



Albinas GAILIUS, Sigitas VĖJELIS

AKUSTINĖS IR TERMOIZOLIACINĖS MEDŽIAGOS

Projekto kodas
VP1-2.2-ŠMM-07-K-01-032

VGU statybos ir nekilnojamojo
turto sričių I pakopos studijų
programą atnaujinimas
diegiant inovatyvius
mokymo(si) metodus

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Albinas GAILIUS, Sigitas VĖJELIS

AKUSTINĖS IR TERMOIZOLIACINĖS MEDŽIAGOS

Mokomoji knyga



Vilnius „Technika“ 2012

A. Gailius, S. Vėjelis. Akustinės ir termoizoliacinės medžiagos:
mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 2012. 141 p. [6,28 aut. l.
2012 12 03]

Mokomojoje knygoje pateiktos žinios apie garso sklidimą, garsą sugeriančias ir izoliuojančias medžiagas, šilumos laidumą, šiuolaikines termoizoliacines medžiagas, akustinių ir termoizoliacinių medžiagų bandymų metodus. Išsamiai nagrinėjamos šiuo metu gaminamos ir naudojamos akustinės bei termoizoliacinės medžiagos. Pagal įvairius kriterijus mokomoji knyga suskirstyta į skyrius. Juose trumpai pateikiamos žinios apie akustiką ir šilumos laidumą bei šiems tikslams naudojamas akustines ir termoizoliacines medžiagas, jų gaminių kūrimo istorija, šiuolaikinės gamybos technologijos, savybės, naudojimo galimybės ir ypatumai.

Mokomoji knyga skirta ne tik aukštųjų mokyklų studentams, studijuojantiems statybos ir medžiagų inžinerijos disciplinas, bet ir projektuotojams, akustinių ir termoizoliacinių medžiagų gamintojams bei jų naudotojams.

Leidinį rekomendavo VGTU Statybos fakulteto studijų komitetas

Recenzavo: doc. dr. Džigita Nagrockienė, VGTU Statybinių
medžiagų katedra
vyr. mokslo darbuotojas dr Saulius Vaitkus,
VGTU Termoizoliacijos mokslo institutas

VGTU statybos ir nekilnojamojo turto sričių I pakopos studijų programų atnaujinimas diegiant inovatyvius mokymo(si) metodus. Projekto kodas Nr. VP1-2.2-ŠMM-07-K-01-032.

VGTU leidyklos „Technika“ 1427-S
mokomosios metodinės literatūros knyga
<http://leidykla.vgtu.lt>

Redagavimo darbus atliko IĮ Pikaverus

eISBN 978-609-457-395-8
doi:10.3846/1427-S

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

Turinys

IVADAS.....	6
1. Akustinės medžiagos	6
1.1. Bendrosios žinios apie garsą	7
1.2. Garso izoliavimas ir garso sugėrimas	12
1.3. Garsą sugeriančios medžiagos.....	14
1.4. Vidaus pertvarų garso izoliacija	18
2. Termoizoliacinės medžiagos.....	19
2.1. Šilumos perdavimo būdai.....	19
2.1.1. Spinduliavimas	20
2.1.2. Konvekcija.....	22
2.1.3. Šilumos laidumas.....	24
2.2. Šilumos laidumo lygtis	24
2.3. Šilumos laidumo dydžiai	27
2.3.1. Deklaruojamoji šilumos laidumo vertė	27
2.3.2. Matavimų duomenų perskaičiavimas.....	30
2.3.3. Projektinių verčių skaičiavimas	31
3. Termoizoliacinių medžiagų klasifikacija	37
4. Garsą sugeriančių ir termoizoliacinių medžiagų struktūra	40
5. Efektyvios termoizoliacinės medžiagos	41
5.1. Polistireninio putplasčio gaminiai	41
5.1.1. Polistireninio putplasčio (EPS) plokštės	41
5.1.1.1. Žaliavos	41
5.1.1.2. Gamyba	43
5.1.1.3. Plokščių klasifikacija	44
5.1.1.4. Savybės	45
5.1.2. Neoporas.....	52
5.1.2.1. Savybės	52
5.1.3. Geoporas.....	53
5.1.4. Smūginio garso izoliacija.....	54
5.1.5. Polistireninio putplasčio blokeliai.....	55
5.1.5.1. Polistireninio putplasčio blokelių savybės	56
5.1.5.2. Polistireninio putplasčio blokelių sudedamosios dalys ir matmenys.....	57
5.1.6. Polistireninio putplasčio blokų naudojimas kelių konstrukcijose	58

5.1.7. Polistireninio putplasčio stipruminės savybės ir jų analizė.....	59
5.2. Mineralinė vata.....	62
5.2.1. Klasifikacija.....	62
5.2.2. Istorija.....	65
5.2.3. Savybės.....	66
5.2.4. Žaliavos	71
5.2.4.1. Metalurgijos šlakai	73
5.2.4.2. Uolienos	74
5.2.4.3. Silikatų ir keramikos pramonės atliekos.....	75
5.2.5. Žaliavų ruošimas.....	76
5.2.6. Mineralinės vatos gamybos būdai.....	78
5.2.7. Gamybos technologinis procesas	81
5.3. Celiuliozinė vata.....	94
5.3.1. Istorija.....	94
5.3.2. Gamyba.....	94
5.3.3. Savybės.....	94
5.3.4. Šiltinimo technologija, naudojant ekovatą.....	96
5.4. Putų stiklas	101
5.4.1. Savybės.....	101
5.4.2. Putų stiklo naudojimas.....	103
5.4.3. Putų stiklo žaliavos	104
5.4.3.1. Dujodariai.....	104
5.4.3.2. Rišikliai	105
5.4.3.3. Atskirianti terpė.....	105
5.4.3.4. Putų stiklo gamybos technologija.....	106
5.4.4. Technologija	107
5.5. Fenolio formaldehidinės putos	111
5.5.1. Savybės.....	111
5.5.2. Gamyba.....	111
5.5.3. Naudojimas	111
5.6. Pūstoji kamštiena.....	112
5.6.1. Istorija.....	113
5.6.2. Struktūra	113
5.6.3. Savybės.....	114
5.6.4. Gamyba.....	114
5.7. Ekstruzinis polistireninis putplastis	114
5.7.1. Istorija.....	114

5.7.2. Naudojimas	115
5.7.3. Gamyba.....	115
5.7.4. Savybės.....	118
5.8. Putų poliuretanas (PUR).....	118
5.8.1. Savybės.....	118
5.9. Medienos vilna.....	123
5.9.1. Fibrolitas.....	124
5.10. Medienos plaušas	126
5.10.1. Savybės	128
6. Naujų technologijų medžiagos.....	130
6.1. Multireflekcinė daugiasluoksnė izoliacija.....	130
6.1.1. Montavimas	131
6.1.2. Privalumai.....	131
6.1.3. Tradicinės ir tūrinės izoliacijos skirtumai	132
6.1.4. Naudojimas	132
6.1.5. Savybės.....	133
6.2. Vakuuminė termoizoliacija	134
6.2.1. Trūkumai	135
6.3. Koriai	135
LITERATŪRA.....	137

IVADAS

Kad būtų užtikrintas pastatų patalpų komfortas, didelis dėmesys skiriamas akustinėms ir termoizoliacinėms pastatų atitvarų savybėms. Patalpų apsauga nuo triukšmo, energijos taupymas, šilumos išsaugojimas – esminiai statinio reikalavimai. Gaminant statybines medžiagas, projektuojant ir statant pastatus, reikalingos žinios apie akustinių ir termoizoliacinių medžiagų charakteristikas.

Knygos pradžioje pateikiamos bendrosios žinios apie garsą ir pagrindinius garso rodiklius, garso izoliavimą ir sugėrimą, šilumos laidumą ir jo dydžius. Toliau aprašomos termoizoliacinės akustinės medžiagos. Daugiausia dėmesio skiriama šių medžiagų gamybai, naudojimui, savybėms. Išsamiai apžvelgiamos Lietuvoje gaminamos ir naudojamos termoizoliacinės bei termoizoliacinės akustinės medžiagos. Knygoje pateiktos kelios svarbios termoizoliacinių medžiagų grupės: 1) efektyvios termoizoliacinės medžiagos, kurios apibūdinamos kaip efektyviai šilumą saugančios ir kurioms parengti Europos darnieji standartai; 2) kitos termoizoliacinės Lietuvoje gaminamos ir naudojamos medžiagos – akytieji ir tuštumėtieji blokeliai, iš įvairių organinių medžiagų ar jų atliekų sukurti kompozitai; 3) specialiosios paskirties gaminiai, skirti eksploatuoti aukštose arba žemose temperatūrose; 4) naujų technologijų medžiagos – naujausios termoizoliacinės medžiagos, išsiskiriančios nuo įprastinių termoizoliacinių šilumos išsaugojimo ir perdavimo būdais – reflektinė, vakuuminė izoliacija, dirbtiniai koriai; 5) daugiasluoksnės konstrukcijos – termoizoliacinės medžiagos, iš vienos arba iš abiejų pusių turinčios apsauginių sluoksnių.

Knygos pabaigoje pateikiami pagrindiniai termoizoliacinių medžiagų bandymų metodai.

1. Akustinės medžiagos

Akustikos įtaka, projektuojant statinius ar pastatus, pastebėta jau senovės Romoje. Amfiteatruose, kitose atvirose bei uždaroje erdvėse senovės architektai sugebėdavo išgauti gerą akustiką be jokių specialių skaičiavimų. Tik XX amžiaus pradžioje erdvės, kuriose būdavo

reikalinga gera akustika, buvo pradėtos projektuoti pagal skaičiavimus.

1.1. Bendrosios žinios apie garsą

Garsas yra slenkantis slėgio svyravimas terpėje, girdimas žmogaus ar gyvūno ausimis. Paprastai tas svyravimas mažas ir periodinis, tada garsas yra banga, apibūrinama lygtimi:

$$\lambda = \frac{c}{f}; \quad (1.1)$$

čia λ – bangos ilgis; f – dažnis; c – garso greitis.

Garsas sklinda ore ir kitose dujose, skysčiuose, kietuose kūnuose specifiniu greičiu. Vakuume garso nėra. Žmogaus ausimi girdimų garsų dažnis apima 16–20 000 Hz intervalą. Senstant silpnėja klausa, ypač aukšti tonai tampa negirdimi. Garsas vadinamas tonu, jei jis yra tik vieno dažnio banga.

Fizikos šaka, tirianti garsą, vadinama akustika. Taikomoji akustika, pavyzdžiui, statybinė, priskiriama inžinerijos mokslams.

Garso bangos perneša energiją, kurią galima panaudoti. Kalbą ir muziką galima perduoti daugybe būdų. Ultragarsas – efektyvi ryšio priemonė. Ultragarsas – aukšto dažnio garsas, kurio žmogus negirdi, – padeda šikšnosparniams, delfinams ir banginiams orientotis erdvėje, nes jie evoliucijos eigoje įgijo aktyvios ultragarsinės echolokacijos sistemas. Tačiau net garsiausio garso energija yra nedidelė. Labai garsiai grojančio simfoninio orkestro sukulto garso energija lygiavertė menkos galios kaitinamosios lempos šviesos ir šiluminei energijai.

Garsas yra tam tikra kinetinės energijos (judesio energijos) forma, kurią sukuria bet kuris virpantis objektas. Visų garsų priežastis yra mechaniniai aplinkos virpesiai, nors jie ir nematomi. Susidūrus automobiliams, jų paviršiai pradeda virpėti, ir išgirstame smūgio garsą. Muzika iš radijo imtuvo sklinda dėl to, kad virpa jo garsiakalbio membrana. Kalbame ir dainuojame, virpant balso stygomis gerklose.

Virpantis kūnas verčia virpėti arčiausiai esančias oro molekules. Virpesiai sklinda ore, sudarydami garso bangą, tačiau oras banga

neslenka. Ten, kur molekulės susispiečia, susidaro didesnio slėgio sritis (sutankėjimas), o ten, kur jų lieka mažiau, – žemesnio slėgio (praretėjimas). Pakaitomis einančios sutankėjimų ir praretėjimų sritys sklinda ore kaip garso banga. Pasiekus ausį, ji virpina ausies būgnelį, ir žmogus girdi garą.

Kuo stipresni daikto virpesiai, tuo didesnis sutankėjimų ir praretėjimų slėgio skirtumas, ir garsas yra stiprus. Virpesių dažnis lemia garso aukštį, arba toną. Jei virpesiai dažnėja, sutankėjimų ir praretėjimų sritys suartėja – garsas darosi aukštesnis. Lėtesni virpesiai atitinka žemesnį garą.

Garso stiprumo lygis matuojamas decibelais (dB). Prietaisas matuoja garso stiprumą, susijusį su garso bangos slėgio skirtumu – garsiniu slėgiu. Garso stiprumo skalė yra logaritminė: garso sustiprėjimas 10 dB atitinka 10 kartų didesnį stiprumą. Du kartus padidėjus garso stiprumui, garsinio slėgio lygis padidėja 3 dB. Garsumas apibūdina klausos organų slėgio pojūtį. Ausis ne visų dažnių garsus girdi vienodai, pavyzdžiui, žemas garsas girdimas ne toks stiprus kaip tokio pat stiprumo aukštas garsas.

Sutankėjimų skaičius per sekundę lemia garso dažnį, kuris matuojamas hercais (Hz): 1 Hz lygus 1 virpesiui per sekundę. Dažnių skalė nėra logaritminė: 440 Hz tonas (pirmosios oktavos la) skamba 2 kartus aukščiau (sakoma, oktava aukščiau) negu 220 Hz tonas. Kitaip sakant, kuo didesnis virpesių dažnis, tuo aukštesnis garsas.

Triukšmas ir akustika. Triukšmui, aprėpiančiam platų dažnių diapazoną, nebūdingas kuris nors vienas tonas. Labai garsus triukšmas yra pavojingas, nes ilgas stipresnio nei 100 dB triukšmo (reaktyvinio lėktuvo variklio, daugelio mechanizmų keliamo triukšmo) poveikis greitai ir visam laikui pažeidžia klausą. Ypač pavojingas žemo dažnio triukšmas, kuris, palyginti su aukšto dažnio triukšmu, neatrodo toks stiprus. Tyrimai parodė, kad nuo labai stipraus žemo dažnio garso ir infragarso (garsai, kurių žmogaus ausis negirdi) pradeda svaigti galva, pykina, atsiranda visokių fiziologinių pokyčių. Karo pramonės specialistai netgi atliko eksperimentų, tikėdamiesi infragarą panaudoti kaip ginklą.

Garso bangos, dar vadinamos akustinėmis, yra išilginės. Jas sukuria dalelės, svyruojančios išilgai bangų sklidimo krypties ir sudarančios didelio bei mažo slėgio sritis (sutankėjimus ir praretėjimus). Jos sklinda kietaisiais kūnais, skysčiais bei dujomis ir užima platų

dažnio diapazoną. Bangas, kurių dažnis yra nuo 20 iki 20 000 Hz (garsinio dažnio diapazonas), junta žmogaus ausis. Jos paprastai vadinamos garsu. Kitos aukštesnio ir žemesnio dažnio bangos vadinamos ultragarsu ir infragarsu. Garso bangas tiriantis mokslas vadinamas akustika.

Garso bangų greitis. Garso bangos sklidimo greitis priklauso nuo terpės, kuria sklinda garsas, rūšies ir temperatūros. Garso bangos ore ties jūros lygiu 0 °C temperatūroje sausu oru sklindančių garso bangų greitis yra 331 m/s. Pakilus oro temperatūrai, jis padidėja. Didečiame aukštyje garso greitis mažesnis, nes oras retesnis, o vandenyje ar metale – didesnis, nes šios medžiagos daug tampresnės už orą, ir virpesiai jose sklinda sparčiau (tarpai tarp molekulių mažesni).

Garso greitis vandenyje – apie 1500 m/s, pliene – apie 5000 m/s. Garsas vakuume nesklinda, nes jame nėra dujų molekulių, gebančių virpėti ir perduoti garą.

Ikigarsinis greitis. Tai greitis, mažesnis už garso greitį toje pačioje terpėje ir tomis pačiomis sąlygomis. Įprastiniai lėktuvai skraido ikigarsiniais greičiais.

Viršgarsinis greitis. Tai greitis, didesnis už garso greitį toje pačioje terpėje ir tomis pačiomis sąlygomis. Viršgarsiniu greičiu skraido tokie lėktuvai kaip „Konkordas“. Dėl viršyto garso greičio susidaro stiprus trenksmas (garsinis smūgis), kurį sukuria skrendančio lėktuvo smūginė banga.

Garso greitį kitokios nei 0 °C temperatūros ore galima apskaičiuoti pagal tokią apytikslią formulę:

$$c_{oro} = (331,5 + (0,6 \times \theta)) \cdot \frac{m}{s}. \quad (1.2)$$

Jūros lygyje garso greitis (ore) priklauso tik nuo temperatūros (θ – tariama teta), čia matuojama °C.

Greitis kietuose kūnuose skaičiuojamas pagal formulę (E – Jungo modulis; ρ – tankis):

$$c_{kiet} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}; \quad (1.3)$$

Greitis skystuose kūnuose skaičiuojamas pagal formulę (K – spūdos modulis; ρ – tankis):

$$c_{skyst.} = \sqrt{\frac{K}{\rho}}; \quad (1.4)$$

Garso greitis dujose. Greitis dujose skaičiuojamas kaip ir skysčiuose (K – spūdos modulis; ρ – tankis):

$$c_{dujų} = \sqrt{\gamma \times \frac{p}{\rho}}; \quad (1.5)$$

čia: γ – adiabatinis indeksas (šiluminių talpų santykis C_p / C_v);
 p – slėgis; ρ – tankis.

Idealiosioms dujoms galima naudoti:

$$c_{ideal} = \sqrt{\gamma \times \frac{p}{\rho}} = \sqrt{\frac{\gamma \times R \times T}{M}} = \sqrt{\frac{\gamma \times k \times T}{m}}; \quad (1.6)$$

čia: c_{ideal} – garso greitis idealiosiose dujose; R ($=8,3145 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) – dujų konstanta; k – Bolcmano konstanta; γ – adiabatinis indeksas ($7/5 = 1,400$ dviatomėms molekulėms, $5/3 = 1,6667$ vienatomėms molekulėms); T – absoliutinė temperatūra kelvinais; M – molinė masė (kilogramas į molį). Sauso oro molio masė lygi $0,0289645 \text{ kg/mol}$; m – molekulės masė kilogramais.

Garso stipris – fizikinis dydis, lygus energijos kiekiui, kurį garso banga per vienetinį laiką perneša pro vienetinį plotą, statmeną bangos sklaidimo kryptį. Garso stipris žymimas raide I (taip pat žymimas ir elektros srovės stipris, tačiau tai skirtingi fizikiniai dydžiai) ir matuojamas vatais kvadratiniam metrui (W/m^2):

$$[I] = 1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s} \times \text{m}^2}. \quad (1.7)$$

Garso stiprį galima apskaičiuoti, remiantis šia išraiška:

$$I_r = \frac{P_{ac}}{S} = \frac{P_{ac}}{4\pi r^2}; \quad (1.8)$$

čia: I_r – garso stipris; P_{ac} – garso galia (pernešama energija per laiko vienetą); S – sferos paviršiaus plotas, kurios radiusas r .

Garso intensyvumo lygis. Naudojantis Vėberio-Fechnerio dėsnio, apibrėžiamas garso intensyvumo lygis (angl. *Sound intensity level*), kuris paprastai ir matuojamas triukšmo matuokliais.

Jei konstanta K Vėberio-Fechnerio dėsnyje parenkama 1, tuomet garso intensyvumo lygis matuojamas belais:

$$L = \lg \left(\frac{I}{I_0} \right). \quad (1.9)$$

Kaip I_0 parenkamas anksčiau jau minėtas girdos slenkstis $I_0 = 10 - 12 \text{ W/m}^2$. Taigi vieno belo garso intensyvumo lygio pokytis yra lygus 1 kHz dažnio garso stiprio pokyčiui 10 kartų.

Garso galios lygis. Garsio lygis, arba garso galios lygis (angl. *Sound power level*) apibrėžiamas panašiai kaip garso intensyvumo lygis, tik santykis yra ne tarp intensyvumo, o tarp energijos, išspinduliuotos į visas puses per laiko vienetą (W matuojama vatais):

$$L = 10 \lg \left(\frac{W}{W_0} \right). \quad (1.10)$$

Konstanta W_0 šiuo atveju parenkama $W_0 = 10 - 12 \text{ W}$.

Taigi garso galios lygis charakterizuoja viso objekto keliamą triukšmą, spinduliuojamą visomis kryptimis, o garso intensyvumo lygis – triukšmas, kuris matuojamas pasirinktame atstume nuo tiriamo objekto. Tarkime, objektas, spinduliuoja 78 dB garso galios lygį, tuomet 10 metrų atstumu nuo jo turėsime 50 dB garso intensyvumo lygį.

Garsumas, arba garso galia – fizikinis dydis, išreiškiamas energija, kuri pernešama per tam tikrą laiko vienetą. Garsumas apibūdinamas kaip klausos organų suvokiamo garso pojūtis. Šis dydis yra subjektyvi garso charakteristika, susijusi su objektyvia jo charakteristika – stipriu.

$$P = I \times S; \quad (1.11)$$

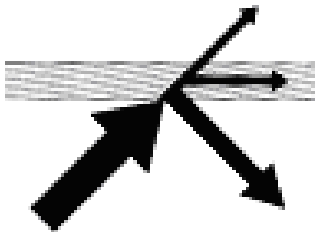
čia: I – garso stipris; P – garso galia (garsumas); S – paviršiaus plotas.

Garsumo matavimo vienetas vadinamas belu (sutrumpintai žymimas B), pagerbiant amerikiečių išradėją Aleksandrą Grehemą Belą. Praktikoje dažniau vartojamas 10 kartų mažesnis vienetas – decibelas: $1 \text{ dB} = 0,1 \text{ B}$. Garso stiprio ir garsumo sąryšis buvo nustatytas, pasirinkus pavyzdžiui 1000 Hz dažnio garsą. Sutarta girdos slenksčio garsumą (kai garso stipris lygus $10\text{--}12 \text{ W/m}^2$) laikyti lygiu nuliui. Sudarant garsumo skalę, buvo daryta prielaida, kad, garso stipriui padidėjus 10 kartų, garsumas padidėja 10 dB.

Garso sugerties koeficientas. Šis terminas naudojamas, siekiant nusakyti, kaip gerai (ar blogai) tam tikra medžiaga sugeria garso energiją.

Koeficientas žymimas raide α ir yra apibrėžiamas santykiu tarp išsklaidytos ir praleistos garso energijos su krintančiąja garso energija.

Tobulai garso bangas sugeriančios medžiagos garso sugerties koeficientas $\alpha = 1$, o tobulai jas išsklaidančios ir praleidžiančios $\alpha = 0$. Kiekvienos medžiagos garso sugerties koeficientas priklauso nuo garso bangų dažnio (matuojamo hercais), taip pat nuo kampo, kuriuo garso bangos patenka į medžiagą (1.1 pav.).



1.1 pav. Išsklaidytos ir praleistos garso energijos pasiskirstymo pavyzdys

1.2. Garso izoliavimas ir garso sugėrimas

Praktikoje garso izoliavimas ir garso sugėrimas dažnai tapatinami, nors tarp jų yra principinis skirtumas.

Garsą izoliuojanti atitvara turi nepraleisti garso energijos iš triukšmingos patalpos į tylią patalpą.

Garso sugėrimo paskirtis – sumažinti garso slėgio lygį patalpoje.

Paprastai izoliuojančios atitvaros garso sugėrimo lygis būna nedidelis, ir garsas nuo jos gerai atsispindi. Dalis garso bangų energijos, sklindančios uždaroje patalpoje, pasiekusios atitvarą, nuo jos atsispindi, dalis prarandama konstrukcijos medžiagoje, o kita dalis pro ją pereina į izoliuojamąją patalpą.

Jeigu patalpoje nėra garsą sugeriančių medžiagų, garso bangos nuo tokių plokštumų atsispindi ir pirminės savo energijos praranda mažai. Jeigu patalpos plokštumos padengtos garsą sugeriančiomis medžiagomis, atsispindėjusios nuo plokštumų bangos jau praranda didelę dalį savo pirminės energijos. Tokios medžiagos sugeria garsą tiek patalpoje su triukšmo šaltiniu, tiek ir izoliuojamoje patalpoje.

Garso sugertį lemia svyravimų energijos perėjimas į šilumą dėl trinties medžiagoje. Nuostoliai dėl trinties yra dideli poringosiose medžiagose. Ir atvirkščiai – garsą izoliuojančioms konstrukcijoms reikalingos kietos tankios medžiagos. Medžiagų, taip pat gaminių, pagamintų iš atitinkamų žaliavų, naudojimo sritį statybose lemia jų savybės.

Kaip vienos, taip ir kitos akustinės medžiagos gali būti mineralinės ir organinės. Akustinės medžiagos turi būti atsparios drėgmei ir biologiniams veiksniams, o eksploatuojant neturi pakisti jų savybės. Be to, jos turi būti nedegios.

Garsą sugeriančios medžiagos turi sumažinti garsinių virpesių, plintančių oru ir atsimušančių į atitvarines konstrukcijas (grindis, lubas, sienas), energiją. Šios medžiagos ir gaminiai naudojami tokiose patalpose, kuriose reikia sumažinti triukšmo lygį (pramoniniuose cechuose, kontorose), sudaryti geras akustines sąlygas (salėse, auditorijose), patalpose, kuriose reikia sudaryti specialias akustines sąlygas (televizijos, radijo studijose), taip pat ir specialiems garsą izoliuojantiems sluoksniams – ventiliavimo, liftų bei kitokiuose įrenginiuose.

Pagal garso sugėrimo pobūdį medžiagos skirstomos į kietas akylas, akylas tamprias, membranines ir perforuotas.

Vienasluoksnių perdangos plokštė neužtikrina norminės smūginio garso izoliacijos. Izoliaciją galima žymiai pagerinti, įrengus grindis ant tampraus pagrindo. Smūgiai į grindis sukelia periodines tampraus sluoksnio deformacijas. Kadangi tampraus sluoksnio medžiaga yra nevienalytė, deformuodamasi ji sugeria didelę dalį smūgio energijos,

kuri pavirsta šiluma. Dėl to sumažėja laikančios perdangos plokštės virpesių amplitudė, o drauge ir išspinduliuojamo garso energija.

Perdangos turi atitikti tiek smūginio, tiek ir orinio garso izoliacijos norminius reikalavimus.

1.3. Garsą sugeriančios medžiagos

Aidėjimo trukmei sumažinti ar koreguoti patalpų apdailai naudojamos garsą sugeriančios medžiagos bei konstrukcijos. Akustikos atžvilgiu garsą sugeriančios medžiagos gali būti skirstomos į tokias grupes:

- pluoštinės;
- pluoštinės su perforuotais ekranais;
- rezonansinės;
- sluoksniuotosios konstrukcijos;
- pavienės ar erdvinės.

Pluoštinių garsą sugeriančių medžiagų lakštai tiesiogiai arba per tarpines tvirtinami prie atitveriančių paviršių. Jie gaminami iš lengvų medžiagų – pemzos, kaolino, šlakų, naudojant cementą ar kitą rišančiąją medžiagą. Tokios garsą izoliuojančios medžiagos yra pakankamai tvirtos ir gali būti naudojamos triukšmingumo lygiui koridoriuje, fojė, visuomeninių ar pramoninių statinių laiptinėse sumažinti.

Patalpose, kur garsą sugeriančių medžiagų išvaizdai taikomi griežti reikalavimai, naudojamos specialiu būdu apdorotos pluoštinės medžiagos. Jų žaliavos – tai medžio pluoštas, akmens vata, stiklo vata, sintetiniai pluoštai. Šie dirbiniai taip pat gaminami plokščių lakštų (lubų ar sienų paneliams) ar lenktų linijų ir erdvinių elementų pavidalu. Pluoštinių garsą sugeriančių medžiagų paviršiai apdorojami specialiais akylais orui pralaidžiais dažais arba dengiami orui laidžiomis ar neaustomis medžiagomis. Pluoštinės garsą sugeriančios medžiagos yra pačios efektyviausios akustiniu atžvilgiu plačiame dažnių diapazone ir atitinka išaugusius patalpų dizaino reikalavimus.

Pluoštinėse garsą sugeriančiose medžiagose oro virpesių energijos paskirstymas bei jos virsmas šiluma vyksta keliuose fiziniuose lygmenyse. Pirma, dėl oro klampumo, o jis vidinėje pluošto erdvėje gana didelis, oro dalelių virpesiai sukelia trintį. Pluošto medžiagos trinasi viena į kitą, ir galiausiai dėl kristalų trinties paties pluošto

kristalų energija išsklaidoma. Taip paaiškinama, kodėl, esant vidutiniam ar aukštam dažniui, garso sugėrimo koeficientas yra tarp 0,4 ir 1,0. Garso sugėrimo koeficientas yra neatsimušios (susigėrusios ir perėjusios kiaurai) nuo paviršiaus virpesių energijos, veikiančios paviršių. Pluoštinės medžiagos paprastai naudojamos akustinėms savybėms pagerinti kino teatruose, teatruose, koncertų salėse, auditorijose. Be to, jos naudojamos sumažinti triukšmingumo lygį vaikų darželiuose, mokyklose, ligoninėse, restoranuose, biuruose, prekybos salėse, laukiamosiose salėse, pramoninėse patalpose.

Norint padidinti žemų dažnių garso sugėrimą, reikia padidinti pluoštinių medžiagų storį ir numatyti oro tarpą tarp medžiagos ir atspindinčios konstrukcijos.

Pluoštinės garsą sugeriančios medžiagos be dažų ar išorinio medžiagos sluoksnio, naudojamos su išorine apsauga nuo mechaninių pažeidimų, yra gaminamos iš perforuotų medžiagų (medienos, presuotos medienos plokščių, gipso kartono).

Tarp ekrano ir pluoštinės medžiagos dedama orą praleidžianti drobė, kad būtų išvengta audinio dalelių emisijos. Konstrukcijos, padengtos perforuotu pluoštu, leidžia pasiekti gana gerų garso sugėrimo rodiklių plačiu dažnių diapazonu. Sugeriamo garso dažnių charakteristika palaikoma, reguliuojant pasirinktų medžiagų storį, dydį, formą, tarpus tarp angelių. Garso sugėrimo medžiagos su metaliniu perforuotu ekranu rekomenduojamos ir kaip vandalizmui atspari danga.

Garso sugėrimas porėtomis (akytomis) arba pluoštinėmis medžiagomis, padengtomis perforuotu ekranu, yra rezonansinis. Norint gauti aukštą garso sugėrimo koeficientą (0,7–0,9) plačiu diapazonu, naudojamos daugiasluoksnės rezonavimo konstrukcijos, susidedančios iš 2–3 lygiagrečių ekranų su skirtinga perforacija bei skirtingo storio oro tarpu.

Garsą sugeriančios konstrukcijos su gerais sugėrimo rodikliais žemų dažnių srityje gaminamos panelių, susidedančių iš plonų plokščių, sutvirtintų ant rėmo, pavidalu. Plokštės išdėstomos nedideliu atstumu nuo atitveriančių paviršių. Dėl garso bangų paneliai virpės. Jei panelių dažnis sutaps su garso bangų dažniais, šios bangos bus atspindėtos (susigers). Jeigu tarp panelių ir atitveriančių konstrukcijų bus išdėstyti efektyvūs vidutiniuose ir aukštuosiuose dažniuose sugėrimo pluoštai, bus gautos plačiajuostės garso sugėrimo

konstrukcijos. Be šių konstrukcijų sunku pasiekti optimalų aido laiką koncertų bei teatrų salėse, kur tik minkštųjų pluoštinių medžiagų naudojimas „prigesina“ vidutinio ir aukšto dažnio garsus, tačiau tuo metu žemų dažnių garsai salėje vis dar gaudžia (1.2 pav).



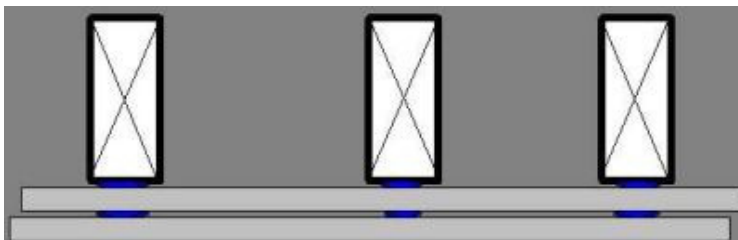
1.2 pav. Žemų dažnių garsui nepralaidžios lubos

Didelio tūrio patalpose aidėjimo lygio sumažinimo efektyvumas pasiekiamas, pridėjus papildomų garsą sugeriančių medžiagų. Tokiose patalpose taip pat svarbu pasinaudoti ir sienų bei lubų formomis. Ne plokščios, o išgaubtos lubos bei nelygumai sienose (balkonai ir kiti išsikišimai) didina garso susigėrimą (žemuose dažniuose dėl paviršiaus formos, vidutiniuose ir aukštuose dėl daugkartinio atsispindėjimo nuo nutolusių sienų ir lubų plotų) (1.3 pav). Be to, tai lemia didesnę garso lauko difuziškumo lygį, kas teigiamai atsiliepia akustiniam patalpos klimatui.



1.3 pav. Sienos padengtos garsą sugeriančiais ekranais

Tais atvejais, kai garsą sugeriančių medžiagų negalima panaudoti atitvarinėse konstrukcijose (pvz., jos skaidrios) arba jų plotas nepakankamas, norint pasiekti reikiamą efektą, naudojamos pakabinamos (erdvinės) garso sugėrimo konstrukcijos. Dažniausiai tai plokšti lakštai, padengti pluoštiniais dažais, aptempti drobe arba apvilkti perforuoto metalo lakštais. Tokios akustinės konstrukcijos labai efektyvios, nes pakabintos vertikalios sugeria garsą visu paviršiumi. Jeigu šios konstrukcijos kabinamos taip, kad sudarytų uždaras figūras (kvadratus, trikampius ir pan.), garso sugėrimas padidėja dėl rezonansinio sugėrimo ore tarp vertikalų panelių (1.4 pav.).



1.4 pav. Erdvinės garso sugėrimo konstrukcijos

Renkantis garso sugėrimo priemones, be akustinių reikalavimų, reikėtų atsižvelgti ir į patalpos eksploataavimo sąlygas. Todėl svarbios

tokios medžiagų savybės, kaip atsparumas ugniai bei drėgmei, mechaninis tvirtumas, ekonomiškumas, biologinis atsparumas, antrinio dažymo galimybė ir atsparumas dulkelms bei kenkėjams.

Minkšti baldai koncertų salėje, dekoracijos, užuolaidos, kiliminė danga didina bendrą garso sugėrimą – į tai turi būti atsižvelgiama, renkantis garsą sugeriančias apdailos medžiagas.

1.4. Vidaus pertvarų garso izoliacija

Lengvos daugiasluoksnės pertvaros (sistema masė-spyruoklė-masė) leidžia pasiekti gerus garso izoliavimo rezultatus. Tokio tipo konstrukcijose „masė“ yra didelio tankio pertvaros lakštai (pvz., gipso kartono plokštės), o „spyruoklė“ – oras, jungiantis du pertvaros lakštus. Daugiasluoksnių lengvų pertvarų garso izoliacinės savybės priklauso nuo daugelio veiksnių:

- nuo *vidinės pertvaros storio*. Neužpildytos pertvaros storio padidinimas 2 kartus turi nedidelę teigiamą įtaką ≈ 1 dB.

- nuo *oro tarpo užpildymo izoliacine medžiaga*. Užpildant oro tarpą izoliuojančiomis medžiagomis, mažinamas „spyruoklės“ standumas. Priklausomai nuo pertvaros konstrukcijos, dalinio ar visiško užpildymo, pertvaros garso izoliacinės savybės gerėja 5–12 dB ir daugiau. Svarbu, kad izoliacinė medžiaga visiškai užpildytų ertmę tarp statramsčių. Rekomenduojama 10–20 mm įvarža, kas užtikrina patikimą izoliacinės medžiagos „tvirtinimą“. Klaidingai manoma, kad didesnis izoliacinės medžiagos tankis gerina pertvarų garso izoliacines savybes. Atvirkščiai – naudojant didelio tankio izoliacines medžiagas, garso izoliacinės savybės gali blogėti dėl standaus kontakto su pertvaros lakštais. Mineralinių izoliacinių medžiagų tinkamumą nusako oro varža $R > 5 \text{ [kPa} \times \text{s/m}^2]$ ir karkaso medžiagos bei įrengimo būdas. Medis yra lengva, tvirta, tačiau, palygint su metalo profiliiais, standesnė medžiaga. Dėl standaus kontakto su pertvaros lakštais viengubų medinių karkasų pertvarų garso izoliacinės savybės $\approx 3\text{--}6$ dB blogesnės nei pertvarų su metalo profiliiais. Įtaka yra minimali (≈ 2 dB), naudojant atskirtus karkasus. Siekiant gerų rezultatų, rekomenduojama naudoti pertvaras su atskirtais karkasais.

Garso izoliacinės savybės priklauso nuo:

– *paviršiaus lakštų masės*. Pertvaros garso izoliacinės savybės gerėja, didinant lakštų paviršiaus ploto vieneto masę. Dvigubai padidinus pertvaros paviršiaus masę, garso izoliacijos rodiklis pagerėja $\approx 4\text{--}6$ dB.

– *pertvarų sujungimo su kitomis pastato dalimis*. Šios jungtys yra garso tiltai. Rekomenduojama naudoti elastingas tarpines. Netinkamai suprojektuotos/sumontuotos pertvaros garso izoliacinės savybės gali pablogėti keliais ar net keliolika decibelų.

– *pertvaros įrengimo, darbų kokybės*. Svarbu užsandarinti visus plyšius, užtikrinant pertvaros sandarumą. Oro tilteliai (arba garso tilteliai) žymiai sumažina pertvaros izoliavimo gebą. Kištukinių lizdų ir kitų elektros prietaisų negalima išdėstyti vienas priešais kitą – rekomenduojama perstumti bent 800–900 mm atstumu vienas nuo kito. Neleistina pertvarose palikti statybinių atliekų ir šiukšlių (gipso kartono atraizų, plytų ir pan.).

2. Termoizoliacinės medžiagos

Kiekvieną kūną ar kūnų sistemą sudaro daugybė dalelių (atomų, molekulių ir kt.), kurios dalyvauja netvarkingame šiluminiame judėjime ir nuolat sąveikauja viena su kita. Visų šių dalelių pilnutinė energija, veikiama netvarkingo jų judėjimo ir tarpusavio sąveikos, vadinama *kūno vidine energija*. Ją sudaro atomų ir molekulių slenkamojo ir sukamojo judėjimo, jų virpesių, atomų, molekulių tarpusavio sąveikos potencinė energija, potencinė, kinetinė elektronų, branduolinė energija.

Tarpusavyje sąveikaudami kūnai gali keistis ir mechanine, ir vidine energija. Šiluma vadinama sklindanti vidinė energija, t. y. vidinės energijos dalis, kuri pereina iš vieno kūno į kitą arba iš vienos kūno vietos į kitą. Fizikiniu požiūriu negalima sakyti, kad įkaitęs kūnas turi daug šilumos. Jis turi daug vidinės energijos, bet šaltesniam kūnui gali perduoti šilumą.

2.1. Šilumos perdavimo būdai

Jeigu izoliuotame kūne esantis temperatūrų skirtumas kaip nors nepalaikomas, tai per tam tikrą laiką jis išnyksta, ir visų kūno dalių temperatūra tampa ta pati. Tokia būseną vadinama šilumine pusiaus-

vyra. Taip įvyksta todėl, kad kūnuose šiluma sklinda iš aukštesnės temperatūros sričių į žemesnės temperatūros vietas. Norint išmatuoti kūno temperatūrą termometru, būtina, kad nusistovėtų termometro ir matuojamo kūno šiluminė pusiausvyra. Todėl šį dydį matuoti reikia ilgiau.

Šilumos atidavimas – sudėtingas fizikinis procesas, nes priklauso nuo hidrodinaminių ir šiluminių procesų. Tačiau jau pirmieji stebėjimai parodė, kad šilumos kiekis, kurį per laiko vienetą gauna ir atiduoda kūno paviršius, veikiamas masės srauto, yra proporcingas kūno paviršiaus ir masės srauto temperatūrų skirtumui. Šį dėsningumą Niutonas aprašė tokia lygtimi:

$$Q = kS\Delta T ; \quad (2.1)$$

čia S – paviršiaus plotas m^2 ; ΔT – masės srauto ir paviršiaus temperatūrų skirtumas. Jei masės srauto temperatūra aukštesnė negu paviršių, tai $\Delta T = T - T_s$; čia T ir T_s masės srauto ir paviršiaus vidutinės temperatūros.

Lygtyje esantis proporcingumo koeficientas k vadinamas šilumos perdavimo koeficientu. Jis apibūdina šilumos kiekį, atiduodamą paviršiaus ploto vienetui arba gaunamą iš to ploto vieneto per laiko vienetą, kai paviršiaus ir masės srauto temperatūrų skirtumas lygus vienam laipsniui. Jis matuojamas $W/(m^2 \cdot K)$.

Šilumos perdavimo koeficientas yra sudėtinga daugelio kintamųjų funkcija. Šilumos perdavimo koeficientą galima nustatyti teoriškai ir darant eksperimentą. Pirmuoju atveju jis apskaičiuojamas, sprendžiant diferencines lygtis, aprašančias hidrodinaminius ir šiluminius procesus, kurie vyksta, masės srautui veikiant paviršių. Tačiau šios lygtys sudėtingos, jas sprendžiant paprastai daroma daug prielaidų, todėl skaičiavimų rezultatai ne visada tikslūs. Antruoju atveju jis nustatomas, atliekant eksperimentinius šilumos perdavimo tyrimus.

Šiluma gali būti perduodama įvairiais būdais. Svarbiausi aplinkoje yra 3 šilumos perdavimo būdai: spinduliavimas, konvekcija ir šilumos laidumas.

2.1.1. Spinduliavimas

Vienas nuo kito nutolę kūnai šilumą vienas kitam perduoda spinduliuodami. Kitaip nei kiti šilumos perdavimo būdai spinduliavimas

gali vykti ir vakuume. Bet koks kūnas, kurio temperatūra aukštesnė negu $0\text{ }^{\circ}\text{K}$, skleidžia spinduliuotę. Šie spinduliai yra tokios pat prigimties, kaip ir regimoji šviesa, tik ilgesnio bangos ilgio, t. y. jų sritis yra už raudonųjų spindulių, todėl ir vadinami infraraudonaisiais spinduliais (lot. *infra* – po). Atsižvelgiant į kūno temperatūrą, keičiasi spinduliuotės intensyvumas ir spektrinė sudėtis, todėl mūsų akys dažnai jo nepriima kaip regimosios spinduliuotės.

Įvairūs paviršiai geba nevienodai spinduliuoti ir sugerti šiluminę energiją. Kūnas, kuris visiškai sugeria visų dažnių spinduliuotę, vadinamas absoliučiai juodu. Tokių kūnų gamtoje realiai nėra, ši sąvoka yra tik abstrakcija. Kūnai, kurių sugerties veiksnys mažesnis už vienetą ir nepriklauso nuo šviesos bangos ilgio, vadinami pilkaisiais. Gamtoje pilkų kūnų taip pat nėra, tačiau kai kurie kūnai tam tikrame bangos ilgių intervale spinduliuoja ir sugeria bangas kaip pilkieji kūnai, pavyzdžiui, kartais žmogaus kūnas laikomas pilku.

Juodojo kūno energinį šviesį (kuriame nors paviršiaus taške paviršiaus elemento skleidžiamas spinduliuotės (energijos) srautas, padalytas iš to elemento ploto) aprašo Stefano ir Bolcmano dėsnis:

$$Re = \sigma T^4 \text{ (juodam kūnui); } Re = \alpha \sigma T^4 \text{ (pilkam kūnui),} \quad (2.2)$$

iš kurio matyti, kad energinis šviesis proporcingas termodinaminės temperatūros ketvirtajam laipsniui. Vadinasi, daugiau įkaitęs kūnas intensyviau spinduliuoja. Čia σ – Stefano ir Bolcmano konstanta, α – sugerties veiksnys. Kitas šiuos procesus aprašantis dėsnis – Vyno dėsnis:

$$\lambda_{\max} = b/T; \quad (2.3)$$

čia $\lambda_{\max}$ – bangos ilgis, kuriam tenka maksimalus spektrinis energinės apšvietos tankis, b – Vyno konstanta. Tai iliustruoja toks pavyzdys: kambario temperatūroje šilumos kūnų spinduliavimas vyksta infraraudonojoje srityje, ir žmogaus akis jo nefiksuoja. Pakilus temperatūrai, kūnai pradeda šviesti tamsiai raudonai, o esant dar aukštesnei temperatūrai – baltai su melsvu atspalviu. Stefano ir Bolcmano, Vyno dėsniai leidžia, matuojant kūnų spinduliavimą, nustatyti jų temperatūrą.

Geriausiai spinduliuotę sugeria matinis juodas paviršius, o blogiausiai – poliruotas metalinis paviršius. Čia galioja ir atvirkštinis

dėsnis. Kai šiluma iš kūno išspinduliuojama, poliruotas metalinis paviršius šilumą išspinduliuoja blogiausiai, o baltas paviršius – geriausiai. Šiuo principu grindžiami įvairūs šildymo įrenginiai. Prieš 20–30 metų energiniai šaltiniai buvo nebrangūs. Įvairūs šildymo įrenginiai dažniausiai buvo dažomi pigiausiais kaitrai atspariais dažais – aliuminio pudra. Energijai brangstant, dauguma šildymo įrenginių buvo perdažyti brangesniais, bet gerai šilumą išspinduliuojančiais dažais.

Kai spinduliuotė sugerama uždaroje erdvėje, pavyzdžiui, šiltnamyje, kūnai sugeria Saulės spinduliuotę ir pakartotinai išspinduliuoja jau mažesnės energijos spinduliuotę, kuri negali prasiskverbti pro stiklą. Panašų kliuvinį atmosferoje suformuoja anglies dioksidas. Pastaruoju metu šis kliuvinys didėja, todėl oras pamažu šiltėja.

Vienas iš galingiausių šiluminio spinduliavimo šaltinių yra Saulė. Saulės radiacijos srautas, tenkantis vienam kvadratiniam metrui žemės atmosferos ribos ploto, yra 1350 W. Šis dydis vadinamas Saulės pastoviaja. Tačiau realiai šis dydis būna mažesnis, nes priklauso nuo Saulės aukščio virš horizonto ir radiacijos silpnėjimo dėl atmosferos, be to, kartu keičiasi ir spektrinė spinduliuotės sudėtis.

Galia, kurios netenka šiltesnis kūnas, sąveikaudamas su jį supančia šaltesne aplinka, gali būti skaičiuojama taip:

$$P = P_1 - P_0 = S\delta(T_1^4 - T_0^4); \quad (2.4)$$

čia T_0 ir T_1 – atitinkamai aplinkos ir kūno paviršiaus temperatūra; δ – spinduliavimo koeficientas; S – kūno paviršiaus plotas.

2.1.2. Konvekcija

Skysčiuose ir dujose šiluma perduodama konvekcijos būdu. Šildant skysčius ir dujas, jų tankis kinta. Šiltesnis skystis arba dujos yra lengvesni (mažesnio tankio) ir kyla aukštyn, o šaltesni, būdami sunkesni, slenka žemyn. Skysčiuose ir dujose susidaro konvekcinių srovių, kurios, nešdamos šiltesnio (mažesnio tankio) skysčio arba dujų mases, perneša ir jų turimą šilumos kiekį. Dėl šios priežasties vanduo ežero dugne yra šaltesnis nei paviršiuje. Milžinišką šilumos kiekį konvekcijos būdu gamtoje perneša vėjas ir jūrų srovės, todėl šis procesas lemia ir orus Žemėje: išilę prie Žemės paviršiaus oro sluoksniai

kyla į viršų, maišosi su šaltesnėmis oro masėmis – taip susidaro ciklonai ir anticiklonai. Su šiuo šilumos perdavimo būdu susiduriama ir buityje. Dėl konvekcijos greičiau išsilygina temperatūra patalpose, greičiau sušyla vanduo virdulyje ir pan.

Yra dviejų tipų konvekcija: laisvoji ir priverstinė.

Esant laisvajai konvekcijai, šilumos pernaša priklauso nuo oro cirkuliacijos aplink įkaitintą ar atšaldytą objektą ir virš jo. Ją lemia oro tankio skirtumas, atsirandantis dėl temperatūrų, vandens garų koncentracijos gradiento arba dėl abiejų efektų derinio.

Priverstinė konvekcija vyksta tada, kai pernaša per ribinį sluoksnį vyksta, pučiant oro srovei, ir nuo srovės greičio priklauso šilumos pernašos greitis.

Daugumoje gamtinių sistemų konvekcija yra labai sudėtingas procesas dėl nuolat kintančio vėjo greičio ir krypties, kartais dar ir dėl šilumą prarandančio paviršiaus judėjimo. Esant stipriems oro gūsiams, šilumos nuostoliai iš kūno iš esmės vyks dėl priverstinės konvekcijos, bet, vėjui laikinai aprimus, svarbiausia bus laisvoji konvekcija. Todėl konvekcijos režimas gali būti apibūdintas kaip mišrusis ta prasme, kad abu konvekcijos būdai perneša šilumą, tačiau jų santykinis indėlis kinta laike. Kadangi tai labai sunku nagrinėti teoriškai ir eksperimento tvarka, šilumos pernaša aplinkoje apskaičiuojama iš vidutinio vėjo greičio, kai laikoma, kad vyrauja priverstinė konvekcija, arba iš temperatūros skirtumo, jei vėjas labai silpnas ir oro judėjimas nedidelis.

Šiurkščiai šiems dviem konvekcijos būdams atskirti gali būti naudojamas keliamosios jėgos ir inercinės jėgos santykis. Kai keliamoji jėga gerokai didesnė už inercines jėgas, šilumos pernešimas vyksta dėl laisvosios konvekcijos. Kai keliamosios jėgos labai mažos, svarbi priverstinė konvekcija.

Nagrinėjant šilumos pernašą technikoje, paprastai laikoma, kad kūno temperatūra yra vienoda visame kūno paviršiuje. Tačiau realiai tai padaryti galima tik didelio šilumos laidumo metaliniams paviršiams. Gamtoje objektai yra mažai laidūs šilumai, todėl šiuo atveju laikoma, kad bet kuris vienetinis kūno paviršius išspinduliuoja vienodą šilumos kiekį. Toks pavyzdys galėtų būti pastato stogas, esantis saulės apšviestoje vietoje. Esant vienodiems šilumos nuostoliams bet kuriame pastato stogo ploto vienetu, jo temperatūra stogo paviršiuje jau tampa nevienoda.

Laisvoji konvekcija ypač svarbi tada, kai paviršiaus temperatūra ir aplinkos temperatūra labai skiriasi.

2.1.3. Šilumos laidumas

Šiluma gali sklisti iš vieno kūno į kitą arba iš vienos kūno dalies į kitą, tiesiogiai jiems liečiantis. Toks šilumos perdavimo būdas vadinamas šilumos laidumu. Įvairių kietųjų kūnų šilumos laidumas nevienodas. Vieni iš jų, pavyzdžiui, metalai ir įvairūs kristalai, yra geri šilumos laidininkai, o kiti, pavyzdžiui, oras, medis, putplasčiai – blogi šilumos laidininkai (jie vadinami šilumos izoliatoriais). Vadinasi, šilumos laidumas priklauso nuo medžiagos sandaros.

Kristalų gardelėse atomai yra glaudžiai susieti tarpusavyje, ir šiluma čia pasireiškia kaip gardelės mazgų virpėjimas apie pusiausvyros padėtį: kuo didesnė kristalo temperatūra, tuo didesnė gardelės mazgų virpesių amplitudė, t. y. jų kinetinė energija. Kiekvieno kristalo gardelės sandara yra savita, būdinga tik šiam kristalui (atomų tarpusavio išsidėstymas, atstumas tarp gardelės mazgų, jų tarpusavio padėtis, gardelės mazgų ryšio energija). Bet koks vieno gardelės mazgo virpėjimas pusiausvyros padėties atžvilgiu priverčia virpėti ir kitus kristalinės gardelės mazgus – vieno iš atomų virpėjimo kinetinė energija (taigi ir šiluma) perduodama kitiems kristalinės gardelės mazgams. Metalų šilumos laidumo priežastis kita. Metaluose yra daug laisvųjų krūvininkų – elektronų. Kuo didesnė kūno temperatūra, tuo didesnė laisvųjų elektronų kinetinė energija. Susidurdami jie savo kinetinę energiją perduoda metalo atomams ir kitiems elektromams.

Medžiagų šilumos laidumas yra nevienodas. Kadangi dujos – blogas šilumos laidininkas, visos medžiagos, turinčios didesnę oro kiekį (putplasčiai, šiaudai), vadinamos termoizoliacinėmis. Kai daugumą medžiagos užima oras, medžiagos sandaros įtaka šilumos laidumui yra minimali.

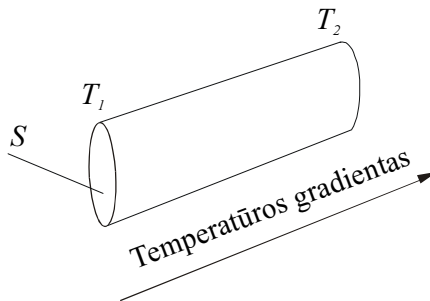
2.2. Šilumos laidumo lygtis

Tarkime, kad vienalyčio metalinio strypo, kurio skerspjūvio plotas yra S , ilgis yra x (2.1 pav.), galų temperatūros yra nevienodos ir

atitinkamai lygios T_1 ir T_2 . Tada šilumos, perduodamos per laiko vienetą, kiekis yra išreiškiamas Furjė formule:

$$dQ = \lambda \frac{T_1 - T_2}{x} S dt. \quad (2.5)$$

Šioje lygtyje proporcingumo koeficientas λ yra šilumos laidumo koeficientas, o santykis $\frac{T_1 - T_2}{x}$ parodo temperatūros pokytį ilgio vienetui šilumos perdavimo kryptimi ir vadinamas temperatūros gradientu. Šilumos laidumo koeficientas parodo, koks šilumos kiekis džiauliais pereina per 1 m^2 skerspjūvį, kai jo galų temperatūros skirtumas yra $1 \text{ }^\circ\text{K}$. Žinant tam tikros medžiagos šilumos laidumo koeficientą, galima pasakyti, ar ši medžiaga yra geras, ar blogas šilumos laidininkas. Įvairių medžiagų šilumos laidumo koeficientai labai skirtingi. Šilumos laidumo koeficientas priklauso ir nuo medžiagos temperatūros, ir nuo savitosios šiluminės talpos. Esant įvairioms kūno temperatūroms, šis koeficientas yra skirtingas. Dydis $R = \frac{x}{\lambda S}$ vadinamas šilumine varža ir taip pat parodo, ar medžiaga yra geras, ar blogas šilumos laidininkas.



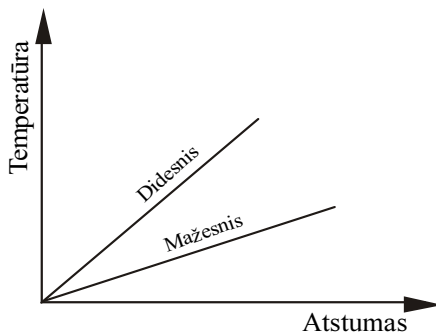
2.1 pav. Brėžinys Furjė formulei aiškinti

Kitas dydis, nusakantis medžiagos gebėjimą kaupti, išlaikyti ir perduoti šilumą, yra savitoji šiluminė talpa. Šis dydis yra skirtingas kiekvienai medžiagai ir nusako, koks šilumos kiekis reikalingas masės vieneto kūno temperatūrai pakeisti vienu Kelvino laipsniu.

Šilumos perdavimo intensyvumas apibūdinamas šilumos srauto tankiu. Jeigu laidininku, kurio skerspjūvio plotas S , per laiką dt perduodamas šilumos kiekis dQ , tai šilumos srauto tankis aprašomas lygtimi

$$q = \frac{dQ}{Sdt}. \quad (2.6)$$

Jis parodo, koks šilumos kiekis perduodamas per laidininko skerspjūvio plotą per laiko vienetą. Šilumos srauto tankis proporcingas temperatūros gradientui ir nukreiptas temperatūros mažėjimo kryptimi. Temperatūros gradientas rodo, koks temperatūros pokytis atitinka ilgio vienetą. Didesnis temperatūros gradientas (2.2 pav.) reiškia didesnį temperatūrų skirtumą, esant tam pačiam atstumui, taigi ir spartesnį šilumos laidumą. Jeigu ilgio intervale x



2.2 pav. Temperatūros gradientai

temperatūros pokytis nuo T_1 iki T_2 , tai šilumos srauto tankis aprašomas lygtimi:

$$q = \lambda \frac{T_1 - T_2}{x}. \quad (2.7)$$

Ši lygtis būdinga atsitiktiniams difuzijos procesams. Jeigu šiluma sklilstų be trukdžių, jos srauto tankis būtų proporcingas temperatūrų skirtumui, o ne gradientui.

Paprastai šiluma perduodama visais trimis – spinduliavimo, konvekcijos ir šilumos laidumo – būdais, ir griežtai atskirti vieną nuo

kito beveik neįmanoma. Tačiau kai kuriais atvejais vienu iš šių būdų šiluma visai nesklinda arba sklinda taip silpnai, kad jos galima ir nepaisyti. Pavyzdžiui, konvekinės srovės kietuosiuose kūnuose nepasireiškia.

Visi anksčiau išvardyti šilumos pernašos būdai naudojami namų šildymo sistemose. Ventilatorinis šildytuvas paskirsto šiltą orą dėl priverstinės konvekcijos; šiluma iš vandens šildomų radiatorių pernešama dėl laisvosios konvekcijos; kai šildytuvai išvedžioti po grindimis, šiluma perduodama laidumo būdu; kaitinami strypo tipo šildytuvai praranda šilumą tiek dėl laisvosios konvekcijos, tiek dėl spinduliavimo.

2.3. Šilumos laidumo dydžiai

2.3.1. Deklaruojamoji šilumos laidumo vertė

Deklaruojamosios šiluminių dydžių vertės skaičiuojamos pagal tiesiogiai išmatuotas vertes, naudojant pateiktus bandymų metodus. Siekiant išvengti storio poveikio, deklaruojamoji vertė turi būti nustatyta pakankamai dideliame medžiagos arba gaminio storiui, arba mažesnio storio gaminių deklaruojamoji vertė turi būti pagrįsta šio storio gaminių matavimu. Jei medžiagos ar gaminio storis mažas (mažesnis nei 10 mm), didelė paklaida gali atsirasti dėl medžiagos nevienalytiškumo.

Deklaruojamosioms vertėms skaičiuoti gamintojas turi turėti ne mažiau kaip 10 bandinių šiluminės varžos arba šiluminio laidumo koeficiento rezultatų, gautų iš vidinių ar išorinių tiesioginių matavimų. Tiesioginiai šiluminės varžos ir šiluminio laidumo koeficiento matavimai turi būti atliekami reguliariais intervalais, tolygiais per pastaruosius 12 mėnesių. Jei turima mažiau kaip 10 bandymo rezultatų, bandymo laikas gali būti pratęsiamas, kol bus gauta 10 rezultatų, tačiau ne ilgiau kaip trejus metus, per kuriuos gaminys ir gamybos sąlygos labai nepasikeitė.

Nauiems gaminiams 10 šiluminės varžos ar šiluminio laidumo koeficiento bandymų rezultatai turi būti gauti ne mažiau kaip per 10 dienų.

Deklaruojamoji medžiagos arba gaminio šilumos laidumo koeficiento vertė, $W/(m \cdot K)$, skaičiuojama pagal formulę:

$$\lambda_{dec} = \lambda_v + \Delta\lambda_d; \quad (2.8)$$

čia λ_v – medžiagos ar gaminio išmatuotų šilumos laidumo koeficientų vidutinė vertė skaičiuojama taip:

$$\lambda_v = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i}{n}; \quad (2.9)$$

čia λ_i – kiekvieno matavimo vertė; n – atliktų matavimų skaičius; $\Delta\lambda_d$ – medžiagos arba gaminio šilumos laidumo koeficiento vertės nuokrypis nustatomas pagal 2.10 formulę:

$$\Delta\lambda_d = k \cdot s; \quad (2.10)$$

čia k – koeficientas, imamas iš 2.1 lentelės; s – standartinis nuokrypis, kuris yra skaičiuojamas taip:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\lambda_i - \lambda_v)^2}{n-1}}; \quad (2.11)$$

Medžiagos arba gaminio deklaruojamoji šiluminės varžos vertė skaičiuojama pagal formulę:

$$R_{dec} = R_{vs} - \Delta R_d; \quad (2.12)$$

čia R_{vs} – medžiagos ar gaminio išmatuotų šiluminių varžų vidutinė vertė skaičiuojama taip:

$$R_{vs} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}; \quad (2.13)$$

čia R_i – kiekvieno matavimo vertė; n – atliktų matavimų skaičius.

ΔR_d – medžiagos arba gaminio šiluminės varžos vertės nuokrypis nustatomas pagal 2.14 formulę:

$$\Delta R_d = k \cdot s. \quad (2.14)$$

2.1 lentelė. Koeficiento k vertės, kai kvantilis 90 % su 90 % vienpusiu pasiskliovimo lygmeniu

Matavimų skaičius	k	Matavimų skaičius	k
10	2,07	24	1,71
11	2,01	25	1,70
12	1,97	30	1,66
13	1,93	35	1,62
14	1,90	40	1,60
15	1,87	45	1,58
16	1,84	50	1,56
17	1,82	100	1,47
18	1,80	300	1,39
19	1,78	500	1,36
20	1,77	2 000	1,32
22	1,74	Kitokiam matavimų skaičiui naudojama tiesinė interpoliacija	

Tais atvejais, kai medžiagos arba gaminio šiluminės savybės bandymais nustatytos kitomis temperatūros ir (arba) drėgmės sąlygomis, nei nurodyta 2.2 lentelėje, jų vertės turi būti perskaiciuotos ir atitikti vidutinę 10 °C bandinio temperatūrą, 50% santykinį oro drėgnį, esant 23 °C temperatūrai.

Skaičiavimo metu vertės turi būti apvalinamos iki ne mažiau kaip 3 reikšminių skaičių.

2.2 lentelė. Deklaruojamųjų verčių nustatymo sąlygos

Savybė	Sąlygos	
	10 °C	
	a	b
Nurodytoji temperatūra	10 °C	10 °C
Drėgnis	sausas ¹	23,50 ²
Senėjimas	pasendintas	pasendintas
¹ sausas – džiovinant gaunamas mažiausias drėgnis. ² 23,50 – nuostovusis drėgnis, esant 23 °C temperatūrai ir 50 % santykiniam oro drėgniui.		

Deklaruojamoji vertė apvalinama pagal tokias taisykles:

1) šilumos laidumo koeficientui, vatais į metrą kelvinui (W/m · K):

$\lambda_{dec} \leq 0,08$ – apvalinama iki artimiausio didesnio skaičiaus 0,001 W/(m · K) tikslumu;

$0,08 < \lambda_{dec} \leq 0,20$ – apvalinama iki artimiausio didesnio skaičiaus 0,005 W/(m · K) tikslumu;

$0,20 < \lambda_{dec} \leq 2,00$ – apvalinama iki artimiausio didesnio skaičiaus 0,01 W/(m · K) tikslumu;

$2,0 < \lambda_{dec}$ – apvalinama iki artimiausio didesnio skaičiaus 0,1 W/(m · K) tikslumu;

2) ir (arba) šiluminei varžai, kvadratiniais metrais kelvinui į vatą (m² · K/W), kai apvalinama iki artimiausios mažesnėsios vertės ne daugiau kaip dviejų skaičių po kablelio arba trijų reikšminių skaičių.

2.3.2. Matavimų duomenų perskaičiavimas

Šiluminės vertės perskaičiavimas nuo vienu sąlygų rinkinio (λ_1 , R_1) į kitų sąlygų rinkinį (λ_2 , R_2) atliekamas pagal tokias formules:

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot F_T \cdot F_m \cdot F_a ; \quad (2.15)$$

$$R_2 = \frac{R_1}{F_T \cdot F_m \cdot F_a} ; \quad (2.16)$$

čia F_T – temperatūrinis perskaičiavimo daugiklis; F_m – drėgminis perskaičiavimo daugiklis; F_a – senėjimo poveikio įvertinimo daugiklis.

Temperatūrinis perskaičiavimas

Temperatūrinis perskaičiavimo daugiklis yra F_T nustatomas taip:

$$F_T = e^{f_T (T_2 - T_1)} ; \quad (2.17)$$

čia f_T – temperatūrinis perskaičiavimo koeficientas; T_1 – pirmojo sąlygų rinkinio temperatūra; T_2 – antrojo sąlygų rinkinio temperatūra.

Drėgminis perskaičiavimas

Drėgminis perskaičiavimo daugiklis F_m yra nustatomas taip:

1) perskaičiavimas, kai žinomas masės masėje drėgnis:

$$F_m = e^{f_u (u_2 - u_1)} ; \quad (2.18)$$

čia f_u – masės masėje drėgminis perskaičiavimo koeficientas (kai žinomas masės masėje drėgnis); u_1 – pirmųjų sąlygų rinkinio masės masėje drėgnis; u_2 – antrųjų sąlygų rinkinio masės masėje drėgnis;

2) perskaičiavimas, kai žinomas tūrio tūryje drėgnis:

$$F_m = e^{f_\psi(\psi_2 - \psi_1)}; \quad (2.19)$$

čia f_ψ – tūrio tūryje drėgminis perskaičiavimo koeficientas (kai žinomas tūrio tūryje drėgnis); ψ_1 – pirmųjų sąlygų rinkinio tūrio tūryje drėgnis; ψ_2 – antrųjų sąlygų rinkinio tūrio tūryje drėgnis.

Senėjimo poveikio įvertinimas

Medžiagos savybių kitimas laiko atžvilgiu priklauso nuo jos rūšies, storio, struktūros, išpūtimo medžiagos, apdailos, aplinkos sąlygų. Kiekvienai medžiagai senėjimo poveikis gali būti nustatytas, naudojant teorinį modeliavimą, patvirtintą eksperimentiniais duomenimis. Nėra paprastų medžiagos savybių kitimo nustatymo taisyklių, tačiau:

1) perskaičiavimas nereikalingas, jeigu, matuojant šiluminį laidumą arba varžą, senėjimo poveikis medžiagai jau įvertintas (matuojama pasendinta medžiaga);

2) jeigu deklaruojamoji vertė nustatyta, naudojant perskaičiavimo daugiklį F_a , tai ši vertė atitinka pakitusią šiluminės savybės vertę per ne mažesnę kaip pusę gaminio tarnavimo atitvaroje laiko.

Termoizoliacinių medžiagų tarnavimo laikas dažniausiai imamas 50 metų.

2.3.3. Projektinių verčių skaičiavimas

Projektinės statybinių medžiagų ir gaminių šiluminių techninių dydžių vertės apibūdina gaminio ar medžiagos savybes eksploataavimo sąlygomis.

Projektinė medžiagos šilumos laidumo koeficiento vertė λ_{ds} , $W/(m \cdot K)$ skaičiuojama pagal 2.20 formulę:

$$\lambda_{ds} = \lambda_{dec} + \Delta\lambda_{\omega} + \Delta\lambda_{cv}; \quad (2.20)$$

čia λ_{dec} – deklaruojamoji šilumos laidumo koeficiento vertė, $W/(m \cdot K)$; $\Delta\lambda_{\omega}$ – pataisa dėl papildomo medžiagos įdrėkimo konst-

rukcijose, $W/(m \cdot K)$, imama iš 2.3, 2.4 ir 2.5 lentelių; $\Delta\lambda_{cv}$ – pataisa dėl šiluminės konvekcijos poveikio.

Šilumos laidumo koeficiento pataisa dėl vidinės šilumos konvekcijos medžiagoje ir (arba) termoizoliacinio sluoksnio plyšiuose tarp termoizoliacinių gaminių, taip pat tarp termoizoliacinių gaminių ir juos ribojančių paviršių skaičiuojama pagal 2.21 formulę:

$$\Delta\lambda_{cv} = \lambda_{dec} \cdot K_{cv}, W/(m \cdot K); \quad (2.21)$$

čia λ_{dec} – deklaruojamoji šilumos laidumo koeficiento vertė, $W/(m \cdot K)$; K_{cv} – šilumos konvekcijos poveikio koeficientas, imamas iš 2.6 lentelės. Šio koeficiento vertė priklauso nuo konstrukcijos vėdinimo intensyvumo, vėjo izoliacijos sluoksnio orinio laidžio K vertės, termoizoliacinio sluoksnio įrengimo būdo ir šio sluoksnio medžiagos oro laidumo koeficiento l .

2.3 lentelė. Pataisa $\Delta\lambda_{\omega}$ dėl papildomo medžiagos įdrėkimo atitvaroje

Eil. Nr.	Medžiagos ir gaminiai	$\Delta\lambda_{\omega}$, $W/(m \cdot K)$	
		vėdinama	nevėdinama
1	Akytieji betonai ir silikatai, $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$	0,02	0,03
2	Akytieji betonai ir silikatai, $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$	0,015	0,02
3	Mineralinė vata	0,001	0,002
4	Birioji celiuliozės pluošto vata, $\rho = 35\text{--}55 \text{ kg/m}^3$	0,01	0,02
5	Fenolio- ir karbamido-formaldehidinio putplasčio plokštės	0,02	0,03
6	Keramzito žvyras, $\rho = 400\text{--}600 \text{ kg/m}^3$	0,01	0,02
7	Medienos plaušo ir medienos drožlių plokštės, $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$	0,015	neleidžiama naudoti
8	Medienos plaušo ir medienos drožlių plokštės, $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$	0,11	neleidžiama naudoti
9	Polistireninio putplasčio plokštės (EPS)	0,003	0,004
10	Ekstruzinio polistireninio putplasčio plokštės (XPS)	0,001	0,002
11	Putstiklis, $\rho = 200 \text{ kg/m}^3$	0,01	0,02
12	Putstiklis, $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$	0,02	0,03
13	Poliuretaninio putplasčio plokštės	0,001	0,002

Medžiagų ir gaminių, naudojamų grunte arba po grindimis ant grunto, pataisa $\Delta\lambda_{\omega}$ nustatoma pagal 2.4 lentelėje pateiktus duomenis.

2.4 lentelė. Pataisa $\Delta\lambda_{\omega}$ dėl papildomo medžiagos įdrėkimo grunte

Eil. Nr.	Medžiagos ir gaminiai	Pataisa $\Delta\lambda_{\omega}$, W/(m · K)	
		Po patalpų grindimis ant grunto, išskyrus rūšių grindis	Pastatų išorėje – grunte
1	Mineralinė vata	0,02	0,04
2	Keramzito žvyras, $\rho = 400\text{--}600 \text{ kg/m}^3$	0,06	0,07
3	Keramzito smėlis, $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$	0,15	0,2
4	Polistireninio putplasčio plokštės (EPS), $\rho \geq 20 \text{ kg/m}^3$	0,010	0,025
5	Ekstruzinio polistireninio putplasčio plokštės (XPS)	0,003	0,004

Stogų, kurių šilumos izoliacija iš suleidžiamų ekstruzinio polistireninio putplasčio (XPS) plokščių įrengiama virš hidroizoliacijos, pataisa $\Delta\lambda_{\omega}$ nustatoma pagal 2.5 lentelėje pateiktus duomenis.

2.5 lentelė. Pataisa $\Delta\lambda_{\omega}$ dėl papildomo medžiagos įdrėkimo stoguose, kur šilumos izoliacija įrengta virš hidroizoliacijos

Eil. Nr.	Atvirkštinių stogų konstrukcijos*	$\Delta\lambda_{\omega}$, W/(m · K)
1	1 sluoksnis ekstruzinio polistireninio putplasčio (XPS) ir žvyro užpilas	0,001
2	2 sluoksniai ekstruzinio polistireninio putplasčio (XPS) ir žvyro užpilas	0,003
3	Virš ekstruzinio polistireninio putplasčio (XPS) įrengtas grindinys, stogo terasa su grunto užpilu arba išbetonuota mašinų stovėjimo aikštelė	0,008

* Atvirkštiniai stogai – tai dažniausiai plokšti stogai, kuriuose termoizoliacinis sluoksnis yra virš stogo hidroizoliacinio sluoksnio.

2.6 lentelė. Šilumos konvekcijos poveikio koeficiento K_{cv} vertės

Termoizoliacinio gaminio montavimo konstrukcijoje būdas		Termoizoliacinis sluoksnis vėdinamas ⁻¹						Termoizoliacinis sluoksnis nevėdinamas ⁻²		
		Termoizoliacinio sluoksnio medžiagos grupė pagal oro pralaidumą						Termoizoliacinio sluoksnio medžiagos grupė pagal oro pralaidumą		
		> 190		190–60		< 60		> 190	190–60	< 60
		A	B	A	B	A	B			
Termoizoliaciniai gaminiai priklijuoti arba mechanškai pritvirtinti prie izoliuojamo paviršiaus ¹⁾		0,1	N	0	N	0	0 (0,1)	0,15	0,05	0
Termoizoliaciniai gaminiai, nepritvirtinti prie izoliuojamo paviršiaus ²⁾	Termoizoliaciniai gaminiai užpildo visą erdvę ^{2.1}	0,1	N	0	N	0	0 (0,1)	0,1	0	0
	Termoizoliaciniai gaminiai sujungti arba perdengti ^{2.2}	0,2	N	0,1	N	0,05	0,2	0,2	0,05	0,05
	Termoizoliaciniai gaminiai nesujungti arba neperdengti ^{2.3}	0,3	N	0,15	N	0,05	0,3	0,3	0,3	0,3

Pastabos:

⁻¹ vėdinimo angų plotas didesnis kaip $5 \text{ cm}^2/\text{m}$ (vienam sienos ilgio metrui).

⁻² vėdinimo angų plotas mažesnis kaip $5 \text{ cm}^2/\text{m}$ (vienam sienos ilgio metrui).

A – termoizoliacinis sluoksnis su vėją izoliuojančiu sluoksniu;

B – termoizoliacinis sluoksnis be vėją izoliuojančio sluoksnio;

N – nenaudojama.

Skliaustuose pateikta vertė naudojama, kai vėdinimo angų plotas didesnis nei $300 \text{ cm}^2/\text{m}$.

¹⁾ Termoizoliacinis sluoksnis priklijuotas arba mechaniškai pritvirtintas prie izoliuojamojo paviršiaus.

Termoizoliacinė medžiaga prie izoliuojamojo paviršiaus pritvirtinta taip, kad eksploatuojant negalėtų judėti, nesusidarytų tarp gaminių plyšiai.

Konstrukcijų pavyzdžiai: tinkuoti fasadai, vėdinamieji fasadai su mechaniškai pritvirtintu termoizoliaciniu sluoksniu, trisluoksnis mūras su oro tarpu arba be jo su mechaniškai pritvirtintu termoizoliaciniu sluoksniu, sutapdinantieji stogai.

²⁾ Termoizoliacinis sluoksnis nepritvirtintas prie izoliuojamojo paviršiaus.

Termoizoliacinė medžiaga nepritvirtinta prie izoliuojamojo paviršiaus arba pritvirtinta taip, kad gali judėti bent viena kryptimi, dėl ko gali susidaryti tarp gaminių plyšių.

^{2.1} Termoizoliaciniai gaminiai užpildo visą jiems skirtą erdvę (įvertinant suslūgimą).

Termoizoliaciniai gaminiai išspaudžiami tarp juos ribojančių paviršių ir karkaso elementų, naudojant papildomą jėgą, arba uždengiami danga, prispaudžiančia prie izoliuojamojo pagrindo.

Konstrukcijų pavyzdžiai: karkasinės sienos ir šlaitiniai stogai su vėjo izoliacija iš standžių plokščių, grindys, perdangos su standžiu apsauginiu sluoksniu, biriųjų termoizoliacinių medžiagų pripūsti uždari oro tarpai.

^{2.2} Termoizoliaciniai gaminiai glaudžiai sujungti arba perdengti. Nėra galimybių atsirasti plyšiams tarp gaminių.

Konstrukcijų pavyzdžiai: karkasinės sienos ir šlaitiniai stogai su vėjo izoliacija iš plėvelių, pastogės perdangos be standaus apsauginio sluoksnio. Konstrukcijos su standžiomis termoizoliacinėmis plokštėmis su suleidimo įpjovomis.

^{2.3} Termoizoliaciniai gaminiai nesujungti arba neperdengti. Yra galimybė atsirasti tarp gaminių plyšiams, taip pat tarp gaminių ir izoliuojamojo paviršiaus.

Konstrukcijų pavyzdžiai: vėdinamieji fasadai ir trisluoksnis mūras su oro tarpu ir mechaniškai nepritvirtintu termoizoliaciniu sluoksniu.

2.7 lentelė. Pastatų vėdinamų sienų, šiltintų termoizoliaciniais gaminiais, vėją izoliuojančių medžiagų orinio laidžio vertės

Pastatų sienų oro tarpų sandarumas	Vėjo izoliacijos sluoksnio orinio laidžio K , $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ vertės, esant termoizoliacinių gaminių grupėms pagal oro laidumo koeficientą l , $\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$		
	$l > 190 \cdot 10^{-6}$	$190 \cdot 10^{-6} \geq l > 60 \cdot 10^{-6}$	$L \leq 60 \cdot 10^{-6}$
Uždari oro tarpai. Sienų oro tarpo vėdinimo angų plotas $A_v < 5 \text{ cm}^2/\text{m}$	$K < 850 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$	$K < 1200 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$	Termoizoliacinės plokštės gali būti naudojamos be vėją izoliuojančio sluoksnio vėdinamose sienose. Šios plokštės turi būti tvirtinamos mechanškai arba klijuojamos prie kitų atitvaros sluoksnių, siekiant panaikinti oro tarpelius tiek tarp pačių plokščių, tiek tarp plokščių ir kitų atitvaros sluoksnių
Mažai vėdinami oro tarpai. Sienų oro tarpo vėdinimo angų plotas $5 \text{ mm}^2/\text{m} \leq A_v \leq 15 \text{ cm}^2/\text{m}$			
Vėdinami oro tarpai. Sienų oro tarpo vėdinimo angų plotas $15 \text{ cm}^2/\text{m} < A_v \leq 300 \text{ cm}^2/\text{m}$			
Vėdinami oro tarpai. Sienų oro tarpo vėdinimo angų plotas $300 \text{ cm}^2/\text{m} < A_v \leq 400 \text{ cm}^2/\text{m}$	$K < 850 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$		Šios plokštės turi būti tvirtinamos mechanškai arba klijuojamos
Intensyviai vėdinami oro tarpai ir pastato atitvarų sandūrų vietos. Sienų oro tarpo vėdinimo angų plotas $400 \text{ cm}^2/\text{m} < A_v \leq 1000 \text{ cm}^2/\text{m}$	$I < 35,0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$		

Šios plokštės turi būti tvirtinamos mechanškai arba klijuojamos

3. Termoizoliacinių medžiagų klasifikacija

Termoizoliacinių medžiagų klasifikacija yra labai įvairi, ir iki šiol nėra vienodo Europos standarto, kuris visa tai reglamentuotų. Lietuvoje šiuo metu galioja LST 1632 standartas, perimtas iš CR 245 (CEN ataskaitos). Pagal šio standarto reikalavimus sudaryta klasifikacija pateikta 3.1 lentelėje. Šis norminis dokumentas išskiria 3 kriterijus: medžiagų formą t. y. kur ir kaip gaminys suformuotas, struktūrą ir cheminę sudėtį. Tačiau palyginti įvairioms termoizoliacinėms medžiagoms tokios klasifikacijos dažnai nepakanka, todėl medžiagos dažnai skirstomos ir pagal kitus joms būdingus kriterijus: tankį, šilumos laidumo koeficientą, standumą. Pagal tankį dažniausiai klasifikuojami įvairūs termoizoliaciniai blokeliai. Paprastai medžiagos skirstomos į termoizoliacines (tankis $<400 \text{ kg/m}^3$), termoizoliacines konstrukcines (tankis $400\text{--}700 \text{ kg/m}^3$), ir konstrukcines (tankis $>700 \text{ kg/m}^3$). Pagal šilumos laidumo koeficientą reikėtų išskirti efektyvias termoizoliacines medžiagas, kai šilumos laidumo koeficientas išmatuotas, esant vidutinei 10°C temperatūrai, yra $>0,05 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$. Šią medžiagų grupę sudaro įvairūs putplasčiai, mineralinės vatos gaminiai, celiuliozinė vata, Lietuvoje žinoma kaip ekovata, pūstos kamštienos plokštės. Į kitą termoizoliacinių medžiagų, kurių šilumos laidumo koeficientas $0,05\text{--}0,20 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, grupę patenka įvairūs medienos ir jos atliekų gaminiai, lengvieji aktytieji betonai, keramzitas ir jo gaminiai. Trečiajai grupei priskiriami gaminiai, kurių šilumos laidumo koeficientas $>0,20 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$. Ją sudaro konstrukciniai aktytieji betonai, keraminiai blokeliai, įvairūs tuštymėti gaminiai. Pagal medžiagos standumą skiriami būti kietieji gaminiai, pusiau kieti ir minkštieji. Medžiagų kietumas priklauso nuo tankio. Medžiagų tankis ir su juo susijusios savybės aptariami kitame skyriuje.

Medžiagų šiluminėms savybėms įvertinti svarbus jų suskirstymas pagal poringumą. Paprastai skiriamos atviraporės ir uždaporės medžiagos, o pastarosios dar skirstomos į smulkiapores ir stambiapores. Medžiagų porėtumas išsamiau aptariamas skyriuje „Garsą sugeriančių ir termoizoliacinių medžiagų struktūra“.

3.1 lentelė. Termoizoliacinių medžiagų klasifikacija

Žymėjimas	Forma	Žymėjimas	Struktūra	Žymėjimas	Cheminė sudėtis	Pavyzdžiai
A	Pagamintos gamykloje medžiagos, pvz.: blokai, plokštės lakštai, dembliai ir kt.	1	Akytosios medžiagos	1	organinės	Akytieji plastikai ir kt.
				2	neorganinės	Putstiklis, autoklavinis akytasis betonas ir kt.
				3	mišriosios	Akytieji plastikai su putstiklio granulėmis
		2	Plaušinės medžiagos	1	organinės	Medžio plaušo gaminiai ir kt.
				2	neorganinės	Mineralinio plaušo gaminiai ir kt.
				3	mišriosios	**
		3	Įvairios struktūros mišriosios medžiagos	1	organinės	**
				2	neorganinės	Betonas su lengvaisiais užpildais ir kt.
				3	mišriosios	Betonas su polistireninio putplasčio granulėmis ir kt.
		4	Daugiasluoksnės medžiagos	1	organinės	Akytieji plastikai su organine danga ir kt.
				2	neorganinės	Mineralinė vata su tinku ir kt.
				3	mišriosios	Akytieji plastikai su betono danga ir kt.
		5	Naujų technologijų medžiagos	1	organinės	Celiuliozės plaušo koriai ir kt.
				2	neorganinės	Metalinės šilumą atspindinčios plėvelės ir kt.
				3	mišriosios	

3.1 lentelės pabaiga

Žymėjimas	Forma	Žymėjimas	Struktūra	Žymėjimas	Cheminė sudėtis	Pavyzdžiai
B	Suformuojamos vietoje įpurškiant, liejant ar purškiant	1	Akytosios medžiagos, naudojamos skystos arba pastos pavidalo	1	organinės	Akytieji plastikai ir kt.
				2	neorganinės	Akytasis betonas ir kt.
				3	mišriosios	**
		2	Plaušinės medžiagos, naudojamos skystos arba pastos pavidalo	1	organinės	**
				2	neorganinės	Mineralinio plaušo užpildas ir kt.
				3	mišriosios	**
		3	Įvairios struktūros mišriosios medžiagos	1	organinės	**
				2	neorganinės	Betono su lengvaisiais užpildais mišinys ir kt.
				3	mišriosios	Betono su polistireninio putplasčio granulėmis mišinys ir kt.
		4	Naujų technologijų medžiagos, naudojamos skystos arba pastos pavidalo	1	organinės	**
				2	neorganinės	**
				3	mišriosios	**
		5	Biriosios medžiagos (visų struktūrų)	1	organinės	Celiuliozės vata ir kt.
				2	neorganinės	Perlitas, keramzitas ir kt.
				3	mišrios	

** – tokios medžiagos nežinomos

4. Garsą sugeriančių ir termoizoliacinių medžiagų struktūra

Garsą sugeriančios ir termoizoliacinės medžiagos pasižymi nepaprasta struktūra. Akytosios medžiagos sudarytos iš kietosios ir dujinės fazės. Dujinė fazė šiose medžiagoje gali sudaryti daugiau nei 99 % medžiagos masės. Dažnas klausimas – kokie pagrindiniai parametrai apibūdina medžiagos struktūrą? Neabejotinai pagrindinis rodiklis yra medžiagos tankis. Medžiagos tankis daugiau ar mažiau lemia visas medžiagų savybes. Medžiagos tankis veikia tokius medžiagos rodiklius, kaip santykinis tankis, akučių būseną ir akučių dydis.

Santykinis tankis $\frac{\rho^*}{\rho_s}$ (atvirkščias dydis medžiagos poringumui P) – termoizoliacinės medžiagos tankio ρ^* , kg/m^3 , santykis su kietos medžiagos, iš kurios pagaminta termoizoliacinė medžiaga, tankiu ρ_s , kg/m^3 . Specialių itin lengvų putų santykinis tankis gali būti mažesnis nei 0,001. Efektyvių termoizoliacinių medžiagų santykinis tankis yra nuo 0,01 iki 0,1. Medžiagų poringumui P skaičiuoti paprastai naudojama paprastesnė formulė:

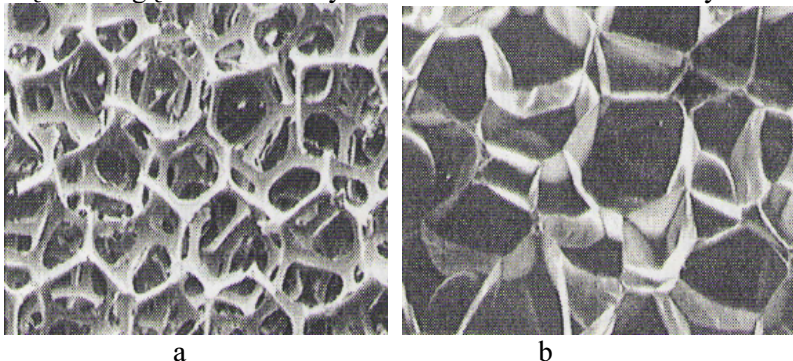
$$P = 1 - \frac{\rho^*}{\rho_s}; \quad (4.1)$$

jei žinomas dujų tankis ρ_g tuštumose, tuomet gali būti naudojama sudėtingesnė formulė:

$$P = 1 - \frac{\rho^* - \rho_g}{\rho_s - \rho_g}. \quad (4.2)$$

Kitas svarbus garsą sugeriančių ir termoizoliacinių medžiagų rodiklis – akučių būseną. Vienos medžiagos turi atviras akutes, o kitos – uždaras. Keletas pavyzdžių pateikta 4.1 paveiksle. Dažniausiai medžiagos, turinčios uždaras akutes, pasižymi geresnėmis fizikinėmis-mechaninėmis savybėmis. Tai dar priklauso ir nuo medžiagų akučių dydžio. Geriausiomis savybėmis pasižymi uždaraporės, turin-

čios smulkias poras, medžiagos. Išsamiau apie akučių įtaką konkrečių medžiagų atskiroms savybėms aiškinama tolesniuose skyriuose.



4.1 pav. Akytųjų medžiagų struktūra: a – atviraporė medžiaga; b – uždaporė medžiaga

5. Efektyvios termoizoliacinės medžiagos

5.1. Polistireninio putplasčio gaminiai

Polistireninis putplastis – uždaporė akytojo plastiko termoizoliacinė medžiaga, gaunama, išputinant polistireninio putplasčio žaliavines granules, iš kitų medžiagų išsiskirianti kainos, gamybos ir efektyvumo santykiu. Palyginti su kitomis termoizoliacinėmis medžiagomis, jo gamyba labai paprasta, nedidelės gamybos sąnaudos ir puikios savybės. Polistireninis putplastis dažniausiai naudojamas kaip efektyvi šilumą izoliuojančioji medžiaga, o Lietuvoje plačiausiai naudojamas šios medžiagos produktas – polistireninio putplasčio plokštės. Šiuo metu Lietuvoje gaminamos įvairios paskirties plokštės, blokeliai, o kai kuriose pasaulio šalyse – ir blokai. Tolesniuose skyriuose pateikiamos žinios apie visus šiuos gaminius.

5.1.1. Polistireninio putplasčio (EPS) plokštės

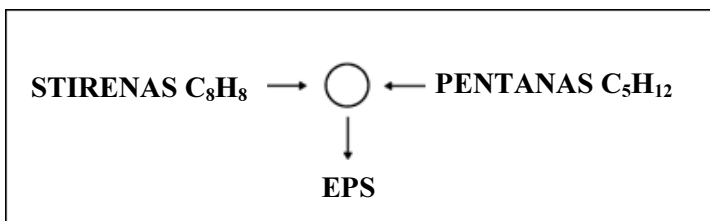
5.1.1.1. Žaliavos

Polistireninis putplastis gaminamas iš plėtriojo polistireno (EPS), kurį XX a. 6-ajame dešimtmetyje pirmą kartą susintetino Vokietijos bendrovė BASF. Bazinė plėtriojo polistireno medžiaga yra stirenas. Polimerizacijos metu stireno molekulės jungiasi viena su kita į gran-

dines. Polimerizacijoje dalyvaujant pentanui, gaunama plėtriojo polistireno medžiaga (5.1 pav.). Ir stirenas, ir pentanas yra angliavandeniliai. Polistireniniam putplasčiui gaminti gali būti naudojami degumą slopinantys priedai. Degumui slopinti Europos gamintojai dažniausiai naudoja heksabromciklododekaną (HBCD). HBCD yra bromuotasis cikloalifatinis angliavandenilis. Jis beveik netirpus vandenyje, atsparus hidrolizei ir nepriskiriamas prie pavojingų medžiagų. Polistireniniame putplastyje šios medžiagos nedaug, ji kieto pavidalo paskirstyta polimeriniame karkase tarp polimerinių grandinių. Dėl šios medžiagos cheminių savybių ir jos patvaraus įterpimo tarp polimerinių grandinių šis priedas negaruoja.

Lietuvoje draudžiama naudoti polistireninį putplastį be degumą slopinančių priedų.

Žaliavoje, iš kurios gaminamas polistireninis putplastis, būna likę mažiau nei 0,1 % monomerinio stireno, kuris gali garuoti. Gaminant polistireninį putplastį, vėl išskiriami nedideli stirolo kiekiai. Parengtoje izoliacinėje medžiagoje jo būna likę dar mažiau.



5.1 pav. Polimerizacijos procesas

Pentanas, EPS medžiagoje naudojamas kaip plėtiklis, yra bespalvis, labai lakus, vandenyje beveik netirpus skystis, kurio virimo temperatūra 30 °C. Pentanas yra sudedamoji naftos dalis, tačiau per natūralius biocheminius procesus susidaro ir žmogaus bei gyvūnų organizmuose ir patenka į atmosferą, iškvepiant orą. Polistireninio putplasčio gamybos proceso metu pentanas garų pavidalu patenka į atmosferą.

Atmosferoje pentanas greitai suardomas fotocheminių reakcijų metu ir virsta anglies dioksidu bei vandeniu.

Polistireniniam putplasčiui gaminti naudojamos plėtriojo polistireno granulės, kurių skersmuo nuo 0,2 iki 3,0 mm dydžio.

5.1.1.2. Gamyba

Polistireninio putplasčio gamybos ciklą sudaro 3 fazės: pradinis išpūtimas, tarpinis išlaikymas ir galutinis išpūtimas.

Pradinis išpūtimas

EPS granulės beriamos į išpūstuvą, kur karštu garu pučiamos aukštesnėje nei 90 °C temperatūroje. Veikiamos karšto garo, granulių sienelės suminkštėja, jose esantis pentanas užverda, ir dėl jo garų, taip pat ir iš dalies įsiskverbiančių vandens garų granulės 20–50 kartų išsiplečia ir virsta tuščiavidurėmis uždaromis dalelėmis.

Tarpinis išlaikymas

Pirmąkart išpūstos granulės transportuojamos tarpiniam išlaikymui į specialiai tam skirtas talpyklas silosus. Tarpinio išlaikymo metu iš granulių pasišalina dalis plėtiklio (pentano), kurį pakeičia oras. Tai daro granules mechaniškai stabilesnes. Iš granulių taip pat sklaidosi drėgmė, todėl jas lengviau transportuoti.

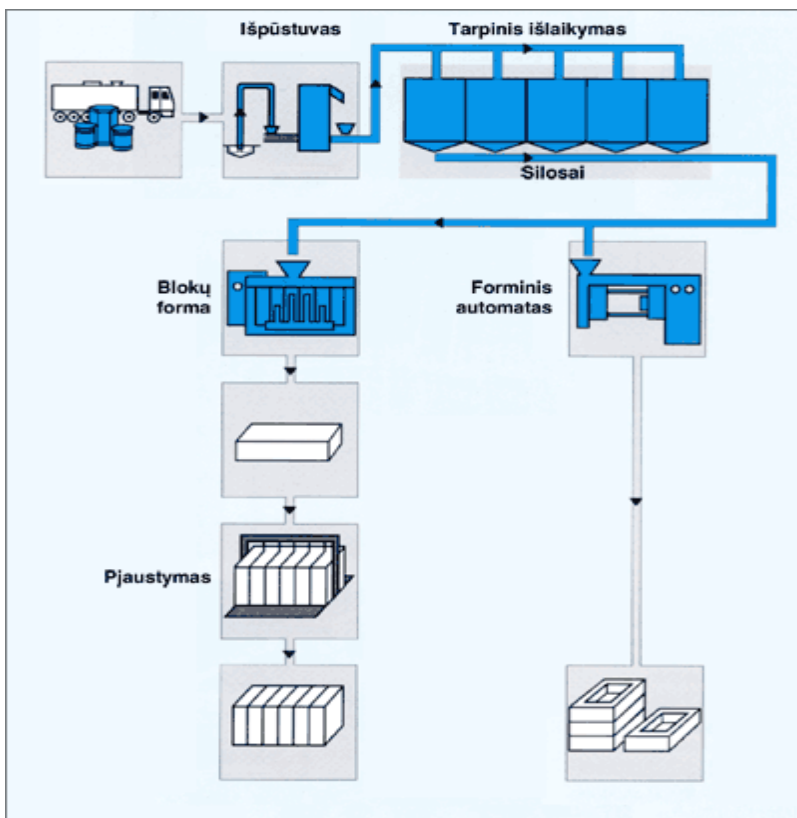
Galutinis išpūtimas

Išlaikytos išpūstosios granulės beriamos į blokų formą, kur, veikiamos karšto garo, dar labiau išsipučia ir susilydo į didelio tūrio vienalytį polistireninio putplasčio bloką.

Išlaikymas

Ką tik pagamintas polistireninis putplastis kurį laiką tebeišķiria pentano (plėtiklio) ir stireno likučius. Be to, per pirmąsias 24 valandas putplastis dar šiek tiek traukiasi: pokyčiai gali siekti iki 0,3–0,5 %. Dėl šių priežasčių pagamintas polistireninis putplastis nustatytą laiką laikomas gamykloje. Vartotojus pasiekiantiems polistireninio putplasčio gaminiams beveik nebūdingas nei kokių nors medžiagų išsiskyrimas, nei matmenų kitimas.

Principinė polistireninio putplasčio gamybos schema pateikta 5.2 pav.



5.2 pav. Principinė polistireninio putplasčio gamybos schema

5.1.1.3. Plokščių klasifikacija

Pagal standartą LST EN 13163 polistireninis putplastis skirstomas į tipus pagal stipruminius rodiklius (5.1 lentelė).

5.1 lentelė. Polistireninio putplasčio klasifikacija

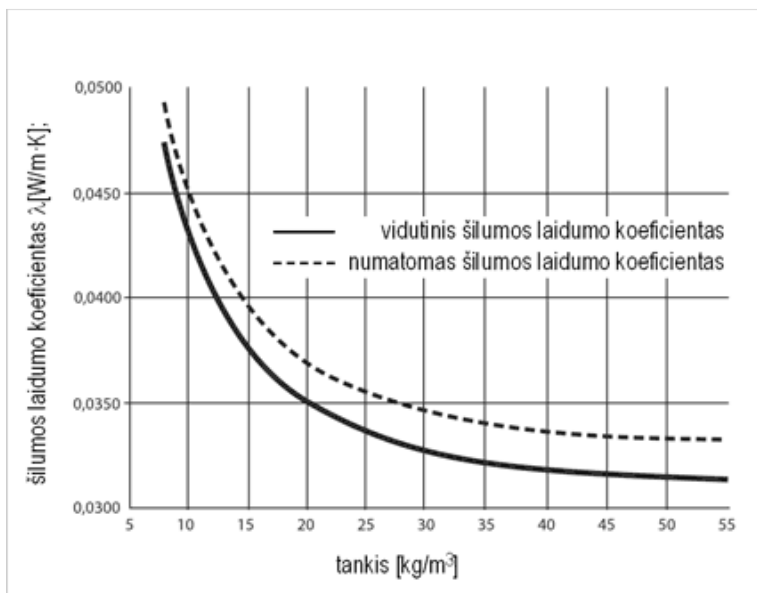
Tipas	Gniuždymo įtempis, kai gaminys deformuojamas 10 %, kPa	Lenkimo stipris, kPa
EPS S	–	50
EPS 30	30	50
EPS 50	50	75
EPS 60	60	100
EPS 70	70	115
EPS 80	80	125
EPS 90	90	135
EPS 100	100	150
EPS 120	120	170
EPS 150	150	200
EPS 200	200	250
EPS 250	250	350
EPS 300	300	450
EPS 350	350	525
EPS 400	400	600
EPS 500	500	750

5.1.1.4. Savybės

Šilumos laidumas

Polistireninį putplastį 99–97 % sudaro oras ir 1–3 % polistirenas. Oras uždarytas 0,2–0,5 mm skersmens akutėse, kurių sienelių storis siekia 0,001 mm. Oras yra blogas šilumos laidininkas, todėl jis užtikrina puikias polistireninio putplasčio termoizoliacines savybes. Kadangi oras iš akučių nesisklaido, termoizoliacinis poveikis išlieka pastovus. Fizikine prasme tai reiškia, kad smulkiose akutėse nevyksta masės pernaša, tai yra oras nejuda, ir šiluma neperduodama.

Medžiagos termoizoliacines savybes nusako šilumos laidumo koeficientas. Kuo šilumos laidumas mažesnis, tuo geresnė termoizoliacinė medžiaga. Polistireninio putplasčio gaminiams paprastai būdingas 0,030–0,045 W/(m · K) deklaruojamasis šilumos laidumo koeficientas. Šilumos laidumo koeficiento priklausomybė nuo polistireninio putplasčio tankio pateikta 5.3 pav.



5.3 pav. Šilumos laidumo koeficiento priklausomybė nuo polistireninio putplasčio tankio (LST EN 13163)

Stipris

Svarbi polistireninio putplasčio savybė yra mechaninis stipris, veikiant apkrovai. EPS būdingas gniuždomasis įtempis, lenkiamasis stipris, statmenas paviršiui tempiamasis stipris, šliejamasis stipris ir kt.

Svarbiausias yra polistireninio putplasčio gniuždomasis įtempis, nes, naudojant polistireninį putplastį, dažniau tenka susidurti su gniuždomąja apkrova, pavyzdžiui, grindyse, plokščiuose stoguose, pamatuose ir t. t. Gaminių kontrolės tikslais pasirinktas sutartinis rodiklis – gniuždomasis įtempis, esant 10 % deformacijai, nors praktiškai polistireninio putplasčio deformacija apkrovos sąlygomis būna daug mažesnė. Gniuždomasis įtempis dažniausiai priklauso nuo tankio, bet kartais įtaką gali turėti ir technologiniai veiksniai, bandymo temperatūra ir kt.

Didelis polistireninio putplasčio privalumas – statmenas paviršiui tempiamasis stipris. Natūriniai fasadų tyrimai Vokietijoje parodė,

kad, kintant oro drėgmei ir temperatūrai, ši polistireninio putplasčio savybė nekinta.

Matmenų kitimas dėl temperatūros poveikio

Polistireninio putplasčio terminio plėtimosi koeficientas yra 0,05 – 0,07 mm vienam metrui kas vieną laipsnį Celsijaus. Tai reiškia, kad maždaug 17 °C temperatūros pokytis sukelia 0,1 % (1 mm/m) dydžio grįžtamą matmenų pokytį. 400 mm ilgio plokštė, esanti 20 °C temperatūroje ir atšaldyta iki –20 °C temperatūros, susitraukia 1 mm.

Matmenų kitimas dėl susitraukties

Ką tik pagamintas polistireninis putplastis per pirmąsias 24 valandas aušdamas, nepaisant gamybos sąlygų ir tankio, susitraukia 0,3–0,5 %.

Vėlesnis traukimasis vadinamas vėlyvąja susitrauktimi. Vėlyvoji susitrauktis sparčiausiai vyksta per pirmąsias keletą dienų, kai putplastis laikomas gamykloje. Po keleto dienų vėlyvoji susitrauktis smarkiai sulėtėja. Ribinė vertė sudaro 1,5–2, 0 mm/m (0,15–0,2 %). Šie pokyčiai negrįžtami.

Įmirkis, visiškai panardinus į vandenį

Polistireninio putplasčio įmirkis, visiškai panardinus į vandenį, itin nedidelis. 15–30 kg/m³ tankio polistireninis putplastis vandens paprastai įgeria:

- per 7 dienas – 0,5–1,5 % tūrio;
- per 28 dienas – 1,0–3,0 % tūrio.

Ilgalaikis įmirkis difuzinės absorbcijos būdu

Įrengtoje konstrukcijoje per 20–50 metų pasitaikantys vandens garų difuzijos procesai laboratorijoje modeliuojami, taikant metodą pagal EN 12088 ir daug didesnius vandens garų dalinius slėgius.

Specialiaisiais gamybos būdais išpūstų granulių sulydymą galima gerinti tiek, kad vandens įmirkis, bandant difuzijos būdu, neviršytų 3 % tūrio vertės.

Elgsena, esant aukštomis temperatūroms

Polistireninio putplasčio elgsena, esant aukštomis temperatūroms, priklauso nuo poveikio veiksmų trukmės ir dydžio.

Nesant apkrovos, polistireninis putplastis gali trumpai atlaikyti aukštesnės negu 100 °C temperatūros poveikį (pvz., tvirtinant karštu bitumu). Esant 5000 N/m² ir 20 000 N/m² apkrovai, polistireninis putplastis gali ilgą laiką laikyti 75 °C temperatūros poveikį.

Polistireninio putplasčio taikymo beveik neriboja jokia žemutinė temperatūros riba. Jo struktūra esmingiau nekinta iki –180 °C. Gniuždomojo įtempio, esant 10 % deformacijai, sumažėjimas po 300 šaldymo ciklų būna mažesnis kaip 10 %.

Degumas

Polistireninis putplastis yra degus. Veikiamas didesnės negu 100 °C temperatūros, polistireninis putplastis ima minkštėti, trauktis ir pagaliau lydytis. Bandymai rodo, kad polistireninio putplasčio su degumą slopinančiais priedais degumo temperatūra yra 374 °C. Žemiau šios temperatūros degiųjų dujų iš besilydančio polistireninio putplasčio nesusidaro. Terminio irimo produktai užsidega, tik tiesiogiai susilietę su paviršiais ar erdvėmis, kurių temperatūra 450–500 °C. Polistireninis putplastis savaime neužsidega, esant žemesnei negu 450 °C temperatūrai.

Polistireninis putplastis su degumą slopinančiais priedais

Lietuvoje statyboje naudojamas tiktai polistireninis putplastis su degumą slopinančiais priedais. Toks putplastis dega tik veikiamas ugnies. Pašalinus liepsnos šaltinį, polistireninis putplastis liaujasi degęs. Jis nei rusena, nei smilksta. Savarankiškai degti taip, kaip, pavyzdžiui, medis, Europos statybose naudojamas polistireninis putplastis negali. Statybose atsainiai atliekant metalo pjaustymo ar virinimo darbus, polistireninį putplastį galima apgadinti aplydant.

Atsparumas senėjimui

Polistireninis putplastis nepūva, nedūla ir yra atsparus senėjimui. Senėjimu vadinamas procesas, kai medžiagos savybės tam tikromis aplinkos sąlygomis kinta, nepaisant to, kad yra laikomasi jos naudojimo ir eksploatavimo reikalavimų. Senėjimą paprastai rodo medžiagos negebėjimas atlikti numatytų funkcijų ar net jos suirimas.

Senėjimas ir jo padariniai skirtini nuo žalos, padarytos medžiagai, netinkamai ją naudojant. Pavyzdys – medžiagos taikymas kartu su ją ardančiomis medžiagomis.

Polistireninio putplasčio atsparumą senėjimui yra daugkart patvirtinę nepriklausomi užsienio ekspertai ir moksliniai institutai, daug metų stebėję polistireninį putplastį įvairiose taikymo srityse. Patikimai nustatyta, kad polistireninis putplastis visiškai išlaiko savo termoizoliacines bei mechanines savybes, atlieka savo funkcijas per visą pastato gyvavimo trukmę, kuri šiandien paprastai apibrėžiama kaip mažiausiai 50 metų.

Saulės spinduliavimo poveikis

Ilgiau veikiamas tiesioginių ultravioletinių spindulių, polistireninis putplastis pagelsta ir tampa trapus. Todėl dėl lietaus ir vėjo gali prasidėti erozija. Nuo tokio poveikio apsaugo dažymas, tinkavimas, laminavimas ir pan. Pastato viduje ultravioletinis spinduliavimas toks menkas, kad putplasčiui nedaro jokio poveikio.

Suderinamumas su kitomis medžiagomis

Polistireninio putplasčio gaminiai neturi liestis su jokia pastato medžiaga, kuri juos ardytų ar plėstų.

Polistireninis putplastis atsparus (nesuyra, net veikiamas ilgai) šioms medžiagoms:

- jūros vandeniui, druskingiems skiediniams;
- kalkėms, cementui, gipsui, anhidridui;
- natrio ir kalio šarmams, gesintosioms kalkėms;
- muilui, drėkinantiems tirpalams (skiediniams);
- 35 % druskos rūgščiai, iki 50 % azoto rūgščiai, iki 95 % sieros rūgščiai;
- skiestoms ir silpnoms muilo ir anglies rūgštims, pelkių vandeniui, druskoms bei trąšoms (statybinei salietrai);
- bitumui, pienui, silikono alyvai, amoniakui.

Polistireninis putplastis sąlygiškai atsparus (ilgai veikiamas gali susitraukti ar net suirti):

- augaliniam aliejui;
- parafininei alyvai, vazelinui, dyzelinei alyvai;
- metilo ir etilo spiritui.

Polistireninis putplastis neatsparus (anksčiau ar vėliau susitraukia ar net ištirpsta):

- šaltam bitumui ir bituminiam glaistui su skiedikliais;
- degutui, degutiniam tepalui, pikiui;
- organiniams skiedikliams: acetoniui, acto esencijai, benzolui, ksilolui, trichloretileniui, lako skiedikliams, terpentiniui;
- sotiesiems angliavandeniliams: cikloheksanui, vaitspiritui;
- karbiuratoriniams ir dyzeliniams degalams.

Ekologiškumas

- netirpsta vandenyje, todėl neskleidžia vandenyje jokių tirpiųjų medžiagų, galinčių užteršti požeminius vandenis;
- nepūva ir neyra, todėl jokiais kenksmingomis medžiagomis neteršia dirvožemio;
- polistireninio putplasčio gaminiuose nėra formaldehido;
- neradioaktyvus: neskleidžia jokio alfa, beta, gama spinduliavimo, jame nėra jokių išmatuotinių radžio koncentracijų, jokio radono garavimo.
- plėtiklio funkcijas atliekantis pentanas atmosferoje greitai suardomas fotocheminių reakcijų metu ir virsta anglies dioksidu bei vandeniu. Pentanas nesikaupia atmosferoje dėl nedidelės pusėjimo trukmės – nuo 10–15 valandų iki 2–3 dienų. Išmatuojamoji pentano dalis atmosferoje yra nykstamai mažas 2 ppb (parts per billions = 1 dalis iš milijardo = 1/1 000 000 000) dydis. Palyginkime: anglies dioksido koncentracija atmosferoje yra 34 600 ppb, metano – 1700 ppb. Pentanas nedaro žalos ozono sluoksniui, nes dėl nedidelio stabilumo nepasiekia viršutinių oro sluoksnių. Palyginti su kitomis į atmosferą išmetamomis svarbiausiomis šiltnamio efektą keliančiomis dujomis, pentano dalis, gaminant ir perdirbant plėtrųjį polistireną, per metus sudaro 0,000 009 %. Anglies dioksido kiekis, atsirandantis, yrant pentanui, yra itin nedidelis. Skaičiavimai rodo, kad šį kiekį jau per vieną žiemos savaitgalį atperka mažesnis anglies dioksido kiekis, kurį lemia mažesnis šildymo energijos suvartojimas. Vandenyje ir dirvoje pentaną į anglies dioksidą ir vandenį greitai suskaido augalai, bakterijos ir mikroorganizmai.

Ką tik pagamintame polistireniniame putplastyje galima aptikti nedidelių stireno pėdsakų. Šios medžiagos koncentracijos sparčiai nyksta, ir po dviejų mėnesių jų jau nebeįmanoma rasti.

Šiukšlių deginimo įrenginiuose polistireninis putplastis visiškai sudega ir virsta anglies dioksidu ir vandeniu. Paprastai polistireninio putplasčio atliekos nedeginamos, o perdirbamos arba antrą kartą naudojamos plokštėms gaminti ir kaip užpildas kitiems termoizoliaciniams kompozitams gaminti.

Degimo produktų toksiškumas

Dujoms, susidarantioms, degant polistireniniam putplasčiui, nebūdingas joks ypatingas toksiškumas. Tokių dujų toksiškumas Vokietijoje buvo ištirtas 1967 m. Dujų toksiškumas buvo vertinamas, remiantis ne tik jų komponentų sudėtimi, bet ir biologiniais pavyzdžiais.

Biologiniai įkvepiamojo toksiškumo tyrimai parodė, kad dujos, susidaranti, degant polistireniniam putplasčiui, gali būti toksiškos, kaip ir dujos, susidaranti, degant visoms kitoms organinėms medžiagoms. Tačiau toksiškas poveikis priskirtinas tik dujose esančiam anglies monoksidui. Palyginti su kitomis natūraliomis organinėmis medžiagomis, kaip, tarkime, medžiu, medžio plaušu ar kamščiu, anglies monoksido koncentracijos dujose, susidaranti, degant polistireniniam putplasčiui, yra daug mažesnės. Kitų degimo dujų sudedamųjų dalių – monostireno, aromatinių medžiagų, bromo vandenilio – koncentracijos tokios menkos, kad jų toksikologinis poveikis yra nereikšmingas.

Valkšnumas

Valkšnumas – labai svarbi polistireninio putplasčio savybė. Tai atsparumas ilgalaikėms gniuždomosioms apkrovoms.

Valkšnumas nustatomas tam tikrame gniuždomojo įtempio lygyje. Veikiant $0,30 \sigma_{10}$ dydžio gniuždomajam įtempiui, polistireninio putplasčio gaminiai po 50 metų turės ne didesnę kaip 2 % valkšnumo deformaciją.

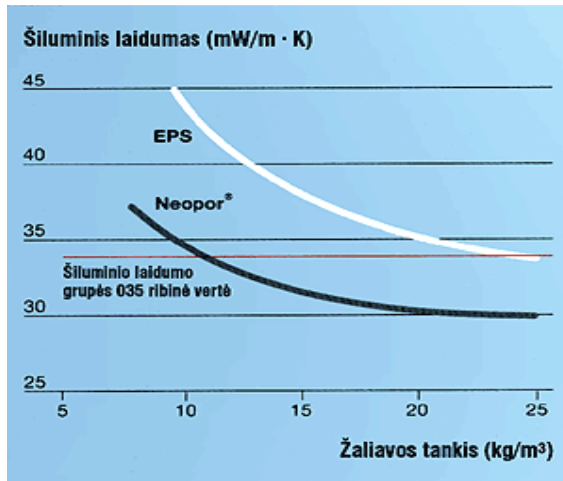
Valkšnumo rodiklio gali prireikti konstrukcijose, kuriose polistireninį putplastį veikia nuolatinės ilgalaikės didelės apkrovos – po pastatų pamatais, šaltų maisto produktų saugyklų grindimis ir t. t.

5.1.2. Neoporas

Neoporas yra neseniai BASF gamykloje sukurtas tobulesnis plėturis polistirenas.

Polistireninis putplastis iš neoporo pasižymi kur kas geresnėmis izoliacinėmis savybėmis, esant mažesniems tankiams, taip pat tuo, kad tas pats izoliacinis efektyvumas pasiekiamas daug mažesnėmis žaliavos sąnaudomis ir mažesniais izoliacinės medžiagos kiekiais.

Šiluminį spinduliavimą iki šiol buvo įmanoma sumažinti tik didinant putplasčio tankį. Polistireniniame putplastyje iš neoporo šiluminį spinduliavimą panaikina infraraudonieji absorberiai ir reflektoriai (šiems tikslams dažniausiai naudojamas grafitas), todėl geresnis izoliacinis poveikis pasiekiamas jau nedidelių tankių srityje. Tokie priedai lemia pilkšvą neoporo spalvą. Paprasto EPS ir neoporo šiluminio laidumo priklausomybė nuo žaliavos tankio pateikta 5.4 pav.



5.4 pav. EPS ir neoporo šiluminio laidumo priklausomybė nuo žaliavos tankio

5.1.2.1. Savybės

Polistireninis putplastis iš neoporo pasiekia 0,030 šilumos laidumo koeficientą, jau esant 12 kg/m³ tankiui. Tradicinio polistireninio putplasčio tam tikslui reikėtų dvigubai daugiau žaliavos. EPS 70 iš

neoporo λ yra 0,032 W/(m · K), o EPS 70 iš klasikinio baltojo polistireninio putplasčio λ yra 0,039 W/(m · K).

Ekonominio našumo analizė rodo, kad polistireninis putplastis iš neoporo ekologiškesnis už tradicinį polistireninį putplastį.

Polistireninio putplasčio iš neoporo savybės, išskyrus šiluminį laidumą, panašios į tradiciniam polistireniniam putplasčiui būdingas savybes.

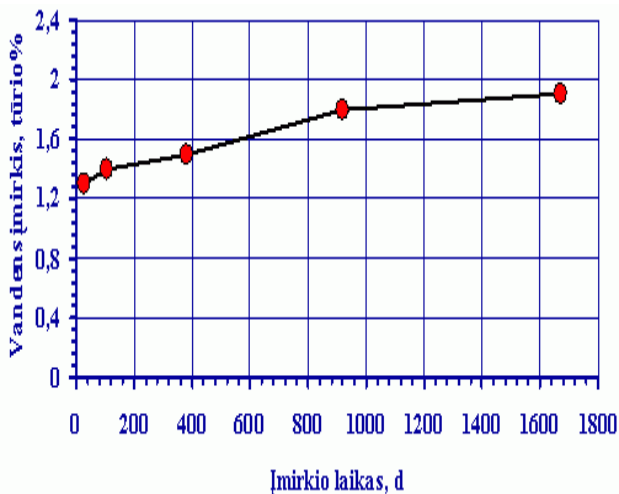
5.1.3. Geoporas

Geoporas yra mažai vandens įgeriantis polistireninis putplastis. Nuo visiems įprasto polistireninio putplasčio geoporas skiriasi žalsva spalva, kurią suteikia priedai, ir mažesniu ilgalaikiu vandens įmirkiu, panardinus vandenyje. Šis produktas Lietuvos rinkoje naujovė, tačiau jau seniai naudojamas kitose Europos šalyse. Polistireniniam putplasčiui gaminti naudojama speciali žaliava ir keičiamas technologinio proceso režimas. Geoporas pasižymi ne tik labai mažu vandens įgeriamumu, bet ir šiek tiek geresnėmis kitomis fizikinėmis bei mechaninėmis savybėmis (gniuždomuoju įtempio, kai gaminyje deformuojamas 10 %, lenkiamuoju stipriu).

Didžiausią patirtį, naudojant analogišką geoporui polistireninį putplastį, turi Skandinavijos šalys, o ypač Suomija. Suomijoje 2004 m. buvo panaudota 1 000 000 m³ polistireninio putplasčio, o analogiško geoporui polistireninio putplasčio – 350 000 m³.

Suomijos techninių mokslų tyrimo institutas (VTT), ištyręs 15–20 metų su gruntu tiesiogiai besilietusias pamatams izoliuoti naudotas šio tipo polistireninio putplasčio plokštes, nustatė tik 0,5–2 % faktinį vandens įmirkį (5.5 pav.).

Kanados, Suomijos mokslininkams atlikus bandymus, buvo nustatyta (rezultatai pateikti 5.2 lentelėje), kad polistireninio putplasčio plokščių gniuždomasis įtempis, kai gaminyje deformuojamas 10 % po 300 šaldymo ir šildymo ciklų (bandymai atlikti pagal EN 12091), nepakito. Paprastai geoporo plokščių atsparumą šalčiui reikia įvertinti tik tada, kai nėra įrengtas drėnažinis smėlio ar žvyro sluoksnis arba kai termoizoliacinis sluoksnis įrengtas žemiau gruntinio vandens lygio.



5.5 pav. Geoporo įmirkio priklausomybė nuo įmirkio trukmės

5.2 lentelė. Polistireninio putplasčio gniuždomojo įtempio palyginimas prieš šaldymo ir atšildymo ciklus bei po jų

Bandiniai	Tankis, kg/m^3	Vandens įmirkis po bandymo, tūrio %	Gniuždomasis įtempis prieš bandymą (po bandymo), kPa
EPS 100	18	2,0	105 (103)
EPS 200	35	0,9	270 (260)
EPS 300	40	1,1	310 (320)
EPS 400	52	0,7	460 (490)

5.1.4. Smūginio garso izoliacija

Pagal specialią technologiją gaminamos judriųjų grindų konstrukcijai ir smūgio garso izoliacijai skirtos polistireninio putplasčio plokštės EPS T. Kai kurių Vakarų šalių patirtis rodo, jog jai nepriylgsta jokia kita panašios paskirties izoliacinė medžiaga. Vokietijoje EPS T plokštės turi apie 90 % smūgio garso izoliacijai skirtų medžiagų rinkos.

5.3 lentelė. EPS T plokštės ir jų techniniai parametrai

Plokštės tipas	Dinaminio standumo klasė	Spūdu- mo klasė	Leistina dinaminė apkrova, kPa	Plokštės storis	Tikėtinas ΔL_w , dB	
					viršutinė standi danga	viršutinė elastinga danga
EPS T	SD 30	CP 2	$\leq 5,0$	20	26	27
	SD 20	CP 3	$\leq 4,0$	30	28	30
	SD 15	CP 5	$\leq 4,0$	50	29	33

5.1.5. Polistireninio putplasčio blokeliai

Polistireninio putplasčio blokelių sistema skirta atitvaroms, gyvenamiesiems, visuomeniniams, švietimo ir gydymo, taip pat gamybinės ir sandėliavimo, žemės ūkio paskirties pastatams statyti, iki 25 m aukščio namams projektuoti. Ši sistema leidžia projektuoti ir statyti su 15 cm storio polistireninio putplasčio sluoksniu (paprastai 10 cm storio atitvaros išorėje ir 5 cm vidinėje pusėje) šiltintus pastatus, jų atitvaras ar pastatų dalis, kurių matmenys plane kartotini 50 mm moduliui, taip pat atitvarų dalis ar pastatų ir statinių konstrukcinės dalis – šiltintas sienas, sàramas, sijas, kolonas, atramines sienelės ir kt.

Pastatų, kur gali būti pritaikyta ši sistema, konstrukcinė schema būna su laikančiosiomis sienomis iš monolitinio betono arba mišrioji – iš išorinių šiltintų monolitinio betono sienų ir vidinio laikančiųjų kolonų tinklo (sijinės/nesijinės perdangos schema).

Atsižvelgus į vietovės sąlygas (drėgmės atžvilgiu), polistireninio putplasčio blokelių sistema gali būti naudojama ir šiltintų rūsių, cokolinių aukštų sienoms įrengti.

Polistireninio putplasčio blokelių sistema atitvaroms derinama su visais vidaus ar išorės atitvarų apdailos būdais – tinkavimu, mūrijimu keraminėmis ar kitokiomis plytomis, blokeliais, natūraliu ar betoniniu akmeniu, apdailinimu lakštinėmis apdailos medžiagomis ir pan.

Polistireninio putplasčio blokelių sistema netinkama atitvaroms, kai:

- gamybinės paskirties pastatuose, sandėliuose ar pavienėse konstrukcijose bus aukšta temperatūra, liepsna, radiacinė spinduliuotė, agresyvios medžiagos (šarmai, rūgštys, tirpikliai, skiedikliai ir t. t.), tiesioginės dinaminės apkrovos ir kiti su po-

- rta landcementinio betono ir su polistireninio putplasčio eksploatacinėmis savybėmis nesuderinami poveikiai;
- techninės paskirties statinių (biriųjų medžiagų sandėlių, skysčių ar dujų rezervuarų), taip pat silosų, prieplaukų statyboje arba ten, kur šios sistemos naudojimas neracionalus – kur nereikia šiltinti išorinių atitvarų.

5.1.5.1. Polistireninio putplasčio blokelių savybės

Polistireninio putplasčio, iš kurio gaminami blokeliai, deklarujamasis šilumos laidumo koeficientas λ yra ne didesnis kaip $0,036 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, tankis ne mažesnis kaip 20 kg/m^3 .

Tokių gaminių, kaip ir polistireninio putplasčio plokščių, ilgalaikis vandens įmirkis nustatomas panardinant ir yra ne didesnis kaip 3,0 %.

Polistireninis putplastis ir standus apkrovas laikantis betono sluoksnis lemia sąlygiškai didelę atitvaros masę. Ištinis šiltinimo sluoksnis gerai sugeria garso bangas ir lemia, kad tokių atitvarų oro garso izoliacijos rodiklis ne mažesnis kaip 69 dB.

Sistemos, kaip konstruktyvo, įvertinimas rodo, kad tokios atitvaros laikančioji geba (R kriterijus), kilus gaisrui, išlieka nepakitusi ne trumpiau kaip 1,5 valandos.

Atitvaroms iš polistireninio putplasčio blokelių apdailinti galima pasirinkti bet kurią iš žinomų tinkavimo sistemų, taip pat ir lakštinės apdailos, apdailinio mūro ir kitus įrengimo būdus.

Atitvaros iš polistireninio putplasčio blokelių vienu metu šiltinamos ir užliejamos betono mišiniu, statybos darbai itin spartūs. Jei betono mišinys į polistireninio putplasčio blokelių tiekiamas betono siurbliu, galima atsisakyti kitų kėlimo mechanizmų.

Atitvarų iš polistireninio putplasčio blokelių montavimas ir armavimas paprastas ir spartus, nereikalauja didelės kvalifikacijos, įgūdžių. Atliktų darbų kokybę, polistireninio putplasčio blokelių montavimo tikslumą, angų ir kitų pastato elementų projekcinę padėtį galima kontroliuoti ir prireikus pataisyti.

Iš polistireninio putplasčio blokelių atitvaroje galima formuoti įvairius fasado architektūros elementus, detales – erkerius, atbrailas, karnizų juostas ir pan.

Polistireninio putplasčio blokelių galima pjaustyti medienos ar metalo pjūklų, įkaitinta viela. Atpjautos blokelių dalies ilgis turi būti kartotinas kas 5 cm. Visų blokelių išorinis ir vidinis paviršius kas 5 cm padalytas 1 mm gylio grioveliais, kurie ir yra galimų pjūvių vietos.

Atitvarų iš polistireninio putplasčio blokelių viduje gali būti montuojami vamzdynai, tiesiami elektros ir ryšių kabeliai, komunikaciniai bei vėdinimo kanalai, juose paprasta daryti reikiamas kiaurymes.

Su išorinėmis atitvaromis iš polistireninio putplasčio blokelių galima sujungti visų žinomų konstrukcijų pertvaras (gipskartonio lakštų, keraminių ir kitokių blokelių, plytų), lengvas ir laikančiąsias mūrines, monolitinio betono, gelžbetoninių plokščių sienas. Kai kuriais atvejais polistireninio putplasčio blokelių galima naudoti vidaus sienoms (pertvaroms) įrengti.

5.1.5.2. Polistireninio putplasčio blokelių sudedamosios dalys ir matmenys

Polistireninio putplasčio blokelių sistemos atitvaroms fizinių pamatų sudaro tuščiaviduriai, tarpusavyje standžiai jungiami blokelių, kurių jungiamajame paviršiuje yra jungtys. Statant vidinę tuščiavidurių blokelių ertmę armuojama armatūros strypynais (pavieniais strypais) ir užpildoma takiu betono mišiniu. Todėl šie polistireninio putplasčio blokelių gali būti įvardyti kaip liktiniai klojiniai.

Lietuvoje gaminamų polistireninio putplasčio blokelių visumą sudaro 3 gaminiai – eilinis atitvaros blokelis, sąraminis blokelis ir blokelis-užsklanda (5.6 pav.).

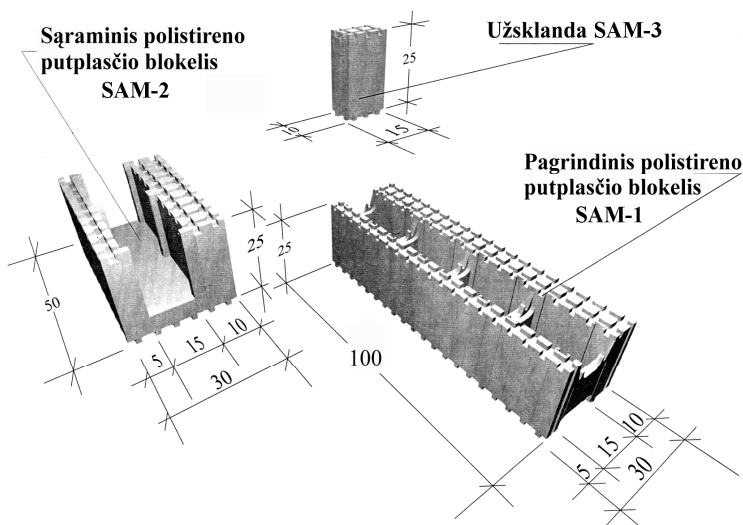
Užsklanda naudojama kampams ir angokraštiniams blokeliams sandarinti, ji montuojama į pagrindinio blokelių galą.

Polistireninio putplasčio blokelių gaminami iš tradicinių polistireninio granulių (žaliavos) su antipirenų priedais, gaminiui suteikiama tuščiavidurio blokelių – liktinio klotinio forma.

Tradiciniai polistireninio putplasčio blokelių matmenys matyti 5.6 paveiksle. Leistini jų matmenų ir formos nuokrypiai turi būti ne didesni kaip:

- ilgis ir aukštis ± 2 mm;
- plotis ± 1 mm;
- blokelių briaunų statmenumas ± 1 mm;

– matmenų stabilumas normaliomis sąlygomis $\pm 0,2$ %.



5.6 pav. Polistireninio putplasčio blokelių matmenys ir jų visuma

5.1.6. Polistireninio putplasčio blokų naudojimas kelių konstrukcijose

Pirmą kartą polistireninio putplasčio granulės kelių konstrukcijoje buvo panaudotos 1950 m., netrukus po to, kai ši medžiaga buvo pagaminta BASF gamykloje. 1960 m. plonas Styropor plokščių sluoksnis buvo naudojamas kelių konstrukcijose kaip apsauginis sluoksnis nuo šalčio poveikio. Nuo tų laikų polistireninio putplasčio plokščių stipruminės savybės labai pagerėjo. 1970–1980 m. įvairiose pasaulio šalyse pradėtas išsamiai tirti šios medžiagos panaudojimas kelių konstrukcijose ir praktinis taikymas.

Polistireninio putplasčio naudojimas pastatams šiltinti leido standartizuoti jo fizikines bei mechanines savybes. Tačiau kelių konstrukcijoms naudojamo polistireninio putplasčio savybės dažnai skiriasi nuo statybose naudojamų plokščių. Pirmiausia kelių statybose naudojamos daug didesnių matmenų plokštės – blokai. Antra, keliuo-

se jas veikia įvairios trumpalaikės, ilgalaikės, statinės, dinaminės apkrovos, kiekvieną dieną kintantis drėgnis ir temperatūra.

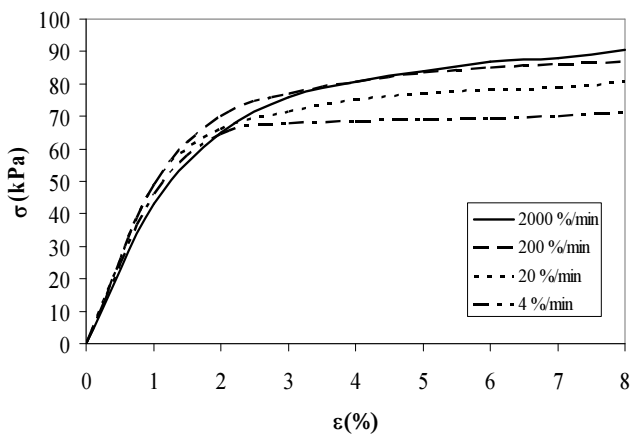
Kelių, šaligatvių konstrukcijose, geležinkelio sistemų statybose polistireninio putplasčio blokai kaip lengvas užpildas naudojami dėl mažo svorio ir gerų stipruminių savybių. Naudojant polistireninio putplasčio blokus miestų koridoriuose ar keliuose, kur daug komunikacijų, darbai atliekami pigiau ir greičiau.

5.1.7. Polistireninio putplasčio stipruminės savybės ir jų analizė

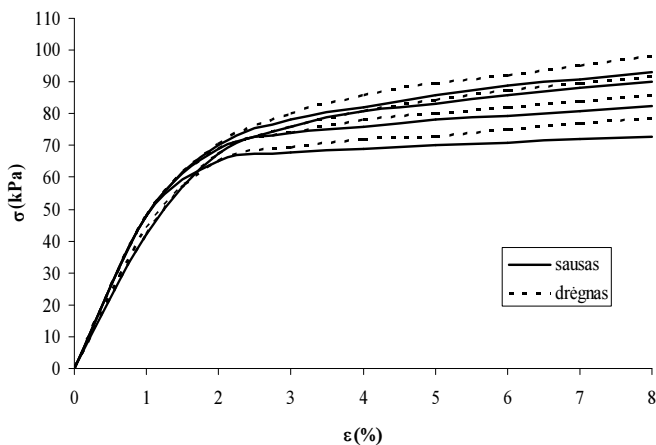
Termoizoliacinių medžiagų gniuždomasis įtempis paprastai nustatomas, naudojant 0,1d mm/s greitį. Kelių konstrukcijose naudojamą polistireninį putplastį veikia nevienodo greičio apkrovos. 5.7 paveikslo analizė rodo, kad, didėjant greičiui pradinėje gniuždymo stadijoje iki 1 % deformacijos, didesnis gniuždymo greitis mažina polistireninio putplasčio gniuždomąjį įtempį. Šioje stadijoje deformacijos vyksta per silpniausius taškus (struktūros defektai – mažesnis tankis ar nevienoda struktūra). Tolesnėje gniuždymo stadijoje įtraukiamos šalia esančios granulės, ir pirminė deformacijos zona didėja. Suspaustas oras granulių viduje priešinasi tolesnei granulių deformacijai. Kai granulės deformuojamos, t. y. jų sienelės susiraukšlėja ir iš dalies susilpnėja, oras iš jų pradeda šalintis. Tuo atveju, kai gniuždoma didesniu greičiu, laiko orui pasišalinti iš polistireninio putplasčio bandinių yra mažiau, jis iš dalies lieka viduje ir priešinasi tolesniam suspaudimui.

Polistireninio putplasčio plokščių stipruminėms savybėms įtaką turi drėgminė jų būseną. Kaip parodyta 5.8 paveiksle, polistireninio putplasčio gniuždymo stipriui drėgnis neigiamos įtakos nedaro.

Pradinėje gniuždymo stadijoje iki 1 % deformacijos drėgnio įtaka gniuždymo stipriui nedidelė arba jos nėra. Tolesnėje gniuždymo stadijoje drėgnų bandinių gniuždomasis įtempis yra didesnis nei sausų bandinių. Drėgnų bandinių gniuždomasis įtempis didėja, esant skirtingam gniuždymo greičiui. Vandens garai, patekę į granulės vidų, didina slėgį jos viduje, o kartu ir gniuždymo stiprį.



5.7 pav. Polistireninio putplasčio bandinių gniuždomojo stiprio priklausomybė nuo gniuždymo greičio

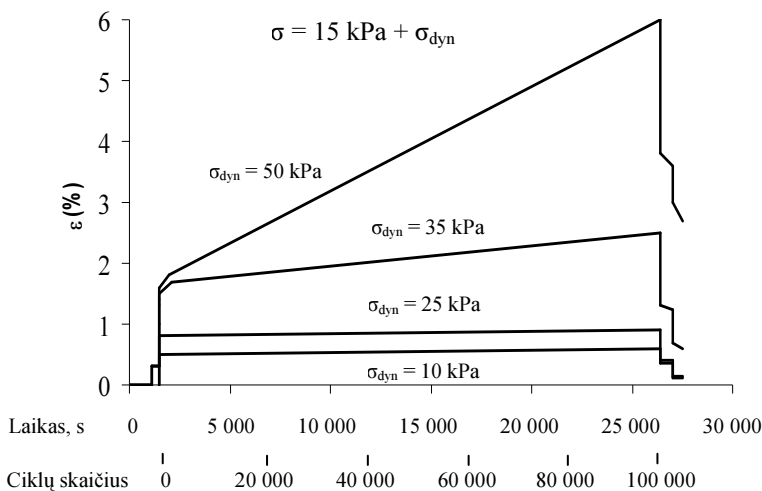


5.8 pav. Polistireninio putplasčio bandinių gniuždymo įtempio priklausomybė nuo drėgnio, esant skirtingam gniuždymo greičiui

Medžiaga, kuri yra plastiška kambario temperatūroje, žemesnėje temperatūroje gali tapti standi. Polistirenas, iš kurio gaminamos polistireninio putplasčio plokštės, ir yra tokia. Teoriškai žema temperatūra gali daryti įtaką polistireninio putplasčio stipruminėms savybėms. Buvo atlikti stipruminių savybių bandymai 15 °C temperatūroje. Bandymų rezultatai parodė, kad neigiama temperatūra polistireninio putplasčio plokščių gniuždymo stipriui įtakos nedaro, arba ta įtaka nežymi. –15 °C temperatūroje gauti stiprio gniuždant rezultatai buvo identiški kambario temperatūroje atliktiems bandymams. Polistireno (žaliavos, iš kurios gaunamas polistireninis putplastis) gniuždomojo įtempio pokyčiai nuo –273 °C iki +100 °C temperatūros yra nedidelė. Tik viršijus +100 °C temperatūrą, gniuždomasis įtempis staiga sumažėja.

5.9 paveiksle pateikta polistireninio putplasčio deformacijų augimo, veikiant ciklinėms apkrovoms, priklausomybė. Bandymams naudoti cilindro formos 15 kg/m³ bandiniai apspausiti 15 kPa statine apkrova ir veikiami ciklinėmis 10, 20, 35 ir 50 kPa apkrovomis. Iš 5.9 paveiksle matyti, kad iki 20 kPa ciklinė apkrova po 100 tūkst. ciklų žymesniam deformacijų padidėjimui įtakos neturėjo. 35 kPa apkrova deformacijas nuo 1,15 % padidino iki 2,28 %. 50 kPa apkrova sukėlė ženkliai polistireninio putplasčio deformacijas. Ciklinėmis apkrovomis veikiami drėgni bandiniai parodė panašius rezultatus kaip ir sausi. Taigi polistireninio putplasčio įmirkis medžiagos stiprumui reikšmingos įtakos neturi.

Pastovus kelio dangos svoris virš polistireninio putplasčio pagrindo sudaro nuolatinę putplasčio apkrovą. Medžiagų laiko ir deformacijų priklausomybę nuo nuolatinės apkrovos įprasta vadinti valkšnumu. Valkšnumo bandymai leidžia numatyti polistireninio putplasčio pagrindo keliuose nusėdimo deformacijas. Didžiausios deformacijos yra bandymų pradžioje, o po kurio laiko (maždaug po vienerių metų) deformacijos nusistovi.



5.9 pav. Polistireninio putplasčio bandinių ciklinio gniuždymo deformacijų priklausomybė nuo 350 laiko ir ciklų skaičiaus

10 metų tirti polistireninio putplasčio 20 kg/m^3 tankio blokai 4,5 m aukščio tilto konstrukcijos putplasčio sluoksnyje parodė nedideles deformacijas. Nepaisant pradinių deformacijų per vienus eksploatacijos metus, kai nusėdimo deformacijos sudarė apie 5 cm viso sluoksnio, per kitus devynerius metus deformacijos sudarė apie 1 cm ir 1,3 %. Tokiu tempu didėjančios nusėdimo deformacijos konstrukcijas leistų eksploatuoti iki 100 metų.

5.2. Mineralinė vata

5.2.1. Klasifikacija

Neorganiniu mineraliniu pluoštu reikėtų vadinti kiekvieną stikliškos būsenos dirbtinį plaušą. Šio plaušo gamyba pagrįsta silikatinio lydalo geba išsitempti plonais plaušeliais. Jie būna cilindrinės formos, lygaus paviršiaus, stiprūs ir nedegūs. Plaušinės izoliacinės medžiagos turi savitą struktūrą, nes jų karkasą sudaro mineraliniu ar organiniu rišikliu sutvirtinti ir supinti įvairių ilgių ir orientacijos plaušeliai. Toks pluoštas vadinamas vata (5.10 pav.). Neorganiniai

stikliškieji plaušai savo chemine sudėtimi tapatūs stiklui, todėl dažniausiai priskiriami stiklo pramonės šakai. Kadangi visų neorganinių plaušinių gaminių principinė gamybos technologija, struktūra ir panaudojimo sritis panaši, priimtas ir bendrinis termoizoliacijai naudojamų šių medžiagų pavadinimas „mineralinė vata“ – izoliacinė velta pluošto medžiaga, pagaminta iš lydytos uolienos, šlako arba stiklo. Tačiau bendrinio pavadinimo „mineralinė vata“ vartojimas nėra labai teisingas ir klaidina vartotoją, nes gaminiai skiriasi savo techninėmis ir eksploataavimo savybėmis.



5.10 pav. Stikliškasis mineralinis pluoštas

Statybiniais termoizoliaciniais mineralinės vatos gaminiais vadinami gamykliniai gaminiai su danga ar be jos. Jų deklaruojamasis (išmatuotas +10 °C temperatūroje) šilumos laidumo koeficientas yra ne didesnis kaip 0,05 W/(m · K) ir naudojami jie kaip statybinė termoizoliacinė medžiaga (taip pat ir kompozicinės plokštės bei surenkamos termoizoliacinės sistemos). Gaminiai, naudojami statybų įrangos ir pramoniniams įrenginiams izoliuoti, nepriskiriami statybiniais termoizoliaciniais gaminiais ir vadinami technine izoliacija.

Neorganiniai gaminiai iš plaušo skirstomi pagal įvairius požymius, tačiau dažniausiai – pagal jiems gaminti naudojamas žaliavas. Tad skiriamos tokios pagrindinės grupės:

- 1) mineralinė vata:

- 1.1) stiklo vata;
- 1.2) akmens vata;
- 1.3. šlako vata;
- 2) ugniai atsparūs keraminiai pluoštai:
 - 2.1) oksidiniai;
 - 2.2) kaolinitiniai.

Skirstymas pagal naudojamas pagrindines žaliavų medžiagas – stiklą (kvarcinis smėlis, stiklo duženos), gamtines uolienas (bazaltas ar diabazas), metalurginius šlakus ir molį – iš esmės sąlygiškas. Akmens vatos plaušeliai, palyginti su šlako vatos plaušeliais, yra ilgesni (~ 50 mm), lygesni, vienodesnio storio bei plonesni 3–6 μm , mechaniškai stipresni ir chemiškai patvaresni. Taip pat jie atsparesni temperatūros ir drėgmės poveikiui ir yra ilgaamžiškesni. Todėl ir gaminiai iš akmens vatos pasižymi geresnėmis eksploatacinėmis, fizikinėmis-mechaninėmis ir termoizoliacinėmis savybėmis. Stiklo vatos gaminių plaušeliai ilgesni nei akmens vatos plaušeliai (~ 100 mm), plonesni 2–4 μm . Plaušelio skersmuo ir nulemia, kad stiklo vatos gaminių gniuždomasis stipris mažesnis nei akmens vatos. Kadangi plaušelis pakankamai plonas, tai ir rišiklio kiekis, reikalingas šiems plaušeliams sujungti tarpusavyje, maždaug 2 kartus didesnis, 6–8 %. Plonesnis plaušelio skersmuo pagerina šiluminės ir akustinės medžiagos charakteristikas. Stiklo vatos gaminiai šiuo metu plačiausiai naudojami ir kaip garsą sugerianti medžiaga.

Pagal fizikinius, mechaninius ir techninius požymius mineralinės vatos gaminiai dar gali būti skirstomi:

- 1) pagal formą ir išvaizdą į:
 - 1.1) vienetinius (plokštės, blokai, kevalai, segmentai);
 - 1.2) ritininius (ritiniai, dembliai);
 - 1.3) užpilamus (gaminiai, kurie įgyja užpilamos erdvės formą);
- 2) pagal medžiagos tankį į:
 - 2.1) labai lengvus (tankis $< 50 \text{ kg/m}^3$);
 - 2.2) lengvuosius (tankis nuo 50 kg/m^3 iki 200 kg/m^3);
 - 2.3) sunkiuosius (tankis nuo 200 kg/m^3 iki 400 kg/m^3);
- 3) pagal spūdumą (medžiagą veikiant 2 kPa apkrova) į:
 - 3.1) minkštus (susispaudžia daugiau kaip 30 %);
 - 3.2) pusiau standžius (susispaudžia nuo 6 iki 30 %);
 - 3.3) standžius (susispaudžia ne daugiau kaip 6 %);

- 4) pagal naudojimą konstrukcijoms į:
 - 4.1) bendros paskirties: a) nelaikančius apkrovų (lengvose karkasinio tipo) ir b) laikančius apkrovas (užliejamų betoninių grindų) konstrukcijose;
 - 4.2) išorės sienų;
 - 4.3) sutapdintų (plokščiųjų) stogų;
- 5) pagal degumą į klases:
 - 5.1) A1 – nesudaro sąlygų gaisrui plėstis;
 - 5.2) A2 – ugnis neplinta;
 - 5.3) B – ugnis neplinta;
 - 5.4) C – ugnis plinta vėliau kaip po 10 minučių;
 - 5.5) D – ugnis plinta, praėjus 2–10 minučių;
 - 5.6) E – ugnis plinta greičiau nei po 2 minučių;
 - 5.7) F – charakteristikos nenustatytos.

Norint nustatyti konkretaus gaminio degumo klasę, atliekami bandymai ir pagal pagrįstus rezultatus sudaroma gaminio klasifikacija. Laikoma, kad gaminiai, priskirti tam tikrai klasei, atitinka visus bet kurios žemesnės klasės reikalavimus.

Ši klasifikacija parengta pagal galiojančius įvairių šalių nacionalinius LST, GOST, DIN ir kartu priimtus tarptautinius EN, ISO standartus.

5.2.2. Istorija

Pirmą kartą mineralinis plaušas buvo gautas apie 1840 m. Anglijoje. 1870 m. ši medžiaga buvo užpatentuota ir pramoniniu būdu pradėta gaminti Jungtinėse Amerikos Valstijose, o nuo 1880 m. ir Vokietijoje. Vėliau pradėta gaminti ir kitose šalyse: Austrijoje, Švedijoje ir kitur. 1901 m. pirmoji mineralinė vata pagaminta ir Rusijoje. Mineralinių plaušinių medžiagų gamyba Rusijoje greitai pradėjo plėtotis praėjusio šimtmečio 4-ajame dešimtmetyje (palyginti: 1929 m. veikė 8 gamyklos, o 1937 m. jų buvo jau 60). Po Antrojo pasaulinio karo labai išaugo statybų mastai, todėl ir mineralinio plaušo gamyba, palyginti su ankstesniais metais, padidėjo kelis kartus (vien tik SSRS nuo 1959 iki 1967 m. buvo pastatytos ir pradėjo veikti 42 naujos gamyklos). Nuo 1959 m. mineralinio plaušo gamyba pradėta ir Vilniaus silikatinių dirbinių kombinate, o 1979-ųjų pabai-

goje pradėjo veikti ir mineralinio plaušo gamybos cechą Alytaus eksperimentiniame skydinių namų statybos kombinate.

5.2.3. Savybės

Termoizoliaciniai akmens vatos gaminiai gaminami iš gamtinių uolienu, todėl iš šių žaliavų gautas izoliacinis plaušas pasižymi didesniu rūgštingumo modulių ($M_r = 2,0-4,5$) ir atsparumu drėgmei, elastingumu, mažesniu plaušelių storio, o iš tokio pluošto pagaminti gaminiai ilgaamžiškesni, aukštesnės kokybės ir atsparesni įvairiems eksploataciniams veiksniams: temperatūrų svyravimui, drėgmės poveikiui, apkrovoms ir deformacijoms.

Gaminiai iš akmens vatos pasižymi tokiomis pagrindinėmis savybėmis:

- puikiai izoliuoja šilumą (deklaruojamasis šilumos laidumo koeficientas $0,032-0,045 \text{ W/(m} \cdot \text{K))}$;
- nedega ir nesudaro sąlygų gaisrui plėstis (pluošto lydymosi temperatūra siekia $>1000 \text{ }^\circ\text{C}$);
- apsaugo degiąsias medžiagas ir konstrukcijas (iki 4 val. gali būti atspari aukštos temperatūros poveikiui);
- elastinga ir atspari deformacijoms (ant didelio tankio gaminių galima vaikščioti, nepažeidžiant struktūros);
- nekeičia linijinių matmenų – nesiplečia ir nesitraukia;
- izoliuoja garą – garso sugerties koeficientas $0,93-0,99$;
- plačios panaudojimo galimybės (tinka daugumoje pastatų konstrukcijų).

Šilumos laidumo koeficientas

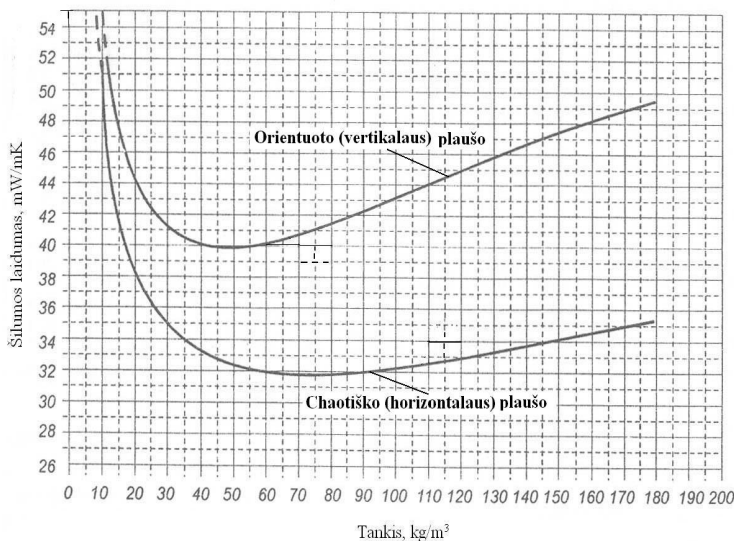
Medžiagos šilumos laidumas tiesiogiai priklauso nuo medžiagos sandaros: mažiau šilumos praleidžia smulkiai aktytos uždaroporės medžiagos. Didesnio tankio (t. y. tūrinio svorio), tos pačios mineralinės sudėties medžiagos šilumos laidumas bus didesnis, palyginti su mažesnio tankio gaminių šilumos laidumu. Tokių medžiagų šilumos laidumas priklauso nuo kietosios ir dujinės fazės tūrių santykio, oro tarpų (porų) formos, jų dydžio ir kiekio bei išsidėstymo medžiagos karkase (tolygesnis porų ir tuštumų išsidėstymas gerina medžiagos termoizoliacines savybes). Kadangi nedidelėse porose esančio oro šilumos laidumo koeficiento vertė žema ($\lambda = 0,024-0,030$

$W/(m \cdot K)$, o paties tankaus karkaso šis koeficientas žymiai didesnis (net iki 300 kartų), tai šių sudedamųjų dalių santykis medžiagoje lemia šilumos laidumo vertę. Taigi, didėjant medžiagos tankiui, tankių dalelių kiekis didėja, todėl didėja ir medžiagos šilumos laidumo koeficientas. Tačiau reikėtų paminėti, kad, mažėjant lengvų plaušinių medžiagų tankiui, kartu didėja ir medžiagos laidumas orui. Tai daro įtaką šilumos laidumo koeficiento vertės didėjimui, nes padidėja šilumos perdavimas konvekcijos būdu per oro tarpus ir tuštumas.

Tyrimais nustatyta, kad plaušinių, labai aktyų, mažo tankio (stiklo vata $\rho = 10\text{--}40 \text{ kg/m}^3$; akmens vata $\rho = 20\text{--}45 \text{ kg/m}^3$) gaminių šilumos laidumas žymiai skiriasi nuo didesnio tankio gaminių. Konvekcija vyksta stambiose porose, kai abiejose medžiagos pusėse susidaro skirtinga temperatūra. Taip pat labai aktyuose gaminiuose susidaro daugybė plyšelių, ir jie tampa nevienalyčiai.

Šilumos laidumas plaušinėse medžiagose priklauso ir nuo plaušelių išsidėstymo gaminio struktūroje. Kaip žinoma, šilumos srauto skverbimosi procesas medžiagoje yra sudėtingas, o judėjimo kryptis ir greitis priklauso nuo uždarytų oro tarpų ir jų dydžio bei plaušelių kontaktų zonų. Kadangi oras – geriausias izoliatorius, tai šilumos srautas, stengdamasis jį apeiti, keičia kryptį, ieškodamas mažiausio pasipriešinimo, bei skverbiasi kietąja fazės dalimi (plaušeliu). Tad kuo mažesnis plaušelio storis ir porų dydis bei kuo daugiau plaušelių susikirtimo vietų, tuo geriau izoliuojama šiluma. Orientuoto plaušo mineralinės vatos gaminiai, kuriuose kryptingas plaušelių išsidėstymas sutampa su šilumos srauto judėjimo kryptimi, pasižymi didesniu šilumos laidumu. Lygiagrečiai plaušui judančio šilumos srauto greitis didėja, didėjant oro tuštumų storiui ir mažėjant jų skaičiui. Tai galima būtų paaiškinti tuo, kad mažiau skersai srauto sklidimo kryptimi išsidėčiusių oro tuštumų priešinasi jo skverbimuisi.

5.11 paveiksle pateikiamas akmens vatos gaminių šilumos laidumo priklausomybės nuo tankio ir plaušo orientacijos grafikas.



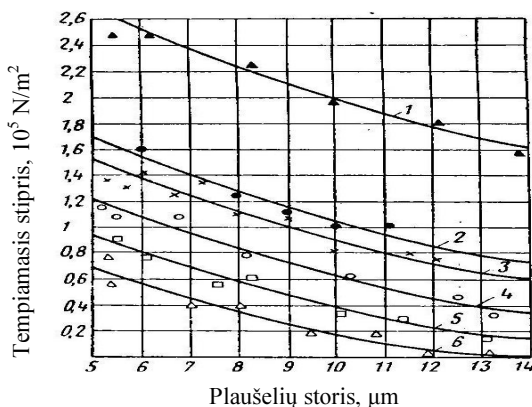
5.11 pav. Akmens vatos gaminių šilumos laidumo priklausomybės nuo tankio ir plaušo orientacijos

Medžiagos cheminė sudėtis bei fazinė būsena taip pat daro įtaką šilumos laidumui, nes vienodo tankio, bet skirtingos fazinės būsenos medžiagos turi skirtingus šilumos laidumo koeficientus. Paprastesnės cheminės sudėties (kristalinės gardelės sandaros) ir struktūros medžiagos yra laidesnės šilumai nei sudėtingos (pavyzdžiui, MgO ir CaO šilumos laidumas didesnis nei SiO₂ ir Al₂O₃). Todėl kristalinių medžiagų šilumos laidumas didesnis nei amorfinių medžiagų (pavyzdžiui, amorfinio trepelio šilumos laidumas 6,5 karto mažesnis už kristalinio kvarco). Taigi plaušinės, amorfinės ar polimerinės kilmės medžiagų šilumos laidumo vertės yra mažesnės negu panašaus tankio mineralinės kilmės. Kristalinių medžiagų šilumos laidumas gali būti mažinamas, didinant jų struktūros defektiškumą.

Stiprumas

Mineralinės vatos gaminių stipris tempiant priklauso nuo jų tankio, rišklio kiekio ir jo pasiskirstymo vatos struktūroje tolygumo, plaušelių storio ir ilgio, neplaušinių tarpų kiekio, tačiau didžiausią

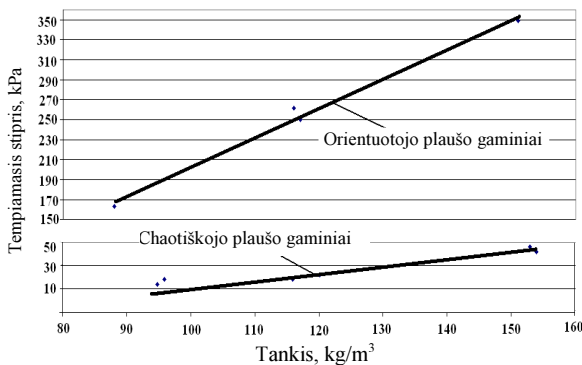
įtaką jam daro plaušelių orientacija gaminyje. Nustatyta, kad, mažėjant plaušelio storiui, didėja jo kiekis gaminio tūryje (5.12 pav.), taip pat didėja plaušelių sąlyčio ir persipynusių taškų kiekis. Be to, mažėjant plaušo storiui, didėja jo lyginamasis paviršius (pavyzdžiui, plaušelio storiui sumažėjus nuo 10 iki 5 μm , lyginamasis paviršius atitinkamai padidėja nuo 1600 iki 3200 cm^2/g).



5.12 pav. Mineralinės vatos tempiamojo stiprio priklausomybė nuo plaušelių storio

Kaip jau buvo minėta, gaminio, statmeno paviršiui, stiprio tempiant vertė labai priklauso nuo plaušelių orientacijos gaminio struktūroje – didėjant plaušelių (statmenų tempimo kryptiai) kiekiui, didėja jo tempiamojo stiprio charakteristikos.

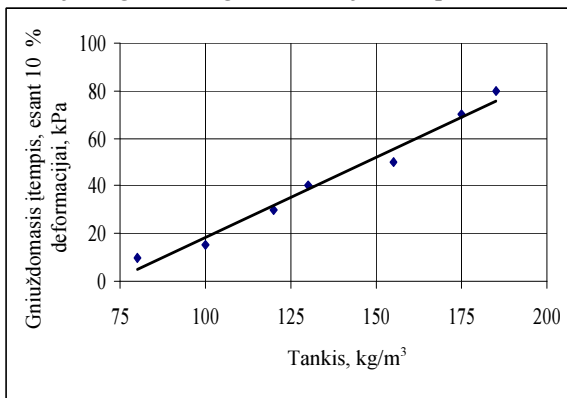
Kaip matyti iš 5.13 paveikslo, gaminių tempiamojo stiprio vertės labai priklauso nuo plaušelių orientacijos ir jų pasiskirstymo gaminio struktūroje. Kuo gaminyje daugiau statmenų plaušelių, tuo reikalingas mažesnis nominalusis tankis, kad būtų pasiektos vienodos stiprio tempiant vertės. Taigi panašaus tankio gaminių su vertikaliai orientuotu plaušu statmeno paviršiui stiprio tempiant vertė apytikriai 7–10 kartų didesnė nei gaminių su chaotiškai orientuotu plaušu.



5.13 pav. Įvairiai orientuoto plaušo akmens vatos gaminių tempiamojo stiprio priklausomybė nuo tankio

Mineralinės vatos gaminių deklaruojamosios gniuždomojo įtempio vertės priklauso nuo daugelio veiksnių: technologinių, naudojamo rišiklio kiekio ir jo kokybinių rodiklių, standartizuotų bandymų metodikos.

Technologiniai veiksniai, nuo kurių priklauso stipruminės charakteristikos, yra šie: lydalo kokybė, plaušo formavimo sąlygos, gaminio tankis, plaušelių ilgis ir storis, plaušelių orientacija gaminio struktūroje. Kaip matyti iš 5.14 paveikslą, didėjant gaminio tankiui, proporcingai didėja ir gaminio gniuždomojo įtempio vertė.



5.14 pav. Vienodos struktūros akmens vatos gaminių gniuždomojo įtempio, esant 10 % deformacijai, priklausomybė nuo gaminių tankio

Taip pat, esant mažesniai plaušelio storiui, sąlygiškai didėja ir jų kiekis medžiagos tūryje, todėl gaminiai pasižymi geresniais stiprio gniuždant rodikliais.

Nuo plaušelių orientacijos gaminio struktūroje taip pat priklauso stipris gniuždant ar gniuždomasis įtempis. Nustatyta, kad panašaus tankio vertikalčiai orientuoto plaušo gaminių stipris gniuždant 2–3 kartus didesnis nei chaotiškai orientuotų plaušelių gaminių.

Nuo naudojamo rišiklio kiekio ir lašelių dydžio, jo pasiskirstymo tolygumo visame gaminio tūryje, jo sukibimo su plaušeliais stiprio priklauso gniuždomasis gaminio įtempis. Kuo mažesnis lašelio dydis ir kuo didesnis rišiklio ir plaušelių lietimosi taškų skaičius, tuo didesnis gaminio stiprumas.

5.2.4. Žaliavos

Mineralinės vatos kokybė priklauso nuo sudarančių įkrovą žaliavų cheminės sudėties ir technologinių veiksnių. Pagrindiniai žaliavos komponentai yra silicio, aliuminio, magnio ir kalcio oksidai (SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO). Nepageidautini komponentai yra mangano, sieros, ir geležies junginiai. Žaliavose jų turi būti kuo mažiau.

Kuo daugiau žaliavose silicio oksido (SiO_2), tuo geresnė gaunama mineralinė vata: pakyla vatos sukepimo temperatūra, didėja cheminis atsparumas. Aliuminio oksidas didina mineralinės vatos cheminį ir biologinį atsparumą, tačiau, kaip ir SiO_2 , didina lydalo klampumą. Įkrovoje esantys geležies oksidai mažina lydalo klampumą, bet blogina mineralinės vatos kokybę: didina mineralinės vatos koroziją, vata sukepa žemesnėse temperatūrose. Prie įkrovos pridėti kalcio ir magnio oksidai mažina silikatinio lydalo klampumą. Jei CaO kiekis įkrovoje didesnis kaip 45 %, silikatinio lydalo klampumas gali padidėti.

Pridėjus į įkrovą nuo 5 iki 15 % mangano oksido, nors ir sumažinamas silikatinio lydalo klampumas, kartu mažinamas ir mineralinės vatos terminis atsparumas. Mineralinė vata, kurioje yra toks mangano oksido (MnO) kiekis, 700 °C temperatūroje pradeda irti. Sieros ir jos junginių kiekis mineralinėje vatoje neturi būti didesnis kaip 15 %. Jei sieros ir sieros junginių kiekis didesnis, mineralinės vatos kokybė blogesnė. Tokios mineralinės vatos cheminis atsparumas drėgnoje aplinkoje mažėja, didėja vatos korozija.

Nuo aliuminio, kalcio ir magnio oksidų kiekio priklauso mineralinės vatos atsparumas temperatūros poveikiui.

Renkant žaliavas mineralinei vatai gauti, ypač daug dėmesio reikia kreipti į žaliavų rūgštingumo modulį (M_k), kuris skaičiuojamas pagal šią formulę:

$$M_k = \frac{\text{Si}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{CaO} + \text{MgO}}.$$

Kuo didesnis rūgštingumo modulis (M_k), tuo mineralinės vatos plaušai atsparesni drėgmės ir vandens garų poveikiui. Kaip rodo praktika, geriausios kokybės mineralinė vata gaunama iš įkrovos, kurios rūgštingumo modulis – nuo 0,6 iki 1,5.

Svarbus veiksnys, lemiantis gamybos procesą, mineralinės vatos kokybę ir technologinių agregatų našumą, yra lydomos įkrovos klampumas.

Žemakrosnėje galima pasiekti 1700 °C temperatūrą, todėl žaliavai gali būti naudojamos tokios medžiagos, kurių skystos būklės temperatūra ne didesnė kaip 1500 °C, t. y. 200 °C mažesnė už maksimalią žemakrosnės temperatūrą. Kitu atveju arba įkrova neišsilydys, arba lydalas netekės iš žemakrosnės. Kad gamybos procesas vyktų sklandžiai ir be pertraukų, reikia, kad lydalas tam tikroje temperatūrose turėtų tam tikrą klampumą.

Optimali rekomenduotina cheminės įkrovos sudėtis gali būti tokia: 40 %·SiO₂+15 %; Al₂O₃+30 %; CaO+15 %·MgO su rūgštingumo moduliu $M_k = 1,22$. Rūgščių oksidų kiekis SiO₂ + Al₂O₃ turi būti ne didesnis kaip 50–55 %, o bazinių oksidų suma CaO + MgO + FeO ne mažesnė kaip 50 %.

Mineralinei vatai gaminti gali būti naudojamos tokios žaliavos: metalurginiai ir kūrykliniai šlakai, uolienos, moliai, silikatinių ir raudonųjų plytų laužas. Vietoj raudonųjų plytų laužo gali būti naudojami moliai ir mergeliai. Naudojant šiuos komponentus, susiduriama ir su sunkumais. Jeigu moliai ir mergeliai imami iš karjero, juos būtinai reikia padžiovinti, kitaip krinta žemakrosnės našumas, ir pereikvojamas koksas, reikalingas įkrovai išlydyti. Be to, mergeliai ir moliai turi būti briketuojami, nes žemakrosnėje galima lydyti tik briketus. Visa tai didina produkcijos savikainą.

Kai kurių žaliavų, pavyzdžiui, šlakų, plytų laužo, molio, mergelių, kai kurių uolienos rūšių sudėtyje yra dideli SiO_2 ir Al_2O_3 kiekiai, kurie didina lydalų klampumą. Norint jį sumažinti, patartina pridėti tam tikrą kiekį dolomitų arba klinčių.

5.2.4.1. Metalurgijos šlakai

Šlakai yra šalutinis metalurgijos pramonės produktas, kuris gaunamas, vykstant sudėtingiems pirometalurginiams procesams. Metalurgijos šlakai skirstomi į aukštakrosnių, besemerio, tomo, marteno ir specialiųjų.

Aukštakrosnių šlakai sudaro didžiausią procentą visų metalurginių šlakų. Jie gaunami, lydant geležies rūdą aukštakrosnėje. Pagal cheminę sudėtį aukštakrosnių šlakai skirstomi į rūgščius ir bazinius. Mineralinei vatai gaminti geriausiai tinka rūgštūs tokios cheminės sudėties (%) aukštakrosnių šlakai: SiO_2 (43–53); Al_2O_3 (2–20); FeO (0,8–3,1); MnO (1,0–3,0); CaO (17–24); S –0,1.

Marteno šlakai gaunami, perdirbant ketų į plieną vadinamuoju Marteno būdu. Atsižvelgiant į cheminę sudėtį, jie naudojami kaip žaliava mineralinei vatai gaminti arba kaip priedas prie kitų žaliavų, siekiant sumažinti išlydytos masės klampumą. Šių šlakų cheminė sudėtis (%) yra tokia: SiO_2 (17,7–23,2); Al_2O_3 (2,2–6,0); FeO (9,1–12,6); Fe_2O_3 (3,2–5,4); MnO (1,2–10,5); CaO (39,9–42,0); MgO (5,5–7,2).

Spalvotosios metalurgijos šlakai. Daug šių šlakų, net tuo atveju, kai juose didelis kiekis geležies, tinka mineralinei vatai gaminti. Tuo atveju, kai šlakai labai rūgštūs, gaminant mineralinę vatą, į juos turi būti dedama fliusų.

Žemakrosnių šlakai. Jie buvo gaminami daugelyje Rytų Europos valstybių, taip pat ir Lietuvoje. Populiariausia žemakrosnių šlakų cheminė sudėtis (%) buvo tokia: SiO_2 – 50,07; Al_2O_3 – 12,04; Fe_2O_3 – 15,0; CaO – 15,4; MgO – 3,06; R_2O – 3,86. Skyrėsi tik „Kaitros“ gamyklos šlako sudėtis: SiO_2 – 43,78; $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ – 16,05; Fe_2O_3 – 5,45; CaO – 28,84; MgO – 5,04.

Pramoninės reikšmės mineralinei vatai gaminti žemakrosnių šlakai neturėjo dėl tokių priežasčių: liejyklos buvo nedidelio pajėgumo, šlako gaminta nedaug, pačios gamyklos buvo toli viena nuo kitos. Racionaliausia būtų iš šių šlakų gaminti mineralinę vatą išskaidant ją

išcentrinio būdu suspaustu oru arba garais tuo metu, kai skysti jie šalinami iš žemakrosnės.

Kūrykliniai šlakai. Jie gaunami, deginant kūryklose akmens anglį, rudąją anglį, durpes, degamuosius skalūnus, malkas. Mūsų šalyje gausu durpių, kurios įvairaus pavidalo taip pat gausiai naudojamos kaip kuras.

Didžiausi kūryklų šlakų ir pelenų kiekiai susikaupdavo prie šiluminių elektrinių. Pavyzdžiui, Petrašiūnų rajoninė elektrinė susikaupdavo iki 40 tonų šlakų ir pelenų per parą, Vilniaus šiluminėje elektrinėje – 30 tonų, tiek pat šlakų ir pelenų prisikaupdavo Rėkyvos šiluminėje elektrinėje.

Lietuvoje atlikti tyrimai parodė, kad daugelio durpynų pelenai visiškai tinka mineralinei vatai gaminti. Cheminė šlakų ir pelenų sudėtis (%) tokia: Ežerėlių durpyno – SiO_2 – 52,17; Al_2O_3 – 7,59; Fe_2O_3 – 6,96; CaO – 27,54; MgO – 2,46; MnO – 0,30; TiO_2 – 0,15; R_2O – 1,44; kaitinimo nuostoliai – 2,17; Didžiojo Raisto durpyno – SiO_2 – 53,05; Al_2O_3 – 13,01; Fe_2O_3 – 7,39; CaO – 21,55; MgO – 3,69; kaitinimo nuostoliai 2,3.

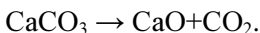
5.2.4.2. Uolienos

Mineralinei vatai gaminti tinka dauguma uolienų. Uolienos skirstomos į nuosėdines (klintys, dolomitai, mergeliai, moliai), vulkanines (granitai, sienitai, pegmatitai, bazaltas, diabazas, gabras ir kt.) ir metamorfines (skalūnai).

Kadangi dauguma minėtų uolienų rūšių, išskyrus nuosėdines, Lietuvoje randama nedideliais kiekiais arba jų išvis nerandama, jos išsamiai ir nenagrinėtos. Aprašytos ir išanalizuotos tik nuosėdinės uolienos.

Klintys

Ši uolienos rūšis sudaryta iš kalcio karbonato (CaCO_3) ir įvairių priemaišų – magnetito, geležies oksidų, aliuminio oksido, silicio dioksido. Kaitinamas kalcio karbonatas skyla pagal šią reakciją:



Ši reakcija prasideda jau 600 °C temperatūroje. Praktiškai klintys yra deginamos 1050–1200 °C temperatūroje.

Mūsų šalies didesni paprastų ir dolomitizuotų klinčių klodai plyti Mažeikių, Akmenės, Menčių, Karpėnų, Vegerių ir kt. rajonuose. Karpėnų klintys buvo naudojamas kaip priedas prie rūgščių komponentų mineralinei vatai gaminti. Jų cheminė sudėtis tokia: SiO_2 – 1,38; CaO – 54,48; MgO – 0,72; R_2O – 0,23; kaitinimo nuostoliai – 42,39.

Dolomitas

Ši uoliena sudaryta iš to paties pavadinimo mineralo $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ir daugybės priemaišų. Didesni dolomitų telkiniai yra Lietuvos šiaurėje, iš jų paminėti Klovainių, Kirdonių, Parovėjos ir kt.

Temperatūriniame 735–905 °C intervale dolomitas disocijuoja į kalcio, magnio oksidus ir CO_2 .

Dolomitai ir klintys naudojami kaip priedas prie rūgščių komponentų (rūgščiųjų šlakų, plytų laužo). Pridedant jų, greitinas komponentų lydymasis, mažinamas klampumas, mineralinei vatai suteikiamas didesnis cheminis atsparumas. Klovainių dolomito, naudoto mineralinei vatai gauti, cheminė sudėtis (%) tokia: SiO_2 – 1,85; Al_2O_3 – 1,08; Fe_2O_3 – 0,36; CaO – 31,12; MgO – 19,60; kaitinimo nuostoliai – 45,91.

Mergeliai

Mergeliais vadinamos klintys arba dolomitai, kuriuose yra daug molio priemaišų.

Moliai

Kaip ir mergelių, molio Lietuvoje daug, tačiau jų cheminė sudėtis gamybai beveik netinkama arba reikalauja papildomo paruošimo, todėl daugumą jų importuojama.

5.2.4.3. Silikatų ir keramikos pramonės atliekos

Silikatų ir keramikos pramonės atliekos (plytų laužas, nedegtosios plytos ir kt.) yra vertinga žaliava mineralinei vatai gaminti. Paprastai ši žaliava pasižymi nemažais kiekiais SiO_2 ir Al_2O_3 , didinančiais lydalo klampumą. Klampumui mažinti turi būti pridedamas tam tikras kiekis dolomitų, klinčių arba bazinių šlakų.

Lietuvoje mineralinei vatai gaminti, naudojant plytų laužą, tinkamas komponentas pagal cheminę sudėtį yra Klovainių radymvietės dolomitai.

Tinkamiausia plytų laužo cheminė sudėtis (%) yra tokia: SiO_2 – 56,28; Al_2O_3 – 13,97; Fe_2O_3 – 3,15; CaO – 13,60; MgO – 4,88; R_2O – 5,46; kaitinimo nuostoliai – 2,66. Mineralinei vatai gaminti Klovainių dolomitų ir Karpėnų klinčių cheminė sudėtis pateikta anksčiau.

Kad medžiagos, iš kurių sudaryta įkrova, geriau reaguotų, žaliavos turėtų būti trupinamos iki tokio dydžio gabaliukų: plytų laužas 25–30 mm, Klovainių dolomitai ir Karpėnų klintys 15–25 mm.

5.2.5. Žaliavų ruošimas

Žemakrosnėje galima lydyti tik gabalines medžiagas. Praktika rodo, kad mineralinės vatos žaliavos buvo smulkinamos 20–70 mm dydžio gabaliukais. Naudojant aukštakrosnių šlakus, jie smulkinami 50–70 mm dydžio gabaliukais, dolomitai ir klintys – iki 35 mm, kitos uolienos rūšys – iki 50 mm.

Smulkiosios žaliavų dalelės yra sijojamos sietais ir gali būti naudojamos kitais tikslais.

Klintys ir dolomitai turi būti susmulkinti kuo mažesniais gabaliukais, kad juos būtų galima išlydyti žemakrosnėje. Taip būtina daryti dėl šių priežasčių:

- pirmiausia nuo gabaliukų dydžio priklauso karbonatų skilimo greitis kaitinant;
- antra, kuo mažesni karbonatų gabaliukai, tuo išsamiau ir greičiau vyksta CaO ir MgO jungimasis su kitais įkrovos komponentais. Susidaro kalcio, magnio silikatai, kalcio, magnio aliumosilikatai ir kt.

Lydant įkrovą voninio tipo krosnyse, žaliavos gali būti smulkinamos iki 1,5–3,00 mm dydžio gabaliukų. Jei lydoma vieno komponento įkrova, ji gali būti smulkinama rupiau, o turint kelių komponentų įkrovą, ji smulkinama mažesniais gabaliukais, kad medžiaga geriau išsilydytų.

Lydant įkrovą žemakrosnėje, žaliavos prieš kraunant į žemakrosnę sumaišyti nebūtina. Įkrova automatiškai susimaišo, leisdamasi žemakrosnės šuliniu. Kai įkrovai lydyti naudojamos voninės ir elekt-

rinio tipo krosnys, būtina įkrovą sudarančias medžiagas labai gerai išmaišyti, panašiai, kaip tai daroma, ruošiant įkrovą stiklui lydyti.

Gaminant mineralinę vatą, būtina dozuoti žaliavas sveriant.

Kai kuriais atvejais, vartojant birius katilinių ir šiluminių elektros stočių šlakus ir pelenus, sudarant įkrovas iš molio, klinčių ir dolomito, patartina įkrovą prieš lydant briketuoti. Tokia briketuota įkrova gali būti lydoma žemakrosnėje, kuri yra ekonomiškesnė už vonines krosnis. Kita vertus, taip parengtos įkrovos komponentai geriau reaguoja tarpusavyje, gaunamas vienosnės cheminės sudėties lydalas.

Jei, sudarant įkrovą, naudojamas molis, prieš tai jis džiovinamas ir smulkinamas.

Įkrova gali būti briketuojama ir plastiniu būdu. Tokie briketai po formavimo džiovinami džiovyklose.

Organiniai priedai

Be rišiklių ir kitų priedų mineralinis pluoštas yra purus, dygus, susispaudžia, veliasi, dalis plaušelių lūžta ir virsta dulkėmis. Toks pluoštas yra imlus vandeniui. Norint pluošto klodui suteikti formą, stiprumą ir tamprumą, naudojamas rišiklis. Jo paskirtis – sutvirtinti atskirus chaotiškai išsidėsčiusius plaušelius tarpusavyje jų susikirtimo ar lietimosi vietose. Dažnai gaminių fizikines, mechanines ir eksploatacines savybes lemia ne tik rišiklio sukibimo su plaušeliu stiprumas, jo kiekis gaminyje, bet ir paties rišiklio savybės: kietėjimo trukmė, stipruminės savybės, lakiųjų medžiagų kiekis, atsparumas vandeniui, temperatūrai ir kt. Dažniausiai naudojamas rišiklis – sintetinė fenolfomaldehidinė derva, kuri yra lipnus, klampus, aštraus kvapo rausvos spalvos skystis, o jos optimali kietėjimo temperatūra 180–190 °C. Ši derva gaunama, sintetinant fenolio alkoholį (C_6H_6OH) ir formalhidą (CH_2O), naudojant natrio arba bario hidroksido katalizatorių. Rišiklį katalizuojant natrio hidroksidu, mineralinės vatos klode lieka natrio junginių, kurie vandenyje gali sudaryti natrio šarmą, o šis ardo suketėjusį rišiklį ir plaušą. Todėl rišiklį dar reikia neutralizuoti boro rūgštimi arba amonio sulfatu, kartu įterpiant amoniako vandens, nes amoniako vanduo didina fenolfomaldehidinės dervos tirpumą ir sujungia dalį rišiklyje esančio laisvojo formaldehido. Sukietėjusios dervos plėvelė turi būti tvirtai sukibusi su plaušeliais ir tapti chemiškai inertiška, vandenyje netirpia medžiaga. Paskutinių tyrimų duomenimis, naujosios kartos fenolo-

formaldehidinės dervos pasižymi mažu laisvojo fenolio ir formaldehido kiekiu, o toks rišiklis pagamintiems gaminiais suteikia didesnę stiprumą, atsparumą drėgmei, ilgaamžiškumą (pastarasis siekia 40 ir daugiau sąlyginių metų). Paprastai rišiklio kiekis priklauso nuo gaminio paskirties – akmens vatai 1–4 %, stiklo vatai 3–8 % jų masės.

Siekiant sumažinti pluošto dulkėtumą ir padidinti jo atsparumą vandeniui bei drėgmei, naudojami įvairūs hidrofbizatoriai. Klojami ir pjaustomi mineralinės vatos gaminiai daugiau ar mažiau dulka. Aišku, kad labiausiai dulka gaminiai be jokių priedų. Dėl hidrofbizuojančių priedų, sąveikaudamas su drėgme, sumažėja plaušelio paviršiaus plotas, todėl didėja plaušo atsparumas drėgmei ir kartu ilgaamžiškumas. Taip pat dėl hidrofbizuojančių priedų iki 10 kartų sumažėja mineralinės vatos gaminių vandens įgeriamumas. Hidrofbiniai priedai įpurškiami plaušo gamybos metu ir vatoje sudaro 0,2–0,3 % masės. Dažniausiai tam tikslui naudojamos impregnuojančiosios alyvos, silikoninės emulsijos, lateksai arba kiti panašūs organiniai junginiai.

5.2.6. Mineralinės vatos gamybos būdai

Mineralinė vata gaminama vienu iš trijų būdų: išcentrinu, naudojant suspaustas dujas, naudojant suspaustą orą arba garą. Žaliavos, susmulkintos 20–70 mm dydžio gabaliukais, kraunamos į žemakrosnę ir išlydomos. Lydyti suvartojama 30 % ir daugiau kokso. Sunaudoto kokso kiekis priklauso nuo žaliavų cheminės sudėties, jų lydimosi temperatūros, klampumo. Žaliavoms lydyti gali būti naudojamos ne tik žemakrosnės, bet ir elektrinės, voninės krosnys. Žaliavoms lydyti naudojamos įvairių konstrukcijų žemakrosnės, kuriose temperatūra siekia 1700 °C; kitos krosnys gaminti mineralinę vatą nebuvo dažniau taikomos.

Suspausto garo naudojimo būdas

Šis būdas mineralinei vatai gaminti naudojamas labai plačiai. Jo esmė ta, kad silikatinis lydalas, ištekąs pro angą iš žemakrosnės, yra statmenai veikiamas suspausto garo srovės, judančios 700–800 m/sek. greičiu. Tokio veikimo rezultatas tas, kad lydalas iš pradžių išskaidomas į sroveles, paskui į lašelius, kurie lėkdami ištįsta ir

sudaro plaušus. Ištekancio lydalo temperatūra priklauso nuo žaliavų cheminės sudėties ir daugumai žaliavų yra 1300–1400 °C.

Pagaminta mineralinė vata surenkama vadinamosiose nusodinimo kamerose. Jų yra įvairių konstrukcijų ir matmenų. Pavyzdžiui, kameros ilgis gali būti 18 m, plotis – 2,1 m, aukštis – 5 m. Mineralinė vata iš nusodinimo kameros tiekama veleniniu transporteriu, tankinama, pjaustoma ir kraunama į sandėlius.

Analogiškai mineralinė vata gaminama suspaustu oru. Šis būdas, palyginti su pirmuoju, ne toks ekonomiškas, gaunama blogesnės kokybės mineralinė vata. Dabar šis būdas gaminti mineralinę vatą nebenaudojamas.

Dujinis būdas

Šio būdo esmė ta, kad lydalas išskaidomas, veikiant dujinių degimo produktų srove.

Degimo dujos juda 400–700 m/sek. greičiu ir yra 700–800 °C temperatūros. Dujos gaunamos, deginant specialiose kamerose dujinį arba skystąjį kurą.

Vienai tonai mineralinės vatos gauti sunaudojama 350 m³ oro, 40 kilovatvalandžių elektros energijos ir 20 kg sąlyginio kuro.

Išcentrinis būdas

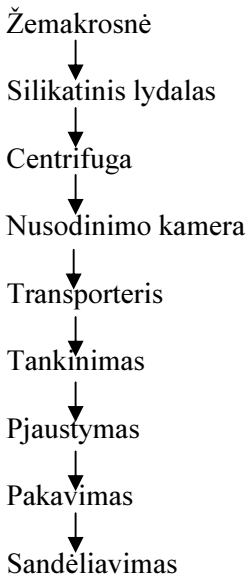
Šiuo metodu mineralinė vata buvo pradėta gaminti Sovietų Sąjungoje 1940 m. Jo esmė tokia: lydalas išteka iš žemakrosnės plona srovele ant diskinės centrifugos su grioveliais, kuri sukasi iki 4000 aps./min. greičiu. Išcentrinės jėgos veikiamas lydalas išskaidomas į lašelius, kurių dalis ištįsta į plaušus. Mineralinei vatai surinkti naudojamos nusodinimo kameros.

Po transporteriu, judančiu nusodinimo kameroje, sudaromas 100 mm vandens stulpelio vakuumas. Išcentrine jėga išskaidyti lašeliai juda 80–100 m/sek. greičiu, o lašeliai, kurie išskaidyti suspaustu garu, – apie 800 m/sek. greičiu. Dėl šios priežasties kai kurie lašeliai, gauti išcentrinio būdu, nespėja ištįsti į plaušą ir sukieta karoliukų pavidalo. Palyginti su gamyba suspaustais garais, mineralinės vatos gamyba išcentrinio būdu reikalauja daug daugiau kuro, elektros energijos ir žaliavos.

Išcentrinio būdu gauta viena tona mineralinės vatos yra 3–4 kartus brangesnė už vieną toną vatos, gautos suspaustu garu, nes centri-

fugos našumas ne didesnis kaip 200 kg vatos per valandą. Tačiau taip gautos vatos kokybė kur kas geresnė. Išcentrinio būdu gaunama ilgų plaušų mineralinė vata be karoliukų, kurie yra nubloškiami išcentrinės jėgos ir ant transporterio nepatenka.

Technologinė mineralinės vatos gamybos išcentrinio būdu schema



Kuras

Norint gauti plaušines medžiagas, būtina žaliavos medžiagas paversti lydalu, t. y. reikia jas paveikti aukšta temperatūra. Įkrovai išlydyti lydkrosnėje naudojamas kietasis kuras. Metalurgijos pramonėje dažniausiai naudojamas koksas, kuris yra didelio šilumingumo (27–30 MJ/kg), didelio mechaninio stiprumu (gniuždomasis stipris 0,8–1,4 MPa) ir mažo lakiųjų medžiagų kiekio. Žemas reakcingumo laipsnis (iki 25 %) lemia maksimalų kokso degumą, virstant CO_2 dujomis; tuo pasiekama aukšta degimo temperatūra. Pagal granulimetrinę sudėtį kokso gabalai turėtų būti 60–110 mm skersmens. Kokso sąnaudos lydkrosnėje sudaro apytiksliai 20–30 % visos įkrovos masės. Vietoj kokso galima naudoti ir kitą trumpai degantį kietąjį kurą: antracitą, durpių koksą, medžio anglį ir kt.

5.2.7. Gamybos technologinis procesas

Mineralinė vata gaunama, perdirbant (plaušinant) lydalą (jis vadinamas silikatinium, nes jame gausu SiO_2), kuris susidaro, aukštoje temperatūroje išlydžius žaliavinių medžiagų įkrovą. Lydalui gauti naudojami įvairaus tipo lydymo įrenginiai – krosnys. Lydymo krosnies pasirinkimas priklauso nuo naudojamų žaliavų granulimetrinės sudėties, jų lydumo, energetinių išteklių (kuro) rūšies. Dažniausiai smulkioms žaliavoms lydyti naudojamos voninio, o gabalinėms – šachtinio (lydkrosnės) tipo krosnys, kurios kūrenamos įvairiu kuru: gamtinėmis dujomis, koku, skystuoju kuru, elektra arba mišriu (keletu iš šių rūšių) kuru.

Gamybos technologinį procesą, atsižvelgiant į lydymo krosnies ir plaušo formavimo įrenginį, sudaro tokie technologiniai etapai:

- 1) įkrovos subėrimas ir lydalų susidarymas;
- 2) plaušelių susidarymas;
- 3) plaušelių nusodinimas, pluošto klogo formavimas ir organinių priedų įterpimas;
- 4) gaminių formavimas.

Toliau aprašysime akmens vatos gaminių iš gamtinių uolienu gamybos procesą, kai žaliavos lydomos koku kūrenamoje lydkrosnėje, o plaušeliai formuojami išcentrinio būdu daugialaipsnėmis centrifugomis.

Įkrovos subėrimas ir lydimas

Įkrovos lydimas priklauso nuo jos žaliavos komponentų ir jų silikatinų junginių lydymosi temperatūros, kristalizacijos laipsnio, naudojamų žaliavų cheminės ir granulimetrinės sudėties, komponentų cheminio grynumo ir kt. Kaip jau minėta, akmens vatai gaminti reikalinga įkrova dažniausiai sudaroma iš dviejų rūšių žaliavinių medžiagų: rūgščių ir bazinių oksidų. Lydkrosnėje lydomos įkrovos granulimetrinė žaliavų sudėtis tokia: rūgščios žaliavos gabalų skersmuo 40–100 mm, bazinės 30–60 mm. Į lydkrosnę kuras ir tinkamos granulimetrinės sudėties paruošta ir tiksliai pasverta įkrova nuosekliai kraunami tam tikrais sluoksniais. Pradedant lydymo procesą (užkuriant krosnį po pertraukos), įkraunamas tuščias kokso sluoksnis – apie 500–700 kg, ir į lydkrosnę pūstuvais pučiamas iki

400 °C pašildytas ir 100–800 kPa slėgiu suslėgtas oras. Oro kiekis priklauso nuo kokso kiekio įkrovoje (apytiksliai 1 kg kokso reikia 13,3 kg oro). Šiam sluoksniui užsidegus, suberiamas darbinis įkrovos sluoksnis, sudarytas maždaug iš 100–200 kg kokso ir 300–600 kg žaliavų. Įkrovą sudarančių kokso ir žaliavų santykis priklauso nuo žaliavų lydumo (pavyzdžiui, naudojant bazalto ar diabazo žaliavas, šis santykis 1: (2–4)). Įkrova į lydkrosnę kraunama kas 10–15 min. arba pagal lygmačio signalus, tai priklauso nuo įkrovos granulimetrinės sudėties, jos lydumo ir pučiamo oro slėgio. Degant koksui, vyksta cheminė jungimosi reakcija tarp kokse esančios anglies ir pučiamo oro deguonies, todėl kyla temperatūra (maksimaliai gali pakilti iki 1600 °C), ir įkrova vis labiau kaista, pradeda lydytis ir slenka šachta žemyn. Besilydančioje įkrovoje dažniausiai pirma išsilydo vienas komponentas, kiti jame pamažu tirpsta (iš pradžių lydosi žemesnę lydymosi temperatūrą turinčios medžiagos, o tada ir aukštesnę).

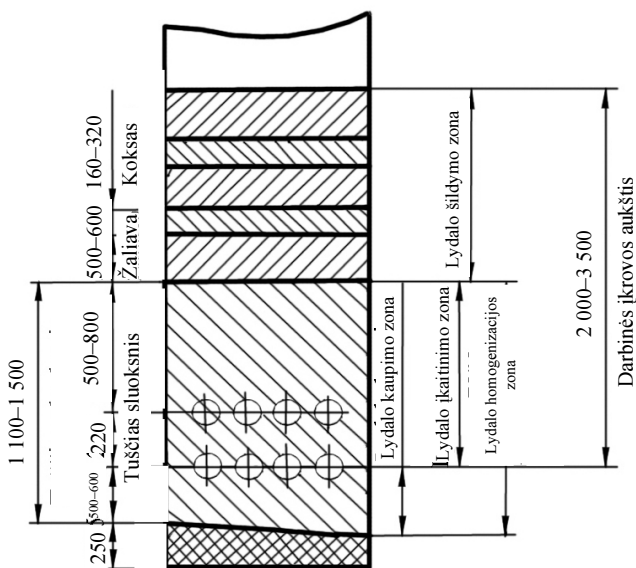
Degant vyksta šie procesai:

- skiriasi absorbcinė ir kristalinė drėgmė;
- skyla sulfatai, karbonatai;
- įkaitusi anglis ir vandenilis redukuoja geležies, mangano ir kitus oksidus;
- vykstant kietosios fazės reakcijoms arba tarp kietosios ir skystosios fazės, taip pat vykstant polimorfiniams virsmams, įkrovoje susidaro naujų junginių.

Lydkrosnėje esanti įkrova per visą jos sluoksnio storį gali būti suskirstyta į keletą zonų (5.15 pav.).

Pirmoji yra šildymo zona (I), esanti viršutinėje subertos įkrovos dalyje. Čia įkrova išyla iki 600–750 °C temperatūros, dehidratuojasi, dekarbonizuojasi, pradeda degti kuras. Apatinė šios zonos dalis pamažu pereina į kitą (žemesnę) – lydymo zoną (II), kurioje kietieji įkrovos komponentai, esant 1500–1800 °C temperatūrai, virsta lydalais. Už lydymo zonos – tuščiojo kokso sluoksnio zona (III). Jo paskirtis – laikyti įkrovą, įkaitinti susidariusį lydalą iki formavimui reikiamos temperatūros, paskirstyti įkaitusius degimo produktus krosnies skerspjuvyje ir sudaryti galimybę išsilydžiusioms medžiagoms slinkti žemyn.

Paprastai darbinė įkrova pradeda lydėtis, esant 1150–1180 °C temperatūrai ir išsilydo per 12–15 minučių. Esant aukštesnei negu 1120 °C temperatūrai, iš lydalo išsiskiria dujų burbulai, sudega smulkūs kokso intarpai, lydalas pradeda homogenizuotis. Iš pradžių įkrova lydosi plonu sluoksniu ir lėčiau, nes skyla tik rūgščios žaliavos, ir susidaro skystoji fazė. Paskui šioje rūgščioje skystoje fazėje tirpsta baziniai žaliaviniai komponentai. Pagrindinė yra lydymo zona, ir jos aukštis nėra vienodas (nuo 200 iki 1000 mm), nes priklauso nuo įkrovos sudėties. Lydymo zonos apačia – kokso tuščiojo sluoksnio viršus, viršutinė zona yra ne didesnė kaip dviejų darbinės įkrovos porcijų aukščiai.



5.15 pav. Lydkrosnės zonų schema

Lydkrosnės darbo režimas apibūdinamas lyginamuoju našumu, kuris reiškia ištekančio lydalo kiekį per laiko vienetą 1 m² lydkrosnės šachtos skerspjūvio plote (pūstuvų zonoje). Našumas priklauso nuo daugelio veiksnių – žaliavų rūšies ir įkrovos granulimetrinės sudėties, įkrovos kiekio subėrimo vienodumo, oro pūtimo intensyvumo ir

kokso kiekio. Norint optimizuoti lydkrosnės darbo režimą, reikia užtikrinti įkrovos ir kokso gabalų vienodumą ir subėrimo tolygumą. Efektyviausias lydkrosnės našumo būdas yra didinti pučiamo oro kiekį, nes geriau dega koksas. Didinant kokso kiekį įkrovoje, pakečiama lydalo temperatūra, tačiau našumas po tam tikro laiko mažėja.

Žaliavų lydymas lydkrosnėse nėra labai geras būdas, nes reikalauja didelių brangaus kuro (šiuo atveju – kokso) sąnaudų, kurios sudaro vidutiniškai 25–35 % akmens vatos savikainos. Degant kokso, išsiskiria daug degimo produktų (dūmų), teršiančių atmosferą, todėl būtina įrengti specialius valomuosius filtrus. Pagamintas plauštas taip pat gali būti užterštas neišsilydžiusių žaliavų ar nesudegusio kokso intarpais. Lydant įkrovas iš daug geležies turinčių junginių, lydkrosnėse susidaro nemažai lydalo balasto – geležies. Ji prastai veikia plaušo formavimo įrenginius, todėl ir pačių plaušelių sudarymo procesą. Be to, šis balastas, tekėdamas į lydkrosnės apačią, gali sustingti ir užkimšti lydalo išleidimo angą ir sustabdyti lydymo procesą.

Plaušelių susidarymas

Šiuo metu egzistuoja daug būdų, kaip iš silikatinio lydalo sudaryti plaušą. Dažniausiai plaušas sudaromas šiais būdais:

1) pučiamuoju – kai plaušeliai susidaro, ištekantį lydalą veikiant dujų srautu. Formavimui naudojama garo, suslėgto oro arba dujų energija, o pagal energijos nešėjo judėjimo kryptį gali būti horizontalusis arba vertikalusis pučiamasis formavimo būdai. Dar gali būti ir pučiamasis-filjerinis formavimo būdas;

2) mechaniniu – kai plaušeliai susidaro, veikiant išcentrinėms jėgoms. Šios gamybos esmė ta, kad iš lydkrosnės ištekantis lydalas ištaškomas į plonus plaušelius skirtingu greičiu besisukančiais cilindriniais voleliais arba lėkštelėmis. Naudojamos išcentrinio veikimo centrifugos, kurios pagal volelio (lėkštelės) padėtį plokštumoje skirstomos į vertikaliajo ir horizontaliojo veikimo. Pagal volelių skaičių centrifugos skirstomos į vienvoles, dvivoles, trivoles ir keturpoles, o pagal lydalo judėjimo kryptį – į vienalaipsnes ir daugialaipsnes;

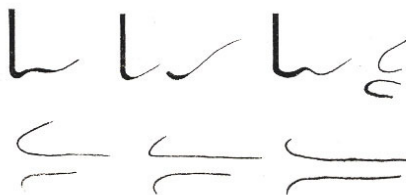
3) mišriuoju – kai plaušeliams sudaryti naudojamas tiek išcentrinų jėgų poveikis, tiek energija (garo, dujų, oro). Skiriami tokie mišrieji formavimo būdai: išcentrinis-pučiamasis ir išcentrinis-filjerinis.

Išcentrinis-pučiamasis pagal sukamosios lėkštelės padėtį plokštumoje skirstomas į vertikaliajo ir horizontaliojo veikimo.

Mineralinio plaušo susidarymo proceso esmė aiškinama tuo, kad silikatiniai lydalai tam tikrame klampumo intervale geba išstisti į plaušelius. Plaušo susidarymo procesą sąlygiškai galima skirstyti į dvi stadijas:

- 1) lydalo išskaidymas į sroveles ar lašelius;
- 2) lašelių ištempimas į plaušelius.

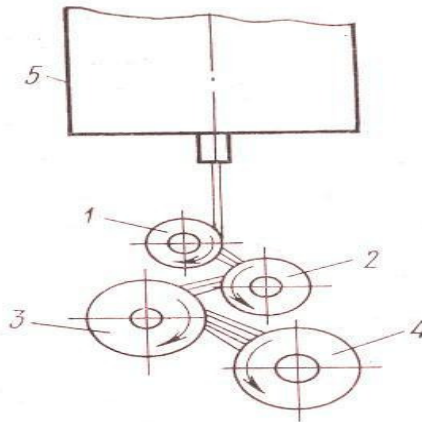
Pats plaušelio formavimasis aprašomas taip: tekančio lydalo srovę veikiant tam tikromis jėgomis (energijos srautu, išcentrinių jėgų), paisant lydalo srovės skersmens bei klampumo, susidaro mikrosrovelių ir lašų. Beskriedamas lašas tempiasi, ir periodiškai (maždaug kas 0,002 sek.) nuo jo nutrūksta galai, kurie užlinksta (įgydami parabolės formą) ir dar skriedami toliau tempiasi, kol atšąla (5.16 pav.). Greičiausiai atšąla mažiausio skerspjūvio lašelis, kurio masė mažiausia. Pati plaušelių susidarymo sistema vyksta aukštoje temperatūroje, labai greitai (trunka trumpą laiką) ir yra gana sudėtinga, nes priklauso nuo įvairių veiksnių.



5.16 pav. Lydalo išsitemimas ir atšalimas

Dabar pasaulyje dažniausiai pasitelkiamas išcentrinis akmens vatos plaušo sudarymo būdas daugialaipsnėmis centrifugomis. Išcentrinio formavimo gaunamas geros kokybės plaušas, taigi, gaminant akmens vatą, dažniausiai eksploatuojamos tik keturvolės centrifugos. Jomis per valandą galima perdirbti, t. y. paversti plaušu iki 2,0–3,5 t lydalo. Mechaniniu būdu formuojant plaušą, išvengiama ir rišiklio nusodinimo kameroje užsidegimo, nes ten patenka jau oro srautu atvėsintas plaušas (bet nepatenka karšto lydalo dalelės).

Išcentrinio veikimo keturvolės centrifugos principinė veikimo schema pateikiama 5.17 paveiksle.

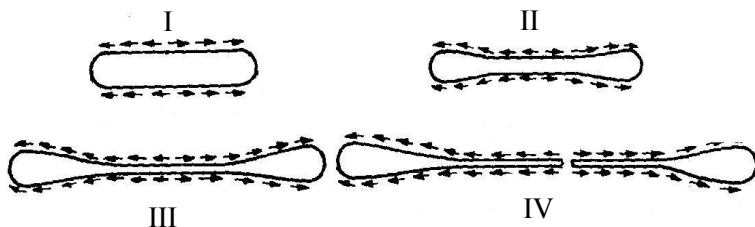


5.17 pav. Išcentrinio veikimo keturvolės centrifugos schema:
1–4 – voleliai; 5 – lydkrosnė

Iš lydkrosnės ištekančio apie 1400 °C temperatūros lydalo srovė reguliuojamu centrifugos latakų nukreipiama ant pirmojo plaušelių formavimo volelio 30–40° kampu horizontalios ašies atžvilgiu. Tai optimalus kampas – tekant lydalui tokiu kampu, gaunama didžiausia plaušelių išeiga. Pirmasis volelis išskaido ištekančio lydalo srovę į lašus, smulkesnes sroveles ir juos nukreipia ant antrojo volelio. Ant-rasis volelis dalį lydalo paverčia plaušeliais, juos kreipia savo sukimosi kryptimi (į kairiąją nusodinimo kameros pusę pagal 5.17 paveikslą), o lydalo perteklių permeta ant trečiojo volelio. Čia susidarę plaušeliai nukreipiami į dešiniąją nusodinimo kameros pusę, o likęs lydalas permetamas ant ketvirtojo volelio, kuris baigia plaušinimo procesą.

Plaušeliai susidaro tik tuomet, kai karštas lydalas trumpam prilimpa prie besisukančio volelio paviršiaus (jei to neįvyksta, lydalo srovė išsitaško, ir plaušeliai nesusidaro). Lydalas prilimpa, volelių paviršiui įkaitus iki 500–600 °C ir aukštesnės temperatūros. Dėl išcentrinės jėgos poveikio vyksta lašelio dalies atplėšimas, ir ši atplėštoji dalis su prikibusia prie volelio sudaro hantelio formos kūną – iš

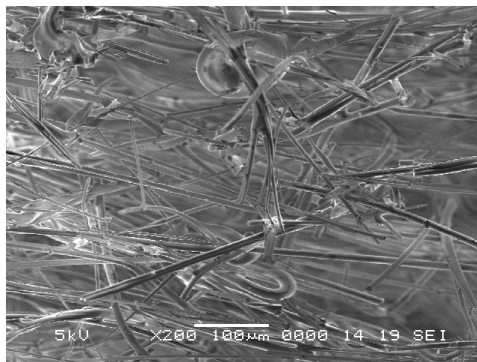
jo susidaro plaušelis (5.18 pav.). Iš atplyšusio lašelio ir susidaro plaušelio užuomazga. Tačiau plaušelis susidaro iš lašelio kraštinės dalies lydalo. Lašelis su voleliu būna sukibęs labai trumpai – šimtas sekundės dalis, o visa plaušelio susidarymo trukmė sudaro 0,1–0,6 sekundės.



5.18 pav. Plaušelio susidarymo stadijos

Vienas iš pagrindinių veiksnių, lemiančių plaušelio storį, yra volelių sukimosi greitis, nes, pavyzdžiui, trečiuoju voleliu sudaryti plaušeliai yra plonesni nei pirmojo bei antrojo. Antrasis ir trečiasis voleliai sudaro didžiausią plaušelių kiekį, taigi šių volelių sudarytas plaušas yra ploniausias. Taip pat nuo volelių sukimosi greičio priklauso atliekų ir neplaušinių intarpų kiekis – kuo sukimosi greitis didesnis, tuo tokių intarpų mažiau. Visi keturi voleliai yra nevienodo storio: pirmasis – mažiausias (150–200 mm), o paskutinis – didžiausias (250–300 mm); jie ir sukasi skirtingu greičiu: pirmasis lėčiau (3000 aps./min.), o paskutinis greičiausiai (6000 aps./min.).

Centrifugos normaliai veikia, jeigu yra užtikrinamas pakankamas ištekančio 1360–1380 °C temperatūros lydalo kiekis. Tiekiant mažesnę nei 1500 kg/val. lydalo kiekį, ketvirtasis volelis nebesudaro plaušelių, ir lašeliai krinta į atliekas arba patenka į pluošto klodą kaip neplaušiniai intarpai – karoliukai (5.19 pav.). Karoliukais vadinamos lašo arba apvalios formos neišplaušintos sukietėjusio lydalo dalelės, kurios blogina gaminių termoizoliacines savybes.



5.19 pav. Mineralinio plaušo struktūra

Didelis atliekų kiekis ir netolygus pluošto klodas dažnai susidaro, netinkamai eksploatuojant centrifugą, pavyzdžiui, jei netiksliai (1–2 cm nukrypstant nuo numatyto taško) nukreipiama ištekančio lydalo srovė ant pirmojo volelio, tai volelis nesudaro plaušelių, o didžiąją lydalo permeta ant antrojo volelio.

Įvairaus tipo centrifugų trūkumas yra tai, kad, šiuo būdu formuojant plaušą, susidaro daug atliekų, net iki 20–45 % viso lydalo kiekio. Be to, pačios centrifugos yra ganėtinai sudėtingos konstrukcijos, todėl joms reikalingas pastovi kvalifikuota priežiūra. Taip pat voleliai eksploatuojami gana trumpai (vidutiniškai 1–3 mėnesius).

Pluošto klogo sudarymas ir organinių priedų įterpimas

Norint pagaminti aukštos kokybės ir gerų techninių rodiklių akmens vatos gaminius, būtina sudaryti tolygų (vieno tankio) pluošto klodą. Pluošto klodas yra sudaromas nusodintuve (nusodinimo kameroje). Išcentrinio formavimo įrenginiu susidarę plaušeliai aukštu ir žemu oro slėgiu (iš nupūtimo sistemos, įtaisytos centrifugos konstrukcijoje) nukreipiami ir tolygiai nusodinami nusodintuve. Nusodintuvas – tai metalinė kamera, kurios apačioje plaušui surinkti ir klogui sudaryti įrengtas tinklinis transporteris (plotas 25–35 m² ir didesnis) ir jo valytuvas. Plaušeliai kaupiasi nusodintuve, ten atvėsunami iki 60–80 °C temperatūros, kad neužsidegtų organinis rišiklis, ir iš jų per visą nusodintuvo skerspjūvį sudaromas tolygus pluošto klodas. Gamybos metu nusodintuve sudaromas 40–100 Pa vakuumas, todėl iš jo nesiveržia užterštas oras. Tarp viršutinės ir apatinės transporterio

juostų sumontuota dėžė orui išsiurbti. Siurbiamo oro srauto greitis siekia 4–10 m/s, o kلودui storėjant, siurbiamo oro greitis mažėja, todėl daugiau plaušelių nusėda plonesnėse kلودo vietose, taigi nusodintuve plaušeliai savaime tolygiau pasiskirsto. Už nusodintuvo ant transporterio yra sumontuotas spaudžiantysis volas, kuriuo sutankinamas iš nusodintuvo tiekiamas pluošto kلودas. Pagrindinis tokios konstrukcijos nusodintuvo trūkumas – nevienodas pluošto kلودo storis bei tankis (vidutinis tankio nuokrypis gali svyruoti iki $\pm 12\text{--}30\%$). Tolygiai paskirstyti plaušelius, gaminant storą kloadą, ypač sunku.

Mineralinės vatos gamyboje naudojami ir organiniai priedai: rišiklis, suteikiantis pluoštui stiprumą, tamprumą ir formą, bei hidrofobizatoriai, mažinantys vatos dulkėjimą, imlumą vandeniui bei apsaugantys plaušą nuo drėgmės. Paruošti organiniai priedai (dozuoti komponentai) į pluošto kloadą įterpiami įpurškiant. Šie priedai gali būti įterpiami per išcentrinės centrifugos veleną arba nusodintuve. Pirmuoju atveju rišiklis tiekiamas išcentrinės centrifugos tuščiaviduriu velenu ir besisukančia taškymo lėkšte yra ištaškomas į smulkius lašelius. Įterpiant rišiklį per išcentrinės centrifugos tuščiavidurį veleną, jis tolygiau pasiskirsto pluošto kلودe. Antruoju atveju rišiklį į pluošto kloadą įpurškiant nusodintuve ir norint, kad jis būtų maksimaliai paskirstytas, būtina tinkamai išdėstyti purkštukus. Dažniausiai jie nukreipiami $15\text{--}30^\circ$ kampu link nusodintuvo ašies bei įrengiami 1,5–2,5 m atstumu nuo centrifugos. Išpurškimo sistemoje rišikliui išpurkšti reikalingas 6–10 MPa, o hidrofobizatoriui 0,02–0,06 MPa slėgis. Taip išpurškiamas rišiklio aerosolis, kurio lašeliai yra ne didesnio kaip kelių mikrometrų dydžio. Nuo to, kaip tolygiai rišiklis pasiskirstęs visame pluošto kلودe, nuo lašelių dydžio priklauso mineralinės vatos gaminių stiprumas, nes jis proporcingas rišiklio ir plaušelių lietimosi taškų skaičiui.

Gaminių formavimas

Gaminių formavimo tikslas – gauti vientisą, vienodos struktūros ir monolitišką mineralinės vatos pluošto kloadą su įterptu rišikliu ir hidrofobizatoriais, kad būtų pagaminti mechanškai stiprūs, standūs ir ilgaamžiai termoizoliaciniai mineralinės vatos gaminiai. Gaminių formavimo procesą sudaro šios technologinės operacijos:

- 1) pluošto kلودo tankinimas;
- 2) terminis apdorojimas (kietinimas) ir aušinimas;
- 3) pjaustymas ir pakavimas.

Tik atlikus šias operacijas, gaunami stabilių techninių charakteristikų gaminiai.

Dauguma gaminių yra gaminami konvejerine, dažnai vadinama tradicine, technologija, kai suformuotas pluošto klotas transporteriais nuosekliai perkeliamas į technologiškai būtinus gaminių formavimo įrenginius. Gaminio tankis ir reikalinga geometrinė forma gaunama, konvejeriu judantį pluošto klotą veikiant mechaninių apkrovų kompleksu (presavimo, profiliavimo, fiksavimo), t. y. jį suspaudžiant įvairaus dydžio volais, išdėstytais konvejerio viršuje ir apačioje. Viena iš svarbiausių gaminių formavimo operacijų yra pluošto klotu terminis apdorojimas. Jo metu iš pluošto klotu pašalinama drėgmė ir kietinamas rišiklis, todėl pluoštas įgyja stabilią formą. Kietinama iš kelių atskirtų sekcijų susidedančiose kameroje, kuriose šilumos agentas yra karštas oras arba oru pratartintos degimo dujos, gautos, deginant gamtines dujas arba skystą kurą, ir jos siurbiamos pro pluošto klotą, jį termiškai apdorodamos. Šilumos agentas, skverbdamasis pro klotą, turi įveikti hidraulinį sluoksniu pasipriešinimą, todėl sluoksniu išilimo greitis priklauso nuo pluošto klotu matmenų, jo tankio ir drėgnio. Norint sumažinti rišiklio difuziją klotu, pagreitininti jo išilimą bei siekiant išvengti jo perkaitinimo, reikia keisti šilumos agentu judėjimo kameroje kryptis.

Kietinimo kameroje turi būti palaikomas pastovus temperatūrinis režimas ir šilumos srauto greitis visame klotu plote. Gaminiai laikomi geros kokybės, jei juose sukietėjo daugiau kaip 90 % rišiklio. Tam tikslui reikia, kad visas pluošto klotas išiltų iki 180 °C temperatūros ir apie 5–7 min. būtų termiškai apdorojamas. Norint sutrumpinti klotu terminio apdorojimo trukmę kameroje, reikia didinti šilumos srauto greitį. Nustatyta, kad per aukštą pluošto terminio apdorojimo temperatūra (aukštesnė nei 200 °C) neigiamai veikia techninius gaminių rodiklius, nes prasideda rišiklio destrukcija – anglėjimas. Suanglėjęs rišiklis netenka stiprumo, elastingumo, yra neatsparus vibracijoms.

Termiškai apdoroto pluošto klotu aušinimas yra svarbus – lemia plaušelių susiklijavimo stiprumą, nes tik tinkamai parinktas aušinimo režimas leidžia sukietėjusiam pluošto klotu išlaikyti kietinimo kameroje įgytas fizikines ir mechanines savybes. Norint sutrumpinti terminio apdorojimo trukmę, padidinti rišiklio sukietėjimo laipsnį, sumažinti vidinius įtempimus, pluošto klotu aušinamas atvirame

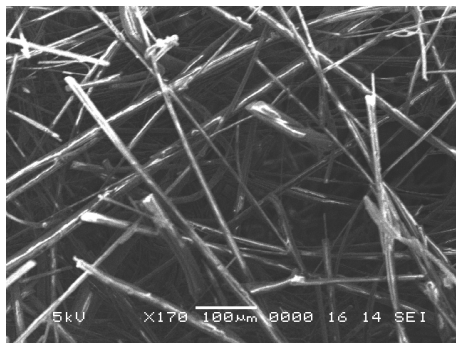
konvejeriye, priverstinai kreipiant šilumą. Tai leidžia apie 15–20 % sutrumpinti terminio apdorojimo trukmę ir 5–15 % padidinti rišiklio sukietėjimo laipsnį.

Sukietėjęs ir ataušęs pluošto klotas pjaustomas skersine ir (arba) išilgine kryptimi, 300–600 mm skersmens, lygiais diskinais arba juostiniais dantytais peiliais. Pluošto klotas pjaustomas pagal nustatytus matmenis, atsižvelgiant į nenutrūkstamai judančio klotu greitį. Supjaustyti gaminiai, paisant linijinių matmenų, pakuojami į pakus arba ant padėklų ir dažniausiai aptraukiami įvairaus storio polietilenu plėvele.

Plaušelių orientacija pluošto struktūroje

Struktūriškai mineralinė vata gali būti apibūdinama kaip sistema, sudaryta iš daugybės persipynusių plaušelių, sudarančių erdvinį karkasą, netvarkingai išsidėsčiusius vienas kito atžvilgiu ir tarpusavyje (dažniausiai plaušelių sąlyčio vietose) sujungtų rišikliu (5.20 pav.).

Plaušeliai yra stikliškos būsenos, o jų tankis $2500\text{--}2700\text{ kg/m}^3$; šilumos laidumas yra $0,57\text{--}1,05\text{ W/(m} \cdot \text{K)}$. Pagal storio ir ilgio santykį (kuris paprastai būna $1:100\text{--}1:2600$) jie gali būti priskirti prie lanksčių siūlų. Plaušeliai pasižymi dideliu stiprumu tempiant (pavyzdžiui, $6\text{--}8\text{ }\mu\text{m}$ storio plaušelių stiprio tempiant riba yra $1700\text{--}1500\text{ MPa}$).



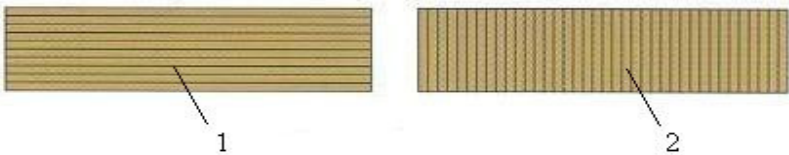
5.20 pav. Erdvinis struktūrinis netvarkingai išsidėsčiusių plaušelių karkasas

Konvejeriniu (tradiciniu) būdu suformuotame pluošto klode dauguma plaušelių yra orientuoti horizontaliaja kryptimi. Nuo plaušelių

pasiskirstymo krypties klode ir išsidėstymo medžiagos struktūroje mineralinės vatos gaminiai yra skirstomi į:

- 1) netvarkingo (horizontaliojo);
- 2) orientuotojo (vertikaliajo) plaušo.

Dažnai pasitaikanti plaušelių pasiskirstymo kryptis pluošto klode pateikiama 5.21 paveiksle.



5.21 pav. Plaušelių orientacija (išsidėstymas) gaminio struktūroje:
1 – horizontalioji; 2 – vertikaloji

Mineralinėje vatoje plaušelių orientacija (išsidėstymo kryptis) lemia gaminių savybes įvairiomis kryptimis. Vertikaliai orientuoto plaušo mineralinės vatos gaminiai vadinami „lamella“. Tokie gaminiai yra sąlygiškai mažesnio tankio, kietesni ir pasižymi geresnėmis mechaninėmis savybėmis: gniuždomuoju stipriu ir tempiamuoju stipriu statmenai paviršiui, be to, jiems gaminti sunaudojama mažiau žaliavų ir energijos.

Panašaus tankio akmens vatos gaminių su vertikaliai orientuotu plaušu tempimo stiprio vertė yra gerokai didesnė (apytiksliai 7– 10 kartų), taip pat gniuždomasis stipris (atitinkamai 2–3 kartus) didesnis nei gaminių su netvarkingos orientacijos plaušeliais. Toks didelis mechaninių savybių skirtumas, priklausantis nuo plaušelių orientacijos, gali būti paaiškinamas tuo, kad netvarkingos struktūros gaminyje daugiausia plaušelių pasiskirsto horizontaliąja kryptimi (net iki 85 %), o kiti – kitomis, nebūtinai vertikaliaja, kryptimis. Jeigu tokios plaušų orientacijos struktūros gaminių veiksime tempiamąją apkrova, ją pridėdami statmenai plaušelių išsidėstymo kryptimi, tai gaminio struktūroje horizontaliai pasiskirstę plaušeliai mažai priešinsis tempimo įtempimams, todėl gaminio stipris tempiant bus minimalus. Taigi gaminio struktūroje didėjant vertikaliai išsidėsčiusių plaušelių

kiekiui, didėja ir jo stipruminiai rodikliai. Kuo daugiau gaminyje vertikaliųjų plaušelių, tuo mažesnio nominaliojo tankio reikia tokiai pat gniuždomojo stiprio vertei pasiekti.

Dėl mažesnių gamybos sąnaudų (pagaminti mažesnio tankio gaminį reikia mažiau žaliavų ir energijos), geresnių mechaninių ir deformacinių savybių orientuotojo pluošto gaminių gamyba kasmet didėja. Orientuotojo plaušelių pluošto gaminiai gali būti gaminami šiais būdais:

- paketine technologija;
- kubiniu formavimo būdu;
- gofravimo technologija;
- „lameline“ vertikalojo plaušo formavimo technologija.

Pirmuoju būdu iš 10–15 pusiau standžių arba standžių plokščių, pagamintų tradiciniu konvejeriniu būdu, sudaromas ir sukljuojamas paketas, kuris vėliau supjaustomas skersai vyraujančių plaušelių krypties.

Orientuotojo plaušo gaminiai gaunami, gaminant kubiniu formavimo būdu, reikiamų matmenų pluošto klodą (jis gaunamas, į specialią kamerą sluoksniais sukraunant ruošinius tiesiai iš nusodintuvo ir juos termiškai apdorojant) pjaustant į stačiakampio formos pusgaminus (1,0×1,0×0,5 m dydžio).

Dėl specialaus įrenginio, sumontuoto tarp nusodintuvo ir kietinimo kameros, vyksta nenutrūkstamas pluošto klando gofravimas, t. y. plaušeliai orientuojami viena kryptimi, kلودui judant konvejeriu. Šiuo būdu gaunami apie 25–30 % mažesnio tankio gaminiai, palyginti su tradiciniu konvejeriniu būdu gaminamais, kai jų mechaninės savybės būna vienodos. Nustatyta, kad vienodo tankio gaminiai, pagaminti gofravimo ir konvejerinio (su netvarkingai orientuotais plaušeliais) formavimo technologija, skiriasi stipriu gniuždymui – gofravimo technologijos gaminiai apie 2–2,5 karto stipresni.

„Lamelinės“ vertikalojo plaušo formavimo technologijos esmė ta, kad tam tikrų matmenų akmens vatos ruošiniai, pagaminti pagal tradicinę konvejerinę technologiją, supjaustomi, dažniausiai diskinais peiliais, į tam tikro pločio juostas – plotis lygus būsimų vertikaliųjų orientuotojo plaušo plokščių storiui – ir jas sukant 90° kampu.

Paketinio ir kubinio formavimo technologijos, skirtos vertikalojo plaušo gaminiams gaminti, dėl sudėtingos įrangos, didelių darbo

sąnaudų, taikomos ne srautinės gamybos pramonėje. Plaušelių vertikalusis orientavimas gaminio struktūroje gofravimo būdu perimtas keliose Rusijos mineralinės vatos gamyklose.

Pasaulyje paplitęs ir naudojamas lamelinis vertikalaus plaušo gaminių gamybos būdas. Tačiau jis taip pat nėra itin geras, reikalauja didesnių gamybos sąnaudų, nes nėra galimybės pritaikyti konvejerinės technologijos. Tokie gaminiai yra gana lankstūs, kieti ir atsparūs deformacijoms.

5.3. Celiuliozinė vata

5.3.1. Istorija

Celiuliozinės termoizoliacinės vatos, gaunamos, perdirbus popieriaus atliekas, technologija buvo išrasta ir užpatentuota 1893 m. Anglijoje. 1928 m. Vokietijoje buvo pastatytas pirmasis celiuliozinės vatos gamybos cechas. Nuo 1947 m. vata pradėta gaminti Jungtinėse Amerikos Valstijose, o nuo 1970-ųjų – ir kitose Europos šalyse (išskyrus buvusią Sovietų Sąjungą). Valstybėse ši medžiaga turi įvairių pavadinimų: Ecowool, Ekovilla, Termex, Isofloc, Thermofloc. Lietuvoje ši medžiaga vadinama ekovata. Lietuvoje ekovata pradėta gaminti tik 1993 m.

5.3.2. Gamyba

Ekovata – organinė termoizoliacinė medžiaga, gaminama iš celiuliozės pluošto, prisotinto netoksinių mineralinių druskų. Ekovata yra pilka arba balta smulkiapluoštė vatos pavidalo medžiaga, susidedanti iš mechanškai susmulkintos makulatūros (80 %), boro rūgšties H_3BO_3 (12 %) ir borakso $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ (8 %) mišinio. Balta ekovata gaminama iš makulatūros be spaudos dažų ir naudojama apdailos darbams.

5.3.3. Savybės

Tankis

Pagaminta celiuliozinė vata pakuojiama į popierinius maišus. Į konstrukcijas ji montuojama specialiais įpurškimo įrenginiais. Atsi-

žvelgiant į suspaudimo laipsnį ir naudojimo paskirtį, ekovatos tankis kinta nuo 25 iki 65 kg/m³.

Šilumos laidumo koeficientas

Vatos struktūroje esantis nejudrus oras sudaro iki 85 % viso medžiagos tūrio, todėl medžiaga gerai išsaugo šilumą. Deklaruojamasis šilumos laidumo koeficientas, priklausomai nuo medžiagos tankio, yra 0,036–0,046 W/(m · K).

Nuostovusis drėgnis

Ekovatai būdingos medienos savybės, todėl nuostovusis drėgnis labai panašus į medienos gaminių – 8–12 %. Ir medienai, ir ekovatai būdinga savybė – kai santykinis aplinkos oro drėgnis didelis, medžiaga sugeria iš aplinkos vandens garus, kai aplinka sausa – drėgmę išskiria į aplinką.

Oro laidis

Ekovata pasižymi mažu oro pralaidumu, kurį lemia smulkiapluoštė medžiagos struktūra. Laidumas orui yra $(80\text{--}120) \times 10^{-6}$ m³/m · val · Pa.

Garų laidis

Laidumas vandens garams yra apie 0,35 mg/m · val · Pa.

Nusėdimas

Viena iš didžiausių problemų – ekovatos nusėdimas. Tačiau tinkamai montuojant, nusėdimo konstrukcijoje neatsiranda. Nusėdimo priežasčių gali būti įvairių, o pagrindinės – per mažas ekovatos tankis arba didelis kondensato kiekis atitvaroje.

Atsparumas ugniai

Dėl įeinančių į sudėtį antipireninių priedų – boro junginių – ekovata sunkiai užsiliepsnoja ir saugo nuo užsiliepsnojimo ją padengtas medinės konstrukcijų detales. Įkaitusios ekovatos sudėtyje esančios boro ir borakso druskos išskiria kristalinę drėgmę, ir deguonis sunkiau patenka į degimo vietą. Ekovata nedega ir nesilydo, o tik lėtai rusena.

Biologinis atsparumas

Boro junginiai (antiseptikai), įeinantys į ekovatos sudėtį, saugo medines konstrukcijas nuo puvinio ir grybelinių ligų. Joje negyvena ir nesiveisia graužikai, todėl išvengiama įvairių pažeidimų, kurių jie pridaro termoizoliacijoje ir besiliečiančiose su ja konstrukcijose.

Garso (triukšmo) izoliavimas

Dėl smulkiaplaušės struktūros ekovata puikiai izoliuoja garsą, todėl naudojama patalpoms nuo triukšmo saugoti. Ji gerai užpildo visus tarpus, plyšius ir sudaro ištisinį sluoksnį. Tai ypač svarbu, rengiant garso izoliaciją tarp patalpų.

5.3.4. Šiltinimo technologija, naudojant ekovatą

Į pastato atitvaras ekovatą iš maišų galima supilti rankomis arba instaliuoti mechanizuotai. Rekomenduojamas pastarasis atitvarų šiltinimo būdas. Gaunamas vienodo tankio ir struktūros izoliacinis sluoksnis, ekovatos plaušeliai tarpusavyje labiau sukimba, sumažėja išeiga. Įpučiant ekovatą į atitvaros ertmes, ji suslegiama iki reikiamo tankio, todėl išvengiama medžiagos susėdimo. Ekovatos naudojimo atitvaroms šiltinti efektyvumas priklauso nuo jos talpinimo į atitvarą technologijos. Naudojami ir skiriami šie mechanizuoto ekovatos įpurškimo į atitvaras technologijos būdai:

- sausasis;
- šlapiasis;
- šlapiasis klijinis.

Technologijos būdo pasirinkimas priklauso nuo atitvaros konstrukcijos ypatumų. Visiems būdams naudojamas vienodas įrangos komplektas. Ekovatos padavimo atstumas yra iki 40 m, padavimo aukštis – iki 25 m.

Sausasis šiltinimo būdas

Sausuoju būdu pastatus galima šiltinti rankiniu ir mechanizuotu būdais. Rankiniu būdu patogų ir pigu šiltinti, klojant naujas grindis, nes ekovata yra biri, gerai užpildo bet koki paliktą tarpą tarp tašų, taip pat plyšius po tašais. Rankiniu būdu galima šiltinti kabamąsias lubas, perdangas. Nepatartina rankiniu būdu šiltinti vertikaliųjų ir

šlaitinių ertmių, nes, norint išvengti ekovatos suslūgimo, reikės ją labiau spausti, didinti tankį, o tai pablogins šiluminę varžą, padidės ekovatos sąnaudos.

Šiltinant šlaitines bei vertikaliasias ertmes, reikėtų naudoti mechanizuotą būdą. Iš maišų ekovata išpilama į išpūtimo įrenginio talpyklą, maišyklėje išpurenama ir oro srautu gofruota žarna pučiama į reikiamą konstrukciją. Taip ekovata papildomai išsipurena. Užpildydami tarpus, ekovatos plaušai tarpusavyje susipina, susisluoksniuoja ir sudaro vientisą struktūrą. Oro srautas neša smulkius ekovatos plaušus, kurie net mažiausius plyšius užpildo ekovata.

Šlapiasis šiltinimo būdas

Šlapiasis būdas naudojamas vertikaliesiems paviršiams su įrengtu karkasu šiltinti (5.22 pav). Ekovata dažniausiai šiltinami naujai statomi karkasiniai namai, taip pat atnaujinami seni mediniai.

Šiltinti šlapiuoju būdu galima ir iš lauko, ir iš vidaus, paisant to, kuri karkaso pusė bus atvira. Specialia įranga tarpai tarp tašų pripildomi ekovatos. Paskui ji sulyginama pagal tašų skersmenį, ir daroma apdaila.

Vertikalieji karkaso tašai negali būti sustatyti plačiau kaip kas 60 cm, nes neįmanoma bus padaryti ekovatos storio lygiai su tašais – ji apipjaustoma pagal karkaso tašų storį, o perteklius vėl grąžinamas į aparatą pakartotinai naudoti, be to, kas 1–1,5 m turi būti sudėti horizontalieji tašai arba išpraustos atraižos (nebūtinai horizontaliai, galima ir kampu, tik kad nebūtų išlindę už karkaso) tam, kad ekovata iš pradžių priliptų prie konstrukcijos technologinių skersinių.

Kuo storesnis numatomas ekovatos sluoksnis, tuo tankiau turi būti sudėlioti skersiniai.

Toks šiltinimas atliekamas tik šiltuoju metų laiku, nes taip klijuojama ekovata turi išdžiūti, o išdžiūvusi tampa kaip plokštė, kurioje nėra siūlių. Taip šiltinant ir apkalant, nereikia palikti tarpelio, nereikalingos difuzinės ar priešvėjinės plėvelės, nes ekovata – „kvėpuojanti“ medžiaga.

Ekovata klijuojama vandeniu, nenaudojamos jokios cheminės medžiagos. Ekovata gerai išpurenama ir pučiama kartu su vandeniu ant bet kokio vertikalaus paviršiaus. Šis būdas labai gerai tinka mediniams ir rąstiniais namams šiltinti.

Šiam šiltinimo būdai reikia daryti karkasą. Ekovatos šiltinimo storis reguliuojamas būtent karkaso atitraukimu nuo sienos.

Apdailos lentelės arba plokštės tvirtinamos, ekovatai išdžiūvus, ant to paties karkaso. Tvirtinant apdailos lenteles, nereikia plėvelių ir nepaliekamas tarpelis. Taip šiltinama tik šiltuoju metų laiku.

Apytikslis ekovatos džiūvimo laikas – 1 savaitė ir priklauso nuo oro sąlygų. 5 cm ekovatos sluoksnis, esant saulėtoms dienoms ir nedideliam vėjui, visiškai išdžiūsta per dvi dienas.



5.22 pav. Vertikaliųjų paviršių ruošimas darbui ir šiltinimas ekovata

Klijinis šiltinimo būdas

Klijinis sienų ir lubų šiltinimo būdas naudojamas tuo atveju, kai sunku šiltinti ir brangu įrengti karkasą termoizoliacinei medžiagai. Klijiniu būdu galima šiltinti metalinius angarus, briaunotas ir lygias gelžbetonines perdangų bei sienų plokštes, obliuotų ir neobliuotų lentų paviršius ir kt. Klijiniu ekovatos šiltinimo būdu gali būti šiltinami gelžbetoniniai gamybos pastatai, metaliniai angariai, garažai.

Sienų šiltinimo ekovata technologija

Šiltinimo būdas gali būti naudojamas įvairaus aukščio pastatų išorės sienoms, turinčioms oro tarpą, šiltinti. Ekovata mechanizuotai sausu būdu įpurškiama į oro tarpą pro 250x100 mm angas, kurios gaunamos, išimant iš išorinio plytų sluoksnio vieną plytą. Vienam aukštui rekomenduojama paruošti dvi angų juostas: vieną ties sienos viduriu, 1,3–1,4 m aukštyje nuo grindų, kitą po perdangos apačia pirmoje ar antroje plytų eilėje. Patikimiau oro tarpui užpildyti angos ruošiamos ir po langais. Jos išdėstomos 0,25 m atstumu nuo kampo ir horizontaliai kas 1,0–1,25 m, kai oro tarpo plotis iki 80 mm, ir kas 1,5 m, kai oro tarpo plotis viršija 80 mm. Taip angos išdėstomos, kai sienos sluoksniai perrišti horizontaliomis diafragmomis. Jei mūro siena perrišta vertikaliosiomis diafragmomis, angos išdėstomos taip, kad kiekvienam oro tarpo segmentui priklausytų ne mažiau kaip viena anga.

Įpučiamos į oro tarpą ekovatos tankis sudaro 35–65 kg/m³. Tada sienų užpildymo angos kruopščiai užtaisomos.

Naudojant mechanizuotą ekovatos įpurškimą sausu būdu į sienose esantį oro tarpą, šiltintas „Ford“ įmonės atstovybės Klaipėdos rajone pastatas.

Ekovatos sąnaudos 1 m² sienos skaičiuojamos pagal faktinį jos naudojimą. Apytikriam ekovatos kiekiui skaičiuoti pagal oro tarpo plotį jos kiekis turi būti didinamas apie 20 %, nes oro tarpas sienoje dažniausiai būna nevienodo pločio, o mūro siūlės vidinėje dalyje nevysiškai užpildytos. Šiltinimo sluoksnio šiluminė varža skaičiuojama, iš ekovatos sluoksnio varžos atėmus buvusio oro tarpo varžą.

Stogų ir perdangų šiltinimas

Pastato stogas šiltinamas tais atvejais, kai pastogėje (mansardoje) numatoma įrengti nuolat gyvenamas patalpas. Šiltinant stogo konst-

rukiją, tikslinga įrengti vėdinamą oro tarpą. Oro tarpas nereikalingas tik tais atvejais, kai stogo dangai naudojamas šiferis, karaminės arba betono čerpės, t. y. dangos, tarp kurių elementų susidaro tarpeliai, užtikrinantys stogo konstrukcijos vėdinimą. Oro tarpas vėdinamas, įrengus oro įėjimo angas karnizo konstrukcijoje ir išėjimo angas viršutinėje stogo dalyje (naudojant specialius kraiginius elementus arba išvedant orą į viršutinę stogo dalį, vėdinamą per angas iš frontonų pusės). Vėdinant oro tarpą, būtina apsaugoti termoizoliacinę medžiagą nuo judančio oro, įrengiant priešvėjinę izoliaciją. Virš vėdinamo oro tarpo po stogo danga įrengiamas hidroizoliacinis sluoksnis, kuriam galima naudoti armuotas plėveles, turinčias ir antikondensacinių savybių. Ekovatos sluoksnio storis, šiltinant šlaitinį stogą arba pastogės perdangą, sudaro 20–25 cm. Esamų pastatų pastogės perdangų šiltinimas pučiant ekovatą – vienas iš pačių efektyviausių ir pigiausių šiltinimo būdų, pasižymintis didele darbų atlikimo sparta ir maža kaina.

Eksplotuojamų pastatų perdangos šiltinimas atliekamas, užpilant ekovatos sluoksnį ant perdangos sausu būdu mechanizuotai arba rankomis. Reikiamas perdangai šiltinti ekovatos sluoksnio storis parenkamas pagal norimą gauti perdangos suminės šiluminės varžos R_a prieaugį. Šviežiai užpiltos ekovatos sluoksnio storis turi būti 20 % didesnis už reikiamą dėl ekovatos suslūgimo.

Jeigu ant norimos šiltinti perdangos įrengta grindų konstrukcija, ekovata gali būti mechanizuotai sausu būdu įpurškiama tarp grindų ir perdangos. Tam tikslui vietomis išardoma grindų danga, paruošiant angas tarp gulekšnių į visas erdmes. Jeigu atstumas tarp grindų ir perdangos 85 mm ir daugiau, vienam tarpui tarp gulekšnių pakanka vienos angos, per kurią užpilama visa pogrindinė erdmė.

Šiltinant pirmo aukšto grindis virš nešildomo rūsio, būtina garo izoliacija. Garo izoliacijos paskirtį drėgnoms ir normalios drėgmės patalpoms gali atlikti ant grindų patiestas linoleumas. Normalios drėgmės patalpų grindims garo izoliacija gali būti ir grindų dažų arba lako danga (dažymas ar lakavimas, užglaistant plyšius).

Gelžbetoninės pastatų perdangos gali būti šiltinamos ant lubinio paviršiaus mechanizuotai šlapiu būdu klijais užpurkštu ekovatos sluoksniu. Ekovatos sluoksnio storis yra iki 70 mm, jis atlieka ir apdailos funkciją. Toks šiltinimo būdas rekomenduojamas rūsių perdangoms.

Nurodymai, vykdant darbus su ekovata

Dirbant statybos ir montavimo darbus, būtina laikytis reikalavimų. Ekovata į statybų aikštes turi būti tiekiamą įpakuota. Objekte, saugant nuo atmosferos kritulių, ji dedama tik į dengtas patalpas.

Kaip jau minėta, pastatų išorės šiltinimo darbai turi būti dirbami šiltuoju metų laiku. Perdangų ir grindų šiltinimo darbai dirbami, uždengus pastato stogą ir užsandarinus durų ir langų angas. Išorės sienų šiltinimo mechanizuoti ekovatos purškimo šlapiu būdu darbai gali būti dirbami tada, kai oro temperatūra aukštesnė kaip +10 °C, o santykinė oro drėgmė neviršija 75 %. Mūrijant sienas su ekovatos sluoksniu, technologinių pertraukų metu, taip pat nedarbo metu nebaigtas mūras turi būti uždengiamas hidroizoliacine medžiaga, saugant šiltinimo sluoksnį nuo atmosferos kritulių. Draudžiama mūro darbams naudoti apdailos plytas, kurių drėgmė viršija 6 %. Darbininkai, vykdantys šiltinimo darbus su ekovata, privalo naudotis individualiomis apsaugos priemonėmis – respiratoriais.

5.4. Putų stiklas

Putų stiklas yra akytoji statybinė medžiaga (blokai ir plytos), pagaminta, sukepančią iš smulkinto į miltelius stiklo (stiklo atliekų, erkležio), sumaišyto su dujodariu arba putokšliu. Putų stiklo sandara primena sukietėjusias muilo putas. Konstrukcinių požiūriu gaminiai iš putų stiklo, priklausomai nuo paskirties, būna blokų, granulių arba stiklo žvyro ir stiklo skaldos pavidalo.

Granuliuotasis putų stiklas yra dirbtinė, neorganinė, lengva, poringa mineralinės kilmės medžiaga, gaminama iš paprasto smulkiai sumalto stiklo laužo ir atliekų.

5.4.1. Savybės

Kaip ir muilo putas, putų stiklą sudaro dvi fazės, tik, atvirkščiai negu muilo putų, putų stiklą sudaro ne dujinė ir skystoji, o dujinė ir kietoji fazės. Oro tarpai (burbuliukai) – tai poros, atskirtos viena nuo kitos plona stiklo plėvele. Putų stiklo turį sudaro mažiau nei 10 % kietosios fazės, todėl jo tankis mažas. Teoriškai putų stiklo gaminių tankis gali būti 100–600 kg/m³. Toliau mažinti tankio neįmanoma, nes kartu su tankiu mažės ir putų stiklo stiprumas. Didinant putų

stiklo tankį, didėja jo svoris, jis tampa sunkiau apdorojamas, nes padidėja stipruminės charakteristikos. Todėl rekomenduojamas gaminamų putų stiklo gaminių tankis 160–300 kg/m³. Tokio tankio putų stiklo gaminiai pasižymi aukštomis termoizoliacinėmis savybėmis, kartu išsaugo tinkamas stiprumines charakteristikas ir yra lengvai apdorojami. Putų stiklo tankis beveik vienareikšmiškai daro įtaką jo šilumos laidumui ir stipruminėms charakteristikoms. Išvardytų savybių tarpusavio priklausomybė pateikta 5.4 lentelėje.

Granuliuotas putų stiklas gaminamas įvairių tankių, dažniausiai 200 ir 300 kg/m³, kurių šilumos laidumas standartinėmis sąlygomis yra 0,09–0,10 W/m · K, gniuždomasis stipris – 0,5–3,0 MPa. Putų stiklo blokų poringumas siekia 85–95 %. Termoizoliaciniai gaminiai iš putų stiklo naudojami pastato atitvarinėms konstrukcijoms šiltinti. Granuliuotasis putų stiklas – pakankamai universali medžiaga, naudojama ir šiluminei, ir garso izoliacijai.

5.4 lentelė. Putų stiklo šilumos laidumo ir stipruminių rodiklių priklausomybė nuo tankio

Gaminio markė	Vidutinis tankis (kg/m ³)	Stipris (MPa)		Šilumos laidumas (W/m · K)
		Gniuždant	Lenkiant	
100	100–120	0,5	0.1	0,030
150	121–170	0,7	0.15	0,040
200	171–220	1,0	0.2	0,045
300	221–320	1,5	0.3	0,060
400	321–420	3,5	–	0,075
500	421–520	5,0	–	0,080
600	521–620	7,5	–	0,100

Pagrindinė pradinė putų stiklo, gaminamo iš stiklo atliekų, žaliava – paprastas stiklas, todėl kietoji putų stiklo fazė neturi mikroporų, kurios gali iš supančios aplinkos absorbuoti drėgmę. Visa drėgmė, kuri gali patekti į stiklo burbuliukus, laikant putų stiklo gaminių po vandeniu, lengvai išbėga, kai jį iš vandens ištrauki. Todėl visų rūšių

putų stiklų vandens įmirkis labai mažas ir nereikšmingas. Jis priklauso nuo matavimo metodo ir putų stiklo porų dydžio.

Kita svarbi putų stiklo savybė – garų laidumas. Putų stiklas gali būti laidus garams, taip pat galima pagaminti garams nelaidų putų stiklą, lyg plytų mūras. Garų laidumo koeficientas, esant putų stiklo tankiui 300 kg/m^3 ir 400 kg/m^3 , yra lygus $0,02 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa/mg}$, o 200 kg/m^3 tankio – $0,03 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa/mg}$. Perspektyvus yra laidus garams putų stiklas. Taip yra dėl to, kad sienų garų laidumas užtikrina patogų patalpų mikroklimatą. Stiklas yra amorfinė išlydyta medžiaga, nelaidi garams, o putų stiklas atviromis poromis juos praleidžia.

5.4.2. Putų stiklo naudojimas

Putų stiklas – universali termoizoliacinė medžiaga, lengvai pjauama, gręžiama, kalama vinimis, klijuojama klijais ir tinkuojama. Putų stiklas gerai dera, naudojant kartu su aliumosilikatinėmis rišamosiomis medžiagomis (portlandcemenčiu, kalkių ir cemento skiediniais), nes jų išorinis paviršius susidaro iš daugybės atvirų porų, o dėl to geriau sukimba.

Termoizoliacija iš putų stiklo naudojama pramoninėje ir civilinėje statyboje (pvz., grindims šiltinti, pastato išorinėms sienoms įrengti ir kt.).

Sienos iš putų stiklo taip pat nelaidžios garsui, tai reiškia, kad putų stiklą galima efektyviai naudoti garso įrašymo ir koncertinėms salėms įrengti.

Putų stiklas gali būti gaminamas ir nelaidus garui, ir jam laidus. Pavyzdžiui, nelaidus garui putų stiklas absoliučiai nepakeičiamas baseinams, saunoms, rezervuarams, maisto ir tabako gamykloms, taip pat sandėlių statyboms. Dėl garų laidumo putų stiklas naudojamas, mūrijant atitvarines konstrukcijas, kurios užtikrina patogų patalpų mikroklimatą. Šiuo atveju garų judėjimas bus nukreiptas iš patalpų į išorę.

Putų stiklas yra ekologiškai švari statybinė medžiaga, neturinti organinių junginių, todėl nepūva, jos neveikia korozija. Putų stiklas gali būti taikomas maisto produktų ir grūdų sandėliams, farmakologinės industrijos pastatams statyti.

Dėl cheminio atsparumo putų stiklas gali būti naudojamas aparatai, veikiančiai $600 \text{ }^\circ\text{C}$ ir aukštesnėje temperatūroje, izoliuoti, re-

Segmentinės formos putų stiklo detalės naudojamos šalto ir karšto vandens vandentiekiams izoliuoti. Putų stiklo naudojimas labai mažina montavimo išlaidas ir didina izoliacijos eksploataavimo trukmę.

5.4.3. Putų stiklo žaliavos

5.5 lentelė. Cheminių medžiagų, gautų iš ikrovės, sudarytos iš lyvėnų

Komponentas	Masės dalis, (%)
SiO ₂	65–73,5
R ₂ O ₃	0,8–1,2
CaO	6–6,5
MgO	3,5–4
Na ₂ O	15,7–16,2
SO ₃	0,4–0,5

Komponentas	Masės dalis, (%)
SiO ₂	65–73,5
R ₂ O ₃	0,8–1,2
CaO	6–6,5
MgO	3,5–4
Na ₂ O	15,7–16,2
SO ₃	0,4–0,5

Dujodariai yra medžiagos, sudarančios poringąją putų stiklo struktūrą. Putų stiklo granulių dujodariai putinant išskiria dujas, kurios išpučia granules. Dujodariai parenkami, atsižvelgiant į būsimų granulių savybes. Naudojant dujodarius, turinčius anglies, gaunamos putų stiklo granulės su uždromis poromis. Uždarų porų putų stiklo granulės yra nelaidžios garams. Norint gauti putų stiklo granules,

praleidžiančias garus, tai yra su susisiekančiomis poromis, reikia naudoti karbonatinius dujodarius. Tai paaiškinama tuo, kad karbonatiniai dujodariai granulių išputinimo metu, atvirkščiai nei anglies dujodariai, išskiria daugiau dujų, kurios besiplėsdamos formuoja atviras, susisiekančias poras. Putų stiklo granulės su atviromis poromis praleidžia garus. Anglies dujodarių grupei priklauso koksas ir suodžiai. Karbonatiniai dujodariai yra dolomitas, kreida, kalkės, soda, klintys ir kiti karbonatinę grupę turintys junginiai. Svarbiausia, parenkant dujodarį, yra tai, kad jo skilimo temperatūra būtų aukštesnė už stiklo minkštėjimo temperatūrą, kitaip sakant, kad dujos neišsiskirtų anksčiau laiko, kai stiklo granulės dar nepradėjo lydėtis, ir jų sukepimo procesas neprasidėjo. Rekomenduojama, kad dujų išsiskyrimo ir stiklo suminkštėjimo temperatūros skirtumas būtų 50–70 °C. Dujodarių kiekis turi būti tiksliai apskaičiuotas, nes, parinkus netinkamą dujodario kiekį, putų stiklo granulių partija bus sugadinta. Jei dujodario kiekis bus per mažas, granulės neišsipūs, o jei per didelis, – labai išsipūs, o besiplečiančios dujos gali jas suplėšyti. Abiem atvejais brokuotų putų stiklo granulių makrostruktūra bus pažeista ir neatitiks keliamų reikalavimų. Dujodarių kiekis mišiniuose sudaro nuo 4 iki 15 % stiklo masės tūrio.

5.4.3.2. Rišikliai

Rišikliai yra medžiagos, suteikiančios malto stiklo ir dujodario mišiniui rišamųjų savybių, reikalingų toliau granulėms susidaryti ir jų plastiškam stipriui išlaikyti. Sumalus stiklą ir sumaišius jį su dujodariu, kartu pridedama ir rišiklių. Rišikliais gali būti medžiagos, turinčios rišamųjų savybių, suteikiančios stiklo mišiniui klampumo. Dažniausiai naudojami rišikliai, gaminant granuliuotąjį putų stiklą, – kalkių pienas ir skystasis stiklas.

5.4.3.3. Atskirianti terpė

Atskirianti terpė naudojama tam, kad putų stiklo granulės jų putinimo ir sukepimo procesų metu nesuliptų. Atskirianti terpė beriama į sukamąją krosnį, kurioje putinamos putų stiklo granulės. Gaminant putų stiklo granules, dažniausiai naudojamas paprastas kvarcinis upių smėlis, kuris ir neduoda sulipti granulėms. Smėlis naudojamas todėl,

kad jis pakankamai atsparus temperatūrai, kuriai esant, putų stiklo granulės išputinamos, taip pat jo naudojimą lemia ir pigumas. Dar gali būti naudojamas kvarcinis šlakas, silikogelis ir kitos medžiagos, kurių lydymosi temperatūra aukštesnė už granulių putinimo temperatūrą. Atskiriančioji terpė pašalinama iš karto po putų stiklo granulių atvėsimo.

5.4.3.4. Putų stiklo gamybos technologija

Skiriamos įvairaus smulkumo granuliuotojo putų stiklo frakcijos: 3–7, 7–15, 15–22 mm. Jų tankis – nuo 100 ir 250 kg/m³.

Putų stiklo granulėms gaminti naudojami keli metodai. Metodas priklauso nuo keletų veiksnių:

- pradinės žaliavos;
- pradinių žaliavų būsenos (smulkumas, užterštumas ir kt).

Visų granuliuotojo putų stiklo gamybos metodų esmė yra ta pati – sudaryti granules ir jas išputinti.

Jeigu putų stiklo granulės gaminamos iš kvarco arba lengvai sukepančių uolienu, pirmiausia žaliavos išlydomos specialiose voniose, vėliau masė smulkinama, malama, tada granulės formuojamos ir putinamos.

Jei putų stiklo granulės gaminamos iš stiklo atliekų, gamybos procesas lengvėja, nes atliekų nereikia lydyti, jos tiesiog susmulkinamos, granuliuojamos ir putinamos krosnyje.

1 metodas

Specialiose virimo voniose susmulkinta nefelino uoliena su kvarcu išlydoma į vienalytę masę. Gauta masė džiovinama, trūpinama, malama ir maišoma su dujodariu (dolomito ir kreidos 4 % vandeniniu tirpalu). Vienalytė sumalto stiklo ir dujodario masė granuliuojama lėkštiniame granuliatoriuje, kuris reguliariai apipilamas vandeniui tirpiu stiklo tirpalu. Suformuotos granulės putinamos sukamojoje krosnyje ir vėliau atvėsinaamos. Kad granulės nesuliptų, į sukamąją krosnį pridedama nemalto upės smėlio.

100 kg stiklo masės pagaminti (stiklo cheminė sudėtis: SiO₂ – 72,3 %; Al₂O₃ – 1,9 %; CaO – 6,7 %; MgO – 4,1 %; Na₂O – 14,6 %; SO₃ – 0,4 %) tenka tokios žaliavų (kg) sąnaudos: smėlio – 70,88;

kreidos – 0,68; dolomito – 19,45; sodos – 18,91; sulfato – 5,51; nefelitinio sienito – 5,17.

2 metodas

Pagrindinė putų stiklo granulių žaliava yra stiklo atliekos. Jos vežamos į gamyklą jau paruoštos, tai yra atskirtos nuo priemaišų, nuplautos ir išdžiovintos. Pirmiausia stiklo atliekos trupinamos, malamos ir maišomos su dujodariu (suodžiais). Vėliau gautas mišinys degamas ir kartu putinamas. Gauta medžiaga trupinama, apdorojama azoto arba druskos rūgštimi, plaunama vandeniu, išdžiovinama ir separuojama į frakcijas.

Pagrindinis šio metodo trūkumas tas, kad gaunamos putų stiklo granulės yra aštriabriaunės.

3 metodas

Naudojamas ir granuliuotojo putų stiklo gamybos metodas, kai sumalto stiklo ir sutrupinto dujodario masė iš pradžių išdžiovinama, o tik tada putinama. Paruoštos stiklo atliekos, kaip ir anuo metodu, trupinamos ir malamos. Sumaltas stiklas maišomas su dujodariu, tik šiuo atveju tam reikalui naudojamas 20 % natrio oksido hidratas. Tada gautas mišinys, išlaikius 50–70 valandų, išdžiovinamas iki 5–8 % drėgmės. Formuojant granules, išdžiovintas mišinys trupinamas iki 5–10 mm gabaliukų, ir jie apdorojami 20–40 % azoto rūgšties tirpalu. 100 kg granulėms apdoroti reikia 3–5 l azoto rūgšties. Tada granulės putinamos sukamojoje krosnyje 825–900 °C temperatūroje.

5.4.4. Technologija

Ši technologinė linija rodo, kaip iš stiklo atliekų gaminamas granuliuotasis putų stiklas. Aprašomas granuliuotojo putų stiklo gaminimo metodas reikalauja, kad stiklo atliekos būtų švarios ir nuplautos. Technologinė linija sieja tokius procesus, kaip stiklo trupinimas, masinis dozavimas ir šlapiasis malimas, sumalto stiklo šlamo maišymas su putokšliu, granulių sudarymas lėkštiniame granuliatoriuje, stiklo granulių džiovinimas ir putinimas sukamojoje krosnyje, granulių degimas ir vėsinimas tunelinėje krosnyje ir gatavų granulių separavimas pagal dydį.

Stiklui trupinti naudojamas žiauninis trupintuvas. Stiklo atliekos jame turi būti susmulkintos iki 5–15 mm gabaliukų, kad vėliau būtų lengviau sumalti. Malti naudojamas periodinio veikimo, sauso malimo rutulinis malūnas, kuriame stiklas turi būti sumaltas iki 3000–5000 cm²/g santykinio paviršiaus. Kaip putokšlis naudojamas dolomito ir kreidos mišinys. Putokšlio kiekis sudaro ne mažiau kaip 4 % stiklo masės. Stiklo granulės džiovinamos tunelinėje krosnyje 400 °C temperatūroje ir 2 % oro drėgmėje, o išsidėsčiusių ant tinklinės juostos granulių sluoksnio storis neturi viršyti 100 mm.

Putinant granules, sukamojoje krosnyje turi būti palaikomas 780–820 °C temperatūrinis režimas. Vėliau putų stiklo granulės vėsina-
mos iki 30 °C temperatūros.

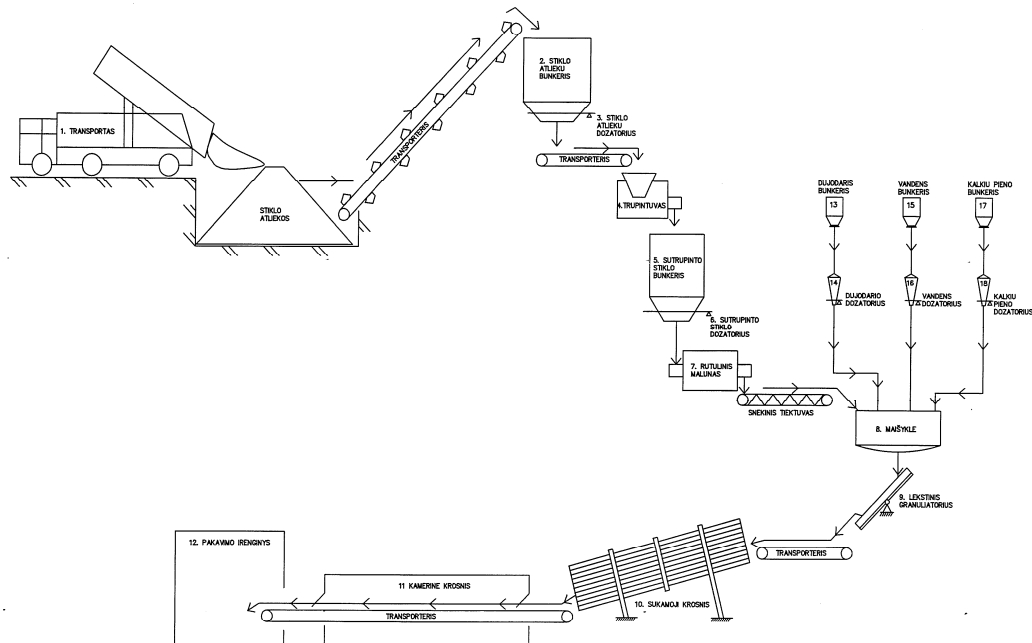
Technologinės schemas aprašymas

Švarios paruoštos stiklo atliekos vežamos į gamyklą transporteriu 1 ir kaupiamos stiklo atliekų bunkeryje 2. Dozuojant dozatoriumi 3, juostiniu tiektuvu jos tiekiamos į trupintuvą 4. Toliau stiklas kaupiamas sutrupinto stiklo bunkeryje 5, o iš jo dozatoriumi 6 tiekiamas į malūną 7. Maltas stiklas maišomas su vandeniu, dujųdariu ir rišikliu maišyklėje 8, dujųdaris tiekiamas iš dujųdario bunkerio 13 per dozatorių 14. Vanduo, reikalingas šlamui gauti, imamas iš vandens bunkerio 15, jo kiekį reguliuoja vandens dozatorius 16. Kalkių pienas tiekiamas iš rišiklio bunkerio 17, jo kiekis reguliuojamas dozatoriumi 18. Iš paruošto malto stiklo, vandens, dujųdario ir kalkių pieno mišinio lėkštiniame granuliatoriuje 9 formuojamos granulės ir juostiniu tiektuvu tiekiamos į sukamąją krosnį 10. Čia jos putinamos. Kamernėje krosnyje 11, kuri išskirstyta į kelias temperatūrines zonas, išpūsto stiklo granulės, judėdamos specialia tinkline juosta – tiektuvu, atvėsina-
mos. Gatavos putų stiklo granulės tiekiamos į pakavimo įrenginį 12 ir ten pakuojamos į specialius maišus. Putų stiklo gamybos technologinė linija pateikta 5.23 pav.

5.6 lentelė. Putų stiklo žaliavų sąnaudos

Žaliavos	Poreikis l	Dienos po-	Valandos po-
Stiklo atliekos	150 kg	9 000 kg	562,5 kg
Vanduo	0,02 m ³	1,2 m ³	0,075 m ³
Dolomito ir kreidos mišinys	6 kg	360 kg	22,5 kg
Kalkių pienas	0,025 m ³	1,5 m ³	0,093 75 m ₃
Silikagelis	10 kg	600 kg	37,5 kg

Putų stiklo gamybos technologinė linija



Gamybos pabaigoje putų stiklo granulės pakuojamos į specialius maišus – *Big Bag* 'us

5.23 pav. Putų stiklo gamybos technologinė linija

5.5. Fenolio formaldehidinės putos

Šio tipo putplasčiai užima labai nedidelę termoizoliacinių medžiagų rinkos dalį. Pirmiausia reikėtų išskirti 2 pagrindinius šio tipo putplasčius – karbamidinius ir fenolinius.

Karbamidiniai putplasčiai yra viena iš pigiausių termoizoliacinių medžiagų.

5.5.1. Savybės

Pagal tankį ir šilumos laidumo koeficientą karbamidiniai putplasčiai panašūs į polistireninį putplastį. Karbamidinių putplasčių tankis $8\text{--}28\text{ kg/m}^3$, šilumos laidumo koeficientas – $0,03\text{--}0,04\text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, naudojimo temperatūrų diapazonas nuo -80 iki $+120\text{ }^\circ\text{C}$. Tačiau mechaninės savybės pakankamai prastos – gniuždomasis stipris, esant 10 % deformacijai, siekia tik $7\text{--}15\text{ kPa}$, lėnkiamasis stipris $10\text{--}25\text{ kPa}$. Įmirkis viršija 20 % pagal tūrį.

5.5.2. Gamyba

Karbamidinis putplastis gaminamas bepresiu būdu ir be terminio apdorojimo putinant putokšlio-kietiklio mišinį putų generatoriuje ir maišyklėje suslėgtu oru ir maišant su disperguota polimerine derva. Siekiant pagerinti fizikines ir mechanines putplasčio savybes, gali būti dedama modifikatorių. Sumaišius visus komponentus, gaunama vientisa putų masė, ji supilstoma į formas ir 3–4 valandas kietėja. Išimtas iš formų blokas supjaustomas į reikiamų matmenų plokštes.

Fenolio putplasčiai pasižymi geresnėmis savybėmis – tai lemia didesnis šių putplasčių tankis ($50\text{--}75\text{ kg/m}^3$). Pabrangsta ir pačios medžiagos gamyba. Fenolio putplasčiai gaunami, putinant ir polimerizuojant fenolformaldehidines arba fenolrezolines dervas.

5.5.3. Naudojimas

Fenoliniai putplasčiai dažniausiai naudojami vamzdžių izoliacijai iki $+140\text{ }^\circ\text{C}$ temperatūros, o karbamidiniai – negyvenamoms patalpoms šiltinti ir pamatams izoliuoti. Kadangi putplastis kietėja kelias valandas, dažnai jis naudojamas kaip užpildinė izoliacija. Šiuo atveju jis pranašesnis už kai kurias kitas polimerines putas, nes supiltas į

atitvarą nesiplečia ir nesukelia ardančio pavojaus konstrukcijoms. Tiek karbamidiniai, tiek fenolio putplasčiai dėl formaldehido emisijos yra toksiški, todėl plačiau jų naudoti nepatartina.

5.6. Pūstoji kamštiena

Kamštiena gaunama, apdorojus apsauginį kamštinio ąžuolo sluoksnį, šalinamą nuo kamieno ir šakų (5.24 pav.). Apsauginis kamštinio ąžuolo sluoksnis pirmą kartą lupamas tik po 25 metų nuo jo pasodinimo, ir, atsižvelgiant į medžio augimo vietovę, periodiškai tai gali būti daroma kas 9–12 metų.

Europoje gaminama daugiau kaip 80 % visos kamštienos. Kamštinio ąžuolo žaliavos daugiausia ruošia Portugalijoje, Ispanijoje, Pietų Prancūzijoje, kai kuriuose Italijos regionuose ir Šiaurės Afrikoje. Maždaug $\frac{3}{4}$ visos kamštienos pagaminama Portugalijoje. Pūstoji kamštiena gaminama įvairiais tikslais – tai kamščiai buteliams, sienų ir grindų danga, šilumos, akustinė, vibroizoliacija, automobilių pulto skydų apdaila ir kt.

Kiekvienais metais kamštinio ąžuolo žaliavos gaunama maždaug 160–170 tūkst. tonų. Dėl tokio negausaus kiekio ši medžiaga pasaulinėje rinkoje yra pakankamai paklausi, juolab kad analogiškos medžiagos nėra. Nepakankamas žaliavos kiekis riboja ir termoizoliacinių medžiagų gamybos apimtį.



5.24 pav. Kamštinio ąžuolo žievės lupimas rankiniu būdu

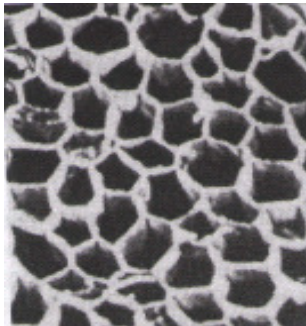
5.6.1. Istorija

Jau senovės vienuoliai pastebėjo kamštinio ąžuolo žievės termozoliacines savybes ir naudojo ją termiškai neapdorotą. 1870 m. Portugalijoje buvo įsteigta pirmoji kamštienos gamybos įmonė. 1891 m. amerikietis Džonas Smitas išrado kamštienos aglomerato (žievės smulkinimo ir gautų dalelių lydymo) gamybos technologiją, kuria prasidėjo efektyvių termoizoliacinių ir kitos paskirties kamštienos gaminių gavyba.

5.6.2. Struktūra

Kamštinio ąžuolo žievės struktūra (5.25 pav.) skiriasi nuo daugumos medžių. Kiekvienas 1 cm^2 ąžuolo žievės turi apie 40 mln. akučių. Kamštinio ąžuolo žievė sudaryta iš sumedėjusių celiuliozės ląstelių, kurias sudaro oras ir siberinas – kamštienos pagrindas. Siberinas yra organinė medžiaga, netirpstanti neutraliuose skysčiuose ir rūgštyse ir sudaryta iš sudėtinių efiyrų mišinių, glicerino, kietųjų ir skystųjų riebiųjų rūgščių. Siberinas susideda iš 74 % angliavandenių, 10 % vandenilio ir 16 % azoto. Cheminė žievės sudėtis tokia: siberinas – 58 %, celiuliozė – 22 %, ligninas – 12 %, vanduo – 5 %, cerinas – 2 %, ąžuolo dalelės – 1 %.

Akutės sienelės sudarytos iš 5 sluoksnių – du sluoksniai yra kamieniniai, du – tankūs riebaliniai, nepraleidžiantys vandens, ir vienas – pluoštinis, suteikiantis šios medžiagos akutėms kietumo ir stiprumo.



5.25 pav. Kamštinio ąžuolo žievės struktūra

5.6.3. Savybės

Kamštienos gaminiai yra ilgaamžiai. Iš visų organinių medžiagų ji pati atspariausia puvimui ir pelijimui. Dėl akytos struktūros ir tam tikrų sluoksnių išsidėstymo kamštiena – viena iš geriausių termoizoliacinių medžiagų. Dauguma jos gaminių gali būti perdirbami, deginami ir gaminama energija.

Vidutinis kamštienos gaminių tankis apie $240\text{--}260\text{ kg/m}^3$. Termoizoliacinių gaminių tankis maždaug perpus mažesnis – nuo $110\text{--}130\text{ kg/m}^3$. Tokių gaminių šilumos laidumo koeficientas yra nuo $0,031\text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ iki $0,04\text{ W/(m} \cdot \text{K)}$. Be gerų termoizoliacinių savybių, pūstoji kamštiena turi ir puikių stipruminių savybių. Gniuždomasis stipris – apie 200 kPa, lenkiamasis stipris – 140 kPa. Termoizoliacinės kamštienos eksploatavimo temperatūra nuo -200 iki $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ši medžiaga absoliučiai ekologiška ir 100 % gaminama iš natūralių žaliavų.

5.6.4. Gamyba

Iš apsauginio kamštinio ąžuolo sluoksnio ruošama granuliuota kamštiena gaunama, smulkiai trupinant ar malant kamštienos dalis arba apdorotą kamštieną. Termoizoliacinėms medžiagoms gaminti naudojama pūstoji kamštiena, gaunama iš susmulkintos granuliuotosios kamštienos, išpūstos ir sujungtos tik jos pačios natūraliu rišikliu, išsiskiriančiu iš kamštienos žievės ląstelių sienelių, kaitinant padidėjusiu vandens garų slėgiu. Terminio apdirbimo metu naudojama $250\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūra. Veikiant aukštai temperatūrai, dervingosios dalelės išsiskiria iš ląstelių, ir tam tikri grūdėliai susilydo į vientisą masę. Kaitinant dėl įkaitusio oro ir vandens garų uždaroje kamštienos akutėje kamštienos tūris padidėja iki 30 %. Gauti monolitiniai blokai supjaustomi į reikiamų matmenų plokštes.

5.7. Ekstruzinis polistireninis putplastis

5.7.1. Istorija

Ekstruzinis polistireninis putplastis – chemiškai ta pati medžiaga, kaip ir polistireninis putplastis, tik pagamintas kitokia technologija. Ekstruzinis putplastis gaunamas, aukštoje temperatūroje maišant

polistireno granules su putodariu, ir su slėgiu išstumamas iš ekstruderio.

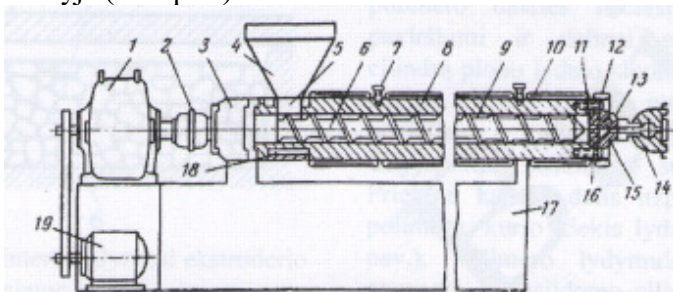
Ekstruzinio putplasčio gamybos technologijos bandymai buvo pradėti maždaug apie 1940 m. Jungtinėse Amerikos Valstijose. 1942 m. ekstruzinio putplasčio blokai buvo naudojami kaip plaustai karo tikslams. Vėliau dėl gerų savybių ir mažo įmirkio buvo pradėtas naudoti šaldymo įrenginių izoliacijai. Apie 1950 m. ekstruzinio polistireninio putplasčio gamybos technologija buvo visiškai sukurta, ir medžiaga pradėta naudoti statybose.

5.7.2. Naudojimas

Ekstruzinis polistireninis putplastis dažnai naudojamas, statant civilinius ir pramoninius objektus, žemės ūkyje, šaldymo įrangos pramonėje, tiesiant geležinkelius, automagistrales, rengiant oro uostus, izoliuojant vamzdžius.

5.7.3. Gamyba

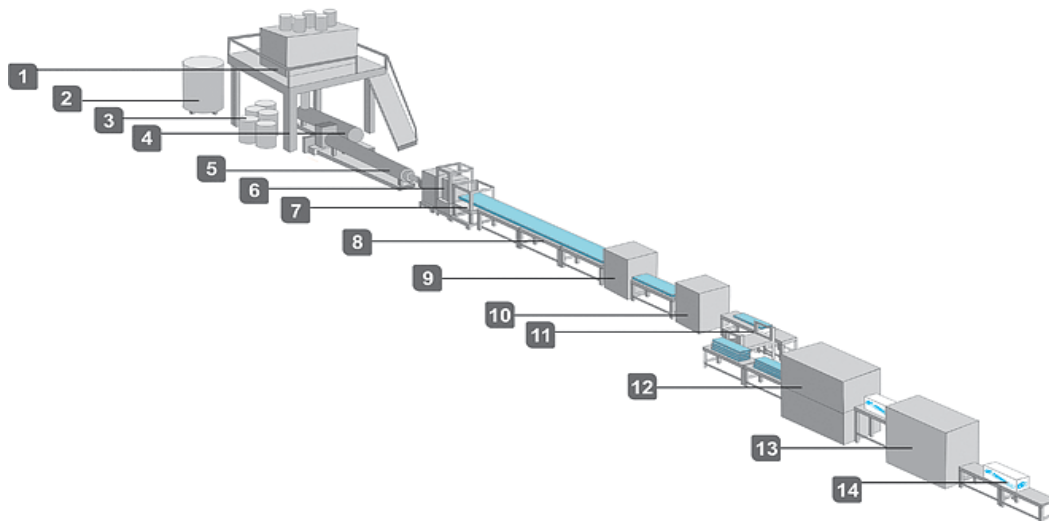
Ekstruzinio polistireninio putplasčio gamybos procese bendros paskirties polistireninio putplasčio granulės maišomos su įvairiais priedais (su antipirenais, dažais), ir žaliavos lydomos, gerai išmaišant ekstruderyje (5.26 pav.).



5.26 pav. Principinė ekstruderio schema: 1 – reduktorius; 2 – elastinga mo-
va; 3 – atraminis guolis; 4 – krovimo talpykla; 5 – krovimo piltuvas;
6 – sraigtas; 7 – termopora; 8 – šildomas korpusas; 9 – grūdintasis cilindras;
10 – juostinis kaitintuvas; 11 – tinkleliai; 12 – jungiamojo antbriaunio šildy-
tuvas; 13 – neapsaugota termopora; 14 – galvutė; 15 – jungiamasis ant-
briaunis; 16 – tinklelis; 17 – stovas; 18 – krovimo zonos aušinimo apvalka-
las; 19 – variklis

Į paruoštą masę dideliu slėgiu įterpiamas putodaris. Gaunamas skystas vientisas lydalas. Jis išspaudžiamas per galvutę, tai yra vyksta ekstruzijos procesas. Gautas pusgaminis atvėsinaamas ir supjaustomas į tam tikro dydžio plokštes.

Ekstruzijos procesas leidžia gauti smulkių vienodai pasiskirsčių uždaraporių akučių struktūrą. Taip gaunami gaminiai pasižymi geromis fizikinėmis ir mechaninėmis savybėmis. Principinė ekstruzinio putplasčio gamybos schema pateikta 5.27 pav.



5.27 pav. Ekstruzinio putplasčio gamybos linija: 1 – dozavimo įrenginys; 2 – putodario rezervuaras; 3 – žaliavų komponentai; 4 – pirminis ekstruderis; 5 – antrinis ekstruderis; 6 – kalibravimo įrenginys; 7 – veleninis pratepimas; 8 – velenai; 9 – išilginis pjaustymo įrenginys; 10 – skersinis pjaustymo įrenginys; 11 – gaminių paketo sudėjimas; 12 – pakavimo įrenginys; 13 – šiluminė kamera; 14 – gatava produkcija

5.7.4. Savybės

Dėl labai smulkių ir uždarų porų struktūros ekstruzinis polistirenas turi mažą šilumos laidumo koeficientą, labai mažą įmirkį ir didelį stiprį. Gaminamas 25–45 kg/m³ tankio ekstruzinis polistireninis putplastis. Jo šilumos laidumo koeficientas yra nuo 0,030 W/(m · K) iki 0,045 W/(m · K). Kadangi visų tankių putplasčio įmirkis vandenyje ne didesnis kaip 1 tūrio %, tai ir šilumos laidumo koeficiento padidėjimas dėl papildomo medžiagos įdrėkimo konstrukcijoje eksploatuojant labai mažas, arba šis koeficientas ir apskritai nesikeičia.

5.8. Putų poliuretanai (PUR)

Putų poliuretanai (PUR) yra uždaraporiai plastikai, gaminami gamykloje formose kaip plokštės ir blokai arba statybos aikštelėje įpurškiant į oro tarpus (5.28 pav.).

PUR Tai dvikomponentė sistema iš:

- 1) poliolio komponento, kurį sudaro polioliai, katalizatoriai, stabilizatoriai ir putodarai;
- 2) izocionato komponento, kurio sudėtyje yra polimero difenilmetanodiizocionato (PMDI).

Apie 40 % viso gaminamo putų poliuretano naudojama termoizoliacinėms plokštėms, 30 % daugiasluoksnėms konstrukcijoms ir 30 % vamzdynų izoliacijai gaminti.

5.8.1. Savybės

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

Šilumos laidumas

PUR šilumos laidumas priklauso nuo įvairių veiksnių:

- putinti naudotų dujų;
- tankio;
- temperatūros;
- drėgnio ir vandens kiekio;
- matavimų laiko.



a

b



c



d

5.28 pav. Putų poliuretano gaminiai: a – vamzdžių izoliacija;
b – plokštės; c – trisluoksnė dekoratyvinė plokštė;
4 – užpurškiamoji šilumos izoliacija

Putinimo dujų šilumos laidumo koeficientas daug mažesnis nei oro ($\lambda_{oro} = 0,024 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$). Poliuretanui putinti naudojamų dujų šilumos laidumo koeficientas $\lambda_{dujų} = 0,012\text{--}0,013 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$. Dėl uždaros putų poliuretano struktūros (uždarų porų dažniausiai yra daugiau nei 90 %) putinimo medžiaga labai ilgai išlieka medžiagos akutėse.

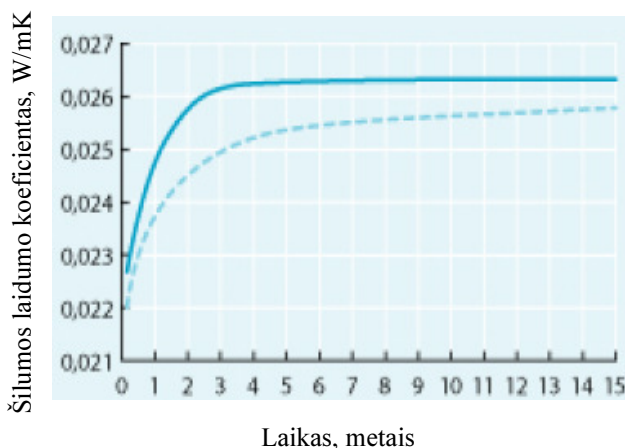
Statyboms naudojamas nuo 30 iki 100 kg/m³ tankio putų poliuretanai. Šime tankio diapazone šilumos laidumo koeficientas mažai keičiasi.

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 šilumą izoliuojančių 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 putodario (dujų), kuris iš gaminių pasišalina, ir nusistovi pusiausvyra. Dėl dujų pasišalinimo blogėja šilumos laidumo koeficientas. Vokietijos Šiluminės technikos institute tirti 15 metų šilumos laidumo koeficiento pokyčiai. Bandymams buvo naudoti gaminiai, kuriems putinti buvo naudotas pentanas. Nustatyta, kad intensyviai šilumos laidumo koeficiento didėja pirmus trejus metus (5.29 pav.).



5.29 pav. Putų poliuretano šilumos laidumo koeficiento priklausomybė nuo laiko

Plonesniuose gaminiuose esančios dujos iš gaminio pasišalina greičiau, ir po trejų metų šilumos laidumo koeficientas nebekinta. Didesnio storio bandiniuose visą bendrųjų periodą (15 metų) šilumos laidumo koeficientas didėjo nedaug. 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. (5.30 pav.).

Tankis

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

Putų poliuretano tankis pirmiausia priklauso nuo struktūros. Gaminį sudaro tik nedidelė kieto poliuretano dalis. Kai PUR tankis 30 kg/m^3 , kietos medžiagos jame yra tik 3 % pagal tūrį. Ši kietą medžiagą sudaro akučių sienelės, kurios laiko mechanines apkrovas.



5.30 pav. Putų poliuretano akučių struktūra

Stiprumas

Poliuretano 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.

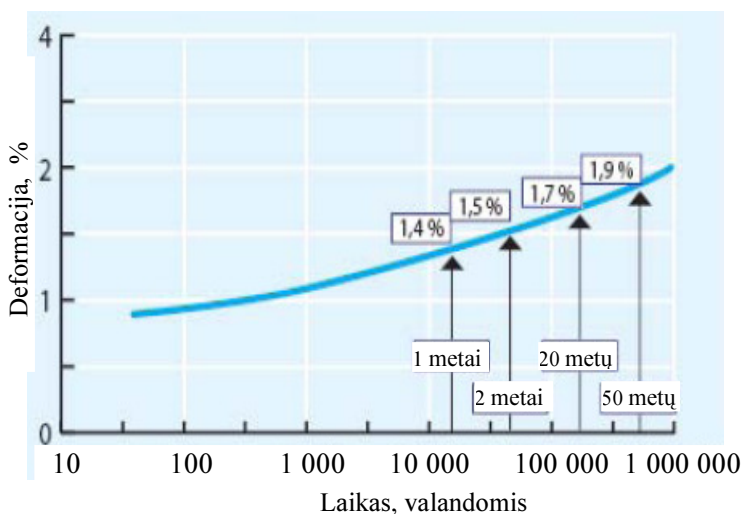
Putų poliuretano stipruminių savybių rodikliai pateikti 5.7 lentelėje.

5.7 lentelė. Putų poliuretano 24 kg/m³ ir 48 kg/m³ tankio plokščių stipruminių savybių rodikliai

Tankis, kg/m ³	Gniuždomasis stipris, kPa	Tempiamasis stipris, kPa	Šlyjamasis stipris, kPa
24	140	250	140
48	410	550	290

Ilgalaikis gniuždymas (valkšnumas)

Daugumai termoizoliacinių medžiagų, kurias veikia apkrovos, svarbi savybė yra atsparumas ilgalaikėms apkrovoms. 5.31 pav. pateikti ilgalaikių gniuždymo bandymų rezultatai. Bandymams naudotos 33 kg/m³ tankio putų poliuretano plokštės. Bandiniai buvo veikiami nuolatine 40 kPa gniuždančia apkrova penkerius metus. Pagal gautus duomenis bandymų rezultatai buvo aproksimuoti 20 ir 50 metų periodui. Kaip parodė skaičiavimai, po 50 metų eksploatacijos putų poliuretano deformacijos neturi viršyti 2 %.

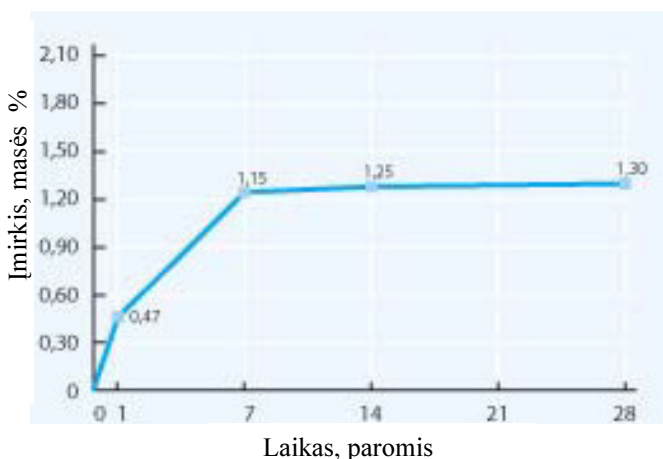


5.31 pav. Putų poliuretano ilgalaikio gniuždymo priklausomybė nuo laiko

Ilgalaikis vandens įmirkis

Kadangi PUR poros labai smulkios ir apie 90 % iš jų yra uždaros, šios medžiagos įmirkis minimalus. Įvairaus tankio gaminiams nebūdingas didesnis kaip 2 % tūrio įmirkis. 5.32 pav. parodytas PUR

bandinių įmirkis. Bandymams buvo naudoti 35 kg/m^3 tankio ir 60 mm storio bandiniai. Pagal standarto reikalavimus ilgalaikis įmirkis atliekamas 28 paras. Papildomai buvo sveriami po 1, 7, 14 ir 21 dienos. Kaip rodo bandymų rezultatai, didžiausias įmirkis buvo pirmomis dienomis, tai yra, kol įmirko paviršinis sluoksnis. Per vėlesnes 21 dieną bandiniai įmirko vos 0,15 tūrio %.



5.32 pav. Ilgalaikis PUR bandinių įmirkis

5.9. Medienos vilna

Medienos vilnai gaminti naudojamos medienos atliekos. Prieš naudojimą mediena supjaustoma į 1–2 m ilgio ruošinius. Supjaustyta mediena mechaniniu būdu nužievinama skutimo įrenginyje. Tada supjaustoma į 0,5 m ilgio trinkas ir vėl tiekama į skutimo įrenginį, kur paruošiama 0,1–0,5 mm storio ir maždaug 5 mm pločio medienos drožlės, vadinamoji vilna (5.33 pav.). Medienos vilnai gaminti tinka beveik visi medžiai. Dažniausiai gaminama iš eglė, pušų, beržų ir drebulių. Iš eglės pagaminta vilna geriausia, nes, naudojant ją kompozitams gaminti, gaunami stipriausi gaminiai.



5.33 pav. Medienos vilna

5.9.1. Fibrolitas

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. Apie 1930 m. įsikūrė daug įmonių, gaminančių fibrolito plokštes. Iki šiol pagrindinė 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 tiekama į vibrosietus, kur šalinamas cemento tešlos perteklius. Papildomai permaišytas cemento tešlos perteklius grąžinamas į vonią pakartotiniam naudojimui.

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

Paruošta fibrolito žaliava dedama į formas ir spaudžiama presu. Supresavus plokštės formose laikomos suspaustos, kol pasiekia transportuoti reikiamą stiprį. Dažniausiai gaminamos 1200 mm ilgio

ir 600 mm pločio plokštės (5.34 pav.). Plokščių storis kinta nuo 20 mm iki 150 mm.



5.34 pav. Fibrolito plokštės

Atsižvelgiant į pradinę žaliavą (medienos vilnos storį, plotį, cemento kiekį), gaminamos $250\text{--}800\text{ kg/m}^3$ tankio fibrolito plokštės. Iki 400 kg/m^3 tankio fibrolito plokštės naudojamos kaip termoizoliacinė, o didesnio tankio gali būti naudojama kaip konstrukcinė medžiaga.

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

Fibrolito plokštės (5.35 pav.) naudojamos ir mažaaukščiams, ir daugiaaukščiams pastatams statyti. Plokštės naudojamos išorinėms ir vidinėms sienoms įrengti, pertvaroms, luboms. Įrengti iš fibrolito plokščių elementai turi būti tinkuojami.

Fibrolito plokštės lengvai montuojamos, jos nesunkios, lengvai tvirtinamos, lengvai pjaustomos pjūklais.



5.35 pav. Pastato atitvarų įrengimas iš fibrolito plokščių

5.10. Medienos plaušas

Plaušas gaminamas, malant medienos žaliavą. Plaušą sudaro audinių ląstelės, jų fragmentai arba medienos ląstelių grupės (medienos dulkės). Medienos plaušo plokštės (MPP) yra lakštinė medžiaga, pagaminta, medienos plaušo masę presuojant karštu būdu (5.36 pav.).



5.36 pav. Medienos plaušo plokštės

Kaip žaliava naudojamos medienos atliekos, skiedros, kapotoji mediena. Kad pagerėtų stipruminės savybės, į masę dedama stiprinančių medžiagų (tokių kaip sintetinės dervos), hidrofobizatorių (parafino), antiseptikų ir kt.

Medienos plaušo kilimo formavimas gali būti atliekamas šlapioje aplinkoje (šlapiasis metodas) arba oro aplinkoje (sausasis metodas). Gaminant šlapiuoju metodu, ant plokštės paviršiaus lieka sieto formos išpaudimai. Viena pusė ir paliekama tokios tekstūros, o kita gali būti sluoksniuojama arba apdorojama kitais metodais.

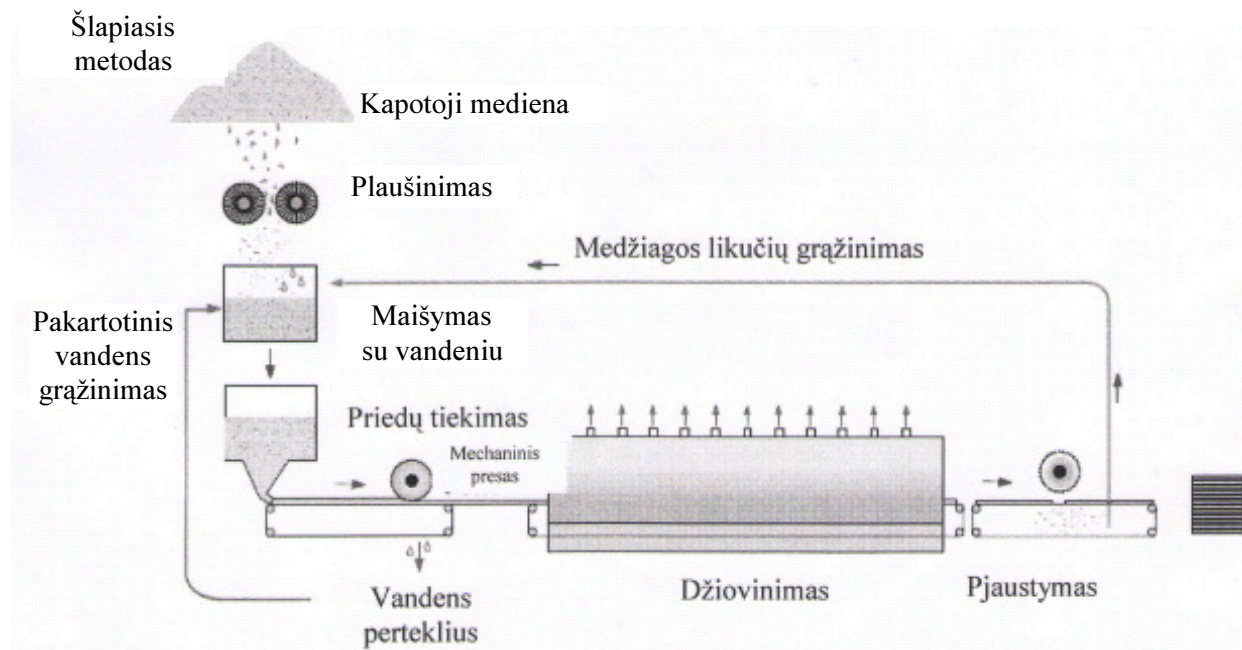
Medienos plaušo plokštės pramoniniu būdu 1922 m. pradėta gaminti Jungtinėse Amerikos Valstijose. 1931 m. Švedijoje buvo užpatentuota nauja medienos plaušo plokščių gamybos technologija. Jai įgyvendinti buvo naudojama įranga, sukonstruota firmoje „Defibrator“. Ši gamybos technologija plačiai paplito pasaulyje. Dabar daugelyje šalių veikiančios gamyklos naudoja būtent šią technologiją.

Gaminamos įvairaus tankio ir įvairios paskirties plokštės. Baldams gaminti naudojamo medienos masyvo 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 minkštos 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 – fenol-formaldehidinių dervų. Mechaninis stiprumas gaunamas, supinant plaušelius tarpusavyje kilimo formavimo metu, taip pat dėl fizikinių ir cheminių procesų plaušelių paviršiuje. Gaminant minkštas medienos plaušo plokštes, poringumą ir stiprumines savybes galima reguliuoti, keičiant medienos plaušelio susmulkinimo laipsnį. Minkštos medienos plaušo plokštės gaminamos šlapiuoju metodu. Iš pradžių mediena susmulkinama kapojimo įrenginyje, o vėliau tiekiami 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 pjaustomas į reikiamų dydžių ir formų plokštes. Paruošto gaminio poringumas gali siekti iki 60 %. Paprastai plokščių storis svyruoja nuo 5,5 iki 100 mm. Plokščių naudojimo temperatūros diapazonas yra nuo –50 iki

+140 °C. Medienos plaušų gamybos šlapiuojo metodu technologinė schema pateikta 5.37 pav.

5.10.1. Savybės

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



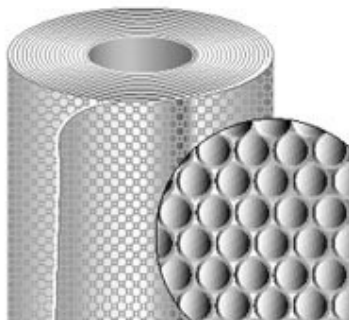
5.37 pav. Medienos plaušų gamybos šlapiuoju metodu technologinė schema

6. Naujų technologijų medžiagos

Pasaulyje nuolat kuriamos naujos termoizoliacinės medžiagos. Daugumos naujų medžiagų savybės tokios pat, kaip ir jau žinomų. Dažnai kyla klausimas, ar įmanoma dar labiau pagerinti termoizoliacinių medžiagų savybes, pirmiausia sumažinti šilumos laidumą. Kaip jau buvo minėta ankstesniuose skyriuose, šiluma perduodama 3 pagrindiniais būdais – spinduliavimu, konvekcija ir šilumos laidumu. Nagrinėjant įvairias efektyvias termoizoliacines medžiagas, buvo pabrėžta, kad oro, kuris užpildo kai kurių medžiagų poras, akutes ir kitas tuštumas, šilumos laidumo koeficientas $0,024 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, o tų medžiagų šilumos laidumo koeficientas dar šiek tiek padidėja dėl medžiagos karkaso, bet įmanoma pasiekti $0,03 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. Kai naudojamos dujos, kurių šilumos laidumo koeficientas $0,012\text{--}0,013 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, dauguma dujų eksploatuojant pašalinama, bet tokiu atveju vis tiek pasiekiamas $0,026 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ šilumos laidumo koeficientas. Medžiagos, kurių šilumos laidumo koeficientas artimas $0,03 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, dažnai vadinamos „ateities“ medžiagomis. Nuolat kuriamos įvairios technologijos, leidžiančios pasiekti daug mažesnį šilumos laidumą arba akivaizdžiai sumažinti šiluminės izoliacijos storį ir svorį. Dažniausiai šios technologijos jau seniai žinomos, bet nemažai trunka, kol jos pritaikomos, gaminant termoizoliacines medžiagas. Šiame skyriuje aptarsime dvi termoizoliacines medžiagas, kurių veikimo principas pirmiausia buvo pritaikytas kosmoso reikmėms.

6.1. Multireflekcinė daugiasluoksnė izoliacija

Šilumą atspindinti izoliacija – aliuminio folijos ir oro burbuliukų derinys (6.1 pav.). 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 ugniagesių aprangą, o pastatams šiltinti Europoje šilumą atspindinti izoliacija sėkmingai naudojama jau daugiau nei 40 metų (Prancūzijoje ji užima apie 8 % visos termoizoliacinių medžiagų rinkos).



6.1 pav. Multireflekcinė daugiasluksnė termoizoliacija

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

6.1.1. Montavimas

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 specialia lipnia aliuminio folijos juosta. Šioje medžiagoje nėra jokių aštrių pluoštų, nereikia dėvėti apsauginių drabužių, respiratorių, akinių, nereikia jokių specialių įrankių – medžiaga lengvai nupjaunama žirkklėmis arba peiliu.

6.1.2. Privalumai

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

6.1.3. Tradicinės ir tūrinės izoliacijos skirtumai

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 tarp sluoksniuose 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 aukšto ar žemo, 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.

6.1.4. Naudojimas

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, sienos, rūšiai, grindys, lubos, stogai, kitos ertmės, vandens šildymo įrenginių izoliacija, paukščių ir gyvulių laikymo patalpos, įrenginių pastogė, vamzdžių izoliacija, poilsiniai 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.

6.1.5. Savybės

Šiluminė varža

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

Ilgaamžiškumas

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 neveikia vienas kito dėl konstrukcinio principo dviejų tarpusavyje nesąveikaujančių uždarytų oro burbuliukų sluoksnių.

Šalčio tilteliai

Termoizoliacinė medžiaga dengia visą izoliuojamą paviršių be jokių intarpų, 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 sklindančio iš išorės 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.

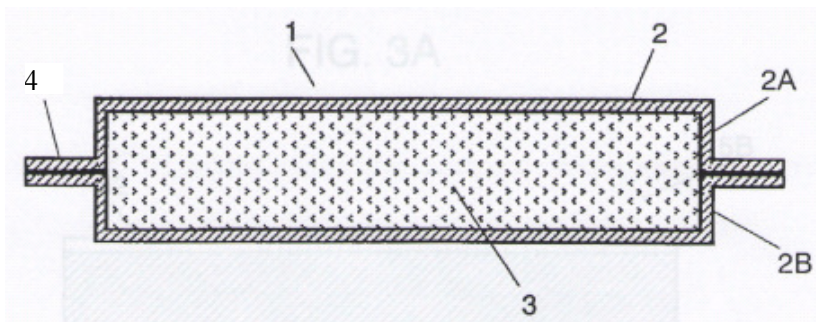
Perdirbimas

Medžiagas galima keletą kartų perdirbti.

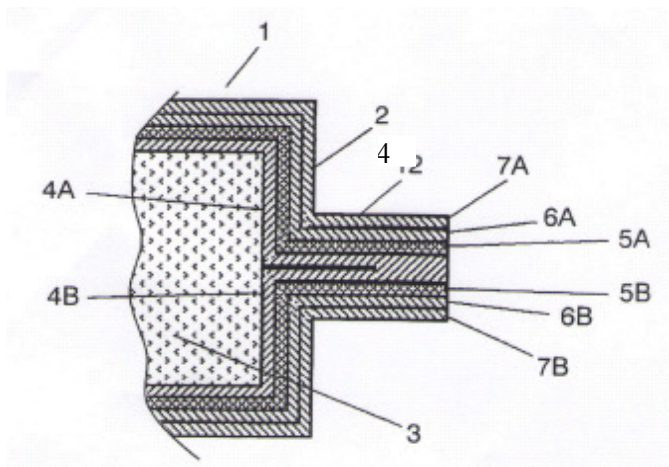
6.2. Vakuuminė termoizoliacija

Viena iš perspektyviausių termoizoliacinių medžiagų kūrimo būdų – medžiagos viduje sukurti vakuumą (6.2 pav.). Naudojant vakuuminės konstrukcijas, galima pasiekti itin mažą šilumos laidumo koeficientą – $0,004 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, tai yra beveik 10 kartų mažesnę nei pačių geriausių tradicinių termoizoliacinių medžiagų. Vakuume nevyksta nei masės pernaša, nei šilumos perdavimas laidumu.

Vakuumas sudaromas uždaroje erdvėje. Kadangi, sudarius vakuumą, susidaro didžiulis slėgių skirtumas, medžiagos vidų būtina sustvirtinti. Sukuriamas atviraporis korys, kurio akutėse kuriamas vakuumas. Gera šilumos izoliacija vakuuminėje konstrukcijoje būna tada, kai įrengiami keli apsauginiai sluoksniai (6.3 pav.).



6.3 pav. Principinė vakuuminės termoizoliacijos schema: 1 – vakuuminė termoizoliacija; 2 – apvalkalas; 2A – vidinė sluoksniuotoji plėvelė; 2B – išorinė sluoksniuotoji plėvelė; 3 – korys; 4 – antgalis



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

6.2.1. Trūkumai

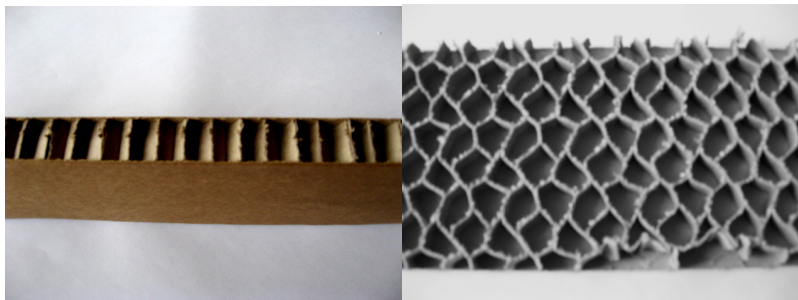
Kol kas sukurtos vakuuminės konstrukcijos yra pakankamai sunkios – 1 m^2 sveria 200–300 kg. Dėl to sunku jas vežti ir montuoti statybos aikštelėje.

Antrasis didžiulis trūkumas – tai, kad konstrukcijų negalima pjaustyti, o tai reiškia, kad pastatas turi būti statomas, griežtai laikantis vakuuminių konstrukcijų matmenų. Nors ir suskirsčius konstrukciją į mažesnes sekcijas, pjaustant dalį konstrukcijos užpildytą oras (dujos).

6.3. Koriai

Dirbtinių korių (angl. *honey comb* – bičių koriai) gaminiai žinomi jau keletą dešimtmečių, tačiau iki šiol plačiau nepaplitę. Dirbtiniai koriai gaunami, suraukšlėjus, išpaudus, suklijavus ir pan. įvairių medžiagų juostas ar lakštus. Šiems tikslams naudojamas

impregnuotas popierius, aliuminio folija, įvairių medžiagų audiniai ir kt. Pailgų arba taisyklingų kiaurų akučių sistema – korys – iš abiejų pusių sandariai apklijuojama arba kitais būdais sutvirtinama tos pačios arba kitokios medžiagos lakštais. Gaunama standi, stipri, su uždaromis ertmėmis medžiaga (6.5 pav.).



6.5. pav. Klijuoto popieriaus korys

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

LITERATŪRA

- Ashby, Michael, F.; Jones, David, R. H. *Engineering materials. An introduction to their properties and applications* [Vol. 1]. *An introduction to microstructures, processing and design* [Vol. 2]. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1996–1998
- Baltrėnas, P.; Bakas, A.; Kaulakys, J. 1998. *Elektrostatiniai oro valymo filtrai*. Vilnius: Technika. 197 p.
- Baltrėnas, P.; Lygis, D.; Mierauskas, P.; Oškinis, V.; Šimaitis, R. 1996. *Aplinkos apsauga*. Vilnius: Enciklopedija. 287 p.
- Baltrėnas, P.; Paliulis, D. 2002. *Adsorbciniai oro valymo įrenginiai*. Vilnius: Technika. 220 p.
- Baltrėnas, P.; Vasarevičius, S. 2003. *Absorbciniai oro valymo įrenginiai*. Vilnius: Technika.
- De Garmo, E. Paul, *et al.* 2003. *Materials and processes in manufacturing*. 9 ed. [online]. New York: John Wiley & Sons. [cited 12 October 2012]. Available from Internet:
http://cs5824.userapi.com/u11728334/docs/764edad82caa/Degarmo_Materials_and_Processes_in_Manufacturin.pdf
- Deltuva, J.; Gailius, A. ir kt. 1982. *Statybinės medžiagos*. Vilnius: Mokslas.
- Fiscer, A. K.; Bullen, F.; Beal, D. 2001. The durability of cellulose fibre reinforced concrete pipes in sewage application, *Cement and Concrete Research* 31(4): 543–553.
- Gailius, A. 2010. *Materials in Civil Engineering*: educational book. Vilnius: Technika. 182 p. ISBN 978-9955-28
- Gailius, A.; Kazragis, A.; Kulinič, H. 2004. *Investigation the properties of composite material containing agricultural residues*. Kaunas: Technologija.
- Gailius, A.; Vėjelis, S. 2010. *Termoizoliacinės medžiagos ir jų gaminiai*. Vilnius: Technika. 248 p. ISBN 978-9955.
- Gibson, L. J.; Ashby, M. F. 2001. *Cellular solids: Structure and properties*. Cambridge University Press. 510 p.
- Gioia, G.; Wang, Y.; Cuitino, A. M. 2001. The Energetics of Heterogeneous Deformation in Open-Cell Solid Foams, *Proceedings of the Royal Society A*, 457: 1079–1096.

- Gnip, I.; Keršulis, V.; Vaitkus, S.; Vėjelis, S. 2004. Assessment of Strength under Compression of Expanded Polystyrene (EPS), *Slabs Materials Science* [Medžiagotyra] 10(4): 326–329.
- Goberis, S., Antonovič, V. 2007. *Kaitrai atsparūs šamotbetonai*. Vilnius: Technika.
- Goover, M. P. 1999. *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems*. New York: John Wiley & Sons.
- Grubliauskas, S. 1998. The prospects for straw and biogas usage as a fuel in Lithuania, in *Conference „Energy from Waste and Biomass“*. Tallin, Estonia, 9–10 November, 93–95.
- Grubliauskas, S.; Krušinskas, V. 2001. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų mažinimas naudojant atsinaujinančius energijos šaltinius, *Aplinkos inžinerija* 9(1): 61–66.
- Hilyard, N. C. 1982. *Mechanics of Cellular Plastics*. London: Applied Science Publishers. LTD 1982. 360 p.
- Hoshimoto, S.; Moriguhi, Y. 2004. Six indicators of material cycles for describing society metabolism application to wood resources, *Resources conservation and recycling*, 40(3, Febr.): 201–223.
- John, V. 1999. *Engineering Materials*. London: Botsford Limited.
- Jungtinių tautų bendrosios klimato kaitos konvencijos įgyvendinimo nacionalinė strategija. Vilnius, 1996. 118 p.
- Kazragis, A. 2005. Minimization of atmosphere pollution by utilizing of cellulose waste, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 13(2): 81–90. Vilnius: Technika.
- Kazragis, A.; Gailius, A. 2006. *Kompozicinės medžiagos ir dirbiniai su gamtiniais organiniais užpildais*. Vilnius: Technika. 256 p.
- Kazragis, A.; Gailius, A.; Juknevičiūtė, A. 2002. Thermal and acoustical insulating materials containing mineral and polymeric binders with cellulose fillers, *Materials science* [Medžiagotyra] 8(2): 193–195. Kaunas: Technologija.
- Kazragis, A.; Gailius, A.; Kulinič, H.; Tamulaitienė, B. 2002. Šiaudų ir nendrių utilizavimas bei panaudojimas statybinį dirbinių gamyboje, *Aplinkos inžinerija* 10(2): 77–83.
- Kazragis, A.; Juknevičiūtė, A.; Gailius, A. 2003. Lengvos statybinės medžiagos iš žemės ūkio gamybos atliekų, iš *Silikatų technologija* (Tarpt. konf. pranešimų medžiaga). Kaunas: Technologija, 75–80.

- Kazragis, A.; Milčiūnienė, V.; Kulinič, H.; Gailius, A.; Nickus, I. 1996. Organinių gamybos atliekų panaudojimo statybinų medžiagų gamyboje tyrimai, *Aplinkos inžinerija* 2(6): 18–24.
- Kazragis, A.; Nickus, I.; Gailius, A.; Kulinič, H.; Milčiūnienė, V. 1999. *Šilumos izoliacinė medžiaga*. Vilnius: Valst. patentų biuras. Patento Nr. 4507.
- Kudzys, A. 2002. Statybos terminų žodynas. Vilnius: Lietuvos mokslas.
- Lando, L. DI.; Sala, G.; Olivieri, D. 2002. Deformation mechanisms and Energy Absorption of Polystyrene Foams for Protective Helmets Polymer Testing 21, 217–228.
- Lietuvos akustikų sąjungos (LAS) internetinis puslapis. Prieiga per internetą: <http://www.akustika.lt>
- Marčiukaitis, G.; Naujokaitis, A. 1993. Kompozitiniai statybiniai dirbiniai gyvenamajai statybai, iš *Naujos statybinės medžiagos, konstrukcijos ir technologijos* (3-osios tarpt. konf. pranešimų medžiaga). Vilnius: Technika, 369–375.
- Marčiukaitis, G.; Naujokaitis, A. 1995. Dirbiniai iš pjuvenų betono ir jų panaudojimas konstrukciniams elementams, iš *Naujos statybinės medžiagos, konstrukcijos ir technologijos* (4-osios tarpt. konf. pranešimų medžiaga). Vilnius: Technika, 128–133.
- Martusevičius, M.; Vaickelionis, G.; Vektaris, B. 1997. Mineralinių priedų įtaka pjuvenų betonų savybėms, *Cheminė technologija*. Kaunas: Technologija, 2 (6): 54–61.
- Martusevičius, M.; Vaickelionis, G.; Vektaris, B. 1997. Pjuvenų betonų fizikinių savybių tyrimas, iš *Statyba ir architektūra* (Resp. techn. konf. medžiaga). Kaunas: Technologija. 241–244.
- Martusevičius, M.; Vaickelionis, G.; Vektaris, B. 1997. Portlandcemenčio–trepelio–pjuvenų sistemos tyrimas, iš *Silikatų technologija* (Resp. techn. konf. medžiaga). Kaunas: Technologija. 19–23.
- Mills, N. J., Zhu, H. X. 1999. The high strain compression of closed-cell polymer foams, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids* 47: 669–695.
- Nardone, M. 1999. *Direct Digital control systems*. Kluwer Academic publishers. 252 p. VGTSV skyrius, šifras: C 24507.
- Naujokaitis, A. 2006. *Statybinės medžiagos. Užpildai*. Vilnius: Technika.

- Neville, A. M. 2000. *Properties of concrete*. Harlow: Prentice – Hall. 844 p. VGTSV skyrius, šifras: B 230182.
- Pukelis, P.; Rimkevičius, A. 2000. *Testing of Building Materials*. Vilnius: Technika.
- Ragsdale, L. A. 1998. *Building Materials Technology*. London: Edward Arnold Ltd.
- Raynham, E. A. 2001. *Building materials Practice*. London: Edward Arnold Ltd.
- Sorensen, C. H. 1994. *Wärmedämmstoffe im Vergleich*. München: Umweltinstitut München. 66 S.
- Specifikacijos. Polistireninio putplasčio blokelių sistema atitvaroms. Paskirtis, sudėtis, principiniai sprendimai ir reikalavimai kokybei. UAB „SAM“, Vilnius, 2002. 18 p.
- Stankevičius, V.; Pikutis, R. 1996. *Termoizoliacinės medžiagos ir jų panaudojimas statyboje*. Vilnius: Statybos literatūra. 232 p.
- Stauskis, V. J. 2005. *Statybinė akustika*. Vilnius: Technika. 268 p.
- UAB „Baltijos polistirenas“. Prieiga per internetą: <http://www.balpol.lt>
- UAB „Kauno šilas“. Prieiga per internetą: <http://www.kaunosilas.lt>
- UAB „Ukmergės gelžbetonis“. Prieiga per internetą: <http://www.ukmergesgelzbetonis.lt>
- Vadlūga, R.; Vainiūnas, P. 1996. *Fizikiniai dydžiai ir vienetai*. Vilnius: Technika. 92 p.
- Vaickelionis, G. 1997. *Aktyviųjų mineralinių priedų įtaka pjuvenų betono savybėms*. Daktaro disertacijos santrauka. Kaunas: Technologija. 142 p.
- Vaickelionis, G.; Vektaris, B. 1998. Pjuvenų betonas: technologija ir panaudojimas, iš *Statyba ir architektūra* (Tarpt. techn. konf. medžiaga). Kaunas: Technologija. 310–313.
- Vėjelis, S.; Gailius, A.; Vėjelienė, J.; Vaitkus, S. 2010. Research on thermal conductivity of vacuum insulating materials, in *The 10th International conference „Modern building materials, structures and techniques“*: Selected papers (19–21 May, Vilnius, Lithuania) 1: 313–317. ISBN 978-9955-28-593-9.

Vilniaus universiteto fizikos fakultetas. Prieiga per internetą: <http://www.ff.vu.lt>

- Zach, J.; Brozovsky, J.; Gailius, A. 2011. Utilization of Alternative Raw Material Sources from Agriculture for the Production of Insulating Materials, in *The 8th International Conference on Environmental Engineering*, MAY 19–20, 2011. Vilnius, LITHUANIA: Selected papers,(ISI Proceedings) 461-464. ISSN 2029-7106 print / ISSN 2029-7092 online. ISBN 978-9955-28-831-2.
- Алкнис, Ф. Ф. 1986. Быстротвердеющий опилкобетон для малоэтажного строительства. Рига: ЛатНИИНТИ. 62 с.
- Захарова, Т. Г.; Анненков, В. Ф. 1982. *Использование отходов деревообработки в производстве древесных материалов и применение их в строительстве*. Киев: Обзор.
- Наназашвили, Х. 1990. *Строительные материалы из древесно-цементной композиции*. Ленинград: Стройиздат.
- Разумовский, В. Г.; Свиридов, С. Г. 1981. *Производство и применение арболита*. Москва: Лесная промышленность. 215 с.
- Соколов, Б. А. 1985. *Конструкционный производственный арболит на древесных заполнителях*. Москва: Наука.