



Protokol č. 16/08/2356

**ZPRÁVA O STANOVENÍ SLOŽENÍ OMÍTEK NA FASÁDĚ BUDOVY KRAJSKÉHO ÚŘADU
JIHOMORAVSKÉHO KRAJE NA ŽEROTÍNOVĚ NÁMĚSTÍ V BRNĚ**


Objednavatel:

**Krajský úřad Jihomoravského kraje
Žerotínovo náměstí 3-5/449**

Vypracovali:

**Prof. RNDr. Pavla Rovnaníková, CSc.
Prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.
Ing. Amos Dufka, Ph.D.**

V Brně dne 9. 9. 2016


Prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
vedoucí ústavu THD VUT FAST Brno



1. Úvod

Na základě objednávky Krajského úřadu Jihomoravského kraje č. 02/422/16 ze dne 30. 5. 2016 byly z fasády budovy na Žerotínově náměstí 3-5/449 odebrány vzorky omítek, které byly podrobeny komplexu fyzikálně chemických analýz. Vzorky byly odebrány z míst, kde byl při poklepu dutý zvuk, charakterizující separaci omítky od podkladu. Velikost odebraných vzorků byla cca 800x80 mm. Cílem těchto analýz bylo stanovit složení omítek tak, aby bylo možno v rámci rekonstrukce fasády původní omítky nahradit materiály adekvátního složení. Na fasádě objektu se v zásadě nacházejí dva druhy omítek, tvrdá hlazená omítka a pemrlovaná tvrdá omítka ve dvou různých odstínech.

Po podrobné prohlídce fasády byla vytipována místa, ze kterých byly odebrány vzorky k analýze. Bylo odebráno celkem 9 vzorků, místa odběru jsou uvedena na obr. 1 a 2.



Obr. 1 Místa odběru vzorků omítky – jihovýchodní fasáda



Po zhodnocení vzhledu vzorků omítek bylo konstatováno, že se na fasádě objektu v zásadě nacházejí tyto druhy omítek:

- tvrdá hlazená omítka probarvená do žlutého odstínu ve hmotě
- šedá pemrlovaná tvrdá omítka
- šedá tvrdá omítka s vytlačeným reliéfem rovnoběžných drážek.

2. Metodika zkoušek

Odebrané vzorky omítek byly podrobeny stanovení, jejichž cílem bylo především určit tyto parametry:

- Stanovit druh a dávku pojiva v omítkách,
- Stanovit druh pigmentu,
- Stanovit mineralogické složení a granulometrii plniva použitého v omítkách.

K dosažení výsledků pro hodnocení složení omítek byly použity následující metody:

- Chemická analýza,
- Rentgenová difrakční analýza,
- Termická analýza,
- Optická mikroskopie.

Metodika jednotlivých analýz je popsána v následujícím textu. V této zprávě jsou uvedeny především analýzy zaměřené na stanovení typu pojiva v jednotlivých vzorcích omítek, eventuálně na stanovení míry jejich degradace.

2.1. Chemická analýza

V souladu s ustanovením ČSN 72 0100 "Základní postup rozboru silikátů, Všeobecná ustanovení" a souvisejících ČSN resp. ČSN EN byl chemickou analýzou ve vzorcích betonu stanoven obsah těchto složek:

- oxid křemičitý
- oxid vápenatý
- oxid hlinitý
- oxid železnatý
- sírany
- chloridy
- organické látky
- oxid manganatý

2.2. Rentgenová difrakční analýza

Difrakční metody strukturní 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 za určitých podmínek 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 zcela 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.

2.3. 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 zabarvení 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 byla v tomto případě použita jako doplněk RTG analýzy právě pro přesnější kvantifikaci obsahu jednotlivých složek matrice omítky atd.

2.4. Optická mikroskopie

2.4.1. Petrografický rozbor

Ze vzorků byly zhotoveny kryté výbrusové preparáty, které byly studovány v procházejícím světle pomocí polarizačního mikroskopu Olympus BX 51. Mikrofotodokumentace byla provedena fotoaparátem Canon EOS 7D, fotografie byly editovány v software Adobe Photoshop CS6. Petrografický rozbor byl proveden u vzorku 1, 2 a 7. Za účelem vizualizace granulometrie plniva byl výbrusový preparát skenován za použití polarizačních fólií. Petrografický rozbor provedl Mgr. Dalibor Všíjanský, Ph.D.

2.4.2 Stanovení obsahu a velikosti kameniva

Stanovení granulometrie použitého plniva v omítkách bylo provedeno na optickém mikroskopu Nikon při zvětšení cca 30x s následným převedením obrazu do digitální verze.

2.5 Stanovení poměru rozpustného a nerozpustného podílu v kyselině chlorovodíkové

Navážka vzorku omítky se rozpustí ve zředěné kyselině chlorovodíkové. Do roztoku přejdou složky pojiva (vápenné i hydraulické), nerozpustné jsou podíly kameniva (kromě kameniva na bázi uhličitánů). Za předpokladu v kyselině nerozpustného kameniva, lze poměr nerozpustného a rozpustného podílu v kyselině chlorovodíkové považovat za poměr kameniva k pojivu.

3. Výsledky zkoušek

3.1. Chemický rozbor

Výsledky chemického rozboru jsou uvedeny v tabulce číslo 1.

Tab. 1 Stanovení mineralogického složení

Označení vzorku	Oxid křemičitý [%]	Oxid vápenatý [%]	Oxid hlinitý [%]	Oxid železnatý [%]	Sířany [%]	Chloridy [%]	Organické látky [%]	Oxid manganatý [%]
V2 – omítka šedé barvy s pemrlovaným povrchem	31,0	33,7	2,72	0,45	2,62	0,03	0,24	0,023
V1– omítka okrové barvy	24,5	39,1	3,62	1,36	1,71	0,01	0,36	0,239
V7– omítka okrové barvy	23,2	34,8	1,82	0,20	1,42	0,03	0,26	0,026

Pozn.: Chemický rozbor byl proveden zkušební laboratoří č. 1147 Labtech s.r.o., akreditovanou ČIA dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005.

3.2. Rentgenová difrakční analýza

Výsledky stanovení mineralogického složení jsou uvedeny v tabulce číslo 2.

Tab. 2 Stanovení mineralogického složení

Označení vzorku	Identifikovaný minerál
V2 – omítka šedé barvy s pemrlovaným povrchem	Kalcit, sádrovec, dolomit, β -křemen, stopově živce, biotit
V1– omítka okrové barvy	Kalcit, stopově sádrovec, dolomit, β -křemen, stopově živce, biotit
V7– omítka okrové barvy	Kalcit, stopově sádrovec, dolomit, β -křemen

3.3. Diferenční termická analýza

Výsledky diferenční termické analýzy jsou uvedeny v tabulce číslo 3.

Tab. 3 Diferenční termická analýza

Označení vzorku	Ztráta žháním [%]	Uhličitan vápenatý [%]
V2 – omítka šedé barvy s pemrlovaným povrchem	24,54	47,50
V1– omítka okrové barvy	29,24	43,56
V7– omítka okrové barvy	30,21	44,68
Omítka jádrová	8,06	6,74

3.4 Optická mikroskopie

3.4.1 Petrografický rozbor

Vzorek č. 1 a č. 7 – okrové omítky

Pojivo

Pojivo obou vzorků je hydraulické. Zachované fragmenty portlandského slínku dosahují velikosti až 0,15 mm. Byl použit portlandský cement s vysokým obsahem feritů a pravděpodobně i belitu. Lze usuzovat, že původní barva slínku byla tmavá. V pojivu byl dále identifikován sádrovec. Jedná se o zbytky sádrovce z cementu a o sádrovec vzniklý sulfatací vápenného pojiva. V pojivu jsou přítomny okrouhlé až kulaté póry.

Pigment

Pigmentem obou vzorků jsou převážně oxyhydroxidy, méně pak oxidy, železa. Podle optických vlastností mezi oxyhydroxidy převažuje goethit nad lepidokrokitem, dominantním oxidem Fe je hematit. **Barvivem je tedy přírodní hlinka.** Pro přírodní původ pigmentu svědčí i fakt, že částice hematitu obklopují zrna křemene, který byl součástí přidané hlinky, což je zřetelné zejména ve vzorku 7, obr. 3. Nelze vyloučit, že hlinka prošla kalcinací.

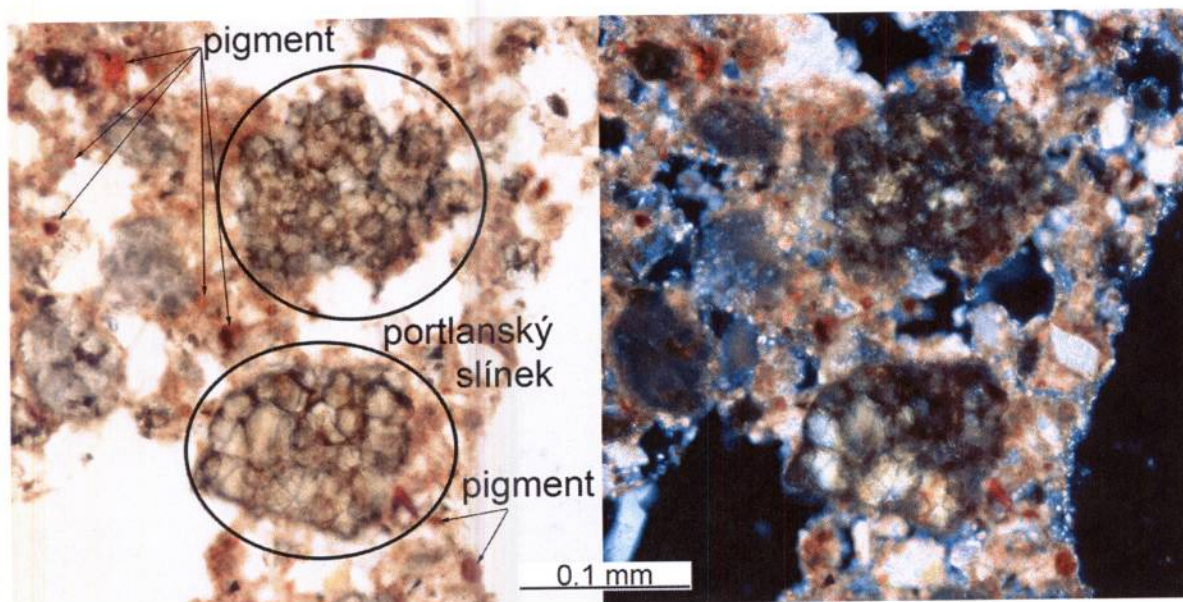
Plnivo

Fragmenty plniva mají střípkovitý tvar, který svědčí o drcení. Petrografické složení plniva obou vzorků je obdobné a lze předpokládat, že plnivo pochází ze stejných zdrojů.

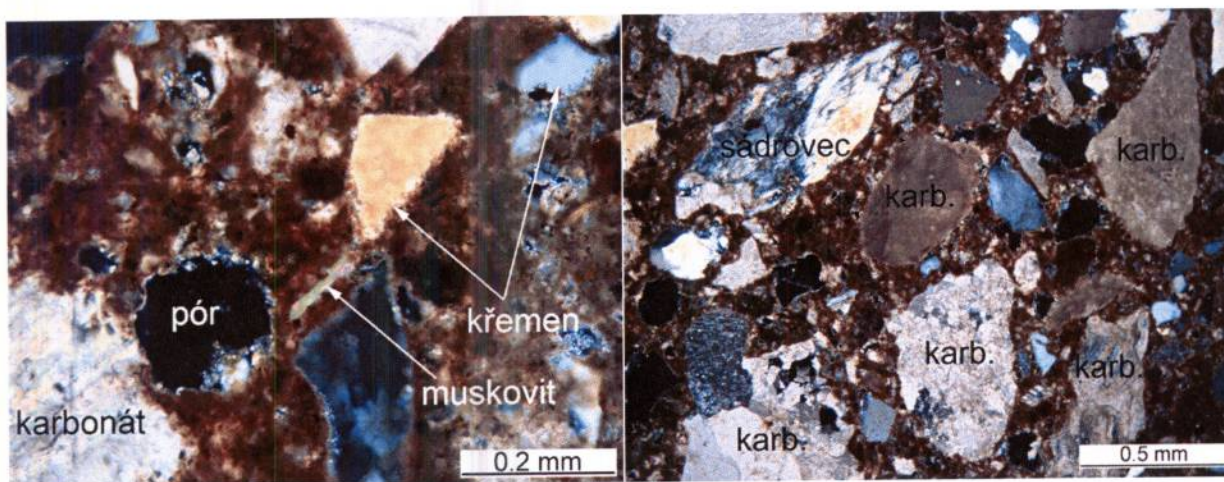
Dominantními klasty jsou karbonáty (drcené „vápence“), mezi nimiž se vyskytují karbonáty jak mikritické (submikroskopicky krystalické), tak sparitické (s opticky odlišitelnými jednotlivými krystaly). V obou vzorcích byly identifikovány oolitické karbonáty, karbonáty s výraznou rekrystalizací i tlakovými dvojčatnými lamelami.

O něco méně výrazně je v plnivu zastoupen křemen. Dále pak slídy a minoritně živec, epidot, turmalín a rutil. Z horninových klastů dominují silicity, metakvarcity a kataklazity.

Mikrofotodokumentace analyzovaných vzorků je uvedena na obr. 3 až 15.

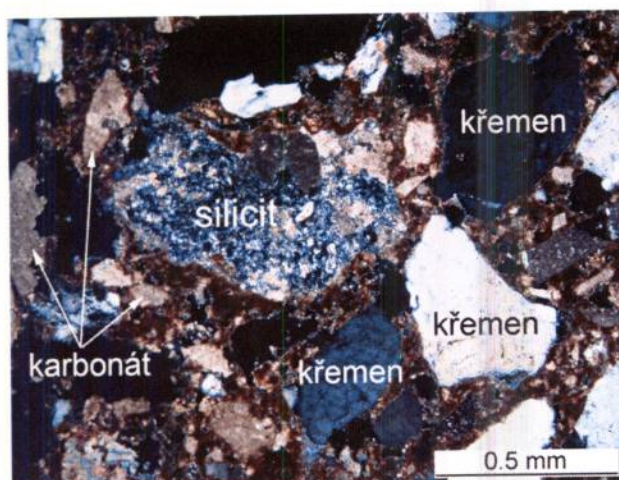


Obr. 3 Vzorek 1; vlevo XPL, vpravo PPL

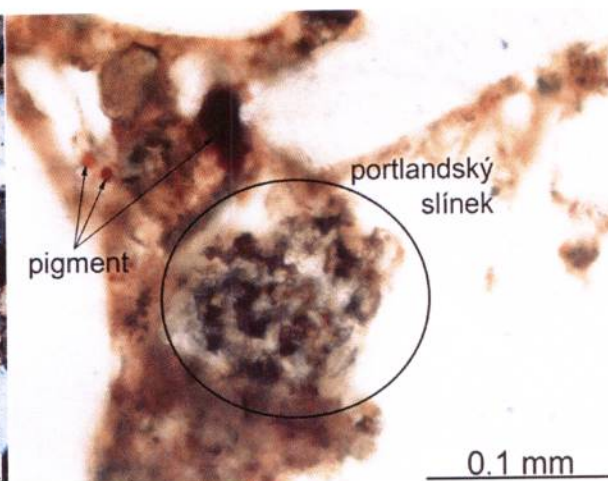


Obr. 4 Vzorek 1; XPL

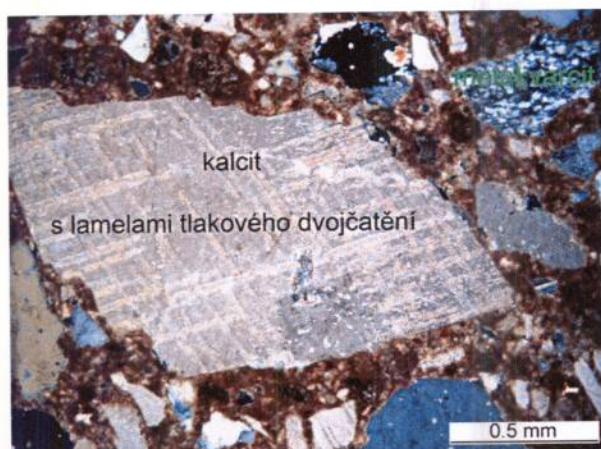
Obr. 5: Vzorek 1; XPL



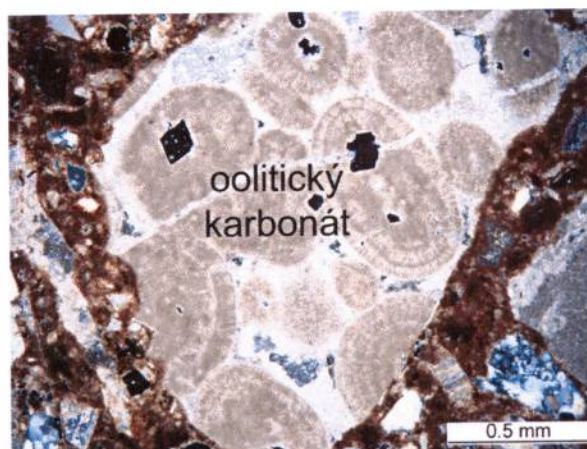
Obr. 6 Vzorek 1; XPL



Obr. 7 Vzorek 1; PPL



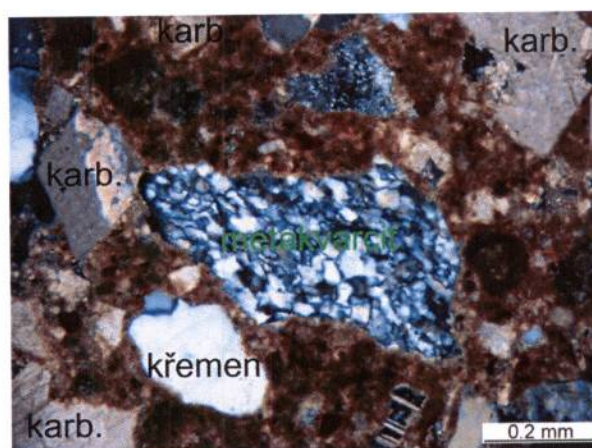
Obr. 8 Vzorek 7; XPL



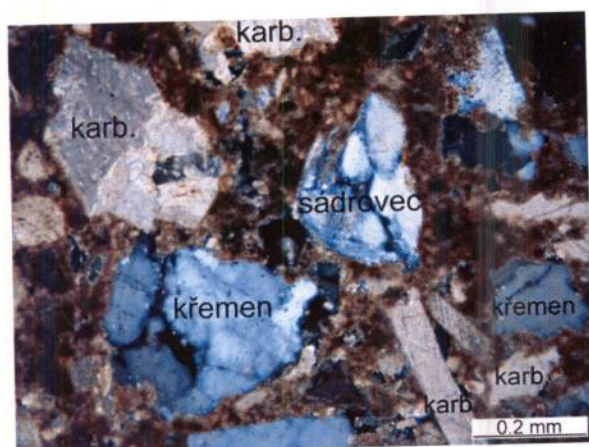
Obr. 9 Vzorek 7; XPL



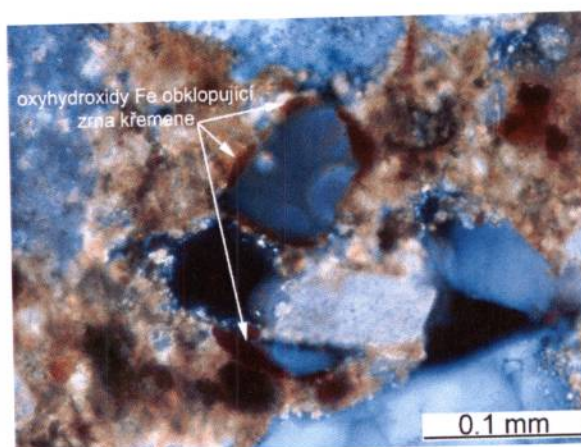
Obr. 10 Vzorek 7; XPL



Obr. 11 Vzorek 7; XPL



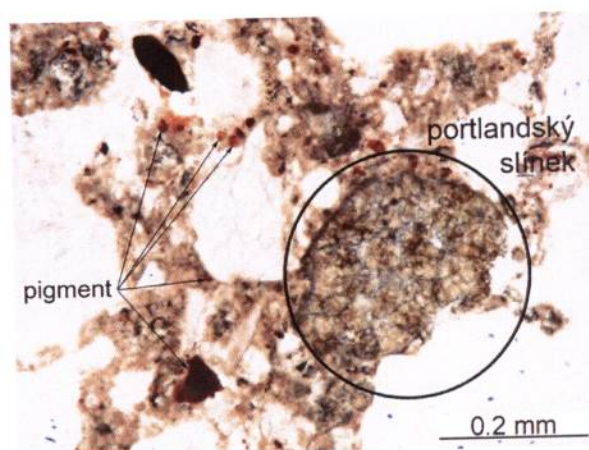
Obr. 12 Vzorek 7; XPL



Obr. 13 Vzorek 7; XPL



Obr. 14 Vzorek 7; XPL



Obr. 15 Vzorek 7; XPL

Vzorek č. 2 – šedá omítka s pemrlovaným povrchem

Pojivo

Pojivo je hydraulické. Hojně přítomné fragmenty portlandského slínku dosahují velikosti až 0,3 mm, obr. 17. Jako hlavní složka pojiva byl použit portlandský cement. Vzácně přítomný vápenný nedopal, svědčí pro (relativně malý) přídavek vápna, obr. 18.

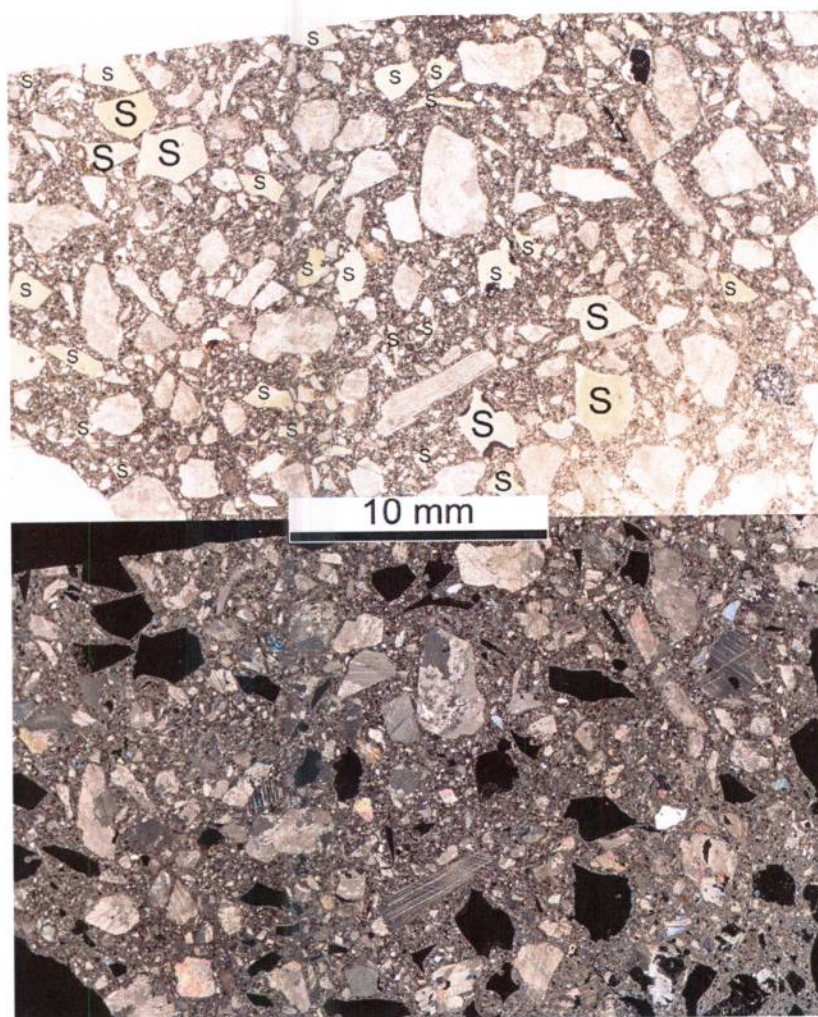
Plnivo

Fragmenty plniva mají střípkovitý tvar, který svědčí o drcení. Většina klastů plniva je tvořena rekrystalovanými karbonáty (mramory), což dokládá i přítomnost flogopitu uzavřeného v karbonátových klastech, obr. 18. Karbonáty tvoří makroskopicky bílé klasty.

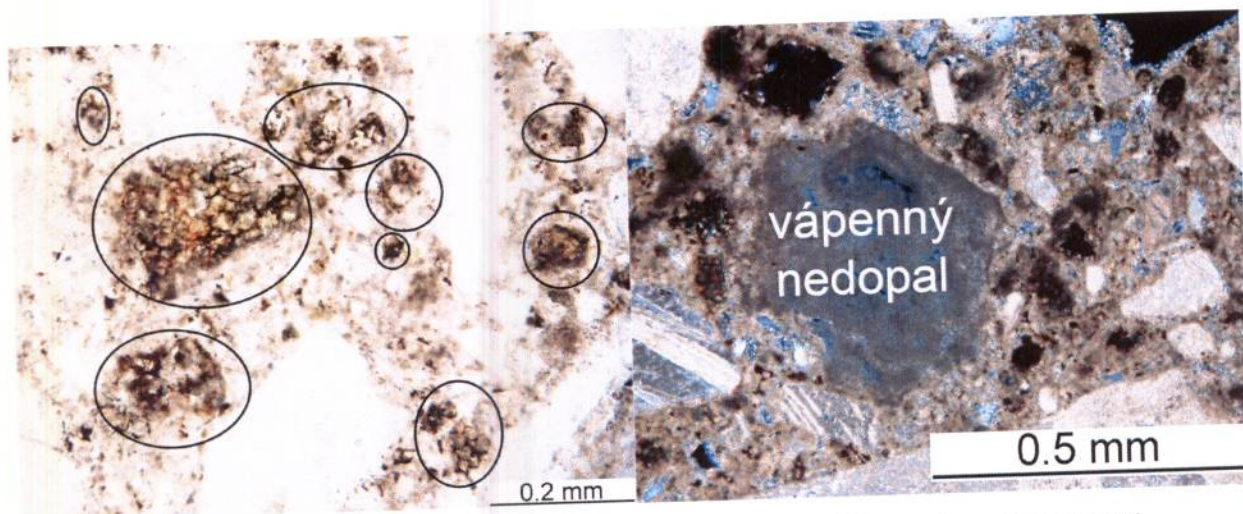
Druhým nejvýrazněji zastoupeným materiálem plniva je sklo (obr. 16, 19, 21). Ve výbrusu (v PPL) má nažloutlou barvu, makroskopicky je černé s lasturnatým lomem. Jedná se téměř jistě o drcenou sklovitou strusku. Některé klasty skla (strusky) podléhají devitrifikaci, obr. 22.

Klasty karbonátů dosahují velikosti až 5 mm, velikost fragmentů skla nepřesahuje 3,5 mm. Mezi jemnější frakcí plniva opět převažují karbonáty, relativně hojně je přítomen křemen, obr. 23. Vzácně byl identifikován muskovit, obr. 24, Fe-chlorit, obr. 25 a jeden klast hadce, obr. 22.

Objemový poměr plnivo : pojivo = 3 : 2 až 2 : 1. Vzorek je kompaktní, porozita je nízká.

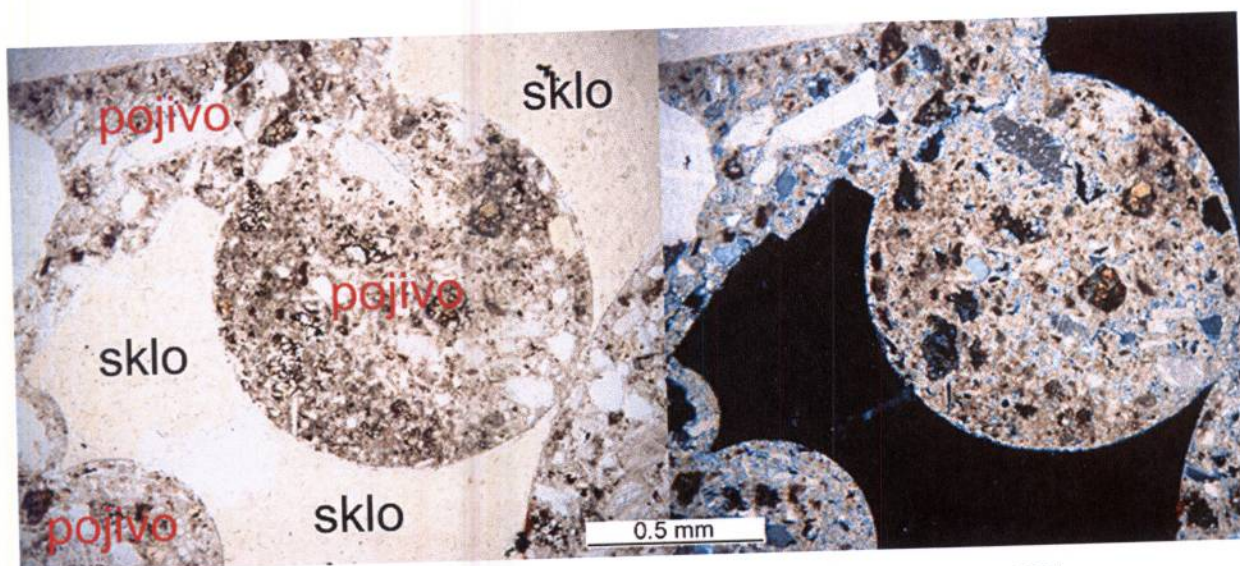


Obr. 16 Klasty tvořené sklem (struskou) jsou označeny písmenem „S“. Většina ostatních klastů je tvořena karbonáty; nahoře PPL, dole XPL

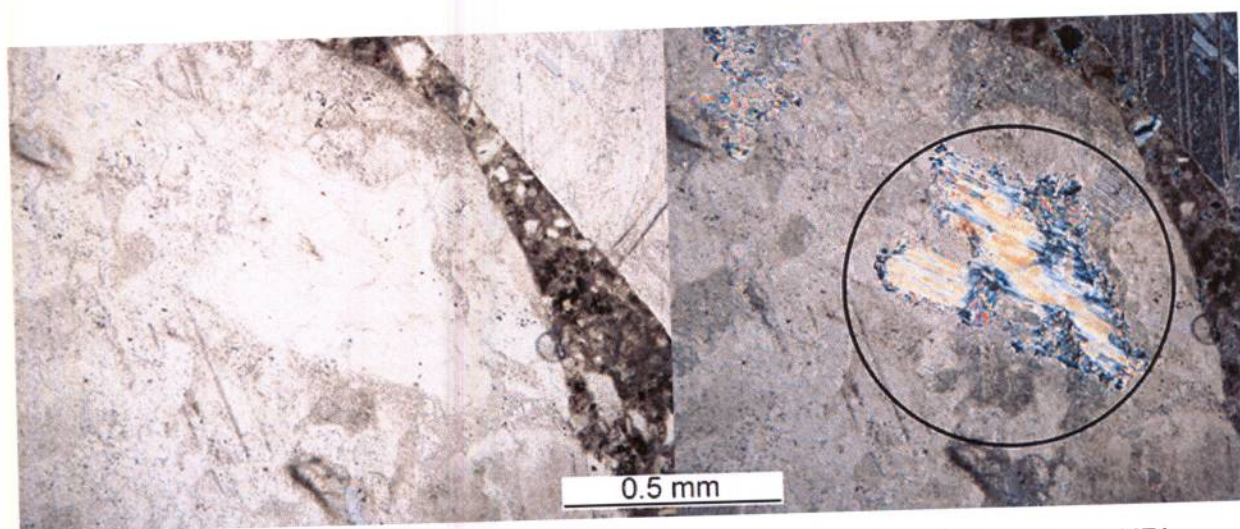


Obr. 17 Fragmenty portlandského slínku;
PPL

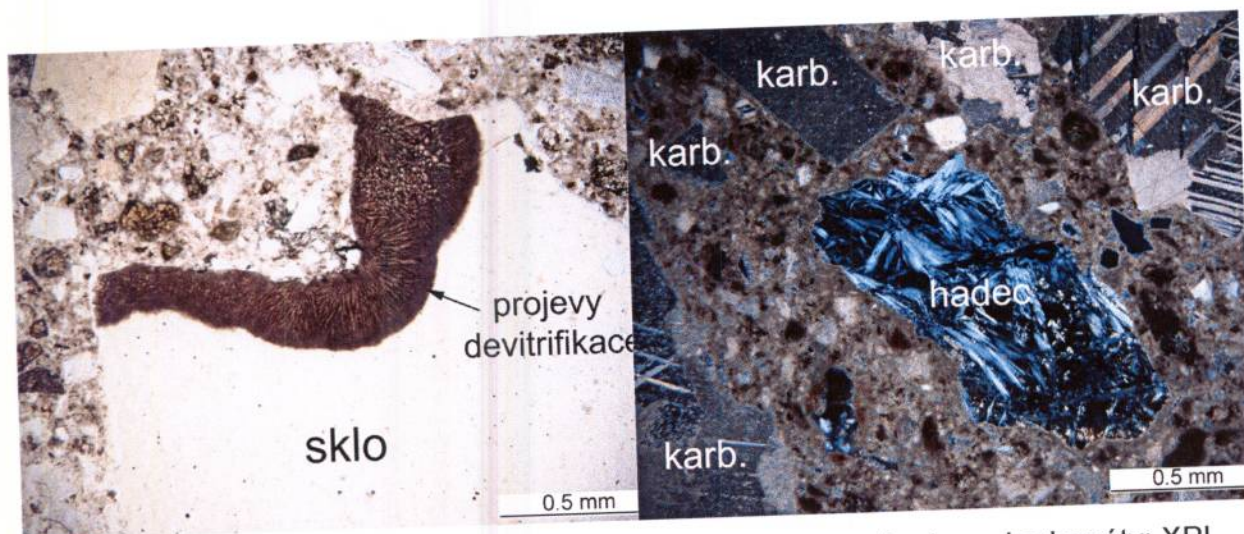
Obr. 18 Vápenný nedopal; PPL



Obr. 19 Střípkovité klasty skla (strusky); vlevo PPL, vpravo XPL

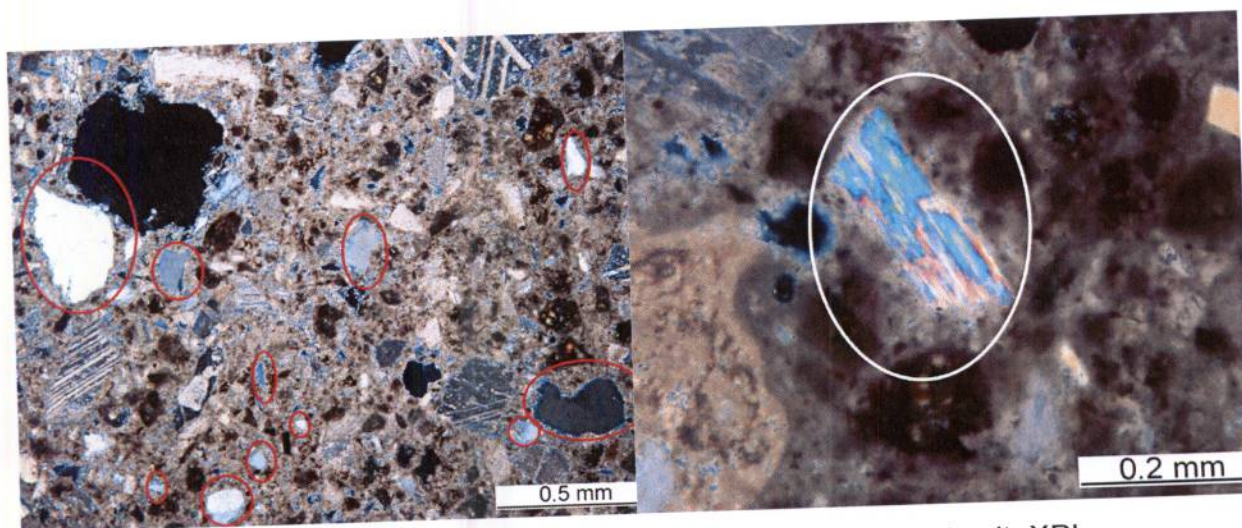


Obr. 20 Plnivo – lišty flogopitu uzavřené v karbonátech; vlevo PPL, vpravo XPL



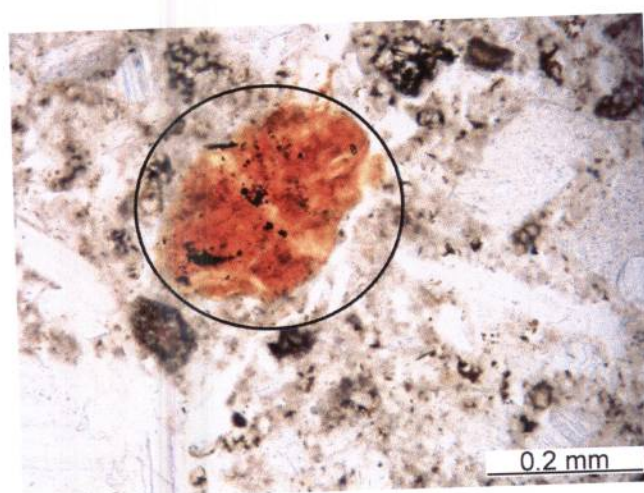
Obr. 21 Sklo (struska) s probíhající devitrifikací; PPL

Obr. 22 Plnivo – hadeč a karbonáty; XPL



Obr. 23 Plnivo – klasy křemene; XPL

Obr. 24: Plnivo – muskovit; XPL



Obr. 10: Plnivo – Fe – chlorit; PPL

3.4.2 Stanovení obsahu a velikosti zrn kameniva

Stanovení granulometrie použitého plniva v omítkách bylo provedeno v optickém mikroskopu Nikon při zvětšení cca 30× s následným převedením obrazu do digitální verze.

Výsledky jsou vyobrazeny na fotografiích v příloze této zprávy. Při tomto sledování byly zjištěny následující skutečnosti:

Vzorek č. 2 - Šedá omítka s pemrlovaným povrchem:

- tloušťka finální vrstvy je od 6 do 8 mm
- základní plnivo je tvořeno praným říčním pískem v granulometrii 0-3 mm, kde je významné zastoupení zrn velikosti 2-3 mm světlého odstínu (křemen); tato zrna mají oblý tvar, hladký povrch
- korekční plnivo je tvořeno černými zrny o velikosti 0,5-3 mm, toto kamenivo vzniklo drcením, tvar zrn je nepravidelný, ostrohranný (sklo – struska). Objemové zastoupení do cca 25 %. Dále bílými zrny (vápenec); toto kamenivo vzniklo drcením, tvar zrn je nepravidelný, ostrohranný v objemovém zastoupení do cca 5 %.

Vzorek č. 7 - Okrová omítka:

- tloušťka finální vrstvy je od 6 do 8 mm
- základní plnivo je tvořeno praným říčním pískem frakce 0-1mm
- korekční plnivo je tvořeno světlými zrny vápence o velikosti 1-2 mm v objemovém zastoupení do 25 % a tmavými zrny o velikosti do 0,5 mm v objemovém zastoupení do 15 %.

Fotografie vzorků s rastrem o velikosti čtverce 1 a 0,25 mm jsou v příloze zprávy.

3.5 Stanovení poměru rozpustného a nerozpustného podílu v kyselině chlorovodíkové

Jádrová omítka obsahovala běžné nerozpustné kamenivo v kyselině chlorovodíkové. Proto poměr nerozpustného a rozpustného podílu lze považovat za poměr kameniva k pojivu; ten je typický tento druh malt, a to 3,3 ku 1. V pojivu byl pak ze záznamu termické analýzy vypočítán poměr vápna a cementu, který činí 0,3 k 0,7.

U povrchových vrstev omítek, vzorky č. 1, 2 a 7 byla zjištěna přítomnost podílu rozpustného uhličitanového kameniva, jak ukázal i petrografický rozbor, kap. 3.4.1. Poměr nerozpustného a rozpustného podílu v kyselině chlorovodíkové ukazuje na nízký podíl nerozpustného kameniva, tab. 4.

Tab. 4 Poměr nerozpustného a rozpustného podílu

Označení vzorku	Hmotnostní poměr mezi pojivem a plnivem
Jádrová omítka	3,3 kameniva k 1 dílu pojiva
V2 – omítka šedé barvy s pemrlovaným povrchem	0,63 kameniva ku 1 dílu pojiva
V1– omítka okrové barvy	0,54 kameniva ku 1 dílu pojiva
V7– omítka okrové barvy	0,40 kameniva ku 1 dílu pojiva

4. Vyhodnocení

Jádrová omítka je na bázi vápenocementové, neobsahuje přídavek vápence, poměr kameniva k pojivu je typický $3,3 : 1$. V pojivu lze pak přibližně stanovit poměr vápna a cementu, který činí $0,3 : 0,7$. Přes toto složení je omítka málo soudržná a má poruchy v přídržnosti k lici zdícího materiálu. **Z hlediska životnosti představuje tato omítka slabé místo, ve kterém dochází k dominantním poruchám fasády.**

Oba druhy omítek, tj. pemrlovaná omítka šedé barvy a dvě omítky okrové barvy, představují relativně pevný a kompaktní materiál, které tvoří povrchovou vrstvu na jádrové omítce.


Kamenivo v těchto omítkách, a to jak omítky šedé pemrlované, tak omítky okrové, obsahuje poměrně vysoký podíl vápencového kameniva. Vzhledem k rozpustnosti uhličitánového kameniva a identickému složení s výsledkem karbonatace vápna, je výrazným způsobem komplikováno přesné stanovení dávky pojiva v těchto omítkách.

Omítky okrové barvy, vzorek č. 1 a 7, jsou omítky vápenocementové se specificky voleným druhem kameniva. Vzorky omítek obsahují základní kamenivo křemenné do velikosti zrn 1 mm a přídavek až 25 % jemné vápencové drtě o velikosti zrn 1 až 2 mm. Okrové zbarvení je dáno přítomností pigmentu, kterým je přírodní hlinka s obsahem železitých sloučenin. Objemový poměr veškerého kameniva k pojivu je $3 : 2$ až $2 : 1$.

Omítka šedá, vzorek č. 2, je vápenocementová, ale podíl vápna je nízký. Obsahuje jako základní kamenivo praný říční písek o velikosti zrn 1 až 3 mm, vápencovou drť a sklo (strusku) o velikosti 2 až 4 mm. Poslední dva jmenované druhy se podílí na barevnosti omítky. Vápencové v kyselině rozpustné kamenivo nedovoluje běžnými analytickými metodami rozlišit množství vápenného pojiva od přidaného vápencového kameniva. Ze sledování vzorku optickým mikroskopem lze přibližně určit, že objemový poměr veškerého kameniva k pojivu je $3 : 2$ až $2 : 1$.

V povrchových vrstvách omítky byla prokázána přítomnost sádrovce. Tento minerál vzniká degradací pojiva omítky oxidem siřičitým, který je (a v minulosti byl ve větší míře) obsažen v okolní atmosféře. Tento proces lze označit za přirozený proces degradace omítek na budovách v městských aglomeracích, který se může projevit nerušením jejich povrchových vrstev.

V Brně dne 9. 9. 2016


Prof. RNDr. Pavla Rovnaníková, CSc.
Zodpovědný zpracovatel

**Fotodokumentace znečištěných a
omytých odebraných vzorků**



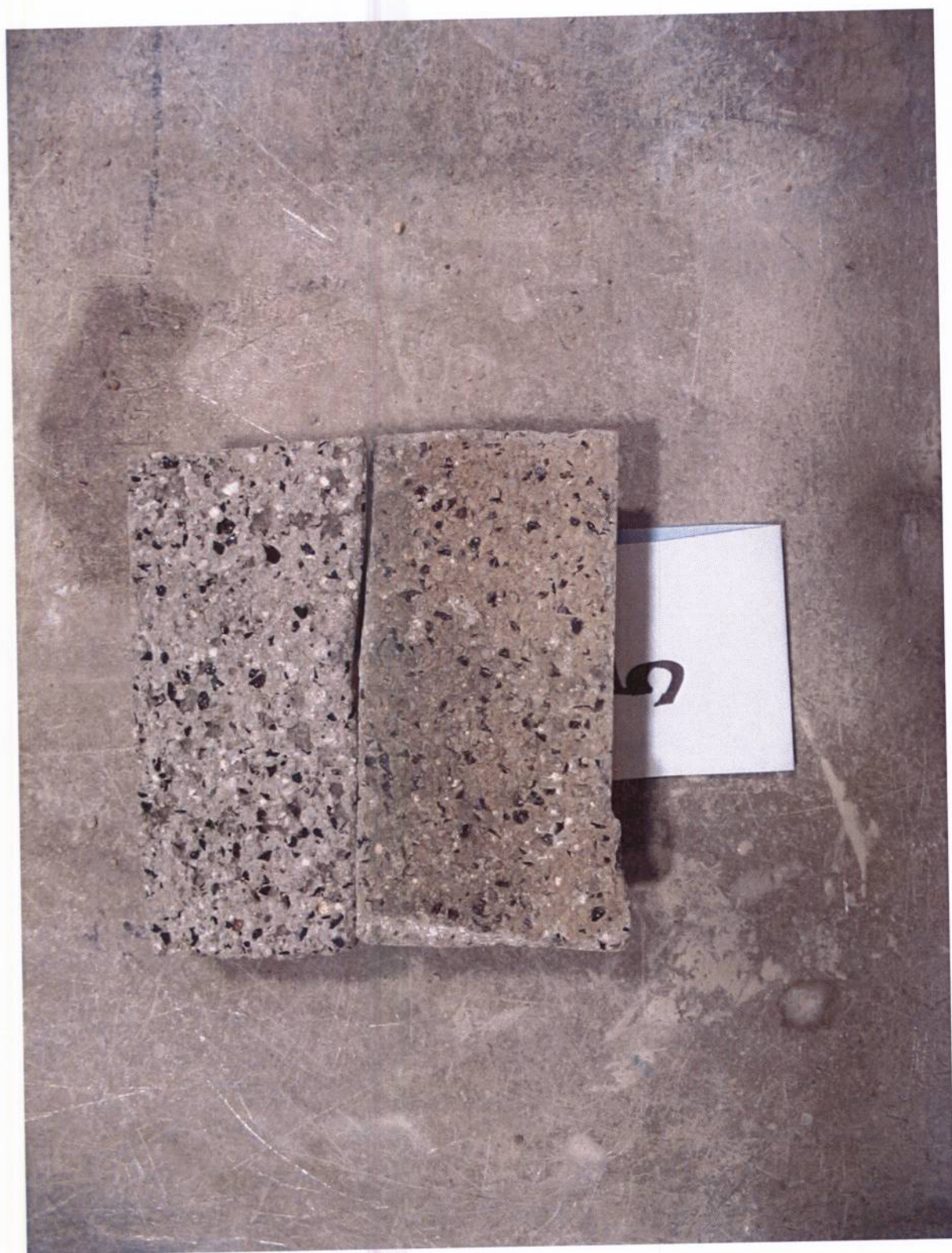


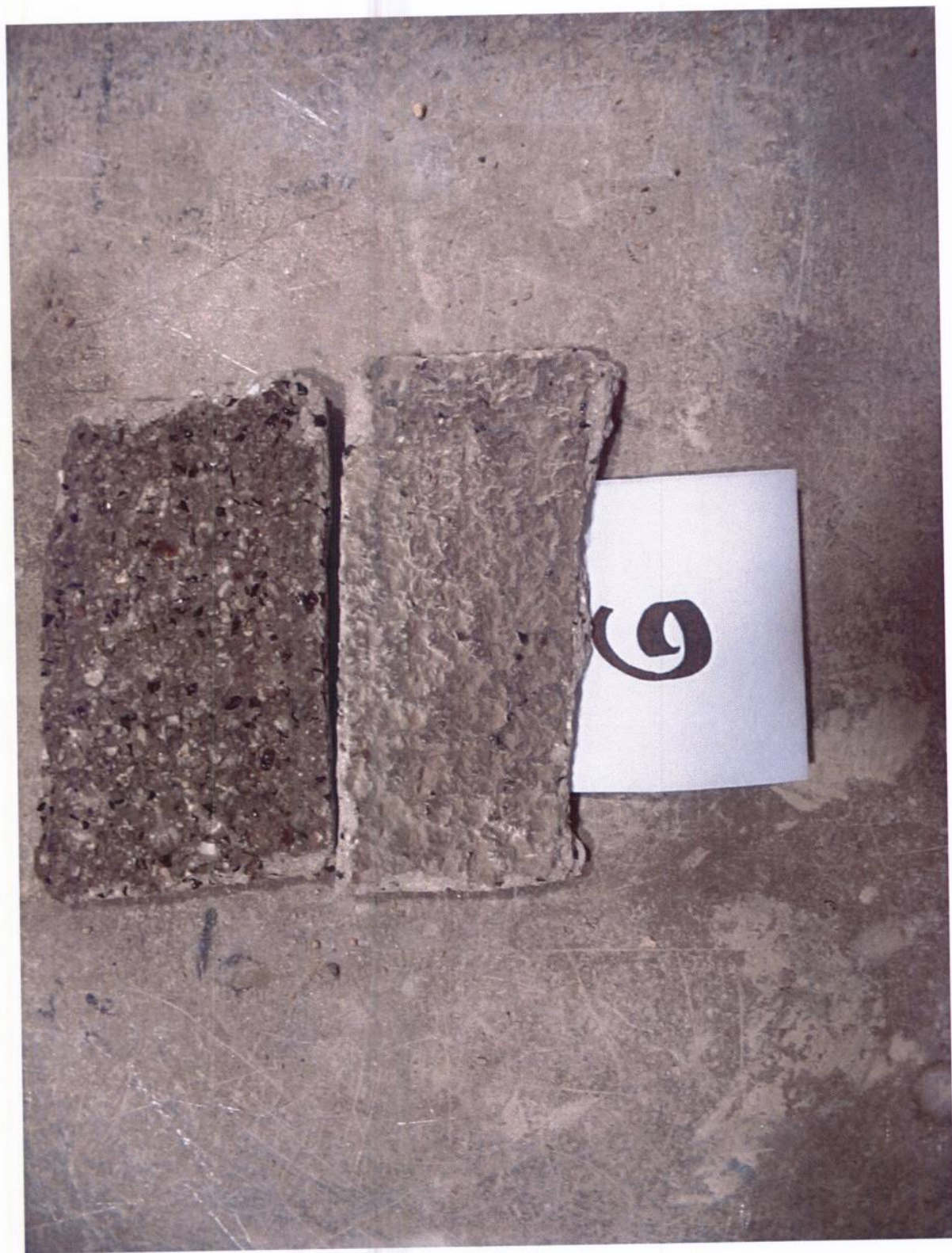






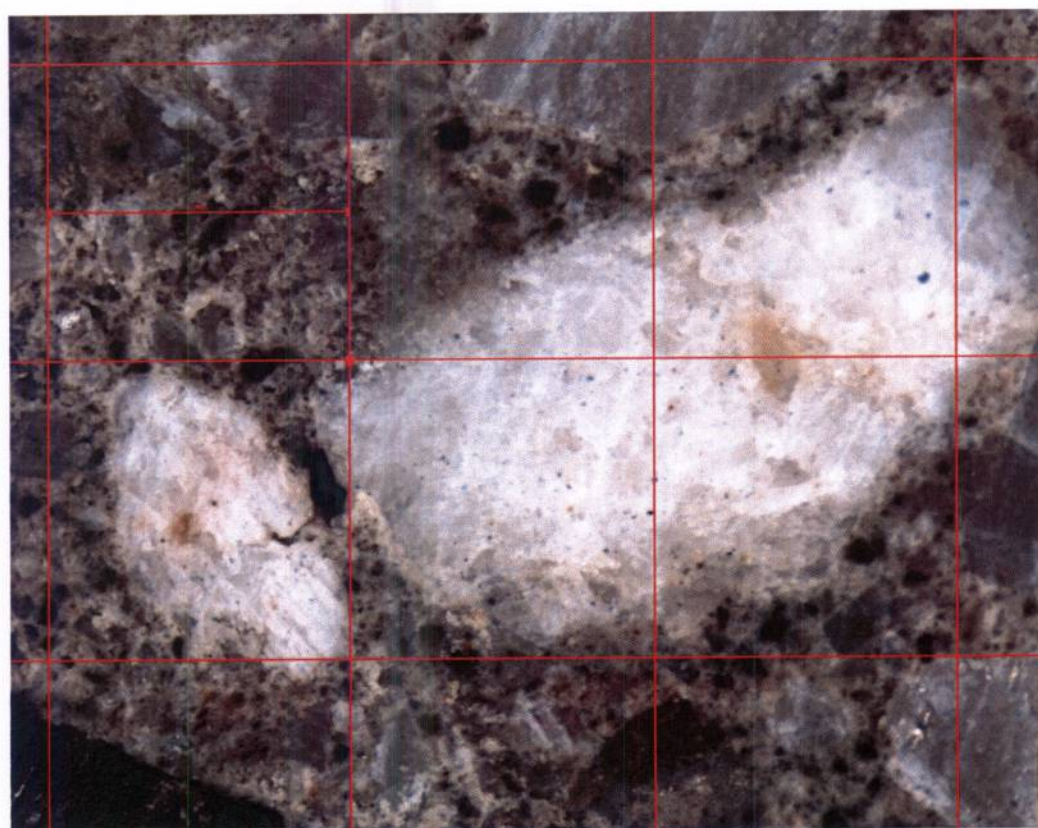
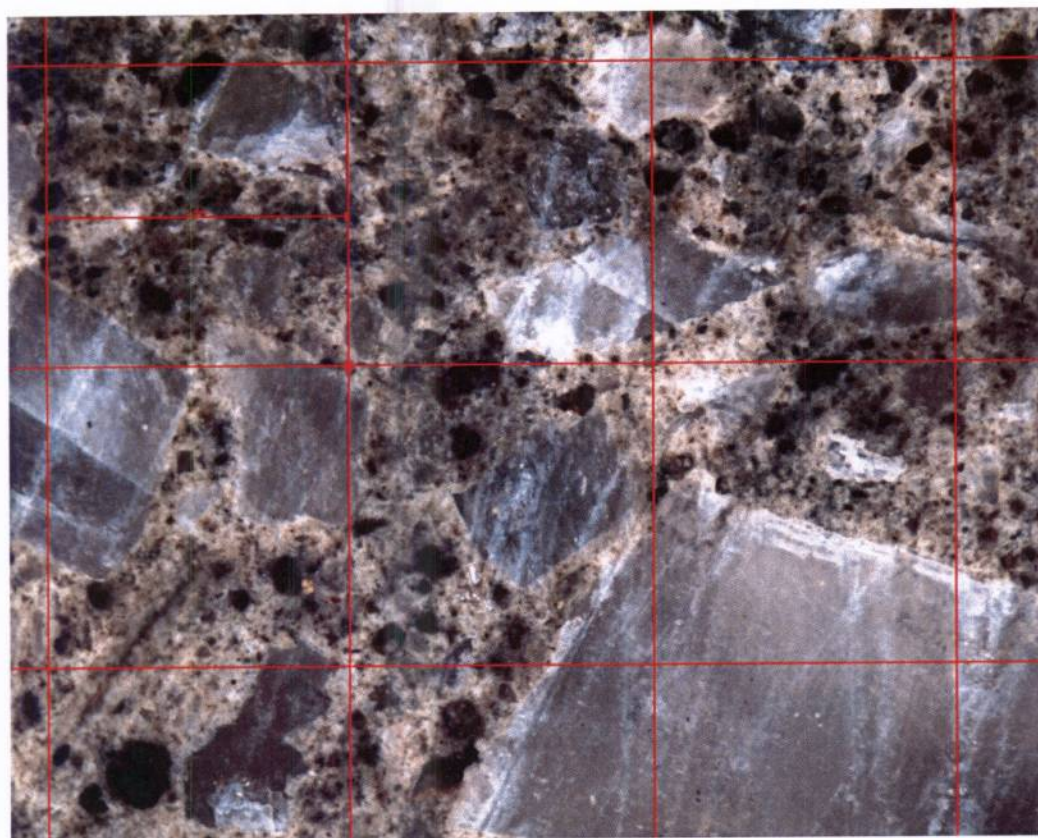


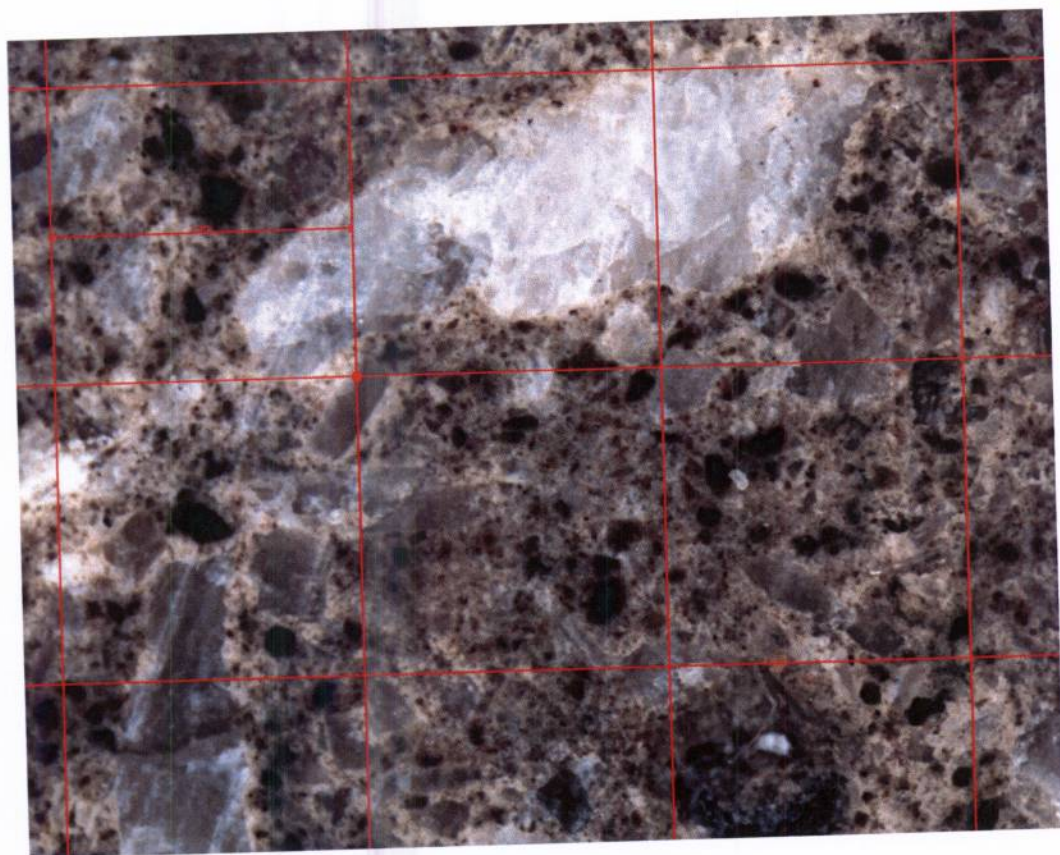
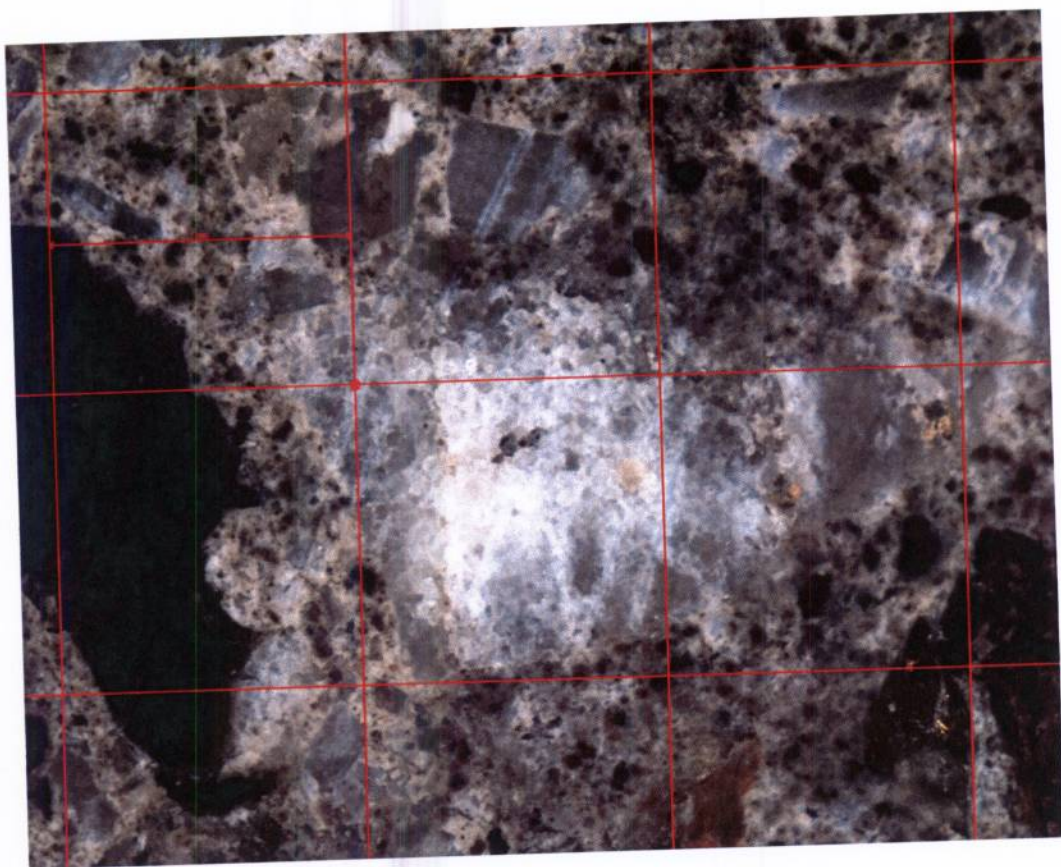


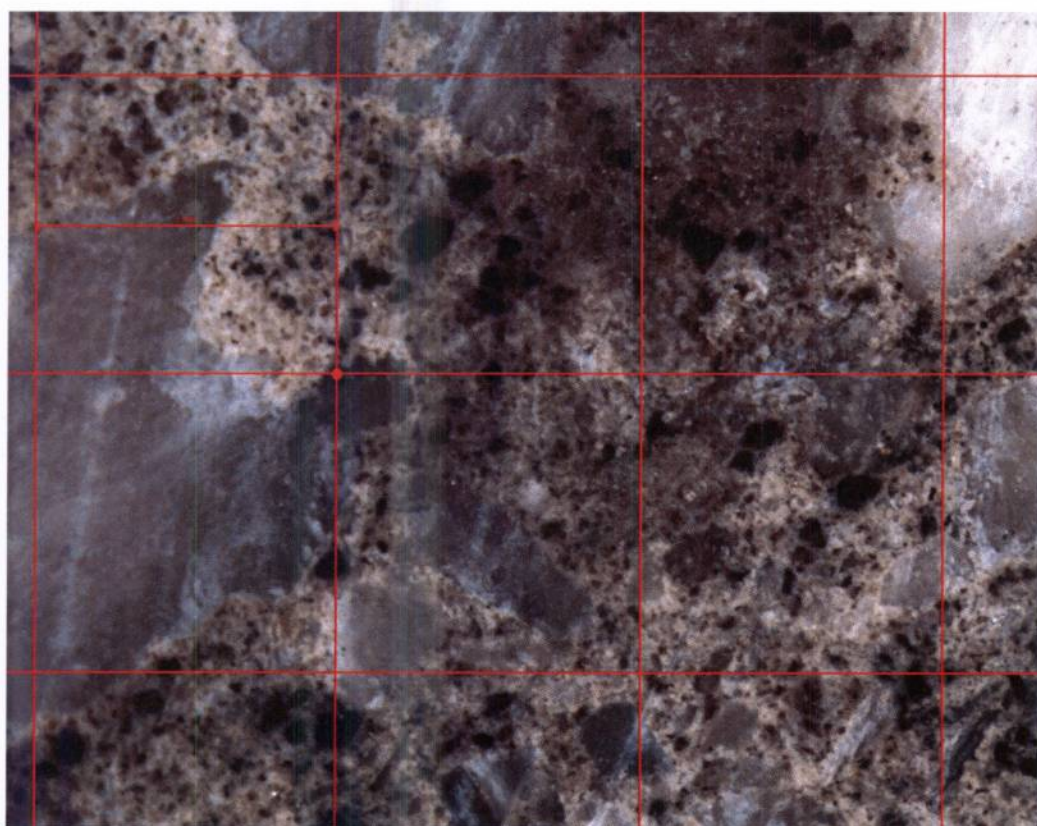
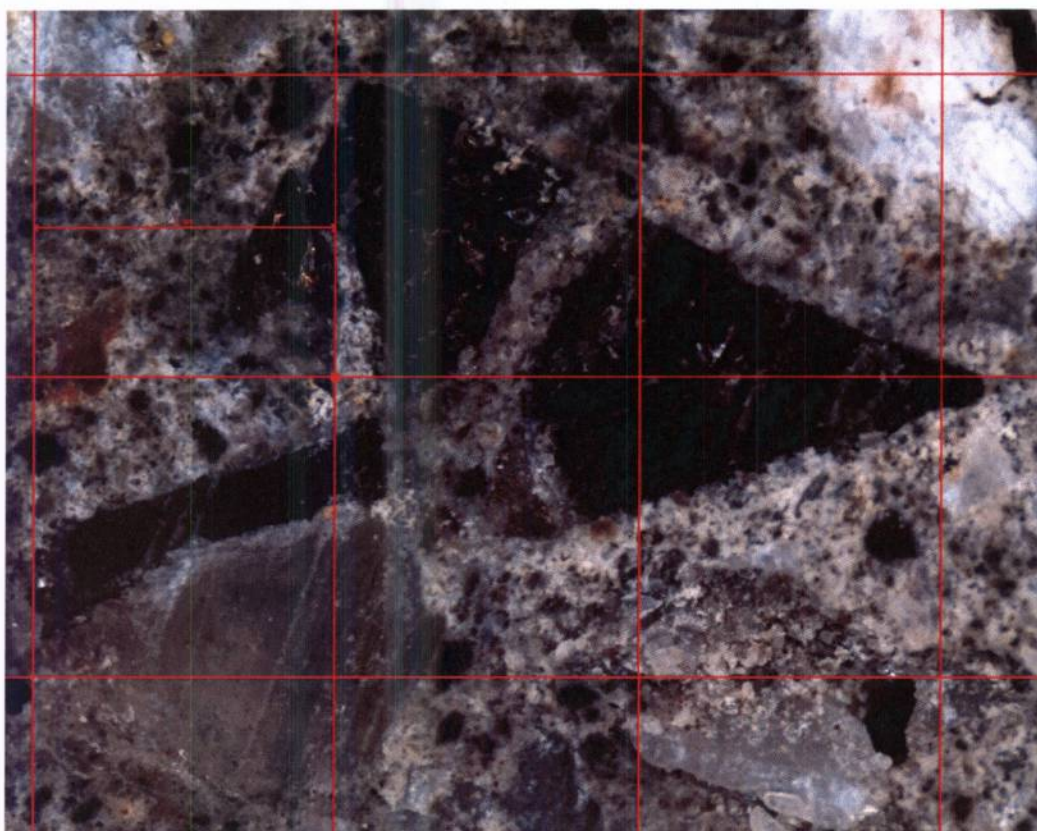


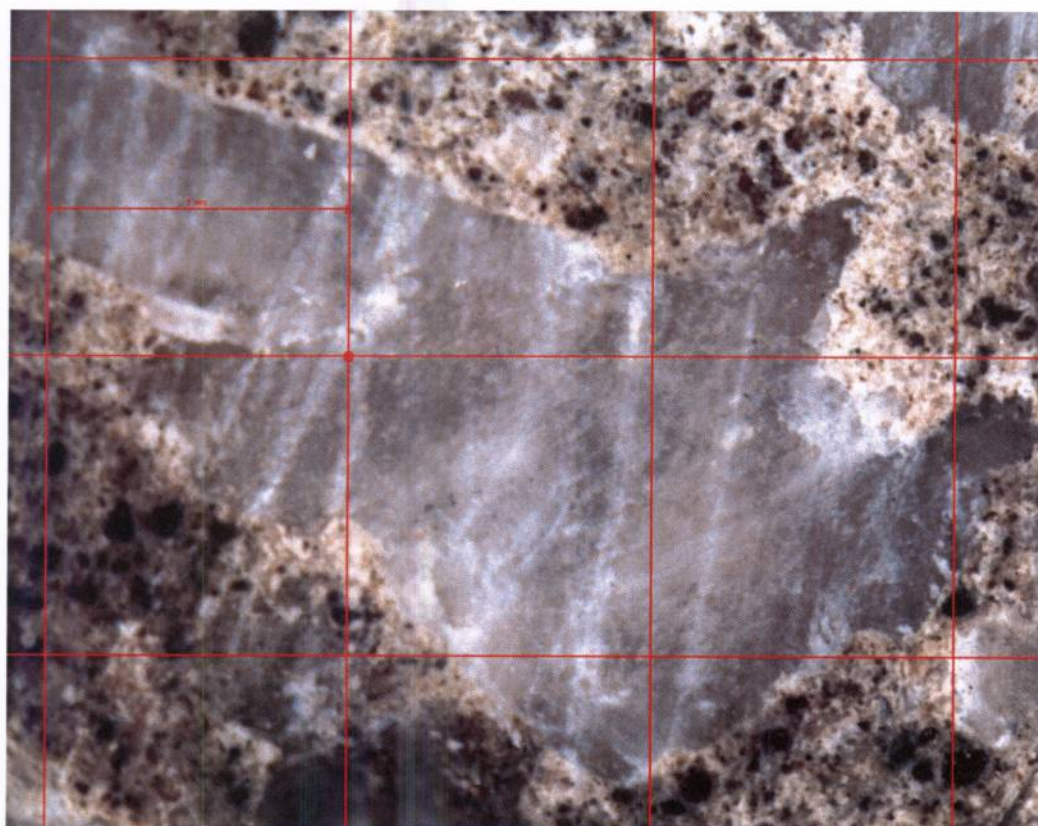
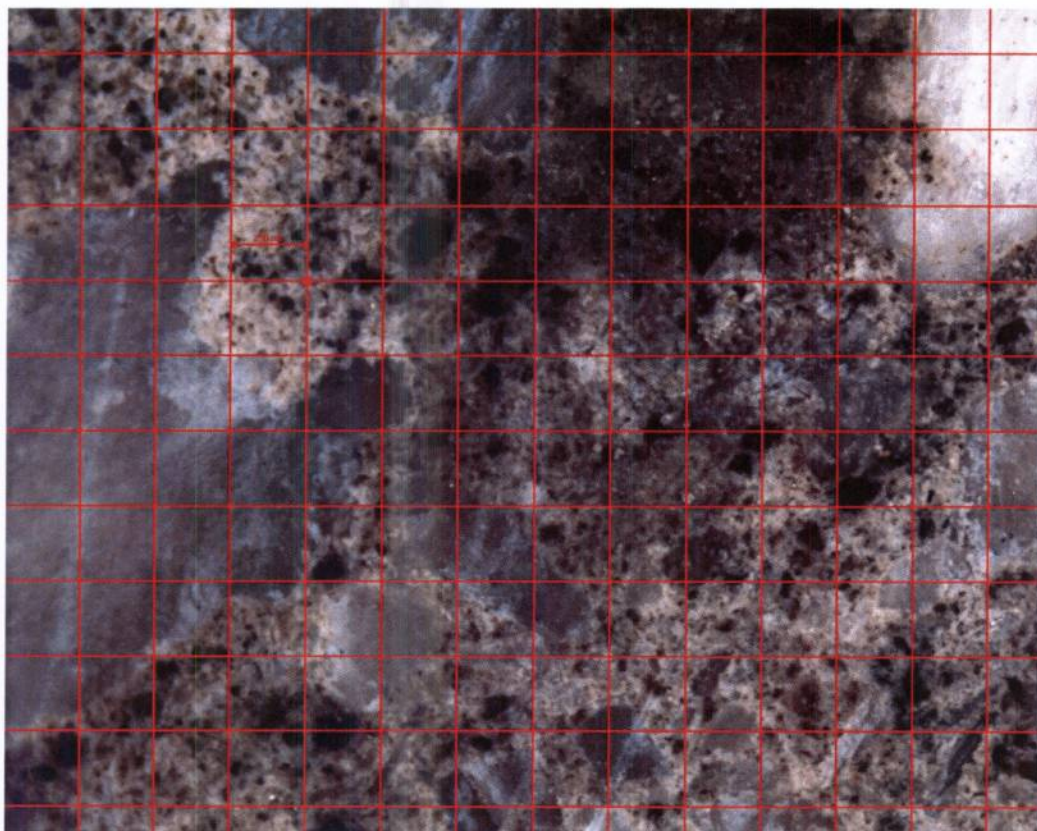


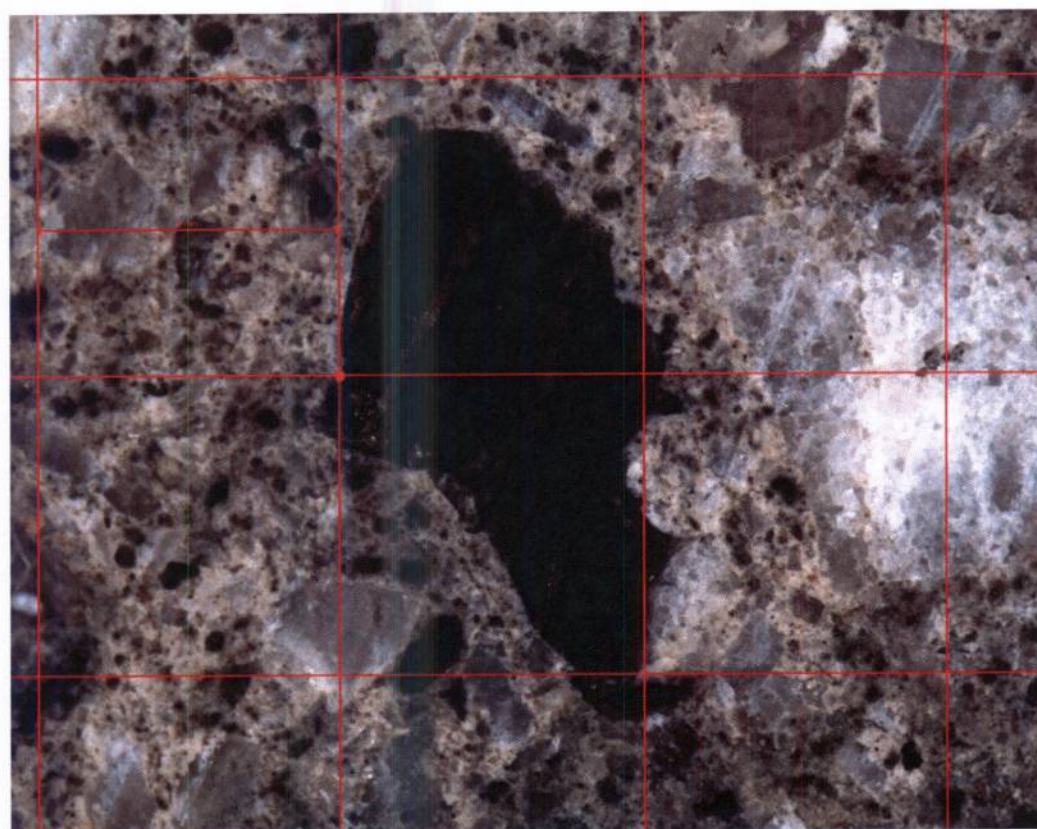
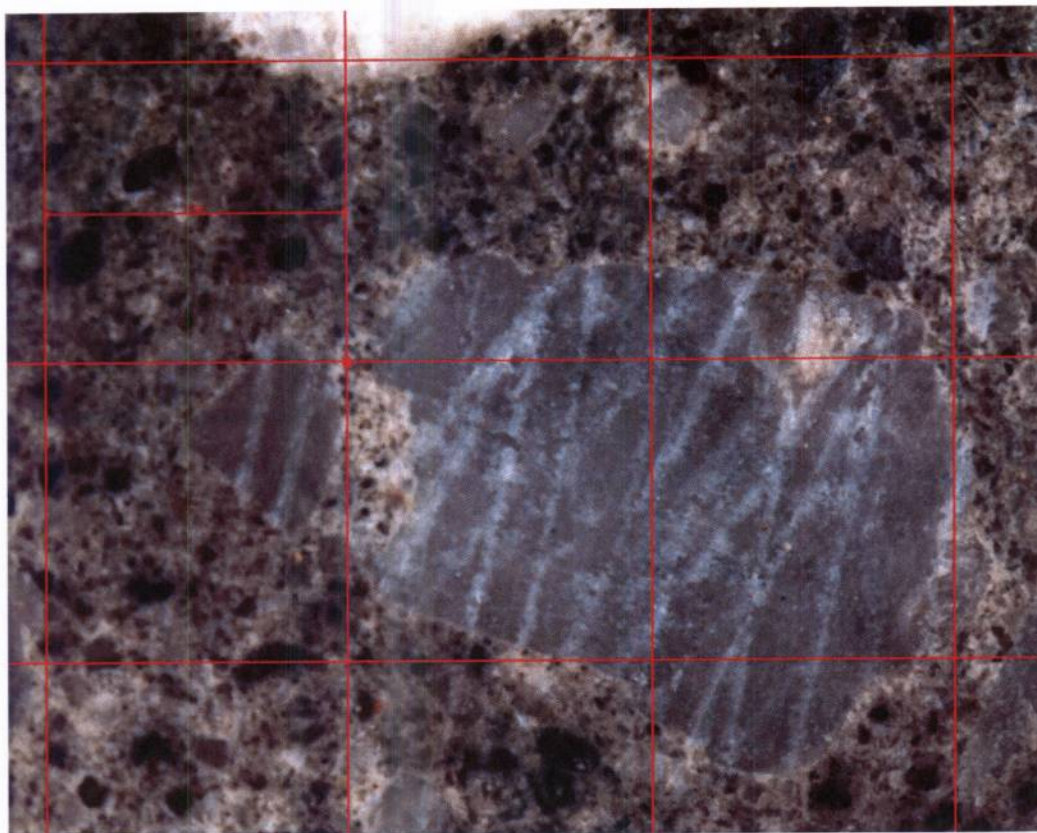
Fotodokumentace granulometrie "šedé omítky"











Fotodokumentace granulometrie "žluté omítky"

