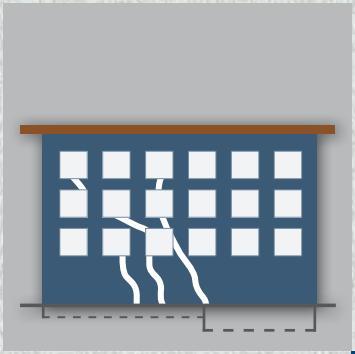
Vidmantas JOKŪBAITIS, Gintas ŠAUČIUVĖNAS

STATINIŲ KONSTRUKCIJŲ TECHNINĖS BŪKLĖS VERTINIMAS



Vilnius „Technika“ 2012

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Vidmantas JOKŪBAITIS, Gintas ŠAUČIUVĖNAS

STATINIŲ KONSTRUKCIJŲ TECHNINĖS BŪKLĖS VERTINIMAS

Mokomoji knyga

Vilnius „Technika“ 2012

UDK 624.01(075.8)
Jo-117

V. Jokūbaitis, G. Šaučiuvėnas. Statinių konstrukcijų techninės būklės vertinimas: mokomoji knyga. Vilnius: Technika, 2012. 200 p.

Leidinyje plačiai apžvelgti statinių laikančiųjų konstrukcijų defektai ir pažaidos, techninės būklės tyrimai ir vertinimas. Leidinys skirtas VGTU statybos inžinerijos pirmosios studijų pakopos studentams, turintiems bazinių konstrukcijų skaičiavimo žinių, ir antrosios studijų pakopos studentams, studijuojantiems *pastatų būklės vertinimo*, *rekonstrukcijos* ir *konstrukcijų stiprinimo* disciplinas. Knygoje pateikti duomenys yra naudingi specialistams, norintiems gilinti žinias apie laikančiųjų konstrukcijų būklės tyrimo ir vertinimo metodus.

Leidinį rekomendavo VGTU Statybos fakulteto studijų komitetas

Recenzavo: prof. dr. Povilas Vainiūnas, VGTU Gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų katedra,
doc. dr. Michail Samofalov, VGTU Medžiagų atsparumo katedra,
LR Aplinkos ministerijos UAB „Projektų ekspertizė“

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

VGTU leidyklos TECHNIKA 1302-S
mokomosios metodinės literatūros knyga
http://leidykla.vgtu.lt

ISBN 978-609-457-178-7
doi:10.3846/1302-S

© Vidmantas Jokūbaitis, 2012
© Gintas Šaučiuvėnas, 2012
© Vilniaus Gedimino technikos universitetas, 2012

Vidmantas JOKŪBAITIS, Gintas ŠAUČIUVĖNAS

PASTATŲ KONSTRUKCIJŲ TECHNINĖS BŪKLĖS VERTINIMAS

Mokomoji knyga

Redaktorė *Nijolė Žuvininkaitė*
Maketuotoja *Natalija Rodionova*

2012-05-15. 8,90 aut. l. Tiražas 150 egz.
El. versija pagal leidinio identifikatorių doi:10.3846/1302-S
Vilniaus Gedimino technikos universiteto leidykla „Technika“, Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius
http://leidykla.vgtu.lt
Spausdino UAB „Ciklonas“, J. Jasinskio g. 15, 01111 Vilnius
http://www.spaudoscentras.lt

TURINYS

Įvadas 4
1. Statinių būklės tyrimai ir vertinimas – svarbi techninės priežiūros dalis . 6
1.1. Statinių techninė priežiūra 6
1.2. Konstrukcijų būklės tyrimo ir vertinimo tikslai 9
1.3. Konstrukcijų būklės tyrimo ir vertinimo darbų turinys ir apimtis . . . 10
2. Konstrukcijų defektų ir pažaidų vertinimas 14
2.1. Konstrukcijų senėjimas bei defektų ir pažaidų vertinimo kriterijai . . 14
2.2. Konstrukcijų būklės rodiklių vertinimas patikimumo požiūriu 20
2.3. Medžiagų rodiklių charakteristinės reikšmės 34
3. Konstrukcijų defektai, pažaidos ir jų priežastys 36
3.1. Gelžbetoninės konstrukcijos 36
3.2. Mūrinės konstrukcijos 58
3.3. Metalinės konstrukcijos 72
3.4. Medinės konstrukcijos 96
4. Konstrukcijų būklės tyrimai 116
4.1. Būklės rodiklių nustatymo metodai 116
4.2. Medžiagų fizikinių ir mechaninių savybių tyrimai 118
4.3. Defektų ir pažaidų nustatymas 126
5. Naudojamų konstrukcijų būklės įvertinimo skaičiavimais ypatumai 140
5.1. Konstrukcijų apkrovų nustatymo ir skaitinio modeliavimo principai. 140
5.2. Gelžbetoninės konstrukcijos 153
5.3. Mūrinės konstrukcijos 159
5.4. Metalinės konstrukcijos 165
5.5. Medinės konstrukcijos 167
LITERATŪRA 173
A priedas 178
B priedas 184
C priedas 190
D priedas 193

ĮVADAS

Pastaruoju metu daugelis senesnių pastatų yra rekonstruojami, pritaikant juos naujai funkcinei paskirčiai. Prieš numatomą rekonstrukciją paprastai būtina įvertinti tokių pastatų laikančiųjų konstrukcijų techninę būklę (toliau tekste – būklė). Tiriant būklę nustatomi konstrukcijų defektai ir pažaidos, prognozuojamos jų plitimo tendencijos, atliekami konstrukcijų laikomosios galios patikrinamieji skaičiavimai, įvertinant būsimą po rekonstrukcijos apkrovą ir kitokius galimus poveikius. Neretai tenka nustatyti konstrukcijų, veikiamų agresyviosios aplinkos, vibracinių ir smūginių apkrovų, pažeistų gaisro ir pan., būklę. Laikančiųjų konstrukcijų būklę reikia įvertinti taisant projektuotojų ir statybininkų padarytas klaidas statomuose objektuose,vertinti ir prognozuoti konstrukcijų elgseną po įvykusių statinių avarijų. Tik įvertinus konstrukcijų būklę sprendžiama apie jų remonto būdus, apimtį ir trukmę. Taigi laikančiųjų konstrukcijų būklės tyrimai ir vertinimas bei projektinių savybių atstatymas (remontas) yra pagrindiniai statinių techninės priežiūros darbai.

Mokomojoje knygoje skaitytojai galės susipažinti su šių dienų statybos ir statinių priežiūros praktikoje taikoma konstrukcijų būklės tyrimų organizacija ir metodais. Knygoje plačiai aprašomi pasitaikantys statybinių konstrukcijų defektai ir pažaidos, trumpai aptariami jų diagnostikos būdai ir naudojami prietaisai. Naudodamiesi techninės literatūros šaltiniais ir remdamiesi ilgamete patirtimi, knygos autoriai daug dėmesio skyrė konstrukcijų defektų ir pažaidų analizei, konstrukcijų būklės įvertinimo aktualijoms.

Leidinyje neliečiama pamatų būklės vertinimo klausimų. Tačiau autoriai tikisi, kad knygoje pateikta medžiaga leis statybos inžinerijos krypties studentams (būsimiesiems bakalaurams ir magistrams) ir doktorantams išsamiau susipažinti su statinių konstrukcijų būklės vertinimo

ypatumais, o statinių priežiūros specialistams padės geriau nustatyti, įvertinti ir ištaisyti padarytų klaidų pasekmes projektuojant, statant ir naudojant statinius.

Knygos 1.1–1.3, 2.1, 3.1, 3.2, 4.1, 5.2, 5.3 skirsnius parašė doc. V. Jokūbaitis, 2.2, 4.2 ir 4.3 – abu autoriai, o kitus – doc. G. Šaučiuvėnas.

Autoriai nuoširdžiai dėkoja dr. Dariui Zabulioniui už vertingas pastabas ir siūlymus vertinant konstrukcijų būklės rodiklius patikimumo požiūriu.

1. STATINIŲ BŪKLĖS TYRIMAI IR VERTINIMAS – SVARBI TECHNINĖS PRIEŽIŪROS DALIS

1.1. Statinių techninė priežiūra

Darbai, susiję su statinio ir jo konstrukcijų kokybiškos būklės išlaikymu per visą naudojimo laikotarpį, vadinami statinio naudojimo *technine priežiūra* (toliau – priežiūra). Šią priežiūrą sudaro daugelis prevencinių ir kitokių priemonių, užtikrinančių statinio naudojimo pagal paskirtį galimybę (STR 1.12.07:2004). Viena iš pagrindinių šių priemonių – laiku šalinami *defektai ir pažaidos*. Konstrukcijos *defektas* – tai konkrečios savybės, matmens, įrengimo technologijos ir pan. neatitiktis norminių ar projektinių dokumentų reikalavimams. Defektų priežastys gali būti:

- *projektavimo klaidos* (neteisinga pastato orientacija sklype, nevykęs pritaikymas vietovėje, neišsamūs geologiniai ir hidrologiniai tyrimai, klaidingai apskaičiuotos apkrovos ir įvertintos aplinkos sąlygos, netikslūs skaičiuojamieji modeliai, netinkami konstrukcijų jungčių sprendiniai, konstrukcinių reikalavimų nesilaikymas ir t. t.);
- *neleistinos medžiagų ir konstrukcijų gamybos bei statybos nuokrypos* (nesilaikymas projektinių ir galiojančių norminių dokumentų reikalavimų, medžiagų ir konstrukcijų gamybos ir statybos darbų technologijos taisyklių).

Kai statybos ir ypač naudojimo metu statinio konstrukcijos ar jų elementai ir medžiagos yra veikiami atmosferos, agresyviosios aplinkos ir kt. poveikių, ilgainiui atsiradę jų gedimai vadinami *pažaidomis*. Pažaidos yra netinkamos statinių techninės priežiūros (nepakankamo vėdinimo, neįrengtos arba blogos hidroizoliacijos, laiku nepašalintų defektų ir pan.), naudojimo sąlygų pokyčių (padidėjusių arba atsiradusių naujų apkrovų

ir kitų poveikių, pakitusių skaičiuojamųjų modelių ir t. t.), stichinių nelaimių (gaisrų, potvynių ir t. t.) pasekmės. Pažaidomis reikia laikyti ir staiga atsiradusius defektus nuo atsitiktinių poveikių (pvz., naudojamo pastato kolonų išilginės armatūros apsauginio sluoksnio nuskėlimai judant vidaus transportui). Dažnai dar statybos metu atsiradę defektai yra vėlesnių pažaidų priežastis (pvz., dėl mažo betoninio apsauginio sluoksnio storio ar netinkamo betono sutankinimo galima armatūros korozinė pažaida).

Labai svarbu, kad statinys kuo geriau ir efektyviau būtų naudojamas pagal paskirtį. Todėl, nuolat palaikant statinio konstrukcijų kokybišką būklę, be sutrikimų (laiku ir kokybiškai remontuojant) turi dirbti vandentiekio, nuotekų šalinimo, apšvietimo, vėdinimo ir kitos reikiamą aplinką žmonėms ir vykstantiems technologiniams procesams sukuriančios sistemos, t. y. taip pat privalo vykti inžinerinės įrangos *technologinė priežiūra*.

Statinių priežiūra yra nenutrūkstama veiksnių seka, kuri nuo naujo statinio projektavimo ir statybos skiriasi tokiais požymiais:

– ilgalaikiškumu (priežiūra vykdoma visą naudojimo laiką, iš eksploatuojančios tarnybos reikalaujant numatyti aiškią veiklos perspektyvą);
– remontinių darbų periodiškumu;
– remonto vietos, apimties ir trukmės atsitiktiniu tikimybiniu pobūdžiu, dažnai koreguojant remonto eigą;
– socialiniu aspektu (paliečia žmonių interesus ir veikia jų nuotaikas);
– palyginti didelėmis darbo ir lėšų sąnaudomis.

Statinio priežiūrą sudaro:

– statinio ir jo konstrukcijų *būklės nuolatinis stebėjimas*;
– statinio konstrukcijų *periodinės* (kasmetinės ar kas keleri metai) ir *specializuotos* apžiūros;
– pastebėtų statinio konstrukcijų pažaidų šalinimas;
– *paprastasis* (*profilaktinis*) *ir kapitalinis remontai*.

Nuolatiniai stebėjimai (ne rečiau kaip kartą per savaitę) ypač būtini toms statinio konstrukcijoms, kurios yra intensyviai naudojamos ir yra didelė jų gedimo tikimybė. Jų metu vizualiai stebimos ir fiksuojamos

konstrukcijų pažaidos, numatomos jų šalinimo priemonės, tikrinama gaisrinės saugos įrenginių ir priemonių būklė, patalpų ir aplinkos sanitarinė būklė ir pan.

Apžiūrų apimtį ir dažnį (periodiškumą) lemia daugelis veiksnių: statinio svarba ir dydis, konstrukcinė schema, medžiagų savybės, galimi avarinės būklės požymiai ir pažaidų tikimybė, naudojimo sąlygos, finansiniai ištekliai. Atskirų statinių grupių apžiūrų dažnis gali būti skirtingas. Profilaktikos sumetimais vykdomos kasmetinės periodinės apžiūros vieną karta (rudenį) ar du kartus per metus – rudenį ir pavasarį, kai nutirpsta sniegas. Jų metu atliekama detalesnė vizuali konstrukcijų apžiūra – apžiūrimos pagrindinės statinio laikančiosios konstrukcijos, inžinerinė įranga, nustatomas konstrukcijų būklės detaliųjų tyrimų reikalingumas, konstrukcijų pažaidos ir remonto darbų poreikis, įvertinama nuolatinių stebėjimų kokybė. Periodinių apžiūrų metu stebimi ir fiksuojami:

– statinio laikančiųjų konstrukcijų geometrinio pavidalo pokyčiai;
– statinio vietinės ir bendrosios deformacijos;
– korozinės (destrukcinės) paviršinių apsauginių dangų (sluoksnių) pažaidos;
– laikančiųjų ir atitvarinių konstrukcijų plyšiai;
– laikančiųjų konstrukcijų mazgų ir jungčių būklė;
– pamatų nuosėdžių pokyčiai;
– konstrukcijų virpesiai ir apkrovų pokyčiai;
– konstrukcijų ar jų elementų, inžinerinių tinklų ir technologinės įrangos nusidėvėjimo pobūdis;
– aplinkos sąlygų (mikroklimato) pokyčiai.

Nesudėtingų statinių konstrukcijų ir inžinerinės įrangos kasmetinės apžiūros yra neprivalomos.

Periodinių apžiūrų metu aptikus konstrukcijų gedimus, kurių kilmė yra neaiški ir jie gali turėti poveikį saugiam konstrukcijų ir viso statinio naudojimui, atliekamos specializuotos (detaliosios) apžiūros. Jos gali būti *planinės* (pavyzdžiui, atiduodant naują statinį naudoti) ir *neeilinės* (po stichinių nelaimių – gaisrų, liūčių ir pan., keičiantis statinio naudotojui). Šias apžiūras vykdo atestuotų specialiųjų laboratorijų ar centrų ekspertai.

Apžiūrų metu pastebėtos konstrukcijų pažaidos turi būti šalinamos nelaukiant numatyto termino planiniam statinio remontui.

Paprastasis (profilaktinis) remontas gali būti *planinis* (dažnai nedidelės apimties – šalinant įvairias vietines konstrukcijų ir inžinerinės įrangos pažaidas) ir *nenumatytasis*, kai reikia šalinti pažaidas, atsiradusias po inžinerinių tinklų avarijų, gaisro, komunikacijų gedimo ir pan.

Saugiam statinių naudojimui užtikrinti yra svarbūs *kapitaliniai remontai*, kurie paprastai planuojami iš anksto. Normatyvinė trukmė tarp kapitalinių remontų priklauso nuo statinio paskirties ir naudojamų laikančiųjų ir atitvarinių konstrukcijų medžiagų, aplinkos sąlygų, konstrukcijų, inžinerinių tinklų ir technologinės įrangos nusidėvėjimo laipsnio ir pan. Kapitalinis remontas gali būti *atrankinis*, kai remontuojama tik statinio dalis arba tam tikros rūšies konstrukcijos, ir *kompleksinis*. Dažnai statinio ar jo dalies kapitalinis remontas vykdomas kartu su statinio *rekonstrukcija*, kurios tikslas – gerinti žmonių buities ir darbo sąlygas, keisti statinio naudojimo paskirtį.

Taigi, pagrindiniai statinio techninės priežiūros naudojimo uždaviniai yra tokie:

- užtikrinti statinių naudojimą nepažeidžiant projektinių, statybos ir kitų norminių dokumentų reikalavimų;
- profilaktinėmis priemonėmis (stebint, atliekant apžiūras, remontus) apsaugoti statinius ir jų konstrukcijas nuo ankstyvo nusidėvėjimo;
- nuolat stebėti ir šalinti statybinių konstrukcijų pažaidas, siekiant išvengti statinių ar pavienių konstrukcijų griūčių;
- siekti, kad statiniai nežalotų žmonių sveikatos ir aplinkos.

1.2. Konstrukcijų būklės tyrimo ir vertinimo tikslai

Nuolat veikiamos išorinių ir vidinių poveikių statinių konstrukcijos, inžineriniai tinklai ir kita technologinė įranga nusidėvi, senėja ir pagaliau suyra.

Svarbi statinių priežiūros dalis yra jų konstrukcijų tyrimai, kurių metu būklė tiriama ir vertinama vizualiai, kartu atliekant ir instrumentinę

kontrolę (Jokūbaitis 2007; Venskevičius, Janickas 1996; Kamaitis 1995). Remiantis konstrukcijų ir inžinerinės įrangos esamos būklės vertinimo išvadomis ir rekomendacijomis sprendžiama apie reikalingo remonto apimtį, trukmę, medžiagų sąnaudas, remonto darbų įrangą ir pan.

Naudojamo statinio konstrukcijų būklė tiriama rengiant rekonstrukcijos projektą, ypač kai keičiama statinio paskirtis, numatomas kitoks būsimų apkrovų pobūdis, statinio aukštinimas arba jo plėtimas. Taigi, konstrukcijų būklės tyrimai ir vertinimas yra būtini prieš atliekant statinių remontą ar rekonstrukciją, kad jie per likusį ekonomiškai pagrįstą naudojimo laiką atitiktų esminius statinių reikalavimus: mechaninį konstrukcijų atsparumą ir pastovumą, lemiamą saugos ir tinkamumo ribinių būvių; gaisrinę saugą; higienos, sveikatos ir aplinkos apsaugą; naudojimo saugą; apsaugą nuo triukšmo; energijos taupymą ir šilumos išsaugojimą. Taip pat kad nekeltų gretimų statinių deformacijų ir atitiktų normatyvinius kokybės reikalavimus.

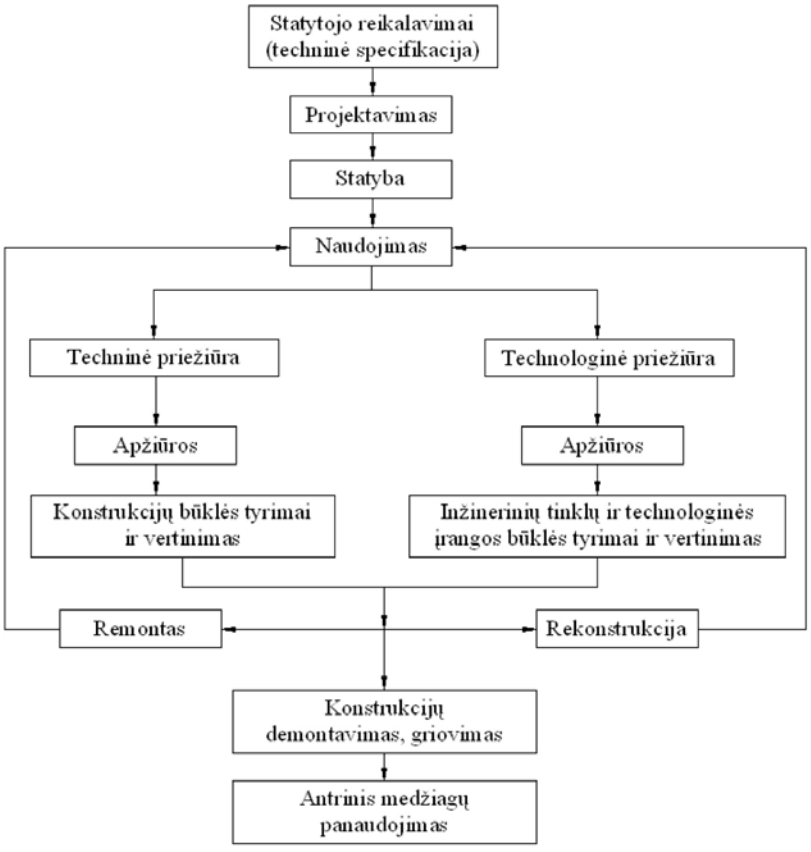
Konstrukcijų būklės vertinimo rezultatų kartais prireikia naujam statinio savininkui.

Konstrukcijų būklės tyrimai ir vertinimas statomuose objektuose gali būti atliekami tais atvejais, kai yra projektuotojų ar statybininkų padarytų klaidų, galinčių turėti neigiamą poveikį konstrukcijų stiprumui, pleišėtumui, standumui, ir trumpinančių jų naudojimo trukmę. Ši būklė tiriama ir tuo atveju, kai statomos konstrukcijos ar jų elementai paveikti neprojektinių atsitiktinių perkrovų, vibracinių ar smūginių apkrovų, dalies konstrukcijų griūties, gaisro ir kitokių stichinių nelaimių.

Statinio konstrukcijų būklės tyrimų ir vertinimo poreikis akivaizdus pateiktoje statinio gyvavimo schemoje (1.1 pav.).

1.3. Konstrukcijų būklės tyrimo ir vertinimo darbų turinys ir apimtis

Konstrukcijų būklės tyrimų turinys ir apimtis priklauso nuo daugelio veiksnių – statinio paskirties, didumo, naudojimo trukmės, vidaus patalpų tūrinių ir planinių sprendinių, konstrukcijų aplinkos agresyvumo, išlikusios projektinės ir archyvinės medžiagos kokybės ir t. t.



1.1 pav. Statinio gyvavimo schema

Statinio konstrukcijų būklės tyrimo darbus santykinai galima suskirstyti į tris etapus (Jokūbaitis 2007). Statinių būklės tyrimų praktikoje šių etapų pavieniai darbai, priklausomai nuo konkrečių aplinkybių, gali būti atliekami lygiagrečiai arba iš viso neatliekami.

Pirmasis būklės tyrimų darbų etapas yra pažintinis parengiamasis. Šiame etape atliekama pažintinė statinio konstrukcijų vizuali apžiūra, kurios metu gaunama pradinė informacija apie konstrukcijų būklę, atkreipiant dėmesį į labiausiai pažeistas statinio konstrukcijų vietas. Dažniausiai

šios vietos yra fotografuojamos arba filmuojamos. Detaliai analizuojami esami statinio projekto brėžiniai ir tekstiniai aprašymai, tipinių detalių ir jų mazgų albumai, statybos (remonto) paslėptų darbų aktai, statybos techninės ir projekto vykdymo priežiūros žurnalai. Dažniausiai apklausiant (jeigu nėra išlikusios archyvinės projektinės medžiagos) renkami duomenys apie statinio naudojimo laikotarpiu atliktus remontus ir rekonstrukcijas, įvykusias įvairaus pobūdžio avarijas, gaisrus ar kitokius ypatingųjų situacijų poveikius. Remiantis surinktais pradiniais duomenimis, sudaroma statinio ar jo dalies konstrukcijų būklės tyrimų programa, kurioje numatoma tyrimų metodika, apimtys, parengiamieji darbai, atlikimo terminai. Tyrimų programa derinama su statinio savininku, o prireikus ir su atitinkamomis valstybinėmis instancijomis (Kultūros paveldo departamentu, Savivaldybe ir kt.). Prie šio etapo darbų galima priskirti paruošiamuosius darbus: prieigų prie tiriamųjų konstrukcijų įrengimą (laikinųjų pastolių, paslėptų konstrukcijų atodangų, papildomo apšvietimo darbus), gamybos ir ūkinės veiklos laikiną nutraukimą ar apribojimą tyrimų vietose (jeigu to neįmanoma išvengti), tyrimo darbų saugos užtikrinimą.

Pagal parengtą būklės tyrimų programą *antrajame* etape konstrukcijos detaliai tiriamos. Šiame etape atliekami tokie darbai: nustatomi tikrieji konstrukcijų matmenys ir medžiagų savybės, išmatuojami aplinkos poveikių (temperatūros, drėgmės, agresyviųjų medžiagų) rodikliai, ištiriamos konstrukcijų ir jų elementų realios skaičiuojamosios schemos (konstrukcijų atrėmimo ir tvirtinimo pobūdis, apkrovų veikimo pobūdis ir dydis), surašomi ir klasifikuojami konstrukcijų defektai ir pažaidos, tiriamos defektų ir pažaidų priežastys bei jų raidos tendencijos, išmatuojamos konstrukcijų ir jų elementų deformacijos ir poslinkiai.

Priklausomai nuo konstrukcijų pažaidų pobūdžio ir jų plitimo tendencijų, tyrimai gali būti trumpalaikiai ir ilgalaikiai (žr. 4.1 sk.). Ilgalaikių tyrimų metu stebimos konstrukcijų deformacijos, pažaidų pobūdis (atsivėrusių plyšių plitimo ypatumai, medžiagos korozijos greitis ir intensyvumas ir pan.). Tiek trumpalaikių, tiek ilgalaikių tyrimų metu gali būti atliekami konstrukcijų, jų jungčių, pavienių statinio fragmentų natūriniai bandymai.

Antrasis būklės tyrimų etapas yra sudėtingas, reikalaujantis atitinkamo specialistų pasirengimo, įgūdžių ir patirties, reikiamos techninės bei technologinės įrangos.

Trečiojo etapo darbai – statinio konstrukcijų būklės analizė ir vertinimas, paremti antrajame etape gautais tyrimų rezultatais ir tikrinamaisiais konstrukcijų laikomosios galios, pleišėtumo ir kt. skaičiavimais, atsižvelgiant į šios būklės galimus pokyčius ateityje ir numatomas priemones šiai būklei pagerinti. Dažnai atsakingi trečiojo etapo darbai pradedami jau antrajame darbų etape. Trečiojo etapo darbų sėkmė priklauso nuo gebėjimo teisingai suprasti ir interpretuoti būklės tyrimų rezultatus.

2. KONSTRUKCIJŲ DEFEKTŲ IR PAŽAIDŲ VERTINIMAS

2.1. Konstrukcijų senėjimas bei defektų ir pažaidų vertinimo kriterijai

Konstrukcijų senėjimui (degradacijai) turi reikšmės *išoriniai* ir *vidiniai* poveikiai. Prie išorinių poveikių priskiriami krituliai, oro masių srautai, temperatūra, agresyvioji aplinka, radiacija, biologiniai veiksniai (bakterijos, vabzdžiai – kenkėjai ir pan.), grunto slėgis ir jo plėtra esant neigiamai temperatūrai, elektros iškrovos. Vidiniai poveikiai – statinės ir dinaminės statinio naudojimo apkrovos, temperatūra ir drėgmė bei jų pokyčių pobūdis, taip pat gali veikti agresyvioji aplinka ir biologiniai veiksniai. Laikui bėgant konstrukcijų medžiagos dyla, atsiranda struktūrinių pokyčių, nes yra veikiamos žmonių srautų, transporto, atmosferinių poveikių ir pan. Taigi, naudojimo laikotarpiu konstrukcijoms būdingas fizinis nusidėvėjimas (2.1 lent.)

2.1 lentelė. Aplinkos poveikis medžiagų ir konstrukcijų fiziniam nusidėvėjimui (pagal LST EN 60068-1:1998 klasifikaciją)

Aplinkos poveikiai	Galimos poveikio pasekmės
Aukšta temperatūra	Oksidacija, pleišėjimas, cheminės reakcijos, minkštėjimas, tirpimas, sublimacija (kietojo kūno garavimas), tąsumo mažėjimas, deformacijos
Žema temperatūra	Trapumas, ledo susidarymas, mechaninio stiprumo mažėjimas, fizinis traukumas
Didelis santykinis drėgnis	Drėgmės įgertis, išbrinkimas, mechaninio atsparumo praradimas, cheminės reakcijos (korozija, elektrolizė), drėgmės skvarbos per izoliaciją didėjimas
Mažas santykinis drėgnis	Džiūvimas, trapumas, mechaninio atsparumo mažėjimas, traukumas, trinties didėjimas esant sąlyčiui
Didelis slėgis	Kompresija, deformacijos

2.1 lentelės tęsinys

Aplinkos poveikiai	Galimos poveikio pasekmės
Mažas slėgis	Plėtimasis, ozono susidarymas, pakitęs oro elektrinis laidumas
Saulės radiacija	Cheminės, fizikinės ir fotocheminės reakcijos, paviršių pažaidos, trapumas, išblukimas, ozono susidarymas, įkaitimas ir mechaniniai įtempiai
Dulkės ir smėlio dalelės	Abrazija ir erozija, užterštumas, terminio laidumo mažėjimas, elektrostatinis efektas
Agresyvioji aplinka	Cheminės reakcijos (korozija, destrukcija), paviršinių sluoksnių pažaidos, padidėjęs šilumos laidumas
Vėjas	Deformacijos, erozija, pastovumo netektis, užterštumas, virpesiai, rezonansas
Lietus	Vandens įgertis, temperatūros pokytis, erozija, korozija
Kruša	Erozija, temperatūros pokytis, deformacijos
Sniegas ir ledas	Deformacijos, vandens įgertis, temperatūros pokytis
Staigus temperatūros pokytis	Deformacijos, pleišėjimas
Ozonas	Staigi oksidacija, trapumas (gumos, kaučiuko), pakitęs oro elektrinis laidumas
Smūgis, vibracija	Mechaninės pažaidos, nuovargis, struktūros pokyčiai

Pagal poveikį konstrukcijų ilgalaikiškumui aplinkos sąlygos yra skirstomos į klases (žr. priedo A1 lentelę). Svarbu į jas atsižvelgti projektuojant statinį.

Statinių konstrukcijų fizinio nusidėvėjimo trukmę galima suskirstyti į tris periodus:

– statinio 2–5 metų trukmės prisitaikymo periodas, kai pasireiškia deformacijos dėl pamatų nuosėdžių ir konstrukcijų įrąžų persiskirstymo,
– normalus naudojimas, lėtas konstrukcijų senėjimas, kai statinio konstrukcijų reikiama būklė palaikoma tinkama priežiūra,

– pagreitintas nusidėvėjimas (20–40 % norminės statinio naudojimo trukmės), kai konstrukcijų ir jų elementų pažaidos plečiasi intensyviai.

Pagreitinto nusidėvėjimo periodu statiniai dažnai griaunami dėl labai padidėjusių priežiūros išlaidų.

Konstrukcijų (ar jų elementų) fizinio nusidėvėjimo intensyvumas yra skirtingas. Jis gali būti išreikštas formule (%):

$$Q_k = \sum_{i=1}^{n} Q_i \, P_i / P_k, \tag{2.1}$$

čia Q_k – konstrukcijos fizinis nusidėvėjimas, (%); Q_i – konstrukcijos i-ojo ruožo fizinis nusidėvėjimas, (%), kuris gali būti nustatomas pagal specialius norminius duomenis, priklausomai nuo pažaidos pobūdžio, didumo, konstrukcijos naudojimo trukmės ir kt. rodiklių; P_i ir P_k – pažeistojo i-ojo ruožo ir visos konstrukcijos matmuo (m^2 ar m); n – pažeistųjų ruožų skaičius.

Pagal konstrukcijų fizinį nusidėvėjimą galima nustatyti viso statinio fizinį nusidėvėjimą:

$$Q_p = \sum_{i=1}^{n} Q_{ki} \, a_i, \tag{2.2}$$

čia $Q_{ki} = Q_k$ – atskiros i-osios konstrukcijos (ar elemento) fizinis nusidėvėjimas, nustatytas pagal (2.1) formulę; a_i – i-osios konstrukcijos santykinė kaina viso statinio vertės atžvilgiu, (%); n – statinio konstrukcijų skaičius.

Laikoma, kad esant statinio konstrukcijų fiziniam nusidėvėjimui daugiau kaip 40 %, būklė yra nepatenkinama ir konstrukcijos turi avarinės būklės požymių.

Konstrukcijų medžiagų senėjimas yra neišvengiamas procesas, kurį galima tik sulėtinti tinkamai prižiūrint statinį. Statinio konstrukcijų senėjimo (ilgalaikiškumo) prognozė yra sudėtingas, daugiakriteris uždavinys, susijęs su konstrukcijų medžiagų ir aplinkos poveikių tarpusavio sąveika. Galimi tokie pagrindiniai ilgalaikiškumo prognozės etapai (Алексеев *et al.* 1990):

– suformuluojami statinio naudojimo reikalavimai ir medžiagų galimų pažaidų kriterijai;
– pasirenkami numatytų naudoti medžiagų tinkamumo kritiniai rodikliai ir numatomos šių medžiagų degradacijos ribos;
– siekiant nustatyti būsimą medžiagos pažeidimo mechanizmą gali būti atliekami pagreitinti prognoziniai tyrimai, kurių rezultatai lyginami su ilgalaikių bandymų, atliktų statinio naudojimo sąlygomis, duomenimis;
– atsižvelgiant į prognozinių ir ilgalaikių tyrimų rezultatus sukuriamas konstrukcijos medžiagos matematinis degradacijos modelis;
– apskaičiuojama konstrukcijos naudojimo trukmė pagal medžiagos degradacijos modelį.

Prognozei supaprastinti degradacijos modelyje paranku taikyti apibendrintą pažaidos konstantą λ, kuria įvertinamos aplinkos sąlygos ir konstrukcijos bei medžiagų savybės. Bendruoju atveju konstrukcijos savybių pokyčius galima išreikšti formule (Kamaitis 2000):

$$S(t) = S_0 + \int_0^t \lambda(t)dt \,, \qquad (2.3)$$

čia S_0 – konstrukcijos rodiklio pradinė reikšmė; $\lambda(t)$ – pažaidos konstanta.

Taigi $\lambda(t)$ konstanta yra kaip medžiagos korozijos ir kitokių pažaidų rodiklis, kuris gali būti nustatytas laboratoriniais ar natūriniais tyrimais, kaupiant ir sisteminant ilgalaikių stebėjimų duomenis.

Defektai ir pažaidos vertinami pagal *pavojingumą, plitimo tendencijas ir prognozės galimybę, atsiradimo laiką ir priežastis, jų aptikimo ir pašalinimo galimybę.*

Saugos ribinio būvio atžvilgiu aktualiausias yra defektų ir pažaidų vertinimas pavojingumo požiūriu. Jie gali būti santykinai suskirstyti į keturias kategorijas (Jokūbaitis 2007):

– *pirmosios* kategorijos – nepavojingi, neturintys tendencijos plisti, bet nepageidautini estetikos ir higienos sumetimais (gera konstrukcijų būklė);

– *antrosios* kategorijos – turintys neigiamą poveikį konstrukcijų laikomajai galiai, pleišėjamajam atsparumui, standumui ir naudojimo trukmei; laikui bėgant pažaidos gali plisti ir konstrukcijų ar jų elementų deformacijų ir plyšių rodikliai gali viršyti projektavimo normų leistinąsias reikšmes (patenkinama konstrukcijų būklė);
– *trečiosios* kategorijos defektai ir pažaidos yra pavojingi – reikšmingai sumažėjusi konstrukcijų laikomoji galia (vėliau gali būti pasiektas saugos ribinis būvis), atsivėrę neleistino didumo plyšiai ir pasireiškusios neleistinos deformacijos (nepatenkinama būklė, tačiau tyrimų metu konstrukcijos dar galimos naudoti);
– konstrukcijos ar jų elementai su *ketvirtosios* kategorijos defektais ir pažaidomis turi avarinės būklės požymių.

Pirmosios kategorijos defektai ir pažaidos yra pašalinami arba paslepiami, pavyzdžiui, įrengiant kabamąsias lubas ir pan. Antrosios kategorijos defektus ir pažaidas patartina pašalinti, apie jų palikimo galimybę sprendžiama atliekant specialiuosius (dažnai ilgalaikius) tyrimus ir tikrinamuosius skaičiavimus (žr. 5 sk.). Konstrukcijas su trečiosios kategorijos defektais ir pažaidomis būtina remontuoti atstatant projektines savybes.

Statinio konstrukcijų avarinės situacijos (STR 1.10.01: 2002) priežastis būna ketvirtosios kategorijos defektai ir pažaidos, kurie gali būti statinio projektavimo, statybos ar naudojimo klaidų pasekmė. Tokios klaidos atsiranda dėl žemos specialistų kvalifikacijos, aplaidumo ir atsakingumo stokos. Dažnai avarinių situacijų susidarymą lemia daug priežasčių, t. y. sumuojasi projektavimo, statybos ir naudojamo statinio techninės priežiūros klaidos. Avarinei situacijai susidaryti turi poveikį ir netiesioginės priežastys. Netiesioginės avarinių situacijų susidarymo priežastys gali būti įstatymų spragos, finansiniai ribojimai, valdymo bei organizaciniai nesklandumai ir kitos sąlygos, darančios poveikį statinio projektų parengimo ir statybos darbų kokybei. Prie nepalankių sąlygų galima priskirti:
– pasitaikančius atvejus, kai leidžiama pradėti statybos darbus esant nebaigtam rengti statinio darbo projektui, apsiribojant tik architektūrine ir konstrukcine projekto dalimi (techninio projekto stadija be reikiamo laikančiųjų konstrukcijų ir jų jungčių detalumo);

projektuotojai verčiami statybos metu skubiai priimti sudėtingus konstrukcinius sprendinius ir todėl sunku išvengti klaidų;
- pasitaikančius atvejus, kai neatsakingai atliekama statinių projektų ekspertizė, statinių projektų vykdymo ir statybos techninės priežiūros;
- statytojo užsakymu keičiamus tūrinius ir planinius statinio sprendinius statybos metu;
- kvalifikuotų projektuotojų, statybos vadovų ir statybos darbininkų trūkumą (specialistų rengimo, inžinierių kvalifikacijos kėlimo spragos, susiskaidymas į smulkias projektavimo grupes – UAB ar individualias įmones, emigracija ir t. t.);
- nepakankamai ištirta greta esančių statinių, inžinerinių tinklų būklė, statant naujus pastatus tankiai užstatytuose senamiesčių kvartaluose (statybos darbų sukelti grunto hidrologinio režimo ir struktūros pokyčiai, vibracija, veikianti šalia esančių statinių pamatų, gali sukelti šių statinių sienų pleišėjimą, neleistinas deformacijas, o kartais ir statinio ar jo dalies griūtį).

Prie statomų objektų esančių statinių būklės tyrimų tvarka turėtų būti labiau reglamentuota įstatymų.

Kai konstrukcijos turi ketvirtosios kategorijos defektų ir pažaidų, pirmiausia reikia užtikrinti žmonių saugą, nedelsiant spręsti organizacinius klausimus dėl statinio avarinės būklės pripažinimo įstatymo nustatyta tvarka (STR 1.12.01:2004) ir stipriai pažeistas konstrukcijas skubiai stiprinti arba keisti naujomis.

Techninėje literatūroje pavojingumo požiūriu galima rasti ir kitokių konstrukcijų defektų ir pažaidų klasifikacijų (Venskevičius, Janickas 1996; Kamaitis 1995; Thienel 2009).

Pagal plitimo tendencijas pažaidos gali plisti laipsniškai, tuomet jas galima patikimai prognozuoti, arba atsirasti ir išplisti staiga ir netikėtai. Prie laipsniško pažaidų plitimo galima priskirti medžiagų valkšnumo ir traukumo sukeltas deformacijas, koroziją ir destrukciją. Šių procesų pasekmes (pažaidas) nesunku pastebėti. Kai pažaidos nelauktai atsiranda dėl atsitiktinių perkrovų, transporto poveikių ir pan., jas prognozuoti ir vertinti yra sudėtinga.

Pagal atsiradimo laiką ir priežastis defektai ir pažaidos yra technologinės prigimties: atsirado gaminant konstrukcijas ar statybos metu (dėl projektavimo ar statybos klaidų) arba išryškėjo vėliau jau statinio naudojimo metu (dėl projektavimo, statybos ar statinio naudojimo klaidų).

Pažaidos ir defektai gali būti klasifikuojami pagal galimybę aptikti: išoriniai (matomi), kuriuos nesunku aptikti vizualios apžiūros metu, ir vidiniai (paslėpti), nustatomi pagal šalutinius požymius arba naudojant specialius prietaisus.

To paties pobūdžio ir didumo defektai ar pažaidos gali būti vertinami skirtingai – atsižvelgiant į statinio svarbą ir naudojimo trukmę, konstrukcijų svarbumo laipsnį, statybinių medžiagų savybes, agresyviosios aplinkos pobūdį, statinio fizinio nusidėvėjimo lygį ir t. t.

2.2. Konstrukcijų būklės rodiklių vertinimas patikimumo požiūriu

Konstrukcijų ir medžiagų savybių rodikliai negali būti išmatuoti arba nustatyti absoliučiai tiksliai. Visi dydžiai neišvengiamai išmatuojami esant tam tikroms paklaidoms. Be to, matavimai beveik visuomet išreiškiami skaičiais, kurių reikšminių skaitmenų skaičius yra ribotas. Paprasčiau tariant, kad ir kaip tiksliai būtų išmatuotas tam tikras dydis, realiai jis gali būti išreikštas tik baigtiniu reikšminių skaitmenų skaičiumi. Todėl iš principo neįmanoma žinoti tikslios išmatuoto dydžio reikšmės. *Matavimo paklaida* arba *absoliučioji matavimo paklaida* – tai matuojamojo dydžio matavimo rezultato ir tikrosios matuojamojo dydžio vertės skirtumas (Valiukėnas, Žilinskas 1998) (žr. (2.4) formulę). Kaip jau minėjome, tikroji vertė nėra žinoma, todėl taikoma *sutartinė tikroji vertė*. Tam tikrais atvejais sutartinė tikroji vertė gali būti prilyginama etaloninei vertei. Tačiau statybos inžinerijoje *sutartinė tikroji vertė* dažniausiai nustatoma iš kelių matuojamo dydžio rezultatų. Idealiuoju atveju bandymų skaičius turėtų būti begalinis. Tačiau realiai to negalima įgyvendinti, todėl apsiribojama tam tikru bandymų skaičiumi ir sprendžiama apie tikrąją vertę. Matematinėje statistikoje empirinė reikšmė, gauta iš riboto bandymo skaičiaus, vadinama įverčiu. Gana dažnai įvertis gali būti vidutinė reikšmė.

Tačiau medžiagų stiprumo, deformatyvumo rodikliams apibūdinti taikomos vadinamosios *charakteristinės* reikšmės. Pvz., skaičiuojant konstrukcijas betono ir medienos stiprio charakteristinė reikšmė yra 0,05 kvantilio, kai maža stiprio reikšmė yra nepalanki, arba 0,95 kvantilio, kai nepalanki didelė stiprio reikšmė. Todėl minėtu atveju sutartinė tikroji vertė gali būti 0,05 arba 0,95 kvantilio.

Matavimo paklaida:

$$\Delta u = u - u_{con}\,, \tag{2.4}$$

čia u – matavimo rezultatas; u_{con} – sutartinė tikroji vertė.

Matavimo paklaidai Δu nustatyti esant numatytai tikimybei p dažniausiai taikoma tikimybių teorija. Galima ir priešingai – pagal numatytą matavimo paklaidą Δu nustatyti tikimybės p vertę. Svarbu žinoti ir tikimybių teoriją: jeigu matuojamas dydis u yra atsitiktinis ir gali įgyti bet kokią reikšmę (skaičių) iš nustatyto intervalo, tai tikimybė, kad tikroji vertė bus lygi kažkokiai konkrečiai reikšmei, visuomet lygi nuliui, t. y. $p = 0$.

Labai dažnai matavimo paklaida su ta pačia tikimybe gali būti teigiama ir neigiama. Todėl pagal (2.4) formulę matavimo rezultatas:

$$u_{con} = u \pm \Delta u\,. \tag{2.5}$$

Reikia pabrėžti, kad ši formulė nurodo sutartinės tikrosios vertės u_{con} galimą sklaidą. Tačiau iš tikrųjų sutartinė tikroji vertė u_{con} gali keistis tik tokiame intervale:

$$(u - \Delta u) \le u_{con} \le (u + \Delta u)\,. \tag{2.6}$$

Matavimo paklaidos skirstomos į *sistemingąsias* ir *atsitiktines*.

Sistemingoji paklaida yra vidurkio ir tikrosios vertės skirtumas. Taip pat sistemingoji paklaida yra lygi paklaidos Δu ir atsitiktinės paklaidos skirtumui. Sistemingosios paklaidos skirstomos į *pastoviąsias* ir *kintamąsias*. Pastoviųjų sistemingųjų paklaidų didumas nekinta visų matavimų metu. Apskritai kintamųjų sistemingųjų paklaidų dydis matavimo procese gali kisti pagal bet kokį dėsnį. Dėl šių paklaidų matuojamo dydžio vidurkis skiriasi

nuo tikrosios reikšmės. Sistemingąsias konstrukcijos nuokrypių paklaidas sukelia matavimo priemonių netikslumai, pvz., klaidingas gradavimas.

Atsitiktinė paklaida yra konkretaus matavimo rezultato ir visų matavimų vidurkio skirtumas. Kadangi vidurkis paprastai yra nežinomas (žinomas tik jo įvertis, kuris gaunamas remiantis ribotu bandymų skaičiumi), tai atsitiktinė paklaida dažniausiai taip pat yra įvertis.

Atsitiktines paklaidas sukelia įvairių reiškinių kitimas. Suprantama, kad šie reiškiniai veikia matavimo rezultatą. Pavyzdžiui, tarkime, kad reikia išmatuoti betoninio bandinio ilgį. Žinoma, kad kintant aplinkos drėgmei ir temperatūrai, keisis jo matmenys. Taip pat dėl temperatūros pokyčio keisis matavimo priemonės ilgis. Faktiškai neįmanoma sukurti tokių sąlygų, kad būtų pastovi drėgmė ir temperatūra. Nors ir labai mažai, tačiau šie dydžiai chaotiškai kis ir turės poveikį matavimo rezultatams. Realiai yra gerokai daugiau veiksnių (atsitiktinai kintančių laiko ir erdvės atžvilgiu), įvairiai lemiančių matavimo rezultatus. Daugeliu atvejų net nežinoma, kiek reikšmingai šie veiksniai turi įtakos matavimo rezultatams (Kubilius 1980).

Be minėtų paklaidų, dar yra *riktai*. Tai didelės klaidos, susidarančios dėl neteisingo rodmenų nuskaitymo ar užrašymo.

Matuojamasis dydis gali būti išmatuotas *tiesiogiai* arba *netiesiogiai*. Pirmuoju atveju reikalingas dydis nustatomas pagal matavimo prietaiso rodmenis, pvz., matuojant ilgį, temperatūrą, masę, jėgą, poslinkius. Tačiau negalime tiesiogiai išmatuoti tokių dydžių, kaip įtempiai, lenkimo momentai ir t. t. Šie dydžiai apskaičiuojami iš tam tikrų funkcinių sąryšių. Matuojamo dydžio netiesioginio įvertinimo bendroji išraiška yra tokia:

$$Y = f(X_1, X_2, ..., X_n), \tag{2.7}$$

čia X_i, kai $i = 1 \ldots n$, yra kintamieji dydžiai, kuriuos galima tiesiogiai arba netiesiogiai išmatuoti. Kaip jau minėta, nei vieno matuojamo dydžio reikšmės nėra absoliučiai tikslios, todėl vienokiu ar kitokiu būdu nustatytos kintamųjų X_i reikšmės yra įverčiai x_i. Tuomet iš (2.7) gauname, kad matuojamo dydžio Y reikšmės taip pat yra Y įvertis y_{est}:

$$y_{est} = f(x_1, x_2, ..., x_n). \tag{2.8}$$

Pravartu žinoti, kad tiesiogiai matuojamo dydžio paklaidos įvertinimas yra daug paprastesnis, nei netiesiogiai įvertinamo matuojamojo dydžio. Netiesiogiai matuojamo dydžio paklaidai įvertinti reikia taikyti vadinamąjį *klaidų sklidimo dėsnį* (ang. *law of propagation of uncertainity*), kuris yra pagrįstas bendros (2.7) formulės konkrečios išraiškos skleidimu *Teiloro* eilute. Šiame darbe išdėstyta tik tiesiogiai įvertinamų matuojamų dydžių paklaidų skaičiavimas. Suprantama, kad tam tikrais atvejais šią metodiką galima taikyti ir netiesioginių matavimų paklaidoms apskaičiuoti, imant įverčius y_{est} kaip tiesiogiai išmatuotus.

Matavimo paklaidų apskaičiavimo būdas pateiktas toliau.

Tarkime, kad sistemingųjų paklaidų nėra, arba išmatuoti dydžiai perskaičiuoti, atmetant sistemingąsias paklaidas. Kaip jau minėjome, paklaidų skaičiavimas remiasi tikimybių teorija. Todėl toliau tekste vartosime tikimybių teorijos ir matematinės statistikos sąvokas. Pagal šias teorijas matuojamasis dydis traktuojamas kaip atsitiktinis. Matuojamasis atsitiktinis dydis toliau tekste bus žymimas didžiąja raide (pvz., X), o konkreti jo skaitinė reikšmė mažąja raide (pvz., x). Skaičiuodami paklaidas taip pat imsime, kad X yra tolydusis dydis, t. y. galintis įgyti bet kokią skaitinę reikšmę iš tam tikro intervalo.

Atsitiktinis dydis apibūdinamas pasiskirstymo $F(\bullet)$ arba (ir) tankio $\varphi(\bullet)$ funkcijomis. Sąryšis tarp $F(\bullet)$ ir $\varphi(\bullet)$ funkcijų ir tikimybės, kad X reikšmės bus mažesnės ar lygios konkrečiai reikšmei x, yra toks:

$$\Pr(X \le x) = F(x) = \int_{-\infty}^{x} \varphi(z)dz. \tag{2.9}$$

Tikimybė, kad X įgis reikšmes iš intervalo $[x_1 \le X \le x_2]$, kai $x_1 \le x_2$, yra tokia:

$$\Pr(x_1 \le X \le x_2) = F(x_2) - F(x_1) = \int_{-\infty}^{x_2} \varphi(z)dz - \int_{-\infty}^{x_1} \varphi(z)dz = \int_{x_1}^{x_2} \varphi(z)dz. \tag{2.10}$$

Žinant pasiskirstymo $F(\bullet)$ arba tankio $\varphi(\bullet)$ funkcijų išraiškas ir nustačius tikimybes $\Pr(X \le x)$ arba $\Pr(x_1 \le X \le x_2)$ ir taikant (2.10) išraišką, galima apskaičiuoti X galimų reikšmių intervalus $[-\infty, x]$ arba $[x_1, x_2]$. Matematinėje statistikoje $[x_1, x_2]$ intervalas dar vadinamas *pasikliautinuoju intervalu* arba *dvigubu pasiliautinuoju intervalu* su tikimybe $\Pr(x_1 \le X \le x_2)$.

Vertinant išmatuotų rezultatų patikimumą labai svarbus $[x_1, x_2]$ intervalo didumas. Kuo mažesnis skirtumas $(x_2 - x_1)$, tuo mažesnė matavimo paklaida. Taikant (2.6) galima užrašyti, kad sutartinės tikrosios vertės u_{con} kitimo intervalas yra toks:

$$x_1 \le u_{con} \le x_2 \,. \tag{2.11}$$

Jeigu rezultatas nukrypsta į didesnių ir mažesnių reikšmių pusę su vienoda tikimybe, tai taikydami (2.6) ir (2.11) formules prilyginame $x_1 = u - \Delta u$ ir $x_2 = u + \Delta u$.

Tuomet gauname, kad skirtumas $x_2 - x_1$ yra lygus dvigubai paklaidai, t. y.

$$x_2 - x_1 = (u + \Delta u) - (u - \Delta u) = 2\Delta u. \tag{2.12}$$

Kaip matome, norint apskaičiuoti paklaidą Δu, reikia žinoti X arba matuojamo dydžio pasiskirstymo arba tankio funkcijas ir įvykių $p_1 = \Pr(X \le x)$ arba $p_2 = \Pr(x_1 \le X \le x_2)$ tikimybes. Kuo mažesnė p_1 ir kuo didesnė p_2, tuo gaunamos didesnės paklaidos Δu, ir atvirkščiai (suprantama, kad $p_1 + p_2 \le 1$). Iš (2.10) akivaizdu, kad kai $x_1 = x_2$, $p_2 = 0$. Iš čia gauname, kad $\Pr(X = x_1) = \Pr(X = x_2) = 0$. Taigi, tikimybė, kad X įgis kažkokią konkrečią reikšmę, yra lygi 0. Jeigu matuojamasis dydis u yra X, tuomet tikimybė, kad u bus lygus kažkokiai konkrečiai reikšmei, irgi yra lygi 0. Iš čia galima daryti išvadą, kad pagal tikimybių teoriją negalima pasakyti, kokia bus matuojamojo dydžio reikšmė, tačiau su numatyta tikimybe galima apskaičiuoti matuojamojo dydžio reikšmių intervalą.

Skaičiuojant paklaidas labai svarbu tikimybių teorijos sąvokomis apibrėžti, kas yra sutartinė tikroji vertė. Kaip jau minėta, ar tai yra vidutinė reikšmė, ar koks nors kvantilis. Tam tikru atveju 0,5 kvantilis gali sutapti su vidutine reikšme. Toks atvejis gali būti, kai tankio funkcija yra simetrinė vidurkio atžvilgiu, pvz., normalusis skirstinys.

Toliau išdėstysime paklaidų skaičiavimo metodiką, kai matuojamasis dydis yra atsitiktinis, pasiskirstęs pagal normalųjį skirstinį $N(\mu, \sigma)$, kurio vidurkis yra μ, o standartinis nuokrypis – σ.

Atsitiktinio dydžio sutartinė tikroji vertė u_{con} yra atsitiktinio dydžio vidutinė reikšmė.

Kai X pasiskirstęs pagal normalųjį skirstinį, tai matuojamojo dydžio paklaidą Δu galima apskaičiuoti taikant normalizuotą normalųjį skirstinį. Normalizuoto normaliojo skirstinio vidurkis $\mu = 0$, o standartinis nuokrypis $\sigma = 1$. Todėl jis bus žymimas $N(0,1)$. Tarkim, kad matuojamieji dydžiai X_k pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį $N(\mu, \sigma)$, kurių vidurkis yra μ, o standartinis nuokrypis yra σ. Tuomet atsitiktinis dydis $X = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} X_k$ taip pat yra pasiskirstęs pagal normalųjį skirstinį. Be to, X vidurkis lygus μ, tačiau standartinis nuokrypis yra $\sigma/\sqrt{n}$ (čia n – matavimų skaičius). Taigi X pasiskirstymo funkcija yra $N(\mu, \sigma/\sqrt{n})$. Iš formulės $X = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} X_k$ matyti, kad X vidurkis lygus X_k vidurkiui, o X standartinis nuokrypis yra $\sigma/\sqrt{n}$ arba $\sqrt{n}$ kartų mažesnis nei X_k standartinis nuokrypis σ. Tai reiškia, kad, didėjant imties dydžiui, atsitiktinių dydžių sumos vidurkio standartinis nuokrypis artėja į 0. Atsitiktinio dydžio X savybės rodo, kad jis gali būti žymimas $N(\mu, \sigma/\sqrt{n})$. Panagrinėsime, kaip galima apskaičiuoti X pasikliautinuosius intervalus ir taip pat paklaidas. Iš tikrųjų bus ieškoma X_k vidurkių vidurkio pasikliautinųjų intervalų. Taikant šiuos intervalus bus apskaičiuotos paklaidos.

Normaliojo skirstinio $N(\mu, \sigma/\sqrt{n})$ tikimybės p kvantiliai x_p apskaičiuojami taip:

$$x_p = \mu + z_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \tag{2.13}$$

čia z_p yra standartinio normaliojo skirstinio $N(0,1)$ p-asis kvantilis (žr. 2.1 pav.). $N(0,1)$ nepriklauso nuo μ ir σ, todėl z_p priklauso tik nuo tikimybės $p = \Pr(Z \le z)$, kuri, kaip jau minėta, yra numatoma. Kadangi $N(\mu, \sigma)$ yra simetrinis μ atžvilgiu, tuomet $N(0,1)$ tikimybės $(1 - p)$ kvantilis yra toks (žr. 2.1 pav.):

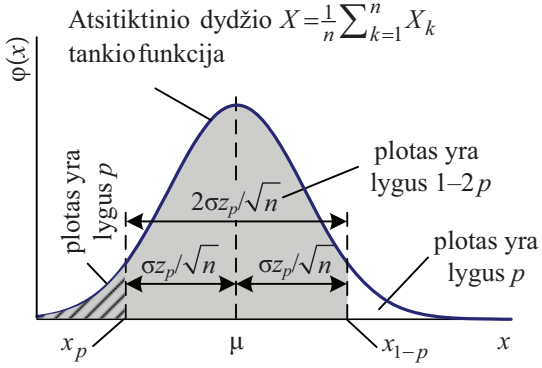
$$x_{1-p} = \mu + z_{1-p} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \tag{2.14}$$

Taikant (2.12) sąryšį gauname matavimo paklaidą:

$$x_{1-p} - x_p = \left(\mu + z_{1-p}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) - \left(\mu + z_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}(z_{1-p} - z_p). \tag{2.15}$$

Kadangi $N(0,1)$ skirstinio z_p ir z_{1-p} kvantiliai absoliutiniu didumu yra lygūs, bet priešingų ženklų, $z_p = -z_{1-p}$. Be to, $z_p \le 0$ ir $z_{1-p} \ge 0$, kai $p \le 0{,}5$, todėl galutinė (2.15) išraiška bus tokia (žr. 2.1 pav.):

$$x_{1-p} - x_p = 2\frac{\sigma}{\sqrt{n}} z_{1-p}. \tag{2.16}$$



2.1 pav. Paklaidos apskaičiavimo schema taikant standartinį normalųjį skirstinį

Tuomet galutinai matavimo paklaida Δu nustatoma taikant (2.12) sąryšį:

$$\Delta u = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} z_{1-p}. \tag{2.17}$$

Pateikti samprotavimai rodo, kad X įgis reikšmes iš $[x_p, x_{1-p}]$ intervalo su $[1 - 2p)$ tikimybe. Kitaip sakant, tikimybė, kad X įgis reikšmes iš $[-\infty, x_p]$ arba iš $[x_{1-p}, +\infty]$ intervalų, lygi p, o tikimybė, kad X įgis reikšmes iš $[-\infty, x_p]$ ir $[x_{1-p}, +\infty]$ intervalų, yra $2p$. Vadinasi, dydis $2p$ rodo X nepatekimo į $[x_p, x_{1-p}]$ intervalą tikimybę. Toliau paprastumo dėlei pažymėsime, kad

$$2p = \alpha, \tag{2.18}$$

tuomet $p = \frac{\alpha}{2}$ (2.2 pav.). Atitinkamais simboliais su indeksu $\alpha/2$ pažymėti kvantiliai atitiks $(1 - \alpha/2)$ kvantilius. Pvz., $z_{\alpha/2}$ ir $t_{\alpha/2}(n - 1)$

reikš standartinio normaliojo ir Stjudento skirstinių $(1 - \alpha/2)$ kvantilius. Matematinės statistikos literatūroje α dar vadinamas klaidos tikimybe, o $(1 - \alpha)$ – pasikliovimo lygmeniu. Šiuo atveju $(1 - \alpha)$ parodo, su kokia tikimybe X įgis reikšmes iš $[x_p, x_{1-p}]$ intervalo.

Standartinio normaliojo skirstinio $(1 - p) = (1 - 0{,}025)$ kvantilis yra $z_{1-p} = 1{,}96$.

Vidurkis μ ir standartinis nuokrypis σ (2.13)–(2.17) formulėse atitinka generalinės aibės vidurkį ir standartinį nuokrypį. Paprastai šie dydžiai iš anksto nėra žinomi. Išbandę riboto dydžio imtis gausime tik šių dydžių įverčius.

Atsitiktinio dydžio, kurio tankis yra $\varphi(x)$, vidurkis $\mathbf{M}X$ ir dispersija $\mathbf{D}X$ skaičiuojami taip:

$$\mathbf{M}X = \int_{-\infty}^{\infty} x\varphi(x)dx, \tag{2.19}$$

$$\mathbf{D}X = \int_{-\infty}^{\infty} x^2\varphi(x)dx. \tag{2.20}$$

Tuomet X standartinis nuokrypis bus $\sqrt{\boldsymbol{D}X}$. Šias reikšmes gautume išbandę visą generalinę aibę, jeigu generalinės aibės elementai būtų pasiskirstę pagal X. Tačiau dažniausiai išbandyti visos generalinės aibės neįmanoma, apie visą aibę tenka spręsti remiantis tik nedidele empirinių duomenų aibe.

Suprantama, kad imtis yra tik visos generalinės aibės poaibis. Todėl bet kokie dydžiai, iš jų vidurkis ir standartinis nuokrypis, apskaičiuoti remiantis riboto dydžio poaibiu, netiksliai apibūdina visą generalinę aibę. Juk paėmę kelis poaibius arba imtis gausime skirtingas nagrinėjamų dydžių reikšmes, pvz., vidurkį ir standartinį nuokrypį. Todėl įvairūs dydžiai, taip pat ir šių aibių atsitiktinių dydžių tam tikrų rodiklių įverčiai, apskaičiuoti remiantis imtimis, iš tikrųjų yra generalinės aibės nagrinėjamų dydžių įverčiai. Imties rodikliai, pvz., vidurkis ir standartinis nuokrypis, literatūroje dažnai vadinami empiriniais (eksperimentiniais) rodikliais.

Matuojamojo dydžio empirinis vidurkis ir empirinis standartinis nuokrypis, žymimi m ir s, apskaičiuojami pagal formules:

$$m = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i, \tag{2.21}$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - m)^2}. \qquad (2.22)$$

čia n – imties narių skaičius, x_i – i-ojo imties nario reikšmė.

Bendruoju atveju $m \neq \mu$ ir $s \neq \sigma$. Todėl (2.13)–(2.17) formulėse vietoje μ ir σ taikydami m ir s gausime apytikslius rezultatus.

Kai imties dydis $n \leq 30$, tuomet paklaidai Δu skaičiuoti (2.17) formulėje taikomas Stjudento skirstinys (2.2 pav.):

$$\Delta u = \frac{s}{\sqrt{n}} t_{\alpha/2}(n-1), \qquad (2.23)$$

čia $t_{\alpha/2}(n-1)$ yra Stjudento skirstinio su $(n-1)$ laisvės laipsnių tikimybės $(1-\alpha/2)$ kvantilis, priklausantis tiek nuo tikimybės $(1-\alpha/2)$, tiek nuo dydžio n (2.2 lent.).

2.2 lentelė. Stjudento skirstinio $(1-\alpha/2)$ kvantiliai, priklausomai nuo imties dydžio n, kai $\alpha/2 = 0{,}025$

Imties dydis n	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$t_{\alpha/2}(n-1)$	4,30	3,18	2,78	2,57	2,45	2,37	2,31	2,26	2,23
Imties dydis n	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$t_{\alpha/2}(n-1)$	2,20	2,18	2,16	2,15	2,14	2,13	2,12	2,11	2,10
Imties dydis n	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$t_{\alpha/2}(n-1)$	2,09	2,08	2,07	2,07	2,06	2,06	2,06	2,05	2,05

Jeigu dydis $n > 30$, tuomet paklaidą Δu galima apskaičiuoti su pakankamu tikslumu taikant minėtą normalizuotą normalųjį skirstinį (2.2 pav.):

$$\Delta u = \frac{s}{\sqrt{n}} z_{\alpha/2}(n-1). \qquad (2.24)$$

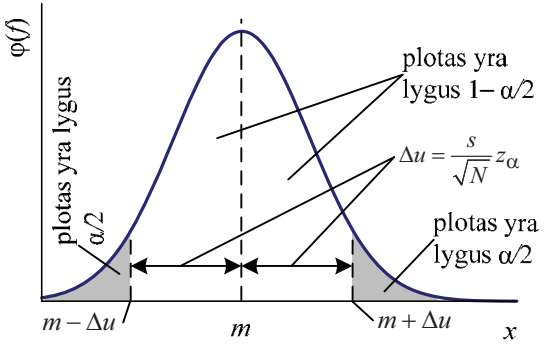
Iš (2.5) gauname, kad matuojamojo dydžio, šiuo atveju vidurkio, pasikliautinis intervalas yra toks:

kai $n \le 30$,

$$m - \frac{s}{\sqrt{n}} t_{\alpha/2}(n-1) \le \mu \le m + \frac{s}{\sqrt{n}} t_{\alpha/2}(n-1); \tag{2.25}$$

kai $n > 30$,

$$m - \frac{s}{\sqrt{n}} z_{\alpha/2} \le \mu \le m + \frac{s}{\sqrt{n}} z_{\alpha/2}. \tag{2.26}$$



2.2 pav. Matavimo rezultato tikimybė nurodytame intervale

Vertinant konstrukcijų atsparumo, pvz., stiprumo, standumo ir t. t. atsargą, jų patikimumas apskaičiuojamas iš lygčių sistemos:

$$\left.\begin{aligned} &Z_d = R_d - E_d = 0, \\ &\mu = \beta\sigma \text{ arba } m = t_\alpha(n-1)s \end{aligned}\right\}, \tag{2.27}$$

čia R_d yra konstrukcijos skaičiuotinio atspario atsitiktinis dydis, E_d – skaičiuotinio poveikio atsitiktinis dydis (gali būti įrąža), Z_d – atsargos dydis, μ (m) ir σ (s) – atspario atsargos vidurkis ir vidutinis kvadratinis nuokrypis normuotoje konstrukcijų aibėje. Reikia pasakyti, kad tiesiogiai taikyti skaičiavimams (2.27) lygčių sistemos negalima, kadangi atsitiktinių dydžių skirtumas apskaičiuojamas sprendžiant šių dydžių tankių funkcijų sąsūką. Kontroliuojamų konstrukcijų vertinimo sąlyga (2.28) garantuoja projektavimo normų siekiamą elementų atsparumo patikimumą:

$$\mu \ge \beta\sigma \,(\text{arba } m \ge t_\alpha(1-\alpha)s). \tag{2.28}$$

Apie konstrukcijų būklės (stiprumo, pleišėtumo ir pan.) vertinimą tikimybiniais metodais plačiau galima sužinoti iš specialios literatūros (Užpolevičius 2006; Venskevičius, Janickas 1996).

Kaip minėta 1.3 skirsnyje, antrajame būklės tyrimų etape konstrukcijos tiriamos ir stebimos. Kad būtų pakankamas tyrimų tikslumas, svarbu atrinkti reikiamą tiriamųjų konstrukcijų kiekį. Statinio konstrukcijų ir jų elementų apžiūra gali būti *ištisoji*, kai tiriamos arba stebimos visos konstrukcijos. Tokių tyrimų pasitaiko gana dažnai, ypač kai tiriami nedideli ir konstrukciniu požiūriu nesudėtingi statiniai. Kai yra daug statinio vienatipių konstrukcijų ir reikia pakankamai patikimai nustatyti jų būklės rodiklius (pvz., armatūros apsauginio betono sluoksnio storį, elementų įlinkį ir pan.), taikoma *atrankinė* apžiūra. Jos metu tiriamos atsitiktinai pasirinktos konstrukcijos ar jų elementai. Jei atrinktų tirti konstrukcijų kiekis yra per mažas, būklės tiriamieji parametrai nustatomi su didesne paklaida, ir priešingai, jei atranka didelė, didėja tyrimų apimtis ir trukmė. Atranka paprastai sudaro nuo 1 iki 20 % viso statinio konstrukcijų kiekio.

Atrankai reikalingas imties narių skaičius n, atitinkantis $(1 - \alpha)$ tikimybę, kad matuojamojo dydžio vidurkis būtų intervale ($m - \Delta u \leq m \leq m + \Delta u$) (žr. 2.2 pav.) išreiškiamas iš (2.23) išraiškos

$$n = \frac{s^2 (t_{\alpha/2}(n-1))^2}{\Delta u^2}, \tag{2.29}$$

čia s – standartinis nuokrypis. Jis gali būti imamas iš ankstesnių analogiškų tyrimų arba apskaičiuojamas pagal (2.22) formulę. (2.29) formulėje $t_{\alpha/2}(n - 1)$ yra Stjudento skirstinio $(1 - \alpha/2)$ kvantilis. Jis gali būti parinktas iš statistinių lentelių. Kai kurios $t_{\alpha/2}(n - 1)$ reikšmės, kai $(\alpha/2) = 0{,}025$, yra pateiktos 2.2 lentelėje. (2.29) formulėje Δu yra iš anksto numatyta paklaida. Kartais gali būti sunku iš anksto parinkti tinkamą paklaidą Δu, pavyzdžiui, jeigu tiriamos naujos rūšies konstrukcijos arba nėra ankstesnių duomenų. Tuomet patogiau taikyti santykinę paklaidą δ (Krapavickaitė, Plikusas 2005):

$$\delta = \Delta u / u_{con} . \tag{2.30}$$

Įrašę šią išraišką į (2.29) gauname reikalingą imties dydį n:

$$n = \frac{s^2 (t_{\alpha/2}(n-1))^2}{(\delta\, u_{con})^2} = \frac{v^2}{\delta^2}(t_{\alpha/2}(n-1))^2, \qquad (2.31)$$

čia $v = s/m$ – variacijos arba kintamumo empirinis koeficientas.

Bandant betoninius ir kt. bandinius gali atsitikti taip, kad netiksliai nurašomi prietaisų rodmenys arba dėl tam tikrų priežasčių aparatūra blogai užfiksuoja bandymo rezultatą. Tada yra rikto atvejis. Riktus galima patikrinti taikant Grabso (Grubs) kriterijų.

Grabso kriterijus riktams nustatyti remiasi prielaida, kad nagrinėjamos imties reikšmės pasiskirsčiusios pagal normalųjį dėsnį. Imtyje gali būti vienas didžiausias riktas, vienas mažiausias riktas, du didžiausi riktai arba du mažiausi riktai.

Pirmiausia tikrinama, ar tai nėra viena kokia nors didžiausioji arba mažiausioji rikto reikšmė. Jeigu nustatomas riktas, tarkime, didžiausioji reikšmė, tuomet šis riktas atmetamas iš tikrinamos aibės ir tikrinama, ar nėra mažiausiosios reikšmės rikto taikant vieno rikto Grabso kriterijų. Jeigu mažiausioji reikšmė yra, turime du riktus – mažiausiąją ir didžiausiąją reikšmę. Pagal LST EN ISO/IEC 17025-2 standartą, kai didžiausiosios ir mažiausiosios reikšmės nėra riktai, taikomas Grabso kriterijus dviem mažiausioms arba dviem didžiausioms reikšmėms.

Tačiau, kai imtyje yra didžiausias ir mažiausias riktas, aprašytoji standarto LST EN ISO/IEC 17025-2 metodika nėra visiškai teisinga. Šiuo atveju reikia taikyti kriterijų, leidžiantį nustatyti iš karto du riktus – didžiausiąjį ir mažiausiąjį (Lemeshko B., Lemeshko S. 2005). Be išvardytų atvejų, imtyje gali būti du didžiausi ir vienas mažiausias riktai ir priešingai – trys mažiausi ir trys didžiausi riktai ir t. t. Tokių riktų nustatymo metodikų LST EN ISO/IEC 17025-2 standarte nepateikta. Tikimybė, kad vienoje imtyje bus trys riktai, labai maža.

Grabso kriterijus, taikomas vienam didžiausiam riktui, yra:

$$G_p = \frac{x_{\max} - m}{s}; \qquad (2.32)$$

ir vienam mažiausiam riktui

$$G_1 = \frac{m - x_{\min}}{s}, \tag{2.33}$$

čia $x_{\max}$ ir $x_{\min}$ yra imties atitinkamai didžiausioji ir mažiausioji reikšmės:

$$x_{\max} = \max\{x_i\}, i = \overline{1 \ldots n}, \tag{2.34}$$

$$x_{\min} = \min\{x_i\}, i = \overline{1 \ldots n}, \tag{2.35}$$

m ir s – vidurkis ir standartinis nuokrypis.

Tam tikra $x_{\max}$ arba (ir) $x_{\min}$ reikšmė yra tariamas riktas (arba tariami riktai), kai apskaičiuotosios G_1 arba G_p reikšmės viršija kritinę reikšmę $G(\alpha = 0{,}05)$. Riktas yra tuomet, kai apskaičiuotosios G_1 arba G_p reikšmės viršija kritinę reikšmę $G(\alpha = 0{,}01)$. Taigi, $x_{\max}$ arba (ir) $x_{\min}$ reikšmės yra tinkamos, kai $G \leq G(\alpha = 0{,}05)$, $x_{\max}$ arba (ir) $x_{\min}$ reikšmės yra tariami riktai, kai $G(\alpha = 0{,}05) < G \leq G(\alpha = 0{,}01)$, ir $x_{\max}$ arba (ir) $x_{\min}$ reikšmės yra riktai, kai $G > G(\alpha = 0{,}01)$, čia $G \in \{G_1, G_p\}$. Kritinės Grabso kriterijaus reikšmės vienam riktui, atitinkančios 0,05 ir 0,01 patekimo į kritinę sritį tikimybę, yra pateiktos LST EN ISO/IEC 17025-2 standarte. Tačiau šiame standarte pateiktosios kritinės reikšmės iš tikrųjų atitinka ne 0,05 ir 0,01 reikšmingumo lygmenis, o atitinkamai 0,025 ir 0,005 (Lemeshko B., Lemeshko S. 2005). Todėl kritinės reikšmės, nurodytos 2.3 lentelėje, paimtos iš originalaus darbo (Grubbs, Beck 1972).

2.3 lentelė. Vieno rikto Grabso kriterijaus kritinės reikšmės

Imties dydis p	Skirtingų reikšmingumo lygmenų kritinės reikšmės					
	0,1 %	0,5 %	1 %	2,5 %	5 %	10 %
3	1,155	1,155	1,155	1,155	1,153	1,148
4	1,499	1,496	1,492	1,431	1,463	1,425
5	1,780	1,764	1,749	1,715	1,672	1,602
6	2,011	1,973	1,944	1,887	1,822	1,729
7	2,201	2,139	2,097	2,020	1,938	1,828
8	2,358	2,274	2,221	2,126	2,032	1,909
9	2,492	2,387	2,323	2,215	2,110	1,977
10	2,606	2,482	2,410	2,290	2,176	2,036

Imties dydis p	Skirtingų reikšmingumo lygmenų kritinės reikšmės					
	0,1 %	0,5 %	1 %	2,5 %	5 %	10 %
11	2,705	2,564	2,485	2,355	2,234	2,088
12	2,791	2,636	2,550	2,412	2,285	2,134
13	2,867	2,699	2,607	2,462	2,331	2,175
14	2,935	2,755	2,659	2,507	2,371	2,213
15	2,997	2,806	2,705	2,549	2,409	2,247
16	3,052	2,852	2,747	2,585	2,443	2,279
17	3,103	2,894	2,785	2,620	2,475	2,309

Reikia paminėti, kad pateikta metodika tinka tik vidutinių reikšmių neapibrėžtumui apibūdinti, kai imtis atitinka normalųjį dėsnį. Kitokių charakteristinių reikšmių neapibrėžtumui nustatyti ir imties dydžiui apskaičiuoti ši metodika netinka.

Paprasčiau betono stiprį galima nustatyti iš sąlygos (*Пособие П* 1-98 *к СНиП* 2.03.01-84*):

$$\frac{f_{c,\max} - f_{c,\min}}{f_{cm}} \le k\,, \tag{2.36}$$

čia $f_{c,\max}$ ir $f_{c,\min}$ – didžiausia ir mažiausia betono stiprio reikšmė; f_{cm} – betono stiprio vidutinė reikšmė; k – koeficientas (2.4 lent.), įvertinantis betono stiprio matavimų n skaičių.

2.4 lentelė. Koeficiento k reikšmės riktams nustatyti

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	0,23	0,28	0,31	0,34	0,37	0,39	0,41	0,42	0,43	0,45

Jei (2.36) sąlyga neįvykdyta, tada reikia didinti matavimų skaičių ar iš skaičiavimo pašalinti $f_{c,\max}$ reikšmę.

Pagal techninės literatūros duomenis (Харьковский …1992), matavimų (bandymų) skaičių n galima nustatyti, taikant patikimumo indeksą β, pagal kurį su 0,9 pasikliautine tikimybe nustatoma apatinė 95 % leidžiamoji riba normaliojo skirstinio atsitiktinei X_i reikšmei (žr. 2.5 lent.).

2.5 lentelė. Matavimų skaičius *n*, atsižvelgiant į patikimumo indeksą β

n	β	*n*	β	*n*	β
5	3,34	9	2,58	15	2,28
6	3,04	10	2,50	20	2,16
7	2,90	11	2,44	30	2,04
8	2,69	12	2,39	≥50	1,94

Pastaba. Tarpinės reikšmės yra interpoliuojamos

2.3. Medžiagų rodiklių charakteristinės reikšmės

Skaičiuojant statinių konstrukcijų laikomąją galią taikomos charakteristinės ir skaičiuotinės poveikių ir medžiagų rodiklių reikšmės. Atliekant statinių konstrukcijų būklės tyrimus nustatomos tikrosios apkrovų ar medžiagų stipruminių rodiklių reikšmių pokyčių ribos (reikšmių aibė). Tiesiogiai gautos reikšmės negali būti taikomos skaičiavimams, todėl turi būti nustatytos gautųjų bandymo reikšmių charakteristinės (būdingosios) reikšmės. Charakteristinės medžiagų stiprio reikšmės skaičiuojamos pagal turimą bandymo reikšmių aibę su garantuojama 95 % tikimybe. Charakteristinėms reikšmėms skaičiuoti LST EN 1990:2004 pateikiami du būdai:

– darant prielaidą, kad visi kintamieji pasiskirsto normaliuoju skirstiniu;
– darant prielaidą, kad visi kintamieji pasiskirsto logaritmiškai normaliuoju skirstiniu.

Minėti charakteristinių reikšmių skaičiavimo būdai pateikti 2.6 lentelėje.

Taikant logoritmiškai normalųjį skirstinį, galima išvengti sunkumų, kylančių taikant normalųjį skirstinį, kai medžiagos savybės kintamumas didelis, o vidurkis mažas. Taikant normalųjį skirstinį galima gauti neigiamas charakteristines reikšmes. Išvengti neigiamų reikšmių galima taikant logoritmiškai normalųjį skirstinį (Zabulionis 2010).

2.6 lentelė. Medžiagų rodiklių charakteristinių reikšmių skaičiavimas

Kintamieji, pasiskirstę normaliuoju skirstiniu	Kintamieji, pasiskirstę logaritmiškai normaliuoju skirstiniu
Aritmetinis vidurkis	
$m_x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} f_i$	$m_y = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \ln(f_i)$
Variacijos koeficientas v_x iš anksto nežinomas Standartinis nuokrypis	
$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum(f_i - m_x)^2}$ ir $v_x = s_x/m_x$	$s_y = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum(\ln f_i - m_y)^2}$
Charakteristinė reikšmė	
$f_k = m_x(1 - k_n v_x)$	$f_k = \exp(m_y - k_n s_y)$

Pastaba: k_n – žr. 2.7 lentelę

2.7 lentelė. 5 % charakteristinės k_n reikšmės (LST EN 1990:2004)

n	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
v_x nežinomas	–	–	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

Pastaba. Ši lentelė sudaryta pagal normalųjį skirstinį

Ankščiau aptartas medžiagų rodiklių charakteristinių reikšmių nustatymo būdas netinka skaičiuojant mūro stiprį, nes mūrui nustatoma ne charakteristinė, o normalizuotoji stiprio reikšmė, kuri neatitinka charakteristinės reikšmės su 95 % tikimybe, nes mūro gaminių ir skiedinio stipriai nustatomi pagal skirtingą patikimumo laipsnį.

3. KONSTRUKCIJŲ DEFEKTAI, PAŽAIDOS IR JŲ PRIEŽASTYS

3.1. Gelžbetoninės konstrukcijos

Gelžbetoninių konstrukcijų defektai yra *technologinės prigimties*, o pažaidos atsiranda *statinio naudojimo* metu. Technologiniai betono defektai yra susiję su betono mišinio ruošimu (betono sudėties parinkimu ir dozavimu), mišinio tankinimu, transportavimu ir kietėjimo sąlygomis. Šiems defektams atsirasti taip pat turi reikšmės armatūros kiekis ir jos padėtis elemento skerspjūvyje, betono apspaudimo įtemptąja armatūra procesas, armatūros jungčių ir inkaravimo būdai, konstrukcijų skerspjūvio pavidalas, klojinių sistema. Technologiniai armatūros defektai – tai įvairios armatūros ir įdėtinių detalių padėties nuokrypos gaminyje, blogos kokybės armatūros dirbinių virintinės siūlės ir kt. Prie technologinių defektų reikia priskirti surenkamųjų gelžbetoninių konstrukcijų atrėmimo, padėties, jungčių neleistinąsias nuokrypas (leistinosios nuokrypos yra reglamentuojamos LST EN 13670). Taigi technologiniai defektai atsiranda dėl gelžbetoninių konstrukcijų projektavimo, gamybos ir montavimo klaidų.

Statinio naudojimo metu atsiradusios konstrukcijų pažaidos yra susijusios su armatūros ir betono savybių pokyčiais, koroziniais procesais, kurie priklauso nuo aplinkos poveikių pobūdžio, trukmės, intensyvumo bei šių poveikių derinių. Dažnai tokių pažaidų pradinė priežastis yra technologiniai defektai. Naudojimo metu atsiradusios konstrukcijų pažaidos turi tendenciją plisti, tampa vis pavojingesnės, vis labiau trukdo naudoti statinį pagal paskirtį. Norint išvengti šių pažaidų arba bent sumažinti jų poveikį konstrukcijų būklei, būtina efektyvi ir laiku atliekama 1.1 skirsnyje minėta viso statinio techninė priežiūra – periodinės statinio būklės apžiūros ir konstrukcijų remontai.

Viena dažniausiai pasitaikančių gelžbetoninių konstrukcijų pažaidų yra *pleišėjimas*. Betono pleišėjimo priežasčių yra daug (3.1 lent.) (Jokūbaitis 2007). Plyšiai gali būti technologiniai ir atsivėrę konstrukcijų naudojimo metu, dėsningi, susidarę veikiant projektinėms apkrovoms arba netikėti – nuo įvairių atsitiktinių poveikių.

3.1 lentelė. Gelžbetonio pleišėjimas

Eil. Nr.	Priežastys	Požymiai	Laikas	Pleišėjimo kontroliavimo priemonės
1.	Šviežio betono slūgimas	Mažo gylio išilginiai plyšiai virš armatūros	Pirmosios kietėjimo valandos	Betono sudėtis, mišinio tankinimas
2.	Ankstyvasis betono traukumas	Didelio gylio plyšiai virš viršutinės armatūros	Pirmosios kietėjimo valandos	Betono sudėtis, mišinio tankinimas, betono kietėjimo sąlygos
3.	Šilumos išsiskyrimas vykstant betono hidratacijai	a) Plyšiai, statmeni senojo betono sluoksniui b) Plyšiai, statmeni skerspjūvio viršaus plokštumai, ribotas gylis	1–2 dienos po betonavimo Vėstant paviršiniam sluoksniui	Betono sudėtis, cemento rūšis, kietėjimo sąlygos, armavimas Temperatūros pokyčių ribojimas
4.	Betono traukumas	Plyšiai, statmeni skerspjūvio viršaus plokštumai, ribotas gylis	Keli mėnesiai po betonavimo	Betono sudėtis, cemento rūšis, kietėjimo sąlygos, armavimas
5.	Temperatūros poveikiai	a) Dėl suvaržytų deformacijų normaliniai ir įstrižieji plyšiai b) Plyšiai dėl netolygaus skerspjūvio įkaitimo	Naudojimo metu esant temperatūros pokyčiams	Armavimas, armatūros išankstinis įtempimas, betono sudėtis

3.1 lentelės tęsinys

Eil. Nr.	Priežastys	Požymiai	Laikas	Pleišėjimo kontroliavimo priemonės
6.	Atrėmimo sąlygų pokyčiai (atramų deformacijos)	Dėl suvaržytų deformacijų normaliniai ir įstrižieji plyšiai	Atsiradus atrėmimo pokyčiui	Jungčių tipas, armavimas, armatūros išankstinis įtempimas
7.	Išankstinis betono apspaudimas	a) Normaliniai plyšiai ekscentriškai gniuždant elemento skerspjūvį b) Išilginiai plyšiai dėl betono skėlimo armatūros inkaravimo zonoje	Betono apgniuždymo metu	Išankstinis armatūros įtempimas, skerspjūvio matmenys, armavimas, betono stiprumas
8.	Apkrovų sukeltos įrąžos	a) Normaliniai plyšiai, veikiant lenkiamiesiems momentams ar jų ir išilginių jėgų deriniui b) Įstrižieji plyšiai, veikiant skersinėms jėgoms ir lenkiamiesiems momentams c) Įvijiniai plyšiai, veikiant sukamiesiems ir lenkiamiesiems momentams bei skersinėms jėgoms d) Išilginiai plyšiai, esant šlyčiai, lenkimui plokščių ir briaunų jungčių kampuose	Konstrukciją apkrovus	Armavimas, skerspjūvio matmenys, betono savybės, senojo ir naujojo betono sankiba

Eil. Nr.	Priežastys	Požymiai	Laikas	Pleišėjimo kontroliavimo priemonės
9.	Armatūros korozija	Išilgai armatūros atsivėrę plyšiai	Po daugelio metų	Gelžbetonio apsauginės antikorozinės dangos, aplinkos sąlygos, skersinis armavimas
10.	Vietinis betono gniuždymas	Tankūs vietiniai betono plyšiai po sutelktosiomis apkrovomis	Konstrukciją apkrovus	Armavimas, padėklai, betono stiprumas
11.	Ribiniai gniuždomojo betono įtempiai	Smulkūs išilginiai plyšiai gniuždomojoje zonoje	Betonui irstant	Betono stiprumas, armavimas, skerspjūvio matmenys
12.	Įtempių koncentracijos vietos	Plyšiai prie angų kampų plokščiosiose konstrukcijose ir pan.	Gali atsiverti statybos metu	Armavimas, betono stiprumas
13.	Šaltis	Plyšiai tuštymėtųjų konstrukcijų sienelėse, atsivėrę šąlant vandeniui tuštymėse	Esant neigiamai temperatūrai	Priemonės, neleidžiančios kauptis vandeniui tuštymėse
14.	Smūginė apkrova	Plyšių voratinklis, tankėjantis prie apkrovos poveikio vietos	Smūgio metu	Konstrukcijos storis, betono savybės, armavimas

Technologiniai plyšiai (nurodyti 3.1 lent., 1, 2, 3 ir 4 punktai) dažniausiai priskiriami 1-osios ar 2-osios kategorijų defektams. Betono plyšiai, atsivėrę nuo apspaudimo įtemptąja armatūra (3.1 lent., 7 eil.), gali būti 2-osios ar 3-osios kategorijų defektai. Kai išilginio plyšio (3.1 lent., 7 b punktas) plotis įtemptosios armatūros inkaravimo zonoje yra didesnis kaip 0,1 mm, defektas gali būti priskiriamas 4-ajai kategorijai.

Kai projektuojami riboto pločio dėsningi, projektinių apkrovų sukelti normaliniai ir įstrižieji plyšiai (3.1 lent., 8 a ir 8 b punktai) nemažina lenkiamųjų konstrukcijų laikomosios galios ir faktiškai neturi poveikio jų ilgalaikiškumui, jie priskirtini 1-osios kategorijos defektams. Kai nuo perkrovos šių plyšių pločiai ties tempiamosios armatūros lygiu viršija projektavimo normų reglamentuojamus dydžius, jie jau yra pažaidos. Laikoma, kad paprastojo gelžbetonio iki 0,5 mm pločio plyšių, atsivėrusių nuo palyginti nedidelės perkrovos, neigiamas poveikis ryškesnis tik elementų standumo ir ilgalaikiškumo sumažėjimui (2-osios kategorijos defektai). Surenkamojo gelžbetonio konstrukcijų normaliniai ir įstrižieji plyšiai, kurių pločiai viršija 0,5 mm ribą, gali būti priskiriami prie 3-osios ar net 4-osios kategorijos pažaidų (3.1 pav.). Taip pat prie 3-osios ir 4-osios kategorijos pažaidų reikia priskirti daugiau kaip 2 mm pločio monolitinėje gelžbetoninėje perdangoje atsivėrusius normalinius ar įstrižuosius plyšius. Įtemptojo gelžbetonio konstrukcijose, kuriose pagal projekto reikalavimus neturėtų būti jokių plyšių, atsivėrę plyšiai laikomi 3-osios ar 4-osios kategorijos pažaidomis. Lyginant su paprastojo gelžbetonio konstrukcijomis, plyšių pločiai, viršijantys projektavimo normų leidžiamas ribas, yra daug pavojingesni įtemptojo gelžbetonio elementuose.

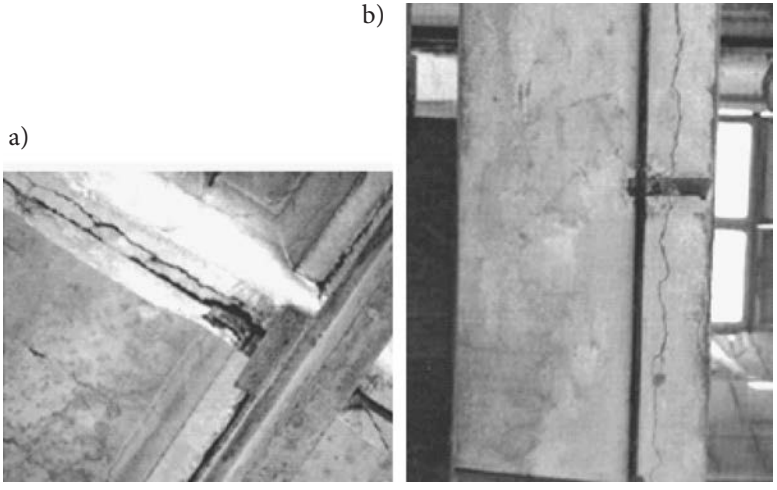
Atsivėrę įvijiniai konstrukcijų plyšiai (3.1 lent., 8 c punktas) byloja apie pavojingą sukamųjų momentų poveikį konstrukcijos būklei. Tokių 1–3 mm ir didesnio pločio plyšių atsivėrimas nekarpytose monolitinėse konstrukcijose yra priskiriamas prie 3-osios ar 4-osios kategorijų pažaidų.

Dėl betono skėlimo veikiant tangentiniams sankibos įtempiams tarp armatūros ir betono, tarp atskirų betono sluoksnių, staigaus skerspjūvio pasikeitimo vietose (pvz., tarp tėjinio skerspjūvio sienelės ir lentynos), gali atsiverti išilginiai plyšiai (3.1 lent., 8 d punktas). Šie plyšiai pažeidžia konstrukcijos vientisumą ir yra pavojingi, nes mažina konstrukcijų laikomąją galią ir standumą.

Storėjant armatūros rūdžių sluoksniui, vis labiau slegiamas betonas. Jame sukyla tempiamieji įtempiai, kuriems viršijus betono tempiamąjį stiprį, išilgai armatūros atsiveria plyšiai, perplėšdami armatūros apsauginį betoninį sluoksnį (3.1 lent., 9 eil.). Didesnis nei 1 mm plyšių atsivėrimo plotis rodo, kad vyksta intensyvi armatūros korozija ir mažėja jos skerspjūvis. Tokios pažaidos yra pavojingos ir priskirtinos 3-ajai ar

4-ajai kategorijai (3.2 pav.). Nors konstrukcijų būklės tyrimų praktikoje pasitaikė atvejų, kai monolitinės gelžbetoninės sijos ir briaunotos stogo plokštės su išilgai pagrindinės armatūros atsivėrusiais 2–3 mm pločio plyšiais buvo naudojamos dar 10–15 metų.

3.1 pav. Platus normalinis sijos plyšys



3.2 pav. Išilginiai plyšiai: a – surenkamosios stogo plokštės briaunoje; b – kolonoje

Ypač pavojingas tokių plyšių atsivėrimas yra armatūros inkaravimo zonoje (3.2 pav., a), nes gali būti pažeista armatūros ir betono sankiba. Aiškūs avarinės būklės požymiai būna tada, kai tokiais plyšiais atskeliamas (dažnai vietomis visiškai nukrinta) armatūros apsauginis sluoksnis ir lieka tik armatūros nurūdijusių rumbų pėdsakai. Plyšių atsivėrimas išilgai iš anksto įtemptos armatūros rodo, kad bet kokiu atveju yra susidariusi pavojinga konstrukcijos būklė.

Po sutelktosiomis apkrovomis, pasireiškus didelėms skersinėms deformacijoms, glemžiamas betonas gali supleišėti (3.1 lent., 10 eil.). Lygiagrečiai su apkrovos veikimo kryptimi atsivėrę tankūs, nedidelio pločio ir ilgio plyšiai byloja apie šios zonos betono būklę, kuri artima irimo stadijai.

Konstrukcijų atramų poslinkiai gali sukelti įrąžų persiskirstymą statiškai nesprendžiamose sistemose ir atverti įvairiai orientuotus normalinius ir įstrižuosius (3.1 lent., 6 eil.) plyšius. Dažnai tokių plyšių atsivėrimo priežastis yra netolygūs pamatų nuosėdžiai dėl grunto deformacijų. Taip pat statinio pamatų deformacijas ir antžeminių gelžbetoninių konstrukcijų pleišėjimą gali sukelti greta pamatų augančių medžių šaknys. Tokie plyšiai dažniausiai priskiriami 2-ajai ar 3-ajai defektų kategorijai, bet kai kuriais atvejais gali būti vertinami ir kaip avarinės būklės požymiai.

Dažnai statinio konstrukcijose ar jų elementuose plyšiai atsiveria dėl statinių vidaus ar išorės temperatūros pokyčių (3.1 lent., 5 eil.). Temperatūros pokyčių sukeltos gelžbetonio medžiagų deformacijos yra varžomos konstrukcijų atramų įtvirtinimo, jungčių su gretimomis konstrukcijomis ar jų elementais. Šios pažaidos dažniausiai yra 2-osios ar 3-osios kategorijos.

Konstrukcijų betono pleišėjimo (paviršinių sluoksnių aižėjimo) priežastis gali būti ledo slėgis į betono makroporų sieneles, nes ledo tūris yra apie 9 % didesnis nei vandens. Makroporos betone (didesnės kaip 10^{-4} mm) susidaro kietėjimo metu iš betono pasišalinant perteklniam vandeniui (Naujokaitis 2007). Taigi betono atsparumas šalčiui labai priklauso nuo betono poringumo, kuriam tiesioginį poveikį daro vandens ir cemento santykis betono mišinyje. Dažnai krituliai tiesiogiai patenka ant statomų ar nebaigtos statybos objektų konstrukcijų, tarp jų ir ant tuštymėtųjų, turinčių įvairių kiaurymių, įdubų, kanalų ir pan. Tokiose

konstrukcijose susikaupęs vanduo užšaldamas plečiasi ir plėšo betoną (3.1 lent., 13 eil.; 3.3 pav.). Apie pažaidos pavojingumą galima spręsti pagal jos vietą konstrukcijoje ir atsivėrusių plyšių parametrus.

3.3 pav. Išilginiai plyšiai perdangos tuštymėtosios plokštės apačioje (matyti iš betono išplautos baltos kalkių nuosėdos)

3.4 pav. Vanduo labiausiai įlinkusioje monolitinės perdangos tarpatramio zonoje

Projektavimo normų reglamentuojamus ribinius dydžius viršijantys *konstrukcijų ar jų elementų poslinkiai* (įlinkiai, deviacijos) byloja apie nepakankamą konstrukcijų standumą (3.4 pav.), t. y. apie nepalankiai pasikeitusią situaciją – neprojektines veikiančias apkrovas ir atrėmimo (įtvirtinimo) sąlygas. Viršijantis 1/100–1/50 tarpatramio ilgio konstrukcijos įlinkis rodo ryškius avarinės būklės požymius.

Be betono pleišėjimo ir deformacijų, gali būti ir kitų defektų ir pažaidų. Būdingas defektas – *nepakankamai sutankintas betonas*. Blogai sutankinto betono stambūs užpildai dažnai yra silpnai surišti su cementiniu akmeniu (3.5 pav.).

3.5 pav. Blogai sutankinto betono ruožas

Neretai betone susidaro įvairaus didumo tuštumos, kurios gali būti gana didelių matmenų. Jos vadinamos *kavernomis*. Tokie defektai ypač pavojingi (3-oji ar 4-oji kategorijos) gniuždomajame betone, konstrukcijų atramose, armatūros inkaravimo zonose. Kitų konstrukcijos vietų (tempiamųjų zonų) betono tankinimo trūkumai kvalifikuojami kaip 1-osios ar 2-osios kategorijos defektai. Blogo betono sutankinimo priežasčių yra daug: betonuotojų patirties stoka, netinkama tankinimo technologija ir klojinių įrengimo reikalavimų nesilaikymas (3.6 pav.), susidariusios kavernos po labai tankiai sudėta armatūra elemento skerspjūvyje, ertmės po įdėtinėmis detalėmis (3.7 pav.). Be to, įvairių tuštumų gali susidaryti pakliuvus į betono mišinį įvairioms priemaišoms (grunto, ledo ir pan.).

3.6 pav. Monolitinio betono defektai dėl tankinimo ir klojinių įrengimo reikalavimų nesilaikymo

3.7 pav. Ertmė po atramine plienine plokšte kolonų jungtyje

Dažnai pasitaiko, kad pagaminto betono stipris, tankis, atsparumas šalčiui, agresyviosios aplinkos poveikiams, dilimui ir kt. savybės *neatitinka projektinių reikalavimų*. Šių defektų priežastys gali būti netikslus betono mišinio sudedamųjų dalių santykis arba jų neatitiktis kokybės reikalavimams, blogas betono tankinimas, betono šildymo režimo nesilaikymas, gaminant surenkamąjį gelžbetonį, perteklinis vandens kiekis, siekiant

padaryti slankesnį mišinį betonavimo metu, technologinės pažaidos, esant neigiamai temperatūrai (į betono mišinį nededama reikalingų priedų, jis nepašildomas, esant vidutinei lauko temperatūrai, žemesnei kaip +5 °C). Taip pat betono stiprumas yra mažesnis tepalais ar kitokios organinės kilmės riebalais įmirkusiose konstrukcijų vietose. Jei betono vidutinis gniuždomasis stipris yra mažesnis daugiau kaip 30 % negu projektinis, defektas priskiriamas 3-ajai ar 4-ajai kategorijai.

Pavojingas defektas yra *nepakankamas konstrukcijos atrėmimo plotas* (3.8 pav.), kurio zonoje betonas gali būti suglemžtas (3.1 lent., 10 eil. ir 3.9 pav.), nuskeltas atraminės zonos kraštas ir pan.

Svarbios pažaidos yra *betono erozija* ir *korozija*. Betoną veikia mechaninio pobūdžio erozija – vėjo, kritulių abrazyviniai (pustomo smėlio) poveikiai, ilgainiui sukeliantys cementinio akmens paviršinių sluoksnių struktūros pokyčius ir šių sluoksnių dūlėjimą. Dažnai erozijos priežastis būna projektavimo arba statybos klaidos – netinkamai ar nekokybiškai įrengtos lietaus vandens surinkimo ir nuleidimo sistemos, naudojamas silpnas, mažai cemento turintis betonas. Erozijos procesai būdingesni lengvojo betono armuotoms konstrukcijoms. Paprastai erozija yra viena iš pirminių betono korozijos priežasčių, t. y. erozijos paveiktą betoną anksčiau ar vėliau pažeidžia korozija (fizikinių, cheminių ar elektrocheminių reiškinių sukeltas betono paviršinių sluoksnių irimas) ir nėra aiškios ribos, skiriančios šias dvi pažaidas (3.10 pav.).

3.8 pav. Nekokybiška pokraninės sijos atrama

3.9 pav. Pavojingos atramos pažaidos (betono glemžimo požymiai, plieno korozija) (Thienel 2009)

3.10 pav. Erozijos ir korozijos stipriai pažeistos gelžbetoninės sijos

Aptinkami trys betono korozijos pavidalai, kurie skiriasi pagal betono struktūros pažaidos laipsnį ir priežastį. Vienu metu gali pasireikšti du ar net visi trys betono korozijos pavidalai. Vieno pavidalo betono korozija, priklausomai nuo aplinkybių, gali skatinti arba slopinti kito korozijos pavidalo atsiradimą.

Pirmasis korozijos pavidalas yra mechaninė betono struktūros pažaida. Mineralai, sudarantys cementinį akmenį, pagal tirpumą vandenyje yra įvairaus laipsnio. Šiuo atveju korozija pasireiškia cementinio akmens sudedamųjų dalių tirpimu ir išplovimu iš betono (3.11 pav.).

Labiausiai tirpinamas kalcio hidroksidas, kuris sudaro 64–68 % cementinio akmens. Jo tirpumas didėja kylant temperatūrai. Kai gniuždomajame betone kalkių sumažėja iki 20 %, jo stipris sumažėja nedaug (10–15 %). Išplaunant daugiau kaip 20–25 % kalkių, labiau pažeidžiama pusiausvyra tarp kalcio hidroksido ir kitų cementinio akmens mineralų – hidrosilikatų ir hidroaliuminatų. Pastarieji pradeda skaidytis vandenyje, todėl betono stipris staigiai mažėja. Betonas praranda stiprumą, kai filtruojantis vandeniui pasišalina 35–50 % kalkių. Šio pavidalo korozija gali sulėtėti arba visiškai nebevykti, jei vandens filtracija per betoną yra lėta. Tokiu atveju gali vykti savaiminis betono susitankinimas, kai jo poros užsikemša kalkių nuosėdomis, kurios vandeniui išgaravus nespėja pasišalinti. Koroziją lėtina ir gali sustabdyti kalcio hidroksido cheminė reakcija su vandenyje esančiomis bikarbonatinėmis medžiagomis. Pirmojo pavidalo korozijos būdingas požymis – betono paviršiuje susidariusios balkšvos kalkių nuosėdos (stalaktitai) (3.3 ir 3.11 pav.).

3.11 pav. Pirmojo pavidalo betono korozija
(Hochschule Bochum 2009/2010)

Antrojo pavidalo korozija pasireiškia betono cementinio akmens sudedamosioms dalims chemiškai reaguojant su agresyviosiomis dujomis arba skysčiais. Šio pavidalo korozijos greičiui poveikį turi aplinkos temperatūra ir drėgnis.

Labiausiai paplitusi antrojo pavidalo korozija – *betono karbonizacija*, kai ore esantis anglies dvideginis reaguoja su cementinio akmens kalcio hidroksidu, sudarydami kalcio karbonatą. Karbonizuoto betono vandenilio jonų koncentracijos rodiklis pH yra sumažėjęs (pH = 5–9), t. y. betone yra susidariusios rūgščios aplinkos sąlygos, kurioms esant sužadinami armatūrinio plieno korozijos procesai (žr. elektrocheminė armatūros korozija). Nekarbonizuotame betone pH = 12–13 ir yra šarminė aplinka. Taigi, gelžbetoninių konstrukcijų betono karbonizacija sudaro sąlygas vykti armatūros korozijai (3.2 lent.), nors paties karbonizuoto betono tankumas ir stiprumas padidėja.

3.2 lentelė. Gelžbetonio pažaidų dėl betono karbonizacijos klasifikacija

Pažaidos svarba	Betono būklė	Armatūros būklė	$x_c(t)/c$	Priemonės būklei gerinti
Pažaidos nėra (1-oji kat.)	Plyšių nėra	Korozijos pėdsakų nėra	<0,5	Nereikalingos
Nereikšminga (2-oji kat.)	Plyšių nėra	Korozijos pėdsakų nėra	>0,5	Prognoziniai karbonizacijos gylio skaičiavimai ir periodiniai tyrimai, papildomų apsauginių dangų įrengimas
	Neištisiniai išilginiai plyšiai	Nedideli korozijos židiniai	≈1,0	
Reikšminga (3-oji kat.)	Išilginiai plyšiai, vietomis atšokęs apsauginis sluoksnis	Ištisinė korozija	>1,0	Stiprinimas
Avariniai požymiai (4-oji kat.)	Dideliuose ruožuose atšokęs arba nukritęs apsauginis sluoksnis	Ištisinė korozija, didelis rūdžių sluoksnis, likę tik rumbų pėdsakai	>>1,0	Laikomosios galios atsargos likučio įvertinimas, skubus stiprinimas

Pastaba: $x_c(t)$ – vidutinis betono karbonizacijos gylis t laike, c – vidutinis armatūros apsauginio sluoksnio storis

Karbonizacijos gylis priklauso nuo cementinio akmens struktūros, tankio ir nuo angliarūgštės koncentracijos ore. Be to, karbonizacijos intensyvumui ir plitimui didelės reikšmės turi aplinkos sąlygos (patalpų mikroklimatas, tiesioginis kritulių poveikis ir drėkinamų paviršių išsidėstymas pasaulio šalių atžvilgiu, vyraujančių vėjų kryptis ir t. t.). Karbonizacijos greitis ilgainiui lėtėja ir šis procesas gali visiškai sustoti, nes anglies dvideginiui tampa vis sunkiau prasiskverbti per didėjantį karbonizuoto betono sluoksnį. Kai per karbonizuotą betoną filtruojasi vanduo, iš paviršinių sluoksnių gali išsiplauti kalcio karbonatas ir sumažėti betono stipris.

Betono šarmingumas ypač mažėja vykstant chloro junginių agresijai iš išorės. Šį šarmingumą nevienodu laipsniu mažina betono cementinio akmens reakcija su kitomis rūgštimis. Veikiant betoną druskos, azoto ir kitomis stipriomis mineralinėmis rūgštimis, ant jo susidaro korozijos produktų sluoksnis. Šis sluoksnis rodo, kad korozijos pažeisto betono stipris yra sumažėjęs. Kita vertus, korozijos produktų nuosėdos lėtina betono korozijos greitį, apsunkindamos agresyviųjų komponentų patekimą į korozijos dar nepažeistus cementinio akmens sluoksnius.

Trečiojo pavidalo korozija gali vykti betone, kurį veikia gamtinės ar gamybinės aplinkos sulfatai. Todėl ji vadinama *sulfatine* korozija (3.12 pav.).

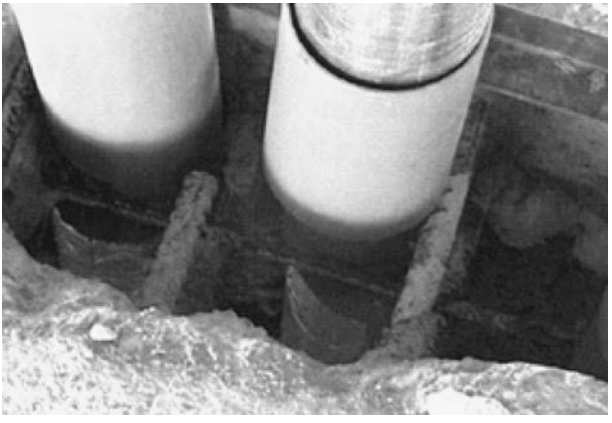
3.12 pav. Betono pažaidos (sulfatinė korozija) (Thienel 2009)

Chemiškai reaguojant agresyviosioms sulfatinėms druskoms ar rūgštims su cementinio akmens sudedamosiomis dalimis, betono porose susidariusių reakcijos produktų (gipso, etringito) tūris padidėja kelis kartus. Todėl betono porose padidėja slėgis, kuris ardo betono struktūrą, prasideda mikropleišėjimo procesas. Prie šio pavidalo korozijos galima priskirti stambaus (>5 mm) užpildo iš silicio junginių laikui bėgant (po 2–10 metų) atplėšimą nuo cementinio akmens. Šiuo atveju dėl silicio junginių sąveikos su portlandcemenčio šarmais apie užpildo daleles susidaro kalcio hidrosilikato apvalkalas, kuris ilgainiui storėja, atplėšdamas cementinį akmenį.

Slėgis betono porose gali susidaryti ir dėl mikroorganizmų veiklos, t. y. gali pasireikšti betono *biokorozija*, pagal padarinius nesiskirianti nuo antrojo arba trečiojo pavidalo betono korozijos. Biokorozija pasireiškia žemės ūkio gamybiniuose pastatuose, kanalizacijos kolektoriuose, jūrų uostų įrenginiuose ir pan., kur kaupiasi drėgmė ir susidaro palanki terpė mikroorganizmams daugintis (3.13 pav.). Žalingas biologinis poveikis yra susijęs su rūgščiomis išskyromis. Pavyzdžiui, kanalizacijos kolektoriuose bakterijos minta sieros vandeniliu, o jų išskyra yra sieros rūgštis, kurios tiesioginė sąveika su betonu gali sukelti trečiojo (arba antrojo) pavidalo koroziją.

Statinio statybos ar naudojimo metu pasitaiko įvairių konstrukcijų *mechaninių* pažaidų. Įrengiant inžinerinius tinklus iškertamos angos perdangose (3.14 pav.), išpjaunama armatūra. Tokie susilpninimai, ypač atraminėse gelžbetoninių konstrukcijų zonose, gali būti pavojingi (2-osios ar 3-osios kategorijos pažaidos). Pasitaiko gana šiurkščių pažaidų, kai inžinerinių tinklų ir technologinės įrangos detalės tvirtinamos prie apnuogintų inkaravimo zonos armatūros strypų. Pastaruoju atveju iš karto padaromos kelios pažaidos – pažeidžiama armatūros ir betono sankiba, virinimo vietoje pakinta armatūrinio plieno savybės, apnuoginta armatūra tampa neapsaugota nuo korozijos. Pramoniniuose pastatuose judančiu vidaus transportu dažnai nudaužomas kolonų briaunų betonas, apnuoginama armatūra (2-osios–4-osios kategorijos pažaidos, priklausomai nuo elemento skerspjūvio susilpninimo didumo, apnuogintos armatūros korozinės pažaidos laipsnio ir vietos). Kai konstrukcijos ar jos elemento skerspjūvis yra sumažėjęs daugiau kaip 30 % arba skerspjūvyje yra apie trečdalis ir daugiau nutrūkusių (arba nukirstų) pagrindinės armatūros strypų, tokio dydžio pažaidos priskiriamos 3-ajai ar 4-ajai kategorijai.

3.13 pav. Susidarę žali pelėsiai ant gelžbetoninių konstrukcijų



3.14 pav. Nupjautas monolitinės plokštės pagrindinės armatūros strypas iškirstoje angoje

Surenkamosiose monolitinėse gelžbetoninėse konstrukcijose gali būti nepakankama surenkamosios ir monolitinės dalių betono sankiba. Ši sankiba negali atlaikyti joje sukilusių tangentinių įtempių ir tokio dviejų skirtingų gelžbetoninių dalių skerspjūvio negalima vertinti kaip vientiso darinio. Kaip jau minėta, sankibos pažaida (būdingas požymis – atsivėręs matomas išilginis plyšys strypinėse konstrukcijose, 3.1 lent., 8 d punktas) yra pavojinga.

Dažniausiai pasitaikanti armatūros pažaida yra *elektrocheminė korozija* (smulkiau apie plieno korozinius procesus žr. 3.3 sk.). Ji vyksta dėl vietinių židinių (anodo ir katodo) elektrodų potencialų skirtumo, sudarančio uždarosios srovės grandinę. Kad vyktų šio tipo korozija, būtinos tokios sąlygos:

- galimybė geležies atomų jonams pereiti į elektrolitą (anodinė reakcija);
- būtinos sudedamosios dalys – ištirpęs deguonis (ar vandenilio jonai) ir vanduo, kad vyktų katodinė reakcija;
- uždarojoje srovės grandinėje būtinas elektrolitas jonams judėti tarp anodo ir katodo.

Gelžbetoninėse konstrukcijose anodu būna armatūrinis plienas, o katodu – elektrai laidžios įvairios priemaišos, oksidai, kiti besiliečiantys metalai. Anodiniuose židiniuose vyksta savotiškas metalo tirpimas, t. y. jo hidratuoti jonai pereina į elektrolitinį tirpalą, o susidarę laisvieji elektronai, pasilikdami metalo kristalinėje gardelėje, juda katodinio židinio link, asimiliuodamiesi į ištirpusio deguonies atomus arba į vandenilio jonus. Korozijos produktai yra antrinių procesų – hidratuotų jonų ir deguonies sąveikos – rezultatas. Armatūros paviršiuje rūdys dažniausiai pasiskirsto tolygiai (3.15 pav.).

Chloridai stipriai padidina elektrolito laidumą ir sudaro sąlygas vadinamajai *taškinei* (pitinginei) armatūros korozijai. Ji labai pavojinga, nes susidarę taškiniai židiniai (juose rodiklis pH gali sumažėti iki 5) giliai pažeidžia armatūros skerspjūvį. Tokias pažaidas sunku nustatyti ir įvertinti. Be to, taškinę koroziją gali pagreitinti didelis kalcio hidroksido kiekis, sudarantis sąlygas gilėti pitingui, taip pat greitesnė deguonies skvarba prie armatūros.

a)

b)

3.15 pav. Intensyvi armatūros korozija: a – perdangos; b – kolonos

Didelio stiprumo termiškai grūdinti armatūriniai plienai, vienu metu veikiami tempimo įtempių ir agresyviosios aplinkos, gali pleišėti – plyšiai atsiveria strypo paviršiuje (prie rumbo pagrindo) ir plinta statmenai tempimo krypčiai. Tokio pobūdžio pleišėjimas, vadinamas *įtempties korozija*, yra labai pavojingas, nes, staigiai trūkus strypinei armatūrai, suyra ir visa konstrukcija. Apie šį trapų irimą nėra bendros nuomonės. Manoma, kad tokia irtis priklauso nuo plieno struktūros dedamųjų dalių tirpimo veikiant agresyviajai aplinkai, taip pat – nuo taškinės korozijos židinių, veikiančių kaip įtempių koncentratoriai ir kaip didinantys plieno trapumą vandenilio sugėrikliai. Kuo labiau užgrūdinta armatūra, tuo ji

mažiau atspari įtempties korozijai. Nepriklausomai nuo aplinkos sąlygų, armatūros koroziją pagreitina artimas plieno takumo ribai įtemptasis būvis, nes dėl didelių plastinių deformacijų sutrūkinėja plieno apsauginė oksido plėvelė. Bendros metodikos, kaip prognozuoti armatūrinio plieno įtempties koroziją, nėra. Šiuo metu apsiribojama pagreitintais armatūros laboratoriniais tyrimais, imituojant įvairias poveikio armatūrai sąlygas, galinčias sukelti įtempties korozijos pavojų.

Kol armatūros ištisinė korozija vizualiai nepastebima arba apsauginiame betono sluoksnyje matyti tik pėdsakai, ji gali būti priskirta 2-osios kategorijos pažaidai. Kai dėl armatūros rūdijimo yra atsivėrę didesni kaip 1 mm pločio plyšiai, korozija yra toli pažengusi (žr. 3.2 pav. ir tekstą apie betono pleišėjimą). Techninės literatūros duomenimis (Топчий *et al.* 1990), kai armatūros rūdžių sluoksnio storis yra iki 3 mm ir atsivėrusių išilginių plyšių plotis – iki 2 mm, konstrukcijos laikomoji galia gali sumažėti 15 %, o kai rūdžių sluoksnio storis didesnis kaip 3 mm, laikomoji galia gali sumažėti 30 %. Tačiau iš anksto įtemptos armatūros, ypač esančios konstrukcijos kanaluose, korozija bet kuriuo atveju yra pavojinga.

Dažni gelžbetoninių konstrukcijų defektai yra *armatūros ir įdėtinių detalių padėties nuokrypos* (3.16 pav.). Dėl šių defektų taip pat dažnai atsiranda armatūros korozinių pažaidų, nes bloga armatūros dirbinių padėties fiksacija konstrukcijoje neužtikrina pakankamo jų apsauginio betono sluoksnio storio. Egzistuoja glaudus ryšys tarp betono poringumo N, vandens ir cemento santykio V/C bei apsauginio sluoksnio storio c. Moksliniais tyrimais nustatyta, kad, nepriklausomai nuo cemento rūšies, armatūros apsauga betono sluoksniu bus garantuota tik tuo atveju, kai $V/C/c \leq 0{,}04$ (arba c (mm) / N (%) $\geq 2{,}5$) ir santykinė oro drėgmė bus ne mažesnė kaip 85 %.

Armatūros dirbinių padėties nuokrypos gali sumažinti elemento skerspjūvio naudingąjį aukštį, nuo kurio priklauso konstrukcijos laikomoji galia. Neprojektinė atraminių detalių padėtis gali sukelti didesnę įtempių koncentraciją atramų vietose ir betoną suskaldyti.

Statybose teko matyti, kad įdėtinės detalės konstrukcijų jungtyse padengiamos poringu hidroskopiniu kalkių ir cemento skiediniu. Todėl taip „apsaugotos“ metalinės įdėtinės detalės greitai rūdija.

3.16 pav. Nudaužtas plokštės briaunos armatūros apsauginis sluoksnis siekiant privirinti prie stoglangio plieninio rėmo betone įklampintą įdėtinę detalę

Pavojingu 3-osios ar 4-osios kategorijos defektu galima laikyti *nepakankamą armatūros inkaravimą*. Tokie defektai būdingi užlaidinėms armatūros sandūroms, nutraukiant armatūrą tarpatramyje (nepakankamas užlaidos ilgis už teorinės strypo nutraukimo vietos), inkaruojant gembių tempiamąją armatūrą, kai projektuojant neatsižvelgta į galimą plyšių atsivėrimą išilgai inkaruojamos armatūros. Labai pavojingi yra skersinės armatūros inkaravimo defektai atraminiuose konstrukcijų ruožuose (nekokybiškas privirinimas prie išilginės armatūros, neteisingas skersinių strypų inkaravimas plokščių praspaudimo zonose ir pan.). Iš anksto įtemptos armatūros inkaravimo defektai (praslydimas inkariniuose griebtuose, inkarinių detalių deformacijos, silpnas betonas ir nepakankamas armavimas inkaravimo zonose) neleidžia konstrukcijų naudoti. Armatūros inkaravimo defektai sukelia nenumatytą konstrukcijos įrąžų persiskirstymą, visuomet lydimą atsiveriančių plyšių (žr. 3.1 lent., 7 b punktą ir 8 eil.).

Armatūros sandūrų ir įdėtinių detalių *virintinių siūlių bloga kokybė* (neprojektiniai siūlių matmenys ir virinimo būdai, prastas ir netolygus

siūlės pavidalas) kelia rimtų abejonių dėl konstrukcijų patikimumo. Ypač tokie defektai būdingi, kai virinimo darbai atliekami statybvietėje.

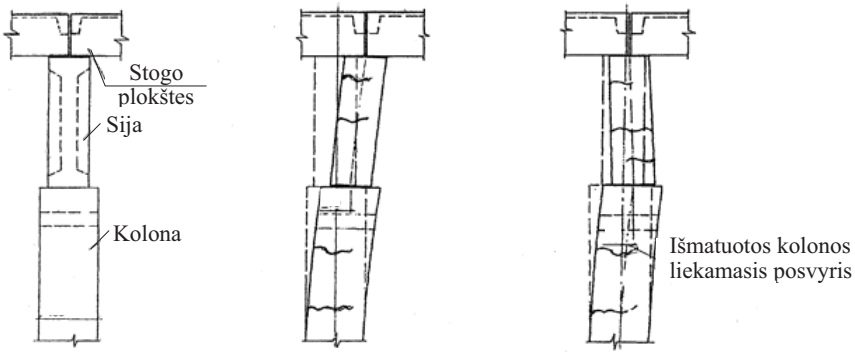
Rečiau pasitaiko armatūros kiekio ir jos savybių *neatitiktys projektiniams reikalavimams,* neekvivalentiškai pakeitus armatūros klases ar kiekius statybvietėse, panaudojus prastos kokybės (trapius, deformuotus, pažeistus korozijos ir pan.) plieninius dirbinius.

Veikiant agresyviajai aplinkai, dažnai *pažeidžiamos konstrukcijų specialiosios antikorozinės dangos*. Laiku neatliktas šių dangų remontas trumpina konstrukcijų naudojimo trukmę.

Nemažą dalį defektų sudaro *konstrukcijų ir jų elementų išdėstymo, skerspjūvio matmenų ir pavidalo nuokrypos*, viršijančios standarto nurodytąsias leistinąsias reikšmes. Defektų pavojingumą lemia nuokrypų didumas, vieta ir konstrukcijų naudojimo sąlygos. Dėl šių defektų greičiau pasiekiami tiek tinkamumo, tiek ir saugos ribiniai būviai.

Lyginant su kitomis, betoninės ir gelžbetoninės konstrukcijos yra atsparesnės gaisro poveikiams. Aukštos temperatūros poveikio sukeltomis 3-osios ar 4-osios kategorijos pažaidomis reikia laikyti:

- betono struktūros pokyčius, įkaitus betonui iki kritinės 500–600 °C temperatūros (pasikeitus betono spalvai nuo blyškiai pilkos iki baltos ir skerspjūvio gniuždomosios zonos betono stipriui sumažėjus iki 50 %);
- atsivėrusius iki 1 mm pločio normalinius (išplitusius ir gniuždomojoje zonoje) ir įstrižuosius plyšius bei išilginį apsauginio sluoksnio supleišėjimą skerspjūvio kampuose;
- iki 2–4 kartų padidėjusį lenkiamųjų elementų įlinkį virš projektavimo normų leidžiamos ribinės reikšmės;
- armatūros stiprio geroką (iki 50 %) sumažėjimą ir gniuždomosios armatūros (iki 30 % strypų) išlinkimą, atskeliant apsauginį betono sluoksnį;
- armatūros ir betono sankibos ženklų susilpninimą atraminėse zonose arba gniuždomųjų elementų skerspjūviuose;
- nemažus konstrukcijų padėties nuokrypius (3.17 pav.).



3.17 pav. Karkaso konstrukcijų deformacijos ir pleišėjimas veikiant gaisro temperatūros srautui (iš kairės pusės): a – būklė prieš gaisrą; b – didžiausias stogo disko poslinkis nuo temperatūros poveikio; c – stogo disko grįžtamasis poslinkis po gaisro

Gelžbetoninių konstrukcijų būklės tyrimai rodo, kad labiausiai paplitusios pažaidos yra armatūros korozija ir betono pleišėjimas, kurių atsiradimą dažniausiai sukelia konstrukcijų gamybos ir statybos klaidos. Pavyzdžiui, Lietuvos gelžbetoninių tiltų būklės tyrimų duomenimis (Kamaitis 2000), minėtosios pažaidos sudaro 76 % visų nustatytų defektų ir pažaidų.

Kaip matyti iš pateiktos gelžbetoninių konstrukcijų defektų ir pažaidų analizės, dauguma jų yra tarpusavyje glaudžiai susijusios. Tokios pažaidos, kaip pleišėjimas ir deformacijos, yra ankstesnių defektų ar pasikeitusių naudojimo sąlygų pasekmė ir savo ruožtu skatina jas sukėlusių pirminių defektų ar pažaidų tolesnį plitimą. Tų pačių defektų ir analogiškų aplinkos sąlygų pavojingumo laipsnis įvairioms gelžbetoninėms konstrukcijoms gali būti skirtingas. Galutinis šių defektų ir pažaidų pavojingumas įvertinamas atlikus konstrukcijų tikrinamuosius ribinių būvių skaičiavimus (žr. 5 sk.).

3.2. Mūrinės konstrukcijos

Mūrinių konstrukcijų defektai, kaip ir gelžbetoninių konstrukcijų, gali būti *technologinės* prigimties arba atsiradę statinio *naudojimo* metu.

Prie technologinių defektų priskiriami: sienų, piliastrų, stulpų matmenų ir padėties nuokrypos, skaldytų plytų (1/4 plytos dydžio gabalų) sumūrijimas skerspjūvio krašte, nepakankama perriša plytų trumpainiais, bloga mūro siūlių kokybė, mūro gaminių ar skiedinio sumažėjęs stipris, lyginant su projektiniu, skersinio armavimo nuokrypos, įvairūs konstrukcijų susilpninimo atvejai

Mūrinių konstrukcijų *matmenų ir padėties nuokrypos* atsiranda dėl nekokybiškų mūro darbų, mūrijimo, esant neigiamai temperatūrai, dėl sluoksniuotųjų sienų sluoksnių skirtingų deformacijų, nuo drėgmės, temperatūros poveikių ir įvairių perkrovų. Pavojingu 4-osios kategorijos defektu laikomas didesnis kaip 1/6 sienos storio išlinkis.

Mūrinių sienų *nepakankama perriša plytų trumpainiais* (3.18 pav.) jų laikomąją galią gali sumažinti iki 10–25 %. Statybos praktikoje dažnai pasitaiko atvejų, kai trumpainiai pagal sienos aukštį mūrijami kas 8–11 eilė. Rekomenduojama labiau apkrautus mūro ruožus (stulpus, tarpuangius) perrišti trumpainiais kas trečia mūro eilė.

3.18 pav. Neperrištos plytos sienų sandūroje ir vietomis per storos gulsčiosios siūlės

Mūrinių konstrukcijų laikomajai galiai, kai mūrui naudojamas bendrosios paskirties skiedinys, neigiamą poveikį turi *bloga siūlių kokybė* – didelis (daugiau kaip 15 mm) ar mažas (mažiau nei 10 mm) gulsčiųjų siūlių storis, mažas siūlės skiedinio stipris ir netolygus tankis.

Kuo storesnė siūlė, tuo santykinai didesnės yra jos skersinės deformacijos, didinančios mūro greitesnio supleišėjimo ir irties galimybę. Kai gulsčiosios siūlės storis yra didesnis kaip 20 mm (3–4 tokios siūlės viename sienos aukščio metre) ir skiedinys yra žemesnės kaip M2,5 klasės, mūro laikomoji galia gali sumažėti 20 % (žr. 5.2 sk.). Plonose siūlėse dėl netolygaus skiedinio tankio užpildo dalelės gali koncentruoti plytų įtempius. Neužpildant skiediniu stačiųjų siūlių, mūro stipris gali sumažėti iki 10 %. Siūlių storių defektus galima vertinti kaip 2-osios ar 3-osios pavojingumo kategorijos.

Mažesnis nei nurodytasis projekte mūro skiedinio stipris turi tiesioginį poveikį mūrinių konstrukcijų laikomajai galiai ir gali būti pavojingas defektas, ypač kai nesilaikoma mūrijimo technologijos, esant neigiamai temperatūrai.

Plytų, blokelių, blokų kokybės defektai – mažesnis už projektinį stipris ir kitų savybių neatitiktis projektiniams reikalavimams, matmenų nuokrypos, įvairūs paviršių nelygumai gali iki pavojingos ribos sumažinti mūro stiprumą, atsparumą šalčiui bei eroziniams ir koroziniams poveikiams, pabloginti šilumos ir hidroizoliacines savybes. Sumažinus plytų stiprį viena pakopa (2,5 MPa), mūro laikomoji galia gali susilpnėti iki 17 %, o plytų stipriui sumažėjus 2,5 MPa ir skiedinio stipriui sumažėjus viena klase – iki 39 %.

Prie technologinių priskiriami mūro *skersinio armavimo defektai*, kai atsitiktinai į kai kurias mūro gulsčiąsias siūles neįdėta tinklelių (vietomis susidaro didesni atstumai tarp tinklelių, nei numatyta projekte), tinklelių matmenys mažesni už stiprinamo mūro skerspjūvio matmenis. Neįdėjus vieno tinklelio, mūro laikomoji galia gali sumažėti iki 22 %, o praleidus dvi iš eilės mūro siūles be armatūros – iki 36 %.

Įrengiant inžinerinius tinklus dažnos būna mūrinių *konstrukcijų susilpninimo pažaidos*, iškertant mūre įvairaus didumo angas (3.19 pav.), griovelius, nišas. Dažniausiai šis iškirstas mūras vėliau tinkamai neužtaisomas.

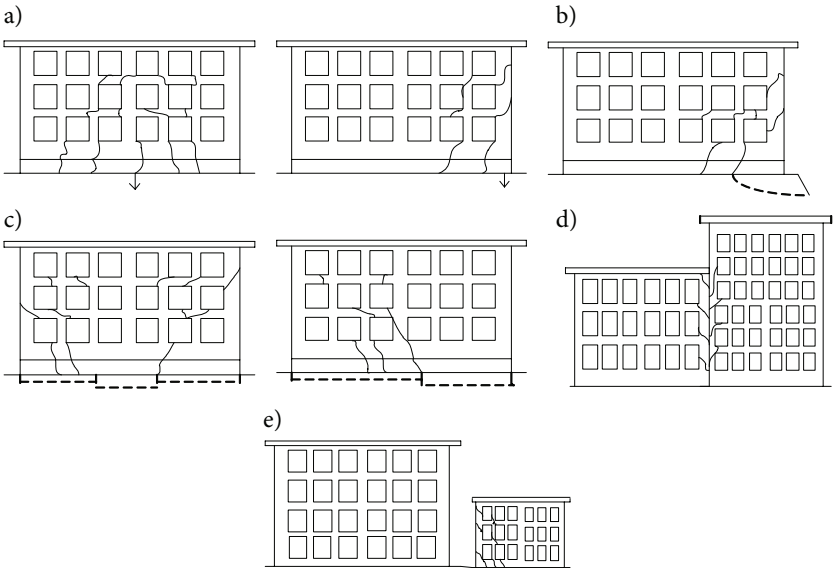
3.19 pav. Mechaninė sienos pažaida
(virš iškirstos angos neįrengta sąrama)

Dviejų plytų storio sienos šviežiame mūre padarytas gulsčias pusės plytos gylio griovelis gali sumažinti sienos laikomąją galią 50 %, o 60 mm gylio griovelis – 21 %.

Kai mūrijama esant *neigiamai temperatūrai*, galimi skiedinio stipruminių ir deformacinių savybių pokyčiai: mažesnis nei projektinis stipris, blogesnė skiedinio ir mūro gaminio sankiba.

Statinių naudojimo metu svarbiausia pažaida yra mūrinių konstrukcijų *pleišėjimas*. Plyšių orientacija ir jų atsivėrimo priežastys gali būti įvairios:

– gniuždomųjų mūrinių konstrukcijų statieji plyšiai dėl perkrovos;
– sienų įstrižieji (3.20 pav.) ir statieji plyšiai dėl pamatų nevienodų nuosėdžių;
– statieji plyšiai, atsiradę dėl temperatūros ir drėgmės poveikio (3.21 pav.);
– statieji plyšiai, atsivėrę šlyties zonose – išilginių ir skersinių sienų, sienų ir piliastrų sankirtose, tarp sienos pagrindo ir kabančio apdailinio sluoksnio ir pan. (3.22 pav.);

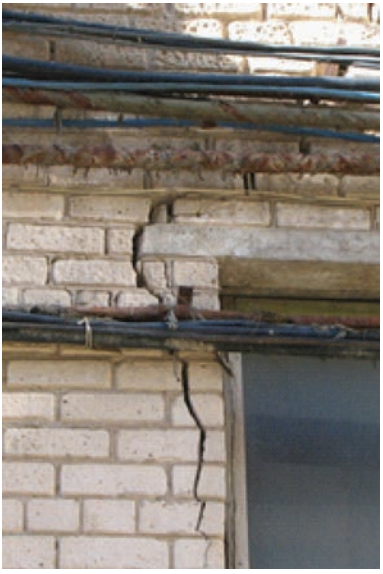


3.20 pav. Sienų pleišėjimas dėl nevienodų pamatų nuosėdžių: a – kai po statinio dalimi yra silpnas gruntas; b – šalia statinio atliekami žemės darbai; c – pamatai yra nevienodo gylio ar laikomosios galios; d – statinio dalys yra skirtingo aukštingumo ir tarp jų nėra deformacinio pjūvio; e – naujasis statinys yra arti senojo

3.21 pav. Atplyšusi galinė skersinė siena

3.22 pav. Plyšys sienų sankirtoje

– statieji plyšiai lenkiamųjų elementų atramose ir plyšiai, išplitę nuo elemento galo link atramos krašto;
– plyšiai prie ilgų sąramų galų, atsiradę dėl sąramų betono ir mūro nevienodų temperatūrinių ir traukumo deformacijų (3.23 pav.);
– plyšiai dėl sienų vertimo (pvz., dėl sunkaus šlaitinio stogo perduodamų skėtimo jėgų poveikio, 3.24 pav.);
– gulstieji plyšiai pertvarose ir sienose, sumūrytose ant liaunų perdangų (3.25 pav.);
– sienų įstrižieji plyšiai, prasidedantys ties sąramų galais ir susijungiantys mūro ruože virš sąramų (taip pat gali būti atsivėrę ir statieji plyšiai), esant dinaminiams poveikiams;
– sienų plyšiai dėl netinkamos perdangų ir sienų jungties (3.26 pav.);
– normaliniai plyšiai, atsiradę mūrinių skliautų, arkų ir arkinių bei pleištinių sąramų apačioje dėl perkrovos, atramų skečiamojo poslinkio.



3.23 pav. Atplėšiamas mūro ruožas sąramos atramoje

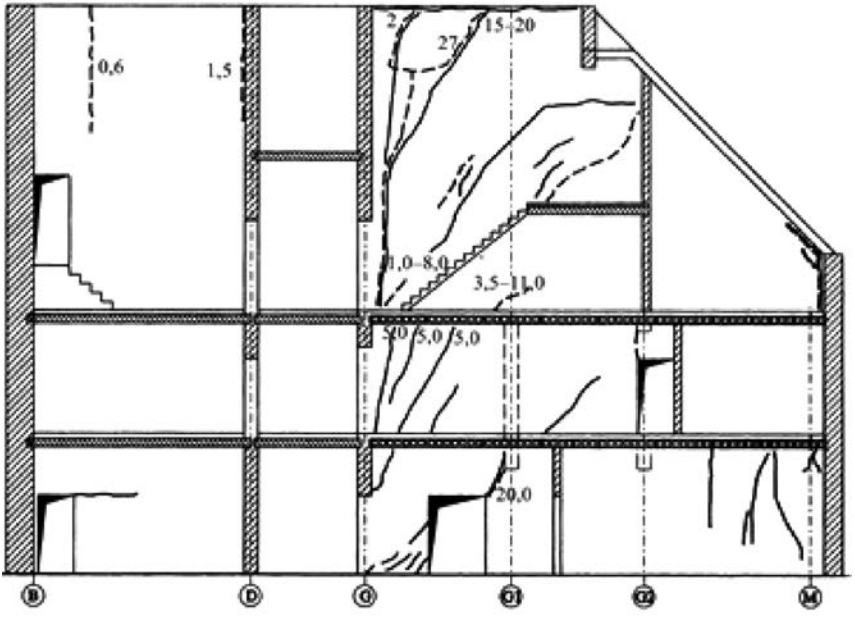
Priklausomai nuo *perkrauto mūro* gniuždomųjų įtempių didumo, atsiveria pavieniai statieji plyšiai per vieną dvi plytų mūro eiles. Didėjant apkrovai šie plyšiai ilgėja ir paskutinėje irimo stadijoje kerta daugiau kaip aštuonias plytų mūro eiles (ilgesni kaip 800 mm), apkrovos veikimo linkme suskaldydami mūrą į atskirus 120–200 mm pločio stulpelius. Tokio pobūdžio išplitusius daugiau kaip per keturias nearmuoto mūro plytų eiles (ilgesnius kaip 300 mm) plyšius reikia vertinti kaip 3-osios ar 4-osios kategorijos pažaidas.

Dėl netolygaus pamatų sėdimo statieji plyšiai plinta ištisinėse ir angomis susilpnintose sienose, kurios yra lenkiamos kaip sijos, gulinčios ant tampraus pagrindo. Tokie plyšiai labiau atsiveria statinio viršuje (iki 10 mm pločio ir platesni). Paprastai jų nėra statinio cokolinėje dalyje.

Pamatų sėdimo pokyčiai gali atverti stačiuosius ir įstrižuosius plyšius (3.20 pav.), esant tarpuangių, stulpų ar ištisinių sienos ruožų šlyčiai. Kai yra vietinių nedidelio ruožo grunto deformacijų, gali atsiverti plyšiai, sudarydami sienose arkų pavidalo skliautus. Tokiu atveju tikrinamaisiais

skaičiavimais reikia įsitikinti, ar nebus perkrauti mūro ruožai atramose. Taip pat statinių sienos gali pleišėti nuo greta pamatų augančių medžių šaknų, kurios ilgainiui didėdamos deformuoja pamatus. Ištisinėse be angų sienose atsivėrę plyšiai dėl pamatų nevienodų nuosėdžių paprastai yra nepavojingi, jeigu jų atsivėrimo plotis nedidelis (iki 0,5 mm) ir jie neplinta, o supleišėjusių sienų pastovumas užtikrintas, t. y. sienų ir perdangų, sienų ir stogo konstrukcijų jungtys yra nepažeistos (1-osios ar 2-osios kategorijos pažaidos).

Atsivėrę statieji ar įstrižieji plyšiai ties sienų angų sąramų galais ir išplitę per visą mūro ruožo tarp angų aukštį yra pavojingi, nes gali būti pažeistos sąramų ir jų atramų konstrukcijos (3-osios ar net 4-osios kategorijos pažaidos). Panašiai gali būti pažeistos perdangų mūrinės atramos.



3.24 pav. Skersinės statinio sienos supleišėjimas, kai išorinė siena prie M ašies sėda ir yra verčiama (ištisinėmis linijomis pažymėti plyšiai matomi iš vienos pusės, punktyrinėmis linijomis – iš kitos, o skaičiai prie jų nurodo plyšio plotį milimetrais)

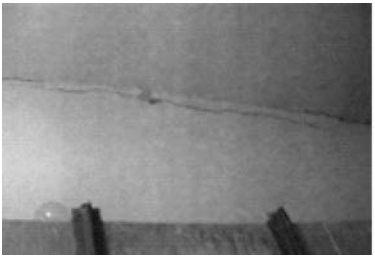
Kai statinių ilgose (didelio ploto) fasadinėse sienose neįrengta temperatūrinių pjūvių arba atstumai tarp jų yra per dideli, aplinkos temperatūros pokyčiai sukelia mūro tempimo deformacijas, kurių pasekmė – atsivėrę statieji sienų plyšiai. Dažniausiai šios pažaidos yra 1-osios ar 2-osios kategorijos. Tačiau gali pasitaikyti atvejų, kai kintant šių išilginių sienų plyšių pločiams dėl temperatūros pokyčių yra verčiamos statinio galinės skersinės sienos (3.21 pav.). Ilgainiui jos gali netekti pastovumo, nes dėl įstrigusių plyšiuose mūro dalelių susidaro savotiški pleištai, leidžiantys deformuotis mūrui tik viena galinės sienos virtimo į išorę linkme. Dėl temperatūros poveikio išplitę plyšiai mažina erdvinį statinio standumą.

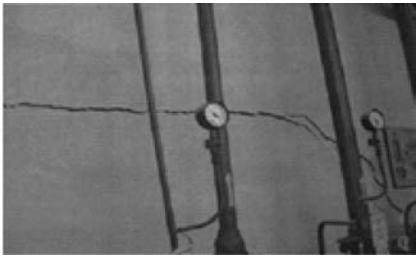
Dėl šlyties atsivėrę statieji plyšiai išilginių ir skersinių sienų, piliastrų ir sienų sankirtose (3.22 pav.) yra pavojingi, nes sienos gali netekti pastovumo. Piliastrų mūras gali būti suglemžtas veikiant vietinei apkrovai. Vietomis gali pradėti kristi kabančio apdailinio mūro gabalai.

Ypač pavojingai mūras pleišėja lenkiamųjų konstrukcijų atramose. Kai šių atramų pažaidų (mūro nuoskėlų, smulkių plyšių ar aižėjimo) gylis siekia ne mažiau kaip 10–20 mm arba šalia lenkiamųjų elementų galų yra atsivėrę ilgesni kaip 150 mm statieji mūro plyšiai, bylojama apie avarinius šių atramų būklės požymius. Neabejotina avarinė situacija yra tuomet, kai šių plyšių ilgis siekia 300 ar daugiau milimetrų ir jie plinta atramos krašto link, tiesiogiai atskeldami nearmuoto mūro ruožą lenkiamosios konstrukcijos atramoje. Tokio pobūdžio plyšių atsivėrimą ir plitimą inicijuoja ilgų gelžbetoninių sąramų betono temperatūrinės ir traukumo deformacijos (3.23 pav.), dinaminiai poveikiai.

Dėl sunkių šlaitinių stogų skėtimo yra verčiamos sienos (3.24 pav.), kuriose atsiveria gulstieji plyšiai ir gali pavojingai didėti gniuždomų sienų apkrovos ekscentricitetas. Verčiamos išilginės sienos gali būti stačiaisiais plyšiais atskirtos nuo skersinių sienų, galimi perdangų konstrukcijų gulstieji atramų poslinkiai. Dėl sienų virtimo atsivėrę plyšiai vertinami kaip 3-osios ar 4-osios kategorijos pažaidos.

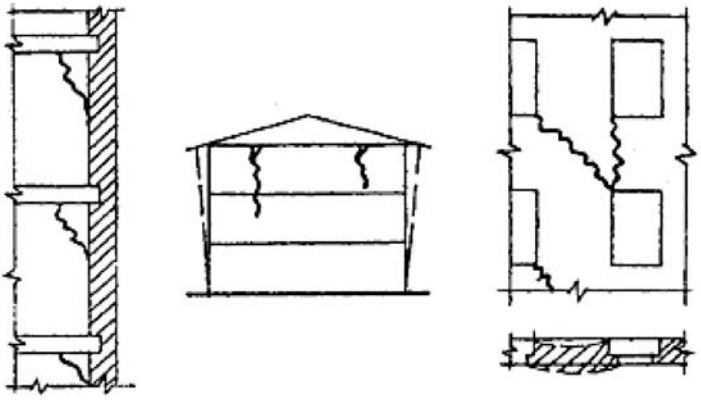
Perdangos konstrukcijų mažas standumas lemia pertvarų ar laikančiųjų sienų, sumūrytų ant šių perdangų, pleišėjimą. Tuomet pertvarose atsiveria gulstieji plyšiai (3.25 pav.). Dažnai pertvaros plyšiais atskiriamos nuo gretimų sienų ir perdangų. Esant dideliems perdangų įlinkiams ir atsivėrus platiems plyšiams mūrinės pertvaros gali netekti pastovumo.





3.25 pav. Gulstieji pertvaros plyšiai: a – po perdanga; b – ties viduriu

Kartais sienos pleišėja dėl netinkamų perdangų, stogų konstrukcijų ir sienų jungčių, dėl prasto sienų tvirtinimo prie kolonų. Todėl skersinėse sienose pavojingi plyšiai gali atsiverti esant perdangų atramų gulsčiajam poslinkiui arba sienų skėtimui, išlinkiui (3.26 pav.) ir pan.



3.26 pav. Sienų plyšiai, atsiradę dėl netinkamos sienų ir perdangų jungties

Mūrinių arkų, skliautų ir arkinių sąramų konstrukcijos dažnai buvo naudojamos senuosiuose kultiniuose pastatuose (bažnyčiose, vienuolynų pastatuose), senųjų dvarų pastatuose, inžineriniuose statiniuose ir t. t., kurių dauguma pripažinti architektūriniais bei istoriniais paminklais ir saugomi valstybės. Arkinių konstrukcijų apačioje, ypač tarpatramio viduriniame ruože, pastebimi atsivėrę normaliniai plyšiai dėl konstrukcijų perkrovos ar jų atramų poslinkių. Šias atramas (sienas, stulpus,

kontraforsus) stumia gulsčiosios arkinių konstrukcijų skėtimo jėgos. Atramų gulsčiojo poslinkio priežastis dažnai būna jų priekrovos šalinimas (specialiai numatyto projektinio balasto, palankiai pakeičiančio atramos reakcinių jėgų vektoriaus kryptį). Dėl tokių plačiai atsivėrusių plyšių gali pavojingai pasikeisti konstrukcijos skaičiuojamoji schema. Iš arkinėje konstrukcijoje atsiradusios tempiamosios zonos gali pradėti kristi plytos, mūro gabalai. Dažnai atramų poslinkius sužadina nevienodos grunto po pamatais deformacijos, kurios gali sukelti skliauto įvairios krypties skeliamuosius įtempius ir jo kevalo kiauryminius plyšius. Senų pastatų arkinių konstrukcijų pleišėjimas yra ilgalaikis procesas, todėl jų griūties atvejų pasitaiko retai. Kai dėl šių konstrukcijų atramų poslinkių atsivėrę plyšiai ir toliau plinta, juos reikia vertinti kaip 3-osios kategorijos pažaidas.

Įvairių mūrinių konstrukcijų poslinkius (3.27 pav.), atsiradusius statinio naudojimo metu, galima priskirti 3-osios ar net 4-osios kategorijos pažaidoms, nes kyla šių konstrukcijų (viso statinio) pastovumo netekties pavojus.

3.27 pav. Nepritvirtintos prie kolonos sienos poslinkis į išorę

Dėl projektavimo, statybos ar statinio naudojimo neteisingų sprendimų labai dažnai drėksta mūrinės sienos. Sienų drėkimo priežastys yra įvairios. Senos statybos cokolinių ir pirmojo aukštų sienos drėksta dėl kapiliarinės drėgmės poveikio, t. y. dėl nepakankamos gulsčiosios hidroizoliacijos ar virš jos esančio grunto sąlyčio su mūru. Sienos drėksta po storu ir vandens garams mažai laidžiu fasadiniu tinku, tinkamai neapsaugotose nuo tiesioginių kritulių vietose, prie sugedusių lietaus vandens surinkimo ir nuvedimo latakų, prie vandentiekio ir šildymo sistemų. Drėgmė taip pat gali patekti per nekokybiškas apdailos sluoksnio siūles į vidinius mūro sluoksnius. Vandens prisotinto mūro stipris gali sumažėti iki 15–20 %. Kai į neatsparias šalčiui mūro plytas ar blokelius patekęs vanduo užšąla, pasireiškia būdingi jų paviršinių sluoksnių irties požymiai. Įsiskverbus drėgmei į plytas, kuriose yra negesintų kalkių intarpų, plytų paviršiuje apie intarpus gali susidaryti atplaišų. Ant drėgnų sienų plinta įvairių rūšių pelėsiai (3.28 pav.), kai tam yra palankios drėgmės ir temperatūros sąlygos (ypač po patalpų sienų apmušalais).

3.28 pav. Dėl drėgmės ant sienų paviršiaus išplitę pelėsiai (Thienel 2009)

Mūras ardomas tose vietose, kuriose yra susikaupę įvairių sąnašų, auga kerpės, samanos ir kita augalija, kaupianti drėgmę ir savo šaknimis besiskverbianti į mūro plyšius (3.29 pav.).

3.29 pav. Mūrinės sienos ardymas augalų šaknimis

Paviršinius mūro sluoksnius dažnai pažeidžia erozija ir korozija. Fasadinių sienų mūro erozija (3.30 pav.) paprastai pasireiškia silpno siūlių skiedinio trupėjimu (išdūlėjimu) ilgą laiką veikiant vėjo, smėlio, kritulių poveikiams. Toks mūro siūlių išdūlėjimas pasitaiko gana gilus ir vietomis siekia 40–80 mm. Erozija labiau pažeidžia silikatinius gaminius, nugludindama plytų ar blokelių kampus, praretindama jų paviršinių sluoksnių struktūrą. Kaip ir betone mūro erozija gali sukelti korozines pažaidas (3.31 pav.).

3.30 pav. Intensyvi mūro erozija

3.31 pav. Erozijos ir korozijos pažeistas silikatinių plytų mūras

Mūro siūlių bendrosios paskirties skiedinio korozijos pavidalai yra tokie patys kaip ir betono (žr. 3.1 sk.). Atmosferos kritulių veikiamo keraminių plytų ar blokelių mūro paviršiai dažnai pasidengia šviesiomis druskų nuosėdomis, kurios blogina statinio fasado išvaizdą. Mūro plytas ir blokelius, ypač silikatinius gaminius, veikianti stipri agresyvioji aplinka gali sukelti intensyvią koroziją, kaip cheminių reakcijų pasekmę.

Nustatant gaisro paveiktų mūrinių konstrukcijų pažaidas, reikia atkreipti dėmesį į galimus sienų nuokrypius, atsivėrusius plačius kiaurymynius plyšius, sienų ir perdangų jungčių pokyčius. Veikiant aukštai temperatūrai ir šaltam vandeniui, gesinant gaisrą, atskyla plytų ar blokelių paviršiniai sluoksniai, atšoka ar visiškai nukrinta tinkas, stipriai deformuojasi (ar visiškai suyra) pertvaros ir sąramos. Kai temperatūra viršija 200–250 °C, sumažėja mūro skiedinio stiprumas, o įkaitus daugiau kaip 150 °C, pakinta mūro skersinės armatūros fizikinės ir mechaninės savybės. Aukšta temperatūra greičiau pažeidžia silikatinius gaminius, nes juose vyksta kalcio hidrosilikato ir kalcio hidrato dehidratacija. Aukštesnėje kaip 575 °C temperatūroje plečiasi kvarcas ir gaminiai suyra. Reikšmingesni keraminių gaminių savybių pokyčiai prasideda temperatūrai pasiekus 800–1000 °C. Priklausomai nuo sienų ir stulpų storio ir šilumos srauto krypties konstrukcijų laikomoji galia gali mažėti iki 10–30 %, esant gaisro sukeltos mūro pažaidos gyliui – 50–60 mm (žr. 5.3 sk.).

Tiriant mūrinių konstrukcijų būklę kartais sudėtinga nustatyti naudojimo metu atsiradusių pažaidų kilmės priežastis. Jų gali būti kelios, todėl sudėtinga prognozuoti tokių pažaidų, ypač atsivėrusių plyšių, tolesnio plitimo tendencijas. Šiais atvejais paprastai gelbsti ilgalaikiai natūriniai tyrimai (žr. 4.1 sk.) ir sukaupta ilgametė tyrinėtojų patirtis.

3.3. Metalinės konstrukcijos

Metalinių konstrukcijų, kaip ir konstrukcijų iš kitokių medžiagų, defektų ir pažaidų pavojingumas ir vertinimo kriterijai yra išvardinti 2 skyriuje, tačiau defektų ir pažaidų pobūdžiai skirtingų medžiagų konstrukcijose skiriasi.

Būdingieji metalinių konstrukcijų gamybos ir montavimo defektai, turintys poveikį naudojimui ir laikomajai galiai, yra tokie:

– *konstrukcijos matmenų nuokrypiai* (elementų ilgio ir skerspjūvio matmenų). Paprastai tokie defektai atsiranda konstrukcijos gamybos metu nesilaikant gaminių kokybės kontrolės reikalavimų ir neatsižvelgiant į leistinąsias nuokrypas. Šie defektai gali turėti poveikį įrąžų persiskirstymui konstrukcijos elementuose, ypač statiškai nesprendžiamose sistemose, ir elementų įtempių būvio pokyčiui, lyginant su projektine užmačia, dažniausiai į blogesniąją pusę. Pagal standartą (LST EN 1090-2:2008) plieninių konstrukcijų ir jų elementų pavidalo ir matmenų nuokrypos suskirstytos į keturias grupes: *svarbiausiosios* – pagrindinės matmenų, kurios būtinos, siekiant atitikti konstrukcijų projektines prielaidas vertinant jų mechaninį atsparumą ir pastovumą; Svarbiausiosios nuokrypos turi atitikti minėto standarto reikalavimus. Jei tikrasis nuokrypis yra didesnis už leistinąją nuokrypą, nustatytasis dydis turi būti vertinamas kaip neatitiktis (defektas) ir turi būti taisomas, tačiau jei skaičiavimais įvertinus tikruosius nuokrypius konstrukcijos ar elemento laikomoji galia yra pakankama, tokia konstrukcija ar elementas laikomi tinkamais; *paskirties* – pagrindinės matmenų nuokrypos, kurios turėtų atitikti kitokią paskirtį, nei mechaninį atsparumą ir pastovumą, pvz., išvaizdos ar sąrankos. Į šias nuokrypas turi būti atsižvelgiama tam, kad konstrukcijos, pavieniai elementai ir jų jungtys būtų sukonstruotos taip, kad nekiltų nenumatytų

problemų jų montavimo metu. Neatsižvelgus į šias nuokrypas, kai kurių konstrukcijų projektinė padėtis gali būti neįmanoma; *specialiosios* – matmenų nuokrypos, nepatekusios į lenteles, arba nuokrypos, pateiktos LST EN 1090-2:2008, kurios nurodomos konkrečiu atveju; *gamybos* – leistinosios sudedamųjų dalių matmenų ribos, taikomos sudedamosioms dalims gaminti. Visi valcuotieji ar kitaip formuotieji konstrukciniai gaminiai turi atitikti standartų reikalavimus, o neatitinkantys reikalavimų gaminiai negali būti naudojami tolesnei gamybai. Minėtosios nuokrypos taikomos visais statybos proceso etapais – skaičiuojant, gaminant, montuojant konstrukcijas ir tiriant jų būklę. Svarbiausios paskirties specialiosios ir gamybos nuokrypos, visos ar tik kai kurios iš jų, pateikiamos gaminamoms ir montuojamoms konstrukcijoms. Tiriant konstrukcijų būklę taikomos konstrukcijų montavimo nuokrypos. Jei tyrimais nustatoma, kad nuokrypiai yra didesni, konstrukcijų laikomoji galia turi būti perskaičiuojama atsižvelgiant į tikruosius nuokrypius. Nepakankamos laikomosios galios konstrukcijos ar pavieniai elementai turi būti stiprinami arba keičiami naujais. Leistinosios montavimo nuokrypos (pagal LST EN 1090-2:2008) yra pateiktos B priede;

– *elementų padėties nuokrypiai* – elementų ašių nesutapimas, netinkamas elementų prigludimas vieno prie kito. Dėl šių defektų konstrukcijos elementuose sukyla papildomi projektavimo metu neįvertinti lenkiamieji momentai;
– *elementų kreivis*, viršijantis leistinąsias nuokrypas, dažniausiai atsiranda konstrukcijoms gaminti naudojant jau deformuotus elementus ar juos lankstant konstrukcijos rinkimo metu dėl smūginių poveikių ar suvaržytų deformacijų suvirinant konstrukcijas. Pastarasis defektas taip pat sukelia papildomus lenkiamuosius momentus, mažina gniuždomųjų elementų klumpamąją galią ar lenkiamųjų elementų bendrąjį pastovumą;
– *suvirinimo defektai* tokie, kaip virintinių siūlių plyšiai, poros, kietieji intarpai, krateriai, dideli tarpai tarp jungiamų elementų, virintinių siūlių statinio aukščio, siūlių storio ir ilgio nuokrypiai;
– *konstrukcijų nuokrypiai nuo projektinės padėties*, pvz., neleistini sijų ir kolonų ašių nuokrypiai nuo projektinės padėties, kolonų

posvyris ir pan., atsirandantys montavimo metu ir sukeliantys nenumatytas įrąžas – sukamuosius, lenkiamuosius momentus ir skersines jėgas;

– *projekte numatytų jungimo priemonių, skirtų elementų tarpusavio jungtims, – varžtų, virintinių siūlių ar ryšių elementų trūkumas,* atsirandantis dėl nekokybiškos konstrukcijų gamybos ar montavimo (3.32 pav.). Šie defektai turi poveikį konstrukcijos tikrojo skaičiuojamojo modelio pokyčiams ir pavienės konstrukcijos ar viso statinio pastovumo mažėjimui ir deformacijų didėjimui;

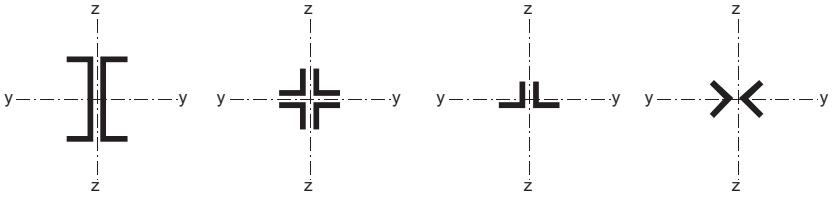
a) b)

3.32 pav. Netinkamai įrengtos jungtys: a – kolonos pėdos ir pamato mazgas; b – elemento sudurtinė jungtis;

– *per mažas intarpų skaičius* glaudžiuose sudėtinio skerspjūvio elementuose (3.33 pav.), netinkamas jų išdėstymas arba intarpų nebuvimas visai. Intarpai paprastai išdėstomi vienoje arba dviejose plokštumose atsižvelgiant į elemento pavidalą. Dėl minėtų defektų pasikeičia elemento elgsena, nes elemento negalima vertinti kaip vientiso, o elemento irtis gali būti vienos sudėtinio skerspjūvio šakos kluptis tarp intarpų;

– *apsauginių dangų defektai*, atsirandantys dėl netinkamai parinktos apsauginių dangų sistemos, nekokybiško konstrukcijos elementų paviršių paruošimo prieš dažant ar netinkamos dažymo techno-

logijos, dažų dangos storio kontrolės ar per mažo dažų sluoksnio storio. Tokiems defektams atsirasti didelį poveikį turi netinkamas elementų briaunų paruošimas, jų jungčių pavidalas, per maži atstumai tarp glaudžių elementų.



3.33 pav. Glaudžių sudėtinio skerspjūvio elementų skerspjūvio pavidalai

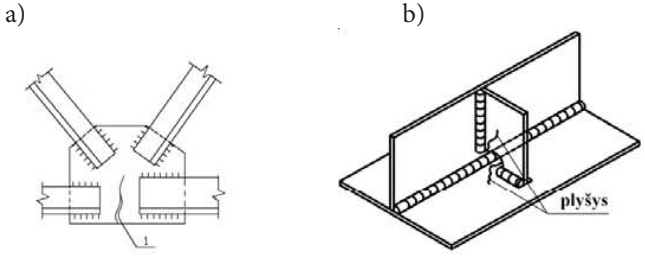
Metalinių konstrukcijų gamybos ir montavimo pažaidos:

– *mechaninės elementų pažaidos* (vietinės ar bendrosios deformacijos), sukeltos atsitiktinių ar tyčinių mechaninių poveikių (gali atsirasti tiek gamybos vietoje, tiek ir statybvietėje);
– *elementų skerspjūvio susilpninimas* dažniausiai atsiranda statybos metu montuojant įvairias komunikacijas – vandentiekį, elektros instaliaciją ir pan. (3.34 pav.). Šių pažaidų atsiradimą lemia tyčiniai komunikacijų montuotojų veiksmai. Minėtos pažaidos silpnina elementų skerspjūvius, sukelia nepageidautiną įtempių santalką, nesimetrinis skerspjūvio silpninimas keičia ir elementų įtempių būvį ir mažina laikomąją galią (2 ar 3 kategorijos pažaidos).

Metalinių konstrukcijų naudojimo metu taip pat gali atsirasti įvairių pažaidų:

– *korozija*;
– *elementų ar visos konstrukcijos vietinės ir bendrosios deformacijos* dėl atsitiktinių poveikių, nenumatyto apkrovų padidėjimo. Šios pažaidos, atsižvelgiant į pažaidos dydį, gali būti priskiriamos 2– 4 kategorijos pažaidoms;
– *trapieji plyšiai* dėl per mažo plieno smūginio tąsumo ar žemų temperatūrų poveikio ir staigių skerspjūvio pokyčių (3.35 pav., 4 kategorijos pažaidos). Tokios pažaidos yra avarinio pobūdžio ir jas reikia nedelsiant šalinti;

3.34 pav. Mechaniškai pažeistas elementas



3.35 pav. Jungčių plyšiai: a – santvaros mazgo staigaus skerspjūvio pokyčio vietoje; b – suvaržytos jungties staigaus skerspjūvio pokyčio vietose arba dėl nuovargio

– *elementų deformacijos padidėjus įtempiams* dėl suvaržytų temperatūrinių deformacijų, jei pastarosios nebuvo įvertintos projektavimo metu;
– *elementų deformacijos ir laikomosios galios sumažėjimas veikiant aukštesnėms kaip 100 °C temperatūroms*;
– *mechaninis elementų nusidėvėjimas* (nudilimas), kuris būdingas kranų bėgiams;
– *apsauginių dangų nubrozdinimai ar dangų pažaidos* montuojamojo suvirinimo metu (priskiriama 1 ar 2 kategorijai) poveikio elementų

laikomajai galiai neturi, tačiau greičiau pasireiškia pažeistų vietų korozija;
– *apsauginių dangų irtis* ir elementų paviršių korozija dėl agresyviosios aplinkos poveikio.

Viena dažniausiai pasitaikančių metalinių konstrukcijų pažaidų yra korozinės pažaidos, būdingos faktiškai visoms be išimties metalų, naudojamų statyboje, rūšims.

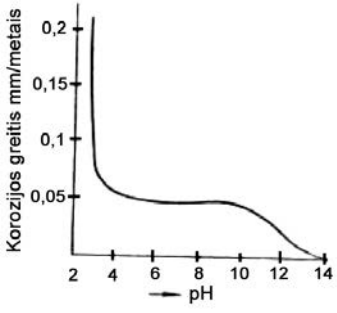
Korozija (rūdijimas) – medžiagų irimas veikiant cheminiams, elektrocheminiams arba biologiniams aplinkos poveikiams. Korozijos metu susidaro termodinamiškai pastovesni junginiai lyginant su pradine medžiaga. Metalų irtis vyksta dėl cheminio, elektrocheminio ir biologinio aplinkos poveikio.

Gamtoje tik taurieji metalai randami pirmapradžio pavidalo. Kiti metalai yra chemiškai susiję su kitais įvairiais elementais ir išgaunami rūdinių ar nerūdinių mineralų pavidalo. Dirbtinai iš rūdos išskirti metalai, veikiant aplinkos poveikiams, natūraliai linksta pastoviosios būklės link, oksiduodamiesi ar sudarydami kitus cheminius junginius.

Pagal vykstančių procesų pobūdį korozija būna:
– *cheminė korozija*, kai vyksta veikiant išoriniams cheminiams poveikiams. Šiuo atveju korozijos produktai (rūdys) susidaro poveikio vietoje. Prie cheminės korozijos priskiriama dujinė ir korozija, vykstanti neelektrolitų tirpaluose. Cheminė korozija vyksta cheminiu medžiagos reakcijos principu, tik jos metu nesukuriama elektros energijos;
– *elektrocheminė korozija* vyksta veikiant elektrolitui, o cheminių pokyčių metu susidaro galvaniniai elementai – sukuriama pastovioji elektros srovė. Skirtingai nuo cheminės korozijos, reakcijos nebūtinai vyksta tik tam tikroje rūdijančiojo elemento vietoje. Elektrocheminei korozijai priskiriama atmosferinė, požeminė ir jūrinė korozija. Sausoje dujinėje aplinkoje ar skystuose neelektrolituose elektrocheminių procesų (korozija) nevyksta.

Aplinka, kurioje vykta korozija, gali būti:
– *dujinė*, kai aplinka yra sausos dujos be jokios skystosios fazės ant metalo paviršiaus. Vienas dažniausių dujinės korozijos tipų yra aukštų temperatūrų ir deguonies ar kitos aktyvios aplinkos (SO, CO dujų ir pan.) poveikis;

– *atmosferinė*, kai korozijos aplinka yra Žemės atmosfera arba bet kokios kitos aplinkos temperatūros dujos. Atmosferinei korozijai būdinga tai, kad metalo korozija vyksta po drėgmės plėvele (elektrolitu) – tai gali būti plona nematoma plėvelė arba stora matoma plėvelė. Plėvelės ant metalo paviršiaus susidaro oro drėgniui pasiekus apie 60 %. Šios aplinkos agresyvumą apibūdina du pagrindiniai rodikliai: – aplinkos dujų sudėtis (atmosferos užterštumas vandenyje tirpiais junginiais) ir santykinis oro drėgnis. Kuo didesnis oro drėgnis, tuo aplinkos agresyvumas yra didesnis. Atmosferinės korozijos greitis priklauso nuo drėgmės plėvelės ant paviršiaus storio arba susidariusių rūdžių sluoksnio sudrėkimo lygio;
– *požeminė korozija* – tai užkastų metalų korozija, kai gruntas yra koroziją sukelianti aplinka. Šiuo atveju gruntas yra laidi terpė – elektrolitas. Grunto koroziškumas priklauso nuo grunto tankio, drėgnio, gruntinio vandens cheminės sudėties (jame ištirpusių druskų ar organinių priemaišų kiekio), netolygios atskirų požeminių konstrukcijos dalių aeracijos (deguonies patekimo) ir klaidžiojančių srovių, nutekančių į gruntą iš nuolatinės srovės šaltinių (pvz., elektrifikuoto geležinkelio, nuolatinės srovės įžemiklių, aukštosios įtampos linijų). Požeminėms konstrukcijoms rūdyti poveikį turi ir grunte vykstantys biologiniai procesai. Vietinė taškinė (pitinginė) korozija gali susidaryti ten, kur metalinės konstrukcijos kerta skirtingo tipo gruntą, skirtingą deguonies kiekį turinčius ar skirtingai prisotintus drėgmės gruntus.



3.36 pav. Aplinkos šarmingumo ir plieno korozijos greičio sąryšis

Sausoje aplinkoje metalų korozijos faktiškai nevyksta, nes jai vykti reikalingi tokie veiksniai, kaip drėgmė ir vandenyje tirpūs cheminiai junginiai, sudarantys rūgštis. Kai pH yra 7–14, plienas pasižymi didesniu atsparumu korozijai (3.36 pav.), nes tokiomis sąlygomis paviršius pasidengia pastovia apsaugine plėvele. Mažėjant aplinkos šarmingumo rodikliui pH korozija vėl aktyvėja.

Pagal pažaidos mastą korozija gali būti:

– *bendroji* (ištisinė) – vykstanti visame korozijos aplinkos veikiamo metalo paviršiuje. Ištisinė korozija vadinama tolygia, kai metalas vienodai koroduoja visame paviršiaus plote. Ištisinė korozija vadinama netolygia, kai atskirų rūdijančio metalo paviršiaus plotelių korozijos greitis yra skirtingas (3.37 pav.);
– *vietinė* – dažniausiai vykstanti pavienėse agresyviosios aplinkos veikiamo metalo paviršiaus vietose. Dėl vietinės korozijos gali susidaryti duobutės, įtrūkiai arba grioveliai (3.37 pav.).

Pagal pažaidos pobūdį korozija būna:

– *tolygioji* – vykstanti beveik vienodu greičiu visame paviršiuje. Tolygiajai korozijai būdinga gana vienoda viso agresyviosios aplinkos veikiamo ploto korozija, t. y. vienodas metalo storio sumažėjimas. Tolygiosios korozijos gali būti pažeisti tiek plieniniai, tiek aliumininiai elementai ir aliuminio bei cinko dangos.
– *taškinė (pitinginė)* – vietinės korozijos tipas, kai susidaro duobutės, t. y. nuo paviršiaus į metalą plintančios įdubos. Pažaidos ploto matmenys paprastai yra mažesni nei gylis. Taškinė korozija būdinga nerūdijančiajam plienui, aliuminiui ir jo lydiniams. Pastaroji korozinė pažaida yra viena pavojingiausių vietinių pažaidų, nes dėl korozijos esant ir nedideliam metalo masės sumažėjimui, pažaida gali būti labai gili ar net kiauryminė.
– *židininė* – taip pat vietinės korozijos tipas, kai paviršius pasidengia pavienėmis arba daugybinėmis korozinėmis pažaidomis, kurių ploto matmenys yra ne didesni nei pažaidos gylis. Ši korozija būdinga konstrukcijoms iš anglinio arba mažai legiruoto plieno, esančioms grunte arba vandenyje;
– *plyšinė* – vietinės korozijos atmaina, vykstanti plyšiuose tarp metalo ir kito metalinio arba nemetalinio paviršiaus, kai į tarpą patekusi

drėgmė negali laisvai pasišalinti. Plyšinė korozija būdinga visiems metalams, taip pat ir nerūdijančiajam plienui;

– *tarpgrūdelinė korozija* – vietinės korozijos atmaina, kai korozija vyksta metalo grūdeliuose arba tarp jų. Ši korozijos atmaina ypač būdinga nerūdijančiajam plienui, kiek mažiau aliuminio lydiniams ir plienui, turinčiam didelį anglies kiekį, dažniausiai suvirinimo ruožuose. Ji pasireiškia tuo, kad paviršiuje atsiranda daug plonyčių plika akimi sunkiai pastebimų plyšių, kurių gylis yra didesnis nei plotis;

– *sluoksninė* – tai karštai formuotų (valcuotų, presuotų ir pan.) gaminių metalų vidinių sluoksnių korozija, pasireiškianti metalo skilimu tarp grūdelių, plokštumomis, lygiagrečiomis su formavimo plokštuma. Metalo sluoksniavimąsi sukelia gaminio viduje susidarantys korozijos produktai. Sluosniavimasis vyksta keliuose vienos plokštumos korozijos židiniuose, gali vykti ir keliose plokštumose vienu metu. Kartais sluoksninė korozija gali sukelti nepažeistų metalo sluoksnių atsiskyrimą. Sluoksninė korozija būdingesnė aliuminio lydiniams, tačiau pasitaiko ir plieninėse konstrukcijose;

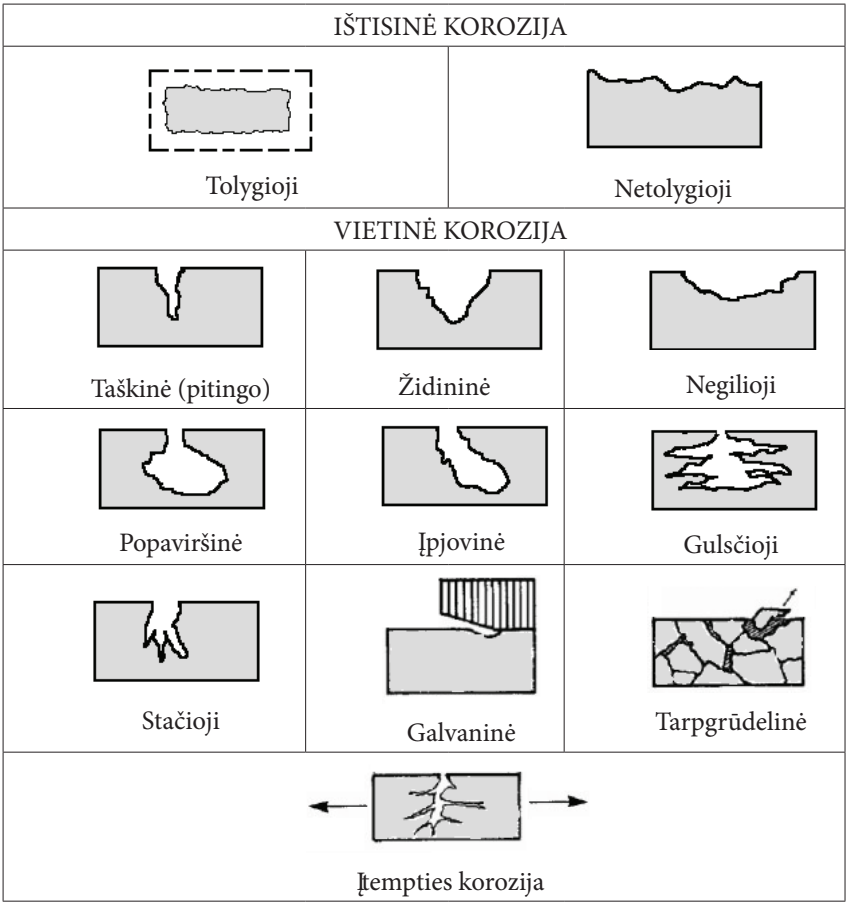
– *erozinė* – tai procesas, kai kartu vyksta korozija ir erozija. Erozinė korozija dažniausiai vyksta vamzdžiuose, kuriais skystis teka dideliu greičiu, siurbliuose ir vamzdynuose, tekant skysčiui su pakibusiomis abrazyvinėmis (smėlio, rūdžių) dalelėmis, staigiose vamzdžių skersmens pokyčio vietose;

– *įtempties* (įtempties korozinis pleišėjimas) – korozija, vykstanti įtemptame metaliniame elemente ir veikiant agresyviajai aplinkai, t. y. ji vyksta ruožuose, kuriuose veikia tempiamieji ar lenkiamieji įtempiai arba įtempiai dėl terminių poveikių. Šiuose ruožuose ir gali prasidėti įtempties korozinis pleišėjimas, pasireiškiantis plyšių atsiradimu tarp metalo grūdelių arba juose dažniausiai statmena tempiamiesiems įtempiams kryptimi. Pažaida būdinga plienui ir didelio stiprumo aliuminio lydiniams.

– *galvaninė* (dvimetalinė) – korozija, vykstanti dviejų skirtingą elektrocheminį potencialą turinčių metalų sąlyčio vietoje, pvz., plieninius lakštus jungiant aliumininėmis kniedėmis ar tarpusavyje jungiant skirtingus metalus. Kadangi aliuminis yra mažiau taurus nei

geležis, tai jis rūdija intensyviau. Korozijai vykti pakanka, kad sąlyčio zonoje atsirastų drėgmės – kondensato ar kritulių. Šiuo atveju tarp dviejų metalų teka elektros srovė ir mažiau taurus metalas rūdija greičiau.

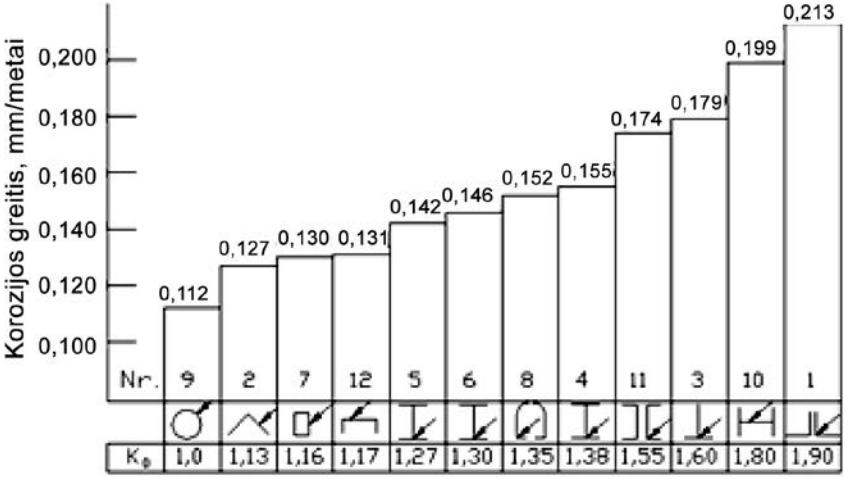
Korozijos pobūdžio įvairovė yra labai didelė, apie tai galima sužinoti iš tam skirtos techninės literatūros. Keli ištisinės ir virintinės korozijos pobūdžiai parodyti 3.37 pav.



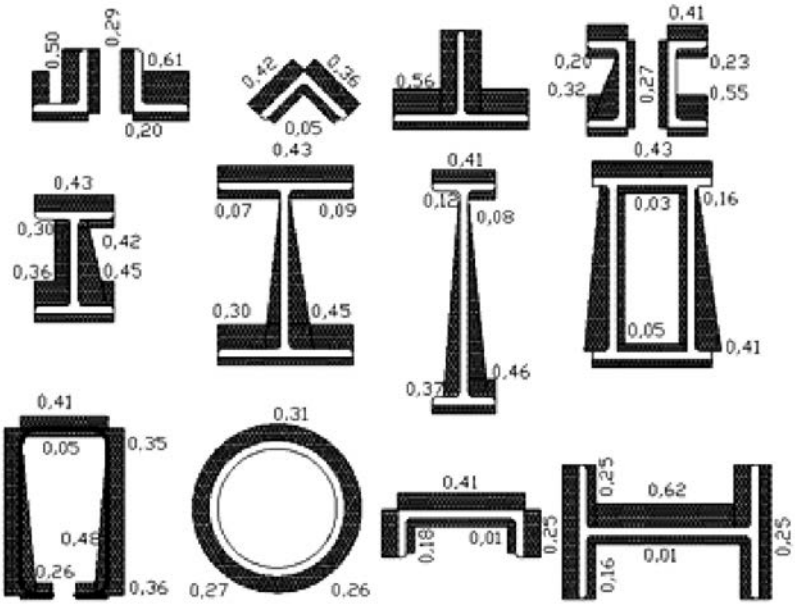
3.37 pav. Korozijos rūšys

Korozijos greitis gali būti įvertinamas pagal korozijos gylį per laiko vienetą arba metalo masės mažėjimu per laiko vienetą, tačiau rūdijimo greitis ir labiausiai rūdijančių vietų padėtis priklauso ne tik nuo aplinkos sąlygų agresyvumo, bet ir nuo elemento skerspjūvio pavidalo ir padėties erdvėje. Skerspjūvio pavidalo poveikis rūdijimo greičiui parodytas 3.38 ir 3.39 pav. (Бирюлев *et al.* 1990; Šulčius 2006). Kaip matyti iš 3.39 pav., to paties skerspjūvio pavienių paviršių rūdijimo intensyvumas, priklausomai nuo jų padėties erdvėje, gali skirtis iki 10 kartų.

Kadangi korozijos visiškai išvengti neįmanoma, todėl reikia imtis priemonių, galinčių pašalinti ją sukeliančias priežastis ar sumažinančias jos poveikį. Visų pirma turi būti atsižvelgiama į numatomas metalinių konstrukcijų naudojimo sąlygas (aplinkos agresyvumo kategoriją), nurodytas standarte (LST EN ISO 12944-2:2000), (žr. A priedo 3 lentelę) ir taikyti tinkamus apsaugos būdus.



3.38 pav. Skerspjūvio pavidalo ir padėties poveikis rūdijimo greičiui: K_0 – santykinis skerspjūvio atsparumas korozijai; *Nr.* – atsparumo korozijai eiliškumas (didėjimo tvarka) lyginant su vamzdiniu skerspjūviu



3.39 pav. Plieninių profiliuočių paviršių rūdijimo intensyvumas (masės mažėjimas gramais per tam tikrą laikotarpį) pagal bandymų rezultatus

Virintinių siūlių defektai yra tokie:

– plyšiai;
– poros;
– kietieji intarpai;
– nesulydymas;
– neįvirinimas;
– pavidalo ir matmenų nuokrypiai.

Dėl virintinių siūlių defektų dalis ar visa konstrukcija gali suirti. Todėl siekiant sumažinti defektų atsiradimo tikimybę, norminiuose dokumentuose numatyta virintinių siūlių kokybės patikra. Turi būti atliekama ne tik baigtų virinti siūlių, bet ir tarpinė (operacinė) patikra, kurios metu suvirintojas tikrina suvirinimo režimus ir suformuotų siūlių rodiklius (siūlės paviršiaus banguotumą, statinių aukščius).

Pagal virintinių siūlių defektų aptikimo būdą defektai būna:

– *matomi* (paviršiniai), kurie aptinkami apžiūros metu nenaudojant papildomų specialių priemonių, išskyrus didinamuosius stiklus ar mikroskopą;
– *nematomi* (vidiniai), kurie aptinkami tik naudojant specialiąsias priemones.

Matomiems defektams priskiriama: netolygus banguotumas, įpjovos, netinkamas siūlės pavidalas, plyšiai, paviršinės poros ir kietieji intarpai, neįvirinimas, kraterio nuobėgos ir kt.

Nematomiems defektams priskiriama: vidinės poros ir kietieji intarpai, sudurtinių ir kertinių siūlių neįvirinimas ir kt.

Virintinių siūlių defektų atsiradimo priežastys gali būti:

– *formavimo* (neįvirinimas, įpjovos, krateriai ir t. t.), atsiradusios dėl suvirinimo technologijos nesilaikymo ar kitų subjektyvių veiksnių;
– *terminiai* (metalurginiai) procesai, vykstantys suvirinimo metu (šaltieji plyšiai, tuštumos, kietieji intarpai, netinkamos virintinių siūlių mechaninės savybės, suvirintosios konstrukcijos išsikreivinimas ir matmenų pasikeitimas).

Virintinių siūlių pažaidų atsiradimo priežastys gali būti:

– *apkrovos poveikiai;*
– *agresyviosios aplinkos poveikiai.*

Defektai ir pažaidos, jų apibūdinimas

Plyšys – nevientisumas, atsiradęs irstant tam tikrai kieto metalo vietai aušimo metu arba veikiant įtempiams.

Plyšiai yra vieni pavojingiausių defektų, nes plyšių galuose gali susidaryti didelės įtempių santalkos, skatinančios plyšių plitimą, dėl ko galima jungties irtis.

Plyšiai būna:

– *mikroplyšiai* – matomi tik mikroskopu;
– *išilginiai plyšiai* – apytikriai lygiagretūs su siūlės ašimi;
– *skersiniai plyšiai* – apytikriai statmeni siūlės ašiai;

– *spinduliniai plyšiai* – prasidedantys bendrame taške;

– *kraterio plyšiai* – siūlės gale.

Plyšiai gali būti pavieniai, grupiniai ir šakotiniai – kai grupėje esantys plyšiai susikerta tarpusavyje.

Plyšiams atsirasti didelį poveikį turi virintinės siūlės metalo cheminė sudėtis ir priemaišų (sieros, fosforo, silicio, vandenilio) kiekis.

Poros – tai tuštumos, atsiradusios nespėjus pasišalinti dujoms. Pagal padėtį siūlėje poros būna paviršinės ar vidinės, o pagal pavidalą – rutulinės, ištęstosios arba kirmėliško pavidalo.

Poros (tuštumos) yra mažiau pavojingi virintinių siūlių defektai nei plyšiai, tačiau ir poros mažina virintinės siūlės laikomąją galią, ypač jei jos yra ištęstosios arba kirmėliškos – išsidėsčiusios vienoje plokštumoje. Poros (tuštumos) siūlės metale atsiranda dėl azoto, vandenilio ar anglies dvideginio dujų, gausiai išsiskiriančių virinimo metu; dėl per didelio silicio, mangano kiekio siūlės metale, kai yra netinkamai parinkta suvirinimo medžiaga; virinamas nešvarus, tepaluotas, surūdijęs metalas; naudojamas drėgnas apsauginis fliusas ar yra sudrėkęs elektrodo glaistas; bloga dujinė suvirinimo vietos apsauga, kai virinama pusiau automatiniu būdu apsauginių dujų aplinkoje.

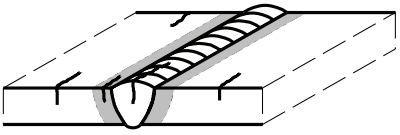
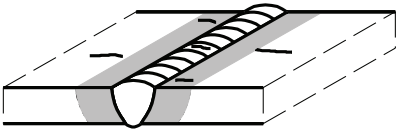
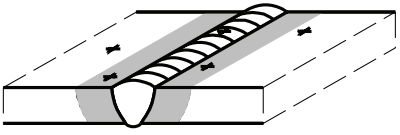
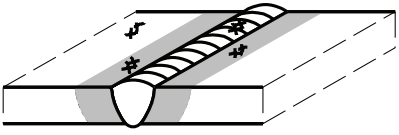
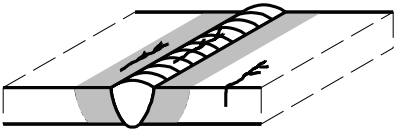
Kietieji intarpai – kietos pašalinės medžiagos, įsiterpusios į siūlės metalą. Kaip ir poros kietieji intarpai, šios medžiagos silpnina siūlės pjūvį ir mažina laikomąją galią. Kietieji intarpai susidaro suvirinant nešvarius, surūdijusius elementus. Suvirinant rankiniu būdu daugiasluoksnėse siūlėse kietieji intarpai atsiranda blogai nuvalius šlaką nuo žemiau esančių siūlės sluoksnių. Kietieji intarpai būna: iš šlako, fliuso, oksido, metalo (volframo, vario ir kt.). Kaip ir poros, kietieji intarpai gali būti pavieniai, grupiniai, linijiniai ir t. t. Poros ir kietieji intarpai turi didelį poveikį kertinių ir sudurtinių virintinių siūlių irčiai dėl nuovargio.

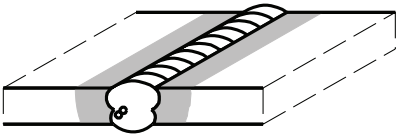
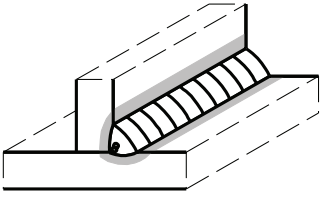
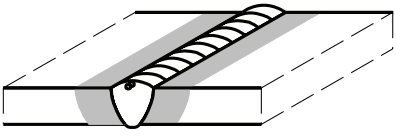
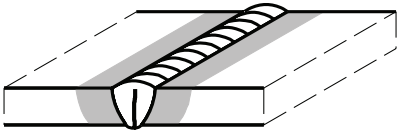
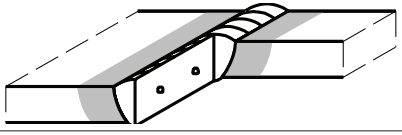
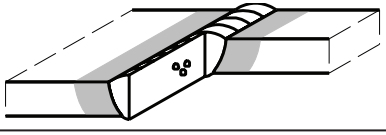
Plyšių, porų ir kietųjų intarpų atsiradimo vietos parodytos 3.3 lentelėje.

Nesulydymas (nevisiškas sulydimas) – nepakankamas siūlės ir pagrindinio metalo arba pavienių siūlės sluoksnių ryšys. Neįvirinimas – skirtumas tarp faktinio ir projektinio siūlės įvirinimo gylio. Tai dažniausiai vietiniai

defektai. Kadangi dėl nesulydymo susidaro įtempių santalka, sumažėja siūlės plastiškumas. Šis defektas atsiranda dėl suvirinimo technologijos nesilaikymo, netinkamo jungties paruošimo, subjektyvių veiksnių. Defektų pavyzdžiai parodyti 3.4 lentelėje.

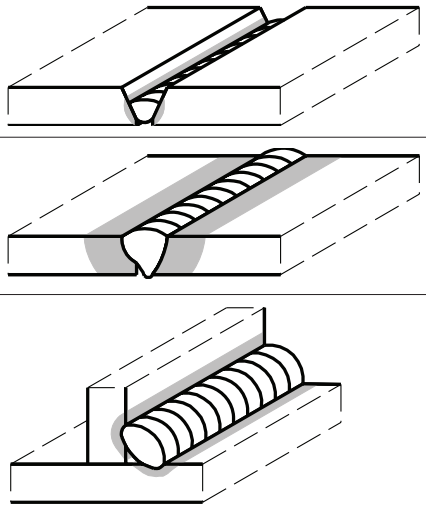
3.3 lentelė. Virintinių siūlių defektai – plyšiai, poros, kietieji intarpai

Plyšiai	
	**Išilginiai** – lygiagretūs su virintine siūle gali atsirasti: – siūlės metale; – pagrindiniame metale; – termiškai paveiktoje srityje; – sulydymo srityje
	**Skersiniai** – statmeni virintinei siūlei gali atsirasti: – siūlės metale; – pagrindiniame metale; – termiškai paveiktoje srityje
	**Spinduliniai** – persikertantys arba prasidedantys tame pačiame taške gali būti: – siūlės metale; – pagrindiniame metale; – termiškai paveiktoje srityje
	**Plyšių grupė** – atskirų nesusijungusių plyšių grupė gali būti: – siūlės metale; – pagrindiniame metale; – termiškai paveiktoje srityje
	**Šakotiniai** – tarpusavyje susiję atsišakojantys nuo vieno plyšio gali būti: – siūlės metale; – pagrindiniame metale; – terminio poveikio srityje

Poros ir kietieji intarpai	
	Pagal porų pavidalą poros gali būti sferinės, ištęstosios ir kirmėliškosios formos (vermikulitinės) **Rutulinės poros** – rutulio pavidalo uždaros tuštumos, esančios siūlės metale, susidarančios nespėjus pasišalinti dujoms. Jos būna: – pavienės; – linijinės (išsidėsčiusios eile, lygiagrečia su siūlės ašimi); – grupinės; – tolygiai išsidėsčiusios. **Ištęstosios poros** – pailgo pavidalo tuštumos, lygiagrečios su siūlės ašimi. **Kirmėliškos (vermikulitinės) pavidalo poros** – siūlės metale, išeinant dujoms, susidariusi vamzdelinė tuštuma
	
	**Paviršinės poros** – įvairaus pavidalo poros, esančios virintinės siūlės paviršiuje
	**Tarpdendritinis subėgimas** – pailga subėgimo tuštuma, atsirandanti tarp dendritų[1)], auštant siūlės metalui. Tarpdendritinis subėgimas dažniausiai būna statmenas priekiniam siūlės paviršiui
	**Kietieji intarpai** – tai suvirinimo metu į siūlės metalą patekusios kietosios dalelės (šlakas, fliusas, metalo oksidas ir pan.). Jie būna: – pavieniai; – linijiniai; – grupiniai
	

[1] Dendritas – metalų arba mineralų struktūrinis darinys, esantis medžio šakelės arba samanų pavidalo. Dendritai susidaro kristalizuojantis išlydytam metalui.

3.4 lentelė. Neįvirinimas

Neįvirinimas	
	Parodytas nepakankamas šaknies įvirinimas – vienas ar abu virintinės siūlės šaknies paviršiai, nepakankamai išlydyti suvirinimo metu. Neįvirinimo priežastis – netinkamai parinkta suvirinimo technologija (per didelis elektrodo skersmuo, blogai nuvalyti suvirinamieji paviršiai ir pan.)

Siūlės pavidalo ir matmenų defektai – tai defektai, susiję su siūlės matmenų nuokrypiais nuo vardinių matmenų, siūlės pavidalo, paviršiaus banguotumo netolygumais, pertekliniu įvirinimu ir pan. Pastarieji defektai atsiranda dėl suvirinimo technologijos nesilaikymo, žemos suvirintojo kvalifikacijos, netinkamai parinktos suvirinimo medžiagos (3.40 pav.).

Jungties pavidalo defektai – tiesinė nesutaptis, kampinė nesutaptis ir netinkamas kertinių siūlių tarpelis ar siūlės paviršiaus išgaubtumas, įpjovos.

Įpjovos – tai pagrindinio metalo įdubos, išsidėsčiusios išilgai siūlės vienoje arba abiejose jos pusėse. Įpjovos sumažina suvirintinės jungties laikomąją galią, ypač konstrukcijose, veikiamose vibracinių ar dinaminių apkrovų. Jei įpjovos yra išsidėsčiusios statmena įtempių veikimo kryptimi, jos tose vietose sukelia dideles įtempių santalkas. Įpjovos atsiranda dėl netinkamai parinkto suvirinimo režimo (įtampos, srovės stiprumo) ar žemos suvirintojo kvalifikacijos. Šio defekto pavojingumą lemia įpjovos gylis, jungties liekamųjų įtempių dydis ir virintinės jungties tipas. Jungties pavidalo defektai ir įpjovos parodyti 3.5 lentelėje

Tinkama siūlė

Nekokybiška siūlė dėl greito elektrodo vedimo

Siūlės pavidalas dėl lėto elektrodo vedimo

Virinta trumpu elektros lanku

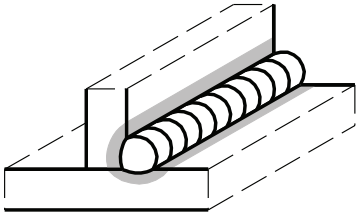
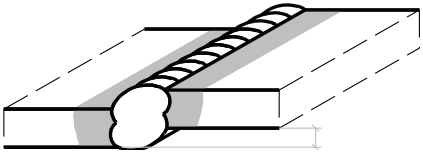
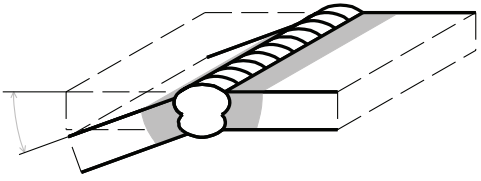
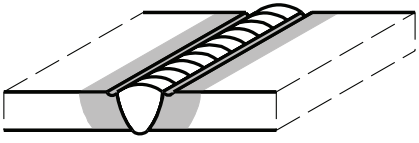
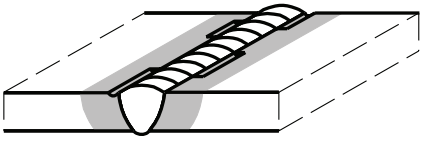
Virinta ilgu elektros lanku

Virinta esant dideliam srovės stiprumui

Virinta esant mažam srovės stiprumui

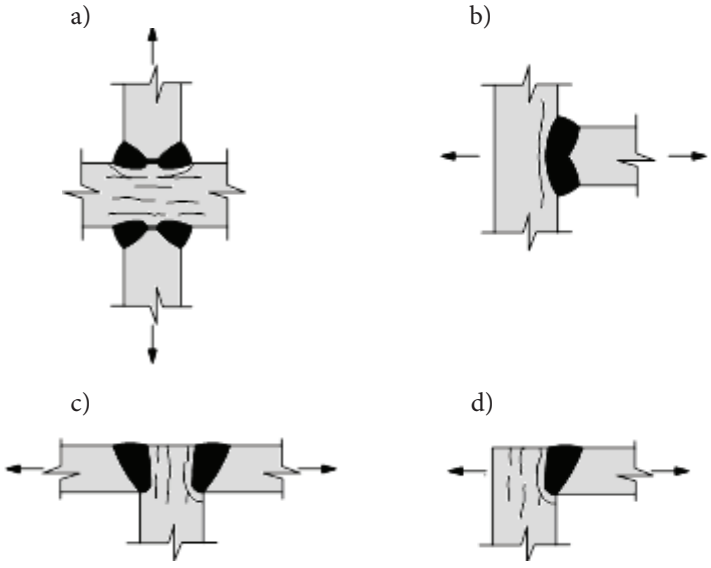
3.40 pav. Sudurtinių siūlių rumbelių pavidalai

3.5 lentelė. Virintinių jungčių pavidalo ir matmenų defektai

Pavidalo ir matmenų defektai	
	**Pernelyg išgaubta kertinė siūlė** – per daug išgaubtas priekinis kertinės siūlės paviršius. Defektu laikomas ir kertinės siūlės priekinio paviršiaus per didelis įšgaubtumas ar įdubumas. Sudurtinių siūlių būna **per aukšta rumbelė** – per aukštas priekinis siūlės paviršius. Siūlės paviršiaus įduba taip pat yra defektas
	**Tiesinė elementų nesutaptis** – kai jungiamųjų elementų ašys lygiagrečios, tačiau nesutampa
	**Kampinė elementų nesutaptis** – kai jungiamųjų elementų ašys susikerta kampu
a) 	**Įpjovos** – netaisyklingo pavidalo grioveliai pagrindiniame metale ties siūle, atsiradę dėl netinkamai parinktos suvirinimo technologijos (per stipri srovė, virinta ilgu lanku ir pan.). Įpjovos būna: – ištisinės (a); – trūkiosios (b); – šaknies įpjovos (siūlės šaknies šonuose)
b) 	

Jungtyje gali būti ne tik vieno tipo, bet ir kelių tipų defektai.

Virintinių jungčių, kurių vienas iš jungiamųjų elementų tempiamas (rėminių mazgų, santvarų tempiamųjų juostų plokštelinės jungės ir pan.) lakšto ar profiliuočio lentynos storio kryptimi, gali įvykti sluoksninis storio kryptimi tempiamo lakšto pleišėjimas (3.41 pav.). Toks pleišėjimas dažniausiai neturi išorinių požymių. Kartais tokių jungčių irtis gali įvykti tuoj po suvirinimo dėl suvaržytų temperatūros sukeltų deformacijų arba konstrukcijos naudojimo metu dėl įtempių poveikio ar mažo plieno plastiškumo elemento storio linkme. Tokie defektai gali būti aptikti tik naudojant defektų aptikimo būdus neardant.



3.41 pav. Sluoksninis jungčių pleišėjimas: a – kryžminės jungties su iš dalies įvirintomis siūlėmis; b – tėjinės jungties su visiškai įvirintomis abipusėmis siūlėmis; c – tėjinės jungties su vienpusėmis visiškai įvirintomis siūlėmis; d – kampinės jungties su vienpuse visiškai įvirinta siūle

Ne visi virintinių jungčių defektai turi vienodą poveikį jungties laikomajai galiai, tačiau jie gerokai ją sumažina, o veikiant atitinkamiems poveikams gali sukelti jungties irtį. Pavojingiausi yra vidiniai defektai, nes

juos sudėtinga aptikti. Norint nustatyti virintinių jungčių patikimumą ir siūlių kokybę, būtina žinoti, kokį poveikį jungties laikomajai galiai turi vienas ar kitas defektas veikiant įvairiems veiksniams. Tas pats defektas gali turėti skirtingą poveikį statinėmis apkrovomis ir dinaminėmis ar vibracinėmis apkrovomis apkrautoms konstrukcijoms. Statiškai apkrautų virintinių jungčių laikomajai galiai didžiausią poveikį turi defektų dydis. Žemose temperatūrose dėl defektų kyla trapios irties pavojus. Jungčių, veikiamų dinaminių poveikių, faktiškai visi defektai sumažina laikomąją galią ir padidina jungties trapios irties pavojų.

Virintinių jungčių defektai, jų dydis ir kiekis ribojami atsižvelgiant į konstrukcijos svarbą, veikiančių apkrovų tipą (statinės, dinaminės, vibracinės), naudojimo sąlygas (aplinkos temperatūrą, aplinkos agresyvumą), irties pasekmes.

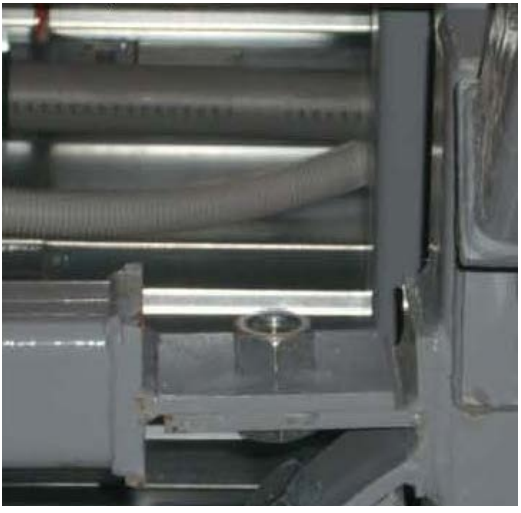
Varžtinių ir kniedinių jungčių defektai ir pažaidos nustatomi vizualiai apžiūrint, matuojant būdingiausius atstumus (nuo varžto ašies iki elemento krašto, atstumus tarp varžtų) ir jungties deformacijas. Netinkamas varžtų užveržimas, jungių (varžtų, kniedžių) klibėjimas skylėse nustatomas stuksenant juos plaktuku, o tarpai tarp elementų pakete ar tarp jungių galvutės ar veržlės matuojami tarpamačiais. Varžtinių ir kniedinių jungčių defektai yra tokie:

– ne visose jungties skylėse yra jungės;
– po varžtų galvutėmis ar veržlėmis trūksta poveržlių, nėra numatytų antveržlių ar kitų savaiminį atsisukimą ribojančių įtaisų;
– netinkamas elementų paketo suspaudimas – jungės sukasi sukant jas ranka;
– jungės kliba stuksint plaktuku;
– įtrūkiai jungiamųjų elementų metale ar jų glemžimo požymiai;
– jungių galvutės (veržlės) neprigludusios prie elementų paviršiaus ar jungių ašis pavirusi;
– tarpai tarp jungiamųjų elementų;
– įtempiamųjų varžtų įtempimo jėga neatitinka projektinės reikšmės;

– varžtai ir veržlės be kokybės klasės žymens;
– varžtas per trumpas ir iš veržlės per mažai išlindęs arba visai neišlindęs (3.42 pav.). Mažiausiai viena sriegio vija turi būti išlindusi iš veržlės;
– jungių matmenys ar jų stipruminės savybės neatitinka projektinių dydžių;
– jungių skylių nesutapimas ar nenumatytai padidintas jų skersmuo, pakeistas skylės pavidalas.

Ne visi išvardintieji varžtinių jungčių defektai turi vienodą poveikį laikomajai galiai. Pavojingiausi iš jų nedelsiant turi būti šalinami.

Pavojingiausi (4 kategorijos, žr. 2.1 sk.) varžtinių jungčių defektai, kurie turi būti nedelsiant šalinami, yra tokie:
– jungties skylėse trūksta varžtų;
– po varžtų galvutėmis ar po veržlėmis nėra poveržlių;
– vietoj įžambiųjų naudojamos plokščiosios poveržlės;
– netinkamai užveržti jungties varžtai.



3.42 pav. Jungtyje yra per trumpas varžtas

Varžtinių jungčių pažaidų nėra daug lyginant su defektais. Dažniausiai pasitaikantys defektai yra tokie:

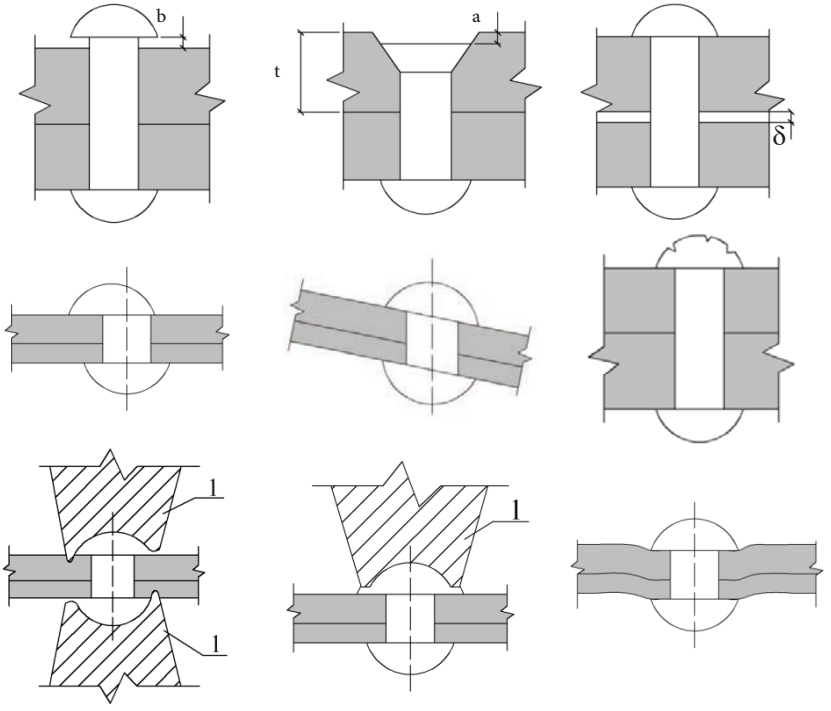
– mechaninės jungių pažaidos ar jų korozija;

– plyšinė korozija tarp varžto ir jungiamojo elemento;

– nutrūkusios ar nukirptos viena ar kelios jungės.

Kita varžtinių jungčių atmaina yra kniedinės jungtys, bet pastarosios, skirtingai nei įprastos varžtinės jungtys, yra neišardomos. Kniedinių jungčių defektai dažniausiai atsiranda dėl netinkamo jų formavimo. Būdingi kniedinių jungčių defektai parodyti 3.43 pav.

Ankščiau aprašytų plieninių konstrukcijų ir jų jungčių defektų ir pažaidų suskirstymas pagal pavojingumą pateiktas 3.6 lentelėje.



3.43 pav. Būdingi kniedinių jungčių defektai: kniedės galvutės formavimo puansonas (1)

3.6 lentelė. Plieninių konstrukcijų ir jų jungčių defektų ir pažaidų pavojingumo kategorijos

Pavojingumo kategorija	Apkrovos poveikių konstrukcijai požymiai	Aplinkos poveikių konstrukcijai požymiai
1	Pavienės dažų dangos pažaidos	Nėra
2	Nėra	Vietinės pažaidos. Pavienių ruožų vietinės dėmėtosios korozijos pažeista iki 5 % skerspjūvio. Vietinės transporto priemonių ar kitokių įrenginių sukeltos mechaninės pažaidos – įlinkiai, deformacijos ir pan., dėl kurių elementų laikomoji galia sumažėja mažiau kaip 5 %
3	Lenkiamųjų elementų įlinkiai, didesni kaip 1/150 tarpatramio	Sluoksninė korozija, sumažinanti laikančiųjų elementų skerspjūvio plotą iki 15 %. Vietinės mechaninės transporto priemonių ar kitokių įrenginių sukeltos pažaidos – įlenkiai, deformacijos ir pan., dėl kurių elementų laikomoji galia sumažėja 5–15 %. Santvarų mazginių lakštų deformacijos
4	Lenkiamųjų elementų įlinkiai, didesni kaip 1/75 tarpatramio. Konstrukcijos elementų vietinio pastovumo netekties požymiai – sijų ir kolonų lentynų, sienelių išgaubos. Nukirpti pavieniai daugiavaržčių jungčių varžtai ar kniedės. Konstrukcijos elementų bendrojo pastovumo netekties – gniuždomųjų elementų kluptis, lenkimo ir ašinio gniuždymo veikiamų elementų skersinė sukamoji kluptis. Pavienių tempiamųjų santvaros elementų trūkiai. Elementų pagrindinio metalo plyšiai.	Elementų korozija, mažinanti skaičiuotinį laikančiųjų elementų skerspjūvį daugiau kaip 25 %. Virintinių siūlių ir priesiūlinio ruožo plyšiai. Mechaninės pažaidos, mažinančios elementų laikomąją galią daugiau kaip 25 %. Santvarų nuokrypis nuo stačiosios padėties didesnis kaip 15 mm. Mazgų gedimai dėl varžtų ar kniedžių klibėjimo. Sandūrų irtis, sukelianti atramų poslinkius.

3.4. Medinės konstrukcijos

Tiriant medines konstrukcijas ypatingą dėmesį būtina atkreipti į potencialias aplinkos drėgmės ar kondensato poveikio ir puvimo vietas:

– stogo pakloto lentas po nevėdinamomis dangomis, tokiomis kaip ritininės dangos, ar tiesiogiai ant pakloto suklotus plieninius lakštus;
– sijų, medinių santvarų viršutinių juostų, arkų ar rėmų elementų viršutines zonas;
– stogo konstrukcijų ruožus kraigo ir karnizų mazgus, t. y. ar nepažeista stogo danga ir krituliai nepatenka tiesiogiai ant konstrukcijų;
– konstrukcijų dalis po palangėmis;
– apatinius rąstinių namų vainikus;
– elementų jungtis.

Dažniausiai pasitaikančios medinių konstrukcijų pažaidos, sukeltos aplinkos poveikių, yra:

– *džiūvimo plyšiai*;
– *puvinys* dėl nuolatinio drėgmės poveikio, netinkamo medinių elementų vėdinimo, hidroizoliacijos nebuvimo;
– *vabzdžių pažaidos*;
– *plieninių detalių ir jungiamųjų priemonių korozija*.

Plyšiai – medienos trūkiai išilgai pluošto, kurie atsiranda medienai džiūstant, dėl šalčio, žaibo ar medžio vertimo. Džiūvimo plyšiai atsiranda nupjautuose medžiuose, o šalčio ir žaibo – augančiuose medžiuose. Vertimo plyšiai atsiranda apvaliosios medienos drūtgalyje verčiant medį.

Medienos puvimu vadinama medienos irtis, prasidedanti dėl medienoje besivystančių heterotrofinių organizmų (grybų) veiklos. Kadangi grybai patys negali pasigaminti organinių medžiagų, todėl minta organinėmis medžiagomis, kurias gali pasisavinti iš medienos. Pradžioje grybai tik pakeičia medienos spalvą, o vėliau, susidarius tinkamoms sąlygoms, pradeda ją intensyviai ardyti – atsiranda destrukcinių puvinių.

Ką tik nukirstų medžių, dažniausiai spygliuočių, balanoje (išorinė medžio kamieno zona dažnai šviesesnė už kamieno viduryje esantį branduolį) gali atsirasti įvairių spalvų grybinės kilmės dėmių. Jos plinta

gilyn iš rąsto galų ir šonų. Skersiniame rąsto pjūvyje dėmės yra pleišto arba kitokio pavidalo ir eina spindulio kryptimi. Kartais balana (žr. toliau *Balanos puvinys*) gali nusidažyti ir ištisai. Spalva gali būti oranžinė, geltona, rausva ar melsva, ji priklauso nuo grybo išskiriamo pigmento ir paties grybo hifų (žr. toliau *Medienos grybai*) spalvos. Pagal spalvos intensyvumą skiriami šviesūs ir tamsūs atspalviai. Pirmuoju atveju medienos tekstūra aiškiai matoma, antruoju – spalva yra tokia sodri, kad tekstūros nematyti.

Atspalviai gali būti paviršiniai (ne daugiau kaip 2 mm gylio), gilieji ir posluoksniniai (kai nusidažo tik vidiniai balanos sluoksniai, o paviršiniai – ne). Iš atspalvių dažniausiai pasitaiko melsvai pilkšvos dėmės, vadinamos *mėlyne*.

Medienos mėlynė medinių elementų laikomajai galiai poveikio neturi. Pamėlynavusi mediena geriau ir greičiau įgeria vandenį. Tais atvejais, kai medieną reikia įmirkyti antiseptikais, mėlynė tampa netgi teigiamybe. Balaną nudažantys grybai gali ardyti klijus ir apdailos dangas.

Balanos puvinys pasitaiko spygliuočių ir branduolinių lapuočių (ąžuolo, guobos, uosio) medienoje. Jį sukelia medieną naikinantys grybai. Lapuočių medienoje šis puvinys paprastai atsiranda po parudavimo ir yra margo, marmuro piešinį primenančio pavidalo, kurio balkšvas, nešvarias dėmes nuo rudo fono skiria plonos linijos. Spygliuočių medienos balaną grybai giliai nudažo šviesiai rusva spalva. Eglės ir kėnio neretai nusidažo ir dalis brandžiosios medienos. Apvaliųjų rastų galuose spalvinė dėmė yra pleištinio arba netaisyklingo pavidalo, kartais ji apima visą balaną. Išilginiuose pjūviuose dėmės balanos zonoje matomos kaip ilgos juostos. Tai pirmoji balanos puvimo stadija, kuri vadinama kietuoju puviniu. Spygliuočių kietasis balanos puvinys dažnai atsiranda po mėlynės.

Kietasis balanos puvinys medienos kietumo nepakeičia, bet mechanines savybes pablogina 25–30 %. Esant nepalankioms sąlygoms, šis puvinys gali pereiti į kitą stadiją – minkštąjį balanos puvinį, todėl jis laikomas didele pažaida. Kietasis puvinys labai mažina spygliuočių medienos stiprumą. Šio puvinio pažeista mediena gali būti naudojama tik nesvarbioms konstrukcijoms.

Minkštasis balanos puvinys skerspjūvyje matomas kaip šviesiai rusvas šiaudų spalvos (spygliuočiuose) arba baltos spalvos su tamsiais marmurą primenančiais intarpais (lapuočiuose) supuvusios medienos žiedas. Tokia mediena lengvai deformuojasi ir išsiskirsto į plaušelius. Nepalankiomis sąlygomis puvinys gali persimesti į branduolį. Tokiu ypatumu pasižyminčią medieną galima naudoti tik nupjovus balaną kartu su gretimais branduolio sluoksniais.

Kaip jau minėta ankščiau, pagrindiniai medienos puvimo sukėlėjai yra *medieną ardantys grybai*. Kaip ir visi kiti grybai, jie yra gyvi organizmai, kurie minta, auga ir dauginasi. Medienos grybai minta organinėmis medžiagomis (gyva arba negyva mediena). Grybai, ardantys medieną, išskiria vadinamuosius fermentus, kurie pagrindinę medienos sudedamąją dalį – celiuliozę paverčia gliukoze – medžiaga, lengvai tirpstančia vandenyje. Gliukozė yra grybų maistas.

Grybai dauginasi sporomis. Sporos būna labai mažos – 0,001–0,005 mm ir lengvos, paprasta akimi nematomos. Patekusios ant medienos ir esant palankiai aplinkos temperatūrai ir drėgmei – temperatūra ne žemesnė kaip +2 °C (palankiausia +25–40 °C), medienos drėgmė ne mažesnė kaip 20 % – sporos pradeda dygti ir sudaro hifus (laidus). *Grybo hifas* – išsišakojusi, susiraizgiusi ir tankiai susipynusi gijelė. Daugybė plonyčių hifų sudaro grybo grybieną, arba micelį (micelis – hifų rezginys). Hifai yra labai ploni, 1–20 mikronų storio, o auga jie viršūniniu būdu (3.44 pav.).

3.44 pav. Grybo hifai

Tam tikrais fermentais ardydami ląstelių apvalkalėliuose esantį ligniną, celiuliozę ir naudodami juos maistui, hifai skverbiasi gilyn į medieną. Plisdami skersai ir išilgai medienos skaidulų, grybai greitai dauginasi ir formuoja grybieną. Subrendusi grybiena išaugina vaisiakūnį, kuriame brandinamos sporos. Sporos vėjo išnešiojamos dideliais atstumais. Dažniausiai grybų sporų atsivežama iš miško kartu su medienos ruošiniais.

Dar viena svarbi sąlyga grybų vystymuisi – stovintis oras, kai oro cirkuliacijos greitis mažesnis kaip 0,001 m/s.

Vandens apsemtoje medienoje grybų veikla sustoja dėl deguonies trūkumo. Mediena nepūva ir šaltyje, nes grybai pradeda vystytis tik pliusinėje temperatūroje. Džiovinant medieną, džiūsta ir grybai, todėl jų veikla irgi sustoja.

Medieną ardančių grybų yra labai daug rūšių. Vieni nuo kitų jie skiriasi grybiena, vaisiakūnių pavidalu, spalva ir skirtingu poveikiu medienai. Pagal medienos ardymo pobūdį skiriamos dvi pagrindinės grybų rūšys:

– celiuliozę ardantys;

– ligniną ardantys.

Pirmieji ardo medieną, skaldydami celiuliozę ir hemiceliuliozę bei naudodami ją savo mitybai; antrieji sukelia medienos puvimą, skaldydami ligniną ir celiuliozę.

Vienas pavojingiausių medienos celiuliozę ir ligniną ardančių grybų – *trobagrybis* (lot. *Serpula Lacrymans*), kurio pirmieji požymiai yra geltonas ar rožinis pūkelis. Vėliau pasirodo balta, puri, kartais su gelsvomis ar rožinėmis kreminėmis dėmelėmis vatos pavidalo grybiena, galiausiai virstanti raukšlėta pilka plėvele (3.45 pav.). Šis grybas plinta ypač sparčiai, per dieną grybiena gali paaugti iki kelių centimetrų. Skirtingai nuo kitų namo grybų, trobagrybis gali naikinti ir sausą medieną. Drėgna mediena jam reikalinga tik tol, kol įsitvirtina, o paskui jis pats išskiria vandenį. Sparčiausiai trobagrybis ardo medieną, kai jos drėgnis yra apie 35 %. Esant +20–26 °C temperatūrai ir blogam vėdinimui, šis grybas medinio namo konstrukcijas gali suardyti per 5–7 mėnesius (PTR 2.03.01:2010). Jis naikina tiek spygliuočių, tiek lapuočių medieną, taip pat odos dirbinius, kilimus, aliejiniais dažais dažytus paveikslus ir kitas organines medžiagas.

3.45 pav. Trobagrybis (lot. *Serpula Lacrymans*)

Neapdorotą medieną puola ir *baltasis namo grybas* (lot. *Poria Vaporaria*), kurio baltos spalvos grybiena su atsišakojusiomis ilgomis, apskritomis, pūkuotomis 4–6 mm ilgio virvelėmis (miceliu) yra panaši į vatą. Vaisiakūnis būna stipriai priaugęs prie medienos ir panašus į išakijusią pagalvėlę, lyg sudarytą iš daugybės vamzdelių (3.46 pav.).

3.46 pav. Baltasis namo grybas (lot. *Poria Vaporaria*)

Vamzdelių galai pamažu ruduoja, grybo vaisiakūnis atrodo gelsvai rusvas, todėl primena kitą medienos grybą – rūsio grybą (rūsiagrybį). Baltasis namo grybas dažniausiai aptinkamas rūsiuose, drėgnose

patalpose, ant palėpių konstrukcijų, perdangose. Retai, tačiau jis aptinkamas ir miškuose ant perlaikytos ir įdrėkusios medienos.

Rūsio grybas (lot. *Coniophora Puteana*) pagal žalingumą nedaug ką tenusileidžia baltajam namo grybui. Rūsiagrybio grybiena palyginti silpnai išsiplėtojusi, dažnai yra švelnių, plonų plėvelių pavidalo. Šio grybo plėvelinis micelis dažniausiai būna be hifų. Vaisiakūnis iš pradžių yra balsvas, vėliau pasidaro tamsiai rudas su baltais pakraščiais (3.47 pav.). Viršutinė vaisiakūnio dalis dažniausiai lygi, vietomis silpnai banguota. Sporos yra gelsvai rusvos arba gelsvai tamsiai rudos spalvos, todėl subrendus sporoms grybo vidurinioji dalis paruduoja. Jis plinta lėčiau nei trobagrybis, bet yra ne mažiau žalingas. Grybas lengvai atlaiko šalčio ir karščio pokyčius bei drėgmės trūkumą. Jis sukelia visų medienos veislių drėgnąjį rudąjį puvinį. Rūsio grybas su pjautine mediena gali būti atsivežamas iš miško, nes auga miškuose ant kelmų, medžių išvartų, tačiau dažniausiai randamas ant rūsio medinių konstrukcijų, apleistose šachtose – nuo to ir kilęs lotyniškasis grybo pavadinimas – šachtinis (*coniophora Puteana*). Sporas grybas brandina iki vėlyvo rudens. Subrandintas sporas skersvėjis lengvai išnešioja aplinkui dideliais atstumais.

3.47 pav. Rūsio grybas (lot. *Coniophora Puteana*)

Pušies mėlynasis grybas yra mažiau pavojingas nei paminėtieji, bet sukelia estetinių problemų – neapdorotos pušinės dailylentės, kurios dažnai naudojamos vidaus ar lauko apdailai, labai sparčiai nusidažo mėlyna spalva. Jei nukirsta pušis neimpregnuojama, mėlynasis grybas pažeidžia medienos paviršių – jis pasidaro lyg kempinė. Tokia „kempinė“ sutraukia labai daug drėgmės ir mediena labai greitai ima pūti.

Pelėsių grybelis veisiasi drėgnoje žalioje balanos medienoje ir aptraukia ją melsvai žalsvos, mėlynos, žalios, juodos, rožinės arba kitokios spalvos apnašomis. Tai didelis estetinis trūkumas. Apnašos paprastai būna tik paviršinės ir medžiui išdžiūvus išnyksta, kartais palikdamos nešvarias arba spalvotas dėmes. Tik retais atvejais pelėsiniai grybai spygliuočių balaną nudažo giliau. Pelėsiniai grybeliai medienos fizikinėms ir mechaninėms savybėms poveikio dažniausiai neturi, nors labai ilgai pelėsių veikiama mediena gali būti pažeista. Šie grybeliai naikina kaulų klijus, todėl prieš klijuojant pelėsių paveiktą medieną reikia sterilizuoti, t. y. išdžiovinti džiovinimo kamerose. Pelėsiai laikomi medienos lukšto, faneros, maisto produktams skirtos taros defektu.

Pelėsis taip pat gali būti labai pavojingas žmogaus sveikatai, kadangi į aplinką išskiria toksines medžiagas, kai kurie iš jų – net kancerogenines.

Medienai taip pat kenkia ir įvairios bakterijos, keičiančios medienos sudėtį, spalvą ir mechanines savybes.

Kerpės – tai bespalvių *grybo hifų* ir tarp jų įsiterpusių *žaliadumblių* arba *melsvabakterių* ląstelių junginys, sudarantis bestiebį, belapį ir bešaknį gniužulą. Kerpės gali augti ant plikų akmenų, nes jose esantys grybai išsaugo vandenį ir tirpina mineralines medžiagas, kurias tiekia kartu gyvenantiems dumbliams. Pastarieji savo ruožtu atlieka fotosintezę ir tiekia abiems organizmams organinio maisto – angliavandenių. Jei šie santykiai nebūtų mutualistiniai, kiekvienas iš jų nelabai galėtų išsilaikyti pavieniui. Mutualizmas (gr. *mutulus* – abipusis) – tai tokie biotiniai santykiai, kai tarp dviejų rūšių ar populiacijų organizmų yra glaudus nuolatinis ar laikinas tarpusavio ryšys ir iš to yra abipusė nauda. Kerpės nėra visiškai nekenksmingos konstrukcijoms, ant kurių auga, pvz., ardo betoną, mūrą ar akmenis, sukelia dūlėjimą.

Kerpės yra geri indikatoriniai augalai oro užterštumui nustatyti – bent kiek užterštame ore jos neišgyvena. Iš Lietuvoje augančių kerpių viena atspariausių yra *sieninė geltonkerpė* (lot. *Xantoria parietina*). Jei net ji neauga, tada aplinkos užterštumas yra didelis.

Sieninė geltonkerpė auga ant medžių žievės, senų medinių ir mūrinių tvorų, stogų, akmenų ir net ant rūdijančios geležies. Sieninė geltonkerpė parodyta 3.48 pav.

Kai kurie *vabzdžiai taip pat yra medienos kenkėjai*, nes ardo medieną, išgrauždami ovalo pavidalo ir įvairaus gylio skylutes ar net ištisus kanalus, kurie vadinami kirmgrauža. Kirmgraužų būna įvairiuose augančiuose medžiuose, pjautinėje medienoje bei medinėse konstrukcijose ir detalėse.

3.48 pav. Sieninė geltonkerpė (lot. *Xanthoria parietina*)

Vabzdžiai, medienos kenkėjai, deda kiaušinėlius medienos paviršiuje (smulkiuose plyšeliuose, po žieve). Iš kiaušinėlių išsiritusios lervos graužda-mos medieną skverbiasi gilyn ir laipsniškai didėdamos pridaro ertmių, mažinančių medienos mechaninį atsparumą. Įgraužtose vietose lervos virsta kokonais. Subrendęs vabzdys prasigraužia į paviršių ir išskrenda palikdamas 1–9 mm pragraužtą skylę, rodančią pakenktą medieną. Toks ciklas gali trukti iki 2 metų. Skirtingai nei grybams, vabzdžiams nereikalingos šiltos ir drėgnos sąlygos. Vabzdys išsivysto tik esant pliusinei aplinkos temperatūrai. Vienas vabzdys per dieną suėda tris kartus daugiau medienos, nei pats sveria. Ne visiems vabzdžiams daugintis būtina drėgmė – didžioji dalis vabzdžių veisiasi medienoje, kurios drėgnis ne didesnis kaip 12 %. Vabzdžiai ne tik graužia medieną, tačiau neretai ir užkrečia ją grybų sporomis.

Tyrimais nustatyta, kad medienos, kuri buvo džiovinta 170–180 °C temperatūroje, vabzdžiai negraužia.

Pagal daromą žalą medienai vabzdžiai skirstomi į:

– mažai žalingus žalios medienos kenkėjus;

– žalingus sausos medienos kenkėjus.

Mažai žalingų žalios medienos kenkėjų grupei priskiriami vabzdžiai, puolantys augančius ar ką tik nukirstus medžius – tai kinivarpos, straubliukai, medgręžiai ir kt. Jei medienoje matomos šių vabzdžių landos, vadinasi, tai buvo sausmedis ar ilgai miške išgulėjęs medis. Patekus šiai medienai į pastatą, vabzdžių vystymasis baigiasi. Pastatuose šie vabzdžiai kiaušinėlių paprastai nededa. Tačiau jų padarytos angos ir atitinkamos atmosferos sąlygos yra tinkama terpė veistis grybams.

Žalingų sausos medienos kenkėjų grupei priskiriami vabzdžiai puola nupjautą, nužievintą medieną, joje padarydami gilias landas. Vieni jų puola mažai sudrėkusią medieną, ypač pažeistą medienos grybų, kiti – apsigyvena sausoje medienoje, pavyzdžiui, gegnių, sijų ir kitų statybinių konstrukcijų. Šiai grupei priklauso ūsočiai, skaptukai, poliniai vabalai ir kt.

Ūsočių (lot. *Cerambycidae*) šeimai priskiriami įvairaus dydžio vabalai, turintys ilgas siūliškas ar pjūkliškas antenas. Kojos ilgos, laibos, padai plaukuoti, kūnas – 7–21 mm ilgio, padengtas pilkais plaukeliais, kurie virš sparnų sudaro skersines juostas (3.49 pav.).

3.49 pav. Naminis ūsuotis (lot. *Hylotrupes bajulus*)

Naminiai ūsuočiai skraido birželio ir liepos mėnesiais. Dažniausiai juos galima aptikti ant medinių pastatų sienų, medinių konstrukcijų, tvorų. Lervos vystosi tik sausoje spygliuočių medienoje.

Naminio ūsuočio lerva būna iki 20 mm ilgio, stora, turi trumpas kojeles ir mažą rudos spalvos galvutę. Gelsvai baltas kūnas padengtas ilgais plau-

keliais. Visas lervos vystymosi ciklas trunka apie 4 metus. Lerva įsigraužia į medieną, padarydama ovalo pavidalo landas.

Naminis ūsotis yra labai pavojingas medinių pastatų ir medinių konstrukcijų kenkėjas. Šio vabalo išgaužtos angos siekia apie 6 mm skersmens, iš kurių byra smulkios išgraužos.

Skaptukų (lot. *Anablidae*) Lietuvoje aptinkama apie 16 rūšių. Naujos rūšys gali būti įvežtos su įvairiomis prekėmis ar gaminiais.

Baldinis skaptukas (lot. *Anobium pertinax*) daugiausia paplitęs Baltijos šalyse, tačiau su įvairiais gaminiais jis plinta po visą pasaulį. Skaptukų lervos gali vystytis tiek lapuočių, tiek spygliuočių medienoje. Lapuočių medienoje jos išsivysto per 2–4, o spygliuočių – per 4–6 metus. Tai tamsiai rudos spalvos ritinio pavidalo 3–5 mm vabalas su aštria kuprele, esančia už galvos. Atšilus orams, skaptukų patelės deda kiaušinėlius baldų plyšiuose, grioveliuose, sujungimuose. Padėjusios kiaušinėlius, jos po kelių dienų žūsta. Po 2–3 savaičių iš kiaušinėlių išsirita apie 1 mm ilgio lervos, kurios įsigraužia į medieną ir minta joje esančiomis medžiagomis. Išgraužusios išilgai medienos vingiuotas kiaurymes, lervos palieka gelsvų dulkių ir ekskrementų.

Baldinio skaptuko lervos auga nuo 2 iki 5 metų. Visiškai subrendusi lerva yra C pavidalo kirmėlė. Pavasarį lervos išgraužia medieną, pasiekia jos paviršių, palikdamos apie 0,5 mm storio viršutinį sluoksnį, ir virsta lėliuke. Po 2 savaičių iš lėliukės išsirita suaugęs vabalas (3.50 pav.), kuris pragraužęs ploną medienos sluoksnį išlenda lauk ir kartu išstumdamas krūvelę sugraužtos medienos miltų ir palikdamas apie 2 mm skersmens angą.

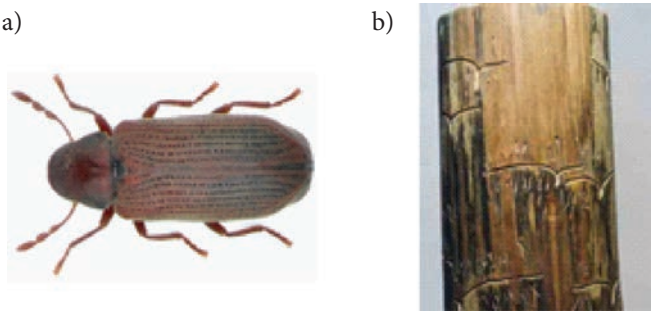
3.50 pav. Baldinis skaptukas (lot. *Anobium pertinax*)

Baldinio skaptuko vystymuisi didžiausią poveikį turi drėgmė ir temperatūra. Palankiausios sąlygos skaptukams vystytis yra aplinka, kurios, temperatūra +22–23 °C, o santykinė oro drėgmė 80–85 % (tai atitinka 18–20 % medienos drėgnį), nors medienoje esančios lervos gerai jaučiasi ir temperatūrai nukritus iki 0 °C. Skaptuko kiaušinėliai žūsta esant temperatūrai, didesnei kaip +30 °C ir santykinei aplinkos drėgmei mažesnei kaip 40 %. Nešildomų patalpų mediniuose objektuose pasitaiko *šiaurinių skaptukų* (lot. *Problum confuacum*), kurie veisiasi spygliuočių medienoje. Lapuočių medžių medienoje šio skaptuko neaptinkama.

Naminis skaptukas (lot. *Anobium punotatum*) yra šiek tiek didesnis už baldinį skaptuką. Jo ilgis 4–6 mm, kūnas rudos, matinės spalvos, apaugęs švelniais pilkšvais plaukeliais (3.51 pav.). Šis skaptukas dažniausiai aptinkamas pastatų medinėse konstrukcijose (palangėse, stogų sijose, grindyse), kartais ir balduose. Jam patinka drėgnos, nevėdinamos patalpos. Šis vabzdys gali pažeisti lapuočių ir spygliuočių medieną. Pastebėta, kad šių skaptukų pažeista mediena dažniausia yra pažeista ir grybų. Manoma, kad šie skaptukai pagreitina medienos puvimą, padėdami giliau įsiskverbti grybų sporoms.

Skaptukai į pastatus patenka iš netoliese parkuose, miškuose esančių nenupjautų sausuolių ir užkrėstų medinių pastatų.

a) b)



3.51 pav. Naminis skaptukas (lot. *Anobium punotatum*):
a – suaugęs vabzdys; b – išgraužos medienoje

Medgraužiai (lot. *Lyctidae*) yra sausos medienos kenkėjai. Jie dažniausiai pažeidžia grindis, parketą. Šie vabaliukai yra 0,5 cm ilgio (3.52 pav.). Patelės kiaušinėlius deda medienos plyšiuose. Iš kiaušinėlių išsiritusi lervutė – riesta 5 mm ilgio, gelsvai baltos spalvos. Vabzdžiai kenkėjai į patalpas gali patekti per pravirus langus, duris, su daiktais, pakuote ir pan.

a) b)

3.52 pav. Medgraužys (lot. *Lyctidae*): a – suaugęs vabzdys; b – lervutės

Medgręžiai (lot. *Cossidae*) yra drugių (lot. *Lepidoptera*) šeimos atstovai. Drugiai būna stambūs ar vidutiniai, nerangūs, stori, dažnai su ilgu pilveliu. Tai naktiniai drugiai. Jų priekiniai sparnai platūs, apvalia viršūne; užpakaliniai sparnai maži; sparnus suglaudžia stogeliu. Antenos trumpos, akys plikos, paprastųjų akelių nėra. Kojos trumpos. Kūno spalva pilka ar pilkai rusva; piešinys neryškus, susidedantis iš smulkių dėmelių ir brūkšnelių (3.53 pav.). Vikšrai pliki, pasitaiko tik pavieniai šereliai. Turi 16 kojų. Vikšras gyvena medžių kamienuose 3–4 metus. Jis išvagoja medžio kamieną, darydamas didelius takus ir taip silpnina medį.

3.53 pav. Gluosninis medgręžis (lot. *Cossus cossus*)

Kinivarpos (lot. *Scolytinae*) yra *straubliukų* (lot. *Curculionidae*) pošeimis. Šio pošeimio vabalai liaudiškai dar vadinami *kirmgraužomis*, *trandžiais, trynelėmis* ir kt. vardais. Tai smulkūs, primenantys volelio pavidalą, tamsiai rudi ar juodi vabalai. Galva įtraukta į prieškrūtinį, todėl kai kurių rūšių iš viršaus beveik nematoma. Antenos trumpos, gale su didele buožele. Kojos trumpos, rausiamosios (3.54 pav.). Suaugusių vabzdžių kūnas 4,2–5,5 mm ilgio, tamsiai rudas arba juodas, kiek šviesesnių antsparnių lysvelės lygios, be taškų.

Kinivarpų takai poligaminiai yra po stora medžių ar rąstų žieve. Patelės takai išilginiai, iš poravimosi kameros vienas takas eina viršūnės link ir vienas ar du – drūtgalio link (retais atvejais du į viršų ir du žemyn). Lervų takai trumpi, baigiasi lėliukių kameromis.

Kinivarpos dažniausiai pažeidžia vidutinio amžiaus ir vyresnes egles, rečiau pušis. Pirmiausia apninka išverstas, nulaužtas, stipriai pažeistas egles, pjautą medieną, o esant gausiai kenkėjų populiacijai – sėkmingai nudžiovina žalius medžius.

a) b)

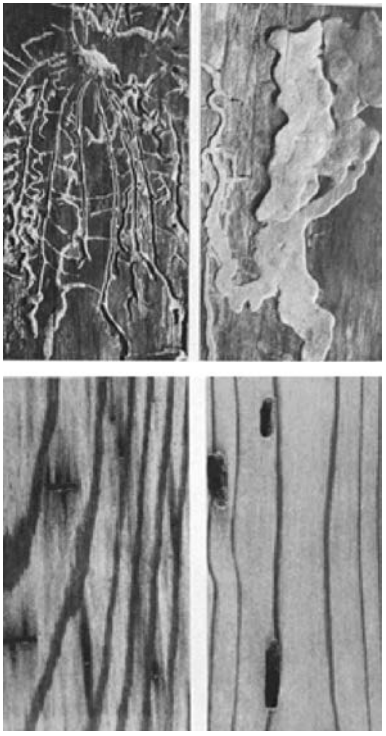
3.54 pav. Kinivarpos (lot. *Scolytinae*): a – suaugęs vabzdys; b – lervutės

Kirmgraužos – tai vabzdžių išėstos ovalo pavidalo įvairaus gylio skylutės ar landos, esančios įvairiuose augančiuose ir nuskirstuose medžiuose, taip pat konstrukcijose, detalėse ir balduose. Kirmgraužos būna (3.55 pav.):

– paviršinės kirmgraužos – gylis iki 3 mm;
– giliosios kirmgraužos – gylis apvalioje medienoje >15 mm, pjautinėje >5 mm;
– mažosios (skersmuo ne didesnis kaip 2 mm);
– didžiosios – kurių skylės skersmuo >3 mm.

a)

b)



3.55 pav. Vabzdinės pažaidos – kirmgaužos: a – paviršinė kirmgrauža; b – gilioji kirmgrauža

Jei kirmgraužos landų pakraščių medienos spalva pakitusi – pamėlynavusi, parudavusi ar papuvusi – tai požymis, kad gyvų kenkėjų medienoje jau nebėra. Jei landų pakraščių spalva nepakitusi, galima įtarti, kad medienoje aktyvių kenkėjų visgi yra.

Kovai su vabzdžiais naudojamos profilaktinės ir naikinamosios priemonės. Profilaktinės priemonės – tai netinkamų sąlygų vabzdžių vystymuisi ir dauginimuisi sudarymas. Naikinamosios priemonės naudojamos kenkėjams naikinti.

Būdingieji medinių konstrukcijų ir jų jungčių defektai ir pažaidos

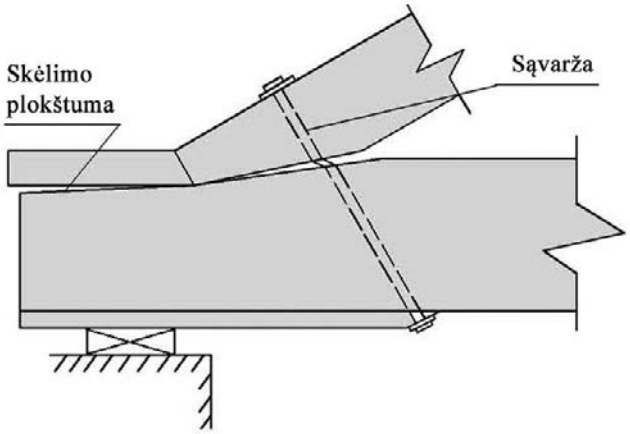
Tiriant medines konstrukcijas, visų pirma išskiriami klijuotosios ir vientisosios medienos konstrukcijų ypatumai ir reikalavimai, keliami jų

naudojimo sąlygoms, nes klijuotosios medienos atsparumas cikliniams temperatūros, drėgnio ir kitiems naudojimo poveikiams skiriasi nuo vientisosios medienos.

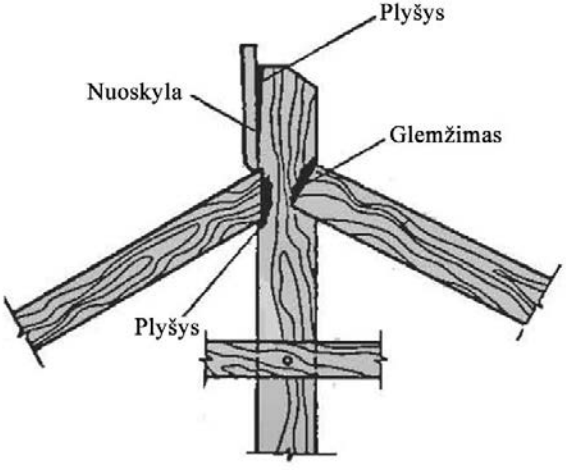
Vieni pagrindinių požymių, apibūdinančių medinių konstrukcijų techninę būklę, yra įlinkiai ir deformacijos, elementų pažaidos bei mechaniniai ir fizikiniai medienos rodikliai.

Dažniausi medinių konstrukcijų ir jų jungčių defektai ir pažaidos yra tokie:

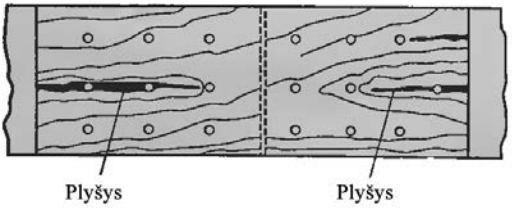
– *tempiamųjų elementų plyšiai* ties skerspjūvio susilpninimais ar kaiščiais;
– *elementų persimetimas ar nuokrypis* nuo stačiosios padėties;
– *gniuždomųjų elementų išlinkiai* tiek rėmo plokštumoje, tiek ir statmena rėmo plokštumai kryptimi;
– *lenkiamųjų elementų įlinkiai*;
– *lenkiamųjų elementų tempiamosios zonos įtrūkiai*;
– *galų nuoskėlos* įkirčiu sujungtuose elementuose (3.56 pav.) ar atraminių paviršių suglemžimas (3.57 pav.);
– *elementų medienos suglemžimas* ties jungiamaisiais elementais (vinimis, varžtais ir pan.);
– *mechaninės elementų pažaidos*;
– *kiauriniai santvarų ar kitokių konstrukcijų elementų jungčių antdėklų plyšiai,* sutampantys su varžtų išdėstymo linija (3.58 pav.). Taip dažniausiai nutinka, kai jungtyje yra nelyginis jungiamųjų priemonių eilių skaičius (pagal projektavimo nuostatas virbalinių jungčių jungių eilių skaičius turi būti lyginis). Vidurinioji jungių eilė dažniausiai būna medienos šerdies ruože, išilgai kurio skyla mediena;
– *netinkamas tvirtinimo elementų (vinių, varžtų) išdėstymas* (3.59 pav.);
– *medinių elementų jungčių plieninių detalių korozija*.



3.56 pav. Įkirčiu sujungtos jungties galo nuoskėla



3.57 pav. Rėmo elementų jungčių pažaidos ir irties pobūdžiai



3.58 pav. Konstrukcijos elementų antdėklinės jungties pažaida

3.59 pav. Netinkamas jungiamųjų priemonių išdėstymas medinio elemento galo atžvilgiu

Ypač daug dėmesio turėtų būti skiriama tempiamųjų elementų ir jų jungčių apžiūrai, nes ties jungiamosiomis priemonėmis, briauninėmis šakomis ar tiesiog pačiuose elementuose gali būti dalinių medienos pluoštų įtrūkių, mažinančių elementų laikomąją galią.

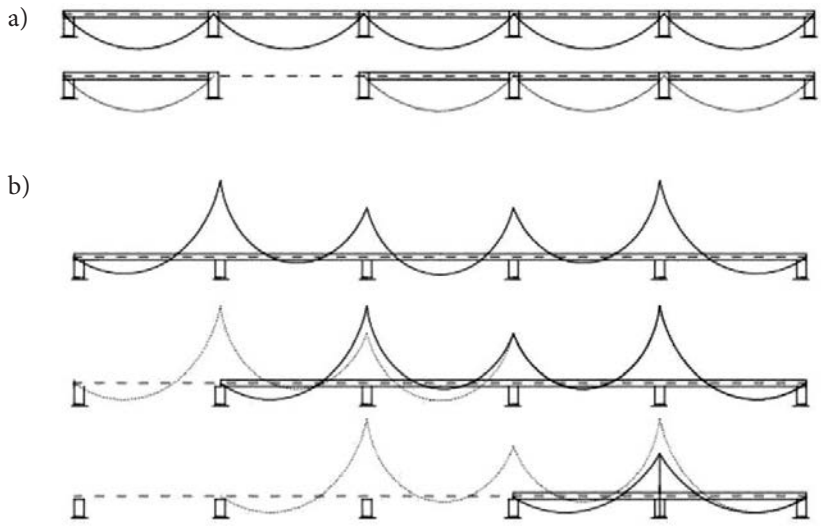
Gniuždomųjų elementų laikomajai galiai didžiausią poveikį turi elementų kreivis, vietinės elementų deformacijos. Ašinės jėgos ir lenkiamojo momento kartu veikiamų elementų laikomoji galia priklauso ne tik nuo elementų kreivio ir vietinių deformacijų, bet ir nuo tinkamo elementų gniuždomosios zonos ramstymo statmena momento plokštumai linkme.

Lenkiamųjų elementų laikomajai galiai didelį poveikį turi mechaninės pažaidos, ypač esančios tempiamojoje zonoje. Klijuotinių sijų laikomajai galiai, be jau minėtųjų veiksnių, reikšmingas yra ir išsisluoksniavimas per klijų sluoksnį.

Medinių, beje, kaip ir kitų konstrukcijų, defektai ir pažaidos gali atsirasti ir dėl projektavimo klaidų. Dėl jų gali vykti konstrukcijų griūtys ar pavienių jų elementų irtys. Medinių ilginių irties scenarijai parodyti 3.60 pav. Tokie patys scenarijai galimi ir plieninių konstrukcijų atveju, kai neteisingai nustatomos lenkiamųjų momentų reikšmės (3.60 pav., a) ar jų pasiskirstymas. Ypatingą dėmesį reikia skirti antrajai nuo galo atramai. Šios atramos atraminio lenkiamojo momento reikšmės, esant vienodiems tarpatramiams, yra didesnės nei gretimų atramų (3.60 pav., b).

Kaip matyti 3.60 pav., dviatramių (karpytųjų) ilginių atveju vieno elemento irtis ar pašalinimas nesukelia grandininės kitų tarpatramių ilginių irties, o daugiaatramių (nekarpytųjų) ilginių atveju – vieno tarpatramio ilginio dalies irtis ar pašalinimas gali sukelti grandininę kitų tarpatramių ilginių irtį.

Ankščiau aprašytus defektus ir pažaidas galima sugrupuoti pagal pavojingumą (3.7 lent.). Kaip minėta 2.1 sk., 4 kategorijos defektai ir pažaidos turi avarinės būklės požymių, todėl juos reikia nedelsiant pašalinti.



3.60 pav. Medinių ilginių irties scenarijai: a – dviatramių (karpytųjų) ilginių; b – daugiaatramių (nekarpytųjų) ilginių

3.7 lentelė. Medinių konstrukcijų defektų ir pažaidų pavojingumo kategorijos

Pavojingumo kategorija	Apkrovos poveikių konstrukcijai požymiai	Aplinkos poveikių konstrukcijai požymiai
1	Nėra	Smulkūs konstrukcijos elementų nuodžiūvio plyšiai.
2	Pavienių varžtų, apkabų, skabų atsilaisvinimas.	Dideli tarpai tarp juodlubių lentų ir perdangos sijų.
3	Išilginiai konstrukcijų plyšiai. Plika akimi matomos jungčių ir klijuotinių siūlių slinktys, sluoksniavimasis, plyšių, platesnių kaip 2 mm, atsiradimas lentų paketuose tarp skirtingai prišlietų paviršių. Lenkiamųjų elementų įlinkiai didesni nei nurodyti LST EN 1995-1-1.	Vandens nuobėgų žymės, šlapios dėmės ant konstrukcijos paviršių. Mūrloto ar gegnių galų puvinys, mažinantis elementų laikomąją galia iki 15 %.
4	Gilieji elementų plyšiai. Elementų, veikiamų skeliamųjų poveikių, galų plyšiai platesni kaip 25 % elemento storio. Didelis suglemžimas, tarpai tarp įkirčio darbinių plokštumų platesni kaip 3 mm. Medienos išilgai pluošto glemžimas varžtais ar kaiščiais, kai glemžiamoji deformacija didesnė kaip 50 % skersmens. Konstrukcijos elementų vietinio pastovumo netektis. Lenkiamųjų elementų įlinkiai didesni kaip 1/75 tarpatramio. Kiauriniai santvarų elementų jungčių antdėklų plyšiai sutampa su varžtų išdėstymo linija. Pavienių elementų įlaužos ar irtys. Įkirčio galo nuoskėla. Santvaros juostų, arkų, kolonų pastovumo netekimas Greitai plintančios deformacijos.	Sijų galų, užtaisytų sienose, puvinys. Mūrloto, gegnių, apkalos, juodlubių puvinys, mažinantis elementų laikomąją galią daugiau kaip 25 %.

Pastaba. Medinių konstrukcijų plieninių elementų pažaidos vertinamos pagal lentelę, skirtą plieninių konstrukcijų apžiūrimajam vertinimui.

Konstrukcijų ir jų jungčių defektų ir pažaidų priskyrimas vienai ar kitai kategorijai nėra vienareikšmis. Priskyrimas vienai ar kitai kategorijai iš dalies priklauso nuo konstrukciją vertinančio specialisto turimos patirties ir žinių.

4. KONSTRUKCIJŲ BŪKLĖS TYRIMAI

4.1. Būklės rodiklių nustatymo metodai

Pagal pobūdį atliekami *natūriniai* ir *laboratoriniai* konstrukcijų būklės rodiklių – medžiagų fizikinių ir mechaninių savybių, skerspjūvio matmenų, armatūros skersmens ir padėties skerspjūvyje, defektų ir pažaidų didumo bei vietos ir kt. – tyrimai. Priklausomai nuo tiriamų konstrukcijų būklės ir apimčių, natūrinių tyrimų turinys gali skirtis. Paprastai į šiuos tyrimus įeina vizuali apžiūra, atliekama pirmajame būklės tyrimų etape (žr. 1.3 sk.), ir detali instrumentinė diagnostika. Išsamūs natūriniai ir laboratoriniai tyrimai atliekami jau antrajame būklės tyrimų etape. Didžiausi pagal apimtį yra natūriniai (tiriamojo objekto vietoje) tyrimai: statomų ir naudojamų statinių konstrukcijų ir medžiagų savybių instrumentinė kontrolė, statinių ar jų dalių ir pavienių konstrukcijų bandymai. Pastarieji bandymai atliekami siekiant patikrinti statinio konstrukcijų elgseną, kai neaiškios jų skaičiuojamosios schemos ar sudėtinga nuspėti defektų ir pažaidų poveikį konstrukcijų įtempimų būviui.

Nustatant konstrukcijų būklės rodiklius, taikomi *trumpalaikiai* ir *ilgalaikiai* tyrimai. Kai norima įvertinti, ar prognozuoti konstrukcijų būklę atsižvelgiant į ilgalaikius procesus – pažaidų (korozijos, pleišėjimo, deformacijų) plitimo pobūdį, tendencijas ir intensyvumą, medžiagų (betono, skiedinių, mūro) savybių pokyčius ir pan., atliekami ilgalaikiai būklės tyrimai. Tokie tyrimai atliekami ir tais atvejais, kai sudėtinga įvertinti trumpalaikių tyrimų metu gautus duomenis, kyla neaiškumų dėl atsiradusių defektų ar pažaidų (ypač pleišėjimo) kilmės ir pavojingumo bei siekiant patikslinti konstrukcijų remonto apimtis.

Statinių konstrukcijų ilgalaikių būklės tyrimų pobūdis ir apimtis priklauso nuo vietos aplinkos sąlygų, keliamų tyrimo tikslų. Bet kuriuo

atveju ilgalaikiams natūriniams tyrimams naudojami prietaisai ir aparatūra neturi būti jautrūs aplinkos sąlygų pokyčiams, įvairiems trikdžiams, turi būti autonomiški energijos vartojimo požiūriu, nedidelių matmenų ir patogūs naudoti lauko sąlygomis. Dažniausiai atliekant ilgalaikius konstrukcijų būklės tyrimus, apsiribojama vienos ar kelių pažaidų kontroliniais stebėjimais, periodiškai matuojant jų pokyčius.

Konstrukcijų būklės tyrimams taikomi *ardomieji* ir *neardomieji* būklės rodiklių nustatymo metodai.

Taikant ardomuosius metodus objektai (bandiniai) yra iš dalies arba visiškai suardomi. Tiriant konstrukcijų būklę, atrankos būdu parinkti ar išimti iš konstrukcijų bandiniai dažniausiai išbandomi laboratorijoje, kai norima tiesiogiai nustatyti medžiagų fizikines ir mechanines savybes. Rečiau laboratorijose bandomi konstrukciniai elementai ar jų jungtys. Išimant bandinius stengiamasi konstrukcijų nepažeisti, t. y. nesumažinti jų laikomosios galios, standumo, atsparumo pleišėjimui, ilgalaikiškumo. Konstrukcijų būklės rodiklių tikrinimas ardomaisiais metodais leidžia tiesiogiai nustatyti tikrąsias jų reikšmes. Tačiau tokie bandymai reikalauja didelių laiko ir darbo sąnaudų. Dėl riboto bandinių kiekio gauti matavimų rezultatai gali būti nepatikimi, kai reikia įvertinti didelio skaičiaus vienarūšių konstrukcijų (ar gaminių partijos) būklę.

Neardomieji būklės rodiklių matavimo metodai leidžia šiuos rodiklius nustatyti neardant konstrukcijos ar jos elemento. Tokie metodai gali būti visiškai automatizuoti.

Neardomaisiais metodais būklės rodikliai nustatomi netiesiogiai, t. y. matavimų rezultatai nėra tikrieji būklės rodikliai. Jie gali būti išreikšti kokiu nors fizikiniu dydžiu, pavyzdžiui, ultragarso sklidimo greičiu ir pan. Todėl taikant neardomuosius metodus būtina sudaryti matavimo duomenų koreliacinius sąryšius, kuriais nustatomas tiesioginis ryšys tarp išmatuoto rezultato ir konkretaus būklės rodiklio. Dėl nustatytų koreliacinių sąryšių galimos dalinės neatitiktys konkrečių tyrimų sąlygoms, kartais neišvengiama nustatytų būklės rodiklių ir didesnių paklaidų. Neardomieji metodai nepakeičiami, kai reikia nustatyti daugelio konstrukcijų svarbių būklės rodiklių sklaidą. Naudojamuose ar dar nebaigtuose statyti statiniuose standumą galima įvertinti natūriniais bandymais, neardant

esamų konstrukcijų, išryškinti paslėptus defektus ir pan. Patikimesni tyrimų duomenys gaunami tais atvejais, kai būklės rodikliams nustatyti ardomieji ir neardomieji metodai taikomi kompleksiškai. Dažnai tie patys būklės rodikliai nustatomi taikant vienas kitą papildančius instrumentinės kontrolės būdus. Kai nėra galimybių atlikti natūrinių statinio ar jo konstrukcijų tyrimų, gali būti bandomi jų geometriniai (panašaus pavidalo, tik sumažinti) ar fizikiniai (panašūs pagal tiriamų savybių fizikinius procesus) *modeliai* laboratorijose. Siekiant tiksliau įvertinti naudojamų konstrukcijų įtempimų būvį plačiai taikomas *skaitinis modeliavimas* (žr. 5.1 sk.).

4.2. Medžiagų fizikinių ir mechaninių savybių tyrimai

Laboratoriniais tyrimais nustatomos medžiagų fizikinės ir mechaninės savybės pagal iš tiriamų konstrukcijų paimtų ir išbandytų pavyzdžių bandymo rezultatus. Kaip minėta, kai nėra galimybių atlikti natūrinių statinio ar jo konstrukcijų tyrimų, laboratorijose gali būti bandomi geometriniai ar fizikiniai jų modeliai.

Gelžbetoninių konstrukcijų būklės tyrimų svarbiausias betono rodiklis yra gniuždomasis stipris. Specialiąja įranga išpjauti iš konstrukcijos betoniniai kernai (cilindrai) pagal galiojančio standarto nuorodas laboratorijoje mechaniškai gniuždomi iki irties ir taip nustatomas tikrasis betono gniuždomasis stipris. Priklausomai nuo tyrimų apimties, tokių cilindrinių bandinių gali būti daug. Jų skaičių riboja imlūs laikui išpjovimo iš esamos konstrukcijos darbai. Iš tų pačių bandinių gali būti nustatytas betono tankis, ištirti struktūros ypatumai. Iš plonų plokščiųjų konstrukcijų (pvz., monolitinių perdangų plokščių) galima išpjauti nedidelius pavyzdžius ir vėliau laboratorijoje paruošti bandinius – kubelius. Jei išpjautuose bandiniuose pasitaikė armatūros gabalų, tai šiuo atveju paruošiami armatūros bandiniai plieno stipriui nustatyti. Pagal ardomuoju būdu nustatytas betono stiprio tikrąsias reikšmes vertinamos neardomaisiais metodais nustatytos betono stiprio reikšmės.

Betono stiprio instrumentinės kontrolės praktikoje labiausiai paplitę mechaniniai prietaisai yra sklerometrai (4.1 pav.).

4.1 pav. Schmidto sklerometras betono (mūro skiedinio) gniuždomajam stipriui nustatyti

Šiais gana patogiais naudoti prietaisais galima greitai ir daugelyje vietų patikrinti betono ar mūro skiedinio gniuždomąjį stiprį. Prietaiso daužiklis (plieninis strypas) po smūgio į išlygintą betono paviršių atšoka skirtingai, priklausomai nuo betono stiprumo. Taigi, matuojamas daužiklio atšokimo aukštis. Betono gniuždomasis stipris nustatomas iš koreliacinio sąryšio tarp daužiklio atšokimo aukščio (mm) ir betono stiprio (MPa). Žinomos kelios šių prietaisų modifikacijos: su papildoma kompiuterine įranga bandymų duomenims apdoroti, skiedinio stipriui mūro siūlėse nustatyti ir kitos. Vienas iš pagrindinių šio prietaiso trūkumų – palyginti didelė (daugiau kaip 15 %) galima matavimų paklaida, kuri priklauso nuo tinkamo betono paviršiaus paruošimo ir padėties erdvėje, betono drėgnumo ir amžiaus, tiriamosios konstrukcijos storio ir kitų sąlygų.

Betono stipris taip pat gali būti nustatytas mažo ardomumo metodais, pavyzdžiui, atplėšiant betoną. Konstrukcijos paviršiuje negiliai apskritimu įpjaunamas betono sluoksnis, prie jo paviršiaus epoksidiniais klijais priklijuojamas plieninis skritulys. Klijuotinės jungties su betonu stipris turi būti didesnis už paties betono. Didinant tempimo jėgą, plieninis skritulys kartu su priklijuotu betonu specialiu prietaisu (4.2 pav.) atplėšiamas nuo konstrukcijos. Pagal išmatuotus sąlygiškus atplėšimo įtempius iš koreliacinio sąryšio nustatomas gniuždomasis betono stipris.

Betono stipris, jo struktūros vienodumas ir mikroplyšiai gali būti tiriami ultragarso aparatūra laboratorijoje. Šiuo atveju taikomas ultragarsinis impulsinis metodas, pagrįstas ultragarsinių akustinių virpesių sužadinimu ir jų sklidimo greičio tiriamajame betone matavimu. Pagal išmatuotą ultragarsinių virpesių sklidimo greitį betono rodikliai nustatomi iš koreliacinių sąryšių.

4.2 pav. Prietaisas betono atplėšimo stipriui nustatyti

Kai betone yra korozinių pažaidų požymių, betono pavyzdžiai tiriami chemijos laboratorijoje. Šiais tyrimais nustatoma betono mineralinių medžiagų rūšis ir kiekis, granuliometrinė sudėtis, vandenilio jonų rodiklis pH, agresyviųjų sudedamųjų dalių (pvz., chloridų) kiekis betone. Betono paviršinių sluoksnių karbonizacijos gylis (rodiklio pH pokytis) gali būti patikrintas natūriniais tyrimais, naudojant rūgštinio ir šarminio indikatoriaus 2 % fenolftaleino etanolyje tirpalą. Juo sudrėkinus nuskeltus karbonizuoto betono gabalus, tirpalo spalva nesikeičia ar šiek tiek parausvėja (rodiklis pH ≤ 9).

Skiedinio gniuždomajam stipriui nustatyti iš gulsčiųjų *mūro* siūlių gali būti imamos skiedinio plokštelės, kurios suklijuojamos 1–2 mm storio gipsiniu skiediniu. Taip suformuoti 20–40 mm kraštinės ilgio kubeliai yra gniuždomi. Gautosios stiprio reikšmės koreguojamos atsižvelgiant į kubelių kraštinės dydį. Be to, mūrinių sienų ertmėse (grioveliuose, nišose ir pan.) užpildymo betono stipris ir kitos savybės, kaip minėta, gali būti nustatytos išpjautus bandinius vėliau bandant laboratorijoje.

Kitos betono ir mūro medžiagų savybės – atsparumas šalčiui, vandens įgertis, drėgnis, dilumas – tiriamos laboratorijoje pagal specialiąsias metodikas ir atsižvelgiant į galiojančių standartų reikalavimus.

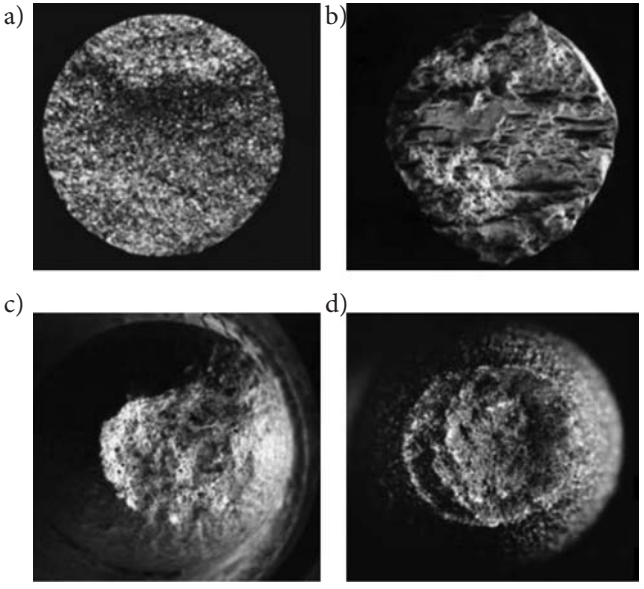
Rečiau nustatomi tokie medžiagų rodikliai, kaip deformacijų (tamprumo) modulis, Puasono koeficientas, mikropleišėjimo ribos.

Išimtų iš mūro pavienių plytų arba blokelių gniuždomasis stipris nustatomas laboratoriniais bandymais laikantis galiojančių standartų reikalavimų.

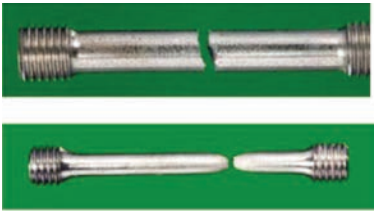
Kai iš konstrukcijų pavyksta išimti armatūros strypų arba vielos atraižų, iš jų pagal standartų reikalavimus ruošiami bandiniai ir tempiami, nustatant plieno takumo įtempius, tempiamąjį stiprį, deformacijas ir kitus rodiklius.

Tempimo bandymai plačiausiai naudojami *metalų mechaninėms savybėms nustatyti* ir turėtų būti atliekami visais atvejais. Metalų tempimo bandymas normalioje aplinkos temperatūroje (23±5 °C) atliekamas pagal LST EN ISO 6892-1. Tempiamosioms savybėms nustatyti paprastai naudojami ilgi ir ploni bandiniai, taip užtikrinant vienaašį įtempimų būvį. Svarbiausias rodiklis, kurį reikia kontroliuoti bandymo metu, yra deformavimo arba apkrovimo greitis, priklausantis nuo to, koks medžiagos rodiklis bus tiriamas.

Apie bandomojo metalo plastiškumą ar trapumą galima daug pasakyti ir pagal bandinio irties pobūdį. Statybiniams metalams būdingi irties tipai (Sedlacek *et al.* 2008) parodyti 4.3 ir 4.4 pav.



4.3 pav. Apskrito skerspjūvio metalo bandinių irties tipai:
a – labai trapaus metalo ε ≈ 0 %; b – trapaus metalo (kaklelis nesusiformuoja) ε ≈ 5–20 %; c – plastiško (susiformuoja kaklelis) ε > ≈ 20 %; d – plastiško (susiformuoja kaklelis ir šliejamasis kraštas) ε ≈ 15–25 %



4.4 pav. Suirusių metalo bandinių vaizdas: a – trapaus metalo; b – plastiško metalo

Plastiškai suyra daugelis metalų, bandomų normaliomis sąlygomis. Trapi irtis būdinga angliniams, termiškai apdorotiems – grūdintiesiems ir bandomiems žemose temperatūrose plienams, taip pat ketui. Trapiai yrančios medžiagos mažai deformuojasi, plyšys atsiveria staiga.

Siekiant išvengti trapiosios plieninių konstrukcijų ir jų elementų irties, euronormos riboja statybinėms konstrukcijoms naudojamo plieno žemiausią plastiškumo ribą ir santykinį liekamąjį pailgėjimą $\varepsilon_{\%}$ po trūkio.

Mažiausioji plastiškumo ribos reikšmė nustatoma santykiu $f_u / f_y \geq 1{,}10$, o liekamasis santykinis pailgėjimas irties metu turi būti ne mažesnis kaip 15 %, kai bandinio pradinis skaičiuojamasis (matavimo bazės) ilgis L_0 lygus $5{,}65\sqrt{A_0}$ (čia A_0 yra pradinis bandinio skerspjūvio plotas).

Bandomieji pavyzdžiai (jų kiekius žr. 4.1 lent.) turi būti imami iš tų konstrukcijos elementų vietų, kuriose įtempiai yra mažiausi – nepritvirtintų kampuočių lentynų elementų galuose, sijų galinių zonų lentynų ir t. t.

4.1 lentelė. Rekomenduojami metalo bandinių kiekiai (Sedlacek *et al.* 2008)

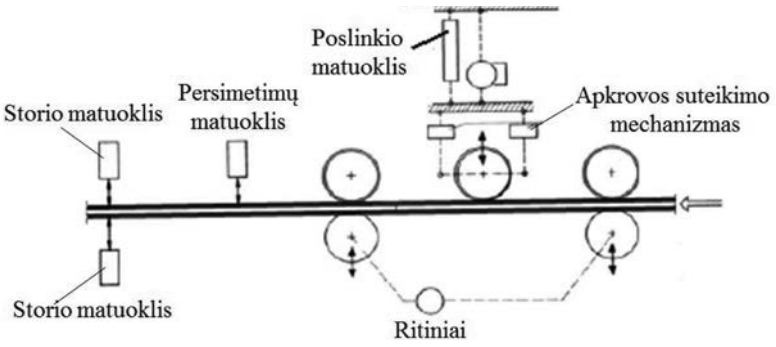
Turima informacija	Rekomenduojamas skaičius				
	Bandinių	Tempimo bandymui	Cheminei sudėčiai nustatyti	Smūginio tąsumo bandymui	Pastabos
Plieno markė, kiti rodikliai ir gamintojas yra žinomi; ši informacija atitinka statybos žurnalų ir projekto įrašus ar kitus dokumentus	0	0	0	0	Naudoti statistiškai įvertintus rezultatus[1)]

Turima informacija	Rekomenduojamas skaičius				
	Bandinių	Tempimo bandymui	Cheminei sudėčiai nustatyti	Smūginio tąsumo bandymui	Pastabos
Visi konstrukcijos elementai pagaminti iš tokios pat klasės plieno; gamino tas pats plieno gamintojas, tačiau palyginus su statybos žurnalų ar kitais dokumentais kyla abejonių dėl tikrųjų konstrukcijos plieno rodiklių	3	6	1	3	Bandiniai išpjaunami iš laisvai pasirinktų mažiausiai apkrautų elementų vietų. Nustačius medžiagos rodiklius galima naudoti statistiškai įvertintus rezultatus[1)]
Konstrukcijos elementai pagaminti iš skirtingų klasių plieno; gamino skirtingi plieno gamintojai, tačiau palyginus su statybos žurnalų ar kitais dokumentais kyla abejonių dėl tikrųjų konstrukcijos plieno rodiklių	1 iš kiekvieno skirtingo elemento	2 iš atrinkto pavyzdžio	1 iš atrinkto pavyzdžio	1 iš atrinkto pavyzdžio	Bandiniai išpjaunami iš pasirinktų mažiausiai apkrautų vietų. Bandiniai naudoti statistiškai įvertinus charakteristinius plieno rodiklius[1)]
Trūksta arba visai nėra jokios informacijos apie konstrukcijų plieną, arba duomenys nepatikimi	≥3 iš kiekvieno tipo elemento	2 iš atrinkto pavyzdžio	1 iš atrinkto pavyzdžio	1 iš atrinkto pavyzdžio	Bandiniai išpjaunami iš pasirinktų mažiausiai apkrautų vietų, bet vieta turėtų būti kiek įmanoma arčiau labiausiai apkrautų elementų. Nustačius medžiagos rodiklius naudoti statistiškai įvertintus rezultatus[1)] arba nustatytąsias reikšmes[2)]

Pastabos: [1)] – plieno charakteristiniai mechaniniai rodikliai
[2)] – mažiausioji bandymais nustatyta stiprio reikšmė

Jei vis dėlto bandinių paėmimo vietose sumažėja elementų laikomoji galia, ji turi būti sustiprinta, visa konstrukcija ar pavieniai elementai išramstomi. Iš konstrukcijos paimti pavyzdžiai turi būti reikiamų matmenų ir taip pat kiek įmanoma mažiausi, kad iš jų galima būtų pagaminti bandymo standartuose nurodytų matmenų bandinius. Pjaunant plieno pavyzdžius iš metalo ir naudojant dujinius pjaustymo įrenginius, pavyzdžių matmenys turi būti didesni, siekiant, kad bandymui numatytas plienas nebūtų termiškai paveiktas. Pjaunant dujiniu degikliu krašto užlaida iki numatomo bandinio krašto turi būti ne mažesne kaip 15 mm. Jei plieno pavyzdžiai kerpami žirklėmis, presais ar štampais, į krašto užlaidą taip pat turi būti atsižvelgiama.

Visi medinių konstrukcijų elementai priklausomai nuo medienos veislės, medienos ypatumų – medienos metinių rievių skaičiaus ir jų pločio, šakų, plyšių, sakinių ir pan. – pagal medienos būdingąsias savybes skirstomi į stiprumo klases. Įmonės, užsiimančios medienos tiekimo verslu, medinių elementų *medieną rūšiuoja* į stiprumo klases mašininiu būdu – ultragarsiniais ar spinduliavimo (spindulių sugerties) prietaisais automatizuotai nustatomi medienos ypatumai ir atliekamas medinio ruošinio lenkimo bandymas, matuojant elemento įlinkį. Pagal medienos ypatumų pobūdį ir įlinkio reikšmę kiekvienas elementas priskiriamas atitinkamai medienos stiprio klasei. Mašininio rūšiavimo lenkiamuoju būdu įrenginio veikimo principas parodytas 4.5 pav. Mašininio rūšiavimo trūkumas tas, kad jo negalima pritaikyti tiriamų medinių konstrukcijų medienos stiprumo rodikliams nustatyti.



4.5 pav. Mašininio rūšiavimo lenkiamasis metodas

Visa rūšiuota mediena turi būti pažymėta atitinkamu žymeniu, parodytu 4.6 pav.

Jei ant tiriamų medinių konstrukcijų elementų yra šis žymuo, tai papildomų laboratorinių bandymų nereikia atlikti. Medienos stiprių ir kitų rodiklių reikšmės gali būti nustatytos pagal nurodytą stiprumo klasę.

Žymenys:
Product – gamintojo žymuo;
Code – dokumentacijos numeris;
DRY GRADED – rūšiavimo sąlygos;
NBODY – sertifikavimo įstaigos identifikacijos žymuo;
M – mašininis rūšiavimas;
C24 – stiprumo klasė.

4.6 pav. Rūšiuotos medienos žymuo

Jei tiriamos senos statybos medinės konstrukcijos ar konstrukcijos, ant kurių nėra tokio žymens, medienos mechaninėms ir fizikinėms savybėms nustatyti kaip ir kitų konstrukcijų atveju iš tiriamų konstrukcijų turi būti imami medienos pavyzdžiai.

Skirtingai nuo kitų konstrukcijų, mediniai elementai kruopščiai apžiūrimi – nustatomi visi medienos ypatumai, jų dydžiai, nes nuo pastarųjų labai priklauso medienos stipruminės ir fizikinės savybės.

Parenkant medienos bandinių pjovimo vietas, būtina atkreipti dėmesį į konstrukcijos vietas su vandens poveikio ar biologinių pažaidų požymiais, nes šių vietų medienos savybės gali labai skirtis nuo nepažeistų vietų.

Medienos savybės, kurias tikslinga žinoti ar nustatyti, yra tokios:

– medienos veislė;
– medienos tankis;
– medienos drėgnis tyrimų ir bandymų metu.
– medienos tamprumo modulis lenkiant;

– gniuždomasis stipris;
– lenkiamasis stipris;
– tempiamasis stipris.

Siekiant gauti tikslesnes medienos rodiklių reikšmes, tikslinga iš elemento išpjauti viso skerspjūvio (konstrukcinio dydžio) fragmentus su būdingomis ydomis ir juos išbandyti. Mažų matmenų (bedefektės medienos – be šakų, tiesaus pluošto) pavyzdžių bandymas iškreipia tikruosius rodiklius, nes medienos be ypatumų rodikliai yra geresni nei su atitinkamais ypatumais. Didžiausi pavyzdžiai reikalingi norint nustatyti lenkiamąjį medienos stiprį ir lenkiamąjį tamprumo modulį. Tam tikslui gali būti reikalingas ir visas tiriamos konstrukcijos elementas, nes bandinio ilgis turi būti 18±3*h* (čia *h* – elemento skerspjūvio aukštis). Išpjautus medienos bandinius būtina iš karto supakuoti į polietileno plėvelę, kad laboratorinėmis sąlygomis būtų galima nustatyti tikrąjį tiriamų medinių konstrukcijų drėgnį.

Mediniai elementai, iš kurių paimti bandiniai, daugeliu atvejų yra stiprinami arba pakeičiami naujais.

Medinių elementų biologinių ar grybo pažaidų mastas apibūdinamas likutinio (sveikos medienos skerspjūvio) ir pradinio elemento skerspjūvio santykiu.

4.3. Defektų ir pažaidų nustatymas

Matomi konstrukcijų defektai ir pažaidos nustatomi jau vizualios apžiūros metu (4.2 lent.).

Vizualios apžiūros metu nufilmuota medžiaga su tyrėjų garsiniais komentarais palengvina ir sutrumpina konstrukcijų būklės tyrimų eigą, padeda teisingiau įvertinti jų būklę, yra vertinga vėliau stiprinant pažeistas konstrukcijas. 4.2 lentelėje išvardytos tyrimo priemonės yra būtinos ir atliekant detalius antrojo etapo būklės tyrimus, papildant įrangos sąrašą kitais reikalingais prietaisais ir aparatūra.

4.2 lentelė. Priemonės konstrukcijų vizualiai apžiūrai atlikti

Tyrimo priemonės	Matuojamas rodiklis ar priemonės paskirtis
Šaltkalvio plaktukas, kirstukas	Preliminarus betono stiprumo ir konstrukcijos vientisumo įvertinimas
Lazerinis tolimatis, 10–20 m ilgio plieninė ruletė, 0,5–1,0 m ilgio plieninė liniuotė	Atstumams tarp konstrukcijų, elementų matmenims, defektams ir pažaidų dydžiams nustatyti
Slankmatis, mikrometras, stormatis (4.13 pav.), 0,3 m ilgio metalinė liniuotė	Armatūros apsauginiam betoniniam sluoksnio storiui atodangų vietose, strypų skersmeniui, elementų skerspjūviui, defektams ir pažaidų dydžiams nustatyti
1–2 m ilgio gulsčiukas, svambalas su liniuote	Konstrukcijų posvyriai, išlinkiai
Fotoaparatas, filmavimo kamera	Defektams ir pažaidoms fotografuoti ir filmuoti, naudojant garsą
Lengvos aliumininės sulankstomos kopėčios	Prieiti prie aukštai esančių konstrukcijų, defektų ir pažaidų, kad būtų galima apžiūrėti iš arčiau
Kilnojamoji apšvietimo įranga	Konstrukcijoms apžiūrėti tamsiose vietose
Kreida, žymekliai, rašymo priemonės	Detalių tyrimų vietoms žymėti, paimtų medžiagų pavyzdžiams markiruoti, apžiūros duomenims užrašyti

Antrajame būklės tyrimo darbų etape statinio ir jo konstrukcijų matmenys bei atstumai tarp jų matuojami pasirinktinai, dažniausiai labiau pažeistų statinio dalių, pažeistų ar labiau apkrautų konstrukcijų vietų. Daugiau matavimų prireikia, kai nustatytos nemažos konstrukcijų ilgio, skerspjūvio matmenų ir konstrukcijų ar jų elementų išdėstymo nuokrypos.

Statinių posvyriai, įlinkiai, nuosėdžiai ir kitokie deformuoto būvio požymiai gali būti nustatyti geodeziniais matavimo prietaisais.

Konstrukcijų ar jų elementų įlinkius patogu matuoti nivelyru, jei yra pakankamai erdvės ir netrukdo vidinės sienos ir technologinė įranga. Tiksliais nivelyrais matuojami statinio pamatų nuosėdžiai. Konstrukcijų posvyriai ir išlinkiai tikrinami teodolitu, taikant pasvirusio spindulio ir šoninio vizavimo būdus.

Kai konstrukcijų įlinkių negalima išmatuoti nivelyru, jie gali būti nustatyti hidrostatiniu niveliavimu. Šis metodas pagrįstas susisiekiančiųjų indų principu, kai tam tikrų taškų nuokrypiai nustatomi pagal vandens lygį vamzdeliuose, sujungtuose žarnomis su skysčio slėgį palaikančiu indu. Tokiu įrenginiu galima matuoti konstrukcijų, esančių nedidelėse patalpose, įlinkius, palyginti gretimų patalpų matuojamų vietų aukščius.

Apytiksliai konstrukcijos įlinkį galima išmatuoti ir įtemptos stygos metodu.

Natūriniais tyrimais svarbu nustatyti, koks yra gelžbetoninių konstrukcijų armavimo būdas ir intensyvumas. Dažnai armatūros klasė, strypų skersmuo ir išdėstymas skerspjūvyje, armatūros apsauginio betono sluoksnio storis tiesiogiai nustatomi padarant mažas armatūros atodangas. Tačiau armatūrą atidengti galima ne visose konstrukcijos vietose. Jos negalima apnuoginti gniuždomosiose zonose (bus susilpnintas gniuždomas betonas), prie atramų (bus pažeista armatūros ir betono sankiba). Be to, patys armatūros atidengimo darbai yra imlūs, keliamas triukšmas ir teršiama aplinka, po matavimų reikia atnaujinti pašalintus atodangose armatūros apsauginius betono sluoksnius. Todėl armatūros paieškai vis plačiau naudojami portatyviniai metalo detektoriai – mikroieškikliai (4.7 pav.). Jų veikimo principas pagrįstas magnetinių laukų sklaidos apie armatūrą registracija. Šiais prietaisais nustatomas armatūros strypų skersmuo ir atstumas nuo betono paviršiaus, t. y. išmatuojamas armatūros apsauginio betono sluoksnio storis. Tokius prietaisus patogu naudoti natūrinius tyrimus atliekant lauko sąlygomis. Pagrindinis trūkumas – netikslūs prietaiso rodmenys, kai tiriamojoje zonoje yra pašalinių metalinių daiktų (technologinės įrangos dalių, inžinerinių tinklų detalių ir pan.) arba greta įvairiomis kryptimis ir keliomis eilėmis sudėti armatūros strypai.

4.7 pav. Portatyvinis armatūros mikroieškiklis

Viena iš pavojingiausių ir sunkiai ištaisomų pažaidų yra armatūros korozija. Skiriami du korozijos vyksmo periodai: paslėptasis (inkubacinis) ir atvirasis (aiškiai matomas). Paslėptojo periodo armatūros korozija yra nedidelė, nėra aiškiai matomų išorinių požymių. Atvirojo periodo armatūros korozija yra toli pažengusi – betone matyti ryškūs rūdžių pėdsakai, armatūros apsauginis sluoksnis yra vietomis supleišėjęs arba atšokęs (nukritęs), ant strypų paviršiaus susikaupęs didelis iki kelių milimetrų storio rūdžių sluoksnis (3.2 lent.). Armatūros korozinės pažaidos dydį galima tiesiogiai išmatuoti slankmačiu, pašalinus apsauginį betono sluoksnį ir nuvalius rūdis. Sunkiau aptikti paslėptojo periodo armatūros korozijos židinius, ypač – taškinę koroziją. Šiuo atveju apie koroziją galima spręsti tik pagal šalutinius požymius:

– nepakankamą armatūros apsauginio betono sluoksnio storį;
– vietomis visiškai karbonizuotą armatūros apsauginį betono sluoksnį;
– palyginti didelį chloridų kiekį betone (daugiau kaip 0,10–0,15 % betono masės);
– agresyviosios aplinkos pobūdį.

Konstrukcijų armatūros būklės tyrimams naudojami korozijos analizatoriai (4.8 pav.), kurių veikimo principas pagrįstas potencialų skirtumo tarp armatūros ir kontrolinio elektrodo matavimu. Jais rūdys aptinkamos dar paslėptuoju armatūros korozijos periodu.

Tiriant dinaminių apkrovų veikiamus statinius ar jų konstrukcijas nustatoma svyravimų amplitudė, dažnis, virpesių slopinimo ir kt. rodikliai, kurie gaunami iš vibrogramų, užrašytų vibrografais, oscilografais ar magnitografais.

4.8 pav. Armatūros korozijos analizatorius

Labiausiai paplitusios gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų pažaidos – plyšiai. Matomų plyšių rodikliai (plotis, gylis, išsidėstymas ir plitimo pavidalas) matuojami įvairaus tikslumo dažniausiai iki 50 kartų didinančiais mikroskopais su atskaitų skalėmis, pavyzdžiui, 24 kartus didinančio mikroskopo matavimo tikslumas yra 25 μm. Tačiau dėl betoninio paviršiaus šiurkštumo šiuo mikroskopu galima stebėti plyšį, atsivėrusį ne mažesniu kaip 50 μm pločiu, t. y. plyšio rodikliai išmatuojami tik apytiksliai. Kai vertinant konstrukcijų būklę tikslus plyšių rodiklių matavimas nereikalingas, patogu trumpalaikių natūrinių tyrimų metu su pakankamu 0,1 mm tikslumu matuoti plyšių pločius specialiomis graduotomis juostelėmis (šablonais). Paprastai matuojami magistralinių (labiausiai atsivėrusių ir išplitusių) plyšių rodikliai. Kai yra atsivėrę mūrinių sienų didelio pločio (daugiau kaip 10 mm) plyšiai, užtenka plyšių pločius matuoti paprastomis plieninėmis liniuotėmis ar ruletėmis, kurių padalos vertė 1 mm.

Plyšiams fiksuoti naudojami įvairūs cheminiai tirpalai. Pavyzdžiui, 20 °C temperatūroje kalio permanganato (6,4 g) ir vandens (100 g) tirpalas sumaišomas su citrinos rūgšties (133 g) ir vandens (100 g) tirpalu ir tuojau pat betono paviršius suvilgomas šiuo tirpalų mišiniu įmirkytu vatos tamponu. Po kelių dešimčių sekundžių, įvykus cheminei reakcijai, plyšiuose ir porose susidaro tamsiai rudos (beveik juodos) nuosėdos, kurios išryškina plyšių kontūrus šviesiai rudame bendrame paviršiaus fone. Taip pat plyšių kontūrui išryškinti gali būti naudojamas acetonas

ir kiti skvarbūs skysčiai, kurie padeda pamatyti net kelių mikronų pločio plyšius. Cheminiai tirpalai ypač tinka užsivėrusių plyšių gyliui nustatyti gniuždomojoje elemento zonoje. Atliekant natūrinius tyrimus labiau atsivėrusių plyšių kontūrus kartais paryškina paprasčiausios vandens dėmės.

Kai atliekami natūriniai ar laboratoriniai konstrukcijų ar jų elementų tyrimai, mikroplyšių ir makroplyšių rodikliai ir jų pokyčiai, įvairios tuštumos, kavernos, svetimkūniai gali būti tiksliau nustatyti akustiniais, radiaciniais, magnetiniais ir kitais būdais, naudojant jautrią stacionarią aparatūrą. Plyšių atsivėrimo pradžiai nustatyti, deformacijoms ir plyšių rodikliams matuoti naudojami elektrinės varžos ir mechaniniai tenzojutikliai.

Natūriniams, ypač mūrinių sienų, būklės tyrimams plačiai taikoma endoskopija (ertmių ieškojimas kūnuose), zonduojant mūrą per išgręžtas mažo skersmens skyles.

Gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų plyšiai, kaip įtempių būvio pasekmė, yra vienas iš svarbiausių natūrinių tyrimų objektų. Atsivėrę betono ir mūro plyšiai, kurių rodikliai bus stebimi, numeruojami, pažymimos matavimo vietos, stebėjimo žurnale užrašomos pradinės plyšių rodiklių reikšmės. Betono plyšių plotis ir gylis (ilgis) gali būti periodiškai matuojami mikroskopais. Betono ir mūro ilgalaikiai plyšių pločio pokyčiai dažnai kontroliuojami ir komparatoriais, statomais ant konstrukcijos tik matuojant. Abipus plyšio padaromos dvi žymės, tarp kurių atstumas yra lygus komparatoriaus matavimo bazei. Analogiškos žymės taip pat daromos metaliniame etalone, kurio tiesinis plėtimasis yra mažas. Plyšio pločio pokytis išmatuojamas sutapdinus komparatoriaus kojeles su žymėmis ir pagal etalono rodmenis įvertinus daromą matavimo paklaidą.

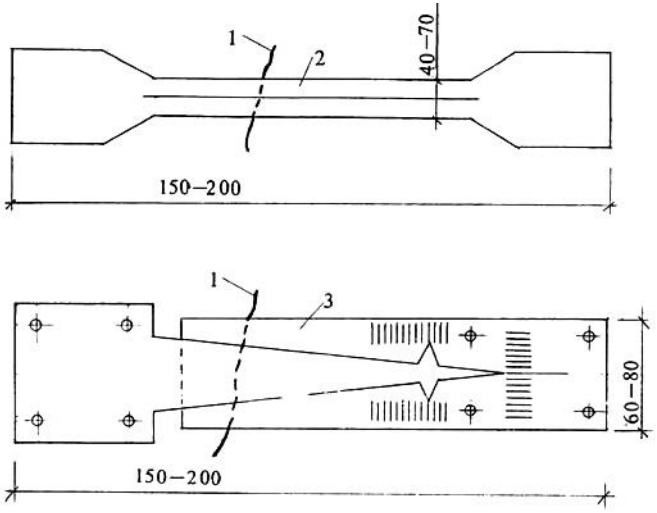
Plyšių ilgalaikiam plitimui stebėti, ypač mūrinėse konstrukcijose, labai plačiai taikomi gipsiniai, cementiniai ir kitokie žyminiai (4.9 pav.). Jie įrengiami ant plyšių ties labiausiai atsivėrusiomis vietomis, numeruojami ir surašomi stebėjimo žurnale, pažymint datą. Žyminys abiejose plyšio pusėse tvirtinamas (klijuojamas praplatintomis dalimis) prie mūrinio ar betoninio paviršiaus. Plyšiui platėjant, žyminio siauresnė dalis trūksta. Šio trūkio plotis rodo plyšio pločio prieaugį, o trūkio krantų poslinkiai –

konstrukcijos trimates deformacijas. Taikant uždėtų žyminių sistemą, galima stebėti sienų ir jų jungčių deformavimą laikui bėgant.

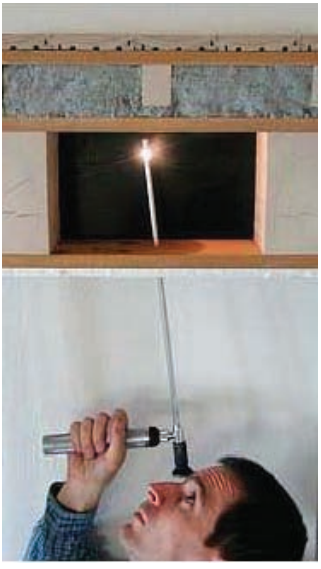
Naudojamuose statiniuose, ypač gamybiniuose, įrengti stacionarūs deformacijų matavimo prietaisai – mechaniniai tenzometrai, įlinkiomačiai, laikrodiniai indikatoriai, klinometrai – turi būti izoliuoti nuo pašalinių aplinkos poveikių. Naudojamiems elektrinės varžos tenzojutikliams sudaromos pastovaus mikroklimato sąlygos, kurios užtikrina patikimą deformacijų matavimo tikslumą.

Statinių ar jų fragmentų, pavienių konstrukcijų natūriniai trumpalaikiai ar ilgalaikiai tyrimai, pagal kurių rezultatus vertinama statinio ir jo konstrukcijų būklė, atliekami retai. Tokie tyrimai yra brangūs ir sudėtingi. Todėl jų reikalingumas turi būti pagrįstas ir gerai šiems tyrimams pasiruošta. Ilgalaikiai konstrukcijų ar jų modelių tyrimai dažniausiai atliekami laboratorijose ar specialiuose bandymų poligonuose. Kai bandoma konstrukcija yra naudojamame statinyje, ji paprastai apkraunama bandomąja apkrova, siekiant patikslinti jos skaičiuojamąjį modelį, įvertinti standumo rodiklius, išryškinti paslėptus defektus. Tolygiai paskirstytai bandomajai apkrovai imituoti gali būti panaudoti tikslaus svorio metalo liejiniai, plytos, betoniniai blokeliai, vandens talpyklos. Šią apkrovą patogu uždėti ant bandinio stulpeliais, tarpai tarp kurių turi būti ne mažesni kaip 30–50 mm. Tačiau, apkraunant palyginti nestandžias konstrukcijas, bandomoji apkrova ant tokių konstrukcijų gali pasiskirstyti netolygiai. Tolygi apkrova gaunama, kai bandomosios konstrukcijos gulsčiasis paviršius apkraunamas vandens sluoksniu. Priklausomai nuo bandomųjų objektų tyrimo tikslo ir vietos sąlygų, deformacijoms ir pleišėtumo rodikliams matuoti galima naudoti stacionarią aparatūrą, kompiuteriu apdorojančią bandymo duomenis, ir šiame skyriuje aprašytus prietaisus.

Perdangų, sluoksniuotųjų sienų su oro tarpu ir pan. konstrukcijų, uždengtų kabamosiomis lubomis ar atitvaromis, konstrukcinių detalių, esančių įvairiose uždarose ertmėse, vizualiems tyrimams atlikti gali būti naudojami endoskopai (4.10 pav.). Šio konstrukcinio endoskopo privalumas yra tas, kad apkalos ar atitvaros pažaida – pragręžta skylutė yra labai maža, o apšvietimas ir didelė optinė raiška leidžia nuodugniai apžiūrėti uždengtų konstrukcijų fragmentus ir įvertinti jų paviršių būklę.

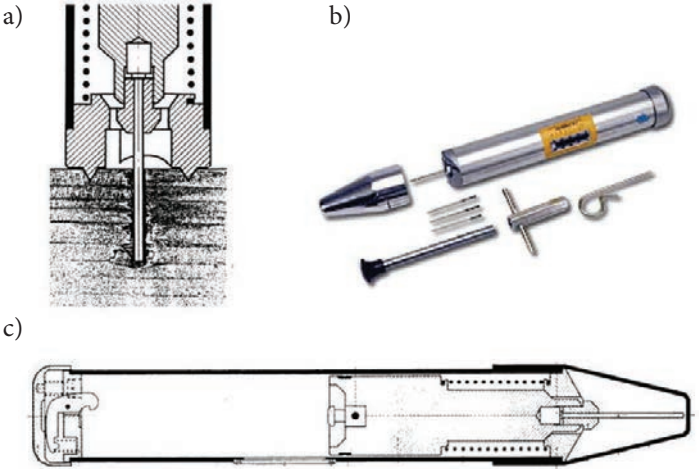


4.9 pav. Žyminiai plyšių pločio pokyčiams stebėti: 1– plyšys; 2 – gipsinis ar cementinis 8–10 mm storio žyminys; 3 – plieninis žyminys



4.10 pav. Endoskopo naudojimas konstrukcijų ertmių apžiūrai

Konstrukcijų medienos kietumo sklaidai tirti neardomaisiais būdais gali būti naudojamas Šveicarijoje sukurtas prietaisas sklerometras „Pilodyn“ (Hansen 2000), kuris konstrukcija (4.11 pav.) ir veikimo principu panašus į sklerometrą betono (mūro skiedinio) gniuždomajam stipriui nustatyti (4.1 pav.). Tik medienos tyrimo prietaisu nustatomas ne daužiklio atšokimo nuo paviršiaus dydis, bet smeigto skverbties į medieną gylis. Atsižvelgiant į natūralųjį medienos (ąžuolas, pušis ar pan.) kietumą naudojami skirtingo storio smeigtai – kietai medienai plonesnis, o minkštai storesnis. Šiuo prietaisu negalima nustatyti tikrosios medienos tankio reikšmės, tačiau juo galima nustatyti puvinio pažeistas vietas, medienos santykinį suminkštėjimą ir pažaidos gylį. Prietaisas buvo sukurtas specialiai medinių telefono stulpų medienos pažaidų tyrimams, tačiau puikiai tinka ir kitokios paskirties medinėms konstrukcijoms tirti.



4.11 pav. Medienos kietmatis „Pilodyn“: a – veikimo principas; b – bendras prietaiso ir jo priedų vaizdas; c – kietmačio konstrukcija

Medienos ypatumams (kartais vartojamas terminas – ydoms) tirti naudojami įvairūs ultragarsiniai prietaisai (4.12 pav.). Šių prietaisų paskirtis – nustatyti medinių elementų ypatumus, jų dydį ir padėtį, t. y. jie skirti medienai rūšiuoti į stiprumo klases pagal medienos ypatumus.

Standartai medienai rūšiuoti pagal ypatumus reglamentuoja leistinus ypatumų kiekius bei jų matmenis ir pagal tai mediena priskiriama vienai ar kitai stiprumo klasei. Medienos rūšiavimas tik pagal medienos ypatumus nėra labai tikslus, o naudojant kilnojamuosius matavimo prietaisus – dar ir ilgalaikis procesas, tačiau puikiai tinka naudojamoms medinėms konstrukcijoms tirti.

4.12 pav. Kilnojamasis ultragarsinis medienos tyrimo prietaisas

Metalinių konstrukcijų skerspjūvio matmenims nustatyti gali būti naudojamos įvairios matavimo priemonės: įprastinės mechaninės arba elektroninės – stormačiai, slankmačiai, mikrometrai (4.13 pav.); sudėtingosios – ultragarsiniai plieno storio matuokliai (4.14 pav.), ultragarsiniai apsauginių dažų dangų storių matuokliai, medinių, plastikinių, betoninių elementų storio matuokliai.

4.13 pav. Įprastinės storio matavimo priemonės – stormačiai, slankmačiai, mikrometrai

4.14 pav. Ultragarsiniai storio matuokliai: a – kompaktiškas plieno storio matuoklis; b – sudėtingesnis ir platesnių galimybių su keičiamaisiais jutikliais

Skirtingai nuo įprastų matavimo priemonių, ultragarsiniais matuokliais galima išmatuoti likutinį metalo storį (be korozijos produktų ar dažų dangų sluoksnio), nereikia papildomo matavimo vietos paruošimo – dažų dangos pašalinimo ar rūdžių sluoksnio nušveitimo iki metalo paviršiaus. Ultragarsiniai prietaisai yra gana tikslūs – padalos vertė 0,01 mm, o matavimų intervalas yra gan platus ir priklauso nuo prietaiso konstrukcijos. Matavimo intervalas siekia maždaug nuo 0,05 mm iki kelių dešimčių milimetrų. Vieni būna maži ir kompaktiški, kiti didesni ir su keičiamaisiais skirtingo jautrio ir paskirties jutikliais.

Suvirintinių jungčių defektų tikrinimo būdai gali būti ardomieji arba neardomieji.

Ardomieji – tokie būdai, kai jungčių laikomoji galia ir defektai nustatomi laboratorijose, bandant specialiai pagal atitinkamas metodikas paruoštus bandinius. Siekiant nustatyti virintinių siūlių kokybę ir aptikti defektus, atliekami tempimo, lenkimo arba laužimo bandymai. Bandymų rezultatai leidžia spręsti ne tik apie virintinių siūlių kokybę (jose esančius defektus), bet ir apie suvirinimo technologijos tinkamumą ir suvirintojo kvalifikaciją.

Tikrinant suvirintųjų konstrukcijų virintinių siūlių kokybę taikomi neardomieji kokybės būdai:

– apžiūrimasis (vizualinis), sutrumpintai žymimas VT;
– ultragarsinis (UT);
– radiografinis (RT);
– skvarbiųjų dažalų;

– magnetinių dalelių (MT);
– sūkurinių srovių (ET).

Neardomasis kontrolės būdas parenkamas atsižvelgiant į kontrolės sąlygas (statybvietėje ar laboratorijoje), prieigos galimybę, numatomą defektų pobūdį, įrangos ir metodo galimybę, jungties tipą ir konstrukcijos paskirtį. Apžiūrimoji siūlės kokybės kontrolė atliekama visoms be išimties virintinėms siūlėms. Jos metu tikrinama siūlės paviršiaus kokybė, matuojami siūlės matmenys, nustatomi vizualiai matomi defektai. Leistinos virintinių siūlių nuokrypos yra pateiktos LST EN ISO 5817, atsižvelgiant į reikiamą kokybės lygį. Kokybės lygmuo priklauso nuo konstrukcijos paskirties ir svarbos. Virintinių siūlių pagrindinių paviršiaus ir matmenų nuokrypų leistinosios ribos pagal LST EN ISO 5817 pateiktos šios knygos C priede.

Virintinių siūlių – sudurtinių ir kertinių – vizualiai apžiūrai gali būti naudojamos įvairios pagalbinės priemonės, padedančios nuodugniai apžiūrėti virintinių siūlių paviršius, aptikti defektus ir nustatyti jų matmenis. Šiam tikslui naudojamos priemonės parodytos 4.3 lentelėje.

4.3 lentelė. Virintinių siūlių apžiūros priemonės

Priemonės pavadinimas	Priemonės vaizdas
Veidrodėlis su laikikliu sunkiai prieinamų vietų apžiūrai	
Lupa, didinanti 2 ir daugiau kartų	
Lupa, didinanti 5 ir daugiau kartų, su pašvietimu	
Lupa, didinanti 10 ir daugiau kartų, su matavimo skale defektų ir pažaidų dydžiui nustatyti	

Vertinant virintinių siūlių kokybę, be išorinės apžiūros, būtina patikrinti virintinių siūlių skerspjūvio pavidalus, nustatyti jo atitiktį reikalaujamam ir išmatuoti skerspjūvio matmenis bei siūlių ilgius. Virintinių siūlių skerspjūvio geometrinių rodiklių matavimo priemonės, jų paskirtis ir matavimo būdai parodyti 4.4 lentelėje.

4.4 lentelė. Virintinių siūlių matmenų ir pavidalo nuokrypų matavimo priemonės ir būdai

Sudurtinių siūlių rumbelės aukščiui matuoti	Kertinių siūlių storiui matuoti	Kertinių siūlių statinio aukščiui matuoti
Universalūs siūlių skerspjūvio matmenų matavimo prietaisai		
Kertinių virintinių siūlių storio ir statinio aukščio matavimo šablonai		

4.4 lentelės pabaiga

Sudurtinių siūlių rumbelės aukščiui matuoti	Kertinių siūlių storiui matuoti	Kertinių siūlių statinio aukščiui matuoti
Virintinių jungčių smailu ir buku kampu sujungtų elementų jungties kampui ir virintinių siūlių statinio aukščiui matuoti		
Kertinių virintinių siūlių statinio aukščio matavimo būdai slankmačiu ir gylmačiu		

5. NAUDOJAMŲ KONSTRUKCIJŲ BŪKLĖS ĮVERTINIMO SKAIČIAVIMAIS YPATUMAI

5.1. Konstrukcijų apkrovų nustatymo ir skaitinio modeliavimo principai

Kaip skaičiuojant naujai projektuojamas konstrukcijas, taip ir skaičiuojant naudojamas konstrukcijas turi būti nustatyti tokie *konstrukcijų poveikiai*:

- nuolatiniai – savasis konstrukcijų svoris, fiksuota įranga ir taip pat netiesioginiai poveikiai dėl traukumo, temperatūros pokyčių ir nelygių sėdimų;
- kintamieji – naudojimo apkrovos ant pastato perdangų, sijų ir stogų, vėjo poveikiai, sniego apkrovos;
- ypatingieji, pvz., sprogimai ar transporto priemonių smūgiai.

Konstrukcijų savasis svoris gali būti nustatytas tokiais būdais:

- pagal statinio darbo brėžinius;
- išmatavus konstrukcijų elementų matmenis;
- išmatavus pagrindinių konstrukcijos elementų matmenis, o kitų konstrukcijų matmenis įvertinus pagal projektinę dokumentaciją (darbo brėžinius ar pan.), tipinių gaminių katalogus.

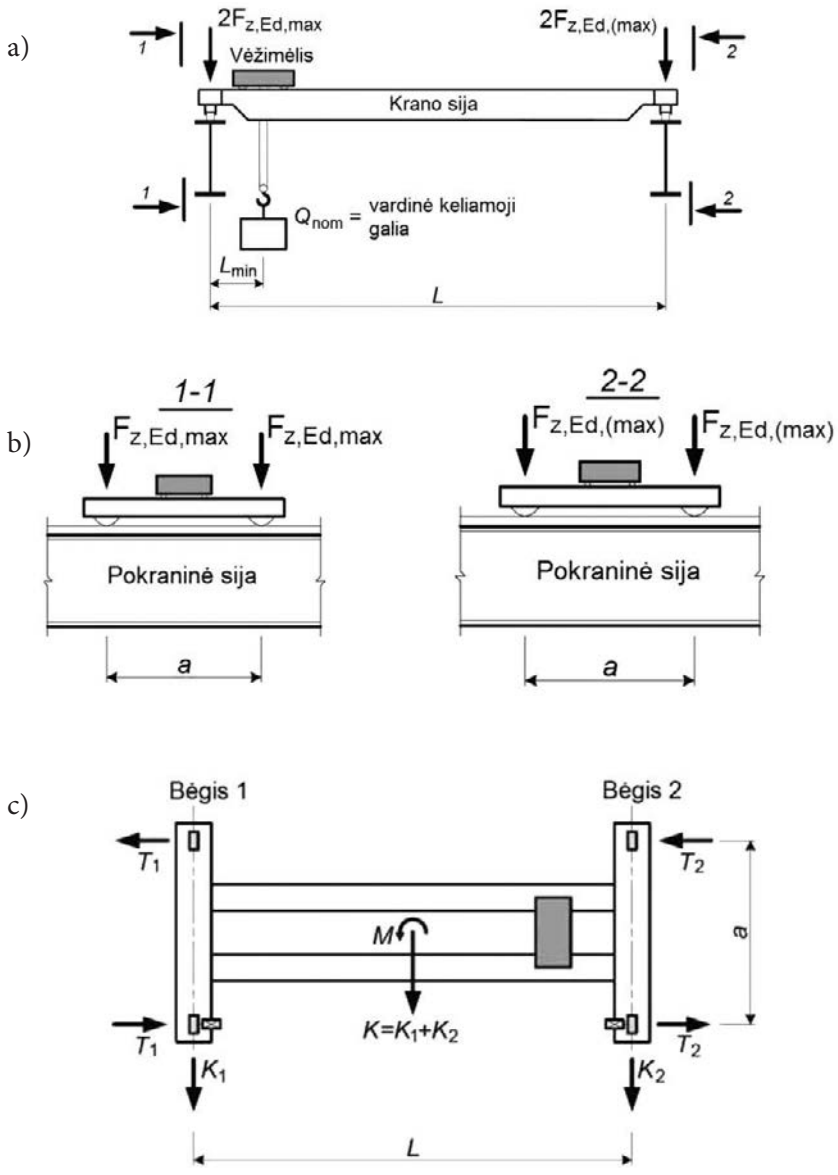
Technologinės (staklių, baldų ir pan.) ar kitokios (elektros instaliacijos, vėdinimo sistemos, vandentiekio, kanalizacijos) įrangos svoris paprastai nustatomas pagal įrangos techninius naudojimo dokumentus, o jei įranga yra nesudėtingo pavidalo, matuojant matmenis, rečiau – ją sveriant, nes nebūna reikiamų svėrimo priemonių ar įranga nejudamai pritvirtinta prie pagrindo.

Šilumos izoliacinių, išlyginamųjų, hidroizoliacinių ir kt. sluoksnių apkrovos nėra visiškai nekintamos ir visiškai atitinkančios projektinę dokumentaciją. Sluoksnių apkrovos gali neatitikti projektinių duomenų dėl sluoksnių medžiagų drėgmės pokyčių ir mažesnio ar didesnio nei projektinis storio. Dėl šių priežasčių, atliekant tyrimus, paprastai daromos grindų, stogų ir kt. konstrukcijų sluoksnių maždaug 100×100 mm ploto atodangos. Išmatuojami sluoksnių storiai ir paimami sluoksnių medžiagos pavyzdžiai, siekiant nustatyti jų tankį ir drėgnį laboratorinėmis sąlygomis, vadovaujantis atitinkamais bandymo standartais. Statybinių ir sandėliuojamų medžiagų tankių ir kt. duomenų lentelės yra pateiktos atitinkamuose norminiuose dokumentuose ir žinynuose. Pagal laboratorinių bandymų rezultatus ar padauginus atitinkamo sluoksnio storį iš būdingojo tankio gaunamas sluoksnio svoris. Jei medžiagos drėgnis padidėjęs, į tai turi būti atsižvelgta skaičiuojant svorį.

Atitvarų – sienų, pertvarų, langų apkrovos nustatomos pagal matavimų duomenis ir tikslinamos pagal tipinius šių konstrukcijų katalogus. Jei atitvaroms panaudotos drėgmės pokyčiams jautrios medžiagos, tada tikslinga medžiagos pavyzdžių drėgnį nustatyti laboratorinėmis sąlygomis arba kitais būdais medžiagų buvimo vietoje. Atitvarų padėtis ant perdangų ar kitų konstrukcijų nustatoma matuojant ir lyginant su projektine dokumentacija, kad prireikus tikslias apkrovų pridėties vietas būtų galima įvertinti skaičiuojamojoje schemoje. Tais atvejais, kai atitvaros ar technologinė įranga turi kintamąjį poveikį (pvz., kilnojamosios pertvaros, kurių savasis svoris ≤3,0 kN/m), jį reikia laikyti papildoma naudojimo apkrova ir pridėti prie naudojimo apkrovų kaip tolygiai paskirstytą apkrovą.

Nustatyti tikrąją atitvarų, kaip, beje, ir technologinės įrangos padėtį yra svarbu, nes statybos ar naudojimo metais šių apkrovų pridėties vietos galėjo būti pakeistos ar padidintos pačios apkrovos – pastorintos pertvaros, panaudotos sunkesnės medžiagos ir pan.

Tiltinių ir kabamųjų kranų, antžeminio transporto, judančių įrenginių statieji ir gulstieji poveikiai (5.1 pav.) gali būti pateikti krano techninėje dokumentacijoje arba juos gali žinoti tiltinio krano tiekėjai ar gamintojai.



5.1 pav. Tiltinio krano statieji ir gulstieji poveikiai: a – krano vaizdas iš priekio; b ir c – krano vaizdai iš galų; d – krano vaizdas iš viršaus (gulstieji poveikiai)

Sąlyginiai 5.1 pav. žymenys: L – krano tarpatramis; a – atstumas tarp krano vienos pusės ratų; $F_{z,Ed,\max}$ – didžiausia krano rato apkrova; $F_{z,Ed,(\max)}$ – didžiausią krano rato apkrovą atitinkanti apkrova kitoje krano pusėje; Q_{nom} – vardinė krano keliamoji galia; $2F_{z,Ed,\max}$ – suma siją veikiančių didžiausių krano rato apkrovų; $2F_{z,Ed,(\max)}$ – didžiausią krano rato apkrovą atitinkančių apkrovų kitoje krano pusėje suma; T_1 ir T_2 – šoniniai gulstieji krano poveikiai, kuriuos sukelia krano vežimėlio greitėjimas ir stabdymas; K – krano stabdymo jėga.

Krano rodikliai – tarpatramis, keliamoji galia, atstumas tarp krano vienos pusės ratų, didžiausia krano rato apkrova. Krano stabdymo jėgą galima rasti krano techninėje dokumentacijoje.

Aiškinantis naudojimų apkrovų dydžius ir jų pokyčius, tikslinga apklausti tiriamų statinių naudotojus, darbuotojus ir kt., nes remonto ar naudojimo metu atliktos pertvarkos ar keitiniai dažnai nebūna dokumentuoti ir juos rasti faktiškai neįmanoma.

Aplinkos veiksnių – sniego, vėjo, apšalo ir ypatingųjų veiksnių – sukelti poveikiai ir jų charakteristinės reikšmės nustatomos naudojant atitinkamą euronormų dalį.

Jei tiriamos statinio, kurio technologijos procesas susijęs su dideliu dulkių kiekių išsiskyrimu, konstrukcijos, ypatingą dėmesį reikia atkreipti, ar ant konstrukcijų nėra dulkių sankaupų, nustatyti sluoksnių storius, sankaupos greitį, ištirti dulkių šaltinius ir pan., taip pat paimti dulkių pavyzdžius, kad būtų galima nustatyti jų tankį, drėgnį ir higroskopiškumą.

Visų apkrovų ir poveikių daliniai saugos koeficientai turi būti imami pagal tam skirtą euronormų dalį.

Nustatant statybinių konstrukcijų elementų įrąžas, poslinkius ir deformacijas, naudojamas ne tikrasis, o idealizuotas konstrukcijos vaizdas – *skaičiuojamasis modelis*. Skaičiuojamasis modelis yra supaprastintas realiosios konstrukcijos, jos atramų ir ją veikiančių apkrovų aprašas, lengvinantis konstrukcijos elgsenos analizę vienu ar kitu požiūriu. Perėjimas nuo realios konstrukcijos prie skaičiuojamojo modelio apima konstrukcinių elementų matmenų, konstrukcinių medžiagų ir konstrukcijas veikiančių apkrovų schematizavimą. Vienai konstrukcijai gali būti parinkti net keli

skaičiuojamieji modeliai. Nuo skaičiuojamojo modelio priklauso skaičiavimo rezultatai, jų atitiktis realybei ir konstrukcijos elgsenos ypatumų įvertinimo tikslumas. Skaičiuojamojo modelio parinkimas yra vienas iš atsakingiausių konstrukcijų būklės vertinimo trečiojo etapo (žr. 1.3 sk.) uždavinių. Todėl, sudarant skaičiuojamuosius modelius, reikia pasitelkti ne tik visą inžinerinę patirtį, nuojautą, bet ir nuodugnias teorines žinias. Mokėjimas sudėtingą konstrukciją supaprastinti, atsižvelgiant į skaičiuojamuosius poveikius, gali sutaupyti nemažai laiko.

Konstrukcijas paprastai tikslinga skaičiuoti kaip bendras erdvines sistemas su visais ryšių elementais ir fiktyviaisiais elementais, kuriais atsižvelgiama į stogo pakloto poveikį įrąžų perskirstymui, nes taip atsižvelgiama į erdvinę visos sistemos (statinio) elgseną. Dalijant erdvines konstrukcijas į plokščiąsias, būtina įvertinti elementų tarpusavio sąveiką ir sąveiką su pamatais.

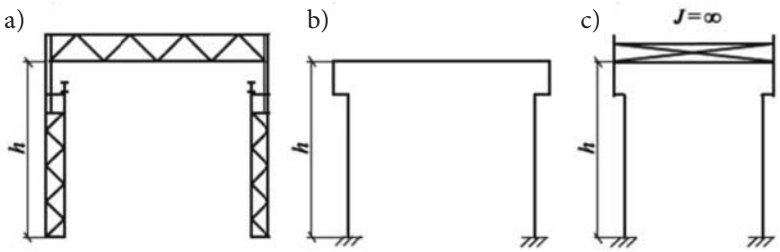
Skaičiavimas pagal netinkamai sudarytą skaičiuojamąjį modelį, net taikant pačius tiksliausius metodus, nepateikia patikimų rezultatų tiek skaičiuojant elementų įrąžas ir poslinkius, tiek elementų laikomąją galią.

Projektuojant būtina sudaryti tokius skaičiuojamuosius modelius, kurie atitiktų statinių erdvinį sprendinį ir jų elementų tarpusavio jungties sąlygas (lanksti, dalinio lankstumo, standi jungtis) ir užtikrintų visos konstrukcijos pastovumą bei nekintamumą veikiant gabenimo, montavimo ir naudojimo apkrovoms.

Sudarant skaičiuojamuosius modelius, reikia vengti net artimų akimirkiniam judrumui skaičiuojamųjų modelių, pvz., kai trys lankstai atsiduria vienoje tiesėje ir kai trys ryšiai yra lygiagretūs arba kertasi viename taške. Sistemos gali virsti judriomis arba akimirksniu judriomis.

Skersinio rėmo galimi skaičiuojamieji modeliai, atsižvelgiant į poveikių kryptį, parodyti 5.2 pav. Pirmajame (5.2 pav., a) parodyta schema, kuri tiksliai atkartoja pastato laikančiojo skersinio rėmo elementus, o antrajame (5.2 pav., b) parodyta supaprastinta schema, kai sudėtinio spragotinio skerspjūvio elementai pakeičiami ištisinio skerspjūvio baigtiniais elementais. Pakeistųjų ištisinio skerspjūvio elementų standumas gali ne visai atitikti sudėtinio skerspjūvio elementų standumą, jei nagrinėjami išoriniai poveikiai (apkrovos) veiks tik stačiai. Jei apkrovų poveikis bus ir gulsčiasis, tada pakeistųjų ištisinio skerspjūvio elementų standumas

turi būti toks kaip ir spragotųjų elementų, nes kitu atveju gautieji konstrukcijos poslinkiai ir deformacijos neatitiks tikrųjų.

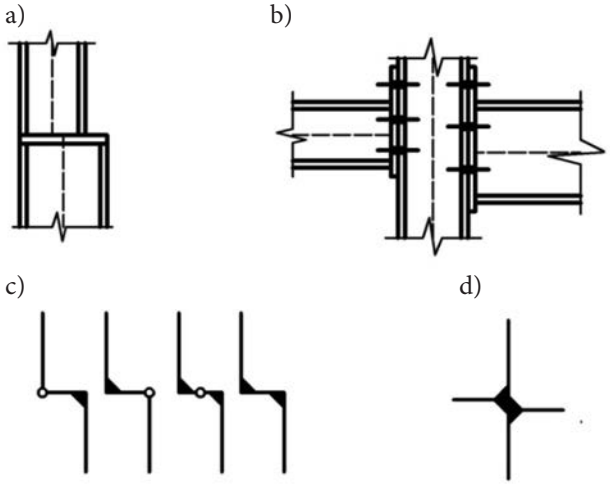


5.2 pav. Galimi skersinio rėmo skaičiuojamieji modeliai: a – tiksli rėmo schema; b – supaprastinta schema, kai konstrukcija apkrauta tik stačiaisiais poveikiais; c – supaprastinta schema, kai konstrukcija apkrauta stačiaisiais ir gulsčiaisiais poveikiais

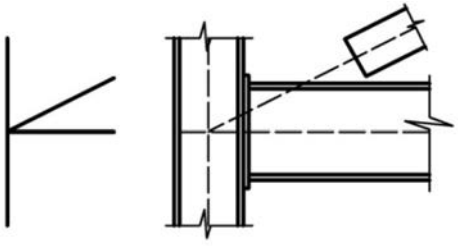
Konstrukcijos elementų ašių nesutaptys skaičiuojamame modelyje turi būti įvertinamos taip, kaip parodyta 5.3 pav. Schemose trikampiais pažymėti didesnio standumo elementai. Lanksto įterpimas schemoje (5.3 pav., c) priklauso nuo tikrosios stačiojo elemento apatinės ir viršutinės dalies jungties. Jei priešingose kolonos pusėse sijų ašių nesutaptis nedidelė (5.3 pav., b), tai skaičiuojamajame modelyje galima priimti prielaidą, kad sijų ašys susikerta viename taške. Toliau aptarsime būdingus konstrukcijų jungčių modeliavimo atvejus.

Paprastai, projektuojant konstrukcijas, ypač plienines ir medines, ir sudarant skaičiuojamąjį modelį priimta laikyti, kad konstrukcijų elementų ašys susikerta viename taške, kaip parodyta 5.4 pav. Taikant tokį sprendinį nesukeliama papildomų lenkiamųjų momentų dėl elementų ašių ekscentricitetų. Tačiau ne visais atvejais taip konstruojama, nes gali nebūti galimybių to padaryti.

Santvaros prijungimas prie kolonos šono centruojant santvaros ir kolonos ašis (5.5 pav., a) nėra visiškai tinkamas, nes neatsižvelgiama į tikrąjį santvaros sukeliamą lenkiamąjį poveikį. Santvaros prijungimas prie kolonos šono centruojant santvaros viršutinės juostos ir atraminio spyrio ašis prie atraminio kolonos paviršiaus yra tinkamas, nes dažniausiai atitinka tikrąją mazgo konstrukciją.

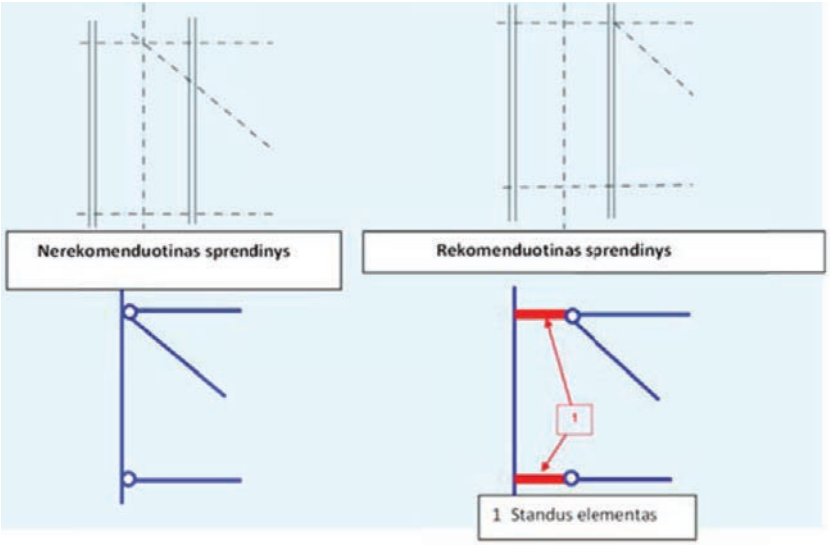


5.3 pav. Konstrukcijos elementų jungties ašių nesutapties įvertinimas skaičiuojamajame modelyje: a – statramsčio ilginamoji jungtis; b – sijų ir kolonos jungtis; c – statramsčio ilginamoji jungtis skaičiuojamajame modelyje; d – sijų ir kolonos jungtis skaičiuojamajame modelyje

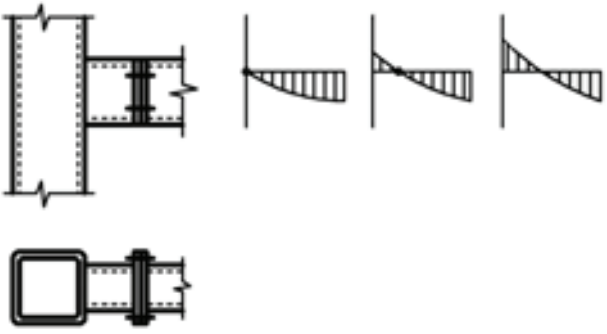


5.4 pav. Būdingas konstrukcijos elementų ašių sankirtos sprendinys

Elementų jungčių skaičiuojamosios prielaidos turi nemažą poveikį tiek pavienio elemento, tiek ir gretimų viename mazge sujungtų elementų įrąžų pasiskirstymui (5.6 pav.).

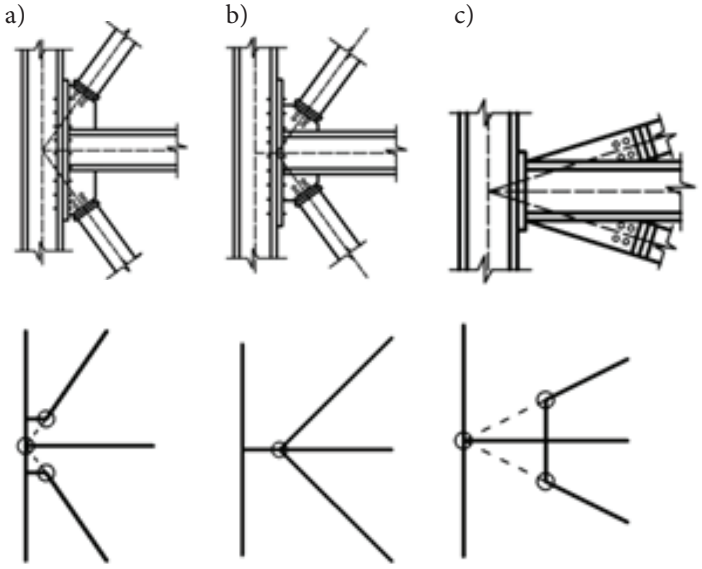


5.5 pav. Santvaros ir kolonos jungties modeliavimo būdai



5.6 pav. Galimi kolonos ir sijos jungties įvertinimo skaičiuojamuoju modeliu atvejai

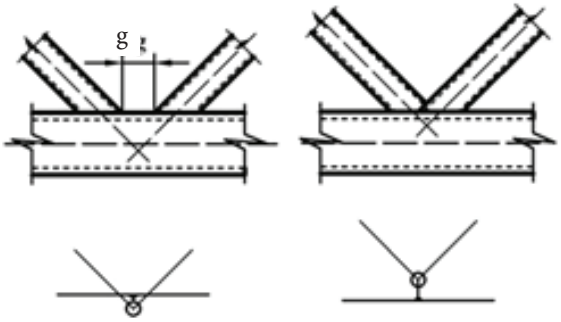
Plieninių ryšių tvirtinimo prie kolonos konstrukcinis sprendinys ir jo skaičiuojamojo modelio atitikmuo parodytas 5.7 pav.



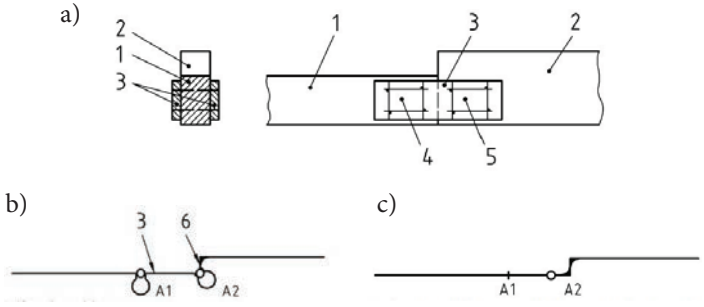
5.7 pav. Plieninių ryšių ir kolonos jungtys ir jų skaičiuojamojo modelio atitikmuo: a – elementų ašys susikerta viename taške; b – elementų ašys nesusikerta viename taške; c – elementų ašys susikerta viename taške smailu kampu

Plieninių santvarų tinklelio strypų ekscentriciteto įvertinimas skaičiuojamajame modelyje parodytas 5.8 pav. Skaičiuojamajame modelyje gali būti laikoma, kad santvaros juostos ir tinklelio strypų ašių sankirta yra viename taške, o vėliau skaičiuojant jungties laikomąją galią įvertinamas dėl elementų ašių sankirtos ekcentriciteto atsiradęs papildomas lenkiamasis momentas.

Sudarant spragotųjų stogo elementų skaičiuojamuosius modelius būtina atkreiti dėmesį į apkrovos pridėties pobūdį. Jei stogo konstrukcija yra įrengta ant laikančiojo metalinio pakloto, tiesiogiai pritvirtinto prie santvaros juostos, tai apkrova šiam elementui skaičiuojamajame modelyje turi būti pridėta tolygiai išskirstyta visu apkrovos poveikio ilgiu. Jei stogo santvaros yra su ilginiais, išdėstytais santvaros juostos ir tinklelio elementų sankirtos mazguose, tada santvaros apkrovas tikslinga pridėti mazguose.



5.8 pav. Plieninių santvarų tinklelio strypų ekscentriciteto įvertinimas sudarant skaičiuojamąjį modelį



5.9 pav. Medinių sijų antdėklinės jungties aprašų skaičiuojamieji modeliai: a – antdėklinės jungties konstrukcinis sprendinys; b – atsižvelgiant į dalinį virbalinių jungčių standį A1 ir A2; c – neatsižvelgiant į virbalinių jungčių standį (lanksti jungtis). 1 ir 2 – sijos elementai; 3 – antdėklai; 4 ir 5 – jungių grupės; 6 – standus elementas

Modeliuojant konstrukcijų atramas dažniausiai daroma prielaida, kad atrama yra standi arba lanksti, tačiau siekiant realiau įvertinti galimus poveikius atramoms (gruntinio vandens slėgį, pamatų nuosėdžius) ir jų poveikį konstrukcijos įrąžų persiskirstymui, dažnai reikia sudaryti papildomus skaičiuojamuosius modelius, pagal kuriuos būtų galima įvertinti minėtus poveikius. Jei nagrinėjamos paslankios ritininės konstrukcijų

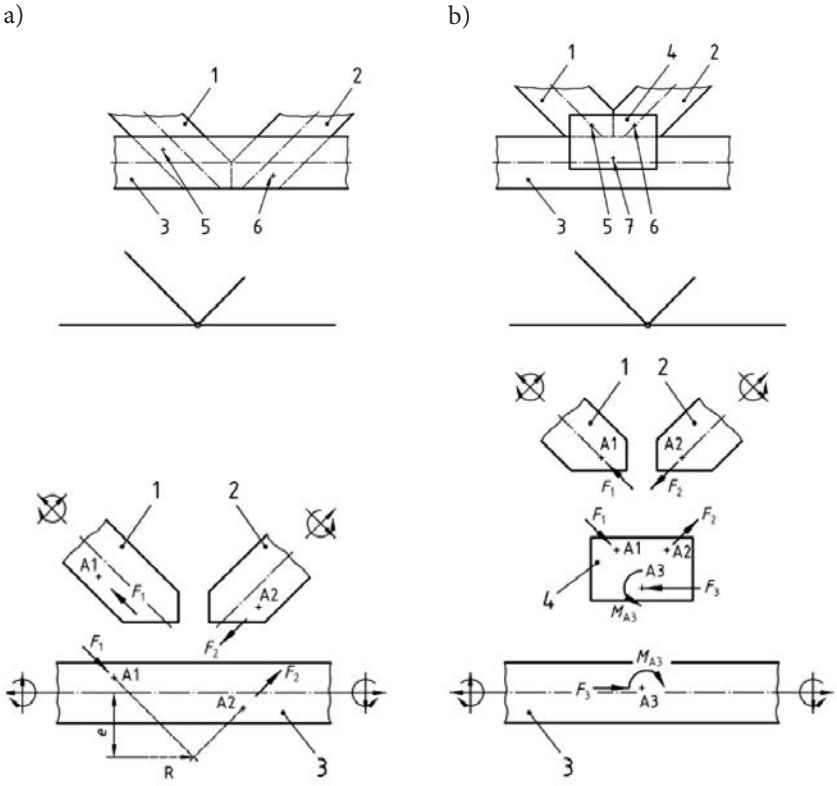
atramos, būtina atlikti papildomą skaičiavimą ritinių strigties atveju, nes konstrukcijoje gali padidėti įrąžos, pasikeisti įtempių būvis ir pan.

Medinių elementų modeliavimas baigtiniais elementais taip pat turi kai kurių skirtumų lyginant su plieninių elementų modeliavimu. Medinių elementų standžios jungtys faktiškai yra sunkiai įgyvendinamos, o jų standumas yra gerokai mažesnis už plieninių ar gelžbetoninių elementų. Atsižvelgiant į tai, medinių konstrukcijų elementų jungtys, sudarant skaičiuojamuosius modelius, turėtų būti modeliuojamos dalinio standumo, kaip parodyta 5.9 pav., b, arba kaip lanksčiai prijungtos prie standaus elemento, kaip parodyta 5.9 pav., c. Kaip matyti iš 5.9 pav., ir mediniams elementams galioja ašių nesutapties įvertinimo skaičiuojamajame modelyje taisyklė.

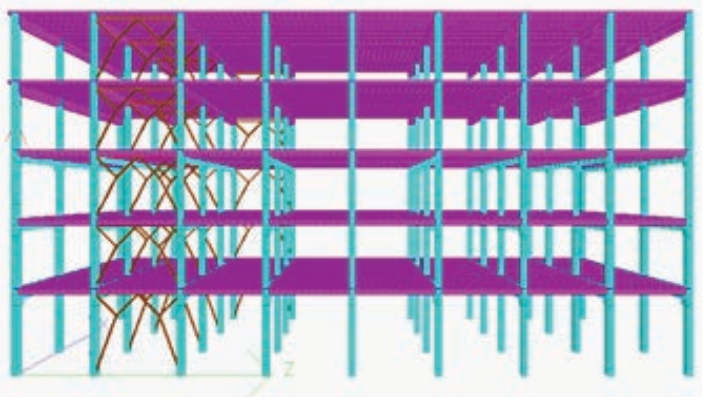
Dėl jungiamų viename mazge didelių medinių elementų skerspjūvio matmenų, ašys nėra centruotos viename taške, tačiau paprastumo dėlei skaičiuojamajame modelyje elementų ašys centruojamos viename mazge, o vėliau, skaičiuojant elementų laikomąją galią, įvertinami elementų ašių sankirtos ekscentricitetai ir dėl to atsirandantys papildomi lenkiamieji momentai (5.10 pav.)

Skaičiuojant sudėtingas rėmines kostrukcijas su standžiomis perdangomis ar standumo branduoliais, vien tik strypiniais baigtiniais elementais ne visuomet įmanoma sudaryti statinio skaičiuojamąjį modelį, tuomet strypiniais elementais tikslinga modeliuoti kolonas, sijas, ryšių elementus, o plokščiaisiais baigtiniais elementais – perdangos plokštes, mūro sienas ar pertvaras ir pan. Taip sudarytas skaičiuojamasis modelis tiksliau atitiks realybę (5.11 pav.).

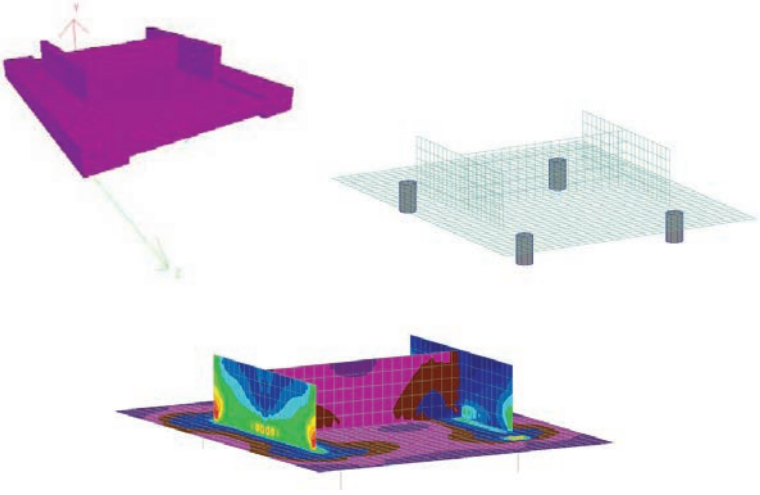
Daugeliui atvejų, kai elementų tarpusavio jungties elgsena yra sunkiai prognozuojama ar nėra aiškių skaičiavimo būdų, sudaromi tokių jungčių ar mazgų skaitiniai modeliai naudojant plokščiuosius arba tūrinius baigtinius elementus (5.12 pav., a, b) ir nagrinėjamas įtempių pasiskirstymas (5.12 pav., c), deformacijų pobūdis ir dydis. Modeliuojamo mazgo pavidalas ir apkrovos turi būti tokios, kad jų poveikis visiškai parodytų tikrąją mazgo elgseną.



5.10 pav. Medinių santvarų juostos ir tinklelio elementų jungties modeliavimo ypatumai: a – santvaros mazgas, kai tinklelio elementai yra tarp juostos lentų; b – santvaros mazgas, kai tinklelio elementai ir juosta sujungti šoniniais antdėklais: 1 ir 2 – santvaros tinklelio elementai; 3 – santvaros juosta; 4 – antdėklas (pvz., dygiuotoji plokštelė); 5 – 1-ojo elemento jungimo prie antdėklo vieta; 6 – 2-ojo elemento jungimo prie antdėklo vieta; 7 – antdėklo jungimo prie juostos vieta; A1–A3 jungimo priemonių vietos



5.11 pav. Pastato erdvinio gelžbetoninio karkaso (su surenkamomis perdangomis) skaičiuojamasis modelis



5.12 pav. Pamato ir dvitėjo skerspjūvio kolonos pėdos mazgo modelis, kuriame naudojami plokštieji baigtiniai elementai: a – erdvininis modelio vaizdas; b – baigtinių plokščiųjų elementų modelis; c – kolonos pėdos įtempių pasiskirstymas

5.2. Gelžbetoninės konstrukcijos

Tikrinamieji ribinių būvių skaičiavimai yra laikančiųjų konstrukcijų būklės tyrimų baigiamojo trečiojo etapo pagrindinė dalis (žr. 1.3 sk.). Jais tikrinami neturinčių defektų konstrukcijų ribiniai būviai, kai numatoma, kad po rekonstrukcijos pasikeis statinio naudojimo sąlygos (padidės apkrovos arba keisis jų pobūdis, pasikeis aplinkos temperatūra, drėgmė, agresyvumo laipsnis ir pan.). Taip pat tikrinama ir tuo atveju, kai norima įsitikinti, kokį poveikį konstrukcijos įtempių būviui turi būklės tyrimais nustatyti defektai ir pažaidos. Tik atlikus šiuos skaičiavimus galima nuspręsti, ar konstrukcija yra tinkama toliau naudoti ir kokį poveikį defektas ar pažaida turi (arba turės pasikeitus statinio naudojimo sąlygoms) konstrukcijos laikomajai galiai, pleišėtumui ir deformacijoms.

Gelžbetoninių konstrukcijų ribinių būvių tikrinamieji skaičiavimai atliekami pagal Lietuvoje galiojančių projektavimo normų nuorodas (LST EN 1992-1-1:2005), atsižvelgiant į būklės tyrimais nustatytas medžiagų fizikines ir mechanines charakteristikas, konstrukcijų skaičiuojamojo modelio pokyčius, defektus ir pažaidas. Defektai ir pažaidos įvertinami imant sumažintus betono ar armatūros skerspjūvio plotus.

Skaičiavimais reikia tikrinti ribinius būvius tose konstrukcijos vietose, kuriose būklės tyrimais nustatytas betono stipris yra 20 % ir daugiau mažesnis už vidutinį. Konstrukcijas reikia stiprinti, kai tikrinamieji skaičiavimai rodo, kad jos neatitinka saugos, o dažnai ir tinkamumo ribinių būvių reikalavimų. Priklausomai nuo galimo konstrukcijų irties pobūdžio (irtis normaliniame ar įstrižajame pjūvyje, erdviniame pjūvyje veikiant sukamajam momentui ir skersinei jėgai, praspaudžiant ir pan.), jos gali būti laikomos avaringomis, jeigu būklės tyrimais nustatyta jų laikomosios galios atsarga yra ne didesnė kaip 15–30 %. Kai būklės tyrimų antrajame etape nustatyti konstrukcijų defektai ar pažaidos neabejotinai yra 4-osios kategorijos, tikrinamieji ribinių būvių skaičiavimai dažnai netenka prasmės. Tokias konstrukcijas reikia nedelsiant stiprinti arba pakeisti naujomis.

Skaičiuotinės betono savybių rodiklių reikšmės imamos pagal sąlygišką betono C klasę iš galiojančių projektavimo normų. Jei konstrukcijos buvo suprojektuotos pagal anksčiau galiojusias projektavimo normas, ši klasė nustatoma iš turimų projektinių duomenų pagal garantuotąjį betono stiprį $f_{ck,cube}$, kuris lygus (Топчий, Гребенник 1990):

- betono B klasei (MPa), kai normuojamas rodiklis buvo betono klasė;
- 0,8M, kai normuojamas rodiklis betono markė M (kgf/cm^2) buvo nustatoma gniuždant 150×150×150 mm kubus;
- 0,85M, kai betono markė M (kgf/cm^2) buvo nustatoma gniuždant 200×200×200 mm kubus.

Garantuota betono stiprio $f_{ck,cube}$ reikšmė imama 20 % mažesnė už vidutinę betono stiprio reikšmę, nustatytą natūriniais tyrimais (neardomaisiais metodais ar laboratorijoje ištyrus iš konstrukcijų paimtus betono bandinius). Kai tyrimais sukaupta pakankamai duomenų, gniuždomojo betono $f_{ck,cube}$ stiprį su 0,95 patikimumu galima nustatyti statistiniais-tikimybiniais metodais. Kai yra tarpinės betono C klasės reikšmės, betono skaičiuotiniai stipriai nustatomi interpoliuojant.

Atliekant tikrinamuosius skaičiavimus naudojamos armatūros skaičiuotiniai rodikliai imami iš galiojančių projektavimo normų atsižvelgiant į armatūros klasę. Ši klasė nustatoma pagal ankstesnius projektinius duomenis: įvertinant armatūros rodiklių patikimumo lygį naudojamos konstrukcijos projektavimo metu arba tiesiogiai išbandžius iš konstrukcijos paimtus armatūros pavyzdžius ir jų tyrimų duomenis įvertinus su 0,95 patikimumu.

Nustatant armatūros skaičiuotinį f_{yd} (f_{pd}) stiprį Rusijoje pagamintos strypinės armatūros charakteristinis stipris f_{yk} mažinamas 15 % (kai $f_{yk} \leq 400$ MPa), o stipris f_{pk} – 25 % (kai $f_{pk} > 400$ MPa). Vielinės armatūros charakteristinis stipris mažinamas taip pat 25 %, išskyrus rumbuotą 3–5 mm skersmens įprastinę vielą, kurios stipris f_{yk} mažinamas 15 %. Taip vertinama, kai šios strypinės ir vielinės armatūros klasė yra nustatyta pagal turimus projektinius duomenis. Kai iš tiriamos konstrukcijos paimtų armatūros pavyzdžių yra tiesioginio ištyrimo galimybė, nustatyti

vidutiniai plieno takumo f_{yk} įtempiai mažinami 10 %, jei jie neviršija 600 MPa, kitais atvejais f_{yk} įtempiai mažinami 20 %. Kai nėra projektinių duomenų ir nėra galimybių iš tiriamos neįtemptojo gelžbetonio konstrukcijos paimti armatūros bandinių, lygaus paviršiaus armatūros skaičiuotinis f_{yd} stipris imamas 155 MPa, rumbuotos armatūros – f_{yd} = 245 MPa ir f_{yd} = 295 MPa, kai rumbų išsidėstymas yra sriegio ir kitokios formos. Skersinės armatūros skaičiuotinis stipris f_{ywd} = 0,8f_{yd}. Gniuždomosios armatūros skaičiuotinis stipris $f_{sc} = f_{yd}$ (Мальганов *et al.* 1990).

Kai tempiamojoje armatūroje išilginiai plyšiai yra atsivėrę ties inkaravimo zona, elemento skerspjūvio kampuose esančių strypų skaičiuotinį stiprį f_{yd} rekomenduojama mažinti 75 %, o tarpinių (vidurinių) strypų – 50 % (*Пособие П1-98...* 1998).

Apskritai nėra vienos statinių ir jų konstrukcijų būklės vertinimo metodikos. Dažnai statinio ar jo konstrukcijų būklė vertinama balais, kategorijomis, rangais ir pan. Įvairiose šalyse statinių ir jų konstrukcijų būklės vertinimo metodikos yra skirtingos. Techninėje literatūroje (Мальганов *et al.* 1990) yra pasiūlyta metodika, kaip pagal projektavimo normų reikalavimus tikrinamaisiais skaičiavimais įvertinti defektų ir pažaidų poveikį konstrukcijų ribiniams būviams. Siūloma taikyti koeficientus, įvertinančius konstrukcijos defektų ir pažaidų pavojingumo lygį. Nustatant betono klasę, vidutinis kubinis betono stipris dauginamas iš 1,0, 0,9 ir 0,8, kai atitinkamai yra 1-oji, 2-oji ir 3-ioji konstrukcijų būklės kategorija (5.1 lent.).

Šioje lentelėje nurodytos konstrukcijų būklės kategorijos iš esmės atitinka 2.1 skirsnyje aprašytas defektų ir pažaidų pavojingumo kategorijas.

Armatūrinio plieno korozinės pažaidos (armatūros skerspjūvio ploto sumažėjimas) įvertinamos taikant koeficientą:

$$\lambda = (\varnothing^2 - \varnothing_{0,95}^2) \cdot 100\,\% \big/ \varnothing^2, \qquad (5.1)$$

čia $\varnothing$ – pradinis armatūros strypo skersmuo, o $\varnothing_{0,95}$ – išlikęs korozijos nepažeistas strypo skersmuo su pasikliautine tikimybe 0,95.

5.1 lentelė. Konstrukcijų būklės kategorijos

Kategorija	Būklės apibūdinimas
1	Nėra matomų defektų ir pažaidų, kurie bylotų apie laikomosios galios ir tinkamumo naudoti sumažėjimą; būklės tyrimų metu nenustatyta, kad konstrukciją reikia stiprinti
2	Nėra matomų defektų ir pažaidų, kurie bylotų apie laikomosios galios ir tinkamumo naudoti sumažėjimą; armatūros apsauga betoniniu sluoksniu vietomis nepakankama; reikia atkurti armatūros antikorozinę apsaugą
3	Defektai ir pažaidos mažina laikomąją galią ir tinkamumą naudoti, bet būklės tyrimų metu konstrukcijos griūties pavojaus nėra; konstrukciją reikia stiprinti

Kai armatūros strypo skersmuo dėl korozijos sumažėjo 50 % ir daugiau, likęs šio strypo skerspjūvio plotas atliekant tikrinamuosius skaičiavimus neįvertinamas. Be to, skaičiuotinis armatūros skerspjūvio plotas daugina-mas iš 1,0, 0,95 ir 0,9, kai yra atitinkamai 1-oji, 2-oji ir 3-ioji konstrukcijų būklės kategorija (5.1 lentelė).

Dėl armatūros korozijos susilpnėjusi armatūros ir betono sankiba tikrinamaisiais ribinių būvių skaičiavimais įvertinama 1,0, 0,9 ir 0,8 koeficientais, atitinkamai esant 1-ajai, 2-ajai ir 3-iajai konstrukcijų būklės kategorijai. Konstrukcijų, kuriose yra avarinių būklės požymių, tikrinamieji ribinių būvių skaičiavimai neatliekami.

Konstrukcijų ribiniai būviai tikrinami faktinių poveikių sukeltoms įrąžoms. Jei pagal šią metodiką skaičiavimo rezultatai neatitinka nors vieno iš ribinių būvių reikalavimų ir skirtumas tarp skaičiuojant gautų ir projektavimo normomis leistinų reikšmių yra ne didesnis kaip 25 %, galima dar taikyti tikimybinį tiriamųjų konstrukcijų vertinimą. Konstrukcijų nereikia stiprinti, jeigu galioja šios sąlygos:

$$P_1 \geq 0{,}9986 \text{ ir } P_2 \geq 0{,}95, \tag{5.2}$$

čia P_1 ir P_2 – konstrukcijos skaičiavimo rezultatų patikimumas pagal saugos ir tinkamumo ribinius būvių reikalavimus nustatomas taikant Gauso ir Laplaso tikimybinę pasiskirstymo funkciją. Jei nors vienos iš (5.2) sąlygų nesilaikoma, konstrukciją reikia stiprinti.

Be to, siūlomoje metodikoje apibūdinamas gelžbetoninių konstrukcijų pažeidimo laipsnis, atsižvelgiant į laikomosios galios sumažėjimą ir būdingus defektus bei pažaidas (5.2 lent.). Šioje lentelėje pateiktas konstrukcijų pažeidimo laipsnis įvairios paskirties statiniuose gali būti vertinamas nevienodai. Ypatingiems statiniams šis vertinimas gali būti griežtesnis. Pavyzdžiui, tilto būklė gali būti vertinama kaip bloga, jei pažaidos labai progresuoja ir tilto konstrukcijų laikomoji galia yra sumažėjusi iki 20 %, t. y. laikoma, kad yra stiprus, o ne vidutinis, kaip nurodyta 5.2 lentelėje, tokių konstrukcijų pažeidimo laipsnis.

5.2 lentelė. Gelžbetoninių konstrukcijų būklės įvertinimas

Pažaidos	Laikomosios galios sumažėjimas, %	Būdingi defektai ir pažaidos bei jų požymiai	Rekomendacijos
Silpnos	Iki 15	Apsauginis betono sluoksnis skerspjūvio kampuose sunkiai atskeliamas gyliu iki 10 mm; po smūgio kaltu betone lieka nedideli pėdsakai, garsas skardus, temperatūros poveikis mažai pakeitė betono spalvą; nėra paviršinių plyšių dėl betono traukumo	Atliekami tikrinamieji laikomosios galios skaičiavimai. Jei laikomoji galia pakankama, konstrukcija nestiprinama. Atkuriamas apsauginis betono sluoksnis ir šalinami arba paslepiami kiti smulkūs defektai
Vidutinės	Iki 25	Dėl temperatūrinių ir traukumo deformacijų konstrukcijos paviršiuje yra susidaręs negilių plyšių tinklas; apsauginis betono sluoksnis skerspjūvio kampuose atskeliamas 20 mm gyliu; po smūgio kaltu betono paviršiuje lieka ryškūs pėdsakai; dėl temperatūros poveikio betono spalva įgauna rausvą atspalvį; konstrukcijos įlinkis neviršija ribinio dydžio	Atliekami tikrinamieji laikomosios galios skaičiavimai. Pagal šio skaičiavimo rezultatus sprendžiama, ar reikia atstatyti konstrukcijas. Atkuriant pažeistas konstrukcijos vietas, galimas laikinas jos sustiprinimas

5.2 lentelės pabaiga

Pažaidos	Laikomosios galios sumažėjimas, %	Būdingi defektai ir pažaidos bei jų požymiai	Rekomendacijos
Stiprios	Iki 50	Betone yra atsivėrę iki 1 mm pločio plyšiai; lengvai smūgiuojant plaktuku, apsauginis betono sluoksnis atskeliamas didesniu kaip 30 mm gyliu; kaltas įsminga iki 10 mm gylio, smūgio garsas yra duslus; betono stipris sumažėjęs iki 50 %; temperatūros poveikis stipriai pakeitęs betono spalvą (iki baltos); konstrukcijos įlinkio ribinė reikšmė viršijama 2–4 kartus; pastebimi gniuždomosios armatūros išlinkimo požymiai	Atliekami laikomosios galios patikrinamieji skaičiavimai. Pažeistos konstrukcijos stiprinamos (iki sustiprinimo dėl žmonių saugos aptveriama stipriai pažeistų konstrukcijų zona, konstrukcijos laikinai sustiprinamos)
Avarinės	Daugiau kaip 50	Gniuždomosiose ir atraminėse zonose betone yra atsivėrę 1–5 mm pločio plyšiai; labai dideli įlinkiai, 4 ir daugiau kartų viršijantys ribinius (didesni kaip 1/50 tarpatramio ilgio); smūgiuojant į betoną girdisi duslus garsas; kaltas į betoną lengvai įsminga iki 20 mm gylio; matyti apnuogintos armatūros ruožai gniuždomosios armatūros išlinkimo požymiai; nutrūkusi tempiamoji armatūra, pažeista armatūros ir betono sankiba; gniuždomųjų elementų pastovumo netekimo, betono atsiknojimo, išpūtimo požymiai; aukštos temperatūros pažeistas ne mažesnio kaip 30 mm storio betono sluoksnis	Dėl žmonių saugos aptveriama avaringų konstrukcijų zona. Turinčios avarinių požymių konstrukcijos išmontuojamos arba laikinai paramstytos yra stiprinamos

Gelžbetoninių konstrukcijų įtempimų būvį galima įvertinti taikant tariamai trapių kūnų irimo mechanikos mokslą, kuris pastaraisiais dešimtmečiais labai sparčiai vystosi. Konstrukcijos plyšiai yra įtempimų būvio pasekmė, todėl pagal nustatytus šių plyšių rodiklius (normalinio ar įstrižojo plyšio ilgį, plotį ties armatūros lygiu ir pan.) ir žinant betono plyšių plitimo dėsningumus konstrukcijoje yra galimybė tikrinamaisiais skaičiavimais įvertinti jos armatūros ir betono įtempius pjūviuose per plyšius. Pagal plyšių, kurie atsivėrė kaip armatūros rūdijimo pasekmė, rodiklius įmanoma įvertinti armatūros korozijos gylį. Žinant plyšių atsiradimo ir plitimo dėsningumus galima prognozuoti gelžbetoninių konstrukcijų ilgalaikiškumą, patikimiau nustatyti konstrukcijų griūties priežastis ir pan.

Žinant betono ir armatūros įtempių bei deformacijų tarpusavio sąryšius, konstrukcijų įtempimų būvį galima įvertinti sprendžiant netiesinius optimizavimo uždavinius. Šis metodas leidžia apskaičiuoti įvairios formos skerspjūvio strypinių elementų įtempius veikiant sudėtingiems įrąžų deriniams.

Kai konstrukcijų būklės tyrimai yra didelės apimties, patogu visus konstrukcijų būklės tyrimų ir tikrinamųjų skaičiavimų rezultatus pateikti lentelės forma. Joje turėtų būti nurodyta: defekto vieta ir pavadinimas, kodas, pažymintis konstrukcijos ir defekto tipus, defekto parametro pavadinimas ir reikšmė, tikrinamųjų skaičiavimų duomenys (pvz., pažeistos ir tokios pat nepažeistos konstrukcijos laikomųjų galių santykis), konstrukcijos būklės įvertinimas ir pan. Iš tokios duomenų santraukos (duomenų banko) galima aiškiau susidaryti vaizdą apie viso statinio būklę, remonto apimtį ir trukmę, tikslingiau numatyti remontui skirtų lėšų naudojimą. Kaupiami ir saugojami duomenų banke konstrukcijų būklės tyrimų rezultatai leis patikimiau vertinti ir prognozuoti jų būklę vėlesniais tyrimais.

5.3. Mūrinės konstrukcijos

Mūrinių konstrukcijų ribinių būvių tikrinamieji skaičiavimai atliekami pagal Lietuvoje galiojančių projektavimo normų reikalavimus (LST EN 1996-1-1:2006), atsižvelgiant į būklės tyrimais nustatytus medžiagų fizikinius ir mechaninius rodiklius, konstrukcijų skaičiuojamosios schemos pokyčius, defektus ir pažaidas.

Plytų, blokelių, blokų ir kitų gaminių stipris nustatomas išbandant paimtus iš mūro gaminius pagal galiojančius standartus. Šie gaminiai iš mūro paimami tokiose vietose (neapkrautuose mūro ruožuose, pertvarose ir pan.), kuriose mūro susilpninimas neturi poveikio konstrukcijų laikomajai galiai. Gaminių, skiedinių, taip pat užpildymo betono stipris ir deformacijas apibūdinantys dydžiai (deformacijų modulis, Puasono koeficientas ir pan.) gali būti nustatyti neardomaisiais metodais (žr. 4.1 sk.). Konstrukcijų skaičiuojamosios schemos pokyčiai gali būti vertinami kaip defektai, turintys neigiamą poveikį jų laikomajai galiai (pavyzdžiui, dėl mūrijimo nuokrypų ar dėl kitokių priežasčių konstrukcijose atsiranda papildomi apkrovų ekscentricitetai, sienų jungčių pažaidos).

Kai defektų ir pažaidų poveikio konstrukcijų laikomajai galiai negalima tiesiogiai įvertinti projektavimo normų formulėmis, techninėje literatūroje siūloma faktinę pažeistos konstrukcijos laikomąją galią $N_{R,act}$ apskaičiuoti pagal (5.3) išraišką (Топчий, Гребенник 1990):

$$N_{R,act} = N_{Rd}\beta\,, \tag{5.3}$$

čia N_{Rd} – pagal projektavimo normų nuorodas apskaičiuota konstrukcijos laikomoji galia, imant būklės tyrimais nustatytas realias mūro medžiagų stiprio, konstrukcijos skerspjūvio ploto ir kitų matmenų reikšmes, β – koeficientas, kuriuo priklausomai nuo defektų ar pažaidų rūšies (plyšių, technologinių mūro defektų ir pan., žr. 5.3–5.6 lent.) mažinama konstrukcijos laikomoji galia.

5.3 lentelė. Koeficiento β reikšmės, kai nuo perkrovos yra atsivėrę statieji mūro plyšiai

Gniuždomų mūrinių konstrukcijų pažaidų pobūdis	β	
	nearmuotam mūrui	armuotam mūrui
Plyšiai pavieniuose gaminiuose	1,0	1,0
Plauko storio plyšiai, kertantys ne daugiau kaip dvi mūro eiles, 150–200 mm ilgio	0,9	1,0
Plyšiai, kertantys ne daugiau kaip 4 mūro eiles (300–400 mm ilgio) ir ne daugiau kaip trijų plyšių sienos ar stulpo 1 m plotyje	0,75	0,9

5.3 lentelės pabaiga

Gniuždomų mūrinių konstrukcijų pažaidų pobūdis	β	
	nearmuotam mūrui	armuotam mūrui
Plyšiai, kertantys ne daugiau kaip aštuonias mūro eiles, 600–800 mm ilgio ir ne daugiau kaip 4 plyšiai sienos (stulpo) 1 m plotyje	0,5	0,7

Pastaba: mūras armuotas tinkleliais gulsčiosiose siūlėse.

5.4 lentelė. Koeficiento β reikšmės, kai yra technologinių mūrijimo defektų

Technologiniai defektai	β
Nėra mūro perrišos (trumpainių, armatūrinių tinklų ar strypynų): – 5–6 mūro eilėse – 8–9 mūro eilėse – 10–11 mūro eilių	 1,0 0,9 0,75
Neužpildytos skiediniu stačiosios mūro siūlės	0,9
Kai pagrindinių siūlių storis didesnis kaip 20 mm ir kai tokių siūlių yra 3–4 mūro 1 m aukštyje: – esant skiediniui M7,5 ir aukštesnės klasės – esant skiediniui M2,5–M5,0 klasių – esant skiediniui žemesnės kaip M2,5 klasės	 1,0 0,9 0,8

5.5. lentelė. Koeficiento β reikšmės, kai yra vietinės sijų, santvarų, sąramų mūrinių atramų pažaidos

Mūrinių atramų pažaidų pobūdis	β, kai mūrinės atramos	
	nearmuotos	armuotos
Vietinės (kraštinės) mūro iki 20 mm gylio pažaidos (plyšiai, nuskėlimai, suaižėjimai) arba atsivėrę 150–180 mm ilgio statieji plyšiai sijų, santvarų, sąramų ar padėklų galuose	0,75	0,9
Vietinės (kraštinės) mūro iki 20 mm gylio pažaidos (plyšiai, nuskėlimai, suaižėjimai), kai yra atsivėrę 300–350 mm ilgio plyšiai ankščiau minėtų konstrukcijų galuose	0,5	0,75

5.5 lentelės pabaiga

Mūrinių atramų pažaidų pobūdis	β, kai mūrinės atramos	
	nearmuotos	armuotos
Kraštinės daugiau kaip 20 mm gylio mūro pažaidos ir atsivėrę daugiau kaip 350 mm ilgio statieji ir įstrižieji plyšiai sijų, santvarų, sąramų galuose	0	0,5

Pastaba: mūras armuotas tinkleliais gulsčiosiose siūlėse.

5.6 lentelė. Koeficiento β reikšmės, kai keraminių ir silikatinių plytų mūras yra paveiktas gaisro

Mūro pažaidos gylis, mm	β, kai sienų ir tarpuangių storis yra 380 mm ir didesnis, kai jie kaitinti iš		β, kai stulpų skerspjūvio matmenys yra 380 mm ir didesni
	vienos pusės	dviejų pusių	
Iki 5	1,0	0,95	0,9
Iki 20	0,95	0,9	0,85
Iki 50–60	0,9	0,8	0,7

5.7 lentelė. Mūrinių konstrukcijų būklės vertinimas

Pažaidos	Laikomosios galios sumažėjimas, %	Būdingi defektai ir pažaidos bei jų požymiai	Rekomendacijos
Silpnos	Iki 15	Šalčio ir erozijos pažeistas mūras, sienos apdailinio sluoksnio pažaida (iki 15 % sluoksnio storio); gaisro pažeistas iki 5 mm gylio (atmetus tinką) mūro sluoksnis; statieji ir įstrižieji plyšiai, kertantys ne daugiau kaip dvi mūro eiles	Atliekami patikrinamieji laikomosios galios skaičiavimai. Jei laikomoji galia pakankama, stiprinti nereikia

Pažaidos	Laikomosios galios sumažėjimas, %	Būdingi defektai ir pažaidos bei jų požymiai	Rekomendacijos
Vidutinės	Iki 25	Šalčio ir erozijos (korozijos) pažeistas mūras, sienos apdailinio sluoksnio pažaida (iki 25 % sluoksnio storio); gaisro pažeistas iki 20 mm gylio (atmetus tinką) mūro sluoksnis; statieji ir įstrižieji plyšiai, kertantys ne daugiau kaip keturias mūro eiles; vietinė mūrinių atramų pažaida iki 20 mm gylio; atramų galuose atsivėrę statieji plyšiai, kertantys ne daugiau kaip dvi mūro eiles; sienų posvyris ar išlinkis aukšte (iki 1/6 jų storio); perdangos plokščių poslinkiai ne didesni kaip 1/5 jų atramų ilgio ir ne didesni kaip 20 mm; stačiųjų plyšių atsiradimas sienų sankirtose	Atliekami patikrinamieji laikomosios galios skaičiavimai, laikinieji ir nuolatiniai konstrukcijų stiprinimai
Stiprios	Iki 50	Iki 40 % sienos storio yra pažeista šalčio, erozijos ar korozijos; statieji ir įstrižieji plyšiai (išskyrus plyšius, atsivėrusius dėl temperatūros poveikių ir pamatų nuosėdžių), kertantys ne daugiau kaip aštuonias mūro eiles; sienų posvyriai ir išlinkiai, labai padidinantys apkrovų pridėties ekscentricitetą; išilginių sienų atplėšimas nuo skersinių, sienų atraminių sąrišų ištraukimas; vietinė mūro pažaida viršija 20 mm gylį; atramų galuose atsivėrę statieji ir įstrižieji plyšiai, kertantys ne daugiau kaip 4 mūro eiles; perdangos poslinkiai, didesni kaip 1/5 atramų ilgio; gaisro pažeistas 50–60 mm storio mūro sluoksnis	Atliekami patikrinamieji skaičiavimai. Pažeistos mūrinės konstrukcijos yra stiprinamos (dėl žmonių saugos iki sustiprinimo aptveriama stipriai pažeistų konstrukcijų zona, konstrukcijos laikinai sustiprinamos)

Pažaidos	Laikomosios galios sumažėjimas, %	Būdingi defektai ir pažaidos bei jų požymiai	Rekomendacijos
Avarinės	Daugiau kaip 50	50 % ir daugiau sienos storio yra pažeista; atskiri mūro ruožai (1/2 plytos ir storesni jo sluoksniai) yra suirę; nuo perkrovos atsivėrę statieji plyšiai, kertantys daugiau kaip aštuonias plytų eiles; sienų posvyriai ir išlinkiai, aukšto ribose didesni kaip 1/3 sienos storio; paveiktos gaisro konstrukcijos stipriai pažeistos ir deformuotos	Dėl žmonių saugos aptveriama avaringų konstrukcijų zona. Turinčios avarinių požymių konstrukcijos išmontuojamos arba laikinai paramstomos ir stiprinamos

Kai keraminių ir silikatinių plytų mūras yra įmirkęs (prisotintas vandens), koeficientas $\beta = 0{,}85$. Taip pat dydis $\beta = 0{,}8$, kai mūrui naudojami taisyklingos formos gamtiniai akmenys – kalkakmeniai ir smiltainiai. Kai dėl temperatūros, traukumo deformacijų, pamatų nuosėdžių yra atsivėrę sienų ir tarpuangių statieji plyšiai, koeficientas $\beta = 1{,}0$. Tačiau šiuo atveju apskaičiuojant N_{Rd} reikia atsižvelgti į sumažėjusį tarpuangių skaičiuojamąjį skerspjūvį ir plyšiais padalytų ruožų padidėjusį išilginį lenkimą.

Mūrines konstrukcijas reikia stiprinti, jei galioja sąlyga

$$N_{E,act} \geq \alpha N_{R,act}\,, \tag{5.4}$$

čia $N_{E,act}$ – būklės tyrimais nustatytas apkrovos poveikis arba numatomas poveikis po rekonstrukcijos; $\alpha = 1{,}15$, kai mūrinėse konstrukcijose nėra plyšių, ir $\alpha = 1{,}0$, kai yra mūro supleišėjimo pažaidų.

Mūrinių konstrukcijų būklės (laikomosios galios) vertinimas pagal ir būdingus defektus bei pažaidas, pateiktas 5.7 lentelėje.

Teisingai įvertinti supleišėjusių mūrinių sienų būklę dažnai sudėtinga, nes gali būti kelios plyšių plitimą sukeliančios priežastys. Tokiais atvejais patartina pabraižyti statinio sienų per visus aukštus išklotines, kuriose būtų pavaizduoti atsivėrę plyšiai abiejose sienos pusėse (žr. 3.24 pav.). Iš jų galima

susidaryti aiškesnį vaizdą apie plyšių plitimo pobūdį ir lengviau nustatyti sienų pleišėjimo priežastis, ypač rasti jų pamatų didesnių nuosėdžių vietas, atlikti ilgalaikius plyšių plitimo stebėjimus (žr. 4.3 sk.).

5.4. Metalinės konstrukcijos

Metalinių konstrukcijų, jų elementų ir detalių stiprumo, pastovumo ir standumo neįmanoma apskaičiuoti, jei nežinomos naudojamo metalo mechaninės savybės, kurias galima nustatyti eksperimentiškai arba remiantis projektine ar statybos dokumentacija.

Pradiniai šaltiniai plieno kokybei nustatyti yra tokie:

– darbo brėžiniai;
– statybos žurnalai;
– kokybės sertifikatai (plieno, suvirinimo medžiagų, varžtų);
– norminiai dokumentai, galioję konstrukcijos gamybos metu.

Jei darbo brėžinių, statybos žurnalų ar kokybės sertifikatų neišliko ir plieninių elementų pažaidų pobūdis byloja, kad jos galėjo atsirasti dėl blogos plieno kokybės (sluoksniavimasis, trapusis pleišėjimas ir pan.), reikiami plieno rodikliai nustatomi bandant iš konstrukcijos paimtus pavyzdžius.

Mechaninės metalų savybės nustatomos naudojant standartinius bandinius ir bandymo metodikas. Statistiškai apdorojus bandymų rezultatus, gaunamos charakteristinės metalų stiprio reikšmės.

Svarbiausiosios plieno savybės, kurios turėtų būti žinomos:

– plieno markė ir jos atitiktis atitinkamiems standartams atsižvelgiant į konstrukcijos gamybos metus;
– plieno stipruminės savybės – takumo stipris, f_y, tempiamasis stipris, f_u;
– plieno plastiškumas – santykinis pailgėjimas ir, esant reikalui, santykinis skerspjūvio ploto sumažėjimas nustatant bandinio skersinį tąsumą;
– plieno trapiosios irties polinkis – smūginis tąsumas;
– suvirinamumas nustatomas tik tam tikrais atvejais.

Iš 4.2 sk. 4.1 lentelės matyti, kad laboratoriniais bandymais yra nustatomi tik tie plieno rodikliai, kurie reikalingi konstrukcijų laikomajai galiai tinkamai įvertinti.

Skaičiuotinės plieno stipruminių savybių reikšmės turi būti nustatomos dalijant plieno charakteristines reikšmes iš atitinkamo medžiagos dalinio koeficiento γ_{M0}. Plieninių konstrukcijų, pagamintų sovietiniais laikais, plieno dalinių koeficientų reikšmės gali būti imamos pagal Rusijos mokslininkų parengtas rekomendacijas (СП 13-102-2003).

Plieno dalinio patikimumo koeficiento galimos reikšmės yra tokios:

– konstrukcijų, pagamintų iki 1932 m., plieno, kurio bandymais nustatytas takumo stipris yra mažesnis kaip 215 MPa, koeficientas $\gamma_{M0} = 1{,}2$;
– konstrukcijų, pagamintų laikotarpiu nuo 1932 iki 1982 m., plieno, kurio takumo stipris yra mažesnis kaip 380 MPa, $\gamma_{M0} = 1{,}1$; plieno, kurio takumo stipris didesnis kaip 380 MPa, $\gamma_{M0} = 1{,}15$. Bandymais nustatytas mažiausios plieno stiprių (takumo ir tempiamojo) reikšmės dalijamos iš dalinio patikimumo koeficiento $\gamma_{M0} = 1{,}15$;
– konstrukcijų pagamintų laikotarpiu nuo 1982 iki 2005 m. dalinių patikimumo koeficientų reikšmės imamos:
  - kai plienas atitinka GOST 380 arba GOST 19281, $\gamma_{M0} = 1{,}05$,
  - kai tyrimais nustatyta plieno markė ir yra norminis dokumentas, pagal kurį plienas buvo pagamintas, $\gamma_{M0} = 1{,}15$, o plieno takumo ir stiprumo ribos stiprių reikšmės imamos mažiausios nurodytos norminiame dokumente.
  - jei plieno markė nebuvo nustatyta, o tik atlikti stipruminių savybių nustatymo bandymai, tai stiprių reikšmės imamos mažiausios nustatytos bandymais, $\gamma_{M0} = 1{,}15$, tačiau plieno takumo ribos stipris negali būti didesnis kaip 210 MPa.

Konstrukcijų, pagamintų laikotarpiu nuo 2005 m., pagal STR 2.05.08 dalinis koeficientas neturėtų būti mažesnis kaip 1,1.

Naudojant bandymais nustatytas plieno stiprių reikšmes turi būti imamos statistiškai apdorotos (charakteristinės) arba mažiausiosios stiprių (takumo ir tempiamojo stiprio) reikšmės.

Plieninių konstrukcijų elementų, kurių skerspjūvio plotas dėl korozijos yra sumažėjęs daugiau kaip 25 % arba liktinis storis yra ne didesnis kaip 5 mm, skaičiuotines stiprių reikšmes reikėtų sumažinti dauginant iš tokių koeficientų (СП 13-102-2003):

– 0,95 – konstrukcijoms, naudojamoms silpnai agresyvioje aplinkoje;
– 0,9 – vidutiniškai agresyvioje aplinkoje;
– 0,85 – labai agresyvioje aplinkoje.

Skirtingose šalyse, vertinant naudojamų plieninių konstrukcijų laikomąją galią, naudojamos skirtingos medžiagos dalinių patikimumo koeficientų reikšmės.

Slovakijos mokslininkai, statistiškai apdoroję savo šalyje gaminamo plieno takumo ribos stiprio duomenis (Mrázik 1989), pateikia tokias plieno stiprių dalinių koeficientų reikšmes, kurios yra susietos su numatoma likutine konstrukcijų naudojimo trukme t_r:

– kai $5 \leq t_r < 20$ metai ir plienas S235, tai $\gamma_M = 1{,}10$;
– kai $5 \leq t_r < 20$ metai ir plienas S355, tai $\gamma_M = 1{,}15$;
– kai $t_r < 5$ metai ir plienas S235, tai $\gamma_M = 1{,}05$;
– kai $t_r < 5$ metai ir plienas S355, tai $\gamma_M = 1{,}10$.

Taigi bendros plieno dalinių koeficientų sistemos nėra ir šiuo atveju konstrukcijų ekspertas prisiima atsakomybę naudodamas vienokią ar kitokią medžiagos dalinio koeficiento arba medžiagos stiprio reikšmę.

5.5. Medinės konstrukcijos

Skirtingų medžių veislių mediena pasižymi skirtingomis savybėmis. Medienos stipruminės savybės priklauso nuo medienos sandaros ypatumų, drėgnio ir pan. Remiantis medienos stiprių ir kitų rodiklių pokyčiais ir galiojančiais standartais, spygliuočių ir lapuočių mediena yra suskirstyta į stiprumo klases. Konstrukcijoms naudojami medienos ruošiniai į klases skirstomi dviem būdais:

– apžiūrimuoju;
– mašininiu.

Apžiūrimasis (vizualusis) medienos rūšiavimas – medinių elementų medienos skirstymas į stiprumo klases pagal elemento išorėje esančių medienos ypatumų (plyšių, šakų, biologinių ir vabzdžių pažaidų) dydį ir padėtį. Atliekant apžiūrimąjį rūšiavimą gali būti naudojamos įvairios elektroninės ar mechaninės matavimo priemonės, aprašytos 4.3 skyriuje. Rūšiuotojams, atliekantiems apžiūrimąjį medienos rūšiavimą, keliami nemaži reikalavimai – jie privalo būti specialiai išmokyti ir turėti reikiamą licenciją. Atitinkami medienai rūšiuoti pagal medienos ypatumus skirti standartai reglamentuoja leistinus ypatumų kiekius ir jų matmenis ir pagal tai mediena priskiriama vienai ar kitai stiprio klasei. Pagrindinių ypatumų leistinųjų nuokrypų reikšmės pateiktos 5.8 lentelėje.

5.8 lentelė. Leistini naudojamos medienos ruošinių ypatumų dydžiai pagal LST EN 14081

Ypatumo rūšis		Ypatumo matmenys, kai stiprumo klasė pagal LST EN 338	
apibūdinimas	paveikslas	C18 ir žemesnė	aukštesnė kaip C18
Didžiausias leistinas plyšio ilgis	Nekiauryminis skersinis plyšys	Plyšių, kurių ilgis mažesnis nei pusė storio, galima nepaisyti	
		1,5 m arba pusė medinio gaminio ilgio – vertinama mažiausioji reikšmė	1,0 m arba pusė medinio gaminio ilgio – vertinama mažiausioji reikšmė
	Kiauryminis skersinis plyšys	1,0 m arba ketvirtis medinio gaminio ilgio – vertinama mažiausioji reikšmė. Elemento galo plyšių ilgis negali viršyti dvigubo gaminio pločio	Leistini tik medinio gaminio plyšiai, kurių ilgis yra lygus gaminio pločiui

Ypatumo rūšis		Ypatumo matmenys, kai stiprumo klasė pagal LST EN 338	
apibūdinimas	paveikslas	C18 ir žemesnė	aukštesnė kaip C18
Požievis		Požievis gali būti iki 1/3 pjautinio ruošinio skerspjūvio šonų matmenų	
Didžiausias 2 m ilgio kreivis, mm	Išilginis storio linkme	20 mm	10 mm
	Išilginis pločio linkme	12 mm	8 mm
	Skersinis kreivis	neribojamas	neribojamas
	Persimetimas	2/25 mm pločio	1/25 mm pločio
Minkštasis puvinys, spalvos pokyčiai (lengvasis puvinys) žr. LST EN 844-10		Minkštasis puvinys neleidžiamas, spalvos pokyčiai leistini	Minkštasis puvinys, spalvos pokyčiai neleistini

Ypatumo rūšis		Ypatumo matmenys, kai stiprumo klasė pagal LST EN 338	
apibūdinimas	paveikslas	C18 ir žemesnė	aukštesnė kaip C18
Vabzdžių pažaidos		Aktyviosios kenkėjų pažaidos neleidžiamos. Ragauodegių vabzdžių išgraužtos skylės neleidžiamos, kirmgrauža vertinama kaip kiti defektai	
Kiti defektai		Jei stiprio sumažėjimas dėl kitų defektų yra aiškiai mažesnis negu lentelėje pateiktasis, medinis gaminys gali būti naudojamas su sąlyga, kad dėl pjovimo ir džiovinimo defektas nepadidės	
Plačiojo šono šakos skersmuo	Plačiojo šono šakos	1/2 medienos gaminio pločio	1/4 medienos gaminio pločio
Siaurojo šono šakos skersmuo		3/4 medienos gaminio storio	1/2 medienos gaminio storio

Apžiūrimasis medienos rūšiavimas remiasi principu, kad tarp medienos ypatumų – dydžio, skaičiaus, padėties – ir medienos stipruminių rodiklių yra tam tikras sąryšis. Skirtingi medienos rūšiavimo rodikliai turi skirtingą ryšį su medienos stipriais. Galimų europinės eglės rūšiavimo rodiklių ir medienos stiprių koreliacijos koeficientai pateikti 5.9 lentelėje.

Apžiūrimasis medienos rūšiavimas nėra labai tikslus, o naudojant kilnojamuosius matavimo prietaisus nėra ir ilgalaikis, tačiau gali būti taikomas medinėms konstrukcijoms tirti.

Kitas – mašininis rūšiavimas, palyginti su apžiūrimuoju rūšiavimu, yra tikslesnis. Mašininio rūšiavimo įrenginių yra įvairių, o jų veikimas pagrįstas įvairiais metodais (mechaniniu, dinaminiu, optiniu, spinduliavimo). Labiausiai paplitęs rūšiavimo rodiklis yra tamprumo modulis, kurio koreliacija su medienos stipriu yra pakankamai gera, tačiau dar papildomai atsižvelgiama ir į tankį, šakų santykį ir pan. Norint pasiekti dar geresnį rezultatą, tarpusavyje derinami įvairūs būdai, pvz., vienu prietaisu matuojamas tamprumo modulis, o kitu prietaisu – tankis. Apie mašininį rūšiavimą žr. 4.2 skyriuje.

5.9 lentelė. Galimų rūšiavimo rodiklių ir medienos (europinė eglė) stiprių koreliacijos koeficientai

Vertinimo rodikliai	Koreliacija su medienos stipriu		
	lenkiamuoju stipriu, f_m	tempiamuoju stipriu, $f_{t,0}$	gniuždomu išilgai pluošto stipriu, $f_{c,0}$
Šakotumas	0,5	0,6	0,4
Pluošto nuokrypis	0,2	0,2	0,1
Tankis	0,5	0,5	0,6
Metinių rievių plotis	0,4	0,5	0,5
Šakos ir metinių rievių bendras plotis	0,5	0,6	0,5
Šakos ir tankis	0,7–0,8	0,7–0,8	0,7–0,8
Tamprumo modulis *E*	0,7–0,8	0,7–0,8	0,7–0,8
E ir tankis	0,7–0,8	0,7–0,8	0,7–0,8
E ir šakos	>0,8	>0,8	>0,8

Naudojamų medinių konstrukcijų laikomoji galia skaičiuojama taikant galiojančių projektavimo normų įprastinius metodus, įvertinant elementų skerspjūvio silpninimą dėl mechaninių ar biologinių poveikių ir dėl jų atsirandančius lenkiamuosius momentus, t. y. skaičiuoti naudojamas likutinis skerspjūvio plotas ir charakteristinės medienos savybių reikšmės, bet pastarosios turi būti patikslintos atsižvelgiant į

medinių elementų naudojimo sąlygas, dažniausiai į aplinkos drėgnį ir temperatūrą, kurios turi didžiausią poveikį medienos rodiklių pokyčiams. Skaičiuojant naudojamų medinių konstrukcijų laikomąją galią daliniai medžiagos patikimumo koeficientai yra imami tokie pat kaip ir naujai medienai, nes nėra sukaupta duomenų apie medienos savybių pokyčius laikui bėgant.

LITERATŪRA

Agocs, Z.; Brodniansky, J.; Vican, J.; Ziolko, J. 2005. *Assessment and Refurbishment of Steel Structures*. Taylor & Francis. 391 p.

Balaguru Perumalsamy, N. 2008. *FRP compozites for reinforced and prestressed concrete structures: a guide to fundamentals and desing for repair and retrofit.* Taylor and Francis group. 348 p.

Charmor for best-in-class intumescent coatings Protecting people and property. [žiūrėta 2011 m. liepos 12 d.] Prieiga per internetą: <http://www.perstorp.com/upload/charmor_20081126.pdf>.

Daunys, M. 2005. *Ciklinis konstrukcijų stiprumas ir ilgalaikiškumas*. Kaunas: Technologija. 286 p.

Gaisrinės saugos pagrindiniai reikalavimai. 2010. Patvirtinta Priešgaisrinės apsaugos ir gelbėjimo departamento prie Vidaus reikalų ministerijos direktoriaus 2010 m. gruodžio 7 d. įsakymu Nr. 1-338.

Glover, P. 2006. *Building Surveys*. Sixth edition. 252 p.

Groysman, A. 2010. *Corrosion for Everybody*. Springer Science+Business Media. 368 p.

Grubbs, F. E.; Beck, G. 1972. Extension of sample sizes and percentage points for significance tests of outlying observations, *Technometrics* 14(4): 847–854.

Hansen, C. P. 2000. *Application of the Pilodyn in Forest Tree Improvement. DFSC Series of Technical Notes. TN55*. Danida Forest Seed Centre, Humlebaek, Denmark. p. 11.

Hochschuele Bochum (BO). 2009/2010. *Bauschaeden und Betoninstandsetzung.* Baustofftechnologie. 47 s.

Jacobs, F. 2002. *Betonabrasion im Wasserbau.* Pdf. 17 s.

Jakimavičius, Č. 2002. *Medienotyra*. Kaunas: Technologija. 271 p.

Jokūbaitis, V. 2001. *Statybinių medžiagų ir konstrukcijų irimo mechanikos pagrindai*: mokomoji knyga. Vilnius: Technika. 92 p.

Jokūbaitis, V. 2007. *Statinių gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų techninės būklės tyrimai ir vertinimas*: mokomoji knyga. Vilnius: Technika. 80 p.

Jokūbaitis, V. 2009. Laikančiųjų konstrukcijų stiprinimo būdai ir technologijos ypatumai, iš *Pastatų konstruktoriaus ir statybininko žinynas*. Vilnius: Technika, p. 727–749.

Jokūbaitis, V.; Kamaitis, Z. 2000. *Gelžbetoninių konstrukcijų pleišėjimas ir remontas*: monografija. Vilnius: Technika. 155 p.

Kalcher, H. K. 2004. *Feuchtigkeitschaeden im Haus*. Eherhard Blottner Verlag (EB). 120 s.

Kamaitis, Z. 1995. *Gelžbetoninių tiltų būklė ir jos vertinimas*: monografija. Vilnius: Technika. 182 p.

Kamaitis, Z. 2000. *Gelžbetoninių tiltų remontas*: monografija. Vilnius: Technika. 168 p.

Kamaitis, Z.; Jokūbaitis, V. 1986. *Gelžbetoninių ir mūrinių konstrukcijų atstatymas ir stiprinimas*: mokomoji knyga. Vilnius: VISI. 90 p.

Krapavickaitė, D.; Plikusas, A. 2005. *Imčių teorijos pagrindai*. Vilnius: Technika. 312 p.

Krause, H. J. 1993. *Zum Tragverhalten und zur Bemessung nachtraeglich verstaerkter Stahlbetonstuetzen unter zentrischer Belastung*. Aachen. Verlag Shaker. 204 s.

Kubilius, J. 1980. *Tikimybių teorija ir matematinė statistika*. Vilnius: Mokslas. 408 p.

Kühn, B.; Lukić, M.; Nussbaumer, A.; Günther, H. P.; Helmerich, R.; Herion, S.; Kolstein, M. H.; Walbridge, S.; Androic, B.; Dijkstra, O.; Bucak, Ö. 2008. *Assessment of Existing Steel Structures: Recommendations for Estimation of Remaining Fatigue Life*. JRC – ECCS. 108 p.

Lemeshko, B. Yu.; Lemeshko, S. B. 2005. Extending the Application of Grubbs-Type Tests in Rejecting Anomalous Measurements, *Measurement Techniques* 48(6): 536–547.

LST EN 1090-2:2008 Plieninių ir aliumininių konstrukcijų darbų atlikimas. 2 dalis. Techniniai plieninių konstrukcijų darbų atlikimo reikalavimai. Vilnius, 203 p.

LST EN 1992-1-1:2005 (LST EN 1992-1-1:2005) Eurokodas 2. Gelžbetoninių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios ir pastatų taisyklės. Vilnius, 232 p.

LST EN 1996-1-1:2006 (LST EN 1996-1-1:2006) Eurokodas 6. Mūrinių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios armuotųjų ir nearmuotųjų mūrinių konstrukcijų taisyklės. Vilnius,102 p.

LST EN 1993-1-1:2005 (LST EN 1993-1-1:2005+AC:2006) Eurokodas 3. Plieninių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios ir pastatų taisyklės. Vilnius,102 p.

LST EN 1995-1-1:2005 (LST EN 1995-1-1:2005+AC:2006) Eurokodas 5. Medinių konstrukcijų projektavimas. 1-1 dalis. Bendrosios nuostatos. Bendrosios ir pastatų taisyklės. Vilnius, 130 p.

LST EN ISO 5817:2007 (LST EN ISO 5817:2007) Suvirinimas. Plieno, nikelio, titano ir jų lydinių lydomojo suvirinimo (išskyrus pluoštinį suvirinimą) jungtys. Kokybės lygiai defektų atžvilgiu. Vilnius, 27 p.

LST EN ISO 6892-1:2009 Metalai. Tempimo bandymai. 1 dalis. Bandymo kambario temperatūroje metodas (ISO 6892-1:2009). Vilnius, 68 p.

LST EN ISO 12944-2:2000 Dažai ir lakai. Plieninių konstrukcijų apsauga nuo korozijos apsauginėmis dažų sistemomis. 2 dalis. Aplinkos klasifikacija (ISO 12944-2:1998). Vilnius, 12 p.

LST EN ISO/IEC 17025-2. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic methods for the determination of repeatability and reproducibility of a Standard measurement method.

LST EN 60068-1:1998 (LST EN 60068-1:2003) Aplinkos poveikio bandymai. 1 dalis. Bendrieji dalykai ir nurodymai. Vilnius, 25 p.

Lu, X. 2010. *Retrofitting design of building structures*. CRC Press. 176 p.Miraglia, S.; Dietsch, Ph.; Straub, D. 2011. A Risk Based Approach for the Robustness Assessment of Timber Roofs. [interaktyvus] Prieiga per internetą: < http://klobouk.fsv.cvut.cz/~anicka/isume/prezentace/Miraglia.pdf> 2011-07-20.

Mrázik, A. 1989. *The Theory of Reliability of Steel Structures.* VEDA Bratislava.

Naujokaitis, A. 2007. *Statybinės medžiagos. Betonai*: mokomoji knyga. Vilnius: Technika. 355 p.

PTR 2.03.01:2010 Paveldo tvarkybos reglamentas „Betono, molio, medinių konstrukcijų tvarkyba“. 2010, *Žin.,* Nr. 32-1505.

Robson, P. 1999. *Structural Repair of Traditional Buildings*. Donhea D. 312 p.

Sastri, V. S.; Ghali, E.; Elboujdaini, M. 2007. *Corrosion Prevention and Protection*. John Wiley & Sons Ltd, p. 557.

Sedlacek, G.; Bijlaard, F.; Géradin, M. 2008. *Assessment of Existing Steel Structures: Recommendations for Estimation of Remaining Fatigue Life.* First Edition. European Commission JRC. P. 108.

Sedlacek, G.; Feldmann, M.; Kühn, B. 2008. Commentary and worked examples to en 1993-1-10 "Material toughness and through thickness properties" and other toughness oriented rules in EN 1993. P. 249.

Skuturna, T. 2009. *Research of Flexural Reinforced Concrete Members Strengthened with External Carbon Fibre:* summary of doctoral dissertation. Vilnius: Technika. 24 p.

STR1.10.01:2002. Statinio avarijos tyrimas ir likvidavimas. Vilnius, 2002.

STR1.12.01:2004. Valstybei ir savivaldybėms nuosavybės teise priklausančių statinių pripažinimo avariniais tvarka. Vilnius, 2004.

STR1.12.07:2004. Statinių techninės priežiūros taisyklės, kvalifikaciniai reikalavimai statinių techniniams prižiūrėtojams, statinių techninės priežiūros dokumentų formos bei jų pildymo ir saugojimo tvarkos aprašas. Vilnius, 2004.

Šniuolis, R. 2004. *Inžinerinės medžiagos*. *Sandara, savybės, panaudojimas*. Šiauliai: Lucilijus. 255 p .

Šulčius, A. 2006. *Metalų korozija ir sauga*. Kaunas: Technologija. 298 p.

Thienel, K. CH. 2009. *Bauschaeden*. Institut fuer Werkstoffe des Bauwesens. TUM. 188 s.

Užpolevičius, B. 2006. *Statinių tyrinėjimas ir vertinimas*: mokomoji knyga. Vilnius: Technika. 135 p.

Valentinavičius, A.; Valiūnas, B. 2000. *Medinės konstrukcijos*. Vilnius: Enciklopedija. 222 p.

Valiukėnas V.; Žilinskas P. J. 1998. *Metrologijos terminų žodynas*. Vilnius: Mokslo ir enciklopedijų leidybos institutas. 96 p.

Venskevičius, V.; Janickas, A. 1996. *Statinių tyrimas ir bandymas*: vadovėlis. Kaunas: Technologija. 250 p.

Venskevičius, V.; Žilinskas, R. 2002. *Statinių rekonstrukcija ir remontas*: vadovėlis. Kaunas: Technologija. 316 p.

Voggenreiter, K. H.; Gablenz, K. B.; Gunssmantel, J. 2003. *Risse in Decken und Waenden.* Forum Verlag Herkert GMBH. 10 s.

Zabulionis, D. 2010. *Betonas ir armatūra: Pagrindinės konstrukcinės savybės*. Technologija. 144 p.

Алексеев, С. Н. и др. 1990. Долговечность железобетона в агрессивных средах. Москва: Стройиздат. 217 с.

Бирюлев, В. В.; Кошин, И. И.; Крылов, И. И.; Сильвестров, А. В. 1990. *Проектирование металлических конструкций*. Специальный курс. Стройиздат. 431 с.

Калинин, А. А. 2004. *Обследование, расчет и усиление зданий и сооружений: учебное пособие*. Москва. Изд. Ассоциации строительных вузов. 159 с.

Мальганов, А. И.; Плевков, В. С.; Полищук, А. И. 1990. *Восстановление и усиление строительных конструкций аварийных и реконструированных зданий. Атлас схем и чертежей.* Томск. 316 с.

Под ред. Топчия, В. Д.; Гребенника, Р. А. 1990. *Реконструкция промышленных предприятий*. Том I. Справочник строителя. Москва. Стройиздат. 589 с.

Под ред. Шагина, А. Л. 1991. *Реконструкция зданий и сооружений: учебное пособие*. Москва, Высшая школа. 351 с.

Пособие П1-98 (к СНиП 2.03.01-84). 1998. Усиление железобетонных конструкций*. Минск, 188 с.

РСН 342-86. 1987. Технология усиления строительных конструкций на реконструируемых предприятиях. ГОССТРОЙ УССР. 181 с.

СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. Госстрой России. 50 с.

Харьковский промстройиипроект. 1992. *Рекомендации по проектированию усиления железобетонных конструкций зданий и сооружений реконструируемых предприятий. Надземные конструкции и сооружения.* Москва: Стройиздат. 144 с.

Шилин, А. А.; Пшеничный, В. А.; Картузов, Д. В. 2004. *Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами.* Москва ОАО: Издательство Стройиздат. 144 с.

A PRIEDAS

A1 lentelė. Aplinkos sąlygų klasifikacija ir rekomenduojama mažiausioji betono klasė (LST EN 1992-1-1:2005)

Klasių žymuo	Aplinkos aprašymas	Naudojamų konstrukcijų aplinkos sąlygų (klasių) informaciniai pavyzdžiai	Mažiausioji betono klasė
1. Nėra korozijos ar pažeidimo rizikos			
XO	Betonui be armatūros arba metalinių įdėtinių detalių: visos eksploatavimo aplinkos, išskyrus šaldymo, šildymo, erozijos ir cheminius poveikius Betonui su armatūra arba metalinėmis įdėtinėmis detalėmis: labai sausa	Konstrukcijos viduje patalpos, kuriose labai mažas oro drėgnis	C12/15
2. Karbonizacijos sukeliama korozija			
XC1	Sausa arba nuolat drėgna	Konstrukcijos viduje esančios patalpos, kuriose mažas oro drėgnis, arba jos nuolat yra grunte ar vandenyje	C20/25
XC2	Drėgna, retai sausa	Konstrukcijos ilgai mirksta vandenyje, daugelis pamatų	C25/30
XC3	Vidutiniškai drėgna	Konstrukcijos viduje esančios patalpos, kuriose mažas oro drėgnis, arba kurios išorėje veikiamos atmosferos kritulių (lietaus)	C30/37
XC4	Cikliškai drėgna ir sausa	Konstrukcijos mirksta vandenyje, bet nepriklauso XC2 klasei	C30/37

Klasių žymuo	Aplinkos aprašymas	Naudojamų konstrukcijų aplinkos sąlygų (klasių) informaciniai pavyzdžiai	Mažiausioji betono klasė
3. Chloridų, bet ne jūros vandens, sukelta korozija			
XD1	Vidutinio drėgnumo aplinka	Atviras betono paviršius taškomas chloringo vandens purslais	C30/37
XD2	Drėgna, retai sausa	Plaukymo baseinai. Konstrukcijos, veikiamos pramoninio chloringo vandens	C30/37
XD3	Cikliškai drėgna ir sausa	Tiltų dalys, kurias aptaško chloringas vanduo, grindiniai, šaligatviai, automobilių aikštelių plokštės	C35/45
4. Jūros vandens chloridų sukeliama korozija			
XS1	Veikia purslų druska, bet ne tiesioginis jūros vanduo	Konstrukcijos arti kranto arba ant kranto	C30/37
XS2	Nuolat panardintos	Jūrinių konstrukcijų dalys	C35/45
XS3	Potvynio, purslų ir taškymo zonos	Jūrinių konstrukcijų dalys	C35/45
5. Šaldymo arba šildymo poveikis be druskos arba su ja			
XF1	Vidutinis vandens įmirkis be ledo tirpinimo medžiagos	Statieji konstrukcijų betono paviršiai, veikiami lietaus ir šalčio	C30/37
XF2	Vidutinis vandens įmirkis su ledo tirpinimo medžiaga	Konstrukcijų statieji betono paviršiai, kuriuos veikia šaltis ir ledą tirpinančios druskos	C25/30
XF3	Aukštas vandens įmirkis be ledo tirpinimo medžiagos	Gulstieji betono paviršiai, veikiami lietaus ir šalčio	C30/37
XF4	Aukštas vandens įmirkis su ledo tirpinimo medžiaga	Betono paviršiai, tiesiogiai veikiami druskų ir šalčio. Šalčio veikiamos konstrukcijos jūros purslų zonoje. Kelių ir tiltų dangos, veikiamos druskų	C30/37

Klasių žymuo	Aplinkos aprašymas	Naudojamų konstrukcijų aplinkos sąlygų (klasių) informaciniai pavyzdžiai	Mažiausioji betono klasė
6. Cheminis poveikis			
Kai betonas atviras cheminiam poveikiui, veikiant gamtiniam gruntui arba gruntiniam vandeniui, kaip nurodyta A priedo A2 lentelėje, eksploatavimo aplinkos sąlygos klasifikuojamos, kaip pateikta toliau. Jūros vandens poveikio klasifikacija priklauso nuo geografinės vietos, be to, taikoma betono naudojimo vietoje galiojanti klasifikacija. PASTABA. Gali prireikti specialių aplinkos sąlygų tyrimų, kai: poveikių nenurodyta lentelėje; veikia kiti agresyvieji reagentai; reagentais užterštas gruntas arba vanduo; didelis vandens greitis veikiant šioje lentelėje nurodytiems reagentams.			
XA1	Silpno cheminio agresyvumo aplinka		C30/37
XA2	Vidutinio cheminio agresyvumo aplinka		C30/37
XA3	Didelio cheminio agresyvumo aplinka		C35/45

A2 lentelė. Grunto agresyvumo klasės

Toliau pateikta cheminio agresyvumo aplinkos klasifikacija parengta imant, kad gamtinio grunto ir gruntinio vandens temperatūra gali būti nuo 5 °iki 25 °C, o vandens greitis labai mažas – artimas stovinčiam.
Klasė nustatoma pagal blogiausią bet kurios vienos cheminės charakteristikos vertę.
Kai dvi ar daugiau agresyvumo charakteristikų nurodoma ta pati klasė, aplinka priskiriama artimiausiai aukštesnei klasei, nebent yra ištirta, kad šiuo specialiu atveju tai nebūtina.

Cheminė charakteristika	Standartinis bandymo metodas	XA1	XA2	XA3
Gruntinis vanduo				
SO_4^{2-}, mg/l	LST EN 196-2:1996 [9.8]	≥200 ir ≤600	>600 ir ≤3000	>3000 ir ≤6000

Cheminė charakteristika	Standartinis bandymo metodas	XA1	XA2	XA3
pH	LST ISO 4316:1997 [9.9]	≤6,5 ir ≥5,5	<5,5 ir ≥4,5	<4,5 ir ≥4
Agresyvusis CO_2, mg/l		≥15 ir ≤40	>40 ir ≤100	>100 persotintas
NH_4^+, mg/l	LST ISO 7150-1:1998 [9.10] arba LST ISO 7150-2:1998 [9.11]	≥15 ir ≤30	>30 ir ≤60	>60 ir ≤100
Mg^{2+}, mg/l	LST EN ISO 7980:2000 [9.12]	≥300 ir ≤1000	>1000 ir ≤3000	>3000 persotintas
Gruntas				
SO_4^{2-}, mg/kg[a] (bendras)	LST EN 196-2:1996[b] [9.8]	≥2000 ir ≤3000[c]	>3000[c] ir ≤12 000	>12 000 ir ≤24 000

[a] Molingas gruntas, kurio laidumas nuolat mažesnis kaip 10^{-5} m/s, gali būti perkeltas į žemesnę klasę.
[b] Nurodytu bandymo metodu SO_4^{2-} ekstrahuojamas hidrochlorine rūgštimi; kaip alternatyvų metodą galima taikyti ekstrahavimą vandeniu, jeigu naudojant betoną yra tokios patirties.
[c] 3000 mg/kg ribą galima sumažinti iki 2000 mg/kg, jei sulfato jonų susikaupimo betone rizika atsiranda tik dėl cikliškai pasikartojančio išdžiūvimo ir sudrėkimo arba dėl kapiliarinio įsiurbimo.

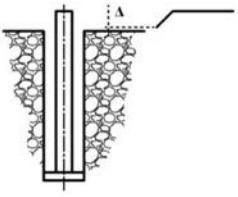
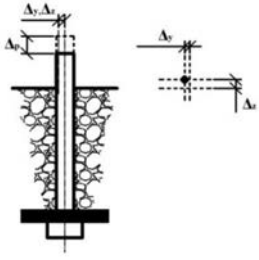
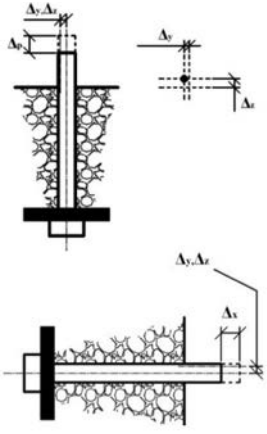
A3 lentelė. Plieninių konstrukcijų atmosferos agresyvumo kategorijos ir būdingų aplinkos sąlygų pavyzdžiai (LST EN ISO 12944-2)

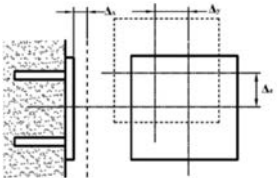
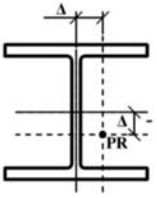
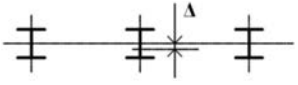
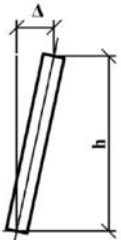
Agresyvumo kategorija	Masės sumažėjimas paviršiaus ploto vienetui ir storio sumažėjimas (po pirmųjų išlaikymo metų)				Vidutinio klimato zonai būdingos aplinkos pavyzdžiai	
	neanglinis plienas		cinkas		lauke	patalpoje
	masė, g/m^2	storis, µm	masė, g//m^2	storis, µm		
C1 labai žema	≤10	≤1,3m	≤0,7	≤0,1	Sausos arba šaltos zonos, labai nedidelės taršos ir drėkinimo trukmės atmosferos aplinka, pvz., kai kurios dykumos, centrinė Antarktida	Mažo santykinio drėgnio ir nedidelės taršos šildomi pastatai, kuriuose tvari atmosfera, pvz., įstaigos, parduotuvės, mokyklos, viešbučiai
C2 žema	>10 iki 200	>1,3 iki 25	>0,7 iki 5	>0,1 iki 0,7	Vidutinės zonos, nedidelės taršos ($S0_2$ <12 µg/m^3) atmosferos aplinka, pvz., kaimo sritys, nedideli miestai. Sausos ir šaltos zonos, trumpalaikio drėkinimo atmosferos aplinka, pvz., dykumos, subarktinės sritys	Kintamos temperatūros ir santykinio drėgnio nešildomos patalpos. Nedažna kondensacija ir nedidelė tarša, pvz., sandėliai, sporto salės
C3 vidutinė	>200 iki 400	>25 iki 50	>5 iki 15	>0.7 iki 2,1	Vidutinės zonos, vidutinės taršos ($S0_2$: nuo 12 iki 40 µg/m^3) arba nedidelio chloridų poveikio atmosferos aplinka. Miesto ir pramoninė atmosferos. Mažo druskingumo kranto sritys. Atogrąžų klimato zonos	Gamybinės patalpos, kuriose didelis drėgnis (vidutiniškai dažnai pasikartojanti kondensacija) ir nedaug teršalų ore, pvz., maisto pramonės įmonės, skalbyklos, alaus daryklos, pieninės

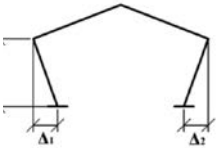
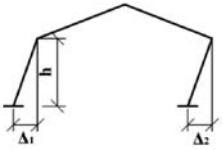
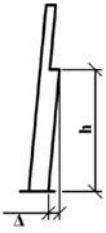
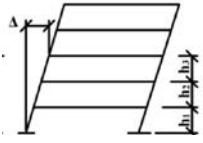
Agresyvumo kategorija	Masės sumažėjimas paviršiaus ploto vienetui ir storio sumažėjimas (po pirmųjų išlaikymo metų)				Vidutinio klimato zonai būdingos aplinkos pavyzdžiai	
	neanglinis plienas		cinkas		lauke	patalpoje
	masė, g/m^2	storis, µm	masė, g//m^2	storis, µm		
C4 aukšta	>400 iki 650	>50 iki 80	>15 iki 30	>2,1 iki 4,2	Vidutinės zonos, didelės taršos ($S0_2$: nuo 40 iki 80 µg/m^3) ir didelio chloridų poveikio atmosferos aplinka, pvz., užterštos miesto sritys, pramoninės sritys, pakrantės sritys be jūros vandens purslų, stiprus prieš apledėjimą naudojamų druskų poveikis. Atogrąžų klimato zona su vidutinės taršos atmosferos aplinka	Patalpos su dažnai pasikartojančia kondensacija ir didele gamybos procesų tarša, pvz., chemijos pramonės įmonės, plaukiojimo baseinai, pakrančių laivai; prieplaukos
C5-1 labai aukšta (pramoninė)	>650 iki 1500	>80 iki 200	>30 iki 60	>4,2 iki 8,4	Pramoninės sritys, kuriose didelis drėgnis ir agresyvi atmosfera. Atogrąžų klimato zona, labai didelės taršos aplinka	Pastatai ar sritys, kuriose kondensacija beveik nuolatinė ir didelė tarša, pvz., kasyklos, nevėdinami angarai; drėgnos atogrąžų klimato zonos
C5-M labai aukšta (jūrinė)	>650 iki 1500	>80 iki 200	>30 iki 60	>4,2 iki 8,4	Aukšto druskingumo pakrantės sritys ir esančios atviroje jūroje	Pastatai ar sritys, kuriose beveik nuolat vyksta kondensacija ir yra didelė tarša

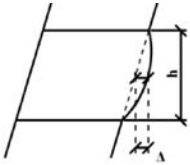
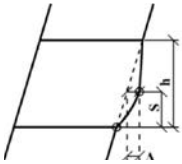
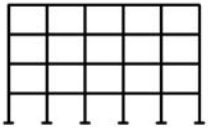
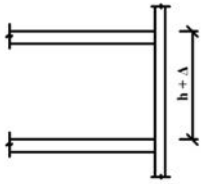
B PRIEDAS

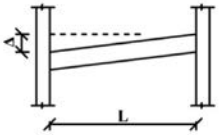
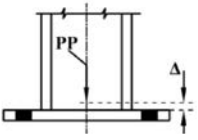
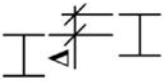
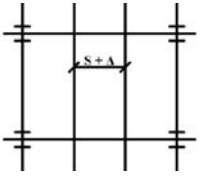
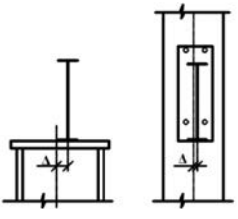
B1 lentelė. Plieninių konstrukcijų leistinosios montavimo nuokrypos pagal LST EN 1090-2:2008

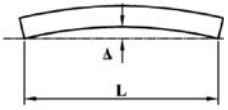
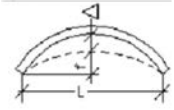
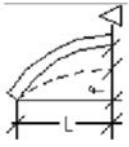
Nuokrypio apibūdinimas	Rodiklis	Paskirtis	Svarbiausios nuokrypos
 Pamato lygis	Pamato viršaus nuokrypis Δ	–15 mm ≤ Δ ≤ +5 mm	Šiam sprendiniui nėra
 Iš anksto įstatomi inkariniai varžtai lyginti paruoštoje vietoje	Nuokrypis Δ nuo nurodytosios padėties ir varžto iškyšos: viršaus padėties Δ_y Δ_z; iškyšos stačiasis Δ_z PASTABA: leistinasis varžtų grupės centro nuokrypis 6 mm.	Δ_y, Δ_z = ±10 mm –5 mm ≤ Δ_p ≤ +25 mm	Šiam sprendiniui nėra
 Iš anksto įstatomi inkariniai varžtai lyginti neparuoštoje vietoje	Nuokrypis Δ nuo nurodytosios padėties ir varžto iškyšos: viršaus padėties Δ_y Δ_z; iškyšos stačiasis Δ_z iškyšos gulsčiasis Δ_x PASTABA: leistinieji nuokrypiai taikomi varžtų grupės centro padėčiai.	Δ_y, Δ_z = ±3 mm –5 mm ≤Δ_p ≤45 mm –5 mm ≤Δ_x ≤45 mm	Šiam sprendiniui nėra

Nuokrypio apibūdinimas	Rodiklis	Paskirtis	Svarbiausios nuokrypos
 Įbetonuota plieninė įdėtinė detalė	Nuokrypiai Δ_x, Δ_y, Δ_z nuo nurodytosios padėties ir lygio	Δ_x, Δ_y, Δ_z = ±10 mm	Šiam sprendiniui nėra
 Padėties nuokrypis	Kolonos skerspjūvio centro, esančio padėties pėdos lygiu, nuokrypis nuo nurodytojo taško	Δ = ±10 mm Griežtesnis reikalavimas: Δ = ±7 mm	Šiam sprendiniui nėra
 Kolonų bendrasis lygiavimas	Kolonos skerspjūvio centro, esančio pėdos lygiu, padėties nuokrypis nuo numatytosios ašies arba kolonos išorinio paviršiaus, esančio pėdos lygiu, padėties nuokrypis nuo ašies, jungiančios kolonų išorinius paviršius	Δ = ±10 mm Griežtesnis reikalavimas: Δ = ±7 mm	Šiam sprendiniui nėra
Vienaaukštės kolonos (kolonos, kurių aukštis lygus aukšto aukščiui, taip pat ir daugiaaukščių pastatų)			
 Vienaukštės kolonos bendrasis posvyris	Bendrasis posvyris	Δ = ±*h* / 300 Griežtesnis reikalavimas: Δ = ±*h* / 500	Δ = ±*h* / 300

Nuokrypio apibūdinimas	Rodiklis	Paskirtis	Svarbiausios nuokrypos
 Pavienių portalinių rėmų pastatų kolonų posvyris	Kiekvienos kolonos posvyris: $\Delta = \Delta_1$ arba Δ_2	$\Delta = \pm h / 150$ Griežtesnis reikalavimas: $\Delta = \pm h / 300$	Šiam sprendiniui nėra
 Portalinių rėmų pastatų kolonų posvyris	Vidutinis visų to paties rėmo kolonų posvyris Δ $\Delta = (\Delta_1 + \Delta_2)/2$	$\Delta = \pm h / 500$ Griežtesnis reikalavimas: $\Delta = \pm h / 500$	$\Delta = \pm h / 500$
 Tiltinį kraną laikančios kolonos posvyris	Posvyris nuo grindų iki pokraninės sijos apačios	$\Delta = \pm 25$ mm Griežtesnis reikalavimas: $\Delta = \pm 15$ mm	$\Delta = \pm h / 1000$
Daugiaaukštės kolonos (kolonos, kurių aukštis didesnis nei aukšto aukštis)			
 Kiekvieno aukšto padėtis nuo pagrindo	Kolonos nuokrypis rėmo plokštumoje nuo stačiosios ašies, einančios per pėdos centrą	$\lvert\Delta\rvert = \Sigma h / (300 \sqrt{n})$ Griežtesnis reikalavimas: $\lvert\Delta\rvert = \Sigma h / (500 \sqrt{n})$	$\lvert\Delta\rvert = \pm\Sigma h / (300 \sqrt{n})$
Kolonų posvyris tarp aukštų	Kolonos nuokrypis rėmo plokštumoje nuo stačiosios ašies, einančios per žemesniojo lygio kolonos centą	$\Delta = \pm h / 500$ Griežtesnis reikalavimas: $\Delta = \pm h / 1000$	$\Delta = \pm h / 500$

Nuokrypio apibūdinimas	Rodiklis	Paskirtis	Svarbiausios nuokrypos
 Ištisinės kolonos tiesumas tarp aukštų	Kolonos nuokrypis rėmo plokštumoje nuo tiesiosios ašies, jungiančios gretimus aukštus	$\Delta = \pm h / 500$ Griežtesnis reikalavimas: $\Delta = \pm h / 1000$	$\Delta = \pm h / 750$
 Sudurtosios kolonos tiesumas tarp aukštų	Kolonos sandūros nuokrypis rėmo plokštumoje nuo tiesiosios ašies, jungiančios gretimus aukštus	$\Delta = \pm s / 500$ čia $s \leq h / 2$ Griežtesnis reikalavimas: $\Delta = \pm s / 500$ čia $s \leq h / 2$	$\Delta = \pm s / 750$ čia $s \leq h / 2$
Pastatų			
 Aukščio nuokrypis	Bendrojo aukščio nuokrypis nuo pagrindo $h \leq 20$ m: $20 \text{ m} < h < 100$ m, $h \geq 100$ m	$\Delta = \pm 20$ mm $\Delta = \pm 0{,}5(h + 20)$ mm $\Delta = \pm 0{,}2(h + 200)$ mm (h matuojamas metrais) Griežtesnis reikalavimas: $\Delta = \pm 10$ mm $\Delta = \pm 0{,}25 (h + 20)$ mm $\Delta = \pm 0{,}1(h + 200)$mm ($h$ matuojamas metrais)	Šiam sprendiniui nėra
 Aukšto aukščio nuokrypis	Aukščio nuokrypis lyginant su gretimais aukštais	$\Delta = \pm 10$ mm Griežtesnis reikalavimas: $\Delta = \pm 5$ mm	Šiam sprendiniui nėra

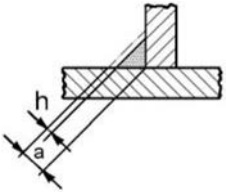
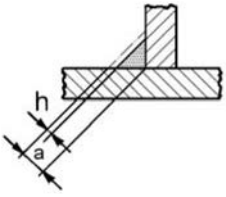
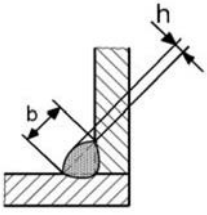
Nuokrypio apibūdinimas	Rodiklis	Paskirtis	Svarbiausios nuokrypos
 Sijos nuolydis	Aukštis kito sijos galo atžvilgiu	$\Delta = \pm L / 500$ bet $\lvert\Delta\rvert \leq 10$ mm Griežtesnis reikalavimas: $\Delta = \pm L / 1000$, bet $\lvert\Delta\rvert \leq 5$ mm	Šiam sprendiniui nėra
 Kolonų pėda	Kolonos pado plokštės viršaus nuokrypis nuo nurodytojo lygio	$\Delta = \pm 5$ mm Griežtesnis reikalavimas: $\Delta = \pm 5$ mm	Šiam sprendiniui nėra
 Tarpusavio lygio nuokrypis	Gretimų sijų atitinkamų galų lygių skirtumas	$\Delta = \pm 10$ mm Griežtesnis reikalavimas: $\Delta = \pm 5$ mm	Šiam sprendiniui nėra
	Pastatų sijos		
 Sijų žingsnis	Nuokrypis Δ nuo nurodytojo atstumo tarp gretimų sijų išmatuotas kiekviename jų gale	$\Delta = \pm 10$ mm Griežtesnis reikalavimas: $\Delta = \pm 5$ mm	Šiam sprendiniui nėra
 Padėties ant kolonų nuokrypis	Kolonos ir sijos jungties nuokrypis Δ nuo kolonos ašies	$\Delta = \pm 5$ mm Griežtesnis reikalavimas: $\Delta = \pm 3$ mm	Šiam sprendiniui nėra

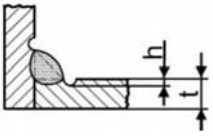
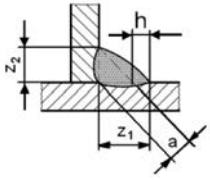
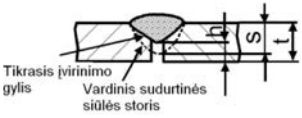
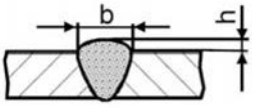
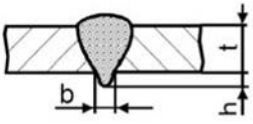
Nuokrypio apibūdinimas	Rodiklis	Paskirtis	Svarbiausios nuokrypos
 Tiesumas ploštumoje	Sumontuotos sijos ar gembės tiesumo nuokrypis Δ	Δ = ±*L* / 500 Griežtesnis reikalavimas: Δ = ±*L* / 1000	Δ = ±*L* / 750
 Išlinkio nuokrypis	Sumontuotos sijos ar spragotojo elemento, kurio ilgis *L*, vidurio nuokrypis Δ nuo numatytojo išlinkio *f*	Δ = ±*L* / 300 Griežtesnis reikalavimas: Δ = ±*L* / 500	Šiam sprendiniui nėra
 Išlenktosios gembinės dalies nuokrypis	Sumontuotos *L* ilgio gembės galo nuokrypis Δ nuo iš anksto numatytojo išlinkio	Δ = ±*L* / 200 Griežtesnis reikalavimas: Δ = ±*L* / 300	Šiam sprendiniui nėra

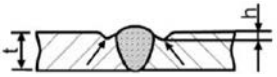
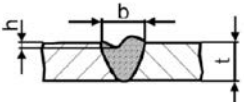
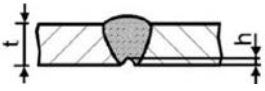
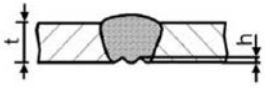
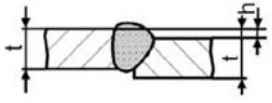
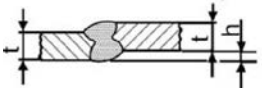
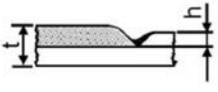
Pastaba:
griežtesni reikalavimai taikomi tais atvejais, kai reikalingas didesnis tikslumas kitiems elementams montuoti.

C PRIEDAS

C1 lentelė. Virintinių siūlių matmenų ir paviršiaus (matomos) nuokrypos pagal LST EN ISO 5817:2007

Pažaida, pažaidos iliustracija	Lakšto storis, *t* mm	Nuokrypių kokybės lygmuo		
		D	C	B
Kertinių virintinių siūlių leistinieji nuokrypiai				
Plyšiai (išoriniai ir vidiniai) bet kurioje vietoje	≥0,5	Neleistinas	Neleistinas	Neleistinas
Paviršiaus poros: – sudurtinių siūlių	≥3,0	$d \leq 0{,}3s$ mm, bet ne daugiau kaip 3 mm	$d \leq 0{,}2s$ mm, bet ne daugiau kaip 2 mm	Neleistinas
– kertinių siūlių		$d \leq 0{,}3a$ mm, bet ne daugiau kaip 3 mm	$d \leq 0{,}3a$ mm, bet ne daugiau kaip 3 mm	
 Per mažas siūlės storis	≥3,0	Trumpos nuokrypos: $h \leq 0{,}3$ mm + $0{,}1a$, bet ne daugiau kaip 2 mm	Trumpos nuokrypos: $h \leq 0{,}3$ mm + $0{,}1a$, bet ne daugiau kaip 1 mm	Neleistinas
 Per didelis siūlės storis	≥0,5	Neribojamas	$h \leq 1$ mm + $0{,}2a$, bet ne daugiau kaip 4 mm	$h \leq 1$ mm + $0{,}15a$, bet ne daugiau kaip 3 mm
 Per didelė kertinės siūlės išgauba	≥0,5	$h \leq 1$ mm + $0{,}25b$, bet ne daugiau kaip 5 mm	$h \leq 1$ mm + $0{,}15b$, bet ne daugiau kaip 4 mm	$h \leq 1$ mm + $0{,}1b$, bet ne daugiau kaip 3 mm

Pažaida, pažaidos iliustracija	Lakšto storis, *t* mm	Nuokrypių kokybės lygmuo		
		D	C	B
 Ištisinės įpjovos; trūkiosios įpjovos	>3,0	$h \leq 0{,}2t$, bet ne daugiau kaip 1 mm	$h \leq 0{,}1t$, bet ne daugiau kaip 0,5 mm	$h \leq 0{,}05t$, bet ne daugiau kaip 0,5 mm
 Siūlės nesimetriškumas. Atvejis, kai tokia siūlė nebuvo numatyta	≥0,5	$h \leq 2$ mm + $0{,}2a$	$h \leq 2$ mm + $0{,}15a$	$h \leq 1{,}5$ mm + $0{,}15a$
Sudurtinių virintinių siūlių ir jungčių leistinieji nuokrypiai				
 Nevisiškas šaknies įvirinimas (tik vienpusėms siūlėms)	≥0,5	Trumpos nuokrypos: $h \leq 0{,}2t$, bet ne daugiau kaip 2 mm	Neleistinas	Neleistinas
 Siūlės metalo perteklius	≥0,5	$h \leq 1$ mm + $0{,}25b$, bet ne daugiau kaip 10 mm	$h \leq 1$ mm + $0{,}15b$, bet ne daugiau kaip 7 mm	$h \leq 1$ mm + $0{,}10b$, bet ne daugiau kaip 5 mm
 Perteklinis įvirinimas	>3,0	$h \leq 1$ mm + $0{,}10b$, bet ne daugiau kaip 5 mm	$h \leq 1$ mm + $0{,}6b$, bet ne daugiau kaip 4 mm	$h \leq 1$ mm + $0{,}2b$, bet ne daugiau kaip 3 mm

Pažaida, pažaidos iliustracija	Lakšto storis, *t* mm	Nuokrypių kokybės lygmuo		
		D	C	B
 Ištisinės įpjovos; trūkiosios įpjovos	>3,0	$h \leq 0{,}2t$, bet ne daugiau kaip 1 mm	$h \leq 0{,}1t$, bet ne daugiau kaip 0,5 mm	$h \leq 0{,}05t$, bet ne daugiau kaip 0,5 mm
 Įduba; nevisiškai užpildytas griovelis	>3,0	Trumpos nuokrypos: $h \leq 0{,}25t$, bet ne daugiau kaip 2 mm	Trumpos nuokrypos: $h \leq 0{,}1t$, bet ne daugiau kaip 1 mm	Trumpos nuokrypos: $h \leq 0{,}05t$, bet ne daugiau kaip 0,5 mm
 Siūlės šaknies įduba  Susitraukimo grioveliai	>3,0	Trumpos nuokrypos: $h \leq 0{,}t$, bet ne daugiau kaip 2 mm	Trumpos nuokrypos: $h \leq 0{,}1\ t$, bet ne daugiau kaip 1 mm	Trumpos nuokrypos: $h \leq 0{,}05\ t$, bet ne daugiau kaip 0,5 mm
 Tiesinė elementų nesutaptis (vienpusė siūlė)  Tiesinė elementų nesutaptis (abipusė siūlė)	>3,0	$h \leq 0{,}25\ t$, bet ne daugiau kaip 5 mm	$h \leq 0{,}15\ t$, bet ne daugiau kaip 4 mm	$h \leq 0{,}1\ t$, bet ne daugiau kaip 3 mm
 Siūlės pabaigos krateris	>3,0	$h \leq 0{,}2\ t$, bet ne daugiau kaip 2 mm	$h \leq 0{,}2\ t$, bet ne daugiau kaip 1 mm	neleistinas

D PRIEDAS

3.3 pav. Išilginiai plyšiai perdangos tuštymėtosios plokštės apačioje (matyti iš betono išplautos baltos kalkių nuosėdos)

3.8 pav. Nekokybiška pokraninės sijos atrama

3.9 pav. Pavojingos atramos pažaidos (betono glemžimo požymiai, plieno korozija) (Thienel 2009)

3.10 pav. Erozijos ir korozijos stipriai pažeistos gelžbetoninės sijos

3.11 pav. Pirmojo pavidalo betono korozija
(Hochschule Bochum 2009/2010)

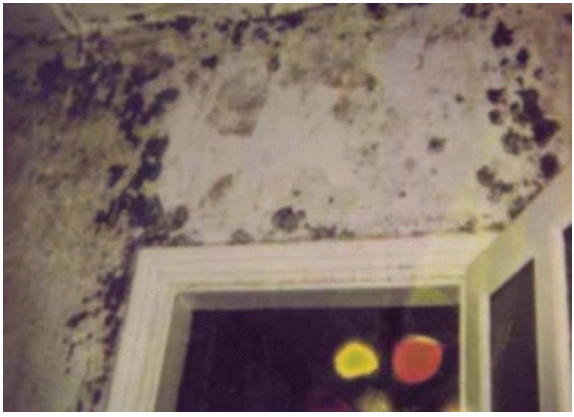
3.13 pav. Susidarę žali pelėsiai ant gelžbetoninių konstrukcijų

a)

b)

3.15 pav. Intensyvi armatūros korozija: a – perdangos; b – kolonos

3.18 pav. Neperrištos plytos sienų sandūroje ir vietomis per storos gulsčiosios siūlės



3.28 pav. Dėl drėgmės ant sienų paviršiaus išplitę pelėsiai (Thienel 2009)

3.29 pav. Mūrinės sienos ardymas augalų šaknimis

3.30 pav. Intensyvi mūro erozija

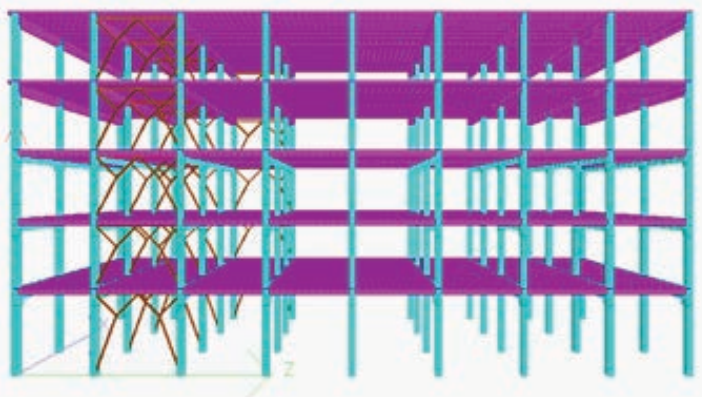
3.42 pav. Jungtyje yra per trumpas varžtas

3.45 pav. Trobagrybis (lot. *Serpula Lacrymans*)

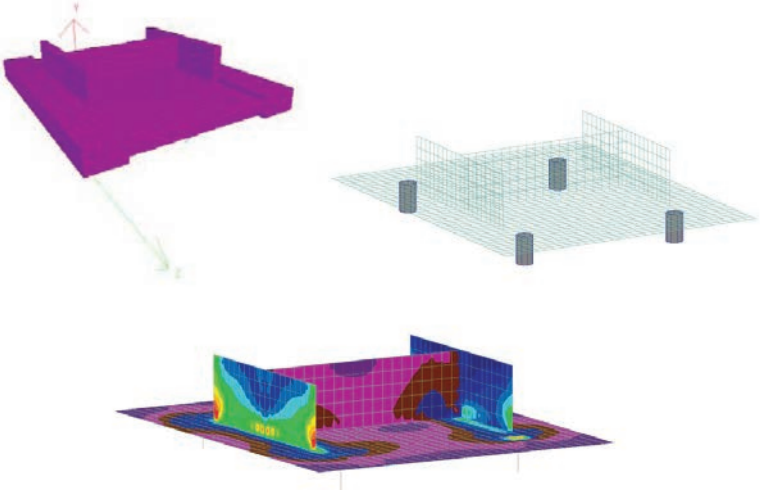
3.46 pav. Baltasis namo grybas (lot. *Poria Vaporaria*)

3.47 pav. Rūsio grybas (lot. *Coniophora Puteana*)

3.48 pav. Sieninė geltonkerpė (lot. *Xanthoria parietina*)



5.11 pav. Pastato erdvinio gelžbetoninio karkaso (su surenkamomis perdangomis) skaičiuojamasis modelis



5.12 pav. Pamato ir dvitėjo skerspjūvio kolonos pėdos mazgo modelis, kuriame naudojami plokštieji baigtiniai elementai: a – erdvininis modelio vaizdas; b – baigtinių plokščiųjų elementų modelis; c – kolonos pėdos įtempių pasiskirstymas