

PRAKTICKÉ VYUŽITÍ SOUDNĚ KOMPARAČNÍ METODY – FYZIKÁLNĚ CHEMICKÉ ANALÝZY – PRO URČENÍ SHODNOSTI JEDNOTLIVÝCH DRUHŮ MATERIÁLŮ

Rostislav Drochytka¹, Jiří Bydžovský², Lukáš Dřínovský³, Amos Dufka⁴

1 Úvod

Zkušenosti ze znalecké praxe dokazují, že při posuzování a hodnocení vlastností stavebních materiálů zabudovaných v konstrukcích přináší nenahraditelné výsledky metody fyzikálně chemických analýz. Tyto metody, spolu s komplexem dalších soudně-inženýrských metod, umožňují vzájemnou komparaci jednoznačně určit například identitu materiálů odebraných z různých míst konstrukce, případně jejich stáří, míru degradace a rovněž různé korozní/degradační vlivy.

Mezi typické příklady, se kterými se v praxi velmi často setkáváme, a které bez využití fyzikálně chemických metod nelze relevantním způsobem řešit, patří například silikátové materiály (betony, malty, omítky apod.), ale i hmoty polymerní či polymery modifikované silikátové hmoty :

- Posouzení míry degradace působením agresivních látek (např. oxidem uhličitým – karbonatace, oxidem siřičitým – sulfatace apod.),
- Posouzení, zda je materiál kontaminován cizorodými látkami (např. chloridy – riziko enormní koroze výztuže, oleji – riziko nízké adheze správkových hmot k podkladu apod.),
- Stanovení, zda se jedná o beton na bázi portlandského či hlinitanového cementu,
- Stanovení množství a druhu pojiva (cementu, vápna, sádry apod.) v materiálu,
- Stanovení míry hydratace cementu v betonu (určení stáří betonu),
- Porovnání chemického a mineralogického složení pro určení identity hmot apod.

Námi zvolená soudně komparační metoda (fyzikálně chemická analýza) pomáhá znalcům při zpracování fundovaných znaleckých posudků exaktně analyzovat mikrostrukturu jednotlivých druhů materiálů, a tím tak s velkou přesností odpovědět na nejrůznější zadání znaleckých posudků, jako například určit stáří konstrukce(i) při reálném dělení nemovitostí, posouzení stejného materiálu při dodávce stavby, určení druhu (třídy) betonu, kvality materiálů atd.

2 Postupy fyzikálně chemických analýz

Cementová matrice betonu je jak z hlediska chemického, tak především mineralogického složení složitým komplexem. Rovněž tak procesy, ke kterým dochází je-li tato matrice vystavena působení chemicky agresivních látek mohou být poměrně složité.

¹ Rostislav Drochytka, prof. Ing., CSc., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Veveří 95, 602 00 Brno, tel.: +420 541 147 500, e-mail: drochytka.r@fce.vutbr.cz

² Jiří Bydžovský, doc. Ing., CSc., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Veveří 95, 602 00 Brno, tel.: +420 541 147 505, e-mail: bydzovsky.j@fce.vutbr.cz

³ Lukáš Dřínovský, Ing., Znalecký ústav STAVEXIS, s.r.o., Žižkova 63, 616 00 Brno, tel.: +420 541 211 596, e-mail: drinovsky.l@stavexis.cz

⁴ Amos Dufka, Ing., Ph.D., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců, Veveří 95, 602 00 Brno, tel.: +420 541 147 514, e-mail: dufka.a@fce.vutbr.cz

Pro korektní posouzení stavu betonu, míry jeho kontaminace cizorodými látkami či stanovení dalších specifík je nezbytné realizovat komplex fyzikálně chemických stanovení, přičemž výsledky jednotlivých analýz se vzájemně doplňují a rozšiřují. Mezi fyzikálně chemické analýzy, na základě kterých lze posoudit stav hodnoceného betonu patří především:

- **Chemický rozbor** – slouží pro stanovení obsahu jednotlivých prvků či sloučeniny v hodnoceném betonu.
- **Rentgenová difrakční analýza** (RTG analýza) – lze jím identifikovat přítomnost krystalických fází (minerálů) v hodnoceném betonu.
- **Diferenční termická analýza** (DTA analýza) – slouží především pro kvantifikaci obsahu jednotlivých fází hodnoceném betonu.
- Stanovení **pH betonu** ve výluhu – hodnota pH je jednou z veličin, dle níž lze posoudit míru degradace betonu. Má význam především z hlediska schopnosti betonu pasivovat výztuž vůči korozi.
- Snímkování mikrostruktury **rastrovacím elektronovým mikroskopem** (REM) – používá se především pro upřesnění údajů zjištěných výše uvedenými analýzami.
- **Infračervená spektroskopie** - analytická metoda určená především pro identifikaci a strukturní charakterizaci organických sloučenin

Nejčastěji jsou pro hodnocení vlastností materiálů aplikovány především první čtyři uváděné metody, metoda REM se zpravidla používá jako doplňková.

Při volbě, které z uvedených analýz budou při posuzování stavu a vlastností materiálů hodnocené konstrukce aplikovány, je nutno zohlednit účel analýz (tedy jakou informaci chceme získat – stáří materiálu, míru kontaminace apod.) charakter prostředí, ve kterém je daná konstrukce exploatována (zejména pak s ohledem na koncentraci a druh agresivních látek v prostředí atd.), specifika konstrukce (tzn. konstrukční uspořádání, materiálovou skladbu) apod.

Nelze zcela striktně formulovat postup a rozsah fyzikálně chemických analýz, který by byl obecně platný pro všechny typy stavebních konstrukcí a v nich zabudovaných hmot. Metodiku a rozsah zkoušek je třeba vždy relevantním způsobem modifikovat s ohledem na charakter hodnocené konstrukce.

V některých případech je třeba soubor výše uvedených stanovení rozšířit o další analýzy, mezi něž může patřit například infračervená absorpční spektrografie, studium struktury optickým mikroskopem apod.

V následujícím textu jsou stručně popsány metodiky a obecné postupy výše uvedených analýz.

2.1 Chemický rozbor

V souladu s ustanovením ČSN 72 0100 "Základní postup rozboru silikátů, Všeobecná ustanovení" a souvisejících ČSN se v betonu zpravidla zjišťuje obsah těchto sloučenin:

- Nerozložitelný podíl
- Oxid vápenatý
- Oxid hlinitý
- Oxid železitý
- Oxid manganatý
- Oxid hořečnatý
- Oxid sodný
- Oxid draselný

- Síranová síra
- Chloridy

Koncepce resp. rozsah chemického rozboru betonu (stejně jako dalších fyzikálně chemických analýz) se volí především s ohledem na podmínky, ve kterých je konstrukce exploatována. Je-li např. konstrukce užívána v chemicky znečištěném prostředí s vysokým obsahem síry, pak bude v rámci chemické analýzy zaměřena pozornost především na stanovení obsahu sloučenin síry v betonu. Existuje-li reálné riziko alkáliového rozpínání, je chemickým rozbořem monitorován především obsah alkálií a amorfního oxidu křemičitého v betonu atd. [1].

2.2 Rentgenová difrakční analýza

Difrakční metody strukturální analýzy jsou založeny na interferenci rentgenového záření a vycházejí z toho, že se v pevné látce se nachází vzájemně rovnoběžné roviny, které jsou od sebe vzdáleny o tzv. mezimřížkovou vzdálenost. Každá krystalická látka obsahuje mnoho různých rovin o mezimřížkových vzdálenostech, na kterých vzrostou hodnoty intenzit záření. Tyto hodnoty jsou charakteristické pro každou krystalickou látku.

Je-li beton vystaven agresivním médiím je pozornost zaměřena především na identifikaci minerálů vznikajících hydratací cementu (např. kalcit, vaterit, aragonit, ettringit, monosulfát apod.) a minerálů pocházející z kameniva (zejména β křemen, živce atd.) V případě, že je beton degradován působením agresivních látek z vnějšího prostředí, pak lze v jeho struktuře prokázat přítomnost produktů korozních reakcí probíhajících mezi cementovou maticí a agresivní látkou. (např. sádrovec, Friedlova sůl apod.).

Rentgenová difrakční analýza rovněž poskytuje cenné výsledky při posuzování, zda je pojivo v betonu na bázi portlandského, směsného či hlinitanového cementu. Pakliže hodnocený vzorek obsahuje hlinitanový cement pak lze RTG analýzou prokázat především přítomnost minerálů vznikajících konverzí hydratačních produktů hlinitanového cementu (např. gibbsit, C_3AH_6 atd.) [1].

2.3 Diferenční termická analýza

Diferenční termická analýza /DTA/ je dynamická, tepelně analytická metoda, založená naměření rozdílů teplot v závislosti na teplotě mezi zkoušeným a standardním vzorkem, současně vyhřívanými konstantní rychlostí v peci. Je spojena s termogravimetrií /TG/, která sleduje kvantitativně změnu hmotnosti vzorku jako funkci lineárně se měnící teploty. Na záznamu je rovněž zachycena derivační křivka /DTG/, vyjadřující závislost rychlosti změny hmotnosti vzorku na teplotě.

Diferenční termická analýza může být použita jednak jako kvalitativní stanovení, tzn. stanovení jehož cílem je určit složení hodnoceného materiálu. Častěji se však využívá jako kvantitativní stanovení, jehož cílem je přesně určit množství jednotlivých složek ve vzorku. V tomto případě je ovšem nutno znát chemickou rovnici, dle které daná reakce probíhala.

2.4 Stanovení pH betonu ve výluhu

Stanovení pH se u betonů provádí tak, že se zhotoví vodný výluh, tzn. přesně určené množství odebraného vzorku se ponechá vyluhovat v alikvotním množství destilované vody danou dobu. Vzorek betonu se rozemele a roztok je zhotovován z materiálu, který prošel sítím s oky 0,063mm. Pro získaný výluh se následně stanoví hodnota pH, a to buď pomocí lakmusových papírků (orientační stanovení), častěji pak s využitím elektronických pH metrů.

2.5 Snímkování mikrostruktury pomocí elektronového rastrovacího mikroskopu

Rastrovací elektronový mikroskop (REM) je v principu konstruován tak, že úzký elektronový svazek se vodí (řádkuje) po povrchu vzorku, kde vyvolává ionizační valenčních sfér atomů emisi sekundárních elektronů. Tyto sekundární elektrony jsou snímány detektorem, který dále modeluje elektronový paprsek na obrazovce tak, že probíhá synchronně se snímacím paprskem. Na základě různého excitačního proudu vzniká obraz, jehož kontrast je určen výtěžkem sekundárních (odražených) elektronů. Obraz v rastrovacím elektronovém mikroskopu se vyznačuje vysokou hloubkou ostrosti při rozlišovací schopnosti 5 až 10 nm.

2.6 Infračervená absorpční spektrografe

Tato metoda je založena na měření pohlcení infračerveného záření o různé vlnové délce analyzovaným materiálem. Infračerveným zářením je elektromagnetické záření v rozsahu vlnových délek 0,78 – 1000 μm , což odpovídá rozsahu vlnočtů $12800\text{--}10^3\text{ cm}^{-1}$. Analytickým výstupem je infračervené spektrum, které je grafickým zobrazením funkční závislosti energie, většinou vyjádřené v jednotkách absorpce (A) na vlnové délce. V tomto konkrétním případě vzorcích bylo provedeno ve střední oblasti 4000 - 200 cm^{-1} metodou pro měření pevných látek pomocí nástavce ATR.

3 Odběry vzorků pro analýzy

Způsob odběru vzorků pro další soudně inženýrské zkoumání se řídí druhem expertízy, pro kterou je prováděn. Individuální zásady odběru budou v každém případě dominovat, přitom je potřeba upozornit na možnost existence předpisů pro odběr vzorků v dané specializaci (například v technické normě). Z obecných zásad je nutno dbát na následující:

- místa a způsob odběru vzorků musí být jednotlivě perfektně dokumentovány písemně, příp. graficky a fotografií,
- odběr neprovádí znalec sám, ale po vyzvání všech zainteresovaných stran k účasti; vlastní odběr provádí zkušená osoba (pokud znalec není v tomto specialistou) a znalec pořizuje dokumentaci, nebo – v trestním řízení – při pořizování dokumentace spolupracuje;
- každý vzorek musí být nezaměnitelně označen; na štítku by měli být podepsáni i zúčastnění, aby byla zaručena autentičnost vzorku,
- pokud se týká počtu odebíraných vzorků, pak odebírají-li se vzorky materiálu ke zkouškám, je potřeba odebrat nejméně vzorky pro základní analýzu, vzorky pro případnou analýzu kontrolní a konečně vzorky pro třetí analýzu pro případ, že by se první dvě neshodovaly.

Pro dokončení prací na znaleckém posudku je nutno řádně uvážit, co se zbývajících vzorky. V trestním řízení je na místě předat vzorky s posudkem objednateli posudku. V ostatních druzích řízení je vhodné počkat na právoplatnost příslušného rozhodnutí v řízení, v němž byl posudek podán, a po uplynutí určité doby oficiálně vrátit vzorky majiteli. V žádném případě však není vhodné vzorky zničit.

4 Příklady využití fyzikálně chemických analýz ve stavební praxi

Význam fyzikálně chemických analýz v oblasti posuzování stavu resp. životnosti lze ilustrovat na následujících příkladech :

4.1 Posouzení stáří zděné konstrukce

Pro určení stáří zděné konstrukce, resp. pro stanovení zda různé části stavby byly zhotoveny současně ve stejném období, lze posouzení provést prostřednictvím komplexu analýz, provedených na vzorcích zdících malt odebraných z posuzovaných konstrukcí. Na odebraných vzorcích lze následně stanovit jednak shodu jejich složení a dále vzájemně komparovat jejich míru degradace (zejména karbonatů). Na exaktní určení je nezbytný správný odběr vzorků, velmi důležitou roli hraje zejména hloubka od povrchu konstrukce, z níž je vzorek odebrán.

Jedním z důležitých aspektů, který byl zohledňován při stanovení stáří hodnocených konstrukcí byla skutečnost, že malta, jejíž dominantní složkou matrice jsou hydratačními produkty vápna je při své exploataci korodována působením plynného oxidu uhličitého z atmosféry. Soubor reakcí, ke kterým dochází při působení oxidu uhličitého na matici malty je nazýván souhrnným pojmem karbonatace. Stanovení míry karbonatace je jedním z atributů umožňujících stanovit stáří malty.

Při konkrétním znaleckém úkolu bylo zadáním stanovit, zda štítová zeď posuzovaného objektu byla postavena současně jako jeden celek s domem, či zda byly jednotlivé části stavby dostavovány postupně. Za účelem stanovení stáří jednotlivých částí předmětného objektu byly v různých částech objektu (foto č. 1 a 2) odebrány reprezentativní vzorky zdící malty (tj. konkrétně ze štítové zdi a z obvodové zdi), které byly podrobeny fyzikálně chemickým stanovením, umožňujícím exaktně analyzovat mikrostrukturu malty a posoudit tak přibližné stáří konstrukce, ze které byly odebrány. S ohledem na soudně komparační metodu určení shodnosti jednotlivých druhů materiálů byly celkem z hodnocených konstrukcí odebrány dva vzorky zdící malty. Vzorky jsou v dalším textu označovány symboly V1 a V2. Specifikace míst odběru vzorků a výsledky jejich analýz je uvedena v tabulce číslo 1 - 6.

Tabulka 1: Lokalizace míst odběru vzorků zdící malty

Označení vzorku	Místo odběru vzorku
V1-štíťová zeď	Ze štítové zdi v průjezdu přibližně 2 m od obvodové zdi a cca 2 m od horního líce původní štítové zdi objektu
V2-obvodová zeď	Obvodová zeď původního domu směrem do ulice, cca 2 m od vchodu do průjezdu



Foto 1 a 2: Lokalizace míst odběru vzorků

Vzorky zdící malty byly podrobeny následujícím fyzikálně chemickým stanovením:

- Chemické analýze
- Rentgenové difrakční analýze
- Diferenční termické analýze

- Stanovení pH ve výluhu

Výsledky chemického rozboru vzorků malty jsou uvedeny v tabulce číslo 2.

Tabulka 2: Chemický rozbor

Označení vzorku	Nerozp. zbytek [%]	CaO [%]	Fe ₂ O ₃ [%]	Al ₂ O ₃ [%]	MnO [%]
V1-štitová zed'	75,45	12,80	0,85	0,80	0,031
V2-obvodová zed'	73,27	13,52	1,02	0,95	0,033

Výsledky rentgenové difrakční analýzy vzorků malty jsou uvedeny v tabulce číslo 3.

Tabulka 3: Rentgenová difrakční analýza

Označení vzorku	Identifikovaný minerál
V1-štitová zed'	Kalcit, aragonit, stopově portlandit, β-křemen, živce, biotit, jílové minerály
V2-obvodová zed'	Kalcit, stopově aragonit, stopově portlandit, β-křemen, živce, biotit, jílové minerály

Výsledky diferenční termické analýzy jsou uvedeny v tabulce číslo 4.

Tabulka 4: Diferenční termická analýza

Označení vzorku	Ztráta žháním [%]	CaCO _{3j} [%]	CaCO _{3h} [%]	CaCO _{3c} [%]
V1-štitová zed'	7,8	4,2	12,8	17,2
V2-obvodová zed'	8,0	5,0	13,9	18,9

přičemž platí:

CaCO_{3j} je obsah jemnozrnného uhličitanu vápenatého [%]

CaCO_{3h} je obsah hrubozrnného uhličitanu vápenatého [%]

CaCO_{3c} je celkový obsah uhličitanu vápenatého [%]

Výsledky stanovení pH výluhu analyzovaných vzorků malty jsou uvedeny v tabulce číslo 5.

Tabulka 5: Výsledky stanovení pH výluhu

Označení vzorku	pH [-]
V1-štitová zed'	9,4
V2-obvodová zed'	9,7

Hodnoty stupně karbonatace °K a stupně modifikační přeměny °MP, které byly vypočteny pro analyzované vzorky malt jsou uvedeny v tabulce číslo 6.

Tabulka 6: Zařazení vzorků betonu do etapy karbonatace

Označení vzorku	Stupeň karbonatace °K [%]	Stupeň modifikační přeměny °MP [-]	pH [-]
V1-štitová zed'	75,1	2,95	9,4

Označení vzorku	Stupeň karbonatace 0K [%]	Stupeň modifikační přeměny 0MP [-]	pH [-]
V2-obvodová zed'	78,4	2,80	9,7

Vyhodnocení fyzikálně chemických analýz pro posouzení stáří

Na základě výsledků fyzikálně chemických stanovení lze uvést následující:

- Chemické i mineralogické složení zdíci malty v obvodové stěně (vzorek V2) je shodné chemickému i fázovému složení zdíci malty aplikované ve štítové stěně (vzorek V1).
- Chemické i mineralogické složení zdíci malty v obvodové stěně (vzorek V2) a ve štítové stěně (vzorek V1) je shodné.
- Míra karbonatace obou analyzovaných vzorků zdíci malty je srovnatelná.
- Složení obou vzorků napovídá, že obsahují kromě vápna jako pojivé složky i jílovité minerály a složky kameniva. Cement u obou vzorků jednoznačně identifikován nebyl.
- S ohledem na vysoký stupeň karbonatace lze informativně stáří malty odhadnout na více než 70 roků.

Uvedené skutečnosti lze jednoznačně shrnout v konstatování, že charakter zdíci malty svědčí o tom, že stáří štítové i obvodové stěny je přibližně srovnatelné.

Provedenými analýzami tedy bylo prokázáno, že posuzovaný objekt byl postaven jako jeden celek.

4.2 Posouzení stáří trhlin v betonové konstrukci

Naprostá většina stavebních objektů je při své exploataci vystavena působení zemské atmosféry. Aspektem, který má při určování doby vzniku trhlin v betonových resp. železobetonových konstrukcích zcela zásadní význam je skutečnost, že ve struktuře betonu postupně dochází v důsledku působení acidických plynů z atmosféry k procesům, dle kterých lze přibližně stanovit dobu působení atmosféry na beton. Je tedy zřejmé, že na základě výsledků komplexu fyzikálně chemických analýz monitorujících mikrostrukturu cementové matrice betonu lze přibližně stanovit jeho stáří.

Stanovení doby vzniku trhlin v železobetonových prvcích je založeno na následujícím principu:

Je-li beton kompaktní (tj. bez trhlin) pronikají molekuly CO_2 do vnitřní masy betonu difúzí, tzn. množství molekul, které do hloubky betonu proniká je relativně malé a míra karbonatace betonu z „vnitřní masy konstrukce“ je pochopitelně nižší než je tomu na jejím povrchu. Trhliny narušující beton jsou místem, kudy mohou do struktury betonu intenzivně vnikat plyny z vnějšího prostředí a v takto zasažených místech jsou vytvářeny podmínky pro rozvoj karbonatace. Znamená to tedy, že je-li míra karbonatace betonu v bezprostředním okolí trhliny srovnatelná s mírou karbonatace betonu tvořícího povrch konstrukce (tj. betonu, který je vystaven přímému působení atmosférických plynů), jedná se o trhlínu, jejíž stáří je relativně vysoké. Naopak, je-li míra karbonatace betonu v těsné blízkosti trhliny výrazně nižší, než je tomu v případě betonu tvořícího povrch konstrukce, svědčí tato skutečnost o faktu, že stáří trhlin je relativně nízké.

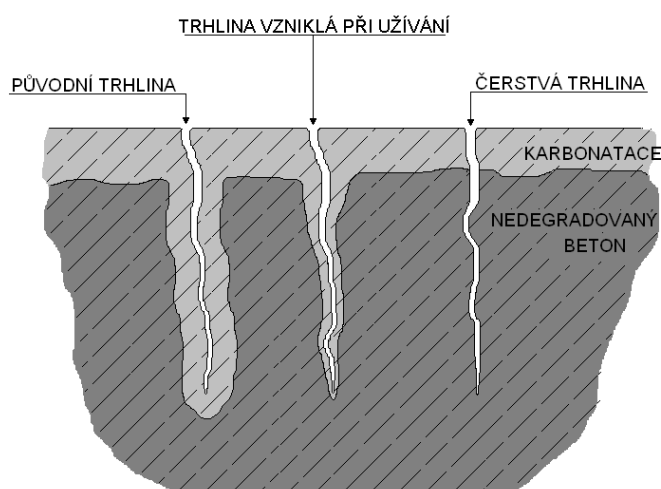
Posouzení doby vzniku trhlin je tedy založeno na komparaci míry karbonatace betonu, který byl atmosférickým vlivům vystaven po celou dobu exploatace konstrukce s mírou karbonatace betonu, který se nachází v bezprostřední blízkosti trhliny.

Principiálně lze míru karbonatace ovlivněnou stářím trhliny rozdělit na tři základní varianty (viz schéma č. 1.):

- **Původní trhlina** - karbonatace v okolí trhliny vzniklé při procesu výstavby konstrukce nebo vzniklé bezprostředně po zahájení užívání konstrukce. V takovém případě lze předpokládat, že

průnik molekul CO₂ do masy betonu odhaleného trhlinou byl po celou dobu exploatace stejný jako u povrchu konstrukce. Za tohoto předpokladu je tedy míra zkarbonatovaného betonu v okolí trhliny konstantní po celé její hloubce a je stejná jako na povrchu konstrukce (degradace betonu probíhala stejně tak na povrchu konstrukce jako na konci trhliny).

- Trhlina vzniklá při užívání - karbonatace v okolí trhliny vznikající dlouhodobě a postupně vlivem užívání konstrukce. Vzhledem k dlouhodobému prohlubování a rozevírání trhliny dochází k degradaci masy betonu v okolí trhliny postupně. Míra karbonatace se tedy bude měnit respektive snižovat s hloubkou trhliny.
- Čerstvá trhlina – trhlina vzniklá v nedávné době v relativně krátkém časovém období. V takovém případě ještě nedošlo k žádné nebo nikterak markantní karbonataci masy betonu v okolí trhliny a to po celé hloubce trhliny.



Obr. 1: Míra a tvar čela karbonatace v závislosti na stáří trhlín

4.3 Posouzení, zda je beton na bázi hlinitanového, či portlandského cementu

V období šedesátých až sedmdesátých let 20. století byl v ČR při výstavbě železobetonových konstrukcí používán hlinitanový cement. Výhodou použití tohoto cementu je rychlý nárůst počátečních pevností, možnost betonáže i v nízkých teplotách apod. Zcela zásadní nevýhodou tohoto cementu je ovšem skutečnost, že vznikající hydratační produkty jsou za běžných atmosférických podmínek nestabilní a dochází k jejich tzv. „konverzi“ (této problematice je v řadě publikací věnována značná pozornost, proto zde není detailně popisována). Principem konverze je přeměna kalciumhydroaluminátů vznikajících hydratací hlinitanového cementu na stabilnější C₃AH₆ a gibbsit (krystalický Al(OH)₃). V důsledku těchto reakcí se zvyšuje pórovitost, klesá pojivová schopnost matrice, což je doprovázeno výrazným poklesem pevnostních charakteristik betonu.

Matrice vznikající hydratací hlinitanového a portlandského cementu se tedy pochopitelně vzájemně liší jak chemickým, tak mineralogickým složením. Z hlediska chemického složení je v hodnocených betonech významný zejména obsah resp. poměr oxidu vápenatého (CaO) a oxidu hlinitého (Al₂O₃). Obsah těchto oxidů je stanovován chemickým rozбором.

Zcela principiálně lze konstatovat, že dominuje-li v hodnoceném betonu oxid vápenatý, byl použit portlandský cement. V případě, že je obsah oxidu vápenatého přibližně srovnatelný s obsahem oxidu hlinitého lze předpokládat, že byl použit hlinitanový cement.

Toto zjištění formulované na základě chemického rozboru se jeví korektní pouze zdánlivě, a to například vzhledem k těmto okolnostem:

- V betonu mohlo být použito kamenivo s vysokým obsahem uhličitanu vápenatého (např. dolomitické kamenivo). Obsah CaO v tomto případě nesouvisí pouze s druhem a dávkou cementu, ale především s typem použitého kameniva,
- V betonu mohlo být použito kamenivo s vysokým obsahem jílových minerálů (tj. minerálů s relativně vysokým obsahem Al_2O_3). Analogicky jako v předchozím případě i zde v tomto případě obsah Al_2O_3 nesouvisí pouze s druhem a dávkou cementu, ale především s typem použitého kameniva,

Z uvedeného je tedy zřejmé, že při hodnocení zda je beton na bázi portlandského či hlinitanového cementu je chemický rozbor v mnoha případech nedostatečný, a musí být doplňován analýzami umožňujícími posoudit též mineralogické složení matrice betonu. K tomuto účelu se využívá rentgenová difrakční analýza. V případě, že je nutno u hlinitanového cementu kvantifikovat obsah fází, vznikajících konverzí matrice (tzv. stupeň konverze), je nutno též stanovit obsah jednotlivých minerálů ve vzorku např. pomocí diferenční termické analýzy.



Foto 3 a 4: Pohled na havarovanou část haly v Uherském Hradišti vybudovanou z betonu s hlinitanovým cementem

5 Závěr

Předkládaný příspěvek se zabývá problematikou praktického využití fyzikálně chemických metod pro hodnocení stavu a posuzování vlastností stavebních materiálů ve znalecké praxi. Na vybraných příkladech byl jednoznačně prokázán význam a nezastupitelná role těchto analýz. Fyzikálně chemické analýzy mají význam nejen při posuzování reálného stavu konstrukcí, jejich stáří, ale též při predikci jejich životnosti, a to zejména u konstrukcí, které jsou exploatovány v chemicky agresivních prostředích.

V článku jsou uvedeny poznatky, které byly získány v rámci řešení s podporou MSM 0021630511 Progresivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí.

6 Literatura

- [1] Bradáč, A. a kolektiv: Soudní inženýrství, Akademické nakladatelství CERM Brno, 1997, ISBN: 80-7204-057-X.
- [2] Drochytka, R., Dohnálek, J., Bydžovský J., Pumpr V.: Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TP SSBK II, Sdružení pro sanace betonových konstrukcí, Brno 2002
- [3] Drochytka, R., Bydžovský, J., Brožovský, J., a kolektiv: Stavební vady od A do Z. Software pro prevenci stavebních vad. Odborné nakladatelství stavební literatury Verlag Dashöfer, duben 2004, ISSN 1214-7076.
- [4] Dobrý, O., Palek, L.: Koroze betonu ve stavební praxi, Praha 1998.
- [5] Matoušek, M., Drochytka, R.: Atmosférická koroze betonů, IKAS Praha 1998