

RALEJS TEPFERS,

ČALMERSA TEHNOLOĢISKĀS UNIVERSITĀTES
EMERITĒTAIS PROFESORS

Par betona elastības moduli

Lai noteiktu betona elastības moduli, parasti veic testus, izmantojot standarta betona cilindrus (augstums 300 mm un diametrs 150 mm). Cilindrus slogo zem spiedes un vertikālo deformāciju attīstību mēra uz to sāniem. Tomēr jāievēro, ka starp mašīnas tērauda slogojošām platēm un betona cilindru virsmām ir berze. Berze traucē cilindra augšējām un apakšējām daļām izplesties, kad cilindrs tiek slogots ar spiedi. Šie traucējumi rada cilindra sānu virsmu izlieci. Cilindra vidus augstumā uz sānu virsmām vertikālās spiedes deformācijas mērījumam izmanto elektriskās pretestības tenzometrus. Te jāievēro, ka nomērītā spiedes deformācija tiek samazināta par izlieces stiepes deformācijas lielumu, līdz ar to totālā uzmērītā deformācija kļūst mazāka, nekā tai jābūt, ja nav berzes un virsmu izlieces. Šo izlieces deformāciju līdz šim, nosakot elastības moduli, neņem vērā, jo tā, domājams, ir bez ietekmes. Deformāciju samazinājuma efekts kļūst ievērojams vajākas stiprības betoniem, jo tiem ir lielāka stiepes stiprības attiecība pret spiedes stipriību. Elastības modulis šādiem mērījumiem kļūst lielāks salīdzinājumā ar to, kad dubultas teflona plātnes izmanto starp betona un slogojošām tērauda platēm, lai likvidētu berzi. Līdz ar to elastības modulis normatīvos ir mazliet par lielu, un tas īpaši varētu apdraudēt stabilitātes noteikšanu kolonnām.

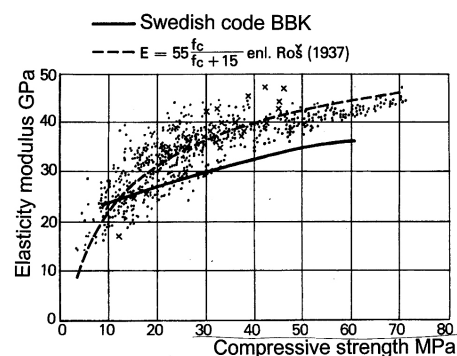
Betona elastības modulis

Normatīvos elastības modulis betonam ir pamatots ar testiem, ko apkopojis M. Rošs, strādājot «Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt», EMPA, Čirihē, jau 1937. gadā [1]. 1. att. redzama Roša noteiktā elastības moduļa atkarība no betona spiedes stiprības. Par paraugiem tika izmantoti betona cilindri vai prizmas. Attēlā iezīmēta Zviedrijas BBK betona normatīvu likne, bet mērīšanas rezultātu izkliede saistīta ar dažādu tipu grants un šķembu, kā arī pārbaudītā betona sablīvēšanas tehnoloģiju variācijām.

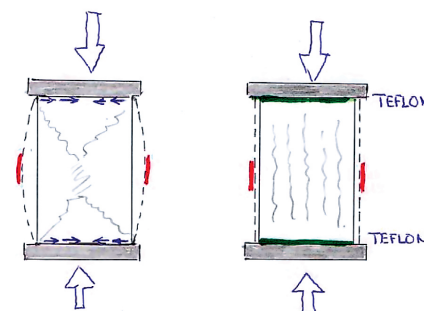
Berzes ietekmi uz cilindru sānu virsmu izlieci ievēroja zinātnieks Rousakis [3], veicot testus ar CFRP aptīta betona cilin-

driem. Tika secināts, ka berze starp betona cilindru galiem un tērauda slogojamām platēm deformēs cilindrus, kā parādīts 2. attēlā kreisajam cilindram, kas ietekmē apskatīto CFRP ieslēguma efektu. Iespējams novērot, ka CFRP šķiedru lūzums noticis cilindra vidū, tur, kur cilindru sānu virsmu izliece ir lielākā. Testa laikā sabrukums rodas ātrāk, nekā tas notiek kolonnā, kur tādas virsmas izlieces nav.

Veikti testi arī ar betona noguruma pētījumiem [4]. Tie bija nepieciešami, lai pētītu betona nogurdināšanu mainīgu slodžu apstākļos, kādas rada viļņi, slogojot betona naftas platformas Ziemeļu jūrā (3. attēls). Ir grūti atrast veidu, kā mainīgās slodzes ietekmi varētu ietvert formulā. Viens veids, kā to veikt, ir noteikt nepieciešamo slodzes enerģiju sabrukuma izraisīšanai. Lietojot standarta betona cilindrus šiem testiem, bija nepieciešams novērst berzi starp betona cilindru galiem un slogojošām tērauda platēm. Ja to varēja izdarīt, tad cilindram bija vienkāršotas deformācijas, spiedes deformācija un vienmērīga izplešanās deformācija. Tika veikti dažādu starpliku materiālu pētījumi, kas varētu novērst berzi starp cilindra galu un tērauda slogojošo plati. Labākos rezultātus uzrādīja dubultas teflona plātnes kā starpliku materiāls, kuras gandrīz pilnīgi likvidēja berzi. Tāpēc, izmantojot pieredzi no pētījumiem [4], starp betona virsmām un tērauda platēm tika izmantotas dubultas teflona plātnes, kas mainīja spiedes sabrukuma izskatu cilindram no konusu izveides galos ar bīdes ietekmi uz vertikālām stiepes plaisām visā cilindra garumā. Vertikālās plaisas visā cilindra garumā nozīmē, ka berze nav cilindra slogotajās virsmās. Spiedes sabrukums īstenībā ir stiepes sabrukums šķērsvirzienā pret spiedes slodzes virzienu, sk. 3. un 4. att. Saspiesta betona cilindra paplašināšanās sadalījums, spiežot ar dubultām teflona plātnēm, tika mērīts ar elektriskās pretestības tenzometriem [4]. Tika konstatēts, ka cilindra izplešanās zem spiediena ir vienmērīgi sadalīta cilindra augstumā (5. attēls), tāpēc varēja secināt, ka dubultas teflona plātnes noņem berzi starp betona cilindru galiem un slogojošām tērauda platēm.



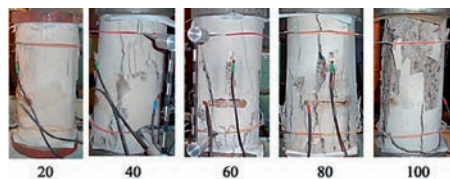
1. attēls. Testus apkopojis M. Rošs, EMPA, Čirihē, 1937. g. [1] un [2].



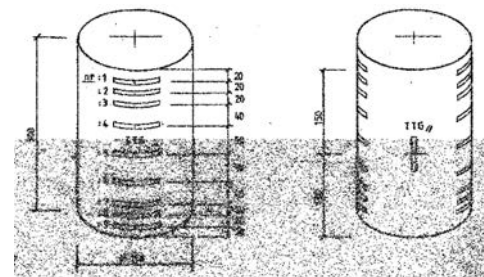
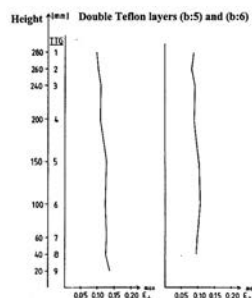
2. attēls. Berze rada saspīestu cilindru vertikālo virsmu izlocīšanos. Izliešanās rada stiepes deformāciju, kas samazina nomērīto spiedes deformāciju (cilindrs pa kreisi). Bez berzes sabrukuma plaisas kļūst vertikālas (cilindrs pa labi) un nav izlieces līdz pat sabrukumam.



3. attēls. Cilindri pēc spiedes sabrukuma. Kreisais attēls ar berzi (slogotā cilindra virsma bez plaisām, jo ir berzes saturēta), labais – ar dubultām teflona plātnēm, kuras novērš berzi (slogotā virsma izjukusi, jo nav berzes saturēta) [3].



4. attēls. Betona cilindru izskats pēc spiedes sabrukuma, lietojot starp cilindru galiem un tērauda slogojamām platēm dubultas teflona plātnes, kas noņem berzi. Sabrukuma stiepes plaisas ir vertikālas. Skaitļi zem cilindriem iezīmē nominālo spiedes stiprību MPa [3].



5. attēls. Cilindram ar spiedes slodzi šķērsvirzienā ar elektriskās pretestības tenzometriem noteiktās vertikālās deformācijas, lietojot divas teflona plātnes starp cilindru un tērauda slogojamām platēm, lai noņemtu berzi [4]. Mēritā šķērsdeformācijas sadale ir vienmērīga, un tas nozīmē, ka berzes nav.

Teflona plātņu ietekme uz betona cilindra stiprību

Berzes novēršanas efekts, lietojot teflona plātnes, bija pētīts piecām betona stiprībām. Tika secināts, ka ir neliels betona stiprības samazināšanas efekts, kas mazliet pieaug, betona stiprībai kļūstot lielākai, 6. attēls.

Teflona starpslāņu ietekme uz betona cilindru elastības moduli

Elastības modulis piecām betona stiprībām tika noteikts, betona cilindriem lietojot dubultas teflona berzes noņemšanas teflona plātnes uz slogotām virsmām. Testos iegūtais elastības modulis $E_{1\text{ test}}$ ir salīdzināts ar to, kas uzdots CEB-FIP Model Code 1990 [5], E_{1c} un skaitās pēc 28 dienu cietināšanas.

$$E_{1c} = E_{co} [f_{cm}/f_{cmo}]^{1/3}; (1)$$

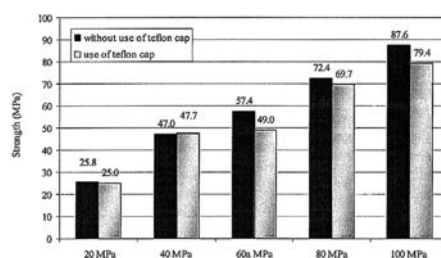
kur

$$E_{co} = 2,15 \times 10^4 \text{ MPa};$$

f_{cm} – 28 dienu vecumā spiedes stiprība uzdots MPa;

$$f_{cmo} = 10 \text{ MPa}.$$

Elastības E_{1c} modulis aprēķināts saskaņā ar CEB-FIP Model Code 1990 [5], E_{1c} formulā noteikts ar mērījumiem uz betona cilindriem bez teflona plātnēm, sekojot standarta procedūrai. Tā kā deformāciju mēra ar elektriskās pretestības mērinstrumentiem uz cilindriem bez teflona plātnēm, cilindram ir traucēta paplašināšanās tā galiem, un vidusdaļa izlokās nedaudz uz āru. Šī izliece izraisa stiepes deformāciju, kas ietekmē mērīto spiedes deformāciju, spiedes deformācijas elastības moduļa aprēķināšana tiek samazināta, un modulis kļūst pārāk liels. Tā kā betona stiepes izturība betonam C12 ir aptuveni 13% spiedes stiprības un betonam C80 tā ir aptuveni 7%, berzes cilindra sānu virsmas izlocīšanās ir ietekmīgāka betonam ar zemāku betona stiprību.



6. attēls. Betona cilindra spiedes stiprības ar un bez dubultajām teflona plātnēm, lai novērstu berzi [3]. Tumši stabiņi iezīmē rezultātus ar berzi, gaiši – bez tās.

Stiepes lieces deformācijas samazinošais iespāids būs lielāks vājākam betonam, un mērījumu elastības modulis kļūs lielāks.

Zemāks betona elastības modulis $E_{1\text{ test}}$ nekā ir sniegts normatīvos, lietojot normatīvu metodes aplēsē, var izraisīt pārāk lielu konstrukcijas deformāciju un var apdraudēt arī kolonnu stabilitāti.

Secinājumi

Betona elastības modulis iegūts ar standarta cilindriem, izmantojot dubultas teflona plātnes, novēršot berzi, atspoguļo reālo situāciju kolonnās. Tā kā ir ļoti mazs berzes traucējums ar slogotiem cilindru galiem, cilindru paplašināšanās spiedē notiek vienādi visā to garumā un nav cilindru sānu virsmu izlieces dēļ ietekmētās izmērītās spiedes deformācijas samazināšanās.

Izlieces efekts ir izteiktāks vājākam betonam. Elastības modulis normatīvos, īpaši attiecībā uz vājāku betonu, ir pārāk liels, jo moduļa izvērtēšana tiek veikta ar spiedes deformācijām, kas samazinātas sakarā ar stiepes cilindru sānu virsmu izlieces deformācijām, nomērītām cilindru testos atbilstoši standarta procedūram.

Praksē betona stiprība parasti pārsniedz izvēlētas konstrukcijas betona spiedes stiprību, lai izvairītos no tā, ka piegādātajam betonam var gadīties mazāka spiedes stiprība, nekā pieprasīta. Turklāt normatīvos elastības moduli piesaista pie betona 28 dienu stiprības, bet betons, kļūstot vēl vecāks, palielina savu stiprību un arī elastības moduli. Piegādātais betons ar nedaudz lielāku stiprību, kā arī betona pieaugošais vecums var nozīmēt, ka normatīvu elastības modulis, kurš izmantots aplēsē, uzrāda pārēzās strukturālās deformācijas. Tāpēc, visticamāk, nav bijis sūdzību par deformācijām, kas pārsniedz aprēķinātās.

Tomēr normatīvu autoriem vajadzētu ņemt vērā novērotās izlieces stiepes deformāciju ietekmējošo nozīmi uz nomērīto elastības moduli un izstrādāt atbilstošu formulu betona elastības modulim atšķirīgām betona stiprībām 28 dienu vecumā. Arī, betonam kļūstot vecākam, šajā formulā jāuzdod moduļa pieaugums ar laiku. Nepieciešamie norādījumi drošībai jāsniedz normatīvu autoriem. **LB**

[1] M. Roß «Versuche und Erfahrungen an ausgeführten Eisenbetonbauwerken in der Schweiz». Zürich, Eidgenössische Materialprüfungsanstalt, 1937, Bericht No. 39. [2] Ch. Ljungkrantz, G. Möller, N. Petersons «Betonghandbok. (Concrete manual) Material, utgāva 2,13.2.3 Elasticitetsmodul.» Svensk Byggtjänst Stockholm 1994. pp. 463-468. [3] T. Rousakis. «Experimental Investigation of Concrete Cylinders Confined by Carbon FRP Sheets, under Monotonic and Cyclic Axial Compressive Load. Chalmers University of Technology, Division of Building Technology, Work No 44. Publication 01:2, Göteborg, 2001. p. 81. [4] R. Tepfers, G. O. Sjöström, J. I. Svensson, G. Herrmann «Development of a method for measuring destruction energy and generated heat at fatigue of concrete». Civil Engineering '11, 3rd International Conference 12-13 May, 2011, Proceedings Volume 3, Faculty of Rural Engineering, Latvia University of Agriculture, Jelgava 2011. ISSN2255-7776. pp. 117-124. [5] CEB/FIP «Model Code 1990». Thomas Telford, London, 1993, Bulletin d'information No. 213/214, Comité Euro-International du Béton, Lausanne, pp. 39-40. [6] V. Valdmāns, L. De Lorenzis, T. Rousakis, R. Tepfers «Behaviour and capacity of CFRP-confined concrete cylinders subjected to monotonic and cyclic axial compressive load». Structural Concrete, Journal of the fib, Volume 8, Number 4, December 2007. Thomas Telford, London, pp. 187-200.