



**VILNIAUS GEDIMINO TECHNINIS UNIVERSITETAS**

Kęstutis Gurkšnys

**KOMPOZITINIŲ MEDIENOS–BETONO SIJŲ IR JUNGIŲ  
KŪRIMAS IR BANDYMAI**

Daktaro disertacija  
Technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T

Vilnius, 2006

Disertacija rengta 2001–2005 m. Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Darbo mokslinis vadovas:

prof. habil. dr. Audronis Kazimieras KVEDARAS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T).

## TURINYS

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Žymenys ir santrumpos                                                                           | 5  |
| Bendroji darbo charakteristika                                                                  | 7  |
| <b>1 skyrius. NAGRINĖJAMO KLAUSIMO SAMPRATA IR TYRIMŲ TIKSLAS</b>                               |    |
| 1.1. Konstrukcijos iš medienos ir betono                                                        | 11 |
| 1.2. Technologijų ir tyrimų istorinė apžvalga                                                   | 13 |
| 1.3. Naujos konstrukcijos kūrimas                                                               | 15 |
| 1.4. Išvados ir tyrimų tikslai                                                                  | 16 |
| <b>2 skyrius. KOMPOZITINIŲ MEDIENOS-BETONO SIJŲ SKAIČIAVIMAI</b>                                |    |
| 2.1. Įvadinės pastabos                                                                          | 17 |
| 2.2. Jungčių tipai                                                                              | 17 |
| 2.3. Kompozitinių konstrukcijų su iš dalies standžiomis jungtimis skaičiavimo metodai           | 20 |
| 2.3.1. Įvadas                                                                                   | 20 |
| 2.3.2. Vierendelio sijos                                                                        | 20 |
| 2.3.3. Strypinių sistemų metodas                                                                | 21 |
| 2.3.4. Baigtinių elementų metodas                                                               | 22 |
| 2.3.5. Supaprastintieji projektavimo metodai                                                    | 22 |
| 2.3.6. Apibendrinimas                                                                           | 25 |
| 2.4. Pasiūlytosios kompozitinės medienos-betono sijos projektavimo metodika                     | 26 |
| 2.4.1. Projektavimo pagrindai                                                                   | 26 |
| 2.4.2. Kompozitinės medienos-betono tarpsluoksnio jungties jungės elgsenos ypatumai             | 27 |
| 2.4.3. Kompozitinio medienos-betono skerspjuvio geometrinių rodiklių ir<br>įtempių skaičiavimas | 28 |
| 2.4.4. Saugos ribinis būvis                                                                     | 30 |
| 2.4.5. Tinkamumo ribinis būvis                                                                  | 31 |
| 2.5. Kompozitinės medienos-betono sijinės perdangos teorinis įtempių skaičiavimas               | 32 |
| 2.6. Išvados                                                                                    | 33 |
| <b>3 skyrius. KOMPOZITINIŲ MEDIENOS-BETONO SIJŲ TARPSLUOKSNIO JUNGĖS</b>                        |    |
| 3.1. Įvadinės pastabos                                                                          | 35 |
| 3.2. Kompozitinių medienos-betono sijų tarpsluoksnio jungių tipai                               | 35 |
| 3.2.1. Mechaninės jungės                                                                        | 36 |
| 3.2.2. Spraustelinės jungės                                                                     | 39 |
| 3.2.3. Klijuotinės jungės                                                                       | 41 |
| 3.2.4. Frikcinės jungės                                                                         | 42 |

|                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3. Tinkamiausių jungių pritaikymas nagrinėjamos kompozitinės medienos-betono sijos tarpsluoksnių jungčiais                 | 43  |
| 3.4. Išvados                                                                                                                 | 45  |
| <b>4 skyrius. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI</b>                                                                                   |     |
| 4.1. Įvadinės pastabos                                                                                                       | 46  |
| 4.2. Jungių tyrimai                                                                                                          | 46  |
| 4.2.1. Bandymo tikslai                                                                                                       | 46  |
| 4.2.1. Bandymo įranga ir metodika                                                                                            | 47  |
| 4.2.3. Tyrimų rezultatai                                                                                                     | 50  |
| 4.3. Kompozitinės medienos-betono sijos tyrimai                                                                              | 53  |
| 4.3.1. Bandymo tikslai ir uždaviniai                                                                                         | 53  |
| 4.3.2. Bandymo įranga ir metodika                                                                                            | 53  |
| 4.3.3. Medžiagų ir jungių savybės                                                                                            | 59  |
| 4.3.4. KMB sijų bandymo rezultatai                                                                                           | 66  |
| 4.4. Bandymų duomenų vertinimas ir išvados                                                                                   | 71  |
| <b>5 skyrius. EKSPERIMENTINIŲ IR TEORINIŲ REZULTATŲ VERTINIMAS</b>                                                           |     |
| 5.1. Įvadinės pastabos                                                                                                       | 73  |
| 5.2. Medžiagų savybių įtaka                                                                                                  | 73  |
| 5.3. Ilgalaikių deformacijų įtaka                                                                                            | 76  |
| 5.3.1. Medienos ilgalaikės deformacijos                                                                                      | 76  |
| 5.3.2. Betono ilgalaikės deformacijos                                                                                        | 79  |
| 5.3.3. Kompozitinių medienos-betono konstrukcijų ilgalaikės deformacijos                                                     | 82  |
| 5.3. Eksperimentinių ir teorinių rezultatų sugretinimas                                                                      | 85  |
| 5.4. Išvados                                                                                                                 | 87  |
| <b>BAIGIAMOSIOS IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS</b>                                                                                | 88  |
| <b>LITERATŪRA</b>                                                                                                            | 90  |
| A PRIEDAS. Kompozitinės medienos-betono perdangos skaičiavimo pavyzdys                                                       | 100 |
| B PRIEDAS. Kompozitinių medienos-betono jungčių su „įvorinėmis“ bei armatūrinėmis jungėmis eksperimentinių tyrimų rezultatai | 105 |
| C PRIEDAS. Kompozitinės medienos-betono jungties su „įvorinėmis“ jungėmis eksperimentinių tyrimų rezultatai                  | 121 |
| D PRIEDAS. Kompozitinės medienos-betono sijų eksperimentinių tyrimų rezultatai                                               | 138 |

## ŽYMENYS IR SANTRUMPOS

Lotyniškosios raidės:

|           |                                                                                  |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------|
| $A$       | skerspjūvio plotas                                                               |
| $a$       | skerspjūvio sunkio centro atstumas iki neutraliosios ašies                       |
| $b$       | skerspjūvio plotis                                                               |
| $e$       | atstumas tarp skerspjūvių sunkio centrų                                          |
| $E$       | tamprumo modulis                                                                 |
| $EI$      | lenkiamasis standis                                                              |
| $F$       | sutelktinė apkrova                                                               |
| $f$       | medžiagos stipris                                                                |
| $G$       | šlyties modulis                                                                  |
| $g$       | tolygiai išskirstyta nuolatinė apkrova                                           |
| $h$       | skerspjūvio aukštis                                                              |
| $I$       | skerspjūvio inercijos momentas                                                   |
| $i$       | skerspjūvio inercijos spindulys                                                  |
| $y$       | skerspjūvio sunkio centro atstumas iki redukuoto skerspjūvio neutraliosios ašies |
| $K$       | jungės slankumo modulis                                                          |
| $k$       | tarpsluoksnio jungties slankumo standis; koeficientas                            |
| $k_{def}$ | deformacijos koeficientas                                                        |
| $k_h$     | skerspjūvio matmenų koeficientas                                                 |
| $k_{mod}$ | modifikacijos koeficientas                                                       |
| $l$       | tarpatramio ilgis; atstumas, ruožo ilgis                                         |
| $n$       | skaičius (jungimo priemonių, siūlių ir kt.); tamprumo modulių santykis           |
| $M$       | lenkiamasis momentas                                                             |
| $N$       | ašinė jėga (įraža)                                                               |
| $q$       | tolygiai išskirstyta apkrova                                                     |
| $RH$      | aplinkos santykinis drėgnis                                                      |
| $s$       | atstumas tarp jungių                                                             |
| $t$       | laikas; vienetinė šlyties jėga                                                   |
| $u$       | slinktis                                                                         |
| $V$       | skersinė jėga                                                                    |
| $W$       | drėgnis                                                                          |
| $w$       | poslinkis                                                                        |
| $x, y, z$ | koordinatės                                                                      |

Graikiškosios raidės:

|                     |                                                                                   |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| $\varepsilon$       | deformacija (santykinė)                                                           |
| $\varepsilon_{shr}$ | betono traukioji deformacija                                                      |
| $\phi$              | valkšnumo koeficientas                                                            |
| $\gamma$            | tarpsluoksnio jungties veiksmingumo koeficientas; dalinis patikimumo koeficientas |

|          |                             |
|----------|-----------------------------|
| $\rho$   | tankis                      |
| $\kappa$ | kreivis                     |
| $\sigma$ | normalinis įtempis          |
| $\Delta$ | skirtumas                   |
| $\omega$ | medienos santykinis drėgnis |

#### Indeksai:

|             |                                                     |
|-------------|-----------------------------------------------------|
| 0           | kryptis išilgai medienos pluošto; OSB didžioji ašis |
| 1           | betonas                                             |
| 2           | mediena                                             |
| 3           | OSB plokštė                                         |
| 90          | kryptis skersai medienos pluošto, OSB mažoji ašis   |
| <i>c</i>    | gniuždymas; betonas                                 |
| <i>cyl</i>  | cilindrinis                                         |
| <i>cub</i>  | kubinis                                             |
| <i>cr</i>   | valkšnumas                                          |
| <i>d</i>    | skaičiuotinė reikšmė                                |
| <i>ef</i>   | efektyvioji reikšmė                                 |
| <i>el</i>   | tamprioji reikšmė                                   |
| <i>k</i>    | charakteristinė reikšmė                             |
| <i>lim</i>  | ribinė reikšmė                                      |
| <i>max</i>  | maksimali reikšmė                                   |
| <i>min</i>  | minimali reikšmė                                    |
| <i>m</i>    | lenkimas                                            |
| <i>mean</i> | vidutinė reikšmė                                    |
| <i>red</i>  | redukuota reikšmė                                   |
| <i>ser</i>  | tinkamumo naudoti reikšmė                           |
| <i>t</i>    | tempimas; mediena                                   |
| <i>u</i>    | ribinė reikšmė                                      |
| <i>w</i>    | OSB plokštė                                         |

## **BENDROJI DARBO CHARAKTERISTIKA**

### **TEMOS AKTUALUMAS**

Pastaruoju metu Lietuvoje ir kitose Europos bei pasaulio šalyse vis daugiau statoma lengvųjų konstrukcijų pastatų, tačiau jų perdangoms gaminiai iš medienos dar nėra plačiai naudojami. Tradicinės lengvo medinio karkaso perdangos pasižymi vibracijomis, garso pralaidumu ir mažu atsparumu kaitrai. Išvardytos problemos racionaliai sprendžiamos naudojant kompozitines medienos-betono (toliau – KMB) perdangas. Tokio tipo perdangos, palyginti su medinėmis, yra ne tik stipresnės ir standesnės, bet ir labiau atsparios kaitrai, geresnė jų garso izoliacija. Palyginti su iš neatsinaujinančių išteklių pagamintomis gelžbetoninėmis perdangomis, KMB perdangos yra lengvesnės ir ekonomiškesnės. Šios savybės skatina naudoti KMB perdangas naujai statomuose pastatuose. Statybinėse konstrukcijose naudodami medieną vietoj betono ar plieno, galime iš esmės sumažinti energijos poreikį ir išsiskiriančio anglies dvideginio kiekį gamybos metu.

KMB perdangos tarpatriamiui esant iki 6 m, sijiniai mediniai komponentai paprastai daromi iš vientisinės stačiakampio skerspjūvio medienos. Kai kompozitiniai medienos-betono perdangos tarpatriamiai yra nuo 6 iki 10 m, sijiniai mediniai komponentai daromi iš klijuotinės stačiakampio skerspjūvio medienos. Medinėms perdangos sijoms pagaminti, vietoj klijuotinio stačiakampio skerspjūvio sijų sėkmingai gali būti naudojamos ir sudėtinio dvitėjo skerspjūvio sijos (medinės plonasienės sijos) su plona sienele iš orientuotųjų skiedrų plokščių (toliau – OSB). Šios plonasienės medinės sijos su betono plokšte jungiamos tam tikro tipo jungėmis. Tačiau taip sukomponuotame skerspjūvyje neveiksmingai išnaudojamos medinės plonasienės sijos viršutinės gniuždomosios juostos konstrukcinės savybės. Šio darbo autorius pateikia naują KMB sijinės perdangos konstrukcinį sprendimą, kai plonasienės medinės sijos neturi viršutinės medinių lentų juostos, o sienelė su betono plokšte jungiama per į plokštę įleidžiamą viršutinę sienelės dalį. Šis sprendimas leidžia ekonomiškiau naudoti konstrukcijos medžiagas bei sumažinti gamybos išlaidas. Tačiau tiek pasiūlytos KMB sijos, tiek įlaidinės (įleistinės) jungties tarp betono ir sijos sienelės elgsenos yra mažai ištirtos. Todėl išlieka aktualūs ir teoriniai, ir eksperimentiniai tyrimai, skirti naujo tipo KMB sijos elgsenai analizuoti ir projektavimo metodikai parengti.

### **TYRIMŲ OBJEKTAS IR METODAS**

Tyrimų objektas yra kompozitinė medienos-betono sija, susidedanti iš betono plokštės, medinės plonasienės sijos ir jungių, tinkamų šių sijų jungčiai tarp betono ir OSB plokščių. Jungių ir KMB sijų pagrindinėms mechaninėms charakteristikoms ir jų statistiniams parametrams nustatyti

atlikti natūralaus didumo jungčių ir sijų trumpalaikiai bandymai. Pasiūlytas KMB sijos skaičiavimo algoritmas pagrįstas žinomais gama ir skerspjūvio redukavimo metodais.

## **DARBO TIKSLAI IR UŽDAVINIAI**

Šio darbo tikslai:

- Siekti padidinti kompozitinės medienos-betono perdangos veiksmingumą, jos elementams pritaikius medines plonasienes sijas.
- Sukurti tarpsluoksnio jungties junges.
- Išanalizuoti kompozitinės medienos-betono sijos ir tarpsluoksnio jungties elgsenas.
- Išsiaiškinti šių konstrukcijų praktinio taikymo galimybes.
- Parengti lenkiamos kompozitinės medienos-betono perdangos projektavimo metodiką.

Tiksams pasiekti keliama šie uždaviniai:

- Apžvelgti labiausiai paplitusių KMB perdangų tarpsluoksnio jungčių tipus ir įvertinti jų ypatumus.
- Sukurti įleistinę jungtį (analizuojant skirtingų tipų betono kaištines junges) tarp betono plokštės ir OSB sienutės.
- Bandymais nustatyti skirtingų tipų betono kaištinių jungių mechanines charakteristikas, esant skirtingiems OSB sienelių storiams ir atstumams tarp jungių.
- Išanalizuoti KMB perdangų ypatumus, skaičiavimo metodus ir jų ypatybes.
- Sukurti naują KMB perdangos konstrukciją.
- Parengti ir atlikti šios naujos kompozitinės sijos eksperimentinius tyrimus.
- Įvertinus teorinių ir eksperimentinių tyrimų rezultatus parengti tolygiai išskirstytos simetrinės apkrovos veikiamos sukurtosios kompozitinės sijos projektavimo metodiką.

## **DARBO MOKSLINIS NAUJUMAS**

- Pritaikius efektyvias medines plonasienes sijas, sukurta naujo tipo KMB konstrukcija.
- Sukurta naujo tipo betono plokštės ir sijos sienelės įlaidinė jungtis panaudojus „įvoringę“ plieno jungę.
- Eksperimentiniais tyrimais nustatyti betono plokštės ir sijos sienelės įlaidinės jungties racionalūs matmenys ir jungės atspario bei slankumo modulio vertės.
- Gauti ir išanalizuoti simetrinių apkrovų veikiamų kompozitinės medienos-betono sijos elgsenos nauji eksperimentinių tyrimų rezultatai.

- Parengta tolygiai išskirstyta simetrine apkrova veikiamos sukurtosios kompozitinės medienos-betono perdangos projektavimo metodika.

## **DARBO APROBACIJA IR PUBLIKACIJOS**

Pagrindiniai disertacinio darbo rezultatai buvo paskelbti ir aprobuoti šiose technikos mokslų konferencijose:

- Jaunųjų mokslininkų konferencijose „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“, įvykusiose 2003 m. kovo 27 d. – 28 d. ir 2004 m. kovo 25 d. – 26 d. Vilniuje.
- Respublikinėje konferencijoje „Lietuvos mokslas ir pramonė“, įvykusioje 2004 m. balandžio 22 d. Kaune.
- 8-oje tarptautinėje konferencijoje „Modern building materials, structures and techniques“, įvykusioje 2004 m. gegužės 19 d. – 21 d. Vilniuje.
- Tarptautiniame simpoziume „International Symposium on Advanced Timber and Timber-Composite Elements for Buildings“, įvykusiame 2004 m. spalio 27d. – 29 d. Florencijoje (Italija).

Disertacinio darbo tema publikuota 9 mokslo darbai, iš jų du – recenzuojamuose periodiniuose mokslo leidiniuose, du – tarptautinių ir trys – respublikinių konferencijų pranešimų leidiniuose, du – mokslo populiarinimo leidiniuose.

- 1) K. Gurkšnys. Kompozitinių medienos-betono perdangų ypatumai ir skaičiavimo pagrindai. 6-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“, įvykusios Vilniuje 2003 m. kovo 27d. – 28 d., medžiaga. Vilnius: „Technika“, 2003, p. 277–283. ISBN 9986-05-618-7.
- 2) K. Gurkšnys, M. Simonaitis. Kompozitinės medienos-betono perdangos įleistinės jungties elgsenos analizė. 7-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“, įvykusios Vilniuje 2004 m. kovo 25 d. – 26 d., medžiaga. Vilnius: „Technika“, 2003, p. 274–282. ISBN 9986-05-775-2.
- 3) K. Gurkšnys, A. Kvedaras. Kompozitinės medienos-betono įleistinės jungties bandymo rezultatai. Pažangioji statyba, konferencijos pranešimų medžiaga. Kaunas: „Technologija“, 2004, p. 52–57. ISBN 9955-09-632-2.
- 4) B. Valiūnas, V. Vaitkevičius, K. Gurkšnys. Medinių konstrukcijų projektavimas. Statybos inžinieriaus žinynas. Vilnius: „Technika“, 2004, p. 608–638. ISBN 9986-05-682-9.

- 5) K. Gurkšnys, A. Kvedaras, B. Valiūnas. Results of the test of timber-concrete composite joisted floor sub-components' inter-connections. The 8<sup>th</sup> international conference Modern Building Materials, Structures and Techniques. Selected Papers, Vilnius, 19-21 May 2004, p. 473 – 478. ISBN 9986-05-757-4.
- 6) K. Gurkšnys, A. Kvedaras, B. Valiūnas. Composition of thin-webbed timber beams with concrete slab in floor structures. In: Proceedings of the International Symposium on Advanced Timber and Timber-Composite Elements for Buildings. COST-E29, Florence, Italy, 27-29 October 2004. p. 77–82. ISBN 88-901660-1-0.
- 7) K. Gurkšnys, A. Kvedaras, S. Kavaliauskas. Behaviour evaluation of “sleeved” connectors in composite timber-concrete floors. *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol. XI, No 4, 2005, p. 277–282. ISSN 1392-3730.
- 8) S. Kavaliauskas, A. Kvedaras, K. Gurkšnys. Evaluation of long-term behaviour of composite timber-concrete structures according to EC5. *Ūkio technologinis ir ekonominis vystymas*, Vol. XI, No 4, 2005, p. 292–296. ISSN 1392-8619.
- 9) K. Kvedaras, B. Valiūnas, K. Gurkšnys. Kompozitinės medienos-betono perdangos. *Nauja statyba*, Nr 17, 2005, p. 28–33. ISSN 1648-4274

## 1 skyrius. NAGRINĖJAMO KLAUSIMO SAMPRATA IR TYRIMŲ TIKSLAS

### 1.1. KONSTRUKCIJOS IŠ MEDIENOS IR BETONO

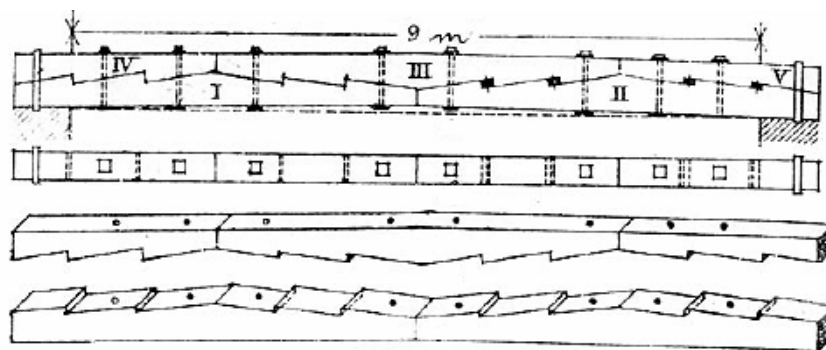
Sparčiai besivystančioje statybos pramonėje, kai didinami reikalavimai naujai pritaikomų statybinių medžiagų ir konstrukcijų stiprumui, standumui, masei ir kainai, vis dažniau naudojami kompozitiniai konstrukciniai elementai. Naudojant medžiagas, kurioms būdingos skirtingos fizinės ir mechaninės savybės, galima sukurti kompozitinę konstrukciją tokių savybių, kurių neturi atskiros medžiagos ar jų dirbiniai.

Kompozitinės konstrukcijos, gaminamos iš kelių nevienodų medžiagų, turinčių skirtingas stiprumo ir standumo charakteristikas bei lyginamąjį svorį, nuo kitų tokios pat paskirties konstrukcijų gali skirtis gana didele mechaninių rodiklių įvairove bei kaina.

Pagrindinės teigiamos kompozitinių konstrukcijų savybės:

- mažesnė konstrukcijos masė;
- kompaktiškesnis skerspjūvis;
- didesnis stiprumas ir standumas;
- geresnės termoizoliacinės ir akustinės savybės;
- maksimaliai išnaudojamos visos tinkamai išdėstytų konstrukcijos sluoksnių savybės;
- didesnis atsparumas kaitrai;
- mažesnės gabenimo ir montavimo išlaidos.

Šiuo metu gerai žinomos ir plačiai naudojamos kompozitinės konstrukcijos iš plieno ir betono (plieno-betono sijos [61], betonšerdės plieno kolonos [84], anglies pluošto audiniais armuotos konstrukcijos [32], sluoksniuotosios gelžbetoninės konstrukcijos [89] ir kt.), tačiau kompozitinių konstrukcijų iš medienos taip pat turi senas kūrimo ir naudojimo tradicijas. Viduramžiais pirmoji medinė kompozitinė konstrukcija buvo sudaryta iš medinių sijų, kurios tarpusavyje buvo jungiamos mechaninėmis jungimo priemonėmis (1.1 pav.). Tokiu būdu buvo gaunamas kompozitinės medinės sijos aukštis, didesnis negu vientisos medinės sijos ribiniai matmenys.

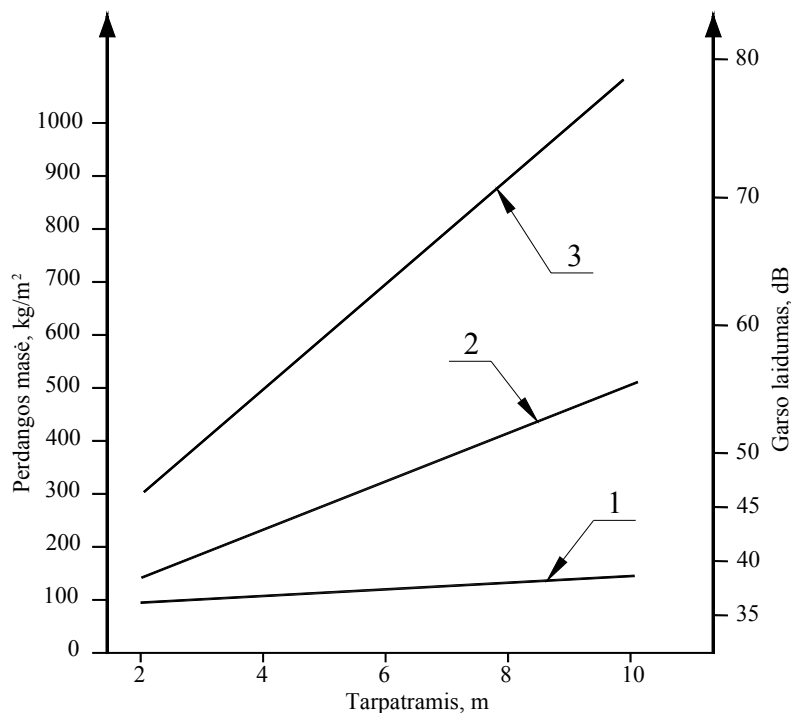


1.1 pav. Viduramžiais naudota sudėtinė medinė sija, sujungta mechaninėmis jungimo priemonėmis pagal [83, 100]

Idėja betoną „suarmuoti“ mediena kilo dar 1919 m. [123]. Kurti ir tobulinti šias kompozitines medienos-betono (toliau – KMB) konstrukcijas paskatino plieno trūkumas statybos pramonėje. Tačiau po Antrojo pasaulinio karo vis sparčiau atsigaunant plieno pramonei, KMB konstrukcijomis domėtasi mažiau.

Suinteresuotumas šio tipo konstrukcijomis gerokai padidėjo XX a. aštuntajame dešimtmetyje. Tuo metu buvo paskelbta nemažai jas nagrinėjusių mokslo tiriamųjų darbų. KMB konstrukcijos šiuo metu sulaukia vis didesnio mokslininkų ir statybos specialistų dėmesio, nes jos gali būti taikomos daugelyje statybos sričių.

KMB konstrukcijos, palyginti su gelžbetoninėmis perdangomis, yra lengvesnės ir ekonomiškesnės (1.2 pav.). Palyginti su medinėmis, KMB perdangos yra stipresnės ir standesnės (laikomoji galia didesnė du kartus, o standumas iš plokštumos – net tris-keturi kartus) [69, 74, 80, 88, 99], jų didesnis atsparumas kaitrai [60, 64, 66], geresnė garso izoliacija (1.2 pav.) [85, 101], mažesni virpesiai [109, 130, 131].



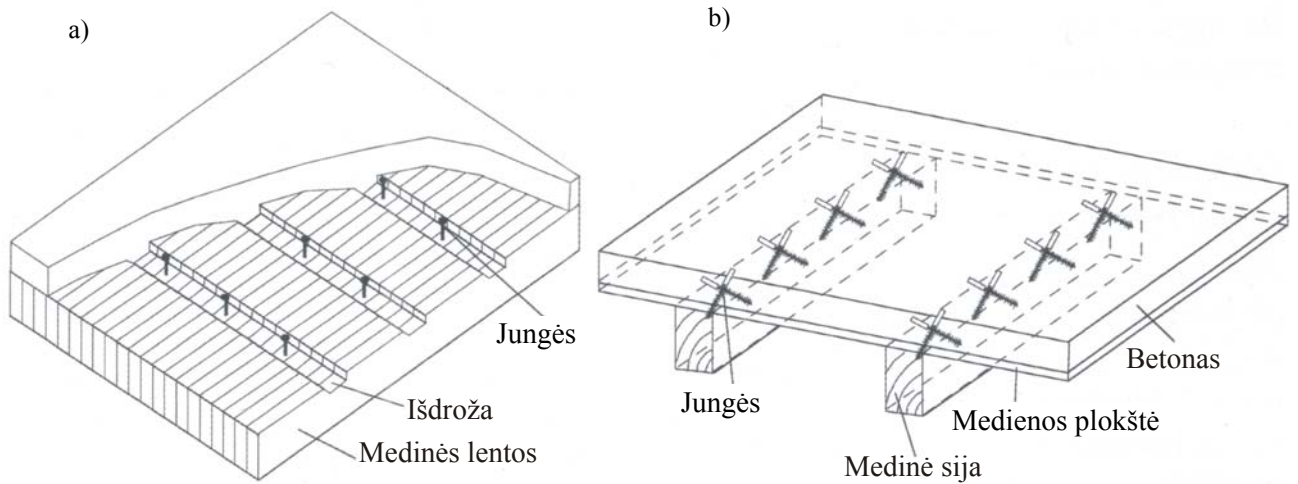
**1.2 pav.** Skirtingų perdangų tipų masės ir garso izoliacijos priklausomybė nuo tarpatramio ilgio (esant naudojimo apkrovai  $250 \text{ kg/m}^2$ )

1 – medinė perdanga; 2 – kompozitinė medienos-betono perdanga; 3 – gelžbetoninė perdanga

KMB konstrukcijų mediniai elementai esti tempiami, o virš jų esanti plona betono plokštė – gniuždoma. Tarp sluoksnyje tarp medienos ir betono įrengiamos jungės, kurios turi labai svarbią įtaką KMB konstrukcijų elgsenai.

KMB sijos arba plokštės naudojamos naujai statybai, pastatų senoms medinėms perdangoms atnaujinti, be to gana dažnai ir tiltų paklotui įrengti. KMB perdangos būna dviejų konstrukcinių tipų: besijinės ir sijinės (1.3 pav.). KMB besijinės perdangos (1.3 a pav.) skerspjuvio

medinė dalis sudaryta iš skiausčiai sukaltų medinių lentų plokštės. Šio tipo besijinėms perdangoms nereikia klojinių, nes betonas užliejamas tiesiai ant medinės plokštės. KMB sijinės perdangos (1.3 b pav.) skerspjūvis susideda iš medinių sijų, išdėstytų kas 0,5–1,0 m ir ant jų įrengtos betono plokštės.

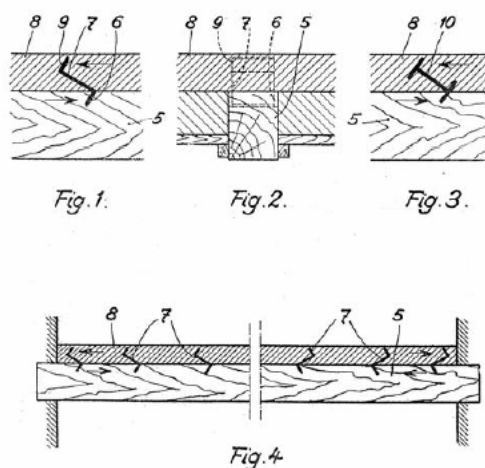


1.3 pav. KMB perdangų konstrukciniai tipai: a – besijinis; b – sijinis)

## 1.2. TECHNOLOGIJŲ IR TYRIMŲ ISTORINĖ APŽVALGA

Kaip jau buvo minėta, KMB konstrukcijos pradėtos taikyti XX a. trečiajame dešimtmetyje, kai plieno itin trūko statybos pramonei. Vašingtono universitete (JAV) 1924 metais J. F. Seileris (J. F. Seiler) pirmasis pradėjo tyrinėti kompozitinę „T“ tipo siją, kuri buvo sudaryta iš medinės sijos ir betono plokštės. J. F. Seilerio suprojektuotas daugiaatramis 87,5 m ilgio KMB tiltas Tampoje, Floridoje (JAV) buvo pastatytas 1934 metais [138].

Europoje tuo metu taip pat buvo kuriamos ir tiriamos šio tipo konstrukcijos. O. Šaubas (O. Schaub) Vokietijoje užpatentavo KMB perdangos konstrukcinį sprendimą 1939 m. [116] (1.4 pav.).



1.4 pav. 1939 m. užpatentuotas KMB perdangos sprendimas pagal [116]

Besijinė KMB konstrukcija pirmą kartą buvo panaudota viaduko paklotui įrengti Naujojoje Zelandijoje 1976 m [103].

Pirmuosius mokslinius darbus apie senų medinių sijų stiprinimą ir rekonstravimą 1984 m. pateikė T. Godickis (T. Godycki) ir kt. [68]. Jie atliko jungių tarp betono ir medienos išstūmimo bandymus bei pačios KMB konstrukcijos, susidedančios iš dviejų medienos stačiakampio skerspjuvio sijų ir betono plokštės, lenkimo bandymus. KMB jungtys, atliekant šiuos tyrimus, buvo padarytos dviejų tipų: pirmosios iš medinėje dalyje padarytų išdrožų su į jas įkaltais vinimis, kitos – tik su vinimis. Bandymais buvo nustatyta:

- 1) KMB konstrukcijos atsparis 2,5 karto didesnis nei medinės konstrukcijos;
- 2) kuo standesnė medienos ir betono jungtis, tuo didesnis KMB konstrukcijos standis.

U. Girhameris (U. Girhammer) 1984 m. [67] nagrinėjo, kaip panaudoti metalines dygiuotąsias plokšteles KMB jungtims.

V. Zajičekas (V. Zajicek) [46] 1985 m. tyrinėjo, kaip sustiprinamos senos medinės perdangos, užlietos betono mišiniu. Jis pirmasis pasiūlė KMB tarpsluoksnių jungtį, kuri padaryta iš išdrožų medinėje sijoje ir į šias išdrožas įtvirtintų metalinių kaiščių.

J. Natereris (J. Natterer) ir M. Hoeftas (M. Hoeft) [102] 1987 m. atliko KMB konstrukcijų elgsenos tyrinėjimus. Jie jungčiai tarp medienos ir betono naudojo medsraigčius ir plieno kaiščius. Vėliau šie mokslininkai pasiūlė jungėms naudoti specialios konstrukcijos kaiščius, sumažinančius pradinį komponentų pasislinkimą. J. Natereris ir M. Hoeftas pasiūlė kompozitinio elemento skaičiavimo metodą, pagrįstą bendros diferencialinės lygties sprendiniu, kuris gautas iš pusiausvyros sąlygos, padarius prielaidą, kad betono, medienos ir jungės elgsena yra tiesiškai tampri.

KMB konstrukcijų ilgalaikes deformacijas plačiau nagrinėjo A. Cekotis (A. Ceccoti) ir C. Kovanas (C. Covan) [49]. Iš jų atliktų tyrimų paaiškėjo, kad slinktis betono ir medienos jungtyje per ilgą laiko tarpą vyksta ne tik dėl valkšniųjų deformacijų, o ir dėl aplinkos temperatūros bei santykinės drėgmės kaitos įtakos.

H. Verneris (H. Werner) 1992 m. [132] pasiūlė ir tyrinėjo KMB perdangos naujo tipo „pirštinę“ jungtį. Ši jungtis tarp medienos ir betono sudaryta iš viršutinėje medinės sijos dalyje išfrezuotų ritininių išdrožų ir jose įtvirtintų papildomų metalinių kaiščių. Liejant ant medinių sijų betoną, išdrožos su kaiščiais pripildomos betono mišinio. Betoninis „pirštas“ perima išilgines šlyties jėgas, o metalinis kaištis perima galimą tempiamąją jėgą, veikiančią statmenai jungčiai.

Šveicarų firma „SFS Provis AG“ 1992 m. sukūrė ir užpatentavo specialų medvaržtį KMB konstrukcijoms. Apatinė medvaržčio dalis padaryta su sriegiu, kuris nesunkiai įsukamas į medinę siją, negręžiant skylės, o viršutinė strypo dalis sukimba su betonu ir jame inkaruojama [104]. Pirmą

kartą [90] įkypai į medinę siją įtvirtintos jungtės buvo tyrinėtos 1993 m. Po šių tyrimų paaiškėjo, kad konstrukcijos standumas gerokai padidėja, jungės išdėsčius įkypai 45° kampu.

1992 m. K. Erleris (K. Erler) [58] tyrinėjo kompozitinę konstrukciją, sudarytą iš medienos ir polimerbetonio (kvarcinio smėlio sumaišyto su sintetinėmis dervomis). Atliekant lenkimo bandymus, kompozitinės konstrukcijos komponentai nepasislinko vienas kito atžvilgiu, t. y. jungtis tarp komponentų buvo standžioji. K. Erleris pateikė tokių standžiai sujungtų konstrukcijų skaičiavimo metodą.

Šveicarijos statybinių konstrukcijų inovacinis institutas SWOOD 1996 m. pasiūlė ir pradėjo tyrinėti KMB klijuotines jungtis [43, 44].

H. J. Blasas (H. J. Blass) [38] tyrinėjo tokias medienos-betono jungtis: mechanines jungtis su kaištinio tipo jungėmis ir su specialios formos jungėmis ir klijuotines jungtis.

L. Batonas (L. Bathon) [33, 34] sukūrė ir tyrinėjo naujo tipo KMB jungtį. Jo atlikti tyrimai parodė, kad specialaus profilio plieno lakštai, įklijuoti medinėje sijoje ir sukibę su betonu, suformuoja beveik standžią jungtį.

K. Rautenstrauchas (K. Rautenstrauch) [70, 86] tyrinėjo įlaidinio tipo jungtis. Jungtį tarp KMB komponentų buvo pasiūlyta daryti per į betoną įleidžiamą medinės sijos dalį, kurioje padarytos skylės bei išdrožos.

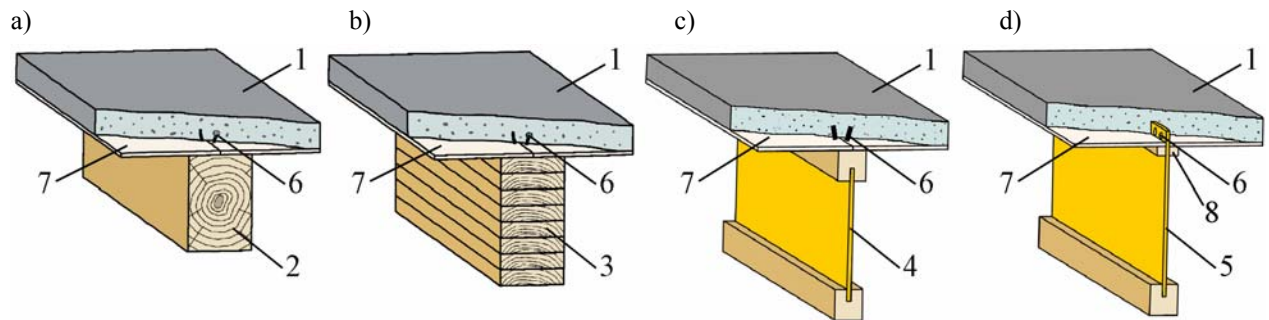
Pastaruoju metu susidomėjimas KMB konstrukcijomis didėja Šveicarijoje, Vokietijoje, Italijoje, Skandinavijoje ir kitose šalyse. Vis daugiau pasirodo mokslo tiriamųjų darbų, skirtų šių konstrukcijų analizei. Išaiškėjus galimybėms KMB konstrukcijas pritaikyti daugelyje statybos sričių, susidomėjimas jomis nepaliaujamai didėja.

### **1.3. NAUJOS KONSTRUKCIJOS KŪRIMAS**

Per pastaruosius tris dešimtmečius Šiaurės Amerikos ir Skandinavijos šalyse pastatų konstrukcijoms sėkmingai naudojamos medinės sudėtinio dvitėjo skerspjūvio (plonasienės) sijos [139]. Medinės plonasienės sijos susideda iš viršutinės ir apatinės juostų, dažniausiai daromų iš vientisosios medienos tašų, ir iš sienelės, kuri paprastai daroma iš orientuotų skiedrų plokštės (toliau – OSB) [10]. Viršutinės ir apatinės juostų jungtys su sienele yra klijuotinės. Šio tipo sijos atspario bei standžio santykiai su sijos mase yra dideli, todėl jas lengva montuoti ir įrengti.

Kai kompozitinės perdangos tarpatramis siekia iki 6 m, sijų mediniai komponentai dažniausiai daromi iš vientisinės stačiakampio skerspjūvio medienos (1.5 a pav.). Kai kompozitiniai medienos-betono perdangos tarpatramiai yra nuo 6 iki 10 m, sijų mediniai komponentai daromi iš klijuotinės stačiakampio skerspjūvio medienos (1.5 b pav.). Medinėms perdangų sijoms vietoj klijuotinio stačiakampio skerspjūvio sėkmingai gali būti naudojami ir minėtieji plonasieniai skerspjūviai (1.5 c pav.). [36, 121, 128] darbuose pateikti konstrukciniai sprendimai, kuriuose

medinės plonasiinės sijos su betono plokšte jungiamos tam tikro tipo jungėmis (vinimis, medsraigčiais). Tačiau taip sukomponuotame skerspjūvyje neefektyviai išnaudojamos medinės plonasiinės sijos viršutinės gniuždomosios juostos konstrukcinės savybės. Šiame darbe pateikiamas ir nagrinėjamas KMB sijinės perdangos konstrukcinis sprendimas, kai dvitėjo sija yra be viršutinės medinio tašo juostos, o jos OSB sienelė su betono plokšte jungiama betarpiškai per įleidžiamą į plokštę viršutinę sienelės dalį (1.5 d pav.)



**1.5 pav.** KMB sijinių perdangų konstrukcijos:

1 – betono (gelžbetonio) plokštė; 2 – vientisosios medienos sija; 3 – klijuotinės medienos sija;  
4 – medinė plonasiinė sija; 5 – medinė plonasiinė sija be viršutinės juostos; 6 – jungės (jungiamosios detalės);  
7 – klijuotinių plokštės; 8 – mediniai tašeliai klijuotiniams laikyti

#### 1.4. IŠVADOS IR TYRIMŲ TIKSLAI

Pritaikius efektyvias medines plonasienes sijas, sukurta naujo tipo KMB sijinės perdangos konstrukcija. Autoriaus siūloma konstrukcija ypatinga tuo, kad šios perdangos viršutinė juosta – betono plokštė, o medinė sija yra sudėtinio tėjinio skerspjūvio, sudaryto iš OSB sienelės ir į ją įklijuotos apatinės juostos iš medinio tašo.

Tokio pobūdžio tiriamasis darbas atliekamas pirmą kartą, nes siūloma naujo tipo konstrukcija nėra nagrinėta ne tik Lietuvoje, bet ir kitose šalyse. Išnagrinėtoje mokslinėje literatūroje išsamios informacijos tiek apie kompozitines sijas, sudarytas iš medinės plonasiinės sijos ir betono plokštės, bei jų elgseną, tiek apie įlaidinę OSB sienelės ir betono plokštės jungtį bei jos elgseną nėra. Todėl tokiai informacijai, kuri itin svarbi, norint pritaikyti siūlomas naujo tipo konstrukcijas praktikoje bei parengti jų projektavimo rekomendacijas, gauti buvo numatyti moksliniai eksperimentiniai ir teoriniai tyrimai.

Minėtais tyrimais šiame darbe siekiama padidinti kompozitinės medienos-betono perdangos veiksmingumą, jos elementams pritaikyti medines plonasienes sijas; sukurti naujas arba pritaikyti esamas tarpsluoksnio įlaidinės jungties junges; išanalizuoti KMB sijos ir tarpsluoksnio jungties elgsenas; išsiaiškinti šių konstrukcijų praktinio taikymo galimybes bei parengti sukurtosios KMB sijos projektavimo metodiką.

## 2 skyrius. KOMPOZITINIŲ MEDIENOS-BETONO SIJŲ SKAIČIAVIMAI

### 2.1. ĮVADINĖS PASTABOS

Siekiant KMB sijas pritaikyti praktikoje, reikia turėti efektyvią ir patikimą skaičiavimo metodiką joms projektuoti. Tokio tipo konstrukcijų elgsenos ir praktinės vartosenos klausimai nėra plačiai nagrinėti literatūroje. Lietuvoje galiojančios projektavimo normos [21, 22], taip pat ir kitų šalių normatyviniai dokumentai [1, 2, 4, 19] nenurodo, kaip skaičiuoti kompozitines sijas, sudarytas iš medinės plonasienės sijos bei betoninės plokštės.

Šiame skyriuje apžvelgiami KMB sijos jungčių tarp OSB ir betono plokščių tipai ir jų įtaka įtempių ir deformacijų būviui. Aptariami skaičiavimo metodai ir pateiktas autoriaus siūlomas tokio tipo konstrukcijoms taikytinas skaičiavimo metodas. Šio skyriaus medžiaga paremta teiginiais, paskelbtais [65, 122] straipsniuose.

### 2.2. JUNGČIŲ TIPAI

Kompozitinė sija, kurią sudaro sudėtinis skerspjūvis ir jos elgsena tampri, gali būti apibūdinama kaip vientisinė, jei atsižvelgiama į tarp komponentų atsirandančias sąveikas. Gali būti daromo prielaida, kad atskirų sijos komponentų įlinkiai yra vienodi (2.1 pav.), t. y. komponentų skerspjūvių skersinės deformacijos yra nereikšmingos. Dvisluoksnių sijų atskirų komponentų lenkiamųjų momentų santykis priklauso nuo jų lenkiamųjų standžių:

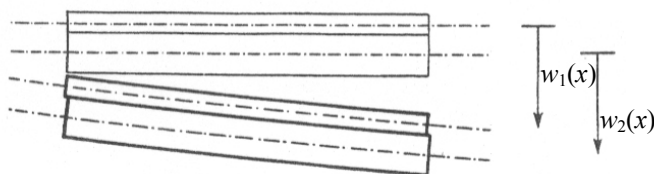
$$w_1(x) = w_2(x) , \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial^2 w_1}{\partial x^2}(x) = \frac{\partial^2 w_2}{\partial x^2}(x) , \quad (2.2)$$

$$M_1(x) = -E_1 \cdot I_1 \cdot \frac{\partial^2 w_1}{\partial x^2}(x) , \quad (2.3)$$

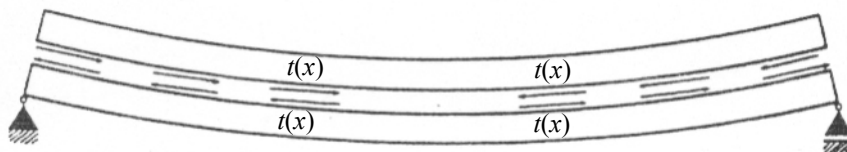
$$M_2(x) = -E_2 \cdot I_2 \cdot \frac{\partial^2 w_2}{\partial x^2}(x) , \quad (2.4)$$

$$\frac{M_1(x)}{M_2(x)} = \frac{E_1 \cdot I_1}{E_2 \cdot I_2} . \quad (2.5)$$



2.1 pav. Kompozitinės sijos komponentų vertikalųjų poslinkių suderinamumas

Kompozitinės sijos ir jos komponentų lenkiamųjų momentų sąryšis priklauso nuo horizontalios komponentų sąveikos (2.2 pav.).



**2.2 pav.** Kompozitinės sijos komponentų horizontaliųjų poslinkių suderinamumas

Kompozitinių konstrukcijų elgsenos veiksmingumą lemia komponentų tarpsluoksnių jungties tipas. Skiriami tokie sudėtinės konstrukcijos jungties tipai:

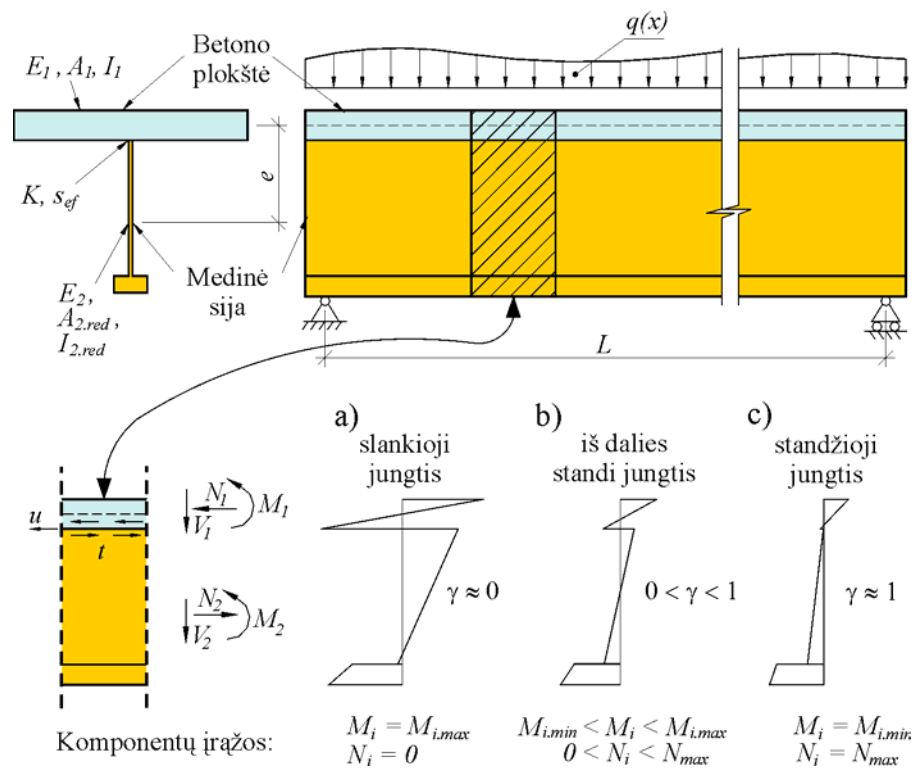
- a) slankioji jungtis;
- b) iš dalies standi jungtis;
- c) standžioji jungtis.

Nagrinėjamas pasiūlytąsias KMB sijas veikianti apkrova sukelia betono plokštės, medinės juostos bei OSB sienelės normalinius ir tangentinius įtempius, taip pat medinės sienelės su betono plokšte bei su medine juosta jungčių šlyties jėgas. Šios šlyties jėgos ir komponentų įrąžos  $N_i$ , būdamos pusiausvyroje, priklauso nuo tarpsluoksnių jungties standumo.

Nuo jungties standumo priklauso, kaip pasiskirsto KMB komponentų skerspjūvių įtempiai (2.3 pav.). Tariame, kad KMB sijos medinio tašo ir OSB sienelės jungtis yra absoliučiai standi, t. y. slinktis tarp šių komponentų neatsiranda, o skerspjūvio įtempių pasiskirstymą galima nagrinėti tik atsižvelgiant į sienelės ir betono plokštės jungties standumą.

Kompozitinės konstrukcijos su slankiąja jungtimi būna tuomet, kai komponentai vienas su kitu laisvai sujungti (nėra jokių jungių) ir tarpsluoksnyje nėra trinties. Esant tokiai jungčiai, konstrukcijos  $i$  komponentus veiks tik jų lenkiamieji momentai  $M_{i,max}$  (2.3 a pav.), t. y. iš esmės savarankiški lenkiamieji elementai.

Iš dalies standi jungtis neužtikrina visiškos kompozitinės sąveikos tarp skerspjūvio komponentų (2.3 b pav.). Ji esti tuomet, kai sandūroje tarp komponentų yra panaudotos slankiosios jungiamosios priemonės. Kompozitinių konstrukcijų su tokio tipo jungtimis standumas labai priklauso nuo tarpsluoksnių jungties jungčių standumo.



2.3 pav. KMB sijos įtempių pasiskirstymas atsižvelgiant į jungties standumą

Standžioji jungtis atskirus komponentus sujungia į darnų heterogeninį konstrukcinį elementą. Šio tipo jungtis užtikrina visišką kompozitinę sąveiką tarp atskirų skerspjūvio komponentų, t. y. tarp jų neatsiranda slinkties, o komponentus veikia maksimali ašinė jėga  $N_{max}$  ir minimalus vidinis lenkiamasis momento  $M_{i,min}$  (2.3 c pav.). Tokia kompozitinė konstrukcija skaičiuojama elementų redukavimo metodu.

KMB sijos komponentų tarpsluoksnių jungties šlyties jėgų pasiskirstymą lemia ir kiti veiksniai:

- konstrukcijos skaičiuojamoji schema;
- sijos tarpatramio ilgis;
- nagrinėjamosios vietos padėtis sijos ilgyje;
- apkrovos tipas;
- geometriniai kompozitinės sijos skerspjūvio rodikliai;
- komponentų medžiagų savybės.

Kadangi jungiamosios priemonės, sąlygojančios standžiąją jungtį, iš tiesų gali patirti šokią tokią slinktį, todėl turi būti tiksliai nurodoma, kada jungė gali būti apibūdinama kaip standžioji. Toks apibūdinimas taikytinas tik tada, kai tarp komponentų atsiradusi slinktis sukelia kompozitinio elemento elgsenai reikšmingus poveikius. Kada kompozitinėse plieno-betono konstrukcijose tarp plieninės sijos ir betono plokštės įvyksta iki 0,10 mm slinktis, manoma, kad jungės atitinka standžią

elgseną [39]. Sluoksniuotose gelžbetoninėse konstrukcijose jungtis laikoma standžiaja, kai tarp surenkamojo ir monolitinio gelžbetonio įvyksta iki 0,05 mm slinktis [25].

Iš dalies standžią jungtį užtikrinančios jungės dažniau pasitaiko KMB konstrukcijose. Metodai, skirti lenkiamosioms kompozitinėms konstrukcijoms skaičiuoti, išsamiau nagrinėjami 2.3 poskyryje.

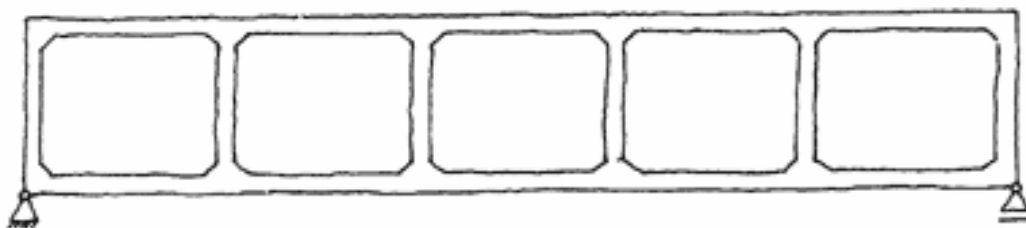
## 2.3. KOMPOZITINIŲ KONSTRUKCIJŲ SU IŠ DALIES STANDŽIOMIS JUNGTIMIS SKAIČIAVIMO METODAI

### 2.3.1. Įvadas

Nuo XX a. pradžios iki šių dienų atlikta daug teorinių ir eksperimentinių tyrimų, įvertinančių lenkiamųjų konstrukcijų su iš dalies standžiomis jungtimis elgseną. Šių tyrimų pagrindu buvo kuriami nauji bei tobulinami sukurtieji skaičiavimo metodai. Tolesniuose skirsniuose komentuojami tie skaičiavimo metodai, kurie KMB sijoms su iš dalies slankiomis jungtimis turėjo praktinę reikšmę, taip pat aptariami šių metodų privalumai ir trūkumai.

### 2.3.2. Vierendelio sijos

Pirmasis skaičiavimo pagrindus paskelbė F. Engeseris (F. Engesser) [57] 1922 m. Jis pateikė metodą skaičiuoti lenkiamąsias sudėtines Vierendelio sijas (2.4 pav.). Šių konstrukcijų skerspjūvį sudarė viršutinė ir apatinė juostos, tarpusavyje standžiai sujungtos įterptais statramsčiais.



2.4 pav. Vierendelio sija

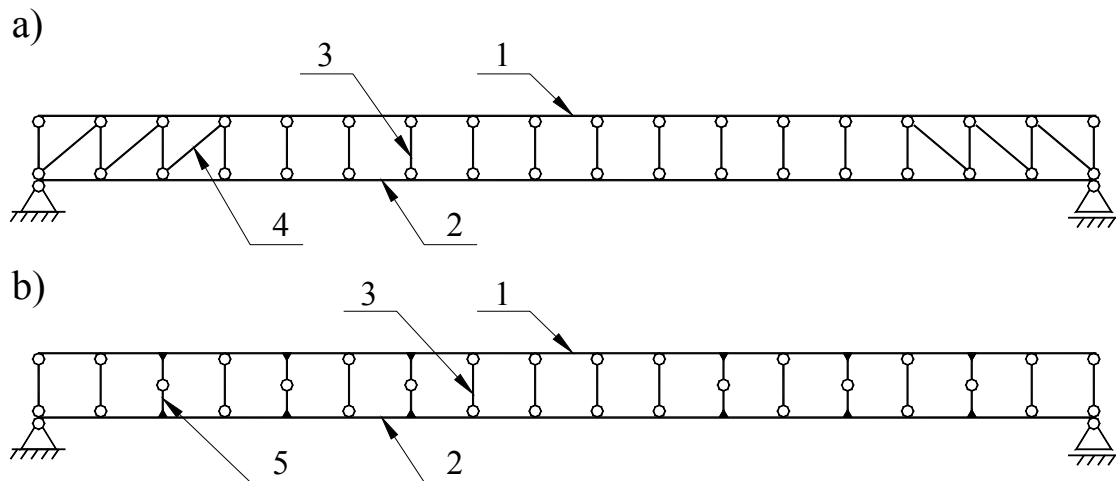
Sudėtinės sijos slankumas buvo įvertintas pagal statramsčio standumą. Dėl didelės skaičiavimo apimties konstrukcijos apkrova buvo supaprastinta, t. y. apkrova į viršutinės ir apatinės juostų mazgus buvo išskirstyta simetriškai. Be to, teigiama, kad viršutinės ir apatinės juostų su statramsčiu mazgų lenkiamasis standis yra vienodas. Šių prielaidų pagrindu pateiktas F. Engesser metodas tinkamas sudėtiniams skerspjūviams, sudarytiems iš dviejų simetrinių komponentų, tačiau KMB konstrukcijoms skaičiuoti nelabai tinka.

### 2.3.3. Strypinių sistemų metodas

Pastaraisiais dešimtmečiais sparčiai vystantis kompiuterių technikai kompozitinėms sijoms su iš dalies standžia jungtimi skaičiuoti pasiūlyti įvairūs projektavimo metodai, taikomi naudojant elektronines skaičiavimo mašinas. J. Bergfelderis (J. Bergfelder) [37] kompozitinį skerspjūvį, sudarytą iš dviejų medinių, mechaninėmis jungėmis sujungtų komponentų, modeliavo strypinių sistemų metodu. Pagrindiniai šio modelio komponentai buvo išskirstyti į viršutinę ir apatinę juostas. Tarpas tarp šių juostų buvo lygus atstumui tarp skerspjūvio sunkio centrų. Modelyje juostos tarpusavyje standžiai sujungtos statramsčiais. Tarpsluoksniu jungties slankumas įvertintas pagal statramsčio standumą. Šis modelis atitinka Vierendelio sijos konstrukciją (2.4 pav.), o gautų rezultatų tikslumas priklauso nuo pasirinkto statramsčių skaičiaus ir jų standžio.

R. Kneidl (R. Kneidl) [81] KMB sijoms skaičiuoti naudojo kitokį strypinės sistemos modelį. Kompozitinis skerspjūvis buvo modeliuotas taip, kad viršutinę juostą sudarė betonas, o apatinę – mediena, o jos sujungtos lanksčiai prijungtais statramsčiais ir spyriais (2.5 a pav.). Statramsčių žingsnis turi užtikrinti, kad viršutinės ir apatinės juostų įlinkių kreivės sutaptų. Modelio spyriais gali būti spyruokliniai arba strypiniai elementai. KMB tarpsluoksniu jungties jungių slankis įvertas pagal ašinį spyrių standį.

Kitas alternatyvus strypinės sistemos modelis, skelbtas darbe [86], pasižymi tuo, kad juostos su spyriais sujungiamos gembėmis ir lanksčiai prijungtais statramsčiais (2.5 b pav.). Tarpsluoksniu jungties jungių slankumas įvertinamas pagal gembinio statramsčio standumą.



2.5 pav. Strypinės sistemos modeliai

1 – viršutinė juosta; 2 – apatinė juosta; 3 – statramsčiai; 4 – spyris; 5 – gembė

Strypinių sistemų metodu taikant kompiuterinės programos (pvz.: STAAD, LIRA, MATRIX ir kt.) galima modeliuoti įvairias konstrukcines sistemas, KMB sijų tarpsluoksniu jungties jungių kintamąjį išdėstymą. Tačiau šį metodą naudoti praktikoje gana sudėtinga, nes konstrukcijos modelio sudarymui reikia skirti daug laiko.

### 2.3.4. Baigtinių elementų metodas

Šiuo metu statybinių konstrukcijų ir jų elementų bei jungčių įtempių ir deformacijų būviui ir elgsenai vertinti taikomi įvairūs kompiuterinio modeliavimo būdai. Dažnai kompiuterinis modeliavimas realizuojamas baigtinių elementų metodu (toliau – BEM). Šiuo metodu sprendžiamos diferencialinės dalinių išvestinių lygtys. BEM algoritmas mažai priklauso nuo skaičiuojamosios sistemos uždavinio paskirties, jame nėra taikoma tradicinių analitinių lygčių ir jų sprendimo būdų.

BEM pagrįstas idėja, kad skaičiuojamoji konstrukcija dalijama į baigtinius lokaliai apribotus elementus, tarpusavyje sujungtus mazgais. Elemento mazgų skaičius priklauso nuo pasirinkto elemento tipo. Konstrukciją veikiančios išskirstytosios apkrovos pakeičiamos ekvivalentiškėmis apkrovomis, kuriomis apkraunami elemento mazgai. Pagal deformavimo ir pusiausvyros sąlygas iš gauto atskiro elemento sprendinio išvedamas visos sistemos sprendinys. Kontaktiniuose uždaviniuose tarp numatomų galimo kontakto taškų įterpiami vienpusio ryšio elementai. Šie elementai laikomi standžiais, jeigu jie yra gniuždomi. Kai elementai yra tempiami, tariama, kad jų standis yra lygus nuliui.

Su BEM galima modeliuoti KMB konstrukcijų tampriai-plastinę [55, 120] ir ilgalaikę [27, 40] elgseną. KMB elementų tarp sluoksnių jungčiai modeliuoti sėkmingai taikomos šios programos: COSMOS/M [112], ANSYS [78], ABAQUS [120], MARC [55] ir kt..

BEM ir atitinkamos kompiuterinėmis programos gali būti naudojamos KMB elementų tarp sluoksnių jungčių ir sijų elgsenai modeliuoti. Tačiau BEM programai realizuoti būtini tarp sluoksnių jungčių ir sijų bandymų rezultatai. BEM yra apytikslis matematinis metodas, nes konstrukcijų skaičiavimo tikslumas priklauso nuo baigtinių elementų tipo ir poveikių sudėtingumo.

### 2.3.5. Supaprastintieji projektavimo metodai

KMB sijos tampri elgsena gali būti aprašyta diferencialine lygtimi, kuria atsižvelgiama į komponentų tarp sluoksnių slankumą:

$$\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} - \kappa^2 \cdot k \cdot N(x) = -\frac{k \cdot e \cdot M(x)}{E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2}, \quad (2.6)$$

čia:

$$\kappa^2 = \frac{1}{E_1 \cdot A_1} + \frac{1}{E_2 \cdot A_2} + \frac{e^2}{E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2}; \quad (2.7)$$

$E_1$  ir  $E_2$  – atitinkamai betono ir medienos tamprumo moduliai,

$I_1$  ir  $A_1$  – atitinkamai betono skerspjūvio inercijos momentas ir skerspjūvio plotas,

$I_2$  ir  $A_2$  – atitinkamai medienos skerspjūvio inercijos momentas ir skerspjūvio plotas,

$e$  – atstumas tarp medienos ir betono skerspjūvių sunkių centrų,

$k$  – jungties slankumo standis, apskaičiuojamas (2.18) formule,

$M$  – lenkiamasis momentas,

$N$  – ašinė įraša.

Šiai (2.6) diferencialinei lygčiai, aprašančiai dalinį kompozito poveikį, taikomos šios pagrindinės prielaidos:

- poslinkių mažumo prielaida;
- plokščių pjūvių (Bernulio) hipotezė galioja tik atskiriems sijos komponentams;
- poslinkiai, atsirandantys nuo skersinių deformacijų, yra nereikšmingi;
- mediena ir betonas yra idealiai tamprios medžiagos – galioja Huko dėsnis;
- jungties slinkties ir apkrovos sąryšis priartinamas tiesiškai tampriai elgsenai;
- sijos slankumo standis per visą sijos ilgį vienodas.

F. Stiuzis (F. Stüssi) [125, 126] pirmasis išvedė diferencialinę lygtį KMB sijų iš dalies standžių jungčių elgsenai aprašyti. Diferencialinės lygties analitinis sprendinys buvo gautas pagal kraštinę sąlygą, kad jungties standis yra vienodas ir tolygiai pasiskirstęs per visą sijos ilgį. Tokiu būdu vertinti KMB sijų elgseną buvo sudaryta diferencialinių lygčių sistema, tačiau ją taikyti buvo sunku, nes skaičiuoti buvo sudėtinga. Remdamiesi minima diferencialine lygtimi J. Natereris ir M. Hoeftas [102] sudėtinėms sijoms skaičiuoti pasiūlė apytikrą metodą, kuris iki šiol taikomas Šveicarijos medinių konstrukcijų projektavimo normose [19]. Šiame metode padaryta prielaida, kad kompozitinė konstrukcija turi standžią tarp sluoksnių jungtį, o bendrojo skerspjūvio inercijos momentas apskaičiuojamas pagal jungės naudingumo koeficientus. Šio metodo trūkumas toks, kad naudingumo koeficientai gana tikslūs tik keletui jungių. Pagal šį metodą KMB sijos skerspjūvio bendras inercijos momentas apskaičiuojamas taip:

$$I_b = n_1 \cdot I_1 + n_2 \cdot I_2 + \eta \frac{n_1 \cdot A_1 \cdot n_2 \cdot A_2 \cdot e}{n_1 \cdot A_1 + n_2 \cdot A_2}, \quad (2.8)$$

čia tamprumo modulių santykis  $n_i$  apskaičiuojamas šia formule:

$$n_i = \frac{E_i}{E_v}; \quad (2.9)$$

$E_v$  – lyginamasis tamprumo modulis (betono);

$I_1, A_1, I_2, A_2, e$  – žymenys, nurodyti po (2.7) formule;

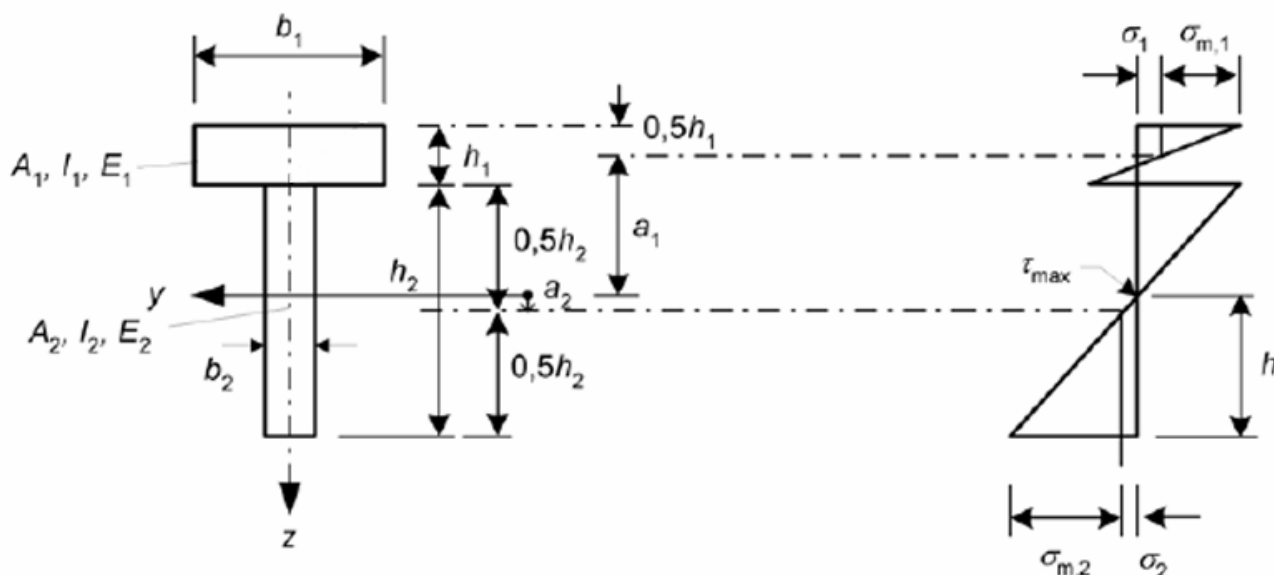
$\eta$  – jungės naudingumo koeficientas. „Hilti“ jungės [120]  $\eta = 0,85 \div 0,9$ ; medinėje sijoje padarytos išdrožos su įsuktu medvaržčiu [31]  $\eta = 0,79 \div 0,89$ . Kitų jungių naudingumo koeficientai dar nežinomi.

K. Mioleris (K. Mohler) [94] pasiūlė kitą apytikrį projektavimo metodą, kuriame kompozitinis skerspjūvis redukuojamas tik į betoninį, įvertinus kompozito skerspjūvio geometrinius rodiklius, jungių slankumo modulį, atstumą tarp jungių bei sijos tarpatramio ilgį. K. Miolerio pateiktasis metodas yra taikomas Eurokodo 5 [4] bei Vokietijos projektavimo normų [1, 42] sudėtinėms sijoms projektuoti ir vadinamas  $\gamma$  metodu. Šis metodas tinka tik dviatramėms sijoms su vienodu tarpsluoksniu jungties standžiu ir sinusoidės pavidalą turinčia išskirstytąja apkrova bei lenkiamojo momento diagrama. Kai yra tokia apkrova kompozitinių sijų su iš dalies standžia tarpsluoksniu jungtimi diferencialinė lygtis turi paprastą analitinį sprendinį. Tačiau  $\gamma$  metodas gali būti taikomas ir esant lenkiamųjų momentų parabolės pavidalo diagramai, o taip pat kai kompozitinės sijos tarpsluoksniu jungties standis kinta per visą sijos ilgį, atsižvelgiant į šlyties jėgas. Skirtumas tarp supaprastinto metodo ir tikslaus diferencialinės lygties sprendinio yra ne toks reikšmingas nei įtaka, kurią daro medžiagų mechaninių rodiklių sklaida (ypač medienos tamprumo ir jungių slankumo moduliu) [65]. Pagal  $\gamma$  metodą KMB sijos efektyvusis inercijos momentas apskaičiuojamas taip:

$$I_{ef} = n_1 \cdot I_1 + n_2 \cdot I_2 + \gamma_1 \cdot n_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2 + \gamma_2 \cdot n_2 \cdot A_2 \cdot a_2^2, \quad (2.10)$$

čia:  $n_i$  – tamprumo modulių santykis apskaičiuojamas pagal (2.9) formulę;

$I_1, A_1, I_2, A_2$  – žymenys, nurodyti po (2.7) formulę;



2.6 pav. Kompozitinio skerspjūvio geometriniai rodikliai ir įtempių pasiskirstymas pagal [4]

$a_1$  – atstumas tarp betono plokštės skerspjūvio sunkio centro ir bendro sijos skerspjūvio sunkio centro (neutraliosios ašies) (2.6 pav.), kuris apskaičiuojamas formule

$$a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2; \quad (2.11)$$

čia:  $h_1$  ir  $h_2$  – atitinkamai betono ir medienos skerspjūvių aukštis (2.6 pav.);

$a_2$  – atstumas tarp medinio skerspjūvio sunkio centro ir sijos bendro skerspjūvio sunkio centro (neutraliosios ašies) (2.6 pav.), kuris apskaičiuojamas formule

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot n_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2)}{2 \cdot (\gamma_1 \cdot n_1 \cdot A_1 + \gamma_2 \cdot n_2 \cdot A_2)}, \quad (2.12)$$

čia:  $\gamma$  – tarpsluoksnio jungties veiksmingumo koeficientas, apskaičiuojamas formule

$$\gamma_1 = 1 / \left( 1 + \frac{\pi^2 \cdot A_1 \cdot E_1 \cdot s_{ef}}{K \cdot L^2} \right), \quad (2.13)$$

$$\gamma_2 = 1,0,$$

čia:  $s_{ef}$  – efektyvusis atstumas tarp jungių;

$K$  – jungės slankumo modulis;

$L$  – perdangos tarpatramis.

Supaprastintais projektavimo metodais nesudėtingai nustatomi kompozitinio skerspjūvio geometriniai rodikliai ir elgsena. Dviatramių sijų su vienodu tarpsluoksnio standžiu diferencialinių lygčių analitiniai sprendiniai esant įvairioms apkrovimo schemoms yra nagrinėti [51, 52, 53, 124] darbuose.

### 2.3.6. Apibendrinimas

2005 m. Lietuvoje buvo patvirtintos medinių konstrukcijų projektavimo normos STR 2.05.07:2005 [22]. Šis reglamentas yra parengtas, remiantis medinių konstrukcijų projektavimo normų SNiP II–25–80 [24] nuostatomis ir ilgamete jų taikymo praktikoje patirtimi bei naujai rengiamo Eurokodo 5 (LST L ENV 1995–1–1 [4]) kai kurias reikalavimais. Reglamente STR 2.05.07:2005 sudėtinio (iš įvairių medienos sluoksnių) skerspjūvio lenkiamiesiems elementams projektuoti pateiktas redukavimo metodas, kuriame redukcijos koeficientai, sumažinantys geometrines sudėtinės sijos charakteristikas, priklauso tik nuo sijos tarpatramio ilgio ir sluoksnių skaičiaus. Šis metodas nėra efektyvus, nes neatsižvelgiama į tarpsluoksnio jungties jungių mechaninius rodiklius. Šiame poskyryje apžvelgtieji KMB sijų skaičiavimo strypinių sistemų ir baigtinių elementų metodai dėl reikalingo kruopštaus ir laikui imlaus darbo nėra veiksmingi taikyti projektavimo praktikoje. Todėl tikslinga remtis Eurokodo 5 pateiktuoju  $\gamma$  metodu.

Eurokode 5 pateiktasis ir 2.3.5 skirsnyje paminėtasis  $\gamma$  metodas skirtas projektuoti KMB perdangas su medinėmis vientiso skerspjūvio sijomis. Tačiau jame nenurodyta kaip skaičiuoti KMB perdangas su medinėmis plonasienėmis sijomis, sudarytomis iš OSB sienelės ir medienos tašo juostos. Todėl paprasčiausia būtų jas skaičiuoti taikant  $\gamma$  metodą ir klijuotųjų plonasienių medinių

sijų projektavimo metodikas [106, 122]. Toliau pateiktas autoriaus parengtas modifikuotas KMB sijų projektavimo metodas.

## 2.4. PASIŪLYTOSIOS KOMPOZITINĖS MEDIENOS-BETONO SIJOS PROJEKTAVIMO METODIKA

### 2.4.1. Projektavimo pagrindai

Saugos ir tinkamumo ribinių būvių koncepciją reglamentuoja tiek nacionalinės [20, 21, 22], tiek tarptautinės [2, 4] normos. Saugos ribinio būvio tikrinimas atliekamas pagal sąlygą

$$E_d \leq R_d, \quad (2.14)$$

čia:  $E_d$  – poveikių skaičiuotinė reikšmė,

$R_d$  – atitinkamo atsparumo skaičiuotinė reikšmė. Ją paprastai lemia medžiagos skaičiuotinio rodiklio reikšmė.

Sunkiojo ir smulkiagrūdžio betono skaičiuotinės stiprio reikšmės  $f_{cd}$  apskaičiuojamos formule [21]

$$f_{cd} = \alpha \cdot \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}, \quad (2.15)$$

čia:  $f_{ck}$  – betono charakteristinis stipris. Charakteristinė stiprio reikšmė nustatoma kaip generalinės aibės 5 % fraktilis pagal LST EN 206–1 [9] reikalavimus;

$\gamma_c$  – medžiagos savybės rodiklio dalinis patikimumo koeficientas;

$\alpha$  – betono stiprio koeficientas;

$\alpha_{cc}$  – koeficientas, įvertinantis ilgalaikius poveikius stipriui.

Medienos ir OSB skaičiuotinės stiprio reikšmės  $f_d$  apskaičiuojamos formule

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} k_{\text{mod}}, \quad (2.16)$$

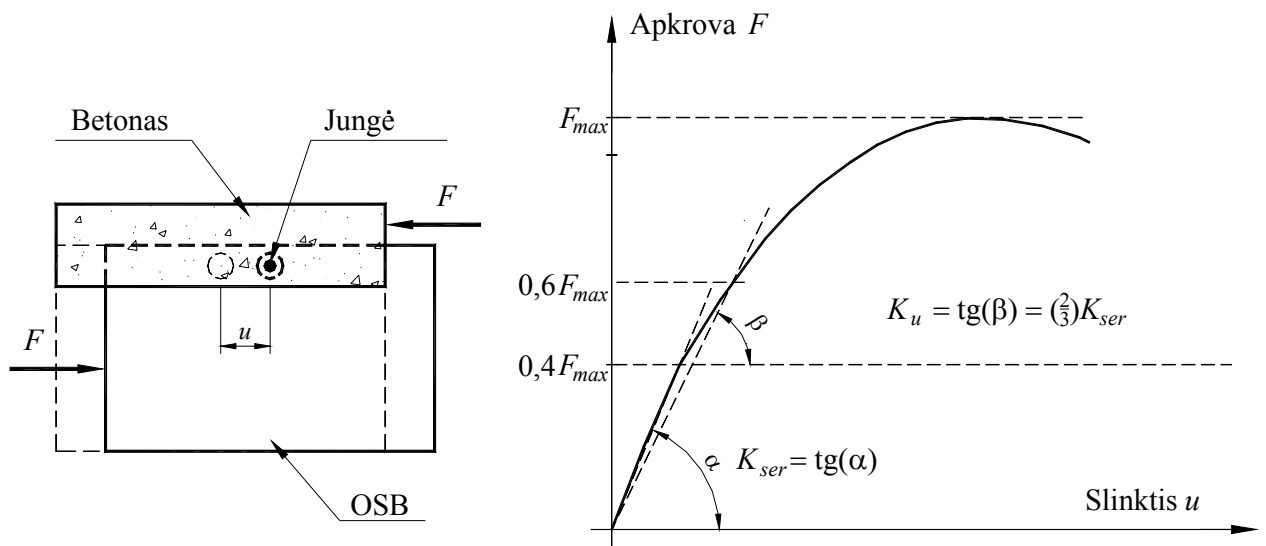
čia:  $f_k$  – medienos arba OSB charakteristinis stipris imamas atitinkamai iš LST EN 338 [11] arba LST EN 12369–1 [15]. Šiuose standartuose charakteristinės stiprio reikšmės nustatytos kaip generalinės aibės 5 % fraktiliai, kai trumpalaikio poveikio trukmė –  $300 \pm 120$  s ir aplinkos temperatūra yra  $+20 \pm 2^\circ\text{C}$  bei aplinkos santykinė drėgmė –  $65 \pm 5$  %, kuriai esant medienos drėgnis apytikriai atitinka  $w \approx 12$  %;

$\gamma_M$  – medžiagos savybės rodiklio dalinis koeficientas;

$k_{mod}$  – modifikacijos koeficientas, įvertinantis apkrovos veikimo trukmės poveikį medienos savybėms ir eksploatacines (drėgmės) sąlygas.

#### 2.4.2. Kompozitinės medienos-betono tarpsluoksnio jungties jungės elgsenos ypatumai

KMB konstrukcijų elgsenai didelę įtaką turi sijos sienelės ir betono plokštės jungties standumas ir atsparumas. Šios jungties paskirtis – atlaikyti išilgines šlyties jėgas, veikiančias tarp OSB sienelės ir betono plokštės. Šios tarpsluoksnio jungties pagrindinio jungiamojo elemento – jungės tipinė elgsena parodyta 2.7 paveiksle. Jungė, veikiamą jėgos, sudarančios iki 40 % jos atspario, atitinka tampriąją apkrovos-slinkties elgseną. Didėjanti šlyties jėga pradeda deformuoti jungę plastiškai, ir pasireiškia netiesinė apkrovos-slinkties elgsena.



2.7 pav. Jungties slinkties-apkrovos sąryšis ir slinkties modulio apibrėžimas

Kai jungties elgsena yra tampriai-plastinė, ribinių būvių skaičiavimams išskiriami du skirtingi jungių slankumo moduliai  $K$ :

- $K_u$  – jungės slankumo modulis, esant saugos ribiniam būviui;
- $K_{ser}$  – jungės slankumo modulis, esant tinkamumo ribiniam būviui.

Projektavimo normose [4] saugos ribinio būvio jungės slankumo modulis  $K_u$  apskaičiuojamas šia formule:

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser} . \quad (2.17)$$

Skaičiuojant mechaniškai sujungtus skerspjūvio komponentus, remiantis Eurokodo 5 [4] projektavimo metodika, jungės slankumo modulis  $K_{ser}$  nustatomas atlikus išstumiamąjį bandymą pagal LST EN 26891 [18] reikalavimus arba apskaičiuojamas pagal Eurokode 5 pateiktas empirines formules.

KMB jungties slankumo standis  $k$ , apskaičiuojamas taip:

$$k = \frac{K}{s}, \quad (2.18)$$

čia:  $K$  – jungės slankumo modulis;

$s$  – atstumas tarp jungių.

Dviatramėje sijoje, apkrautoje tolygiai išskirstyta apkrova, skersinė jėga per visą konstrukcijos ilgį pasiskirsto nevienodai: ties sijos atramomis ji pasiekia didžiausią reikšmę, o ties viduriu – lygi nuliui. Todėl jungės išdėstomos nebūtinai vienodais tarpais. Ties sijos atramomis atstumai tarp jungių sutankinami, ties sijos viduriu išretinami. Praktikoje jungės dažniausiai išdėstomos vienodais atstumais, todėl sija suskirstoma į tris dalis, ir jungės šiuose trečdaliuose, išdėstomos atsižvelgiant į skersinės jėgos didumą. KMB jungės ties atramomis išdėstomos atstumais  $s_{min}$ , o ties viduriu –  $s_{max}$ . Skaičiavimams supaprastinti imamas efektyvus atstumas tarp jungių  $s_{ef}$ , kuris apskaičiuojamas taip:

$$s_{ef} = 0,75 \cdot s_{min} + 0,25 \cdot s_{max}, \text{ su sąlyga, kad } s_{max} \leq 4 \cdot s_{min}. \quad (2.19)$$

#### 2.4.3. Kompozitinio medienos-betono skerspjuvio geometrinių rodiklių bei įtempių skaičiavimas

Siūloma naujo tipo KMB sija yra sudaryta iš trijų komponentų: betono plokštės, medinių tašų ir OSB sienelės. OSB sienelė su mediniais tašais yra sujungta klijuotine jungtimi, kuri medinių plonasienių sijų projektavimo rekomendacijose [106, 122] nusakoma kaip standžioji jungtis. KMB skerspjuvio parametrų skaičiavimams palengvinti autorius siūlo medinius tašus ir OSB sienelę traktuoti kaip redukuotą vientisą medinį elementą. Tad KMB sija būtų sudaryta iš betono plokštės ir medinio apversto tėjinio elemento (2.8 pav.), kurio skerspjuvio plotas  $A_{2.red}$  bei inercijos momentas  $I_{2.red}$  apskaičiuojami šiomis formulėmis:

$$A_{2.red} = A_2 + \frac{E_3}{E_2} A_3; \quad (2.20)$$

$$I_{2.red} = I_2 + A_2 \cdot y_2^2 + \frac{E_3}{E_2} I_3 + \frac{E_3}{E_2} A_3 \cdot y_3^2, \quad (2.21)$$

čia:  $A_2, I_2$  ir  $E_2$  – medienos tašų skerspjuvio plotas, inercijos momentas ir tamprumo modulis;

$A_3, I_3$  ir  $E_3$  – OSB plokštės skerspjuvio plotas, inercijos momentas ir tamprumo modulis.

$y_2, y_3$  – medinio tašo ir OSB sienelės skerspjuvių sunkio centrų atstumai iki redukuoto medinio tėjinio skerspjuvio centro (2.8 pav.).

Pasinaudojus (2.10) formule kompozitinės sijos bendrąjį lenkiamąjį standį galime išreikšti:

$$EI_{ef} = E_2 \cdot I_{ef} = E_2 \left( n \cdot I_1 + I_{2.red} + \gamma \cdot \frac{n \cdot A_1 \cdot A_{2.red}}{n \cdot A_1 + A_{2.red}} \cdot e^2 \right), \quad (2.22)$$

$$\text{čia: } n = \frac{E_1}{E_2}; \quad (2.23)$$

$\gamma$  – tarpsluoksnio jungties veiksmingumo koeficientas, apskaičiuojamas pagal (2.13) formulę.

KMB sijų bendram lenkiamajam standžiui  $EI_{ef}$ , tarpsluoksnio jungties veiksmingumo koeficientui  $\gamma$  ir ašinių įrašų sukeltiems komponentų įtempiams  $\sigma_{i,N}$  skaičiuoti autorius siūlo naudotis A. Frandžio (A. Frangi) darbuose [64, 65] pateiktomis formulėmis. Ašinių įrašų sukelti įtempiai  $\sigma_{i,N}$  apskaičiuoti tiek pagal A. Frandžio, tiek pagal Eurokodo 5 [4] metodikas yra tapatūs, o tarpsluoksnio jungties veiksmingumo koeficientai  $\gamma$  skirtingi. Šie koeficientai palyginti 2.1 lentelėje ir A priede, iš kurių matyti, kad inžineriškai geriau tinka A. Frandžio pateiktos formulės:

$$EI_{ef} = E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_{2.red} + \gamma \cdot S, \quad (2.24)$$

$$\text{čia: } S = \frac{E_1 \cdot A_1 \cdot E_2 \cdot A_{2.red} \cdot e^2}{E_1 \cdot A_1 + E_2 \cdot A_{2.red}}; \quad (2.25)$$

$$\gamma = 1 / \left( 1 + \frac{\pi^2 \cdot S}{k \cdot L^2 \cdot e^2} \right). \quad (2.26)$$

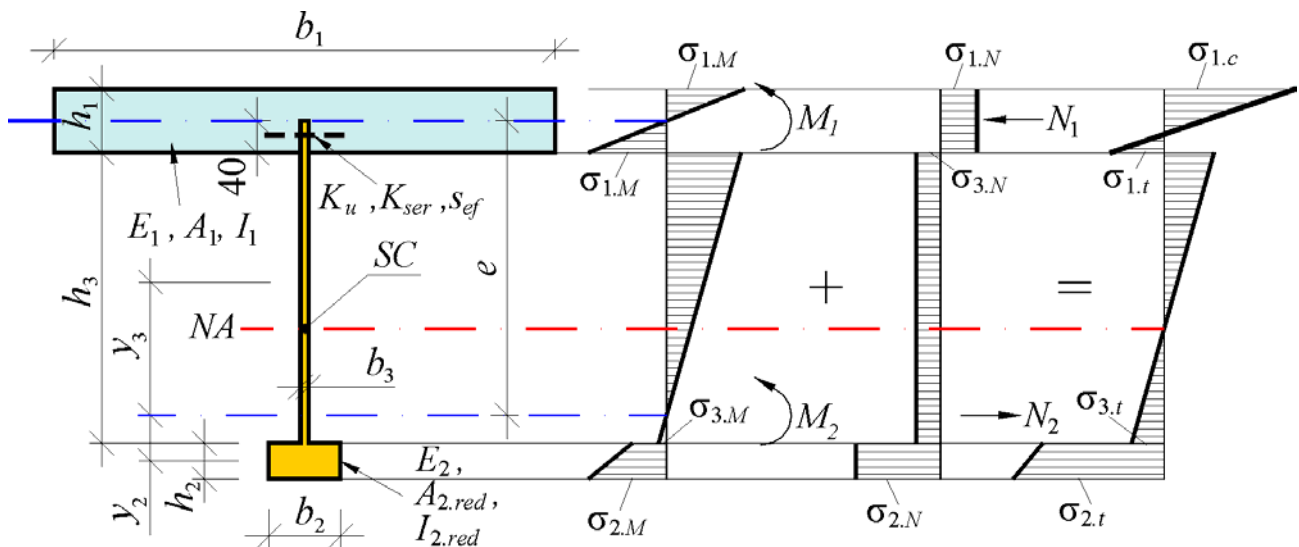
Kai skaičiuojamas bendrasis lenkiamasis standis  $EI_{ef}$ , turi būti atsižvelgta į KMB sijos betoninės plokštės efektyvųjų plotį  $b_l$ . Šio pločio reikšmė labiausiai priklauso nuo santykio tarp sijos ilgio ir sijų išdėstymo žingsnio ir apskaičiuojama pagal Eurokodo 4 [3] sąlygą  $b_l = 2L/8$ , bet ne didesnis kaip atstumas tarp sijų.

Tarus, kad KMB sijos efektyvusis lenkiamasis standis išilgai sijos yra vienodas, normalinius komponentų įtempius galima paprastai apskaičiuoti medžiagų mechanikos formulėmis. Komponentų skaičiuotiniai normaliniai įtempiai (2.8 pav.) apskaičiuojami šiomis formulėmis:

$$\sigma_{1,N.d} = \frac{M_d(x) \cdot \gamma \cdot S}{e \cdot EI_{ef} \cdot A_1}; \quad \sigma_{1,M.d} = \frac{M_d(x) \cdot E_1}{EI_{ef}} \cdot \frac{h_1}{2}; \quad (2.27)$$

$$\sigma_{2,N.d} = \frac{M_d(x) \cdot \gamma \cdot S}{e \cdot EI_{ef} \cdot A_{2.red}}; \quad \sigma_{2,M.d} = \frac{M_d(x) \cdot E_2}{EI_{ef}} \cdot \left( y_2 + \frac{h_2}{2} \right); \quad (2.28)$$

$$\sigma_{3.N,d} = \frac{M_d(x) \cdot \gamma \cdot S}{e \cdot EI_{ef} \cdot A_{2,red}} \cdot \frac{E_3}{E_2} ; \quad \sigma_{3.M,d} = \frac{M_d(x) \cdot E_3}{EI_{ef}} \cdot \left( y_2 - \frac{h_2}{2} \right) \cdot \frac{E_3}{E_2} . \quad (2.29)$$



2.8 pav. KMB sijos normalinių įtempių pasiskirstymas

Jungties tarp medienos ir betono vienetinė šlyties jėga  $t(x)$  ir jungę veikianti šlyties jėga  $T(x)$  apskaičiuojama taip:

$$t(x) = V(x) \cdot \frac{\gamma \cdot S}{e \cdot EI_{ef}} , \quad (2.30)$$

$$T(x) = V(x) \cdot \frac{\gamma \cdot S}{e \cdot EI_{ef}} \cdot s_{ef} = t(x) \cdot s_{ef} . \quad (2.31)$$

#### 2.4.4. Saugos ribinis būvis

KMB sijos betoninė plokštė, veikiam lenkiamojo momento ir gniuždomosios ašinės jėgos, turi tenkinti tokias sąlygas:

$$\begin{cases} \sigma_{1,c,d} = \sigma_{1,N,d} + \sigma_{1,M,d} \leq f_{c,d} \\ \sigma_{1,t,d} = \sigma_{1,N,d} - \sigma_{1,M,d} \leq f_{ctm,d} \end{cases} , \quad (2.32)$$

čia  $f_{c,d}$  ir  $f_{ctm,d}$  – atitinkamai betono skaičiuotinis gniuždomasis (cilindrinis) ir tempiamasis stipriai.

KMB sijos medinė apatinė juosta, veikiam lenkiamojo momento ir tempiamosios ašinės jėgos, turi tenkinti tokią sąlygą:

$$\frac{\sigma_{2,N,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{2,M,d}}{f_{m,d}} \leq 1.0 , \quad (2.33)$$

čia:  $f_{t,0,d}$  – skaičiuotinis išilgai pluoštų tempiamos vientisosios medienos stipris;

$f_{m,d}$  – skaičiuotinis lenkiamos vientisosios medienos stipris.

KMB sijos OSB sienelė, veikiamą lenkiamojo momento ir tempiamosios ašinės jėgos, turi tenkinti tokią sąlygą:

$$\sigma_{3,t,d} = \sigma_{3,N,d} + \sigma_{3,M,d} \leq f_{t,0,d} , \quad (2.34)$$

čia  $f_{t,0,d}$  – skaičiuotinis didžiosios ašies kryptimi tempiamos OSB plokštės stipris išilgai pluoštų.

Jungties jungės atsparis yra pakankamas, jeigu tenkinama sąlyga:

$$T(x) \leq T_R , \quad (2.35)$$

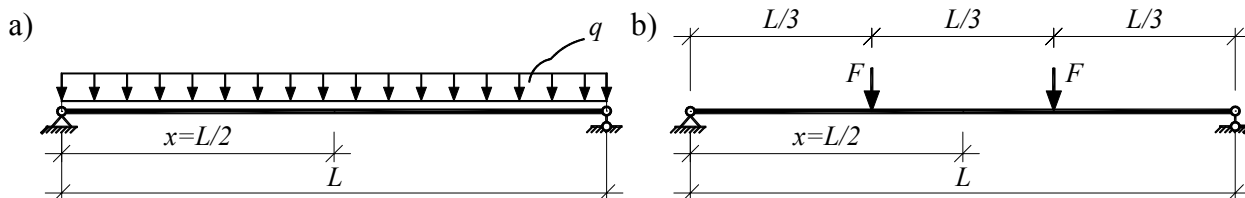
čia  $T_R$  – KMB jungės skaičiuotinis atsparis.

### 2.4.5. Tinkamumo ribinis būvis

Lanksčiai atremtai KMB sijai, apkrautai tolygiai išskirstyta tiesine apkrova  $q$  (2.9 a pav.), tarpatramio vidurio įlinkis  $w$  randamas formule

$$w = \frac{5}{384} \frac{q \cdot L^4}{EI_{ef}} , \quad (2.36)$$

čia  $EI_{ef}$  – KMB sijos efektyvus lenkiamasis standis.



2.9 pav. Dvitrapių sijų apkrovimo schemas

Lanksčiai atremtos KMB sijos, apkrautos dviem sutelktinėmis jėgomis  $F$  (2.9 b pav.), tarpatramio vidurio įlinkis  $w$  skaičiuojamas formule

$$w = \frac{F \cdot L^3}{28,17 \cdot EI_{ef}} . \quad (2.37)$$

KMB sijos tarpsluoksnių jungties tarp OSB ir betono plokščių slinktis apskaičiuojama taip:

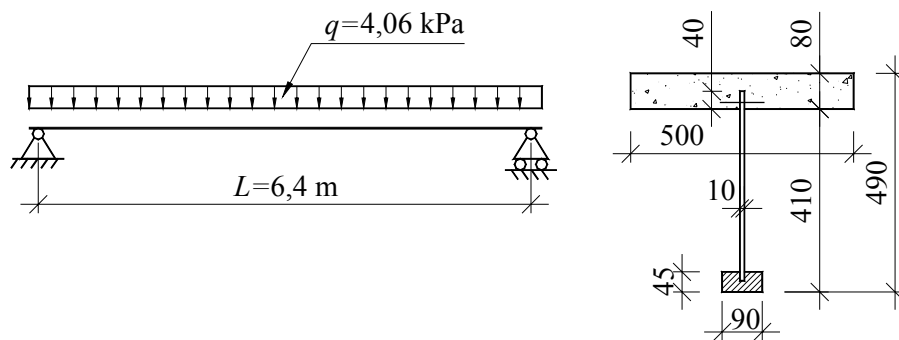
$$u = \frac{V(x) \cdot \gamma \cdot S}{e \cdot EI_{ef}} \cdot s_{ef} = t(x) \cdot s_{ef} , \quad (2.38)$$

čia:  $t(x)$  – jungties vienetinė šlyties jėga, apskaičiuojama (2.30) formule;

$s_{ef}$  – efektyvus atstumas tarp jungių, apskaičiuojamas (2.19) formule.

## 2.5. KOMPOZITINĖS MEDIENOS-BETONO SIJOS TEORINIS ĮTEMPIŲ SKAIČIAVIMAS

Teorinei KMB sijos analizei pasirinkta gyvenamojo namo perdanga, kurios tarpatramis  $L = 6,4$  m; sijos išdėstytos kas 0,5 m. Perdangos skaičiuotinė apkrova – 4,06 kPa. Sijos sienelė iš 10 mm storio OSB-3 plokštės, apatinė juosta – iš medinio tašo (45×90 mm), kurio mediena C24 klasės. Betonų plokštė – 80 mm storio, betonas – C20/25 klasės. Mechaniniai medžiagų rodikliai paimti iš [9, 11, 15]. Sijos betono plokštė su OSB sieniele sujungta betoniniais 25 mm skersmens „kaiščiais“, išdėstytais kas 75 mm. Analizuojamos KMB sijinės perdangos skaičiuojamoji schema ir skerspjūvio matmenys pateikti 2.10 paveiksle.



2.10 pav. KMB sijos skaičiuojamoji schema ir skerspjūvis

Skaičiuojant buvo imti, tokie pastovūs parametrai ir rodikliai: medinių sijų išdėstymo žingsnis, atstumas tarp jungių, betono ir medienos klasės, sijos OSB sienelės storis.

Teoriniai skaičiavimai atlikti, taikant 2.4 skyriuje pateiktą projektavimo metodiką. Minėtais teoriniais skaičiavimais nustatyti betono plokštės, sijos sienelės, sijos medinio tašo juostos įtempiai, jų pasiskirstymas ir skerspjūvio neutraliosios ašies padėtys esant kintamoms jungties slankumo modulio  $K_{ser}$  reikšmėms. Teoriškai apskaičiuoti betono gniuždomieji  $\sigma_{l,c}$  ir tempiamieji  $\sigma_{l,t}$  įtempiai, sijos medinio tašo įtempiai  $\sigma_{2,t}$ , sijos sienelės tempiamieji įtempiai  $\sigma_{3,t}$  ir pagal šias reikšmes sudarytos KMB skerspjūvio įtempių teorinės diagramos, be to, pagal Eurokodo 5 [4] ir A. Frandžio [65] metodikas apskaičiuoti tarpsluoksnio jungties koeficientai, kurių rezultatai pateikti 2.1 lentelėje.

Kaip rodo skaičiavimo rezultatai, pateikti 2.1 lentelėje, KMB sijoms didelę įtaką turi jungės slankumo modulis  $K_{ser}$ , kuriam mažėjant didėja kompozitinio skerspjūvio atskirų komponentų įtempiai. Esant standžiajai tarpsluoksnio jungčiai, sijos neutralioji ašis (2.1 lentelės diagramose pažymėta „N.C.“ žymeniu) kerta betoninį komponentą, o esant slankiajai jungčiai – neutralioji ašis kerta OSB sienelę ties medienos tašu.

**2.1 lentelė.** KMB sijos įtempių pasiskirstymo diagramos ir tarpsluoksnių jungties koeficientų reikšmės, atsižvelgiant į jungės slankumo modulį

| KMB sijos įtempių diagrama | $K_{ser}$ , kN/mm       | $\gamma$ pagal [4] | $\gamma$ pagal [65] | KMB sijos įtempių diagrama | $K_{ser}$ , kN/mm | $\gamma$ pagal [4] | $\gamma$ pagal [65] |
|----------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------|----------------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
|                            | $K_{ser} \rightarrow 0$ | 0                  | 0                   |                            | 3 000             | 0,66               | 0,08                |
|                            | 30                      | 0,46               | 0,95                |                            | 60                | 0,98               | 0,64                |
|                            | 100                     | 0,74               | 0,99                |                            | 300               | 0,90               | 1,00                |

Kaip matyti iš 2.1 lentelėje pateiktų rezultatų, tarpsluoksnių jungties veiksmingumo koeficiento  $\gamma$  reikšmės geriau atspindi šio koeficiento inžinerinę prasmę, kai yra apskaičiuotos A. Frandži metodu, nei apskaičiuotos Eurokodo 5 metodu. A. Frandži metodu skaičiuotas koeficientas  $\gamma$  pasiekia vieneto reikšmę, kai jungės slankumo modulis  $K_{ser}$  lygus 300 kN/mm, o Eurokodo 5 metodu apskaičiuotas koeficientas  $\gamma$  pasiekia vieneto reikšmę tik tada, kai  $K_{ser}$  yra lygus net 6 900 kN/mm.

## 2.6. IŠVADOS

KMB sijos tarpsluoksnių jungties mechaninės savybės turi didelę įtaką KMB konstrukcijos stiprumui ir skerspjūvio įtempių pasiskirstymui. Didėjant tarpsluoksnių jungties standumui, didėja visos konstrukcijos stiprumas ir standumas.

Apžvelgti KMB sijų su iš dalies slankiomis jungtimis skaičiavimo metodai, aptarti jų privalumai ir trūkumai. Autoriaus nuomone, pasiūlytai KMB sijai projektuoti geriausiai tinka žinomas  $\gamma$  metodas [4, 65] bei klijuotųjų plonasienių medinių sijų projektavimo metodikos [106, 122]. OSB sienelė su mediniais tašais yra sujungta standžiaja jungtimi, todėl skaičiuojant KMB sijas autorius siūlo medinius tašus ir OSB sienelę traktuoti kaip redukuotą vientisą medinį elementą. Autorius parengė pasiūlytosios KMB sijos projektavimo metodiką, pagrįstą  $\gamma$  metodu.

Atlikti teoriniai skaičiavimai parodė, kad KMB sijinėms perdangoms didelę įtaką turi jungties slankumo modulis  $K_{ser}$ . Jam mažėjant, didėja kompozitinio skerspjuvio atskirų komponentų įtempiai.

Parengtosios projektavimo metodikos pagrįstumui įvertinti tikslinga atlikti tokių KMB konstrukcijų eksperimentinius tyrimus.

### **3 skyrius. KOMPOZITINIŲ MEDIENOS-BETONO SIJŲ TARPSLUOKSNIO JUNGĖS**

#### **3.1. ĮVADINĖS PASTABOS**

KMB konstrukcijoms gana didelę įtaką turi jungės, kurios atlaiko šlyties jėgas, atsirandančias tarpsluoksnyje tarp OSB ir betono. Nuo jų veiksmingumo priklauso KMB sijos skerspjuvio įtempių pasiskirstymo pobūdis ir visos kompozitinės konstrukcijos efektyvumas.

Šiame skyriuje apžvelgiami labiausiai paplitę KMB perdangų tarpsluoksnio jungčių jungių tipai, taip pat aptariama šių jungių elgsena, jų privalumai bei trūkumai. Čia nenagrinėtos tokios jungės, kurias būtų sunku pritaikyti KMB sijų įlaidinėms jungtims, pvz.: iš anksto įtemptos jungės [71, 72, 73, 82, 91], specialios jungiamosios plieninės detalės [35, 97] ir kt. [115, 118]

Šios apžvalgos tikslas – atrinkti tinkamiausias esamas ar sukurti naujas junges, kurios geriausiai tiktų KMB sijų įlaidinėms tarpsluoksnio tarp OSB ir betono plokščių jungtims. Taip pat nebuvo darytas skirtingų jungių įvairių autorių atliktų eksperimentinių tyrimų tiesioginis sugretinimas, nes esantys skirtumai tarp bandomųjų schemų, bandinių matavimų taip pat bandymo metodikų nevienodumas neleistų objektyviai vertinti įvairių bandymų rezultatus.

#### **3.2. KOMPOZITINIŲ MEDIENOS-BETONO SIJŲ TARPSLUOKSNIO JUNGČIŲ TIPAI**

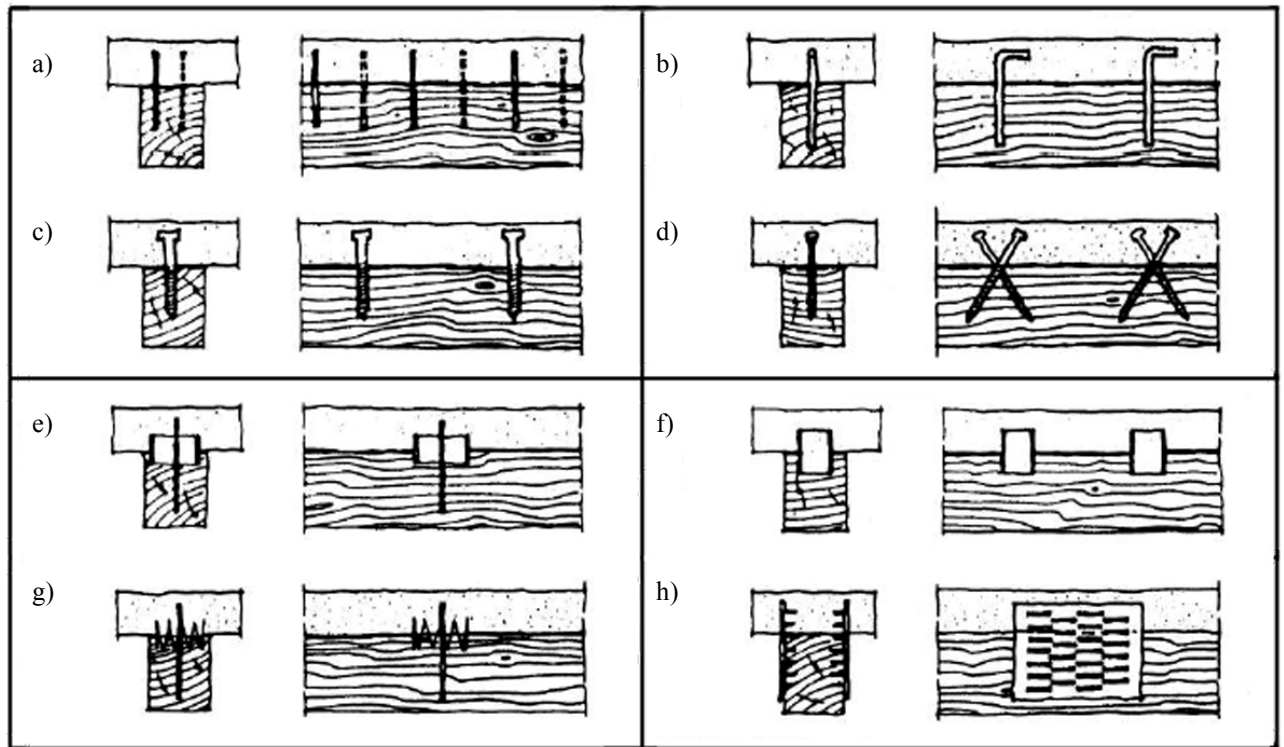
Pagrindinė KMB sijų problema – kaip užtikrinti tarpsluoksnio jungties standumą. Kuo tarpsluoksnio jungtis yra standesnė, tuo efektyvesnė kompozitinė medienos-betono konstrukcija, nes išvengiama nepalankaus komponentų pasislinkimo vienas kito atžvilgiu.

KMB sijų tarpsluoksnio jungčiai įvairūs autoriai pasiūlė ir tyrinėjo nemažai skirtingų jungių. Pagal jungių elgseną – kaip jos perima šlyties jėgas KMB tarpsluoksnio jungtyje, jungės gali būti tokių tipų:

- 1) mechaninės jungės;
- 2) spraustelinės jungės, kai šlyties jėgas perima glemžiamieji tarpsluoksnio plotai;
- 3) klijuotinė jungė;
- 4) frikcinė jungė, kai šlyties jėgas perima tarpsluoksnio trintis.

### 3.2.1. Mechaninės jungės

KMB sijų tarpstuksnio jungčiai įrengti praktiškai tinka visos mechaninės jungės, naudojamos medienos konstrukcijoms: vinys, varžtai, medsraigčiai, sraigtai, virbalai, spausteliai, dantytosios ir dygiuotosios plokštelės (žr. 3.1 pav.) ir kt. Jų elgsena plačiai išnagrinėta [47, 107] darbuose.

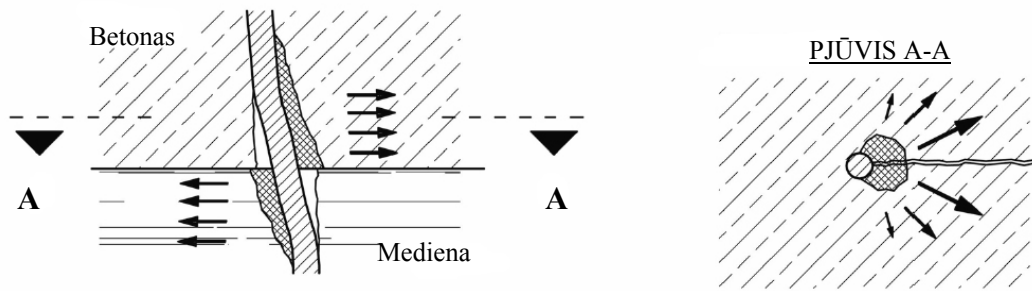


3.1 pav. KMB sijų mechaninės jungės pagal [47]:

a – vinys; b – metaliniai virbalai; c – medsraigčiai; d – SFS sraigtai;  
e – mediniai spausteliai; f – trumpi plieniniai vamzdžiai ir žiediniai spausteliai;  
g – metalinės dantytosios „Bulldog“ tipo plokštelės; h – dygiuotosios „TrusWall“ tipo plokštelės

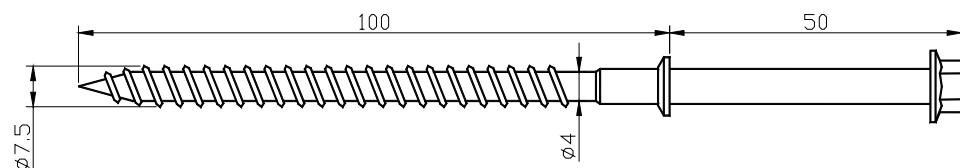
Jungčių, kuriose įrengtos jungės pagal 3.1 a, b, c paveiksle pavaizduotas schemas, slankis priklauso nuo pačios jungės lenkiamojo standžio bei medienos ir betono glemžiamųjų stiprių. Didesnės glemžiamosios deformacijos ties junde ryškėja medienoje dėl jos daug mažesnio nei betono glemžiamojo stiprio. Betono didelis glemžiamasis stipris, veikiant šlyties jėgoms, gali sukelti statmenai jungčiai įtvirtintų mechaninių jungių ištraukimą. Jungės priešinimasis tarpstuksnio šlyčiai vertinamas jungės lenkiamuoju standžiu. Dėl didėjančios tarpstuksnio slinkties junde ima veikti ištraukiamoji jėga. Tokiu atveju jungės atsparis lieka pastovus, jeigu jungė tvirtai įtvirtinta (igilinta) medienoje. Tinkamai įtvirtinus junde medienoje, gali būti atskeltas nearmuotas betonas ties junde. Dėl didėjančios KMB tarpstuksnio šlyties ties junde atsiranda didelė gniuždymo (glemžimo) jėga, kuri gali sukelti išilginę plyšį dėl betono mažo tempiamojo

stiprio (3.2 pav.). Panaudojus betone armatūros tinklus arba betoną su plienpluoščiu, išvengiama minėtų plyšių betone susidarymo bei apvalios formos betono išplaišų ties jungėmis [75].



3.2 pav. Vertikaliųjų kaištinių mechaninių jungių elgsena veikiant šlyties jėgoms

KMB sijų tarp sluoksnių jungtyse įrengus pasvirusias junges (3.1 d pav.) galima panaudoti mažesnio lenkiamojo standžio kaiščius. Po U. Meierhoferiui (U. Meierhofer) [90] atlikų tyrimų su KMB jungtimis, paaiškėjo, kad jungčių su pasviromis jungėmis mechaninės charakteristikos daug geresnės nei jungčių su stačiai įtvirtintomis jungėmis. Pasvirusių jungių elgseną visų pirma lemia tai, koks efektyvus yra įtvirtinimo medienoje ir betone gylis. Šveicarų firma „SFS Provis AG“ 1992 m. sukūrė ir užpatentavo specialų medvaržtį [140], paprastai skirtą KMB konstrukcijoms (3.3 pav.). Medvaržčio apatinė dalis turi sriegį, kuris įsukamas į medinę siją neišgręžus joje skylės, o viršutinė neišsriegtoji dalis skirta jungėi inkaruoti betone.



3.3 pav. Plieninis SFS sraigtas

Jungtis su medinėmis spaustelinėmis jungėmis pavaizduota 3.1 e paveiksle. Medienos sluoksnyje padaromos stačiakampės išpjovos, į kurias įdedami didelio stiprio, pavyzdžiui, ažuoliniai sprausteliai. Mediniai sprausteliai papildomai prikalami vinimis, kad išlaikytų savo projektinę padėtį, kai liejamas plokštės betonas ir padidintų medinio spraustelio kerpamąjį stiprį.

Jungtis su trumpu plieniniu vamzdžiu arba žiediniu sprausteliu parodyta 3.1 f paveiksle. Jungiant šiuo būdu, medienoje išfrezuojami žiediniai lizdai, į kuriuos įstatomi apvalūs trumpi vamzdžiai. Naudojant žiedinius spraustelius, jokie papildomi darbai neatliekami, nes sprausteliai tiesiog įspaudžiami į medinę konstrukcijos dalį. Kai jungėms naudojami tiek mediniai, tiek metaliniai sprausteliai, jungčių slankis priklauso nuo medienos, ir betono glemžiamųjų stiprių, todėl šio tipo jungės turėtų būti priskiriamos prie spraustelinų jungių tipo.

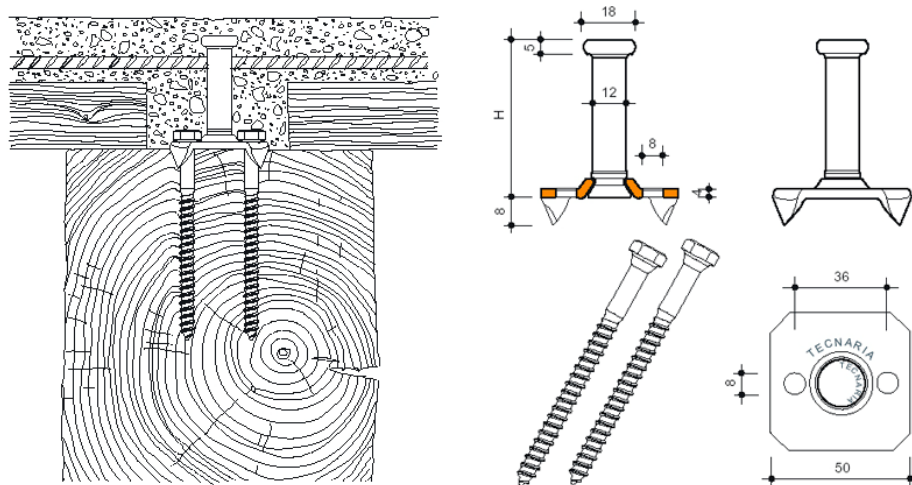
Jungtys su metalinėmis dantytosiomis bei dygiuotosiomis plokštelinėmis jungėmis parodytos 3.1 g, h paveiksluose. Pagrindinis šių jungių privalumas tas, kad plokštelių dygiai padidina medienos glemžiamąjį plotą. KMB sijų tarp sluoksnių jungties jungėms naudojamos įvairių formų ir matmenų „Bulldog“ [50, 98, 129] ir „TrusWall“ tipo plokštelės [26, 87] (3.4 pav.).

Jungčių slankis priklauso nuo jungės įtvirtinamojo stiprio, t. y. glemžiamos medienos ties metalinių plokštelių dygiais ar dantimis stiprio. Kuo mažesnis dygių ar dantų glemžiamasis plotas, tuo slankesnė yra pati jungė.



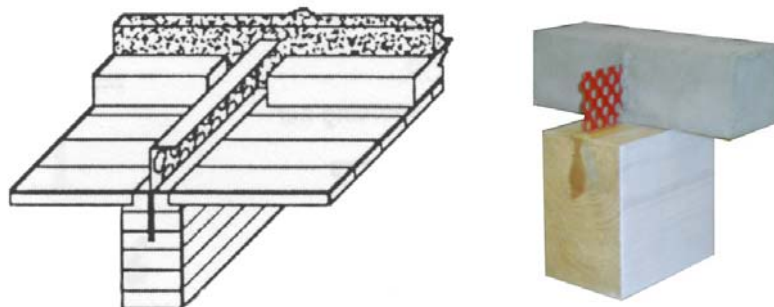
3.4 pav. „Bulldog“ (a, b), ir „TrusWall“ (c) tipo plokštelės

2003 m. Italijos įmonė „Tecnaria“ pristatė [141] specialią kaiščio-sąvaržos jungę (3.5 pav.). Metalinė jungė susideda iš  $\varnothing 12$  mm kaiščio ir  $50 \times 50$  mm plokštelės su keturiais jos kampuose esančiais dantimis. Šie dantys susmeigiami į medieną dviem išukamais medsraigščiais. Jungčių slankis priklauso nuo jungių lenkiamojo standžio ir įsitvirtinamojo medienoje stiprio.



3.5 pav. Specialioji kaiščio-sąvaržos jungė

1993 m. Vokietijos įmonė „Bathon + Bahmer GbR“ pateikė metalinės perforuotos plokštelės jungę (3.6 pav.), skirtą KMB jungtims. Perforuotos plokštelės storis – 2,5 mm, aukštis – 90 mm. Ši plokštelė įklijuojama epoksidiniais klijais į medienoje padarytą išdrožą. Tokio tipo jungė užtikrina standaus tipo jungtis tarp medienos ir betono [33, 34].



3.6 pav. Medinėje sijoje įklijuota metalinė perforuota plokštelė

3.1 lentelėje pateiktos įvairių autorių išstumiamųjų bandymų metu nustatytos kai kurių tipų mechaninių jungių atspario  $F_{max}$  ir slankumo modulio  $K_{ser}$  vidutinės reikšmės.

**3.1 lentelė.** KMB bandinių tarpstuksnio jungtyse naudotų mechaninių jungių eksperimentų rezultatai

| Jungės, KMB bandinių medžiagos, literatūros šaltiniai                                                                          | Atstumas tarp jungių<br>$s_{ef}$ , mm | Vidutinis slankumo modulis<br>$K_{ser}$ , kN/mm | Vidutinis atsparis<br>$F_{max}$ , kN |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Vertikaliai įkalta Ø3,4 mm rievėtoji vinis; įgilinta medienoje – 40 mm, betone – 20 mm; betonas C35, mediena C24; [26]         | 60                                    | 1,2                                             | 1,2                                  |
| Vertikaliai įkalta Ø6,3 mm apvalioji vinis; įgilinta medienoje – 140 mm, betone – 40 mm, betonas C20; [26]                     | 65                                    | 3                                               | 4,5                                  |
| Vertikaliai įklijuotas metalinis Ø16 mm virbalas; betonas B30 su vieliniu tinklu ties jungių tvirtinimo vieta; [46]            | 200                                   | 27                                              | 40                                   |
| Vertikaliai įklijuotas metalinis Ø20 mm virbalas; lengvasis betonas EPS-14; [110]                                              | 240                                   | 35                                              | 21,5                                 |
| Du SFS sraigčiai, pasvirę $\pm 45^\circ$ kampais (sukryžiuoti); lengvasis betonas LC 25/28; [59]                               | 80                                    | 40                                              | 15,8                                 |
| Dantytoji plokštelė Bulldog E75 su MI6 varžtu; betonas B30, I rūšies mediena; [129]                                            | 200                                   | 30                                              | 9                                    |
| Sulenкта dygiuotoji plokštelė GN 200 (114×266 mm); betonas B25; [87]                                                           | 540                                   | 50                                              | 54                                   |
| Tiesi dygiuotoji plokštelė WOLF 15N (50×102 mm); betonas B25; [26]                                                             | 500                                   | 28                                              | 31,5                                 |
| Kaiščio-sąvaržos jungė, kurios kaištis – Ø12 mm; sąvaržai įtvirtinti panaudoti du Ø8×110 mm medvaržčiai, betonas C20/25; [141] | 150                                   | 32                                              | 29                                   |
| Įklijuota HBV perforuotoji plokštelė (2,5×90×1000 mm); įgilinta medienoje – 50 mm, betone – 40 mm; betonas C20/25; [133]       | -                                     | 370                                             | 124,2                                |

### 3.2.2. Spraustelinės jungės

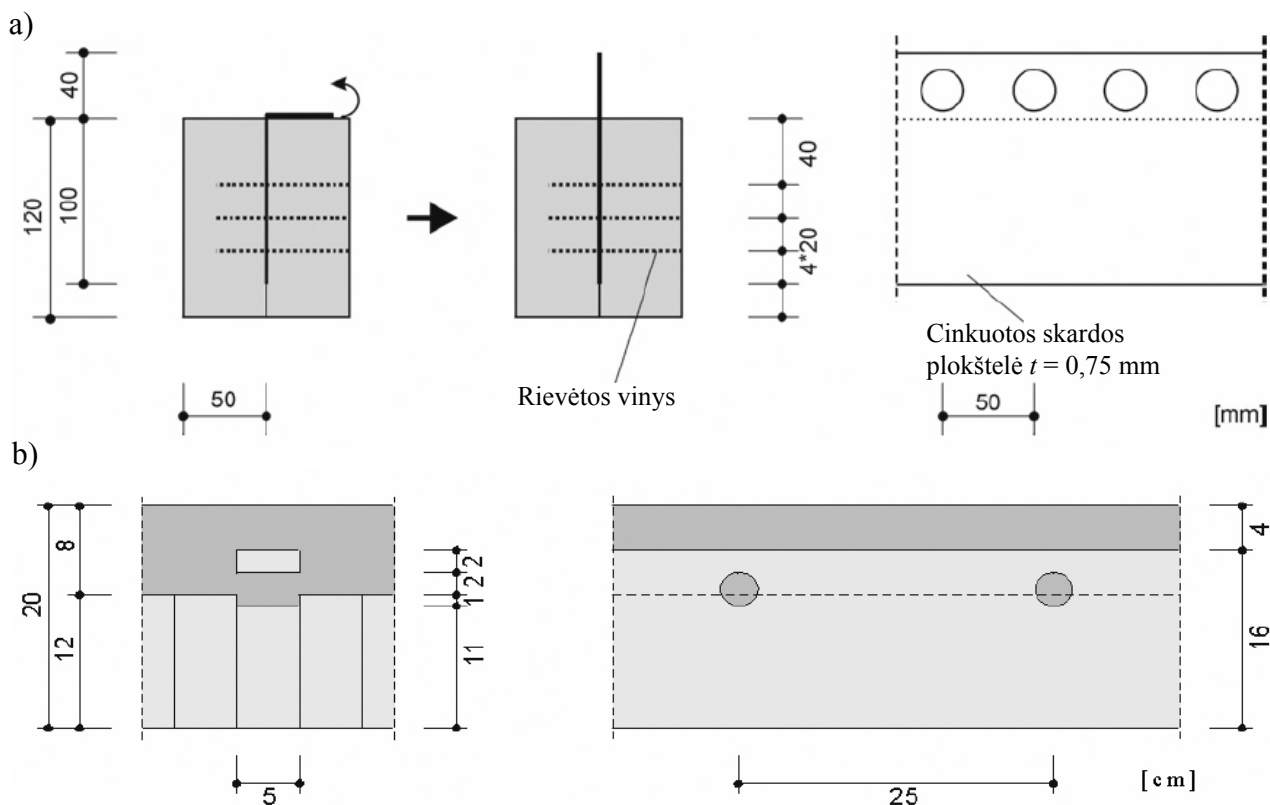
KMB sijų tarpstuksnio jungtyse su spraustelinėmis jungėmis šlyties jėgos perduodamos medienos ir betono glemžiamiesiems plotams. KMB sijų įlaidinei jungčiai įrengti įleidžiamoje į betono plokštę medienos dalyje padaromos išdrožos.

1996 m. Tasmanijos (Australija) universiteto tyrėjai pradėjo plėtoti įlaidinės jungties tarp medienos ir betono idėją [77, 134]. Medienos ir betono tarpstuksnio šlyties jėgų perdavimo veiksmingumui padidinti įleidžiamoje į betono plokštę medienos sijos dalyje buvo padarytos Ø20 mm bei 10 mm gylio išdrožos, išdėstytos kas 100 mm (3.7 pav.). Po atliktų jungties eksperimentinių tyrimų tyrėjai padarė išvadą, kad tokio tipo įlaidinė jungtis užtikrina standžią sąveiką tarp medienos ir betono, nenaudojant jokių papildomų mechaninių jungių.



3.7 pav. Medinės sijos spraustelinės jungės pagal [77, 134]

1999 m. Veimaro Bauhaus universiteto (Vokietija) mokslininkai pradėjo tyrimų programą tobulinant naujo tipo junges KMB besijinių perdangų tarpstuksnio jungtims [70, 86]. Jie atliko eksperimentinius tyrimus su dviejų tipų spraustelinėmis jungėmis: perforuoto metalinio lakšto jungė (3.8 a pav.) ir betoninio kaiščio jungė (3.8 b pav.).



3.8 pav. KMB tarpstuksnio jungties spraustelinės jungės pagal [70]

KMB tarpstuksnio jungtyje naudotos perforuoto metalinio lakšto jungės, padarytos iš cinkuoto plieno lakšto, kurio storis – 0,75 mm ir kuris perforuotas ties vienu kraštu išgręžtomis kas Ø25 mm skylėmis 50 mm. Plieno lakštas įterpiamas tarp dviejų lentų ir sukalamas viniakale, paliekant perforuotosios juostelės 40 mm pločio iškyšą.

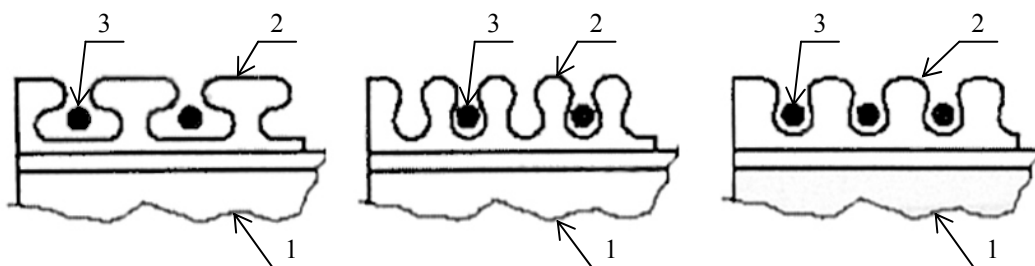
Kai KMB tarpsluoksnio jungtims naudotos betoninio kaiščio jungės, įleidžiamoje į betono plokštę medienos dalyje kas 250 mm išgręžiamos Ø30 mm skylės. Betono kerpamajam stipriui padidinti buvo naudojamas betono mišinys su plienpluoščiu.

Perforuoto metalinio lakšto jungės ir betoninio kaiščio jungės išstumiamojo bandymo rezultatai pateikti 3.2 lentelėje.

**3.2 lentelė.** KMB bandinių tarpsluoksnio jungtims [70] eksperimentuose naudotų spraustelinių jungių rezultatai

| Jungės, KMB bandinių medžiagos                                                                           | Atstumas tarp jungių<br>$S_{ef}$ , mm | Vidutinis slankumo modulis<br>$K_{ser}$ , kN/mm | Vidutinis atsparis<br>$F_{max}$ , kN |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Prikalta perforuota 9-iomis Ø25 mm skylėmis metalinė plokštelė (3.8 a pav.); betonas C20/25, mediena C24 | 50                                    | 139,1                                           | 63,6                                 |
| Betoninis kaištis Ø30 mm (3.8 b pav.); betonas C20/25 su pliepluosčiu, mediena C24                       | 250                                   | 105,8                                           | 27,9                                 |

Taip pat galima pažymėti, kad kompozitinių plieno-betono sijų įlaidinėse jungtyse naudojamas netradicinės spraustelinės jungės (3.9 pav.), kurios konstrukcijos principus galima pritaikyti ir KMB sijų tarpsluoksnio tarp OSB ir betono plokščių įlaidinei jungčiai.



**3.9 pav.** Kompozitinės metalo-betono sijos tarpsluoksnio jungties įlaidinės jungės pagal [88, 114]

1 – metalinė sija (dvitėjas); 2 – perforuoto metalinio lakšto jungė; 3 – armatūros strypas

### 3.2.3. Klijuotinės jungės

Standžiosios jungtys esti tada kai tarp sujungtųjų komponentų pasireiškia visiška sąveika, t. y. kai sluoksniai nepasislenka vienas kito atžvilgiu. Šio tipo jungtį dažnai pavyksta padaryti panaudojus klijuotinę jungę, t. y. kai specialia technologija kompozitinės sijos medinė dalis suklijuojama su betonu. Medinės sija gali būti epoksidinės dervos klėjais suklijuota su surenkamojo betono plokšte [108]. Ilgalaikis jungties stipris užtikrinamas tik plonu klijų sluoksniu (iki 1 mm); storesnis – labai padidina klijuotinės siūlės valkšnumą. Tokio tipo klijuotinės jungties kokybė priklauso nuo medinės sijos ir betono plokštės matmenų tikslumo.

Pastarąjį dešimtmetį buvo sukurta klijuotinė jungtis, kuriai panaudotas polimerbetonis, gaunamas į betono mišinį įmaišius aktyviųjų (reakcinių) polimerinių priedų [58]. Siūlės stipris pasiekiamas visiškai sukietėjus sintetinei dervai.

1998 m. SWOOD (Šveicarijos medienos pramonės technikos aukštoji mokykla) [43, 44, 61, 110, 111] pradėjo vykdyti KMB perdangų su klijuotinėmis jungtimis tyrimus. Buvo sukurtas „šlapias“ klijavimo būdas: medinė sija ištepama specialiais klėjais ir ant jos užliejamas betono mišinys. Betonui turi būti užlietas ne ilgiau kaip per 45 minutes po klijų užtepimo ant sijų momento, kitaip nebus užtikrinta stipri klijuotinė jungė tarp medienos ir betono.

Klijuotinių jungių kokybė priklauso nuo klijų molekulių tarpusavio sankibos (kohezijos), klijų sukibimo (adhezijos) su jungiamaisiais paviršiais ir klijuojamų paviršių paruošimo kokybės. Pažymėtini šie klijuotinių jungių pranašumai:

- jėgos nesikoncentruoja, kaip mechaninių jungių atveju,
- visiškai suvaržoma slinktis tarp medienos ir betono: užtikrinama standžioji jungtis,
- lengva ir spartu įrengti.

Nors suklėjavus gaunama standžioji jungtis tarp medienos ir betono, tačiau praktikoje šis būdas retai taikomas, nes yra brangus.

### 3.2.4. Frikcinės jungės

Tarpsluoksnio trintis KMB jungtyse pasireiškia medienos ir betono sąlyčio paviršiuose. Frikcinės jungės slankis priklauso nuo paviršių trinties. Kuo ji didesnė, tuo standesnė jungtis. Trintį tarp medienos ir betono padidina normaliniai įtempiai, veikiantys skersai tarpsluoksnio [54, 56].

Prancūzijos įmonė „Lignalithe“ nuo 2000 m. vykdė KMB besijinės perdangos tyrimus [135], kurioje jungtį tarp medienos ir betono užtikrina į betoną įleidžiamojoje medienoje padaromos trapecinės „kregždės uodegos“ formos išpjovos, nenaudojant jokių kitų priemonių (3.10 pav.).



3.10 pav. KMB besijinės perdangos skerspjūvio vaizdas pagal [135]

Frikinėms jungėms didelę įtaką turi betono traukumas, sukuriantis išankstinį apspaudimą, kuris padidina sąlyčio paviršių trintį. Tačiau mediena, užlieta betono mišiniu, linkusi išbrinkti, o betono kietėjimo metu – trauktis, dėl ko gali atsirasti tarpai jungties tarpsluoksnyje. Šie procesai gali tyrėti įtakos KMB konstrukcijų elgsenai, todėl KMB konstrukcijų tarpsluoksnio jungtyje naudojant vien tik frikcinę jungę, ne visada gali būti užtikrintas norimas standumas.

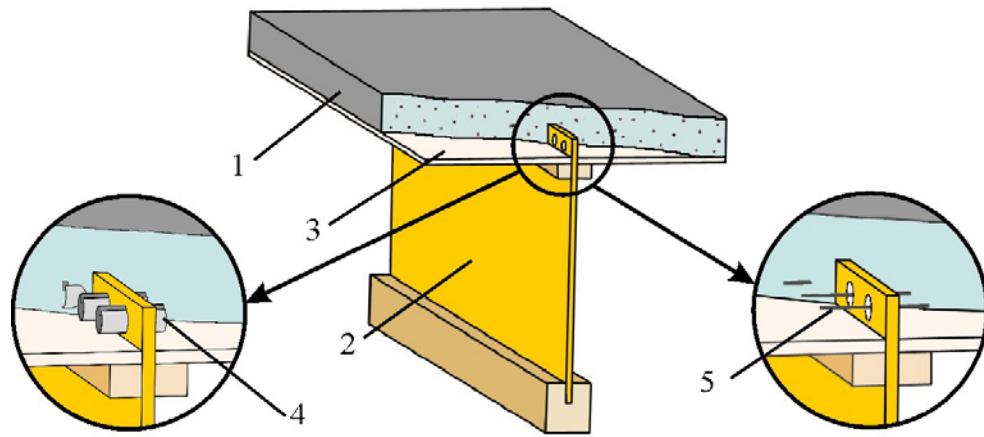
### **3.3. TINKAMIAUSIŲ JUNGIŲ PRITAIKYMAS NAGRINĖJAMOS KOMPOZITINĖS MEDIENOS-BETONO SIJŲ TARPSLUOKSNIO JUNGČIAI**

Šiame darbe nagrinėjamos KMB sijoms pasirinkta įlaidinė tarpsluoksnio tarp OSB sienelės ir betono plokštės jungtis. Tokio tipo jungtims įrengti galima naudoti tradicines mechanines junges, tačiau medinėms plonasieneis sijoms racionaliausiai naudojamos 10 ir 12 mm storio OSB plokštės. Naudojant varžtus, sraigtus ir virbalus, KMB tarpsluoksnio jungties slankis labai priklauso nuo OSB plokštės glemžiamojo atspario, t. y. nuo jungių įtvirtinimo OSB plokštėje ploto, kuris bus nedidelis naudojant minėtų storių plokštes. Naudoti dantytąsias ar dygiuotąsias plokšteles taip pat nelabai tinka, nes dantį ar dygį minimaliai įgilinti į medieną būtina daugiau kaip 12 mm. Jungių veiksmingumas priklauso ne tik nuo jų atspario ir slankumo modulio, bet ir pagaminimo bei įrengimo kainos. Mechaninių kaiščio-sąvaržos tipo ir klijuotinių jungių, nors ir pasižyminčių itin geromis mechaninėmis charakteristikomis, pagaminimo ir įrengimo kaina yra gana didelė, todėl nagrinėjamos KMB sijos tarpsluoksnio jungčiai jas naudoti neracionalu.

Autorius, remdamasis 3.2.2 skirsnyje apžvelgtų spraustelinių jungių kūrimo ir jų elgsenos tyrimų rezultatais, šiame darbe siūlo KMB sijos tarpsluoksnio įlaidinei jungčiai pritaikyti spraustelinio tipo junges, tačiau įleidžiant ne medinės lentas, bet OSB sienelės 40 mm dalį į betono plokštę. Įleidžiamoje sienelės dalyje išgręžus Ø25 mm skyles, kurios, užlietos betono mišiniu, sudarytų betono kaištį per visą sienelės storį. Tokios jungties, veikiamos išilginių šlyties jėgų, irtis gali įvykti šiais atvejais:

- 1) kai betono kaištis suglemžia OSB sienelės sąlyčio paviršių;
- 2) kai betono kaiščiai nukerpa tarp jų esančią OSB sienelę;
- 3) kai OSB sienelė nukerpa betono kaištį.

Išankstiniai skaičiavimai parodė, jog tokia jungtis dažniausiai irsta, kai sienelė nukerpa betono kaištį dėl mažo betono kerpamojo stiprio. Todėl betono plokštės ir sienelės didesniai jungties standumui pasiekti įleidžiamojoje sienelės dalyje autorius siūlo naudoti kombinuotąją jungtį, kurioje į išgręžtąsias skyles būtų įstatytos tam tikro tipo jungės (3.11 pav.).

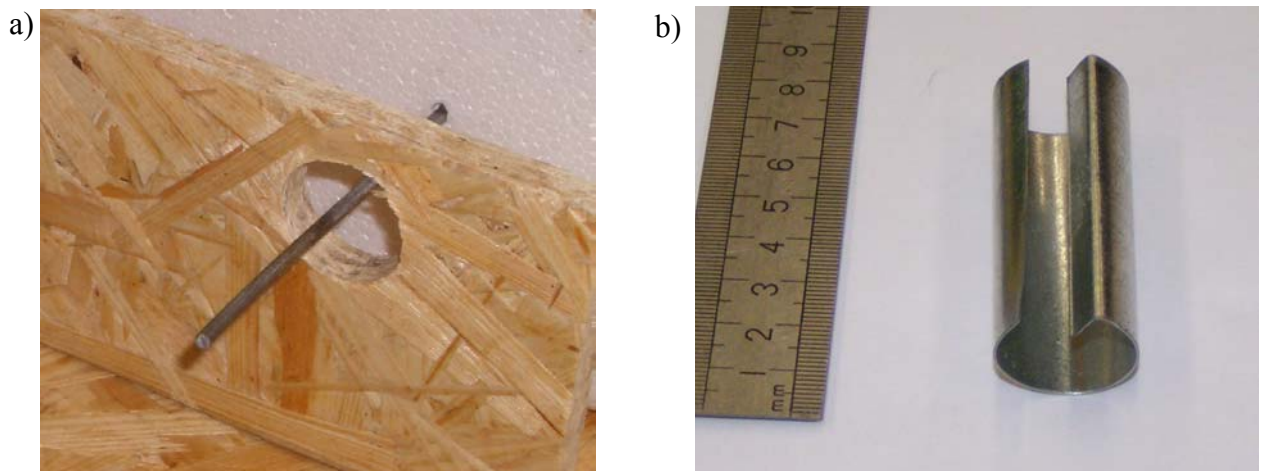


**3.11 pav.** KMB sijos įlaidinės jungties konstrukciniai sprendimai:

1 – betonas; 2 – medinė plonasienė sija; 3 – klojinių plokštės; 4; 5 – jungiamosios detalės (jungės)

Medinės plonasienės sijos gaminamos tik pramoniniu būdu. Klijuojant šias sijas klijuotinės jungties kokybei labai didelę įtaką turi aplinkos temperatūra, paviršių paruošimo kokybė, medžiagų drėgnis. Siekiant sumažinti sijų montavimo ir jų paruošimo betonui užlieti laiką, sijos sienelės perforuojamos ir jungės į skyles įstatomos turėtų būti gamykloje. Be to, vietoj perforavimo būtų racionaliau OSB plokštę išpjauštyti arba sukarpyti zigzago formą (3.9 pav.). Ši taip vienu pjūviu galima pagaminti iš karto du sienelės kraštus, parengtus įstatyti jungėms.

Šio darbo autorius nagrinėja dviejų tipų junges. I tipo jungė – 3 mm skersmens ir 100 mm ilgio armatūros strypas (3.12 a pav.).



**3.12 pav.** KMB jungties jungimo priemonės

II tipo jungė – „įvorinė“ plieno jungė (3.12 b pav.), pagaminta iš 0,5 mm storio, 60 mm pločio ir 72 mm ilgio skardos juostelės, specialiu prietaisu susukta į vamzdelį, kurio išorinis skersmuo – 25 mm, su išilginiu tarpeliu.

Kaip minėta 2.4.2 skirsnyje, mechanškai sujungtiems skerspūvio komponentams skaičiuoti reikalingas jungės slankumo modulis nustatomas išstumiamuoju bandymu arba apskaičiuojamas Eurokode 5 [4] pateiktomis empirinėmis formulėmis. Tačiau šios formulės pritaikytos

skerspjūviams su pridurtinio tipo tarpsluoksnio jungtimis, o šiame darbe aptariama iš esmės skirtingos konstrukcijos, įlaidinio tipo KMB sijos tarpsluoksnio jungtis. Be to, minėtoji skaičiavimo metodika aprėpia ne visų tipų jungtims galimas naudoti junges, todėl šiame darbe nagrinėjama KMB sijos tarpsluoksnio jungties tarp OSB sienelės ir betono plokštės elgsena ir jungių mechaninės charakteristikos turi būti nustatytos ir ištirtos išstumiamaisiais bandymais.

### **3.4. IŠVADOS**

Atlikta dažniausiai naudojamų KMB sijos tarpsluoksnio jungčių jungių tipų ir jų savybių analizė. Nustatyta, kad KMB sijų įlaidinio tipo jungtims pritaikyti tradicines mechanines junges yra netikslinga dėl mažo OSB plokštės glemžiamojo atspario, o taikyti klijuotines junges neekonomiška dėl didelės klijavimo technologijos kainos.

KMB sijų įlaidinės tarpsluoksnio jungties standumas ir stiprumas gali būti padidintas naudojant kombinuotąsias junges, kurias sudaro išgręžtosios skylės ir į jas įstatytos tam tikro tipo kaištinės jungės. Tirti pasirinktos dviejų tipų kaištinės jungės: armatūrinės bei iš esmės naujo tipo – „įvorinės“. Abi šios jungės tinkamos betono plokštės ir OSB sienelės nesudėtingai ir ekonomiškai jungčiai įrengti.

Kadangi KMB tarpsluoksnio tarp OSB sienelės ir betono plokštės įlaidinės jungties su armatūrinėmis bei „įvorinėmis“ jungėmis elgsena iki šiol mažai ištirta, todėl šiame darbe būtina atlikti šių jungių eksperimentinius tyrimus ir analizę.

## 4 skyrius. EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

### 4.1. ĮVADINĖS PASTABOS

Eksperimentinių tyrimų rezultatai naudojami teoriniams samprotavimams patikrinti ir jų tikslumui bei patikimumui įvertinti. Pagrindiniai eksperimentinių tyrimų tikslai:

- 1) parinkti KMB konstrukcijai racionalią jungę, užtikrinančią patikimą jungtį tarp betoninės plokštės ir OSB sienelės;
- 2) įvertinti pasirinktosios jungės ir pačios KMB sijos elgsenos ypatumus bei nustatyti jų irimo pobūdžius.

Šiems tikslams pasiekti KMB konstrukcijų modeliai buvo bandomi kvazistatinėmis apkrovomis specialiai sukurtuose bandymų stenduose. Bandymai atlikti Vilniaus Gedimino technikos universiteto (toliau – VGTU) Statybos fakulteto Statybinių konstrukcijų bandymo, Metalinių ir medinių konstrukcijų, Gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų ir Medžiagų mechanikos katedrų laboratorijose.

KMB sijos tarpsluoksnių jungčiai tinkamų naudoti „įvorinės“ ir armatūrinės jungių mechaninės savybės buvo nustatytos išstūmimo bandymu pagal LST EN 26891 [18] reikalavimus. KMB sijų bandiniai buvo tirti pagal bandymo metodikas, pateiktas LST EN 380 [12] ir LST EN 595 [14]. Betono savybėms nustatyti pagal LST EN 12390-6 [17] ir LST EN 12390-3 [16] reikalavimus, išbandyti tam skirti betono bandiniai. OSB plokščių mechaniniai rodikliai buvo nustatyti bandymais ir pateikti [127] darbe. Medienos mechaniniai rodikliai nustatyti pagal LST 338 [11] ir ISO 3131:1975 [7] reikalavimus.

### 4.2. JUNGIŲ TYRIMAI

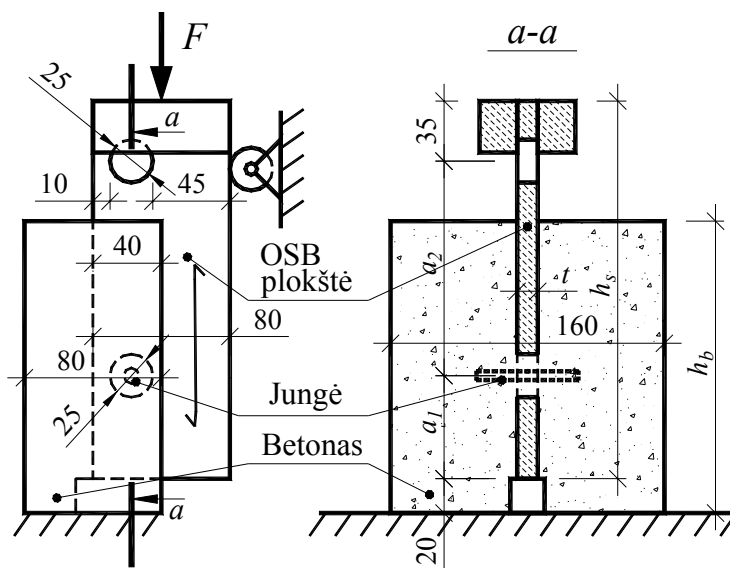
#### 4.2.1. Bandymo tikslai

Pagrindiniai KMB tarpsluoksnių jungties tyrimo tikslai:

- ištirti kvazistatiškai apkrautų kompozitinės OSB sienelės ir betono plokštės natūralaus didumo jungčių su dviejų tipų, aptartų 3.3 poskyryje, jungėmis elgseną;
- bandymais nustatyti dviejų tipų jungių, aptartų 3.3 poskyryje, apkrovos-slinkties priklausomybes ir mechanines charakteristikas bei jų statistinius parametrus esant skirtingiems OSB plokščių storiams ir atstumams tarp skylių;

#### 4.2.2. Bandymo įranga ir metodika

Nagrinėjamų kompozitinių OSB sienelės ir betono plokštės jungčių bandinių schema pateikta 4.1 paveiksle



4.1 pav. Principinė OSB sienelės ir betono plokštės jungčių bandinių schema

Šių KMB bandinių sieniei naudotos 10 ir 12 mm storio OSB-3 plokštės. Jų mechaniniai rodikliai nustatyti bandymais ir pateikti [127] darbe.

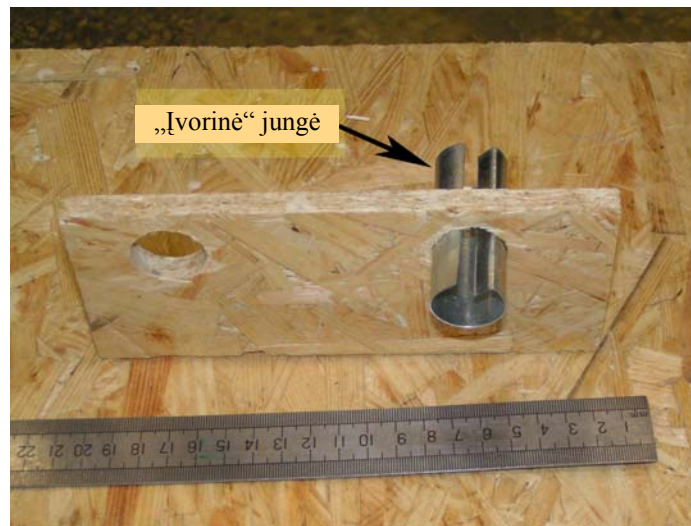
Prie OSB plokščių šonų ties apkrovos pridėties vieta buvo priklijuotos 22 mm storio ir 30 mm pločio juostelės iš OSB, kaip plokštės sąstandos, mažinančios vietines glemžiamąsias deformacijas [41], kai bandiniai buvo apkraunami sutelktąja apkrova.

Bandinio betono plokštės atraminio pjūvio ruože buvo paliktas 20 mm tarpas, kad OSB plokštė nevaržomai galėtų slinkti bandymo metu.

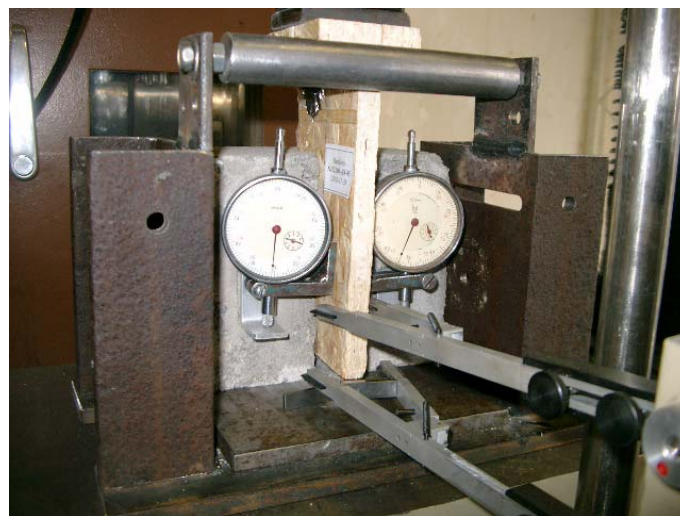
Naudoto bandiniams betono gniuždomasis stipris atitiko C20/25 klasę pagal [9] (stipris po 28 parų buvo  $25,85 \text{ N/mm}^2$ , betono gniuždomojo stiprio rezultatai pateikti B priedo B.42 lentelėje). Kietėjant betonui bandiniai buvo laikomi vidaus patalpos temperatūroje ir drėgnoje aplinkoje po polietileninės plėvelės gaubtais.

Bandiniuose naudotos dviejų tipų jungės, pasiūlytos ir aptartos 3.3 skyriuje, t. y. armatūrinė jungė (3.12 a) ir „įvorinė“ jungė (4.2 pav.).

OSB sienelės ir betono plokštės jungčių bandiniai buvo pagaminti VGTU Metalinių ir medinių konstrukcijų katedros laboratorijoje. Šioje laboratorijoje taip pat buvo suprojektuota ir pagaminta bandymo įranga (4.3 pav.).



4.2 pav. „Įvorinė“ jungė įtvirtinta OSB plokštės skylėje



4.3 pav. Bandymo įrangos ir į ją įstatyto bandinio vaizdas

Bandinių matmenys pateikti 4.1 lentelėje.

4.1 lentelė. Bandinių skaičius  $n$  ir matmenys (mm)

| Bandiniai  | Bandinių skaičius $n$ | OSB plokštės matmenys |                  | Atstumai tarp skylių |            | Betono dalies aukštis $h_b$ , mm |
|------------|-----------------------|-----------------------|------------------|----------------------|------------|----------------------------------|
|            |                       | Storis $t$ , mm       | Ilgis $h_s$ , mm | $a_1$ , mm           | $a_2$ , mm |                                  |
| TC075-01-A | 5                     | 10                    | 145              | 35                   | 75         | 95                               |
| TC075-02-B | 3                     | 10                    | 145              | 35                   | 75         | 95                               |
| TC075-03-A | 5                     | 12                    | 145              | 35                   | 75         | 95                               |
| TC100-01-A | 5                     | 10                    | 185              | 50                   | 100        | 130                              |
| TC100-02-B | 3                     | 10                    | 185              | 50                   | 100        | 130                              |
| TC100-03-A | 5                     | 12                    | 185              | 50                   | 100        | 130                              |
| TC125-01-A | 5                     | 10                    | 220              | 60                   | 125        | 170                              |
| TC125-02-B | 3                     | 10                    | 220              | 60                   | 125        | 170                              |
| TC125-03-A | 5                     | 12                    | 220              | 60                   | 125        | 170                              |

PASTABOS. A – bandiniai su „įvorine“ jungė; B – bandiniai su armatūrinės vielos jungė. 01 ir 03 – „įvorinės“ jungės bandiniai, kurių OSB plokštės storis – 10 mm ir 12 mm atitinkamai; 02 – armatūrinės jungės bandiniai, kurių OSB plokštės storis – 10 mm.

OSB sienelės ir betono plokštės jungčių bandiniai išbandyti praėjus 28-ioms betono kietėjimo dienoms.

KMB bandinių jungties išstumiamieji bandymai buvo atlikti VGTU Medžiagų mechanikos katedros laboratorijoje, naudojant TIRA TEST 2300 įrenginį su matuojamaisiais prietaisais.

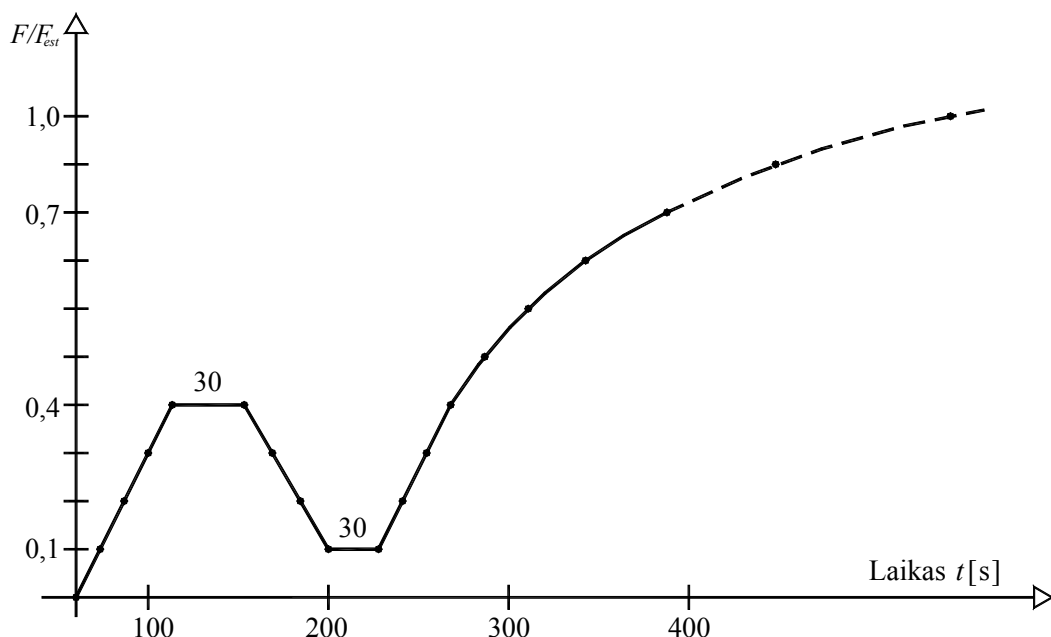
Slinktis tarp OSB ir betono buvo matuota dviem mechaniniais laikrodinio tipo indikatoriniais IGM-1 (padalos vertė – 0,002 mm) tenzometrais bei tiesiniu įtampos skirtumų davikliu (4.3 pav.).

Tiesinio įtampos skirtumų daviklio rodmenys apdoroti programine įranga CATTMANN.

Prieš kiekvieną jungties bandymą bandiniai buvo centruojami. Taip pat prieš pradedant bandymą, buvo nustatomas spėjamas didžiausias jungties atsparis  $F_{est}$  ir apskaičiuojama apkrovos kėlimo pakopos  $0,1 \cdot F_{est}$  reikšmė. Jungčių su armatūrinėmis ir „įvorinėmis“ jungėmis spėjamieji didžiausi atspariai buvo nustatomi, remiantis kitų autorių atliktais tyrimais [70, 86], ir patikslinami pagal išbandytų pradinių bandinių rezultatus.

Trumpalaikiai OSB sienelės ir betono plokštės jungčių išstumiamieji bandymai atlikti pagal LST EN 26891 [18] reikalavimus ir atsižvelgta į šio standarto rekomenduojamą apkrovos ir laiko priklausomybės kreivę (4.4 pav.):

- apkrova didinama, laikantis standarto reikalaujamo greičio;
- pasiekus  $0,4 \cdot F_{est}$  didį, apkrova sumažinama iki  $0,1 \cdot F_{est}$ ;
- apkrova didinama iki  $0,7 \cdot F_{est}$ ;
- ardančioji apkrova arba jungties irimą charakterizuojanti 15 mm slinktis pasiekama per 3÷5 minutes.



**4.4 pav.** Jungties išstumiamojo bandymo apkrovos ir laiko priklausomybės kreivė:

$F$  – bandinio apkrova,  $F_{est}$  – spėjamoji ardančioji apkrova

### 4.2.3. Tyrimų rezultatai

Bandinių, kuriuose buvo panaudota „įvorinė“ jungė, irties požymius galima suskirstyti į dvi grupes. Pirmąją grupę sudaro bandiniai, kurių betonas, pasiekusių kritinę jėgą  $F_{max}$ , buvo suardytas OSB ir betono sąlyčio ruože bei sulenkta jungė (4.5 pav.). Tokio pobūdžio irimui įtakos turėjo dideli betono vietiniai įtempiai, atsiradę dėl betonavimo metu nepakankamai gerai betono mišiniu užsipildžiusių jungių vidinių ertmių. Antrajai grupei priskirtini bandiniai, kuriuose buvo suglemžta OSB plokštė „įvorinės“ jungės ir OSB plokštės sąlyčio paviršiuje (4.6 pav.).

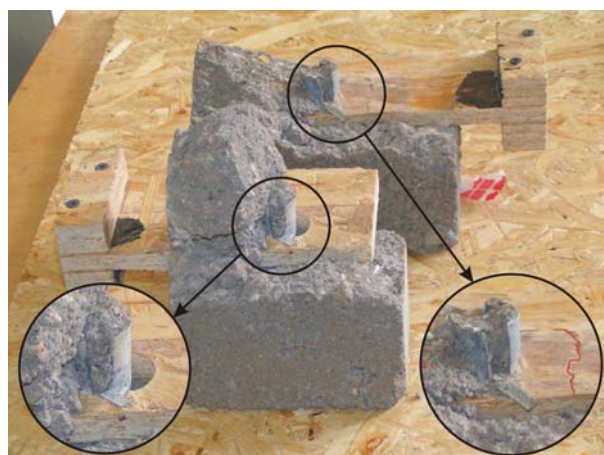
Bandinių su armatūrinės vielos jungė irimas įvyko OSB plokštėje suglemžus ją ties skyle.

Pažymėtina tai, kad dalis bandinių (9 iš 39) suiro, pasiekus  $0,8 \cdot F_{est}$  apkrovą, dėl didelių OSB plokštės gniuždomųjų įtempių.

KMB bandinių medinei daliai panaudota OSB-3 plokštė, betonavimo metu panardinta į betono mišinį, išbrinko, ir betono kietėjimo metu, išgaravus iš jos drėgmei, OSB plokštės ir betono sąlyčio vietoje susiformavo apie 1 mm pločio plyšys. Atsižvelgus į OSB plokštės gamintojų atstovų rekomendacijas [105], tolesniuose tyrimuose, norint išvengti plokštės brinkimo, įbetonuojami jos kraštai buvo padengiami poliuretaniniu laku.



4.5 pav. Pirmos grupės bandinių suirusios jungės vaizdas



4.6 pav. Antros grupės bandinių suirusios jungės vaizdas

Bandymų metu gautieji prietaisų rodmenys surašyti B priedo B.1–B.39 lentelėse.

Bandymo rezultatų vidutinės reikšmės pateiktos 4.2 lentelėje, kurioje pateikti tokie dydžiai:

- $F_{max}$  – eksperimentinis tarpsluoksnių jungties jungės atsparis, atitinkantis maksimalią bandinio apkrovą;
- $F_2$  – eksperimentinis tarpsluoksnių jungties jungės atsparis, nustatytas pagal elementų ribinę leistinąją slinktį (deformaciją), kuri, remiantis medinių konstrukcijų projektavimo normų [22] rekomendacijomis ir atsižvelgiant į kitų autorių [50, 92, 98] atliktus tyrimus, imta 2 mm;
- $K_s$  – tarpsluoksnių jungties jungės slankumo modulis, t. y. jungtį veikiančios jėgos  $0,4 \cdot F_{max}$  ir slinkties santykis.

Daugumos bandinių jungių apkrovos-slinkties priklausomybių kreivės atitiko plastinę elgseną (4.7 pav. ir B priedo B.1–B.9 pav.), t. y. bandinių jungtys nesuiravo staiga.

Iš 4.2 lentelėje pateiktų tarpsluoksnių jungties jungės bandymo rezultatų matyti, kad buvę skirtingi atstumai  $a_1$  tarp OSB plokštės skylių centrų kritinės jėgos  $F_{max}$  reikšmei įtakos beveik neturėjo.

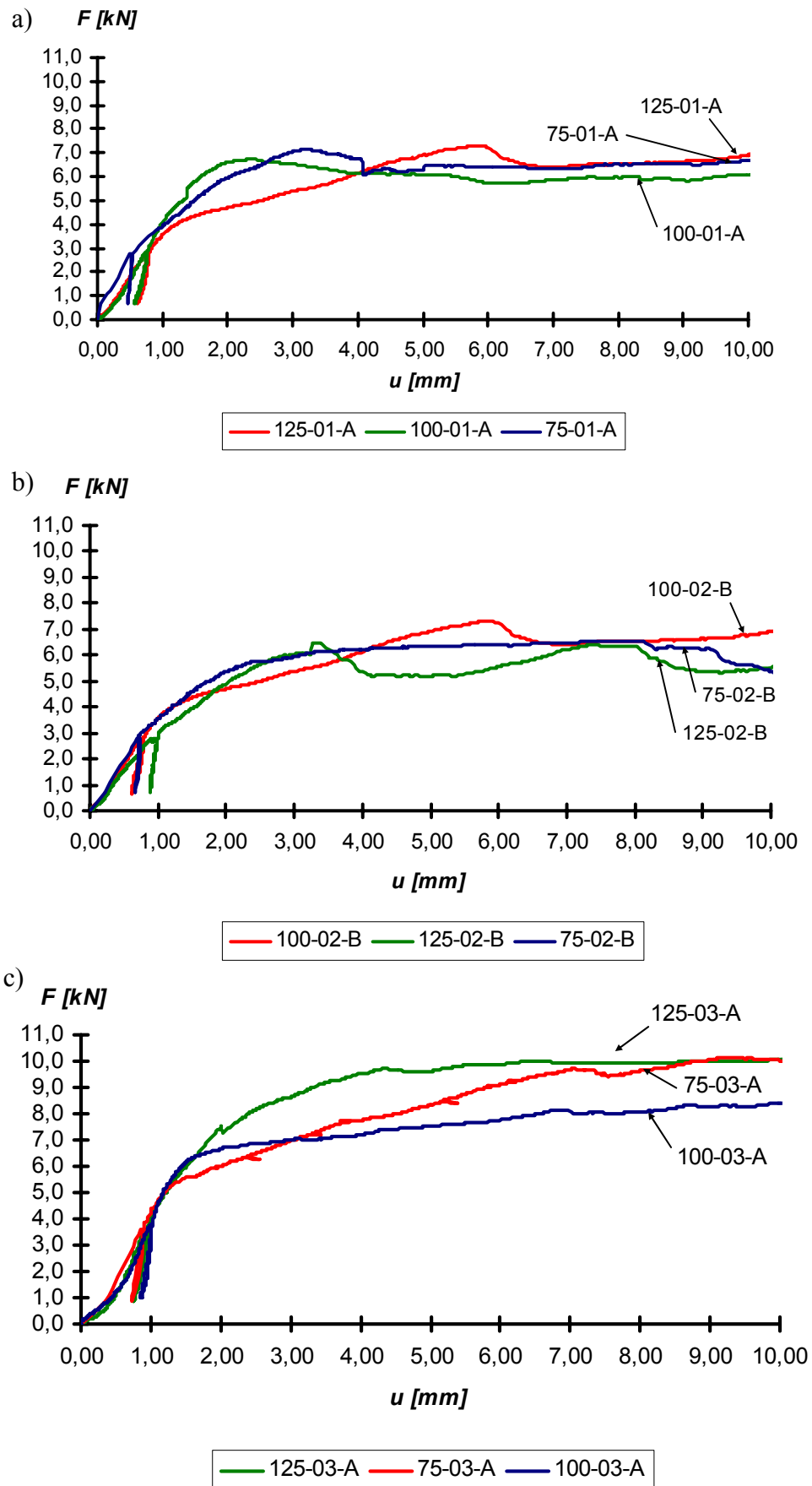
**4.2 lentelė.** KMB bandinių tarpsluoksnių jungties jungių išstumiamojo bandymo rezultatai

| Bandiniai  | $F_{max}$<br>kN | $F_2$ ,<br>kN | $K_s$ ,<br>kN/m |
|------------|-----------------|---------------|-----------------|
| TC075-01-A | 7,29            | 5,70          | 4 752           |
| TC075-02-B | 6,52            | 6,16          | 4 471           |
| TC075-03-A | 10,37           | 6,01          | 5 294           |
| TC100-01-A | 6,29            | 4,08          | 6 087           |
| TC100-02-B | 5,61            | 5,49          | 4 682           |
| TC100-03-A | 9,26            | 5,21          | 5 199           |
| TC125-01-A | 8,67            | 6,38          | 4 468           |
| TC125-02-A | 6,10            | 5,70          | 3 717           |
| TC125-03-A | 13,05           | 6,88          | 5 723           |

Iš 4.2 lentelės matyti, kad bandinių su 12 mm storio OSB plokšte kritinė apkrova  $F_{max}$  yra nuo 1,4 iki 1,8 karto didesnė nei bandinių, kurių plokštės storis buvo 10 mm. Tačiau, palyginus šių bandinių atsparį pagal 2 mm ribinę slinktį, skirtumas nepastebėtas.

Bandinių, kuriuose panaudota „įvorinė“ jungė, tarpsluoksnių jungties jungės slankumo modulis nuo 1,1 iki 1,4 karto didesnis nei bandinių su armatūrinės vielos jungė.

OSB sienelės ir betono plokštės eksperimentiniai tarpsluoksnių jungčių tyrimai ir jų rezultatai leidžia teigti, kad pasiūlytosios KMB sijos tarpsluoksnių tarp OSB sienelės ir betono plokštės jungčiai įrengti geriausiai tinka „įvorinės“ jungės.



4.7 pav. Apkrovos-slinkties priklausomybės kreivės KMB bandinių, kurių tarpsluoksnių jungės yra „įtvorinės“, kai OSB plokštės storis – 10 mm (a) ir 12 mm (c) bei armatūrinės (b)

### 4.3. KOMPOZITINĖS MEDIENOS-BETONO SIJOS TYRIMAI

#### 4.3.1. Bandymo tikslai ir uždaviniai

KMB sijų bandymo tikslai yra nustatyti:

- jų elgseną esant nuolatinėms ir naudojimo apkrovoms;
- jų elgseną iki pat suirimo;
- ardančiosios apkrovos reikšmes.

Iškeltiems tikslams pasiekti buvo numatyti tokie uždaviniai:

- sukurti nagrinėjamos KMB sijos bandymo metodiką;
- suprojektuoti, sukonstruoti ir pagaminti nagrinėjamos KMB sijos ir tarpsluoksnių jungčių bandymo įrangą;
- papildomais bandymais gauti informacijos apie nagrinėjamai KMB sijai panaudotų medžiagų ir jungių savybes;
- paruošti specialią aparatūrą registruoti būdingiausių konstrukcijos elementų pjūvių santykinės deformacijas, įlinkius ir tarpsluoksnių jungčių slinktis.

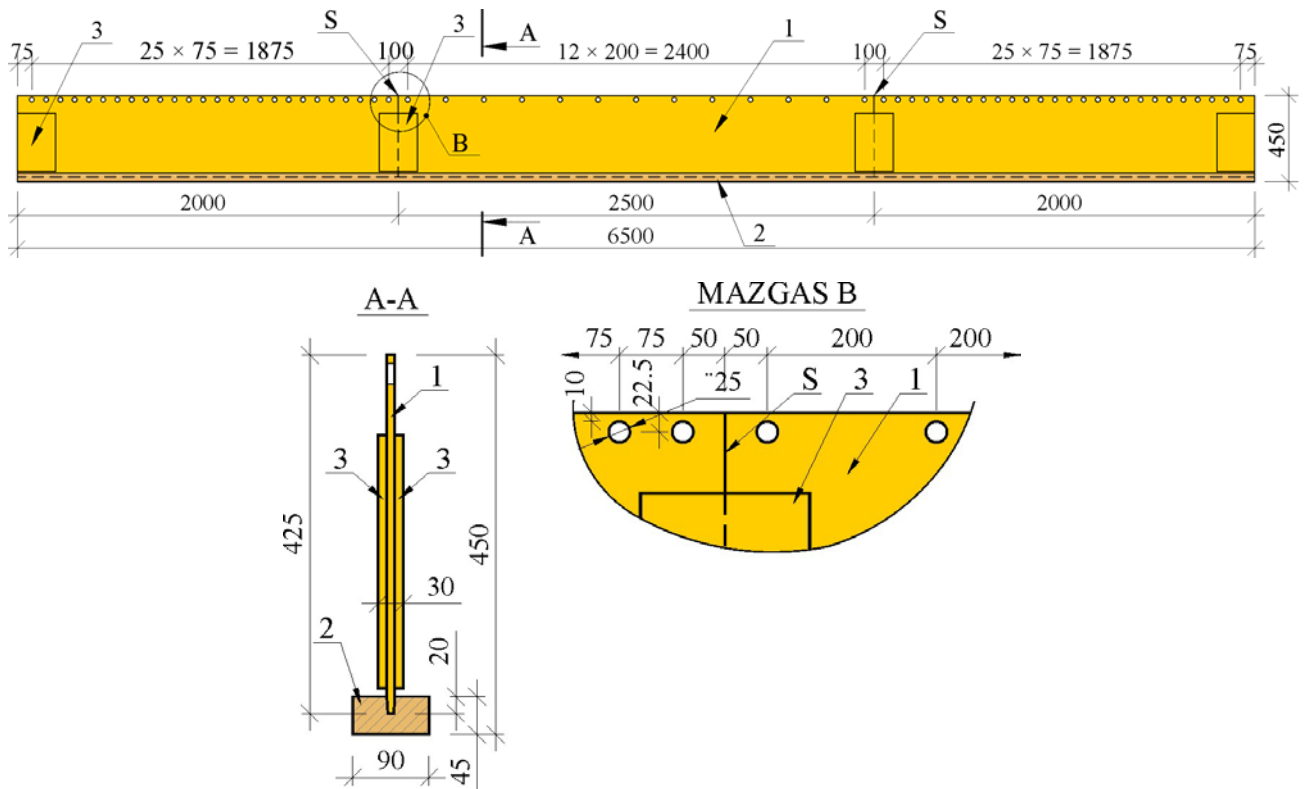
#### 4.3.2. Bandymo įranga ir metodika

Eksperimentiniu būdu ištirta nagrinėjamos KMB sijos elgsena. Kompozitinės konstrukcijos bandymai vykdyti pagal LST EN 380 [12] ir LST EN 595 [14] reikalavimus. KMB sijų eksperimentai vykdyti VGTU Statybos fakulteto Statybinių konstrukcijų bandymo laboratorijoje, o panaudotų medžiagų ir jungių savybės nustatytos Metalinių ir medinių konstrukcijų, Gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų laboratorijose.

KMB sijų medinės plonasienės sijos (sudėtinio tęjinio skerspjuvio iš OSB sienelės ir medinio tašo juostos) pagal inovacijų diegimo sutartį IDS002 buvo pagamintos 2004 m. lapkričio mėnesį UAB „AHL“ gamykloje. Šios sijos sienelei naudotos OSB-3 10 mm storio plokštės. Sijoje šios plokštės tarpusavyje buvo sujungtos antdėklais, kurie pagaminti iš tos pačios OSB-3 10 mm storio plokštės (4.8 pav.). OSB sienelė įleista ir įklijuota į spygliuočių medienos tašą, kurio skerspjuvis – 90×45 mm. KMBS 01; 02; 03; 04 bandiniuose medinio tašo juosta dviejose vietose turėjo dantytųjų dygių sandūras, o KMBS 05 juosta buvo iš vientisosios medienos. Sijos OSB sienelė 20 mm įleista į medinį tašą. Medinės juostos dantytosios dyginės sandūros, OSB sienelė su medine juosta ir andėklais UAB „AHL“ gamykloje buvo klijuojamos kliais LIPALAS D2 [137].

Sijos OSB sienelės įleidžiamojoje į betoną dalyje buvo išgręžtos Ø25 mm skylės, kas 75 mm kraštiniuose trečdaliuose ir 200 mm – vidurinėje dalyje. Šių skylių išdėstymo sijos OSB sienelėje schema pateikta 4.8 paveiksle. Į šias skyles įstatomos „įvorinės“ jungės, aprašytos 3.3 ir tyrinėtos

4.2 poskyryje. Vienai KMB sijai panaudotos 65 „įvorinės“ jungės. Prieš įstatant „įvorines“ junges į sienelės skyles, sienelės į betoną įleidžiamoji dalis buvo padengta poliuretaniniu laku. Šis apsauginis lako sluoksnis padėjo išvengti OSB plokštės brinkimo betonavimo ir betono kietėjimo metu. Bandymams pagamintų medinių plonasienių sijų išmatavimų duomenys pateikti D priedo D.1 lentelėje.



4.8 pav. Medinės plonasienės sijos konstrukcija

1 – OSB sienelė; 2 – medinio tašo juosta; 3 – sienelės antdėklas iš OSB plokštės; S – OSB plokščių sandūrų vietos

Siekiant supaprastinti ir palengvinti KMB sijų gamybą bei bandymus, jos buvo gaminamos ir bandomos apverstos.

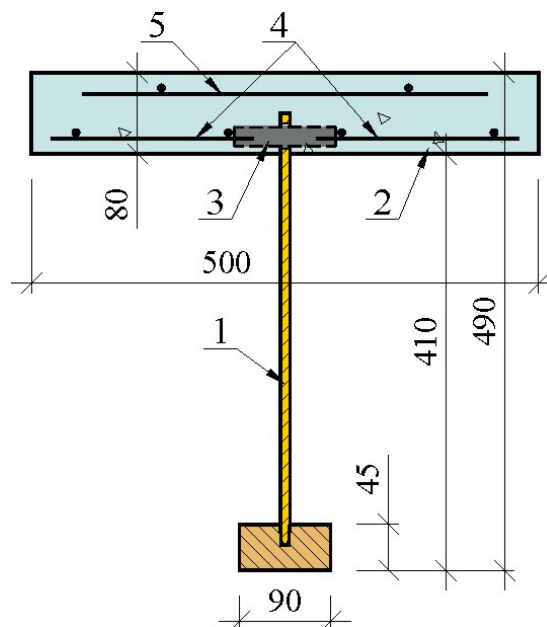
Plonasienės sijos, su į jas įstatytais „įvorinėmis“ jungėmis, prieš betonuojant buvo įtvirtintos mediniuose klojiniuose (4.9 pav.).

KMB sijos betono plokštė buvo formuojama 80 mm storio. Betonavimo metu betono mišinys sutankintas, naudojant elektrinį giluminį vibratorių P14 [136]. Betono plokštė papildomai buvo armuota S240 klasės armatūros tinklais (4.10 pav.). Betono plokštės viršutinėje dalyje buvo naudojamas Ø4 200/250 armatūros tinklas, apatinėje dalyje – Ø4 150/400 armatūros tinklas.

Betono kietėjimo metu bandiniai buvo laikyti vidaus patalpos temperatūroje ir drėgnoje aplinkoje po polietilinės plėvelės gaubtais, o betono plokštė nuolat laistoma vandeniu, kad būtų išvengta betono traukiųjų deformacijų. Bandymų patalpose santykinis oro drėgnis buvo 55–70 %, o temperatūra 17–20°C, t. y. atitiko bandinių saugojimo ir tyrimo standartinius aplinkos reikalavimus [5].



**4.9 pav.** Bandiniai prieš betonavimą



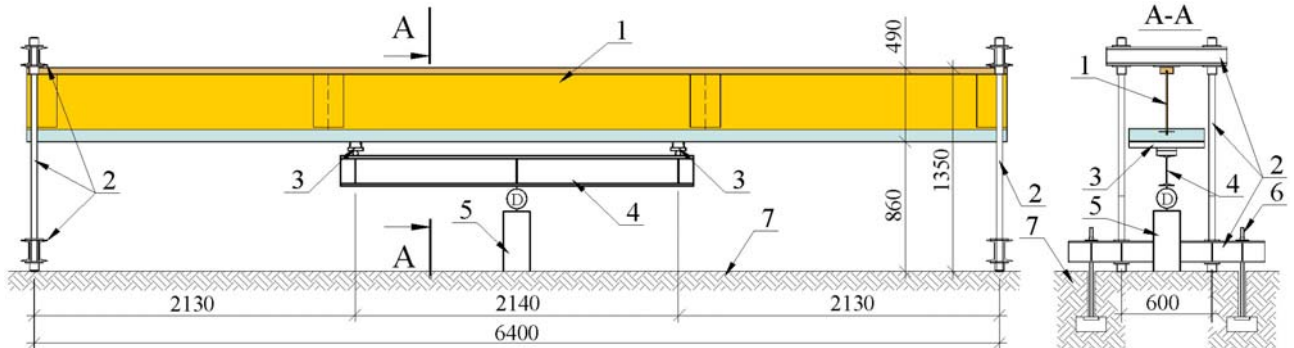
**4.10 pav.** KMB sijos skerspjūvis:

1 – medinė plonasienė sija; 2 – betono plokštė; 3 – „įvorinė“ jungė;  
4 – apatinis armatūros tinklas Ø4 150/400; 5 – viršutinis armatūros tinklas Ø4 200/250

Penkios KMB sijos išbandytos iki jų suardymo. Atstumas tarp sijos atramų – 6,4 m. Lanksčiai atremtos sijos buvo bandomos apverstos padėties. Lenkiamasis momentas buvo gaunamas siją apkrovus vertikaliąja apkrova. Šiai apkrovai suteikti buvo panaudotas vienas hidraulinis domkratas (maksimali domkrato keliamoji galia – 100 kN) ir pagalbinė metalinė sija, kuri šią jėgą paskirstydavo į dvi lygias dalis. Pagalbinė sija atremta į KMB sijos betoninę dalį per lankstines atramas su skirstomosiomis traversomis (4.11 ir 4.12 pav.). Hidraulinio domkrato suteikiama jėga buvo kontroliuojama valdymo pultu DIGICON 2000 ir programine įranga PROTEUS 2.5.3.



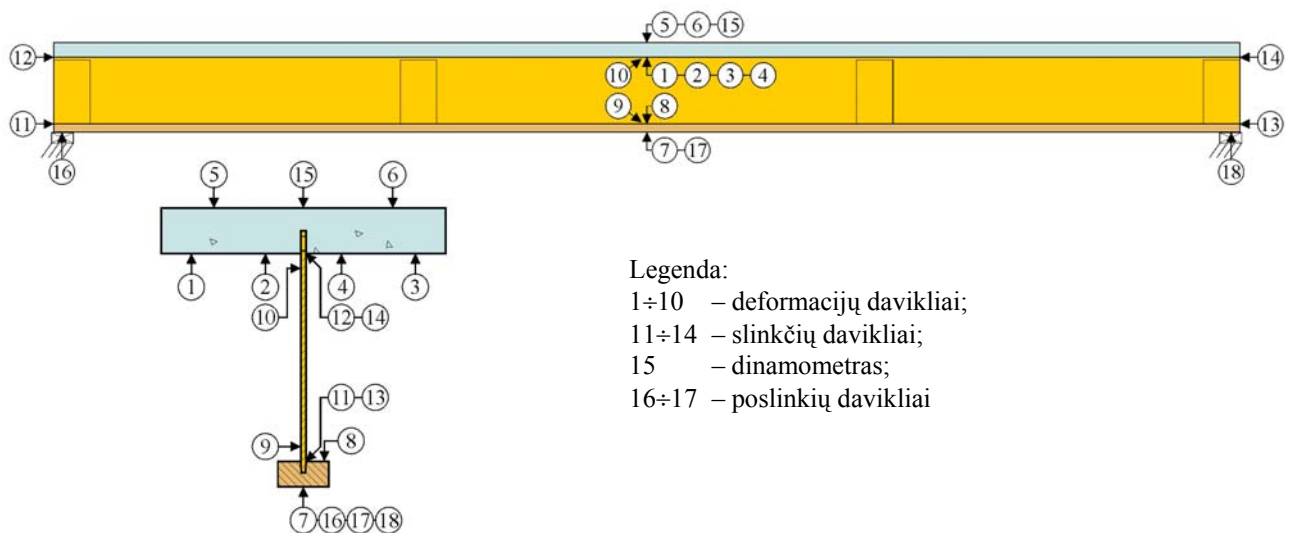
4.11 pav. KMB sijų bandymo įrangos ir bandinio vaizdas



4.12 pav. KMB sijų bandymo schema:

- 1 – KMB bandinys; 2 – templinė atrama; 3 – lankstinės atramos su skirstomosiomis traversomis;  
4 – pagalbinė metalinė sija; 5 – hidraulinis domkratas; 6 – atramos inkariniai varžtai; 7 – jėgos grindys

Slinkčių ir įlinkių vertės išmatuotos 0,002 mm tikslumo tiesiniais įtampos skirtumų davikliais (toliau – LVDT) T50 ir T100. Betono deformacijos buvo matuojamos 200 mm bazės T50 LVDT, medienos tašo juostos ir OSB sienelės deformacijos – 100 mm bazės T50 LVDT. Vertikaliosios jėgos vertei matuoti naudotas 50 kN keliamosios galios dinamometras FK A025. Matavimo prietaisų išdėstymo schema pateikta 4.13 paveiksle.



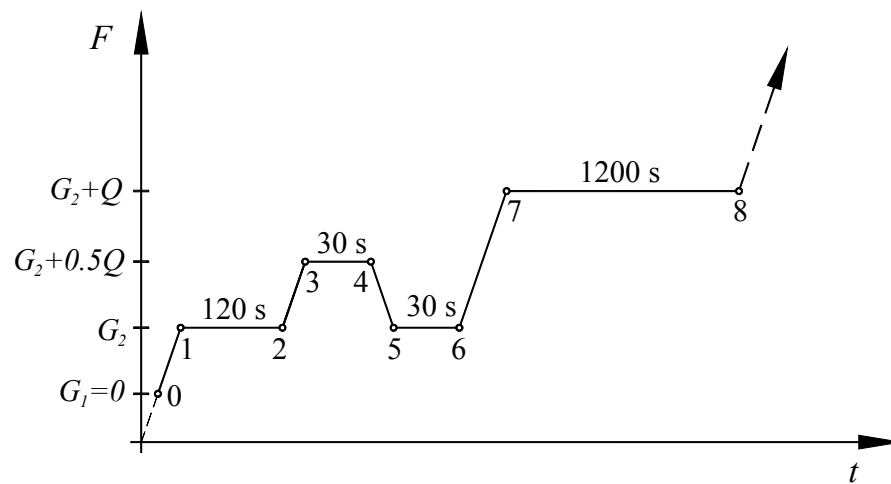
4.13 pav. Matavimo prietaisų išdėstymo schema KMB sijoje

Sijos prieš kiekvieną bandymą buvo sveriamos svarstyklėmis PII-500-III, centruojamos ir įtvirtinamos bandymo stende. Sumontavus matavimo prietaisus, buvo nustatyti geometriniai bandinio matmenys, atstumai tarp įtvirtinimų. KMB sijos išmatavimų ir masių duomenys pateikti D priedo D.1–D.2 lentelėse.

Trumpalaikiai KMB sijų bandymai kvazistatine apkrova atlikti pagal LST EN 380 [12] ir LST EN 595 [14] reikalavimus ir atsižvelgta į šiuose standartuose rekomenduojamą apkrovos ir laiko kreivę (4.14 pav.):

1. Konstrukcija apkraunama savojo svorio apkrova  $G_1$ .
2. Apkrova didinama iki konstrukcijai taikomos nuolatinės apkrovos  $G_2$  ir išlaikoma pastovi 120 sekundžių.
3. Apkrova didinama iki konstrukcijai taikomos nuolatinės apkrovos  $G_2$  ir iki pusės naudojimo apkrovos  $Q$  reikšmės ir išlaikoma pastovi 30 sekundžių.
4. Apkrova sumažinama iki konstrukcijai taikomos nuolatinės apkrovos  $G_2$  ir išlaikoma pastovi 30 sekundžių.
5. Apkrova didinama iki konstrukcijai taikomos nuolatinės apkrovos  $G_2$  ir iki visos naudojimo apkrovos  $Q$  reikšmės ir išlaikoma pastovi 1200 sekundžių.
6. Apkrova didinama kol konstrukcija laužta.

KMB sijos buvo apkraunamos pastoviu 0,25  $Q$  per minutę greičiu, t. y. 0,903 kN/min.



4.14 pav. KMB sijų bandymo programa

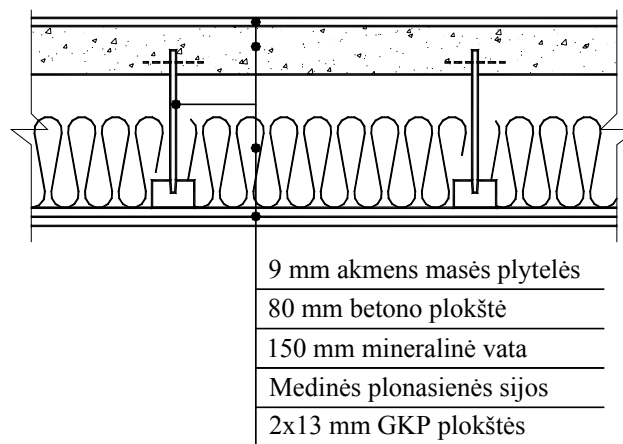
Savojo svorio apkrova  $G_1$  apskaičiuota formule

$$G_1 = G_{1a} + 2 \cdot G_{1b} , \quad (4.12)$$

čia:  $G_{1a}$  – pagalbinės metalinės sijos sutelktinis svoris;

$G_{1b}$  – KMB sijos bandinio sutelktasis svoris.

Bandomųjų sijų nuolatinė apkrova parinkta pagal 4.15 paveiksle nurodytas KMB perdangos konstrukcinių dalių medžiagas. Nuolatinės apkrovos skaičiavimai pateikti 4.3 lentelėje.



4.15 pav. KMB perdangos konstrukcija

4.3 lentelė. Perdangos konstrukcijos elementų charakteristinė ir skaičiuotinė nuolatinės apkrovos

| Eil. Nr. | Perdangos konstrukcijos elementai                                         | Charakteristinė apkrova, kPa | $\gamma_G$ | Skaičiuotinė apkrova, kPa |
|----------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------|---------------------------|
| 1        | Akmens masės plytelės, tankis 2000 kg/m <sup>3</sup>                      | 0,180                        | 1,35       | 0,243                     |
| 2        | 150 mm mineralinės vatos plokštė, tankis 40 kg/m <sup>3</sup>             | 0,060                        | 1,35       | 0,081                     |
| 3        | Garų izoliacinė plėvelė ir akustinė izoliacija                            | 0,010                        | 1,35       | 0,014                     |
| 4        | Dvi po 13 mm storio gipso kartono plokštės, tankis 1200 kg/m <sup>3</sup> | 0,312                        | 1,35       | 0,421                     |
| IŠ VISO: |                                                                           | 0,562                        | -          | <b>0,759</b>              |

Tolygiai išskirstyta charakteristinė apkrova  $g_k$ , tenkanti KMB sijai:

$$g_k = p_k \cdot a = 0,562 \cdot 0,5 = 0,281 \text{ kN/m}, \quad (4.2)$$

čia  $a$  – sijų žingsnis (500 mm).

Naudojimo apkrova parinkta pagal kategoriją A, t. y. taikoma namų ir gyvenamosios veiklos plotams [20], t. y. charakteristinė naudojimo apkrova  $q_k$  ant pastato perdangos  $1,5 \text{ kN/m}^2$ .

Tolygiai išskirstyta naudojimo apkrova, tenkanti KMB sijai, apskaičiuojama taip:

$$q_k = 1,5 \cdot a = 1,5 \cdot 0,5 = 0,75 \text{ kN/m}. \quad (4.3)$$

Bandymų programoje naudotos sutelktosios jėgos buvo apskaičiuotos pagal konstrukciją veikiančias tolygiai išskirstytas apkrovas. Sutelktosios jėgos skaičiuotos tarus, kad jų ir tolygiai išskirstytų apkrovų sukeltų lenkiamųjų momentų diagramos turi kuo geriau atitikti viena kitą. Išskirstytųjų apkrovų ir jas atitinkančių sutelktųjų jėgų reikšmės pateiktos 4.4 lentelėje.

**4.4 lentelė.** Išskirstytųjų apkrovų ir ekvivalentinių sutelktųjų jėgų reikšmės

| Apkrovos tipas    | Išskirstytoji apkrova, kN/m | Ekvivalentinė sutelktoji jėga, kN |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| Savasis svoris    | –                           | $G_1 = 9,62$                      |
| Nuolatinė apkrova | $g_2 = 0,281$               | $G_2 = 1,35$                      |
| Naudojimo apkrova | $q = 0,75$                  | $Q = 3,61$                        |

Matavimo prietaisų rodmenys per visą KMB sijų bandymo laiką buvo įrašomi kas 1 sekundę. Bandymo rodmenų informacija apdorota programine įranga ALMEMO AMR5. Matavimų duomenys panaudoti konstrukcijų atspariams, įrašoms, įtempiams ir poslinkiams skaičiuoti.

### 4.3.3. Medžiagų ir jungių savybės

#### *Mediena*

Viena svarbiausių medienos savybių – jos tankis. Dauguma medienos mechaninių rodiklių besąlygiškai koreliuoja su jos tankiu, todėl jo vertėms taikomi apribojimai, kurie įtraukti į medienos klasifikavimo pagal stiprį požymius [11]. Medienos tankis tiesiogiai priklauso nuo jos santykinio drėgnio. Statybos inžinerijoje ir medienotyroje dažniausiai naudojamas sausos medienos tankis  $\rho_0$  ir tankis  $\rho_{12}$ , kuris atitinka medienos santykinį drėgnį  $\omega = 12 \%$ . Projektavimo normose [1, 4, 22] pateikiamos tankio  $\rho_{12}$  reikšmės, kurios atitinka tam tikras medienos masės ir tūrio santykio vertes, kai aplinkos temperatūra  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  ir oro santykinis drėgnis  $\omega = 65 \%$ . Statybinės medienos

charakteristinė tankio  $\rho_{12}$  vertė paprastai kinta nuo  $\rho_{12} = 290 \text{ kg/m}^3$  kai yra mažo stipri mediena, iki  $\rho_{12} = 420 \text{ kg/m}^3$ , kai yra didelio stiprio mediena.

Bandinių medienos drėgnis buvo išmatuojamas prietaisu ALMEMO FH A696-MF, kuris medienos drėgnį nustato pagal bandinio dielektrinę konstantą.

Po KMB sijos bandinių atspario ir deformacijų tyrimų iš kiekvieno bandinio sijų tašų juostų nepažeistų vietų buvo išpjauta po aštuonias medienos  $20 \times 20 \times 25 \text{ mm}$  prizmes. Pagal standarto ISO 3131 [7] reikalavimus šių prizmelių metiniai medienos augimo žiedai nebuvo platesni nei 4 mm ir skerspjūvyje jų buvo daugiau kaip penki. Iš viso buvo išpjauta 40 prizmelių. Šie bandiniai buvo pasverti HF 2000GD svarstyklėmis, kurių matavimo tikslumas – 0,01 g.

Charakteristinis medienos tankis  $\rho_{12,k}$  yra tikimybių skirstinio 5 % fraktilio reikšmė. Generalinė tankio verčių visuma atitinka normalųjį skirstinį su 10 % variacijos koeficientu [6].

Tyrimo metu buvo nustatomas kiekvieno bandinio medienos tankis  $\rho_t$  šia formule:

$$\rho_t = \frac{m_t}{V_t}, \quad (4.4)$$

čia:  $m_t$  – atitinkamo drėgnio bandinio masė;

$V_t$  – atitinkamo drėgnio bandinio tūris.

Jei bandinio medienos drėgnis yra 7–17 %, jo medienos 12 % drėgnumo tankis  $\rho_{12}$  apskaičiuojamas formule [7]

$$\rho_{12} = \rho_{12} \left[ 1 - \frac{(1 - K)(W - 12)}{100} \right], \quad (4.5)$$

čia:  $W$  – santykinis medienos drėgnis;

$K$  – tūrinio brinkimo koeficientas, kai medienos santykinis drėgnis pasikeičia 1%. Apytikriams skaičiavimams galima naudotis šia formule [7]:

$$K = 0,85 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_t \quad (4.6)$$

Medienos tankio vertė yra apvalinama  $5 \text{ kg/m}^3$  tikslumu. Ją atitinka medienos klasė su mažesniu, nei eksperimentu nustatytu tankiu [11].

Atlikus tyrimus nustatyta, kad 12 % drėgnio medienos tankio charakteristinė reikšmė yra  $\rho_k = 404,86 \text{ kg/m}^3$ , ir mediena atitinka C35 klasę. Medienos tankio tyrimo rezultatai pateikti D priedo D.9 lentelėje.

### Betonas

KMB sijos betono plokštei pagaminti buvo naudotas smulkiagrūdis betonas, S4 slankumo klasės, pagamintas UAB „Palmusta“ betono mazge.

Penkios KMB sijos buvo betonuojamos iš tos pačios partijos betono mišinio. Iš to paties mišinio buvo pagaminti ir bandiniai, skirti betono mechaninėms savybėms nustatyti. Bandinių amžius jų bandymo metu nurodytas D priede. Betono kietėjimo metu bandiniai buvo laikomi vidaus patalpos temperatūroje ir drėgnoje aplinkoje po polietilinės plėvelės gaubtais.

Atsižvelgiant į statistinius betono rodiklių įverčius, charakteristiniai betono stipriai buvo nustatyti šia formule:

$$f_k = \bar{f} \cdot (1 - k \cdot \delta) , \quad (4.7)$$

čia:  $\bar{f}$  ir  $\delta$  – bandymu nustatyti betono stiprio atitinkamai aritmetinis vidurkis ir jo variacijos koeficientas;

$k$  – koeficientas, priklausantis nuo patikimumo dydžio ir bandymų skaičiaus (6 lentelė [8]).

Betono kubinis gniuždomasis stipris nustatytas gniuždant betoninius kubus pagal LST EN 12390-3 [16] reikalavimus, bandymo rezultatai pateikti 4.5 lentelėje.

**4.5 lentelė.** Betono kubų bandymo ašiniu gniuždymu rezultatai

| Eil. Nr.                | Kubo kraštinių matmenys |                 |                  | Bandinio skerspjūvio plotas $A_c$ , mm <sup>2</sup> | Bandinio masė $m_c$ , kg | Bandinio tankis $\rho_c$ , kg/m <sup>3</sup> | Ribinė apkrova $F$ , kN | Bandinio gniuždomasis stipris $f_{c,b}$ , MPa |
|-------------------------|-------------------------|-----------------|------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|
|                         | Plotis $a$ , mm         | Storis $b$ , mm | Aukštis $c$ , mm |                                                     |                          |                                              |                         |                                               |
| 1                       | 100,3                   | 100,8           | 100,2            | 10 110,24                                           | 2 406                    | 2 375                                        | 527,4                   | 47,47                                         |
| 2                       | 102,2                   | 99,5            | 100,0            | 10 168,90                                           | 2 398                    | 2 358                                        | 569,5                   | 50,96                                         |
| 3                       | 100,1                   | 99,9            | 100,4            | 9 999,99                                            | 2 382                    | 2 373                                        | 589,3                   | 53,63                                         |
| 4                       | 100,2                   | 98,6            | 100,7            | 9 879,72                                            | 2 363                    | 2 375                                        | 555,5                   | 51,17                                         |
| 5                       | 100,2                   | 98,8            | 101,9            | 9 899,76                                            | 2 395                    | 2 374                                        | 584,1                   | 53,69                                         |
| 6                       | 101,3                   | 99,1            | 100,3            | 10 038,83                                           | 2 364                    | 2 348                                        | 537,5                   | 48,72                                         |
| 7                       | 100,0                   | 99,6            | 100,6            | 9 960,00                                            | 2 372                    | 2 367                                        | 472,6                   | 43,18                                         |
| 8                       | 100,4                   | 99,5            | 100,0            | 9 989,80                                            | 2 382                    | 2 384                                        | 484,8                   | 44,16                                         |
| Vidurkis                |                         |                 |                  | 10 005,91                                           | 2 383                    | 2 369                                        | 540,1                   | 49,12                                         |
| Standartas              |                         |                 |                  | 98,65                                               | 15,95                    | 11,46                                        | 43,49                   | 3,99                                          |
| Variacijos koeficientas |                         |                 |                  | 0,0099                                              | 0,0067                   | 0,0048                                       | 0,0805                  | 0,0813                                        |

Betono gniuždomasis prizminis stipris ir pradinis tamprumo modulis nustatytas gniuždant tris betonines prizmes pagal GOST 24452–80 [23] reikalavimus. Betono deformacijoms matuoti prie prizmės šonų pritvirtinti 4 laikrodinio tipo indikatoriniai tenzometrai, kurių padalos vertė 0,001 mm. Šių tenzometrų bazė buvo lygi 200 mm. Bandant prizmę, apkrova buvo keliamą

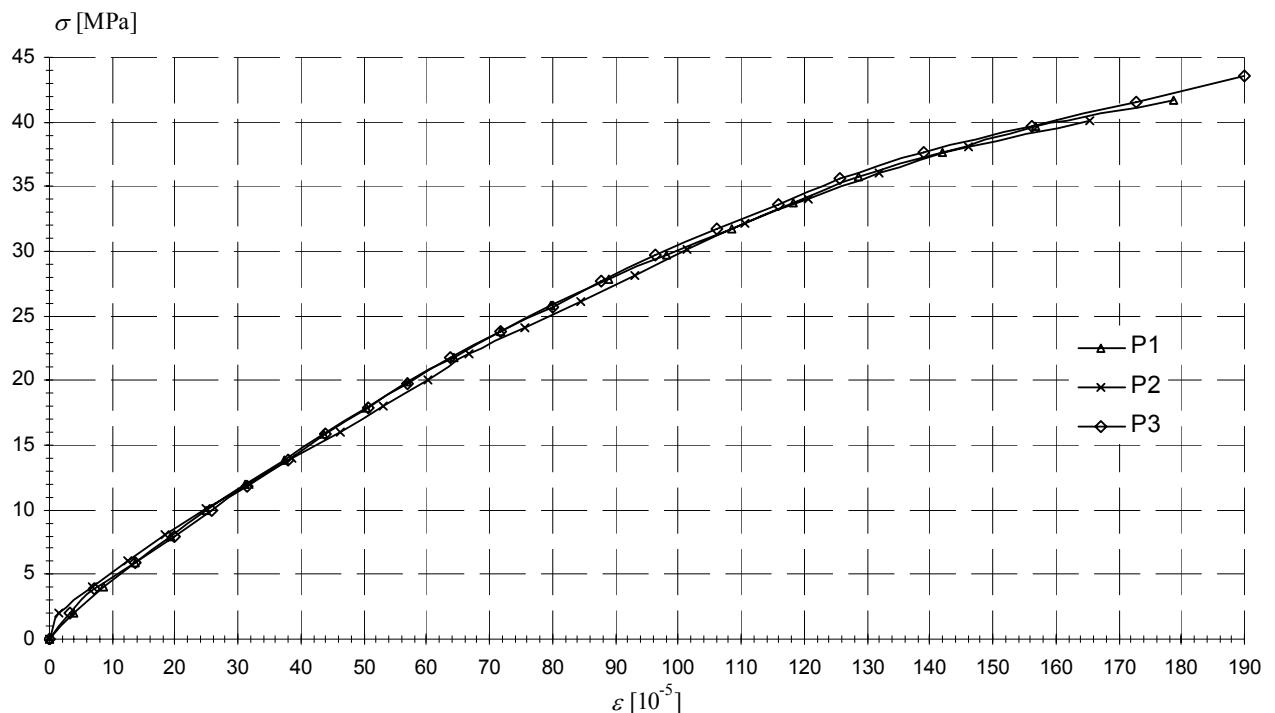
pakopomis. Matavimo prietaisų rodmenys surašyti į D priedo D.3–D.53 lenteles. Betono prizmių bandymo apibendrinti rezultatai surašyti į 4.6 lentelę. Išbandytų prizmių gniuždomųjų įtempių ir išilginių santykinų deformacijų  $\sigma$ – $\varepsilon$  diagrama parodyta 4.16 paveiksle.

Išbandytų bandinių sunkiojo betono gniuždomojo kubinio stiprio charakteristinė reikšmė buvo  $f_{ck,cube} = 42,58$  MPa.

**4.6 lentelė.** Betono prizmių bandymo ašiniu gniuždymu rezultatai

| Bandinio žymė           | Prizmės skerspjūvio kraštinių matmenys, mm |       | Prizmės skerspjūvio plotas $A$ , mm <sup>2</sup> | Ribinė apkrova $F_{lv}$ , kN | Prizmės ribinis įtempis $\sigma_{lv}$ , MPa | Prizmės tamprūsiai įtempis |                      | Prizmės tamprioji deformacija          |                                        | Betono tamprumo modulis $E_{cm}$ , GPa |
|-------------------------|--------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
|                         |                                            |       |                                                  |                              |                                             | $\sigma_{0,2}$ , MPa       | $\sigma_{0,3}$ , MPa | $\varepsilon_{0,2}$ , $\times 10^{-5}$ | $\varepsilon_{0,3}$ , $\times 10^{-5}$ |                                        |
| P-1                     | 101,5                                      | 99,3  | 10 078,95                                        | 437                          | 43,36                                       | 8,67                       | 13,01                | 21,38                                  | 34,59                                  | 32,81                                  |
| P-2                     | 100,2                                      | 99,5  | 9 969,90                                         | 407                          | 40,82                                       | 8,16                       | 12,25                | 18,96                                  | 32,20                                  | 43,07                                  |
| P-3                     | 101,3                                      | 101,0 | 10 231,30                                        | 461                          | 45,65                                       | 9,13                       | 13,69                | 23,46                                  | 36,76                                  | 38,92                                  |
| Vidurkis                |                                            |       | 10 093,38                                        | 435,00                       | 43,28                                       | 8,66                       | 12,98                | 21,26                                  | 34,52                                  | 38,27                                  |
| Standartas              |                                            |       | 131,30                                           | 27,06                        | 2,41                                        | 0,48                       | 0,72                 | 2,25                                   | 2,28                                   | 5,16                                   |
| Variacijos koeficientas |                                            |       | 0,013                                            | 0,062                        | 0,056                                       | 0,056                      | 0,056                | 0,106                                  | 0,066                                  | 0,135                                  |

Išbandytų bandinių betono gniuždomojo prizminio stiprio charakteristinė reikšmė –  $f_{ck} = 39,32$  MPa ir pradinio betono tamprumo modulio vidutinė reikšmė –  $E_{cm} = 38,27 \cdot 10^3$  MPa.



**4.16 pav.** Betono prizmių gniuždomųjų įtempių ir išilginių santykinų deformacijų  $\sigma$ – $\varepsilon$  diagrama

Betono tempiamasis stipris yra nustatytas skaldant betono prizmes pagal LST EN 12390-6 [17] reikalavimus (4.17 pav.).

Atskiuro bandinio stipris tempiant skėlimu nustatytas šia formule [17]:

$$f_{ct,i} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot L \cdot d} \cdot \delta, \quad (4.6)$$

čia:  $F$  – didžiausia sutelktoji skeliamoji jėga;

$L$ ;  $d$  – atitinkamai prizmės skeliamo skerspjuvio aukštis ir ilgis;

$\delta$  – koregavimo koeficientas, imamas 0,9 [2].



**4.17 pav.** Bandinys ir bandymo įranga nustatant betono stiprį tempiant skėlimu

Betono prizmės bandymo skėlimu rezultatai pateikti 4.7 lentelėje.

**4.7 lentelė.** Betono prizmių bandymo skėlimu rezultatai

| Eil. Nr.                | Prizmės skerspjuvio kraštinių matmenys |         | Skerspjuvio plotas<br>$A, m^2$ | Ribinė apkrova<br>$F, kN$ | Betono stipris tempiant skėlimu<br>$f_{ct,b}$ MPa |
|-------------------------|----------------------------------------|---------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------|
|                         | $L, mm$                                | $d, mm$ |                                |                           |                                                   |
| 1                       | 100,4                                  | 101,2   | 10 160,48                      | 70,81                     | 3,78                                              |
| 2                       | 99,8                                   | 100,0   | 9 980,00                       | 66,71                     | 3,63                                              |
| 3                       | 99,2                                   | 100,9   | 10 009,28                      | 76,71                     | 4,16                                              |
| 4                       | 99,2                                   | 100,7   | 9 989,44                       | 67,90                     | 3,69                                              |
| 5                       | 99,1                                   | 100,6   | 9 969,46                       | 68,99                     | 3,75                                              |
| Vidurkis                |                                        |         | 10 021,73                      | 70,22                     | 3,80                                              |
| Standartas              |                                        |         | 78,93                          | 3,93                      | 0,21                                              |
| Variacijos koeficientas |                                        |         | 0,0079                         | 0,0559                    | 0,0547                                            |

Išbandytų bandinių betono tempiamojo stiprio charakteristinė reikšmė buvo  $f_{ctk} = 2,89$  MPa.

## Jungė

KMB sijos betono plokštės ir OSB sienelės jungčiai naudotos „įvorinės“ jungės.

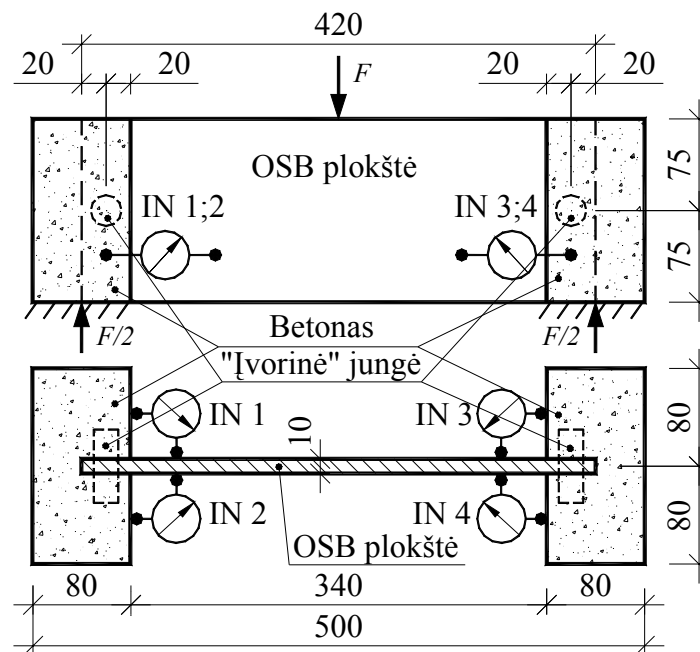
Užliejant KMB sijas betono mišiniu, iš to paties mišinio buvo pagaminta 10 bandinių tarpstuksnio jungties mechaninėms savybėms nustatyti. Prieš įstatant „įvorines“ junges į OSB skyles, sienelės įleidžiamoji į betoną dalis buvo padengta poliuretaniniu laku. Ši apsauga padėjo išvengti OSB plokštės brinkimo, betonavimo ir betono kietėjimo metu. Betono kietėjimo metu bandiniai buvo laikomi vidaus patalpos temperatūroje ir drėgnoje aplinkoje po polietileninės plėvelės gaubtais.

Bandomųjų kompozitinių OSB sienelės ir betono plokštės tarpstuksnio jungčių bandinių schema pateikta 4.18 paveiksle.

KMB bandinių tarpstuksnio jungties išstumiamieji bandymai buvo atlikti VGTU Metalinių ir medinių konstrukcijų katedros laboratorijoje, naudojant įrenginį ZIM P10 su valdymo pultu DIGICON 2000 ir programine įranga PROTEUS 2.5.3.

Slinktis tarp medinės plokštės ir betono išmatuota keturiais LVDT davikliais (4.18 ir 4.19 pav.).

Tyrimai atlikti pagal 4.2.2 skirsnyje pateiktą metodiką.



4.18 pav. OSB sienelės ir betono plokštės tarpstuksnio jungčių bandinių schema



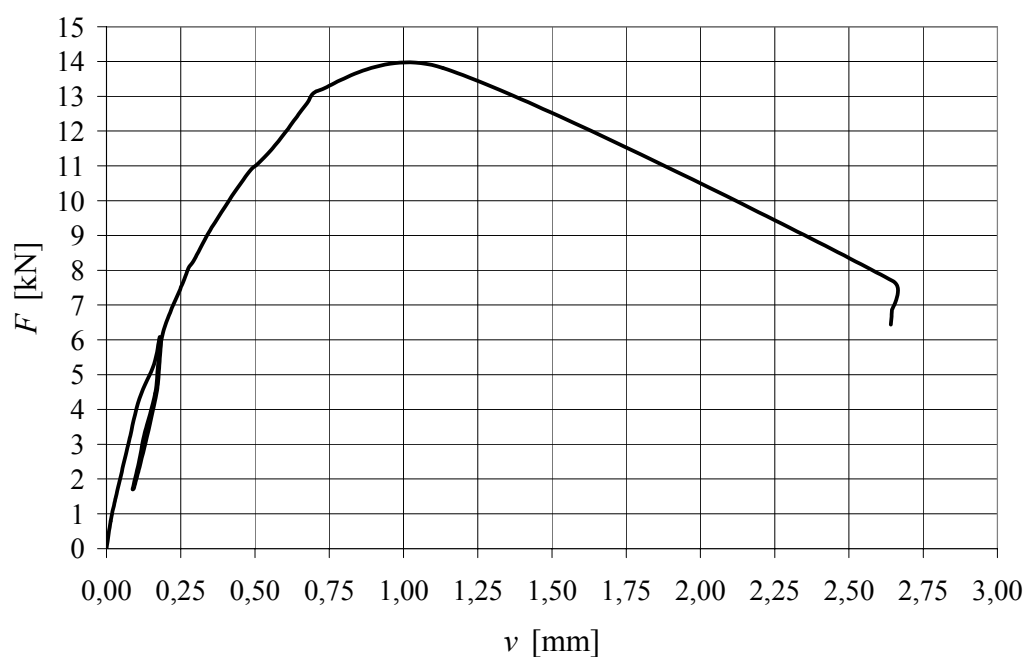
4.19 pav. Bandymo įranga ir į ją įstatytas bandinys

Brinkimo plyšys OSB sienelės ir betoninės dalies sąlyčio vietoje nebuvo atsiradęs.

Bandymo rezultatų apibendrintos reikšmės pateiktos 4.8 lentelėje, o jungčių tyrimo rezultatai – C priede. OSB sienelės ir betoninės dalies išbandytų jungčių apkrovos – slinkties priklausomybės grafikas pateiktas 4.20 pav.

4.8 lentelė. OSB sienelės ir betoninės dalies jungčių bandymo rezultatų apibendrintosios reikšmės

| Statistinis rodiklis    | Jungties atsparis<br>$F_{max}$ ,<br>kN | Pradinė slinktis<br>$v_b$ ,<br>mm | Tamprioji slinktis<br>$v_e$ ,<br>mm | Slankumo modulis<br>$K_s$ ,<br>kN/m |
|-------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Vidurkis                | 14,21                                  | 0,202                             | 0,144                               | 29 788                              |
| Standartas              | 1,282                                  | 0,067                             | 0,035                               | 9 792                               |
| Variacijos koeficientas | 0,0902                                 | 0,3326                            | 0,2449                              | 0,3287                              |



4.20 pav. „Įvorinių“ jungčių apkrovos ir slinkties priklausomybė pagal išbandytų jungčių bandymo rezultatus

#### 4.3.4. KMB sijų bandymo rezultatai

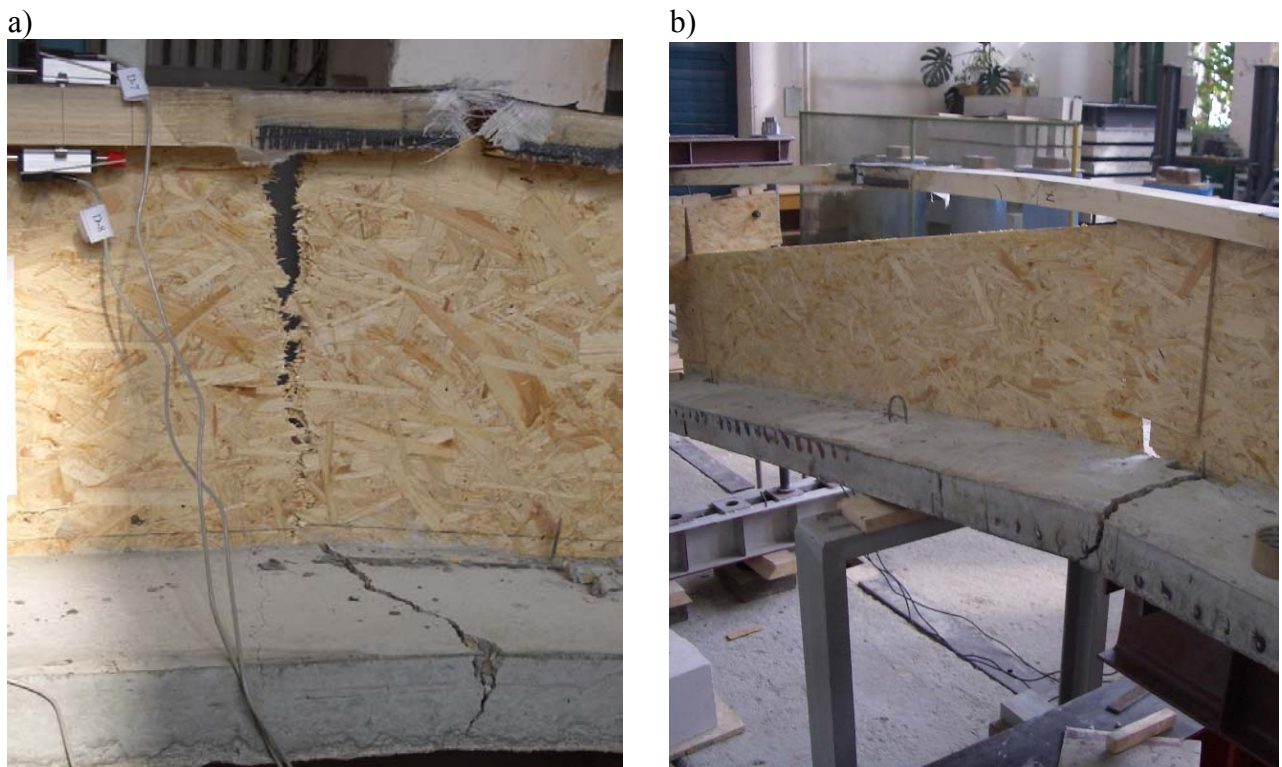
KMB sijų trumpalaikių bandymų prietaisų rodmenys pateikti D priedo D.10–D.29 lentelėse. Sijos KMBS 02 bandinio prietaisų rodmenys dėl atsitiktinės klaidos nebuvo išsaugoti.

KMB sijų eksperimentinių atsparių reikšmės pateiktos 4.9 lentelėje. Bandinio KMBS 05 eksperimentinio atspario reikšmė buvo 1,5–1,83 karto didesnė nei kitų bandinių. Autoriaus nuomone, taip atsitiko todėl, kad bandinio KMBS 05 medinė juosta buvo vientisa, t. y. neturėjo dantytųjų dygių sandūrų, kurios buvo kituose bandiniuose.

**4.9 lentelė.** KMB sijų bandymo eksperimentinių atsparių reikšmės

| Bandinių žymuo          | KMBS 01 | KMBS 02 | KMBS 03 | KMBS 04 | KMBS 05 |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Atsparis $F_{max}$ , kN | 24,00   | 27,23   | 29,41   | 24,74   | 43,44   |

Bandomų sijų irtis atitiko trapią elgseną. Bandinių KMBS 01; 02; 03; 04 irtis įvyko ties sutelktosios apkrovos pridėties vieta, suirus medinės juostos dantytųjų dygių jungčiai (4.21 a pav.). Verta pažymėti, kad dantytųjų dygių sandūros neatitiko standarto LST EN 385 [13] nustatytų gamybos reikalavimų. Minėtame standarte nurodytas mažiausias laikančiųjų konstrukcijoms dygio ilgis yra 10 mm, o KMB sijose dygio ilgis buvo 7 mm. Bandinys KMBS 05 suiro dėl nepakankamai gerai suklijuotos medinės juostos ir OSB sienelės, nes sienelė buvo išplėšta iš juostos tašo ties sijos atrama (4.21 b pav.).



**4.21 pav.** KMB sijų bandinių suirimo vaizdai

a – suirus medinių tašų juostos dantytajai dygių sandūrai; b – išplėšus OSB sienelę iš medinių tašų juostos

Sijos tarpatramio vidurio įlinkis  $w$  apskaičiuojamas formule

$$w = w_{17} - \frac{w_{16} + w_{18}}{2}, \quad (4.7)$$

čia:  $w_{17}$  – bandymo metu išmatuotas sijos tarpatramio vidurio įlinkis (4.13 pav.);

$w_{16}$ ;  $w_{18}$  – bandymo metu išmatuotos sijos atramų poslinkiai (4.13 pav.).

Bandymų metu nustatytų KMB sijų vidurio įlinkių kitimo kreivės pateiktos 4.22 paveiksle.

Nagrinėjamai 6,4 metrų tarpatramio KMB sijai leistinoji ribinė įlinkio reikšmė –  $L/250$  [22], kuri sudarytų 25,6 mm. Kaip matyti iš 4.22 paveikslą, nuolatine ir naudojimo apkrovomis ( $F = 14,6$  kN) veikiamų KMB sijų tarpatramio vidurio įlinkio reikšmės neviršijo 6 mm, t. y.  $L/1200$ . Remiantis šiais rezultatais galima teigti, kad išbandytosios KMB sijos yra didelio standumo konstrukcijos.

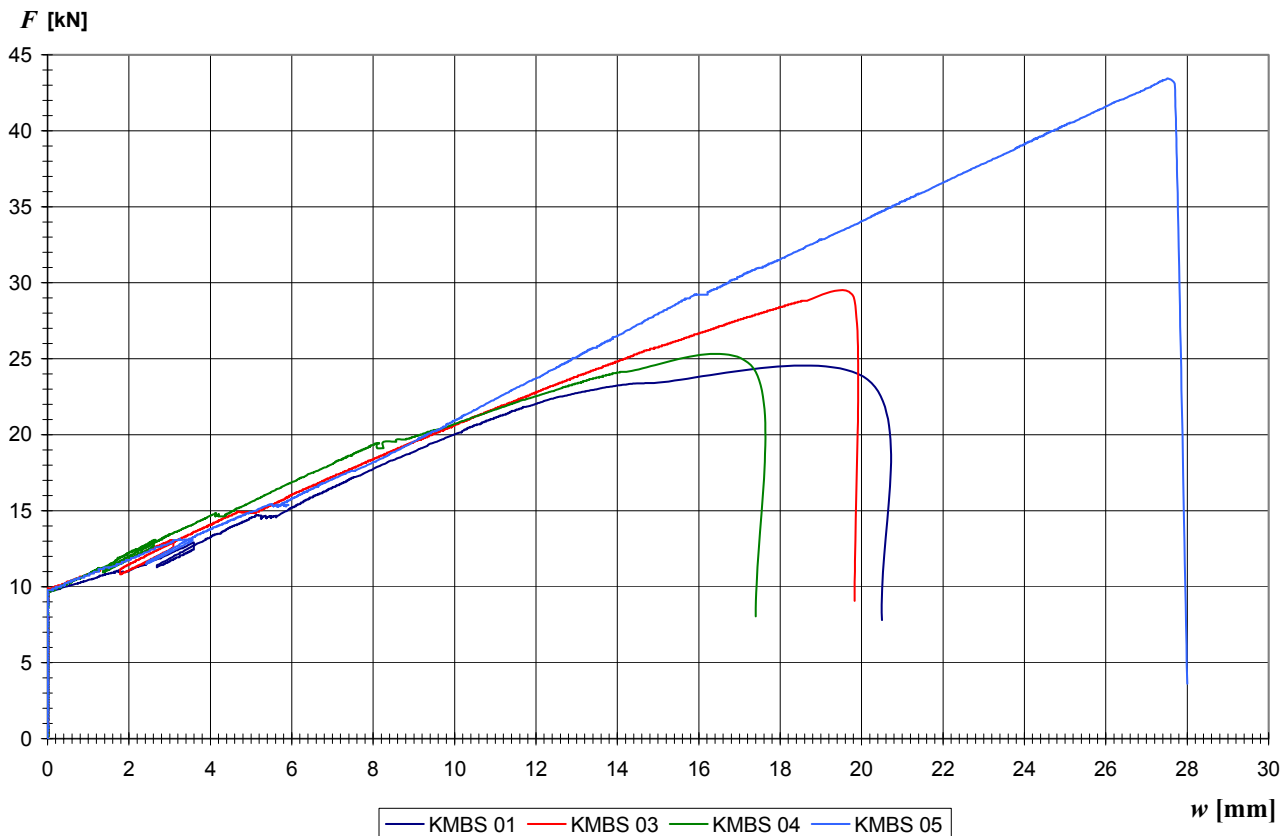
Sijos betoninės plokštės taškų 1÷6 (4.13 pav.) įtempiai apskaičiuoti formule

$$\sigma_i = \varepsilon_i \cdot E_{cm}, \quad (4.8)$$

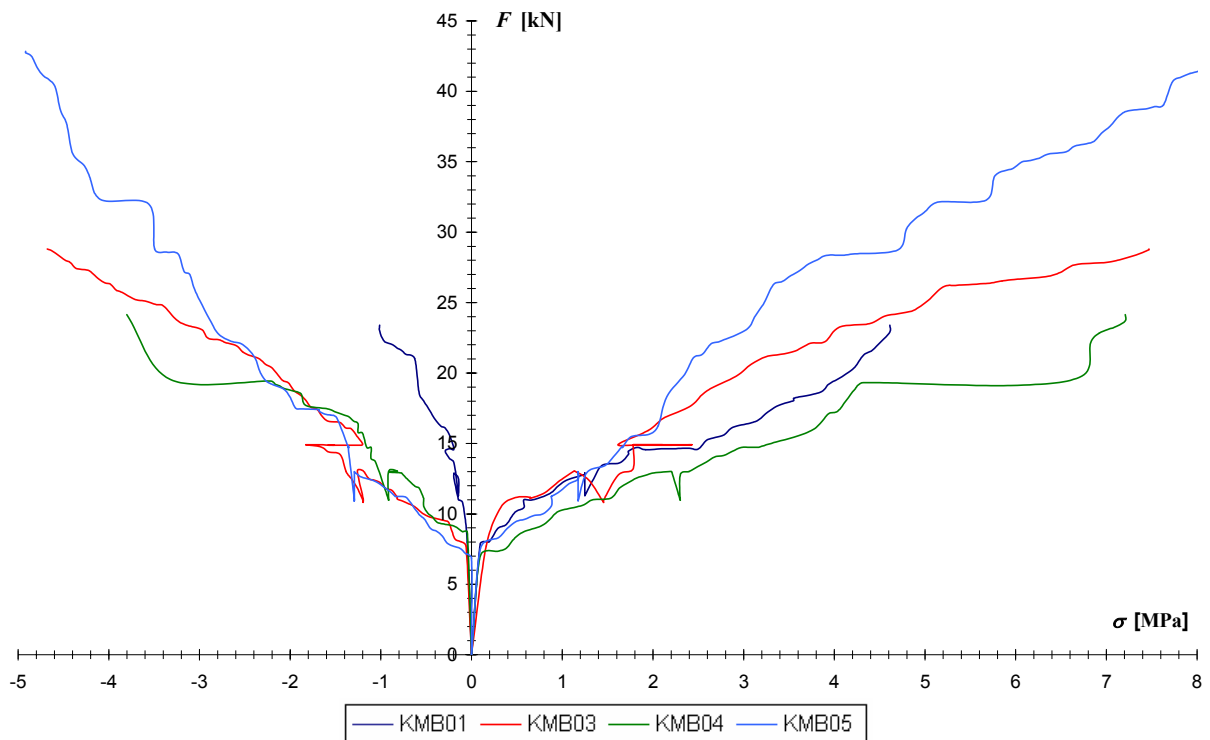
čia:  $\varepsilon_i$  –  $i$ -tojo taško išilginės santykinės deformacijos;

$E_{cm}$  – betono vidutinis pradinis tamprumo modulis, nustatytas 2.4.2 skirsnyje.

Betono taškų 2 ir 4 tempiamieji įtempiai buvo didesni nei taškų 1 ir 3 (4.13 pav.). Išbandytų KMB sijų betoninės plokštės vidutinių tempiamųjų bei gniuždomųjų įtempių-apkrovos priklausomybės kreivės pateiktos 4.23 paveiksle.



4.22 pav. KMB sijų apkrovos ir tarpatramio vidurio įlinkio priklausomybės kreivės



**4.23 pav.** KMB sijų apkrovos ir betono įtempių priklausomybės kreivės. Neigiamosios reikšmės atitinka betono tempiamuosius įtempius, teigiamosios – gniuždomuosius

Sijos medienos tašų juostos taškų 7 ir 8 (4.13 pav.) įtempiai buvo apskaičiuoti formule

$$\sigma_i = \varepsilon_i \cdot E_{0,mean} \quad (4.9)$$

čia:  $\varepsilon_i$  –  $i$ -tojo taško išilginės santykinės deformacijos;

$E_{0,mean}$  – medienos vidutinis tamprumo išilgai pluošto modulis, pasirinktas pagal medienos klasę, kuri nustatyta 2.4.1 skyriuje.

Išbandytų KMB sijų medienos tašų juostos 7 taško tempiamojo įtempio ir apkrovos priklausomybės kreivės pateiktos 4.24 paveiksle, o 8 taško – 4.25 paveiksle.

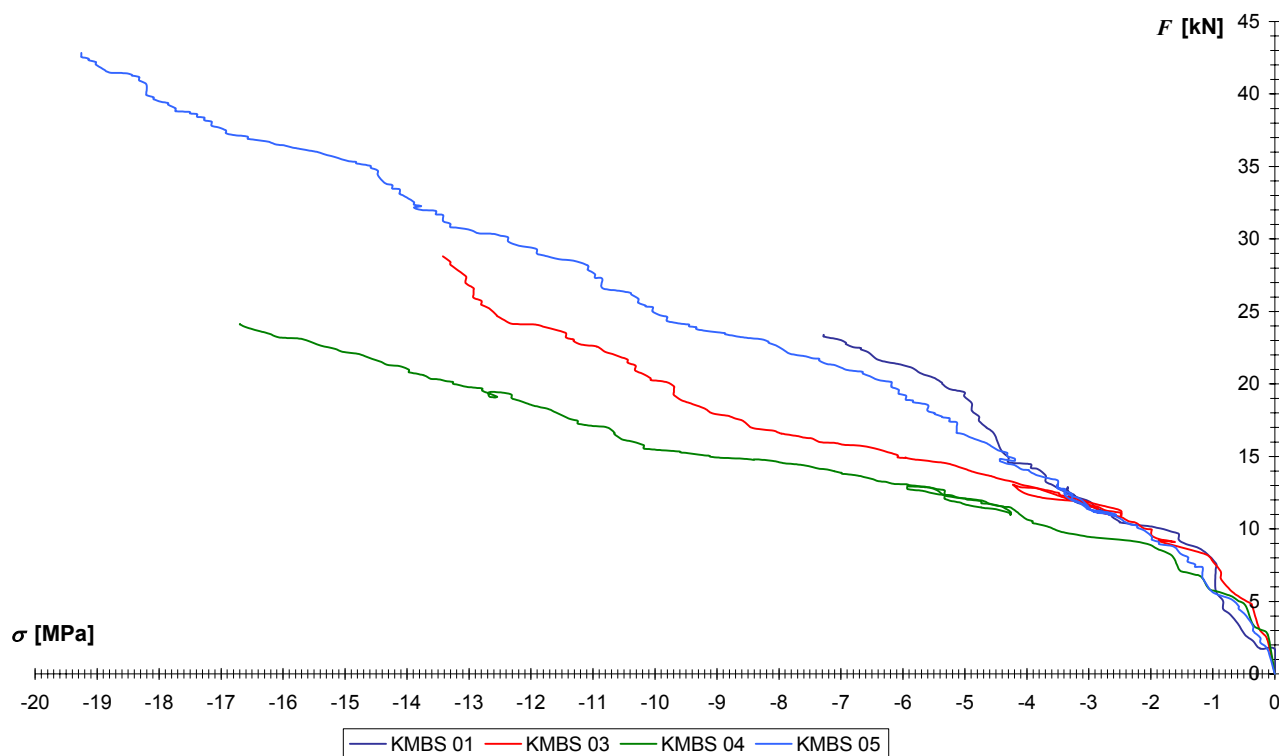
KMB sijos OSB sienelės taškų 9 ir 10 (4.13 pav.) įtempiai buvo apskaičiuojami šia formule:

$$\sigma_i = \varepsilon_i \cdot E_{0,t} \quad (4.10)$$

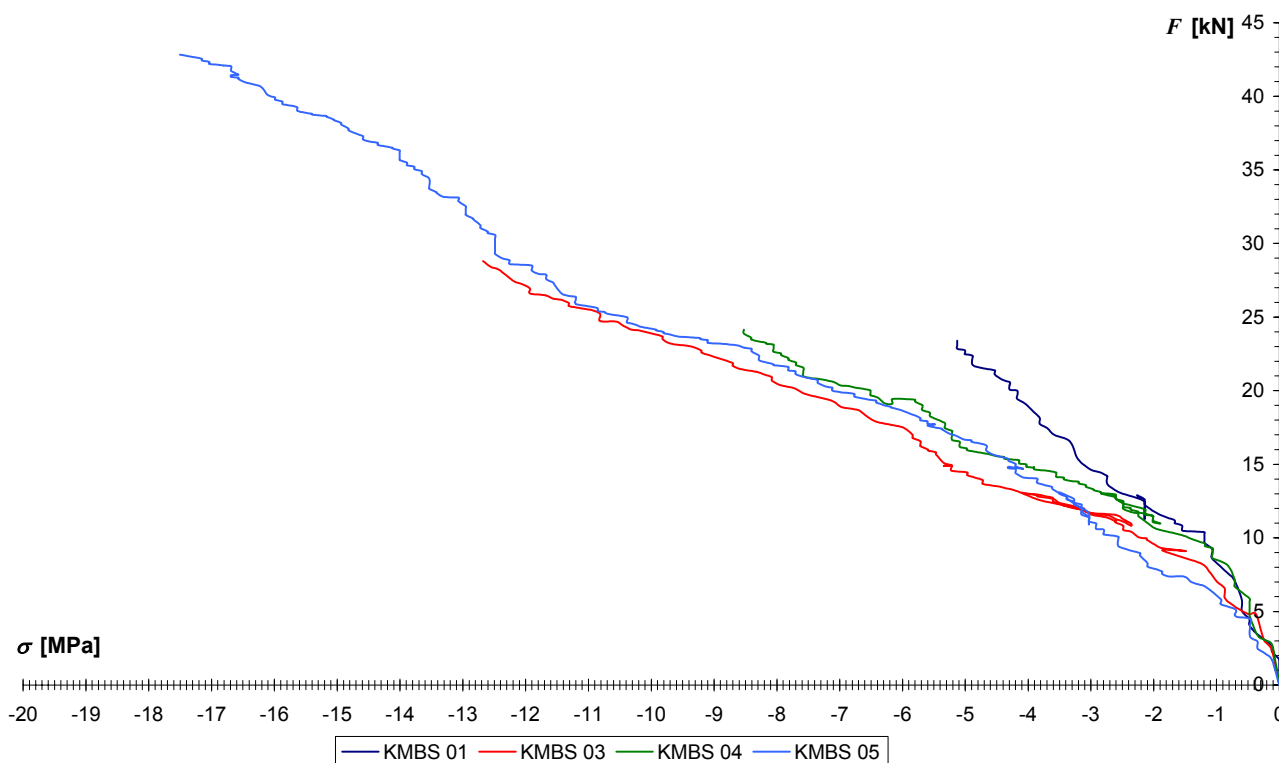
čia:  $\varepsilon_i$  –  $i$ -tojo taško išilginės santykinės deformacijos;

$E_{0,t}$  – sijos sienelės OSB plokštės vidutinis tamprumo OSB didžiosios ašies kryptimi modulis, nustatytas darbe [127].

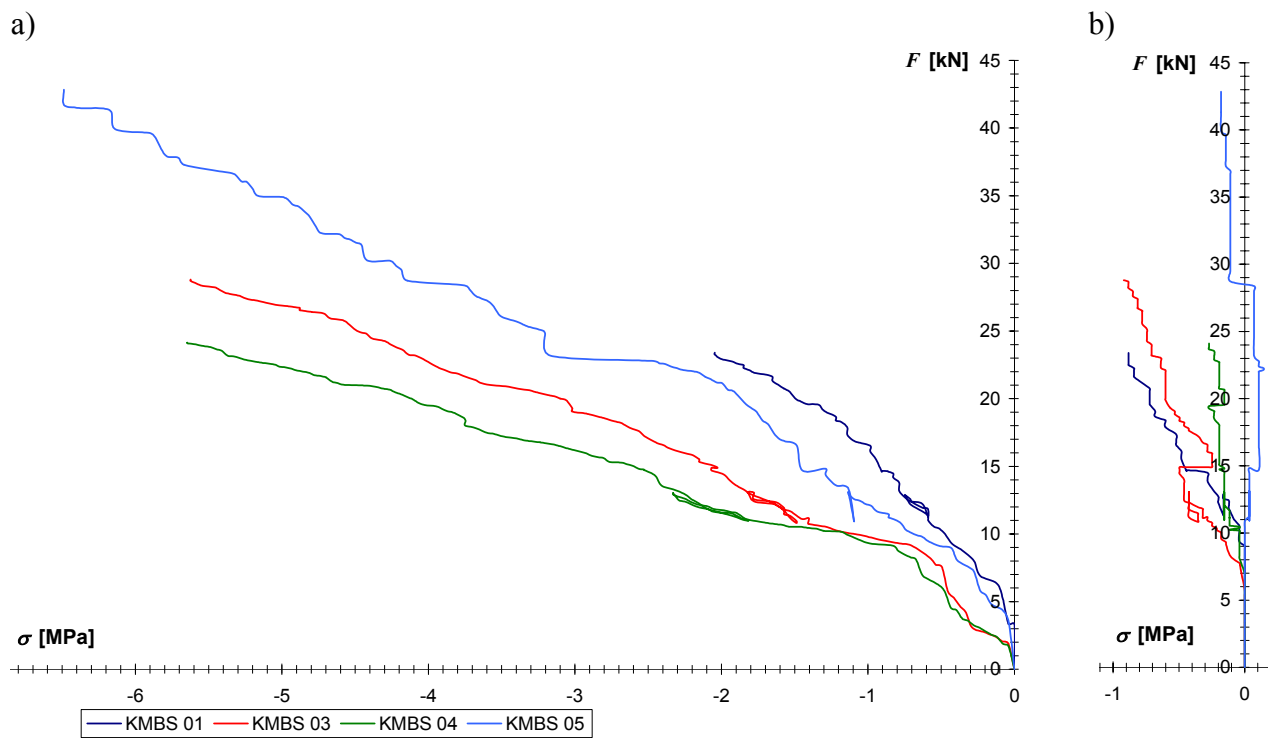
Išbandytųjų KMB sijų OSB sienelės 9 ir 10 taškų tempiamojo įtempio ir apkrovos priklausomybės kreivės pateiktos 4.26 paveiksle



4.24 pav. KMB sąjū apkrovos ir medienos tašo 7 taško (4.13 pav.) įtempio priklausomybės kreivės

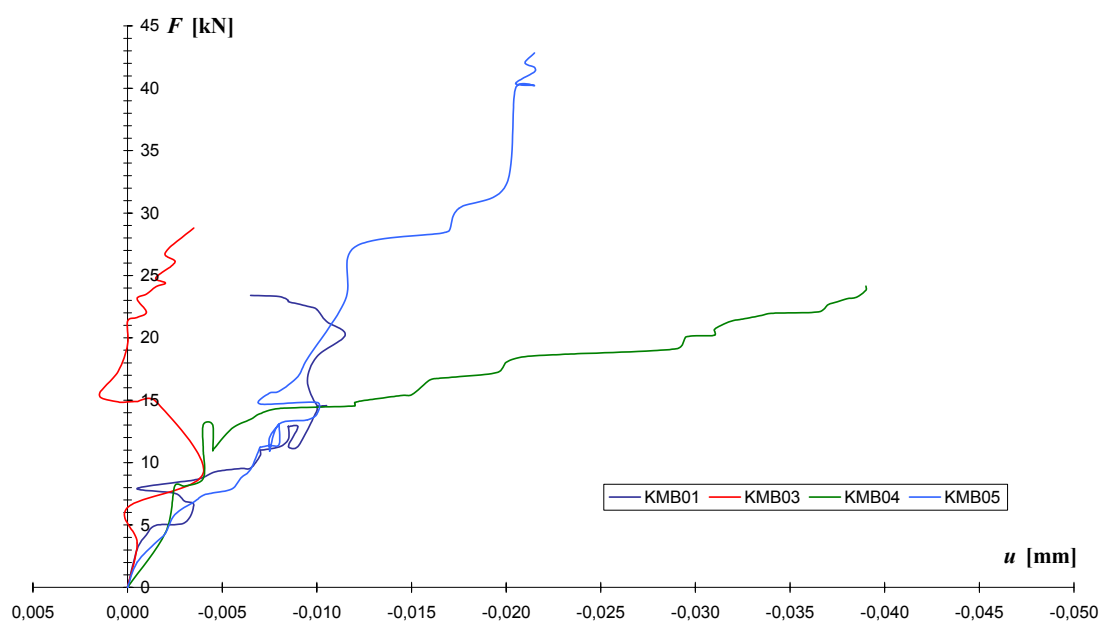


4.25 pav. KMB sąjū apkrovos ir medienos tašo 8 taško (4.13 pav.) įtempio priklausomybės kreivės



4.26 pav. KMB sąjų apkrovos ir OSB sienelės ((a) 9 taško; (b) 10 taško iš 4.13 pav.) įtempių priklausomybės kreivės

KMB sąjų tarpfluksinio jungties apkrovos-slinkties priklausomybės kreivės pateiktos 4.27 paveiksle, iš kurio matyti, kad OSB sienelės ir betono plokštės slinktis buvo didelė. Nuolatine ir naudojimo apkrovomis ( $F = 14,6$  kN) veikiamų KMB sąjų tarpfluksinio jungties tarp OSB sienelės ir betono plokštės slinkties reikšmės, išmatuotos 12 ir 14 taškuose (4.13 pav.), neviršijo 0,015 mm. Remiantis šiais rezultatais ir 2.2 poskyryje aprašytu standžiosios jungties apibūdinimu, galima teigti, kad bandymų metu „įvorinės“ jungtės užtikrino nagrinėjamos KMB sąjos tarpfluksinio standžiąją jungtį.



4.27 pav. KMB sąjų apkrovos ir slinkties, išmatuotos sąjų galuose, tarp OSB sienelės ir betoninės plokštės priklausomybės kreivės

#### 4.4. BANDYMŲ DUOMENŲ VERTINIMAS IR IŠVADOS

Atlikti KMB sijos tarpsluoksnio jungčių tarp OSB sienelės ir betoninės plokštės trumpalaikiai išstumiamieji bandymai, kuriais nustatyti jungčių su skirtingo tipo jungėmis apkrovos ir slinkties priklausomybės parametrai, keičiant OSB sienelės storį ir atstumą tarp jungių.

Išnagrinėtos dviejų tipų jungės, tinkamos naudoti KMB sijos betono plokštės ir OSB sienelės jungtims. Bandymais nustatyta, kad jungčių su „įvorinėmis“ jungėmis slankumo moduliai yra 10–40 % didesni nei jungčių su armatūrinėmis jungėmis.

Nustatyta, kad bandinių, kuriuose panaudotos skirtingų tipų jungės, jungčių slankumo modulių reikšmės turi gana didelę sklaidą, kuri būdinga ir medinių elementų jungtims.

Nustatyta, kad OSB sienelės storis beveik neturi įtakos jungties standumui. Tačiau bandinių su 12 mm storio OSB plokšte jungties atsparis 40-80 % didesnis nei bandinių su 10 mm storio plokšte.

OSB plokštė, betonavimo metu panardinta į betono mišinį, išbrinko. Betono kietėjimo metu, išgaravus drėgmei, OSB plokštės ir betono sąlyčio vietoje susiformavo apie 1 mm plyšys. Todėl KMB sijų OSB plokštę ties jos sąlyčio su betonu vieta būtina papildomai apsaugoti nuo drėgmės, siekiant išvengti OSB brinkimo. Autorius pasiūlė OSB plokštės įbetonuojamus kraštus apsaugoti poliuretaniniu laku.

Eksperimentinių OSB sienelės ir betono plokštės jungčių tyrimų rezultatai leidžia teigti, kad nagrinėjamos KMB sijos tarpsluoksnio tarp OSB sienelės ir betono plokštės įlaidinei jungčiai įrengti geriau tinka „įvorinės“ jungės.

Atlikti trumpalaikiai KMB sijų, kurių viršutinė juosta – betono plokštė, o medinė sija yra sudėtinio tėjinio skerspjūvio, sudaryto iš OSB sienelės ir į ją įklijuotos medienos tašų apatinės juostos, bandymai kvazistatine apkrova. Šių sijų tarpsluoksnio tarp OSB sienelių ir betono plokščių jungtims naudotos „įvorinės“ jungės.

Daugumos bandinių irtis įvyko ties sutelktosios apkrovos pridėties vieta, suirus medinės juostos dantytajai dygių jungčiai. Taip atsitiko todėl, kad medinių plonasienių sijų gamintojai nesilaikė medinių klijuotinių jungčių griežtų Europos bei Lietuvos normatyvinių dokumentų reikalavimų.

Visos KMB sijos eksperimento metu atlaikė namų ir gyvenamosios veiklos plotams taikomas nuolatinę ir naudojimo apkrovas (A kategorija [20]). KMB sijų eksperimentinės ardančiosios apkrovos santykis su eksploatacine apkrova, kurią sudaro nuolatinė ir A kategorijos naudojimo apkrovos, buvo 1,65–2,98. Bandomų sijų irties pobūdis buvo trapus.

Atlikti KMB sijoms naudotų medžiagų ir jungės bandymai, nustatytos jų fizinės ir mechaninės charakteristikos. Išbandžius tarpsluoksnio tarp OSB sienelės ir betono plokštės 10

jungčių su „įvorinėmis“ jungėmis, kai bandiniams gaminti naudotas S4 slankumo ir C30/35 klasių betono mišinys, nustatytas vidutinis jungės atsparis buvo 14,21 kN, vidutinis jungės slankumo modulis 29 788 kN/m.

Atlikti KMB sijų eksperimentiniai tyrimai parodė, kad sukurtoji konstrukcija atitiko jai išskeltus reikalavimus ir patvirtino jos konstrukcinį tinkamumą.

## 5 skyrius. EKSPERIMENTINIŲ IR TEORINIŲ REZULTATŲ VERTINIMAS

### 5.1. ĮVADINĖS PASTABOS

Atliktų KMB sijų eksperimentinių ir teorinių tyrimų rezultatų tikslumą nusako medžiagų ir jungių mechaninių charakteristikų sklaida. Šiame skyriuje analizuojama šių charakteristikų sklaidos įtaka KMB sijų ribiniams būviams.

KMB sijų ir jų jungių bandinių eksperimentiniai tyrimai atlikti taikant trumpalaikę kvazistatinę apkrovą. Tačiau betono, medienos, OSB ir jungių valkšnumo ir traukumo veiksniai turi didelę įtaką ilgalaikę apkrova apkrautų KMB sijų elgsenai. Todėl apžvelgiama medienos ir betono ilgalaikių procesų bei šių medžiagų tarpusavio sąveikos įtaka KMB sijai.

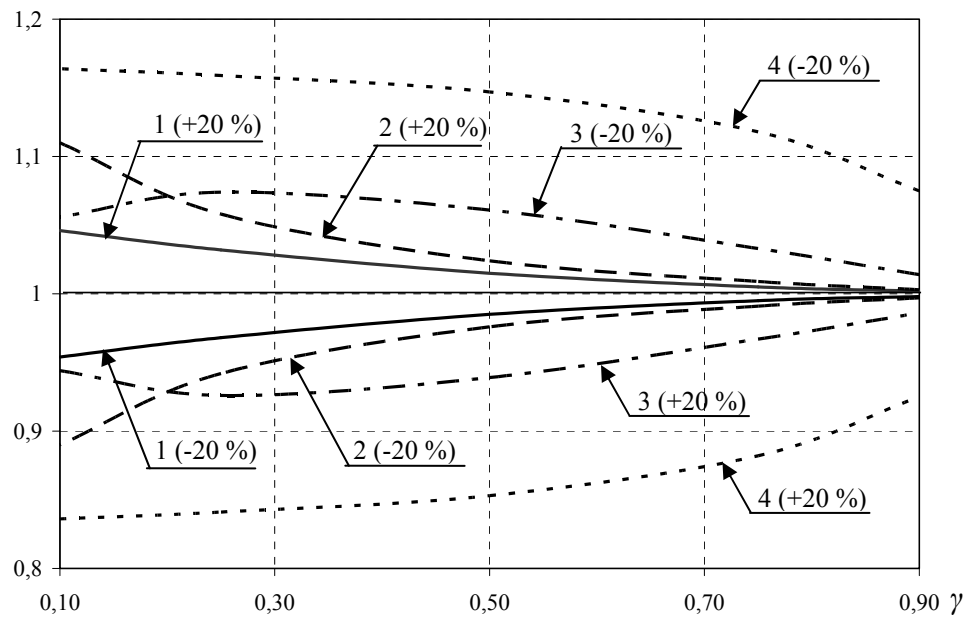
Išbandytų KMB sijų eksperimentinės įlinkių, įtempių ir slinkčių reikšmės buvo sugretintos su jų teoriniais atitikmenimis, kurie buvo apskaičiuoti pagal 2.4 poskyryje pateiktą metodiką. Tokiu būdu gauta informacija, kaip taikytos teorinės prielaidos atitinką tikrovę. Tuo remiantis buvo pagrįstas nagrinėjamoms KMB sijoms parengtos projektavimo metodikos praktinis tinkamumas.

### 5.2. MEDŽIAGŲ IR JUNGĖS SAVYBIŲ SKLAIDOS ĮTAKA

Vertinat KMB sijų konstrukcinę elgseną visų pirma nagrinėjamos sijai naudotų medžiagų ir jungių charakteristikos, kurios dažniausiai nustatomos atlikus trumpalaikius bandymus pagal standartų reikalavimus.

KMB sijai panaudotų medžiagų ir jungių mechaninės charakteristikos, 4.3 poskyryje nustatytos atskirais bandymais, turi skirtingus variacijos koeficientus. Praktikoje dažniausiai esti, kad betono savybių sklaida yra nedaug mažesnė už medienos. Atlikus eksperimentinius tyrimus betono tamprumo modulio, gniuždomojo bei tempiamojo stiprių variacijos koeficientai gauti 0,06–0,13, o medienos variacijos koeficientai yra 0,20 ir didesni – tamprumo moduliui ir lenkiamajam stipriui bei 0,30 ir didesni – tempiamajam stipriui [64]. OSB plokštės lenkiamajam stipriui ir tamprumo moduliui gauti variacijos koeficientai atitinkamai – 0,18 ir 0,23 [127]. KMB sijos tarpsluoksnio jungties „įvorinės“ jungės stiprio variacijos koeficientas 0,09, o slankumo modulio – 0,33.

Pagal skaičiavimo pavyzdį, pateiktą A priede, atlikta skaitinė KMB sijos (2.10 pav.) analizė, įvertinanti KMB sijos atskirų medžiagos savybių sklaidos įtaką medienos normaliniams įtempiams  $\sigma_2$ , jungties vienetinei šlyties jėgai  $t$ , sijos tarpatramio vidurio įlinkiui  $w$ , jungties slankiui  $u$ , kurios rezultatai pateikti 5.1, 5.2 paveiksluose.



**5.1 pav.** Jungės slankumo modulio  $K$  sklaidos  $\pm 20\%$  intervalo ir tarpsluoksnio jungties veiksmingumo koeficiento  $\gamma$  įtaka:

1 – medienos normaliniams įtempiams  $\sigma_2$ ; 2 – jungties vienetinė šlyties jėga  $t$ ;

3 – sijos tarpatramio vidurio įlinkiui  $w$ ; 4 – jungties slankiui  $u$

5.1 ir 5.2 paveiksluose pateikti apskaičiuotų parametų prie  $\pm 20\%$  medžiagų savybių sklaidos su pradinėmis jų reikšmėmis santykiai:

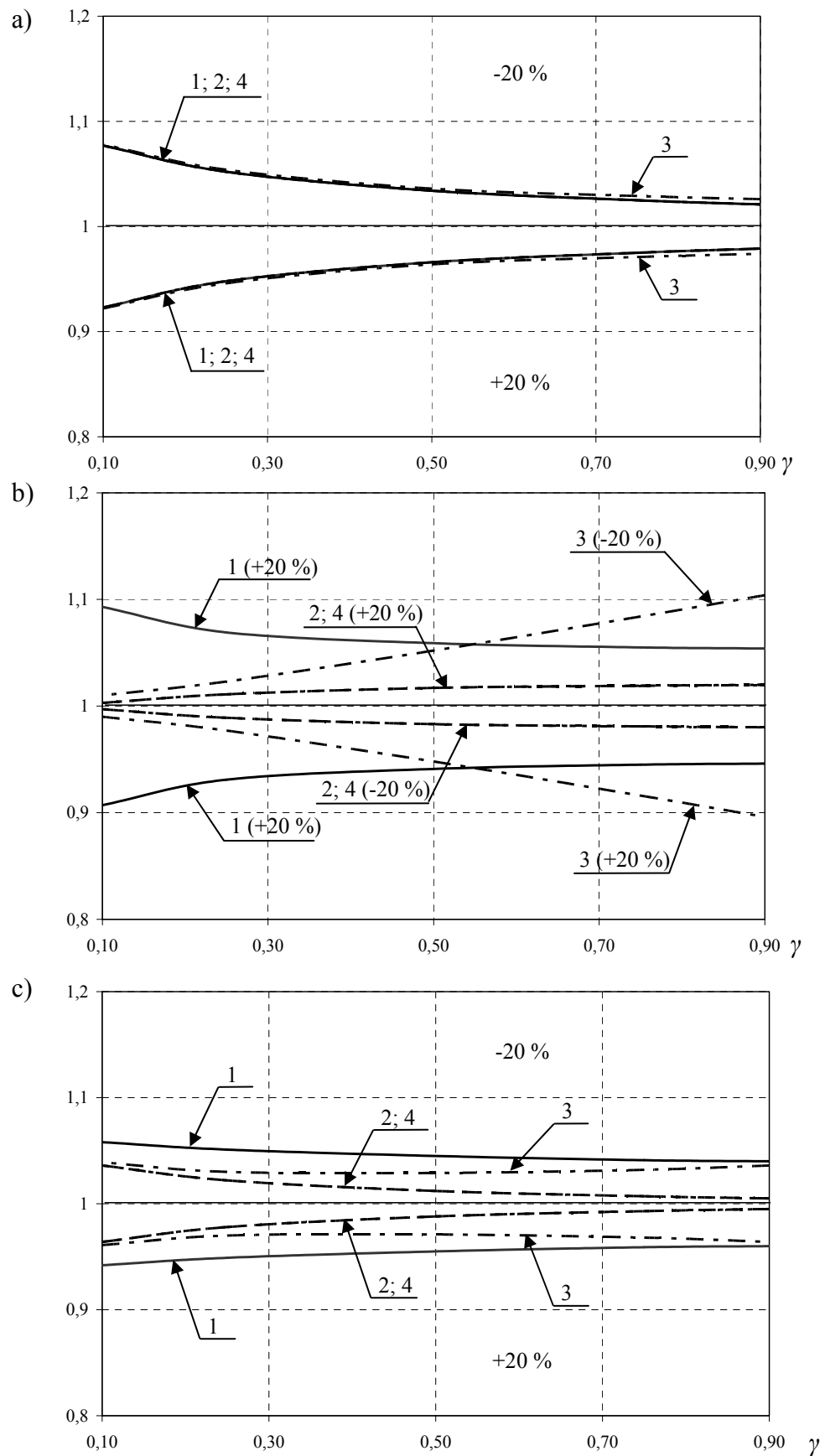
$$\Delta_1 = \frac{\sigma_2(\Delta)}{\sigma_2}, \quad (5.1)$$

$$\Delta_2 = \frac{t(\Delta)}{t}, \quad (5.2)$$

$$\Delta_3 = \frac{w(\Delta)}{w}, \quad (5.3)$$

$$\Delta_4 = \frac{u(\Delta)}{u}. \quad (5.4)$$

Iš pateiktų 5.1, 5.2 paveiksluose rezultatų matyti, kad medienos tamprumo bei jungės slankumo modulį sklaida turi santykinai didelę įtaką nagrinėtiems parametrams, o betono bei OSB tamprumo modulį sklaidos įtaka yra mažesnė.



**5.2 pav.** Skirtingų medžiagų tamprumo modulių (a – betonas, b – medienos, c – OSB) sklaidos  $\pm 20\%$  intervalo ir tarpsluoksnių jungties veiksmingumo koeficiento  $\gamma$  įtaka:

1 – medienos normaliniams įtempiams  $\sigma_2$ ; 2 – šlyties sklaidai jungtyje  $t$ ;

3 – sijos tarpatramio vidurio įlinkiui  $w$ ; 4 – jungties slankiui  $u$

### 5.3. ILGALAIKIŲ DEFORMACIJŲ ĮTAKA

#### 5.3.1. Medienos ilgalaikės deformacijos

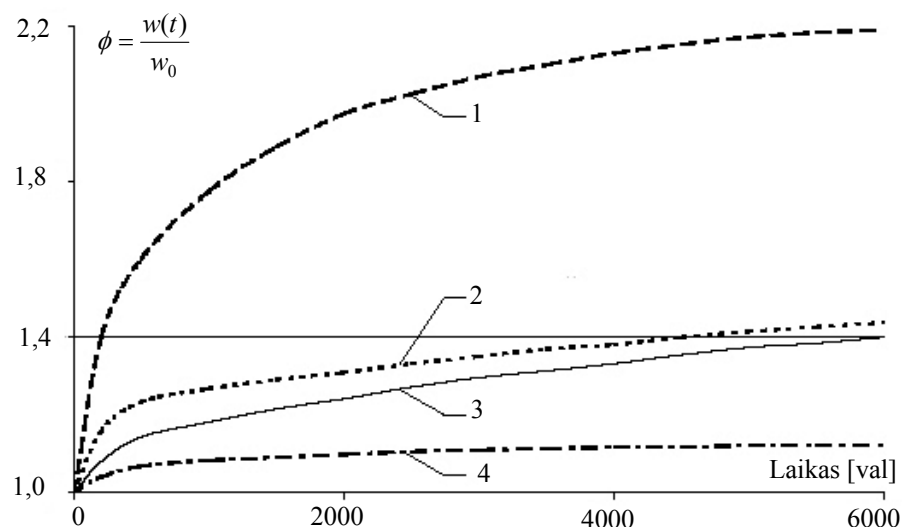
Mediena yra biologinės kilmės gamtinė medžiaga, kurios fizinės ir mechaninės charakteristikos turi didelę įtaką jos ilgalaikėms deformacijoms. Mediena yra:

- tampriai-valkšni (angl. *visco-elastic* [48]) medžiaga, kadangi jos įtempių ir deformacijų sąryšis labai priklauso nuo apkrovos intensyvumo, apkrovos veikimo trukmės bei aplinkos drėgmės ir temperatūros;
- heterogeninė medžiaga, sudaryta iš atskirų tampriųjų ir beformių elementų ir su daugybe tuštumų, pripildytų vandens ir oro;
- išskirtinai anizotropinė medžiaga, kadangi jos mechaninės savybės nevienodos įvairiomis kryptimis.

Medienos ilgalaikės deformacijas lemia daugybė veiksnių:

1. *Apkrovos trukmė.* Kai yra pastovi apkrovos ir aplinkos sąlygos, valkšnumo deformacija didėja atsižvelgiant į apkrovos veikimo trukmę. Pavyzdžiui, apkrautos konstrukcijos valkšnumo deformacijos gali padidėti nuo dviejų iki keturių kartų, kai apkrovos veikimo trukmė svyruoja nuo šešių mėnesių iki dvidešimties metų [28]. Medinių konstrukcijų projektavimo normose [4, 22] pateiktos penkios apkrovos veikimo klasės.

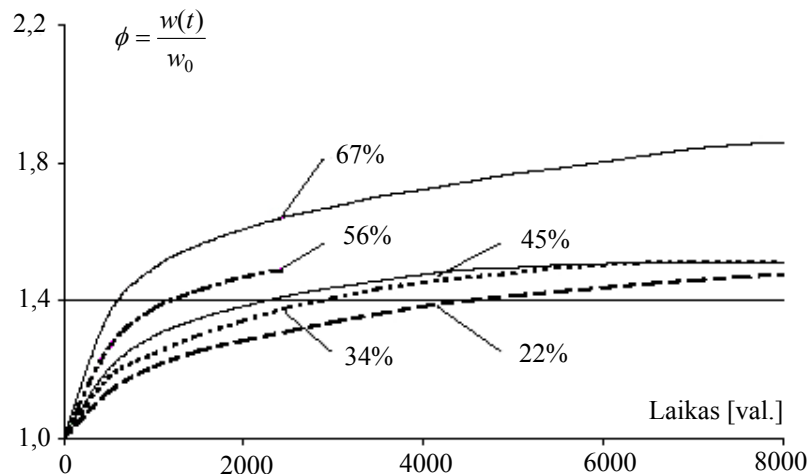
2. *Deformavimo pobūdis.* Deformavimo pobūdis turi didelę įtaką medienos ilgalaikėms deformacijoms. Kaip matyti iš 5.3 paveikslą, medienos valkšnumo deformacijoms didžiausią įtaką turi sukimas, didelę įtaką joms turi ir gniuždymas išilgai pluoštų bei lenkimas. Tempimo išilgai pluoštų įtaka yra mažiausia [117].



5.3 pav. Valkšnumo koeficiento ir laiko priklausomybės kreivės, kai yra skirtingi deformavimo pobūdžiai

1 – sukimas; 2 – tempimas išilgai puošto; 3 – lenkimas; 4 – tempimas išilgai puošto

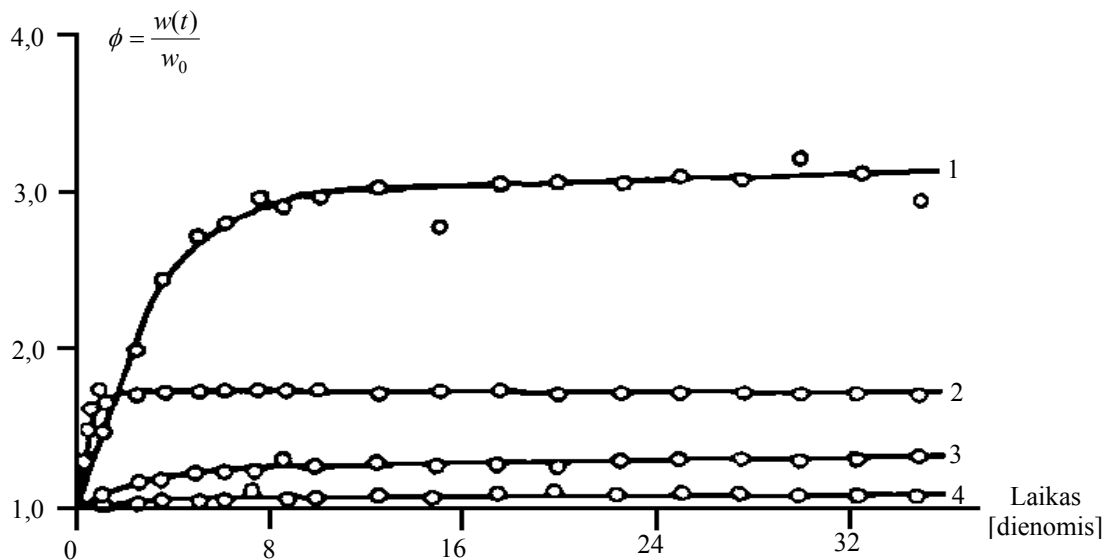
3. *Įtempių lygis.* Atlikti tyrimai [117] rodo, kad medienos įtempių lygis yra labai svarbus ilgalaikėms deformacijoms (5.4 pav.). Kuo didesni įtempiai, tuo didesnės valkšnumo deformacijos.



5.4 pav. Medienos valkšnumo koeficiento ir laiko priklausomybės kreivės, kai yra skirtingi įtempių lygiai

4. *Medienos drėgnis.* Drėgnos medienos valkšnumo deformacijos yra daug didesnės nei sausos. Sausos medienos, kurios drėgnis sudaro apie 10–12 %, valkšnumo koeficientas yra 1,0–1,5, tačiau kai jos drėgnis – 25 % valkšnumo koeficientas esti 3,0–4,0 (5.5 pav.)

Šis veiksnys projektavimo normose Eurokodo 5 [4] yra vertinamas deformacijos koeficientu  $k_{def}$ , nustatomu atsižvelgiant į tris pastato eksploataavimo klases, atitinkančias tris skirtingus medienos drėgnius.

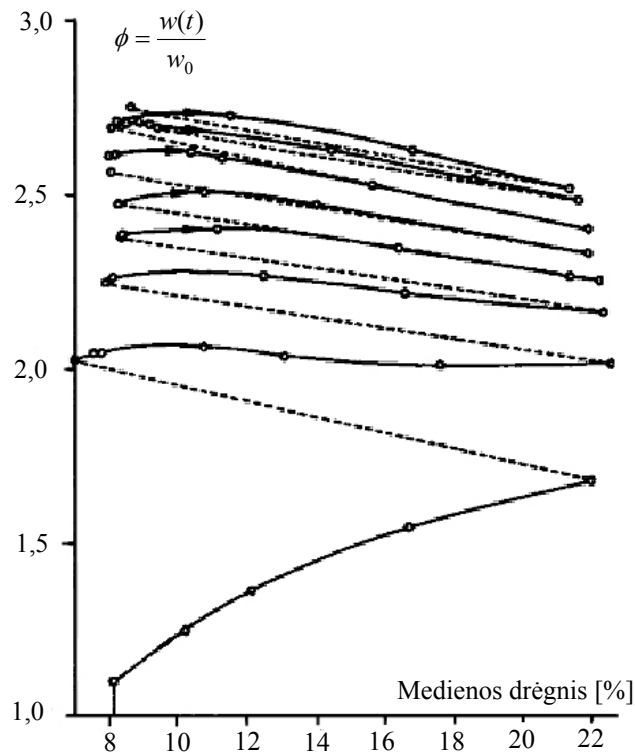


5.5 pav. Valkšnumo koeficiento ir medienos drėgnio priklausomybės kreivės pagal [29]:

1 – nuolat drėgna mediena; 2 – drėgna mediena, džiovinta iki 12 % drėgnio;

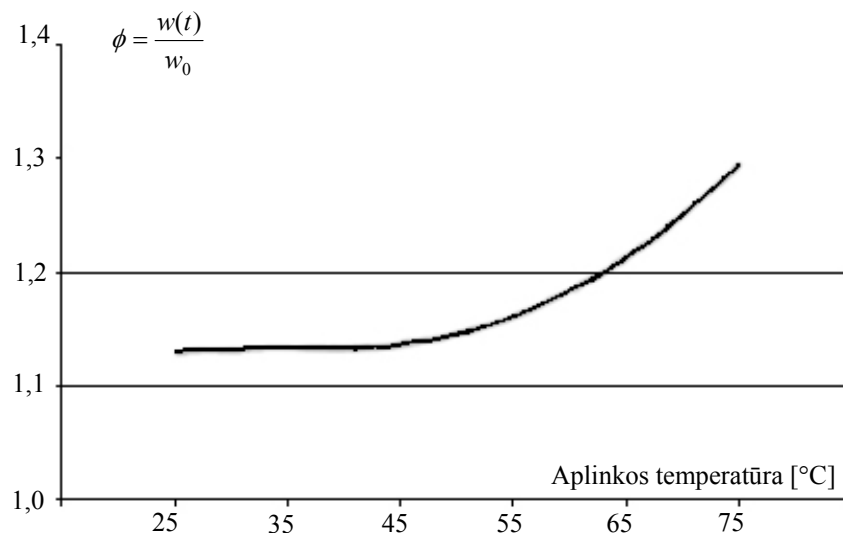
3 – 12 % drėgnio mediena, nepastovaus santykinio drėgnio aplinkoje ; 4 – pastovaus 12 % drėgnio mediena

5. *Medienos drėgnio kaita.* Kiekvieną kartą pasikeitus medienos drėgniui, nuo laiko priklausančios deformacijos didėja (5.6 pav.).



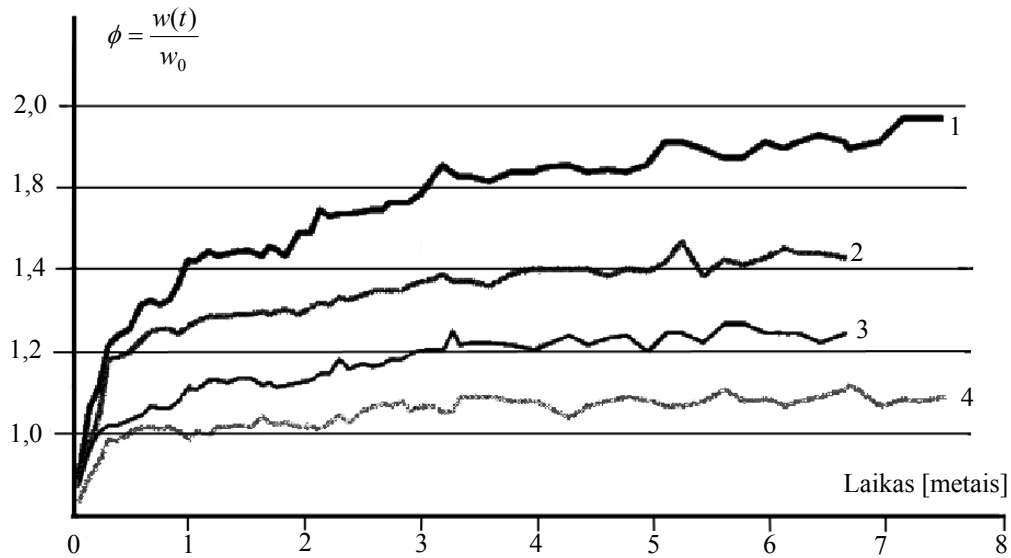
5.6 pav. Valkšnumo koeficiento ir medienos drėgnio kaitos priklausomybės kreivės pagal [76]

6. *Temperatūros įtaka.* Medienos mechaninės savybės yra jautrios temperatūros kitimui. Iš tikrųjų įprastos aplinkos sąlygomis, kada temperatūra neviršija 50 °C, valkšnumo deformacijos yra nedidelės (5.7 pav.).



5.7 pav. Aplinkos temperatūros įtaka valkšnumo deformacijos (medienos drėgnis – 12 %, apkrovos veikimo trukmė – 1 savaitė) pagal [95]

7. *Apsaugos priemonės.* Medienos apsauga, naudojant dažus, antiseptikus, konservantus, taip pat turi įtakos valkšnumui (5.8 pav.).



5.8 pav. Medienos apsaugos priemonių įtaka valkšnumo deformacijoms pagal [113]:

1 – neapsaugota mediena; 2 – alkidinių dažų apsauga; 3 – emulsinių dažų apsauga; 4 – krezoto apsauga

### 5.3.2. Betono ilgalaikės deformacijos

Betonas – sudėtinga heterogeninė medžiaga, sudaryta iš daugelio komponentų (cementinio akmens, vandens, nesuhidratavusio cemento bei užpildo), kurių kiekvienas turi įtakos ilgalaikėms deformacijoms.

Betono valkšnumo ir traukumo efektai, jo mechaninių rodiklių kitimas, laikui bėgant, daugeliu atvejų gana smarkiai veikia ilgalaikę apkrova veikiamų betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų elgseną. Plastinės betono deformacijos dėl valkšnumo ir traukumo gali kelis kartus viršyti pradines trumpalaikes deformacijas. Įvertinti betono valkšnumo bei traukumo deformacijas svarbu apskaičiuojant ilgalaikius lenkiamųjų elementų įlinkius. Verta pažymėti, kad valkšnumo deformacijos yra gerokai didesnės, kai kartu pasireiškia ir betono traukumas.

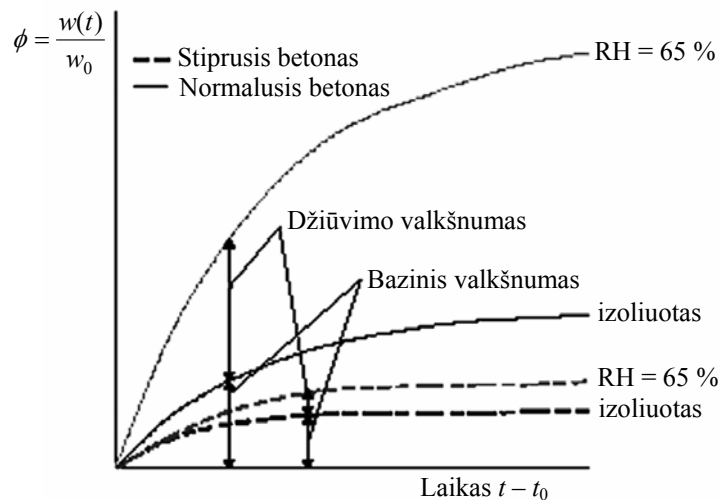
**Betono valkšnumas.** Galime išskirti pagrindines betono valkšnumo atsiradimo priežastis: cementinio akmens reologinės savybės, kristalinės betono struktūros plastinės deformacijos, kapiliariniai reiškiniai, vykstantys kietėjant betonui, mikroplyšių atsiradimas bei plėtimasis. Visi išvardyti procesai intensyviausiai vyksta per pirmuosius 3–4 mėnesius ir trunka kelerius metus.

Betono valkšnumas skirstomas [96] į šias dalis (5.9 pav.):

- bazinis valkšnumas (angl. *basic creep*; vok. *Grundkriechen*);
- džiūvimo valkšnumas (angl. *drying creep*; vok. *Trocknungskriechen*).

Bazinis valkšnumas apibūdinamas kaip betoninio elemento, išlaikančio higroskopinę pusiausvyrą su aplinka, ilgalaikės deformacijos, t. y. kai betoninio elemento drėgmė neišgarinama į aplinką.

Džiūvimo valkšnumas apibūdinamas kaip papildomos betoninio elemento ilgalaikės deformacijos, atsirandančios dėl elemento drėgmės kitimo.



5.9 pav. Betono valkšnumo kitimas laike, atsižvelgiant į betono drėgmę pagal [96]

Svarbiausi veiksniai, lemiantys valkšnumo deformacijas, pagal [30] yra šie:

1. įtempių lygis;
2. apkrovimo laiko bei veikimo trukmė;
3. aplinkos sąlygos (drėgmės ir temperatūros);
4. bandinio matmenys;
5. betono mechaninės charakteristikos;
6. betono gamybos technologija;
7. betoną sudarančių komponentų savybės.

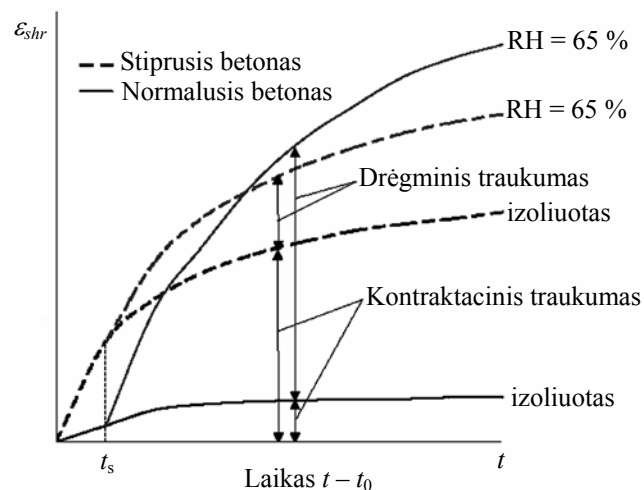
Valkšnumo deformacijos didėja, didėjant vandens ir cemento santykiui, cemento kiekiui mišinyje, įtempių lygiui ir jų veikimo trukmei. Valkšnumo deformacijos bus mažesnės, apkraunant “senesnius” betonus ir esant didesniems skerspjūvio matmenims bei aplinkos drėgmei.

Valkšnumo deformacijoms didelę įtaką turi įtempių lygis. Kol įtempiai nesukelia betone mikroplyšių, valkšnumo deformacijos yra tiesiogiai proporcingos įtempiams, o valkšnumas vadinamas tiesiniu. Kai yra tiesinis valkšnumas, betono deformacijų kreivė laiko atžvilgiu asimptotiškai artėja prie tam tikros ribos. Kai įtempiai pranoksta mikroplyšių susidarymo ribą, tą patį įtempių prieaugį atitinka vis didėjantis valkšniųjų deformacijų prieaugis. Toks valkšnumas vadinamas netiesiniu. Pasireiškus netiesiniam valkšnumui, deformacijos nenutrūkstamai auga tol, kol elementas suyra.

**Betono traukumas.** Betono traukumu vadinamas jo laisvas tūrio mažėjimas dėl kietėjimo metu vykstančios cemento hidratacijos ir drėgnumo kaitos. Betono traukumas [30, 117] darbuose skirstomas į tokias sudėtines dalis (5.10 pav.):

- kapiliarinis traukumas. Jis pasireiškia negrįžtama betono deformacija, kuri susidaro jo komponentams išsisluoksniavus; šis procesas priklauso nuo mišinio komponentų gebėjimo sulaikyti vandenį ir baigiasi prasidėjus cemento hidratacijai;
- kontraktacija. Tai tiesioginis traukumas, pasireiškiantis dėl kietėjančio cementinio akmens tūrio mažėjimo; jis vyksta bandinį net visiškai izoliavus nuo aplinkos bei sukelia pirminį tūrio sumažėjimą;
- drėgminis traukumas. Tai iš dalies grįžtamas procesas, susijęs su betono drėgnumo kitimu; betonui kietėjant ore, jo tūris sumažėja, o iš aplinkos patekus pakankamai drėgmės – padidėja;
- karbonatizacinis traukumas. Tai deformacija, kuri atsiranda dėl cementinio akmens sąveikos su aplinkos oru.

Kiekvienas iš minėtų reiškinių vyksta įvairiais betono kietėjimo tarpsniais. Kapiliarinio traukumo galima išvengti, parinkus tinkamą mišinio sudėtį. Skirtingai nuo kapiliarinio, kontraktacinio, drėgminio ir karbonatizacinio traukumo įprastinėmis sąlygomis išvengti sunku. Karbonatizacinė traukioji deformacija yra ne tiek svarbi ir pasitaiko tik betoninio elemento kraštuose ir, palyginti su kontraktacine ir drėgmine traukiosiomis deformacijomis, yra nedidelė.



**5.10 pav.** Betono traukiųjų deformacijų kitimas laike, atsižvelgiant į betono drėgmę pagal [96]

Traukiosios deformacijos priklauso nuo daugelio veiksnių: vandens kiekio, vandens ir cemento santykio, cemento rūšies, užpildo savybių, kietėjimo trukmės ir sąlygų, aplinkos sąlygų, elemento matmenų ir formos, mišinio klojimo bei tankinimo būdo. Traukiosios deformacijos didėja,

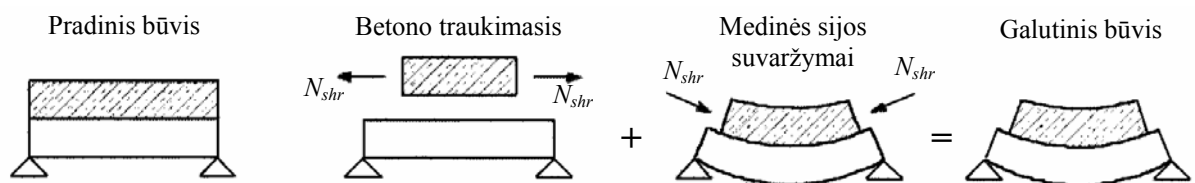
didėjant vandens ir cemento santykiui, mažėjant aplinkos drėgmei ir užpildo kiekiui, didėjant elemento išorinio paviršiaus ploto ir elemento tūrio santykiui.

Konstrukcijų skerspjuvių betonas traukiasi netolygiai: paviršiniai sluoksniai deformuojasi daugiau, gilesni – mažiau.

### 5.3.3. Kompozitinių medienos-betono konstrukcijų ilgalaikės deformacijos

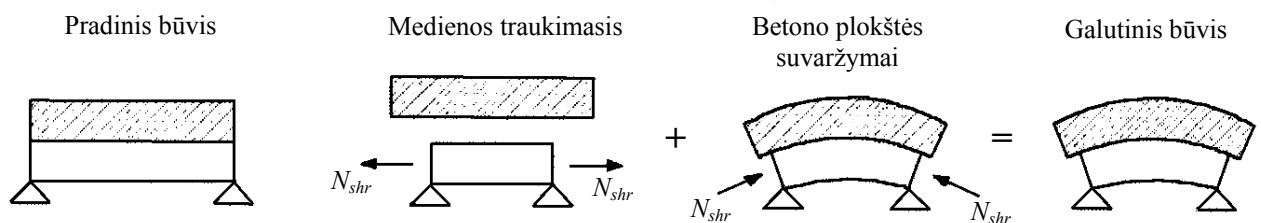
5.3.1 ir 5.3.2 skirsniuose buvo aprašytos medienos ir betono ilgalaikės deformacijos, sukeliamos įvairių veiksnių, turinčios skirtingą poveikį KMB sijų elgsenai.

*Betono traukiosios deformacijos.* Traukiantis betonui, betono plokštė trumpėja ir joje atsiranda tempiamoji įraža. Šį trumpėjimą varžo medinė sija, todėl KMB sijoje pasireiškia gniuždomoji įraža. Šios jėgos, veikiančios kompozitinio skerspjuvio komponentų sunkio centruose, sukelia lenkiamąjį momentą, kuris sukelia sijos deformacijas (5.11 pav.). Betono traukimo atveju tariame, kad sijos neveikia jokia išorinė apkrova.



5.11 pav. Betono traukimo įtaka KMB sijai pagal [83]

*Medienos traukiosios deformacijos.* Vykstant medienos traukimo procesui, medienos skerspjuvis išsikreivina, todėl betono plokštėje pasireiškia gniuždomosios, o medinėje sijoje – tempiamosios jėgos, o visame kompozitiniame skerspjuvyje – lenkiamasis momentas (5.12 pav.). Tačiau KMB sijos medinio skerspjuvio lenkiamasis standis palyginti su betoninio skerspjuvio stanžiu yra daug mažesnis ir mažai veikia KMB sijų ilgalaikę elgseną.



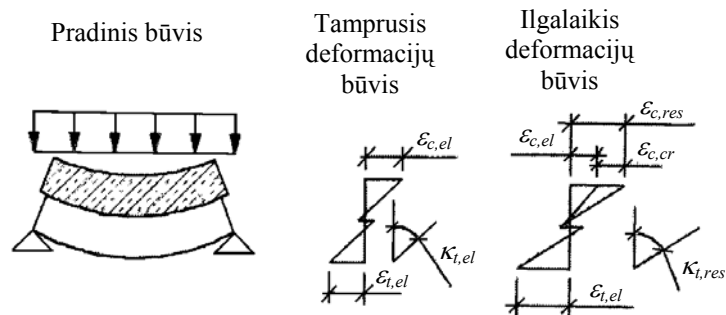
5.12 pav. Medienos traukimo įtaka KMB sijai pagal [83]

*Betono valkšnumo deformacijos.* Dėl KMB sijoje atsiradusio betono valkšnumo vyksta tokie reiškiniai:

- skerspjuvio ašinių įrašų sumažėjimas;

- KMB skerspjūvio standumo sumažėjimas;
- medinio elemento lenkiamojo momento padidėjimas;
- betoninio elemento lenkiamojo momento sumažėjimas.

Betono valkšnumo deformacijos sumažina betono plokštės įtempius ir padidina medinės sijos įtempius ir deformacijas (5.13 pav.)

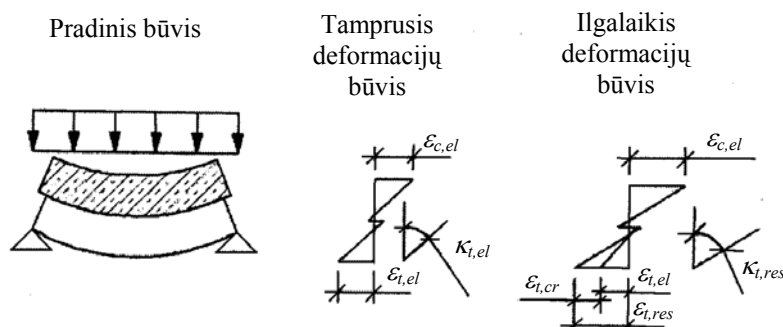


5.13 pav. Betono valkšnumo įtaka KMB sijai pagal [83]

*Medienos valkšnumo deformacijos.* KMB sijoje pasireiškęs medienos valkšnumas daro įtaką šiems procesams:

- skerspjūvio ašinių įrašų sumažėjimui;
- KMB skerspjūvio standumo sumažėjimui;
- betoninio elemento lenkiamojo momento padidėjimui;
- medinio elemento lenkiamojo momento sumažėjimui.

Medienos valkšnumo deformacijos sumažina medinio elemento įtempius ir padidina betono plokštės įtempius ir deformacijas (5.14 pav.)



5.14 pav. Medienos valkšnumo įtaka KMB sijai pagal [83]

Betono valkšnumo deformacijos itin didelės sausoje aplinkoje, o medienos valkšnumo deformacijos būna didesnės drėgnoje aplinkoje. Ilgalaikių poveikių sąlygojama skirtinga įvairių medžiagų elgsena reikalauja KMB sijų ilgalaikių tyrimų. Ilgalaikes deformacijas galima įvertinti skaičiavimais sumažinus medžiagų standumo charakteristikas formule [4]:

$$E_{i,fin} = \frac{E_i}{1 + \psi_2 \cdot k_{def}}, \quad (5.5)$$

čia:  $E_i$  – medžiagos tamprumo modulio vidutinė reikšmė;

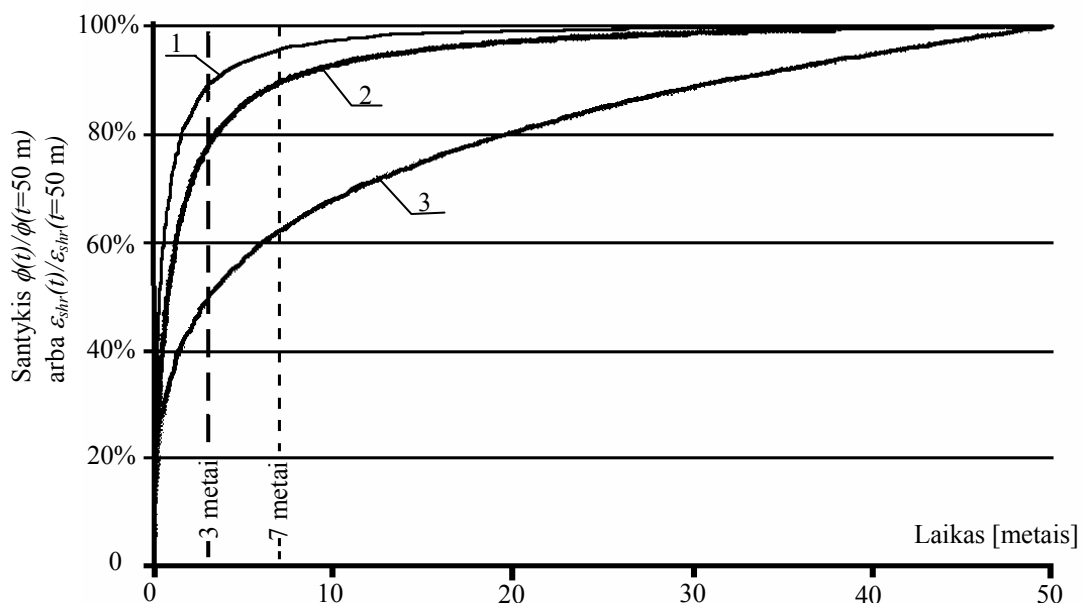
$\psi_2$  – kintančių poveikių kvaziilgalaikės reikšmės koeficientas;

$k_{def}$  – deformacijos koeficientas.

Nagrinėjamos KMB sijos įtempiai, įlinkiai ir poslinkiai laike  $t = \infty$  skaičiuojant gali būti nustatomi pagal formules (2.24), (2.25) ir (2.26) standumus  $E_i$  pakeitus  $E_{i,fin}$  reikšmėmis.

Skirtingas medžiagų valkšnumas ir jo kitimas laike yra svarbus KMB sijos įtempių ir deformacijų būviui.

Medienos valkšnumo deformacijos yra daug mažesnės nei betono. Maždaug po trejų metų betonas pasiekia 90 % savo valkšnumo deformacijos ribines reikšmes, o medienos valkšnumo deformacijos po to paties laikotarpio pasiekia tik apie 50 % savo ribinių reikšmių (5.15 pav.). Po maždaug septynerių metų betono valkšnumo deformacija yra 95 %, medienos – beveik 60 % ribinių reikšmių.



**5.15 pav.** Medienos ir betono valkšnumo koeficientų  $\phi_i$  ir betono traukiųjų deformacijų  $\epsilon_{shr}$  santykiai su atitinkamomis ribinėmis (50 metų) reikšmėmis pagal [117]:

1 – betono valkšnumas; 2 – betono traukumas; 3 – medienos valkšnumas

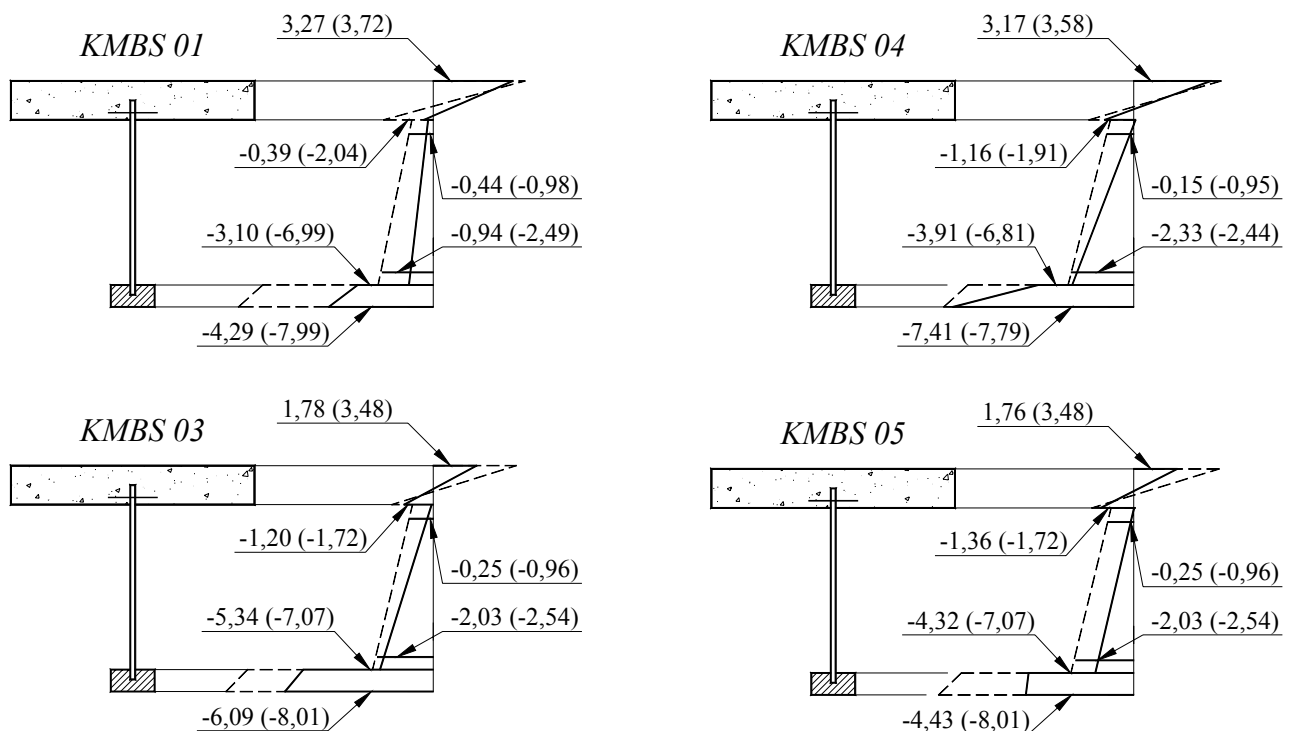
Dėl greitesnio ir didesnio betono valkšnumo, nei medienos, KMB sijos įrašos pereina iš betono į medieną, t. y. betono įtempiai mažėja, o medienos didėja. Tačiau po maždaug septynerių metų betono valkšnumo kitimas bus nedidelis, todėl medienos įrašos turėtų sumažėti.

Nagrinėjamuose KMB sijų ribiniuose būviuose neatsižvelgiama į skirtingus medžiagų valkšnumo kitimus, valkšnumas vertinamas laikotarpiais  $t = 0$  ir  $t = \infty$ . Darbuose [30, 79] yra nagrinėtos betono tamprumo modulio kitimo laike priklausomybės, o darbuose [45, 63, 76, 117,

119] – medienos tamprumo modulio priklausomybės. Dėl minėtų aplinkybių būtini papildomi ilgalaikė apkrova apkrautų KMB sijų eksperimentiniai ir teoriniai tyrimai ypač laikotarpiu nuo 3 iki 7 metų. Šiuo laikotarpiu betono valksnumas, galima sakyti, būtų beveik įvykęs, ir todėl medienės sijos įrašos būtų maksimalios, nepaisant tai, kad medienos valksnumas dar būtų aktyvus. Šiuo pagrindu ribinis 7 metų laikotarpis būtų lemiamas, nustatant KMB sijos medinio komponento skerspjuvį.

### 5.3. EKSPERIMENTINIŲ IR TEORINIŲ REZULTATŲ SUGRETINIMAS

Teorinio skaičiavimo rezultatai pagal 2.3 skyriuje autoriaus pasiūlytą metodiką sugretinti su eksperimentinių tyrimų rezultatais. Rezultatai sugretinti, kai KMB sija buvo apkrauta nuolatine ir naudojimo apkrovomis. Iš KMB sijų eksperimentinių tyrimų medienos tašų juostų, betono plokščių ir OSB sienelių išilginių santykinų deformacijų reikšmės užfiksuotos pagal KMB sijų bandymo programos (4.14 pav.) 8 taško daviklių rodmenų vidurkius. Medžiagų įtempiai apskaičiuoti tarus, kad, esant nagrinėjamos apkrovos lygiui, galioja Huko dėsnis. Teoriniai betono plokštės gniuždomieji/tempiamieji įtempiai apskaičiuoti (2.32) formule, medienos kraštiniai tempiamieji įtempiai apskaičiuoti (2.33) formule, OSB plokštės tempiamieji įtempiai ties betono plokšte bei medine juosta apskaičiuoti (2.34) formule. KMB sijos tarpatramio vidurio betono plokštės, medienos tašų juostos bei OSB sienelės teoriniai ir eksperimentiniai normaliniai įtempiai sugretinti 5.16 paveiksle. Skirtumai tarp teorinių ir eksperimentinių įtempių apibendrinti 5.1 lentelėje.



5.16 pav. KMB sijos bandinių eksperimentinių (išstinė linija) ir teorinių (punktyrinė linija ir skaičiai skliaustuose) įtempių (MPa) sugretinimas

Skirtumas tarp teorinių ir eksperimentinių rezultatų paskaičiuojamas tokia formule:

$$\Delta = \frac{R_{teor} - R_{eksp}}{R_{teor}} \cdot 100\%, \quad (5.6)$$

čia:  $R_{teor}$  – teoriškai paskaičiuota reikšmė;  $R_{eksp}$  – eksperimentais nustatyta reikšmė.

Kaip matyti iš 5.16 paveikslo, nuolatinė ir naudojimo apkrovomis apkrautų KMB sijų tarpatriamio vidurio betono plokštės, medienos tašų juostos ir OSB sienelės įtempių eksperimentinis ir apskaičiuotasis pagal 2.3 skyriuje pateiktą metodiką pasiskirstymas beveik sutampa.

Iš 5.1 lentelėje pateiktų KMB sijos įtempių eksperimentinių ir teorinių rezultatų sugretinimų matyti, kad eksperimentiniai įtempiai yra mažesni už teorinius. Skirtumai, nustatyti tarp rezultatų, sudarė: betono plokštės tempiamųjų įtempių – 11–81 %, o gniuždomųjų – 11–49 %; medienos tašų juostos tempiamųjų įtempių – 5–74 %; OSB sienelės tempiamųjų įtempių – 5–74 %.

**5.1 lentelė.** KMB sijos eksperimentinių ir teorinių įtempių rezultatai ir jų skirtumai

| Bandinio Nr. | Medžiaga | Įtempių žymuo            | Teoriniai įtempiai, MPa | Eksperimentiniai įtempiai, MPa | Skirtumas, % |
|--------------|----------|--------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------|
| KMBS 01      | Betonas  | $\sigma_{1,c,mean}$      | 3,72                    | 3,27                           | 12           |
|              |          | $\sigma_{1,t,mean}$      | 2,04                    | 0,39                           | 81           |
|              | Mediena  | $\sigma_{2,7,t,0,mean}$  | 6,99                    | 3,1                            | 56           |
|              |          | $\sigma_{2,8,t,0,mean}$  | 7,99                    | 4,29                           | 46           |
|              | OSB      | $\sigma_{2,10,t,0,mean}$ | 0,98                    | 0,44                           | 55           |
|              |          | $\sigma_{2,9,t,0,mean}$  | 2,49                    | 0,94                           | 62           |
| KMBS 03      | Betonas  | $\sigma_{1,c,mean}$      | 3,48                    | 1,78                           | 49           |
|              |          | $\sigma_{1,t,mean}$      | 1,72                    | 1,2                            | 30           |
|              | Mediena  | $\sigma_{2,7,t,0,mean}$  | 7,07                    | 5,34                           | 24           |
|              |          | $\sigma_{2,8,t,0,mean}$  | 8,01                    | 6,09                           | 24           |
|              | OSB      | $\sigma_{2,10,t,0,mean}$ | 0,96                    | 0,25                           | 74           |
|              |          | $\sigma_{2,9,t,0,mean}$  | 2,54                    | 2,03                           | 20           |
| KMBS 04      | Betonas  | $\sigma_{1,c,mean}$      | 3,58                    | 3,17                           | 11           |
|              |          | $\sigma_{1,t,mean}$      | 1,91                    | 1,16                           | 39           |
|              | Mediena  | $\sigma_{2,7,t,0,mean}$  | 6,81                    | 3,91                           | 43           |
|              |          | $\sigma_{2,8,t,0,mean}$  | 7,79                    | 7,41                           | 5            |
|              | OSB      | $\sigma_{2,10,t,0,mean}$ | 0,95                    | 0,15                           | 84           |
|              |          | $\sigma_{2,9,t,0,mean}$  | 2,44                    | 2,33                           | 5            |
| KMBS 05      | Betonas  | $\sigma_{1,c,mean}$      | 3,48                    | 1,76                           | 49           |
|              |          | $\sigma_{1,t,mean}$      | 1,72                    | 1,36                           | 21           |
|              | Mediena  | $\sigma_{2,7,t,0,mean}$  | 7,07                    | 4,32                           | 39           |
|              |          | $\sigma_{2,8,t,0,mean}$  | 8,01                    | 4,43                           | 45           |
|              | OSB      | $\sigma_{2,10,t,0,mean}$ | 1,72                    | 1,36                           | 21           |
|              |          | $\sigma_{2,9,t,0,mean}$  | 7,07                    | 4,32                           | 39           |

Eksperimento metu sutelktosiomis jėgomis apkrautų KMB sijų tarpatriamio vidurio teoriniai įlinkiai apskaičiuoti (2.37) formule, o jų eksperimentinės ir teorinės reikšmės bei skirtumai pateikti 5.2 lentelėje.

**5.2 lentelė.** KMB sijos tarpatriamio vidurio eksperimentinių ir teorinių įlinkių reikšmės ir jų skirtumai

| Įlinkiai             | Bandinio Nr. |        |        |        |
|----------------------|--------------|--------|--------|--------|
|                      | KMBS01       | KMBS03 | KMBS04 | KMBS05 |
| Teoriniai, mm        | 7,586        | 7,425  | 7,375  | 7,425  |
| Eksperimentiniai, mm | 5,61         | 5,08   | 4,37   | 5,86   |
| Skirtumas, %         | 26           | 32     | 41     | 21     |

KMB sijų tarpsluoksnių jungčių tarp OSB sienelės ir betono plokštės eksperimentinės ir teorinės slinkčių reikšmės bei jų skirtumai pateikti 5.3 lentelėje.

**5.3 lentelė.** KMB sijos tarpsluoksnių jungčių eksperimentinių ir teorinių slinkčių reikšmės ir jų skirtumai

| Įlinkiai             | Bandinio Nr. |        |        |        |
|----------------------|--------------|--------|--------|--------|
|                      | KMBS01       | KMBS03 | KMBS04 | KMBS05 |
| Teoriniai, mm        | 0,089        | 0,087  | 0,088  | 0,087  |
| Eksperimentiniai, mm | 0,018        | 0,03   | 0,013  | 0,014  |
| Skirtumas, %         | 80           | 66     | 85     | 84     |

Iš 5.2 ir 5.3 lentelių matyti, kad KMB sijos tarpatriamio vidurio įlinkių bei tarpsluoksnių tarp OSB sienelės ir betono plokštės jungties slinkčių eksperimentinės reikšmės yra didesnės už teorines.

## 5.4. IŠVADOS

KMB sijoje naudotų medžiagų savybių variacijos koeficientai, nustatyti atlikus trumpalaikius standartinius bandymus, buvo nevienodi. Autoriaus siūlomą  $\gamma$  metodu atlikti medžiagos savybių su  $\pm 20\%$  sklaidos intervalu skaičiavimai parodė, kad medienos tamprumo bei jungės slankumo modulių sklaida turi santykinai didelę įtaką medienos tašų juostos normaliniams įtempiams, šlyties vienetinei jėgai jungtyje, sijos tarpatriamio vidurio įlinkiui, jungties slankiui, tačiau betono bei OSB plokštės tamprumo modulių sklaida šioms rodikliams turi mažesnę įtaką.

Betono bei medienos valkšnumas, betono traukumas turi didelę įtaką KMB sijų elgsenai, kai yra ilgalaikis apkrovimas. Nagrinėjamuose konstrukcijos ribiniuose būviuose nepakanka atsižvelgti tik į ilgalaikio apkrovimo laikotarpius  $t = 0$  ir  $t = \infty$ , kuris taikomas medienos arba betono konstrukcijoms. Būtina papildomai atlikti ilgalaikę apkrovą apkrautų KMB sijų eksperimentinius ir teorinius tyrimus laikotarpiu tarp 3 ir 7 metų.

Sugretinus teorinius rezultatus, apskaičiuotus autoriaus siūlomą KMB sijos skaičiavimo  $\gamma$  metodu, su eksperimentiniais rezultatais, gautas skirtumas tarp eksperimentinių ir teorinių poslinkių ir įtempių nėra itin dideli. KMB sijos skerspjūvio eksperimentinių ir teorinių įtempių pasiskirstymo pobūdis beveik tapatus.

## BAIGIAMOSIOS IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Pasiūlytas iš esmės naujo tipo KMB sijinės perdangos konstrukcinis sprendimas, kuriame šios perdangos viršutinė juosta yra betoninė plokštė, o medinė sija yra sudėtinio tėjinio skerspjuvio, sudaryto iš OSB sienelės ir į ją įklijuotų medinių lentų apatinės juostos. Išanalizuota šios konstrukcijos elgsena ir praktinio taikymo galimybės taip pat parengta jų projektavimo metodika.
2. Darbe atlikta dažniausiai naudojamų KMB skerspjuvio tarp sluoksnių jungčių tipų ir jų savybių analizė. Pasiūlytosios KMB sijų įlaidinės jungties standumui ir stiprumui padidinti išnagrinėtos dviejų tipų jungtys tinkamos naudoti betono plokštės ir medinės sijos sienelės jungtims.
3. Bandymais nustatyti jungčių su skirtingo tipo jungėmis apkrovos ir slinkties priklausomybės nuo OSB sienelės storio ir atstumo tarp jungių parametrai. Nustatyta, kad jungčių su naujo tipo „įvorinėmis“ jungėmis slankumo moduliai yra 10–40 % didesni nei jungčių su armatūrinėmis jungėmis. Nustatyta, kad OSB sienelės storis beveik neturi įtakos jungties standumui. Tačiau bandinių su 12 mm storio OSB plokšte jungties atsparis 40–80 % didesnis nei bandinių su 10 mm storio plokšte. Autorius, remdamasis atlikta analize, pasiūlė praktikoje jungčiai tarp OSB sienelės ir betono plokštės naudoti „įvorines“ junges.
4. Atlikta serija KMB sijų trumpalaikių gryo lenkimo bandymų. Nustatytos KMB sijų tarpatrio vidurio įlinkių ir slinkčių tarp OSB sienelės ir betono plokštės labai mažos reikšmės, apkrovus jas nuolatine ir naudinga apkrovomis. Tuo patvirtinamas „įvorinių“ jungių efektyvumas esant įlaidinei jungčiai. Konstrukcijos irties pobūdis pasirodė esąs trapus, ir tai įvyko beveik visais atvejais, trūkus medinių lentų dantytų dygių jungtims.
5. Remiantis lenkiamų mechanškai sujungtų skerspjuvio komponentų ir medinių plonasienių sijų projektavimo metodikomis, parengtas racionalus lenkiamų nagrinėjamų naujo tipo KMB sijų projektavimo metodas.
6. Apdorojus bandymo rezultatus ir išanalizavus naujosios konstrukcijos elgseną bei irties pobūdį, nustatyta, kad eksperimentiniai komponentų įtempiai nedaug skiriasi nuo pasiūlytu inžineriniu metodu apskaičiuotų teorinių reikšmių.
7. Taikant naujo tipo KMB konstrukcijas praktikoje, būtina papildomai apsaugoti sijos OSB sienelės įlaidinę dalį į betoną, apsaugant ją nuo brinkimo betonavimo ir betono kietėjimo metu. Autorius pasiūlė apsaugai naudoti poliuretalinį laką.
8. Pateiktas standartinis skaičiavimo modelis, kuriuo atsižvelgiama į ilgalaikių deformacijų įtaką konstrukcijų elgsenai. Modelio patikimumui įvertinti reikia atlikti nagrinėjamų KMB sijų ir „įvorinių“ jungių papildomus tyrimus, veikiant ilgalaikėms apkrovoms.

9. Remiantis atliktų teorinių ir eksperimentinių tyrimų rezultatais, siūloma naudoti sukurtą naujo tipo KMB siją su „įvorinėmis“ jungėmis ir jų analizės bei projektavimo metodiką pastatų iki 10 m tarpatramio perdangų projektavimo ir statybos praktikoje.

## LITERATŪRA

### NORMOS IR STANDARTAI

1. E DIN 1052: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau, 2000, 192 p.
2. European Standard, prEN 1992-1 (Eurocode 2): Design of concrete structures - Part 1: General rules and rules for buildings, Final draft, 2001, 230 p.
3. European Standard, prEN 1994-1 (Eurocode 4): Design of composite steel and concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings, Final draft, 2004, 118 p.
4. European Standard, prENV 1995-1-1 (Eurocode 5): Design of timber structures. Part 1-1 General rules and rules for buildings. Final draft, 2001, 121 p.
5. ISO 554:1976. Standard atmospheres for conditioning and/or testing – Specifications. Vilnius: LSD, 1976, 4 p.
6. ISO 3129:1975. Wood – Sampling methods and general requirements for physical and mechanical tests. Vilnius: LSD, 1975, 4 p.
7. ISO 3131:1975. Wood – Determination of density for physical and mechanical tests. Vilnius: LSD, 1975, 2 p.
8. ISO 3534-3:1999. Statistics – Vocabulary and symbols – Part 3: Design of experiments. Vilnius: LSD, 1999, 46 p.
9. LST EN 206. Betonai. 1 dalis. Techniniai reikalavimai, savybės, gamyba ir atitiktis. (Concrete. Part 1: Specification, performance, production and conformity). Vilnius: LSD, 2002, 68 p.
10. LST EN 300. Orientuotosios skiedrantų plokštės (OSB). Apibrėžimai, klasifikacija ir techniniai reikalavimai (Oriented Strand Boards (OSB). Definitions, classification and specifications). Vilnius: LSD, 1999, 20 p.
11. LST EN 338. Statybinė mediena. Stiprumo klasės (Structural timber. Strength classes). Vilnius: LSD, 2004, 9 p.
12. LST EN 380. Medinės konstrukcijos. Bandymo metodai. Bendrieji bandymo statinė apkrova principai (Timber structures – test methods – General principles for static testing). Vilnius: LSD, 2002, 8 p.
13. LST EN 385. Dantytais dygiais sujungta statybinė mediena. Eksploatacinių charakteristikų reikalavimai ir mažiausieji gamybos reikalavimai (Finger jointed structural timber. Performance requirements and minimum production requirements). Vilnius: LSD, 2002, 16 p.

14. LST EN 595. Medinės konstrukcijos. Bandymo metodai. Bandymas santvarų stiprumui ir deformacijos pokyčiams nustatyti (Timber structures. Test methods. Test of trusses for the determination of strength and deformation behaviour). Vilnius: LSD, 2001, 8 p.
15. LST EN 12369-1. Medienos skydai. Charakteristinės vertės, taikomos statybiniam projektavimui. 1 dalis. OSB, smulkinių ir plaušų plokštės (Wood-based panels – Characteristic values for structural design – Part 1: OSB, particleboards and fibreboards). Vilnius: LSD, 2002, 16 p.
16. LST EN 12390-3. Betono bandymas. 3 dalis. Bandinių stipris gniuždant (Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens). Vilnius: LSD, 2003, 15 p.
17. LST EN 12390-6. Betono bandymas. 6 dalis. Bandinių stipris tempiant skėlimu (Testing hardened concrete – Part 6: Tensile splitting strength of test specimens). Vilnius: LSD, 2003, 9 p.
18. LST EN 26891. Medinės konstrukcijos. Sujungimai mechaninėmis tvirtinimo detalėmis. Bendrieji mechaninio stiprio ir deformacijų būdingųjų savybių nustatymo principai (ISO 6891:1983) (Timber structures – Joints made with mechanical fasteners – General principles for the determination of strength and deformation characteristics (ISO 6891:1983)). Vilnius: LSD, 2000, 6 p.
19. SIA 265 (Swisscode 5): Hozbau, Vernehmlassugsentwurf. Schweiz. Ingenieur- und Architektenverein, Zurich, 2001.
20. STR 2.05.04:2003. Poveikiai ir apkrovos. Valstybės žinios, Nr.59-2683, 2003.
21. STR 2.05.05:2005. Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. Valstybės žinios, Nr. 98-3711, 2005.
22. STR 2.05.07:2005. Medinių konstrukcijų projektavimas. Valstybės žinios, Nr. 25-818, 2005.
23. ГОСТ 24452-80. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона. Москва: Издательство стандартов, 1980, 15 с.
24. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции. Строительные нормы и правила. Москва: Госстроя СССР, 1983, 32 с.

#### PUBLIKACIJOS

25. Ackermann, G.; Burkhardt, M. Tragverhalten von bewehrten Verbundfugen bei Fertigteilen und Ortbeton in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit. *Betonbau und Stahlbetonbau* 87, 1992, p. 197–200.
26. Aicher, S.; Klöck, W.; Dill-Langer, G.; Radovic, B. Nails and nailplates as shear connectors for timber-concrete composite constructions. *Otto-Graf-Journal*, Vol 14, 2003, p. 189–210.

27. Amadio, C.; Ceccotti, A.; Di Marco, R.; Fragiaco, M. Numerical evaluation of long-term behaviour of timber-concrete composite beams. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> WCTE. Whistler Resort, British Columbia, Canada, 2000, p. 8.2.4-1–8.2.4-9.
28. Andriamitantsoa, L. D. Creep. In: Timber Engineering – STEP 1. Eds.: Blass, H. J.; Aune, P.; Choo, B. S. et al. Almere: Centrum Hout, 1995, p. A19/1–A19/5.
29. Armstrong, L. D.; Kingston, R. S. T. The effect moisture content changes on the deformation of wood under stress. *Australian Journal of Applied Science*, Vol 13, No 4, 1962, p. 257–276.
30. Bačinskas, D. Lenkiamųjų gelžbetoninių elementų ilgalaikių deformacijų modelis. Daktaro disertacija. Vilnius, 2002, 103 p.
31. Ballerini, M.; Crocetti, R.; Piazza, M. An Experimental Investigation on Notched Connections for Timber-Concrete Composite Structures. In: Proceedings of 7<sup>th</sup> World Conference on Timber Engineering (WCTE). Shah Alam, Malaysia, 2002, p. 171–178.
32. Bareišis, J.; Konstrukcinių kompozitų statinis ir ciklinis stiprumas. Habilitacinio darbo santrauka, Kauno technologijos universitetas, Kaunas: Technologija, 1995, 36 p.
33. Bathon, L.; Clouston, P. Experimental and numerical results on semi prestressed wood-concrete composite floor systems for long span applications. In: Proceedings of 8<sup>th</sup> WCTE. Vol 1, Lahti, Finland, 2004, p. 339–344.
34. Bathon, L. A.; Graf, M. A Continuous Wood–Concrete – Composite System. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> WCTE. Whistler Resort, British Columbia, Canada, 2000, p. 8.2.2-1–8.2.2-8.
35. Benitez, M. F. Development and testing of timber/concrete shear connectors. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> WCTE. Whistler Resort, British Columbia, Canada, 2000, p. 8.3.2-1–8.3.2-8.
36. Benitez, M. F. Tests and analytical evaluation of a composite flooring system. In: Proceedings of 8<sup>th</sup> WCTE. Vol 2, Lahti, Finland, 2004, p. 549–554.
37. Bergfelder, J. Näherungsverfahren zur Berechnung allgemeiner zusammengesetzter holzerner Biegeträger mit elastischem Verbund. *Bauingenieur* 46, 1974, p. 350–357.
38. Blass, H. J. Verbundkonstruktion Holz-Beton - Stand der Technik, Bemessungsgrundlagen, ausgeführte Bauten. In: Tagungsband. Dreiländer-Holztagung, Garmisch-Partenkirchen, 1993, p. 187–195.
39. Bode, H. Euro-Verbundbau. Konstruktion und Berechnung von Verbundkonstruktionen auf Basis des EC4: Decken, Träger, Stützen, Verbundmittel, Brandverhalten und Verbindungen. Werner Verlag, 2. Auflage, 1998, p. 131.
40. Bou Said, E.; Jullien, J.; Ceccotti, A. Long term modelling of timber-concrete composite

- structures in variable climates. In: Proceedings of 8<sup>th</sup> WCTE. Vol 2, Lahti, Finland, 2004, p. 143–148.
41. Brown, R.; Kermani, A. Flange width contribution to shear strength in engineered I-joists. In: Proceedings of 8<sup>th</sup> WCTE. Vol 3, Lahti, Finland, 2004, p. 383–388.
  42. Bruninghoff, H.; Cyron, G.; Ehlbeck, J. und andere. Holzbauwerke. Eine ausführliche Erläuterung zu DIN 1052 Teil 1 bis Teil 3. Berlin, 1989, 238 p.
  43. Brunner, M.; Gerber, Ch. Composite decks of concrete glued to timber. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> WCTE. Whistler Resort, British Columbia, Canada, 2000, p. P46-1–P46-8.
  44. Brunner, M.; Gerber, Ch. Long-term Tests on a glued Timber Concrete Composite. In: Proceedings of 7<sup>th</sup> WCTE. Shah Alam, Malaysia, 2002, p. 207–212.
  45. Caparetti, S.; Ceccotti, A. Service Behavior of Timber-Concrete Composite Beams: a 5-Year Monitoring and Testing Experience. In: Proceedings of the International Wood Engineering Conference. New Orleans, Louisiana, USA, 1996, p. 443–449.
  46. Ceccotti, A. Composite concrete-timber structures. *Progress in Structural Engineering and Materials*, Vol 4, Issue 3, 2002, p. 264–275.
  47. Ceccotti, A. Timber-concrete composite structures. In: Timber Engineering – STEP 1. Eds.: Blass, H. J.; Aune, P.; Choo, B. S. et al. Almere: Centrum Hout, 1995, p. E13/1–E13/12.
  48. Ceccotti, A. Structural Timber: Characteristics and Testing. *Structural Engineering International*, No 2, 1993, p. 95–98.
  49. Ceccotti, A.; Covan, C. Behaviour of Timber and Concrete Composite Load-Bearing Structures. IUFRO Timber Engineering Group Meeting. Saint John, New Brunswick, Canada, 1990.
  50. Čechavičius, R. Slip of “Bulldog”-type toothed-plate connectors in steel-timber joints of open-web girders. *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol X, Suppl 1, Vilnius: Technika, 2004, p. 23–29.
  51. Demarzo, M. A.; Tacitano, M. Alternate Method to Elastically Coupled Timber-Concrete Beams. In: Proceedings of 7<sup>th</sup> WCTE. Shah Alam, Malaysia, 2002, p. 297–305.
  52. Demarzo, M. A.; Tacitano, M. Analytical results for composite wood-concrete beams by an approximate method. In: Proceedings of International Symposium: Lightweight Structures in Civil Engineering, Warsaw, Poland, 2002, p. 707–710.
  53. Demarzo, M. A.; Tacitano, M. Semirigid composite wood-concrete T-beams. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> WCTE. Whistler Resort, British Columbia, Canada, 2000, p. P47-1–P47-9.
  54. Dias, A. Experimental shear-friction tests on dowel type fastener timber-concrete joints. In: Proceedings of 8<sup>th</sup> WCTE. Vol 3, Lahti, Finland, 2004, p. 305–308.

55. Dias, A. Non-linear FEM models for timber-concrete joints made with dowel type fasteners. In: Proceedings of 8<sup>th</sup> WCTE. Vol 1, Lahti, Finland, 2004, p. 371–376.
56. Dias, A.; Van de Kuilen, J. W.; Lopes, S.; Cruz, H. Influence of interlayer on the behaviour of timber concrete composites. In: Proceedings of the International Symposium on Advanced Timber and Timber-Composite Elements for Buildings. COST-E29, Florence, Italy, 2004, 87–96 p.
57. Engesser, F. Über verdubelte Balken. *Bauingenieur*, 1922, p. 226–229.
58. Erler, K. Verbindtrager aus Holz und Polymerbeton. Leipzig, Forschungsbericht, 1992.
59. Faust, T.; Selle, R. Properties of Composite Joints of Timber-LWAC Composite Structures. Leipzig Annual Civil Engineering Report, LACER No 4, 1999, p. 231–240
60. Fontana, M.; Frangi, A. Fire Behavior of Timber – Concrete Composite Slabs. In: Proceedings of 5<sup>th</sup> WCTE. Montreux, Switzerland, 1998, p. 76–83.
61. Fournely, E. et al. Structural behaviour in mixed buildings. In: Improvement of buildings' structural quality by new technologies, COST Action C12, Lisbon, 2003, p. 3–19.
62. Fournely, E.; Racher, P. Multi scale behaviour of a composite floor in static and cyclic loadings. In: Proceedings of 8<sup>th</sup> WCTE. Vol 3, Lahti, Finland, 2004, p. 383–388.
63. Fragiaco, M.; Ceccotti, A. A simplified approach for long-term evaluation of timber-concrete composite beams. In: Proceedings of 8<sup>th</sup> WCTE. Vol 2, Lahti, Finland, 2004, p. 537–542.
64. Frangi, A. Brandverhalten von Holz-Beton-Verbunddecken. Dissertation, Technische Wissenschaften ETH Zürich, No 14328, 2001, 240 p.
65. Frangi, A.; Fontana, M. Elasto-Plastic Model for Timber-Concrete Composite Beams with Ductile Connection. *Structural Engineering International*, No 1, 2003, p. 47–57.
66. Frangi A., Fontana, M.; Mischler, A. Shear behaviour of bond lines in glued laminated timber beams at high temperatures. *Wood Science Technology*, Vol 38, No 2, 2004, p. 119–126.
67. Girhammer, U. et al. Nail-plates as shear connectors in composite timber and concrete structures. In: Proceedings of IABSE 12<sup>th</sup> congress, Vancouver, 1984, p. 961–968.
68. Godycki, T.; Pawlica, J.; Kleszczewski, J. Verbunddecke aus Holzrippen und Betonplatte. *Bauingenieur* Nr. 59, 1984.
69. Grantham, R. Potential upgrade of timber frame buildings in the UK using timber-concrete composites. In: Proceedings of 8<sup>th</sup> WCTE. Vol 2, Lahti, Finland, 2004, p. 59–64.
70. Grosse, M.; Lehmann, S.; Rautenstrauch, K. Testing Connector Types of Laminated Timber-Concrete Composite Elements. International Council for Research and Innovation in Building and Construction. CIB - W18 Meeting Thirty-Four, Venice, Italy, 2001.

71. Gutkowski, R.; Balogh, J. Mechanics Behavior of Dowel Connections for Partially Composite Wood-Concrete Beams. In: Proceedings of 7<sup>th</sup> WCTE. Shah Alam, Malaysia, 2002, p. 290–295.
72. Gutkowski, R.; Balogh, J.; Natterer, J.; Brown, K.; Koike, E.; Etournaud, P. Laboratory Tests of Composite Wood–Concrete Beam and Floor Specimens. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> WCTE. Whistler Resort, British Columbia, Canada, 2000, p. 8.2.1-1–.2.1-9.
73. Gutkowski, R.; Balogh, J.; Shigidi, A. M. T.; Rogers, C. Load Tests of Composite Wood-Concrete Deep Beam Specimens. In: Proceedings of 7<sup>th</sup> WCTE. Shah Alam, Malaysia, 2002, p. 160–166.
74. Gutkowski, R.; Chen, T. M. Test and Analysis of Mixed Concrete-Wood Beams. In: Proceedings of the International Wood Engineering Conference. New Orleans, Louisiana, USA, 1996, p. 436–442.
75. Holschmacher, K.; Klotz, S.; Klug, Y.; Weisse, D. Application of steel fibre reinforced concrete for the revaluation of timber floors. In: Proceedings of the Second International Conference on Structural and Construction Engineering. Rome, Italy, 2003, p. 1393–1398.
76. Hunt, D. G. Present knowledge of mechano-sorptive creep of wood. Creep in Timber Constructions (a state of the art report). Rilem Technical Committee, No 112, 1992, p. 75–104.
77. Yttrup, P. J. Concrete Enhanced Timber. In: Proceedings of the International Wood Engineering Conference. New Orleans, Louisiana, USA 1996, p. 304–308.
78. Jorge, L.; Lopes, S.; Cruz, H. Experimental research in timber-LWAC composite structures. In: Proceedings of the International Symposium on Advanced Timber and Timber-Composite Elements for Buildings. COST-E29, Florence, Italy, 2004, p. 97–104.
79. Kaklauskas, G. Integral Constitutive Model for Deformational Analysis of Reinforced Concrete Members. Habilitation Thesis, Vilnius Gediminas Technical University, 2000, 113 p.
80. Kliger, R.; Pellicane, R. J. Stiffness Evaluation of Stressed-Skin Panels of Mixed Construction. In: Proceedings of 5<sup>th</sup> WCTE. Montreux, Switzerland, 1998, p. 84–91.
81. Kneidl, R.; Hartmann, H. Trager mit nachgiebigem Verbund. *Bauen mit Holz*, 1995, p. 285–290.
82. Kuhlmann, U.; Michelfelder, B. Grooves as shear-connectors in timber-concrete composite structures. In: Proceedings of 8<sup>th</sup> WCTE. Vol 1, Lahti, Finland, 2004, p. 301–306.
83. Kuhlmann, U.; Schanzlin, J. Berechnung von Holz-Beton-Verbunddecken. In: Fachtagung Holz-Beton-Verbundbau. Stuttgart University, 2003, p. 25–60.
84. Kvedaras, A. K.; Šapalas, A. Efektyvios plieno betono konstrukcijos ir jų taikymo

- galimybės. *Ūkio technologinis ir ekonominis vystymasis*. Vilnius: Technika. T. X, Nr. 2, 2004, p. 77–81.
85. Le, P.; Chui, Y. H.; Smith, I. Dynamic and Static Performance of Wood Floor with Concrete Topping. In: *Proceedings of 7<sup>th</sup> WCTE*. Shah Alam, Malaysia, 2002, p. 263–269.
  86. Lehmann, S.; Grosse, M.; Rautenstrauch, K. New connector types of laminated timber concrete composite element joints. In: *Proceedings of the International RILEM Symposium: Joints of timber structures*, University of Stuttgart, 2001.
  87. Van der Linden, M. L. R.; Blass, H. J. Timber-Concrete Composite Floors Systems. In: *Proceedings of the International Wood Engineering Conference*. New Orleans, Louisiana, USA, 1996, p. 309–316.
  88. Machacek, J.; Studnicka, J. Perforated shear connectors. *Steel and Composite Structures*, Vol 2, No 1, 2002, p. 51–66.
  89. Marčiukaitis, G. Statybinių kompozitų kūrimo ir savybių prognozavimo principai. Vilnius: Technika, 1998, 134 p.
  90. Meierhofer, U. A timber/concrete composite system. *Structural Engineering International*, No 2, 1993, p. 104–107.
  91. Michelfelder, B.; Kuhlmann, U. Connecting concrete and timber - Grooves as shear-connectors to perform composite ceilings. In: *Proceedings of the International Symposium on Advanced Timber and Timber-Composite Elements for Buildings*. COST-E29, Florence, Italy, 2004, p. 105–114.
  92. Milbrandt, E.; Koniger, S. Verbindungsmittel, Tabellen – Formeln – Beispiele. EGH, Dusseldorf, 1991, 47 p.
  93. Misztal, B.; Tarczewski, R. Reconstruction of Old Wooden Floors by use of the Composed Elements. In: *Proceedings of 5<sup>th</sup> WCTE*. Montreux, Switzerland, 1998, p. 92–97.
  94. Mohler, K. Über das Tragverhalten von Biegetragern und Druckstaben mit zusammengesetztem Querschnitt und nachgiebigen Verbindungsmitteln, Habilitation, TH Karlsruhe, 1956.
  95. Morlier, P.; Palka, L.C. Creep in Timber Structures. Rilem Publications, 1994, p. 9–42.
  96. Muller, H. S.; Kvitsel, V. Kriechen und Schwinden von Beton. *Beton- und Stahlbetonbau* 97, No 1, 2002, p. 8–19.
  97. Mungwa, M. S.; Jullien, J. F.; Foudjet, A.; Hentges, G. A New Shear Connector for Wood-Concrete Composite Structures. In: *Proceedings of 5<sup>th</sup> WCTE*. Montreux, Switzerland, 1998, p. 518–525.
  98. Narmontas, D. Medinių ir plieninių elementų spraustelinės jungties konstrukcinės kokybės vertinimas. Daktaro disertacija, Kaunas, 2003, 95 p.

99. Natterer, J. A way to sustainable architecture by new technologies for engineered timber structures. In: Proceeding of 8<sup>th</sup> WCTE. Vol 2, Lahti, Finland, 2004, p. 9–26.
100. Natterer, J. Modern Timber Constructions: From New Simple Techniques to High Tech Constructions. In: Proceedings of 7<sup>th</sup> WCTE. Shah Alam, Malaysia, 2002, p. 195–203.
101. Natterer, J.; Hamm, J.; Favre, P. A. Composite Wood-Concrete Floors for Multi-Story Buildings. In: Proceedings of the International Wood Engineering Conference. New Orleans, Louisiana, USA, 1996, p. 431–435.
102. Natterer, J.; Hoeft, M. Zum Tragverhalten von Holz-Beton-Verbund-Konstruktionen. Research Report CERS 1345, Ecole Polytechnique Federal de Lausanne, Schweiz, 1987.
103. N.N. Strassenbrücke in Neuseeland. *Bauen mit Holz*, No 7, 1976.
104. N.N. SFS Provis AG. Holz-Beton-Verbundsystem mit dem Stadler Verbundelement VB-48-7,5 x 100 mm. Dokumentation der SFS Provis AG, Heerbrugg, Schweiz. 1992.
105. N.N. Orientuotųjų skiedrų plokštės (OSB). Techninės charakteristikos ir panaudojimas. UAB “Rezetas”, 2001, 28 p.
106. Ozelton, E. C.; Baird, J. A. Thin web beams. In: Timber designers’ manual. Blackwell Science, 2002, p. 164–189.
107. Piazza, M.; Ballerini, M. Experimental and numerical results on timber-concrete composite floors with different connections systems. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> WCTE. Whistler Resort, British Columbia, Canada, 2000, p. 50.
108. Pincus, G. Behaviour of wood-concrete composite beams. *Journal of the Structural Division*, Vol 96, No 10, 1970, p. 2009–2019.
109. Raadschelders, J. Timber-concrete floor in existing constructions. In: Proceedings of 8<sup>th</sup> WCTE. Vol 3, Lahti, Finland, 2004, p. 555–558.
110. Rajčić, V.; Rak, M. Composite timber and lightweight (EPS) concrete constructions. In: Proceedings of International Symposium: Durability and maintenance of concrete structures. Dubrovnik, Croatia, 2004, p. 481–488.
111. Rajčić, V.; Rak, M. Continuous Shear Connecting - The Best Way to Compose Timber and Lightweight (EPS) Concrete. In: Proceedings of 7<sup>th</sup> WCTE. Shah Alam, Malaysia, 2002, p. 179–186.
112. Rajčić, V.; Zagar, Z. FEM models of composite timber-lightweight concrete floor systems. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> WCTE. Whistler Resort, British Columbia, Canada, 2000, p. P45-1–P45-8.
113. Ranta-Maunus, A.; Kortessmä, M. Creep of timber during eight years in natural environments. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> WCTE. Whistler Resort, British Columbia, Canada, 2000, p. 8.5.2-1–8.5.2-6.

114. Rovnak, M.; Duricova, A.; Ivanco, V. Non-traditional Shear Connections in Steel-Concrete Composite Structures. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> ASCCS International Conference on Steel-Concrete Composite Structures. Los Angeles, CA, USA, 2000, p. 1075–1082.
115. Sandoz, J. L.; Duro, S. Offshore timber slab by using screwed timber planks. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> WCTE. Whistler Resort, British Columbia, Canada, 2000, p. 4.1.4-1–4.1.4-5.
116. Schaub, O. Verbunddecke aus Holzrippen und Betonplatte. Patentschrift Nr. 673556, Deutsches Patentamt, 1939.
117. Schänzlin, J. Zum Langzeitverhalten von Brettstapel-Beton-Verbunddecken. Dissertation. Institut für Konstruktion und Entwurf, Stuttgart, 2003, 314 p.
118. Schänzlin, J.; Kuhlmann, U. Composite of board stack and concrete. In: Proceedings of the International Symposium on Advanced Timber and Timber-Composite Elements for Buildings. COST-E29, Florence, Italy, 2004, p. 115–124.
119. Schänzlin, J.; Kuhlmann, U. Time dependent behaviour of timber-concrete-composite structures. In: Proceedings of 8<sup>th</sup> WCTE. Vol 1, Lahti, Finland, 2004, p. 313–319.
120. Siemers, M.; Said, E. B.; Julien, J. F. Non-linear Analyses of Local Composite Timber-Concrete Behaviour. In: Proceedings of 7<sup>th</sup> WCTE. Shah Alam, Malaysia, 2002, p. 183–191.
121. Sigrist, Ch.; Gerber, Ch. Evaluation of floor systems for multi-storey buildings. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> WCTE. Whistler, British Columbia, Canada, 2000, p. 4.6.2-1–4.6.2-7.
122. Solli, K. H. Glued thin-webbed beams. In: Timber Engineering – STEP 1. Eds.: Blass, H. J.; Aune, P.; Choo, B. S. et al. Almere: Centrum Hout, 1995, p. B9/1-B9/8.
123. Sperle, E. Holzbewehrter Beton. *Beton- und Stahlbetonbau* 42, H. 5/6, 1943, p. 45–48.
124. Stevanovic, B. Elastically Coupled Timber-Concrete Beams. In: Proceedings of the International Wood Engineering Conference. New Orleans, Louisiana, USA, 1996, p. 425–430.
125. Stussi, F. Beiträge zur Berechnung und Ausbildung zusammengesetzter Vollwandträger. Schweizerische Bauzeitung Band 191, 1943, p. 271–274.
126. Stussi, F. Zusammengesetzte Vollwandträger, Abhandlungen, IABSE, 1947.
127. Suško, A. Storos OSB plokštės su medienos jungties vinimi teorinis ir eksperimentinis tyrimas. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, magistro tezė, 2003, 85 p.
128. Taylor, S. B.; Hua, G. Dynamic performance of wood framed floor systems with poured toppings. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> WCTE. Whistler Resort, British Columbia, Canada, 2000, p. 4.6.3.
129. Takac, S. Experimental Research of Wood-Concrete Composite Structures Joined by Bulldog Dowels. In: Proceedings of the International Wood Engineering Conference. New

- Orleans, Louisiana, USA 1996, p. 229–303.
130. Talja, A.; Toratti, T. Effect of Floating Floors on the Vibration Performance of Wood – Concrete Composite Floors. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> WCTE. Whistler Resort, British Columbia, Canada, 2000, p. 8.2.3-1–8.2.3-9.
  131. Toratti, T.; Talja, A.; Jarvinen, E. Classification of Human-Induced Floor Vibrations in Buildings: A Wood-Concrete Composite Floor Example. In: Proceedings of 7<sup>th</sup> WCTE. Shah Alam, Malaysia, 2002, p. 43–51.
  132. Werner, H. Holz-Beton-Verbunddecke mit einer neuartigen Fugenausbildung. Bauen mit Holz 90, No 4, 1992.

#### INTERNETO PRIEIGOS

133. HBV-Systeme. Innovationen in Holz-Verbundbauweise. 2005-02-17. Interneto prieiga: <http://www.hbv-systeme.de>
134. Yttrup, P.; Nolan, G. Concrete Enhanced Timber. The Centre for Building with Wood, Department of Architecture, University of Tasmania, Launceston, Tasmania. 2005-03-11. <http://oak.arch.utas.edu.au/research/grading.html>
135. LIGNADAL. Description technique. 2005-02-24. Interneto prieiga: <http://www.lignalithe.com/produits/produits.htm>
136. Kadikas. Produktai – Giluminiai vibratoriai. 2005-02-06. Interneto prieiga: <http://www.kadikas.lt>
137. Medienos klizai, Lipalas D2. 2005-09-04. Interneto prieiga: <http://www.achema.lt>
138. Reinforced Concrete Bridges (part 1). 2003-11-12. Interneto prieiga: [http://www.deldot.net/static/projects/archaeology/historic\\_pres/delaware\\_bridge\\_book/bridge\\_toc.html](http://www.deldot.net/static/projects/archaeology/historic_pres/delaware_bridge_book/bridge_toc.html)
139. Timber I-joists: applications and design. 2003-10-20. Interneto prieiga: <http://www.trada.co.uk/topics/engineeredwood/>
140. TIMCO Holz-Beton-Verbundsysteme. 2002-10-12. Interneto prieiga: <http://www.timco.ch>
141. Wood floor reinforcement. Dowel and crampon connectors. 2005-02-04. Interneto prieiga: <http://www.floor-reinforcement.com/legno/>