Statyba

ISSN: 1392-1525 (Print) (Online) Journal homepage: https://www.tandfonline.com/loi/tcem19

GENERAL PRINCIPLES OF MODELLING PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF CONGLOMERATES

K. Vislavičius

To cite this article: K. Vislavičius (2000) GENERAL PRINCIPLES OF MODELLING PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF CONGLOMERATES, Statyba, 6:3, 175-178, DOI: 10.1080/13921525.2000.10531584

To link to this article: https://doi.org/10.1080/13921525.2000.10531584

Published online: 26 Jul 2012.

BENDRIEJI KONGLOMERATŲ FIZIKINIŲ-MECHANINIŲ SAVYBIŲ MODELIAVIMO PRINCIPAI

K. Vislavičius
Vilniaus Gedimino technikos universitetas

1. Įvadas

Projektuojant įvairias medžiagas kyla daug klausimų, susijusių su jų vidinės sandaros bei fizikinių-mechaninių savybių prognozavimu. Paprastai remiamasi bendraisiais medžiagų struktūros susidarymo dėsningumais, neretai – kūrėjų nuojauta. Sparčiai tobulėjant kompiuterinei technikai ir vis plačiau ją taikant įvairių reiškinių analizei, galima patikslinti žinomas analitines išraiškas, kai kuriais atvejais gauti naujas priklausomybes. Tai leidžia tiksliau prognozuoti medžiagų vidinę sandarą bei savybes ir kartu sumažinti projektavimo ir eksperimentinių tyrimų sąnaudas. Šios galimybės ypač patrauklios projektuojant bei tiriant konglomeratines medžiagas (toliau – konglomeratus), nesvarbu ar tai būtų betonas, asfaltbetonis, šlifavimui skirta medžiaga, ar tiesiog vandens filtras. Išskirtinis šių medžiagų bruožas – sudėtinga vidinė sandara, paprastai lemianti jų savybes.

Mokslas gana giliai yra išnagrinėjęs konglomeratų savybių priklausomybes nuo jų vidinės sandaros formavimo ir gamybos technologijos, taip pat nuo molekulinių procesų, vykstančių mineralinių medžiagų paviršiuose ir rišamosiose medžiagose. Nelieka nuošalyje ir ekonominiai klausimai – projektuotojai ir mokslininkai siekia projektuoti ne tik gerus, bet ir pigius konglomeratus. Visa tai kartu su kompiuterinės technikos sparčiu tobulėjimu sudaro sąlygas kompleksiškai pažvelgti į konglomeratų vidinės sandaros formavimą, jų savybių prognozavimą. Atsiranda galimybė kurti kompiuterines programines įrangas, taikančias naujausius matematinius metodus ir dirbančias dialogo režimu. Kai kurios technikos sritys tokias programas jau turi, pavyzdžiui, konstrukcijų skaičiuotojai, tai ANSYS, ALGOR, COSMOS, DIANA ir kitos. Tokių programinių įrangų atsiradimą lėmė baigtinių elementų metodas, kuris plačiai buvo pradėtas taikyti įvairiose technikos srityse. Deja, dar nėra arba autoriui nėra žinoma bendra metodologija, leidžianti kompleksiškai analizuoti konglomeratus. Darbe [1] pirmą kartą bandyta konglomeratų vidinės sandaros modeliavimui suteikti griežtesnę matematinę formą. Jame optimalios asfaltbetonio mineralinės dalies projektavimo uždavinys buvo suformuluotas kaip matematinio programavimo uždavinys. Buvo sukurta programa, pateikti pavyzdžiai. Duomenys skaičiuojamajam eksperimentui buvo paimti iš vienos Lietuvos asfaltbetonio gamyklos. Vėliau matematinis modelis buvo pritaikytas optimaliam bitumo kiekiui nustatyti ([2]), dar vėliau – betono fizikinėms-mechaninėms savybėms prognozuoti ([3]). Pastaruoju metu pasirodė straipsnių, pavyzdžiui [4], kuriuose nagrinėjamos jau prieš gerą dešimtmetį išspręstos problemos. Tai paskatino dar kartą grįžti prie kompleksinio konglomeratų vidinės sandaros ir jų savybių nagrinėjimo. Darbe pateikiamas apibendrintas matematinis modelis, kuriuo remiantis siūloma modeliuoti vienas ar kitas konglomeratų savybes.

2. Konglomeratų sudėties modeliavimas

Konglomeratai yra sudėtingos vidinės sandaros medžiagos, todėl nėra paprasta gauti tokius konglomeratus, kurie turėtų norimas savybes. Vargu ar tai iš principo įmanoma, nes reikia atsižvelgti į daugybę veiksnių: mineralinių dalelių didumą ir formą, jų paviršiaus plotą, geologinę kilmę, sukibimo su rišamąja medžiaga fizikinius-mechaninius rodiklius, rišamosios medžiagos savybes, sutankinimo būdus, įvairius priedus ir t. t. Šie veiksniai vienų savybių rodiklius gerina, kitų – blogina, taigi konglomeratų vidinės sandaros ir fizikinių-mechaninių savybių modeliavimas yra daugiakriterinis uždavinys.

Užrašyti matematinį modelį, kuris tenkintų visas sąlygas, o jo sprendinys būtų optimalus pagal visus kriterijus, praktiškai neįmanoma. Belieka pasirinkti rodiklį, nuo kurio priklausytų daugelis konglomeratų savybių, ir juo remiantis sukurti matematinį modelį, kuris taptų baziniu jas modeliuojant. Siūloma tokiu rodikliu laikyti jo vidinę sandarą, tiksliau jo mineralinės dalies granuliometriją.

Būtent šis rodiklis lemia kitas konglomeratų savybes ir būtent konglomeratų mineralinės dalies granuliometrijos modeliavimui paprastai skiriama daugiausia dėmesio. Viena vertus, siekiama modeliuoti „idealios" granuliometrijos konglomeratus, t. y. nustatyti tokią granuliometrijos kreivę, kurios atveju tiriamos savybės rodikliai būtų geriausi, antra vertus, projektuoti konglomeratus iš realių medžiagų su „idealia" granuliometrija. Antrasis uždavinys gana dažnai pasitaiko inžinerinėje praktikoje ir sukelia daug problemų projektuotojams, nes dažniausiai jie turi ribotą mineralinių medžiagų frakcijų kiekį. Dar blogiau, kai vietoj riboto frakcijų kiekio projektuotojas turi ribotą kiekį realių medžiagų, kartais su labai nepalankiomis granuliometrijomis. Taigi gauti „idealų" projektą labai sudėtinga. Realiai galima gauti tik artimą „idealiam" projektą. Etalono neatitikimas yra normuojamas. Paprastai tai atliekama nustatant kiekvienos frakcijos kiekio konglomerate kitimo ribas. Įtraukus tokius apribojimus dažniausiai apsiribojama tik leistinųjų projektų paieška. Joks lyginimas siekiant nustatyti geriausią ar pigiausią projektą neatliekamas, nes, pirma, leistinųjų projektų radimas yra sudėtingas, daug darbo reikalaujantis procesas, antra, neaiškūs optimalumo kriterijai.

3. Matematinis modelis

Konglomeratų mineralinei daliai modeliuoti pasirinktas ribinių kreivių metodas ([5–9]). Tai padaryta dėl kelių priežasčių. Pirma, šis metodas aiškiai apibrėžia leistinųjų sprendinių (projektų) sritis. Taigi mineralinių medžiagų kiekio apribojimai konglomeratuose gali būti lengvai įtraukiami į matematiškai sprendžiamą uždavinį. Be to, leistinųjų sprendinių laukas sudaro galimybę modeliuoti mineralinės dalies granuliometriją, t. y. siekti optimalaus sprendinio vienokio ar kitokio kriterijaus atžvilgiu. Antra, keičiant konglomerato mineralinių dalelių granuliometrinės kreivės formą galima modeliuoti konglomeratus su „idealia" granuliometrija.

Bazinis uždavinys formuluojamas taip: iš turimų mineralinių medžiagų, kurių granuliometrijos yra žinomos, suprojektuoti tokią konglomerato mineralinės dalies sudėtį, kuri tenkintų frakcijų kiekio konglomerate apribojimus, o jos optimalumo rodiklis būtų minimalus. Taip suformuluoto uždavinio matematinis modelis yra toks:

$$\left.\begin{aligned} &\sum_{j=1}^{m} c_j x_j \to \min, && (a)\\ b_{\min,i} \le &\sum_{j=1}^{m} a_{ij} x_j \le b_{\max,i},\ i = 1,2,\dots,n, && (b)\\ &\sum_{j=1}^{m} x_j = 1, && (c)\\ &x_j \ge 0, && (d) \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

čia: c_j – j-ojo komponento (mineralinės medžiagos) optimalumo kriterijus; x_j – j-ojo komponento kiekis vieneto dalimis; m – komponentų skaičius; a_{ij} – j-ojo komponento kiekis procentais, pereinantis pro i-ąjį sietą; $b_{\min,i}$, $b_{\max,i}$ – ribiniai konglomerato mineralinės dalies kiekiai procentais, galintys pereiti pro i-ąjį sietą; n –sietų skaičius.

Tikslo funkcija (1 a) yra projektuojamo konglomerato mineralinės dalies optimalumo kriterijaus skaitinė reikšmė. Pavyzdžiui, jeigu c_j yra j-osios mineralinės medžiagos vieno masės vieneto kaina, tai tikslo funkcijos skaitinė reikšmė yra lygi konglomerato mineralinės dalies vieno masės vieneto kainai. Toks uždavinys paprastai vadinamas minimalios kainos uždaviniu. Nelygybės (1 b) apriboja pro atitinkamus sietus pereinančius konglomerato mineralinės dalies kiekius, t. y. jos matematiškai apibrėžia leistinųjų sprendinių lauką. Lygtis (1 c) rodo, kad kintamieji išreiškiami vieneto dalimis, o nelygybė (1 d) garantuoja sprendinio realumą.

Jeigu pasirinksime minimalios kainos uždavinį, tai išsprendę tiesinio programavimo uždavinį (1) gausime pigiausios mineralinės dalies konglomeratą. Tarkime, kad už kainą mums svarbesni yra kiti konglomerato rodikliai, pavyzdžiui, mineralinės dalies karkaso poringumas. Teoriškai mažiausias poringumas gaunamas tada, kai projektuojamo konglomerato mineralinės dalies granuliometrijos kreivės taškai sutampa su intervalų, apribotų ribinėmis kreivėmis, viduriniais taškais. Taigi jeigu žingsnis po žingsnio mažinsime intervalus tarp ribinių kreivių atitinkamų taškų ir kiekviename žingsnyje spręsime uždavinį (1), tai galų gale gausime mažiausią konglomerato mineralinės dalies poringumą, kokį tik galima gauti naudojant turimas mineralines medžiagas. Siekiant gauti konglomeratus su stambesnėmis ar smulkesnėmis mineralinės dalies dalelėmis, rekomenduojama keisti tik vienos ribinės kreivės taškus. Visais atvejais intervalų mažinimo procesas baigiamas tada, kai eilinis (su pakeistais laisvaisiais nariais) tiesinio programavimo uždavinys nebeturi sprendinio.

Kartais jau pirmame etape (dar nepradėjus mažinti intervalų) uždavinys (1) neturi sprendinio. Tada rekomenduojama ieškoti fiktyvaus sprendinio, t. y. netenkinančio reikalavimų. Tam tikslui intervalus tarp ribinių kreivių atitinkamų taškų reikia didinti tol, kol bus gautas pirmasis uždavinio (1) sprendinys. Fiktyvus sprendinys gali būti labai naudingas analizuojant priežastis, dėl kurių nebuvo gauta reikalavimus tenkinančio sprendinio.

Matematinis modelis (1) yra bazinis. Jis leidžia: a) iš karto nustatyti, ar iš turimų mineralinių medžiagų galima gauti norimos granuliometrijos konglomeratą; b) gauti optimalios mineralinės dalies konglomeratą (pavyzdžiui, pigų, tankų ir t. t.); c) gauti ir analizuoti fiktyvius (netenkinančius nustatytų apribojimų) sprendinius. Taigi bazinis matematinis modelis leidžia modeliuoti konglomeratų mineralinės dalies granuliometriją. Tačiau jis neparodo sudėtingų ryšių tarp mineralinių medžiagų dalelių arba tarp dalelių ir rišamųjų medžiagų, taip pat technologinių ir kitų reikalavimų. Akivaizdu, kad reikia bendresnio modelio, aprėpiančio šias sąlygas ir galinčio įvertinti projektuojamą konglomeratą pagal kelis kriterijus.

Bendrasis uždavinys formuluojamas taip: iš turimų mineralinių medžiagų, kurių granuliometrijos yra žinomos, suprojektuoti tokią konglomerato mineralinės dalies sudėtį, kuri tenkintų frakcijų kiekio konglomerate apribojimus, atitiktų fizikinius-mechaninius ryšius tarp mineralinių medžiagų dalelių ir tarp dalelių bei rišamųjų medžiagų, tenkintų technologinius ir kitus reikalavimus, o kartu leistų nustatyti norimus konglomerato optimalumo kriterijus. Taip suformuluoto uždavinio matematinis modelis yra toks:

Rasti aibę sprendinių, kurie suteiktų pakankamai mažą skaitinę reikšmę funkcijai

$$\sum_{j=1}^{m} c_j \cdot x_j \to \min \tag{2}$$

bei pakankamai mažas (dideles) skaitines reikšmes funkcijoms

$$f_k(x_1, x_2, \ldots, x_j, \ldots, x_m), \qquad k = 1,2,\ldots,r \tag{3}$$

ir tenkintų šias sąlygas:

$$\left.\begin{array}{lll} b_{\min i} \le \sum\limits_{j=1}^{m} a_{ij} \cdot x_j \le b_{\max i}, & i = 1,2,\ldots,n, & (a) \\ \sum\limits_{j=1}^{m} d_{vj} \cdot x_j \le h_v, & v = 1,2,\ldots,s, & (b) \\ \sum\limits_{j=1}^{m} g_{wj} \cdot x_j = p_w, & w = 1,2,\ldots,t, & (c) \\ \sum\limits_{j=1}^{m} x_j = 1, & & (d) \\ x_j \ge 0. & & (e) \end{array}\right\} \tag{4}$$

Čia aprašomi tik nauji simboliai, palyginti su matematiniu modeliu (1): d_{vj} – v-osios papildomos nelygybės j-ojo komponento koeficientas; h_v – v-osios papildomos nelygybės laisvasis narys; s – papildomų nelygybių skaičius; g_{wj} – w-osios fizikinės lygties j-ojo komponento koeficientas; p_w – w-osios fizikinės lygties laisvasis narys; t – fizikinių lygčių skaičius.

Tiesinė tikslo funkcija (2) yra tiesiogiai matematiškai susijusi su sąlygomis (4). Tuo tarpu tikslo funkcijos (3) gali būti bet kokio analitinio pavidalo, nes jų skaitinės reikšmės skaičiuojamos išsprendus tiesinio matematinio programavimo uždavinį, t. y. uždavinį su tikslo funkcija (2) ir apribojimais (4). Fizikinė tikslo funkcijų (3) prasmė gali būti labai įvairi, ji priklauso nuo pasirinktų optimalumo kriterijų. Pavyzdžiui, projektuojant pigius ir tankius konglomeratus tai gali būti koreliacijos koeficientas, skaičiuojamas tarp gautos ir optimalios granuliometrijos kreivių. Galutinis sprendimas apie konglomerato kokybę priklauso nuo pasirinktų kiekvieno optimalumo kriterijaus svorio koeficientų arba nuo subjekto, dalyvaujančio konglomerato savybių modeliavimo procese, siekių.

Nelygybės (4 *b*) matematiškai išreiškia technologinius ir kitus apribojimus. Pavyzdžiui, gali būti apribotas minimalus arba maksimalus kurios nors mineralinės medžiagos kiekis konglomerate.

Lygtys (4 *c*) aprašo fizikinius ar kitokius ryšius tarp projektuojamo konglomerato mineralinių dalelių ar tarp dalelių ir rišamųjų medžiagų. Jomis į matematiškai sprendžiamą uždavinį įtraukiamos sąlygos, aprašančios tas konglomeratų savybes, kurias turėtų tenkinti projektuojamas konglomeratas. Pavyzdžiui, ieškant pigaus tankaus asfaltbetonio su minimaliu bitumo kiekiu, šių lygčių koeficientai būtų proporcingi frakcijų bitumo imlumui.

4. Išvados

1. Pateiktas bazinis konglomeratų mineralinės dalies granuliometrijos modeliavimo matematinis modelis gali būti naudojamas projektuojant įvairius konglomeratus, prognozuojant jų fizikines-mechanines savybes. Siūloma metodika pranašesnė už dabar taikomas, nes leidžia: a) iš karto nustatyti, ar iš turimų mineralinių medžiagų galima gauti norimos granuliometrijos konglomeratą; b) gauti optimalios mineralinės dalies konglomeratą (pavyzdžiui, pigų, tankų ir t. t.); c) gauti ir analizuoti fiktyvius (netenkinančius priimtų apribojimų) sprendinius.

2. Pateiktas bendrasis matematinis modelis papildomai leidžia nagrinėti fizikinius-mechaninius ryšius tarp mineralinių medžiagų dalelių bei tarp dalelių ir rišamųjų medžiagų, taip pat įvertinti technologinius ir kitus reikalavimus. Jis suteikia galimybę nustatyti konglomerato kokybę pagal kelis optimalumo kriterijus.

3. Pateikti matematiniai modeliai gali būti taikomi projektuojant įvairius konglomeratus, prognozuojant jų fizikines-mechanines savybes. Jų taikymas leistų sumažinti projektavimo ir eksperimentinių tyrimų darbo sąnaudas.

Literatūra

1. К. Ю. Виславичюс, В. И. Ясулайтис. Метод проектирования оптимальных зерновых составов минеральной части асфальтобетонных смесей // Автомобильные дороги. № 9. 1987. с. 8–9.
2. K. Vislavičius. Optimalus bitumo kiekis asfaltbetonio mišinyje // 4-osios tarptautinės konferencijos „Naujos statybinės medžiagos, konstrukcijos ir technologijos", įvykusios Vilniuje 1995 m. gegužės 10–13 d., straipsniai. I tomas. Vilnius: Technika, 1995, p. 122–127.
3. A. Gailius, K. Vislavičius, D. Žukauskas. Kai kurie betono mineralinių užpildų sudėties optimizavimo klausimai // 6-osios tarptautinės konferencijos „Naujos statybinės medžiagos, konstrukcijos ir technologijos", įvykusios Vilniuje 1999 m. gegužės 19–22 d., straipsniai. IV tomas. Vilnius: Technika, 1999, p. 158–162.
4. G. Shakhmenko. Optimal aggregate mix design // Proceedings of the.6th International Conference "Modern Building Materials, Structures and Techniques". Vol I. Vilnius: Technika, 1999, p. 86–91.
5. Руководство по строительству дорожных асфальтобетонных покрытий. М.: Транспорт, 1978. 192 с.
6. Helmut Weigler, Sieghart Karl. Beton // Arten-Herstellung-Eigenschaften. Berlin, 1989.
7. V. S. Ramachandran, R. F. Feldman, Y. Y. Beaudoin. Concrete science: Treatise on Current Research. Heyden, 1996.
8. Per Goltermann, Vagn Johansen and Lars Palbul. Packing of aggregates: an alternative tool determine the optimal aggregate mix // ACI Material Journal, 1997.
9. G. Shakhmenko, J. Birsh. Concrete mix design and optimization // 2nd Int. Symposium in Civil Engineerings. Proceedings. Budapest, 1998.

Įteikta 2000 02 10

GENERAL PRINCIPLES OF MODELLING PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF CONGLOMERATES

K. Vislavičius

Summary

A basic mathematical analogue for modelling grading of a mineral part of conglomerates is presented (1). The given method, in comparison with the ones used at present, has a number of advantages: a) it allows us to define instantly the possibility of getting the planned grading of a mineral part of the conglomerates out of mineral materials in possession; b) it enables us to get the optimal mineral part of the conglomerate, according to the property of conglomerate that is desired, for example, the cheapest conglomerate or the largest density of conglomerate; c) it enables us to get and analyse fictitious (not corresponding to the Standard) mineral material composition.

The general mathematical analogue (2)–(4) for modelling mineral part composition of conglomerate and prognosis of its physical-mechanical properties is based on basic mathematical analogue (1). For both mathematical analogues the following symbols are used: c_j – weight multiplier of component j (for example, the price of one mass unit of component j); x_j – quantity of component (mineral material) j in parts of the unit; m - number of components; a_{ij} – quantity of component j in percent, that pass through sieve i; $b_{\min,i}$, $b_{\max,i}$ – limited quantities of a mineral part of conglomerate in percent, that can be passed through sieve i; n - number of sieves; d_{vj} – coefficient of additional inequality v corresponding component j; h_v – limit value of additional inequality v; s – number of additional inequalities; g_{wj} – coefficient of physical-mechanical equality w corresponding component j; p_w – absolute term of physical-mechanical equality w; t – number of the physical-mechanical equalities.

The general mathematical analogue (2)–(4) is multicriterion. The final solution can be chosen by including coefficients of influence or by a person who takes part in modelling.

Kęstutis VISLAVIČIUS. Doctor, Associate Professor. Dept of Strength of Materials. Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio al. 11, LT-2040 Vilnius, Lithuania.
E-mail: vislavicius@fm.vtu.lt

Doctor (structural mechanics, 1977). Research interests: optimization problems of elastic-plastic structures, concrete, asphalt concrete, bolted joints and traffic; computer-aided teaching.