

# Rezultātu atskaite

## Ekstrudētā polistirola konstruktīvo siju mehāniskās nestspējas analīze savienojumā ar mūra un betona konstrukcijām

Testa mērķis ir noteikt konstruktīvā risinājuma nestspēju ar dažādām ekstrudētā polistirola siju konfigurācijām kā arī izveidot vienkāršotu aprēķina algoritmu dotajai slodzei atbilstošas siju konfigurācijas noteikšanai. Testēšana tika veikta Rīgas Tehniskās Universitātes Materiālu eksperimentālās mehānikas zinātniskajā laboratorijā ar Zwick Z150 testēšanas iekārtu (RTU inv. nr. 859946).

### 1. Testēšanā izmantotie materiāli

#### 1.1. Bloku sienas materiālu veids:

*Table 1 Wall block types*

| Materiāls                                                                                                  | Platums<br>[mm] | Garums<br>[mm] | Augstums<br>[mm] | Spiedes<br>izturība<br>[MPa] |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------|------------------|------------------------------|
| 1) Bauroc Universal<br>   | 250             | 600            | 200              | 2.5                          |
| 2) Fibo Efekt<br>       | 250             | 480            | 185              | 3                            |
| 3) Keraterm 25<br>      | 250             | 375            | 238              | 15                           |
| 4) Betona pārsedzes<br> | 120             | 1550           | 190              | 18                           |

#### 1.2. Bloku stiprināšanas putas:

- 1) Penosil SpeedFix Construction 878 līmējošās putas, izmantotas Fibo un Keraterm bloku un betona pārsedžu savstarpējai fiksācijai;
- 2) Penosil StoneFix 827 līmējošās putas akmenim, izmantotas Bauroc bloku savstarpējai fiksācijai.

#### 1.3. Ekstrudētā polistirola sija materiāls:

- 1) ekstrudētā polistirola Nyxon White 85x100x1300 mm sija;
- 2) ekstrudētā polistirola Nyxon Black 85x100x1300 mm sija.

#### 1.4. . Ekstrudētā polistirola sijas līme fiksācijai pie sienas blokiem un pārsedzēm:

- 1) Penosil MS TURBO elastīgā līme;
- 2) Olive EPDM hibrīdlīme.

#### 1.5. Ekstrudētā polistirola sijas dībelis ar skrūvi fiksācijai pie sienas blokiem un pārsedzēm:

- 1) Klimas KPR-FAST-K 10x260 Bauroc, Fibo un Keraterm blokiem
- 2) Klimas KPR-FAST-K 10x160 betona pārsedzēm.

### 2. Sienas segmenta ar ekstrudētā polistirola sijas pārsedzi sagatavošanas metode

#### 2.1. Sienas segmenta izgatavošana

Sienas segments tiek veidots no blokiem un pārsedzēm, kas dotas 1. tabulā. Bloku skaits sienas segmentā atkarīgs no polistirola sijas garuma (min. 1300 mm) un atbalstu augstuma (min. 100 + 200 mm). Bloku skaits sienas segmentā ar divām rindām:

- 1) Bauroc Universal – 6 gab.;
- 2) Fibo Efekt – 6 gab.;
- 3) Keraterm – 8 gab.;
- 4) Betona pārsedzes – 2 gab

Savstarpējai fiksācijai izmantojot putu līmi atbilstoši līmes izstrādātāja norādēm.

#### 2.2. Ekstrudētā polistirola sijas stiprināšana

Ekstrudētā polistirola sijas tiek stiprinātas pie sienas segmenta izmantojot 1.4. punktā minēto līmi Penosil MS TURBO. Tā ir polimēra bāzes līme, ar augstu saķeri plašam materiālu klāstam un iespējams, veidot augstas stiprības savienojumus, ar maksimālo līmes stiepes stiprību 3.2 MPa. Līme tiek uzklāta pa virsmas perimetra kontūru ar distanci no malas 20 mm, sk. 1. att. Līmes vidējais šķēsgriezuma diametrs uzklājot to polistirola sijai ir 8 mm.

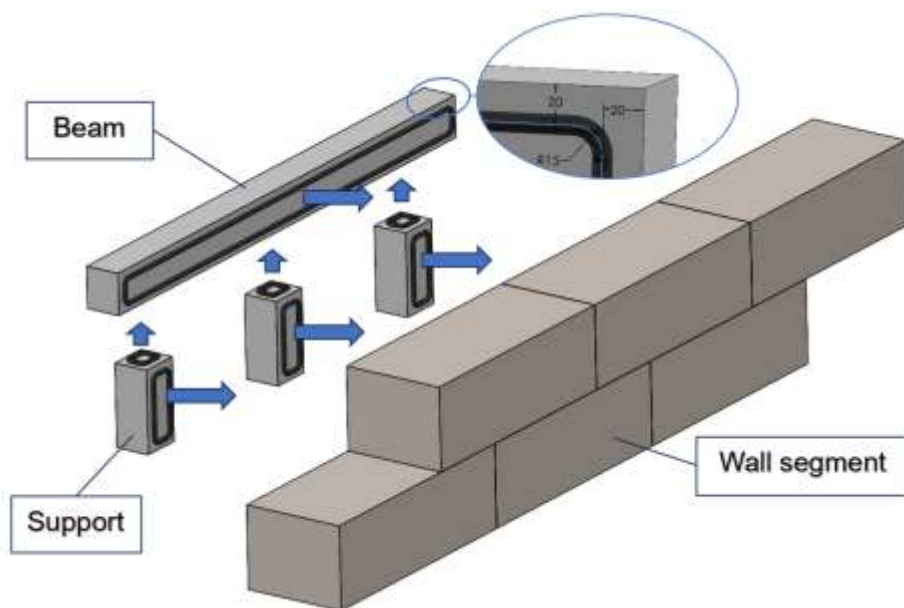


Fig. 1 Applying the sealant

Pēc ekstrudētā polistirola sijas pielīmēšanas, tā uzreiz (nesagaidot līmes pilnīgu sacietēšanu) papildus tiek nostiprināta ar 1.5. punktā minētajiem dībeļiem un skrūvēm. Polistirola sijas tiek stiprināta ar 3 skrūvēm un atbalsts ar 2 skrūvēm. Attālumi doti 2. attēlā.

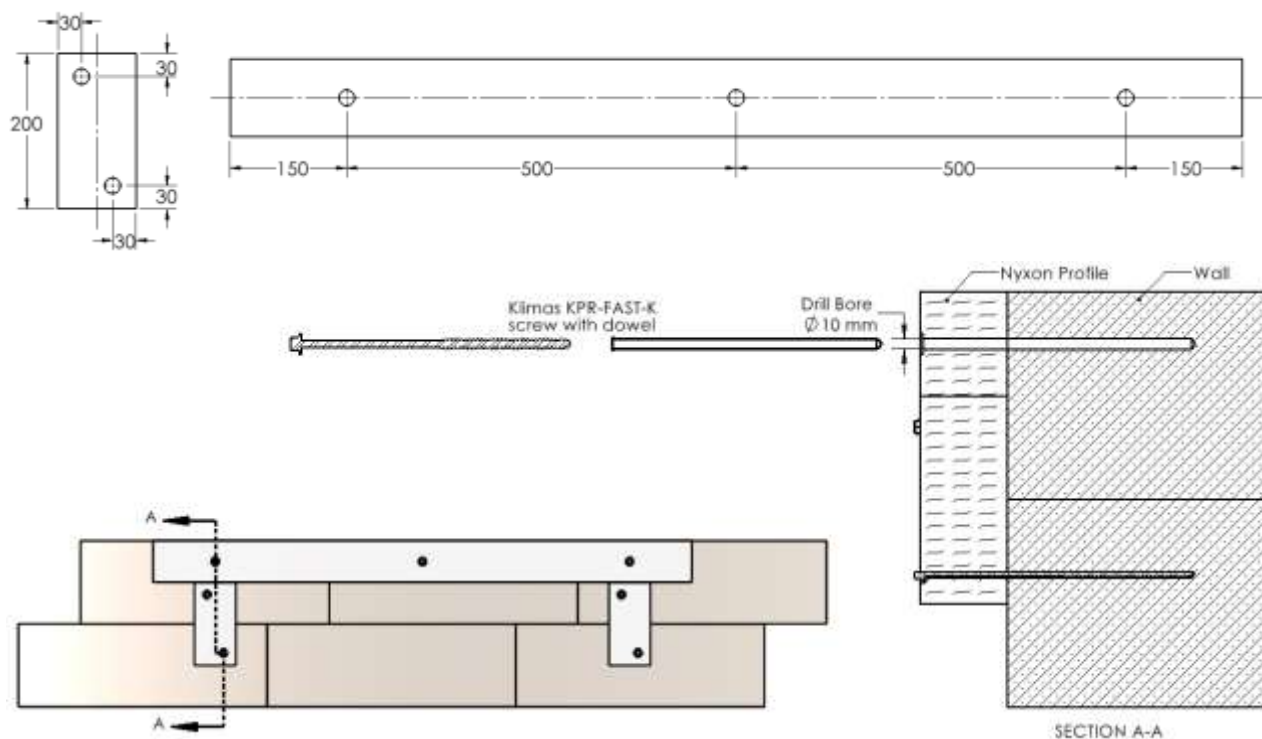


Fig. 2 Drill bore dimensions

Līmes žūšanas laiks 4-5 diennaktis. Sienas testēšanas dažādi moduļu veidi, sagatavoti testēšanai, apskatāmi 3. attēlā



Fig. 3 Wall testing modules

### 3. Ekstrudētā polistirola sijas konstrukcijas testēšanas metodika

Sagatavotie konstrukcijas moduļi tiek testēti uz speciāli veicamajam testam projektēta rāmja, kas piestiprināts Zwick Z150 slogošanas iekārtai. Bloku sienas moduļi tiek nostiprināti pie testēšanas rāmja siju konstrukcijām, sk. 4. attēlā. Slogošana tika veikta izmantojot slogošanas siju, kas piestiprināta pie Zwick Z150 iekārtas augšējā žokļa un testa laikā vienmērīgi sadala lineāru slodzi pa ekstrudētā polistirola sijas garumu.

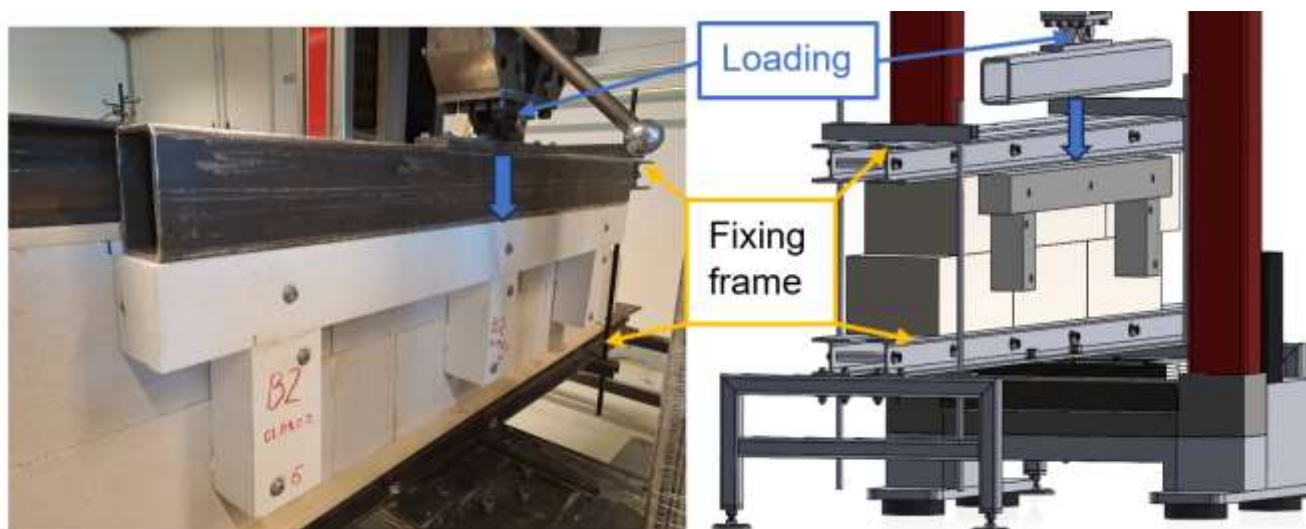


Fig. 4. Testing setup

Pieliktā slodze vērsta virzienā uz leju (spiede) Slogošanas ātrums visos testos bija 10 mm/min. Testēti tiek 4 dažādi sienu materiāla (1.1.) moduļi ar 5 polistirola sijas stiprināšanas un atbalsta veidiem, sk. 5. att.:

- I. Pielīmēta polistirola sija bez skrūvēm;
- II. Pielīmēta polistirola sija ar 3 pielīmētiem atbalstiem bez skrūvēm;
- III. . Pielīmēta polistirola sija ar 3 skrūvēm;
- IV. Pielīmēta polistirola sija ar 3 pielīmētiem atbalstiem un 9 skrūvēm;
- V. Pielīmēta polistirola sija ar 4 pielīmētiem atbalstiem bez skrūvēm;

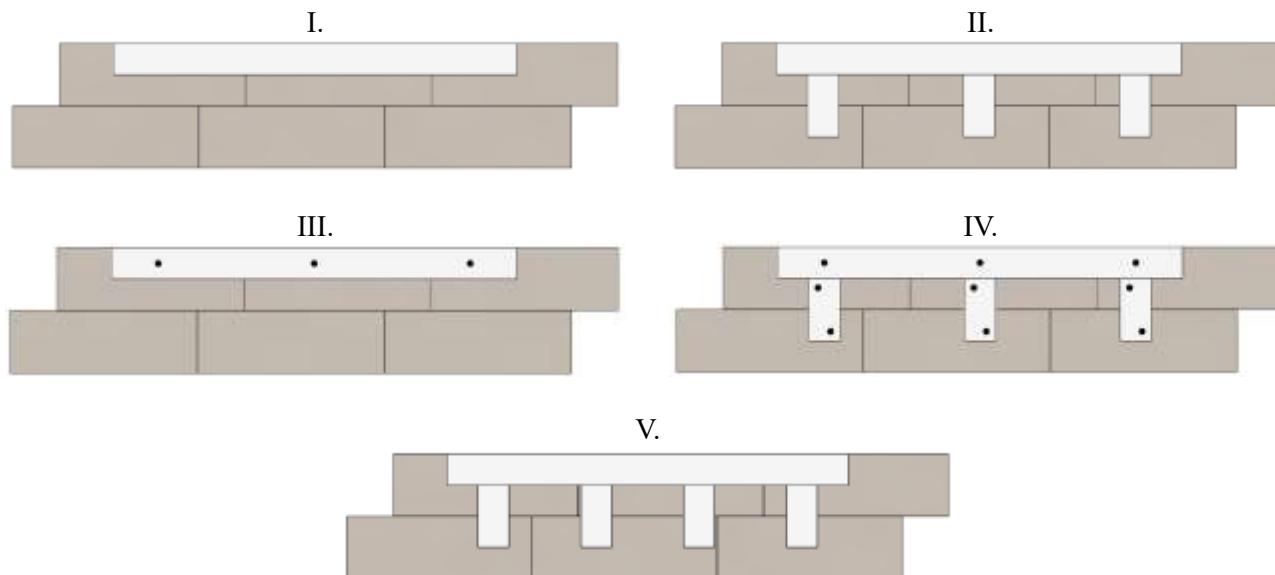


Fig. 5 Wall test configurations

Pieci testa veidi ar 4 dažādiem sienu materiāliem tiek testēti abiem ekstrudētā polistirola sijas materiāliem (Nyxon White un Nyxon Black).

#### 4. Rezultāti

Testu identifikācijas apzīmējumi pēc testa veida doti 2. tabulā.

Table 2 Test types

| ID       | No | Nyxon White |     |      |     |      |     | Nyxon Black |      |      |      |      |     |
|----------|----|-------------|-----|------|-----|------|-----|-------------|------|------|------|------|-----|
|          |    | I.          | II. | III. | IV. | IV.K | V.  | I.          | II.  | III. | IV.  | IV.K | V.  |
| BAUROC   | 1  | B4          | B5  | B13  | B1  | B10  | B21 | B11         | B19  | B12  | B14  | B18  | B20 |
|          | 2  | B6          | B7  |      | B2  |      |     | B17(b)*     |      |      | B15  |      |     |
|          | 3  | B8          | B9  |      | B3  |      |     |             |      |      | B16  |      |     |
| FIBO     | 1  | F7          | F4  | F14  | F1  | F10  | F21 | F18         | F16  | F17  | F11  | F19  | F22 |
|          | 2  | F8          | F5  |      | F2  |      |     | F20(b)*     |      |      | F12  |      |     |
|          | 3  | F9          | F6  |      | F3  |      |     |             |      |      | F13  |      |     |
| KERATERM | 1  | C4          | C5  | C11  | C1  | C10  | C20 | C18         | C15  | C17  | C12  | C16  | C21 |
|          | 2  | C6          | C7  |      | C2  |      |     | C19(b)*     |      |      | C13  |      |     |
|          | 3  | C8          | C9  |      | C3  |      |     |             |      |      | C14  |      |     |
| Concrete | 1  | Be4         | Be8 | Be10 | Be1 | Be7  |     | Be11        | Be16 | Be17 | Be13 | Be15 |     |
|          | 2  | Be5         | Be9 |      | Be2 |      |     | Be12(b)*    |      |      | Be14 |      |     |
|          | 3  | Be6         |     |      | Be3 |      |     |             |      |      |      |      |     |

\* Polystyrene profiles glued with Olive EPDM hybrid.

#### 4.1. BAUROC sienas moduļa testa rezultāts

- Nyxon white polistirola sijas stiprinātas pie gāzbetona sienas moduļa bīdē uzrāda  $1.43 \pm 0.16 \text{ kg/cm}^2$  vidējo stiprības robežu, neatkarīgi no kontakta laukuma un stiprināšanas veida. Nedaudz augstāks rezultāts ir pie 4 atbalstiem.

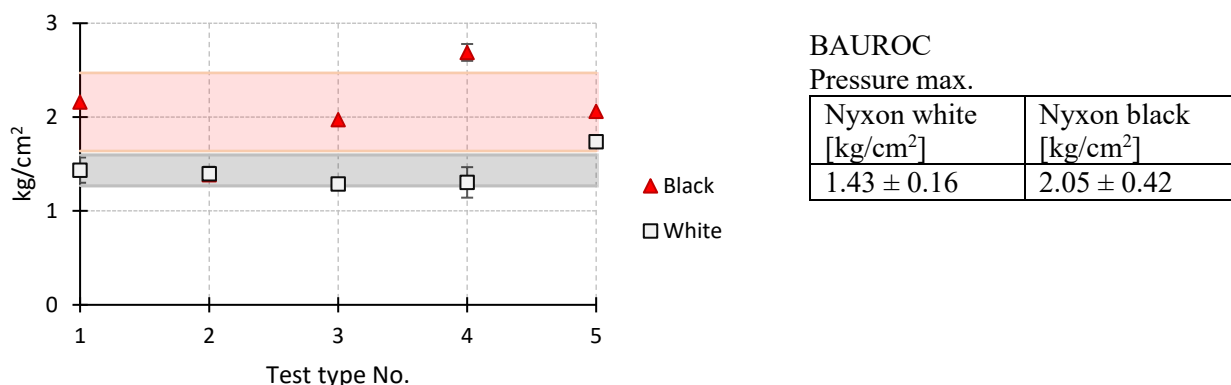


Fig. 6. Results from BAUROC wall tests.

- Nyxon black polistirola sijas stiprinājuma konstrukcijas vidējā noturības robeža ir  $2.05 \pm 0.42 \text{ kg/cm}^2$ , kas ir par 25% augstāka, kā Nyxon white, bet ar salīdzinoši lielu izkliedi rezultātos. Tas skaidrojams ar gāzbetona zemo spiedes stiprību, trauslumu un konstrukcijas nepilnībām. Nepilnības veido lielās bloku dimensiju pielāides  $\pm 5 \text{ mm}$ , ko nevar kompensēt ar izmantoto putu līmi. IV. veida testos dībeļu un skrūvju izmantošana ir devusi papildus stiprību, bet III. veida testos šāda tendence nav novērojama. Tas izskaidrojams ar atbalstu, kā konstrukcijas pastiprinošu elementu, kas darbojas saskrūvētā stāvoklī.

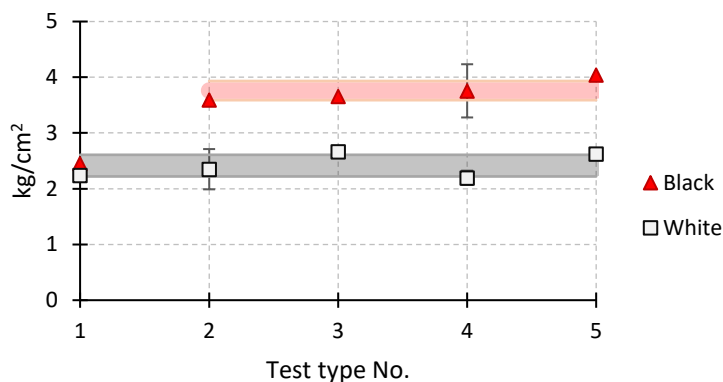
Gāzbetona sienas un polistirola sijas bīdes deformāciju rezultātā, kritiskā atdalīšanās (plaisas izveidošanās) notiek gāzbetonā, kas redzams 7. attēlā un redzams, kā gāzbetona sienas modulī ir izveidojušās plaisas no blokos nevienmērīgi sadalītā kontakta spēka.



Fig. 7. BAUROC wall construction after tests.

#### 4.2. FIBO sienas moduļa testa rezultāts

- Nyxon white polistirola sijas stiprinātas pie keramzīta bloku sienas moduļa bīdē uzrāda  $2.41 \pm 0.19 \text{ kg/cm}^2$  vidējo stiprības robežu.
- Nyxon black polistirola sijas stiprinājuma konstrukcijas vidējās stiprības robeža ir  $3.76 \pm 0.17 \text{ kg/cm}^2$ , kas ir apmēram par 30% augstāka, kā Nyxon white. Šajā gadījumā netiek ņemts vērā I. testa rezultāts, kurš būtiski atšķiras un netika ņemts vērā. Analizējot doto gadījumu varēja secināt, ka ir izveidojusies slikta saķere līmei ar polistirola siju. Iespējams, līmes žūšanas laikā ir bijusi ārēja spēka ietekme, kas atstājusi paliekošas sekas uz savienojuma stiprību.



FIBO

Pressure max.

| Nyxon white<br>[kg/cm <sup>2</sup> ] | Nyxon black<br>[kg/cm <sup>2</sup> ] |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 2.41 ± 0.19                          | 3.76 ± 0.17                          |

Fig. 8. Results from FIBO wall tests.

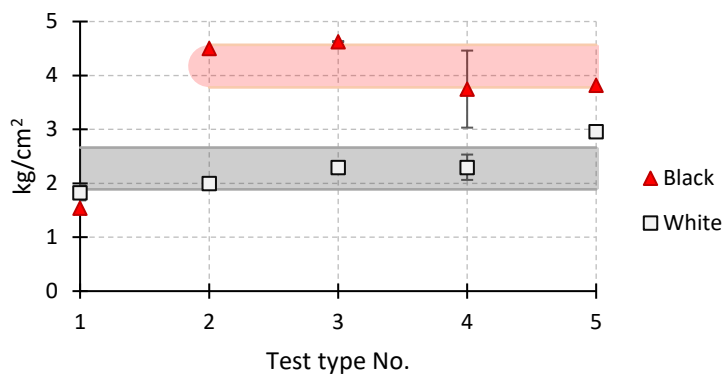
Keramzīta bloku sienas un polistirola sijas bīdes deformāciju rezultātā, atdalīšanās notiek atšķirīgi atkarībā no lietotā polistirola veida: Nyxon white gadījumā plīst polistirols, kas redzams 9. attēlā; Nyxon black gadījumā, tiek izrauti keramzīta graudi vai lielāki sienas fragmenti, vai arī novērojama adhēzija līmei ar polistirola siju.



Fig. 9. FIBO wall construction after tests

#### 4.3. Keraterm sienas moduļa testa rezultāts

- Nyxon white polistirola sijas stiprinātas pie keramikas ķieģeļu bloku sienas moduļa bīdē uzrāda  $2.27 \pm 0.39 \text{ kg/cm}^2$  vidējās stiprības robežu.
- Nyxon black polistirola sijas stiprinājuma konstrukcijas vidējās stiprības robeža ir  $4.17 \pm 0.39 \text{ kg/cm}^2$ , kas ir gandrīz divas reizes augstāka, kā Nyxon white. Arī šajā gadījumā netiek ņemts vērā I. testa rezultāts, kurš būtiski atšķiras un var tikt pieņemts, kā kļūdains, iespējams nav ievērots līmes žūšanas process un ir bijusi ārēja spēka ietekme. IV. veida testā ir liela rezultātu izkliede un vidējā vērtība varētu būt zemāka. Šajā gadījumā, sienas blokos ir izveidojušies daudz defektu, dēļ putu līmes elastības, sk. 11. attēlu. Reālos apstākļos izmantojot mūrjavu, sienas konstrukcija būtu daudz viendabīgāka un rezultāti būtu augstāki.



KERATERM  
Pressure max.

| Nyxon white<br>[Kg/cm <sup>2</sup> ] | Nyxon black<br>[Kg/cm <sup>2</sup> ] |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 2.27 ± 0.39                          | 4.17 ± 0.39                          |

Fig. 10. Results from KERATERM wall tests.

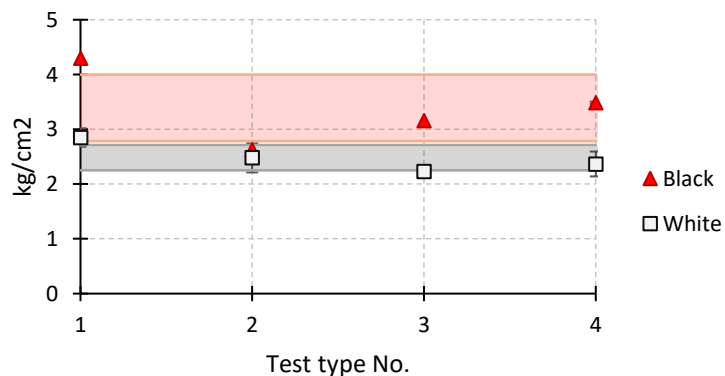
Defekti veidojās no lielajām bloku dimensiju pielaidēm ± 5 mm, ko nevar kompensēt ar izmantoto putu līmi.



Fig. 11. KERATERM wall construction after tests. Cracks from tolerance flaws

#### 4.4. Betona sienas moduļa testa rezultāts

- Nyxon white polistirola sijas stiprinātas pie betona pārsedžu sienas moduļa bīdē uzrāda  $2.48 \pm 0.23 \text{ kg/cm}^2$  vidējo stiprības robežu.
- Nyxon black polistirola sijas stiprinājuma konstrukcijas vidējo stiprības robeža ir  $3.39 \pm 0.61 \text{ kg/cm}^2$ . Rezultātiem liela izkliede, zemākais rezultāts ir II. veida testam, kas skaidrojams ar betona pārsedžu lielajām dimensiju pielaidēm ± 10 mm.



CONCRETE  
Pressure max.

| Nyxon white<br>[kg/cm <sup>2</sup> ] | Nyxon black<br>[kg/cm <sup>2</sup> ] |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 2.48 ± 0.23                          | 3.39 ± 0.61                          |

Fig. 12. Results from CONCRETE wall tests.

Zemāk, 13. attēla labajā pusē, redzams iemesls, rezultātu lielajai izkļiedei. Polistirola sijas atbalsti nav paralēli virsmas plaknei.



Fig. 13. CONCRETE wall construction after tests. Tolerance flaws.

#### 4.5. Koncentrētas slodzes ietekme uz polistirola sijas konstrukciju

Par pamatu tiek izmantots IV. testa veids, kur slodze tiek koncentrēta ar 3 polipropilena celtniecības ķīļu 46x88x16 mm komplektiem, sk. 15. un 17 att. Ķīļi tiek likti uz polistirola sijas virsmas pozīcijās, kas ir tieši virs atbalstiem, kas nostiprināti sienas paraugos ar dībeļiem un stiprinājuma skrūvēm. Testos iegūts, ka Nyxon white polistirola sijai spiedes stiprības robeža ir 10 kg/cm<sup>2</sup>, sk. 14. att. un Nyxon black 17 kg/cm<sup>2</sup>, sk. 16. att. Ja tiek ņemts vērā ķīļu kontakta laukums ar izgriezumiem, tad iegūts ražotāja deklarētās vērtības, kuras tad arī tiek rekomendēts nepārsniegt:

- Nyxon white polistirola sijai ieteicams nepārsniegt 15 kg/cm<sup>2</sup> slodzi uz laukuma vienību, kuru pārsniedzot, polistirola sija tiek neatgriezeniski deformēta;
- Nyxon black polistirola sijai ieteicams nepārsniegt ražotāja norādīto vērtību 25 kg/cm<sup>2</sup>.

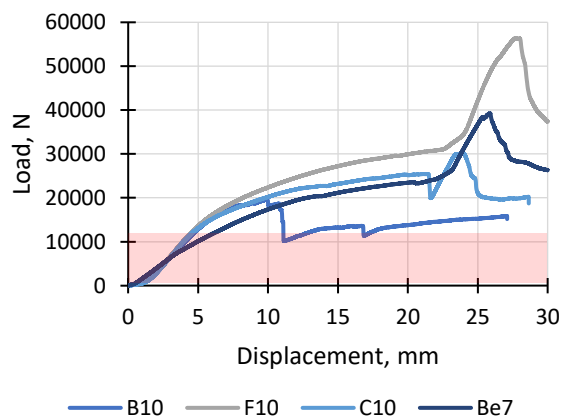


Fig. 14. Concentrated load – Nyxon white



Fig. 15. Construction wedges for Nyxon white

Atsevišķi gadījumi, kad koncentrēta slodze ir nobīdīta no atbalstu centrālās vertikālās ass, netiek izskatīti, kā praksē nerekomendējami. Ieteicams izvairīties no koncentrētas slodzes pielikšanas reālās konstrukcijās un izmantot slodzi izkliedējošu slāni ar augstāku stingumu, kā polistirola sijām.

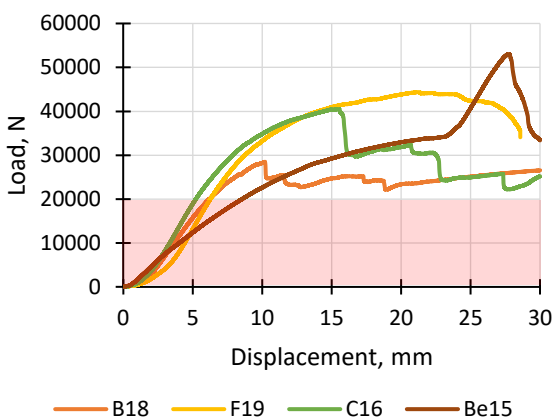


Fig. 16. Concentrated load – Nyxon black

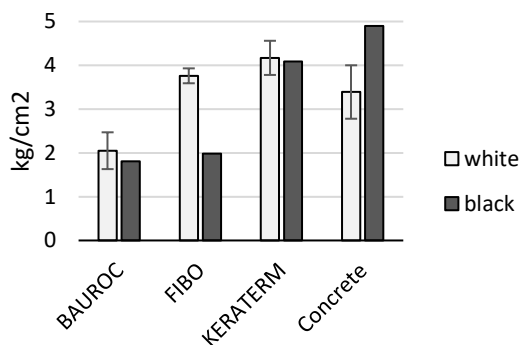


Fig. 17. Construction wedges for Nyxon black

#### 4.6. Ekstrudētā polistirola sijas līmes Penosil MS TURBO un Olive EPDM salīdzinājuma testa rezultāti

Lai salīdzinātu abas līmes par pamatu izmantots I. testa veids ar Nyxon black polistirola siju. Penosil MS TURBO līmes rezultāti tiek ņemti no iepriekš veiktajiem testiem, kā vidējā vērtība.

- Nyxon black polistirola sijas stiprinājuma konstrukcijas maksimālās noturības robežas vērtības abām līmēm dotas 18. attēlā.



|          | Penosil<br>MS TURBO<br>(white)<br>[kg/cm <sup>2</sup> ] | Olive<br>EPDM<br>(black)<br>[kg/cm <sup>2</sup> ] |
|----------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| BAUROC   | 2.05 ± 0.42                                             | 1.81                                              |
| FIBO     | 3.76 ± 0.17                                             | 1.98                                              |
| KERATERM | 4.17 ± 0.39                                             | 4.08                                              |
| CONCRETE | 3.39 ± 0.61                                             | 4.90                                              |

Fig. 18. Comparison tests of Penosil MS TURBO (white) and Olive EPDM (black) with Nyxon black profile

Līmēm ir atšķirīgas elastīgās īpašības, salīdzinot, testa rezultātus ar betona sienas moduli, redzams, ka pie līdzīga maksimālā slogojuma, Olive EPDM līmei ir divreiz lielāks pārvietojums, sk. 19. attēlu.

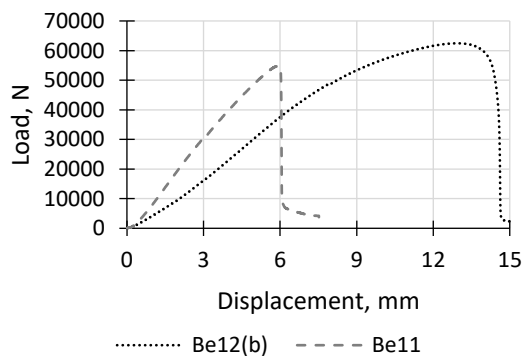
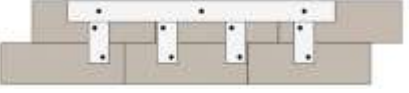
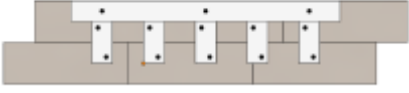


Fig. 19. The Concrete wall module and two types of adhesives: Penosil MS TURBO – Be11 and Olive EPDM Be12(b)

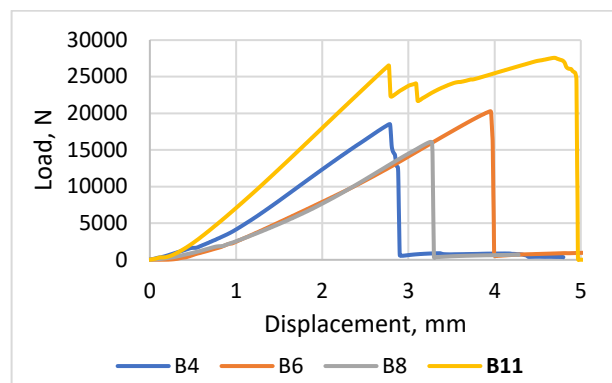
#### 4.7. Piemērs ar maksimālo pieļaujamo slodzi uz konstrukciju, ja drošības koeficients FOS = 3

| Construction type                                       |                                                                                   | Max loading force |             |           |               |               |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------|-----------|---------------|---------------|
| Nyxon 85x100x1300 mm profile and 85x100x200 mm supports |                                                                                   | Nyxon profile     | BAUROC [kg] | FIBO [kg] | KERATERM [kg] | CONCRETE [kg] |
| 1)                                                      | Nyxon profile without supports                                                    |                   |             |           |               |               |
|                                                         |  | White             | 505         | 860       | 785           | 881           |
|                                                         |                                                                                   | Black             | 700         | 1358      | 1481          | 1168          |
| 2)                                                      | Nyxon profile with 2 supports                                                     |                   |             |           |               |               |
|                                                         |  | White             | 660         | 1125      | 1026          | 1152          |
|                                                         |                                                                                   | Black             | 916         | 1776      | 1937          | 1528          |
| 3)                                                      | Nyxon profile with 3 supports                                                     |                   |             |           |               |               |
|                                                         |  | White             | 738         | 1258      | 1147          | 1288          |
|                                                         |                                                                                   | Black             | 1024        | 1985      | 2165          | 1708          |
| 4)                                                      | Nyxon profile with 4 supports                                                     |                   |             |           |               |               |
|                                                         |  | White             | 815         | 1390      | 1268          | 1424          |
|                                                         |                                                                                   | Black             | 1131        | 2194      | 2393          | 1887          |
| 5)                                                      | Nyxon profile with 5 supports                                                     |                   |             |           |               |               |
|                                                         |  | White             | 893         | 1522      | 1388          | 1559          |
|                                                         |                                                                                   | Black             | 1239        | 2402      | 2621          | 2067          |

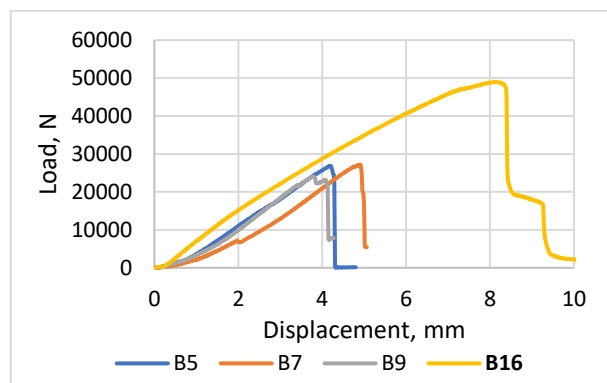
#### 4.8. Secinājumi

- 1) Nav korelācijas starp izmantoto sienas materiālu spiedes izturības robežu un testētās polistirola sijas konstrukcijas nestspēju.
- 2) Dažādiem sienas materiāliem polistirola sijas konstrukcijas nestspēja ir atkarīga no sienas materiāla virsmas īpašībām (raupjums, porainība).
- 3) Polistirola sijas konstrukcijas nestspēja ir atkarīga no kontakta virsmas līmes pārklājuma laukuma.
- 4) Dībeļu un skrūvju izmantošana nepaaugstina polistirola sijas konstrukcijas maksimālo stiprību, bet saglabā zināmu nestspēju pēc traukslās sabrukšanas.
- 5) Nyxon White polistirola sijas konstrukcijas vidējā stiprības robeža bīdē, neatkarīgi no sienas materiāla, nav augstāka par  $\sim 2.5 \text{ Kg/cm}^2$ .
- 6) Koncentrētas slodzes gadījumā izmantot slodzi izkliedējošu slāni vai liekot ķīļus, vietās virs skrūvēm un atbalstiem, nepārsniedzot ražotajā deklarēto virsmas? spiedes izturības robežu.

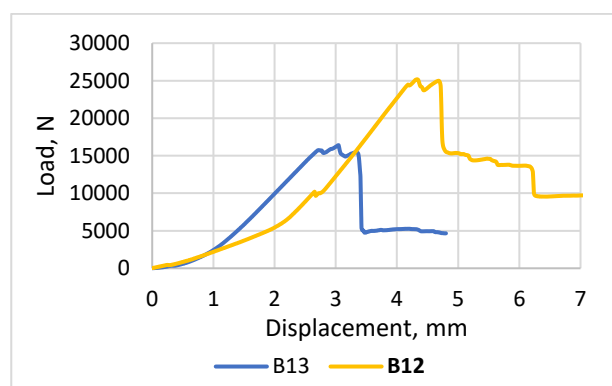
## BAUROC wall tests



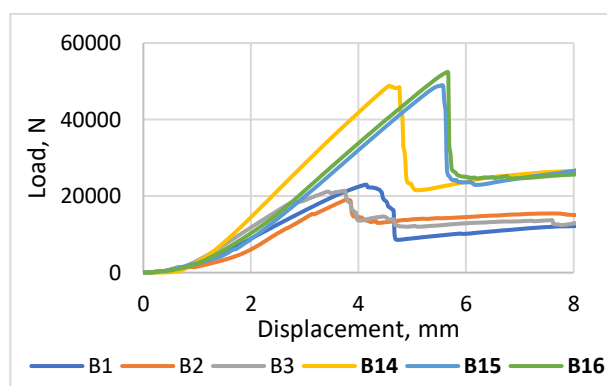
Test type I.



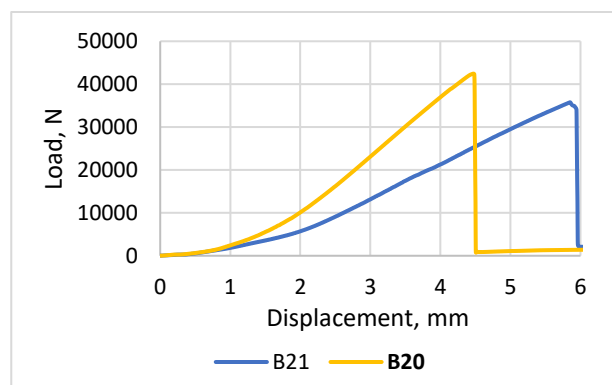
Test type II.



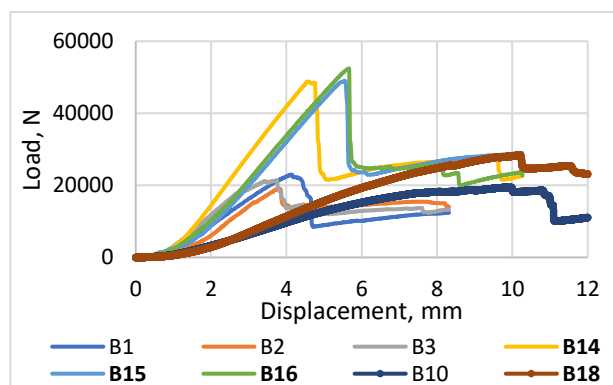
Test type III.



Test type IV.

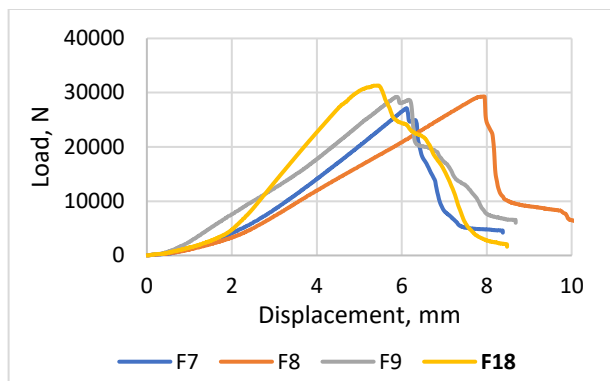


Test type V.

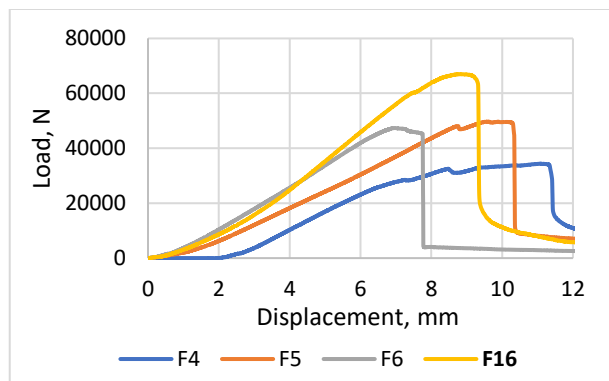


Test type IV. + K

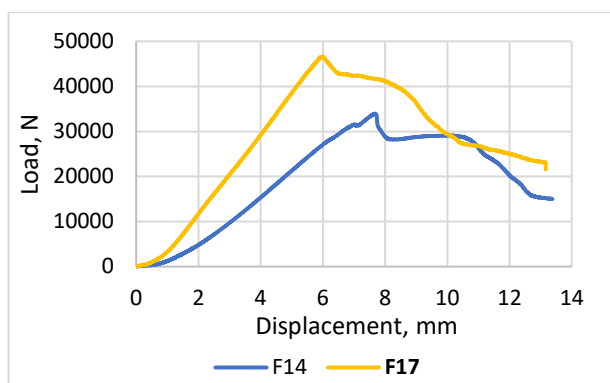
## FIBO wall tests



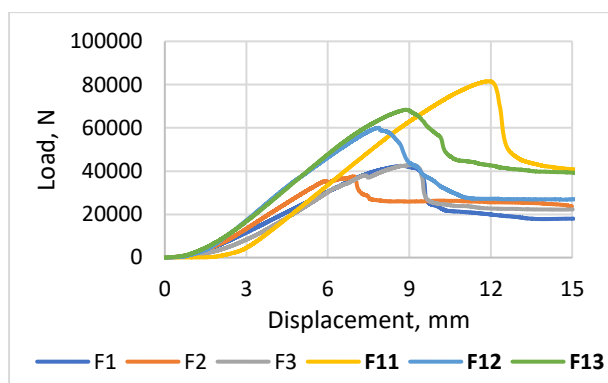
Test type I.



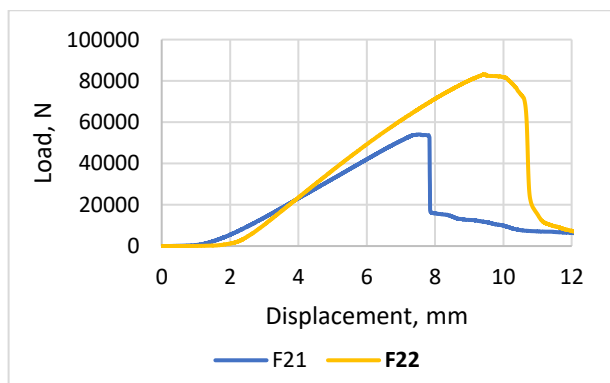
Test type II.



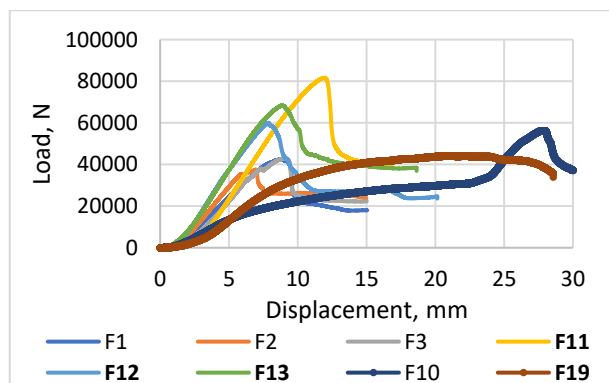
Test type III.



Test type IV.

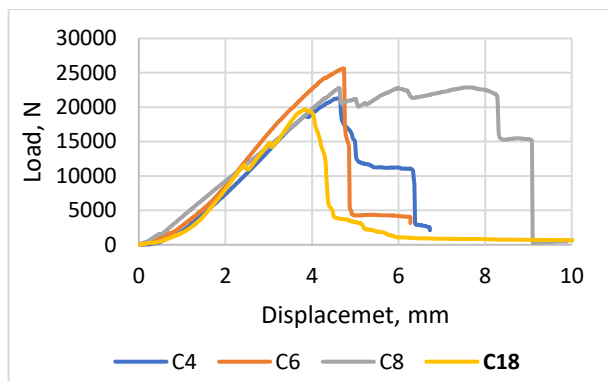


Test type V.

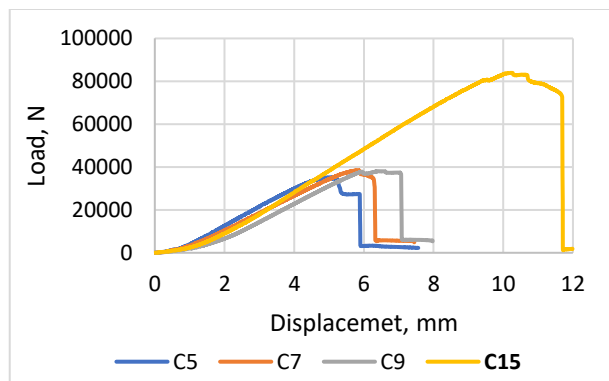


Test type IV. + K

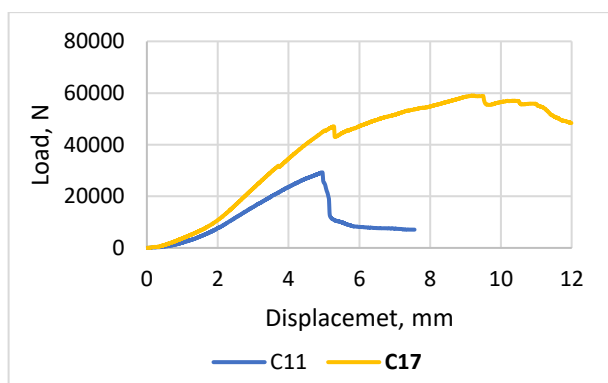
## KERATERM wall tests



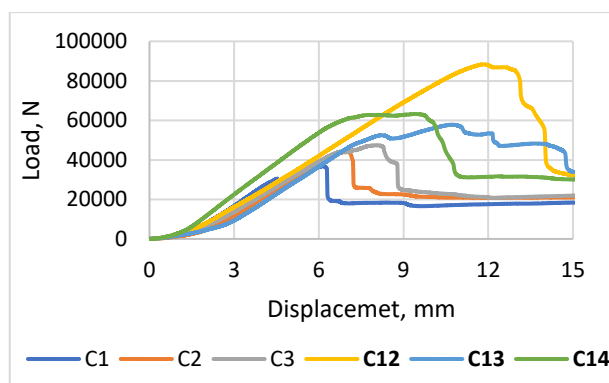
Test type I.



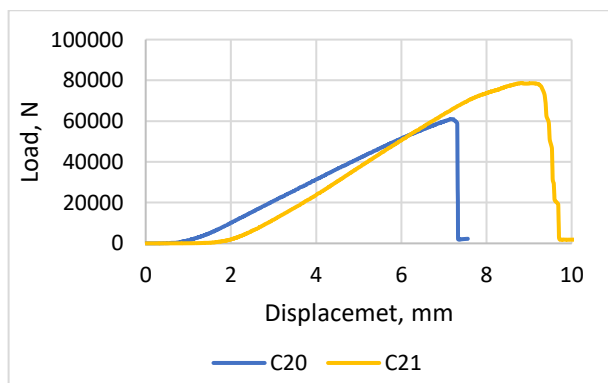
Test type II.



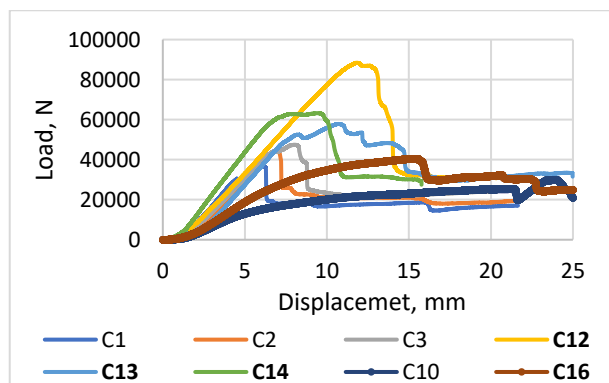
Test type III.



Test type IV.

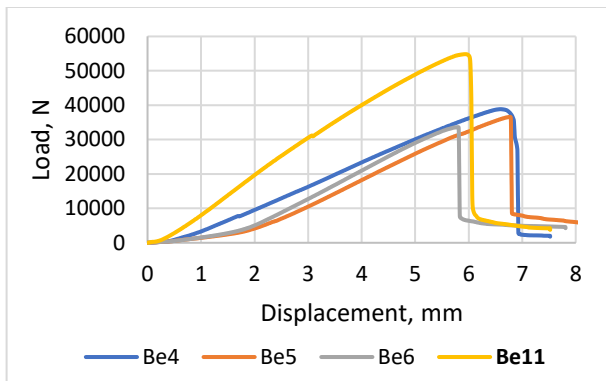


Test type V.

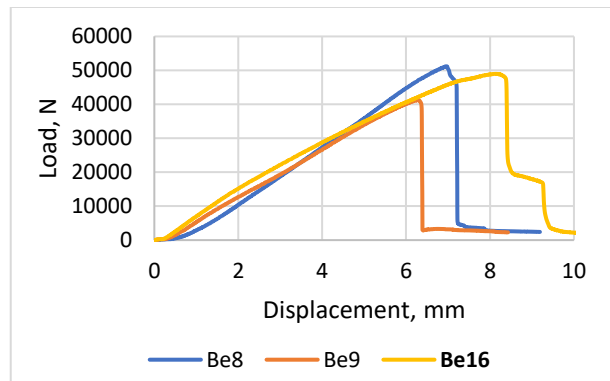


Test type IV. + K

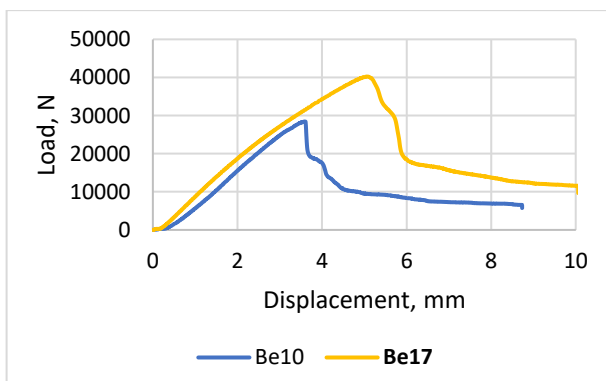
## CONCRET wall tests



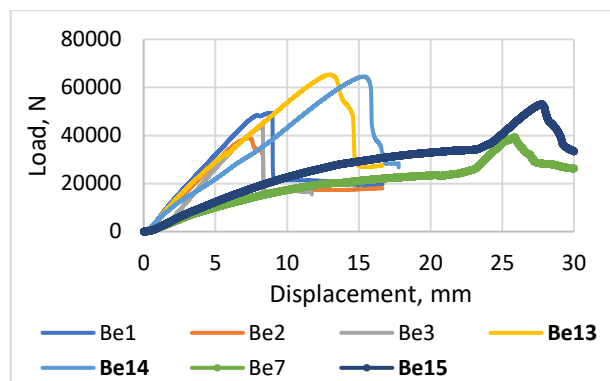
Test type I.



Test type II.



Test type III.



Test type IV. + K