srautų intensyvumas perskaičiuojamas, pvz.: kg/min arba m³/h. Tolydinių dozatorių reikiamo tikrojo našumo rodmenys užrašomi mineralinių medžiagų priėmimo bunkerį su tiekuvais schemas langeliuose (3.4 pav.).



3.4 pav. Asfaltbetonio maišytuvo pradinių šaltųjų mineralinių medžiagų priėmimo bunkerių esant tolydiniam dozatoriui (tiektuvams) ir nurodant jais matuojamą srautų intensyvumą (t/h) duomenis schema

3.3.2. Karštųjų mineralinių medžiagų, mineralinio dulksio, mineralinių miltelių ir bitumo dozių masės apskaičiuotosios vertės

Baigiamojo dozavimo medžiagų dozių reikiama masė priklauso nuo KMA mišinio maišinio nustatytos masės. Sakykime, statybos vadovas (SV) nurodė, kad vieno maišinio masė lygi $Q = 2800$ kg. Galutinai dozuojuojant naudojamos mineralinės medžiagos (pavyzdys iš 3.5 lentelės), gautos iš persijoto pradinių mineralinių medžiagų mišinio, kuris karštajame bunkeryje suskirstytas į atskiras frakcijas, priklausančias nuo ABMA sijotuve sumontuotų technologinių sietų akučių matmenų. Teoriškai dėl intensyvaus sijojimo ir medžiagų judėjimo sieties į ribotos trukmės bunkerio sekciją subyra smulkesnės frakcijos, nei nustatytos ribojamu apatiniu sietu. Technologinių sietų akučių matmenys ir per jas išbyrančių grūdelių skersmenys pateikti 3.3 lentelėje.

Kadangi ABMA sijotuvo apatinio ir viršutinio technologinių sietų kvadratinė akučių kraštinės ilgis būna didesnis už norimą tarp jų gauti karštosios frakcijos grūdelių standartinį stambumą, tai šios frakcijos mineralinė medžiaga visada būna užteršta šalutiniais nestandartinio dydžio mažesniais ir didesniais grūdeliais. Šių nestandartinio dydžio grūdelių procentinė masė karštojoje frakcijoje nėra pastovi bėgant darbo laikui (nes dylant sietams, didėja jų akutės), ji skiriasi ir atskirų ABMA (nes gali būti naudojami skirtingų gamintojų sietai). Skirtingą frakcijų taršą gali lemti medžiagų, patenkančių į sijotuvą, nevienoda

granulimetrinė sudėtis (ypač sunkiųjų ir sijojamą apsunkinančių grūdelių skirtingas procentinis kiekis), taip pat medžiagų srauto kintantis intensyvumas (tiektuvų našumas). Skaičiuojant šį uždavinį imama, kad karštosios frakcijos yra švarios (duomenys apie karštųjų frakcijų faktinę taršą ir jos sklaidos parametrus yra renkami).

Suprojektuoto AC 22 AS markės KMA mišinio mineralinės dalies granulimetrinę sudėtį rodo kreivė, nubrėžta tarp viršutinės P_u ir apatinės P_L techninių tolerancijų ribų (3.5 pav.). Jo pilnutinės išbiros per kontrolinius sietus mm masės % yra tokios: 122,4 mm – 96 %, 16 mm – 78 %, 11,2 mm – 67 %, 8 mm – 58 %, 5,6 mm – 46 %, 2 mm – 29 %, 1 mm – 26 %, 0,5 mm – 18 %, 0,25 mm – 16 %, 0,125 mm – 9 % ir 0,063 mm – 6 %.

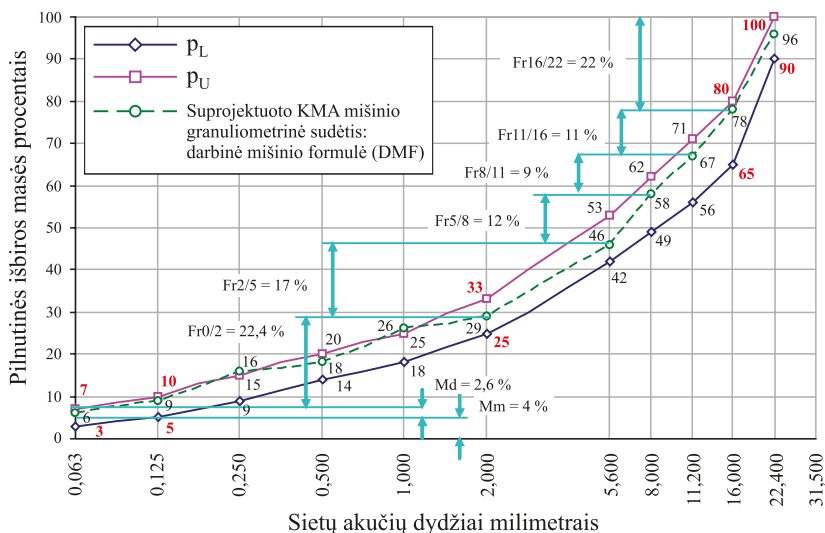
Galutinai KMA mišinys sudaromas iš tokių medžiagų (3.6 pav.):

- karštųjų frakcijų, esančių karštojo bunkerio sekcijose; Fr1,...,Fr6;
- šaltųjų mineralinių miltelių – Mm;
- grąžinamų iš ABMA oro sausojo valymo įrenginių dulkių dalies (mineralinio dulkio – Md);
- bitumo.

Sakykime, kad gaminančiame KMA mišinį ABMA sijotuve sudėti technologiniai sietai su kvadratinėmis akutėmis: $l_{t1} = 3,15$ mm, $l_{t2} = 6,3$ mm, $l_{t3} = 9,0$ mm ir $l_{t4} = 13,0$ mm, $l_{t5} = 19,0$ mm ir $l_{t6} = 28,0$ mm.

Tuomet šie sijotuvo technologiniai sietai suskirsto karštųjų mineralinių medžiagų mišinį bunkerio sekcijose į tokias frakcijas: Fr 0/2, Fr 2/5, Fr 5/8, Fr 8/11, Fr 11/16 ir Fr 16/22. Gaminant AC 22 AC markės KMA mišinį, naudojamos visos karštosios frakcijos, išskyrus negabaritinius (didesnius kaip 22 mm grūdelius) ir perteklių, kartais išblyrantį iš kurios nors perpildytos bunkerio sekcijos.

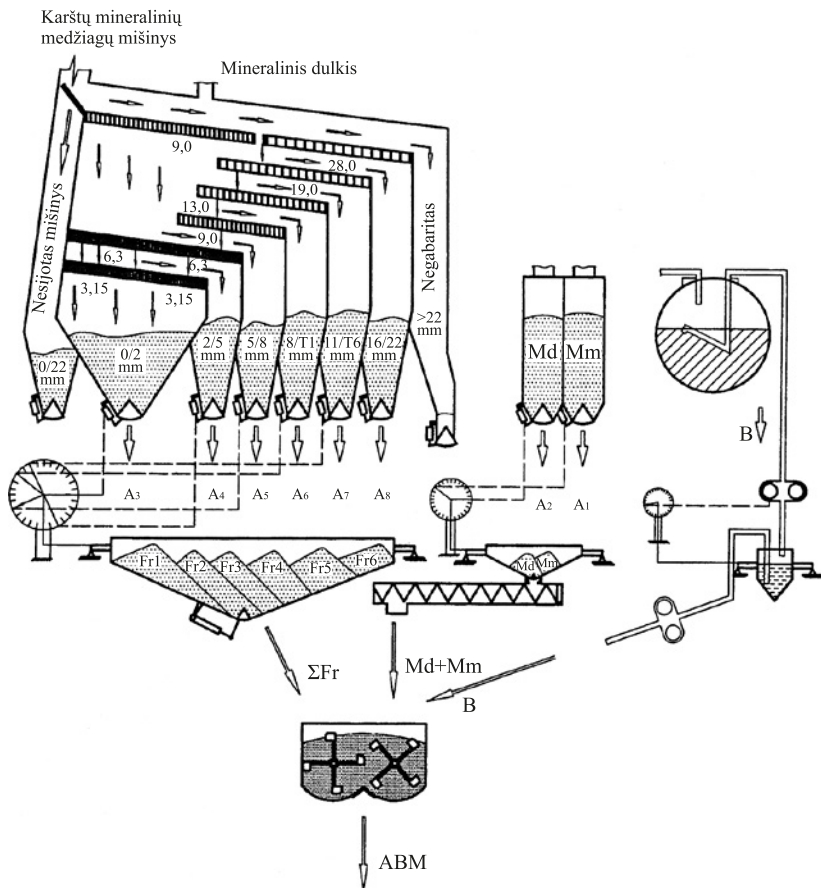
Pirminio dozavimo metu tiektų šaltųjų mineralinių medžiagų išdžiovintas ir įkaitintas mišinys (3.5 pav.) sijoja pasiskirsto į šešias ABMA karštojo bunkerio sekcijas (pagal maišytuve esančius technologinius sietus). I sekcijoje susirenka frakcija Fr 0/2, II sekcijoje – Fr 2/5, III sekcijoje – Fr 5/8, IV sekcijoje – Fr 8/11, V sekcijoje – Fr 11/16 ir VI sekcijoje – Fr 16/22.



3.5 pav. AC 22 AS markės KMA mišinio granulimetrinė sudėtis ir iš jos apskaičiuotų baigiamojo dozavimo mineralinių medžiagų reikiamos procentinės masės

Jei visos mineralinės medžiagos būtų tiekiamos į joms svirti skirtą dozatorių (tarp jų ir šaltieji mineraliniai milteliai), tai galutinai dozuojant iš karštojo bunkerio pirmosios sekcijos reikėtų $m_{Fr0/2} = 29 \%$ Fr 0/2 medžiagos, nes KMA mišinio pilnutinė išbira per 2 mm sietą lygi 26 % (užduoties duomenys iš 3.4 lentelės). Iš antrosios sekcijos reikėtų dar pridėti $m_{Fr2/5} = 17 \%$ Fr 2/5 medžiagos, ($46 \% - 29 \% = 17 \%$). Iš trečiosios sekcijos į dozatoriaus bunkerį reikia įpilti $m_{Fr5/8} = 12 \%$ Fr 5/8 medžiagos ($58 \% - 46 \% = 12 \%$). Iš ketvirtosios karštųjų mineralinių medžiagų bunkerio sekcijos į dozatoriaus svėrimo bunkerį reikia įpilti $m_{Fr8/11} = 9 \%$ Fr 8/11 mm, nes iš KMA mišinio pilnutinės išbiros per 11,2 mm sietą 67 % atėmus pilnutinę išbirą per 8 mm sietą 58 % būtent ir gaunami 9 %. Iš penktosios bunkerio sekcijos būtina ant svarstyklių įpilti $m_{Fr11/16} = 11 \%$ Fr 11/16 mm ($78 \% - 67 \% = 11 \%$). Pabaigoje prie visų prieš tai atsvertų karštųjų frakcijų masių sumos turėtų būti pridedama $m_{Fr16/22} = 18 \%$ stam-

biausios Fr 16/22 mm frakcijos (96 % – 78 % = 18 %). Iš tikrųjų jos reikia pridėti ne 18 %, bet $m_{Fr16/22} = 18 + (100 - 96) = 22$ %, nes pilnutinė liekana ant didžiausių akučių 22,4 mm sieto yra 4 % (3.4 lentelė) nepatenka į negabaritinę sekciją ir priskiriama prie stambiausios karštosios frakcijos medžiagos.



3.6 pav. Periodinio veikimo asfaltbetonio maišytuvo technologinių įrenginių komponentės ir medžiagų judėjimo jose sekos schema

Tačiau mineraliniai milteliai tiekiami atskirai ($m_{Mm} = 4\%$), todėl iš karštojo bunkerio I sekcijos reikia tiekti (3.9 formulė) $m_{Fr0/2} = m_{Fr0/2}'' - m_{Mm} = 29 - 4 = 25\%$ Fr 0/2 mineralinės medžiagos. Be to, džiovinant ir sijojant pradinių mineralinių medžiagų mišinį, dalis smulkiųjų dalelių, daugiausia mažesnių kaip 0,063 mm, yra ištraukiamos ir nusodinamos ciklonuose ir audekliniuose filtruose. Paprastai tai yra dulkių dalis, sudaranti mineralinę dulkę (Md), dozuojamą kaip atskirą medžiagą, atsirandančią vykstant KMA mišinio gamybos technologiniam procesui. Mūsų gaminamojo AC 22 AS markės KMA mišinio granulimetrinės sudėties kreivė rodo, kad per kontrolinį sieta 0,063 mm išbyra $m_{0,063KMA} = 6\%$ visų grūdelių (3.4 lentelė).

Reikia įvertinti, kad ne visi šaltieji mineraliniai milteliai išbyra pro šį kontrolinį sieta, o tikrai $m_{0,063Mm} = 85\%$ (imama iš mineralinių miltelių granulimetrinės sudėties). Todėl šaltųjų mineralinių miltelių dalis, smulkesnė kaip 0,063 mm, sudaro $m_{0,063KMA}^{(Mm)} = \frac{m_{Mm} \cdot m_{0,063Mm}}{100} = 4 \cdot 84 : 100 = 3,4\%$ KMA mišinio mineralinių miltelių komponento absoliutaus kiekio. Kita smulkiosios frakcijos (Fr 0/2) dalis turi būti pakeista mineraliniu dulkiu, grąžinamu iš ciklonų ir audeklinių filtrų, kuris ir sudaro $m_{Md} = m_{0,063KMA} - m_{0,063KMA}^{(Mm)} = 6 - 3,4 = 2,6\%$. 2,6 % mineralinio dulkiu turi būti grąžinama iš ciklonų, jei jį sudaro visi mažesni kaip 0,063 mm grūdeliai. Jeigu dulkės (mineralinis dulkis) negrąžinamos, tai šią jų dalį turi kompensuoti šaltieji mineraliniai milteliai. Taigi iš pirmosios karštojo bunkerio sekcijos galutinai dozuojant reikia pasverti (3.13 formulė) $m_{Fr0/2} = m_{Fr0/2}' - m_{Md} = 25 - 2,6 = 22,4\%$ Fr 0/2 mineralinės medžiagos.

Pagal šį pasiskirstymą, skaičiuojame galutinį medžiagų dozavimą, kai šiuo atveju vieno maišinio masė $Q = 2800$ kg.

Reikalinga (projektinė) bitumo dozės masė viename AC 22 AS markės KMA mišinio maišinyje: $q_{pb} = \frac{Q \cdot m_b}{M_{\Sigma}} = \frac{2800 \cdot 50}{105,0} = 133,3$ kg.

Visų kitų mineralinių medžiagų, sudarančių KMA mišinio vieno maišinio mineralinę dalį, masė yra tokia:

$$Q_{Md} = Q - q_{pb} = 2800 - 133,3 = 2666,7 \text{ kg arba}$$

$$Q_{md} = \frac{Q \cdot M_{\Sigma}}{M'_{\Sigma}} = \frac{2800 \cdot 100}{105} = 2666,7 \text{ kg.}$$

Kiekvienos mineralinės medžiagos projekcinė dozės masė q_{pj} gaunama pagal (3.16) formulę, jos procentinį kiekį KMA mišinio mineralinėje dalyje m_j % dauginant iš maišinio mineralinės dalies masės 2666,7 kg ir dalijant iš 100 % (rezultatai 3.6 lentelėje).

3.6 lentelė. Apskaičiuotosios galutinių dozuojamųjų medžiagų dozių masės projekcinės vertės (darbinė mišinio formulė – DMF)

Baigiamosios (galutinės) dozuojamosios medžiagos		KMA mišinys	
		Medžiagų kiekis KMA mišinyje, masės %	KMA mišinį sudarančių medžiagų dozių masė, kg
Karštosios mineralinės medžiagos (frakcijos)	Fr 0/2 iš bunkerio I sekcijos	22,4	597,4
	Fr 2/5 iš bunkerio II sekcijos	17,0	453,3
	Fr 5/8 iš bunkerio III sekcijos	12,0	320,0
	Fr 8/11 iš bunkerio IV sekcijos	9,0	240,0
	Fr 11/16 iš bunkerio V sekcijos	11,0	293,3
	Fr 16/22 iš bunkerio VI sekcijos	18 + 4 = 22,0	586,7
Aktyvintieji mineraliniai milteliai (Mm)		4,0	106,7
Sugautos dulkės (mineralinis dulgis – Md)		2,6	69,3
Iš viso mineralinės medžiagos		100,0	2666,7
Rišiklis (polimerais modifikuotas bitumas)		5,0	133,3
Iš viso KMA mišinio maišinys		105,0	2800,0

Paleidus ABMA ir pradėjus KMA mišinio gamybą nuo minimalaus našumo, technologiniams įrenginiams šylant, jo našumas pamažu didinamas iki racionalių parametru, išlaikant nekintantį pradinį medžiagų tiektuvų našumo santykį. Tačiau, didinant ABMA tikrąjį našumą, didėja technologinių sietų apkrovimas karštuoju mineralinių medžiagų mišiniu. Dėl to mažėja jo sijojimo į karštasias frakcijas efektyvumas ir didėja gaunamų frakcijų tarša šalutiniais grūdeliais. Pagal taršos lygį nepakoregavus karštųjų frakcijų dozių, KMA mišinio sudėtis dažniausiai nukrypsta nuo projektinių verčių.

Matome, kad sudėjus visų baigiamojo dozavimo medžiagų dozių apskaičiuotąsias mases, gaunama uždavinio užduotį atitinkanti reikiama KMA maišinio masė, lygi 2800 kg.

LITERATŪRA

- Abdelgawad, M.; Fayek, R. 2010. Risk management in the construction industry using combined fuzzy FMEA and fuzzy AHP, *Journal of Construction Engineering and Management* 136(9): 1028–1036.
- Ang, B.; Fwa, T. F.; Ng, T. T. 1993. Analysis of process energy use of asphalt-mixing plants, *Energy* 18(7): 769–777.
- ASTM D 995–956. Standard specification for mixing plants for hot-mixed, hot-laid bituminous paving mixtures. Annual Book of ASTM Standards. Section four. Construction. Volume 04.03. Road and Paving Materials, Vehicle-Pavement Systems: 108–113.
- Bracegirdle, P. E. 1984. A new process and apparatus for making asphalt concrete, *Transportation Research Record*, 986: 22–26.
- Bražiūnas, J.; Sivilevičius, H. 2010. The bitumen batching system's modernization and its effective analysis at the asphalt mixing plant, *Transport* 25(3): 325–335. doi:10.3846/transport.2010.40.
- Brock, J. D.; Erbie, G. *Patent No 5378060 US*, Combustion chamber having reduced NO_x emissions, Date of Patent: Jan. 3, 1995. 11 p.
- Brown, E. R.; Collins, R.; Brownfield J. R. 1989. Investigation of segregation of asphalt mixtures in the state of Georgia, *Transportation Research Record* 1217:1–8.
- Čekanavičius, V.; Murauskas, G. 2003. *Statistika ir jos taikymai I*. Vilnius: TEV. 239 p.
- Čekanavičius, V.; Murauskas, G. 2004. *Statistika ir jos taikymai. II*. Vilnius: TEV. 271 p.
- D 3515–01 Standart Specification for Hot-Mixed, Hot-Laid Bituminous Paving Mixtures ASTM 2004: 337–341.
- Deshpande, V. S.; Cebon, D. 2000. Uniaxial experiments on idealized asphalt mixes, *Journal of Materials in Civil Engineering* 3: 262–271.
- Divinsky, M.; Nesichi, S.; Livneh, M. 2003. Optimal quality characteristic evaluation for asphalt mixing plants, *Journal of Testing and Evaluation* 31(1): 1–11.

- Evaluation of construction control procedures. Interim report. National Cooperative Highway Research Program: Report 34. Highway Research Board, 1967. 117 p.
- Ferraro, M. A.; Vivien, N.; Udron, I. 1986. Influence of bitumen content and grade on the structural behaviour of asphaltic concrete. General revue of the roads and the airports (*Revue generale des routes et des aerodromes*) 628: 44–48 (in French).
- Gonestas, E.; Strelčiūnas, R. R. 2003. *Taikomoji statistika*. Kaunas: LKKA. 302 p.
- Harvey, L.; Eriksen, K.; Sousa, K.; Monismith, C. 1994. Effects of laboratory specimen preparation on aggregate-asphalt structure, air-voids contents measurement, and repetitive simple shear test results, *Transportation Research Record* 1454:113–122.
- Hobbs, A. 2009. Simulation of an aggregate dryer using coupled CFD and DEM methods, *International Journal of Computational Fluid Dynamics* 23(2): 199–207.
- Hunter, R. N. 1997. Bituminous mixtures in road construction. London: Thomas Telford, 441 p.
- ĮT ASFALTAS 08. 2008. Automobilių kelių dangos konstrukcijos. Asfalto sluoksnių įrengimo taisyklės. Vilnius: LAKD. 62 p.
- Yue, Z.; Bekking, W.; Morin, I. 1995. Application of digital image processing to quantitative study of asphalt concrete micro-structure, *Transportation Research Record* 1492: 53–60.
- Jones, L. 1986. Recent developments in coating plant technology, *Quarry Management* 13(10): 25–30.
- Kennedy, T. W.; Huber, G. A. 1985. Effect of mixing temperature and stockpile moisture on asphalt mixtures, *Transport Research Record* 1034: 35–46.
- Lee, H.-I.; Daniel, I. S.; Kim, Y. R. 2000. Continuum damage mechanics-based fatigue model of asphalt concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering* 12(2): 105–112.
- Maskeliūnaitė, L.; Sivilevičius, H.; Podvezko, V. 2009. Research on the quality of passenger transportation by railway, *Transport* 24(2): 100–112.
- Mučinis, D.; Sivilevičius, H.; Oginskas, R. 2009. Factors determining the inhomogeneity of reclaimed asphalt pavement and estimation of its components content variation parameters, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 4(2): 69–79.
- Obaidat, M. T.; Al-Masaeid, H. R.; Gharaybeh, F. 1998. An innovative digital image analysis approach to quantify the percentage of voids in mineral aggregates of bituminous mixtures, *Canadian Journal of Civil Engineering* 25: 1041–1049.

- Petkevičius, K.; Sivilevičius, H. 2008. Necessary measures for ensuring the quality of hot mix asphalt in Lithuania, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 3(1): 29–37.
- Podvezko, V. 2005. Ekspertų įverčių suderinamumas, *Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas* 9(2): 101–107.
- Qudin, I. 1984. The behaviour of pulverized roadmaking materials: an approach to principles of conditioning before batching. The Bulletin of Interrelation of the Bridges and Road Construction (*Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et Chausses*) 134: 21–34 (in French).
- Rekomenduojamos asfaltbetonio gamyklose išmetamų į aplinką kenksmingų medžiagų normos. Vilnius: Transporto ir kelių tyrimo institutas (TKTI), 1998. 46 p.
- Saaty, T. L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: M. Graw-Hill.
- Sivilevičius, H. 2001. Asfaltbetonio maišytuvo kokybės kompleksinio vertinimo kriterijai ir metodika, *Statyba* 7(3): 213–223.
- Sivilevičius, H. 2002. Asfaltbetonio maišytuvo kokybės kompleksinio vertinimo kriterijų pagrindimas ir metodikos taikymas praktikoje, *Journal of Civil Engineering and Management* 8(2): 112–125.
- Sivilevičius, H. 2011a. Application of expert evaluation method to determine the importance of operating asphalt mixing plant quality criteria and rank correlation, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 6(1): 48–58.
- Sivilevičius, H. 2011b. Modelling the interaction of transport system elements, *Transport* 26(1): 20–34.
- Sivilevičius, H.; Karalevičius, I.; Gailius, A. 2003. Naujo kompiuterizuoto asfaltbetonio maišytuvo medžiagų diskretinių dozatorių technologinių rodiklių statistinės vertinimas, *Journal of Civil Engineering and Management* 9 (supl.2): 131–140.
- Sivilevičius, H.; Šukevičius, Š. 2009. Manufacturing technologies and dynamics of hot mix asphalt mixture production, *Journal of Civil Engineering and Management* 15(2): 169–179.
- Sivilevičius, H.; Zavadskas, E. k.; Turskis, Z. 2008. Quality attributes and complex assessment methodology of the asphalt mixing plant, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 3(3): 161–166.
- Stroup-Gardiner, M.; Brown, E. R. 2000. Segregation in hot-mix asphalt pavements. Report 441. Washington, D. C.: National Academi Press. 95 p.
- TRA ASFALTAS 08. 2008. Automobilių kelių asfalto mišinių techninių reikalavimų aprašas. Vilnius: LAKD. 61 p.

- Turskis, Z.; Zavadskas, E. K. 2010. A new fuzzy additive ratio assessment method (ARAS-F) Case study: the analysis of fuzzy multiple criteria in order to select the logistic centers location, *Transport* 25(4): 423–432.
- Zavadskas, E. K.; Turskis, Z.; Tamošaitienė, J. 2010. Risk assessment of construction project, *Journal of Civil Engineering and Management* 16(1): 33–46.
- Zhang, I. 1996. Keys to success in drum mix plant market in Southeastern states, *News CMI Corporation* 11: 18–23.
- Айвазян, С. А.; Мхитарян, В. С. 2001. *Прикладная статистика. Основы эконометрики: Теория вероятностей и прикладная статистика. Том 1*. Москва: ЮНИТИ. 656 с.
- Герасимович, А. И.; Матвеева, Я. И. 1978. *Математическая статистика*. Минск: Высшая школа. 200 с.
- Евланов, Л. Г. 1984. *Теория и практика принятия решений*. Москва: Экономика. 176 с.
- Завадкас, Э. К. 1987. *Комплексная оценка и выбор ресурсосберегающих решений в строительстве*. Вильнюс: Мокслас. 212 с.
- Иванова, В. М.; Калинина, В. Н.; Нешумова, Л. А. 1981. *Математическая статистика*. Москва: Высшая школа. 371 с.
- Кендэл, М. 1975. *Ранговые корреляции*. Пер. с англ. Москва: Статистика, 216 с.
- Кремер, Н. Ш. 2003. *Теория вероятностей и математическая статистика*. Москва: ЮНИТИ. 573 с.
- Методические рекомендации по контролю и регулированию зернового состава минеральной части асфальтобетонной смеси на заводе. Вильнюс: ВИСИ. 23 с.
- Плохинский, Р. А. 1967. *Алгоритмы биометрии*. Москва: Изд.-во Московского университета. 81 с.
- Порадек, С. В. 1997. Какие асфальтосмесительные установки нам нужны, *Наука и техника в дорожной отрасли* 3:26.
- Порадек, С. В. 1997. Модернизация оборудования асфальтобетонных заводов, *Наука и техника в дорожной отрасли* 1(1): 25–28.
- Порадек, С. В. 1998. Использование тканевых фильтров для отчистки отходящих газов, *Наука и техника в дорожной отрасли* 1(4): 24.
- Порадек, С. В. 1999. О возможности сокращения энергозатрат на АБЗ, *Наука и техника в дорожной отрасли* 1(8): 31.
- Порадек, С. В. 2001. Пылеулавливающее оборудование для асфальтобетонных заводов, *Наука и техника в дорожной отрасли* 1(16): 19–20.

I priedas

χ^2 (angl. *chi-kvadrat*) skirstinio vertės $\chi_{kr}^2 = \chi_{v,\alpha}^2$, kai laisvės laipsnis v ir reikšmingumo lygmuo α (Айвазян, Мхитарян 2001)

v	α					
	0,900	0,100	0,050	0,025	0,010	0,005
1	0,0157908	2,70554	3,84146	5,02389	6,63490	7,87944
2	0,210720	4,60517	5,99147	7,37776	9,21034	10,5966
3	0,584375	6,25139	7,81473	9,34840	11,3449	12,8381
4	1,063623	7,77944	9,48773	11,1433	13,2767	14,8602
5	1,61031	9,23635	11,0705	12,8325	15,0863	16,7496
6	2,20413	10,6446	12,5916	14,4494	16,8119	18,5476
7	2,83311	12,0170	14,0671	16,0128	18,4753	20,2777
8	3,48954	13,3616	15,5073	17,5346	20,0902	21,9550
9	4,16816	14,6837	16,9190	19,0228	21,6660	23,5893
10	4,86518	15,9871	18,3070	20,4831	23,2093	25,1882
11	5,57779	17,2750	19,6751	21,9200	24,7250	26,7569
12	6,30380	18,5494	21,0261	23,3367	26,2170	28,2995
13	7,04150	19,8119	22,3621	24,7356	27,6883	29,8194
14	7,78953	21,0642	23,6848	26,1190	29,1413	31,3193
15	8,54675	22,3072	24,9958	27,4884	30,5779	32,8013
16	9,31223	23,5418	26,2962	28,8454	31,9999	34,2672
17	10,0852	24,7690	27,5871	30,1910	33,4087	35,7185
18	10,8649	25,9894	28,8693	31,5264	34,8053	37,1564
19	11,6509	27,2036	30,1435	32,8523	36,1908	38,5822
20	12,4426	28,4120	31,4104	34,1696	37,5662	39,9968
21	13,2396	29,6151	32,6705	35,4789	38,9321	41,4010
22	14,0415	30,8133	33,9244	36,7807	40,2894	42,7956
23	14,8479	32,0069	35,1725	38,0757	41,6384	44,1813
24	15,6587	33,1963	36,4151	39,3641	42,9798	45,5585
25	16,4734	34,3816	37,6525	40,6465	44,3141	46,9278
26	17,2919	35,5631	38,8852	41,9232	45,6417	48,2899
27	18,1138	36,7412	40,1133	43,1944	46,9630	49,6449
28	18,9392	37,9159	41,3372	44,4607	48,2782	50,9933
29	19,7677	39,0875	42,5569	45,7222	49,5879	52,3356

I priedo lentelės pabaiga

30	20,5992	40,2560	43,7729	46,9792	50,8922	53,6720
40	29,0505	51,8050	55,7585	59,3417	63,6907	66,7659
50	37,6886	63,1671	67,5048	71,4202	76,1539	79,4900
60	46,4589	74,3970	79,0819	83,2976	88,3794	91,9517
70	55,3290	85,5271	90,5312	95,0231	100,425	104,215
80	64,2778	96,5782	101,879	106,629	112,329	116,321
90	73,2912	107,565	113,145	118,136	124,116	128,299
100	82,3581	118,498	124,342	129,561	135,807	140,169

II priedas

Asfalto mišinių rūšys ir tipai, naudojami atitinkamoms dangų konstrukcijų klasėms, priklausomai nuo laukiamų apkrovų (IT ASFALTAS 08)

Dangos kons- trukcijos klasė	Asfalto pagrindo sluoksnis	Asfalto apatinis sluoksnis	Asfalto pagrin- do- dangos sluoks- nis	Asfalto viršutinis sluoksnis iš			
				asfaltbe- tonio	skaldos ir mastikos asfalto	mastikos asfalto	porin- gojo asfal- to
SV ir I	AC 32 PS AC 22 PS	AC 22 AS	–	–	SMA 11 S SMA 8 S	MA 11 S MA 8 S	PA11 PA 8
II		AC 16 AS		AC 11 VS			
III		AC 16 AS		(AC 16 AN)	AC 11 VN AC 8 VN	(SMA 8 N)	(MA 11 N) (MA 8 N)
IV	AC 32 PN AC 22 PN	–	AC 16 PD	AC 8 VL AC 5 VL	(SMA 8 N) (SMA 5 N)		
V	AC 32 PN AC 22 PN (AC 16 PN)					–	
VI	AC 32 PL AC 22 PL (AC 16 PL)				–		–

III priedas

Techninių reglamentų apraše TRA ASFALTAS 08 pateiktos skirtingų rūšių ir tipų asfalto mišinių granulimetrinės sudėties ir bitumo kiekio ribinės vertės (techninės tolerancijos), %

Asfalto mišinio		Ribos žy- muo	Pilnutinės išbiros masės % per pagrindinių sietų su kvadratinėmis akutėmis komplektas, mm									Bitu- mas B _{min}
rūšis	markė		0,063	0,125	2	5,6	8	11,2	16	22,4	31,5	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	AC 32 PS	P _u	9	14	40					90	10	3,8
		P _L	2	4	25					75	90	
	AC 22 PS	P _u	9	14	40				90	100	100	3,8
		P _L	2	4	25				75	90		
	AC 16 PS ¹	P _u	9	14	40			90	100	100	–	4,0
		P _L	2	4	25			75	90			
	AC 32 PN	P _u	9	14	40					90	100	4,0
		P _L	3	4	25					75	90	
	AC 22 PN	P _u	9	14	40				90	100	100	4,0
		P _L	3	4	25				75	90		
	AC 16 PN	P _u	9	14	40			90	100	100	–	4,0
		P _L	3	4	25			75	90			
	AC 32 PL	P _u	10	17	60					90	100	4,0
		P _L	3	4	40					80	90	
	AC 22 PL	P _u	10	17	60				90	100	100	4,0
		P _L	3	4	40				80	90		
	AC 16 PL ¹	P _u	10	17	60			90	100	100	–	4,2
		P _L	3	4	40			80	90			
Asfalto pagrindo dangos AC mišinys AC 16 PD		P _u	11	20	50			90	100		100	5,2
		P _L	6	8	30			80	90			
	AC 22 AS	P _u	7	10	33				80	100	100	4,0
		P _L	3	5	25				65	90		
	AC 16 AS	P _u	7	10	30			80	100	100	–	4,2
		P _L	3	5	25			65	90			
	AC 16 AN	P _u	8	15	40			80	100	100	–	4,2
		P _L	3	5	25			60	90			

III priedo lentelės tęsinys

AC 11 AN ¹	P _u	8	18	50		80	100	100	–	–	4,4
	P _L	3	5	30		60	90				
AC 16 VS ¹	P _u	9	17	45			85	100	100	–	5,2
	P _L	5	7	35			70	90			
AC 11 VS	P _u	9	17	50		85	100	100	–	–	5,6
	P _L	5	7	40		70	90				
AC 8 VS	P _u	12	20	55	85	100	100	–	–	–	6,0
	P _L	6	8	40	65	90					
AC 11 VN	P _u	12	22	55		85	100	100	–	–	5,8
	P _L	6	8	45		70	90				
AC 8 VN	P _u	12	20	60	85	100	100	–	–	–	6,0
	P _L	6	8	45	70	90					
AC 11 VL	P _u	12	22	60		90	100	100	–	–	6,0
	P _L	6	8	45		70	90				
AC 8 VL	P _u	12	20	65	90	100	100	–	–	–	6,2
	P _L	6	8	45	70	90					
AC 5 VL	P _u	14	24	70	100	100	–	–	–	–	6,6
	P _L	7	9	50	90						
SMA 11 S	P _u	12		30	45	65	100	100	–	–	6,4
	P _L	8		20	35	50	90				
SMA 8 S	P _u	12		30	55	100	100	–	–	–	6,8
	P _L	8		20	35	90					
SMA 5 N	P _u	12		40	100	100	–	–	–	–	7,2
	P _L	7		30	90						
MA 11 S	P _u	28		55		85	100	100	–	–	6,5
	P _L	20		45		70	90				
MA 8 S	P _u	30		60	90	100	100	–	–	–	6,8
	P _L	22		50	75	90					
MA 5 S	P _u	32		65	100	100	–	–	–	–	6,8
	P _L	24		55	90						
MA 11 N	P _u	28		55		85	100	100	–	–	6,8
	P _L	20		45		70	90				
MA 8 N	P _u	30		60	90	100	100	–	–	–	7,0
	P _L	22		50	75	90					

III priedo lentelės pabaiga

	MA 5 N	P _u	32		65	100	100	–	–	–	–	7,5
		P _L	24		55	90						
	PA 16 ¹	P _u	5		10			15	100	100	–	5,5
		P _L	3		5			5	90			
	PA 11	P _u	5		10		15	100	100	–	–	6,0
		P _L	3		5		5	90				
	PA 8	P _u	5		10	15	100	100	–	–	–	6,5
		P _L	3		5	5	90					

Lentelės žymenų paaiškinimas:

1. Asfalto mišinių rūšims ir tipams žymėti naudojami šie žymenys ir trumpiniai: asfalto mišinių **rūšies** žymėjimas (AC – visi asfaltbetoniai; SMA – skaldos ir mastikos asfaltas; MA – mastikos asfaltas; PA – poringasis asfaltas).
2. Asfalto mišinių **tipo** žymėjimas (asfalto mišinių tipo žymėjimas atitinka mineralinių medžiagų mišinio viršutinio sieto akučių dydį milimetrais).
3. Nacionaliniai papildymai skirstant asfaltbetonį (AC) pagal **paskirtį** (P – asfalto pagrindo sluoksnio mišinys; A – asfalto apatinio sluoksnio mišinys; V – asfalto viršutinio sluoksnio mišinys; PD – asfalto pagrindo ir dangos sluoksnio mišinys).
4. Nacionaliniai papildymai skirstant visų rūšių asfalto mišinius pagal **apkrovas** (L – lengvoji apkrova; N – normalioji apkrova; S – sunkioji (ypatingoji) apkrova);
5. Žymėjimo pavyzdys (AC 32 PS-asfaltbetonis (AC), skirtas asfalto pagrindo sluoksniams (P), veikiamiems sunkiąja (S) apkrova, kurio mineralinių medžiagų viršutinio (didžiausių akučių) sieto akutės dydis yra 32 mm).
6. Granulometrinės sudėties leidžiamos ribos: U – viršutinė (angl. *upper*) riba; L – apatinė (angl. *lower*) riba.
7. Nei vienos rūšies ir markės asfaltui pilnutinių išbirų per 0,25 mm, 0,5 mm ir 1 mm sietus techninės tolerancijos nepateiktos.