

# TILTŲ PERDANGŲ GELŽBETONINĖS PLOKŠTĖS ĮRAŽOS

A. J. Notkus & A. J. Notkus

To cite this article: A. J. Notkus & A. J. Notkus (1996) TILTŲ PERDANGŲ GELŽBETONINĖS PLOKŠTĖS ĮRAŽOS, *Statyba*, 2:8, 52-59, DOI: [10.1080/13921525.1996.10590172](https://doi.org/10.1080/13921525.1996.10590172)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13921525.1996.10590172>



Published online: 01 Nov 2012.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 153

---

## TILTŲ PERDANGŲ GELŽBETONINĖS PLOKŠTĖS ĮRAŽOS

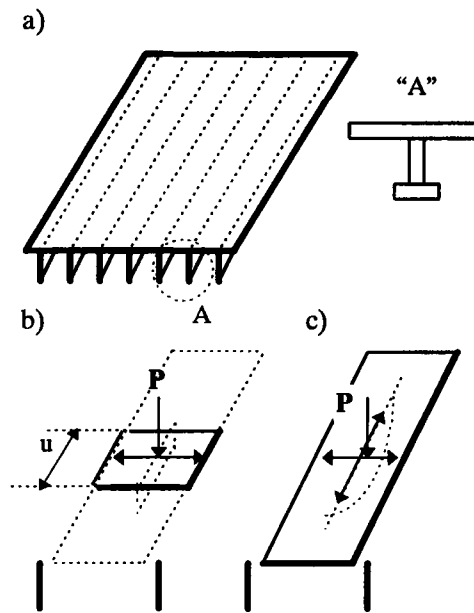
A. J. Notkus

### 1. Įvadas

Šiuolaikinių gelžbetoninių tiltų perdangas dažniausiai sudaro gelžbetoninė plokštė, standžiai sujungta su briaunomis (1 pav., a). Tokios perdangos Lietuvoje daromos užbetuojant armuotus tarpus tarp tėjinių, dvitėjų arba dėžinio skerspjūvio surenkamųjų sijų ar jų blokų. Skersinės sijos-diafragmos dėl jų mazgų sudėtingumo praktiškai nebenaudojamos, išskyrus diafragmas perdangų galuose prie atramų, o retkarčiais ir ilgesnių sijų vidurinėje dalyje. Vakarų Europoje naudojamos perdangos analogiškos, tendencijos panašios, tik daugiau perdangų, vadinamųjų monolitinių, betonuojama vietoje.

Skaiciavimo požiūriu tokios perdanga yra gana sudėtingos erdvinės sistemos. Rasti jų įtempimų-deformacijų būvį labai apsunkina ir specifinės, koncentruotos tam tikrame plote, mobilios tiltų apkrovos. Todėl inžineriniuose skaičiavimuose plokštės skaičiuojamosios įrašos randamos taikant supaprastintas schemas. Tiek Lietuvoje, kur kol kas taikoma buvusios SSSR metodika, tiek ir užsienyje dažniausiai nagrinėjamas plokštės ruožas tarp briaunų, kaip atskiras savarankiškas elementas (1 pav., b, c), o jo sąveika su visa perdanga įvertinama dauginant gautas įrašas iš koeficientų. Lygindamas mūsų koeficientus su analogiškais savo reikšme koeficientais, taikomais Prancūzijoje ir kitose šalyse, šio straipsnio autorius buvo nustebintas, kad jie labai skiriasi, tiesiog priešingi, todėl gautos įrašos skiriasi daugiau nei pusantro karto. Tai ir paskatino atlikti šiuos perdangų darbo tyrimus.

Perdangų deformacijos ir įrašos buvo gautos ir lygintos pasitelkiant tris atskiras kompiuterines programas, taikant ir tamprius, ir plastinius skaičiavimo modelius, įvertinančius betono plastines deformacijas ir pleišėjimą autoriaus siūlomą būdu.



1 pav. Analizuojama tilto perdanga (a) ir plokštės tarp sijų bazinių lenkimo momentų  $M_0$  skaičiavimo schemas sijos metodu buv. SSSR (b) ir plokštės metodu Prancūzijoje (c)

Fig. 1. Bridge deck being considered (a) and models of analysis of basic moments  $M_0$  in slab between two adjacent beams, using beam method (b), accepted in the former USSR and slab method (c), used in France

### 2. Plokštės įrašų skaičiavimo inžinerinių metodų esmė

Plokštės įrašos randamos dviem skaičiavimo etapais. Pirmame skaičiuojamos bazinės  $M_0$  ir  $Q_0$  reikšmės taikant dvitramės sijos (tiksliau, dvitramės tam tikro sutartinio pločio  $u$  plokštės, dirbančios po koncentruota apkrova kaip sija viena linkme) schemą (1 pav., b; SSSR [1-4]), arba plokštės, laisvai atremtos dviem išilginėmis kraštinėmis, dirbančios dviem kryptimis, schemą (1 pav., c; Prancūzija ir kt. [5, 6]). Antrame skaičiavimo etape bazinės skersinės jėgos imamos kaip galutinės, t.y.  $Q_0 = Q$  (SSSR), o lenkimo momentai  $M_0$  dauginami iš koeficientų  $k$ , įvertinančių plokštės standų sujungimą su išilginėmis briaunomis-sijomis, t.y. visos perdangos deformacijų įtaką

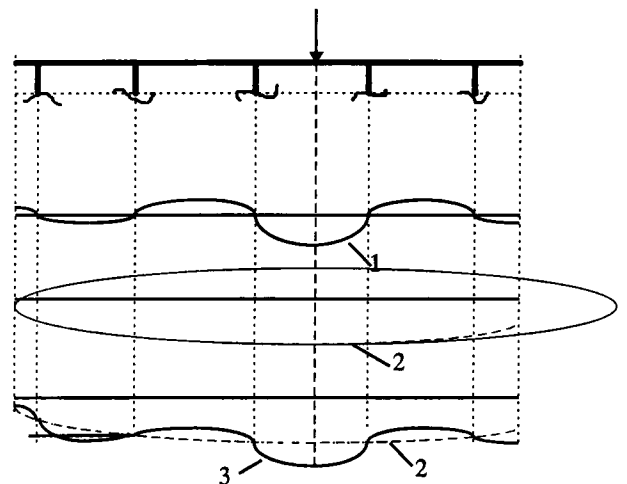
plokštės įrašoms. SSSR metode taikomos šios momentų reikšmės:  $+0,5 M_o$  plokštės viduryje tarp sijų ir  $-0,8 M_o$  virš atramų, t.y. prie išilginių sijų [2, 3]. Koefficientų reikšmės gali būti koreguojamos atsižvelgiant į plokštės ir briaunų standumo santykį, ko dažniausiai naudojamoms perdangoms neprireikia. Prancūzų metode taikomos atvirkščios reikšmės:  $+0,8 M_o$  viduryje ir  $-0,5 M_o$  virš atramų [5, 7]. Kyla klausimas, kas teisus, nes skirtumas yra per daug reikšmingas net gelžbetoninėms statiskai neišsprendžiamoms konstrukcijoms, kuriose armavimo paklaidos ištaisomos įrašų persiskirstymo dėka. Kadangi šie koeficientai įvertina bendras perdangos, kaip erdvinės konstrukcijos, deformacijas ir jų įtaką plokštės įrašoms, tai jų tyrimui ir buvo skirtas pagrindinis dėmesys. Nepamirštas ir pirmasis skaičiavimo etapas, buvo palyginti aukščiau minėti bazinių įrašų  $M_o$ ,  $Q_o$  skaičiavimo metodai.

### 3. Perdangos plokštės deformacijos

Pradžioje nagrinėsime plokštės deformacijas skersine perdangos ašiai ir išilginėms sijoms kryptimi. Deformacijoms išilgine kryptimi paprastai skiriama mažiau dėmesio, nes plokštė, kaip sijų viršutinė juosta, yra gniuždoma, ir tai gerokai sumažina ar ir visai panaikina vietinį tempimą, atsirandantį nuo koncentruotų apkrovų. Tačiau nekarpytosiose sijose virš atramų tempimo deformacijos sumuojasi ir gali būti labai reikšmingos.

Perdangos plokštės deformacijos skersine perdangai linkme po koncentruota apkrova yra išskaidytos ir pateiktos 3 pav. Parodyta vietinių įlinkių kreivė 1, laikant, kad išilginės sijos nesideformuoja ir yra lyg standžios atramos plokštei; erdvinio skersinio perdangos įlinkio kreivė 2 ir suminio įlinkio kreivė 3. Lieka išsiaiškinti, kokia yra vietinio ir erdvinio įlinkių įtaka plokštės įrašoms. Reikia pažymėti, kad mokslinėje literatūroje erdvinio įlinkio įtaka paprastai nekomentuojama, nors ir egzistuoja metodai skaičiuoti įrašoms nuo erdvinio įlinkio. Vienas tokių metodų pateiktas [3]. Įrašos plokštėje nuo perdangos erdvinio skersinio įlinkio randamos panašiai kaip įrašos skersinėse sijose-diafragmose. Mums atlikus skaičiavimus buvo gauta gana didelė lenkimo momento dėl erdvinio skersinio įlinkio reikšmė - apie  $0,4 M_o$ . Tai rodo, kad erdvinio skersinių deformacijų

įtaka plokštės įrašoms yra labai reikšminga ir negali būti pamirštama.

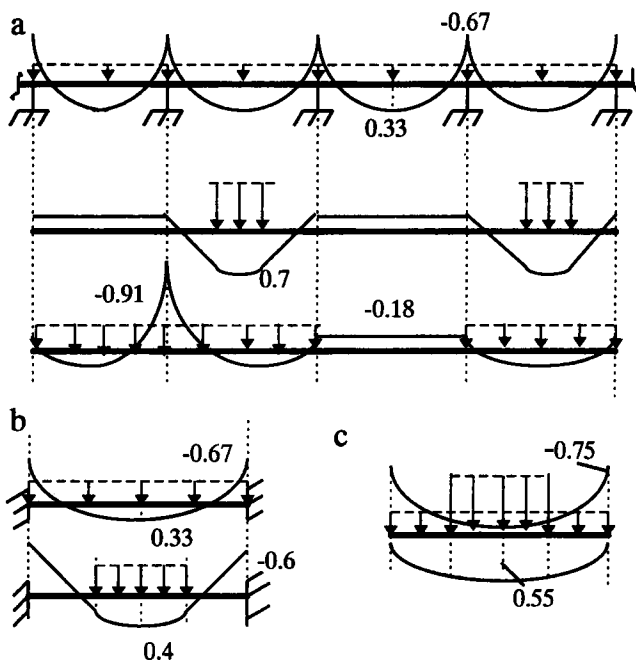


2 pav. Plokštės vietinio - 1, erdvinio - 2 ir suminio - 3 įlinkių kreivės

Fig. 2. Curves of local -1, spatial -2 and total -3 slab deflection

### 4. Plokštės įrašos nuo vietinių deformacijų

Plokštės įrašas nuo vietinio skersinio įlinkio galima rasti laikant išilgines sijas standžiomis atramomis. Tada plokštės darbą pakankamai tiksliai modeliuoja nekarpytųjų ir standžiai galuose įtvirtintųjų sijų schemas. Sijos buvo apkrautos tolygiai paskirstytų ir tam tikrame plote (maždaug 1 m) koncentruotų, modeliuojančių rato slėgio pasiskirstymą, apkrovų deriniais. Keletas tokių apkrovimo schemų parodyta 3 pav., a, b. Momentų plokštėje gaubtinės, sudarytos naudojantis ne tik šiomis schemomis, ir įvertinančios koncentruotos apkrovos dominuojantį poveikį, pateiktos 3 pav., c. Lyginant šias gaubtines su priimtomis buv. SSSR matyti, kad jos yra gana panašios, todėl tenka konstatuoti, kad mūsų tebenaudojama sovietinė metodika neįvertina ar nepakankamai įvertina sijų įlinkio įtaką plokštės įrašoms. Ši įtaka gali būti iširta tik modeliuojant erdvinį perdangos darbą.



3 pav.  $M_i / M_0$  reikšmės taikant nekarpytosios sijos (a), standžiai įtvirtintosios sijos (b) schemas ir jų pagrindu sudaryta vieno tarpatramio momentų gaubtinė (c)

Fig. 3. Values of  $M_i / M_0$  according to the models of continuous (a), built-in (b) beams and moments-envelope for one span (c), based on these models

## 5. Perdangų kompiuterinis modeliavimas

Perdangoje veikiančios įrašos gali būti nustatytos daug tiksliau taikant erdvinę perdangos skaičiavimo schemą, kuri įvertina visos perdangos deformacijas ir jų įtaką plokštės įrašoms. Tačiau ir ši schema tebus tiksli tik sąlyginei tampriai konstrukcijai. Norint gauti artimas tikrosioms įrašas gelžbetoninėje konstrukcijoje, būtina įvertinti įrašų persiskirstymą pasireiškiant plastinėms betono deformacijoms, ypač pleišėjimui.

Tiltų perdangos, kurios skyrėsi ilgiu, pločiu ir atstumu tarp sijų, buvo modeliuojamos trijose skirtingose programose: Lira, Gifts ir Staad-3. Visos šios baigtinių elementų metodo programos plačiai žinomos ir taikomos tiesiniuose skaičiavimuose. Modeliavimo galimybės šiek tiek skiriasi: Gifts ir Staad-3 leidžia skaičiuoti su didesniu nežinomųjų skaičiumi; Staad-3 lenkia kitas grafika, duomenys skaičiavimui gali būti pateikiami grafiškai, o Gifts turi tą privalumą, kad strypų tipo elementai gali būti prijungti prie plokščių ne tik elementų skerspjūvio

centruose, bet ir galuose. Tai labai patogu modeliuojant perdangų briaunas. Taikant Lira ir Staad-3 programos briaunos daugeliu atvejų buvo modeliuojamos dvitėjo skerspjūvio sijiniais elementais, plokštė - plokščiais elementais, ir tik uždavinyje Erd2t1 (1 lentelė ir 6 pav.) tiek plokštė, tiek briaunos - erdviniais kevalo tipo elementais. Gauti skaičiavimų rezultatai iš esmės nesiskyrė, ir tai patvirtino paprastesnės schemas, sudarytos iš plokščių ir sijos tipo elementų, tinkamumą nustatant įrašų pasiskirstymą plokštėje skersine linkme. Įrašos plokštėje išilgine linkme taikant schemą "plokštė+sija" gali būti rastos sumuojant plokštės įtempimus nuo vietinio įlinkio su sijų įtempimais. Lygčių ir nežinomųjų skaičius uždaviniuose kito nuo 800 (Lira) iki 5000 (Staad-3, erdvinė schema).

Gelžbetoninės plokštės netiesinės deformacijos dėl betono netamprių sąvybių ir pleišėjimo pasireiškimo buvo modeliuojamos programa Staad-3, taikant supaprastintą, minėtą schemą "plokštė+sija". Tai buvo atliekama iteraciniu būdu keičiant plokštės betono tamprumo modulį ir storį taip, kad realios supleišėjusios plokštės ir skaičiuojamosios plokštės skerspjūvio inercijos momentai maždaug atitiktų. Sijų pleišėjimo daugelyje uždavinių nebuvo modeliuojama, nes dažniausiai sijos yra iš anksto įtemptos ir dirba be plyšių, be to, plokštei esant ribiniame būvyje sijų įrašos dažniausiai nėra artimos ribinėms. Patikrinimui buvo atlikta keletas skaičiavimų su sumažintu sijų standumu. Jie patvirtino sijų įlinkio didėjimo įtaką plokštės momentams. Teigiami momentai padidėjo, o neigiami, virš sijų, sumažėjo (žr. 1 lentelę, Til77ps).

Perdangos visose schemose buvo apkraunamos nuolatinių (konstrukcijų ir pakloto svoris) ir laikinųjų - automobilių AK, arba sunkiųjų ratinių HK80 - skaičiuojamųjų apkrovų deriniais, išdėstant transporto apkrovas pagal [1] taisyklės nepalankiausioje ieškomajai įrašai padėtyje. Išnagrinėta virš 50 apkrovimo atvejų. Atsižvelgiant į apkrovos išdėstymo simetriškumą modeliuota ketvirtis arba pusė perdangos.

Įrašos plokštėje virš kraštinių sijų šiame straipsnyje nenagrinėjamos. Jei virš kraštinių sijų yra šaliltiliai, tai plokštės įrašos kraštinėse zonose tikrai neviršija žemiau pateiktų reikšmių.

## 6. Skaičiavimo rezultatų analizė

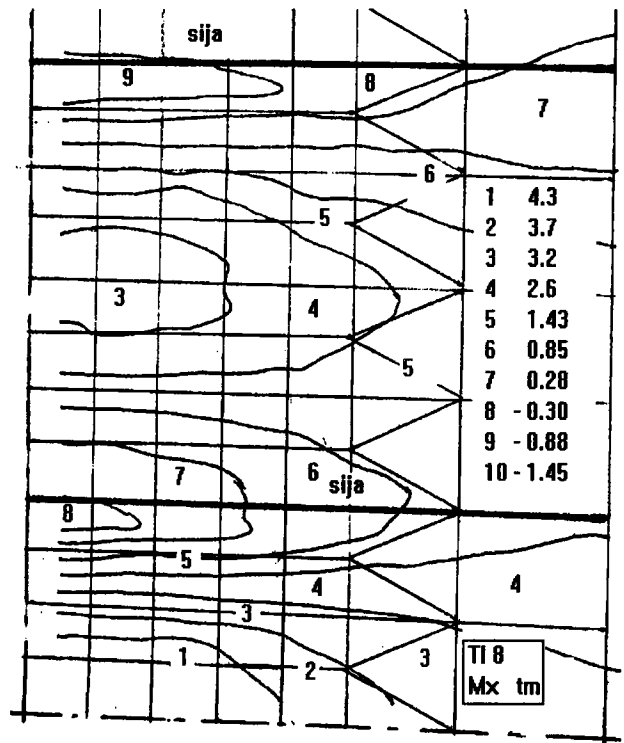
Pagrindiniai skaičiavimo rezultatai rodomi 1 lentelėje ir 4-7 paveiksluose. Lentelėje pateiktos ekstremalios (teigiamos ir neigiamos) lenkimo momentų  $M_i$ , skersinių jėgų  $Q_i$  reikšmės, gautos kompiuteriniais skaičiavimais, bazinės reikšmės  $M_o$ ,  $Q_o$ , apskaičiuotos pagal sutartinio pločio plokštės-sijos schemą (SSSR metodas) ir tų reikšmių santykiai. Šie santykiai tolygūs koeficientams  $k$ , iš kurių dauginamos bazinės reikšmės norint gauti skaičiuojamąsias. Kaip buvo nurodyta 2 poskyryje, momentams šie koeficientai pagal SSSR metodiką lygūs  $+0,5$  tarpatramyje ir  $-0,8$  prie sijų, o skersinėms jėgoms lygūs vienetui. Skaičiuojant  $M_o$ ,  $Q_o$  buvo stengiamasi maksimaliai priartinti geometrinius rodiklius ir apkrovimo sąlygas prie kompiuterinių schemų.

Paveikslai tik iliustruoja grafinę rezultatų pateikimo formą. Tokių paveikslų išanalizuota virš 50. 4-6 paveiksluose matyti skaičiavimo schemas ir įrašų izolinijos koncentruotos apkrovos (du AK vėžimėliai ir juostos) zonoje. Reikia atkreipti dėmesį, kad programa Staad-3 izolinijas sudaro naudodama absoliučias reikšmes, neįvertindama įrašos ženklų.

Santykiai  $M_i/M_o$  tarp apskaičiuotų pagal įvairias kompiuterines programas lenkimo momentų  $M_i$  ir bazinių momentų  $M_o$  yra gana artimi. Šiek tiek daugiau skiriasi nuo kitų, t.y. mažesni, santykiai apskaičiuoti Staad programa. Tai lėmė ne visai tikslus atrėmimo sąlygų modeliavimas Staad skaičiavimo schemose, tačiau šie rezultatai pateikti kaip rodantys įrašų kitimo plokštėje priklausomybę nuo perdangų ilgio ir atstumo tarp pagrindinių sijų, o kartu ir perdangos pločio.

Santykinės skaičiuojamųjų ir bazinių momentų reikšmės smarkiai skiriasi nuo priimtų koeficientų SSSR ir Prancūzijos metoduose, nors pastarosios šiek tiek artimesnės apskaičiuotoms didesnei, centrinei perdangos daliai. Apskaičiuoti teigiami momentai plokštės tarpatramyje tarp sijų centrinėje perdangos dalyje, parenkant tamprų perdangų darbą, išskyrus zonas prie atramų, neviršija  $+0,8M_o$ , o neigiami, virš sijų, neviršija  $-0,35 M_o$ . Prie tilto atramų šie santykiai atitinkamai neviršija  $+0,6M_o$  ir  $-0,8M_o$ . Taigi galima konstatuoti, kad SSSR koeficientai apytikriai tinka tik zonose prie tilto atramų ir visai netinka centrinėje perdangos dalyje, kur didesni sijų įlinkiai ir didesnė

bendrojo skersinio įlinkio įtaka plokštės lenkimo momentams. Prancūzų siūlomi koeficientai, atvirkščiai, priimtini perdangos centrinei zonai, bet netinka zonai prie tilto atramų. Tačiau reikia įvertinti, kad

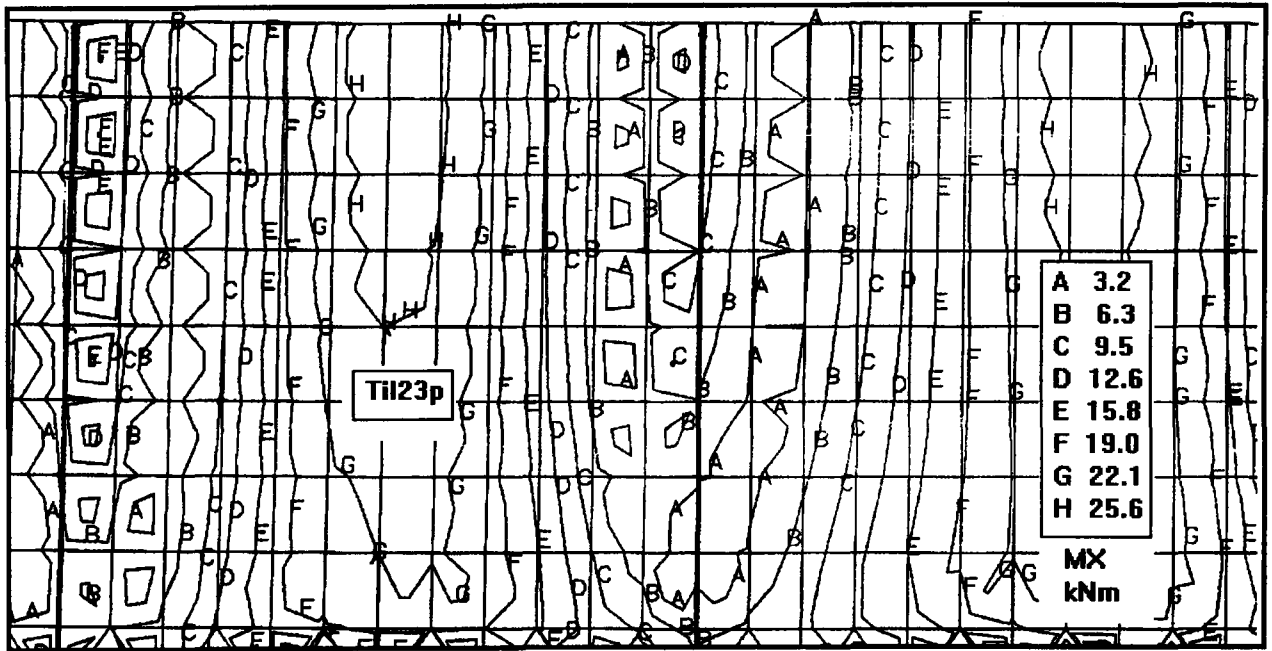


4 pav. Lenkimo momentų  $M_x$  izolinijos ties koncentruota apkrova (žr. T18, 1 lent.)

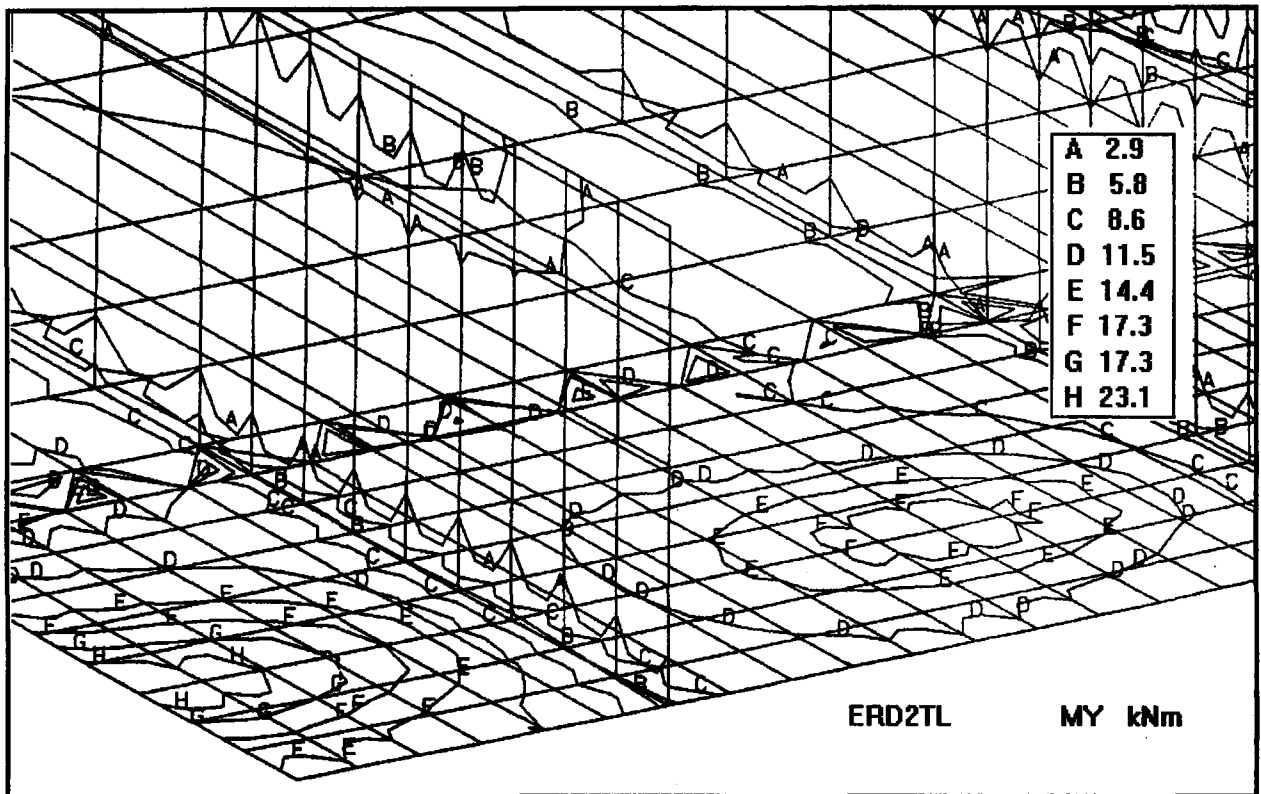
Fig. 4. Isolines of  $M_x$  at the point load (T18, Table 1)

prancūzai kitaip skaičiuoja bazines įrašas. Jų taikoma klasikinė plokštės, paremtos dviem kraštinėmis, teorija duoda, kaip parodė atlikti skaičiavimai, nuo 1,3 iki 1,8 karto mažesnes bazinių lenkimo momentų reikšmes, todėl koeficientai  $+0,8$  tarpatramyje ir  $-0,5$  virš sijų nėra pakankami.

Gautų rezultatų negalime laikyti galutiniais. Artimesnės realioms plokštės įrašoms reikšmės buvo gautos netiesiniuose skaičiavimuose modeliuojant įrašų persiskirstymą dėl betono plastinių deformacijų ir pleišėjimo. Iš lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad lenkimo momentų ekstreminės reikšmės sumažėja, mažėja ir skirtumas tarp teigiamų ir neigiamų momentų absoliučių reikšmių. Gauti netiesiniuose skaičiavimuose momentai visiškai išsitenka tarp  $+0,6 M_o$  ir  $-0,6 M_o$ .



5 pav. Lenkimo momentų  $M_x$  izolinijos koncentruotos apkrovos (du AK vėžimėliai ir juostos) zonoje (Til23p, 1 lent.)  
 Fig. 5. Isolines of  $M_x$  in the zone of concentrated load (two AK vehicles and traffic lines; Til23p, Table 1)



6 pav. Lenkimo momentų  $M_y$  izolinijos koncentruotos apkrovos zonoje (Erd2t1, 1 lent.)  
 Fig. 6. Isolines of  $M_y$  in the zone of point load (Erd2t1, Table 1)

1 lentelė. Plokštės įrašos, gautos taikant tamprus ir plastinius, su plyšiais, kompiuterinius modelius, bei jų santykiai su inžinerinių skaičiavimų (SSSR sijos metodas) bazinėmis reikšmėmis

Table 1. Slab forces according to elastic and non-linear, with cracks, computer analysis models and their ratios with results obtained by traditional calculation methods (USSR beam method)

Nr.	Šifras	Apkrova ir jos padėtis	Ekstremalios įrašos, ESM, kN, kNm			Bazinės, kN, kNm		Santykiai		
			+M	--M	Q	M <sub>o</sub>	Q <sub>o</sub>	$\frac{+M}{M_o}$	$\frac{-M}{M_o}$	$\frac{Q}{Q_o}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
LIRA, T8, T12: L 23.8m., B 12.96m., s 2.16m.										
1	T8	G+AKvid., 4 pav.	45,9	-8.4	98	61	95	0.75	-0.14	1.04
2	T12	G+AK gal.	34	-41.6	159 107	61	95	0.55	-0.68	1.69 1.12
3	T 13	G+HK80 vid., L 17m., s 1.2 m.	17.7	-8.1	83	23.3	76	0.76	-0.35	1.09
GIFTS										
4	2.5-15	G+AKvid	23.8	-11.8	-	63.9	-	0.37	-0.18	-
5	2.5-24	" -	32.0	-9.4	-	63.9	-	0.5	-0.14	-
6	2.5-42	" -	31.1	-9.0	-	63.9	-	0.48	-0.14	-
7	1.9-15	" -	11.8	-9.1	-	29.6	-	0.4	-0.31	-
8	1.9-24	" -	12.1	-8.1	-	29.6	-	0.41	-0.27	-
9	1.9-42	" -	10.9	-9.0	-	29.6	-	0.37	-0.31	-
10	2.7-18	G+HK80vid	34.8	-17.6	-	75.4	-	0.46	-0.23	-
11	2.7-24	" -	41.7	-12.8	-	75.4	-	0.55	-0.17	-
12	2.7-42	" -	36.8	-15.3	-	75.4	-	0.49	-0.2	-
13	1.8-15	" -	24.1	-6.0	-	42.1	-	0.57	-0.14	-
14	1.8-24	" -	28.1	-5.1	-	42.1	-	0.66	-0.12	-
15	1.8-42	" -	23.4	-7.7	-	42.1	-	0.55	-0.18	-
16	2.5-24	G+AKgal	13.9	-22.3	-	63.9	-	0.2	-0.45	-
17	1.9-24	" -	8.5	-15.9	-	29.6	-	0.3	-0.54	-
18	2.7-24	" -	26.4	-41.9	-	75.4	-	0.35	-0.56	-
19	1.8-24	" -	15.3	-20.3	-	42.3	-	0.36	-0.48	-
STAAD, L 23.5m., B 12.96m., s 2.16m.										
20	Tilt74	G+AKvid.,	43	-9.9	111	57	99	0.75	-0.16	1.12
21	Tilt8	G+AKgal2.	33.5	-46.9	234 144	57	99	0.55	-0.77	2.37 1.45
22	Tilt92	G+AKgal4.	38	47.6	228 155	57	99	0.61	-0.76	2.3 1.56
23	Erd2tl	G+AKvid., 6 pav.	41.2	-5.5	106	57	99	0.72	-0.1	1.07
24	Tilt22	G+HK80vid.	40.6	-1.1	86.2	57.6	87	0.71	-0.02	0.99
Ivertinant pleišėjimą ir plastines deformacijas STAAD, L23.5m., B12.96m., s2.16m.										
25	Til77p	G+AKvid.	29.7	-14.1	111 99	57	99	0.52	-0.25	1.12 1.0
26	Til93p	G+AKgal4.	30	-31.2	207 138	57	99	0.53	-0.55	2.1 1.39
27	Til23p	G+HK80vid., 5 pav.	27.3	-19.4	85.8	57.6	87	0.47	-0.34	0.99
28	Til77ps	G+AKvid, sijos plyš.	33	-8.8	106	57	99	0.58	-0.15	1.07

#### Paaiškinimai.

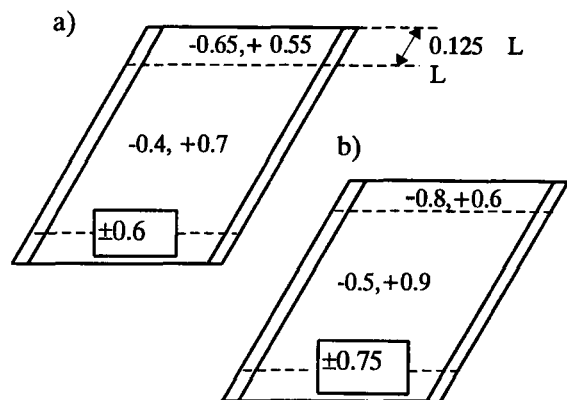
1. L, B, s - perdangos ilgis, plotis ir atstumas tarp sijų ašių metrais.
2. Programa Gifts skaičiavo magistrantas V.Jankelaitis [7]. Šifre nurodomas atstumas tarp sijų ašių ir perdangos ilgis, pav. 2.5-15 bus s 2.5m., o L 15m. Visos perdangos turėjo po 6 sijas.
3. Pažymėjimai vid, gal nurodo transporto apkrovos padėtį perdangos išilgine linkme, t.y. laikinoji apkrova HK80, arba apkrovos AK vėžimėlis išdėstyti arba perdangos viduryje, arba perdangos gale. Skaičius po gal nurodo, kiek vieno vėžimėlio ratų užvažiuo ant perdangos jos gale. Perdangos buvo apkraunamos viena arba keliomis AK voromis pagal [1].
4. Pateiktos dvi skersinių jėgų Q reikšmės plokštėje perdangos gale: skaitiklyje - sijos ašyje, vardiklyje - šalia sijų briaunų.

Reikia pažymėti, kad lentelėje pateiktos maksimalios momentų plokštėje reikšmės, kurios tiesiniuose ir netiesiniuose modeliuose gali būti skirtingose vietose. Be to, persiskirstymas vyksta dideliame plote tiek skersine, tiek ir išilgine linkme, ir teigiamų bei neigiamų ekstreminių momentų sumos nebūtinai bus artimos tiesiniuose ir netiesiniuose skaičiavimuose, kaip būna standžiai įtvirtintuose ar nekarpytosiose sijose. Jei perdangą sudaro neįtemp-tojo gelžbetonio sijos, kurių standumas smarkiai sumažėja dėl pleišėjimo (uždavinys Til77ps), tai momentų reikšmės kinta teigiamų momentų didėjimo ir neigiamų momentų plokštėje mažėjimo linkme.

Išilgine linkme lenkimo momentai 1,5-2 kartus mažesni, nei skersine (žr. 6 pav.). Tačiau šių pakankamai reikšmingų lenkimo momentų sukeltas plokštės apatinių sluoksnių tempimas yra kompensuojamas plokštės, kaip sijų viršutinės juostos, gniuždymu nuo bendrojo perdangos išilginio įlinkio. Prie tilto atramų, kur šis įlinkis ir atitinkamai gniuždymo įtempimai yra maži, būtina skaičiuoti ar bent numatyti papildomą, lyginant su įprastu, išilginį armavimą.

Gali kilti klausimas, kodėl gi plokštėse, suarmuotose pagal SSSR skaičiavimo metodų rezultatus, eksploataavimo metu neigiami reiškiniai - ryškus pleišėjimas ar net suirimas dėl per didelių lenkimo momentų poveikio - nėra dėsningi. Atsakymas į tai paprastas. Kaip minėjome, sutartinio pločio plokštės-sijos metodas duoda nuo 1,3 iki 1,8 karto didesnius bazinius momentus  $M_0$ , nei tikslesnis plokštės, paremtos dviem kraštinėmis, metodas. Taigi momentų reikšmės jau pirmajame skaičiavimo etape gaunamos gerokai padidintos. Antra, skaičiuojant nėra įvertinama teigiama pakloto (asfaltbetonio, išlyginamojo ir apsauginių sluoksnių) įtaka. Ir trečia, momentų persiskirstymas pleišėjant gerokai išlygina ekstremalias reikšmes, be to, ir apkrovos, artimos skaičiuojamosioms, retai pasitaiko.

Skersinės jėgos plokštėje, gautos kompiuteriniais skaičiavimais, artimos ar net šiek tiek viršija apskaičiuotas pagal sutartinio pločio plokštės-sijos SSSR metodą. Plokštės ruožuose prie tilto atramų ekstreminės  $Q$  reikšmės gerokai, virš dviejų kartų viršija  $Q_0$ , tačiau šios maksimalios skersinės jėgos sukongcentruotos gana nedideliame plote, daugiausia virš sijų sienelių ir sijų vutų. Lentelėse pateiktos ir



7 pav. Rekomenduojamos koeficientų  $k$  reikšmės lenkimo momentams  $M_0$ , apskaičiuotiems sijos (a) ir plokštės (b) metodais. Rėmeliuose - rekomenduojamos vienodos  $k$  reikšmės visam perdangos ilgiui

Fig. 7. Recommended values of coefficient  $k$  for bending moment  $M_0$ , calculated using beam (a) and slab (b) methods. In squares - values of  $k$ , recommended to be constant over entire deck length

kitos  $Q$  reikšmės, veikiančios plokštę jos realaus tarpatriamo ribose, kurios gerokai mažiau viršija bazines  $Q_0$ . Taigi priimant skaičiuojamąsias skersinių jėgų reikšmes koeficientas esant  $Q_0$  turi būti ne mažesnis už vieneta, ar net šiek tiek didesnis, pvz., 1,3 esant plonai kelio dangai.

## 7. Išvados ir rekomendacijos

Šiuo metu Lietuvoje taikomas sovietinis plokštės įrašų skaičiavimo metodas iš esmės yra panašus į metodą, naudojamą prancūziškai kalbančiose šalyse. Pirmame skaičiavimo etape surandamos plokštės įrašos  $M_0$ ,  $Q_0$ , mūsų pavadintos bazinėmis, taikant supaprastintą sutartinio pločio plokštės-sijos (SSSR), ar paremtos dviem kraštinėmis plokštės metodą (Prancūzija). Tačiau antrame skaičiavimo etape buv. SSSR naudojami koeficientai, įvertinantys visų perdangos elementų sąveiką ir bendrųjų perdangos deformacijų įtaką plokštės įrašoms, yra priimtini nebent perdangų galuose, prie tilto atramų. Perdangos centrinėje zonoje, nutolusioje nuo atramų daugiau nei  $0,125 L$  (kur  $L$  - perdangos tarpatriamo ilgis), šie koeficientai neteisingai įvertina erdvines deformacijas ir duoda klaidingą įrašų pasiskirstymą, smarkiai sumažindami teigiamus ir pervertindami neigiamus lenkimo momentus.



Atlikti tyrimai rodo, kad paliekant naudojimui sovietinę  $M_0$  skaičiavimo metodiką, lenkimo momentų reikšmės perdangos centrinėje dalyje turėtų būti parenkamos  $+0,7M_0$  plokštės tarpatramyje ir  $-0,4 M_0$  prie perdangos sijų, o zonoje prie tilto atramų  $+0,55 M_0$  ir  $-0,65 M_0$  (7 pav., a). Tačiau būtų praktiškiau visoje perdangos plokštėje naudoti vienodą armavimą, įvertinantį įrašų persiskirstymą pleišėjant, kada lenkimo momentai išsilygina ir išsitenka diapazone  $\pm 0,6 M_0$ .

Būtina patikrinti, ar perdangų galuose, kur plokštė yra silpnai gniuždoma, išdėstoma išilginė armatūra yra pakankama atlaikyti išilginius lenkimo momentus. Kadangi išilginių lenkimo momentų skaičiavimas yra gana sudėtingas, siūloma taikyti papildomą konstrukcinį armavimą išilgine linkme perdangos ilgyje  $0,125 L$ , pradedant nuo deformacinių pjūvių, skaičiuotą priimant, kad atlaikomas išilginis momentas turi būti ne mažesnis negu  $2/3 M$  skersine linkme.

Ateityje orientuojantis į Vakarų Europos projektavimo normas tikslinga atsisakyti sutartinio pločio plokštės-sijos metodo, kuris duoda padidintas bazines momentų  $M_0$  reikšmes. Tikslingiau naudoti klasikinį tamprios ilgos plokštės, paremtos dviem kraštinėmis, metodą, padidinant koeficientų reikšmes taip, kaip parodyta 7 pav., b. Vienodas visame perdangos ilgyje koeficientas įvertina lenkimo momentų persiskirstymą pleišėjant.

#### Literatūra

1. СНИП 2.05.03-84. Мосты и трубы. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. 199 с.
2. А.А.Петропавловский и др. Проектирование деревянных и железобетонных мостов. М.: Транспорт, 1978. 359 с.
3. Н.И.Поливанов. Проектирование и расчет железобетонных и металлических автодорожных мостов. М.: Транспорт, 1970. 516 с.
4. J.Kivilša, Z.Kamaitis, A.Steponavičius. Miesto transporto statiniai. V.: Mokslas, 1981. 331 p.
5. BAEL 91. Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites. Paris, Mars 1992. 145 p.
6. G.Dreux. Calcul pratique du béton armé. Règles B.A.E.L.83. Paris: Eyrolles, 1988, p. 204-219.
7. V.Jankelaitis. Tiltų perdangų plokščių darbo tyrimas (rankr.) / Magistro tezės. Vadovas A.Notkus. V., 1995. 145 p.

Įteikta 1996 11 18

## FORCES IN REINFORCED CONCRETE BRIDGE DECK SLABS

A.J. Notkus

### Summary

A distinct difference between forces, especially bending moments, in slabs of slab-and-beam deck of reinforced concrete bridges, determined by the methods of analysis, applied in the former USSR and France, is pointed out in the article. The essence of calculation of forces in the slab due to bridge loads is presented. Deformations of deck as a spatial structure are resolved into local between beams and spatial characteristics for the whole deck. Local bending slab moments due to local deformations are calculated approximately using diagrams of a continuous and with built-in-end beam. It is shown that forces only due to local deformations are evaluated in the method of the former USSR.

A more accurate modelling of deck slab behaviour is obtained by using spatial diagrams composed of plate and beam elements or of spatial diagrams composed of plate and beam elements or of even more accurate shell-type elements. Calculations have been performed by the use of three finite-element method programs Lira, Gifts and Staad3. Decks of various length and width are loaded with combinations of permanent and variable, traffic AK and HK-80 loads. More accurately strain and stress states are modelled in non-linear calculations accounting for non-elastic deformation and cracking of slab concrete as well as cracking of beams.

The investigation of results has shown that the method of the former USSR, still applied in Lithuania today, erroneously evaluates slab load-effect resulting in unacceptably reduced positive bending moments in the larger central deck part. Recommendations to calculate these load-effects are proposed. By simplified two-stage-design methods in use to-day when at the first stage basic load effects  $M_0$  and  $Q_0$  are calculated employing diagrams of simple beam (USSR), or that of slab supported on two sides (France), and in the second stage design loads-effects are determined by multiplication of basic values and coefficients. Recommended values of such coefficients for basic bending moments  $M_0$  determined by beam method are shown in Fig. 7a, and those by slab method - in Fig. 7b. Other recommendations for evaluation of shear forces and longitudinal moments are also presented.

**Algirdas Jonas NOTKUS.** Doctor, Associate Professor. Civil Engineering Faculty, Vilnius Gediminas Technical University (VGTU), 11 Saulėtekio Ave, 2040 Vilnius.

A graduate of St.Petersburg Railway University (1969, bridge engineering). In 1969-73 he constructed bridges. Since 1973 with interruptions he worked at Dept of Reinforced Concrete Structures of VGTU. Doctor's degree in 1979 (civil engineering), Associate Professor (1982). In 1982-83 - research visit to Germany. During 1989-93 he worked as a lecturer in Algeria. Research interests: theory of concrete strength and deformations, non-linear computer analysis, investigations and analysis of bridge structures.