

# CHEMICKÁ ANALÝZA BETÓNOVÝCH TRÁMCOV VYSTAVENÝCH AGRESÍVNEMU PROSTREDIU

CHEMICAL ANALYSIS OF CONCRETE BEAMS EXPOSED TO AGGRESSIVE  
ENVIRONMENTS

Ing. Iveta Hegedüsová, Ph.D., Doc. Ing. Sergej Priganc, Ph.D.

## ABSTRAKT

V článku sú prezentované výsledky chemickej analýzy betónových trámec dlhodobo vystavených mikroklimu poľnohospodárskeho objektu. Chemický rozbor sa urobil po 27 rokoch expozície v agresívnom prostredí za účelom posúdenia množstva nepriaznivých chemických látok v betónovom prvku a ich dopad na jeho degradáciu. Betónové trámce boli vystavené vplyvu agresívneho prostredia počas dlhého časového úseku.

**Kľúčové slová:** betónové trámce, chemická analýza, chloridy, sírany, dusičnany, amónne soli.

## ABSTRACT

The article presents chemical analysis results of concrete beams exposed to microclimate conditions of an agricultural structure for a long time. The chemical analysis has been made after 27 years of the aggressive environment exposure to evaluate the amount of unfavourable chemical substances in a concrete element and their impact onto its degradation. The concrete beams were exposed to the aggressive environment influence for a long period of time.

**Key words:** concrete beams, chemical analysis, chlorides, sulfates, nitrates, ammonium salts.

## 1 ÚVOD

Problematika súčasných existujúcich poľnohospodárskych objektov na Slovensku, popísaná v [1], poukazuje na nutnosť eliminácie degradačných vplyvov na životnosť betónovej konštrukcie týchto objektov. Pri ich výstavbe vplyv maštalného prostredia nebol dostatočne popísaný a ani ošetrovaný vtedajšími platnými normami, preto v súčasnosti vysoký stupeň ich degradácie poukazuje na možné oslabenie nosnej funkcie. V minulosti sa vykonal chemický rozbor vzoriek odobratých z degradovaných stropných panelov, výsledky sú uvedené v [1] a [2] a tieto poznatky sú doplnené o výsledky z rozboru betónových trámec, ktoré boli v objekte uložené v svetlíkovom priestore, aby boli vystavené rovnakým podmienkam ako stropné panely. Chemický rozbor bol zameraný na zistenie obsahu škodlivých látok v betónovej konštrukcii (amónne soli, chloridové ióny, sírany, dusičnany) a alkalitu, vzhľadom na dlhodobý vplyv agresívneho maštalného prostredia a následnú degradáciu týchto betónových prvkov.

## 2 PRÍPRAVA EXPERIMENTU

Betónové trámce o rozmere 40 x 40 x 160 mm boli účelovo uložené do priestoru svetlíka strešnej konštrukcie v objekte kravína K-174 v Liptovskom Ondreji v roku 1987. Cieľom uloženia vzoriek v objekte bolo získanie údajov o vplyve agresívneho prostredia na betónovú konštrukciu. Trámce boli v objekte uložené 27 rokov, predpokladalo sa, že po dlhšom časovom úseku uskladnenia budú mať

tieto vzorky zaujímavú výpovednú hodnotu z hľadiska poskytnutia cenných poznatkov o degradácii betónu vplyvom agresívneho prostredia na základe chemickej analýzy.

Trámce boli z objektu K-174 prevezené a uskladnené v suchom prostredí laboratória, kde boli roztriedené a označené. Z hľadiska triedenia do skupín sa zohľadňoval vzhľad, miera poškodenia, povrchová štruktúra jednotlivých vzoriek. Dôležitým parametrom pre zatriedenie do skupín bolo aj pôvodné značenie na vzorkách, ktoré naznačovalo, ktoré vzorky pochádzajú z rovnakej zámesi betónu. Pôvodná receptúra týchto betónových trámecov sa totiž nezachovala, informácia z dostupného zdroja hovorí, že dokumentácia bola v pôvodnom podniku skartovaná. Avšak vykonali sa pevnostné skúšky [1], ktoré preukázali, že ide o vysokopevnostný betón.

Triedením vzniklo *dvanaásť skupín vzoriek*, označených značkou 1a až 12b (Obr. 1). Väčšia časť vzoriek vykazovala tuhú štruktúru (1a – 5b), menšia časť mala štruktúru pórovitú (6a -7c, 12a – 12b), vzorky s označením od 1a - 7c a vzorky 12a - 12b boli bez výstuže, vzorky s označením od 8a – 11b boli vystužené jedným prútom o priemere 12 mm. Z vizuálneho hľadiska vzorky nevykazovali viditeľné poškodenie na ich povrchu, o čom svedčí aj fotodokumentácia, avšak sfarbenie povrchu a zápach naznačovali chemické znečistenie.



Obr. 1 Triedenie vzoriek do skupín

### 3 CHEMICKÁ ANALÝZA

Chemická analýza, jej cieľ a náplň, je popísaná v [1]. Štandardnými postupmi sa získali poznatky o obsahu škodlivých látok v trámcoch, čo umožnilo posúdiť nepriaznivý vplyv týchto látok na kvalitu betónu. Aj u betónových trámecov (rovnako ako u stropných panelov) bol použitý fenolftaleínový test a u vzoriek, po spracovaní na výluhy, sa stanovila alkalita na základe merania hodnôt pH. Stanovili sa aj koncentrácie chloridových iónov  $[-Cl^-]$ , dusičnanov  $[-NO_3^-]$ , amónnych solí  $[-NH_4^+]$  a semikvantitatívne sa posudzovala aj prítomnosť síranov  $[-SO_4^{2-}]$ .

#### 3.1 Príprava a meranie vzoriek

Betónové trámce sa podrobili v prvom kroku pevnostným skúškam, čo je popísané v [2]. Zostatkové vzorky trámecov s pôvodným označením 1a – 12b sa do chemického laboratória previezli v mikroténových vreckách s rovnakým označením. V laboratóriu boli rozdelené do dvoch skupín, na skupinu vzoriek trámecov bez výstuže (1a – 7c a 12a – 12b), spolu 27 vzoriek, na skupinu vzoriek trámecov s výstužou (8a – 11b), spolu 10 vzoriek. Z každej vzorky sa jej časť použila na fenolftaleínový test a zvyšok vzorky sa použil na pomletie. Príprava výluhov (Obr. 2) a meranie vzoriek je popísané v [1].



Obr. 2 Příprava výluhov ku skúškam

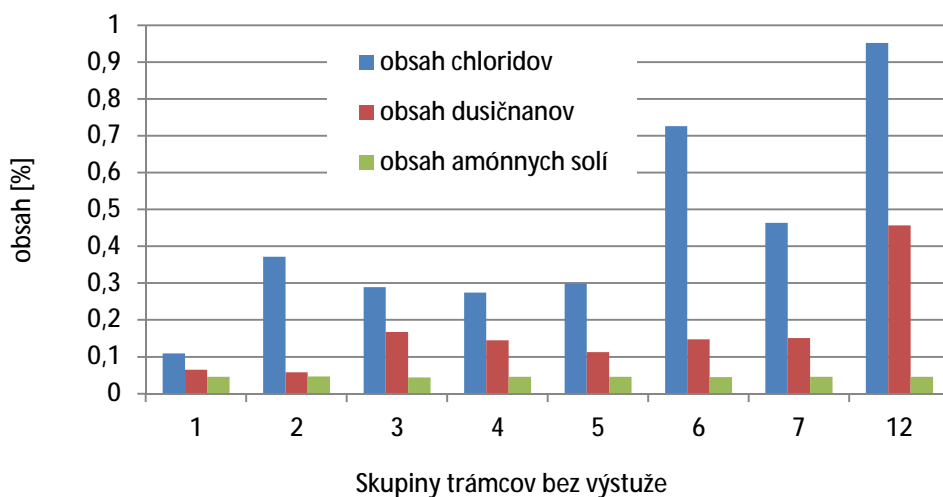
Po ukončení chemických skúšok sa namerané hodnoty spracovali, koncentrácie uvedené v mg/l sa prepočítali na percentuálny obsah a výsledky sa zaznamenali v Tab. 1 a 2. Na Obr. 3 a 4 je pre porovnanie **priemerného obsahu** chemických látok v jednotlivých skupinách uvedené grafické znázornenie pre skupiny trámčov bez výstuže a grafické znázornenie pre skupiny trámčov s výstužou.

Ozn. vzorky	pH[-]	chloridy [%]	dusičnany [%]	sírany semikvant.	amónne soli [%]
1a	9,82	0,161	0,062	++	0,049
1b	10,37	0,128	0,058	+++	0,047
1c	10,50	0,103	0,055	+++	0,044
1d	10,02	0,114	0,113	++	0,045
1e	9,20	0,092	0,058	+	0,048
1f	9,16	0,099	0,060	+++	0,044
1g	9,38	0,104	0,054	++	0,043
1h	9,01	0,073	0,059	++	0,047
2a	9,12	0,598	0,058	+	0,046
2b	9,48	0,145	0,058	+++	0,047
3a	9,03	0,031	0,108	+++	0,043
3b	9,26	0,096	0,113	+++	0,045
3c	8,86	0,103	0,220	+++	0,044
3d	9,10	0,929	0,226	+++	0,045
4a	8,79	0,906	0,237	+++	0,047
4b	8,65	0,034	0,119	+++	0,048
4c	8,98	0,076	0,107	+++	0,043
4d	8,97	0,078	0,115	+++	0,046
5a	9,26	0,099	0,109	+++	0,044
5b	9,15	0,498	0,117	+++	0,047
6a	9,27	0,620	0,115	+++	0,046
6b	9,30	0,099	0,217	+++	0,043
6c	9,78	1,460	0,114	+++	0,046
7a	9,08	1,001	0,228	++	0,046
7b	9,15	0,088	0,119	+++	0,048
7c	9,10	0,303	0,107	+	0,043
12a	9,27	1,071	0,487	+++	0,049
12b	9,33	0,832	0,427	+++	0,043

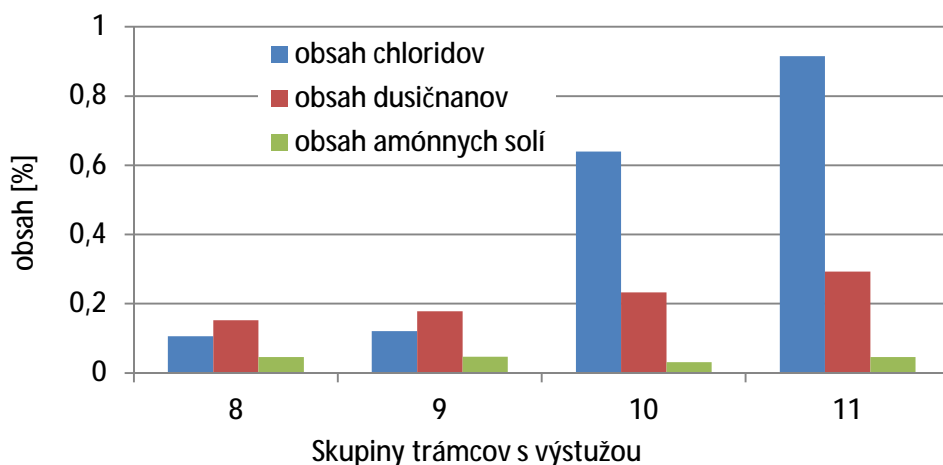
Tab. 1 Namerané hodnoty na trámoch bez výstuže

Ozn. vzorky	pH[-]	chloridy [%]	dusičnany [%]	sířany semikvant.	amónne soli [%]
8a	10,21	0,135	0,122	++	0,049
8b	9,75	0,066	0,106	++	0,043
8c	10,13	0,116	0,228	+++	0,046
9a	10,01	0,120	0,248	++	0,050
9b	10,65	0,121	0,107	++	0,043
10a	10,35	0,331	0,467	+++	0,047
10b	9,98	0,176	0,124	++	0,025
10c	9,45	0,133	0,109	++	0,022
11a	10,12	0,314	0,111	++	0,044
11b	9,96	1,515	0,475	++	0,048

Tab. 2 Namerané hodnoty na trámcoch s výstužou



Obr. 3 Percentuálny obsah chemických látok – trámce bez výstuže

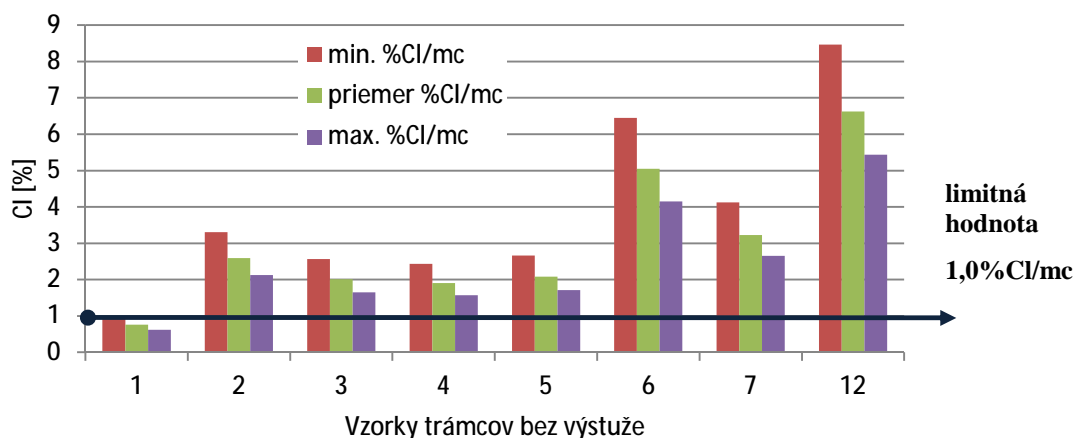


Obr. 4 Percentuálny obsah chemických látok – trámce s výstužou

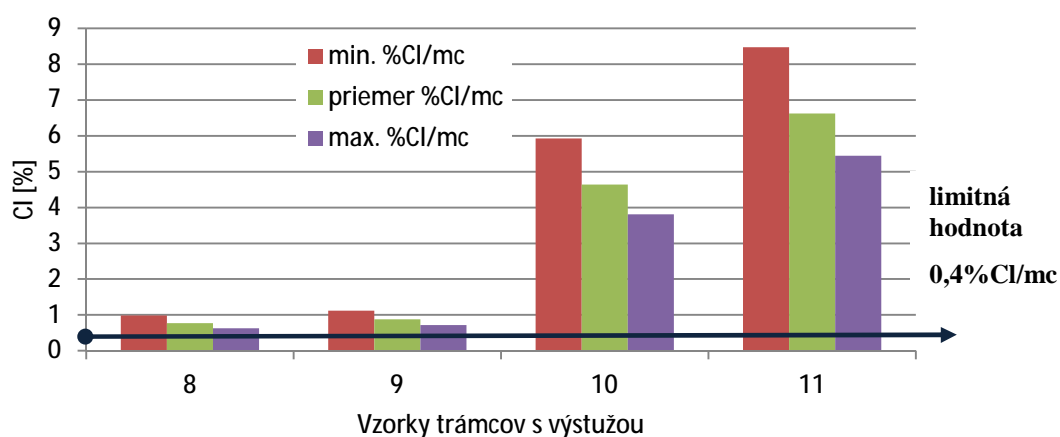
#### 4 VÝSLEDKY Z CHEMICKÉHO ROZBORU

Z hľadiska alkality (rozptyl pH 8,65 - 10,65) vzorky trámcov bez výstuže vykázali III. stupeň karbonatácie, len v dvoch skupinách sa preukázal II. stupeň karbonatácie (Tab. 1). U trámcov s výstužou bol preukázaný II. stupeň karbonatácie (Tab. 2). Fenolftaleinový test zaznamenal u trámcov bez výstuže aj u trámcov s výstužou rôznu hĺbku karbonatácie (2 - 4mm), bol čiastočne pozitívny. U štyroch trámcov hĺbka karbonatácie presiahla kryciu vrstvu betónom (17, 18 mm).

Z hľadiska obsahu chloridových iónov sa ich množstvo posudzuje podľa hodnoty požadovanej kategórie podľa Tab. 10 uvedenej v norme [3] a to na základe percentuálnej hodnoty chloridových iónov vzťahnutej k hmotnosti cementu. Ako bolo uvedené v [1], pre betón s oceľovou výstužou je medzná hodnota 0,4 % Cl<sup>-</sup> a pre prostý betón 0,1% Cl<sup>-</sup>. Priemerné hodnoty boli prepočítané a vzťahnuté k hmotnosti cementu a sú uvedené na Obr. 5 a 6. Keďže pôvodná receptúra betónovej zmesi nebola k dispozícii, pre účel vyhodnotenia merania boli zvolené tri hodnoty obsahu cementu v betóne a to minimum, maximum a priemer z obvyklých hodnôt, a teda uvažovalo sa s informatívnou hodnotou percentuálneho obsahu chloridových iónov vzťahnutou k hmotnosti cementu pre minimálne tri rôzne možné zmesi.



Obr. 5 Percentuálny obsah Cl<sup>-</sup> k hmotnosti cementu



Obr. 6 Percentuálny obsah Cl<sup>-</sup> k hmotnosti cementu

Podľa nameraných výsledkov pre betónové trámce jednoznačne vyplynulo, že obsah chloridových iónov **prekračuje limitné hodnoty takmer u každej skupiny vzoriek** aj pri maximálnej hodnote

podielu množstva cementu. Je známe, že prítomnosť chloridových iónov v betóne nie je priaznivá skutočnosť, ich vplyvom môže dôjsť k **bodovej korózii výstuže**.

Z **hľadiska koncentrácie síranových iónov** u sledovaných betónových trémcov bola preukázaná pozitívna troma rôznymi stupňami a to slabá (+), stredne silná (++) a veľmi silná (+++) pozitívna. Tento výsledok sa javí ako logický, vzhľadom na to, že trémce uložené vo svetlíkovom priestore svojou vzájomnou polohou (poukladané vedľa seba a na sebe) mohli ovplyvniť prenikanie iónov dovnútra.

Z **hľadiska koncentrácie dusičnanových iónov** najnižšie koncentrácie boli preukázané u skupiny vzoriek bez výstuže, kde maximálna hodnota bola 0,487 % ( $-\text{NO}_3^-$ ). U vzoriek s výstužou bola maximálna hodnota 0,475 % ( $-\text{NO}_3^-$ ).

Z **hľadiska koncentrácie amónnych solí** bola u skupiny trémcov bez výstuže maximálna hodnota 0,049 % ( $-\text{NH}_4^+$ ), u skupiny trémcov s výstužou bola maximálna hodnota 0,050 % ( $-\text{NH}_4^+$ ). Z nameraných hodnôt je vidieť, že pri tejto skúške hodnoty kolísali najmenej. Z hľadiska ohrozenia konštrukcie uvedené percentuálne množstvá amónnych solí nepredstavujú akútnu hrozbu.

## 5 ZÁVER

Uvedené výsledky naznačujú, že v agresívnom prostredí je dôležité sledovať obsah škodlivých látok v betónovej konštrukcii. Ich koncentrácia nemusí byť nebezpečná, no na druhej strane môže dosiahnuť také percentá, ktoré sú už pre konštrukciu neprijateľné. Chloridy spôsobujú nebezpečnú bodovú koróziu výstuže, pri ktorej dochádza k náhlemu hĺbkovému úbytku prierezovej plochy výstuže. Dusičnany spôsobujú postupnou chemickou reakciou výrazné zväčšenie objemu pevnej fázy, čo spôsobuje degradáciu štruktúry cementového kameňa. Síranová degradácia betónu súvisí so vznikom síranových minerálov, ktoré následne spôsobujú objemové zmeny vo vnútri štruktúry betónu. Z hľadiska amónnych solí k degradácii cementového kameňa dochádza redukciou kyslíkových zlúčenín dusíka na amoniak.

Zaujímavým poznatkom, ktorý vyplynul z uvedených skúšok a zo skúšok publikovaných v [1] je skutočnosť, že prenikanie sledovaných chemických látok neovplyvňuje vo vysokej miere pevnosť betónu. Obsah nameraných látok v zlomkoch stropných panelov a v trémcoch poukazuje na fakt, že v betóne s vyššou pevnosťou (trémce) je možné namerať vyššie koncentrácie látok než v betóne s nižšou pevnosťou (stropné panely).

Záverom je možné skonštatovať, že pre betónové prvky určené do agresívneho prostredia treba dôsledne navrhovať zloženie betónovej zmesi a to z hľadiska špeciálnych prímiesí, ktorými je možné eliminovať prienik škodlivých látok dovnútra konštrukcie.

### Podakovanie

Príspevok vznikol vďaka podpore grantového projektu VEGA 1/0661/16 - „Správanie sa nosných prvkov z obyčajného a ľahkého betónu ovplyvnených teplotou.“

### Použitá literatúra

- [1] Priganc, Sergej; Hegedüsová, Iveta. Zhodnotenie stavu stropných panelov v agresívnom prostredí. Czech Journal of Civil Engineering. 2015/2. ISSN 2336-7148.
- [2] Hegedüsová, Iveta; Priganc, Sergej. Analýza vlastností betónových panelov v agresívnom prostredí. TU – SvF 2015. ISBN 978-80-553-2312-1.
- [3] STN EN 206-1. Betón. Časť 1: Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda. 2002.