

## ANALYSIS OF INFLUENCE OF THE CONCRETE CARBONATION ON REINFORCED CONCRETE BRIDGE SERVICE LIFE IN LATVIA

## BETONA KARBONIZĀCIJAS IETEKMES UZ DZELZSBETONA TILTU KALPOŠANAS LAIKU LATVIJĀ ANALĪZE

**Kristaps Gode**, *M.sc.ing.*

*Riga Technical University, Dept. of Roads and Bridges*

*Address: Azenes iela. 20, Riga, LV-1048, Latvia*

*Phone: 67089190*

*E-mail: [kristaps.gode@inzenierbuve.lv](mailto:kristaps.gode@inzenierbuve.lv)*

**Ainars Paeglītis**, *Dr.sc.ing., Professor*

*Riga Technical University, Dept. of Roads and Bridges*

*Address: Azenes iela. 20, Riga, LV-1048, Latvia*

*Phone: 67089190*

*E-mail: [paeglitisa@apollo.lv](mailto:paeglitisa@apollo.lv)*

*Atslēgas vārdi: betona karbonizācija, tilta kalpošanas laiks*

### 1. Ievads

Tiltu un ceļu būvniecība ir sabiedrības lielākie un ilglaicīgākie ieguldījumi. Tādēļ lielu uzmanību ir jāpievērš ne tikai tiešajām būvniecības izmaksām, bet arī pieaugošajām konstrukciju uzturēšanas izmaksām.

Ārējās vides ietekmē betona bojājumus izraisa trīs galvenie cēloņi: stiegrojuma korozija, sārnu-pildvielu reakcija un nepietiekoša salizturība. Stiegrojuma korozija ir viens no galvenajiem bojājumu veidiem, kas ietekmē dzelzsbetona tiltu kalpošanas laiku. Sākotnēji stiegrojums dzelzsbetonā ir pasargāts no korozijas, to nodrošina ap stiegrojumu izveidojusies sārmainā vide ( $\text{pH} = 12,5 - 12,6$ ), kas novērš tērauda oksidēšanos. Gaisā esošais oglekļa dioksīds ( $\text{CO}_2$ ), savienojoties ar ūdens tvaikiem, reaģē ar betonā esošo kalcija hidroksīdu un pamazām to noārda. Šo procesu pieņemts saukt par karbonizāciju un tas attīstās pakāpeniski, sākot no betona virsmas. Karbonizācijas frontei sasniedzot tērauda stiegrojumu, betona pretkorozijas aizsardzība pārtrauc darboties. Betona karbonizācija ir dabīgs process, kas sāk attīstīties pēc betona izgatavošanas. Parasti betona karbonizācija notiek lēni, tomēr ar izteiktu karbonizācijas fronti, jo nav pārejas zonas starp bojāto un veselo betonu. Šī robeža nav taisna līnija, kuru raksturo ar vidējo karbonizācijas dziļumu, bet gan tā veido ekstrēmus, kuru dziļums var līdz 3 reizēm pārsniegt vidējo karbonizācijas dziļumu. Visbiežāk tieši šo ekstrēmu zonā sāk korodēt stiegrojums.

Šī pētījuma mērķis ir analizēt betona karbonizācijas ietekmi uz tiltu kalpošanas laiku, pamatojoties uz pēdējo 10 gadu laikā Latvijā veiktajām tiltu inspekcijām un pārbaudēm. Pētījumā ir analizēts konstrukciju kalpošanas laiks pie noteiktas atteices varbūtības, izmantojot tiltu pārbaudēs iegūtos datus, kā arī pielietojot procesu attīstības matemātisko modeli.

## 2. Betona karbonizācijas modelis

Betona bojājumu attīstība, visbiežāk, tiek modelēta ar divām – „sākuma” un „attīstības” stadijām. Sākuma stadijā betona virsmā nav redzamas bojājumu pēdas, bet agresīvas apkārtējās vides ietekmē notiek iekšējo aizsargbarjeru nojaukšanās process. Attīstības stadijā notiek aktīvs un ātrs bojājumu attīstības process.

Lai prognozētu bojājumu attīstību ir jāveic bojājuma attīstības procesa modelēšana. Karbonizācijas procesu var aprakstīt ar matemātiskiem modeļiem. Karbonizācijas procesa modelēšanai pastāv divu veidu modeļi: fizikālie un empīriskie. Empīriskajiem modeļiem šobrīd ir lielāka praktiskā nozīme.

Plašāk pielietoto karbonizācijas modeļu pamatā ir divu procesu apvienojums: CO<sub>2</sub> difūzija betonā (Fika pirmais difūzijas likums) un CO<sub>2</sub> spēja saistīties ar betonā esošiem sārmjiem (pārsvārā Ca(OH)<sub>2</sub>). Karbonizācijas dziļums  $x_C$  šādam modelim (1) ir tieši proporcionāls kvadrātsaknei no laika  $t$ , ja pieņem, ka pārējie parametri ir laikā nemainīgi.

$$x_C(t) = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot \Delta C}{a}} \cdot \sqrt{t} \quad (1)$$

Difūziju raksturo difūzijas koeficients  $D$  un CO<sub>2</sub> koncentrācijas gradients  $\Delta C$ . CO<sub>2</sub> saistīšanās spēju raksturo ar kapacitāti  $a$ . Parametri  $D$  un  $a$  raksturo betona īpašību pretoties karbonizācijai un to var izteikt ar parametru  $R$ , kas ir nosakāms ar paātrinātā testa metodēm [2].

Lai ievērtētu mitruma un laika apstākļu ietekmi, modelis tiek papildināts ar dažādiem koeficientiem (*DuraCrete*, *CEB*, Ričardsons, Bunte, Hakinens [3]). Citos modeļos arī betona īpašību parametri tiek ievērtēti ar dažādiem koeficientiem (Kišitāni (1960), Aleksandrs (1976), Aleksējevs un Rozentāls (1976)[1]).

Minētie modeļi galvenokārt ir izstrādāti, lai paredzētu karbonizācijas attīstību jaunām dzelzsbetona konstrukcijām vai veicot ilgizturīga betona projektēšanu. Ja karbonizācijas process jau ir sācies un ir zināms faktiskais karbonizētā slāņa biezums kā arī tilta ekspluatācijas laiks, tad var noteikt karbonizācijas attīstības ātruma parametru  $K$ , izmantojot formulu:

$$x_C = K \cdot \sqrt{t_{exp}} \quad \text{jeb} \quad K = \frac{x_C}{\sqrt{t_{exp}}}, \text{ kur} \quad (2)$$

$x_C$ : karbonizācijas dziļums (noteikts tilta inspekcijā) [m];  
 $K$ : karbonizācijas procesa ātruma parametrs [ $mm/\sqrt{s}$ ];  
 $t_{exp}$ : tilta vecums [s].

Šajā gadījumā parametrs  $K$  raksturo gan betona īpašības, gan apkārtējās vides ietekmi. Zinot parametru  $K$  ir iespējams prognozēt karbonizācijas attīstību nākotnē. Paredzot, ka apkārtējās vides ietekme un betona īpašības vidēji nemainīsies, var aprēķināt kalpošanas laiku, kad karbonizācijas fronte sasniegs stiegrojumu. Šis pieņēmums strādā par labu drošumam, jo betonam novecojot, CO<sub>2</sub> difūzijas ātrums samazinās [2].

Galvenā šī vienkāršā modeļa priekšrocība ir tā, ka nav nepieciešams zināt specifiskus datus par betonu un apkārtējās vides apstākļiem.

Šajā pētījumā tiek izmantots šāds modelis un pielietota LifeCon [2] izstrādātā aprēķina metodika.

Kalpošanas laika aprēķinā tiek izmantoti parametri, kuriem ir stohastisks raksturs. Tādēļ, lai objektīvi novērtētu rezultātu ir nepieciešams aprēķinā pielietot varbūtības teorijas metodes. Pielietojot varbūtības teorijas metodes ir iespējams iegūto rezultātu raksturot ar varbūtību, kuru var iepriekš definēt. Šajā pētījumā tiek aprēķināts kalpošanas laiks pie noteiktas atteices varbūtības, ko definē ar drošuma indeksu  $\beta$ .

Lai aprēķinātu kalpošanas laiku ar noteiktu atteices varbūtību, ir jāsalīdzina karbonizācijas dziļuma un aizsargkārtas biezuma nominālās vērtības, ņemot vērā to novirzes. Šo drošuma aprēķinu veic līdzīgi nestspējas drošuma aprēķinam, kur salīdzina slodzes parametru  $S$  ar pretestības parametru  $R$ . Šajā gadījumā slodzes parametrs  $S$  ir karbonizācijas dziļums, bet pretestības parametrs  $R$  – betona aizsargkārtas biezums. Kalpošanas laiks pie noteiktā drošuma indeksa  $\beta$  ir nosakāms atrisinot vienādojumu [2]:

$$\frac{\mu_{cover} - \mu_K \cdot \sqrt{t}}{\sqrt{\sigma_{cover}^2 + (\sigma_K \cdot \sqrt{t})^2}} = \beta, \text{ kur}$$

(3)

- $\mu_{cover}$ : betona aizsargkārtas nominālais biezums [m];
- $\sigma_{cover}$ : betona aizsargkārtas biezuma standartnovirze [m];
- $\mu_K$ : karbonizācijas procesa ātruma parametra vidējā vērtība [ $mm / \sqrt{s}$ ];
- $\sigma_K$ : karbonizācijas procesa ātruma parametra standartnovirze [ $mm / \sqrt{s}$ ];
- $t$ : tilta kopējais kalpošanas laiks pie drošības indeksa  $\beta$ ;
- $\beta$ : drošuma indekss, kas raksturo atteices varbūtību ar kādu  $S > R$ .

Parametra  $K$  standartnovirze ir nosakāma ar formulu:

$$\sigma_K = CoV_{X_c} \cdot \mu_K$$

(4)

Kur  $CoV$  ir relatīvā standartnovirze, kas ievērtē precizitāti atkarībā no karbonizācijas dziļuma lieluma un laika. Respektīvi, jo īsākā laikā noteikts lielāks karbonizācijas dziļums, jo precīzāks ir rezultāts [2]:

$$CoV_{X_c} = a \cdot \left( \left( \frac{X_c}{\sqrt{2 \cdot \Delta C \cdot t_{exp}}} \right)^2 \cdot 10^{11} \right)^b, \text{ kur}$$

(5)

- $\Delta C$ : vidējais  $CO_2$  saturs gaisā [ $kgCO_2/m^3$ ];
- $t_{exp}$ : tilta vecums [s];
- $a$ : regresijas parametrs [ $10^{11b} m^5/(s \cdot kgCO_2)$ ], šeit  $a=68.9$  [2];
- $b$ : regresijas parametrs [-], šeit  $b=-0.22$  [2].

Veicot aprēķinu bez varbūtības teorijas metožu pielietošanas iegūta rezultāta atteices varbūtība atbilst 50% un drošuma indekss  $\beta=0$ .

### 3. Tiltu kalpošanas laika noteikšanas parametri

Šajā pētījumā par kalpošanas laiku tiek uzskatīts, laika periods, kurā karbonizācijas fronte sasniegs stiegrojumu, turklāt tas ir attiecināms tikai uz konkrēto karbonizācijas noteikšanas vietu konstrukcijā. Atlikušā kalpošanas laika aprēķinā ir izmantoti dati, kas iegūti, veicot betona karbonizācijas dziļuma mērījumus, aizsargkārtas biezuma mērījumus dažāda vecuma dzelzsbetona tiltiem Latvijā. Karbonizācijas dziļuma un betona aizsargkārtas mērījumi ir iegūti

no aptuveni 100 tiltiem, kur vienam tiltam dažādiem elementiem tika noteikts viens vai vairāki mērījumi. Betona īpašību analizē tiek izmantota informācija par betona stiprību, kas izpētes atskaitēs ir uzrādīta kā betona marka.

Galvenie apkārtējās vides faktori, kuri ietekmē karbonizāciju ir mitrums, nokrišņu daudzums un CO<sub>2</sub> saturs gaisā. Šajā pētījumā, pielietojot minētās formulas un metodi, nav nepieciešams zināt betona mikroklimatiskos apstākļus par mitruma daudzumu. CO<sub>2</sub> saturs gaisā variē starp 350 un 380 daļām uz miljonu, kas atbilst 0,00057 līdz 0,00062 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> [6]. Aprēķinā tiek izmantots CO<sub>2</sub> daudzuma vidējā vērtība:  $\Delta C = 0,0006 \text{ kgCO}_2/\text{m}^3$ .

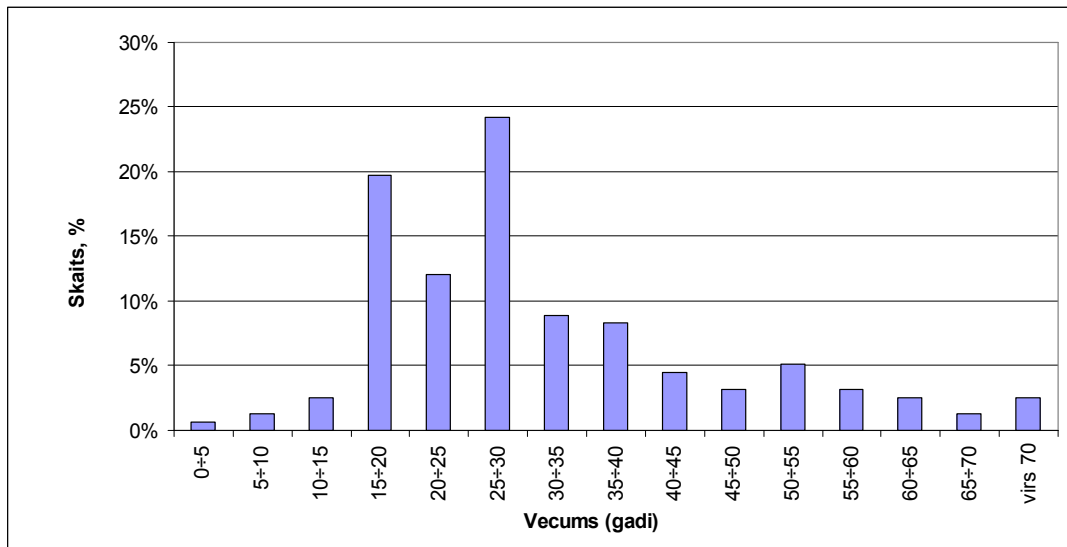
Aprēķinos izmantotie parametri ir apkopoti 1.tabulā.

1. tabula. Kalpošanas laika aprēķinā izmantotie parametri.

Nosaukums	Apzīmējums	Mērvienība	Piezīmes
Karbonizācijas fronets dziļums	$x_C$	$m$	Noteikts tiltu inspekcijās un pārbaudēs veicot karbonizācijas testu vai laboratorijā.
	$CoV_{x_C}$ - relatīvā standartnovirze	%	Aprēķināts ar (5).
Betona aizsargkārtas biezums	$\mu_{cover}$ - nominālā vērtība	$m$	Noteikts tiltu inspekcijās un pārbaudēs ar stiegru dziļuma mērītāju.
	$\sigma_{cover}$ - standartnovirze		
CO <sub>2</sub> saturs gaisā	$\Delta C$	$\text{kgCO}_2/\text{m}^3$	Pieņemta vidējā vērtība $\Delta C=0.00060 \text{ kgCO}_2/\text{m}^3$ [6].
Tilta vecums	$t_{exp}$	$s$	Pieņemts tilta būves vai ekspluatācijas nodošanas gads, kad sākusies karbonizācijas ietekme.
Karbonizācijas attīstības ātruma parametrs	$\mu_K$ jeb $K$ - nominālā vērtība	$\text{mm} / \sqrt{s}$	Aprēķināts ar (2).
	$\sigma_K$ - standartnovirze	$\text{mm} / \sqrt{s}$	Aprēķināts ar (4).
Tilta kopējais kalpošanas laiks	$t$	$s$	Aprēķināts ar (3).
Drošuma indekss	$\beta$	-	Pieņemts $\beta=1.8$ [2].

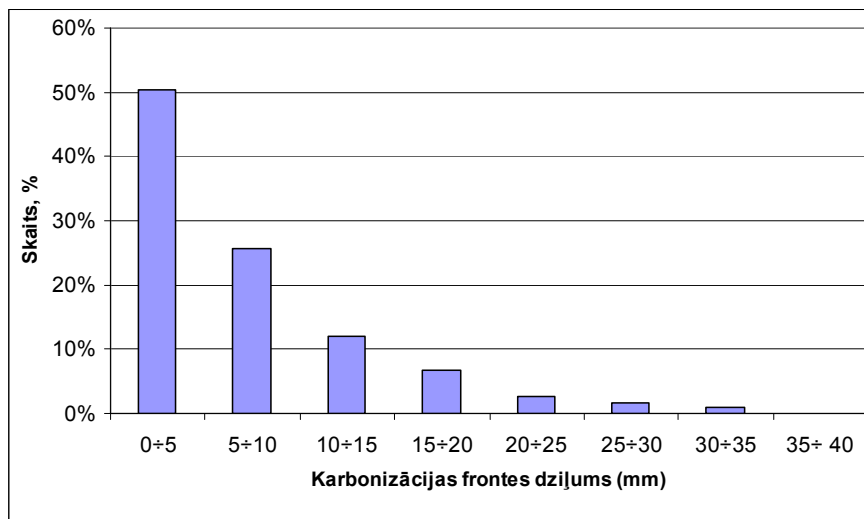
#### 4. Tiltu inspekciju rezultātā iegūto datu analīze

Analizēto tiltu sadalījumu pēc to vecuma ( $t_{exp}$ ) ir parādīts 1. attēlā. Ap 90% tiltu vecums mērījumu noteikšanas brīdī ir vismaz 15 gadi, kas dod nepieciešamo priekšstatu par karbonizācijas ietekmi uz dzelzsbetonu pietiekami ilgā laika periodā.



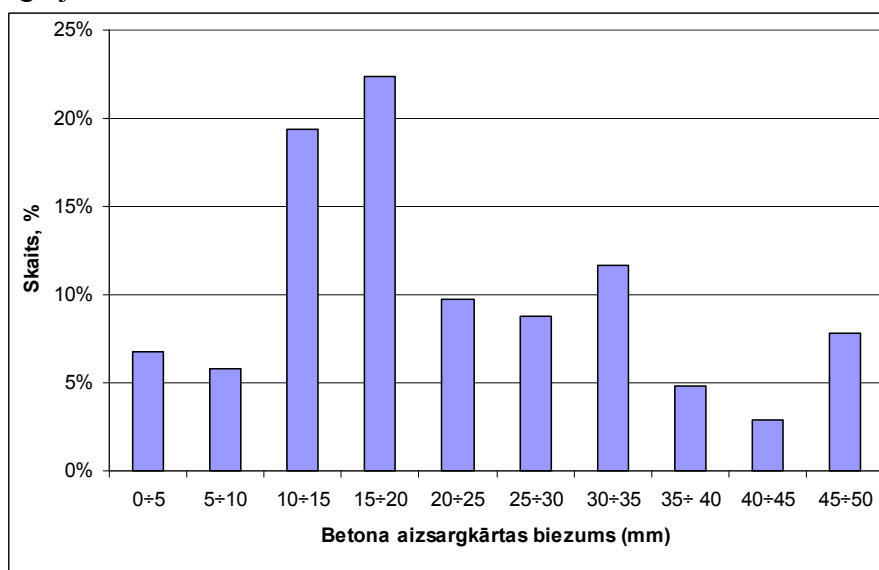
1. attēls. Pētījumā analizēto tiltu mērījumu vietu sadalījums pēc to vecuma.

Tiltu pārbaudēs noteikto karbonizācijas dziļumu vērtības svārstās no 2 mm līdz 40 mm dziļumam. 76% izmērītie karbonizācijas dziļumi ir līdz 10 mm, 12% ir noteiktas relatīvi lielas vērtībās (skat. 2. att.).



2. attēls. Tiltu un ceļa pārvadu mērījumu noteikšanas vietu sadalījums pēc to karbonizācijas frontes dziļuma.

Kalpošanas laiku būtiski ietekmē betona aizsargkārtas biezums. Šobrīd Eirobūvnormas [5] nosaka betona aizsargkārtu parastajam stiegrojumam nemazāku kā 40mm ārējās iedarbības klasei XC4 (karbonizācijas izraisīta korozija, periodiski mitra un sausa vide) un konstrukcijas klasei S6(aprēķina kalpošanas laiks 100 gadi). Lielākai daļai no analizētajiem tiltiem, kuri būvēti vadoties pēc PSRS laiku būvnormām, kuras noteica minimālo betona aizsargkārtas biezumu parastajam stiegrojumam ne mazāku kā 30mm.



3. attēls. Tiltu pārbaudēs noteikto betona aizsargkārtu sadalījums pēc biezuma.

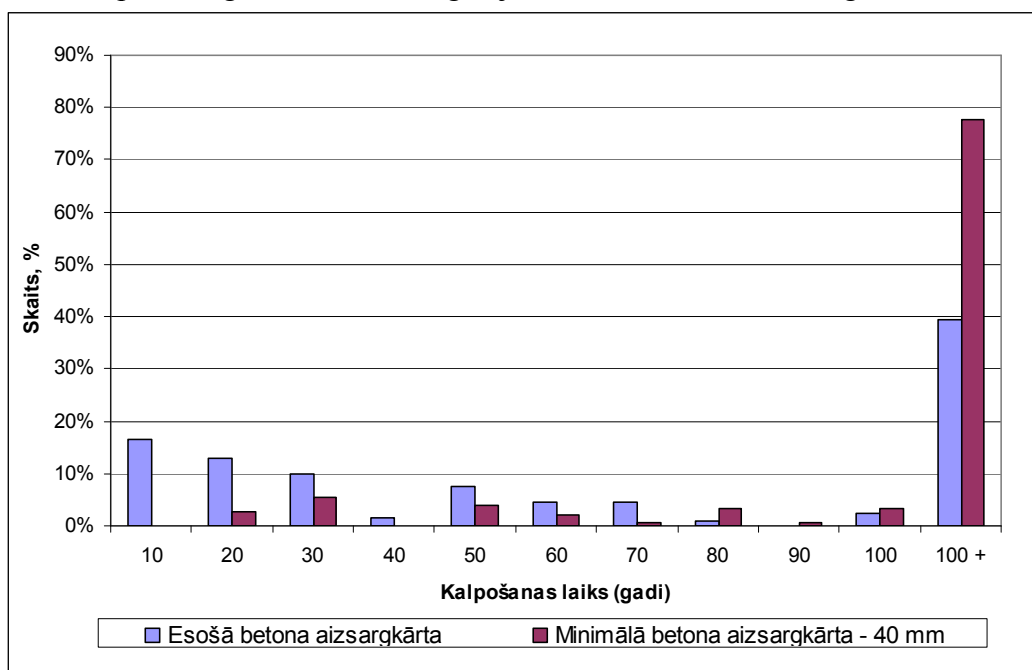
Betona aizsargkārtas biezuma mērījumi parāda (3. attēls), ka lielākoties tas ir mazāks nekā noteikts normās, galvenokārt, izskaidrojams ar būvniecības zemo kvalitāti. Tiltu inspekciju atskaitēs bieži tiek izdalīta betona aizsargkārtas biezums konstruktīvajam un nesošajam stiegrojumam. Nesošajam stiegrojumam betona aizsargkārtā vidēji ir robežās 25 ÷ 35 mm, konstruktīvajam stiegrojumam 5 ÷ 20 mm.

## 5. Tiltu atlikušā kalpošanas laika analīze

Izmantojot formulas (2) un (3) tika aprēķināts atlikušais kalpošanas laiks katrai konstrukcijai, kurai tika veikta betona karbonizācijas un betona aizsargkārtas mērījumi. Pamatojoties uz iegūtajiem rezultātiem, tika analizēta betona aizsargkārtas biezuma un betona kvalitātes ietekme uz atlikušo tilta kalpošanas laiku.

### 5.1. Betona aizsargkārtas ietekme uz tiltu kalpošanas laiku analīze

Diagramma, kas dota 4.attēlā parāda, ka, lielākoties, aprēķinātais kalpošanas laiks pie  $\beta=1.8$  ir mazāks par 100 gadiem, bet 39% gadījumu tas nav lielāks kā 30 gadi.



4. attēls. Sadalījums pēc aprēķinātā kalpošanas laika.

Ja minimālais betona aizsargkārtas biezums šiem tiltiem būtu 40 mm, tādā atbilstu mūsdienu prasībām, tad tikai 22% nenodrošina kalpošanas laiku 100 gadi. Turklāt lielākā daļa no šiem 22% ir attiecināmi uz zemas stiprības betonu (C20/25 ÷ C30/37).

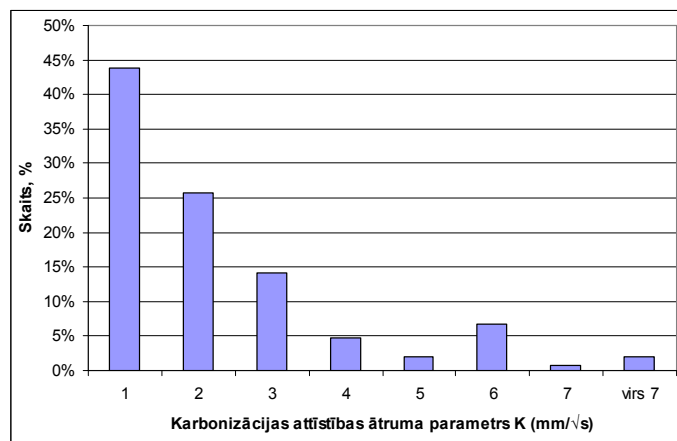
Dati par aizsargkārtas sakarību ar aprēķināto iegūto kalpošanas laiku ir apkopoti 2.Tabulā. Tabula parāda, ka neliels kalpošanas laiks (līdz 50 gadiem) pārsvarā ir, ja betona aizsargkārtas biezums ir līdz 20 mm.

2. tabula. Betona aizsargkārtā un sadalījums pēc aprēķinātā kalpošanas laika

Aizsargkārtā (mm)		Kalpošanas laiks (gadi)		
no	līdz	0÷50	50÷100	virs 100
0	10	15%	1%	
10	20	21%	7%	10%
20	30	7%	4%	8%
30	40	2%		13%
40	50	1%		8%
virs 50		2%	1%	1%

## 5.2. Betona kvalitātes ietekme uz tiltu kalpošanas laiku analīze

Tā kā tiltu pārbaudes tika veiktas dažāda vecuma tiltiem, tad precīzāk karbonizācijas attīstību raksturo parametrs K no (1). 70% gadījumu K vērtības ir relatīvi mazas (skat. 5.att.), kas nozīmē, ka karbonizācijas process pārsvarā attīstās lēni.



5. attēls. Sadalījums pēc karbonizācijas attīstības ātruma parametrs K vērtībām.

K sakarība ar kalpošanas laiku ir parādīta 3.tabulā. Lai rezultātu neietekmētu, betona aizsargkārtas biezums, tas ir pieņemts visiem vienāds – 40 mm. Šeit redzams, ka betonam ar zemām K vērtībām, kalpošanas laiks pārsniedz 100 gadus.

3. tabula. Karbonizācijas attīstības ātrums un sadalījums pēc aprēķinātā kalpošanas laika, ja minimālais aizsargkārtas biezums ir 40 mm.

K vērtības (mm/√s)		Kalpošanas laiks (gadi)		
no	līdz	0÷50	50÷100	virs 100
0	1			44%
1	2			26%
2	3		7%	7%
3	4	3%	2%	
4	5	1%	1%	
5	6	5%	1%	1%
6	7	1%		
virs 7		2%		

Lai novērtētu betona īpašību ietekmi uz karbonizācijas attīstības ātrumu tika analizēta betonu stiprības sakarības ar parametru K un kalpošanas laiku. Tiltos izmantotie betoni tika pieskaņoti LVS EN 206-1 [4] dotajām betona stiprības klasēm un sadalīti trīs grupās: zemas stiprības (C16/20, C20/25, C25/C30, C30/37), vidējas stiprības (C35/45, C40/50, C40/55, C45/55) un augstas stiprības (C50/60, C55/67, C60/75, C70/85). Salīdzinot K vērtības un betona stiprību (4.tabula), tika secināts, ka zemas stiprības betonam K vērtības ir lielākas, kas raksturo, ka šajā betonā karbonizācijas process notiek daudz straujāk nekā augstas stiprības betonā. Taču neviennozīmīgi, kas ir izskaidrojams ar atšķirībām apkārtējās vides apstākļos. Augstākas stiprības betonam ir lielāka karbonizācijas pretestība, jo tas ir mazāk porains, tie satur lielāku cementa daudzumu, mazāku ūdens cementa attiecību un tātad satur vairāk  $\text{Ca(OH)}_2$ .



4. tabula. Betona stiprības un karbonizācijas attīstības ātruma parametrs  $K$

Betona grupa	Karbonizācijas attīstības ātrums $K$ (mm/ $\sqrt{s}$ )							
	0÷1	1÷2	2÷3	3÷4	4÷5	5÷6	6÷7	virs 7
<i>Zemas stiprības</i>	17%	13%	21%	17%	0%	29%	4%	0%
<i>Vidējas stiprības</i>	49%	29%	13%	1%	3%	4%	0%	0%
<i>Augstas stiprības</i>	34%	41%	9%	6%	0%	0%	0%	9%

Kā redzams pēc datiem, karbonizācijas attīstības ātrums dažādas stiprības betonam, var atšķirties 7 un vairāk reizes.

5. tabula. Betona stiprība un aprēķinātais kalpošanas laiks

Betona grupa	Kalpošanas laiks (gadi)		
	0÷50	50÷100	virs 100
<i>Zemas stiprības</i>	38%	29%	33%
<i>Vidējas stiprības</i>	7%	7%	86%
<i>Augstas stiprības</i>	9%	6%	84%

Betona stiprības sakarības ar kalpošanas laiku ir parādīta 5. tabulā. Pēc tabulas var secināt, ka augstas/vidējas stiprības betonam karbonizācijas ietekme ir minimāla.

## 6. Secinājumi

Pētījumā tika veikta karbonizācijas ietekmes analīze un noteikts kalpošanas laiks, izmantojot vienkāršu aprēķina modeli, kura neprecizitāte ievērtēta par labu drošumam.

Iegūtie rezultāti parāda, ka pie Latvijas apkārtējās vides apstākļiem, tiltos izmantotais betons nodrošina pietiekamu pretestību karbonizācijai, lai nodrošinātu kalpošanas laiku 100 gadi, ja minimālais betona aizsargkārtas biezums ir 40 mm.

Jāņem vērā, ka šis kalpošanas laiks raksturo brīdi, kad betonā var sākties korozija, kas nozīmē, ka konstrukcija nestspēju zaudēs vēl vēlāk.

Kā par galveno iemeslu īsajam kalpošanas laikam attiecībā uz karbonizāciju esošajiem tielēm, var uzskatīt nepietiekamo aizsargkārtas biezumu, kas sastāda 75% zem 30 mm un 90% zem 40 mm.

Pārbaudēs pielietotā karbonizācijas noteikšanas metode un iegūtie dati ļauj aprēķināt kalpošanas laiku. Precīzākai kalpošanas laika noteikšanai būtu nepieciešami precīzāki dati par vidi un betona īpašībām. Lai pielietotu daudz sarežģītākus modeļus (LifeCon metodi pilnās varbūtības modelim) ir nepieciešama daudz detalizētāka izpēte.

## Literatūra

1. Richardson M. G. Fundamentals of Durable Reinforced Concrete, Spon Press, 2002, London.
2. Lay S., Schießl P. LifeCon Deliverable D 3.2 Service Life Models. RDT, 2003.
3. DuraCrete – Probabilistic Performance Based Durability Design of Concrete Structure: Modelling of Degradation, Report No. BE95-1347/R4-5, 1998.
4. LVS EN 206-1:2000 „Betons. 1.daļa: Tehniskie noteikumi, darbu izpildījums, ražošana un atbilstība”.
5. LVS EN 1992-1-1:2005 „2. Eirokodekss: Betona konstrukciju projektēšana. 1-1.daļa: Vispārīgie noteikumi un noteikumi ēkām”.
6. Ahrens C. D. Essentials of Meteorology, An Invitation to the Atmosphere. Third edition. Thomson, 2000.

***Gode K., Paeglītis A. Betona karbonizācijas ietekmes uz dzelzsbetona tiltu kalpošanas laiku Latvijā analīze***

*Karbonizācijas ietekmes uz dzelzsbetona tiltu kalpošanas laiku analīze tika veikta balstoties uz pēdējo 10 gadu laikā Latvijā veiktajām tiltu inspekcijām un matemātisko modeli. Kalpošanas laiks šajā pētījumā ir attiecināms tikai uz karbonizācijas ietekmi, neņemot vērā citus bojājumu veidus. Kalpošanas laika aprēķins balstās uz karbonizācijas dziļuma un betona aizsargkārtas biezuma mērījumiem, kuri noteikti no aptuveni 100 tiltu konstrukcijām, kur vienam tiltam dažādiem elementiem tika noteikts viens vai vairāki mērījumi. Kalpošanas laiks tiltu dzelzsbetona konstrukcijām tika aprēķināts salīdzinot betona aizsargkārtas biezumu ar prognozējamo karbonizētā slāņa biezumu, pielietojot varbūtības teorijas metodes. Aprēķinātais kalpošanas laiks tika analizēts ņemot vērā betona stiprību un betona aizsargkārtas biezumu. Veiktā analīze apliecina, ka Latvijā tiltos izmantotajam betonam ir pietiekama karbonizācijas pretestība, lai nodrošinātu kalpošanas laiku 100 gadi, ja minimālā betona aizsargkārtā ir 40 mm. Galvenais iemesls īsajam kalpošanas laikam dēļ karbonizācijas ir nepietiekams betona aizsargkārtas biezums.*

***Gode K., Paeglītis A. Analysis of influence of the concrete carbonation on reinforced concrete bridge service life in Latvia***

*The analysis of this paper has been based on data from carbonation tests performed during bridge inspections of the last 10 years in Latvia and a simplified carbonation model. The service life in this paper is referred to influence of carbonation without taking other deterioration processes in count. The bridge concrete cover and carbonation depth data was obtained from about 100 bridge structures where each had one or more measurements. Comparing the concrete cover values and the prognosis of carbonation depth values the service life was calculated. The service life of bridge concrete structures was calculated using probabilistic methods. The calculated service life was analyzed basing on concrete strength and cover data obtained in bridge inspections. The results show that the concrete used in bridges built in Latvia has sufficient carbonation resistance to ensure the service life of 100 years if the minimal concrete cover is at least 40 mm. It has been concluded that the short service caused by concrete carbonation is because of insufficient concrete cover.*

***Годе К., Паеглитис А. Анализ влияния карбонизации бетона на срок эксплуатации железобетонных мостов в Латвии***

*Анализ влияния карбонизации на время эксплуатации железобетонных мостов был выполнен на основе математической модели и проведенных в Латвии проверок мостов за последние 10 лет. Время службы в этом исследовании относится только к влиянию на карбонизацию, не учитывая других видов повреждения. При расчете времени эксплуатации за основу были взяты глубина карбонизации и толщина защитного слоя бетона при анализе более 100 мостов. В исследовании вычислено время эксплуатации железобетонных конструкций мостов, применяя*

*методы теории вероятности. Вычисленное время службы было проанализировано, учитывая прочность бетона и толщину защитного слоя бетона. Произведенный анализ свидетельствует о том, что в Латвии, в используемом в мостах бетоне, имеется достаточное сопротивление карбонизации, чтобы обеспечить время служения на 100 лет, если минимальный защитный слой бетона - 40 мм. Главная причина короткого времени служения из-за карбонизации - это недостаточная толщина защитного слоя бетона.*