

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ
Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ODBORNÝ POSUDEK

**fasády a betonové atiky na střeše budovy Krajského Úřadu
Jihomoravského kraje, Žerotínovo náměstí 1, Brno**

číslo: 15/05/2251

Objednavatel:

Jihomoravský kraj
Žerotínovo náměstí 3
Brno

Vypracovali:

Ing. Jaroslav Válek, Ph.D.
Prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.
Doc. Ing. Jiří Brožovský, CSc.

V Brně dne 18. 5. 2015



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
vedoucí ústavu THD

1. ÚVOD

1.1 ZADÁNÍ POSUDKU

Na základě objednávky Krajského úřadu Jihomoravského kraje ze dne 28.4. 2015 č. 02/273/15 bylo pracovníky VUT Brno proveden stavebně-technický průzkum části fasády objektu Krajského Úřadu Jihomoravského kraje a betonové atiky na střeše Krajského Úřadu Jihomoravského kraje směrem do Žerotínovo náměstí. Cílem bylo posoudit kvalitu betonu atiky a soudržnost fasádní omítky v místě dostupném z postaveného lešení.

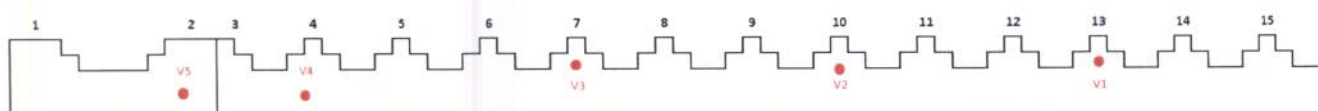
Na základě zadání objednavatele byly provedeny tyto zkoušky:

- vizuální popis odebraných jádrových vývrtů z konstrukce atiky
- stanovení pevnosti v tlaku betonu destruktivně na jádrových vývrtech
- stanovení pevnosti betonu v prostém tahu
- stanovení nasákavosti betonu
- stanovení množství cementu v odebraném vzorku
- změření náklonů konstrukce atiky
- stanovení porušení fasády pomocí akustického trasování

1.2 POPIS KONSTRUKCE ATIKY

Prohlídka konstrukce, měření a odběr vzorků na místě samém proběhly dne 29. 4. 2015. Vyšetřovanou konstrukcí je betonová atika na střeše Krajského Úřadu Jihomoravského kraje, která se nachází na obvodu objektu směrem k Žerotínovu náměstí. Z konstrukce bylo odebráno celkem 5 ks jádrových vývrtů V1 - V5 o průměru 100 mm, jejichž lokalizace je na následujícím obrázku Obr. č. 1. Pro změření náklonů konstrukce byla tato rozdělena na 15 jednotlivých úseků (viz následující obrázek Obr. č. 1).

Obr. č. 1: Schéma konstrukce atiky s lokalizací odběru jádrových vývrtů a s rozdělením konstrukce na jednotlivé úseky



2. METODIKA ZKOUŠEK

2.1 POPIS ODEBRANÝCH VZORKŮ

Na odebraných jádrových vývrtech V1 - V5 byl na základě vizuální prohlídky proveden popis materiálové skladby vzorků. Součástí popisu je i fotodokumentace jednotlivých jádrových vývrťů.

2.2 STANOVENÍ PEVNOSTI V TLAKU BETONU

Pro stanovení pevnosti betonu v tlaku a objemové hmotnosti betonu bylo z betonové atiky odebráno 5 ks jádrových vývrťů V1 - V5 o průměru tělesa 100 mm. Pevnost betonu v tlaku byla zjišťována v laboratoři na pěti válcových zkušebních tělesech upravených z jádrových vývrťů odebraných z konstrukce v místech vyznačených na obr. č. 1, který znázorňuje schéma vyšetřované konstrukce atiky.

Z vývrťů upravených zaříznutím čel byla na připravených válcových zkušebních tělesech zjišťována pevnost v tlaku destruktivně dle ČSN EN 12390-3. Zjištěná válcová pevnost $f_{c,cy}^0$ byla přepočítána na krychelnou v souladu s ustanoveními ČSN 73 1317, využitím literatury Rybický, R.: Schäden und Mängelen an Baukonstruktionen. Verlag - Düsseldorf, 1976. Před zkouškou pevnosti v tlaku byla na každém zkušebním tělese zjištěna objemová hmotnost postupem dle ČSN EN 12390-7.

Použité symboly:

$f_{c,cy}^0$	válcová pevnost na vývrťu $L/d \in <1; 2>$, $d = 100\text{mm}$
$f_{c,cy}$	válcová pevnost na tělese o $d = 150\text{mm}$, $L/d = 2$ ($f_{c,cy}^1 = \kappa_{c,cy} \cdot f_{c,cy}^0$)
$f_{c,cy}^1$	válcová pevnost na tělese o $d = 100\text{ mm}$, $L/d = 2$, ($f_{c,cy}^1 = \kappa_{c,cy} \cdot f_{c,cy}^0$)
$f_{c,cu}$	krychelná pevnost ($f_{c,cu} = \kappa_{cy,cu} \cdot f_{c,cy}$)
L	délka vývrťu zkrácená na zatížení
L/d	štíhlostní poměr
d	průměr vývrťu
D	objemová hmotnost betonu v době zkoušení

2.3 STANOVENÍ PEVNOSTI BETONU V PROSTÉM TAHU

Pevnost betonu v prostém tahu byla stanovena dle ČSN 73 1318 na jednom vzorku připraveném z jádrového vývrťu V3. Na koncové plochy zkušebního vzorku byly přilepeny ocelové kruhové desky upravené pro spojení s kloubovým zařízením k upnutí do trhacího stroje. Po upnutí tělesa do trhacího stroje bylo zatěžování zkušebního vzorku prováděno plynulým zatěžováním až do přetrhnutí vzorku.

2.4 STANOVENÍ NASÁKAVOSTI BETONU

Nasákavost betonu byla stanovena na čtyřech vzorcích odebraných z jádrových vývrtů V1 - V4 dle ČSN 73 1316 „Stanovení vlhkosti, nasákavosti a vzlinavosti betonu“. Poté, co byly vzorky vysušeny při teplotě 110 ± 5 °C až do ustálené hmotnosti, byly vloženy do vody a nechaly se nasáknout až do ustálené hmotnosti. Zkušební vzorky byly před vážením opatrně otřeny tak, aby povrch betonu byl rovnoměrně vlhký. Nasákavost betonu v v % hmotnosti zkušebních vzorků je pak dána vztahem:

$$v = ((m_s - m_d)/m_d) \times 100 [\%]$$

kde m_s je hmotnost zkušební vzorku betonu nasáklého vodou [g]

m_d je hmotnost vysušeného zkušební vzorku betonu [g]

2.5 STANOVENÍ MNOŽSTVÍ CEMENTU V ODEBRANÉM VZORKU

Vzorek analyzovaného betonu byl odebrán z jádrového vývrtu V3 a byl podroben souboru fyzikálně chemických analýz, jehož cílem bylo stanovit množství („dávku“) pojiva. Podrobný postup stanovení množství cementu byl proveden podle metodického postupu VUT FAST, č. 30-33/1 a dle metodiky uvedené v publikaci Matoušek, Drochytka: Atmosférická koroze betonů, IKAS Praha, 1998, která podává přehled o mikrostruktuře daného materiálu. Konkrétně byl vzorek betonu podroben těmto stanovením:

- Chemickému rozboru,
- Rentgenové difrakční analýze,
- Diferenční termické analýze.

Chemický rozbor

V souladu s ustanovením ČSN 72 0100 "Základní postup rozboru silikátů, Všeobecná ustanovení" a souvisejících ČSN resp. ČSN EN byl chemickým rozbohem ve vzorku betonu zjišťován podíl těchto složek:

- Nerozpustný zbytek,
- Oxid vápenatý CaO,
- Oxid hlinitý Al₂O₃,
- Oxid železitý Fe₂O₃,
- Oxid manganatý MnO.

Rentgenová difrakční analýza

Metody difrakční strukturální analýzy jsou založeny na interferenci rentgenového záření a vycházejí z toho, že se v pevné, krystalické, látce nacházejí vzájemně rovnoběžné roviny, které jsou od sebe vzdáleny o tzv. mezimřížkovou vzdálenost (d). Na

těchto rovinách dochází k interferenci (zesílení) rentgenova záření. Interference záření krystalovou mřížkou se projeví nárůstem jeho intenzity. Každá krystalická látka obsahuje mnoho různých rovin o mezimřížkových vzdálenostech d , na kterých vzrostou hodnoty intenzit záření. Tyto hodnoty jsou charakteristické pro každou krystalickou látku. Identifikace přítomných krystalických fází se provádí porovnáním hodnot d a I , odečtených z difraktogramu s hodnotami v uvedených v knihovnách (databázích) jednotlivých minerálů.

Ve struktuře betonu lze RTG analýzou identifikovat například fáze vznikající hydratací cementu (např. portlandit, kalciumhydrosilikátové fáze, ettringit, monosulfát apod.), fáze vznikající jejich následnou karbonatací (zejména kalcit, aragonit, vaterit) a minerály pocházející z kameniva (zejména křemen, živce atd.) V případě, že je průběh hydratace cementu negativně ovlivněn lze pak prokázat zvýšenou přítomnost slínekových minerálů, tj. minerálů, které jsou dominantní složkou cementu. Mezi slínekové minerály patří alit C_3S , belit β C_2S , trikalciumpsilikát C_3A a brownmillerit C_4AF .

Diferenční termická analýza

Diferenční termická analýza (DTA analýza) je dynamická, tepelně analytická metoda. Je založena na měření rozdílů teplot mezi zkoušeným materiálem a inertním standardem (u moderních přístrojů je tento standard virtuální) současně zahřívány v peci. Tepelné zbarvení reakcí, ke kterým ve vzorku při zahřívání dochází, se projeví maximy a minimy v exotermní a endotermní oblasti. Současně je sledována změna hmotnosti doprovázející jednotlivé reakce. Výstupem analýzy je pak stanovení obsahu jednotlivých složek v hodnoceném betonu. DTA analýza se tedy zpravidla využívá jako doplněk RTG analýzy právě pro přesnější kvantifikaci obsahu jednotlivých složek cementové matrice.

2.6 ZMĚŘENÍ NÁKLONŮ KONSTRUKCE ATIKY

Změření náklonů konstrukce atiky bylo provedeno ze střechy objektu na svislé stěně konstrukce a to vždy pro jednotlivé úseky jednou ve vrchní a jednou ve spodní části. Měření náklonů bylo provedeno digitální vodováhou Laserliner DigiLevel Pro 60 o délce 600 mm. Na displeji digitální vodováhy je možné odečítat sklon ve stupních s přesností $\pm 0,1^\circ$. U jednotlivých měření byl také zaznamenán směr vyhnutí atiky (do ulice, dovnitř).

2.7 STANOVENÍ ROZSAHU PORUŠENÍ FASÁDY POMOCÍ AKUSTICKÉHO TRASOVÁNÍ

Prohlídka fasády a akustické trasování byly provedeny na vnější stěně objektu od Žerotínova náměstí z připraveného lešení. Lešení se sestávalo ze 13 pater, výška jednoho patra byla 2 m a šířka lešení byla 4,4 m. Patro č. 1 lešení bylo na úrovni chodníku a poslední patro č. 13 bylo v úrovni podstřešní římsy.




Principem akustického trasování je zjištění poruch konstrukcí založené na změně akustické odezvy při pojiždění akustickým trasovačem po povrchu konstrukce. V konkrétním případě byla změna akustické odezvy hodnocena jako porucha přídržnosti fasádní omítky k podkladu.

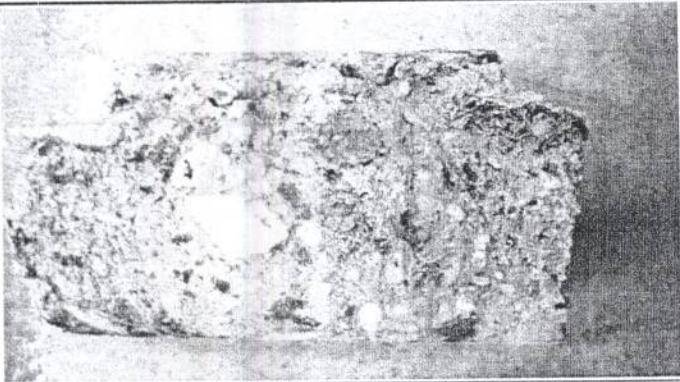

3. VÝSLEDKY ZKOUŠEK

3.1 POPIS ODEBRANÝCH VZORKŮ

Na odebraných jádrových vývrtech V1 - V5 byl proveden popis vzorků. Detailní popis jednotlivých vzorků včetně fotodokumentace je v následující Tab. č. 1.

Tab. č. 1: Detailní popis jednotlivých vzorků

označení vzorku	fotodokumentace	popis vzorku
V1		<ul style="list-style-type: none">- porézní beton- kamenivo nadměrné frakce- přítomnost škváry v betonu- svislá trhлина
V2		<ul style="list-style-type: none">- porézní beton- kamenivo nadměrné frakce- přítomnost škváry v betonu
V3		<ul style="list-style-type: none">- porézní beton- kamenivo nadměrné frakce- přítomnost škváry v betonu

V4		<ul style="list-style-type: none"> - porézní beton - kamenivo nadměrné frakce - přítomnost škváry v betonu
V5		<ul style="list-style-type: none"> - porézní beton - kamenivo nadměrné frakce - přítomnost škváry v betonu

3.2 STANOVENÍ PEVNOSTI V TLAKU BETONU

Pevnost betonu v tlaku betonové atiky byla zjišťována v laboratoři na pěti válcových zkušebních tělesech upravených z jádrových vývrtů V1 - V5. Výsledky stanovení pevnosti v tlaku betonu jsou uvedeny v Tab. č. 2.

Tab. č. 2: Výsledky stanovení pevnosti v tlaku betonu

označení vzorku	d [mm]	L [mm]	L / d [-]	D [kgm ⁻³]	f ⁰ _{c,cy} [MPa]	f ¹ _{c,cy} [MPa]	f _{c,cy} [MPa]	f _{c,cu} [MPa]
V1	100,6	112,7	1,120	1 881	7,4	6,5	6,2	7,8
V2	99,5	106,2	1,067	1 764	5,6	4,9	4,7	5,9
V3	99,6	109,4	1,098	1 809	7,6	6,7	6,4	8,0
V4	99,8	106,5	1,067	1 771	5,5	4,8	4,6	5,8
V5	99,6	106,1	1,065	1 699	4,6	4,0	3,8	4,8
průměrné hodnoty				1 790				6,5

3.3 STANOVENÍ PEVNOSTI BETONU V PROSTÉM TAHU

Pevnost betonu v prostém tahu betonové atiky byla zjišťována v laboratoři na jednom válcovém zkušebním tělese upraveném z jádrového vývrtu V3. Výsledek stanovení pevnosti v prostém tahu betonu je uveden v Tab. č. 3.

Tab. č. 3: Výsledek stanovení pevnosti v prostém tahu betonu

označení vzorku	d [mm]	síla F [N]	pevnost v prostém tahu R_t [MPa]
V3	99,6	4 051	0,52

3.4 STANOVENÍ NASÁKAVOSTI BETONU

Výsledky stanovení nasákavosti betonu, které byly stanoveny na odebraných vzorcích z jádrových vývrtů V1 - V4, jsou uvedeny v Tab. č. 4.

Tab. č. 4: Výsledky stanovení nasákavosti betonu

označení vzorku	m_s [g]	m_d [g]	absolutní nasákavost [g]	v [%]
V1	215,35	192,17	23,18	12,1
V2	188,47	167,93	20,54	12,2
V3	203,47	180,48	22,99	12,7
V4	197,94	172,80	25,14	14,5
průměrná hodnota				12,9

3.5 STANOVENÍ MNOŽSTVÍ CEMENTU V ODEBRANÉM VZORKU

Vzorek analyzovaného betonu byl odebrán z jádrového vývrtu V3 a byl podroben souboru fyzikálně chemických analýz, jehož cílem bylo stanovit množství („dávku“) pojiva.

Chemický rozbor

Výsledky chemického rozboru jsou uvedeny v Tab. č. 5.

Tab. č. 5 : Výsledky chemického rozboru

označení vzorku	nerozpustný zbytek [%]	oxid vápenatý [%]	oxid hlinitý [%]	oxid železitý [%]	oxid manganatý [%]
V3	79,98	4,17	3,76	2,11	0,141

Rentgenová difrakční analýza

Výsledky RTG analýzy jsou uvedeny v Tab. č. 6.

Tab. č. 6: Výsledky rentgenové difrakční analýzy

označení vzorku	identifikované minerály
V3	Kalcit, stopově portlandit, β křemen, živce, muskovit

Diferenční termická analýza

Výsledky diferenční termické analýzy jsou uvedeny v Tab. č. 7.

Tab. č. 7: Výsledky DTA analýzy

označení vzorku	ztráta žiháním [%]	portlandit [%]	uhličitan vápenatý [%]
V3	6,8	0,2	3,4

Jako pojivo byl v hodnoceném betonu použit pravděpodobně portlandský směsný cement. Dávka (množství) cementu, které byla v analyzovaném betonu vypočtena na základě výsledků provedených fyzikálně chemických stanovení, je uvedena v Tab. č. 8.

Tab. č. 8: Množství cementu ve vzorku betonu

označení vzorku	množství cementu	dávka cementu na 1 m ³ betonu
V3	přibližně 7,5 %	přibližně 165 kg

Vzhledem k faktu, že zpracovatel tohoto posouzení neměl k dispozici plnivo použité v analyzovaném betonu je nutno uvedené stanovení považovat za orientační. Přesto však lze jednoznačně konstatovat, že dávka cementu v hodnoceném betonu je atypicky nízká.

3.6 ZMĚŘENÍ NÁKLONŮ KONSTRUKCE ATIKY

Změření náklonů konstrukce atiky bylo provedeno vždy pro jednotlivé úseky ve vrchní a ve spodní části, výsledky jsou uvedeny v Tab. č. 9.

Tab. č. 9: Výsledky měření náklonů konstrukce atiky

označení úseku atiky	vrchní část		spodní část	
	náklon [°]	směr náklonu	náklon [°]	směr náklonu
1	89,6	do ulice	89,8	do ulice
2	89,9	do ulice	89,0	dovnitř
3	89,9	dovnitř	89,9	do ulice
4	89,5	dovnitř	88,8	dovnitř
5	89,5	do ulice	89,8	do ulice
6	89,8	dovnitř	89,0	dovnitř
7	89,3	do ulice	90,0	do ulice
8	89,9	dovnitř	89,9	dovnitř
9	89,0	dovnitř	89,0	dovnitř
10	88,5	dovnitř	89,9	dovnitř
11	88,6	dovnitř	88,5	dovnitř
12	89,9	do ulice	89,8	dovnitř
13	89,3	dovnitř	89,7	do ulice
14	88,9	do ulice	89,8	dovnitř
15	neměřeno - tato část nově dostavěna			

3.7 STANOVENÍ ROZSAHU PORUŠENÍ FASÁDY POMOCÍ AKUSTICKÉHO TRASOVÁNÍ

Prohlídka fasády a akustické trasování byly provedeny z připraveného lešení, které se sestávalo ze 13 pater, přičemž výška jednoho patra byla 2 m a šířka lešení byla 4,4 m. V následující tabulce Tab. č. 10 jsou výsledky odhadnutého porušení fasády po jednotlivých patrech.

Tab. č. 10: Výsledky odhadnutého porušení fasády po jednotlivých patrech na základě prohlídky a akustického trasování

patro lešení	porušení fasády [%]
1	1
2	2
3	4
4	15
5	10
6	10
7	15
8	5
9	25
10	2
11	4
12	3
13	15

4. SHRUTÍ VÝSLEDKŮ A ZÁVĚR

4.1 SHRUTÍ VÝSLEDKŮ ATIKY

Vlastnosti vyšetřované betonové atiky jsou shrnuty v následující Tab. č. 11.

Tab. č. 11: Shrnutí vlastností vyšetřované betonové atiky

označení vzorku	pevnost v tlaku betonu [MPa]	pevnost v prostém tahu betonu [MPa]	nasákavost betonu [%]	množství cementu [kg/m ³]
V1	7,8	-	12,1	-
V2	5,9	-	12,2	-
V3	8,0	0,52	12,7	165
V4	5,8	-	14,5	-
V5	4,8	-	-	-
průměrné hodnoty	6,5	0,52	12,9	165

4.2 ZÁVĚREČNÉ POSOUZENÍ ATIKY

Vizuálním ohledáním odebraných jádrových vývrtů bylo zjištěno, že atika je tvořena betonem s různou frakcí kameniva 0 až 63 mm (viz Foto č. 4), které je pro danou konstrukci nestandardně široké rozpětí frakce a i velikosti maximálního zrna kameniva. Ve formě plniva byla ve struktuře betonu, mimo hutné těžené kamenivo, zjištěna i přítomnost škváry v rozdílném množství (viz Foto č. 5 a č. 6). Zjištěná pevnost v tlaku betonu dosahuje průměrné hodnoty 6,5 MPa což je mimořádně nízká hodnota. Z hlediska požadavků podle ČSN EN 206 -1, Z4 nelze tato pevnost zařadit ani do nejnižší pevnostní třídy C-/5. V žádném případě nelze uvažovat o konstrukčním betonu. Tomuto zjištění odpovídá i orientační stanovení množství cementu v betonu, jehož množství bylo stanoveno na 165 kg/m³, nevhodný typ, granulometrie a křivka zrnitosti kameniva. Zjištěné skutečnosti doplňují i naměřená velmi nízká pevnost v prostém tahu betonu - 0,52 MPa a naopak na beton velmi vysoká nasákavost, která dosáhla v průměru 12,9 %. Hutné běžné betony dosahují max. nasákavost do 3,5%. Jako velmi nevhodné se jeví použití škváry jako plniva. Díky své vysoké nasákavosti není beton odolný proti působení vnitřní vlhkosti a cyklickému zmrazování. Při mikroskopickém zkoumání pod optickým mikroskopem jsou viditelné trhliny kolem zrn kameniva a ve struktuře cementového kamene, které jsou jasnými známkami porušení vlivem mrazu za přítomnosti vlhkosti.

Měřením náklonů konstrukce atiky v její spodní a vrchní části bylo zjištěno, že v některých případech dosahuje odchylka od svislého směru až 1,5 °.

Na základě zjištěných vlastností betonové atiky lze konstatovat, že její statická stabilita je na její hraniční úrovni, pevnosti betonu nedosahují ani minimální pevnostní třídy pro nekonstrukční betony, struktura betonu je značně porézní s

množstvím trhlin. Z výše uvedených důvodů lze stav atiky považovat za havarijní a doporučujeme její neprodlené odstranění a nahrazení novou konstrukcí.

4.3 ZÁVĚREČNÉ POSOUZENÍ FASÁDY

Vizuální prohlídkou a akustickým trasováním byl stanoven rozsah nesoudržných ploch fasádní omítky v jednotlivých patrech lešení. Největší rozsah porušení soudržnosti fasádní omítky byl zaznamenán mezi 4 - 9 patrem lešení a v oblasti podstřešní římsy. Vzhledem k tloušťce finální omítky a její hmotnosti, rozsahu trhlin, kterými může vnikat pod omítku vlhkost a v zimě způsobit mrazové porušení, hrozí v těchto místech odpadnutí větších kusů omítky a pádu na chodník. Bylo by vhodné provést detailnější posouzení rozsahu nesoudržných míst po celé ploše fasády a stanovit přídržnost omítky k podkladu.

Seznam příloh:

- 1) Fotodokumentace

V Brně dne 18. 5. 2015



Ing. Jaroslav Válek, Ph.D.
zodpovědný zpracovatel

PŘÍLOHA č. 1: Fotodokumentace

Foto č. 1: Detail porušení fasády v oblasti podstřešní římsy

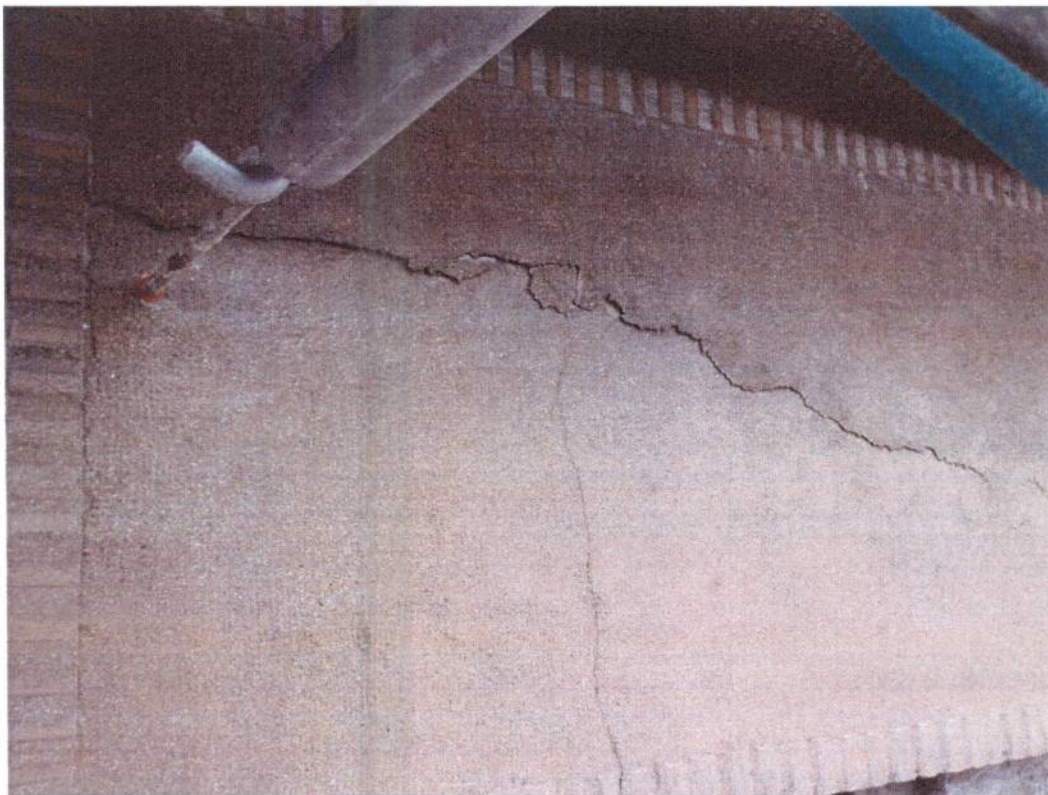


Foto č. 2: Detail porušení fasády v 7. patře lešení

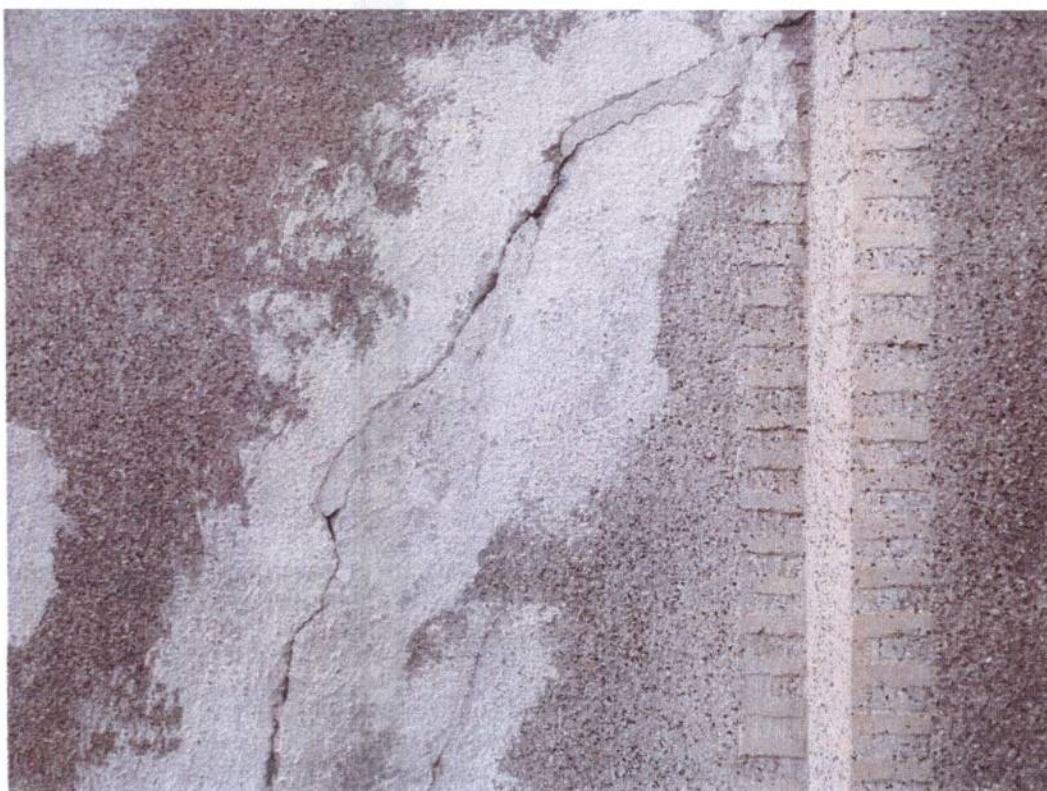


Foto č. 3: Pohled na vyšetřovanou konstrukci betonové římsy

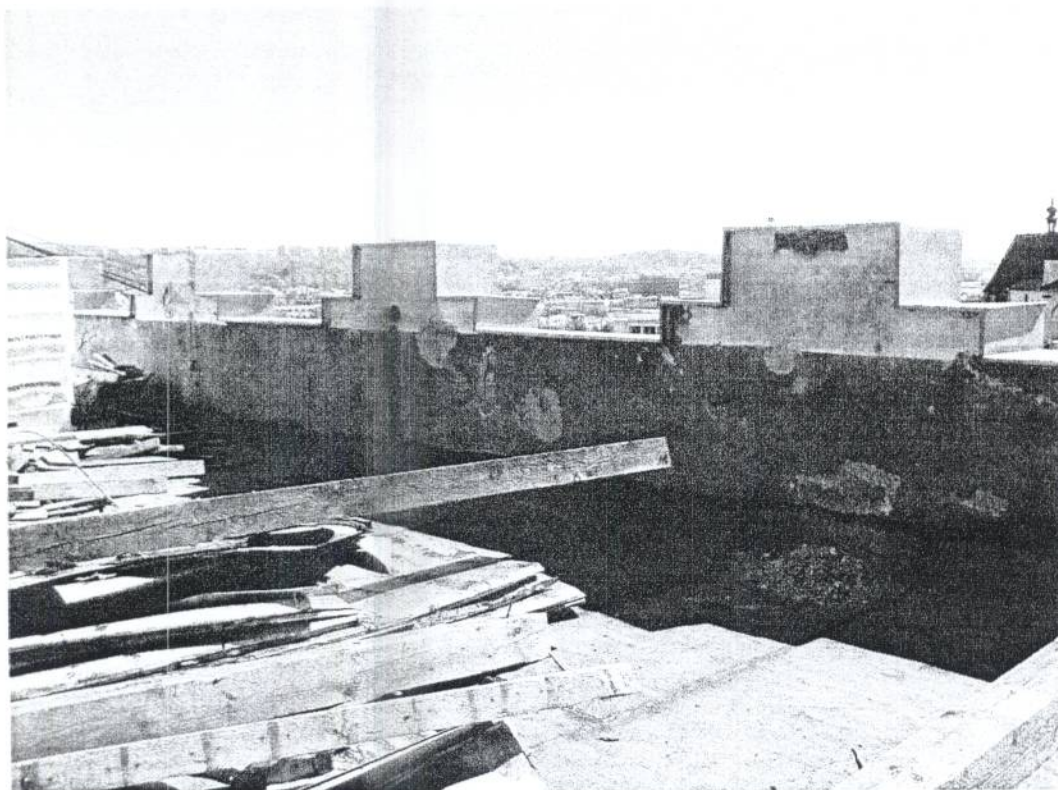


Foto č. 4: Detail nestandardně velké frakce kameniva ve struktuře betonu

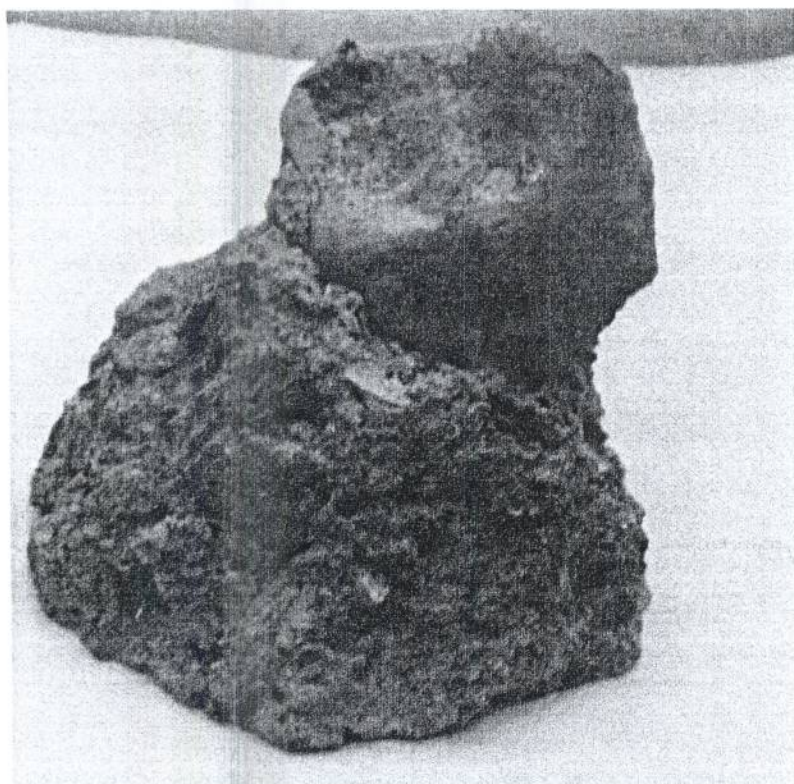


Foto č. 5: Pohled na fragment betonu z jádrového vývrtu se zřejmou přítomností škváry (v červeném kroužku)

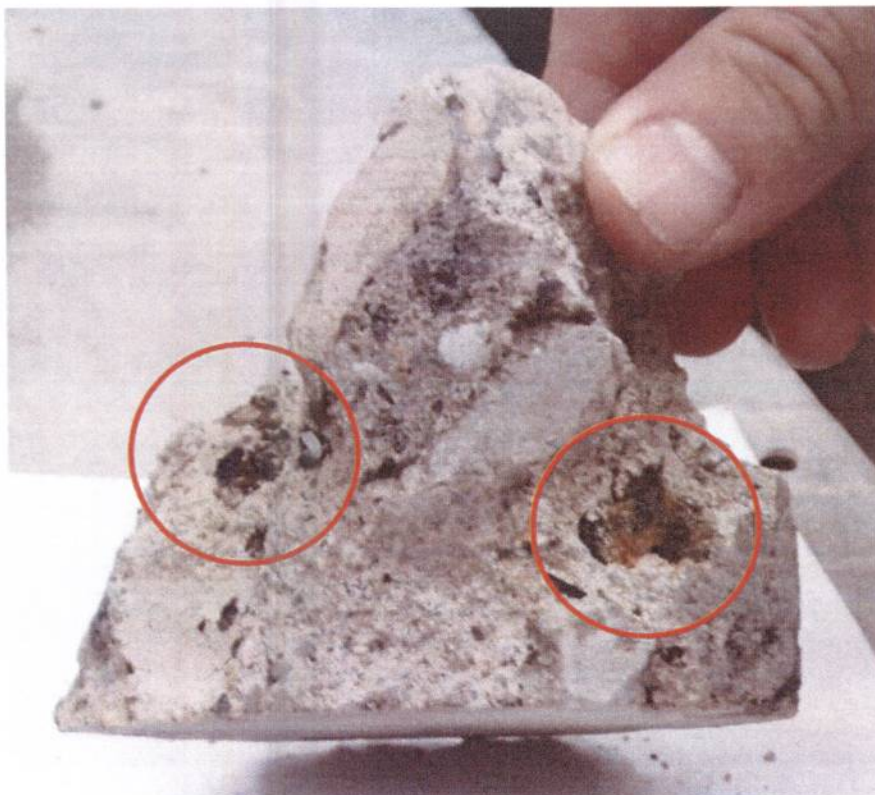


Foto č. 6: Detail zrn škváry z jádrového vývrtu

