

# ZHODNOTENIE STAVU STROPNÝCH PANELOV V AGRESÍVNOM PROSTREDÍ

## CONDITION EVALUATION OF CEILING PANELS IN AN AGGRESSIVE ENVIRONMENT

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

### ABSTRAKT

V článku sú prezentované výsledky chemickej analýzy betónových vzoriek odobratých z existujúcich stropných panelov. Panely sú súčasťou nosného systému poľnohospodárskeho ustajňovacieho objektu. Analýza sa previedla za účelom preukázania nepriaznivého vplyvu agresívneho prostredia na betónovú nosnú konštrukciu.

### *Kľúčové slová:*

Stropný panel, degradácia, chemická analýza, obsah chloridových iónov, karbonatácia

### ABSTRACT

The article presents chemical analysis results of concrete samples withdrawn from actual ceiling panels. The panels are a part of a load-bearing system of an agricultural farming structure. The analysis has been carried out to prove an unfavourable impact of the aggressive environment onto the bearing structure.

**Key words:** Ceiling panel, degradation, chemical analysis, chloride ion content, carbonation

## 1 ÚVOD

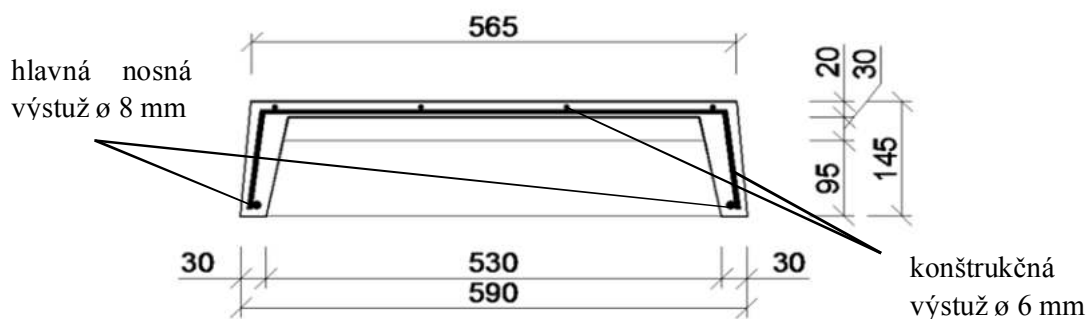
Poľnohospodárske objekty na Slovensku, ktoré boli budované v 60 - tých rokoch minulého storočia, v súčasnosti vykazujú vysoký stupeň degradácie. V období intenzívneho rozvoja výstavby veľkokapacitných kravínov normy, ktoré boli v platnosti, len v malej miere zohľadňovali vplyv nepriaznivého prostredia na nosný železobetónový prvok. Z dôvodu nedostatku poznatkov o nepriaznivých účinkoch špecifického maštalného agresívneho prostredia na nosný prvok dnes objekty živočíšnej výroby vykazujú značné poškodenie a následné oslabenie svojej nosnej funkcie. Maštalné prostredie je prezentované najmä vysokou relatívnou vlhkosťou, škodlivými plynmi, maštalnými kyselinami, baktériami a plesňami. Ďalším dôvodom degradácie je fakt, že v minulosti sa týmto objektom z hľadiska ich údržby nevenovala dostatočná pozornosť, čo sa výrazne odrazilo na znížení ich funkčnosti. Tento problém sa dotýka niekoľko stoviek objektov, ktoré boli postavené na území celého Slovenska a ktoré dodnes slúžia na ustajnenie hovädzieho dobytku. Prevažná väčšina z nich vyказuje vážne známky poškodenia, v najväčšej miere ide o degradáciu stropných panelov.

## 2 SÚČASNÝ STAV STROPNÝCH PANELOV

Na diagnostiku boli vybrané rebierkové vyľahčené železobetónové stropné panely s označením SZD 10n – 450 (Obr.1), ktoré boli montované v objektoch kravína typu K-174. Sú to extrémne vyľahčené prvky, ktoré boli v období ich výroby staticky spoľahlivé. Vplyvom ich subtílnosti však došlo k degradácii oveľa skôr, ako sa predpokladalo. Tieto stropné panely tvoria nosnú konštrukciu strechy kravína. Panel má šírku rebra 30 mm a hrúbku dosky 20 mm. V pozdĺžnych rebrách je umiestnená

hlavná nosná pozdĺžna výstuž (jeden profil s priemerom 8 mm). Výstuž je kotvená v čelných rebrách súdržnosťou alebo privarením k priečnym prútom (priemer 6 mm) [1].

Obhliadka stropných panelov preukázala v podhľadovej časti známky karbonatácie, čo malo za následok pokles ochrannej funkcie výstužných vložiek a výstuž začala korodovať. Došlo k vzniku pozdĺžnych trhlin v rebrách v úrovni hlavnej nosnej výstuže. Pozdĺžne trhliny boli pozorované na prevažnej väčšine stropných panelov, navyše súdržnosť medzi výstužou a betónom bola buď narušená alebo dokonca úplne zrušená. Betón bol miestami odpadnutý, teda krytie betónom neexistovalo, výstuž bola obnažená (Obr. 2). Následne bol meraný priemer tejto obnaženej výstuže, kritický úbytok prierezovej plochy zaznamenaný nebol. Obhliadka sa zamerala aj na zhodnotenie okrajových podmienok uloženia stropného panela, kde sa predpokladal vplyv agresívneho prostredia do vnútra kotviacej oblasti. V kritickej oblasti kotvenia trhliny neboli pozorované a preto zlyhanie panela z dôvodu porušenia v kotevnej oblasti sa nepredpokladá. Stropné panely boli obhliadnuté aj z pozície ich hornej hrany. Po odstránení jednotlivých vrstiev strešného plášťa sa skonštatovalo, že pozorovaná zálievka bola sčasti porušená, miestami dokonca chýbala.



Obr. 1 Priečny rez panelom



Obr. 2 Degradácia stropných panelov

V rámci obhliadky stropných panelov boli odobraté vzorky z troch najviac degradovaných stropných panelov (spolu 5 vzoriek). Vzorky boli prevezené do laboratória a podrobené chemickému rozboru. 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 na stropné panely a následnú degradáciu týchto železobetónových prvkov.

### 3 CHEMICKÁ ANALÝZA

Cieľom chemickej analýzy bolo stanoviť zmeny alkalické reakcie v prvom kroku semikvantitatívne fenolftaleínovým testom, vzorky sa následne spracovali a z pripravených výluhov sa stanovila alkalita na základe merania hodnôt pH. Vzhľadom na špecifické podmienky prostredia objektu K-174 sa v ďalších krokoch stanovili koncentrácie chloridových iónov  $[-Cl^-]$ , dusičnanov  $[-NO_3^-]$ , amónnych solí  $[-NH_4^+]$ . Súčasne sa vo vzorkách semikvantitatívne posudzovala aj prítomnosť síranov  $[-SO_4^{2-}]$ . Skúmané vzorky boli testované štandardnými postupmi za účelom získania poznatkov o obsahu škodlivých látok a to z dôvodu nepriaznivého vplyvu týchto látok na kvalitu betónu.

#### 3.1 Príprava vzoriek

K dispozícii bolo 5 vzoriek z panelov, z každej vzorky sa časť použila na fenolftaleínový test a zvyšok vzorky sa použil na pomletie v drvičke s označením BCD 32. Pomletá vzorka sa presypala na sústavu sít a preosiatím sa zabezpečila potrebná frakcia (jemné zrno s priemerom 0 – 0,5 mm) (Obr.3) k analýze. Do skúmaviek sa pomocou digitálnej váhy postupne navážili práškové vzorky o hmotnosti približne 2 g. Každá vzorka sa zaliala 100 ml deionizovanej vody a uzavrela sa fóliou, aby sa do skúmavky nedostali cudzie látky. Pripravené roztoky stáli v laboratóriu 24 hodín, aby sa mohli vylúhovať látky obsiahnuté v betónovom prášku.



Obr. 3 Príprava roztokov ku skúškam

#### 3.2 Meranie vzoriek

##### 3.2.1 Fenolftaleínový test

Po nastriekaní fenolftaleínového roztoku na betónovú plochu vzoriek sa po hodine pôsobenia pozorovalo sfarbenie povrchu jednotlivých vzoriek. Podľa [2] sa meria na rôznych miestach výška zafarbenia s presnosťou na 1 mm pomocou hĺbkomeru a za výslednú hodnotu hĺbky karbonatácie sa pokladá priemerná hodnota z nameraných hodnôt. Na všetkých vzorkách bol test negatívny (Obr.4), čo svedčí o vysokom stupni karbonatácie.

##### 3.2.2 Meranie pH a obsahu chloridov

Meranie hodnoty pH prebiehalo potenciometrickou metódou pomocou prístroja s označením pH meter MS 22, ktorý sa nakalibroval pomocou skúšobného roztoku na hodnotu 7,01. Do každej vzorky výluhu sa ponorili elektródy prístroja a z digitálneho displeja sa po ustálení odčítavala hodnota pH. Meranie obsahu chloridových iónov sa uskutočnilo rovnakým prístrojom, ktorý sa opäť nakalibroval a po výmene elektród sa rovnakým postupom meral elektrický potenciál (E) výluhu.

### 3.2.3 Meranie obsahu dusičnanov, síranov a amónnych solí

Dusičnanový test a test na prítomnosť amónnych solí sa realizoval meraciami súpravami pomocou činidla, rozsah merania sa pohyboval medzi 0 mg/l až 100 mg/l. Po uplynutí časového limitu sa v roztoku rozvinula farba, ktorá sa porovnávala s priloženou farebnou stupnicou (Obr.4).



Obr. 4 Výsledky testu na prítomnosť amónnych solí a fenolftaleínového testu

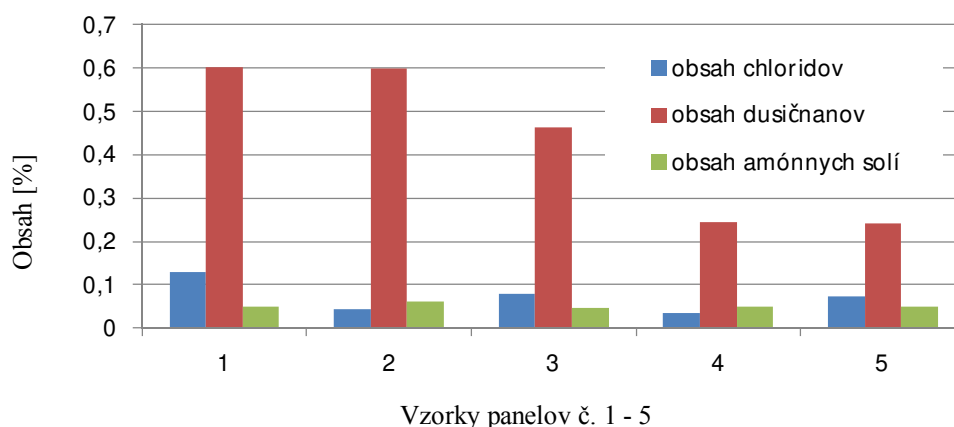
### 3.2.4 Meranie obsahu síranov

Síranový test sa realizoval semikvantitatívnou skúškou. Do výluhu sa pridal 10% - tný vodný roztok chlorovodíka HCl a roztok chloridu báratého BaCl<sub>2</sub>. Na základe intenzity bielej zrazeniny sa určila pozitívna reakcia, odstupňovaná podľa množstva bieleho zákalu v skúmavke.

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 na Obr. 5.

Ozn. vzorky	pH	Cl <sup>-</sup> [%]	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [%]	SO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [%]
1	8,98	0,129	0,601	+++	0,048
2	8,72	0,044	0,600	+++	0,060
3	9,23	0,079	0,463	+++	0,046
4	8,95	0,035	0,245	+++	0,049
5	9,13	0,072	0,241	+++	0,048

Tab. 1 Výsledky skúšok



Obr. 5 Obsah chemických látok vo vzorkách panelov

#### 4 VÝSLEDKY Z CHEMICKÉHO ROZBORU

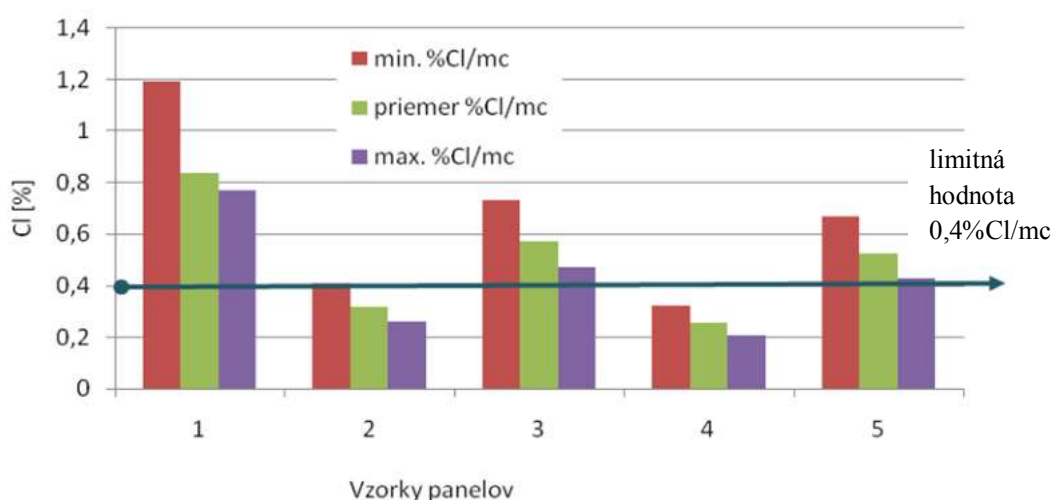
Z hľadiska alkality (pH 8,72 - 9,23) bol najvyšší stupeň karbonatácie (III. stupeň) preukázaný u všetkých vzoriek, čo potvrdil aj fenolftaleínový test, ktorý bol u týchto vzoriek negatívny.

Z hľadiska obsahu chloridových iónov možno skonštatovať, že u vzoriek stropných panelov bola preukázaná priemerná hodnota 0,072 % Cl. Tieto percentuálne hodnoty sú vzťahované k hmotnosti betónu. Norma uvádza, že obsah chloridov v betóne, vyjadrený percentuálnym podielom Cl<sup>-</sup> iónov k hmotnosti cementu nesmie prekročiť hodnoty požadovanej kategórie podľa Tab. 10 uvedenej v norme [3]. Pre betón s oceľovou výstužou platí kategória Cl 0,4, pre ktorú je medzná hodnota 0,4 % Cl. Priemerné hodnoty boli prepočítané a vzťahované k hmotnosti cementu a sú uvedené v Tab. 2.

Ozn. vzorky	%Cl/mb	min. %Cl/mc	priemer %Cl/mc	max. %Cl/mc
1	0,129	1,195	0,835	0,768
2	0,044	0,407	0,319	0,262
3	0,079	0,731	0,572	0,470
4	0,035	0,324	0,254	0,208
5	0,072	0,667	0,522	0,429
priemer	0,072	0,665	0,520	0,423

Tab. 2 Percentuálny obsah Cl<sup>-</sup> k hmotnosti betónu a cementu

Pôvodná receptúra betónovej zmesi nebola k dispozícii. Množstvá cementu pridávané do betónovej zmesi pri prefabrikátoch sa pohybovali v čase ich hromadnej výroby v intervale od 270 do 420 kg/m<sup>3</sup> v závislosti od typu prvku, od druhu kameniva a pod. Pre účel vyhodnotenia merania sa zvolili tri hodnoty obsahu cementu v betóne a to minimum, maximum a priemer z uvedených hodnôt, aby sa získala informatívna hodnota percentuálneho obsahu chloridových iónov vzťahovaná k hmotnosti cementu pre minimálne tri rôzne možné zmesi. Prítomnosť chloridových iónov v betóne nie je priaznivá skutočnosť, ich vplyvom dochádza k bodovej korózii aj v zásaditom prostredí [4]. Pri vyšších koncentráciách sa treba obávať výrazného úbytku prierezovej plochy výstuže, pretože ich migrácia do okolia výstuže urýchľuje jej elektrochemickú koróziu a zároveň dochádza aj k degradácii betónu vplyvom kryštalizačných tlakov. Nameraný obsah chloridových iónov predstavuje pre stropné panely riziko (Obr. 6).



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

Z hľadiska koncentrácie síranových iónov u sledovaných vzoriek panelov bola zhodne preukázaná veľmi silná pozitivita testu (+++). Možno predpokladať, že ide o vonkajšie chemické síranové napadnutie, spôsobené reakciou síranových iónov z vonkajších zdrojov so zložkami cementového kameňa.

Z hľadiska koncentrácie dusičnanových iónov u sledovaných vzoriek panelov bola maximálna hodnota nameranej koncentrácie 0,601 % ( $-\text{NO}_3^-$ ). Dusičnany predstavujú pre betónovú konštrukciu nebezpečenstvo, pretože reakcia dusičnanu s hydroxidom vápenatým spôsobuje zväčšujúcu sa pórovitosť cementového kameňa a ďalšou postupnou reakciou dochádza k výraznému zväčšeniu objemu pevnej fázy [5]. Dochádza k degradácii štruktúry cementového kameňa.

Z hľadiska koncentrácie amónnych solí bola u vzoriek panelov maximálna hodnota nameranej koncentrácie 0,060 % ( $-\text{NH}_4^+$ ), z hľadiska ohrozenia konštrukcie uvedené percentuálne množstvá nepredstavujú akútnu hrozbu.

## 5 ZÁVER

Z uvedených výsledkov vyplýva potreba dôkladne plánovať zloženie betónovej zmesi pre betónové prvky, u ktorých je predpoklad, že budú zabudované v agresívnom prostredí. Ako uvádza norma [3] vplyv síranovej agresivity je nutné eliminovať použitím cementov s vysokou síranovzdornosťou (portlandský cement s obsahom  $\text{C}_3\text{A}$  v slinku menším ako 8% hmotnostných) a zároveň použitím prísad ako je kremičitý úlet alebo mletý zeolit. Z hľadiska amónnej agresivity sa odporúča ako prísada taktiež kremičitý úlet a plastifikačná prísada.

Objekty vybudované v minulom storočí v súčasnosti nezodpovedajú dnešným požiadavkám noriem. Vyžadujú si dôslednú diagnostiku za účelom zhodnotenia ich stavu hlavne z hľadiska statickej funkcie. Na základe týchto získaných informácií je možné správne určiť typ rekonštrukčných prác, poprípade navrhnúť úplnú výmenu poškodených prvkov. Za účelom dôkladného zhodnotenia stavu betónových stropných panelov je potrebné k chemickej analýze doplniť aj statické skúšky, zamerané na zisťovanie priehybov stropných panelov a tieto merania je vhodné doplniť aj numerickou analýzou, pomocou ktorej by bolo možné určiť, či posudzovaný panel je alebo nie je schopný naďalej plniť svoju funkciu.

## Použitá literatúra

- [1] Fecko, Ladislav a kol. Experimentálne overovanie únosnosti strešných železobetónových panelov z objektu K-174 v Hrabušiciach. KBaKK, VŠT Košice. Výskumná úloha R-02-529-811. 1989.
- [2] Matoušek, Milan; Drochytka, Rostislav. Atmosferická koroze betonu. Ikaš Praha. 1998.
- [3] STN EN 206-1. Betón. Časť 1: Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda. 2002.
- [4] Bilčík, Juraj. Životnosť a trvanlivosť, obnova panelových domov, komplexné riešenie konštrukčných, technologických, hygienických a energetických problémov. JPD 3/2004/4-056, kód projektu 13120120137, Bratislava 6/2007. Európsky sociálny fond. <http://www.4-construction.com>.
- [5] Štefunková, Zuzana; Kmecová, Veronika. Vplyv roztokov dusičnanu amónneho na cementové pasty. Vidiecke stavby v európskych regiónoch II. Architektúra – konštrukcie – technológie – bezpečnosť – logistika. Zborník recenzovaných vedeckých prác. SPU Nitra. 2014. ISBN 978-80-552-1242-5.