

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Albinas GAILIUS

KOMPOZICINĖS MEDŽIAGOS IR DIRBINIAI ENERGETIŠKAI EFEKTYVIŲ PASTATŲ STATYBAI

Mokomoji knyga

Vilnius „Technika“ 2012

UDK 691(075.8)
Ga-166

A. Gailius. Kompozicinės medžiagos ir dirbiniai energetiškai efektyvių pastatų statybai: mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 2012. 104 p.

Knygoje aprašytos naujos kartos kompozicinės statybinės medžiagos ir dirbiniai, pasižymintys mechaninių savybių stabilumu, geromis šilumos ir garso izoliavimo savybėmis. Parengtos ir aprašytos tokių dirbinių gamybai taikomos inovatyviosios technologijos. Naujos kartos medžiagų ir dirbinių taikymas leistų statyti ne tik energetiškai efektyvius pastatus, bet ir sudaryti jų viduje mikroklimato bei akustinį komfortą.

Mokomojoje knygoje aprašomas kompozitų klasifikavimas, struktūra, savybės, šilumos laidumas, šiuolaikinės kompozicinės medžiagos, jų bandymų metodai ir naudojimas. Išsamiai nagrinėjamos Lietuvoje gaminamos ir naudojamos kompozicinės medžiagos. Pagal įvairius požymius kompozicinės medžiagos ir dirbiniai suskirstyti į skyrius, kur glaustai pateikiama medžiagų ir jų gaminių kūrimo istorija, šiuolaikiškos gamybos technologijos, savybės, naudojimo galimybės ir ypatumai.

Mokomoji knyga skirta aukštųjų mokyklų magistrantams, studijuojantiems statybų technologijos krypties, statybos medžiagų ir gaminių šakos disciplinas. Ji taip pat bus naudinga statybos industrijos įmonių technologams, projektuotojams ir naujų kompozitų kūrėjams.

Leidinį rekomendavo VGTU Statybos fakulteto studijų komitetas

Recenzavo: doc. dr. Džigita Nagrockienė, VGTU Statybinių medžiagų katedra
doc. dr. Sigitas Vėjelis, Termoizoliacijos institutas

Leidinyi parengtas ir išleistas už Europos struktūrinių fondų lėšas, jomis finansuojant VGTU Statybos fakulteto projektą „Transporto ir civilinės inžinerijos sektorių mokslo, verslo ir studijų integralumo didinimas (TRANCIV)“, VP1-2.2-ŠMM-09-V-01-008

VGTU leidyklos TECHNIKA 1323-S mokomosios metodinės literatūros knyga
<http://leidykla.vgtu.lt>

doi:10.3846/1323-S
ISBN 978-609-457-177-0

© Albinas Gailius, 2012
© Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2012

TURINYS

Įvadas	5
1. Kompozicinių medžiagų kūrimo teorinės ir praktinės prielaidos	7
1.1. Trumpa kompozicinių medžiagų naudojimo istorinė apžvalga	7
1.2. Kompozicinių medžiagų apibūdinimas.....	9
1.3. Statybinių kompozitų klasifikavimas ir tipai	11
1.4. Granuliuotųjų intarpų įtaka cementinės matricos mikrostruktūrai	13
1.5. Intarpų granulometrijos optimizavimas ir mišinio dozavimo tikslumo statistinis vertinimas	15
2. Kompozitai su pluoštiniais intarpais.....	21
2.1. Pluoštų paskirtis. Kompozicinių medžiagų su pluoštiniais intarpais sudėtis ir savybės.....	21
2.2. Kompozitų armavimas anglies, polipropileno, plieno pluoštais.....	25
2.3. Šiaudų plaušo turintys kompozitai.....	30
2.4. Kompozitai, turintys celiuliozinių plaušinių intarpų.....	34
2.5. Džiuto ir kokoso palmių pluoštas	41
3. Kompoziciniai energetiškai efektyvūs sienų gaminiai.....	44
3.1. Kompoziciniai sienų blokeliai. Gamyba ir savybės.....	44
3.2. Kompozicinių sienų blokelių sisteminis taikymas	52
3.3. Surenkamieji sluoksniuotieji sienų gaminiai	58

4. Naujųjų technologijų kompozicinės medžiagos	83
4.1. Putų poliuretano gaminiai	83
4.2. Medienos ir cemento kompozitai.....	88
4.3. Medienos plastiko kompozitai.....	93
4.4. Intelektualiųjų technologijų energetiškai efektyvios medžiagos	95
Literatūra	102

IVADAS

Statybinių medžiagų ir dirbinių pramonė yra sunkiosios pramonės šaka ir svarbiausia statybos industrijos materialinės bazės dalis, nes medžiagų kaina sudaro apie 60 % visos pastatų statybos sąmatinės vertės.

Statybinių medžiagų pramonė perdirba labai daug žaliavų. Įmonės stengiamasi išdėstyti taip, kad būtų maksimaliai panaudotos vietinės žaliavos ir kuo mažesnės gamybos, transportavimo, produkcijos saugojimo ir energijos išlaidos.

Didinti pastatų energinį efektyvumą yra vienas iš svarbiausių ne tik šių dienų, bet ir ateities technikos bei ekonomikos uždavinių. Jį sprendžiant, pagrindinis dėmesys turi būti nukreiptas naujų statybinių medžiagų ir dirbinių kūrimui ir gamybai. Naujos statybinės medžiagos bei konstrukcijos turi turėti geras fizikines-mechanines savybes, kuo mažesnę šilumos laidumą, būti gaminamos su mažiausiomis žaliavų ir energijos sąnaudomis. Labai svarbu sukurti efektyvias statybos medžiagas ir konstrukcijas iš vietinių žaliavų, naudojant pramonės ir žemės ūkio gamybos technogenines atliekas, žaliavas iš atsinaujančiųjų išteklių ir kt. Praktika ir tyrimai rodo, kad efektyvias medžiagas bei šiuolaikinius reikalavimus atitinkančias konstrukcijas galima sukurti tik optimaliai parenkant ir išdėstant jas sudarančius komponentus.

Dauguma statybos medžiagų ir dirbinių yra daugiakomponentės, kuriose kiekvienas komponentas turi savąją paskirtį. Pvz., betonas, kurio matrica-skiedinys suriša į jį įmaišytus stambiuosius užpildus. Vis dažniau kompozicinės medžiagos bei konstrukcijos naudojamos ir statyboje. Tai įvairūs kompozitai su porėtaisiais mineraliniais arba organiniais intarpais bei atitinkama matrica, sluoksniuotosios konstrukcijos ir kt. Siekiama, kad nauji statybiniai dirbiniai būtų ne tik stiprūs, tvarūs bet ir gerai izoliuotų šilumą bei garsą. Vienkomponentės medžiagos neatitiktų tokių reikalavimų visumos.

Mokomojoje knygoje, remiantis daugelio autorių (Marčiukaitis 1998; Лобанов 1981; Сташкявичюс 2001; Kazragis, Gailius 2006) atliktais tyrimais, taip pat kompozitinių dirbinių technologijos laimėjimais, buvo įvertinta tai, kad surenkamųjų kompozitinių plokščių gamyba nėra sudėtinga, žaliavos nebrangios, o produkcija ekonomiška (<http://www.markuciai.lt>).

Pvz., surenkamosios kompozitinės plokštės ir blokai tinka bet kokios paskirties pastatams ir statiniams. Tokių statinių statybos laikas trumpas, o projektai ekonomiškai ir išsiskiria aukšta kokybe. Tokių sienų ir denginių betono paviršius itin lygus, todėl tinkamas dažyti, o fasadai išsiskiria patrauklia išvaizda. Ši pastato konstrukcija tinka tiek socialinės paskirties objektams, tiek dideliems ir mažiems prekybos centrams, parduotuvėms, vieno aukšto ar daugiaaukščiams gyvenamiesiems bei daugiafunkciams pastatams (<http://www.markuciai.lt>; <http://www.aksa.lt>; <http://www.durisolbuild.com>).

Knygoje taip pat aprašyta bendroji kompozicinių medžiagų apžvalga, išnagrinėta įvairių kompozitų struktūra, intarpų savybės ir įtaka gaminiui.

Remiantis teorija ir praktine patirtimi, mokomojoje knygoje išanalizuotos ir aprašytos kompozicinės medžiagos ir dirbiniai, skirti energetiškai efektyvių pastatų statybai.

1. KOMPOZICINIŲ MEDŽIAGŲ KŪRIMO TEORINĖS IR PRAKTINĖS PRIELAIDOS

1.1. Trumpa kompozicinių medžiagų naudojimo istorinė apžvalga

Pagrindinis kompozicinių medžiagų kūrėjų tikslas buvo kuo efektyviau panaudoti visų kompozitą sudarančių komponentų savybes, kad kompozitinis dirbinys pasižymėtų kuo didesniu spektru fizikinių-mechaninių savybių ir ilgaamžiškumu (Шоршоров 1980; Головчан 1987; Marčiukaitis 1998). Kompozitų teorijos pradžia laikomi 1887 m. vokiečių mokslininko J. Foight'o paskelbti tyrimai apie polikristalų savybių priklausomumą nuo įvairių kristalų savybių. Jis pasiūlė skaičiuoti kompozitų charakteristikas, imant vidutinius atitinkamų komponentų parametrus pagal jų tūrį, orientaciją bei fizikines ir mechanines savybes (Портной 1979). Vėliau, 1927 m., Roissas pasiūlė daugiakomponentinių medžiagų savybėms aprašyti naudoti vidutines komponentų atvirkštinio tenzorius reikšmes. Tyrimai parodė, kad tai atitinka faktines daugelio kompozicinių medžiagų savybes (Розен 1976; Головчан 1987; Marčiukaitis 1998).

Šiais suformuluotais kompozicinių medžiagų savybių nustatymo klasikiniais principais naudojasi ir šių laikų kompozitų tyrinėtojai. (Marčiukaitis 1998; Павленко 2006; Gailius, Vėjelis 2010; Сташкявичюс 2001; Kazragis, Gailius 2006).

Visą žmonijos civilizacijos raidą lydėjo ir naujų statybos medžiagų bei konstrukcijų vystymasis. Ypač sparčiais tempais kompozicinių medžiagų ir konstrukcijų kūrimas bei jų naudojimas išsiplėtojo pastaraisiais dešimtmečiais. Buvo sukurtos naujos efektyvios medžiagos, kurios tapo svarbiais komponentais, sudarant kompozitus.

Pastaruoju metu įvairiose technikos, taip pat ir statybos srityse vis dažniau naudojamos kompozicinės medžiagos, dar vadinamos tiesiog „kompozitais“. Kompozitus kuria ir jų savybes tiria daugelis įvairių šalių mokslininkų. Nemažai dėmesio skiriama šios krypties darbams

ir Lietuvoje. Pagrindiniai tokio pobūdžio tyrimai atliekami Vilniaus Gedimino technikos universitete. Statybinių kompozitų kūrimo ir savybių prognozavimo problemas sėkmingai sprendžia profesorius habil. dr. G. Marčiukaitis ir jo mokiniai, prof. habil. dr. A. Kvedaro vadovaujamo mokslo instituto „Kompozitas“ darbuotojai, prof. habil. dr. A. Kazragis, darbai vyksta VGTU Termoizoliacijos institute – vadovas prof. habil. dr. A. Laukaitis ir kiti. Minėtieji mokslininkai skelbia išvadas, kad efektyviausios yra kompozicinės medžiagos ir konstrukcijos.

Vienu iš svarbiausių statybinių medžiagų bei konstrukcijų gamintojų sėkmės veiksnių pamažu tampa naujesnių ir tobulesnių gamybos technologijų paieška. Modernioje statyboje surenkamosios konstrukcijos dažnai naudojamos statant tam tikros stiliškos ir paskirties pastatus, kurių statybas lemia greitis ir kartotinių elementų naudojimas. Senosios konstrukcijų gamybos technologijos dažniausiai nebepajėgia patenkinti šiuolaikinių statybos pramonės keliamų reikalavimų, todėl nuolat diegiami nauji gamybos būdai, o ankstesnieji sprendimai peržiūrimi iš naujo. Šiuolaikinėse statybose vis mažiau vietos lieka nelankstiems sprendimams, todėl šiandien surenkamųjų kompozitinių konstrukcijų gamintojai gali pasiūlyti ir nestandartinių sprendimų.

Modernios surenkamosios kompozitinės konstrukcijos itin vertinamos dėl jų patvarumo, ekonomiškumo ir nesudėtingo bei greito montavimo statybos vietoje. Architektūriniu požiūriu tai yra universali konstrukcija.

Surenkamųjų kompozitinių konstrukcijų gamybos būdas nenkenksmingas supančiai aplinkai, nes gamybos metu liekančios atliekos perdirbamos, be to, sukelia mažiau triukšmo ir dulkių statybos aikštelėje.

Surenkamosios gelžbetoninės konstrukcijos tinka įvairios paskirties pastatams bei statiniams. Jų statybos laikas trumpas, projektai ekonomiški ir kokybiški. Jos tinka didelėms erdvėms, sienų ir denginių paviršius itin lygus, todėl lengvai dažomas, fasadai būna patrauklios išvaizdos.

Šiuo keliu vis aktyviau pradeda žengti ir Lietuvos statybų medžiagų bei konstrukcijų projektuotojai ir gamintojai, kurdami naujos kartos kompozicines medžiagas ir dirbinius, skirtus energetiškai efektyvių pastatų statybai (<http://www.markuciai.lt>; http://www.ekosofija.com/durisol_info.html).

Idėja sukurti medžiagą iš dviejų ar daugiau medžiagų egzistuoja nuo tų laikų, kai tik žmogus pradėjo naudotis gamtos sukurtomis medžiagomis. Tikslas – gauti medžiagą su savybėmis, kurių neturi nė viena atskirai paimta jos sudedamoji dalis. Taigi, kompozicinė medžiaga arba konstrukcija yra daugiakomponentė sistema, sudaryta iš dviejų ar daugiau komponentų arba fazių. Dėl to ji įgyja savybių, skirtingų nuo pavienių komponentų savybių. Kitaip sakant, kompozitas – tai mažiausiai dviejų skirtingų medžiagų derinys, kuriame galima nustatyti ribas, atskiriančias jį sudarančias medžiagas. Komponentų medžiagos parenkamos ir išdėstomos gaminyje pagal paskirtį, gamybos technologiją ir kitus reikalavimus.

1.2. Kompozicinių medžiagų apibūdinimas

Kompozicinė medžiaga laikoma medžiaga, kuri turi tokius bruožus (Marčiukaitis 1998; Павленко 2006; Головчан 1987):

- sudėtis, forma ir medžiagos komponentų pasiskirstymas yra iš anksto suprojektuoti;
- medžiaga susideda iš dviejų ar daugiau komponentų, besiskiriančių savo chemine sudėtimi ir vienas nuo kito aiškiai išreikšta riba;
- medžiagos savybės priklauso nuo kiekvieno iš jos komponentų, kurie medžiagoje turi sudaryti tam tikrą optimalią dalį;
- medžiaga turi tokias eksploatacines savybes, kurių neturi nė vienas atskirai paimtas komponentas;
- medžiaga yra nevienalytė mikrotūryje, bet vienalytė makrotūryje.

Tačiau dar pasitaiko skirtingų nuomonių, ką laikyti kompozicine medžiaga, kadangi praktiškai kartais sunku atskirti įprastines monolitines medžiagas nuo kompozicinių arba daugiakomponenčių medžiagų. Kristaliuosius kūnus iš vienos medžiagos galima priskirti ir prie kompozicinių medžiagų, parenkant kristalus kaip komponentus. Mokslo tyrimuose ir praktikoje priimta, kad jeigu vienas iš medžiagos komponentų turi vientisą formą, tai jis laikomas matrica, o kita dalis, tam tikrais dydžiais ir forma įterpta į matricą, laikoma tarpais, armuojančiaisiais ar kitokią paskirtį turinčiais elementais (1 pav.). Šie tarpai medžiagai-matricai suteikia naujų savybių, kurių ji neturi. Pavyzdžiui, į betono mišinį įmaišę porėtųjų granuliu, turėsime gaminį su mažesniu šilumos laidžiu. Tarpas terminas apima ir didesnes oro poras bei tuštymas, įterptas į matricą (Marčiukaitis 1998; Головчан 1987).

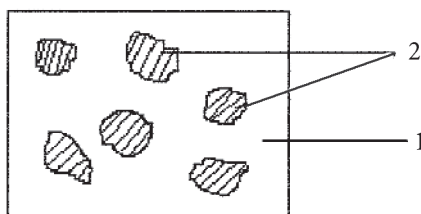
Statybos reikmėms kuriami ir naudojami kompozitiniai dirbiniai daugiausia gaminami iš tokių savo savybėmis skirtingų komponentų: cemento, plieno, aliuminio, medžio, įvairių putplasčių, stikloplasčio, mineralinės vatos ir kt. Kompozito struktūroje skiriamos dvi dalys: užpildai arba tarpai ir matrica, kuri sujungia visus komponentus į vieną kūną (1.1 pav.) (Marčiukaitis 1998). Praktika rodo, kad didžiausią įtaką kompozito savybėms turi užpildai, jų pasiskirstymas ir išdėstymas matricoje. Esant tai pačiai matricai, bet keičiant užpildus, jų savybes ir kiekį, galima gauti pageidaujamų savybių kompozicines medžiagas.

Kuriant kompozicinę medžiagą ar konstrukciją, siekiama kuo geriau panaudoti ne tik įvairių komponentų stiprį ir deformatyvumą, bet ir termoizoliacines savybes, antikorozinį atsparumą, drėgmės nelaidumą ir kitus jų ypatumus. Jei viena dedamoji dalis gerai atlaiko mechaninius poveikius, kita nepraleidžia šilumos, trečia – drėgmės, tai jas reikiamai išdėsčius ir sujungus galima gauti stiprią, gerai šilumą ir drėgmę izoliuojančią medžiagą ar konstrukciją, vadinamą statybiniu kompozitiniu dirbiniu (<http://www.durisol.com>; <http://www.betonocentras.lt/lt/sprendimai-ir-produktai>).

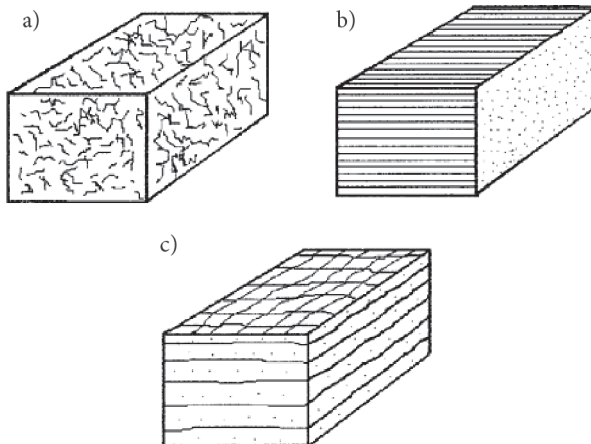
1.3. Statybinių kompozitų klasifikavimas ir tipai

Kompozitai klasifikuojami pagal tarpų formą. Yra trys pagal tarpų formą klasifikuojamų kompozitų grupės (Marčiukaitis 1998):

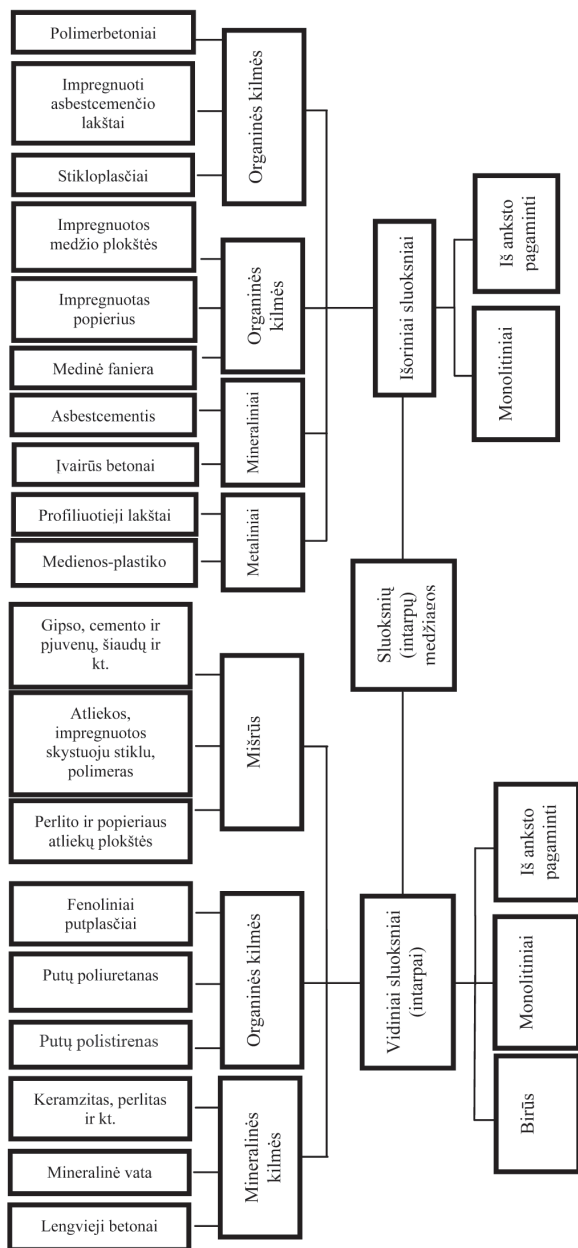
- kompozitai su granuliuotaisiais (dispersiniais) tarpais (1.1 pav.);
- kompozitai su plaušiniais tarpais (fibromis) (1.2 pav.);
- sluoksniuotieji kompozitai (1.2 pav., b, c).



1.1 pav. Kompozitai su granuliuotaisiais (dispersiniais) tarpais. Kompozito schema: 1 – matrica; 2 – intarpai (Marčiukaitis 1998)



1.2 pav. Kompozitų su plaušiniais tarpais tipų schemas: a – chaotiškai išdėstyti; b – orientuotai išdėstyti; c – sluoksniuotieji (Marčiukaitis 1998)



1.3 pav. Kompozicinių medžiagų klasifikavimas (Marčiukaitis 1998)

Kompozicinės medžiagos gali skirtis tarpų išdėstymu matricoje. Šių grupių statybinių kompozitų įvairovė pagal matricos rišiklius ir naudojamus tarpus pateikta 1.1 ir 1.2 pav. (Marčiukaitis 1998).

Energetiškai efektyvių pastatų statybai skirti kompozitai gaminami su termoizoliaciniais tarpais arba sluoksniuotieji (1.3 pav.). (Marčiukaitis 1998; Павленко 2006; Gailius, Vėjelis 2010; Сташкявичюс 2001; Kazragis, Gailius 2006).

Analizuojant 1.1, 1.2 ir 1.3 pav. matyti, kad kompozitai klasifikuojami pagal struktūrą, panaudotus tarpus, gamybos būdą (liejimas, presavimas, valcavimas, vibropresavimas, laminavimas ir kt. (Marčiukaitis 1998).

Liejimo būdu daugiausia gaminami kompozitai su chaotiškai išdėstytais dispersiniais arba plaušiniais tarpais. Presuojami kompozitai yra tokie, kurių gamybos metu komponentai sudedami pagal reikiamą gaminio formą ir supresuojami į monolitą. Impregnavimo būdu gali būti gaminami ir chaotiškos, ir orientuotos struktūros kompozitai. Valcavimo būdu gaunami kompozitai – tai lakštinės formos arba specialiosios konfigūracijos dirbiniai (Marčiukaitis 1998).

1.4. Granuliuotųjų tarpų įtaka cementinės matricos mikrostruktūrai

Granuliuotųjų tarpų įtaka cementinės matricos mikrostruktūrai pasireiškia tuo, kad pakeičia cemento hidratacijos sąlygas, mišinio reologiją, tankį. Granuliuotųjų tarpų buvimas medžiagoje padidina jos poringumą, esant pastoviam hidratacijos laipsniui ir bet kokiam vandens ir cemento (V/C) santykiui bei hidratacijos trukmei. Paaiškinti galima tuo, kad kontaktinės zonos tarp cemento ir tarpų kaupiasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ir todėl hidratacija lėtėja. Lenkiamojo stiprio priklausomybė nuo granuliuotųjų tarpų kiekio kompozite, kuriame matrica yra portlandcementis ir kuris pagamintas esant V/C santykiui 0,25–0,50, parodytas 1.4 pav.

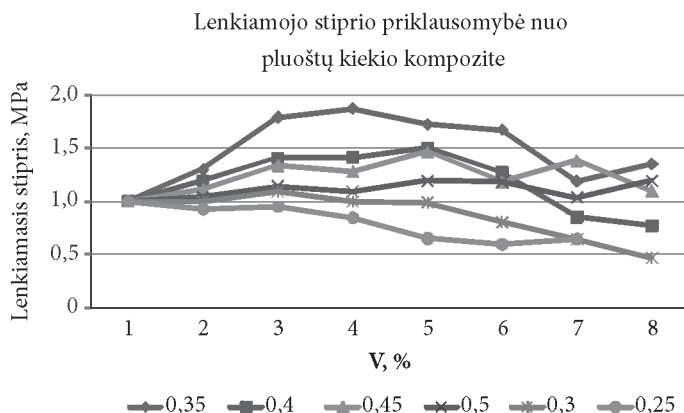
Egzistuoja optimalus V/C santykis ir optimali procentinio granuliuotųjų tarpų kiekio reikšmių sritis, kurioms esant pasiekiamos didžiausios stiprio reikšmės. Optimalus V/C santykis šiai sistemai sudaro apytikriai 0,35.

Esant dideliame granuliuotųjų tarpų kiekiui – 3 % ir daugiau, mažų porų ($0,01\text{--}0,003\ \mu\text{m}$) gerokai padaugėja. Iš to išplaukia išvada, kad mažas poringumas ir didelė mažų porų koncentracija suteikia maksimalų lenkiamąjį stiprį. Esant 6 % tarpų medžiagoje, bendrasis poringumas ir dalis stambiųjų porų yra ypač aukštas, dėl to stipris yra minimalus (Рамачандран 1986; Marčiukaitis 1998; Сендецки 1978).

Nearmuotosios matricos vidutinio dydžio ($0,1\text{--}0,01\ \mu\text{m}$) porų ir didesnio dydžio ($1\text{--}0,1\ \mu\text{m}$) porų apimtys koncentracija yra didesnė nei medžiagos, turinčios 5 % tarpų. Tuo galima paaiškinti nedidelį bet realų lenkiamojo stiprio padidėjimą, palyginti su kai kurių medžiagų nearmuotu gaminiu.

Kai kuriuos šių kompozicijų stiprumo aspektus galima būtų paaiškinti skirtingų dydžių porų pasiskirstymu. Vis dėlto būtina įvertinti ir tokius veiksnius kaip gaminio tankis, tarpų sukimbamumas su matrica, stipris, kristalizacijos laipsnis ir kt.

Hidratuotųjų portlandcemenčio sistemų senėjimas gali būti apibūdinamas kaip nuo laiko priklausantys fizikiniai ir cheminiai procesai,



1.4 pav. Lenkiamojo stiprio priklausomybė nuo tarpų kiekio kompozite

skirtingai nei hidratacija vykstantys mikrostruktūros pokyčiai, tokie kaip silikatų polimerizacija ir kt. Senėjimo reiškinys paviršiaus ploto atžvilgiu dėl N_2 adsorbcijos yra taikomas ir kompozitams, kurie yra sudaryti cemento pagrindu ir su žėručio žvyneliais, stiklo pluoštu bei kt. priedais. Esant mažiems $V/C = 0,35$ santykiams, pastebimas nedidelis linijinis paviršiaus ploto sumažėjimas, kai medžiagoje yra žėručio žvynelių, bet esant dideliems V/C santykiams ($>0,05$), šis paviršiaus ploto sumažėjimas labiau apibrėžtas (Marčiukaitis 1998; Сендецкий 1978).

1.5. Intarpų granulometrijos optimizavimas ir mišinio dozavimo tikslumo statistinis vertinimas

Kompozicijos mišinys susideda iš smulkiųjų ir stambiųjų užpildų, rišamųjų medžiagų, vandens, o prireikus – ir specialiųjų priedų. Intarpų kaina sudaro 30–50 % dirbinių kainos. Jų tūris siekia iki 80 % dirbinio tūrio. Taigi intarpų įtaka tiek kompozito savybėms, tiek jo kainai yra didelė.

Sukietėjęs kompozitas įgyja sudėtingą vidinę sandarą, kurioje paprastai išskiriami du pagrindiniai komponentai – matrica (suakmenėjęs cemento ir smėlio skiedinys) bei stambaus užpildo dalelių intarpai. Akivaizdu, kad toks požiūris į betono struktūrą tik iš dalies atspindi užpildų granulometrinės sudėties įtaką jo savybėms. Todėl perspektyvūs yra metodai, kuriais betonas tiriamas kaip tarpusavyje sukibusių dalelių sandauga. Jie gali esmingai pagerinti vienokias ar kitokias betono savybes, sudaryti sąlygas formuluoti ir išspręsti minimalios kainos ar kitokius optimizavimo uždavinius.

Klasikinė sunkiųjų betonų projektavimo metodika tiesiogiai neįvertina užpildų mišinio granulometrinės sudėties. Yra keliama tam tikri reikalavimai tik atskirai smulkaus (smėlio) ir stambaus (žvirgždo, skaldos ar kt.) užpildo granulometrijai. Užpildų mišinys analizuojamas kaip dvikomponentis. Darbe atsisakyta tokios betono užpildų mišinio schemos, betono užpildų mišinys nagrinėjamas kaip tam tikros formos ir tam tikrų matmenų dalelių sandauga – heterogeninis mišinys.

Pasiūlytas metodas, kuriame užpildų mišinio sudėties nustatymo uždavinys suformuluotas kaip tiesinio programavimo. Matematinis modelis yra toks:

$$\sum_{j=1}^m c_j x_j \rightarrow \min, \quad (a)$$

$$b_{\min,i} \leq \sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \leq b_{\max,i}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (b)$$

$$\sum_{j=1}^m d_{vj} x_j \leq h_v, \quad v = 1, 2, \dots, s, \quad (c)$$

$$\sum_{j=1}^m x_j = 1, \quad (d)$$

$$x_j \geq 0. \quad (e) \quad (1.1)$$

čia c_j – j -tojo komponento (mineralinės medžiagos) vieno masės vieneto kaina;

x_j – j -tojo komponento kiekis vieneto dalimis;

m – komponentų skaičius;

a_{ij} – j -tojo komponento kiekis, procentais, praeinantis pro i -tąjį sietą;

$b_{\min,i}, b_{\max,i}$ – ribiniai betono mišinio mineralinės dalies kiekiai, procentais, galintys išbyrėti pro i -ąjį sietą;

n – sietų skaičius;

d_{vj} – v -tosios papildomos nelygybės j -ojo komponento koeficientas;

h_v – v -tosios papildomos nelygybės laisvasis narys;

s – papildomų nelygybių skaičius.

Tikslo funkcija (1.1, a) reiškia projektuojamo mišinio mineralinio užpildo vieno masės vieneto kainą. Nelygybės (1.1, b) apriboja pro atitinkamus sietus išbyrančius mineralinės dalies kiekius. Nelygybės (1.1, c) matematiškai išreiškia technologinius apribojimus (jų gali ir nebūti). Lygtis (1.1, d) rodo, kad kintamieji išreiškiami vieneto dalimis. Nelygybė (1.1, e) garantuoja sprendinio realumą.

Taigi, išsprendus tiesinio programavimo uždavinį (1.1), gaunamas minimalios kainos mineralinės dalies mišinys. Kitas projektavimo etapas – mineralinės dalies sudėties, atitinkančios aukščiausius mišinio fizikinių ir mechaninių savybių rodiklius, paieška. Teoriškai šis tikslas pasiekiamas tada, kai projektuojamojo mišinio

granulometrijos kreivės taškai b_i ($b_i = \sum_{j=1}^m a_{ij}x_j$, $i = 1, 2, \dots, n$) sutampa su intervalų, apribotų ribinėmis kreivėmis, viduriniais taškais.

$$b_{m,i} \quad (b_{m,i} = \frac{b_{\min,i} + b_{\max,i}}{2}, \quad i = 1, 2, \dots, n).$$

Tėra vienas kelias tai pasiekti praktiškai: reikia laipsniškai mažinti intervalus tarp ribinių kreivių atitinkamų taškų ir kiekviename etape spręsti uždavinį (1.1). Gauto kiekviename etape mišinio ir etaloninio mišinio granulometrijos kreivės gali būti lyginamos koreliacijos koeficientu:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (b_i - \bar{b})(b_{m,i} - \bar{b}_m)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (b_i - \bar{b})^2 \sum_{i=1}^n (b_{m,i} - \bar{b}_m)^2}}, \quad (1.2)$$

$$\text{čia } \bar{b} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_i, \quad \bar{b}_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_{m,i}.$$

Intervalų tarp ribinių kreivių tam tikrų taškų mažinimas gali būti bet koks. Rekomenduojama tai atlikti pagal formules:

$$\left. \begin{aligned} b_{\min,i} &= b_{\min,i} + \frac{(b_{\max,i} - b_{\min,i})(k-1)}{2r}, \\ b_{\max,i} &= b_{\max,i} - \frac{(b_{\max,i} - b_{\min,i})(k-1)}{2r}, \end{aligned} \right\}, \quad (1.3)$$

čia $b_{\min,i}$, $b_{\max,i}$ – ribiniai betono mišinio mineralinės dalies kiekiai, procentais. Jie gali praeiti pro i -tąjį sietą, atliekant k -tąjį žingsnį.

Siekiant gauti stambesnės ar smulkesnės granulometrijos mišinius, rekomenduojama keisti tik vienos ribinės kreivės taškus. Visais atvejais intervalų mažinimo procesas baigiasi tada, kai, sprendžiant eilinį (su pakeistais laisvaisiais nariais) tiesinio programavimo uždavinį, negaunamas sprendinys.

Kartais jau pirmajame etape (dar nepradėjus mažinti intervalų) uždavinys (1.1) neturi sprendinio. Tokiu atveju, jeigu leidžia reikalavimai, sprendimą reikia pakartoti, pasirinkus taškus $b_{\min,i}$ ir $b_{\max,i'}$ atitinkančius netolydinę granulometriją. Jeigu sprendinio ir vėl nėra, rekomenduojama ieškoti fiktyvaus sprendinio, t. y. sprendinio, neatitinkančio reikalavimų. Tam intervalus tarp ribinių kreivių atitinkamų taškų reikia didinti tol, kol bus gautas pirmasis uždavinio sprendinys.

Pasiūlyta betono užpildų granulimetrinės sudėties nustatymo metodika, palyginti su dabar naudojamomis metodikomis, turi daug pranašumų. Ji leidžia:

- a) iš karto nustatyti, ar iš turimų mineralinių medžiagų galima gauti norimos granulometrijos mišinį;
- b) gauti pigiausią betono užpildų mišinį;
- c) gauti tankiausią betono užpildų mišinį;
- d) įvertinti technologinius ir kitus reikalavimus;
- e) gauti ir analizuoti fiktyvius (neatitinkančius priimtų apribojimų) sprendinius.

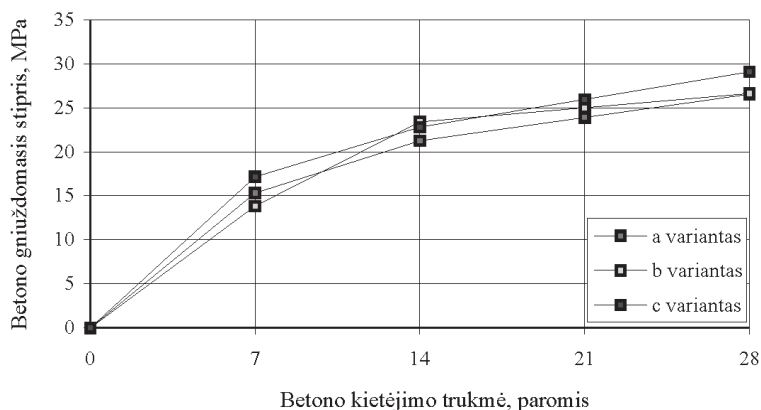
Atlikti betono gniuždymo stiprio palyginamieji bandymai. Bandymams pagamintos trys serijos bandinių, išlaikant tą patį vandens ir cemento santykį (0,37) ir betono mišinio slankumą (2–4 cm). Pirmoji bandinių serija (1.5 pav., a) suprojektuota remiantis klasikine metodika, užpildų mišinį sudarant iš dviejų komponentų (smėlio ir žvirgždo). Antrosios bandinių serijos (1.5 pav., b; 1.6. pav., c) užpildų mišinys buvo parinktas iš trijų komponentų (be pirmoje bandinių serijoje naudotų užpildų, papildomai buvo naudota skalda), pasitelkiant matematinį modelį (1.1).

Trečiosios serijos (1.5 pav., c; 1.6 pav., d) užpildo granulimetrinė sudėtis buvo suformuota iš tų pačių komponentų frakcijų. Ribinių kreivių reikšmės (1.6 pav. a, b) buvo nustatytos remiantis mažiausio poringumo mišinių projektavimo principu.

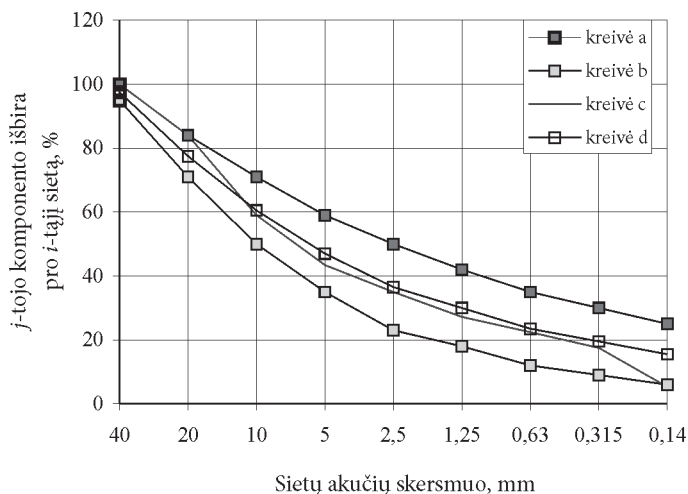
Atlikta betono maišytuvo diskretiniais dozatoriais sveriamųjų medžiagų dozavimo paklaidų vertinimo ir mažinimo būtinybės analizė. Pateiktos analitinės išraiškos, leidžiančios apskaičiuoti dozatorių technologinius parametrus. Tai leidžia kritiškai vertinti tai, kad galiojančiuose norminiuose dokumentuose nereglamentuojamos medžiagų dozavimo paklaidų didžiausios leistinosios vertės.

Išanalizuota *Teltomat-160* modelio maišytuvo sandara ir medžiagų dozavimo operacijų valdymo kompiuteriu sistema.

Gauti empiriniai statistiniai duomenys leidžia įvertinti trijų dozatorių darbo efektyvumą. Pateikti per dozatorių darbo tikslumo ir stabilumo tyrimo laikotarpį pagaminto mišinio sudėties ir fizikinių ir mechaninių savybių rodikliai.



1.5 pav. Palyginamųjų gniuždomojo betono stiprio bandymų rezultatai: a – betonas, kurio užpildų mišinys suprojektuotas naudojant klasikinę metodiką; b – betonas, kurio užpildų mišinys suprojektuotas naudojant matematinę modelį (1.3); c – betonas, kurio užpildų mišinys sudarytas iš atskirų frakcijų



1.6 pav. Betono užpildų granulimetrinės sudėties grafikas:

- a – betono užpildų mišinio granulimetrinės sudėties viršutinė ribinė kreivė;
- b – betono užpildų mišinio granulimetrinės sudėties apatinė ribinė kreivė;
- c – betono užpildų mišinio granulimetrinės sudėties, parinktos naudojant matematinį modelį (1.3), kreivė;
- d – ribinių kreivių vidurkinių taškų kreivė

Naudojant optimalios granulometrijos mišinių sudarymo metodą, galima atsisakyti dvikomponentės betono užpildų mišinio schemos. Tai leistų naudoti užpildus, kurie pagal galiojančius standartus yra netinkami (paprastai tokios medžiagos yra pigesnės). Naudojant šį sudarymo metodą, galima sėkmingai tirti betono užpildų granulometrijos įtaką jo savybėms.

Medžiagų dozavimo leistinosios paklaidos dabar galiojančiuose Lietuvos norminiuose dokumentuose nenurodomos. Todėl operatorius privalo pasirinkti tokį mišinių paruošimo technologinį režimą, kuris leistų pasiekti tiksliausią dozavimą ir kartu aukštos kokybės homogeniškus kompozito mišinius.

2. KOMPOZITAI SU PLUOŠTINIAIS INTARPAIS

2.1. Pluoštų paskirtis. Kompozicinių medžiagų su pluoštiniais intarpais sudėtis ir savybės

Pluoštai dedami į palyginti trapią cementinę struktūrą, kad padidintų smūginį atsparumą ir kompozito atsparumą suirimui, formuojantis įtrūkiams, bei norint padidinti tempiamąjį ir lenkiamąjį stiprius.

Pluoštų savybių išankstinis žinojimas yra svarbus projektuojant. Norint gauti gerus armavimo rezultatus, būtinas didelis fibrų tempiamasis stipris. Didelė fibros tamprumo modulio ir matricos tamprumo modulio santykio reikšmė rodo, kad matricos įtempių pasiskirstymas tarp matricos ir fibros yra geras. Pluoštai, kurių didelė suirimo deformacijų reikšmė, suteikia kompozitinėms medžiagoms elastiškumo. Suirimų fibrų ir matricos kontakto zonoje galima išvengti mažinant Puasono koeficiento reikšmę. Kaip rodo praktika, daugumoje pluoštų atsiranda paviršutinių įtrūkių jau juos transportuojant, apdirbant, gamybos bei saugojimo metu ir pan. Pluoštų paviršiaus neatitikimai turi reikšmės ir kompozito savybėms. Atsparumo sumažėjimas, susidarius įtrūkimams, priklauso nuo fibrų ilgio ir skersmens. Vis dėlto įtrūkių, atsirandančių ant pluošto paviršiaus, įtakos kompozitų su įvairiomis fibromis savybėms tyrimams iki šiol buvo skiriama nedaug dėmesio. Kai kurios pagrindinės pluoštų charakteristikos pateiktos 2.1 lentelėje.

Įvairių pluoštų panaudojimas kompozitinėms medžiagoms armuoti pagrįstas tuo, kad įvairių medžiagų pluošto pavidalu panaudojimas suteikia kompozitui stiprumo ir standumo, be to, padidintas pluoštų lankstumas palengvina klojimą, armuotoji medžiaga gali būti įvairiai formuojama.

Svarbi kompozitinių medžiagų ir konstrukcijų efektyvumo sąlyga, jas eksploatuojant, yra visų komponentų sąveika. Įvairaus ilgio pluoštai, atraižos, fibros medžiagos gali būti išdėstomos chaotiškai ir numatomo įrašų veikimo kryptimi, t. y. orientuotai.

2.1 lentelė. Pagrindinės pluoštų savybės

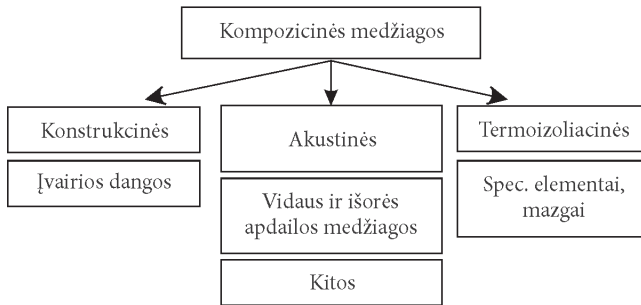
Pluoštas	Tankis, kg/m ³ ×10 ³	Tamprumo modulis, MPa	Suirimo stipris, MPa	Suirimo deformacija, %
Stiklas	2–6	80	2–4	2–3,5
Anglies pluoštas (1)	1,9	380	1,8	0,5
Anglies pluoštas (2)	1,9	230	2,6	1
Polipropilenas	0,9	5	0,5	20
Polietilenas	0,9	0,1–0,4	0,7	10
Medvilnė	1,5	4,8	0,4–0,7	3–10
Kanapių pluoštas	1,5	26,5	0,8	3
Medžio drožlės	1,5	71	0,9	–
Kokoso pal- mių pluoštas	1,4	2	0,1	–
Bambukas	–	35	–	–
„Dramblio žolė“	–	4,9	0,2	3,5

Norint efektyviai pritaikyti pluoštinius interpus, būtina įvertinti, kokią paskirtį atliks kompozitas (2.1 pav.).

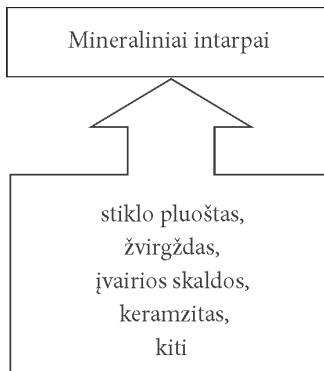
Nagrinėjant įvairius pavyzdžius, galima įvertinti savybes, kurias įgyja medžiagos su pluoštiniais interpais. Stiklo pluoštu armuotas betonas pasižymi gana aukštu gniuždomuoju ir tempiamuoju stipriu, dideliu atsparumu smūgiui (kuris apie 20 kartų didesnis nei paprastojo betono), atsparumu ugniai, daug atsparesnis trūkinėjimui ir kt. Toks kompozitas yra plačiai naudojamas pradedant nuo apdailos medžiagų iki laivų elementų statybos. Kiti mineraliniai interpai pasižymi panašiomis savybėmis, atsižvelgiant į kompozito pritaikymą (2.2 pav.).

Betonas, armuotas polimeriniais pluoštais, tokiais kaip kapronas, nailonas, polipropilenas, polietilenas, poliesteriai (2.3 pav.), taip pat pasižymi geromis savybėmis. Jo atsparumas smūgiams 2–7 kartus didesnis nei paprastojo betono, geresnis atsparumas dideliam trūkinėjimui, šalčiui, korozijai ir apie 6 kartus didesnis tempiamasis stipris nei paprastojo betono. Jis taip pat plačiai naudojamas apsauginiam sluoksniui sudaryti, dekoratyviniams elementams ir kt.

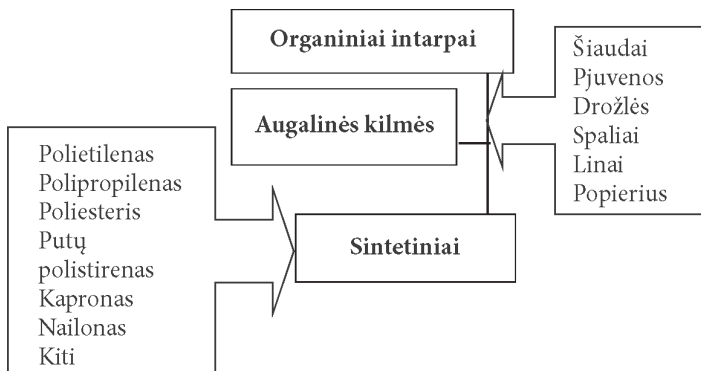
Turint reikiamą aparatūrą, leidžiančią į betono masę srove įpurkšti tarpą ir vakuumuojant tolygiai paskirstyti jį betone, kartu užtikrinama plaušelių orientacija.



2.1 pav. Kompozicinių medžiagų klasifikavimas pagal praktinį pritaikymą



2.2 pav. Mineraliniai tarpai



2.3 pav. Organiniai intarpai

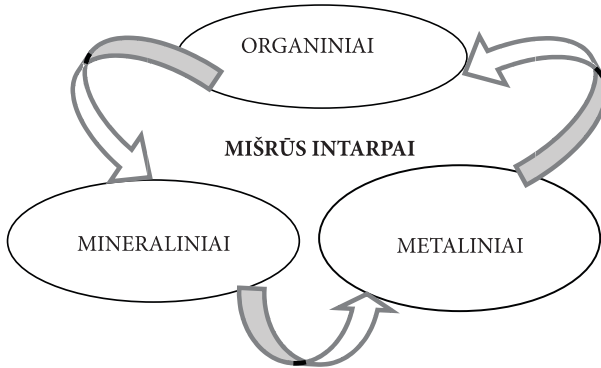
Svarbu, kad stiprio skirtumas tarp tokių kompozitų, kurių intarpai – stiklas ar plastikas, o matrica – betonas, truputį mažesnis, palyginti su plieno ir betono kompozitu, todėl stiklo bei fibrobetono ir plastikų bei fibrobetono suirstant plaušeliai neištraukiami iš matricos, o nutraukiami.

Statybinė medžiaga – gipso ir stiklo pluošto kompozitas savo savybėmis lenkia paprastąjį gipsą. Galima teigti, jog armuotojo gipso suirimas yra panašus į medienos suirimą, be to, jam būdingas didelis atsparumas ugniai. Esant aukštai temperatūrai gipsas dehidratuojasi, o kompozitas su stiklo pluoštu tokiomis sąlygomis išsaugo gana aukštą stiprumą.

Gipsui armuoti dedami ir kiti intarpai: aliumoborosilikatiniai, bazalto audinio ir kt.

Efektyvūs yra kompozitai, kurių intarpai mišrūs ir yra skirtingo skersmens ir ilgio. Tokia medžiaga naudojama kelio dangoms, oro uostų dangoms, krantinėms ir t. t. (2.4 pav.)(Marčiukaitis 1998; Лобанов 1981; Сташкявичюс 2001; Kazragis, Gailius 2006).

Polimerbetonį su mišriaisiais tarpais galima pritaikyti kelių dangoms, tiltų elementų statybai. Tokie kompozitai pasižymi pasipriešinimu smūgiams ir dilumui, atsparumu išorinės korozijos poveikiui.



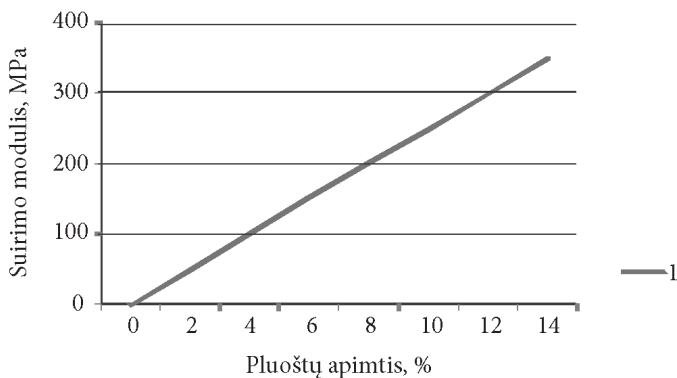
2.4 pav. Įvairios prigimties intarpų mišinių panaudojimo galimybės

Sudėtingiausias technologinis procesas, gaminant kompozitus su bet kuriais pluoštiniais intarpais, yra homogeniškų mišinių paruošimas, nes reikia palyginti nedidelį kiekį intarpų tolygiai pasiskirstyti matricioje.

2.2. Kompozitų armavimas anglies, polipropileno, plieno pluoštais

Anglies pluoštu armuoti kompozitai pasižymi dideliu stiprumu ir kietumu, todėl jų panaudojimas statyboje yra perspektyvus. Šio pluošto panaudojimo šalininkai teigia, jog jis leidžia iki minimumo sumažinti cementinių vamzdžių, surenkamųjų konstrukcijų sienų ar perdangų matmenis ir patobulinti gamybos procesus. Anglies pluoštas gali sėkmingai pakeisti fibrobetoną, kuris iki šiol armuojamas metaliniais intarpais.

Naudojant cementinėje matricioje iki 10 % viso gaminio tūrio nepertraukiamų pluoštų, buvo pastebėtas linijinis lenkimo ir tempimo stiprių bei tamprumo modulio didėjimas (Менсон, Сперлинг 1979). Kompozito su anglies pluoštu suirimo σ_c/σ_m tyrimo rezultatai pateikti 2.5 pav.



2.5 pav. Cemento matricos stiprio priklausomybė nuo anglies pluoštų kiekio joje

Tyrimams buvo gaminamos cemento sijos, armuotos plokštumoje neorientuotais kapotais plaušais (0–13 % viso anglies pluoštų tūrio). Sijos buvo pagamintos purškimo ir siurbimo būdu, esant V/C santykiui 0,30–0,40. Pluoštai pagerino kompozito tamprumo modulį, tempimo stiprį – beveik 100 %. Smūginio atsparumo padidėjimas buvo nežymus. Išlaikius tirtus gaminius vandenyje, 18–50 °C ir ore, esant santykiniam drėgniui 40–80 %, nepastebėta jokios cemento matricos bei korozinės aplinkos sąveikos.

Armėtų pluoštais 60–150 mm pločio kompozitų juostų tempiamojo stiprio riba sudaro apie 0,86 armuojant metaliniais tarpais pasiekto dydžio. Suirimą galėjo lemti bendrasis jungčių pažeidimas ir pakopinis pluoštų suirimas (Рамачандрян 1986; Марčiукaitis 1998; Сендецкий 1978, Макалитер, Лакман 1999).

Įrodyta, kad cemento matricos ir anglies pluošto kontaktų zonose yra tam tikri ploteliai, kuriuose susikaupia $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Tai galbūt turi įtakos tokiems procesams kaip pluoštų išplaušinimas. Mikroskopiniai tyrimai parodė, jog sukibimas tarp matricos ir tarpų gali būti pertraukiamas, tai patvirtina ant pluoštų matomi išilginiai įtrūkiai.

Kai anglies pluošto naudojama daugiau kaip 2 % viso gaminio tūrio, – sumažėja cemento masės slankumas. Kai anglies pluošto dedama 6 % viso gaminio tūrio, slankumas sumažėja apie 4 kartus. Didinant pluoštų kiekį, padidėja grįžtamųjų deformacijų tikimybė (Рамачандран 1986; Marčiukaitis 1998; Сендецки 1978).

Kompozitinių medžiagų kūrimo įvairumas, jų grupės ir tipai sudaro galimybes parinkti tokią medžiagą, kuri atitiktų kokybiškai naujus reikalavimus. Kompozito savybės priklauso tiek nuo jų sudarančių komponentų savybių ir jų tarpusavio sąveikos lygio monolite, tiek ir nuo komponentų bei gamybos sugretinimo. Reikia parinkti tokius komponentus, kuriuos būtų galima technologiškai apdoroti, sujungti, suteikti reikiamą formą, savybes ir kt. Pluoštų įtaka makrostruktūrai ir hidratacinėms matricos savybėms yra nepakankamai ištirta. Tuo tarpu nuomones apie armuotos matricos mikrostruktūros pokyčius padeda suvokti žinios apie kompozitinės medžiagos savybes. Taip buvo tirama pluoštinių priedų įtaka matricų cementiniu pagrindu mikrosruktūros charakteristikoms.

Buvo nustatyta, kad pluoštų įterpimas gerokai sumažina bendrojo paviršiaus plotą. Poringumo priklausomybės (naudojant vandenį) nuo hidratacijos laipsnio tyrimai rodo, kad esant tokiam pačiam hidratacijos laipsniui, pluoštiniai priedai sukelia padidintą poringumą. Tokios išvados leidžia daryti prielaidą, kad pluoštai lėtina cemento hidrataciją (Marčiukaitis 1998; *Фибробетон и его применение ...* 1979).

Toks žymus lėtinimas priklauso nuo fibrų tipo ir jų kiekio. Cemento masės, turinčios 3 % cirkonio stiklo, hidratacijos laipsnis apytiksliai 20–25 % mažesnis nei etaloninės cemento masės.

Panaudojant N₂ kaip absorbentą, nustatyta, kad pluoštiniai priedai paprastai mažina didesnių porų dydį ir skaičių bei skatina mikroporų susidarymą. Paviršiaus ploto sumažėjimas dėl N₂, įvedant pluoštinius priedus, stipriau pasireiškia esant V/C = 0,70 nei kai V/C = 0,20. Esant V/C = 0,70, paviršiaus plotas dėl N₂ sumažėjo nuo 86·103 mg/kg iki apytiksliai 50·103 mg/kg.

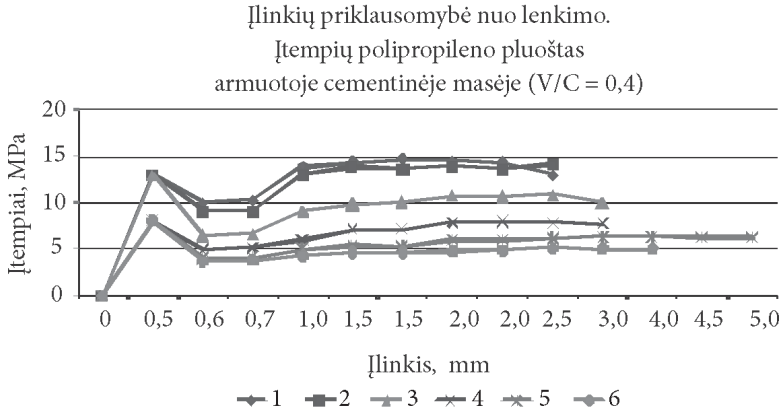
Kai $V/C = 0,20$, paviršiaus plotas praktiškai išlieka nepakitęs ir esant pluoštiniais priedams, išskyrus cirkonio stiklą. Tačiau, esant didesnėms V/C reikšmėms, paviršiaus plotas paprastai yra nedidelis. (*Фибробетон и его применение ...* 1979; Marčiukaitis 1998).

Polipropileno fibrų įterpimas į cementinę matricą padidina kompozitų kokybę po įtrūkių atsiradimo. Taip yra dėl fibrų elastingumo. Polipropilenas atsparus šarmų poveikiui ir todėl trapumo padidėjimas pluošto ir matricos kontaktinėje zonoje yra apribotas. Savybių pablogėjimas bėgant laikui čia neturėtų būti labai reikšmingas. Paprastai po įtrūkių atsiradimo lenkimo įtempių augimas yra susijęs su fibrų ilgio ir skersmens santykio augimu (2.6 pav.) (Рамачандран 1986; Marčiukaitis 1998; *Фибробетон и его применение ...* 1979; Портной и др. 1979).

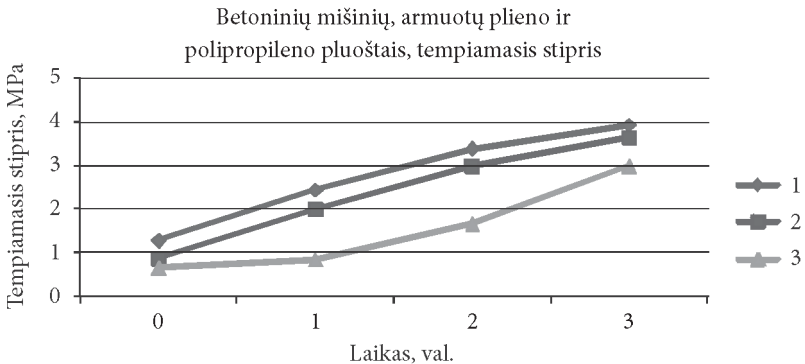
Chafeso (Рамачандран 1986) buvo išanalizuota įlinkių priklausomumo nuo apkrovos fibrobetono blokeliams, turintiems 1,5 % pluoštų nuo bendrojo tūrio. Įterpus polipropileno pluoštų, lenkiamasis ir skeliamasis stipriai paprastai mažėdavo. Suspaudimo stipris taip pat mažėjo, bet plastiškumas didėjo.

Mokslininkai, studijavę plieno fibromis armuotus gaminius, padarė išvadą, jog stiprumas po įtrūkių atsiradimo gaminyje, turinčiame polipropileno pluoštų (2 % nuo bendrojo tūrio), yra didesnis nei gaminio stiprumas su 1 % plieno fibrų. Nepertraukiamus polipropileno plėvelės tinklus cemento, išdėstytus orientuotai – lygiagrečiai su tempimo įtempiais, gali sudaryti kompozitai su padidintu lenkiamuoju stipriu ir pasižymintys valkšnumu suyrant. Ankstyvo (0–3 val.) fibrobetoninių mišinių tempiamojo stiprio didėjimas parodytas 2.7 pav. (Рамачандран 1986; Marčiukaitis 1998).

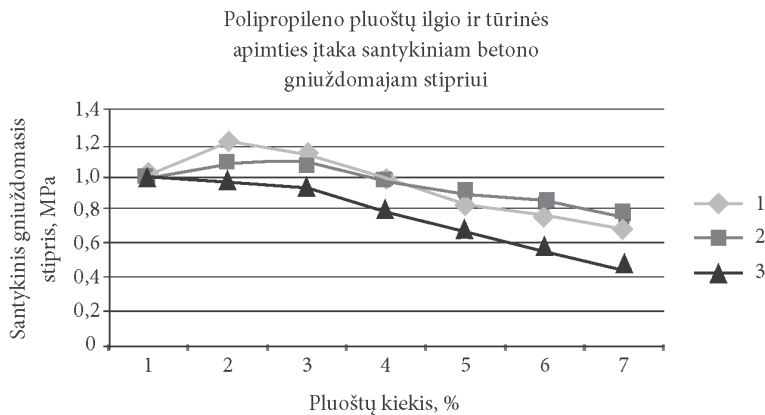
Tiek polipropileno, tiek ir plieno pluoštai gerokai padidina ankstyvąjį kompozitų tempimo stiprį. Įdėjus polipropileno pluoštų, gerokai kinta ir plastiškosios betono savybės.



2.6 pav. Lenkiamųjų įtempių priklausomybė nuo įlinkio, kai armavimui naudojami polipropileno pluoštai ($V/C = 0,4$): 1–15 μm ; 2–22 μm ; 3–49 μm , esant 26,5 Mpa; 4–49 μm , esant 4,4 Mpa; 5–50 μm , esant pluoštams su dideliu tamprumo modulių E; 6–250 μm , esant pluoštams su mažu tamprumo modulių E



2.7 pav. Betoninių mišinių tempiamojo stiprio didėjimo kinetika, kai armavimui naudojami plieno ir polipropileno pluoštai: 1 – plienas; 2 – polipropilenas; 3 – kontrolinis



2.8. pav. Polipropileno pluoštų apimtys ir fibrų ilgio įtaka
santykiniam betono gniuždomajam stipriui σ_c/σ_m po 7 parų;
Pluošto ilgis: 1 – 35 mm; 2 – 45 mm; 3 – 75 mm

Pavyzdžiui, papildant 0,11 % pluošto, nusėdimas sumažėjo 50 %, taip pat buvo sumažintas išsiskluksniavimo procesas. Kai sudėtyje yra 0,6 % pluošto, betono lenkiamasis stipris padidėja 25 %. Didinant fibrų ilgį, gniuždomasis stipris kinta nuo 20 iki 0 %. Santykinio gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo bendrojo tūrio pluoštų kiekio parodyta 2.8 pav. (Рамачандрян 1986; Марčiukaitis 1998; *Фибробетон и его применение...* 1979; Портной 1979; Павленко 2006).

Cementas ir betonas, armuotas polipropileno ir stiklo pluošto mišiniu, įgauna geresnes smūginio atsparumo savybes, palyginti su pavyzdžiais, neturinčiais polipropileno priedų. Tačiau polipropileno įterpimas į fibrobetoną mažai turi įtakos jo lenkiamajam ir tempiamajam stipriams (Павленко 2006; *Фибробетон и его применение ...* 1979; Марčiukaitis 1998).

2.3. Šiaudų plaušo turintys kompozitai

Šią kompozitų sistemą sudaro tokios žaliavos (Kazragis, Gailius 2006):

- 1) šiaudai;

- 2) portlandcemenčiai (įprastasis, kartais – skalūno portlandcementis);
- 3) mineraliniai priedai (statybinis gipsas, statybinis smėlis);
- 4) celiulioziniai rišikliai (karboksimetilceliuliozės (KMC) arba metilceliuliozės (MC) dispersijos).

Kompozitų, turinčių šiaudų ir MC, sudėtis, %, yra tokia:

- šiaudai – (13–18);
- cementas (kartu su statybiniu gipsu) – (80–85);
- MC (kietojo pavidalo) – (0,9–1,0);
- cementas – (12–32);
- statybinis gipsas – (5–33);
- smėlis – (9–18);
- PVA (50 %) – (15–30);
- specialieji priedai – (0,2–2,0);
- cemento ir gipso santykis – 1 : (0,25–1,50);
- presavimo slėgis – (0,3–1,2) MPa.

Šio tipo kompozitų sudėtis nurodyta trikampėje diagramoje (2.9 pav.), o bendrasis vaizdas – 2.10 pav.

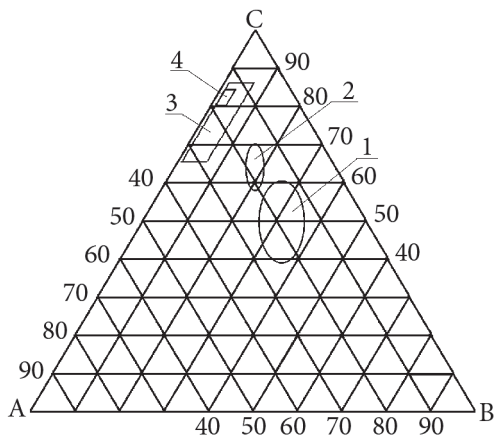
Kompozitų, turinčių šiaudų ir KMC, pagrindinių komponentų kiekiai, masės %:

- šiaudų – (8–35);
- cemento (kartu su statybiniu gipsu ir smėliu) – (64–86);
- KMC (kietojo pavidalo) – (1,2–3,7).

Toliau pateiktos pagrindinės KMC ir MC priedais surištų kompozitų fizikinės, mechaninės ir šiluminės charakteristikos.

1. *Tankis*. Išdžiovintų 80 °C temperatūroje kompozitų $\rho = (605–885) \text{ kg/m}^3$.
2. *Mechaninis stipris*. Kompozitų $R_g = (1,2–2,8) \text{ MPa}$; $R_l = (1,1–1,7) \text{ MPa}$.

Kompozitų R_g priklausomybė nuo kompozitų sudėties išreiškia ma šiomis gautomis regresinėmis lygtimis (x_1 – cementas, x_2 – gipsas, x_3 – polimeras, x_4 – užpildas):



2.9 pav. Kompozitų, sudarytų iš šiaudų (A), polimerinių rišiklių (B) ir neorganinių rišiklių bei užpildų (portlandcemenčio, smėlio, statybinio gipso) (C) ir pasižyminčių pakankamai geromis mechaninėmis bei šilumos izoliacinėmis savybėmis, vieta trikampėje sudėties diagramoje:

- 1 – portlandcementis, smėlis, gipsas, šiaudai, polivinilacetatas (PVA);
- 2 – portlandcementis, gipsas, šiaudai, *Vinnap*; 3 – portlandcementis, smėlis, gipsas, šiaudai, KMC; 4 – portlandcementis, gipsas, šiaudai, MC



2.10 pav. Kompozitų gaminių su organiniais plaušais bendrasis vaizdas (Kazragis, Gailius 2006)

- a) KMC – $y = 1,944 + 0,298 x_1 + 0,156 x_2 + 0,138 x_3 - 0,134 x_4$;
- b) MC – $y = 1,851 + 0,319 x_1 + 0,286 x_2 + 0,259 x_3 - 0,174 x_4$.
3. *Akustinės savybės*. Garso sugerties koeficientas sudaro: 1) žemojo dažnio 100–500 Hz zonoje – 0,05–0,10; 2) vidutinio dažnio 500–2000 Hz zonoje – 0,10–0,30; 3) aukštojo dažnio 2000–4000 Hz zonoje – 0,10–0,25.
4. *Šiluminės savybės*. λ , W/(m × K), sudaro: 0,08 – kai $\rho = 405 \text{ kg/m}^3$ ir 0,18 – kai $\rho = 605 \text{ kg/m}^3$.
5. *Atsparumas kaitrai*. Vienpusiškai kaitinant 100–200 °C intervale, bandinys nekinta, 250 °C – tampa rudas, 300 °C – anglėja, 400 °C – pradeda skirtis dūmai.

Kompozitų su šiaudais privalumai ir naudojimas:

1. Dedamo į kompoziciją smėlio kiekį būtina kiek galima mažinti, nes smėlis didina kompozito ρ (kvarco $\rho = 2650 \text{ kg/m}^3$) ir λ (sausiojo smėlio $\lambda = 0,25 \text{ W/(m} \times \text{K)}$).

2. Kompozitų mechaninis stipris susijęs su panaudoto cemento kiekiu ir polimerinio rišiklio tipu – vinilacetatinių rišiklių stipris yra didesnis nei celiuliozinių rišiklių. To priežastis yra nevienodas sukietėjusių polimerų mechaninis atsparumas. Štai KMC yra trapi medžiaga, o PVA Rl = 35 MPa. Tačiau, kaip matyti iš kompozitų sudėties trikampės diagramos, PVA kiekis, įeinantis į kompozito sudėtį, yra kelis kartus didesnis nei KMC kiekis. Kadangi PVA yra brangesnis nei KMC, parenkant kompozicijos sudėtį, reikia laviruoti tarp pateiktų veiksmų. Tokio tipo medžiaga galėtų būti naudojama ne kaip konstrukcinė, bet kaip šilumos izoliacinė medžiaga vertikaliosioms ertmėms tarp sienų užpildyti. Žinoma, norint gauti gaminius, kurių tankis būtų didesnis, reikėtų didinti presavimo slėgį, tačiau tai rezultatyvu tik iki tam tikros ribos, nes formavimo masėje esantys šiaudai sulaiko gaminyje šiek tiek oro, tad jos tūris tik nežymiai sumažėja.

3. *Apdorojimo galimybės*. Iš tiriamosios medžiagos pagamintus ir gerai sukietėjusius dirbinius lengva apdoroti visais mechaniniais

būdais – pjauti, gręžti, drožti, įkalti vinis ir įsukti medvaržčius. Galima suklijuoti kelis dirbinius arba klijuoti su kitomis medžiagomis. Klijavimui tinka cemento bei polimercemenčio skiediniai, polimeriniai (PVA bei perchlorviniliniai ir kt. mišiniai), įvairios mastikos, pastos (KN-3 ir kt.). Kompozitus galima pritvirtinti medvaržčiais arba prikalti vinimis.

4. *Dirbinio paviršiaus dekoravimas.* Natūralus dirbinio paviršius yra pilkai rusvos spalvos. Norint pakeisti paviršiaus architektūrinę išvaizdą arba suteikti jam kai kurių specifinių savybių (padidinti triukšmo sugertį, atsparumą vandeniui, aukštoms temperatūroms, pagerinti higieniškumą), galima jo paviršių izoliuoti specialios paskirties medžiagomis. Jas galima pritvirtinti prie pagrindo anksčiau minėtais būdais. Be to, paviršių galima dažyti bet kokiais dažais, klijuoti apmušalais ir kt.

5. *Naudojimas.* Kompozitą galima naudoti mažaaukščių pastatų išorinių sienų elementams, taip pat pertvaroms, perdangoms ir kt. gaminti. Labai efektyvi konstrukcija gaunama, kai išorinis sluoksnis yra iš tankaus kompozito, vidurinis – iš porizuotojo, o vidinis plonas sluoksnis – iš plono tankaus sluoksnio. Vidurinis sluoksnis gali būti įrengiamas iš labai efektyvios šilumos izoliacinės medžiagos, paliekant tarp išorinio sluoksnio ir vidinio (termoizoliacinio) sluoksnio 20–25 mm oro tarpą. Tokios sistemos gali būti naudojamos pastatų išorinėms atitvaroms šiltinti.

2.4. Kompozitai, turintys celiuliozinių plaušinių intarpų

Pagrindines spalių ir pelų (linų, kanapių) turinčių kompozitų sudedamąsias dalis sudaro tokie komponentai, atliekantys skirtingas funkcijas:

- celiulioziniai plaušiniai užpildai, atliekantys ne tik užpildo, bet ir organinės armatūros vaidmenį (spaliai, pelai);
- neorganiniai (mineraliniai) rišikliai, atliekantys kompozito matricos vaidmenį (cementai);
- polimeriniai priedai.

Toliau pateikiama kompozitų su celiulioziniais plaušiniais užpildais sudėtis.

1. *Celiulioziniai plaušiniai užpildai:*

- spaliai – AB „Ukmergės linai“ gamybos atlieka: piltinis tankis – 110 kg/m^3 ; dalelių ilgis 4–15 mm; dažniausiai pasitaikančios dalelės yra 8 mm ilgio;
- pelai – Vilniaus grūdų kombinato gamybos atlieka: piltinis tankis – 440 kg/m^3 ; dalelių ilgis – dauguma atvejų 3–7 mm ir net iki 30 mm.

2. *Neorganiniai (mineraliniai) rišikliai:*

- anhidritinis cementas – AB „Palemono keramika“ gamybos anhidritinis cementas, pagamintas išdegant šį mišinį, %: Kėdainių fosfogipsas $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (79–79,5), Krūnos karjero molis (16), Panevėžio „Ekrano“ gamyklos stiklo šlamas (4) ir AB „Ventos SM“ gesintosios kalkės (0,5–1). Gautas šlikeris buvo išdegamas ($850\text{--}900$) °C. Cemente buvo, %: (25,6–33,3) CaO; (27,4–41) SO_3 ; (9,1–15,6) R_2O_3 ; (14,8–32) netirpiųjų dalelių ir SiO_2 . Cemento rišimosi pradžia (0,5–2,5) val., pabaiga (2–4) val.; stipris po 28 parų: R_1 – (2,6–3) MPa, R_g – (16–18) MPa.

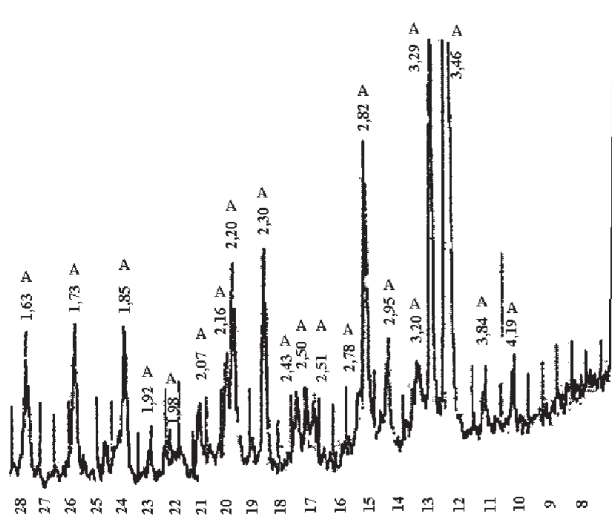
Kaip matyti iš tokiu būdu pagaminto anhidritinio cemento rentgenogramos (2.11 pav.), medžiagoje aiškiai vyrauja anhidritas.

- aluminatiniai cementai – *Gorkal-40* ir *Gorkal-70* – pagaminti įmonės „Gorkal“ (Trzebinos mst., Lenkija). Jie turi, %: (69–72) Al_2O_3 bei (28–29) CaO; kietėjimo pradžia ≥ 40 min., pabaiga ≤ 8 val.; stipris po 24 val.: R_1 – (6–8) MPa, R_g – (30–40) MPa. Rentgenofaziniai tyrimai (4.8 pav.) parodė, kad medžiagoje vyrauja $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$, $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ ir $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$ (2.12 pav.).

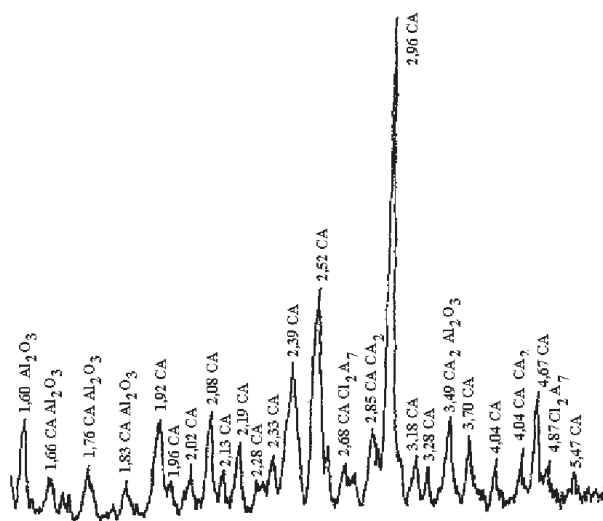
3. *Polimeriniai priedai*

Gaminant šiuos kompozitus, buvo naudoti tokie patys, kaip ir kompozitų su šiaudais, polimeriniai priedai.

4. *Specialieji priedai* (antipirenai, antiseptikai ir hidrofobizatoriai) buvo naudoti tokie patys, kaip ir šiaudams:



2.11 pav. Anhidritinio cemento rentgenograma. A – anhidritas
(Kazragis, Gailius 2006)



2.12 pav. Aliuminatinio cemento *Gorkal-70* rentgenograma. Nurodytos
smailės: Al_2O_3 – α – Al_2O_3 ; CA (Kazragis, Gailius 2006)

- $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{CA}_2 - \text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{C}_{12}\text{A}_7 - 12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$. Į kompoziciją reikia pridėti antiseptiko – Na_2SiF_6 tirpalo, kuris apsaugo kompozitus nuo pelėsių ir mikroorganizmų poveikio. Bandymai parodė, kad sukietėjusių ir kietintų ore bandinių savybės priklauso nuo jų sudėties komponentų tarpusavio santykio.

Anhidritinis cementas spalius suriša geriau nei pelus, o aliuminatiniai cementai vienodai gerai suriša ir spalius, ir pelus.

Vinilacetatiniai rišikliai (PVA, *Vinnap*), esant bet kuriam cemento tipui, celiuliozinius plaušinius užpildus suriša geriau nei celiulioziniai rišikliai (KMC, *Walocell*, MC).

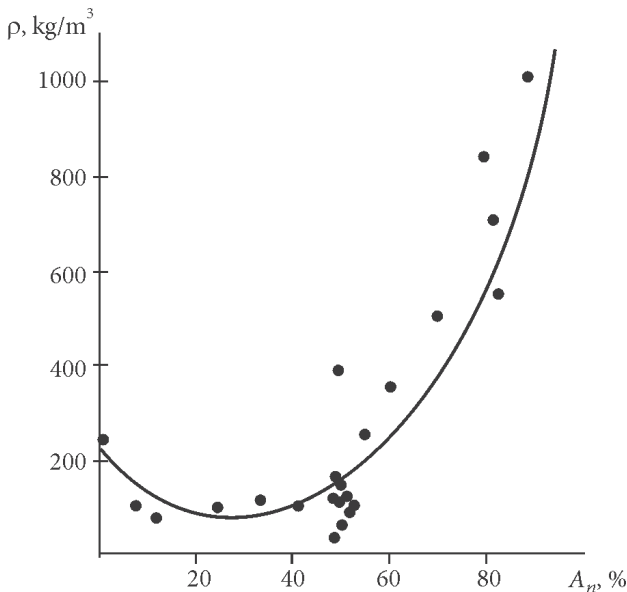
2.2 lentelėje ir 2.13 pav. pateikta optimali gautų kompozitų sudėtis.

2.2 lentelė. Bandiniuose esančių neorganinių rišiklių, polimerinių rišiklių (sausosios būvės) ir celiuliozinių plaušinių užpildų kiekiai, % (bandiniams, kurių tankis neviršija 400 kg/m^3). Žymenys: An – anhidritinis cementas, A 40 – aliuminatinis cementas-40, A 70 – aliuminatinis cementas-70, S – spaliai, P – pelai, PVA – polivinilacetatas, V – *Vinnap*, KMC – karboksimetilceliuliozė, W – *Walocell*, MC – metilceliuliozė (Kazragis, Gailius 2006)

Kompozicija	Celiulioziniai plaušiniai užpildai	Neorganiniai rišikliai	Polimeriniai rišikliai
An-S-PVA, V	47–55	45–55	1–5
An-S-KMC, W, MC	40–55	42–60	1–5
An-P-PVA, V	45–60	35–55	2–8
An-P-KMC, W, MC	45–65	30–55	0,2–0,5
A 40-S-PVA, V	Nėra	Nėra	Nėra
A 40-S-KMC, W, MC	40–45	50–60	~ 5
A 40-P-PVA, V	40–50	45–55	~ 5
A 40-P-KMC, W, MC	40–45	50–60	5–6
A 70-S-PVA, V	45–60	35–50	~ 5
A 70-S-KMC, W, MC	45–65	35–55	1–5
A 70-P-PVA, V	45–60	30–50	5–8
A 70-P-KMC, W, MC	45–70	30–55	0,5–1

Kompozitų tankio priklausomybė nuo cemento kiekio juose turi minimumą (2.14 pav.), kai cemento kiekis kompozituose yra apie 30 %. Tai galima paaiškinti tuo, kad, nesant cemento kompozicijoje arba kai jo labai nedaug, jo vaidmenį perima polimerinis rišiklis. Tačiau didėjant cemento kiekiui kompozicijoje, pasireiškia jo masės poveikis kompozito tankiui – šis rodiklis ima augti pagal parabolinę priklausomybę.

Kadangi polimerinio rišiklio masėje nėra kietosios medžiagos grūdelių, polimerinis rišiklis leidžia labiau supresuoti masę ir padidina kompozito tankį. Įdėjus į masę cemento, jo grūdeliai padidina atstumus tarp užpildo dalelių. Dėl to dirbinio tankis sumažėja. Tačiau, didėjant cemento kiekiui kompozicijoje, pasireiškia jo masės poveikis kompozito tankiui.



2.14 pav. Termoizoliacinių kompozitų, turinčių anhidritinio cemento (A_n) ir spalių, surištų KMC 4 % dispersija, tankio ρ , kg/m^3 priklausomybė nuo cemento kiekio juose A_n , %

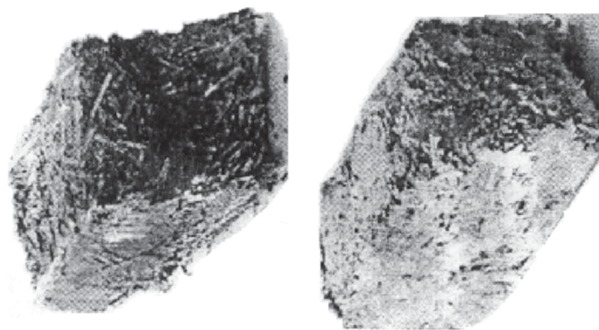
Lenkiamasis stipris, kai jam nustatyti naudojami bandiniai, kurių tankis neviršija 400 kg/m^3 , o polimeriniu rišikliu naudojama KMC, yra 0,6–1,3 MPa ribose. Tai atitinka dirbinių stiprį, juos kietinant, transportuojant ir montuojant.

Bandiniai, kurių tankis mažesnis nei 400 kg/m^3 , gniuždomi deformuojasi ne kaip trapiosios medžiagos – jos susipresuoja. Ši kompozito savybė ypač svarbi dirbant transportavimo bei montavimo darbus.

Pastaroji ypatybė gali būti paaiškinta anizotropine kompozitų struktūra, kurioje celiuliozinių užpildų dalelės, surištos polimerų dalelėmis, atlieka armatūros funkcijas (2.15 pav.) (Kazragis, Gailius 2006).

Kompozitų šilumos laidis, anhidritinių ir aluminatinių lengvųjų sieninių bei šilumos izoliacinių medžiagų šilumos izoliacinėms savybės įvertinamos nustatant λ . Atrenkant bandinius, buvo paimtos kompozicijos, esančios jų trikampių diagramų centrinėse sudėčių zonose. Gauta:

- kompozitas, turintis 50 % anhidritinio cemento, 45 % spalio ir 5 % KMC (kietasis pavidalas), kurio $\rho = 205 \text{ kg/m}^3$, turi



2.15 pav. Perlaužti kompozitų bandiniai: kairėje – turinčio spalio (70 % aluminatinio cemento-40, 20 % spalio, 10 % KMC – sausosios medžiagos); dešinėje – turinčio pelų (35 % aluminatinio cemento-70, 50 % pelų, 15 % KMC – sausosios medžiagos)

$\lambda = 0,063 \pm 0,01 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$. Šis kompozitas priklauso II šilumos izoliacinių medžiagų klasei.

- kompozitas, turintis 50 % aliuminatinio cemento-70, 45 % spalių ir 5 % PVA (kietojo pavidalo), kurio $\rho = 119 \text{ kg/m}^3$, turi $\lambda = 0,12 \pm 0,01 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$. Šis kompozitas priklauso III šilumos izoliacinių medžiagų klasei.

Šio kompozito λ reikšmė yra mažesnė nei λ reikšmės tokių šilumos izoliacinių medžiagų: šiaudai (0,13); durpės (0,13); mediena ($\geq 0,13$); linų stiebelių plokštės (0,14); putų arba dujų stiklas ($\geq 0,14$). Be to, kompozito λ reikšmė artima λ reikšmėms šių medžiagų: durpių plokštės (0,10–0,12); keramzitas (0,10–0,14).

Pagal dabartinę ES šalyse įsigaliojusią klasifikaciją, gauti kompozitai priklauso konstrukcinėms šilumos izoliacinėms medžiagoms: $\rho = < 500\text{--}600 \text{ kg/m}^3$, $\lambda = 0,17\text{--}0,22 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$.

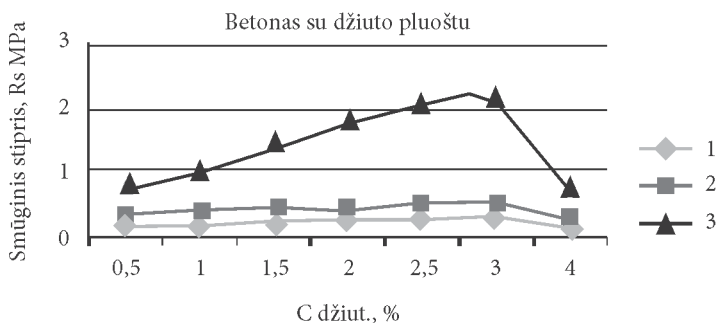
Taigi gautos anhidritinės bei aliuminatinės kompozicijos gali būti naudojamos gaminant lengvas sienines bei šilumos izoliacines medžiagas. Kompozicijų sudėtis gali būti parenkama remiantis kompozicijų sudėties trikampėmis diagramomis.

2.5. Džiuto ir kokoso palmių pluoštas

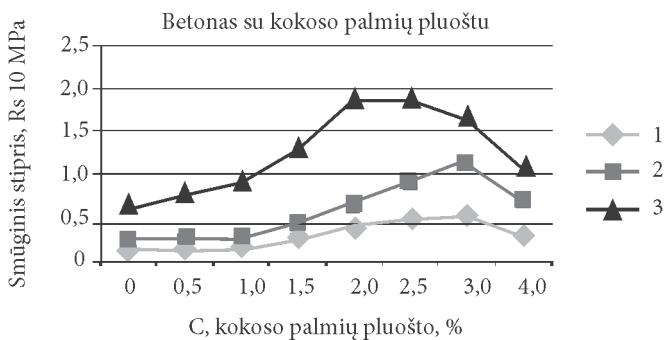
Džiutas – tai žievės pluoštas, gaunamas iš kai kurių augalų, dažniausiai sutinkamų Indijos rytinėje dalyje bei Bangladeše. Kokoso palmių pluoštas – tai pluoštas iš sauso arba pusiau sauso kokoso riešuto kevalo. Betonas su džiuto ar palmių pluoštu įgauna geresnį smūginį atsparumą. Po 90 parų išlaikymo drėgnoje aplinkoje smūginis atsparumas betono, pagaminto esant $V/C = 0,5$, – daugiau kaip 3 kartus lenkia kontrolinio bandinio stiprį (Розен, Дау 1976; Филлипс, Харрис 1980; Карнинос, Тучинский 1970; Kazragis, Gailius 2006). Duomenys pateikti 2.16 pav. ir 2.17 pav.

Džiuto pluoštas ir kokoso palmių pluoštas yra linkę į šarminę koroziją ir todėl jų tempiamasis stipris sumažėja beveik 50 %, kai 21 parą išbūna NaOH tirpale, kurio $\text{pH} = 8$.

Lakštai buvo pagaminti esant $V/C = 0,3$ ir 2,5–15 % pluošto bei išlaikyti drėgoje aplinkoje 28 paras. Skaičiavimams čia taip pat taikyti mišinio dėsniai. Mechaninių savybių reikšmės, pridėdant papildomai pluošto ir didinant slėgį, padidėjo 1,67 MPa. Išnagrinėta cementinių kompozitų, armuotų kokoso palmių pluoštu, panaudojimo galimybė parodė, kad tai pigi stogą dengianti medžiaga. (Розен, Дай 1976; Филлипс, Харрис 1980; Карнинос, Тучинский 1970).



2.16 pav. Betono su džiuoto pluoštu smūginis stipris, esant $V/C = 0,5$; 1 – po 7 parų; 2 – po 21 paros; 3 – po 90 parų



2.17 pav. Betono su kokoso palmių pluoštu smūginis stipris, esant $V/C = 0,5$; 1 – po 7 parų; 2 – po 21 paros; 3 – po 90 parų

Kompozitų su pluoštiniais užpildais privalumai ir naudojimas

1. Tai lengvi sieniniai bei šilumos izoliaciniai kompozitai, kuriuos sudaro neorganiniai rišikliai (anhidritinis cementas, aluminatinis cementas-40 ir aluminatinis cementas-70), polimeriniai rišikliai (vinilacetatiniai (PVA, *Vinnap*); celiulioziniai (KMC, *Walocell*, MC)), celiulioziniai plaušiniai užpildai (pelai, spaliai) ir specialieji priedai.
2. Dirbinių patvarumą transportuojant ir montuojant lemia šie rodikliai: minimalus anhidritinio cemento kiekis įvairiose kompozicijose turi būti $\geq 30\text{--}45\%$; minimalus aluminatinio cemento-40 kiekis $15\text{--}25\%$ arba minimalus aluminatinio cemento-70 kiekis $\geq 25\text{--}30\%$; minimalus vinilacetatinių polimerinių rišiklių kiekis įvairiose kompozicijose turi būti $\geq 1\text{--}5\%$; minimalus celiuliozinių rišiklių kiekis $\geq 0,5\text{--}5,0\%$; minimalus celiuliozinių plaušinių užpildų kiekis įvairiose kompozicijose turi būti $\geq 40\text{--}47\%$.
3. Vinilacetatiniai rišikliai, naudojant bet koki cementą, celiuliozinius plaušinius užpildus (ir spalius, ir pelus) suriša geriau nei celiulioziniai rišikliai; anhidritinis cementas spalius suriša geriau nei pelus; aluminatiniai cementai vienodai gerai suriša abu užpildus.
4. Bandinių tankis, kai naudotų cementų kiekis kompozicijose neviršija $50\text{--}60\%$, yra mažesnis nei 400 kg/m^3 . Pagal šį rodiklį sukurti kompozitai priklauso lengvųjų šilumos izoliacinių medžiagų klasei. Visų cementų bandinių tankis priklauso nuo cemento kiekio bandinyje, %, pagal apytikslę parabolinę priklausomybę.
5. Siūloma kompozitus su organiniais pluoštiniais užpildais (žemės ūkio gamybos atliekomis) naudoti gaminant šilumos izoliacines medžiagas, išvengiant jų suirimo ir kartu CH_4 arba CO_2 susidarymo. Tai leistų sumažinti atmosferos šiluminį efektą.

3. KOMPOZICINIAI ENERGETIŠKAI EFEKTYVŪS SIENŲ GAMINIAI

3.1. Kompoziciniai sienų blokeliai. Gamyba ir savybės

Daugiau kaip prieš septyniasdešimt metų Olandijoje buvo pagaminta ir užpatentuota kompozicinė statybinė medžiaga. Nuo to laiko tokia produkcija gaminama 16-oje pasaulio šalių. Vienas pagrindinių produktų, gaminamų iš šios medžiagos, yra statybiniai blokeliai, skirti gyvenamųjų namų ir visuomeninės paskirties pastatų statybai. Pagrindinė šiuos blokelius gaminanti gamykla yra Achau mieste prie Vienos (Austrija), nuo 1991 m. veikia Bratislavos (Slovakija) skyrius, kuris dalį produkcijos tiekia Vidurio bei Rytų Europos rinkoms (Gailius, Vėjelis 2010).

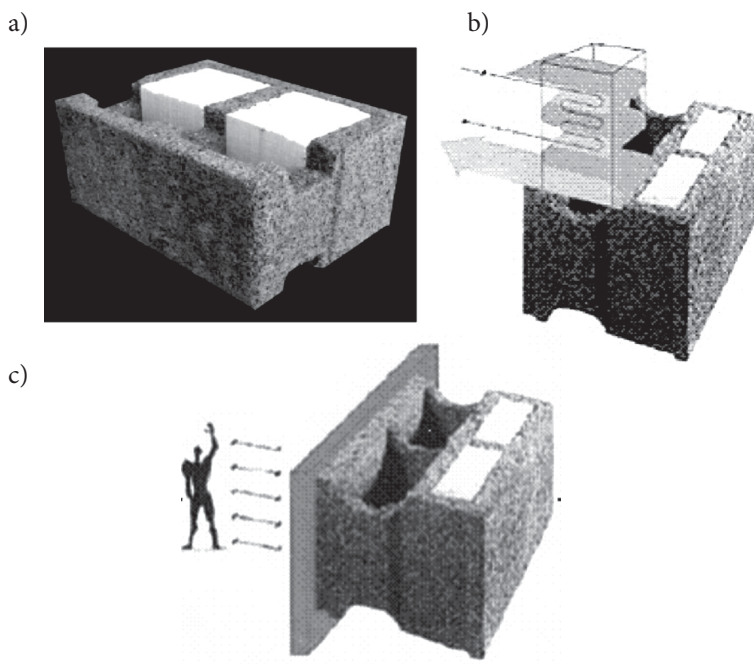
Iki šiol daugiausia taikomos kompozicinės medžiagos su medienos drožlių matrica. Todėl kompozicinių sieninių blokelių matrica yra visiškai ekologiška – jos sudėtyje yra iki 90 % spygliuočių (eglės) medienos, 8 % specialiųjų mineralų bei 2 % portlandcemenčio. Svarbiausi technologiniai veiksniai, gaminant tokio tipo kompozicines medžiagas, yra jų paruošimas. Gamybos paruošimo metu mediena yra specialiai susmulkinama tam skirtuose malūnuose, o vėliau džiovinama. Esminis kompozito su organinės kilmės intarpais gamybos ypatumas – intarpų mineralizavimas, t. y. jų apdorojimas įvairiomis mineralinėmis ir organinėmis medžiagomis, mažinančiomis iš intarpų išsiskiriančių medžiagų (celiuliozės, lignino ir kt.) žalingą poveikį matricai ir bendram darbui. Tyrimais nustatyta, kad tokių kompozitų stipris ir ilgaamžiškumas labai pagerėja, jei intarpai, ypač medienos, yra hidrofobinami aliuminio chloridu (apie 2 % matricos rišiklio). Teigiamą efektą suteikia intarpų apdorojimas šlapalo formaldehido derva su amonio chloridu (3 % + 0,3 %) bei tirpusis stiklas su klinčių miltų mišiniu.

Kai matricos rišiklis – cementas, svarbus rodiklis yra intarpų optimalus drėgnis. Intarpų mirkimas vandenyje nesumažina intarpų matmenų stabilumo, nors dėl geresnio jų suvilgymo vandeniui ir

vienodesnio cemento masės pasiskirstymo didėja kompozicinės medžiagos stipris.

Vėliau mediena maišoma su mineralais, kurie jai ir cementui, atliekančiam rišiklio vaidmenį, suteikia unikalių savybių. Gauta masė liejama į specialias formas, kuriose formuojami įvairių tipų bei matmenų blokeliai. Suformuoti blokeliai (3.1 pav.) kuri laiką paliekami bręsti. Sutvirtėję blokeliai leidžiami per kalibravimo liniją, kuri užtikrina, kad blokelių matmenys nenukryps nuo normų daugiau kaip +1 %. Paskutiniame gamybos etape į blokelius, skirtus lauko sienoms, dedama šilumos izoliacinės medžiagos, dažniausiai polistireno putplasčio.

Kompozitiniai blokeliai pasižymi geromis šilumos akumuliacijos ir šilumos izoliavimo savybėmis, atsparumu įvairiems mikrobams,



3.1 pav. Kompozicinis sienų blokelis su polistireninio putplasčio tarpu (a, b, c)

puikia garso izoliacija, puikia vandens garų difuzija, atsparumu ugniai, sudėtyje nėra kenksmingųjų medžiagų. Blokelių gamybai gali būti naudojamos ir antrinės žaliavos – perdirbama mediena ir jos atliekos, įdiegtas uždarojo ciklo gamybos procesas neteršia vandens, dirbinių frezavimo atliekos perdirbamos. Technologinio proceso metu neišskiriamas CO₂ – taip mažinamas šiltnamio efektas.

Statybinių technologijų, užtikrinančių konstrukcijose didelę šiluminę varžą bei geras šilumos izoliacines savybes, statybos industrijos rinkoje pasirinkimas gana didelis. Tačiau ne visos technologijos, garantuojančios didelę šiluminę varžą, suteikia gaminiamiems geras šilumos akumuliacines savybes.

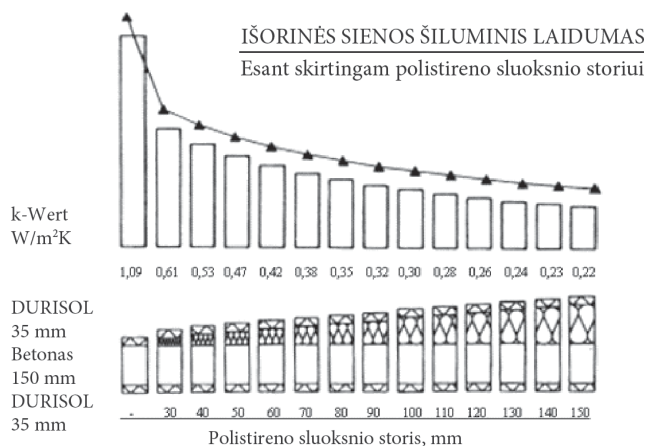
Viena iš nedaugelio statybinių technologijų, puikiai derinanti savyje abi šias savybes, yra kompozicinių sienų blokelių sistema (KSBS – http://www.ekosofija.com/durisol_info.html). Tai technologija, kurios pagrindą sudaro medžio skiedrų ir cemento – skiedracementinių plokščių papildomai apšiltinti liekamieji klojiniai, užpildomi betonu. SCP sistema leidžia realizuoti įvairiausias statybos rūšis: nuo paprasčiausių priestatų, sodo namelių ir garažų iki objektų, kur ypač aktualios šilumos izoliacinės, akumuliacinės bei garso izoliacinės savybės: kotedžų, daugiabučių namų, vaikų darželių, mokyklų. Dėl savo lankstumo KSBS sistema visiškai neriboja architektūrinės minties, statant komercinius, civilinius, administracinius pastatus, viešbučius ir kt. SCP technologija atitinka pramoninei statybai keliamus reikalavimus, konstrukcijos yra labai tvirtos, nebijo vibracijų ir žemės drebėjimų, atsparios ugniai bei vandens poveikiui, pasižymi geromis akustinėmis savybėmis. Todėl dar viena iš jos panaudojimo sričių – tai prieštriukšmių barjerų statyba prie automagistralių, garso izoliacija pramoninėje statyboje.

KSBS statybos technologijos pagrindas yra 200×50×2,5/3,5/5 cm standartinių matmenų skiedracementinės plokštės, gaminamos iš specialiu smulkintuvu paruoštų medienos skiedrų, aglomeruotų cementu. Mediena sudaro 89–90 % plokštės masės, o likusioji dalis susideda iš

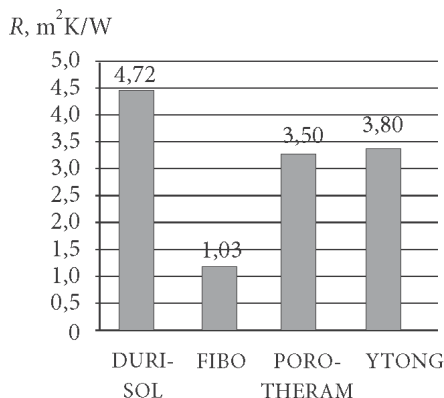
cemento ir tirpiojo stiklo. Cementas yra rišamoji medžiaga, o tirpus stiklas sumažina higroskopiškumą ir stabilizuoja medieną. Todėl plokštės yra lengvos, tvirtos bei atsparios ugniai, drėgmei, šalčiui, kenkėjams. Inertiški mineraliniai priedai (cementas ir skystasis stiklas) nėra sumažina ekologinių plokštės savybių. Plokštės, naudojamos lauko sienoms montuoti, papildomai apšiltinamos stabilizuotu putų polistirenu, kurio storis ir lemia sienų šiluminę varžą. Prie plokštės priklijuojamas putų polistirenas ir pateikiamas kaip viena iš komplekto dalių (3.1 pav., c).

37 cm storio išorinės sienos varža yra $5,5 \text{ m}^2\text{kW}$. Todėl sienų konstrukcijoje, derinant puikias šilumos izoliacines ir betoninio užpildo šilumos akumuliacines savybes, gerokai sumažinamos pastato ilgalaikės eksploatacinės sąnaudos. Tai didina pastatų energinį efektyvumą. Šitokia atitvarų sistema sudaro prielaidas susidaryti tokiam mikroklimatui, koks paprastai būna mediniame name (3.2. ir 3.3 pav.).

Ši technologija nuo pat pradžios suteikia visišką laisvę architektams, kompozitų gamintojams ir statybininkams. Medžiaga lengvai



3.2 pav. Išorinės sienos šilumos laidumas, esant skirtingam polistireno intarpo sluoksnio storiui



3.3 pav. Įvairių blokelių rūšių šiluminės varžos R palyginimas

pjaustoma tiesiog statybvietėje, o tai leidžia statant pasiekti didelio tikslumo ir formų įvairovės. Projektuojant nereikia „prisirišti“ prie detalės matmenų. Galima nevaržomai kurti įvairias architektūrines formas (skliautus, gembes, arkas ir t. t.). Viskas daroma iš vieno matmens plokštės, o ne iš daugybės įvairių formų elementų. Naudojant šią technologiją, be papildomo perprojektavimo, galima laisvai realizuoti daugelį projektų, pritaikytų kitoms statybos technologijoms. Pastato konstrukcijoms montuoti nereikalingi aukštos kvalifikacijos specialistai. Sistema apima rūšių, perdangų, balkonų, lauko bei vidaus laikančiųjų sienų ir lengvųjų įvairaus tipo pertvarų konstrukcijas, taip pat kolonas, rėmsijas, pamatų sijas ir kt. Statyboms plokštės gali būti panaudojamos ir kaip laikinas klojinys. Sunkiausias elementas – perdangų segmentai, tačiau jie sveria tiek, kad juos lengvai gali montuoti du darbininkai. Sumontavus vieną aukštą, įskaitant ir perdangą, seka mechanizuotas betonavimo procesas. Betonas pilamas siurbliu, o tai gerokai sumažina darbo sąnaudas ir sutrumpina statybos trukmę. Orientacinis statybos laikas, reikalingas sumontuoti ir užbetonuoti 1 m^2 sienos – nuo 45 min., o 1 m^2 perdangos – nuo 30 min. Naudojamas C12/15–C16/20 markės S3 konsistencijos betonai. Siekiant išvengti vibravimo ir padidinti betono slankumą, galima naudoti plastiklius. Paprastai sienos, jeigu nėra

ypatingų (seisminių ar kt.) reikalavimų, nearmuojamos. Armuojama tik perdangos aukštyje armatūriniais vainikais iš Ø12 AIII klasės armatūros. Lauko ir vidaus sienos, pertvaros ir lubos dėl savo struktūros yra geras pagrindas tiek tinkavimui, tiek bet kuriai kitai apdailai. Rezultatas yra greita bet kokio objekto statyba ir nesudėtingas montavimas. Dėl nedidelio plokščių svorio transportavimas yra paprastas, o dėl nedidelio tūrio sandėliavimas nesudaro problemų. Palyginti su įprastinėmis statybinėmis sistemomis, transporto sąnaudos yra penkis kartus mažesnės, o dėl mažų darbo sąnaudų statybos greitis tris kartus didesnis. Dar vienas svarbus privalumas yra tas, kad esant didelėms šilumos izoliacinėms savybėms sienų storis išlieka mažas, o tai didesnis vidaus naudingasis plotas, išliekant tiems patiems išoriniams matmenims.

Tokia statybos technologija labai universali. Ji lengvai suderinama su visomis žinomomis statybos technologijomis. Tiek sienos, tiek perdangos gali būti mišrios konstrukcijos. Be perdangos elementų, siūlome naudoti polistireno liktinius klojinius, standartinį monolitą, surenkamąsias plokščių, blokelių ir kitas medžiagas. Perdangos elementų, o ir pačios perdangos aukštį nulemia atstumas tarp atramų.

Ši sistema Austrijoje, Čekijoje, Vokietijoje, Danijoje, JAV bei kitose šalyse jau tapo vienu iš tradicinių statybos būdų. Rekonstruojant senus namus, statytus prieš šimtą metų Vienoje, Prahoje ir kituose Europos senamiesčiuose, buvo rasta perdangų bei sienų konstrukcijų, pastatytų remiantis tais pačiais principais. Daugelyje statybos šaltinių taip pat aprašyti monolitinės statybos, panaudojant liktinius klojinius, principai (http://www.ekosofija.com/durisol_info.html; Kazragis, Gailius 2006).

Kompozicinė medžiaga visiškai ekologiška. Jos sudėtyje yra 90 % spygliuočių (eglės) medienos, 8 % specialiųjų mineralų ir 2 % portlandcemenčio. Gamybos paruošimo metu mediena yra specialiai sušaldoma tam skirtuose malūnuose bei džiovinama. Vėliau mediena maišoma su mineralais, kurie suteikia jai unikalių savybių, bei cementu,

kuris atlieka rišiklio vaidmenį (mišinių sudėtis, proporcijos ir visa kita yra *Durisol* kompanijos komercinė paslaptis). Gauta masė liejama į specialias formas, kuriose formuojami įvairių tipų bei matmenų blokeliai. Suformuoti jie kuriam laikui paliekami bręsti. Sutvirtėję blokeliai leidžiami per kalibravimo liniją, kuri užtikrina, kad blokelių matmenys nenukryptų nuo normų daugiau kaip 1 %. Paskutiniajame gamybos etape į lauko sienoms skirtus blokelių dedama šilumos izoliacijos (polistireno putplasčio).

Būtent ši unikali dirbinių gamyba užtikrina, kad blokeliai yra vieni iš ekologiškesnių ir šiltesnių statybinių medžiagų rinkoje.

Naudojant kompozicinius blokelių, turinčius 17,5 cm putplasčio, galima pastatyti sieną, kurios šiluminė varža R – net 5,67. Nėra jokių šilumos tiltelių, dėl to neatsiranda papildomų šilumos nuostolių. Sienoje esantis betono branduolys užtikrina šilumos akumuliaciją. Žiemą sukaupia šilumą, „atspindima“ nuo polistireno izoliacijos, grįžta į patalpą. Vasarą atvirkščiai – šilumos izoliacija „atspindi“ aplinkos šilumą ir namuose palaikoma maloni vėsa. Sienoje iš blokelių rاسos taškas atsiranda polistireno zonoje. Tai užtikrina maksimalų sienos sausumą ir leidžia išvengti šilumos nuostolių dėl varžos sumažėjimo, kurį sukelia drėgmė. Kartu sumažėja vidinės sienos bei patalpos oro temperatūrų skirtumas.

Kompozicinių sienų dirbinių savybės

Vandens garų difuzija

Kompozicinių blokelių konstrukcija užtikrina puikią vandens garų difuziją. Putų polistirenas blokeliuose nėra ištisinis. Tam, kad namo siena „kvėpuotų“, yra paliktos briaunos iš medžiagos. Todėl patalpose visada vyrauja sveikas klimatas.

Garso izoliacija

Statiniai iš kompozicinių blokelių visiškai atitinka ir netgi viršija ES gyvenamiesiems pastatams taikomas triukšmo slopinimo normas.

Išorinės sienos iš kompozicinių blokelių užtikrina ne mažesnę nei 50 dB garso izoliaciją, vidinės sienos – iki 60 dB. Blokeliai naudojami liftų šachtoms, nes sienos iš tokių blokelių slopina lifto keliamą triukšmą.

Atsparumas ugniai

Blokelių medžiaga priklauso nedegiųjų medžiagų klasei. Nertinkuotos sienos atsparumo ugniai klasė – F90. Siena iš kompozicinių blokelių 4 val. atlaiko tiesioginę ugnį. Ugnies plitimo indeksas lygus 0.

Ilgamžiškumas

Kompozicinių blokelių medžiaga yra ypač atspari atmosferos poveikiui. Jos ilgamžiškumas 300 šildymo–šaldymo ciklą. Statant garažus, angarus, tvartus, nebūtina tinkuoti ar atlikti kokią nors kitą apdailą. Tinka statiniams potvynių zonose.

Kitos teigiamos savybės

- šilumos akumuliacinio efekto leidžia apie 25 % sumažinti šildymo sąnaudas;
- „kvėpuojančios“ sienos užtikrina optimalų klimatą patalpose. Santykinis oro drėgnis patalpose paprastai neviršys 65–70 %;
- 11–12 pH lygis užtikrina, kad sienose nesusiformuos pelės. Kompozicinių blokelių medžiagos negraūžia pelės ir kiti graužikai, ji nebijo termitų ir kitokių kenkėjų;
- blokeliai praktiškai visiškai nespinduliuoja radiacijos – $^{226}\text{Ra} = 8 \text{ Bq kg}^{-1}$. Leistinoji norma 80 Bq kg^{-1} ;
- natūrali ekologiška medžiaga, tausoja aplinką tiek gamybos, tiek eksploatavimo metu;
- blokelių asortimentas užtikrina, kad mūras bus vientisas, be šilumos tiltelių;
- blokelių įvairovė suteikia architektui kūrybinę laisvę;

-
- sąramoms, gembėms ir pan. nereikia papildomai pirkti gelžbetoninių ar metalo elementų;
 - blokelių galima naudoti rūšiams, pamatams įrengti;
 - paprasta ir labai greita statyba. Blokai kraunami sausuoju būdu, vėliau kiaurymės užpildant betonu;
 - labai nedidelė darbų broko tikimybė. Jį nesunku pastebėti ir ištaisyti;
 - unikali kompozicinių blokelių sistema leidžia statyti pastatus iki 30 aukštų;
 - medžiaga tinkama statyti seismiškai aktyviose zonose;
 - blokeliai sveria 6–14 kg (priklausomai nuo dydžio), todėl su jais lengva dirbti;
 - blokelių galima pjaustyti medžio pjūkle ir formuoti elementus arba sienos profili;
 - minimalus atliekų kiekis – jeigu blokas supjaustytas į 3 dalis, visas jas galima panaudoti;
 - nėra jokių apribojimų renkantis fasado apdailą;
 - bloko sienelėse paprasta bei lengva išfrezuoti instaliacijų kanalus. Į sieną nesunku įkalti vinį, įsukti medsraigę. Galima be problemų kabinti virtuvės spinteles ir kitokius baldus;
 - blokelių sienos ilgaamžiškumas – daugiau kaip 200 metų;
 - galima statyti ir žiemą, esant iki -5°C (betonas su priedais), pašalina darbų sezoniškumo veiksnį ir suteikia galimybę laikyti terminų.

3.2. Kompozicinių sienų blokelių sisteminis taikymas

Statiniai iš *Durisol* blokų yra projektuojami ir statomi pagal galiojančius teisinius aktus, statybos normas, taisykles (<http://www.durisol-namas.lt>).

Durisol blokai į statybos aikštelę pristatomi paketuose, supakuoti atskirai pagal blokų tipą ir formą (N, E, F).

Blokai yra dedami be rišiklio, sausai greta ir vienas ant kito. Jokių šalčio tiltelių.

Durisol mūriui reikia horizontalaus pagrindo, kurį sudaro išlyginamoji rišamoji medžiaga pirmoje blokų eilėje ant pamatų arba storos perdangos. Būtinas horizontalumas.

Pirmoji blokų eilė klojama atsižvelgiant į reikiamas langų ir kitas angas, tiksliai išlyginant pagal ašis.

Visos kitos blokų eilės kraunamos pagal mūrijimo reikalavimus – laikantis horizontalumo ir vertikalumo. Tai užtikrina betono stulpeliai, einantys nuo perdangos iki perdangos. Blokų aukštį galima išlyginti naudojant medžio pleištus. Reikiamos apdailos dalys tiksliai pjaustomos rankiniu arba diskiniu pjūklų.

Išilginės apdailos dalis reikia pagal galimybę kloti nustatytose zonose, pvz., sienų arba stulpelių zonose.

Vertikaliosios apdailos dalis yra paranku sudėti kaip priešpaskutinę eilę iki perdangos (netaikytina medžio perdangoms). Fasoniniai pastato elementai sudaromi iš fasoninių blokų (F), taip pat kampiniai elementai (E blokai).

Ties angomis ir perdangomis blokus reikia kloti ant tam tikro pagrindo, dėti armatūrą, prieš betonavimą naudoti vielos perrišimus (žr. *Perdangos konstrukcines detales*). Horizontaliąją armatūrą reikia kloti kas ketvirta eilė viename aukšte. Po langų angomis blokų eilėje reikia dėti plieno armatūrą – 2 vnt. 10 mm arba statikos požiūriu analogišką armatūrą. Pildančiajame betone reikia tiksliai kloti armatūrą ir išdėstyti ją mažiausiai per 75 cm nuo sienos jungiamosios dalies, geriausiai pagal darbų eigą.

Mūro šilumos izoliacijai naudojami storasieniai blokai (3.4 pav. <http://www.durisolnamas.lt>) arba superstorasieniai blokai DSs30/15, DSs30/12, DSs37,5/14, vidaus laikančiosioms sienoms naudojami blokai DM22/15, DSi30/20. Vidaus atitvarinėms sienoms – blokai DM 15/9.

1 – DSs 37,5/12 N normalusis blokas;

2 – DSs 37,5/12 EA priekampio blokas;

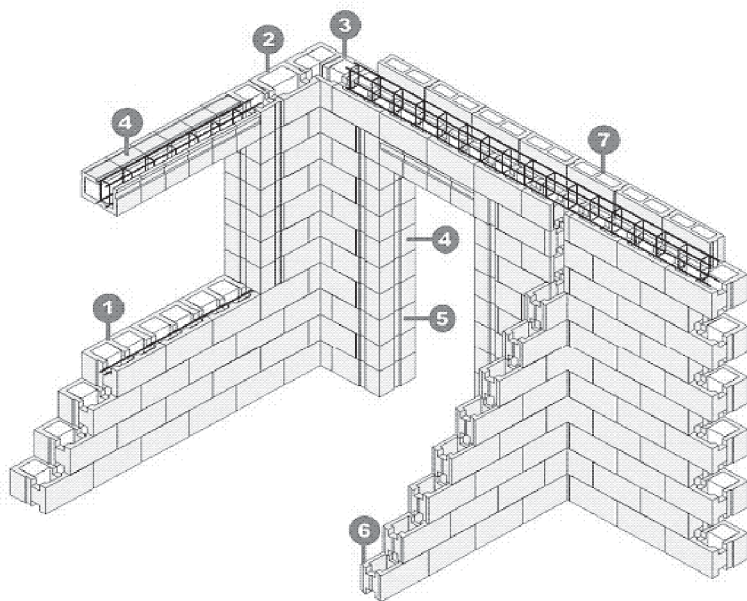
-
- 3 – DSs 37,5/12 F kampinis blokas;
 - 4 – DSs 37,5/12 F/2 angokraščio pusinis blokas;
 - 5 – DSs 37,5/12 F angokraščio pilnasis blokas;
 - 6 – DM 22/15 N normalusis laikančiosios sienos blokas;
 - 7 – DMs 15/9 apvadinis perdangos blokas.

Blokelius DSs 30/15 rekomenduojama naudoti šiltų rūšių ir išorės sienų, nereikalaujančių labai didelės šiluminės varžos, statybai.

Blokelius DSs 37,5/12; DSs 37,5/14; DSs 30/12 rekomenduojama naudoti šiltų išorės sienų statybai.

Blokelius DSi 30/20 rekomenduojama naudoti sienoms, kurios turi atlaikyti labai dideles apkrovas (rūsio sienos, vidaus laikančiosios sienos, išorės laikančiosios sienos).

Blokelius DM 22/15 rekomenduojama naudoti vidaus ir išorės laikančiosioms sienoms mūryti.



3.4 pav. Kompozitinių sienų blokelių taikymas mūrijant sienas

Blokelius DM 15/9 rekomenduojama naudoti pastatų vidaus pertvaroms.

Statybos industrijos įmonėse gaminami nuo 15 iki 37 cm storio namų sienoms montuoti pritaikyti blokai. Jų viduje esančios ertmės iš lauko pusės pripildomos šiltinimo medžiagos – putų polistireno plokščių, akmens arba mineralinės vatos, o likusioji vidinė dalis per visą pastato perimetrą, kai blokai sudedami vienas ant kito keturiomis eilėmis, pripildoma plastiško betono mišinio. Kai šis sukietėja, tvirtai sujungia visus blokus, sudarydamas monolitinę sienos konstrukciją. 3.4 pav. parodytas žinomų blokelių šiluminių varžų palyginimas. Iš storesnių blokų montuojamos išorinės sienos, iš plonesnių – pertvaros. Virš langų ir durų angų iš tų pačių medžiagų daromos sąramos, sutvirtinamos plienine armatūra (3.5 pav.).

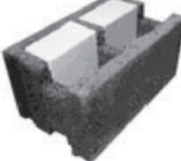
Namų statybos technologija, naudojant šiuos blokus, nėra sudėtinga. Sausus blokus be įprasto skiedinio darbininkai deda vieną ant kito, o kai reikia, frezavimo įrenginiu be didesnių pastangų supjausto juos į pageidaujamo dydžio elementus, vietoje pasidarydami reikalingo dydžio detales – įlankas, skliautus, viršlangius. Tačiau tokie darbai – reti atvejai, nes sienų blokai, sąramos, rėmsijės ir gembės komplektuojami pagal pastato brėžinius. Vienas blokas sveria nuo 6 iki 14 kg, tad statybininkai retai naudojami armatūros ir betono kėlimo įrenginiais.

Per keturiolika darbo dienų 3–4 statybininkų brigada pajėgia sumontuoti pusantro aukšto gyvenamąjį namą. Ilgiau trunka, kai statomi didesni ir sudėtingesni pastatai.

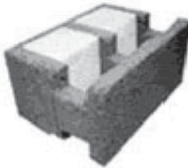
Blokinio namo išorinės ir vidinės sienos pasižymi puikia garso izoliacija, todėl tokie pastatai gali būti tuo pačiu metu naudojami gamybiniais ir administravimo poreikiams, statomi prie greitkelių, pramoninėse zonose.

Blokų eksploatavimo laikas – daugiau kaip 200 metų, o sumontuoti su armatūra pagal tvirtumą prilygsta gelžbetonio konstrukcijai. Kompleksinių blokelių rūšys pateiktos 3.1 lentelėje (<http://www.durisolnamas.lt>).

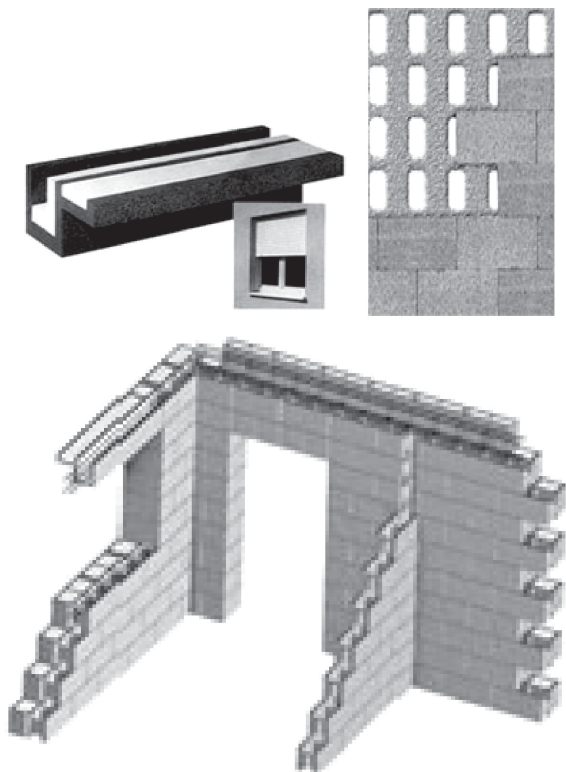
3.1 lentelė. Kompleksinių blokelių rūšys

	DM 15/9	Vidaus atitvarinėms sienoms, pertvaroms tarp patalpų. Užtikrina garso izoliaciją iki 52 dB.
	DM 22/15	Vidaus ir lauko laikančiosioms atitvarinėms sienoms. Užtikrina garso izoliaciją iki 56 dB.
	DSi 30/20	Labai didelės apkrovas atlaikančioms sienoms (pastatams iki 30 aukštų, liftų šachtoms, rūšio sienoms, vidaus laikančiosioms sienoms, išorinėms laikančiosioms sienoms). Užtikrina garso izoliaciją iki 60 dB.
	DSs 30/15	Blokelių DSs 30/15 rekomenduojama naudoti šiltų rūšių ir išorės sienų, nereikalaujančių labai didelės šiluminės varžos, statybai (garažams, sandėliams). Šiluminė varža 2,73. Naujiena: su neoporu (pilkuoju polistirenu) sienos šiluminė varža 3,01.
	DSs 30/12	Laikančiosioms šiltoms lauko sienoms, kai užtenka šiluminės varžos 3,24. Naujiena: su neoporu šios sienos šiluminė varža 3,57.
	DSs37,5/14	Laikančiosioms labai šiltoms lauko sienoms, turinčioms šiluminę varžą 4,33. Naujiena: su neoporu šios sienos šiluminė varža 4,77.

3.1 lentelės pabaiga

	DSs37,5/12	Laikančiosioms lauko sienoms, turinčioms varžą 4,67. Su neoporu šių blokelių sienos varža 5,15.
---	------------	---

Statybos metu iš karto gaunama apšiltinta monolitinė konstrukcija – taupomos lėšos ir darbo sąnaudos (3.5 pav. <http://www.durisol-namas.lt>).



3.5 pav. Kompozicinių blokelių naudojimo pavyzdžiai

Darant sąramas, nereikia klojinio – mažėja darbo sąnaudos. Nesusidaro šalčio tilteliai. Sienos laikančioji konstrukcija susiformuoja iš viduje esančio betono. Sąramos, sijos, angokraščiai, kampai – viskas iš vienos ekologiškos ir šiltos medžiagos.

Galima statyti ir žiemą (naudojamas betonas su priedais). *Durisol* blokai izoluoja betoną, pašalina darbų sezoniškumo veiksnį ir suteikia galimybę laikytis terminų. Visiška laisvė namo architektui – yra visos reikalingos statyboje blokelių rūšys: kampiniai, vidaus, pilni ir pusiniai blokai. *Durisol* blokelių sienos ilgaamžiškumas – daugiau kaip 200 metų, atlaiko 300 šaldymo–šildymo ciklų. Galima statyti pastatus iki 26 aukštų, ypatingos apkrovos vietose *Durisol* naudojamas su horizontalia ir vertikalia armatūra – tuomet laikančiosios savybės atitinka gelžbetonio sieną. Niujorke iš *Durisol* yra pastatytas 26 aukštų *Hilton* viešbutis.

Instaliacijų kanalų elementai labai lengvai ir paprastai frezuojami, į sieną paprasta įkalti vinį, įsukti medšraigti.

3.3. Surenkamieji sluoksniuotieji sienų gaminiai

Vienu svarbiausių statybinių medžiagų bei konstrukcijų gamintojų sėkmės veiksnių pamažu tampa naujesnių ir tobulesnių gamybos technologijų paieška. Modernioje statyboje surenkamosios konstrukcijos dažnai naudojamos statant tam tikros stiliškos ir paskirties pastatus, kurių statybas lemia greitis ir kartotinių elementų naudojimas. Senosios konstrukcijų gamybos technologijos dažniausiai nebepajėgia patenkinti šiuolaikinių statybos pramonės keliamų reikalavimų, todėl nuolat diegiami nauji gamybos būdai, o senieji sprendimai peržiūrimi iš naujo. Šiuolaikinėse statybose vis mažiau vietos lieka nelankstiems sprendimams, todėl šiandien surenkamųjų konstrukcijų gamintojai gali pasiūlyti ir nestandartinių sprendimų.

Modernios surenkamosios gelžbetoninės konstrukcijos itin vertinamos dėl jų patvarumo, ekonomiškumo ir nesudėtingo bei greito montavimo statybos vietoje. Architektūriniu požiūriu tai universali

konstrukcija. Specialistų teigimu, būtent surenkamosios gelžbetoninės konstrukcijos labiausiai tinka mūsų klimato sąlygomis.

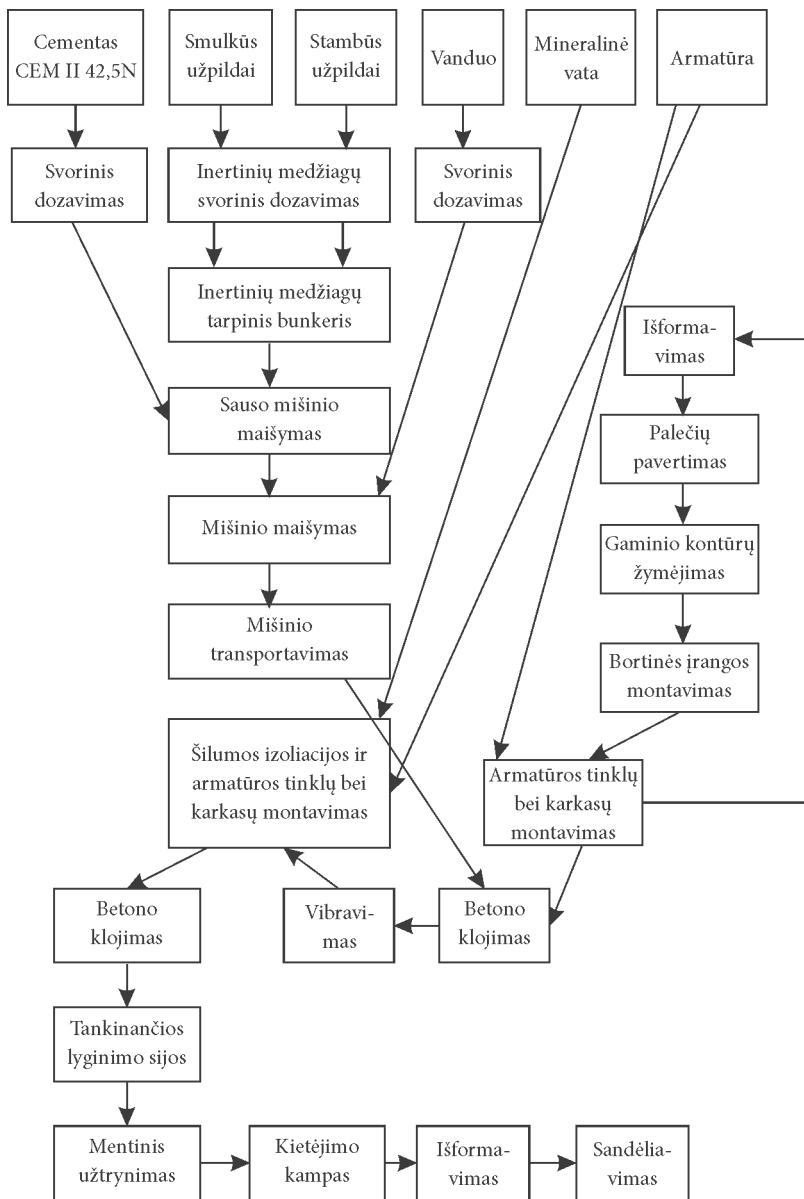
Surenkamųjų gelžbetoninių konstrukcijų gamybos būdas nenkenksmingas supančiai aplinkai, nes gamybos metu liekančios atliekos perdirbamos, be to, sukeliamas mažiau triukšmo ir dulkių statybos aikštelėje.

Surenkamiosios gelžbetoninės konstrukcijos tinka beveik bet koks paskirties pastatams ir statiniams. Tokių statinių statybos laikas trumpas, o projektai ekonomiškai ir išsiskiria aukšta kokybe. Jomis galima perdengti dideles erdves. Sienų ir denginių betono paviršius itin lygus, todėl tinkamas dažyti, o fasadai išsiskiria patrauklia išvaizda. Tokios konstrukcijos tinka įvairios paskirties energetiškai efektyvių pastatų statybai (STR 2.01.03: 2009). Surenkamųjų sluoksniuotųjų konstrukcijų gamybos technologinė schema parodyta 3.6 pav. (Abasova 2011; <http://www.markuciai.lt>; <http://www.ebawe.de>).

Technologinė įranga

Formavimo padėklas. Gaminant trisluoksnių sieninių konstrukcijų partiją, reikalingas formavimo padėklų kiekis – 30 vnt. Techniniai padėklų duomenys: ilgis 12,5 m, o plotis 3,85 m. Maksimali apkrova – iki 650 kg/m². Maksimalus leistinasis svoris – 18 t. Formavimo padėklo, skirto gaminiams formuoti, minimalus stacionaraus borto aukštis yra 80 mm, o maksimalus – 450 mm. Formavimo padėklai sudedami ant formavimo stalo (3.7 pav.) (<http://www.ebawe.de>; <http://www.markuciai.lt>).

Keltuvas – tai įrenginys, nukeliantis paletę su gaminiu nuo konvejerio ir transportuojantis į kietėjimo kameras. Pakrovimo ir iškrovimo procesas reguliuojamas pagal principą „First in/First out“. Gaminiui pakankamai sukietėjus, keltuvas išima padėklą su gaminiu iš kietėjimo kameros ir nuleidžia jį ant ritinių atramų, kuriomis padėklas juda į išformavimo postą. Keltuvas skirtas formavimo padėklams perkelti į kietėjimo kameras. Keltuvo keliamoji galia – 26 t, kėlimo greitis – 6 m/min. (<http://www.markuciai.lt>).



3.6 pav. Principinė surenkamųjų sluoksniuotųjų konstrukcijų gamybos technologinė schema



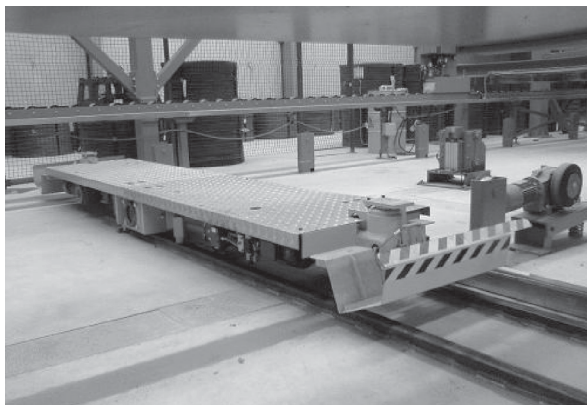
3.7 pav. Formavimo stalas

Kietėjimo kameros – tai kameros, kuriose gamtinių dujų degimo proceso metu susidariusia šiluma palaikomas 50–55 °C temperatūrinis režimas. Degimo proceso medžiagos iš kietėjimo patalpų šalinamos per virš stogo išvestą kaminą. Šiose kietėjimo kamerose gaminiai kietėja nuo 16 iki 24 val. priklausomai nuo gaminio storio. Siekiant užtikrinti idealiai lygų gaminio paviršių, paletė su gaminiu po 2 val. kietėjimo išimama iš kietėjimo kameros ir transportuojama į antrajame technologiniame aukšte įrengtus mentinio užlyginimo postus. Gamykloje yra 4 kameros: 2 po 8 vietas ir 2 kameros po 6 vietas (<http://www.markuciai.lt>) .

Skersovežiai. Jų keliamoji galia – 26 t, važiavimo greitis siekia iki 12 m/min. Skersovežiai skirti formavimo paletėi transportuoti skersai technologinės angos (3.8 pav.) (Abasova 2011; <http://www.ebawe.de>; <http://www.markuciai.lt>).

Pavertimo įrenginys. Jo keliamoji galia – 26 t, pavertimo kampas – 80°, o pavertimo laikas – 60 s. Pavertimo įrenginys (3.9 pav.) skirtas formavimo paletėi paversti gaminių išformavimo metu. (Abasova 2011; <http://www.ebawe.de>; <http://www.markuciai.lt>).

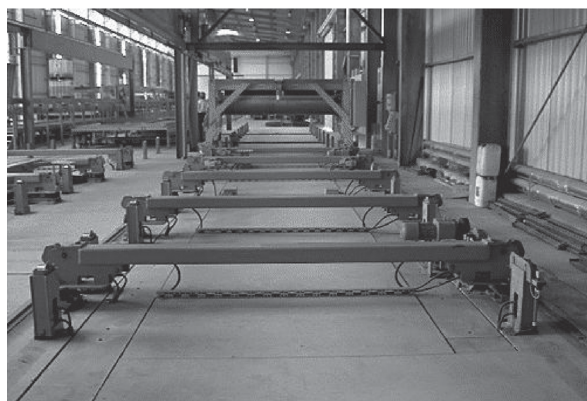
Vibropostas. Jo (3.10 pav.) vibravimo dažnis yra 40–50 Hz, vibravimo amplitudė – 8–10 mm. Vibropostas skirtas betonui sutankinti, jų gamykloje yra 8 vibratoriai. Vibropostas gali tankinti X, Y ir Z kryptimis (Abasova 2011; <http://www.ebawe.de>; <http://www.markuciai.lt>).



3.8 pav. Skersovežis

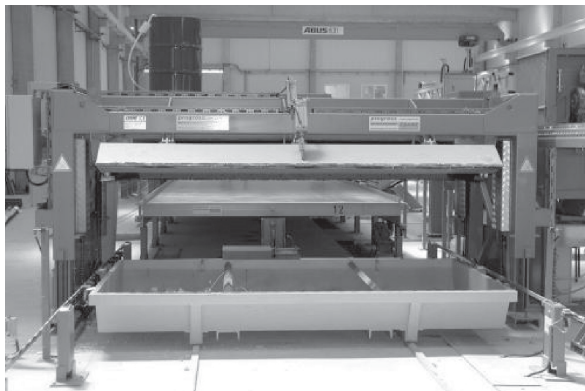


3.9 pav. Pavertimo įrenginys

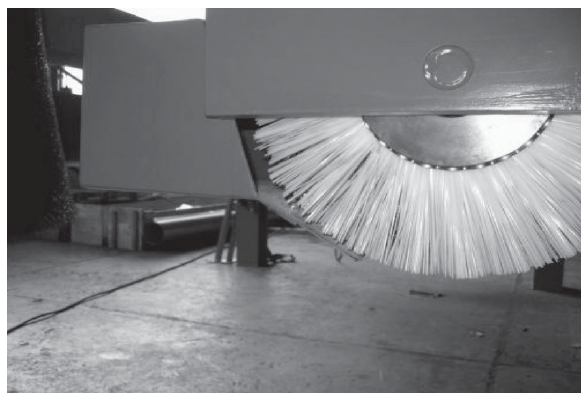


3.10 pav. Vibropostas

Valymo įrenginys. Šio įrenginio (3.11 pav.) vertikalaus šepčio (3.12 pav.) skersmuo – 365 mm, o horizontalaus šepčio – 400 mm. Valymo įrenginys skirtas formavimo paletai po išformavimo nuvalyti. Valymo įrenginio techniniai duomenys pateikti 3.2 lentelėje, o bendrasis vaizdas 3.11 ir 3.12 pav. (Abasova 2011; <http://www.ebawe.de>; <http://www.markuciai.lt>).



3.11 pav. Valymo įrenginys



3.12 pav. Valymo įrenginio šepetys

3.2 lentelė. Valymo įrenginio techniniai duomenys

Parametras	Techninės charakteristikos ir matavimo vienetai
Ilgis×plotis×aukštis	2440×5000×2000 mm
Apytikslė įrenginio masė	2300 kg
Valymo plotis	3840 m
Horizontalaus šepčio Ø	400 mm
Horizontalaus šepčio Ø	350 mm
Horizontalaus šepčio sūkių skaičius	100 min ⁻¹
Horizontalaus šepčio reguliavimo eiga	30 mm
Horizontalaus šepčio medžiaga	50 % poliamidas, 50 % banguotoji viela
Vertikalaus šepčio Ø	380/270 mm
Vertikalaus šepčio nusidėvėjimo riba Ø	330/240 mm
Vertikalaus šepčio medžiaga	Cinkuota banguotoji viela Ø 0,7 mm
Vertikalaus šepčio sūkių skaičius	180 min ⁻¹
Energijos poreikis	8 kW, 400 W, 50 Hz

Spausdintuvas. Jis (3.13 pav.) skirtas gaminio kontūrams nužymėti ant formavimo paletės. Spausdintuvo greitis 23 m/min. (<http://www.ebawe.de>; Abasova 2011; <http://www.markuciai.lt>).



3.13 pav. Spausdintuvas-fiksatorius

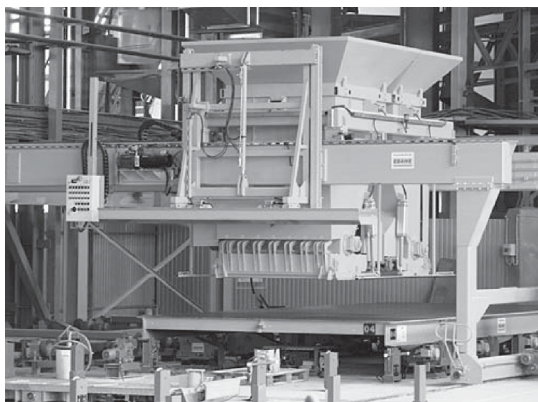
Mentinis trintuvas yra (3.14 pav.) skirtas galutiniam gaminio užtrynimui atlikti. Užtrynimui disko skersmuo – 610 mm. (<http://www.ebawe.de>; Abasova 2011; <http://www.markuciai.lt>).

Betono klotuvas (3.15 pav.) susideda iš dviejų talpų: A talpos tūris – 3 m^3 ir 41 sraigtų yra A talpoje; B talpos tūris – $1,8 \text{ m}^3$ ir 8 sraigtai B talpoje. Betono klotuvo greitis – iki 20 m/min. (<http://www.ebawe.de>; Abasova 2011; <http://www.markuciai.lt>).

Lyginimo-tankinimo sija. Lyginimo linija nubraukia betono perleklių formoje ir sutankina viršutinį betono sluoksnį iki 60 m. Lyginimo sijos greitis yra iki 20 m/min. (<http://www.ebawe.de>; Abasova 2011).



3.14 pav. Mentinis trintuvas



3.15 pav. Betono klotuvas

Gatavos produkcijos išvežimo vežimėlis. Gatavos produkcijos išvežimo vežimėlio keliamoji galia siekia 30 t, išilginio judėjimo greitis 30 m/min., o skersinio judėjimo greitis siekia iki 12 m/min. Gatavos produkcijos išvežimo vežimėlis (3.16 ir 3.17 pav.) skirtas gatavai produkcijai išvežti į lauko sandėlį (<http://www.ebawe.de>; Abasova 2011).

Betono maišyklė. Vidinis maišytuvo paviršius sudarytas iš ypač kieto metalo plokštelių. Prie korpuso jos tvirtinamos varžtais. Susidėvėjusias plokšteles galima greičiau ir lengviau pakeisti.

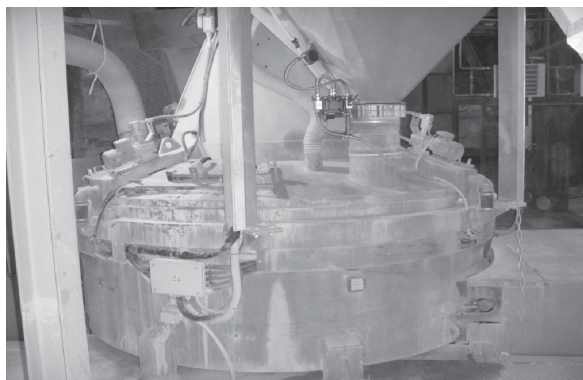


3.16 pav. Gatavos produkcijos transportavimo vežimėlis



3.17 pav. Gatavos produkcijos išvežimo vežimėlis

Maišytuvo dugne arba šoninėje sienelėje yra betono drėgmės ir temperatūros daviklių angos. Betono mišinys iš maišytuvo išpilamas per didelę angą dugne, kuri uždaroma ir atidaroma hidrauliniu cilindru. Viena maišytuve gali būti iki keturių išpylimo angų. Tai palengvina betono mišinio paskirstymą skirtingiems vartotojams, atsisakant sudėtingo paskirstymo mazgo. Avarijos metu (kai dingsta elektra), maišytuvas komplektuojamas rankine pompa. Ja sudarius slėgį hidraulinėje atidarymo sistemoje, galima atidaryti išpylimo dangtį. Taip išvengiama betono mišinio sukietėjimo maišytuve. Betono maišyklė pavaizduota (3.18 pav.), o jos techniniai duomenys pateikti 3.3 lentelėje (Abasova 2011; <http://www.ebawe.de>).



3.18 pav. Betono maišyklė

3.3 lentelė. Betono maišyklės techniniai duomenys

Parametras	Techninės charakteristikos ir matavimo vienetai
Sausasis tūris	3000 l
Maišyklės pavara	2000 l
Užmaišyto betono tūris/1 užmaišymas	90 kW
Hidraulikos pavara	2,2 kW
Maišyklės žvaigždės	3 vnt.

3.3 lentelės pabaiga

Parametras	Techninės charakteristikos ir matavimo vienetai
Maišyklės kastuvėliai/kiekvienai žvaigždei	2 vnt.
Pagalbininkas iškrovimui	1 vnt.
Sukibimas	1 vnt.
Rotoriaus sūkių skaičius	10,4 aps/min.
Maišyklės žvaigždžių sūkių skaičius	37,7 aps/min.
Piltuvėliai vandeniui išlaistyti	12 vnt.
Vandens prijungimas	3 coliai
Maišyklės svoris	7650 kg

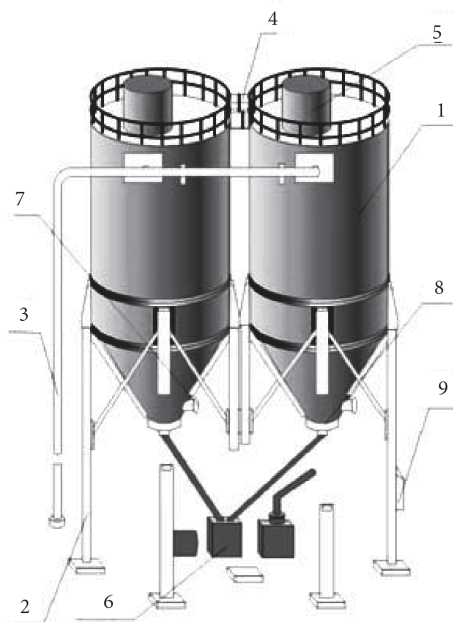
Dozatorius. Betono mišinio komponentai dozuojami pagal masę. Cementas, vanduo ir priedai dozuojami $\pm 1\%$, o užpildai $\pm 2\%$ tikslumu. Dozavimo tikslumui kenkia kintamoji užpildų drėgmė, todėl ją reikia žinoti ir įvertinti. Automatinio veikimo dozatoriais (3.19 pav.) (Abasova 2011; <http://www.ebawe.de>) medžiagos sveriamos pagal programą, nedalyvaujant operatoriui. Į pusiau automatinio veikimo dozatoriaus bunkerį medžiagos patenka ir atsveriamos automatiškai, o į



3.19 pav. Automatinio veikimo dozatorius

betono maišytuvą suberiamos gavus operatoriaus signalą iš valdymo pulto. Rankinio valdymo dozatorių bunkerį uždarymą–atidarymą valdo operatorius. Medžiagų masę jis mato svėrimo mechanizmo skalėje. Pagal darbo režimą dozatoriai būna ciklinio ir nuolatinio veikimo.

Silosai. Cementas į gamyklą vežamas specialiais geležinkelio vagonais. Vagonų sienos yra nuolaidžios, ir cementas veikiamas savosios masės jėgos, per dvi vagono apačioje esančias angas-lizdus išbyra į bunkerius. Cementas pakraunamas ir iškraunamas pneumatiniu būdu. Kad gamykla dirbtų be pertraukų, sandėlyje turi būti tam tikros cemento atsargos. Sandėlyje laikomas cementas neturi sudrėkti, todėl jo neturi veikti drėgnas oras, drėgmė. Ilgainiui laikomas cementas susiguli. Sandėliai cementui laikyti dažniausiai esti cilindriniai metaliniai silosai (3.20 pav.) (<http://www.ebawe.de>), surenkami iš metalinių



3.20 pav. Cemento sandėlis: 1 – silosas; 2 – stovai; 3 – pakrovimo vamzdis;
4 – paskirstymo vamzdis; 5 – filtras; 6 – pneumatinis krautuvas;
7 – lygio rodiklis; 8 – cemento išbyrėjimo anga; 9 – valdymo skydelis

žiedų. Cementą iš priėmimo bunkerio į silosus geriausia transportuoti sraigtiniais transporteriais, o vertikaliai – kaušiniais elevatoriais, aeroliftais arba sraigtiniais pneumatiniiais siurbliais.

Technologinių operacijų postai ir jų seka

Gaminių išformavimo postas (TP 01)

Gaminių išformavimo poste dirba 2 darbuotojai. Šiame poste nuo žemės valdomu kranu nuimami magnetais pritvirtinti šoniniai paletės bortai. Magnetai atlaisvinami specialiais įrankiais. Kranu nuėmus bortus, šie sudedami ant juostinio konvejerio ir pervežami į bortų sandėliavimo vietą, kur yra sandėliuojami specialiuose sandėliavimo stelažuose. Bortus į sandėliavimo stelažus sudeda tie patys darbininkai, kurie juos išmontuoja. Jei bortinė įranga tinka kitiems gaminiams gaminti, ji nuvaloma ir tiltiniu kranu perkeliama į bortinės įrangos montavimo postą. Po bortų nuėmimo operacijos po formavimo paletę, ant kurios suformuoti gaminiai, pavažiuoja skersinio pervežimo įrenginys, kuris hidrauliniiais cilindrais nukelia paletę su gaminiais nuo ritinių atramų ir, pervežęs ją iki palečių pavertimo posto (TP 02), padeda ant ritinių atramų.

Palečių pavertimo postas (TP 02)

Palečių pavertimo poste dirba tie patys 2 formuotojai, kurie dirba ir gaminių išformavimo poste (TP 01). Paletė su ant jos esančiais gaminiais užfiksuojama ir hidrauliniiais cilindrais paverčiama 80° kampu. Prieš pavertimą gaminys pritvirtinamas pakabomis. Gaminys nuo žemės valdomu kranu perkeltas ant gatavos produkcijos išvežimo vežimėlio. Nuėmus gaminį, po operatoriaus duotos komandos paletė nuleidžiama ant ritinių atramų ir konvejeriu juda į gaminio kontūrų žymėjimo postą (TP 03). Tarp palečių pavertimo (TP 02) ir gaminio kontūrų žymėjimo (TP 03) postų įrengtas stacionarus palečių valymo įrenginys, kuris reguliuojamuoju peiliu nuvalo betono likučius nuo paletės. Palečių valymas atliekamas, kai plokštės yra nukeltos nuo paletės,

betono nuolaužos ir kitos smulkios atliekos šepėčiais nuvalomos į betono atliekoms skirtą dėžę. Nuvalius paletę šepėčiais, darbininkai grandikliais nuvalo prie paletės prilipusį betoną. Atlikus šiuos darbus, paletė juda pro valymo įrenginį spausdintuvo link. Besisukantys vertikalūs ir horizontalūs šepėčiai, paletei judant pro valymo mašiną, nuvalo stacionarųjį paletės bortą ir horizontalųjį paviršių. Paletės valymo operaciją stebi vienas iš darbininkų, dirbančių prie pavertimo įrenginio. Bortai valomi besisukančiais metaliniais šepėčiais.

Gaminio kontūrų žymėjimo postas (TP 03)

Gaminio kontūrų žymėjimo poste ant nuvalytos paletės braižytuvas pažymi gaminio, kuris bus gaminamas ant konkrečios paletės, kontūrus. Informaciją apie gaminį, kurio kontūrus reikia išbraižyti, gaunama iš pagrindinio kompiuterio, esančio meistrų patalpoje. Prieš braižymą paletės padėtis pakoreguojama pneumatiniais cilindrais. Komandą centravimo operacijai pradėti duoda vienas iš darbininkų, dirbančių prie pavertimo įrenginio. Po centravimo operacijos tas pats darbininkas paleidžia braižytuvą. Braižytuvas naudoja dažus, kurie skiedžiami vandeniui ir yra nekenksmingi aplinkai. Dažai išdžiūsta per 10–15 min. ir yra nuvalomi, kai paletė juda pro valymo įrenginio besisukančius šepėčius. Po kontūrų žymėjimo operacijos paletė juda į tranzitinį (TP 04) arba (TP 05) postą, iš kur skersinio pervežimo įrenginiu transportuojama į bortinės įrangos montavimo postą (TP 04.1 arba TP 05.1 priklausomai, kuris iš jų yra neužimtas).

Bortinės įrangos montavimo postai (TP 04.1 ir TP 05.1)

Kiekviename iš šių postų dirba 2 formuotojų brigada. Darbininkai ant paletės pagal spausdintuvo išbraižytus kontūrus sudeda šoninius bortus. Bortai prie formavimo paletės tvirtinami magnetais. Bortai nuo žemės valdomu kranu atvežami iš bortų sandėlio, kur jie jau būna surinkti konkrečiam gaminiui pagal gamybos planavimo skyriaus pateiktus brėžinius. Brėžiniai konkretaus gaminio bortų gamybai pateikiami

gamybos linijos vadovui arba technologui prieš tris dienas iki gaminio formavimo. Surinkus šoninius bortus bei patikrinus geometrinius matmenis, paletė ir šoniniai bortai rankiniu purkštuvu išpurškiami tepalu, kad nepriliptų betonas. Tepalas tolygiai paskleidžiamas ir įtrinamas naudojant poroloninę šluotą. Po šios operacijos skersinio pervežimo įrenginiu paletė grąžinama į bortinės įrangos montavimo postus (TP 04 arba TP 05), iš kurių juda į tranzitinius (TP 06, TP 07 arba TP 08) postus. Iš tranzitinių (TP 06, TP 07 arba TP 08) postų paletė skersovėžiu pervežama į armatūros tinklų bei karkasų montavimo postus (TP 06.1, TP 07.1 arba TP 08.1 priklausomai, kuris iš jų yra neužimtas).

Armatūros tinklų bei karkasų montavimo postai (TP 06.1, TP 07.1 arba TP 08.1)

Kiekviename iš šių postų dirba 2 formuotojų brigada. Darbininkai šiuose postuose pagal gamybos planavimo skyriaus pateiktus brėžinius į paletes sudeda armatūros tinklus. Armatūros tinklai gaminami armatūros ceche. Gamybos planavimo skyrius armatūros tinklų montavimo brėžinius perduoda gamybos linijos vadovui arba technologui prieš 3 dienas iki gaminio gamybos. Armatūros tinklai iš armatūrinių gaminių cecho atvežami ant vežimėlio į formavimo cecho III angoje esančius armatūros tinklų sandėlius. Konkrečiam gaminiui gaminti reikalingi armatūros tinklai nuo žemės valdomu kranu pakraunami ant vežimėlio, kuris perveža armatūros tinklus į formavimo cecho II angą. Formavimo cecho II angoje armatūros tinklai nuo žemės valdomu kranu nuimami nuo vežimėlio ir transportuojami iki posto, kuriame bus klojami į gaminio formą. Armatūros tinklai dedami ant paletės, tada po jais pakišami specialūs apsauginį betono sluoksnį užtikrinantys fiksatoriai (betoniniai arba plastikiniai). Šiuose postuose į projektinę padėtį sudedama visa armatūra, nurodyta gamybos planavimo skyriaus pateiktuose brėžiniuose. Po armatūrinių tinklų sudėjimo ir kokybės kontrolės skyriaus patikrinimo paletės skersinio

pervežimo įrenginiu grąžinamos į tranzitinius (TP 06, TP 07 arba TP 08) postus, iš kurių konvejeriu juda į betono klojimo postą (TP 09 arba TP 10 priklausomai, kuris iš jų yra neužimtas).

Betono klojimo postas (TP 09 arba TP 10)

Betono klojimo poste dirba 1 betono klotuvo operatorius. Betono klotuvo operatorius patikrina, ar teisingai surinkta forma, ar patikimai užfiksuoti visi elementai. Jei viskas atlikta teisingai, tada pagal gamybos planavimo skyriaus skaičiavimus užsako reikiamą betono kiekį. Betonas į klotuvą tiekiamas *Dudic* vežimėliais. Pakrovus betoną į klotuvą, operatorius pakloja betoną į gaminio formą, valdydamas betono klotuvą stacionariu, prie betono klotuvo pritvirtintu pultu. Jei reikalingas betono kiekis yra didesnis nei vienu kartu gali pristatyti *Dudic* vežimėlis, operatorius, suklojęs visą betono klotuve esantį betoną, vėl duoda užsakymą dėl trūkstamo betono kiekio betono mazgo operatoriui. Ši operacija kartojama tol, kol visiškai suformuojamas gaminys. Betonas turi būti klojamas sulig gaminio bortų viršumi, paliekant nedidelį perteklių. Jei betonas buvo klojamas (TP 09) poste, tuomet stacionariame valdymo pulte, esančiame šalia (TP 09) posto, įjungiama betono tankinimo operacija. Tankinimo operaciją sudaro paletės prispaudimo prie vibratoriaus ir vibravimo operacijos. Vibravimas galimas X, Y arba Z ašių kryptimis, priklausomai nuo pasirinktos programos. Jei betonas buvo klojamas (TP 10) poste, tuomet skersinio pervežimo įrenginiu paletė pervežama į (TP 09) postą, kur atliekama tankinimo operacija. Suklojus betoną (TP 09) poste, paletės juda į šilumos izoliacijos ir armatūros tinklų ar karkasų montavimo postą (TP 08.1).

Šilumos izoliacijos ir armatūros tinklų bei karkasų montavimo postas (TP 08.1)

Šilumos izoliacijos ir armatūros tinklų bei karkasų montavimo poste dirba 2 formuotojų brigada. Darbininkai šiame poste pagal

gamybos planavimo skyriaus pateiktus brėžinius į paletes sudeda trisluoksnio gaminio šilumos izoliacijos sluoksnį, išorinį ir vidinį gaminio sluoksnius jungiančius karkasus, taip pat vidiniam gaminio sluoksniui armuoti skirtus armatūros karkasus arba tiklus. Gamybos planavimo skyrius šilumos izoliacijos sluoksnio ir armatūros tinklų bei karkasų montavimo brėžinius perduoda gamybos linijos vadovui arba technologui prieš 3 dienas iki gaminio gamybos. Šilumos izoliacija sandėliuojama III angoje šalia šilumos izoliacijos ir armatūros tinklų bei karkasų montavimo posto (TP 08.1). Šilumos izoliacija pjaustoma specialiais peiliais tiesiai į gaminio formą. Suklojus šilumos izoliaciją, ant viršaus klojami armatūros tinklai. Armatūros tinklai iš armatūrinių gaminių cecho atvežami ant vežimėlio į formavimo cecho III angoje esančius armatūros tinklų sandėlius. Konkrečiam gaminiui gaminti reikalingi armatūros tinklai nuo žemės valdomu kranu pakraunami ant vežimėlio, kuris perveža armatūros tinklus į formavimo cecho II angą. Formavimo cecho II angoje armatūros tinklai nuo žemės valdomu kranu nuimami nuo vežimėlio ir transportuojami iki posto, kuriame bus klojami į gaminio formą. Armatūros tinklai dedami ant šilumos izoliacinio sluoksnio, tada po jais pakišami specialūs apsauginį sluoksnį užtikrinantys fiksatoriai. Šiame poste į projektinę padėtį sudedama visa armatūra, nurodyta gamybos planavimo skyriaus pateiktuose brėžiniuose. Po armatūrinių tinklų sudėjimo ir kokybės kontrolės skyriaus patikrinimo paletės skersinio pervežimo įrenginiu grąžinamos į tranzitinį (TP 08) postą, iš kurio konvejeriu juda į betono klojimo postą (TP 09 arba TP 10 priklausomai, kuris iš jų yra neužimtas).

Betono klojimo postas (TP 09 arba TP 10)

Betono klojimo poste dirba 1 betono klotuvo operatorius. Betono klotuvo operatorius pagal darbo brėžiniuose nurodytą vidinio sluoksnio tūrį užsako vidiniam gaminio sluoksniui reikiamą betono kiekį. Betonas į klotuvą tiekiamas *Dudic* vežimėliais. Pakrovus betoną į klotuvą, operatorius pakloja betoną į gaminio formą, valdydamas betono

klotuvą stacionariu, prie betono klotuvo pritvirtintu pultu. Jei reikalingas betono kiekis yra didesnis nei vienu kartu gali pristatyti *Dudic* vežimėlis, operatorius, suklojęs visą betono klotuve esantį betoną, vėl duoda užsakymą dėl trūkstamo betono kiekio betono mazgo operatoriui. Ši operacija kartojama tol, kol visiškai suformuojamas gaminys. Gaminant trisluoksnes sienas, tankinimo operacija po vidinio sluoksnio užpylimo tankinimo įrenginiu neatliekama, nes yra pavojus, kad bus iškeltas šilumos izoliacinis sluoksnis. Suklojus betoną betono klojimo (TP 09) poste, paletės su gaminiais juda į tankinančios lyginimo sijos postą (TP 11 arba TP 12 priklausomai, kuris iš jų yra neužimtas).

Tankinančios lyginimo sijos postas (TP 11 arba TP 12)

Tranzitiniai postai, kuriuose bėgiais važinėja tankinanti lyginimo sija, valdoma operatoriaus (to paties, kuris dirba betono klojimo poste), nulygina ir sutankina viršutinį betono sluoksnį. Sutankinus ir išlyginus gaminio viršutinį betono sluoksnį, paletė su gaminiu juda konvejeriu per tranzitinį (TP 13) postą keltuvo link.

Mentinio užtrynimo postas (TP 14 arba TP 15)

Mentinio užtrynimo poste įrenginį valdo vienas operatorius (tas pats, kuris dirba su betono klotuvu). Mentinio užtrynimo įrenginiu užtikrinamas viršutinio betono sluoksnio lygumas. Paletės su gaminiais į šiuos postus pristatomos po 2 val. kietėjimo. Užtrynimo procesas vykdomas besisukančiomis mentimis. Po užtrynimo paletė su gaminiu vėl dedama į kietėjimo kameras.

Pabaigoje plokštės išvežamos į sandėlį specialiu gatavos produkcijos išvežimo vežimėliu, kuriame įrengtas plokščių fiksavimo vertikaloje padėtyje stovas. Sandėlyje plokštės nukeliamos nuo vežimėlio ir sustatomos į sandėliavimo stovus, užfiksuojamos metaliniais kaišiais bei mediniais pleištais. Plokštės laikomos ir transportuojamos pagal darbo brėžinių ir standarto reikalavimus bei patvirtintą laikymo ir

transportavimo schemą SCH 08-14-01 „Sienų elementų stropavimo, sandėliavimo ir transportavimo taisyklės“.

Sienų gaminiai, jų charakteristikos ir kokybės kontrolė

Sieniniai gelžbetoniniai elementai – šiltos daugiasluoksnės sieninės plokštės, sudarytos iš išorinio ir vidinio gelžbetonio sluoksnio bei tarp jų esančio izoliacinio sluoksnio, tarpusavyje jungiamų specialiais metaliniais ryšiais. Sieniniai gelžbetoniniai elementai skirti greitai ir patogiai gyvenamųjų namų bei komercinės ar gamybinės paskirties pastatų statybai. Surenkamųjų elementų gamyboje naudojamas dideliu atsparumu gniuždymui pasižymintis betonas, armatūra ir mineralinė vata.

Sieninės plokštės yra naudojamos pagal statybos projektą išorės sienoms ir pertvaroms įrengti įvairios paskirties statiniuose. Sieninių plokščių aukštis gali siekti iki 3660 mm (formavimo paletės aukštis 3850 mm), ilgis – iki 12 120 mm (formavimo paletės ilgis 12 500 mm), plokščių skerspjūvių aukščiai yra nuo 80 mm iki 450 mm. Gamybai naudojamas normalusis ne žemesnės kaip C30/37 klasės betonas. Plokštės armuojamos S-500 ir (arba) S-240 klasės armatūra. Armatūra parenkama skaičiavimais priklausomai nuo plokštės skerspjūvio aukščio, naudingojo apkrovos dydžio ir ilgio. Plokščių armatūra apskaičiuojama pagal Statybos techninę reglamentą STR 2.05.05: 2005 „Betoninių konstrukcijų projektavimas“. Plokštės gaminamos pagal darbo brėžinius, standarto LST EN 14992 „Surenkamieji betoniniai gaminiai. Sienų elementai“ reikalavimus ir technologinę instrukciją.

Gaminamos sieninės plokštės yra skirstomos į du tipus: **vienasluoksnės** ir **daugiasluoksnės**.

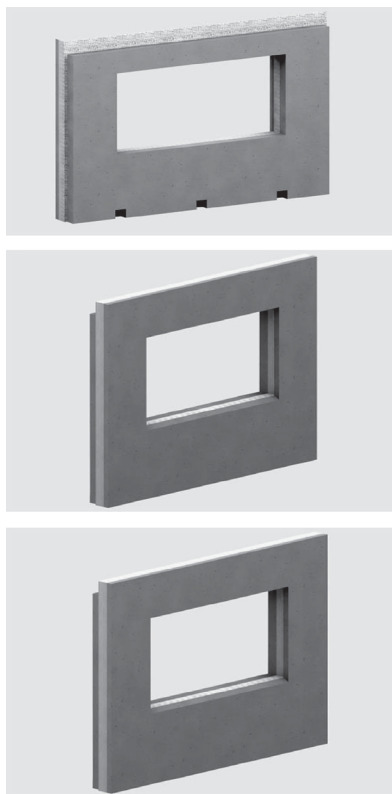
Vienasluoksnės sieninės plokštės yra skirstomos taip:

- vienasluoksnės lauko sieninės plokštės (sieninės, parapeto ir cokolinės);
- vienasluoksnės vidinės sieninės plokštės (vidaus sienos ir pertvaros, lifto šachtos).

Daugiasluoksnės sieninės plokštės yra skirstomos taip:

- dvisluoksnės lauko sieninės plokštės (išorinis šilumos izoliacinis sluoksnis ir vidinis betoninis sluoksnis; sieninės, parapeto ir cokolinės);
- trisluoksnės lauko sieninės plokštės (išorinis betoninis sluoksnis, vidurinis šilumos izoliacinis sluoksnis ir vidinis betono sluoksnis; sieninės, parapeto ir cokolinės).

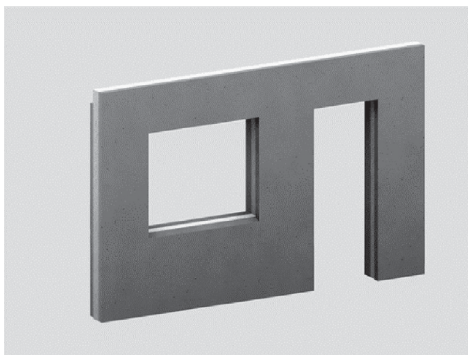
Rekomenduojami sieninės plokštės matmenys yra iki 7000×3400 mm. Maksimali elemento masė gali būti 16 t, tačiau statybos aikštelėje patogiau, kai elemento masė neviršija 10 t (3.21–3.28 pav.).



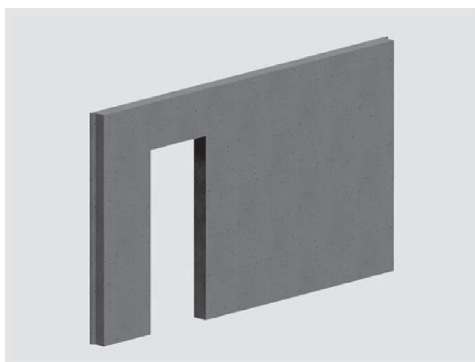
3.21 pav. Trisluoksnių sieninių plokščių tipai su angomis langui



3.22 pav. Trisluoksnės sieninės plokštės su anga langui – kampinis elementas



3.23 pav. Trisluoksnė sieninė plokštė su angomis langui ir durims



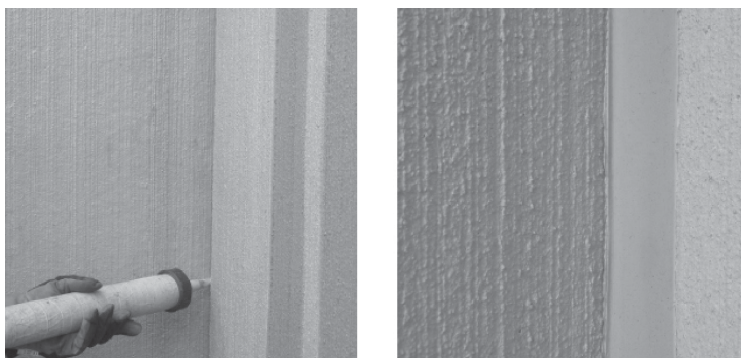
3.24 pav. Vienasluoksnė sieninė plokštė su anga durims

Surenkamųjų elementų panaudojimas leidžia išpildyti vieną iš pagrindinių užsakovų keliamų reikalavimų ir pasiūlyti greitus statybų terminus. Dėl pažangios montavimo technologijos pastato iš surenkamųjų elementų statyba itin greitai, montavimo darbai gali būti vykdomi bet kokiomis oro sąlygomis. Sieninės plokštės apačioje yra suformuotas lizdas, o viršuje – inkarinis strypas, kurie, montuojant vertikaliai, tarpusavyje sujungiami ir užbetonuojami. Horizontaliai plokštės jungiamos kilpinėmis jungtimis, kuriuos yra instaliuotos gaminio šonuose. Nelaikančiosios sieninės plokštės gali būti montuojamos ant atskiرو pamato arba kabinamos prie laikančiųjų plokščių kiekviename aukšte (<http://www.markuciai.lt>).

Surenkamųjų elementų panaudojimas sumažina darbo jėgos poreikį – pasirinkus statybą iš tokių konstrukcijų, telieka sumontuoti gamykloje pagamintus gaminius.

Sieninės plokštės pasižymi lygiu, minimalios apdailos reikalaujančiu paviršiumi. Nėra reikalingi nei tinkavimo, nei glaistymo darbai. Sumontuotus sienų elementus galima dažyti ar panaudoti kitus apdailos būdus, be to, užsakovams siūloma galimybė pasirinkti gamyklinę apdailą – įvairiais būdais paruoštus betono paviršius (lygų paviršių, plytų mūro, plytelių bei medžio imitacijos ir kt.).

Sieninių plokščių siūlės užtaisomos specialiu hermetiku (3.25 pav.).



3.25 pav. Siūlės sandarinimas



3.26 pav. Individualus gyvenamasis namas iš trisluoksnių sieninių plokščių

a)



b)



3.27 pav. Trisluoksnių sieninių plokščių montavimas (a, b)

Kompozicinių sieninių plokščių taikymo pavyzdžiai pateikti 3.21–3.28 pav. (<http://www.markuciai.lt>).



3.28 pav. Daugiaaukštis namas iš trisluoksnių sieninių plokščių

Kokybės kontrolė

1. Sieninių plokščių priėmimas

Plokštės turi būti priimamos įvertinus pradinis, operacinius, priėmamosios kontrolės ir periodinių bandymų rezultatus bei standarto LST EN 14992: 2007 reikalavimus. Pradinės kontrolės metu įvertinama medžiagų, ruošinių, reikalingų plokščių gamybai, atitiktis. Operacinės kontrolės metu tikrinami technologinių procesų parametrai ir atlikimo tvarka.

Priėmimo kontrolės metu tikrinami plokščių kokybiniai parametrai ir įvertinama jų atitiktis. Kokybiniai parametrai: plokštės matmenys, paviršių kokybė – tikrinami kiekvienam gaminiui. Betono gniuždomojo stiprio kontrolė atliekama pagal LST EN 206-1 reikalavimus.

Kiekvienoje plokštėje reikia patikrinti:

- ar nėra plyšių;
- kiaurymių, išėmų ir kėlimo kilpų dydį bei padėtį (kai jos yra projekte);
- ar plokštė reikiamai paženklinta;

- priėmus plokštes, ant kiekvieno gaminio rašoma TK žyma;
- jeigu kontrolės rezultatai nepatenkinami, plokščių gamyba turi būti nutraukta ir pasiekti numatytos priemonės reikalavimai;
- atiduodant plokštes pirkėjui, turi būti išduodama atitikties deklaracija pagal STR 1.03.02 reikalavimus;
- plokštės plotis matuojamas plokštės viršuje tris kartus po 100 mm nuo plokštės galų ir per plokštės vidurį. Kiekvienas matmuo lyginamas su leistinąja verte;
- plokštės storis matuojamas abiejuose plokštės galuose ir per plokštės vidurį po tris kartus. Kiekvienas matmuo lyginamas su leistinąja verte.

Leistinieji nuokrypiai pateikti 3.4 lentelėje.

Betono gniuždomasis stipris nustatomas pagal ISO 4012 arba LST EN 12390-3. Betono stiprį galima patikrinti daužiklio atšokimo metodu pagal LST EN 12504-2. Šiuo metodu nustatyto betono stipris turi atitikti projekcinį betono stiprį konstrukcijoje.

3.4 lentelė. Maksimalios nuokrypos nuo nurodytų vardinių dydžių

Angų ir įdėklų padėties tolerancijos					
Klasė			Leistinieji nuokrypiai		
A			±10 mm		
B			±15 mm		
Matmenų tolerancijos					
Klasė	Leistinieji nuokrypiai				
	Pagrindiniai matmenys				
	0–0,5 mm	0,5–3 mm	>3–6 mm	>6–10 mm	>10 mm
A	±3 mm ^a	±5 mm ^a	±6 mm	±8 mm	±10 mm
B	±8 mm	±14 mm	±16 mm	±18 mm	±20 mm
Paviršių lygumo tolerancijos					
Klasė		Padalos, išreikštos atstumais tarp matavimo taškų, iki			
		0,2 m		3 m	
A		2 mm		5 mm	
B		4 mm		10 mm	

4. NAUJŲJŲ TECHNOLOGIJŲ KOMPOZICINĖS MEDŽIAGOS

4.1. Putų poliuretano gaminiai

Putų poliuretano savybės priklauso nuo medžiagų struktūros, žaliavų ir technologinių parametrų.

Šilumos laidumas

PUR šilumos laidumas priklauso nuo įvairių veiksnių:

- putinimui naudotų dujų;
- tankio;
- temperatūros;
- drėgnio ir vandens kiekio;
- matavimo laiko.

Putinimo dujų šilumos laidumo koeficientas yra daug mažesnis nei oro:

$$\lambda_{\text{oro}} = 0,024 \text{ W/m} \cdot \text{K}.$$

Poliuretanui putinti naudojamų dujų šilumos laidumo koeficientas $\lambda_{\text{dujų}} = 0,012\text{--}0,013 \text{ W/m} \cdot \text{K}$.

Dėl uždaro putų poliuretano struktūros (uždarytų porų dažniausiai yra daugiau nei 90 %) putinimo medžiaga labai ilgai išlieka medžiagos akutėse.

Statyboms naudojamas nuo 30 kg/m^3 iki 100 kg/m^3 tankio putų poliuretanai. Šiame tankio diapazone šilumos laidumo koeficientas mažai keičiasi (4.1 pav.) (Gailius, Vėjelis 2010).

Kadangi putų poliuretano gaminiai eksploatuojami įvairios temperatūros aplinkoje, svarbi medžiagos savybė – šilumos laidumo koeficiento didėjimas, didėjant eksploatacinei temperatūrai.

Esant 25°C temperatūrai, vandens šilumos laidumo koeficientas lygus

$$\lambda_{\text{vandens}} = 0,5 \text{ W/m} \cdot \text{K}.$$

Efektyvių šilumos izoliacinių medžiagų šilumos laidumo koeficientas $\lambda = 0,02\text{--}0,05 \text{ W/m} \cdot \text{K}$.

Didėjant vandens įmirkiui, didėja ir medžiagos šilumos laidumo koeficientas. Kaip buvo nustatyta Vokietijos šiluminės technikos institute, PUR šilumos laidumo koeficientas, 28 paras mirkys vandenyje, padidėja tik $0,0018 \text{ W/m} \cdot \text{K}$.

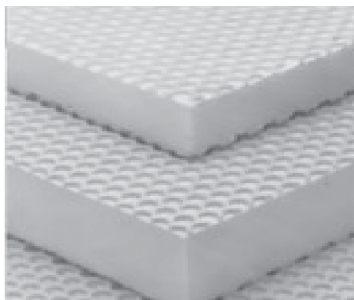
Senėjimas

Gaminant putų poliuretaną, jo struktūroje lieka didelis kiekis putintojo (dujų), kuris iš gaminių pašalinama ir nusistovi pusiausvyra. Dėl

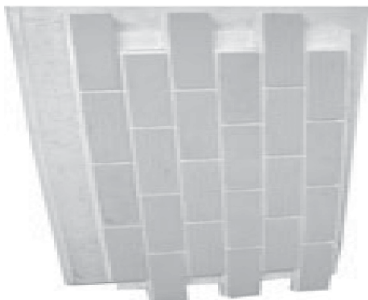
a)



b)



c)



d)



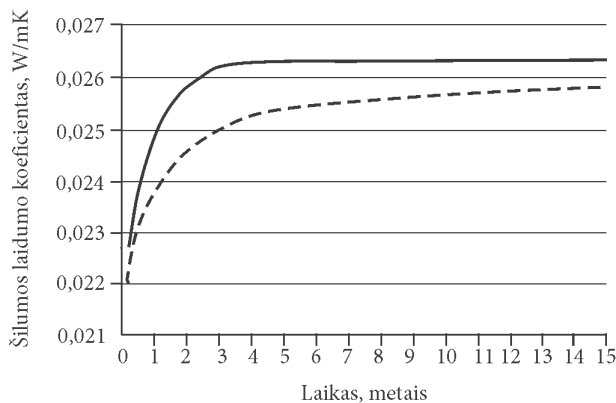
4.1 pav. Putų poliuretano gaminiai: a – vamzdžių izoliacija;
b – plokštės; c – trisluoksni dekoratyvinė plokštė;
d – užpurškiamoji šilumos izoliacinė medžiaga

dujų pasišalinimo blogėja šilumos laidumo koeficientas. Vokietijos šiluminės technikos institutas 15 metų tyrė šilumos laidumo koeficiento pokyčius. Bandymams pasirinkti gaminiai, kuriems putinti buvo naudotas pentanas. Nustatyta, kad intensyviai šilumos laidumo koeficiento reikšmė didėja pirmuosius trejus metus (4.2 pav.).

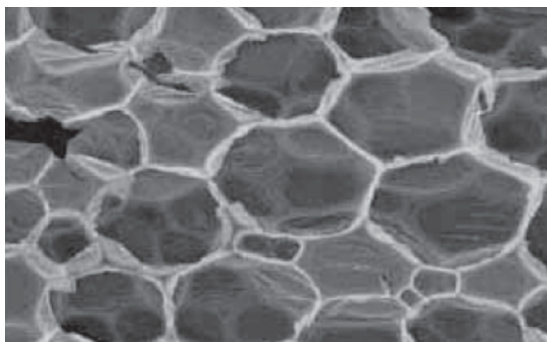
Plonesniuose gaminiuose esančios dujos iš gaminio pasišalina greičiau, ir po trejų metų šilumos laidumo koeficientas nebekinta. Didesnio storio bandiniuose šilumos laidumo koeficientas didėja nedaug per visą bandymų periodą (15 metų). Po trejų metų šilumos laidumo koeficiento vertės didėjimas sudaro $5,8 \text{ mW/m} \cdot \text{K}$ gaminiams, kurių storis 40 mm, ir $4,8 \text{ mW/(m} \cdot \text{K)}$ bandiniams, kurių storis 80 mm (4.2 pav.).

Tankis

Statybų reikmėms naudojamo putų poliuretano tankis yra $30\text{--}45 \text{ kg/m}^3$ ir labai retai pasiekia 100 kg/m^3 tankį. Specialiai naudojant, kur veikia ekstremalios mechaninės apkrovos, PUR tankis gali siekti 700 kg/m^3 .



4.2 pav. Putų poliuretano šilumos laidumo koeficiento priklausomybė nuo laiko



4.3 pav. Putų poliuretano akučių struktūra

Putų poliuretano tankis pirmiausia priklauso nuo struktūros (4.3 pav.). Gaminį sudaro tik nedidelė kietojo poliuretano dalis. Kai PUR tankis 30 kg/m^3 , kietosios medžiagos jame yra tik 3 % pagal tūrį. Ši kietoji medžiaga sudaro akučių sienelės, kurios laiko mechanines apkrovas.

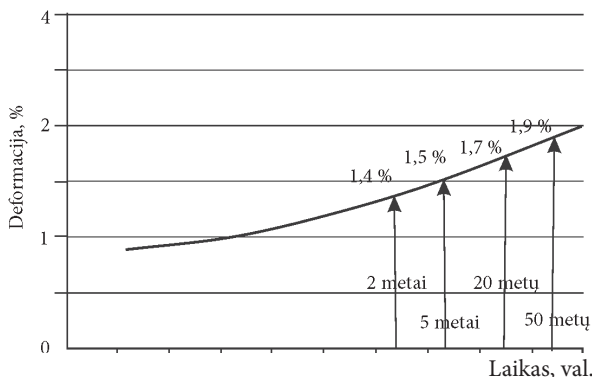
Stipris

Poliuretano (PUR) stipris tiesiogiai priklauso nuo jo tankio. Daugumai termoizoliacinių medžiagų būdingas gniuždomasis įtempis, kai medžiaga deformuojama 10 %. PUR šis dydis labai nepastovus ir kartais net vienodo tankio gaminiams tenka vienu atveju nustatyti gniuždomąjį stiprį, o kitu – gniuždomąjį įtempį.

Putų poliuretano stipruminių savybių rodikliai pateikti 4.1 lentelėje.

4.1 lentelė. Putų poliuretano 24 kg/m^3 ir 48 kg/m^3 tankio plokščių stipruminių savybių rodikliai

Tankis, kg/m^3	Gniuždymo stipris, kPa	Tempimo stipris, kPa	Šlyties stipris, kPa
24	140	250	140
48	410	550	290



4.4 pav. Putų poliuretano ilgalaikio gniuždymo priklausomybė nuo laiko

Ilgalaikis gniuždymas (valkšnumas)

Daugumai termoizoliacinių medžiagų, kurias veikia apkrovos, svarbi savybė yra atsparumas ilgalaikėms apkrovoms. 4.4 pav. pateikti ilgalaikių gniuždymo bandymų rezultatai. Bandymams naudotos 33 kg/m^3 tankio putų poliuretano plokštės. Bandiniai buvo veikiami nuolatine 40 kPa gniuždomąja apkrova penkerius metus. Pagal gautus duomenis bandymų rezultatai buvo aproksimuoti 20 metų ir 50 metų periodui. Kaip parodė skaičiavimai, po 50 metų eksploatacijos putų poliuretano deformacijos neturi viršyti 2 %.

Ilgalaikis vandens įmirkis

Kadangi PUR poros yra labai smulkios ir apie 90 % iš jų yra uždaros, tai šios medžiagos įmirkis yra minimalus. Įvairaus tankio gaminiais nebūdingas didesnis kaip 2 % tūrio įmirkis. Bandymams buvo naudoti 35 kg/m^3 tankio ir 60 mm storio bandiniai. Pagal standarto reikalavimus ilgalaikis įmirkis atliekamas 28 paras. Papildomai buvo sveriamą po 1, 7, 14, 21 dienos. Kaip rodo bandymų rezultatai, didžiausias įmirkis buvo pirmomis dienomis, t. y. kol įmirko paviršinis sluoksnis. Per vėlesnes 21 dieną bandiniai įmirko vos 0,15 tūrio, % (Gailius, Vėjelis 2010).

4.2. Medienos ir cemento kompozitai

Medienos vilnai gaminti naudojamos medienos atliekos (4.5 pav). Prieš naudojimą mediena supjaustoma į 1–2 m ilgio ruošinius. Supjaustyta mediena mechaniniu būdu nužievinama skutimo įrenginyje. Po nužievinimo mediena supjaustoma į 0,5 m ilgio trinkas ir vėl tiekama į skutimo įrenginį, kur parengiamos 0,1–0,5 mm storio ir maždaug 5 mm pločio medienos drožlės – vilna (4.5 pav.). Medienos vilnai gaminti tinka beveik visi medžiai.

Dažniausiai medienos vilna gaminama iš eglių, pušų, beržų ir drebulių. Iš eglės pagaminta vilna geriausia, nes, naudojant ją kompozitams gaminti, gaunami stipriausi gaminiai.

Pirmieji bandymai susieti medienos gaminius su cementu buvo nesėkmingi – arba cementas visai nesukietėdavo, arba kietėjo labai lėtai, o gaminiai buvo nepakankamai stiprūs.

Medienos ir cemento kompozitų tyrimai pradėti 1924 m. Jau tuomet buvo akivaizdu, kad medienoje yra medžiagų, nepalankiai veikiančių cemento rišimąsi.

Vėliau įsikūrė daug įmonių, gaminančių medienos ir cemento kompozitus, kuriuos pavadino „fibrolito“ vardu. Iki šiol pagrindinė



4.5 pav. Medienos vilna

fibrolito gamybos technologijos užduotis yra chemiškai suderinti medienos poveikį cementui.

Fibrolitas gaminamas dviem būdais – šlapiuoju ir sausuoju. Šlapiasis būdas naudojamas rečiau. Gaminant šiuo būdu, medienos vilnos mineralizacija atskirai neatliekama. Medienos vilna suvilgoma vonioje cemento tešla, kurioje yra skystojo stiklo ir kalcio chlorido. Suvilgyta medžiaga toliau tiekiama į vibrosietus, kur šalinamas cemento tešlos perteklius. Cemento tešlos perteklius papildomai permaišius grąžinamas į vonią pakartotiniam naudojimui.

Gaminant sausuoju metodu, medienos vilna pirmiausia sudrėkinama mineralizatoriumi. Gali būti sudrėkinama dviem būdais – pamerkiant medienos vilną į mineralizatoriaus talpą arba ją apipurškiant. Padengta mineralizatoriumi vilna sumaišoma su cementu.

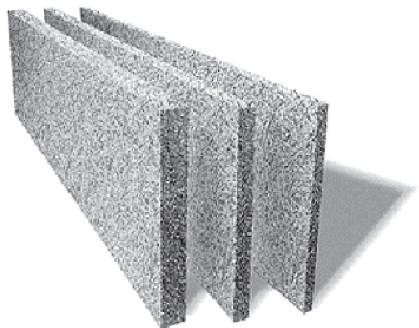
Parengta fibrolito žaliava dedama į formas ir spaudžiama presu. Supresavus plokštės formose laikomos suspaustos, kol pasiekia transportuoti reikiamą stiprį.

Atsižvelgiant į pradinę žaliavą (medienos vilnos storį, plotį, cemento kiekį), gaminamos 250–800 kg/m³ tankio fibrolito plokštės. Iki 400 kg/m³ tankio fibrolito plokštės naudojamos kaip termoizoliacinė, o didesnio tankio gali būti naudojama kaip konstrukcinė medžiaga.

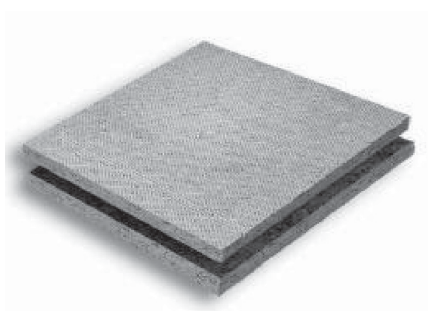
Atsižvelgiant į tankį, gaminių deklaruojamasis šilumos laidumo koeficientas yra nuo 0,08 W/m · K iki 0,17 W/m · K. Dėl ilgo užpildo gaminiai pakankamai stiprūs: gniuždomasis stipris yra nuo 0,3 MPa iki 3,5 MPa, o lenkiamasis stipris – nuo 0,4 MPa iki 2,0 MPa. Dėl atvirų porų fibrolitas labai įmirksta – iki 60 %.

Fibrolito plokštės (4.6 ir 4.7 pav.) naudojamos ir mažaukščiams, ir daugiaaukščiams pastatams statyti. Plokštės naudojamos išorinėms ir vidinėms sienoms įrengti, pertvaroms, luboms. Plokščių elementai turi būti tinkuojami (4.8 pav.).

Kompozito plokštės lengvai montuojamos: jos nesunkios, lengvai tvirtinamos, lengvai pjaustomos pjūklais (Gailius, Vėjelis 2010; Kazragis, Gailius 2006).



4.6 pav. Medienos ir cemento kompozitas



4.7 pav. Medienos plaušo plokštės

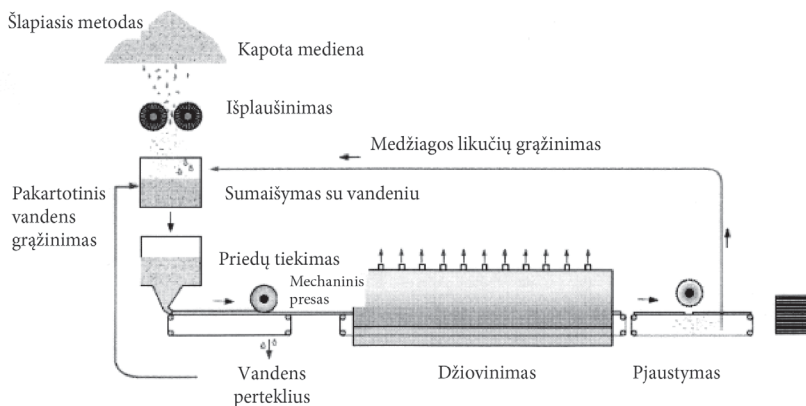


4.8 pav. Pastato atitvarų įrengimas iš medienos ir cemento kompozito plokščių

Plaušas gaminamas malant medienos žaliavą. Jį sudaro audinių ląstelės, jų fragmentai arba medienos ląstelių grupės (medienos dulės). Medienos plaušo plokštės (MPP) yra lakštinė medžiaga, pagaminta presuojant medienos plaušo masę karštuoju būdu.

Kaip žaliava naudojamos medienos atliekos, skiedros, kapotoji mediena. Siekiant gerinti stiprumines savybes, į masę dedama stiprinančiųjų medžiagų (tokių kaip sintetinės dervos), hidrofobizatorių (parafino), antiseptikų ir kt. Medienos plaušo kilimo formavimas gali būti atliekamas šlapiuoju aplinkoje (šlapiasis metodas) arba oro aplinkoje (sausasis metodas). Gaminant šlapiuoju metodu, ant plokštės paviršių lieka sieto formos išpaudai. Viena pusė ir paliekama tokios tekstūros, o kita pusė gali būti sluoksniuojama arba apdorojama kitais metodais.

Medienos plaušo plokštės pramoniniu būdu 1922 m. pradėtos gaminti Jungtinėse Amerikos Valstijose. 1931 m. Švedijoje buvo patentuota nauja medienos plaušo plokščių gamybos technologija. Šiai technologijai įgyvendinti buvo naudojama įranga, sukonstruota kompanijoje „Defibrator“ (<http://www.Defibrator.eu>). Ši gamybos technologija plačiai paplito pasaulyje. Dabar daugelyje šalių veikiančios gamyklos naudoja šią technologiją (4.9 pav.).



4.9 pav. Medienos plaušų gamybos šlapiuoju metodu technologinė schema

Gaminamos įvairaus tankio ir įvairios paskirties plokštės. Baldams gaminti naudojamo medienos masės storis 3,2–5,0 mm, o tankis – 800–1000 kg/m³. Iš pagamintų medienos plokščių gaminami baldai: lentynos, spintos, sofos, stalčiai ir kitos detalės. Atskirą grupę sudaro minkštosios plokštės, kurių tankis 100–400 kg/m³. Jos gaminamos džiovinant kilimą be karšto presavimo. Joms būdingas didelis poringumas, mažas šiluminis laidumas, bet mažas stiprumas. Šie gaminiai nelabai stiprūs, nes plokščių sudėtyje nėra rišiklio – fenolformaldehidinių dervų. Mechaninis stiprumas gaunamas supinant plaušelius tarpusavyje kilimo formavimo metu, taip pat dėl fizikinių ir cheminių procesų plaušelių paviršiuje. Gaminant minkštas medienos plaušo plokštes, yra galimybė reguliuoti jų poringumą ir stiprumines savybes, keičiant medienos plaušelio susmulkinimo laipsnį. Minkštosios medienos plaušo plokštės gaminamos šlapiuoju metodu. Iš pradžių mediena susmulkinama kapojimo įrenginyje, o vėliau tiekama į specialų smulkinimo įrenginį – plaušintuvą. Iš gauto plaušo drėgnoje aplinkoje (60–70 %) ant begalinio sieto formuojamas šlapias kilimas. Vėliau tekstilės gaminyje džiovinamas nenutrūkstamo veikimo konvekciniuose dujinuose džiovinimo kameroje. Išdžiovintas gaminyje supjaustomas į reikiamų dydžių ir formų plokštes. Parengto gaminio poringumas gali siekti iki 60 %. Paprastai plokščių storis svyruoja nuo 5,5 mm iki 100 mm. Plokščių naudojimo temperatūrų diapazonas yra nuo –50 °C iki +140 °C.

Atsižvelgiant į tankį, minkštųjų medienos plaušo plokščių šilumos laidumo koeficientas – nuo 0,038 W/m · K iki 0,048 W/m · K, – mažesnio tankio plokščių yra mažesnis šilumos laidumo koeficientas. Didėjant gaminių tankiui, didėja jų stipruminės savybės. Kai, veikiant apkrovai, gaminyje deformuojamas 10 %, gniuždomasis stipris kinta nuo 0,1 MPa iki 0,35 MPa, lenkiamasis stipris – nuo 1,0 MPa iki 2,1 MPa. Įmirkis per 24 val. sudaro nuo 2 % iki 8 % tūrio, o eksploatacinis gaminių drėgnis svyruoja 7–9 masės, %, ribose (Gailius, Vėjelis 2010).

4.3. Medienos plastiko kompozitai

Medienos plastikas (dažnai sutrumpintai vadinami MP) yra gaminamas iš kompozicinės medžiagos pjautinės medienos atliekų ir iš plastiko.

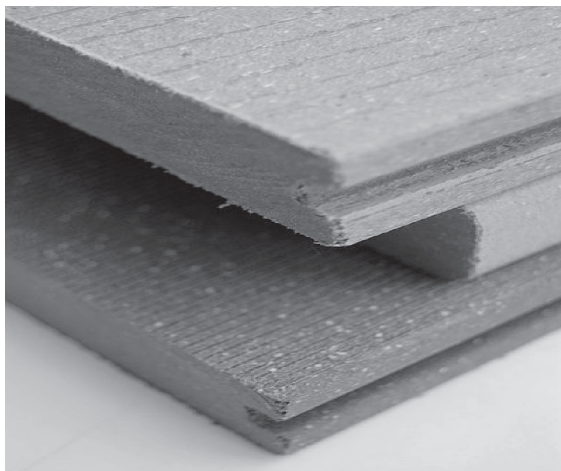
Šie kompozitai labiausiai paplitę naudojant juos lauko pavėsinių grindų medžiagų gamybai, taip pat turėklams, tvoroms, apželdinimo elementams, fasadų ir sienų dangoms, parko suoliukams, langų ir durų rėmams, patalpų baldų gamybai.

Gamintojai teigia, kad medienos plastiko kompozicinės medžiagos yra ekologiškesnės ir reikalauja mažiau priežiūros nei iš kietosios medienos alternatyvų arba kietosios medienos puvimui atsparių rūšių. Iš šių medžiagų galima formuoti su arba be medienos tekstūros imituojančias detales. Net su medienos tekstūra šios medžiagos dizainas vizualiai dar lengvai atskiriamas nuo natūralios medienos.

Medienos plastiko kompozitai, kaip statybinė medžiaga, yra dar labai nauja medžiaga, palyginti su ilga istorija gamtinių alternatyvų. Nors yra labai atsparūs puvimui, medienos plastiko kompozitai dar geba įsiurbti vandenį dėl jų sumaišymo su organiniais medienos plaušais. Gamintojai bandė išvengti šios ydos, maišydami medienos plaušus su aliejumi arba kitais produktais, kad atstumtų vandenį.

Medienos plastiko kompozitai susideda iš medienos (ir kitų celiuliozės pagrindo pluoštinių užpildų, pavyzdžiui, celiuliozės pluošto, žemės riešutų kevalų, bambukų, šiaudų ir t. t.) ir grynųjų arba plastikų atliekų, įskaitant didelio tankio polietileną, PVC, PP, ABS, PS (4.10 pav.) (Klyosov, Anatole 2007).

Medienos plastiko kompozitai struktūriškai panašūs į medį ir gali būti formuojami naudojant tradicinius medienos apdirbimo įrankius. Taip pat jie yra atsparūs drėgmei bei puvimui, tačiau nėra tokie standūs kaip medis ir gali būti šiek tiek deformuoti, paveikus labai karštam orui. Medžiaga taip pat yra jautri, pažeidžiama įvairių agentų pagal jos poringumą.



4.10 pav. Medienos plastiko kompozitų pavyzdžiai

Medienos plastiko kompozito gaminiai – tai naujos kartos produktas, pagamintas iš 70 % natūralaus medžio drožlių ir 30 % polietileno. Unikalaus technologinio proceso metu sujungiamos pačios geriausios abiejų komponentų savybės: natūralaus medžio pojūtis ir išvaizda – su plastiko tvirtumu, elastingumu ir atsparumu aplinkos sąlygų poveikiui. Tai ekologiškas produktas, kurio sudėtyje nėra jokių kenksmingųjų medžiagų, todėl gamybos metu neišskiriamos žalingos medžiagos. Medienos plastiko kompozito gaminiai yra ilgaamžiai, nereikalaujantys priežiūros. Dėl savo išskirtinių savybių jų panaudojimo galimybės yra neribotos.

Turėklai, terasinės lentos iš medienos plastiko kompozito idealiai tinka lietingam bei nepastoviam mūsų Lietuvos klimatui. Palyginti su medžiu, lentos neskilinėja, nepūva. Terasinės lentos iš medienos plastiko kompozito – idealus pasirinkimas tiems, kas nori nuolat turėti gražias natūralias terasų spalvas. Eksploatuojamos lauko sąlygomis jos blunka tik 2 %. Vienas didžiausių medienos plastiko privalumų yra tas, kad terasinių lentų, pagamintų iš šios kompozicinės medžiagos, paviršius nešerpetoja. Vadinasi, net po kelerių metų eksploatavimo galėsite

basomis vaikščioti ant gražios medžio kompozito terasos, nebijodami susižeisti. Kodėl tikslinga pasirinkti medžio kompozito gaminius?

Todėl, kad jie:

- atsparūs korozijai;
- ekologiškas produktas;
- lengvi ir greitai montuojami;
- neskilinėja, nesisluoksniuoja;
- gera šiluminė izoliacinė medžiaga;
- nepūva;
- atsparūs drėgmei ir UV;
- neslidūs;
- nereikalauja priežiūros;
- geras estetiškas vaizdas.

Gaminių panaudojimas: tvoros, turėklai, terasos, lauko baldai, fasado apdaila, prieplaukos, tilteliai, laipteliai, takeliai.

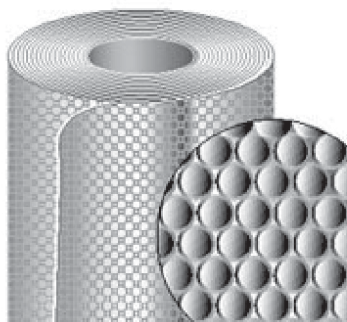
4.4. Intelektualiųjų technologijų energetiškai efektyvios medžiagos

Pasaulyje nuolat sukuriami naujų termoizoliacinių medžiagų. Dauguma sukurtų naujų medžiagų yra tokių pat savybių kaip ir dauguma jau žinomų. Dažnai kyla klausimas, ar įmanoma dar gerinti termoizoliacinių medžiagų savybes, pirmiausia – mažinti šilumos laidumą? Kaip jau minėta ankstesniuose skyriuose, šiluma perduodama trimis pagrindiniais būdais – spinduliavimu, konvekcija ir šilumos laidumu. Nagrinėjant įvairias efektyvias termoizoliacines medžiagas, buvo pabrėžiama, kad oro, kuris užpildo kai kurių medžiagų poras, akutes ir kitas tuštumas, šilumos laidumo koeficientas $0,024 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, o tų medžiagų šilumos laidumo koeficientas dar šiek tiek padidėja dėl medžiagos karkaso, bet įmanoma pasiekti $0,03 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ medžiagos šilumos laidumo koeficientą. Kai naudojamos dujos, kurių šilumos laidumo koeficientas $0,012\text{--}0,013 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, dauguma dujų eksploatuojant pasišalina, bet tokiu atveju vis tiek pasiekiamas $0,026 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

šilumos laidumo koeficientas. Medžiagos, kurių šilumos laidumo koeficientas artimas $0,03 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, dažnai vadinamos „ateities“ medžiagomis. Tačiau nuolatos kuriamos įvairios technologijos, kurios leidžia pasiekti daug mažesnę šilumos laidumą arba akivaizdžiai sumažinti šiluminės izoliacijos storį ir svorį. Dažniausiai šios technologijos žinomos pakankamai seniai, bet nemažai trunka, kol pritaikomos gaminant termoizoliacines medžiagas. Šiame skyriuje aptarsime dvi termoizoliacines medžiagas, kurių veikimo principas pirmiausia buvo pritaikytas kosmoso reikmėms.

Atspindinčioji daugiasluoksnė izoliacija

Šilumą atspindinčioji izoliacija – aliuminio folijos ir oro burbuliukų derinys (4.11 pav.) (Gailius, Vėjelis 2010). Taip sukuriamos šilumą atspindinčios tuštumos, kuriose yra stabilus ir nejudamas oras. Tokia maksimaliai efektyvi medžiaga gaminama naudojant gana seniai NASA išrastą specialią nedaug sveriančią ir ploną izoliacijos sistemą, pritaikytą specialiai kosmonautų kostiumams. Aliuminio folijos ypatybė – atspindėti šilumą – efektyviai naudojama ir kuriant specialią gaisrininkų aprangą, o pastatams šiltinti Europoje šilumą atspindinti izoliacija sėkmingai naudojama jau daugiau nei 40 metų (Prancūzijoje ji turi apie 8 % visos termoizoliacinių medžiagų rinkos).



4.11 pav. Atspindinčioji daugiasluoksnė termoizoliacija

Dauguma standartinių tūrinių izoliacinių medžiagų efektyviai veikia tik stabdant šilumos perdavimą laidumo būdu. Infraraudonuosius spindulius dauguma tūrinės izoliacinės medžiagos sugeria kaip kempinė ir perduoda šilumą šaltesnei aplinkai.

Pagrindinis reikalavimas, montuojant reflektinę izoliaciją, – išlaikyti mažiausiai 2–2,5 cm oro tarpą iš abiejų šilumą atspindinčios izoliacijos pusių. Montavimo procesas yra paprastas ir greitas, o izoliuojami kraštai ir sujungimo vietos sandarinamos naudojant specialią lipnią aliuminio folijos juostą. Šioje medžiagoje nėra jokių aštrių pluoštų, nereikia dėvėti apsauginių drabužių, respiratorių, akinių, nereikia jokių specialių įrankių – medžiaga lengvai nupjaunama žirkėmis arba peiliu.

Ši medžiaga:

- gerokai mažina izoliacijos montavimo sąnaudas;
- taupo vietą ir yra labai lengva;
- montuojant nereikalinga kūno ir kvėpavimo takų apsauga;
- švari, netoksiška;
- puiki garo izoliacija;
- eksploatuojant saugi žmonėms, gyvūnams ir augalams;
- atspari puvimui, pelėsiams, jos nepažeidžia vabzdžiai;
- puikios priešgaisrinės savybės.

Atspindinti izoliacinė medžiaga veikia kitokiu principu nei įprasta šilumos izoliacija, tokia kaip putos, mineralinė vata. Šiluma per pastato atitvaras ir patalpų viduje sklinda spinduliavimo, konvekcijos ir laidumo būdu. Atspindinčios izoliacijos efektyvumas pasiekiamas atspindint šilumą, o oro tarpai iki minimumo sumažina likusios šilumos perdavimą. Aliuminis (panašiai kaip ir varis ar sidabras) išsiskiria ypač mažu emisijos koeficientu – 0,03–0,05, rodančiu, kad 95 % spinduliavimo būdu perduodamos šilumos energijos minimaliais 3–5 % energijos nuostoliais jis atspindi, o tarpsluoksniuose tarp aliuminio esantys stabilaus ir sauso oro tarpai, neleisdami patekti drėgmei, maksimaliai didina šilumos išsaugojimo efektyvumą. Be to, ši medžiaga turi gerokai

efektyvesnę garso izoliaciją, nes izoliuoja ne vien aukštojo ar žemojo, bet ir įvairaus dažnio garso bangas.

Reflektinės dangos gaminamos su stipriai atspindinčiu paviršiumi, dažniausiai – su specialia atspindinčia danga. Dėl šilumos atspindžio per atitvarines konstrukcijas praeina mažiau šilumos: vasarą mažiau jos patenka į pastato vidų, o žiemą – mažiau prarandama. Šis skirtumas sudaro nemenką sutaupomos energijos dalį.

Naudojant atspindinčias izoliacines medžiagas ir spinduliacinius kliuvinius, galima maksimaliai padidinti pastato šilumos efektyvumą.

Viena arba kartu su kitomis standartinėmis termoizoliacinėmis medžiagomis šilumą atspindinti izoliacija gali būti naudojama ir naujiems pastatams izoliuoti, ir atliekant pastatų rekonstrukciją ar renovaciją.

Šios termoizoliacinės medžiagos naudojimo sritys labai įvairios: tai gyvenamųjų namų, komercinių, žemės ūkio pastatų statyba ir rekonstrukcija; tai sienos, rūšiai, grindys, lubos, stogai, kitos erlmės; vandens šildymo įrenginių izoliavimas, paukščių ir gyvulių laikymo patalpos, įrenginių pastogė, vamzdžių izoliacija, poilsio vagonėliai. Kadangi pagrindinis reikalavimas, montuojant tokio tipo izoliaciją, yra išlaikyti mažiausiai 2–2,5 cm oro tarpą iš abiejų šilumą atspindinčios termoizoliacinės medžiagos pusių, ji netinka tinkuojamiesiems fasadams, nes čia tinkas klojamas tiesiai ant izoliacijos.

Teisingai sumontuotoje konstrukcijoje su atspindinčiąja danga šiluminė varža (R) siekia $6,1 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.

Tokiai medžiagai būdinga:

Ilgamžiškumas

- medžiaga atspari drėgmei ir kitiems aplinkos veiksniams, todėl eksploatacinė trukmė beveik neribojama.

Nelaidumas vandeniui

- naudojant stogo konstrukcijose eliminuojamas vandens pralaidumas.

Kondensacija

- šiltas ir drėgnas patalpos oras su šaltu išorės oru nesąveikauja dėl konstrukcinio principo dviejų tarpusavyje nesąveikaujančių uždarytų oro burbuliukų sluoksnių, todėl nėra pavojaus kondensacijai.

Šalčio tilteliai

- termoizoliacinė medžiaga dengia visą izoliuojamąjį paviršių be jokių tarpų, todėl išvengiama šalčio tiltelių, kurie susidaro kai kuriais kitais atvejais (pvz., klojant tarp gegnių tūrinę izoliaciją).

Garso izoliacija

- įvairūs sudėtiniai sluoksniai sugeria garsą ir sudaro efektyvią iš išorės sklindančio garso izoliaciją.

Atsparumas ugniai

- pagal statybos standartus atitinka klasifikaciją M1-A1-B1.

Higieniškumas

- nėra radiacijos, dujų, dulkių, kenksmingų dalelių ar plaušų.

Lengvas montavimas

- Nereikia naudoti specialių įrankių (pakanka turėti peilį, kabiamušį). Izoliacija termiškai sujungta visu paviršiumi. Pjaunant paviršiai būna vientisai sujungti.

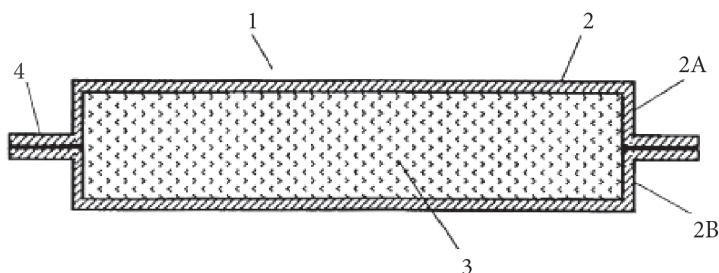
Vakuuminė termoizoliacija

- Viena iš perspektyviausių termoizoliacinių medžiagų kūrimo būdų – medžiagos viduje sukurti vakuumą (4.12 pav.) (Gailius, Vėjelis 2010). Naudojant vakuumines konstrukcijas, galima pasiekti itin mažą šilumos laidumo koeficientą – $0,004 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, t. y. beveik dešimt kartų mažesnę nei pačių geriausių tradicinių termoizoliacinių medžiagų šilumos laidumo koeficientas. Vakuume nevyksta nei masės pernaša, nei šilumos perdavimas laidumu.

Vakuumas sudaromas uždaroje erdvėje. Kadangi sudarius vakuumą susidaro didžiulis slėgių skirtumas, tai medžiagos vidų būtina

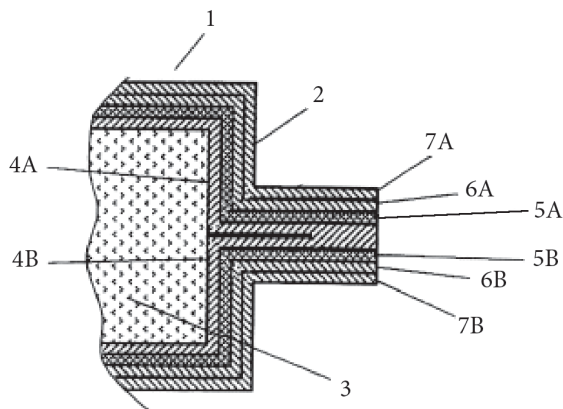
sutvirtinti. Sukuriamas atviraporis korys, kurio akutėse kuriamas vakuumas. Gera šilumos izoliacija, vakuuminėje konstrukcijoje būna tada, kai įrengiami keli apsauginiai sluoksniai (4.13 pav.).

Kol kas sukurtos vakuuminės konstrukcijos yra pakankamai sunkios – 1 m² sveria 200–300 kg. Dėl to sunku jas vežti ir montuoti statybos aikštelėje. Trūkumas yra ir tai, kad konstrukcijų negalima pjaustyti, o tai reiškia, kad pastatas turi būti statomas griežtai laikantis



4.12 pav. Principinė vakuuminės termoizoliacijos schema:

1 – vakuuminė termoizoliacija; 2 – apvalkalas; 2A – vidinė sluoksniuotoji plėvelė; 2B – išorinė sluoksniuotoji plėvelė; 3 – korys; 4 – antgalis

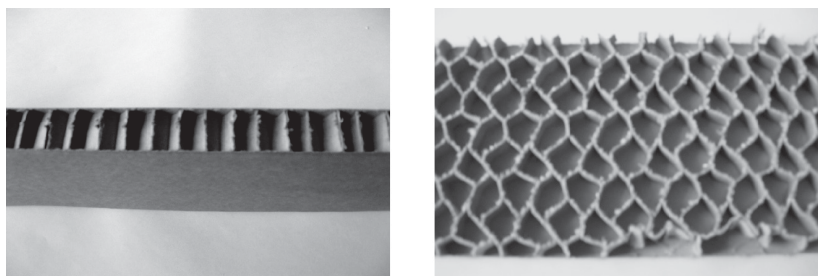


4.13 pav. Vakuuminės izoliacijos konstrukcija: 1 – vakuuminė termoizoliacija; 2 – apvalkalas; 3 – korys; 4A, 4B – šilumos izoliacinis sluoksnis; 5A, 5B – apsauginis dujų sluoksnis; 6A, 6B – pirmasis apsauginis sluoksnis; 7A, 7B – antrasis apsauginis sluoksnis

vakuuminių konstrukcijų matmenų. Nors ir suskirsčius konstrukciją į mažesnes sekcijas, pjaustant dalį konstrukcijos užpildytą oras (dujos).

Koriai

Dirbtinių korių (angl. *honey comb* – bičių koriai) gaminiai jau žinomi keletą dešimtmečių, tačiau iki šiol plačiai nepaplitę. Dirbtiniai koriai gaunami suraukšlėjus, išpaudus, suklįjavus ir kt. įvairių medžiagų juostas ar lakštus. Šiems tikslams naudojamas impregnuotasis popierius, aliuminio folija, įvairių medžiagų audiniai ir kt. Pailgų arba taisyklingų kiaurų akučių sistema – korys iš abiejų pusių sandariai apklijuojama arba kitais būdais tvirtinama tos pačios arba kitokios medžiagos lakštais. Gaunama standi, stipri, su uždromis ertmėmis medžiaga (4.14 pav.) (Gailius, Vėjelis 2010).



4.14 pav. Klijuotinio popieriaus korys

Korio akutės gali būti užpildomos efektyvia termoizoliacine medžiaga (daugelio rūšių putplasčiais), kurie mažina ertmėse konvekciją ir gerina šilumos izoliaciją. Tokios medžiagos naudojamos ne vien kaip termoizoliacinės, bet ir kaip akustinės medžiagos.

LITERATŪRA

- Abasova, A. 2011. *Kompozicinių sieninių plokščių gamybos technologija*. Vilnius: Technika. 41 p.
- Gailius, A.; Vėjelis, S. 2010. *Termoizoliacinės medžiagos ir jų gaminiai: vadovėlis*. Vilnius: Technika. 170 p.
- Kazragis A.; Gailius, A. 2006. *Kompozicinės medžiagos ir dirbiniai su gamtiniais organiniais užpildais*. Vilnius: Technika. 256 p.
- Klyosov, Anatole A. 2007. *Wood plastic composites*: Washington: A Primer. 87 p.
- Marčiukaitis, G. 1998. *Statybinių kompozitų kūrimo ir savybių prognozavimo principai*. Vilnius: Technika. 134 p.
- STR 1.05.08: 2003. *Statinio projekto architektūrinės ir konstrukcinės dalių brėžinių braižymo taisyklės ir grafiniai žymėjimai*.
- STR 2.01.03: 2009. *Statybinių medžiagų ir gaminių šiluminių-techninių dydžių projektinės vertės*.
- STR 2.05.05: 2005. *Betoninių ir gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas*.
- STR. 2.01.04: 2004. *Gaisrinė sauga. Pagrindiniai reikalavimai*.
- Бендат, Дж.; Пирсол, А. 1974. *Измерения и анализ случайных процессов*. Москва: Мир. 464 с.
- Головчан, В. Т. 1987. *Анизотропия физико - механических свойств композиционных материалов*. Киев: Наукова думка. 301 с.
- Карнинос, Д. М.; Тучинский, Л. И. 1970. *Упрочняющий эффект армирования в композициях волокнистого строения*. Киев: Наукова думка, 167–213.
- Композиционные материалы: справочник*. 1985. Ред. Д. М. Карнинос. Киев: Наукова думка. 591 с.
- Лобанов, И. А. 1981. *Основы технологии дисперсно - армированных бетонов*. Москва: Стройиздат. 240 с.
- Макалитер, Л.; Лакман, У. 1999. *Многонаправленный углерод – углеродные композиты*, в кн. *Прикладная механика композитов*. Москва: Мир, 226–294.
- Марчюкайтис, Г. 1995. *Технологические напряжения в строительных композитах каркасной структуры*. Вильнюс: Техника. 144 с.
- Менсон, Д.; Сперлинг, Л. 1979. *Полимерные смеси и композиты*. Москва: Химия. 440 с.
- Мисявичюс, Г. А. 1981. *Исследования процессов механического разрушения волокнистых материалов*. КПП. Каунас. 109 с.

- Павленко, И. М. 2006. *Свойства фибробетона и перспективы его применения*. Москва: Мир. 198 с.
- Портной, К. И. и др. 1979. *Структура и свойства композиционных материалов*. Москва: Машиностроение. 255 с.
- Рамачандран, В.; Фельдман, Р.; Бодуэн, Дж. 1986. *Наука о бетоне*. Москва: Строй издат. 278 с.
- Розен, Б. У.; Дау, Н. Ф.; 1976. *Механика разрушения волокнистых композитов*. Москва: Мир. 366 с.
- Сендецки, Дж. 1978. Упругие свойства композитов, в кн. *Композиционные материалы*. Т. 2. *Механика композиционных материалов*. Москва: Мир, 401–491.
- Справочник по композиционным материалам*. Т. 2. 1988. Москва: Машиностроение. 579 с.
- Справочник по композиционным материалам*. Т. 2. 1988. Москва: Машиностроение. 579 с.
- Сташкявичюс, А. 1990. *Ориентационные явления в волокнистых композитах*. Вильнюс: Техника. 90 с.
- Сташкявичюс, А. 1999. *Прочность волокнистых материалов*. Вильнюс: Техника. 162 с.
- Сташкявичюс, А. 2001. *Инновации в управлении долговечностью армированных материалов*. Вильнюс: Техника. 90 с.
- Фибробетон и его применение в строительстве: сборник научных трудов*. 1979. Москва. 171 с.
- Филлипс, Д.; Харрис, Б. 1980. Прочность, вязкость разрушения и усталостная выносливость полимерных композиционных материалов, в кн. *Промышленные полимерные композиционные материалы*. Москва: Химия. 471 с.
- Шоршоров, М. Х. 1980. *Физико-химическое воздействие компонентов в композиционных материалах*. Москва. 230 с.
- Шоршоров, М. Х. 1981. *Волокнистые композиционные материалы*. Москва: Машиностроение. 270 с.
- Юзенене, Л. 1992. Ультразвуковое устройство для измерения физических параметров веществ неразрушающим методом, *Ultragarsas* 24: 110–117.
- <http://www.Defibrator.eu>
- <http://namai.asa.lt/1/91>
- <http://www.durisol.com>
- <http://www.durisol.lt>

<http://www.durisolbuild.com>
<http://www.durisolnamas.lt>
<http://www.aksa.lt>
<http://www.alsa.lt/index.php?id=62>
<http://www.betonika.lt>
<http://www.betonocentras.lt/lt/sprendimai-ir-produktai>
<http://www.durosil.lt>
<http://www.ebawe.de>
<http://www.markuciai.lt>
<http://www.zvyras.lt>
http://www.ekosofija.com/durisol_info.html
http://www.statybuportalas.lt/Kas_yra_durisol

Leidiny parengtas ir išeistas už Europos struktūrinių fondų lėšas, jomis finansuojant VGTU Statybos fakulteto projektą „Transporto ir civilinės inžinerijos sektorių mokslo, verslo ir studijų integralumo didinimas (TRANCIV)“, VP1-2.2-ŠMM-09-V-01-008

Albinas GAILIUS

KOMPOZICINĖS MEDŽIAGOS IR DIRBINIAI ENERGETIŠKAI EFEKTYVIŲ PASTATŲ STATYBAI

Mokomoji knyga

Redaktorė *Laimutė Kertenienė*

Maketuotoja *Audronė Gurklienė*

2012-05-30. 4,5 aut. l. Tiražas 120 egz.

El. versija pagal leidinio identifikatorių doi:10.3846/1323-S

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Spausdino UAB „Ciklonas“,

J. Jasinskio g. 15, 01111 Vilnius

<http://spaudoscentras.lt>