

MŪRĒJUMU KOROZIJA APKĀRTĒJĀS VIDES IETEKMĒ

MARGARITA KARPE^{*}, INTA KIRILOVIČA²,
INTA VĪTIŅA³, LAIMONS TIMMA⁴

¹⁻⁴ Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Kopsavilkums. Būvniecībā kopš seniem laikiem izmanto neorganiskās saistvielas. Materiāli kultūrvēsturiskajos un mākslas pieminekļos pastāvīgi tiek pakļauti struktūras sairšanas procesiem, kurus paātrina arvien pieaugošais vides piesārņojums. Autotransporta dūmgāzes gaisā izdala N_xO_y , SO_2 , CO un CO_2 , kas saistās ar gaisa mitrumu un veido skābos lietus. Tie kopā ar putekļiem un sodrējiem nonāk uz mūrējumu virsmas, veidojot blīvu slāni. Rezultātā sākas ķīmiski korozijas procesi, veidojoties ūdenī šķīstošiem sāļiem (visbiežāk – nātrijs, kālijs, kalcija un magnija sulfāti). Atmosfēras mitruma svārstību un žūšanas procesu rezultātā šie sāļi kristalizējas un izraisa mūrējuma sairšanu, ko veicina bioloģiskā un fizikālā korozija.

Pirmie pētījumi par mūrējumu un dabīgo akmens materiālu koroziju Latvijā sākti 1984. g. RTU Silikātu tehnoloģijas katedrā. 1995. g. RTU Silikātu materiālu institūtā tika nodibināts Akmens materiālu konservācijas un restaurācijas centrs (AMKRC). Tā darbības pamatā ir kultūrvēsturisko pieminekļu zinātniskā analīze – korodējošo materiālu sastāva, struktūras, fizikālo un mehānisko īpašību izpēte.

Atslēgas vārdi – betons, korozija, mitrums, mūrējums.

I. Ievads

Rīgas vēsturiskais centrs ir atzīts par pasaules nozīmes pieminekli, un tā arhitektūrā atrodami visu Ziemeļeiropai raksturīgo stilu paraugi no gotikas līdz pat modernismam. Apziņa par tā vērtību pamazām nonāk gan līdz pašiem rīdziniekiem, gan līdz tūristiem. Pēdējie, ziņkāres urdīti, bieži mēdz uzdot jautājumu: bet, kas gan atrodas ārpus šī vēsturiskā centra, kāda ir pārējās apbūves arhitektoniskā kvalitāte?

^{*} Korespondējošais autors.
E-pasts: Margarita.Karpe@rtu.lv

Paši rīdzinieki līdzīgus jautājumus neuzdod – viņi vienkārši dzīvo ārpus šī centra priekšpilsētās, kurās dominē 20. gs. otrās puses daudzstāvu dzelzsbetona nami. Šajos namos par javu saistvielu visplašāk lietots portlandcements.

Viss 20. gs. gan tehniski, gan arhitektoniski ir bijis liels pārmaiņu laiks. Ir mainījies cilvēku dzīves ritms, komforta prasības un ekonomiskās iespējas.

Vienlaikus augušas prasības pēc dzīvojamās platības. Tas noteica īpašu apbūves specifiku 20. gs. sešdesmitajos un septiņdesmitajos gados, kad par dzīvojamās izbūves izveides principu kļuva industrializācija un tipizācija – daudzstāvu betona priekšpilsēta ap pilsētas centru [1].

Katrā namā ir ieguldītas lielas materiālās vērtības un darbspēks, tāpēc šīs vērtības jāprot izmantot un saglabāt. Namu ilgmūžība atkarīga no ļoti daudziem faktoriem: konstruktīvajiem risinājumiem, izvēlētajiem celtniecības materiāliem, darba kvalitātes, tehniskās ekspluatācijas u. c.

Nav tāda būvniecības materiāla, kas būtu mūžīgs. Visu materiālu konstrukcijas laika gaitā pakāpeniski noveco, sairst, un līdz ar to celtnē var iet bojā. Maldīgs ir priekšstats, ka jebkura senāka mūrējumu atjaunošanai var izmantot jaunus materiālus vai to nojaukt un uzcelt no jauna, saglabājot izskatu un konstrukciju.

Lai būve nezaudētu autentiskumu, restaurējot ir svarīgi saglabāt tās pirmatnējo mūrējumu sastāvu un izskatu, jo vēsturiskos materiālus var saglabāt, tikai savietojot ar piemērotu materiālu, kas atbilst gan vizuāli, gan pēc fizikālajām un ķīmiskajām īpašībām.

Vērojot vecos namus, redzam, ka daudzas ēkas saglabājas un godam kalpo simtiem gadu. Diemžēl ir sastopamas ēkas, kuru nekvalitatīvās konstrukcijas ātri ir sairusas un kurām nepieciešams kapitālais remonts, radot milzīgus zaudējumus. Nama priekšlaikus bojāšanās un konstrukciju sairšana skaidrojama ar to, ka ēku projektējot un būvējot, kā arī ekspluatējot, netiek ievēroti visi būvaizsardzības pamatnosacījumi. Nav ņemtas vērā materiālu ķīmiskās, fizikālās un bioloģiskās īpašības, vides faktori, kā arī atsevišķu materiālu savstarpējā ķīmiskā mijiedarbība. Nama ilgmūžība sākas nevis būvlaukumā, bet gan jau uz arhitekta darbapalda, kur projektēšanas gaitā tiek risināti būvkonstruktīvie pasākumi, kas nodrošina nama ilgmūžību konkrētajā vidē [2].

II. Mūrējumu korozija

Ar terminu korozija saprotam metāla, minerālo, arī organisko būvmateriālu ķīmisko, fizikālo, elektroķīmisko un bioloģisko sairšanu. Korozijas procesos būvmateriāli vai to atsevišķi komponenti ķīmiski pārveidojas. Rezultātā tiek zaudētas mehāniskās un citas tehniskās

I. tabula

Korozijas procesus izraisošās gāzes, aerosoli un joni, kas satopami atmosfērā [5]

Ķīmiskās destrukcijas izraisītājs	Komponente
Gāzes	CO ₂ , SO ₂ , SO ₃ , NO _x , H ₂ S, HCl
Aerosoli	Sāļi, skābes
Nokrišņos un gruntsūdeņos esošie joni	SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , Mg ²⁺

īpašības. Jebkurai būvkonstrukcijai visbīstamākais ir ūdens visos agregātstāvokļos. Atmosfēras nokrišņi, ūdens tvaiki un augsnes gruntsūdeņi, kas nokļūst namu būvkonstrukcijās, izraisa tajās ķīmiskus, fizikālus un bioloģiskus sairšanas procesus.

Tikko uzbūvētas ēkas konstrukcijās vienmēr ir montāžas mitrums, kas uzkrājies būvdarbu procesā (iestrādājot betonu un apmetuma javu). Piemēram, viena kubikmetra ķieģeļu mūra uzmūrēšanai izmanto apmēram 0,3 m³ ūdens un 1 m² svaiga apmetuma satur 5–6 L ūdens. Normālos apstākļos mitrums iztvaiko 2–3 gados. Bez jau pieminētā montāžas mitruma kapilāro spēku iedarbības rezultātā konstrukcijās nonāk arī zemes mitrums.

Konstrukciju bojāšanos galvenokārt rada ķīmiskie procesi, kas norit ūdens, tvaika, gāzu, sārnu un dažādu sāļu vidē. Agresīvās vielas kopā ar atmosfēras nokrišņiem un gruntsūdeņiem nokļūst būvkonstrukcijās un izraisa to sairšanu [2]. Kopš 1995. g. AMKRC uzsākti pētījumi par ūdenī šķīstošo sāļu postošo iedarbību uz senajām mūrjavām, ķieģeļiem, mūrējumiem un to novēršanas iespējām [3], [4]. Mūrējuma bojājumus, ko izraisījusi ārējas vides kaitīgā iedarbība, var iedalīt 3 tipos:

- fizikāli mehāniska destrukcija, ko izraisa temperatūras svārstības, kristalizācijas procesu radīts spiediens;
 - ķīmiska destrukcija, kura notiek gāzu, skābju, sārnu, sāļu un organisko vielu iedarbības rezultātā. Agresīvās vielas, kas sastopamas vidē, apkopotas I. tabulā;
 - biokorozija, kuru rada augu saknes un mikroorganismu iedarbība.
- Lai veiktu mūra vispārējā stāvokļa diagnostiku, jāizpēta šādi aspekti:
- mūrējuma analīze (sastāvs, īpašības),
 - mitruma migrācija,
 - mūrī esošo šķīstošo sāļu ķīmiskā analīze (hlorīdi, sulfāti, nitrāti, karbonāti, pH vērtība u. c.),
 - apmetuma krāsojuma analīze.

A. Mitruma ietekme

Mūru bojājumu rašanās parasti saistīta ar laikapstākļu ietekmi, ar apkārtējā vidē esošo agresīvo vielu iedarbību, kā arī ar kapilārā ūdens

migrācijas procesiem, kurā šie savienojumi izšķīduši. Bieži vien ūdenī šķīstošie produkti, kas veidojas reakcijā starp saistvielu un ūdenī esošajiem savienojumiem, var tikt izskaloti no mūra ar lietus ūdeni. Gāzes, kas izšķīdušas gruntsūdenī vai lietusūdenī, ir kaļķu, kaļķu-cemeta un hidraulisku saistvielu korozijas izraisītājas [5].

Vairumā gadījumu hidrauliskās saistvielas mūros bojā atmosfērā esošie skābie savienojumi. Lietus ūdenī izšķīdušais oglekļa dioksīds samazina tā pH vērtību līdz 5,5, taču skābo lietu rašanās primārie cēloņi ir sēra dioksīda un slāpekļa oksīdu (NO_x) klātbūtne, ko rada fosilā kurināmā izmantošana elektroenerģijas ražošanā.

Notiekot mitruma migrācijai mūros, tiek izraisīta sulfātu, nitrātu, hlorīdu un amonija sāļu difūzija. Tie, reaģējot ar saistvielu, veido tādas sāļus kā $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ un $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, un šie savienojumi nonāk uz mūra virsmas.

Nitrātu klātbūtni mūros izraisa baktērijas, kas oksidē slāpekļa organiskos savienojumus, un rezultātā veidojas nitrāti. Visbiežāk mūros nitrātus konstatē vietās, kur tie ir saskarē ar augsni, īpaši, ja tur mīt dzīvnieki vai putni. Nitrāti ļoti labi šķīst ūdenī, un daži no tiem viegli kristalizējas kā hidratī.

Hlorīdi mūros sastopami vietās, kur uz blakus esošajām ietvēm un ceļiem kaisīts sāli (NaCl) saturošs pretapledošanas materiāls. Izšķīdis NaCl nonāk ēkas zemāko stāvu mūros, kur pēc mitruma iztvaikošanas tas kristalizējas.

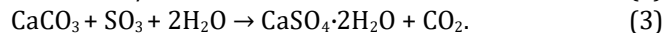
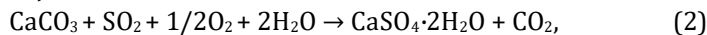
Kalcija karbonāts ir galvenais saistošais savienojums kaļķu un kaļķa-cemeta javās. Tā izturība skābā vidē ir ļoti zema – notiek javas saistvielas sadalīšanās un veidojas šķīstoši produkti, kas kopā ar lietus ūdeni izskalojas no mūra virsmas.

Oglekļa dioksīds šķīst ūdenī, bet ogļskābi veido tikai 1 % no oksīda. Atlikušais CO_2 ir molekulārā formā. Ja ūdens ir mīksts (bez izšķīdušiem joniem), oglekļa dioksīds ir ļoti agresīvs, un veidojas kalcija hidroģēnkarbonāts $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, norisinoties sekojošai reakcijai:



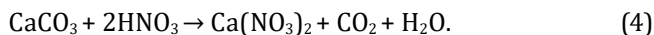
Nonākot saskarsmē ar ūdeni, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ izskalojas no mūra, attiecīgi samazinās saistvielas apjoms, un tas izraisa mūra sabrukšanu.

Sēra dioksīds šķīst ūdenī un daļēji veido sēraskābi, un tā šķīdina kaļķi. Šo reakciju vienkāršā veidā var uzrakstīt šādi:



Šo reakciju rezultātā notiek ģipša veidošanās. Ģipsis tam labvēlīgos mitros apstākļos veido lielus kristālus, kas rada lielu kristalizācijas spiedienu, un tas noved pie mūra sairšanas.

Slāpekļskābe veidojas no slāpekļa dioksīda, skābekļa un ūdens, tā sadala kalcija karbonātu saskaņā ar šo reakciju:



Kalcija nitrāts ir ļoti labi šķīstoša viela, kuras rašanos veicina lietus ūdens iedarbība [5].

Mūros, kuros saistīšanos nodrošina kaļķa hidratācijas un karbonizācijas reakcijas, destrukcija sākas ar kalciju saturošu savienojumu sabrukšanu. Līdzīgi šie sabrukšanas procesi norisinās kaļķu-cementa javās, kuras satur pucolāna piedevas. Tās ir vairāk izturīgas pret agresīvu vielu iedarbību no apkārtējās vides nekā mūri, kas nesatur hidrauliskos kaļķus.

Vēsturiskajos mūrējumos, kas mūrēti pirms vairāk nekā diviem tūkstošiem gadu un saglabājušies līdz mūsdienām, celtniecībā izmantotas javas, kas gatavotas no kaļķa un pucolāna piedevas. Ir pētījumi, kas meklē atbildes uz jautājumu, kas nodrošinājis vēsturisko javu saglabāšanos. Tāpat tiek meklētas atbildes par to, kas izraisījis šo mūrējumu sairšanu. Pētījumā [8] aplūkota seno un mūsdienu hidraulisko javu sabrukšana atmosfēras iedarbības rezultātā, pamatojoties uz kaļķu-cementa, kaļķu-pucolāna javu pētījumiem, kas apstiprināja, ka sulfātu korozija ir galvenais bojājumu mehānisms visos analizētajos paraugos. Primāri lielāko kaitējumu nodara ģipša veidošanās, taču sekundārs bojājumu veicinātājs ir etringīts, kura veidošanās notiek, reaģējot ģipsim ar kalcija alumīnāta hidrātiem, kas atrodas saistvielā.

B. Piesārņojuma novēršanas pasākumi

Atmosfēras kaitīgā piesārņojuma novēršanas pasākumi ir rūpīgi izvērtējami katrā konkrētā situācijā, jo tie atšķirsies nesenam mūrim vai vēsturiskam mūrējumam. Tie var ietvert, piemēram, mitruma novēršanu, papildu horizontālo izolāciju un porainākas javas izmantošanu. Lai samazinātu mitruma rašanos, nepieciešams novērst kapilārā mitruma rašanās cēloni, piemēram, salabot bojātu kanalizāciju un lietus ūdens notekas, vai nodrošināt mūrim pieguļošās augsnes atbilstošu slīpumu. Izvēloties risinājumu, kas paredz poraina apmetuma uznesanu fasādei, tās poru tilpumam sacietējušā javā vajadzētu būt vismaz 40 %. Šajā gadījumā tiek nodrošināta ūdens tvaika difūzija no mūra un porās sāļu kristalizācija notiek nedestruktīvi [5].

III. Dzelzbetona korozija

A. Stiegrojuma korozija

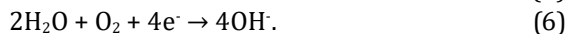
Kā jau zināms, betonam ir laba spiedes izturība, bet slikta stiepes izturība. Lai to uzlabotu, konstrukcijās izmanto armējumu, bet tas savukārt rada citas problēmas. Būtiska nozīme ir apstākļiem, kādos betons

iegūts un kādai konstrukcijai tas paredzēts. Kopumā ir vairāki faktori, kas ietekmēs produkta kvalitāti [9].

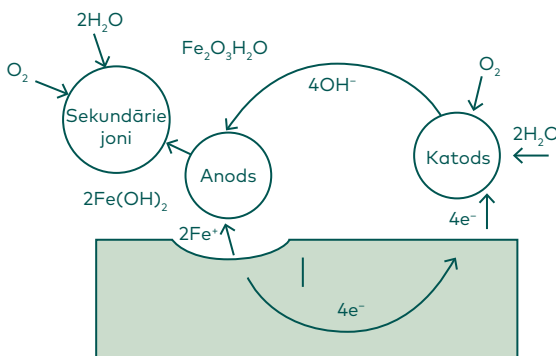
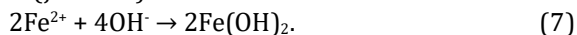
Būvniecībā masveidā lieto dažāda sortimenta tēraudu un čugunu. Būvkonstrukcijā iebūvēts metāls vienmēr ir pakļauts dažādiem ārējās vides faktoriem. Metālu korozija var noritēt dažādi: metālam oksidējoties ar gaisa skābekli, ķīmisku vielu iedarbībā, elektroķīmiskā veidā, kā arī iekšējo spriegumu iedarbības rezultātā [2].

Konstrukcijās izmantotais tērauda vai citu materiālu stiegrojums var būt par cēloni betona korozijai, jo metāla rūsas produktiem nepieciešams lielāks tilpums nekā stiegrojumam, un tādejādi tiek izraisīta betona plaisāšana. Tērauds, tāpat kā lielākā daļa metālu (izņemot zeltu un platīnu), normālos atmosfēras apstākļos ir termodinamiski nestabils un, atbrīvojot enerģiju, tiecas pāriet dzelzs oksidā jeb rūsā. Šo procesu sauc par koroziju. Lai rastos korozija, jāizpildās kādam no sekojošiem priekšnosacījumiem: ir jābūt vismaz diviem metāliem (vai metāla vietām) ar dažādu enerģijas līmeni, elektrolītam un metāla savienojumam. Dzelzsbetonā izmantotajai armatūrai var būt daudz atsevišķas zonas ar dažādu enerģijas līmeni. Korozija ir elektroķīmisks process, kā rezultātā notiek metāla un tā sakausējumu sairšana apkārtējā vidē esošu elektrolītu iedarbības rezultātā. Uz metāla virsmas mitrums veido elektrolīta šķīdumu, kurā izšķīst atmosfērā esošās gāzes. Notiekot oksidēšanās procesam, atbrīvojas dzelzs joni, kas pārvietojas uz apkārtējo (betona) vidi, un rezultātā metāls sairst, skat. 1. att.

Atbrīvotie joni saistās ar betonā esošo skābekli un ūdeni, šo procesu apraksta sekojoši reakcijas vienādojumi:



Atbrīvotie dzelzs joni saistās ar OH⁻ joniem, tā rezultātā veidojas divvērtīgā dzelzs hidroksīds (jeb rūsa):



1. att. Dzelzs korozija [9].

Tālāka dzelzs hidroksīda reakcija ar skābekli un mitrumu veicina korozijas reakcijas produktu veidošanos, kuru apjoma palielināšanās rada iekšējos spriegumus un noved pie plaisu rašanās un betona atslāņošanās. Tēraudam ir raksturīgi būt pakļautam korozijas procesiem, taču betona sārmainā vide (pH no 12 līdz 13) nodrošina tērauda pretkorozijas aizsardzību. Pie augstas pH vērtības uz tērauda virsmas veidojas plāns oksīda slānis, kas pasargā metāla jonus no izšķīšanas. Šī pasīvā kārtiņa nevar pārtraukt koroziju, bet spēj to nedaudz samazināt. Tērauda armējuma korozijas ātrums betonā parasti ir 0,1 μm gadā. Bez pasīvās kārtiņas tērauda korozija notiktu 1000 reizes ātrāk. Betonam raksturīgā aizsardzība novērš stieģrojuma tērauda koroziju vairumā konstrukciju. Tomēr korozija var rasties, ja pasīvā kārtiņa ir bojāta – samazinājusies betona sārmainība vai arī betonā hlorīda jonu daudzums sasniedzis noteiktu kritisko koncentrāciju.

Paaugstināta hlorīda jonu koncentrācija ir galvenais priekšlaicīgas tērauda armatūras korozijas cēlonis. Hlorīda joni, ko satur ledus atkausēšanas, pretslīdes materiāli un jūras ūdens, dzelzsbetonā var izraisīt tērauda koroziju, ja iespējama skābekļa un mitruma klātbūtne, kas veicina reakciju norisi. Ūdenī izšķīduši hlorīdi var nonākt betonā caur plaisām un sasniegt tērauda armējumu. Neviens cits piesārņotājs nav literatūrā tik plaši minēts kā hlorīda jonu izraisīta metāla korozija betonā. Mehānisms, ar kuru hlorīdi veicina koroziju, līdz šim nav izskaidrots. Viena no populārākajām teorijām ir tā, ka hlorīda joni vieglāk iekļūst aizsargājošajā oksīda kārtiņā nekā citi joni, padarot tēraudu neaizsargātu pret koroziju. Korozijas risks palielinās, ja hlorīdu saturs betonā palielinās līdz noteiktai koncentrācijai, iedarbību pastiprina ūdens un skābekļa klātbūtne. Literatūrā [10] konstatēts, ka kritiskā kopējo hlorīdu robeža, kas varētu izraisīt tiltu klājuma tērauda armatūras koroziju, ir 0,20 % no cementa masas. Tomēr postošo iedarbību veic tikai ūdenī šķīstošie hlorīdi, skābēs šķīstošie hlorīdi var būt sastopami

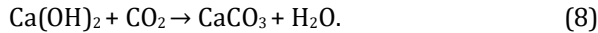


2. att. Dzelzsbetona ķīmiskā korozija (Vanšu tilts, Rīga).

pildvielās un nav bīstami. Primārie dzelzsbetona korozijas faktori ir skābekļa pieejamība, elektriskā pretestība, relatīvais betona mitrums, kā arī pH un temperatūra, skat. 2. att.

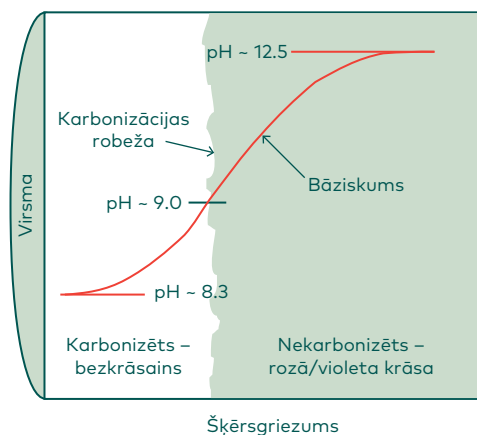
B. Betona karbonizācija

Betona karbonizācija notiek, ja oglekļa dioksīds no gaisa iekļūst betonā un reaģē ar kalcija hidroksīdu. Tā rezultātā veidojas karbonāts, tas redzams sekojošā reakcijā:



Reakcijas rezultātā betona pH vērtība var samazināties līdz 8,5, un tērauda aizsargājošā kārtiņa arī vairs nespēj veikt savu aizsargfunkciju. Karbonizācija parasti ir lēns process. Pētījumos ir noskaidrots, ka karbonizācijas ātrums ir līdz 1,0 mm gadā, karbonizācijai noritot no virsmas. Karbonizācijas iespējamība ievērojami palielinās betonos ar augstu ūdens-cementa attiecību, zemu cementa saturu, zemu mehānisko stiprību un augstu porainību. Karbonizāciju ļoti ietekmē betona relatīvais mitrums. Karbonizācijas izraisītā korozija bieži notiek uz ēku fasādēm, kas pakļautas nokrišņu iedarbībai, ēnainās vietās un zonās, kur betona kārtā pār tērauda stiebrojumu ir plāna. Karbonāti betonā samazina arī hlorīda jonu koncentrācijas robežu, pie kuras tiek veicināta korozija. Jaunā betonā, kura pH ir 12 līdz 13, aptuvena hlorīdu koncentrācija, lai sāktos tērauda armējuma korozija, ir 7000 ppm līdz 8000 ppm. Taču, ja pH vērtība tiek samazināta un ir robežās no 10 līdz 11, hlorīdu kritiskā koncentrācija samazinās līdz 100 ppm. Hlorīda joni sagrauj tērauda aizsargkārtiņu, bet neietekmē korozijas ātrumu [9].

Karbonizācijas dziļumu betonā iespējams noteikt, uz svaiga lūzuma virsmas uzpilinot fenoltaleīna indikatora šķīdumu (1 % šķīdums etanolā). Fenoltaleīns paliek bezkrāsains tur, kur betons ir karbonizējies,



3. att. pH vides izmaiņa ķīmiskās korozijas rezultātā [11].

bet krāsojas rozā tur, kur tas vēl ir sārmais ($\text{pH} > 9,0$). Karbonizācijas produkti pārvietojas betonā un samazina tā sākotnējo bāziskumu. Tērauda korozija attīstās, ja pH vērtība samazinājusies līdz 10,5 vai zemāk. Betona pH vērtības izmaiņa redzama 3. att. [11].

C. Sāļu un skābju iedarbība uz betonu

Kad ūdens sasalst, tas izplešas aptuveni par 9 % un rada spiedienu betona kapilāros un porās. Ja radītais spiediens pārsniedz stiepes izturību, rodas mikropļaisas, kas laika gaitā var novest pie betona izstrādājuma plaisāšanas un bojājumiem. Betona aizsardzībai šajā gadījumā nozīmīga loma ir ūdens-cementa attiecībai. Tai samazinoties, samazinās arī betona ūdens un tvaiku caurlaidība. Dažādu pretslīdes materiālu (piemēram, nātrija hlorīda) izmantošana var izraisīt sasaldēšanas un atkausēšanas izturības pasliktināšanos, jo tie palielina hidraulisko spiedienu, kas rodas, mitrumam sasalstot porās, salīdzinot ar spiedienu, ko rada ūdens bez izšķīdušiem sāļiem. Sāls saista mitrumu, un šajā gadījumā betona porās nonāk piesātināts šķīdums. Nenotiekot sasaldēšanai, nātrija hlorīda ķīmiskā ietekme uz betonu ir maza vai pat nekāda. Vājam kalcija hlorīda šķīdumam uz betonu nav būtiskas ķīmiskās ietekmes, taču pētījumi liecina, ka koncentrēts kalcija hlorīda šķīdums spēj ķīmiski bojāt betonu. Materiāliem, kuru sastāvā ir amonija nitrāts un amonija sulfāts, vajadzētu būt aizliegtiem, jo tie ir ļoti agresīvi un spēj stipri bojāt betonu. Tie sārmainajā betonā atbrīvo amonjaku un ūdeņraža jonu, kas izraisa kalcija hidroksīda izskalošanos no betona līdzīgi kā skābes iedarbības gadījumā. Kaut arī betonam ir salīdzinoši laba noturība, ja tas tiek pakļauts dažādiem atmosfēras apstākļiem, tomēr daži ķīmiskie savienojumi spēj sagraut pat augstas kvalitātes betonu, piemēri tam doti II. tabulā [9].

II. tabula

Ķīmiskie savienojumi, kas spēj sagraut betonu [9]

Veicina strauju betona koroziju	Veicina vidēju betona koroziju	
	alumīnija sulfāts	kakao pupiņu eļļa
alumīnija hlorīds	amonija bisulfāts	kakao sviests
kalcija bisulfīts	amonija nitrāts	kokosriekstu eļļa
fluorūdeņražskābes (visas koncentrācijas)	amonija sulfāts	nātrija bisulfāts
sālsskābe (visas koncentrācijas)	amonija sulfīds	nātrija hidroksīds (> 20 %)
sērskābe (10–80 %)	amonija sulfīts	rapšu eļļa
sērūdeņražskābe	amonija superfosfāts	rīcineļļa
slāpekļskābe (visas koncentrācijas)	amonija tiosulfāts	sinepju eļļa
	kālija dihromāts	sērskābe, 80 % oleums
	kālija hidroksīds (> 25 %)	



4. att. Sulfātu izraisīta
betona korozija.

Betonu reti kad spēj bojāt cietas, sausas ķīmiskās vielas. Tām jābūt šķīdumā vai arī kādā noteiktā minimālā koncentrācijā. Stipri sārmu šķīdumi (virs 20 %) arī var izraisīt betona sairšanu [9]. Pētījumi pierāda, ka ļoti blīvā betonā gāzes difundē 2 cm, bet mazāk blīvā pat vairāk nekā 10 cm dziļumā [2]. Betoniem kopumā neatkarīgi no to sastāva ir slihta noturība pret skābes šķīdumu iedarbību. Tomēr dažu vāju skābju iedarbība var neradīt bojājumus, ja to iedarbība ir neregulāra. Skābes reaģē ar kalcija hidroksīdu, kas atrodas cementa sastāvā. Vairumā gadījumu ķīmiskā reakcija veido ūdenī šķīstošus kalcija savienojumus, kas pēc tam izskalojas ūdens iedarbības rezultātā. Daudzu kurināmo degšanas produkti satur sēra oksīdu, kas, nonākot mitrumā, veido sērskābi. Arī dažas baktērijas spēj pārvērst notekūdeņus par sērskābi saturošiem. Sērskābe ir īpaši bīstama betonam, jo reakcijas rezultātā veidojas kalcija sulfāts (ģipsis), skat. 4. att.

Bez atsevišķām organiskām un neorganiskām skābēm, kas var būt bīstamas betonam, arī skābi rūpniecības atkritumi, skābbarība, augļu sulas un skābs piens var izraisīt bojājumus. Lai novērstu skābu produktu izraisītus bojājumus, praksē parasti veic atbilstošus virsmas aizsardzības pasākumus. Atšķirībā no kaļķakmens un dolomīta pildvielas siliķātu izturība skābēs ir salīdzinoši labāka. Šis rādītājs parasti ir svarīgs, projektējot betona sastāvus ar ķīmiski izturīgu cementu, kas paredzēti izmantošanai konstrukcijās ar agresīvas vides iedarbību.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] A. Anteniške, V. Banga, J. Krastiņš *et al.*, *Rīgas arhitektūra: stili, ēkas, interjeri XXI gadsimtā*. Rīga, Latvia: Jumava, 2000.
- [2] H. B. Šteins, *Remontdarbi savrupnamā*. Rīga, Latvia: Praktiskā grāmata, 2001.

- [3] I. Vitina, S. Igaune, L. Krage, and O. Baumanis, "Problems of soluble salts in the monuments of Latvia," In Proc. of 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 1996, pp. 477–480.
- [4] R. Lusiņš, I. Sidraba, L. Krage, and I. Vitina, "Investigation of stone materials with a view to restoration of stone Monuments in Latvia," In Proc. of the International Congress "Quarry-Laboratory-Monument", 2000, pp. 403–407.
- [5] A. Moncmanova, Ed., *Environmental Deterioration of Materials: WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering*. Ashurst: WIT Press, 2007.
- [6] A. Šenberga, *Apmetēja darbi*. Rīga, Latvia: Jumava, 2000.
- [7] L. Krāģe and I. Vītiņa, "Saistvielu izpēte Latvijas vēsturiskajās būvēs: īss pašreizējā stāvokļa raksturojums," In 7. Baltijas valstu restauratoru triennāles konferences materiāli, 2005, pp. 47–52.
- [8] C. Sabbioni, "Atmospheric deterioration of ancient and modern hydraulic mortars," *Atmospheric Environment*, vol. 35, no. 3, pp. 539–548, 2001. [https://doi.org/10.1016/s1352-2310\(00\)00310-1](https://doi.org/10.1016/s1352-2310(00)00310-1)
- [9] Portland Cement Association, "Types and Causes of Concrete Deterioration," 2002. [Online]. Available: <http://www.cement.org> [Accessed: Apr. 1, 2017].
- [10] K. C. Clear. *Time-to-Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete Slabs. Volume 3: Performance After 830 Daily Salt Applications*. Washington, DC: Federal Highway Administration, 1976.
- [11] R. O. Heckroodt. *Guide to deterioration and failure of building materials*. Tonbridge, UK: Thomas Telford, 2002.

Margarita Karpe – *Mg.sc.ing.* (2006). MLĶF Silikātu materiālu institūta Akmens materiālu konservācijas un restaurācijas centra vadītājas p. i. Galvenie darba virzieni – vēsturisku saistvielu ķīmiskā analīze, akmens materiālu korozijas procesu izpēte un dažādu materiālu (smiltis, dolomīts, māls u. c.) ķīmiskā analīze.
Adrese: P. Valdena 3/7, Rīga, LV-1048
E-pasts: margarita.karpe@rtu.lv, tālr. 28887157.

Inta Kiriloviča – *Dr.sc.ing.* (2016). MLĶF Silikātu materiālu institūta Akmens materiālu konservācijas un restaurācijas centra pētniece. Kopš 2008. gada strādājusi akmens materiālu restaurācijas jomā. Galvenie darba virzieni ir vēsturisku saistvielu ķīmiskā analīze, akmens materiālu korozijas procesu izpēte un jaunu javu saistvielu sintēze restaurācijas mērķiem.
Adrese: P. Valdena iela 3/7, Rīga, LV-1048
E-pasts: inta.kirilovica@rtu.lv

Inta Vītiņa – *Dr.sc.ing.* (1992). MLĶF Silikātu materiālu institūta Akmens materiālu konservācijas un restaurācijas centra vadošā pētniece. Galvenais darba virziens – Latvijas kultūrvēsturisko objektu akmens materiālu izpēte, akmens korozijas pētījumi, restaurācijas procesu pārraudzība. Vairāk nekā 130 zinātnisku publikāciju autore.
Adrese: P. Valdena 3/7, Rīga, LV-1048
E-pasts: vitina@ktf.rtu.lv

Laimons Timma – *Mg.sc.ing.* MLĶF Silikātu materiālu institūta pētnieks.
Adrese: P. Valdena 3/7, Rīga, LV-1048
E-pasts: laimonis.timma@rtu.lv

Mūrējumu korozija
apkārtējās vides
ietekmē

Margarita Karpe, Inta Kiriloviča, Inta Vītiņa, Laimons Timma.

Corrosion of Masonry due to Environmental Influence.

Keywords – concrete, corrosion, moisture, masonry.

In restoration of the masonry, it is important to maintain its original composition and appearance by matching historical materials with appropriate material which is consistent both visually and in accordance with physical and chemical properties. Materials of historic-cultural and artistic monuments are constantly exposed to disintegration processes which are accelerated by ever-increasing environmental pollution (N_xO_y , SO_2 , CO and CO_2). This environmental pollution reacts with moisture from air and causes acid rain. As a result, water-soluble salts (most commonly sodium, potassium and magnesium sulphates, and gypsum) are formed, causing the chemical corrosion of the masonry, which can cause its disintegration.

The earliest research on corrosion of masonry and of natural stone materials in Latvia was conducted in 1984 at the Department of Silicate Technologies, Riga Technical University. In 1995 the Center for Conservation and Restoration of Stone Materials was established at the Institute of Silicate Materials, Riga Technical University. Research by the Center includes scientific analyses of cultural-historical monuments – the study of the composition, structure, physical, and mechanical properties of corroding materials.