

# CENTRIŠKAI GLEMŽIAMŲ PLOKŠTUMINIŲ IR ERDVINIŲ ELEMENTŲ ĮTEMPIŲ TYRIMAI

Linus Vasiliauskas, Kazys Šleževičius, Jonas Roličius, Antanas Špokas

Šiaulių universitetas, Technologijos fakultetas

## Įvadas

Daugelyje konstrukcijų, patiriančių gniuždy-mo ar lenkimo poveikius, dėl apkrovų ar atraminių reakcijų perdavimo į riboto dydžio aikšteles, pradinių technologinių defektų, pažeidų susidaro įtempių – deformacijų koncentracijos židiniai. Kvazitrapiose medžiagose koncentracijos neišsilygina, priešingai negu tampriai plastiškose medžiagose.

Įtempių koncentracija turi įtakos konstrukcijų atraminių dalių suirimui, medžiagos pasipriešinimui ilgalaikiai apkrovai ir valkšnumui. Racionaliam konstrukcijų projektavimui svarbu žinoti tikrąjį įtempių pasiskirstymą, glemžiamų elementų įtempius koncentracijos židiniuose. Teisingas įtempių koncentracijos įvertinimas leidžia padidinti konstrukcijų ilgamažiškumą ir ekonomiškumą.

Glemžimas – vienas sudėtingiausių kietų kūnų deformavimosi atvejų. Glemžimo deformacijos ir jų sukelti įtempiai nevienodi kontakto paviršiuje ir skirtingame gylyje. Įtempiai mažėja tolstant nuo konstrukcinių elementų lietimosi zonos. Glemžimas pavojingesnis trapioms medžiagoms. Kvazitrapių medžiagų glemžimo stipriui turi įtakos elemento matmenų santykis, jų forma, atrėmimo sąlygos, betono stipruminės charakteristikos.

Straipsnyje nagrinėjamas įtempių – deformacijų būvis plokščiuose ir erdviuose glemžiamuose elementuose. Įtempiai skaičiuoti tinklelio metodu. Nustatyti normaliniai, tangentiniai, svarbiausieji ir ekvivalentiniai įtempiai pagal įvairias stiprumo teorijas.

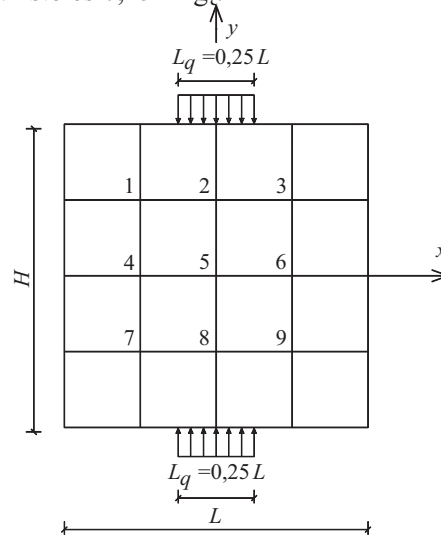
**Tikslas** – išnagrinėti įtempių-deformacijų būvį glemžiamuose plokščiuose ir erdviuose elementuose.

## Tyrimų metodika ir darbo rezultatai

Tiriamos plokštelės ir erdviniai elementai apkrauti priešpriešiais nukreiptomis apkrovomis.

Vienetinė jėga išskirstyta plokštelės centre ketvirtadalyje jos pločio. Plokštelės aukščio ir pločio santykis – vienetinis. Įtempimų būvis plokštelėse nagrinėjamas tinklelio metodu. Toks tyrimas buvo pasirinktas neatsitiktinai. Glemžiamų elementų teoriniam įtempių tyrimui inžinerinėje praktikoje dažnai taikomas plokštuminis įtempių būvis [1, 2, 3].

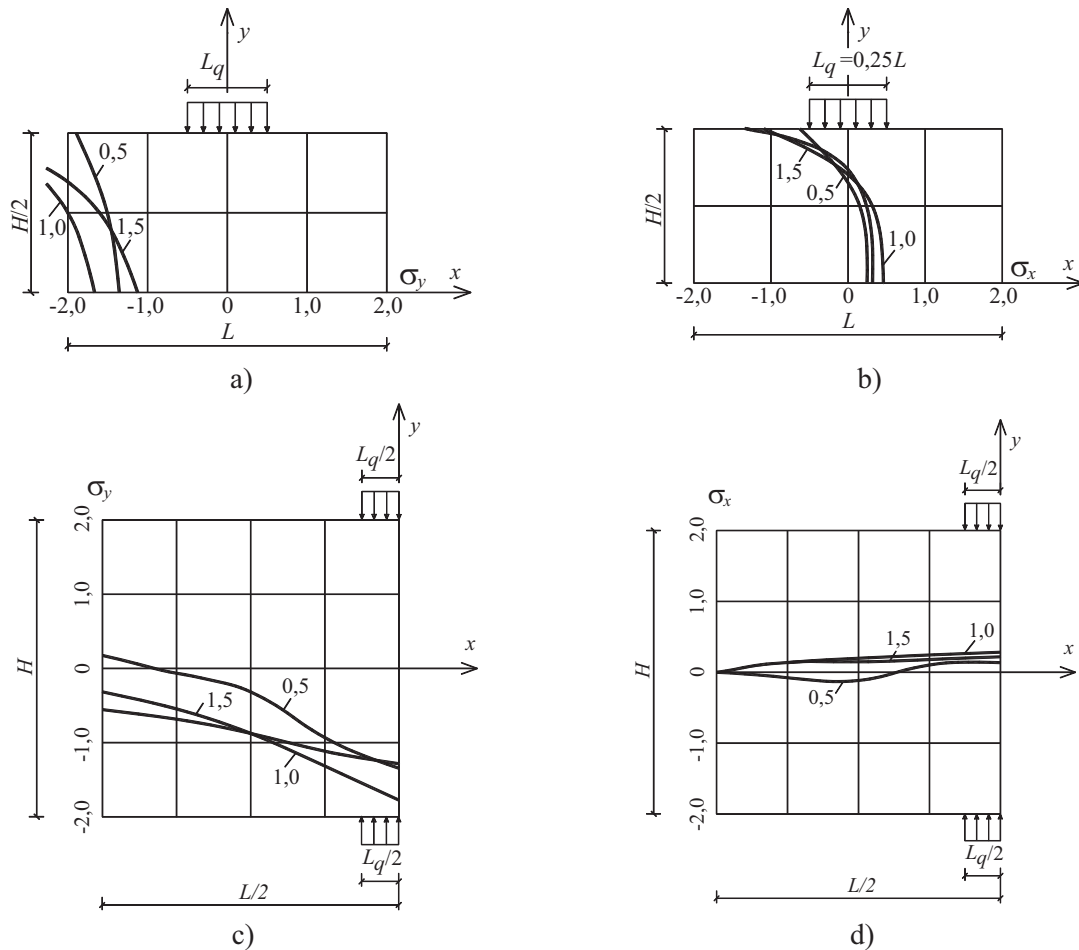
Tampriai apkrautam elementui sprendėme plokštuminį tamprumo teorijos uždavinį. Skaičiavimus atlikome tinklelio (baigtinių skirtumų) metodu. Sprendžiant kontūrinį rėmą, pakraštinės sąlygos visam rėmui buvo aprašytos funkcijomis  $M_{xy}$  ir  $N_{xy}$  ir sprendiniai atlikti pagal P. Varvako metodą [1]. Tinklelio dydis buvo renkamas pagal sienutės matmenų (aukščio  $H$  ir pločio  $L$ ) santykį  $b$ . Skaičiavimuose priimtas kvadratinis tinklelis. Kai plokštelės matmenų santykis vienetinis, skaičiavimo modelis pateiktas 1 pav. Priimta vienetinė jėga  $F=1$  išskirstyta per aikštelės  $0,25L$  ilgi.



1 pav. Plokštelės  $b=H/L=1$  skaičiuojamasis modelis

Mūsų nagrinėtos koncentracijos atvejais stengiasi sienutės matmenų santykį ( $b = H/L$ ), parinkti taip, kad tempimo įtempių  $\sigma_x$  zonos persidengtų. Persidengusių zonų įtempiai sumuojasi ir gaunami padidinti, palyginus su įtempiais, kai sienutė aukšta ( $b > 2$ ).

Keletas įtempių būvio pasikeitimų, priklausomai nuo santykio  $b$ , pateikta 1 lentelėje ir 2 paveiksle. Dėl simetrijos parodyta tik ketvirtadalis sienutės. Simetrijos ašys sutampa su  $x$  ir  $y$  ašimis. Įtempiai  $\sigma_x$  ir  $\sigma_y$  charakteringuose sienutės pjūviuose pavaizduoti 1 pav. Sienutė apkrauta vienutinėmis jėgomis  $F=1$ , o jos aukščio ir pločio santykis  $b = 0,5; 1; 1,5$ .



**2 pav.** Įtempiai plokštelėse, kai  $F = 1$  ir apkrovimo aikštelė  $L_q = 0,25L$ . Skaičiai ties kreivėmis reiškia sienučių aukščio ir pločio santykį ( $b = H/L$ ); a – įtempiai  $\sigma_y$  pjūvyje  $x = 0$ ; b – įtempiai  $\sigma_x$  pjūvyje  $x = 0$ ; c – įtempiai  $\sigma_y$  pjūviuose  $y = const$  su maksimaliais tempimo įtempiais (žiūr. šio pav. b); d – įtempimai,  $\sigma_x$  tuose pačiuose pjūviuose, kaip ir  $\sigma_y$

1 lentelė. *Centriškai glemžiamų plokštelių įtempiai vidiniuose ir konturiniuose taškuose*

Taško koordinatės		Normaliniai vienetiniai įtempiai		Tangentiniai vienetiniai įtempiai	Svarbiausi įtempiai		Ekvivalentiniai įtempiai	
x	y	$\sigma_x$	$\sigma_y$		$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_{E1}$	$\sigma_{E2}$
<i>H/L=0,5</i>								
0	0,5	-0,632	-1,984	0,000	-0,632	-1,984	1,352	-0,235
0,25	0,5	-0,233	-1,008	0,000	-0,233	-1,008	0,775	-0,031
0,5	0,5	0,175	0,000	0,000	0,175	0,000	0,175	0,175
0,75	0,5	0,103	0,000	0,000	0,103	0,000	0,103	0,103
1,0	0,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0	0,25	0,170	-1,585	0,000	0,170	-1,585	1,755	0,487
0,25	0,25	0,050	-1,004	-0,144	0,069	-1,023	1,092	0,274
0,5	0,25	-0,062	-0,240	-0,064	-0,041	-0,261	0,220	0,011
0,75	0,25	-0,029	-0,016	0,028	0,007	-0,051	0,058	0,017
1,0	0,25	0,000	0,103	0,000	0,103	0,000	0,103	0,103
0	0	0,291	-1,427	0,000	0,291	-1,427	1,718	0,576
0,25	0	0,133	-0,990	0,000	0,133	-0,990	1,124	0,331
0,5	0	-0,051	-0,335	0,000	-0,051	-0,335	0,284	0,016
0,75	0	-0,046	-0,036	0,000	-0,036	-0,046	0,010	-0,027
1,0	0	0,000	0,149	0,000	0,149	0,000	0,149	0,149
<i>H/L=1,0</i>								
0	0,5	-1,083	-3,008	0,000	-1,083	-3,008	1,925	-0,482
0,25	0,5	-0,165	-0,496	0,000	-0,165	-0,496	0,331	-0,066

1 lentelės tęsinys

0,5	0,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0	0,25	0,311	-2,090	0,000	0,311	-2,090	2,401	0,729
0,25	0,25	0,014	-0,873	-0,193	0,054	-0,913	0,967	0,237
0,5	0,25	0,000	-0,165	0,000	0,000	-0,165	0,165	0,033
0	0	0,461	-1,765	0,000	0,461	-1,765	2,226	0,814
0,25	0	0,136	-0,967	0,000	0,136	-0,967	1,103	0,330
0,5	0	0,000	-0,301	0,000	0,000	-0,301	0,301	0,060
$H/L=1,5$								
0	0,75	-1,257	-3,008	0,000	-1,257	-3,008	1,751	-0,656
0,25	0,75	-0,248	-0,496	0,000	-0,248	-0,496	0,248	-0,149
0,5	0,75	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0	0,5	0,185	-1,998	0,000	0,185	-1,998	2,183	0,585
0,25	0,5	-0,044	-0,877	-0,268	0,035	-0,956	0,990	0,226
0,5	0,5	0,000	-0,248	0,000	0,000	-0,248	0,248	0,050
0	0,25	0,302	-1,447	0,000	0,302	-1,447	1,749	0,591
0,25	0,25	0,104	-0,984	-0,146	0,123	-1,004	1,127	0,324
0,5	0,25	0,000	-0,584	0,000	0,000	-0,584	0,584	0,117
0	0	0,284	-1,292	0,000	0,284	-1,292	1,575	0,542
0,25	0	0,128	-0,998	0,000	0,128	-0,998	1,126	0,328
0,5	0	0,000	-0,712	0,000	0,000	-0,712	0,712	0,142

Pastaba: Ekvivalentiniai įtempiai  $\sigma_{E1}$  ir  $\sigma_{E2}$  nustatyti pagal Kulono ir Moro stiprumo teorijas

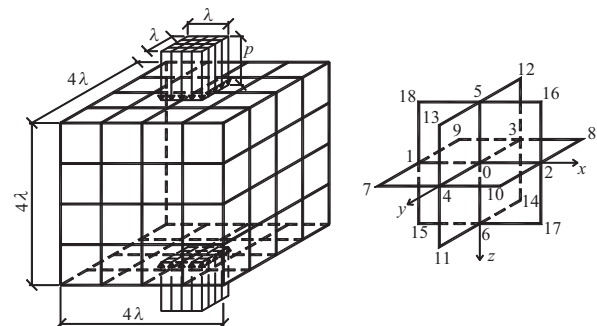
2 pav., a, b matyti, kad vertikalūs gniuždymo įtempiai  $\sigma_y$  pjūvyje  $x = 0$ , mažėjant santykiui  $b$  ir esant kitoms pastovioms sąlygoms, keičiasi. Esant santykiui  $b = 1$  simetrijos ašių susikirtimo taške įtempis  $\sigma_y = -1,76$ , kai  $b = 1,5 - \sigma_y = -1,29$ . Tuo tarpu horizontaliems tempimo įtempiams  $\sigma_x$  santykio  $b$  mažėjimas intervale  $0,5 < b < 1,5$  turi didesnę reikšmę. Šis pasikeitimas iššaukia tempimo įtempių padidėjimą, palyginus su ordinatėmis, kai  $b = 1,5$ . Maksimalūs horizontalūs tempimo įtempiai, kai santykis  $b = 1,5$  pasireiškia pjūvyje  $y = \pm 0,25H$ . Kai santykis  $b = 0,5$  ir  $b = 1$ , tuomet šie įtempiai pasireiškia pjūvyje  $y = 0$ . Esant santykiui  $b=1$  simetrijos ašių susikirtimo taške įtempis  $\sigma_x = 0,461$ , kai  $b = 0,5 - \sigma_x = 0,29$ .

Skirtingai išsidėsto horizontalūs tempimo įtempiai ir pjūviuose  $y = const$ , tai matome iš 2 pav., c, d. Šie pjūviai praversti per maksimalius tempimo įtempius  $\sigma_x$  (2 pav., b). Šie įtempiai sudaro pirmą tempimo įtempių zoną. Esant santykiui  $b = 0,5$  horizontalioje simetrijos ašyje  $\sigma_x$  kinta nuo  $-0,05$  iki  $0,29$ .

Briaunoje  $y = \pm H/2$  už apkrovimo aikštelės įtempiai  $\sigma_x$  pereina iš gniuždančių į tempiamus. Po apkrovimo aikštele šie įtempiai gniuždantys  $\sigma_x = -0,63$ . Mažėjant  $y$  koordinatei, šie įtempiai mažėja. Šalia apkrovimo aikštelės tempiantys normaliniai įtempiai pasiekia  $0,175$  reikšmę. Tai antra tempimo įtempių zona pjūvyje  $y = \pm 0,5H$ .

Sprendžiant erdvinį įtempių koncentracijos uždavinį, panaudota P. Varvako [1] metodika. Priešpriešiais nukreipta apkrova buvo pridėta centriškai

kvadratine aikštele, kurios kraštinės sudaro  $1/4$  elemento ilgio ir pločio. Nagrinėjamų elementų ilgis ir plotis buvo pastovūs, o keitėsi tik jų aukštis (3 pav.).



3 pav. Erdvinio elemento vidinių tinklelio taškų pažymėjimai

Elemento kraštinių santykis (H:B:L) buvo toks:  $0,5:1:1$ ,  $1:1:1$  ir  $1,5:1:1$ . Glemžiamų elementų poslinkiai buvo nustatomi tinklelio metodu, Lemė lygčių pagrindu. Nagrinėjamas masyvus elementas buvo aproksimuotas kubiniu tinkleliu. Kiekvienam vidiniam ir kontūriniam mazgui buvo užrašoma po tris lygtis. Užrašant lygtis kontūriniams taškams reikia žinoti poslinkius fiktyvių taškų, esančių per vieną tinklelio žingsnį už kontūro. Šių poslinkių nustatymui užrašomos statinės pakraštinės sąlygos. Pavyzdžiui viršutiniam kampiniam mazgui ( $x = 2\lambda$ ;  $y = 2\lambda$ ;  $z = 0$ ) pakraštinės sąlygos užrašomos tokio- mis lygtimis:

$$\begin{aligned}
 & -6,83u_0 + 3,334u_1 + 2,334u_4 + 2,334u_6 + 2,334v_0 - 2,334v_1 - v_4 + v_7 - \\
 & -0,1667u_1 - 0,5u_4' - 0,5u_6' + 2,334w_0 - 2,334w_1 - w_6 + w_{15} = 0,
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 & -6,83v_0 + 2,334v_1 + 3,334v_4 + 2,334v_6 - 0,5v_1' - 0,1667v_4' - 0,5v_6' + \\
 & + 2,334u_0 - 2,334u_4 + u_7 - u_1 - 2,334w_0 + 2,334w_4 + w_6 - w_{11} = 0,
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 & -6,83w_0 + 2,334w_1 + 2,334w_4 + 3,334w_6 - 0,5w_1' - 0,5w_4' - 0,1667w_6' + \\
 & + 2,334u_0 - u_1 - 2,334u_6 + u_{15} - 2,334v_0 - v_{11} + 2,334v_6 + v_4 = 0.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Taškų numeracija pateikta 3 pav., o dydžiai  $u_i', v_i', w_i'$  reiškia taškų poslinkius už modelio ribų atatinamos ašies kryptimi atsumu  $\lambda$ . Mazgui, kuris

yra viršutinėje elemento briaunoje per du tinklelio žingsnius nuo kampo ( $x = 0; y = 2\lambda; z = 0$ ) statinės pakraštinės sąlygos užrašomos tokiomis lygtimis:

$$\begin{aligned}
 & -5,83u_0 + 1,667u_1 + 1,667u_2 + 1,334u_3 + 1,334u_6 - 0,083u_1' - \\
 & -0,083u_2' + 0,667v_1 - 0,667v_2 - 0,667w_1 + 0,667w_2 = 0,
 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
 & -5,9v_0 + 0,667v_1 + 0,667v_2 + 3,334v_3 + 2,334v_6 - 0,25v_1' - 0,25v_2' - \\
 & -0,1v_3' - 0,5v_6' + 0,361u_1 - 0,361u_2 + 0,1u_8 - 0,1u_9 + 2,334w_0 - \\
 & 2,334w_3 - w_6 + w_{14} = 0,
 \end{aligned} \tag{5}$$

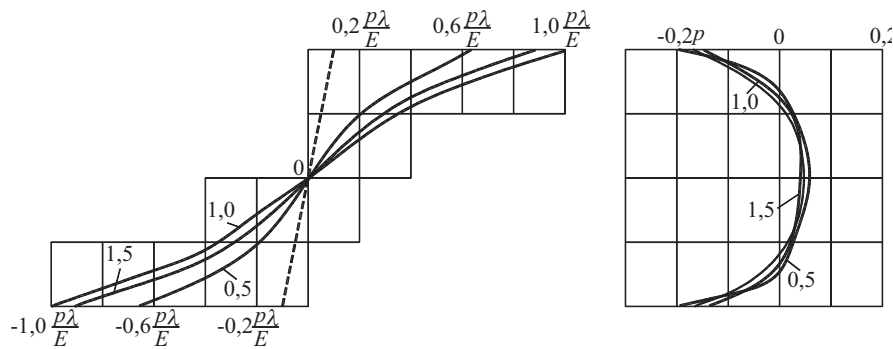
$$\begin{aligned}
 & -5,9w_0 + 0,667w_1 + 0,667w_2 + 2,334w_3 + 3,334w_6 - 0,25w_1' - 0,25w_2' - \\
 & -0,5w_3' - 0,1w_{11}' + 2,334v_0 - v_3 - 2,334v_6 + v_{14} - 0,361u_1 + 0,361u_2 - \\
 & -0,1u_{17} + 0,1u_{15} = 0.
 \end{aligned} \tag{6}$$

Analogiškai užrašomi poslinkiai kitiems paviršiaus mazgams. Kadangi nagrinėjamas elementas ir apkrova yra simetriški, tai lygtys užrašomos 1/16

elemento daliai. Skaičiavimo rezultatai pateikti 2 lentelėje ( $u, v, w$  – diskretinių taškų poslinkiai) ir 4 bei 5 pav.

2 lentelė. *Erdvinio glemžiamo elemento poslinkiai*

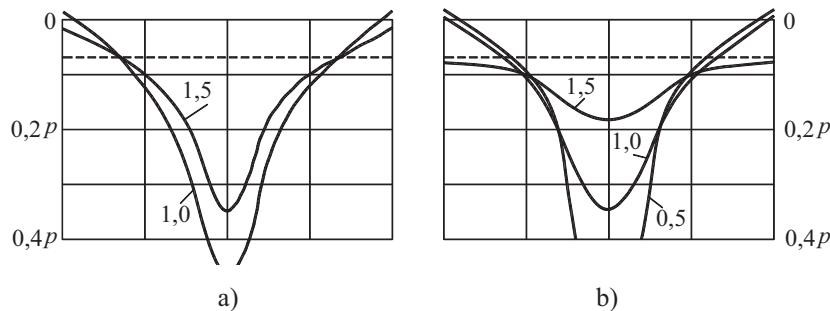
$x/\lambda;$ $y/\lambda;$ $z/\lambda$	Elemento kraštinių santykis								
	0,5:1:1			1:1:1			1,5:1:1		
	$u$			$v$			$w$		
0;0;0	0	0	0	0	0	0	0,679	0,965	1,085
0;0;1	0	0	0	0	0	0	0	0,349	0,475
0;0;2		0	0		0	0		0	0,182
0;0;3			0			0			0
0;1;0	0	0	0	-0,002	-0,068	-0,075	0,091	0,225	0,322
0;1;1	0	0	0	0,068	0,052	0,042	0	0,131	0,229
0;1;2		0	0		0,066	0,050		0	0,110
0;1;3			0			0,048			0
0;2;0	0	0	0	-0,040	-0,123	-0,130	-0,044	-0,043	0,030
0;2;1	0	0	0	0,037	0,040	0,033	0	-0,003	0,066
0;2;2		0	0		0,075	0,063		0	0,047
0;2;3			0			0,060			0
1;1;0	-0,013	-0,055	-0,068	-0,013	-0,055	-0,068	0,021	0,091	0,171
1;1;1	0,015	0,016	0,007	0,015	0,016	0,007	0	0,064	0,142
1;1;2		0,036	0,038		0,036	0,038		0	0,076
1;1;3			0,044			0,044			0
1;2;0	-0,003	-0,034	-0,047	-0,020	-0,076	-0,093	-0,012	-0,018	0,040
1;2;1	0,005	0,003	-0,006	0,010	0,011	0	0	-0,007	0,044
1;2;2		0,015	0,026		0,515	0,059		0	0,028
1;2;3			0,035			0,072			0
2;2;0	-0,005	-0,048	-0,069	-0,005	-0,048	-0,069	-0,006	-0,047	-0,002
2;2;1	0,003	0,030	-0,016	0,040	0,030	-0,016	0	-0,034	-0,009
2;2;2		0,029	0,044		0,029	0,044		0	-0,011
2;2;3			0,057			0,057			0



**4 pav.** Vertikalūs poslinkiai  $w$  (a) ir horizontalūs normaliniai įtempiai  $\sigma_x = \sigma_y$  (b). Poslinkiai pažymėti ----- tiesės apskaičiuoti pagal medžiagų atsparumą, o skaičiai ties kreivėmis yra elemento santykiniai aukščiai

Gauti skaičiavimo rezultatai buvo lyginami su duomenimis pateiktais [ ] darbe. Jie artimi. Iš 4 pav., a matome, kad vertikalūs poslinkiai nežymiai padidėja, mažėjant elemento aukščiui, tačiau jie kelis kartus viršija poslinkius, nustatytus pagal medžiagų atsparumą (punktyrinė linija). Horizon-

talūs normaliniai įtempiai ( $\sigma_x = \sigma_y$ ) po apkrovimo aikštele yra gniuždantys (4 pav., b), žemiau jie pereina į tempimą. Šie įtempiai didėja, mažėjant elemento aukščiui. Vertikalūs normaliniai įtempiai (5 pav.) taip pat priklauso nuo elemento aukščio ir stipriai padidėja centrinėje elemento dalyje.



**5 pav.** Vertikalūs normaliniai įtempiai  $\sigma_z$ . a – kai  $y = 0, z = h/4$ ; b – kai  $y = 0, z = h/2$ . Įtempiai pažymėti ----- tiesės apskaičiuoti pagal medžiagų atsparumą

Kai plokštelė apkrauta priešpriešinėmis apkrovomis su apkrovimo aikštele  $L_q = 0,25L$  normaliniai, tangentiniai, svarbiausieji bei ekvivalentiniai įtempiai pagal įvairias stiprumo teorijas pateikti 1 lentelėje. Įtempiai pateikti vidiniams ir kontūriniams tinklelio taškams. Iš lentelės duomenų galima nustatyti daugiau arba mažiau įtemptas plokštelės zonas. Pastebimas įtempių padidėjimas tarp apkrovimo aikštelių. Panašus įtempių pasiskirstymas nustatytas ir erdviniuose elementuose (4, 5 pav.).

Svarbiausių ir ekvivalentinių įtempių pasiskirstymo analizė įgalina nustatyti šių elementų santykinę atlaikymo galią, armavimo zonas ekonomiškiau išnaudoti medžiagų stiprius [4, 5].

### Išvados

1. Veikiant elementus priešpriešinei vietinio gniuždymo apkrovai, plokščiuose ir erdviniuose elementuose atsiranda sudėtingas įtempių būvis. Įtempių koncentracijos zonų intensyvumas, matmenys ir forma priklauso nuo apkrovimo aikštelės didumo

ir padėties, o taip pat nuo elemento kraštinių santykio.

2. Įtempių koncentracijos vertinimas įgalina nustatyti atlaikymo galią, armavimo vietas ir ekonomiškai išnaudoti medžiagų stiprius elementuose, gniuždomuose lokalinėmis apkrovomis.

3. Įtempių koncentracijos tyrimai plokščiuose ir erdviniuose elementuose tyrimai leidžia parinkti optimalius glemžiamų elementų matmenis.

### Literatūra

1. Варвак П. М., Варвак Л. П., 1987, *Метод сеток в задачах расчета строительных конструкций*. Москва: Стройиздат.
2. Холмянский М. М., 1997, *Бетон и железобетон (деформативность и прочность)*. Москва: Стройиздат. К. Šleževičius, J. Roličius, F. Mikuckis, 2002, Glemžiamų elementų skaičiavimas pagal stiprumo teorijas. *Vandens ūkio inžinerija*. ISSN 1392-2335. Mokslo darbai, LŽŪU, Lietuvos vandens ūkio institutas. Nr. 19 (41), 81–86.
3. Žiliukas A., 2006, *Stiprumo ir irimo kriterijai*. Kau-

nas: Technologija.  
4. Keras V., Mikuckis F., Roličius J., Šleževičius K.,  
2003, Statinių pirma laiko irimo apraiškos bei jo imi-

tacinio modeliavimo galimybės. *Vagos: mokslo darbai*. Nr. 60 (13), p. 52–58. LŽŪU.

## RESEARCH ON BEARING STRESSES IN PLANE AND SPATIAL ECCENTRICALLY COMPRESSED MEMBERS

*Linus Vasiliauskas, Kazys Šleževičius, Jonas Roličius, Antanas Špokas*

### Summary

In transferring load by small areas, concentration of stresses forms. Correct assessment of stress concentration enables to increase the durability and efficiency of a structure. In order to rationally design structures it is vital to know the real distribution of stresses in members under bearing stress. Analysis of stresses-deformations in plane and spatial members is presented here. The ratio between their height and width has been changed from 0,5 to 1,5. The stresses have been calculated by using the method of reference grid. Direct, circumferential, principal and equivalent stresses have been determined according to different theories of strength.

When members are subjected to opposite local pressure loads, complex stresses develop. The intensity of stress concentration zones, their dimensions and shape depend on the size and position of the area under load as well as on the ratio between the sides of the members.

Calculations of equivalent stresses and their reliefs enable to establish the relative bearing capacity as well as reinforcement zones of the members and to employ the properties of a material in a more economical way.

**Key words:** reinforced concrete, concentration of stresses, deformations, equivalent stresses.

## CENTRIŠKAI GLEMŽIAMŲ PLOKŠTUMINIŲ IR ERDVINIŲ ELEMENTŲ ĮTEMPIŲ TYRIMAI

*Linus Vasiliauskas, Kazys Šleževičius, Jonas Roličius, Antanas Špokas*

### Santrauka

Perduodant apkrovą nedidelėmis aikštėmis susidaro įtempių koncentracija. Teisingas įtempių koncentracijos įvertinimas leidžia padidinti konstrukcijų ilgaamžiškumą ir ekonomiškumą. Racionaliam konstrukcijų projektavimui svarbu žinoti tikrąjį įtempių pasiskirstymą glemžiamuose elementuose.

Nagrinėjamas įtempių-deformacijų būvis plokščiuose ir erdvinuose elementuose. Jų aukščio ir pločio santykis keistas nuo  $H/L=0,5$  iki  $H/L=1,5$ . Įtempiai skaičiuoti tinkelio metodu. Nustatyti normaliniai, tangentiniai, svarbiausieji ir ekvivalentiniai įtempiai pagal įvairias stiprumo teorijas.

Veikiant elementus priešpriešinei vietinio gniuždymo apkrovai, juose atsiranda sudėtingas įtempių būvis. Įtempių koncentracijos zonų intensyvumas, matmenys ir forma priklauso nuo apkrovimo aikštelės didumo ir padėties, o taip pat nuo elemento kraštinių santykio.

Apskaičiavus ekvivalentinius įtempius, jų reljefus galima nustatyti elementų santykinę atlaikymo galia, armavimo zonas, ekonomiškiau išnaudoti medžiagos savybes.

**Prasminiai žodžiai:** betonas, įtempių koncentracija, deformacijos, ekvivalentiniai įtempiai.

Įteikta 2009 08 24