

ZI metodikos ir ZI metodo apžvalga

I. Židonis

Klaipėdos universitetas, Bijūnų g.17, LT-91225, Klaipėda, Lietuva, el. paštas: ipolitas.zidonis@gmail.com

1. Įžanga

Šis straipsnis yra informacinio pobūdžio. Jis skirtas ne naujoms problemoms spręsti, bet padėti skaitytojui su mažiausiomis pastangomis suprasti ZI metodikos ir ZI metodo (metodų) esmę, įvertinti metodiką, lyginant ją su kitomis šiuo metu analogiškiems tikslams naudojamomis metodikomis. Tai, autorius įsitikinimu, padėtų pamatyti, kad ZI metodika turi daug pranašumų prieš kitas alternatyvias metodikas.

ZI metodiką straipsnio autorius sukūrė per daug mokslinės veiklos metų. Informacijos apie tai yra įvairiose publikacijose. Bet skaitytojui ją susirinkti ir įvertinti sudėtinga. Reikia daug laiko ir pastangų. Todėl autorius šitame straipsnyje *glaustai* pateikia surinktą informaciją, jos apžvalgą, vertinimą. Skaitytojas su mažiausiomis pastangomis galės susidaryti nuomonę apie tai, kokia ZI metodikos, ZI metodų ir ZI metodo esmė. Galės vertinti naujoves, jų galimybes.

Čia rašome ir vėliau rašysime trumpiau. *Vietoje „ZI metodika, ZI metodai ir ZI metodas“, rašysime „ZI metodika“.* ZI metodai ir ZI metodas yra ZI metodikos elementai.

Iki 2017 m. publikuotuose leidiniuose esanti svarbiausia informacija apie ZI metodiką surinkta ir panaudota [1 ir 2] monografijose. [1] monografijos angliškas tekstas identiškas. [2] monografijos lietuviškam tekstui, t.y. į anglų kalbą verstas lietuviškas [2] monografijos tekstas. [1 ir 2] monografijų ir skyrių, ir formulių numeriai vienodi. Puslapių numeriai gali skirtis. Straipsnio nuorodos į abi monografijas galioja kiekvienai iš jų. Todėl, kai straipsnyje vienu metu nurodomos abi monografijos, galima panaudoti bet kurį monografijos variantą. Galima rinktis parankesnę iš jų.

Šitame straipsnyje yra daugiau informacijos, negu monografijose, pavyzdžiui [3] straipsnio informacija. Be to monografijose esanti informacija kitaip ir panaudojama. Visa šiuo metu turima informacija apžvelgiama, įvertinama ir *glaustai* pateikiama.

Kuo svarbesnis klausimais, tuo informacijos pateikiama daugiau. Konstrukcinių elementų neutraliosios ašies padėties teoriniam apskaičiavimui (15 ir 16 punktai) skirta daugiau dėmesio, negu kitiems klausimams.

Bet ypatingai svarbiais klausimais pateikiama ir naujausios faktinės medžiagos. 8 punkte pakartojama dalis labai svarbios naujausios [3] straipsnio informacijos apie gniuždomo betono įtempių-deformacijų grafikų patikimumą. Pačios svarbiausios [3] straipsnio mokslinės naujovės – tai: 1) 8 punkte aprašytas EN-2 reglamento kreivinės gniuždomo betono įtempių-deformacijų tarpusavio priklausomybės patikimumo didinimo ZI metodikoje būdas ir 2) gausiai armuotų gelžbetoninių elementų stiprumo patobulintas apskaičiavimo būdas.

Šiame informacinio pobūdžio straipsnyje yra iš kitų autorius publikacijų paimtų fragmentų, jeigu tai padeda siekti straipsniui išskeltų tikslų.

2. Įvadas

ZI metodika, ZI metodai ir ZI metodas. Kas tai?

ZI metodika – tai tam tikrų skaičiavimo taisyklių sistema. Taisyklės galioja tam tikroje erdveje, tam tikroje aplinkoje, tam tikro lauko ribose. *Metodas* yra *metodikos* taisyklių realizavimo priemonė. Tai instrumentas konkrečioms uždaviniam spręsti. *Metodikoje* metodų gali būti ne vienas. Pavyzdžiui, ZI metodikoje įtempių-deformacijų savitarpio priklausomybės aprašymo (išreiškimo) metodas, konstrukcinių elementų neutraliosios ašies vietos skerspjūvyje apskaičiavimo metodas, gausiai armuotų sijų stiprumo apskaičiavimo metodas ([3] straipsnis), kolonų stiprumo apskaičiavimo metodas, EN reglamento įtempių-deformacijų kreivinės diagramos patikimumo didinimo metodas ([3] straipsnis) ir t.t. Bet visą grupę smulkesnių metodų galima pavadinti ir *vienu metodu*. Jis realizuoja visų smulkesnių metodų tikslus. Taip pasielgta [1 ir 2] monografijose. Smulkesni metodai yra bendrojo metodo elementai. Bendruoju atveju *metodikos* sąvoka yra platesnė už *metodo* sąvoką. *Metodas* yra *metodikos* elementas. Jis gali užimti dalį *metodikos* erdvės arba ir visą erdvę. Pastaruoju atveju *metodo sąvokos esmė* sutampa su *metodikos sąvokos esme*. Metodo charakteristika kartu yra ir metodikos charakteristika. [1 ir 2] monografijose naudojama vieno metodo sąvoka.

Šitame straipsnyje panaudota įvairiose publikacijose esanti informacija apie *ZI metodiką* ir *ZI metodą*. Daugiausia informacijos yra [1 ir 2] monografijose.

Šiuo metu jau paskelbta naujos informacijos. Tai metodikos aplinka jau erdvesnė, negu monografijose.

[3] straipsnyje pateikiama nauja papildoma informacija. [3] straipsnį ir šį informacinį straipsnį galima traktuoti kaip [1 ir 2] monografijų priedus. Ateityje, tikriausia, metodikos metodų bus ir daugiau. Šiuo metu ruošiamas alternatyvus sijų kreivių apskaičiavimo metodas.

ZI metodika pateikiama kaip alternatyva kitoms analogiškos paskirties šiuo metu dažniausia naudojamoms metodikoms. Tarpusavyje lyginamos ir vertinamos skirtingų metodikų teigiamos ir neigiamos savybės.

3. Straipsnio paskirtis

Šio straipsnio tikslas – apžvelgti *ZI metodiką* ir *metodus*, tarpusavyje palyginti įvairias alternatyvias metodikas, įvertinti metodikų privalumus ir trūkumus, pranašumus, apibendrinti rezultatus ir *glaustai* pateikti skaitytojui.

Informacija apie *ZI metodiką* ir *metodus* surinkta iš įvairių autorius publikacijų.

Parodomas ZI metodikos naujos galimybes. *ZI metodika ir metodai* pranašesni už šiuo metu analogiškiems tikslams naudojamas kitas metodikas.

ZI metodika, kaip ir kitos metodikos, skirta (numatyta) tam tikrų konstrukcijų tam tikrai skaičiavimo aplinkai (sričiai). ZI metodikos esmei paaiškinti imamas gelžbeto-

ninių konstrukcijų pavyzdys. Tokių konstrukcijų praktikoje naudojama daug. Armuotos konstrukcijos yra gana sudėtingos, gali būti be plyšių arba su plyšiais. Tenka nagrinėti skerspjuvius sijose be plyšių, sijose su plyšiais skerspjuvius ties plyšiu ir tarp plyšių.

Šitas straipsnis skirtas besidominantiems lenkiamų ir gniuždomų konstrukcinių elementų, tokių kaip sijos, kolonos ir panašiai, skaičiavimu metodikomis ir metodais, jų galimybėmis, privalumais ir trūkumais.

Straipsnyje *glaustai* pateikta informacija gali pagreitinti alternatyvios ZI metodikos ir metodų panaudojimą. Tai turėtų ir praktinės, ir teorinės reikšmės.

4. ZI metodikos ZI metodo a n o t a c i j a

ZI metodikos ir ZI metodo galimybės didesnės už šiuo metu analogiškiems tikslams naudojamų kitų metodikų galimybes. Skaičiavimo metodai ir tobulesni, ir įvairesni. Skaičiavimai realistiškesni, tikslesni. ZI metodikos terpėje galima spręsti uždavinius, kokių anksčiau spręsti negalėjome. Metodas skirtas įvairių konstrukcinių elementų, kuriuos veikia lenkimo momentai ir ašinės jėgos (tai pastatų, viadukų, tiltų sijinės konstrukcijos, kolonos ir pan.), įtempimų-deformacijų būvio parametrų apskaičiuoti statmenuose elementų ašiai pjūviuose. Formulės tinka parametrų skaičiuoti elementų be plyšių pjūviuose, elementų su plyšiais tempiamoje zonoje pjūviuose ties plyšiu arba tarp plyšių. Galima analizuoti įtempimų-deformacijų būvį pjūviuose ties pradiniais dalinai užsiveriančiais plyšiais. Elementai gali būti sluoksniuoti, įvairiai armuoti, jų medžiaga ir skerspjuvio forma gali būti labai įvairi. Galima panaudoti ne tik autoriaus sukurtas kreivines, bet ir trikampes, stačiakampes ir kitokių formų įtempimų diagramas arba jų derinius. Įtempimų galima ir nepaisyti. Tai vieningas universalus metodas ir formulės įvairiems uždaviniams spęsti ir tamprioje, ir tamprioje plastiškoje stadijoje, kai elementai be plyšių ir kai su plyšiais. Tos pačios formulės tinka bet kokiam apkrovimo intensyvumui iki pat elemento suirimo. Apskaičiuojamos ne sąlyginės, ne suminės, bet realios kiekvieno atskiro parametro reikšmės. Bet kurioje apkrovimo stadijoje galima apskaičiuoti įrašų (lenkimo momentų, jėgų), deformacijų, įtempimų, gniuždomos ir tempiamos zonų storio, plyšio aukščio bei kitų parametrų realias reikšmes. Bendrosios metodo formulės gana universalios todėl ir gana sudėtingos. Bet kai reikia spręsti konkretų uždavinį, išbraukiami nereikalingi formulių nariai, gaunamos paprastesnės arba net labai paprastos formulės. Atskirais atvejais taip iš autoriaus paruoštų universalių formulių galima gauti šiuo metu naudojamas paprastas tamprių medžiagų atsparumo formules. Metodika turi teorinės ir praktinės reikšmės. Ji skirta ne tik statybų srities mokslo darbuotojams, doktorantams, projektuotojams, gamyboje dirbantiems inžinieriams, bet ir dėstytojams, magistrantams bei bakalaurantams.

5. ZI metodikos galimo panaudojimo aplinkybės

Į ZI metodikos galiojimo lauką patenka:

- 1) *Lenkimo momentų* ir (arba) *ašinių jėgų* veikiami lenkiami ir gniuždomi konstrukciniai elementai (pvz. pastatų sijos ir kolonos, tiltų ir viadukų sijos ir kolonos, santvarų strypai ir pan.), kai
- 2) *Lenkimo momentai* ir (arba) *ašinės jėgos* veikia konstrukcinių elementų simetrijos plokštumoje.

- 3) Skaičiavimai atliekami konstrukcinių elementų statmenuose pjūviuose (skerspjuviuose).

Nenagrinėjamas tangentinių įtempimų veikimas, įstrižas lenkimas ir daug kitų klausimų, esančių už ZI metodikos erdvės.

6. ZI metodikos galimybių lyginimo su alternatyviomis metodikoms kriterijai (sritis)

Tarpusavyje lyginami metodikų faktoriai:

Skerspjuviuose (statmenuose elementų ašiai pjūviuose) skaičiuojami įtempimų-deformacijų būvio parametrai (gniuždomosios ir tempiamosios zonų storio, plyšio aukščio dydžiai, įtempimų ir deformacijų reikšmės).

Parametrų tarpinių reikšmių, nuo kurių priklauso galutinis rezultatas (pvz., kreivis, įlinkis), realumas.

Konstrukcinių elementų ribinių būvių skaičiavimo ribinių būvių metodu vertinimas.

Praktinis naudingumas.

Mokslinis naudingumas. Vertinimas išliekamosios mokslinės vertės požiūriu.

Vertinimas didaktiniu požiūriu (aspektu): paprastumas, aiškumas, nuoseklumas, suprantamumas, praktiškumas, realistiškumas, universalumas, vientisumas.

Skaičiavimo sudėtingumas.

Pagal šiuos kriterijus ZI metodika turi pranašumų prieš kitas alternatyvias metodikas. Išimtis – skaičiavimo sudėtingumas: ZI metodikoje tenka spręsti daugialaisnę lygtį. Bet šiuo metu tai sunkumų nesudaro.

Pavyzdžiui, imamos tokios armuotos konstrukcijos, kaip gelžbetonis. Joms skaičiuoti šiuo metu daugiausia panaudojamas ribinių būvių metodas. Metodas susideda iš saugos (ULS) formulių grupės ir tinkamumo ribinių būvių (SLS) formulių grupės. Ribinių būvių metodikos formulių grupių panaudojimas leidžia tenkinti pagrindinius praktikos galutinius poreikius (apskaičiuoti konstrukcijų stiprumą, kreivius, įlinkius, pleišetumą). Bet tarpinių parametrų reikšmės dažniausia būna netikslios, nerealias.

Šiuo požiūriu ZI metodika jos paskirties aplinkybėse (sirtyse), lyginant su alternatyviomis metodikomis, turi pranašumų.

7. ZI metodikos pagrindas

ZI metodikos pagrindą sudaro:

1. Galimybė lengvai apskaičiuoti konstrukcinių elementų skerspjuvio ploteliuose (stačiakampiuose ploteliuose, sustiprinimuose, susilpninimuose) ašinės jėgos, lenkimo momentus, jėgų ekscentricitetus ([1 ir 2] monografijų 1.6 punktą).
2. Galimybė ω_n ir ω_m parametrais skaičiavimuose imti ne tik kreivines, bet ir kitokių formų (trikampes, stačiakampes, trapėcines, nekintamą dalį kreivinės diagramos ir t.t.) diagramas. Įtempimų galima ir visai nepaisyti.
3. Trys jėgų pusiausvyros lygtys. Dvi iš jų, pirmą ir antrą, ašinių jėgų ir lenkimo momentų, savarankiškos, trečia – gauta iš pirmų dviejų.
4. Skaičiavimams reikia turėti tik konstrukcinio elemento sluoksnių įtempimų-deformacijų priklausomybes.

5. Galimybė teoriškai apskaičiuoti konstrukcinių elementų skerspjūvio neutraliosios ašies realią padėtį. ZI metodu išspręstas labai aktualus ir sudėtingas uždavinys ([1 ir 2] monografijų 2.2.2 poskyris).

8. EN-2 reglamento kreivinė gniuždomo betono įtempių-deformacijų tarpusavio priklausomybė ZI metodikoje ir priklausomybės patikimumo didinimo būdas

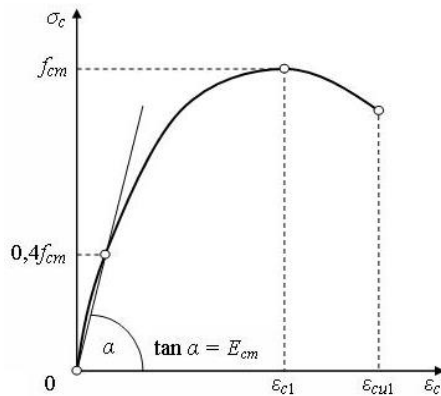
EN-2 ir STR reglamentuose pateikiamos įtempių diagramos (1 pav.) patikimumas yra 50 %. Toks patikimumas gali būti naudojamas, kai analizuojami bandymo rezultatai. Skaičiuojant tinkamumo (SLS) ribinius būvius, reikalingas 95% patikimumas, o skaičiuojant saugos (ULS) ribinius būvius, reikalingas ~100% patikimumas.

EN-2 ir STR reglamentuose pateikiamos tokios 50% patikimumą užtikrinančios formulės ([3] straipsnis):

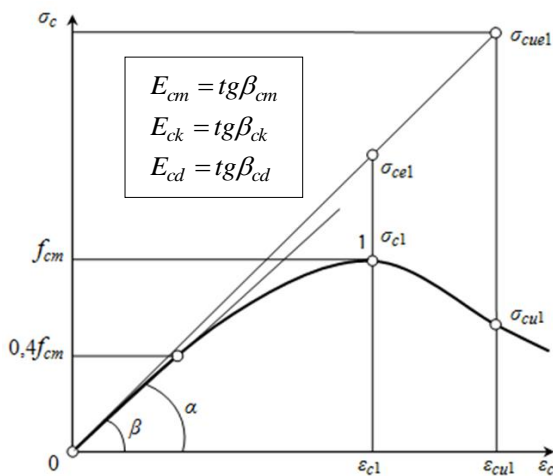
$$E_{cm} = 22(f_{cm}/10)^{0,3} \text{ (GPa); } (f_{cm}, \text{ MPa}) \quad (1)$$

$$\varepsilon_{c1} = 0,7 f_{cm}^{0,31} \leq 2,8 \text{ (‰); } (f_{cm}, \text{ MPa}) \quad (2)$$

$E_{cm} = \tan \alpha$ – kirstinis deformacijų modulis (1 pav.).
 $E_c = 1,05 E_{cm}$ – tamprumo modulis.



1 pav. EN-2 reglamento betono įtempių-deformacijų tarpusavio priklausomybė



2 pav. ZI metodikoje imama 3-čiojo laipsnio betono įtempių-deformacijų tarpusavio priklausomybė

ZI metodikoje:

$$\sigma_c = \nu_c E_c \varepsilon_c \quad (3)$$

$$\nu_c = 1 + c_1 \eta + c_2 \eta^2 = 1 + (3\nu_{c1} - 2)\eta + (1 - 2\nu_{c1})\eta^2 \quad (4)$$

$$\nu_{c1} = \frac{\sigma_{c1}}{\sigma_{ce1}} = \frac{f_c}{E_c \varepsilon_{c1}} \quad (5)$$

$$\eta = \varepsilon_c / \varepsilon_{c1} \quad (6)$$

ZI metodikoje kreivinei betono įtempių-deformacijų tarpusavio priklausomybei (2 pav.) imama:

1. Kai patikimumas 50 %, tai E_{cm} iš (1) formulės, ε_{c1} iš (2) formulės, tamprumo modulis $E_c = 1,05 E_{cm} = tg\beta_{cm}$, $\sigma_{c1} = f_{cm}$.
2. Kai patikimumas 95 %, tai E_{ck} iš (1) formulės, ε_{ck1} iš (2) formulės, vietoje f_{cm} imant f_{ck} ; tamprumo modulis $E_{ck} = tg\beta_{ck}$, $\sigma_{c1} = f_{ck}$.
3. Kai patikimumas ~100 %, tai E_{cd} iš (1) formulės, ε_{cd1} iš (2) formulės, vietoje f_{cm} imant f_{cd} ; tamprumo modulis $E_{cd} = tg\beta_{cd}$, $\sigma_{c1} = f_{cd}$.

3-iojo atvejo realumas patikrintas [3] straipsnyje. Gauti geri rezultatai.

9. Labai trumpa ZI metodikos charakteristika:

Pateikiama gana *paprasta* (suprantama net ir vidutinio lygio technikos studentui), aiški, *universal*, *praktiška*, *vientisa*, *realistiška* (įvertinanti tikrąsias medžiagų savybes) metodika įtempių-deformacijų būvio parametrų konstrukcinių elementų statmenuose skerspjūviuose apskaičiuoti.

Metodika tinka *bet kuriai* apkrovų veikimo stadijai (apkrovimo intensyvumui) skerspjūviams iki plyšimo, ties plyšiu, tarp plyšių.

Visoje ZI metodikos erdvėje galioja vieninga (bendra) galimybių ir reikalavimų ZI metodams sistema.

ZI metodikos galimybės didesnės už šiuo metu analogiškiems tikslams naudojamų kitų metodikų galimybes. Skaičiavimo metodai ir tobulėsi, ir įvairesni. Skaičiavimai realistiškesni, tikslesni. ZI metodikos terpėje galima spręsti uždavinius, kokių anksčiau spręsti negalėjome.

10. Pačios svarbiausios ZI metodikos savybės:

1. Paprastumas.
2. Skaičiavimo rezultatų realumas.
3. Tinkamumas visam galimam apkrovų veikimo diapazonui, net ir ten, kur turimi metodai netinka.
4. ZI metodika galima pakeisti visą šiuo metu naudojamų analogiškuose skaičiavimuose formulių grupių sistemą. Visam apkrovų veikimo diapazonui naudojamos tos pačios dvi lygtys ir iš jų gaunamos formulės (skaičiavimo metodai).
5. Leidžia atlikti skaičiavimus, kokių kitais metodais atlikti negalime.

11. ZI metodikos a k t u a l u m a s

Truputis istorijos:

1. TSRS ir kitų socialistinio bloko valstybių statybinų konstrukcijų projektavimo normų pagrindas – eksperimentai. Tai turi ir teigiamą pusę (skaičiavimo rezultatai artimi tikrovei), bet yra ir neigiamų momentų (formulių kūrimas brangiai kainuoja, o formulės tinka skaičiuoti konstrukcijas, iš kurių bandymo duomenų formulės sukurtos). Kaip teigiamą savybę dar galima paminėti tai, kad nuolatinėje apkrovų veikimo stadijoje (situacijoje), skaičiuojant įlinkius arba plyšių atsivėrimą, kiekvienas iš statmenojo pjūvio įtempių-deformacijų būvio parametru apskaičiuojamas atskirai. Kelių parametru reikšmės nesusumuojamos. Tai padeda suprasti elemento būvio kitimą didėjant apkrovoms ir tai labai svarbu mokant studentus. Dar vienas metodikos trūkumas, kad metodika netinka skaičiuoti konstrukcijas stadijose, artimose plyšių atsiradimui ir elemento suirimui.
2. Kapitalistinio bloko vakarų šalyse pasirinko kitą kelią. Formulės daugiausia kuriamos teoriškai, panaudojant jau turimą teorinį patyrimą (teorinį pagrindą). Skaičiavimai atliekami paprasčiau, bet ir primityviau, nes dažnai naudojama plokščiųjų pjūvių hipotezė ir ten, kur ji nelabai tinka. Todėl skaičiavimo rezultatas dažnai būna labiau nutolęs nuo realybės.
3. **ZI metodika** dalinai kompensuoja aukščiau paminėtus trūkumus. Ji yra teorinė, bet turi 1 punkte paminėtų gerų savybių. Be to, ji yra vientisa, t.y. ta pati metodika ir formulės tinka skaičiuoti esant bet kokiam apkrovimo laipsniui. Visiems ZI metodams galioja ta pati ZI metodikos galimybių ir reikalavimų sistema. Tuo tarpu, 1 ir 2 punktų metodikose atskiriems apkrovimo etapams (elementams be plyšių, plyšimo momentui, elementams su plyšiais nuolatinėje situacijoje, stiprumui apskaičiuoti) naudojamos vis kitos formulės.

12. Šiuo metu dažniausia praktikoje naudojamų ribinių būvių skaičiavimo metodų trūkumai

Šiuo metu dažniausia praktikoje naudojamų ribinių būvių skaičiavimo metuose yra daug trūkumų.

Kai nėra bendros (vientisos) skaičiavimo metodikos ir imamos labai supaprastintos (iškreiptos) skaičiavimo schemas:

- tenka naudoti *daug pataisus koeficientų*;
- šių koeficientų empirinės formulės kartais labai „gremėzdiškos“, sudėtingos, o jų sudarymas – *brangus*;
- pjūvyje ties plyšiu kreiviui apskaičiuoti reikia tempiamosios armatūros ir gniuždomosios zonos kraštinio sluoksnio betono deformacijų. Bet *šiuo metu apskaičiuojami įtempiai, o ne deformacijos*. Deformacijos apskaičiuojamos įtempius dalijant iš deformacijų modulio. Bet jo reikšmė nežinoma. *Parenkamas toks modulis*, kad skaičiavimo rezultatai būtų kuo artimesni bandymo rezultatams;
- *negalima apskaičiuoti arba bent įvertinti plyšių aukščio bei tempiamosios betono zonos virš jų storio*;
- *labai sąlygiškai apskaičiuojama neutraliosios ašies padėtis* (gniuždomosios betono zonos storis);

- *negalima apskaičiuoti* įtempių-deformacijų būvio parametru statmenuose elementu pjūviuose *stadijose prieš plyšių susidarymą ir prieš elementu irimą*;
- *negalima nustatyti* įtempių-deformacijų būvio daugiaatramių nekarpytų elementu plastiškumo lankstumo, t.y. kai laikymo galia mažėja dėl to, kad armatūros įtempiai viršija takumo ribą ir (arba) gniuždomosios zonos betono įtempiai viršija betono stiprumo ribą ir pradeda mažėti;
- nėra galimybės apskaičiuoti elemento stiprumo atsargą, kai armatūros įtempiai viršija takumo įtempius;
- *nėra metodo* elementu deformacijų-įtempių būklei nustatyti pagal išmatuotus plyšių parametrus (plyšių plotį, aukštį ir atstumą tarp plyšių) stadijose, kai apkrovos viršija eksploatacines apkrovas;
- *negalima tyrinėti* mastelio ir įtempių gradiento įtakos įtempių diagramai ir apskaičiuojamų parametru reikšmėms.

13. ZI metodikos esmė:

1. Nagrinėjama *lenkimo momentu ir (arba) ašinių jėgu* veikiamų (lenkiamų ir gniuždomų) konstrukcinių elementu jėgu pusiausvyra elemento skerspjūvyje (statmenname elemento ašiai pjūvyje). Visos jėgos veikia *elemento skerspjūvio simetrijos plokštumoje*.
2. Metodikos *pagrindą* sudaro:
 - 2.1. Visoje ZI metodikos erdvėje galioja vieninga (bendra) galimybių ir reikalavimų ZI metodams sistema.
 - 2.2. *Įtempių kreivinių* ir kitokių formų *diagramų panaudojimas*. Kadangi panaudojamos realios medžiagu įtempių-deformacijų tarpusavio priklausomybės, tai ir *apskaičiuotų parametru* (plyšio aukščio, gniuždomos bei tempiamos zonu aukščio, deformacijų ir įtempių) *reikšmės* taip pat yra *realios*.
 - 2.3. *Patogus* stačiakampiam plotelyje veikiančių įtempių atstojamosios *F jėgos ir jos M momento* apie plotelio kraštą bei jėgos vietos stačiakampiam plotelyje *apskaičiavimas*. *F jėgos padėtis* apskaičiuojama labai paprastai: *e* ekscentricitetas lygus M/N .
 - 2.4. *Galimybė* vietoje įtempių realios kreivinės diagramos formulėse *panaudoti* ir *įvairias kitokias diagramas*: „sustingusią“ dalį kreivinės diagramos, stačiakampę, trikampę ir kt. diagramą. Įtempių galima ir visai nepaisyti.
 - 2.5. *Galimybė* skaičiavimuose įvertinti *nukrypimus nuo plokščiojo pjūvio (Bernoulli) hipotezės*.
 - 2.6. *Jėgu statinės pusiausvyros sąlygos*.
3. Metodas gana paprastas, aiškus, universalus, vientisas, praktiškas:
 - 3.1. Kad galima būtų sėkmingai naudoti metodą, *užtenka turėti* inžinerinių bakalaurinių *žinių pagrindus* iš studentams dėstomo *tamprių medžiagu atsparumo, statybinės mechanikos ir statybinų konstrukcijų kurso*.
 - 3.2. Ta pati *vieninga (vientisa) metodika* tinka bet kuriam apkrovų veikimo momentui (apkrovimo stadijai) *nuo pat apkrovų veikimo pradžios* iki ele-

- mento suirimo ir net laikymo galios mažėjimo stadijoje (pvz., daugiaatramių nekarpytų sijų atramų skerspjūviuose). *Galima apskaičiuoti* ne tik elemento stiprumą, atitinkantį armatūros takumo ribą, bet ir *maksimalų elementų stiprumą*, ir taip sužinoti, kokia yra papildoma šiuo metu kiekybiškai neįvertinama stiprumo atsarga.
- 3.3. *Galima skaičiuoti apkrovų veikimo stadijose, artimose plyšių atsiradimo arba irimo stadijoms.* Šiuo metu kito šiam tikslui skirto parankaus teorinio (ne eksperimentinio) metodo nėra.
 - 3.4. *Metodas tinka* parametrų apskaičiuoti *elementų be plyšių skerspjūviuose, elementų su plyšiais skerspjūviuose ties plyšiu arba tarp plyšių.*
 - 3.5. Konstrukciniai *elementai gali būti iš betono (įvairaus), metalo, medžio, plastiko, kompleksiniai, sluoksniuoti.*
 - 3.6. Bendroju atveju konstrukcinio *elemento skerspjūvis gali būti bet kokios formos, su sustiprinimais ir susilpninimais, nearmuotas, armuotas plienine ir neplienine* (pvz., stiklo arba anglies pluošto ir kt.) *armatūra bet kuriame elemento aukštyje* (nebūtinai sukoncentruota elemento aukščio kraštuose). Armatūra gali būti *iš anksto neįtempta, įtempta, mišri.* Jo sluoksniai gali būti įvairių formų, iš įvairių medžiagų.
4. Nagrinėjami 3-čio ir 5-to laipsnio įtempių diagramų atvejai. *Pirmas atvejis – paprastesnis, antras – universalesnis.*
 - 4.1. *Pirmas atvejis, 3-čio laipsnio įtempių diagramų panaudojimo atvejis, – paprastesnis.* Daugiau dėmesio skiriama 3-čio laipsnio diagramai, nes taip galima išspręsti labai daug svarbiausių praktinių uždavinių paprastesniu būdu. Daugeliu atvejų skaičiavimo šiuo būdu tikslumas yra pakankamas ir nemažesnis arba nedaug mažesnis už skaičiavimo tikslumą, kai panaudojama sudėtingesnė 5-to laipsnio diagrama.
 - 4.2. *Antras atvejis, 5-to laipsnio įtempių diagramų panaudojimo atvejis, – universalesnis, tikslesnis, bet ir sudėtingesnis.* Tikslinga naudoti tuo atveju, kai domina visa įtempių diagramos „krintanti“ dalis.
 5. Nagrinėjami du sijos sluoksnių skerspjūvyje dalijimo į skaičiuotinius plotelius atvejai:
 - 5.1. *Pirmuoju atveju* pasirenkami bet kurios medžiagos bet kokio dydžio ploteliai. Pasirinktoje plotelio vietoje (dažnai geometriniam centre) apskaičiuojamos deformacijos ir įtempiai. *Įtempiu atstojamoji jėga imama lygi įtempių ir plotelio ploto sandaugai, t.y. laikoma, kad visame plotelyje įtempių dydis yra vienodais.*
 - 5.2. *Antruoju atveju* pagrindinės elemento dalies ploteliai (sluoksniai) yra stačiakampės formos. Šių plotelių aukštyje įtempiai kinta pagal pasirinktos (3-čio arba 5-to laipsnio) funkcijos dėsnį.
 - 5.3. Dažniausia parankus būna *mišrus* būdas.
 6. Nagrinėjami *du skaičiavimo variantai:*
 - 6.1. Bendresnis ir universalesnis *iteracinis* (nuoseklus artėjimo) skaičiavimo būdas.
 - 6.2. *Tiesioginis* (be artėjimo) skaičiavimo metodas.
 - 6.3. Kartais būna patogus *mišrus* (iteracinio ir tiesioginio metodų derinio) metodas.
 7. Yra tyrimo rezultatų, patvirtinančių metodikos realumą, ir duomenų, kuriuos jau dabar galima panaudoti praktikoje, pavyzdžiui:
 - 7.1. Lenkiamų konstrukcinių gelžbetoninių elementų stiprumo apskaičiavimas, panaudojant realesnę kreivinę betono įtempių diagramą (šiuo metu daugiausia naudojama stačiakampė diagrama). Logiškiau apskaičiuojamas gausiai armuotų elementų stiprumas. Nebereikia naudoti empirinės formulės, skirtos maksimaliam gniuždomosios betono zonos storiui (neutraliosios ašies padėčiai) apskaičiuoti.
 - 7.2. Teoriškai sprendžiamas vienas iš labai svarbių sudėtingų gniuždomosios betono zonos storio (neutraliosios ašies padėties) apskaičiavimo klausimas. Šiuo metu skaičiuojama arba labai apytiksliai (panaudojama plokščiųjų pjūvių hipotezė), arba panaudojant empirinę formulę. Pastarosios empirinis gavimas ir tobulinimas – sudėtingas ir brangus. Ir tai skirta tik apskaičiavimui pastatų naudojimo stadijoje (taip vadinamoje ilgalaikėje situacijoje).
 - 7.3. Teoriškai apskaičiuojamas gelžbetoninių elementų armatūros išankstinio įtempio toks dydis, kad skaičiuotinėje elemento irimo stadijoje vienu metu prasidėtų armatūros takumas (arba būtų pasiektas kitas pasirinktas įtempio dydis) ir gniuždomosios zonos betono įtempio reikšmė būtų lygi pasirinktai reikšmei (pavyzdžiui, stiprumo ribai).
 - 7.4. Dabartinėje praktikoje konstrukcinių elementų įtempių-deformacijų būvio parametrus statmenuose elementų ašiai pjūviuose apskaičiuoti imamas stačiakampis skerspjūvis su lentynomis (arba lentynų gembėmis) arba be jų. Šitiems atvejams monografijose yra paruošta metodika ir formulės.
 - 7.5. Daugiausia dėmesio skiriama gelžbetoniniams elementams, nes jų skaičiavimas sudėtingiausias: elementai gali būti su plyšiais tempiamoje zonoje ir be jų. Bet metodika ir formulės tinka ir elementams iš kitokių medžiagų.
 - 7.6. ZI metodą jau dabar naudoja ŠU ir VGTU studentai. Pavyzdžiui, ŠU bakalaurantai yra skaitę mokslinius pranešimus ir paskelbę straipsnius. VGTU magistrantai ZI metodą panaudojo magistriniuose darbuose.
 8. ZI metodas yra lyg ir šiuo metu naudojamo tamprių medžiagų įtempių-deformacijų būvio parametrų skaičiavimo metodo *išvystymas*; metodas tinka ir tamprių-plastiškų, ir tamprių medžiagų atveju. Pritaikius metodo bendrąsias formules tamprių medžiagų atvejui, atskirais atvejais gaunamos šiuo metu naudojamos tradicinės medžiagų atsparumo formulės. Metodas yra ir fundamentinio, ir taikomojo pobūdžio ir turi išliekamąją vertę.
 9. ZI metodo *galimo panaudojimo pavyzdžiai:*
 - 9.1. Konstrukcinių *lenkiamų ir gniuždomų elementų skaičiavimas*, pvz. pastatų konstrukcinių elementų (sijų, kolonų), tiltų ir viadukų sijų ir atramų, santvarų strypų skaičiavimas ir pan.

- 9.2. Konstrukcinių elementų tyrimas.
- 9.3. *Paprastesnių* (skirtų apytiksliai skaičiuoti) *skaičiavimo metodų kūrimas ir tikrinimas* (testavimas).
- 9.4. Konstrukcinių elementų projektavimo *reglamentų tobulinimas*.
- 9.5. *Mokymo priemonių* statybos inžinerijos studentams mokyti *rengimas*.
- 9.6. Statybos inžinerijos *studentų ruošimas mokslinei veiklai*.
10. *Reikia turėti tik medžiagų įtempių-deformacijų diagramą*, ZI metodu aprašytą daugialaipinio daugianario (polinomo) forma. Jeigu diagrama sudaryta, įvertinant ilgalaikį apkrovų veikimą, arba mastelio faktorių, arba įtempių diagramos gradientą ir pan., tai gaunami ir atitinkantys šias sąlygas rezultatai. Taip galima įvertinti ir apkrovos ilgalaikio veikimo (medžiagos valkšnumo) faktorių.
11. Kadangi panaudojamos realios medžiagų įtempių-deformacijų tarpusavio priklausomybės, tai ir *apskaičiuotų parametrų* (plyšio aukščio, gniuždomos bei tempiamos zonų storio, deformacijų ir įtempių) *reikšmės* taip pat yra realios.

14. Deformaciniai (deformacijų) modeliai

Sąvokos:

Tiesinis (tamprus) deformacinis (deformacijų) modelis. Jo esmę sudaro tamprių medžiagų įtempių-deformacijų diagramų panaudojimas.

Kreivinis (kreivalinijinis) deformacinis modelis. Čia panaudojamos kreivinės įtempių-deformacijų diagramos.

Mišrus deformacinis modelis. Naudojamos įvairios įtempių-deformacijų priklausomybių formos.

Techniškųjų specialybių studentams dėstomame medžiagų atsparumo kurse dominuoja tiesinis modelis.

Europiniuose ir Lietuvos konstrukcijų skaičiavimo reglamentuose (normatyvuose) dominuoja mišrus modelis dažnai su labai tolimomis nuo realybės supaprastintomis pradinėmis įtempių diagramomis.

ZI metodikoje galimas visų minėtų deformacijų modelių panaudojimas. Pavyzdžiui, paimkime tokias armuotas konstrukcijas, kaip gelžbetonis. Joms skaičiuoti šiuo metu daugiausia panaudojamas ribinių būvių metodas. Metodas sudarytas iš saugos (ULS) formulių grupės ir tinkamumo ribinių būvių (SLS) formulių grupės. Ribinių būvių metodikos formulių grupių panaudojimas leidžia tenkinti pagrindinius praktikos galutinius poreikius (apskaičiuoti konstrukcijų stiprumą, kreivius, įlinkius, pleišėtumą). Bet tarpinių parametrų reikšmės dažniausia būna netikslios, nerealiai. Daugelio uždavinių iš viso negalima spręsti.

Galimybė ZI metodikoje panaudoti kreivines įtempių-deformacijų priklausomybes leidžia pakeisti visas šiuo metu naudojamos pagrindinės konstrukcijų ribinių būvių skaičiavimo metodikos formulių grupes dviem lygtimis. Tai yra keičiama visa skaičiavimo sistema.

Jeigu ZI metodikoje imama įtempių diagrama atitinka konstrukcijos skaičiavimo metu esamą įtempių diagramą, skaičiavimo rezultatai bus absoliučiai tikslūs. Bet tokią diagramą reikia turėti.

Jeigu konstrukcijoms skaičiuoti imamos įtempių-deformacijų diagramos, gaunamos bandant medžiagas, tai

gali tekti panaudoti patikslinimų. Bet jų jau ne taip daug ir jie ne tokie reikšmingi.

Atsiranda galimybė spręsti uždavinius, kuriu ankstesniais metodais iš viso negalima buvo spręsti.

Skaičiavimo metu kreivinę diagramą galima keisti ir per ją įvertinti *mastelio faktoriaus*, *įtempių gradiento*, *įtempių valkšnumo* įtaką skaičiavimo rezultatams.

Galimybė ZI metodikoje panaudoti ne tik kreivines įtempių-deformacijų priklausomybes leidžia palyginti gaunamus skaičiavimo rezultatus su kitais metodais gaunamais rezultatais. Ir ne tik tai. Kitais metodais gaunamus gerus rezultatus galima panaudoti ir ZI metodikai tobulinti.

Kadangi konstrukcijų skaičiavimuose labai svarbus, nors ir gana sudėtingas, elemento neutraliosios ašies realios padėties apskaičiavimas, tai toliau daugiau apie tai. Šis klausimas ZI metodikoje išspręstas. Tam skirtos *trečioji* arba *ketvirtoji* lygtis.

Pirmoji lygtis – ašinių jėgų projekcijų statinės pusiausvyros lygtis.

Antroji lygtis – lenkimo momentų statinės pusiausvyros lygtis.

Trečioji lygtis – iš pirmosios ir antrosios lygčių gauta jų bendra lygtis.

Ketvirtoji lygtis – trečioji lygtis, paruošta skaičiuoti tiesiogiai (be artėjimo ciklų).

Trečiosios ir *ketvirtosios* lygčių svarba ir paskirtis ta pati. Todėl vėliau vis minima trečioji lygtis.

ZI metodikos ir skaičiavimo metodų branduolį sudaro *dvi pirmosios* lygtis ir iš jų gauta *trečioji* lygtis, tai apie tai straipsnyje pateikiama daugiau informacijos.

15. Trečiosios lygties svarba ir paskirtis (monografijų 2.3 papunktis)

STR'e [STR 2.05.05:2005] neutraliosios ašies padėčiai (dydžiui ξ) apskaičiuoti panaudojama eksperimentinė formulė. Suprantama, ji ir tinka atvejams, kuriems atlikti bandymai, o bandymo duomenys panaudoti formulei gauti. Tai eksperimentinės formulės trūkumas. Be to, formulė gauta iš trumpalaikių bandymų ir yra ganėtinai sudėtinga. Formulei gauti panaudota labai supaprastinta sąlyginė įtempių pasiskirstymo elemento gniuždomojoje zonoje stačiakampė diagrama. Tempiamosios zonos betono įtempių nepaisoma. Tai duoda ne realias, bet sąlygines ξ reikšmes. Euronormų metodikoje trečiosios lygties vaidmuo tenka tiesinei priklausomybei – Bernoulli plokščiųjų pjūvių hipotezei. Be to, ir euronormų metodikoje imamos supaprastintos skaičiavimo schemas.

Euronormose yra kreivinės gniuždomo betono įtempių diagramos formulė, bet nėra jos panaudojimo metodikos. ZI metode galima imti ne tik realesnes įtempių diagramas, bet ir galima atsižvelgti į nuokrypius nuo plokščiųjų pjūvių hipotezės. Yra teorinė galimybė nagrinėti mastelio įtaką skaičiavimo rezultatams.

Surašius ZI metodo lygtyse tam tikras koeficientų reikšmes, lygtys tinka ir tampa plastikai, ir tampa medžiagai: betonui, plastikui, medžiui, metalui ir pan.

16. Svarbiausi trijų lygčių sistemos privalumai ir panaudojimo galimybės (monografijų 2.5 papunktis):

1. ZI metodikos ZI metodo lygtys yra teorinės lygtys. Bandymai reikalingi tik medžiagų $\sigma - \varepsilon$ diagramoms gauti ir teoriniams teiginiams patikrinti.
2. Apskaičiuojama kiekvieno statmenųjų pjūvių parametro reikšmė atskirai, o ne dviejų ar kelių parametrų suminės reikšmės.
3. Apskaičiuojamos ne sąlyginės, bet realios parametrų reikšmės.
4. ZI metodas jam priskiriamoje srityje gana universalus
5. *Formules, skirtas gausiai armuotiems elementams skaičiuoti ZI metodu, galima panaudoti įvairiems kitiems uždaviniams spręsti, pvz.:*
 - 1) galima apskaičiuoti sijinio elemento, veikiamo naudojimo situacijos lenkimo M_{Ek} momento, įtempių-deformacijų būvio parametrus ties plyšiu (B.6.1 poskyris, D priedas);
 - 2) galima apskaičiuoti racionalų armatūros išankstinį įtempį, pvz., tokį įtempį, kad veikiant $M_{Ed} \leq M_{Rd}$ momentui, turėtume pageidaujamą suminę įtemptos armatūros reikšmę $\sigma_s = \sigma_p + \Delta\sigma_{s,d}$ (B.6.2 poskyris).
6. ZI metodo pagrindas yra techninių specialybių studentams dėstomų disciplinų pagrindai, tik vietoje tamprių medžiagų lygčių sudarytos tamprių plastiškų medžiagų lygtys. ZI metodo lygtys yra plačiai naudojamų tamprių medžiagų formulių galimybių ribų išplėtimas – tinka ne tik tamprioms, bet ir tamprioms plastiškoms medžiagoms. Surašius ZI metodo lygtyse kai kurių koeficientų reikšmes (vienetus, nulius), atskirais atvejais gaunamos tamprių medžiagų formulės. Nors ZI metodas yra gana universalus (leidžia spręsti daugybę uždavinių), bet yra palyginti nesudėtingas – jį gali suprasti ir panaudoti asmenys, turintys universitetuose dėstomų techninių disciplinų (teorinės ir statybinės mechanikos bei medžiagų atsparumo) pagrindus.
7. Tam tikrais gana dažniais atvejais iš bendrųjų lygčių, kurias naudojant bendruoju atveju skaičiuojama nuoseklaus artėjimo metodu, galima gauti tiesioginio (be nuoseklaus artėjimo) skaičiavimo lygtis [Židonis 2009; Židonis 2010b; Židonis 2012]. Bet ne visuomet tikslinga jas naudoti. Pavyzdžiui, kai nereikia vertinti tempiamo betono virš plyšio, paprastesnis būna iteracinis metodas. [1 ir 2] monografijų F.4 pavyzdyje tempiamas betonas virš plyšio vertinamas. Pirmame artėjimo cikle elemento gniuždomos zonos storis, apskaičiuotas iš (3.156) formulės, yra 8.09 cm. Kai tempiamas betonas virš plyšio nevertinamas, elemento gniuždomos zonos storiui apskaičiuoti galima panaudoti paprastesnę (2.106) formulę. Rezultatas – 8.00 cm. Be kito ko, čia matyti, kokią nedidelę įtaką gali daryti gniuždomos zonos storiui tempiamo betono virš plyšio vertinimas ir kaip tas nevertinimas leidžia supaprastinti skaičiavimą.
8. Pagal [1 ir 2] monografijų 2 skyriaus formules galima vertinti tempiamo betono įtaką elementuose be plyšio arba skaičiuoti skerspjūviuose ties plyšiu, kai tempiamo betono darbas nevertinamas. Norint vertinti tempiamo betono virš plyšio įtaką, reikia skaičiuoti pagal [1 ir 2] monografijų 3 skyriaus formules – žr. monografijų F.4

pavyzdį. Tempiamo betono virš plyšio įtaką galima įvertinti ir skaičiuojant pagal [1 ir 2] monografijų 2 skyriaus formules. Bet tuomet 2 skyriaus formulėse reikia panaudoti 3 skyriuje pateiktą tokią rekomendaciją: lygtyse ω_{nt} dauginami iš η_{tue}^2 , ω_{mt} – iš η_{tue}^3 , o parametras $d_u = x_{tu} - x_w = h$ keičiamas parametru a_ε ; patariama imti $a_\varepsilon = 0$ – gaunamos paprastesnės formulės. $\eta_{tue} = \varepsilon_{0tu} / \varepsilon_{0\varepsilon}$. Pavyzdžiui, taip skaičiuojant [1 ir 2] monografijų F.4 uždavinį pagal 2 skyriaus formules gaunamas toks pat rezultatas, kaip ir yra apskaičiuota pagal 3 skyriaus formules. Skaičiavimas pagal 2 skyriaus formules net paprastesnis, negu pagal 3 skyriaus formules..

9. Per įtempių-deformacijų diagramą galima vertinti mastelio ir įtempių gradiento įtaką skaičiavimo rezultatams.
10. ZI metodas gali būti panaudotas atvirkštiniam uždaviniui spręsti, kai pagal statmenųjų plyšių eksperimentinius parametrus (aukštį, plotį ir atstumą tarp plyšių) nustatomas elemento įtempių-deformacijų būvis [Жидонис et al. 1981].
11. ZI metodas gali būti panaudotas kaip etalonas supaprastintiems skaičiavimo metodams kurti ir tikrinti.

17. Pagrindiniai tyrimų rezultatai (žr. monografijų 4 skyrių)

Čia pateikiami įvairiose publikacijose esančios informacijos apie ZI metodiką ir metodus tyrimo rezultatai.

Metodikos autoriaus pagrindiniai tyrimo rezultatai:

1. Parengtas matematinis modelis (formulės ir metodika) kreivinėms σ įtempių ir ε deformacijų tarpusavio priklausomybėms aprašyti lengvai integruojamais polinomais (daugialaisniais daugianariais).

2. Parengti du ZI metodo matematinio modelio variantai (a – nuoseklaus artėjimo ir b – tiesioginio skaičiavimo) ir trys metodo formulių variantai (nuoseklaus artėjimo formulės; tiesioginio skaičiavimo universalesnės formulės, kai panaudojama 5-to laipsnio $\sigma - \varepsilon$ lygtis, ir tiesioginio skaičiavimo paprastesnės formulės, kai panaudojama 3-io laipsnio $\sigma - \varepsilon$ lygtis; t.y. antrame matematinio modelio variante yra du formulių variantai):

3. Atlikta daug gelžbetoninių ir betoninių sijų eksperimentinių bandymų ir jų rezultatų teorinių analizių. Jie patvirtina siūlomo metodo tinkamumą [Жидонис 1973, 1980b, 1984, 1985, 1987, 1989, 1995; Жидонис, Мелис 1980, 1981; Жидонис, Ругенюс 1980; Жидонис, Ругенюс, Мелис 1980; Жидонис И., Жидонис А., Йокубайтис 1981; ir kt.; zidonis.su.lt].

18. Svarbiausios metodikos išvados (žr. monografijų 4 skyrių)

Čia pateikiamos įvairiose publikacijose esančios informacijos apie ZI metodiką ir metodus išvados:

1. Pateikta autoriaus sukurta ZI metodika ir lengvai integruojamos formulės įvairių tamprių plastiškų medžiagų įtempių-deformacijų priklausomybėms aprašyti. Formulės gerai tinka pakeisti įprasto gniuždomo betono euronormų kreivinei įtempių-deformacijų priklausomybei lengvai integruojamu polinomu.

2. Kai reikia aprašyti įtempių-deformacijų priklausomybės „kylantį“ intervalą, yra paranki paprasta 3-io laipsnio priklausomybė. Atskirais atvejais ši priklausomybė patenkinamai aprašo ir mus dominančią „krintančio“ intervalo dalį.

3. Kai reikia aprašyti ne tik „kylančią“ įtempių-deformacijų priklausomybės dalį, bet ir visą „krintančią“ dalį, gerai tinka 5-to laipsnio priklausomybė.

4. Pasiūlytas būdas EN-2 reglamento kreivinės gniuždomo betono įtempių-deformacijų tarpusavio priklausomybės patikimumą ZI metodikoje padidinti nuo 50 % iki 95 % ir ~100 %.

5. Kai apskaičiuojamas lenkiamųjų elementų stiprumas, ZI metodu aprašytos kreivinės lenkiamųjų elementų gniuždomosios zonos betono įtempių diagramos panaudojimas vietoje tradiciškai imamos sąlyginės stačiakampės diagramos yra logiškas ir nesudėtingas.

6. ZI metodu apskaičiuojant gausiai armuotų gelžbetoninių elementų stiprumą, **nebereikia** iš bandymų formulės **skaičiuojamo gniuždomosios zonos maksimalaus storio**.

7. Pateikiama nuoseklaus artėjimo (iteracinė) vientisa ZI metodika yra gana universali ir duoda galimybę (kai panaudojamos kreivinės įtempių diagramos) apskaičiuoti medžiagų deformacijų ir įtempių, tempiamosios ir gniuždomosios zonų storio, plyšio aukščio realias, tikras, ne sąlygines reikšmes. Apskaičiuojamos ne suminės dviejų ar daugiau parametrų reikšmės, bet kiekvieno parametro reikšmė atskirai. Tai leidžia nagrinėti kiekvieno parametro įtaką kitų parametrų reikšmėms.

8. Iš bendriausių (bet ir sudėtingiausių) formulių lengvai galima gauti dažniausia praktikoje pasitaikančių atvejų paprastesnes formules – lenkimo momentų ir ašinių jėgų veikiamiems dvitėjo, tėjinio, stačiakampio skerspjuvio elementams skaičiuoti.

9. Elementų su lentynomis briaunos ir lentynų medžiaga gali būti skirtinga arba vienoda. Antro atvejo formulės paprastesnės.

10. Skaičiavimui reikalingos tik medžiagų įtempių-deformacijų diagramos.

11. Vietoje kreivinių galima panaudoti ir nekreivines (trikampes, stačiakampes) arba „sustingusias“ kreivines ir kitokias įtempių diagramas; įtempių, pavyzdžiui, tempiamosios zonos, galima ir visai nepaisyti.

12. Metodika ir formulės tinka skaičiuoti ir tamprių medžiagų atveju (panaudojamos trikampės įtempių diagramos).

13. Elementai gali būti bet kokios skerspjuvio formos, nearmuoti arba įvairiai armuoti iš anksto neįtempta, įtempta arba mišria armatūra bet kurioje elemento aukščio vietoje, betoniniai, gelžbetoniniai, mediniai, metaliniai ir kt. arba sluoksniuoti, be plyšių arba su plyšiais.

14. Galima skaičiuoti pjūviuose be plyšių, ties plyšiu, tarp plyšių. Galima nagrinėti bet kurią apkrovimo stadiją, net ir laikymo galios mažėjimo plastiškumo lankstuose stadiją.

15. Galima įvertinti skerspjuvio sluoksnių tarpusavio prisilinkimą, t.y. medžiagų deformacijų nukrypimą nuo deformacijų, gaunamų taikant plokščiųjų pjūvių hipotezę.

16. Įspręstas labai svarbus ir sudėtingas neutraliosios ašies realios vietos nustatymo uždavinys. ZI metodu neutraliosios ašies padėtį galima apskaičiuoti *teoriškai* net ir

tuo atveju, kai žinomos tik lenkimo momento ir (arba) ašinės jėgos reikšmės, bet iš anksto nežinoma nė vieno sluoksnio deformacijos reikšmė. Tai labai svarbu, kai konstrukcijos yra veikiamos nuolatinės (naudojimo) situacijos apkrovų, nes šiuo metu šiam tikslui naudojamos arba empirinės formulės, arba skaičiuojama labai apytiksliai.

17. Bendruoju atveju skaičiuojama nuoseklaus artėjimo (iteracijų) būdu. Bet galimos ir išimtys. Galimas ir tiesioginis (be artėjimo ciklų) skaičiavimas. Pavyzdžiui, kai žinomi elemento įtempių diagramos parametrai $v = const$, $\omega_n = const$ ir $\omega_m = const$, skaičiavimų kartoti nereikia.

18. ZI metodas yra lyg ir A. Rozenbliumo teorijos tolesnis išvystymas. A. Rozenbliumo teorija taikoma tik iki nuolatinės (naudojimo) situacijos apkrovų. ZI metodika apima visą galimą apkrovimo intervalą nuo apkrovimo pradžios iki elemento suirimo. Be to, ZI metode galima panaudoti įvairesnes medžiagų įtempių diagramas. A. Rozenbliumo ir reglamentų metoduose pjūvyje ties plyšiu apskaičiuojami gniuždomosios zonos kraštinių betono sluoksnių įtempiai. Kreiviui apskaičiuoti reikia deformacijų. Deformacijos apskaičiuojamos įtampius dalijant iš deformacijų modulio. Bet jo reikšmė nežinoma. *Modulis parenkamas* taip, kad skaičiavimo rezultatai būtų kuo artimesni bandymo rezultatams. ZI metodikoje tokios problemos nėra – apskaičiuojamos deformacijos;

19. A. Rozenbliumo formulės yra patikrintos bandymais (taip pat ir autoriaus). Todėl galima laikyti, kad tame apkrovų diapazone yra patikrintos ir ZI metodo formulės. Rezultatai, gauti tradiciniais metodais, kurie yra pagrįsti bandymais, ir ZI metodu, yra artimi. Tai reiškia, kad ZI metodas yra realus. Galima teigti, kad ZI metodas jau yra iš dalies patikrintas bandymais, nes kreivinė diagrama yra panaudota [Жидонис 1973, 1974, 1985, 1987, 1988, 1989, 1995 ir kt.] autoriaus darbuose.

20. ZI metodo pagrindai jau sukurti. Metodą jau dabar galima naudoti kai kuriems praktiniams tikslams (pvz., lenkiamųjų elementų stiprumui apskaičiuoti) ir įvairiems teoriniams tyrimams. ZI metodo pateikimo monografijoje pagrindinis tikslas – paskelbti matematinį modelį, kad galima būtų jau dabar jį naudoti. Turint galvoje metodo universalumą, ateityje reikia tęsti metodo panaudojimo galimybių praktiniams tikslams tyrimą. Toliau reikėtų metodą kompiuterizuoti. Tai leistų lengvai, paprastai ir greitai atlikti daug teorinių tyrimų. Reikia atlikti kai kuriuos papildomus eksperimentinius tyrimus, bet tai jau tolesnių darbų temos.

21. Pateikta metodika ir formulės leidžia įtempių-deformacijų būvio parametrų reikšmes lenkiamųjų elementų be plyšių ir su plyšiais statmenuose pjūviuose apskaičiuoti ZI metodu tiesiogiai (be nuoseklaus artėjimo ciklų) net ir tuo atveju, kai iš anksto nežinomos, t.y. kinta v , ω_n ir ω_m reikšmės ($v \neq const$, $\omega_n \neq const$, ir $\omega_m \neq const$).

22. Elementai gali būti sluoksniuoti (1, 2.2, 2.3 pav.), stačiakampio skerspjuvio arba su lentynomis, betoniniai, gelžbetoniniai, mediniai, metaliniai ir kt. Elemento dalių medžiaga gali būti įvairi: briaunos – viena, lentynų – kita, sustiprinimų (susilpninimų) – trečia, armatūros – ketvirta. Armatūra gali būti ne tik sukonzentruota tempiamosios arba gniuždomosios zonos kraštuose, bet ir bet kurioje elemento tempiamosios ir gniuždomosios zonos aukščio

vietoje. Ji gali būti neįtempta, iš anksto įtempta arba mišri. Galima įvertinti armatūros deformacijų nukrypimą nuo deformacijų, atitinkančių plokščiųjų pjūvių (Bernoulli) hipotezę.

23. Galima panaudoti realias kreivines medžiagų įtempių diagramas, todėl ir apskaičiuojamos parametrų (gniuždomosios ir tempiamosios zonų aukščio, plyšio aukščio (gylio), medžiagų deformacijų ir įtempių ir kt.) reikšmės yra realios, ne sąlyginės, ne integruotos (ne suminės).

24. Pasirinkus kurio nors vieno medžiagos sluoksnio deformaciją (pvz., gniuždomosios arba tempiamosios zonos betono arba armatūros deformaciją), galima apskaičiuoti plyšimo momentą, įtempių-deformacijų būvio parametrus pjūviuose tarp plyšių arba ties iš anksto žinomo aukščio plyšiu, apskaičiuoti irimo momento arba išilginės jėgos reikšmės, arba armavimą (armatūros skerspjuvio plotą).

25. Galima panaudoti ne tik kreivines, bet ir kitokių formų (stačiakampes, trikampes) arba „sustingusias“ kreivines su nekintančiais ω_n ir ω_m ir kt. parametrais diagramas. Įtempių galima ir nepaisyti.

26. Kadangi ZI metodikoje lenkimo momentai yra imami apie bet kurią $a-a$ ašį, esančią a_a atstumu nuo $w-w$ ašies, tai galima, sprendžiant konkretų uždavinį, pasirinkti geriausią šios ašies vietą ir supaprastinti skaičiavimą.

27. Kai sudaromos lenkimo momentų statinės pusiausvyros lygtys, dažniausia paprastesnis variantas gaunamas, imant momentus apie $w-w$ ašį, esančią elemento gniuždomajame krašte, ir $\varepsilon_\varepsilon = \varepsilon_w$

28. ZI metodika tinka skaičiuoti įvairius konstrukcinių elementų parametrus esant bet kuriai apkrovimo stadijai.

29. Kai panaudojamos 5-to (dažnai ir 3-čio) laipsnio įtempių lygtys, galima skaičiuoti net ir daugiaatramių nekarpytų sijų parametrus lankstuose lenkimo momentų mažėjimo stadijoje.

30. Kai medžiagų įtempiai neviršija didžiausių reikšmių (neviršija medžiagų stiprio), t.y. deformacijos ne didesnės už atitinkančias ekstrėminę įtempių reikšmę, pvz., pastatų naudojimo stadijoje (nuolatinėje situacijoje), galima panaudoti ne 5-to, bet paprastesnę 3-io laipsnio įtempių priklausomybę, nes įtempių-deformacijų grafiko „kylančios“ dalys abiem atvejais nedaug skiriasi. Dėl to ZI metodo formulės supaprastėja. Šiame variante atskirais atvejais gali būti panaudojama ir „krintanti“ dalis, bet tai konkrečiu atveju tenka patikrinti.

31. Kai iš anksto nežinoma nė vieno sluoksnio deformacijos reikšmė (tuomet žinomos išorinės apkrovos ir jų sukeltos įrašos – M , N) neutraliosios ašies padėčiai apskaičiuoti tikslinga naudoti *trečiąją* statinės pusiausvyros lygtį. Bet ten, jeigu reikia tikslinti ε_w , kartu ir $\eta_{0ax} = \varepsilon_{0e} / \varepsilon_{0cm} = \varepsilon_w / \varepsilon_{0cm} \neq const$, skaičiavimą tenka kartoti.

32. Bendruoju atveju tiesiogiai skaičiuoti galima tuomet, kai iš anksto žinoma kurio nors sluoksnio deformacijos reikšmė. Elementams su lentynomis iš anksto reikia žinoti, ar lentyna gniuždoma, ar tempiama. Taip pat reikia žinoti, kuri armatūra yra tempiamojoje, o kuri gniuždomojoje zonoje. Kitais atvejais skaičiavimus tenka kartoti.

33. Kintamą įtempių pasiskirstymą lentynų kraštuose (gembėse) tiesioginiame skaičiavime galima įvertinti dviem būdais: 1) tikslesniu, bet ir sudėtingesniu būdu, imant faktišką įtempių pasiskirstymą gembėse, arba 2) apytiksliu, bet paprastesniu būdu, kai faktiška įtempio reikšmė imama tik gembių centre arba kitame pasirinktame taške; tokie įtempiai imami ir visame gembių plote; norimą tikslumą galima pasiekti, gembių plotus skirstant į mažesnius plotelius ir jiems taikant minėtą taisyklę.

34. ZI metodo formulės yra lyg ir tamprių medžiagų atsparumo tradicinių formulių galimybių išplėtimas – tinka ir esant tamprioms plastiškoms medžiagoms. Atskirais atvejais tamprių medžiagų formulės yra autoriaus pateiktų formulių paprastesnis atvejis.

35. ZI metodo panaudojimo pavyzdžiai jau dabar leidžia spręsti daug praktinių uždavinių.

36. Sijų ir kolonų stiprumui apskaičiuoti pagal kreivinę euronormų betono įtempių diagramą galima naudoti bendrą sijų ir kolonų stiprumo apskaičiavimo ZI metodą.

37. Elementų stiprumo apskaičiavimas ZI metodu pagal kreivinę euronormų betono įtempių diagramą, kai visas skerspjuvis yra gniuždomas, yra logiškesnis už skaičiavimą tradiciniais metodais, nes nevartojama ne visais atvejais logiška gniuždomosios zonos ribinės reikšmės sąvoka.

38. ZI metodas leidžia ateityje atlikti daug tyrimų. Pvz., tyrinėti atvirkštinį uždavinį, t.y. kai pagal natūroje išmatuotus plyšių parametrus (plyšių aukštį, plotį ir atstumą tarp plyšių) apskaičiuojami įtempių-deformacijų būvio parametrai [Жидонис И., Жидонис А., Йокубайтис 1981; zidonis.su.lt]. Tirti, ar per įtempių-deformacijų diagramą galima ir kaip įvertinti medžiagų valkšnumo deformacijas. ZI metodika leidžia tyrinėti mastelio [Жидонис, Мелис 1981; Жидонис И.Ю. 1984] ir įtempių gradiento [Жидонис 1982a] įtaką įtempių diagramai ir apskaičiuojamų parametrų reikšmėms. Tai ateities galimų tyrimų temų pavyzdžiai.

19. Pagrindinė ZI metodikos išvada

ZI metodika yra alternatyva kitoms analogiškos paskirties šiuo metu dažniausia naudojamoms metodikoms. Jos naudojimo laukas platesnis ir galimybės didesnės už čia paminėtų kitų analogiškų metodikų lauką ir galimybes. Ji universalesnė. Tinka visam jėgų galimo veikimo diapazonui. Skaičiavimo rezultatai realistiškesni ir tikslesni. ZI metodika jos galiojimo erdvėje gali pakeisti visą grupę dabar naudojamos metodikos formulių *dviem lygtimis*. Iš jų gaunamos visos ZI metodikos metodų formulės.

20. Santrauka

Čia pateikiama įvairiose publikacijose esančios informacijos apie ZI metodiką ir metodus santrauka:

1. *Paruošta metodika ir patogios integruoti formulės įvairioms kreivinėms įtempių-deformacijų tarpusavio priklausomybėms aprašyti.*
2. *Yra sukurti gana universalūs iteracinis ir tiesioginis skaičiavimo metodai įtempių-deformacijų būviui sijiinių elementų statmenuose pjūviuose apskaičiuoti, be tarpiška įvertinant tikrąsias medžiagų deformacines savybes. Pjūvyje ties plyšiu apskaičiuojamos gniuždomosios zonos kraštinio sluoksnio betono deformacijos, reikalingos kreiviams skaičiuoti, o ne įtempiai.*

Šiuo metu reglamentuose ir prof. A. Rozenbliumo metodikoje apskaičiuojami įtempiai, o ne deformacijos. Deformacijos apskaičiuojamos įtampius dalijant iš deformacijų modulio. Bet jo reikšmė nežinoma. Tai yra problema. Tenka parinkti tokius modulius, kad skaičiavimo rezultatai būtų kuo artimesni bandymo rezultatams. ZI metodikoje apskaičiuojamos ir deformacijos, ir įtempiai. Modulių spėlioti nereikia. Tuo iš esmės skiriasi ZI metodika nuo prof. A. Rozenbliumo metodikos.

3. Sukurti praktiškai tiesioginio skaičiavimo metodo variantai įtempių-deformacijų būviui sijinių elementų statmenuose pjūviuose (skerspjuviuose) apskaičiuoti, betarpiškai įvertinant tikrąsias medžiagų deformacines savybes.
4. Atlikta daug gana sudėtingų bandymų teoriniams metodams patikrinti; jie patvirtina teorinius siūlymus.
5. Paruošti naudoti metodai tinka ne tik betoniniams ir įvairiai armuotiems gelžbetoniniams, bet ir kitokių medžiagų (medžio, plastmasių, metalo ir pan.) elementams skaičiuoti.
6. Kadangi panaudojamos realios medžiagų įtempių-deformacijų tarpusavio priklausomybės, tai ir apskaičiuotų parametrų (plyšio aukščio, gniuždomos bei tempiamos zonų aukščio, deformacijų ir įtempių) reikšmės taip pat yra realios.
7. Paruoštuose metodo variantuose palyginimo tikslais galima imti ir kitokias (trikampes, stačiakampes ar dar kitokias) įtempių diagramas.
8. Siūlomi metodai išplečia tampriųjų medžiagų skaičiavimo metodikos galimybes: tinka skaičiuoti ne tik tampriųjų medžiagų atveju, bet ir tuomet, kai medžiagos nėra tamprios.
9. Paruošti metodo variantai gana universalūs, bet palyginti nesudėtingi; jiems suprasti ir panaudoti užtenka techniškujų specialybių studentams perteikiamų žinių.
10. Paruošti metodo variantai jau dabar gali būti naudojami aukščiau minėtiems skaičiavimams ir tolimesniems tyrinėjimams atlikti, pvz. tirti konstrukcijų įtempių-deformacijų būklę pagal išmatuotus plyšių parametrus, tobulinti įlinkių prognozavimo metodus, konstrukcijų atsparumo skaičiavimą ir t.t.
11. Pateikti EN reglamento įtempių-deformacijų kreivinių diagramų variantai [3], kurių patikimumas ne tik 50%, bet ir 95% ir ~100%.
12. Pasiūlytas gausiai armuotų sijų stiprumo apskaičiavimo metodas, kuriame iš anksto nereikia žinoti gniuždomosios zonos maksimalaus storio, t.y. ir maksimalaus stiprumo [3].
13. Sijų ir kolonų stiprumui apskaičiuoti pagal kreivinę euronormų betono įtempių diagramą galima naudoti bendrą sijų ir kolonų stiprumo apskaičiavimo ZI metodą. Elementų stiprumo apskaičiavimas ZI metodu pagal kreivinę euronormų betono įtempių diagramą, kai visas skerspjuvis yra gniuždomas, yra logiškesnis už skaičiavimą tradiciniais metodais, nes nevartojama ne visais atvejais logiška gniuždomosios zonos ribinės reikšmės sąvoka.
14. Svarbiausios ZI metodo panaudojimui palengvinti priemonės – tai galimai paprastesnio daugialaipinės

lygties sprendimo būdo paruošimas ir programų paruošimas ZI metodo uždaviniams spręsti.

Literatūra

1. Židonis I. 2018 a. The ZI Method and its Application for Calculating of Stress-Strain Parameters of Structural Members. Monograph. ISBN 978-3-11-062778-7. Klaipėda university. Sciendo, 564 p. <https://www.degruyter.com/view/product/512877>.
 2. Židonis I. 2018 b. ZI metodas ir jo panaudojimas konstrukcinių elementų įtempių-deformacijų būvio parametrams apskaičiuoti (The ZI Method and its Use for the Calculation of Stress-strain Parameters of Structural Members). Monografija, ISBN 978-609-481-010-7. Klaipėdos universitetas: Klaipėdos universiteto leidykla, 557 p.
- Galima įsigyti internetu:
- <https://www.ku.lt/leidykla/turinys/leidiniai/laisvai-prieinami-leidiniai/zi-metodas-ir-jo-panaudojimas-konstrukciniu-elementu-itempiu-deformaciju-buvio-parametrams-apskaiciuoti/>
3. Židonis I. 2019. Curvilinear stress-strain relationship for concrete of EN-2 regulation in the ZI Method and the calculation of beam strength. ISSN 1392-1207. Mechanika. Volume 25(5): 341-349.
 4. EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels, 2004. 225 p.
 5. STR 2.05.05:2005. Design of concrete and reinforced constructions. Vilnius: Rekona, 2005. 123p. (in Lithuanian).
 6. LST EN 1992-1-1:2005. Eurocode 2. Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. Vilnius: Rekona, 2005. -232p. (in Lithuanian).

Reziumė atspindi ne tik straipsnio, bet ir visos ZI metodikos erdvės esmę.

I. Židonis

ZI metodikos ir ZI metodo apžvalga

R e z i u m ė

Straipsnyje apžvelgiama straipsnio autoriaus sukurta ZI metodika ir jos taisyklių realizavimo priemonė ZI metodas. Galiojimo sritis – ašinių jėgų ir lenkimo momentų veikiamų konstrukcinių elementų parametrų statmenuose pjūviuose realių reikšmių apskaičiavimas. Metodikos ir metodo savybės, galimybės ir galimybių laukas (erdvė) lyginami su šiuo metu naudojamu kitų šiems tikslam skirtų analogiškų metodikų ir metodų atitinkamomis savybėmis. Matomas akivaizdus ZI metodikos ir metodų pranašumas.

Pagrindiniai žodžiai: ZI metodika, ZI skaičiavimo metodai, sijiniai elementai, kolonos, statmenieji pjūviai, deformacijos, įtempiai, įtempių diagramos, kreivinės įtempių diagramos, įtempių-deformacijų būvis, plyšio aukštis, betonas, gelžbetonis, elementų medžiaga, armavimas, konstrukcijų skaičiavimo reglamentai.

2019 m. rugsėjo .20 d.