

# BEHAVIOUR OF FRP REINFORCED CONCRETE BENDING ELEMENTS

## LIEKTU NEMETĀLISKI STIEGROTU BETONA ELEMENTU DARBĪBAS ANALĪZE

I.Paegle, L.Pakrastiņš

*Atslēgas vārdi: polimēršķiedras, stiegrojums, izlieces.*

### Ievads

Stiegrota betona konstrukcijas bieži tiek pielietotas mūsdienās. Tās izmanto visdažādākajos apstākļos. Vienkāršākais un lētākais betona stiegrošanas veids ir ar metāla stiegrām, taču, ja dzelzsbetona elementi atrodas augsta magnētiskā lauka iedarbības zonā, kā arī dažādu ķīmisku vielu ietekmē, rodas metāla stiegru korozija, kā rezultātā pasliktinās konstrukcijas darbība. Lai konstrukcija varētu turpināt strādāt, ir jānomaina konkrētais bojātais elements, kas ir dārgs un sarežģīts process.

Polimēršķiedru stieņi (Fibre Reinforcement Polymer (FRP)) ir jauns stiegrojuma veids, kas izceļas ar savu pretestību pret koroziju, lielo stiprības un svara attiecību. Patreiz plašu FRP pielietojumu ierobežo zems elastības modulis salīdzinājumā ar tēraudu. Tā rezultātā palielinās izlieces, plaisu lielums un izplatība betona stieptajā zonā. FRP stieņiem nav izteikta plastiskās tekamības robeža, tādēļ tie sabrūk trausli. Un maz izpētīts ir deformāciju aprēķins.

Eksistē vairākas stiegrota betona izlieču aprēķina metodes. Lai ar zināmu precizitāti veiktu aprēķinu, ir nepieciešami daudz izejas datu. Tas attiecas uz laika ietekmē radušos šļūdi un rukumu betonā, stiegru iepriekšējā uzsprieguma mazināšanās efektu, kā arī betona elastības moduļa maiņu. Lai precīzi ievērtētu laika gaitā radušās parādības, ir nepieciešams daudzi materiālu raksturlielumi, kas mainās laika gaitā, un aprēķins ir sarežģīts un darbietilpīgs. Praksē, rēķinot dažādas konstrukcijas, tiek izmantoti vienkāršoti aprēķini.

Darbā izmantotās aprēķina metodes ir izstrādātas balstoties uz „Euro-International Concrete Committee - International Federation for Structural Concrete” (CEB-FIP) [1] kodu un Intelligent Sensing for Innovative Structures (ISIS Canada) [2].

### Aprēķina modelis

Pamata aprēķina modelis CEB-FIP tika pieņemts 1990. gadā un tas ir balstīts uz noteiktu sakarību starp momentu un izliekumu. „Momenta – izliekuma” modelis [3] ievērtē dažādus parametrus, kā stiegrojumu, plaisu veidošanos, šļūdi un rukumu, kas savukārt ļauj aprēķināt ilglaicīgās deformācijas (1.att.).

$$\Delta\Psi_{ts} = (\Psi_{2r} - \Psi_{1r})\beta \frac{M_r}{M_a}, \text{ ja } M_a > M_{r,red}, \quad (1)$$

kur  $\Delta\Psi_{ts}$  - izliekuma samazināšanās;

$\Psi_{1r}$  - izliekums 1.stadijā  $M=M_r$  (pirms plaisu veidošanās);

$\Psi_{2r}$  - izliekums 2.stadijā  $M=M_r$  (pēc plaisu veidošanās);

$M_r$  – plaisu veidošanās moments;

$M_a$  - momenta vērtība sijā apskatāmajam šķēlumam;

$$M_r = W_1 \left( f_{ct} - \frac{P}{A_1} \right), \quad (2)$$

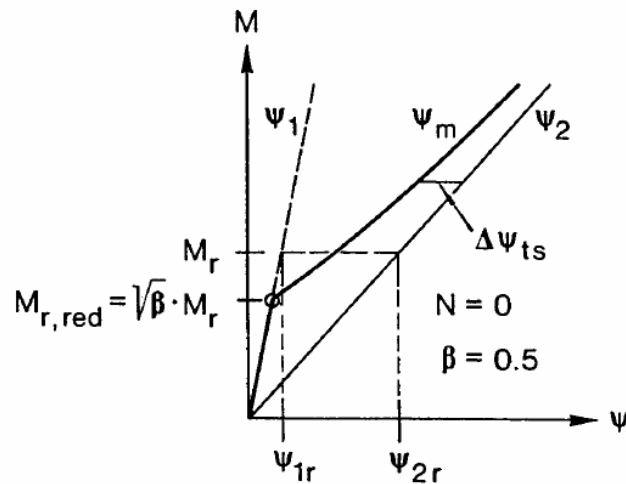
kur  $P$  – pieliktais koncentrētais spēks;  
 $f_{ct}$  – betona robežstiprība stiepē;  
 $A_1$  – šķērsriezuma laukums 1.stadijā;  
 $W_1$  – šķēluma pretestības modulis;  
 $M_{r,red}$  – reducētais plaisu veidošanās moments;

$$M_{r,red} = \sqrt{\beta} M_r, \quad (3)$$

kur  $\beta = \beta_1 \beta_2$ ;

$\beta_1$  – koeficients, kas ievērtē saistes kvalitāti starp betonu un stiegrām;

$\beta_2$  – koeficients, kas ievērtē slodzes ilgumu,  $\beta_2 = 0.8$  – īslaicīgo slodžu gadījumā;  $\beta_2 = 0.5$  – ilglaicīgo slodžu gadījumā.



1. att. CEB-FIP Momentu – izliekuma sakarība (Favre and Charif, 1994)

Izliekuma samazināšanās plaisu veidošanās stadijā ( $\Delta\Psi_{ts}$ ) ir starpība starp izliekumu 2.stadijā ( $\Psi_2$ ) un vidējo izliekumu ( $\Psi_m$ ). Matemātiski izteiksmi var uzrakstīt arī šādi:

$$\Psi_m = \Psi_2 - \Delta\Psi_{ts}, \quad (4)$$

$$\Psi_m = \Psi_2 - (\Psi_{2r} - \Psi_{1r}) \beta \frac{M_r}{M_a}, \text{ ja } M_a > M_{r,red} \quad (5)$$

Iepriekš apskatītais aprēķina modelis ļauj noteikt vidējo izliekumu, ko izmanto izlieces noteikšanai.

Apskatot tīrās lieces gadījumu, momentu - izliekuma attiecību var pieņemt lineāru gan 1.stadijā, gan arī 2.stadijā. Pamata izliekums ( $\Psi_c$ ) ir jāreizinā ar papildus koeficientiem, kas noteikti pēc normām (CEB-FIP). Koeficienti ir sekojoši:  $k$  – koeficients, kas ievērtē stiegrojumu un iedarbes ilgumu,  $\phi$  – ievērtē šķūdes efektu,  $\varepsilon$  – ievērtē rukumu.

$$\Psi_c = \frac{M}{(EI)_c}, \quad (6)$$

kur,  $(EI)_c$  – lieces stingums betona šķēlumam.

$$\Psi_1 = \Psi_c \cdot k_{s1} \quad (7)$$

$$\Psi_2 = \Psi_c \cdot k_{s2} \quad (8)$$

$$\Psi_1 = \Psi_c \cdot k_{s1} \cdot k_{\varphi1} \cdot \varphi \quad (9)$$

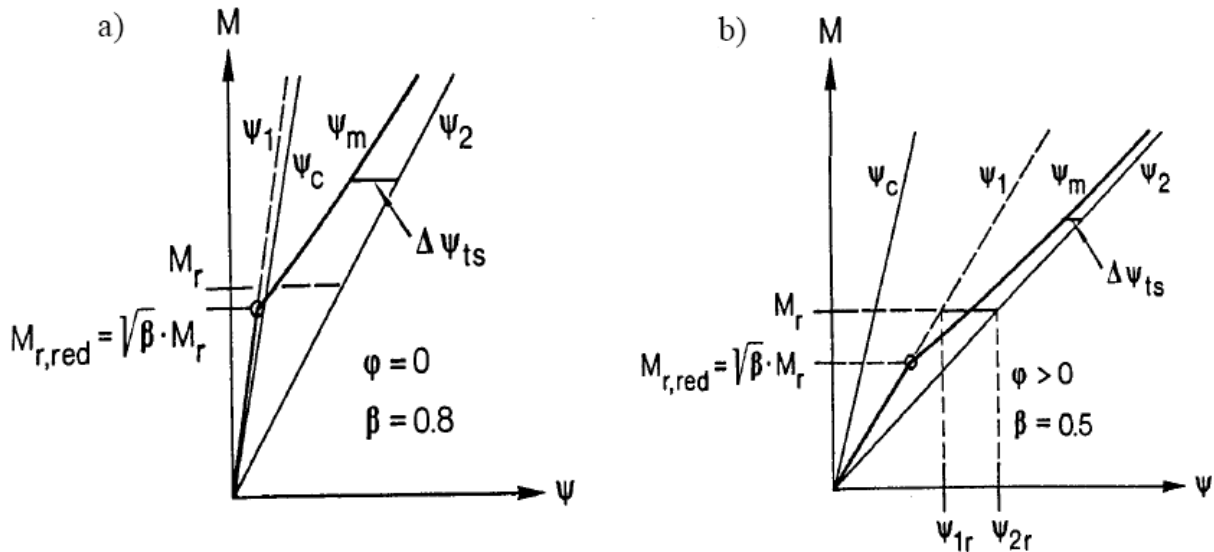
$$\Psi_2 = \Psi_c \cdot k_{s2} \cdot k_{\varphi2} \cdot \varphi \quad (10)$$

$$\Psi_1 = |\varepsilon_{cs}| \cdot \frac{k_{cs1}}{d} \quad (11)$$

$$\Psi_2 = |\varepsilon_{cs}| \cdot \frac{k_{cs2}}{d} \quad (12)$$

Kopējais izliekums  $\Psi_1$  un  $\Psi_2$  tiek iegūts saskaitot atbilstošos izliekumus. Formulas 7, 8 izsaka izliekumu, kas rodas no īslaicīgas slodzes pielikšanas, bet kopējā izliekuma aprēķinā tiek ņemta vērā slodzes ilglaicīgā iedarbe.

Kā koeficienti ietekmē vidējo izliekumu, varam redzēt arī 2. attēlā.



2. att. Momentu-izliekumuma sakarība (tīrā liecē).  
a) slodze pielikta īslaicīgi; b) slodze pielikta ilglaicīgi.

Elementa izliekumu visprecīzāk var noteikt ar vidējo izliekumu, kas ir mazāks kā izliekums pilnībā saplaisājušam šķēlumam ( $\Psi_2$ ), bet lielāks kā nesaplaisājušam šķēlumam ( $\Psi_1$ ). Formula, vidējā izliekuma noteikšanai, ir sekojoša:

$$\Psi_m = \Psi_2 - (\Psi_2 - \Psi_1) \cdot \beta \cdot \left(\frac{M_r}{M}\right)^2, \text{ ja } M > M_{r,\text{red}} \quad (13)$$

Izlieci sijas viduspunktam var aprēķināt:

$$\delta = \sum \int m \cdot \Psi \partial x \quad (14)$$

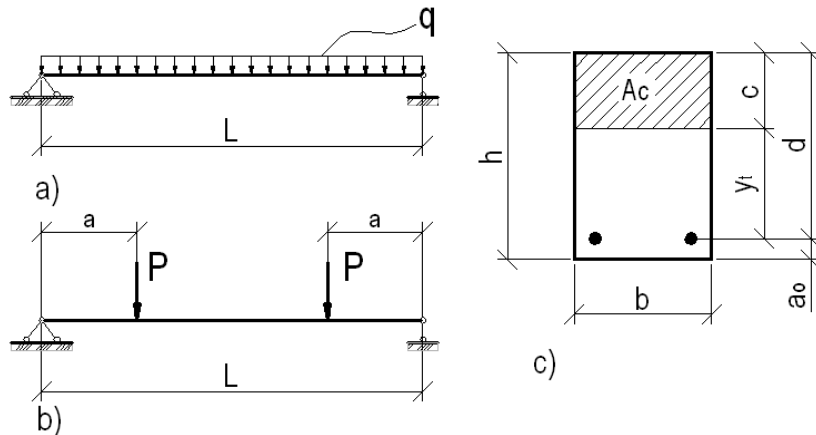
Lai vienkāršotu aprēķinu, ir izstrādātas dažādas vienkāršotas aprēķinu metodikas, kas pietiekoši precīzi raksturo konstrukciju reālo darbību. Elementa reālā momenta izliekumu līkne tiek aproksimēta uz divām lineārām taisnēm, kuru lūzuma punkts ir, kad elementam pieliktais moments sasniedz reducēto plaisu veidošanās momentu.

Nemetāliski stiegotu betona konstrukciju izlieču noteikšanai ir izveidotas vairākas metodes dažādiem sloģuma veidiem. Analizēsim trīs no šīm metodēm:

- Bilineārā metode (CEB-FIP) [3];
- Vidējo inerces momentu metode (CEB-FIP) [3];
- Benmokrāna metode (ISIS) [3, 4].

### Nemetāliski stiegtoti siju aprēķina rezultātu apkopojums.

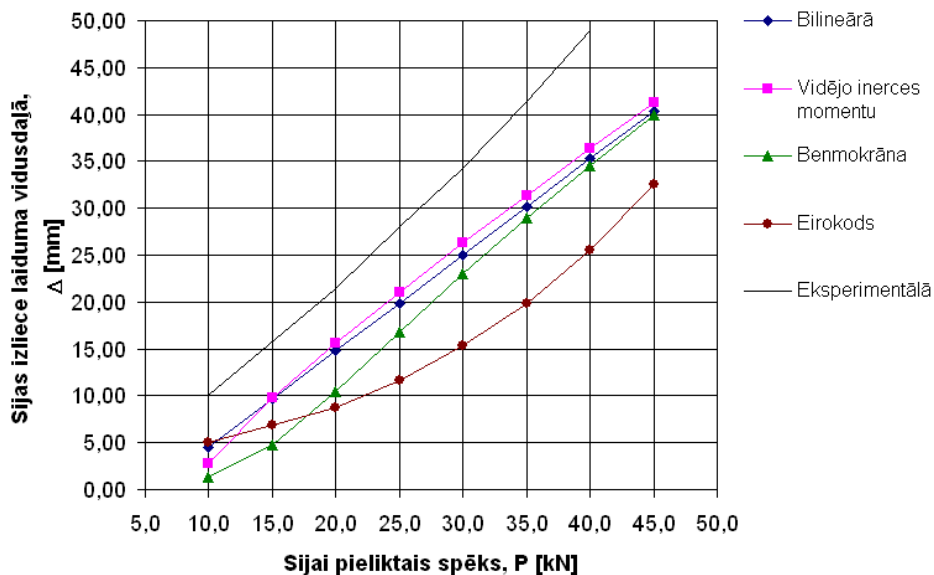
Siju izlieces tiek noteiktas ar trim dažādām aprēķina metodēm: „bilineāro” metodi (CEB-FIP), „vidējo inerces momentu” metodi (CEB-FIP), „Benmokrāna” metodi un salīdzinātas ar Eirokodu [5, 6] un eksperimentāli iegūtajiem datiem. [3]. Sijas aprēķina shēmu skat. 3.b un c att.).



3. att. Sijas aprēķina shēma.  
a) izkliedētas slodzes gadījumā b) tīrās lieces gadījumā; c) sijas šķērsgriezums

Līdzīgus rezultātus uzrāda „bilineārā” un „vidējo inerces momentu” aprēķina metodes, taču arī ar šīm aprēķina metodēm aprēķinātās izlieces ir mazākas kā eksperimentāli noteiktās.

Ar „Benmokrāna” metodi aprēķinātās sijas izlieces ir mazākas kā ar „bilineāro metodi” un „vidējo inerces momentu” metodi aprēķinātās. Atšķirība mazinās palielinoties sijai pieliktajai slodzei (skat. 4. att.).



4. att. Sijas izliece laiduma vidusdaļā atkarībā no pieliktā spēka;

Pēc Eirokoda aprēķinātās izlieces ir mazākas par eksperimentāli noteiktajām, kā arī par ar pārējām metodēm aprēķinātajām. Eirokodā esošais aprēķins nav paredzēts ar polimēršķiedru stieņiem stiegtotam betonam, bet gan ar metālu stiegtotam betonam. Polimēršķiedru stieņu īpašības un darbība atšķiras no metāla, kā rezultātā rodas neprecizitātes aprēķina rezultātos.

Aprēķina metodes uzrāda mazākas izlieces, jo:

- siju izlieču aprēķinā netiek ņemta vērā šķērsspēka ietekme;
- koeficients, kas raksturo saķeri starp betonu un stiegrojumu ir pieņemts 1, taču iespējams, ka paraugā neveidojas tik laba saķere.

Ar „bilineāro” un „vidējo inerces momentu” metodēm aprēķināto un eksperimentāli noteikto izlieču procentuālā starpība vismazākā ir, kad sijai pieliktais moments  $M_a$  apmēram divas reizes pārsniedz plaisu veidošanās momentu  $M_{cr}$  (5.att.).

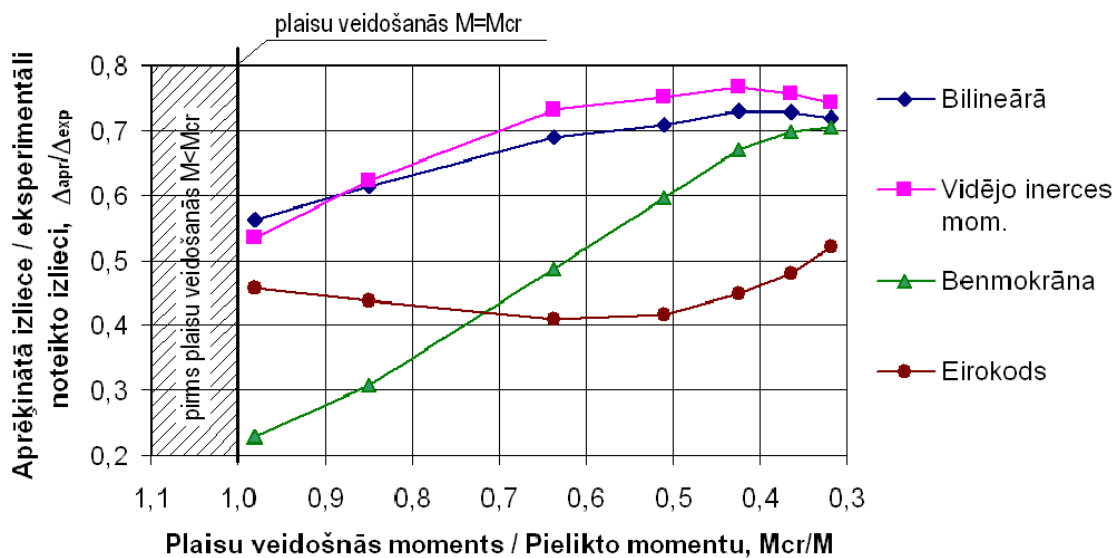
Ar „Benmokrāna” metodi aprēķināto izlieču un eksperimentāli noteikto izlieču procentuālā starpība samazinās palielinoties pieliktajam momentam. (5 att.) Izmantotās aprēķina metodes darbojas apgabalā, kad pieliktais moments ir lielāks kā plaisu veidošanās moments:  $M > M_{cr} \Rightarrow \frac{M_{cr}}{M} < 1$ .

$$>M_{cr} \Rightarrow \frac{M_{cr}}{M} < 1.$$

Ja  $\frac{M_{cr}}{M} \geq 1 \Rightarrow$  izlieču aprēķins veicams izmantojot sijas šķērsriezuma bruto inerces momentu.

Palielinoties pieliktajam spēkam attiecība starp teorētiski aprēķinātajām un eksperimentāli noteiktajām izliecēm tuvojas vērtībai 1:

$$P \uparrow \Rightarrow M \uparrow \Rightarrow \frac{M_{cr}}{M} \downarrow \Rightarrow \frac{\Delta_{apr}}{\Delta_{exp}} \rightarrow 1 \Rightarrow \Delta_{apr} \approx \Delta_{exp}.$$



5. att Aprēķinātās izlieces attiecība pret eksperimentālo ( $\Delta_{apr}/\Delta_{exp}$ ) atkarībā no plaisāšanas momenta attiecības pret pielikto momentu ( $M_{cr}/M$ )

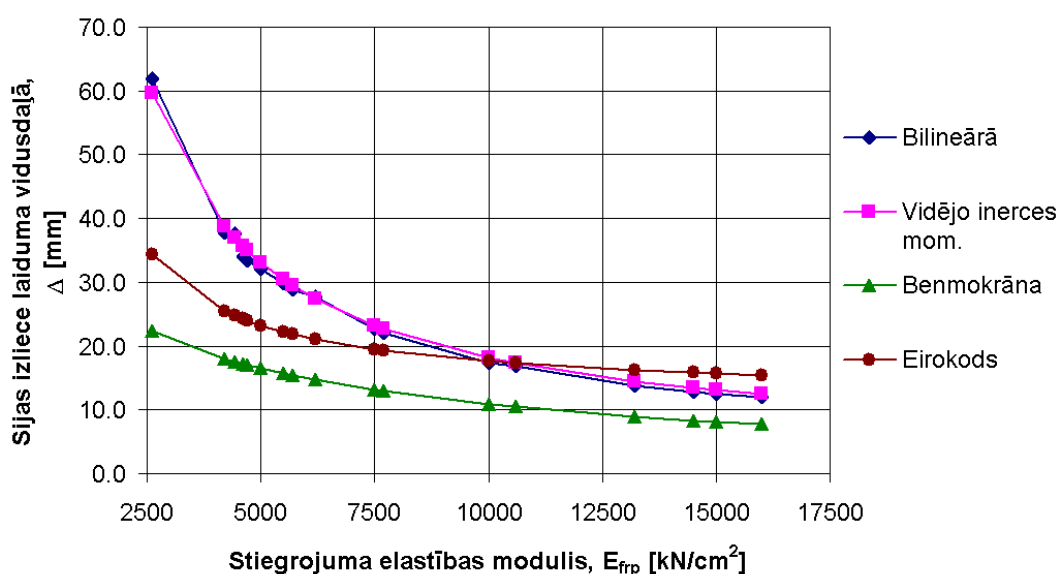
### Siju izlieces atkarība no polimēršķiedru stiegru elastības moduļiem

Aprēķinā tiek apskatīta sija, kam pielikta nemainīga slodze. Sijas šķērsriezuma izmēri nemainīgi. Izmantota aprēķina shēma, kad sija slogota ar vienmērīgi izkliedētu slodzi (3.a att.). Sijas raksturlielumi doti tabulā 1 [7]. Par stiegrojumu izmantotas dažādas polimēršķiedru stiegras ar atšķirīgiem elastības moduļiem.

Atbilstoši teorētiskajām pamatsakarībām, sijas izlieces samazinās, ja tiek izmantots stiegrojums ar lielāku elastības moduli. Atšķirīgs ir izlieču izmaiņas straujums mainot stiegrojuma elastības moduli par vienu vienību.

Tabula 1. Sijas raksturlielumi

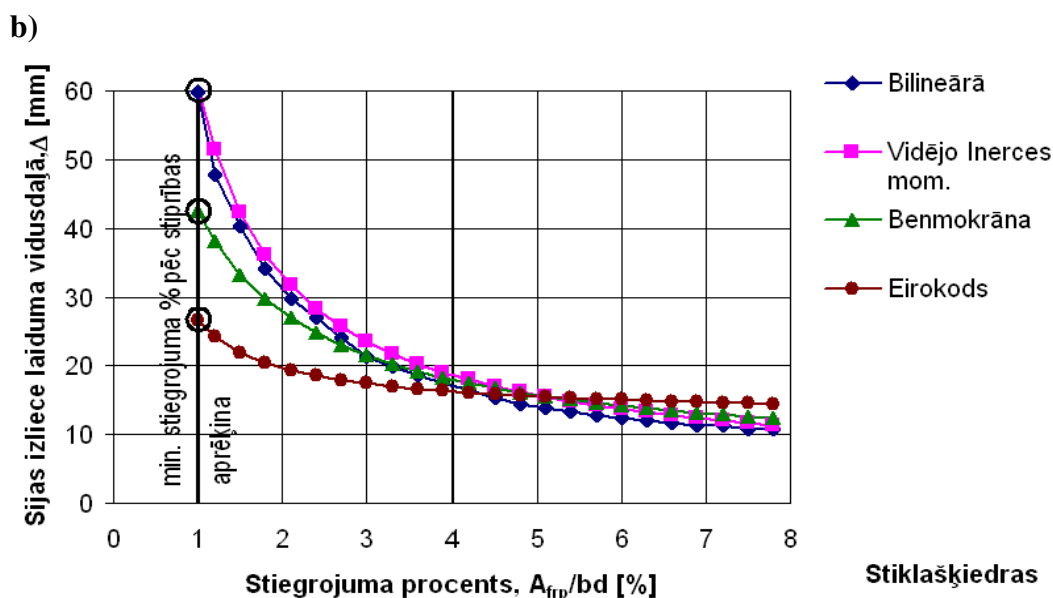
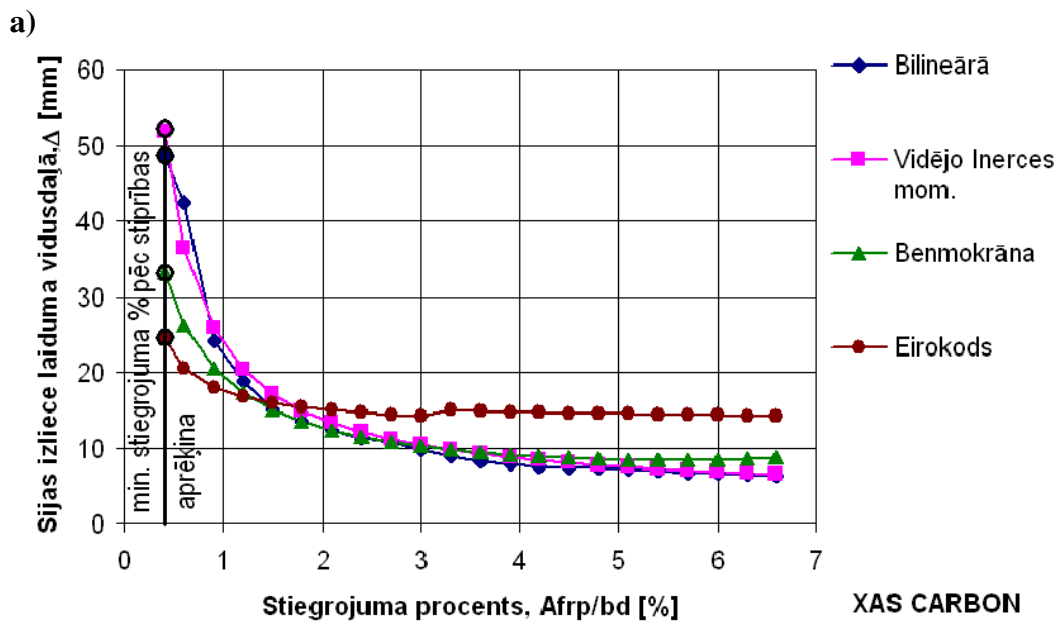
Stiegru veids	L, m	h, mm	b, mm	d, mm	q, kN/m	$f_{cc}$ , kN/cm <sup>2</sup>	$E_c$ , kN/cm <sup>2</sup>	$E_{frp}$ , kN/cm <sup>2</sup>	$f_{frp}$ , kN/cm <sup>2</sup>	$I_g$ , cm <sup>4</sup>	n
Stiklašķiedras	6.0	400	300	360	20.0	2.0	3000	4430	139.5	1.6E+05	1.48
XAS CARBON	6.0	400	300	360	20.0	2.0	3000	13200	183.0	1.6E+05	4.40



6. att. Sijas izlieces laiduma vidusdaļā atkarība no stiegrojuma elastības moduļa

Visstraujāk izlieces mainās, kad stiegrojuma elastības modulis ir tuvs betona elastības moduļim, taču polimēršķiedru elastības moduļim palielinoties un tuvojoties metāla stiegrojuma elastības moduļim, izlieces samazinās, bet jau daudz mazākā mērā (6.att.). Stiegrojuma elastības moduļim mainoties robežās no 2600 kN/cm<sup>2</sup> līdz 7500 kN/cm<sup>2</sup> izlieces samazinās gandrīz čertas reizes vairāk kā elastības moduļiem mainoties no 7500 kN/cm<sup>2</sup> līdz 16000 kN/cm<sup>2</sup>.

Izlieču aprēķinam pēc Eirokoda ir līdzīga tendence – sijas izlieci ļoti ietekmē šķiedru elastības moduļa izmaiņa apgabalā, kad betona elastības modulis ir līdzīgs šķiedru elastības moduļim, bet pārsniedzot vērtību  $E_{frp}=12500\text{kN/cm}^2$  izliece praktiski nav atkarīga no stiegrojuma elastības moduļa. Stiegrojuma elastības modulis visvairāk ietekmē izlieces, ja tās aprēķinātas ar „bilineāro” un „vidējo inerces momentu” metodēm.

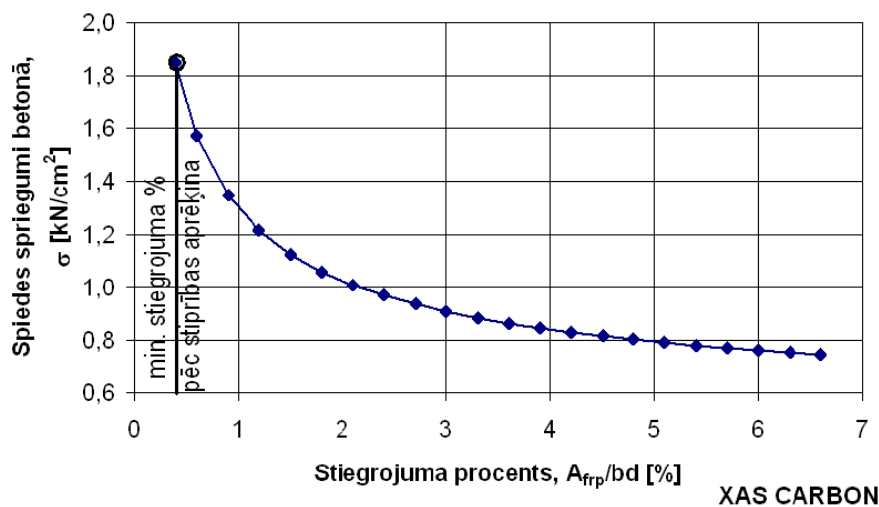


7. att. Sijas izlieces atkarībā no stiegrojuma daudzuma sijā.  
a) ar „XAS CARBON” stiegrojumu; b) ar stiklašķiedras stiegrojumu.

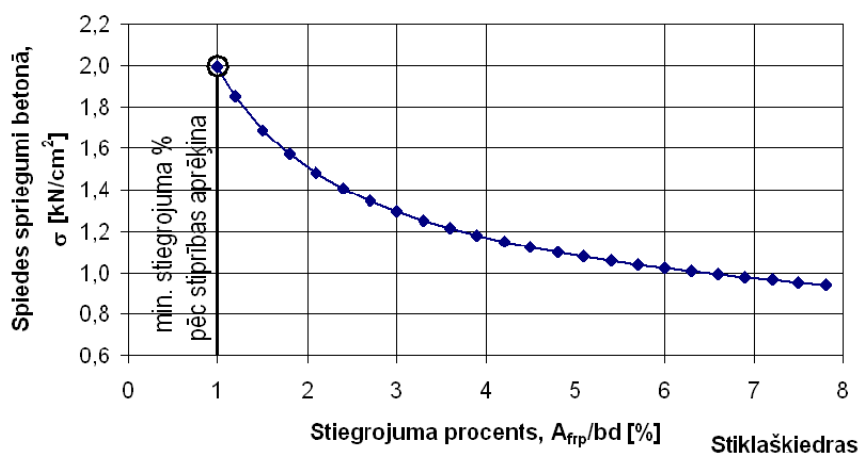
### Siju izliece atkarībā no stiegrojuma procentuālā daudzuma.

Aprēķinā tiek apskatīta sija, kam pielikta nemainīga slodze. Sijas šķērsriezuma izmēri arī ir nemainīgi. Izmantota aprēķina shēma, kad sija slogota ar vienmērīgi izkliedētu slodzi (3.a att.). Mazākais sijas stiegrojuma daudzums pieņemts tāds, lai spiedes spriegumu betonā nepārsniegtu pieļaujamos. Spiedes spriegumi betonā būtiski mainās, ja stiegrojuma daudzums tiek mainīts robežās līdz ~2% (8.att.). Sijas maksimālās izlieces, palielinot stiegrojuma % virs 2%, samazinās par ļoti niecīgu vērtību. Sijas stiegrojumam pārsniedzot 2%, spiedes spriegumi betonā gan turpina samazināties, taču jau divas līdz četras reizes lēnāk. Palielinot stiegrojuma daudzumu betonā no 2%-3%, sijā, kas stiegrota ar stiklašķiedras stiegrojumu, izlieces sijas vidusdaļā un spiedes spriegumi betonā mainās daudz straujāk kā ar „XAS Carbon” stiegotajā sijā (7. un 8. att.).

a)



b)



8.att. Spiedes spriegumi betonā atkarībā no stieģrojuma daudzuma sijā; a) ar „XAS CARBON” stieģrojumu; b) ar stiklašķiedras stieģrojumu

## Secinājumi

Apskatīts nemetāliski stieģrotas betona siju aprēķins. Sijas stieģrotas ar polimēršķiedru stieģrojumu. Stieģrojums ievietots tikai stieptajā zonā.

Apskatītas trīs aprēķina metodes, kas balstītas uz CEB-FIP izstrādāto „momenta – izliekuma” etodi un ir paredzētas ar polimēršķiedrām stieģrotu betona siju deformāciju aprēķiniem. Izlieces aprēķinātas ar „bilineāro”, „vidējo inerces momentu” un „Benmokrāna” metodēm un salīdzinātas pēc Eirokoda EN 1992-1-1:2004 noteiktajiem un eksperimentāli iegūtajiem rezultātiem. Eksperimentālie dati ņemti no citu autoru veiktajiem eksperimentiem.

Salīdzinot teorētisko aprēķinu rezultātus ar eksperimentālajiem datiem, var precīzāk izanalizēt teorētisko aprēķinu precizitāti un salīdzināt savstarpēji, kā strādā dažādas teorētiskās aprēķina metodes. Rezultātā ir iegūtas līknes, kas norāda:

- „bilineārā” un „vidējo inerces momentu” aprēķina metodes uzrāda savstarpēji līdzīgus rezultātus, taču ar šīm aprēķina metodēm aprēķinātas izlieces ir mazākas kā eksperimentāli noteiktās. Starpība sasniedz 60% pie mazām slodzēm un 30-40% pie lielākām slodzēm no eksperimentāli noteiktās izlieces;

- ar „Benmokrāna” metodi aprēķinātās sijas izlieces ir vēl mazākas kā ar „bilineāro” un „vidējo inerces momentu” metodi aprēķinātās. Atšķirība mazinās palielinoties sijai pieliktajai slodzei. Pie mazākām slodzēm atšķirība ir 75%-85%, slodzes palielinot atšķirība sastāda 30%-45% no eksperimentāli noteiktās vērtības;
- sijas izlieces, rēķinot pēc Eirokoda, ir mazākas par eksperimentāli noteiktajām. Starpība sastāda pat līdz 73% no eksperimentāli noteikto izlieču vērtības. Šāds rezultāts rodas, jo Eirokodā esošais aprēķins nav paredzēts ar polimēršķiedru stieņiem stiegrotam betonam, bet gan ar tēraudu stiegrotam betonam.;
- atbilstoši teorētiskajām pamatsakarībām, pieaugot polimēršķiedru stiegrojuma elastības modulim, sijas izlieces samazinās. „Bilineārajai”, „vidējo inerces momentu” un „Benmokrāna” izlieču aprēķina metodēm šī sakarība ir līdzīga – visstraujāk izlieces mainās, kad stiegrojuma elastības modulis ir tuvs betona elastības modulim, taču polimēršķiedru elastības modulim palielinoties un tuvojoties metāla stiegrojuma elastības modulim, izlieces samazinās, bet jau daudz mazākā mērā. Stiegrojuma elastības modulim mainoties robežās no 2600 kN/cm<sup>2</sup> līdz 7500 kN/cm<sup>2</sup> izlieces samazinās gandrīz četras reizes vairāk kā elastības moduļiem mainoties no 7500 kN/cm<sup>2</sup> līdz 16000 kN/cm<sup>2</sup>. Izlieču aprēķinam pēc Eirokoda ir līdzīga tendence – sijas izlieci ļoti ietekmē šķiedru elastības moduļa izmaiņa apgabalā, kad betona elastības modulis ir līdzīgs šķiedru elastības modulim, bet pārsniedzot vērtību  $E_{frp}=12500\text{kN/cm}^2$ , izliece vairs nav atkarīga no stiegrojuma elastības moduļa;
- palielinot stiegrojuma daudzumu sijā līdz 2-2.5% (stiegrojumam ar lielāku elastības moduli 2%, bet ar mazāku – 2.5%), būtiski mainās sijas izliece, kā arī spiedes spriegumi betonā. Ja stiegrojuma daudzumu sijā palielina vairāk kā par 2.5%, ne sijas izlieces ne spiedes spriegumi betonā būtiski nemainās.

Visprecīzāk sijas izlieces nosaka „bilineārā” un „vidējo inerces momentu” metodes. Kā viens no vajadzīgajiem izejas datiem šīm aprēķina metodēm ir koeficients, kas nosaka betona saķeri ar stiegrojumu, un, aprēķinos, saskaņā ar rekomendācijām pieņemts vienāds ar 1,0. Pašlaik nav pietiekami izpētīts, kāda koeficienta vērtība ir jāpieņem aprēķinos.

## Literatūra

1. CEB-FIP (Comite Euro – International du Beton et Federation International de la Precontrainte): About CEB-FIP / Internets. - <http://fib.epfl.ch/about/>
2. ISIS (Intelligent Sensing for Innovative Structures) Canada Research Network: About ISIS / Internets. - <http://www.isiscanada.com/index2.htm>
3. Bogdanovic B., „Deflection Calculation of FRP-reinforced Concrete Beams” The University of Manitoba Department of Civil Engineering, 2002 vol.23 / Internets <http://www.ce.umanitoba.ca/~svecova/ftp/Report/BBogdanovic-report.pdf>
4. Amy K., “Design Methods for FRP-Strengthened Concrete Using Sheets or Near-Surface Mounted Bars” The University of Manitoba Department of Civil Engineering, 2002 / Internets <http://www.ce.umanitoba.ca/~svecova/ftp/Report/Amy-report.pdf>
5. LVS EN 1992-1-1:2004(E) Eirokodekss: Betona konstrukciju projektēšana. 3-1.daļa: Concrete, Latvijas standarts, Rīga, 2004.
6. LVS EN 1992-1-1:2004(E) Eirokodekss: Betona konstrukciju projektēšana. 3-2.daļa: Reinforcing steel, Latvijas standarts, Rīga, 2004.
7. Yeung Y.C.T. and Parker B.E. (1987). "Composite Tension Members for Structural Applications". Proc. of the 4th Int. Conf. Composite Structures, London, UK, 1987, pp. 309-320

**Ieva Paegle**, M.Sc. student  
Institute of Structural Engineering and Reconstruction  
Riga Technical University  
Azenes St 16, Riga LV-1048, Latvia  
Phone: + 371 7089284; Fax + 371 7089121  
E-mail: ieva@ig-kurbads.lv

**Leonids Pakrastinsh**, Assistant Professor, Dr.sc.ing.  
Institute of Structural Engineering and Reconstruction  
Riga Technical University  
Azenes St 16, Riga LV-1048, Latvia  
Phone: + 371 7089145; Fax + 371 7089121  
E-mail: leonidp@latnet.lv

***Paegle I., Pakrastiņš L. Liektu nemetāliski stiegotu betona elementu darbības analīze.***

*Izpētīts nemetāliski stiegotas betona sijas aprēķins. Sijas stiegotas ar polimēršķiedru stiegrojumu. Stiegrojums ievietots tikai stieptajā zonā. Apskatītas trīs aprēķina metodes, kas balstītas uz CEB-FIP izstrādāto „momenta – izliekuma” metodi un kas ir paredzētas ar polimēršķiedrām stiegotu betona siju deformācija aprēķiniem. Izlieces aprēķinātas ar „bilineāro”, „vidējo inerces momentu” un „Benmokrāna” metodēm un salīdzinātas ar pēc Eurokoda EN 1992-1-1:2004 noteiktajiem un eksperimentāli iegūtajiem rezultātiem. Eksperimentālie dati ņemti no citu autoru veiktajiem eksperimentiem. Noteikts, cik lielā mērā sijas izlieci un spiedes spriegumus betonā ietekmē stiegrojuma daudzums un stiegrojuma elastības modulis. Nepieciešams precizēt vērtību koeficientam, kas ievērtē saķeri starp betonu un stiegrojumu, tiek ieteikts pieņemt vērtību 1,0. Iegūtie rezultāti rāda, ka teorētiski aprēķinātas izlieces ir mazākas kā eksperimentāli noteiktās, tāpat betona un stiegru kopdarbības koeficients šāda veida stiegrojumam jāņem pazeminošs.*

***Paegle I., Pakrastiņš L. Behaviour of FRP-reinforced concrete bending elements.***

*It is calculation of non - metallic reinforced concrete beams. Beams are reinforced with Fiber Reinforcement Polymer. Reinforced bars putted only in tension zone. There is view of three methods of calculation, witch grounded on method of “Moment – Curvature” worked out by CEB-FIP and it has predicted by FRP reinforced concrete beams. Deflections are calculated with Bilinear method, Mean Moment of Inertia and the method formulated by Benmokrane’s and compared with Eurocode EN 1992-1-1:2004. Experimental results have taken from experiments of other authors. There is defined, how much amount of reinforcement and elastic module of concrete affect deflections and compress stress in concrete. Coefficient with depicts the bond quality of bars have to specify. It is suggested to accept the value 1,0. Acquired results show that theoretically calculated deflections are lesser than experimentally determined. Consequently coefficient of concrete and fiber collaboration has to be decreasing at reinforcement of this form.*

***Паэгле И., Пакрастиньш Л. Анализ работы изгибаемых бетонных элементов с полимерным армированием.***

*В статье анализируются методики расчета деформаций изгибаемых бетонных элементов с полимерным армированием. Анализ произведен для случая, когда армируется только растянутая зона. Рассматриваются три варианта расчета, основанные на кривизно-моментной методике CEB-FIP. Произведен расчет деформаций по следующим вариантам: двухлинейный (кусочно-линейный), средних моментов инерции и Бенмокрана, результаты сравнивались с величинами, полученными по методике Еврокода EN 1992-1-1:2004, а также с экспериментальными данными различных авторов. Определена зависимость влияния процента армирования и модуля упругости полимерных волокон на величины деформаций и напряжений в изгибаемых элементах. Отмечается, что результаты расчета по всем методикам показывают меньшие значения деформаций по сравнению с экспериментальными данными. Это объясняется отсутствием данных по значению коэффициента, который учитывает неполное сцепление полимерного армирования с бетоном, и в расчете принимался равным 1,0 согласно имеющимся рекомендациям. Необходимо произвести более детальные исследования совместной работы полимерного армирования и бетона для уточнения величин вышеупомянутого коэффициента.*