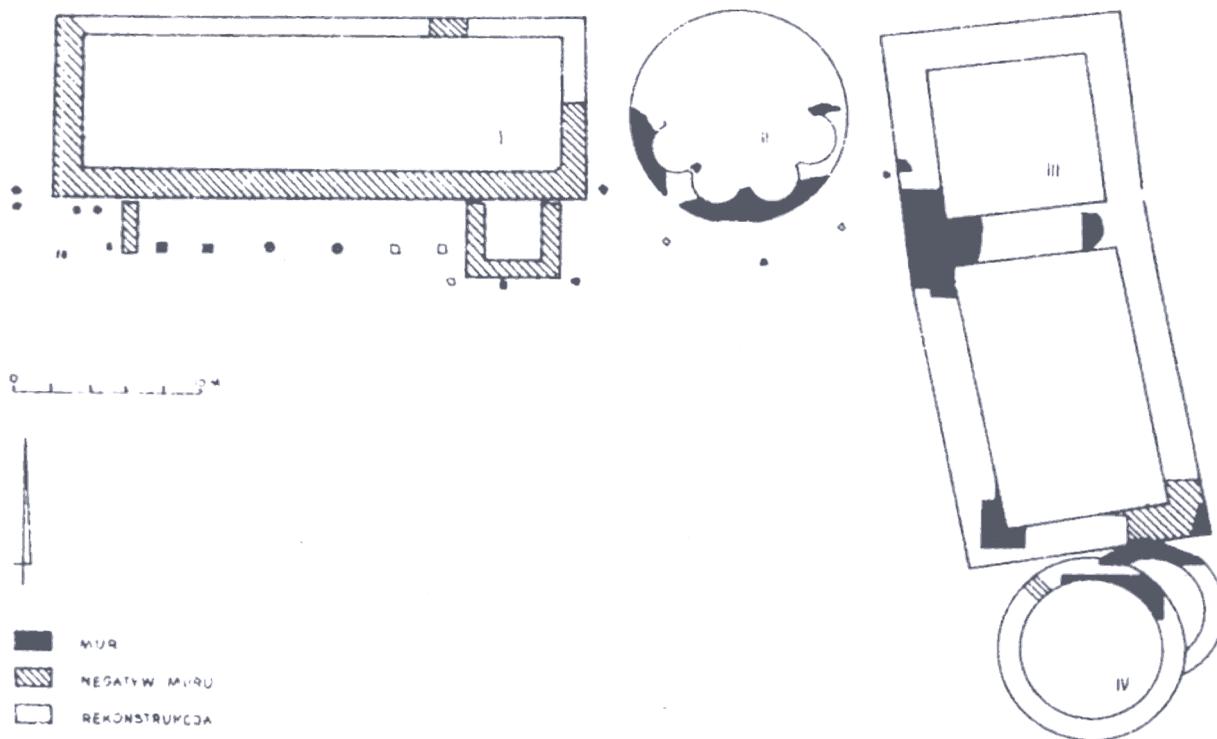


RECHERCHES SUR LES MORTIERS DU HAUT MOYEN AGE PROVENANT DES PAVEMENTS DES ANCIENS MONUMENTS DE WISLICA

Les recherches sur les mortiers du haut moyen âge (2), en particulier le plâtre (3, 4), provenant des pavements des anciens monuments de Wislica, furent menées par la Chaire de Chimie et de Technologie des Matériaux de Construction de la Faculté Polytechnique de Varsovie. De même que les recherches du doc. Zbigniew Brochwicz de l'Université de Toruń sur des mortiers similaires des monuments de Gniezno, elles prouvèrent une grande différenciation de ces mortiers. On remarque en particulier l'apparition de différents mortiers dans un même édifice, comme dans le pavement de quelques dizaines de centimètres de la cour de Wislica.

Les fouilles archéologiques menées depuis quelques années sur le sommet de l'île de Wislica, sur le site appelé « Château » par le Groupe de Recherches sur le Moyen Age Polonais de l'Université de Varsovie et de Polytechnique de Varsovie, sous la direction du doc. Zofia Wardołowska (7, 8), ont dégagé les restes d'un grand ensemble d'édifices monumentaux et des portions du pavement de la cour. Cet ensemble fut interprété par le doc. Z. Wardołowska comme un complexe palatin dont on connaît actuellement deux ailes (7) (fig. 1).

Fig. 1. — Wislica, plan des constructions palatiales du XI^e siècle. Dessin de K. Zielińska, reproduit d'après Z. Wardołowska (6).



Une des portions dégagées du pavement de la cour, d'une épaisseur d'environ 12 cm, se composait de cinq couches différentes de mortier se succédant immédiatement. Des échantillons de chaque couche furent prélevés par M. Maria Weber-Kozińska et transférés pour l'analyse à la Chaire. D'une seconde portion du pavement découverte en 1967, d'une épaisseur d'environ 9 cm et se composant de quatre couches de mortier, des échantillons furent prélevés par M. Zofia Woźnicka (8). Les échantillons de la portion première du pavement (6) furent marqués : I/I, II/I, III/I, IV/I et V/I. Les échantillons de la portion découverte en 1967 furent marqués : I/II, II/II, III/II et IV/II.

Les recherches menées à la Chaire avaient pour but de définir précisément la construction, la composition minérale et les caractéristiques physiques et de résistance des diverses couches de mortier. Ensuite — sur la base des résultats de ces analyses — on a établi la recette de ces mortiers, on en a exécuté des échantillons qu'on a soumis aux épreuves de résistance. Les résultats finaux de ces recherches ont prouvé que, suivant la composition minérale des mortiers, leurs caractéristiques et utilisations varient beaucoup.

I. RESULTATS DES ANALYSES DES ECHANTILLONS DES DEUX PORTIONS DU PAVEMENT DE LA COUR SUR LE SITE « CHATEAU » DE WISLICA ET DES ECHANTILLONS DU PAVEMENT DECORE ET NON DECORE DE LA CRYPTTE ET DE L'EGLISE ROMANE DE LA COLLEGIALE DE WISLICA

1. Analyses macro- et microscopique

- Couche I/I : inférieure du pavement de la cour. Les échantillons pour étude ont été prélevés sous forme de débris isolés d'une taille allant jusqu'à 5 cm et d'environ 1 cm d'épaisseur. La surface inférieure des débris a une teinte gris foncé par suite des impuretés du fond collées au mortier et arrachées en même temps. Les débris de mortier s'effritent facilement entre les doigts et trahissent un fort délavage du liant. Les échantillons décrits ont une structure à grain fin fortement poreuse. Les pores sont très petits et disposés de manière assez irrégulière. La masse du mortier au dessus de la couche de fond a une teinte claire crèmeuse.

L'échantillon étudié se diluait dans 2 n HCl en dégageant du CO₂, ce qui prouve une forte teneur en carbonate. Les parties non solubles — comme l'ont prouvé les observations sous une loupe binoculaire avec agrandissement 100 fois — se composent de grains de quartz transparents, incolores, bien polis, de tailles diverses (les plus courants sont les grains d'environ 1 mm), de petits conglomerats d'oxydes de fer et de rares éclats de feldspath de teinte laiteuse.

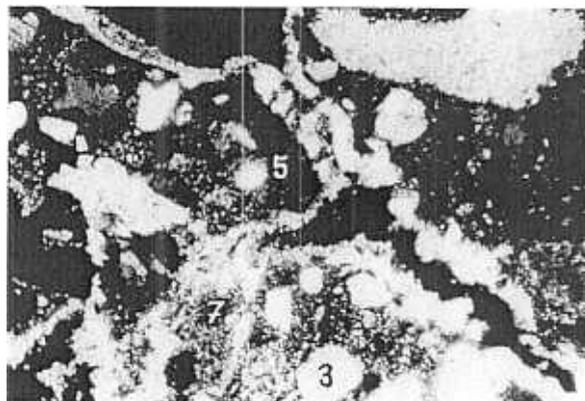


Fig. 2. — Pavement de la cour, couche I/I. 7. Masse carbonatée à grain fin; 3. Grains de quartz; 5. Eclats de céramique; 8. Eclats de carbonate. Nicoles X, agrandissement 150 ×.

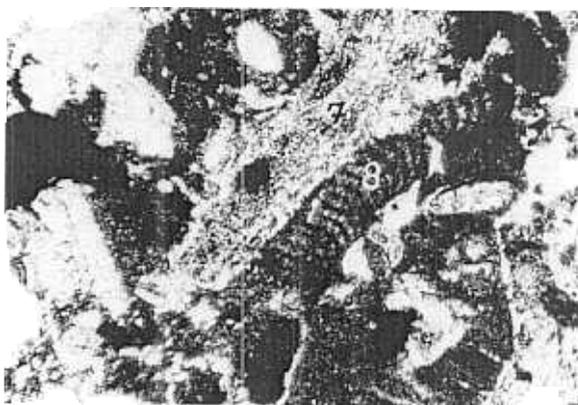


Fig. 3. — Pavement de la cour, couche I/I. 7. Masse de carbonate à grain fin; 8. Eclat organogénétique. Nicoles X, agrandissement 150 ×.

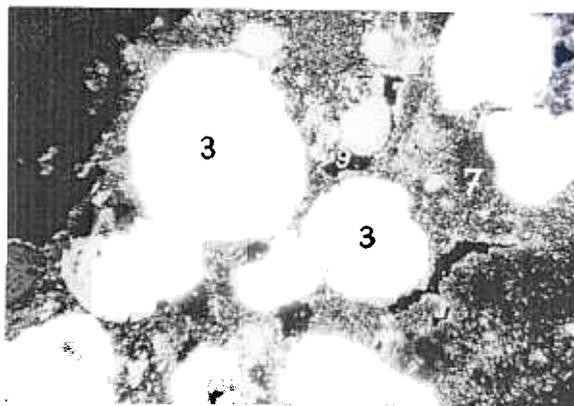


Fig. 4. — Pavement de la cour, couche I/I. 3. Grains de quarts; 7. Masse de carbonate à grain fin; 9. Cercles de calcite autour des pores. Nicoles X, agrandissement 150 ×.

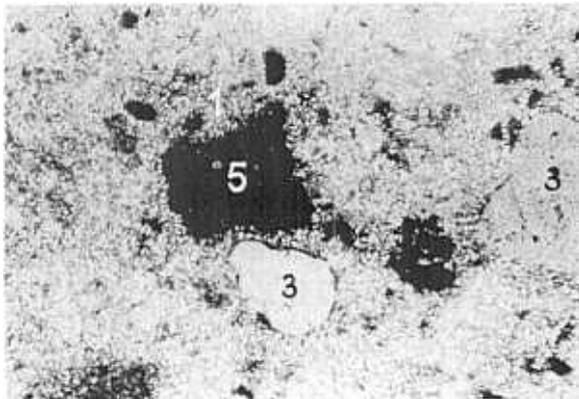


Fig. 5. — Pavement de la cour, couche II/I. 1. Masse de gypse à cristaux fins; 3. Grains de quartz; 5. Grands éclats de céramique; 8. Eclat de carbonate. Nicoles X, agrandissement 100 ×.

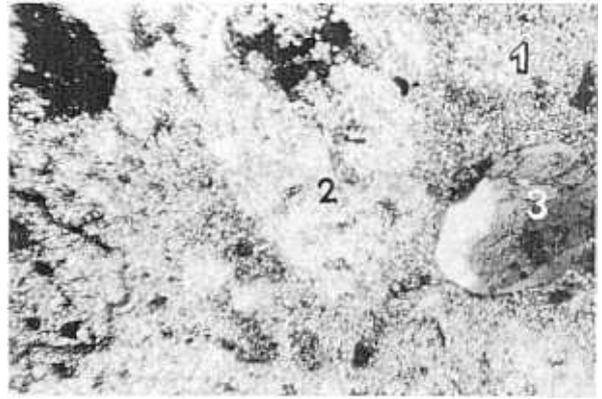


Fig. 6. — Pavement de la cour, couche II/I. 1. Masse gypseuse à cristaux fins; 2. Grand grain de gypse; 3. Grain de quartz; 4. Pores. Nicoles X, agrandissement 150 ×.

Les analyses microscopiques sous lumière transmise polarisée avec un agrandissement de 150 fois ont montré que l'échantillon est formé d'une masse carbonatée brun clair, anisotrope, à grain très fin de taille sub-microscopique. Assez souvent apparaissent des conglomérats de grands cristaux de calcite, formés par la carbonatation de CaO. Des grands cristaux de calcite apparaissent également autour des grains de la matière de remplissage et sur les bords des pores. Dans ce mortier, le rôle de matière de remplissage est joué par de gros grains de quartz arrondis, avec une absorption de la lumière ondulatoire et de construction parfois en mosaïque, et des éclats de quartzite moins nombreux. On a aussi remarqué la présence dans la masse du mortier d'assez nombreux éclats de calcaire avec des traces d'origine organogénétique, de rares débris de céramique brune et de très petits grains allongés de charbon noir opaque (fig. 2, 3, 4).

• Couche II/I : quatrième du pavement à partir du haut. Les échantillons pour analyse ont été prélevés sous forme de débris irréguliers d'une taille allant jusqu'à 10 cm et d'une épaisseur d'environ 4 cm. Certains étaient fortement abîmés et s'effritaient facilement. Le mortier étudié a une structure semblable à celle du porphyre. Dans une masse à grain très fin se trouvent de plus grands grains de quartz et des fragments de céramique brune.

Après dissolution des échantillons dans 2 n HCl — comme l'a montré l'analyse sous une loupe binoculaire d'agrandissement 100 fois — le reste se compose de grains de quartz incolore, bien polis, d'une dimension de 1 - 2 mm. Certains ont une teinte jaunâtre sous l'action des combinaisons ferrugineuses, qui forment également de petits conglomérats sombres. Sporadiquement apparaissent des petits éclats de feldspath laiteux.

L'analyse sous microscope a montré que ce mortier se compose surtout d'une masse de plâtre anisotrope, à grain très fin de taille sub-microscopique, avec un complément de carbonates dispersés. Parfois apparaissent de plus grands conglomérats de calcite à petits cristaux, issus de la carbonatation de CaO. La matière de remplissage est formée de grands cristaux de gypse fibreux et de grains arrondis relativement nombreux de quartz à structure en mosaïque et avec une absorption de la lumière ondulatoire. Des éclats de quartzite apparaissent sporadiquement de même que des éclats de calcaire avec des traces d'origine organogénétique. Dans la masse du mortier apparaissent des grains de céramique brune et de très petits fragments allongés de charbon noir.

La pellicule extérieure d'une des surfaces des échantillons de la couche II/I présente un autre caractère. C'est un mortier de chaux de composition semblable au mortier de la couche I/I. Son épaisseur est infime, ce qui prouve le passage immédiat du mortier de chaux au mortier de plâtre (fig. 5, 6).

• Couche IV/II : inférieure de la portion du pavement de 1967. Les échantillons sont des morceaux irréguliers de mortier de taille $7 \times 7 \times 2$ cm, $5 \times 4 \times 2$ cm et $4 \times 3 \times 2$ cm, aux surfaces irrégulières, dont une est égalisée, une autre salie par endroits de terre. Sur la coupe fraîche et polie on voit une structure compacte, à petites cavités, de teinte gris-rose. L'analyse au microscope a démontré une très grande ressemblance de ce mortier avec les échantillons de la couche II/I.

• Couche III/I : troisième du pavement de la cour en partant du haut. Les échantillons pour analyse ont été prélevés sous forme de débris irréguliers de quelques centimètres et d'une épaisseur d'environ 2 cm. A l'observation macroscopique, ce mortier a une structure

à grain fin, assez compacte, et une teinte gris-crème. Après dissolution dans 2 n HCl, les parties insolubles — comme l'ont montré les analyses à la loupe binoculaire d'agrandissement 100 fois — sont formées de grains de quartz transparents, incolores, d'une taille allant jusqu'à 1 mm et de grains anguleux de feldspath de teinte blanche ou rose. Apparaissent également de petits conglomerats, noirs ou bruns, de combinaisons ferrugineuses et — sporadiquement — de petits fragments de charbon noir.

L'analyse microscopique a montré que ce mortier est formé d'une masse gypseuse anisotrope à grain fin, où se trouvent de grands cristaux de gypse, souvent fortement détruits, et parfois des conglomerats de calcite à petits cristaux. Dans la matière de remplissage se trouvent également de nombreux grains de quartz arrondis, parfois de construction en mosaïque et avec absorption de la lumière ondulatoire, et des éclats de quartzite et de calcaire d'origine organogénétique. En petite quantité on aperçoit encore des grains de feldspath et des débris de céramique brune (fig. 7, 8).

- Couche III/II : troisième à partir du haut. Les échantillons se présentent comme deux morceaux irréguliers de mortier de dimensions $7 \times 5 \times 2$ cm et $11 \times 7 \times 2$ cm. Les surfaces inférieures sont inégales et poreuses, les faces supérieures polies mais ondulées. La coupe fraîche polie présente une forte porosité, parfois des cavités, la teinte en est rose crème. Les échantillons sont moins compacts que ceux des couches I/II et II/II.

L'analyse au microscope a prouvé une ressemblance parfaite avec les échantillons de la couche III/I aussi bien du point de vue de la construction et de la composition minérale que de l'état de conservation.

- Couche IV/I : deuxième du pavement de la cour en partant du haut. Les échantillons pour analyse ont été prélevés sous forme de petits éclats irréguliers d'épaisseur 1,5 - 2 cm. A l'observation macroscopique, le mortier de teinte gris clair était fortement poreux. Le résidu, après dissolution dans 2 n HCl, était formé — comme l'ont montré les analyses à la loupe binoculaire d'agrandissement 100 fois — de grains de quartz arrondis partiellement transparents, incolores ou laiteux, d'une taille allant jusqu'à 1 mm. Entre les grains de quartz apparaissent des grains de feldspath bien arrondis et de rares petits conglomerats d'oxyde de fer de teinte sombre.

L'analyse au microscope a montré que le mortier étudié se compose surtout d'une masse carbonato-gypseuse anisotrope à grain fin. La matière de remplissage est formée de nombreux grains de quartz, avec absorption de la lumière ondulatoire, et de grains moins nombreux de feldspath bien arrondis (plagioclases et microcline). Apparaissent également des éclats de calcaire d'origine organogénétique (fig. 9, 10).

- Couche V/I : supérieure du pavement de la cour. Les échantillons pour analyse ont été prélevés sous forme de grands morceaux irréguliers d'une épaisseur

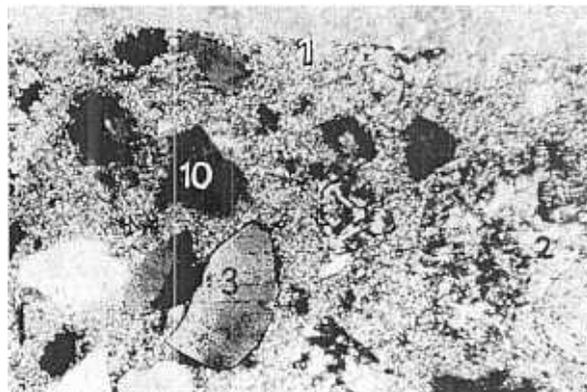


Fig. 7. — Pavement de la cour, couche III/I. 1. Masse de gypse à cristaux fins; 2. Grands cristaux de gypse; 3. Grain de quartz; 5. Céramique; 10. Grain de feldspath. Nicoles X, agrandissement 150 \times .

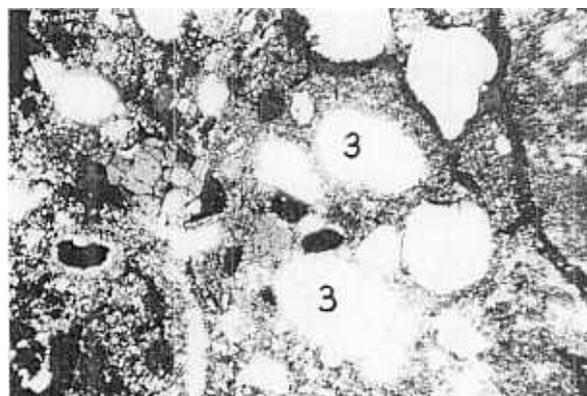


Fig. 8. — Pavement de la cour, couche III/I. 1. Masse de gypse à cristaux fins; 3. Grains de quartz; 4. Pores. Nicoles X, agrandissement 150 \times .



Fig. 9. — Pavement de la cour, couche IV/I. 1. Masse de remplissage de gypse et chaux à cristaux fins; 3. Grains de quartz; 8. Grand éclat de carbonate organogénétique. Nicoles X, agrandissement 150 \times .

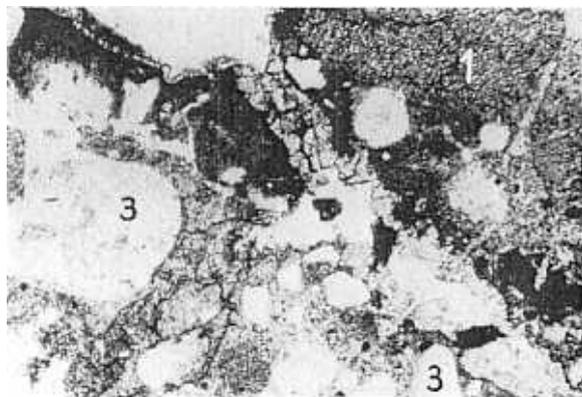


Fig. 10. — Pavement de la cour, couche IV/I. 1. Masse de gypse et chaux à cristaux fins; 3. Grains de quartz. Nicoles X, agrandissement 150 ×.

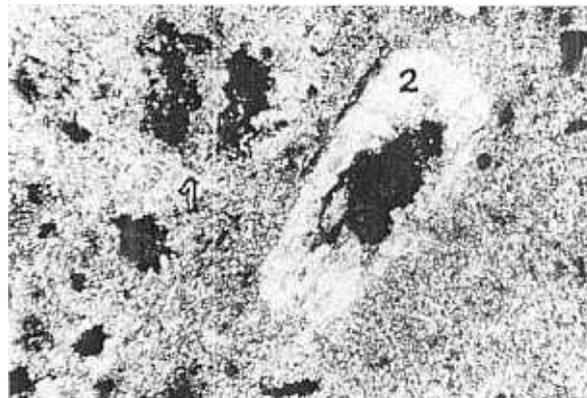


Fig. 11. — Pavement de la cour, couche V/I. 1. Masse de gypse à cristaux fins; 2. Cristaux de gypse; 5. Grains de céramique. Nicoles X, agrandissement 100 ×.

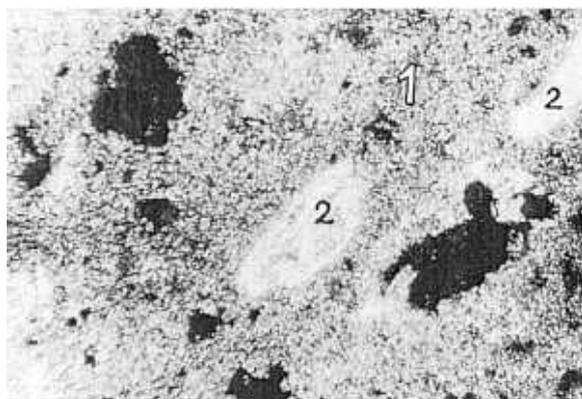


Fig. 12. — Pavement de la cour, couche V/I. 1. Masse de gypse à cristaux fins; 2. Grands cristaux de gypse; 5. Grains de céramique. Nicoles X, agrandissement 150 ×.



Fig. 13. — Pavement de la cour, couche V/I. 1. Masse de gypse à cristaux fins; 3. Grain de quartz à construction en mosaïque. Nicoles X, agrandissement 150 ×.

d'environ 3,5 cm. La masse du mortier a une teinte gris-crème avec des taches brunes. Sa structure est proche de celle du porphyre. Dans la masse du liant à grain très fin se trouvent de grands morceaux brun clair et blancs et de rares grains de quartz. Le mortier est très compact et peu poreux. La surface extérieure des échantillons de mortier a une teinte gris foncé par suite des dépôts terreux de carbonate se décomposant dans HCl avec un fort dégagement de CO₂.

Après dissolution dans 2 n HCl, le résidu — étudié à l'aide d'une loupe binoculaire d'agrandissement 100 fois — se compose de grains de quartz arrondis à surface corrodée, de teinte blanche laiteuse, de rares grains de feldspath de teinte blanche et de petits conglomerats sombres de combinaisons ferrugineuses. L'analyse au microscope a montré que le mortier se compose principalement d'une masse gypseuse anisotrope à grain très fin, partiellement transparente, où apparaissent des grains dispersés sub-microscopiques de carbonates. S'y trouvent de nombreux grands cristaux de gypse fibreux, dispersés sans ordre, fortement détruits. Les grains de quartz, relativement peu nombreux, présentent parfois une construction en mosaïque avec une absorption de la lumière ondulatoire. Dans la masse gypseuse se trouvent aussi de grands éclats de calcaire d'origine organogénétique. On a aussi remarqué la présence de fragments de céramique brune et des petits grains allongés de charbon noir opaque (fig. 11, 12, 13).

• Couche I/II : supérieure. Les deux échantillons prélevés ont la forme de morceaux de mortier irréguliers de dimensions : 17 × 15 × 2 cm et 16 × 14 × 1,5 à 3 cm. Une des surfaces des échantillons est inégale, poreuse, par endroits couverte d'une pellicule de terre de teinte gris foncé, ce qui prouve que c'était une couche en contact direct avec la terre.

La seconde surface des échantillons est polie, mais inégale et ondulée. Les échantillons présentent une structure à cavité mais compacte, de teinte rose-crème.

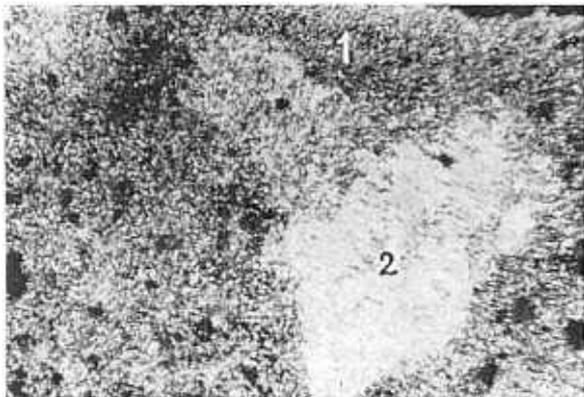


Fig. 14. — Pavement décoré de la 1^{re} église romane. 1. Masse de remplissage de gypse; 2. Grand cristal de gypse. Nicoles X, agrandissement 150 ×.



Fig. 15. — Pavement décoré de la 1^{re} église romane. 1. Masse de remplissage de gypse; 2. Grand cristal de gypse de construction fibreuse, partiellement délavée. Nicoles X, agrandissement 100 ×.

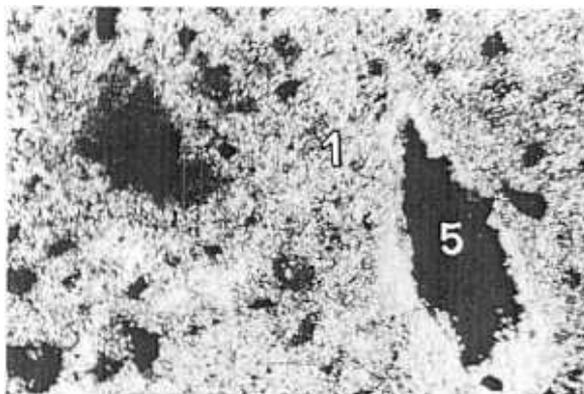


Fig. 16. — Pavement décoré de la 1^{re} église romane. 1. Masse de remplissage de gypse; 4. Pores; 5. Grand éclat de céramique. Nicoles X, agrandissement 150 ×.

L'analyse au microscope a montré que c'est un mortier de gypse à petits cristaux avec une infime quantité de carbonate. Comme matière de remplissage apparaissent surtout de grands cristaux de gypse fibreux et de rares grains de quartz arrondis irréguliers, de dimensions 0,1-0,3 mm. Des grains de quartzite apparaissent sporadiquement. Dans la masse du liant on voit des morceaux de céramique (ou d'argile cuite) de teinte brune et de très petits morceaux de charbon noir non brûlé. Le mortier est couvert d'un grand nombre de pores plus ou moins grands de forme irrégulière, le plus souvent ovale.

Le mortier étudié est très proche du mortier de la couche V/I, mais en diffère par une moindre teneur en grains de quartz et par une taille légèrement supérieure des cristaux de gypse apparaissant dans la masse du liant.

- Morceau de mortier isolé trouvé à la profondeur de 306 cm. L'échantillon se présente sous forme d'un morceau irrégulier de mortier de dimensions 16 × 15 cm et d'une épaisseur variant entre 1,5 et 4 cm. Une des surfaces de l'échantillon est couverte d'une pellicule de terre durcie de teinte gris foncé, la seconde est polie, mais inégale et ondulée, de teinte gris-rose. L'échantillon est très dur et compact. Sur la coupe fraîche on voit par endroit de grands pores. L'analyse au microscope a prouvé l'identité complète avec l'échantillon de la couche V/I.

- Couche II/II : deuxième à partir du haut. L'échantillon est sous forme d'un morceau irrégulier de mortier de dimensions 10 × 4 × 2 cm, avec une surface inégale et poreuse, l'autre polie mais ondulée. Sur la coupe fraîche et polie on voit une construction compacte, mais à cavités, de teinte rosâtre. L'analyse au microscope a montré que ce mortier est proche de celui de la couche V/I.

- Echantillon de carrelage décoré en plâtre de la crypte de la première église romane dans le sous-sol de la collégiale gothique de Wislica. Au microscope l'échantillon présente une structure à grain fin, relativement compacte, de teinte gris-rose (fig. 14-17). L'analyse au microscope a révélé que la masse du mortier était gypseuse anisotrope, à grain très fin, où se trouvent de grands cristaux de gypse tabulaire et des conglomerats de gypse fibreux plus ou moins abîmés. Des petits grains de quartz arrondis apparaissent sporadiquement. Assez nombreux sont les éclats anguleux de céramique brune et rouge de diverses tailles jusqu'à 1 mm. De plus, on observe l'existence de très petits grains de charbon.

Le mortier étudié est très différent de ceux décrits plus haut, car il ne contient pas de grains de quartz en tant que matériau de remplissage. C'est un mortier de plâtre presque pur (96 % $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) qui se distingue par une compacité et une solidité importantes. Les plus proches en sont les mortiers des couches I/II et V/I, qui possèdent toutefois une certaine quantité de quartz, des éclats de calcaire et de substances

carbonatées, tandis que la teneur en gypse en tant que liant et matériau de remplissage y dépasse à peine 75 %.

2. Analyse microscopico-planimétrique des échantillons du pavement

L'analyse planimétrique a permis de définir les rapports quantitatifs de volume entre les diverses composantes du mortier et le rôle double du plâtre et du carbonate de chaux dans le mortier. Le plâtre et le carbonate de chaux apparaissent en effet dans les mortiers étudiés comme matière de remplissage et liant. Les résultats de l'analyse planimétrique sont présentés dans le tableau I.

3. Analyse chimique des échantillons du pavement

Les résultats de l'analyse chimique des échantillons de mortier, les composantes minérales étant recalculées en pourcentages du poids, sont présentés dans le tableau 2. L'analyse a démontré que la couche I/I du sol est exécutée en mortier de chaux, la couche II/I en mortier de plâtre avec une faible teneur en carbonate de chaux, les couches III/I et V/I en mortier de plâtre avec adjonction de chaux, la couche IV/I en mortier de plâtre et chaux. Le mortier avec lequel fut fait le pavement décoré de la crypte de la première église romane est de plâtre.

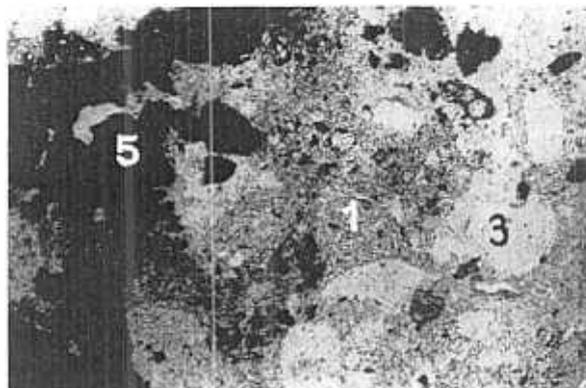


Fig. 17. — Pavement décoré de la 1^{re} église romane. 1. Masse de remplissage de gypse; 3. Grains fins de quartz; 5. Grand éclat de céramique. Nicoles X, agrandissement 150 X.

TABLEAU 1
RESULTATS DES ANALYSES MICROSCOPO-PLANIMÉTRIQUES DES ÉCHANTILLONS DE PAVEMENT

Symboles des échantillons de pavements	Teneur en diverses composantes en %					
	Masse du liant		Eclats de calcaire	Grains de quartz	Autres compos.	Cristaux de gypse
	Masse	%				
I/I inférieure	de chaux	23,5	5	65	2 *	
II/I	de plâtre		4	35	2 **	22
III/I	de plâtre et chaux	50	5	20	5 ***	20
IV/I	de chaux et plâtre	45	5	45	5 ****	
V/I supérieure	de plâtre avec chaux	54	5	9	2 **	30
Pavement décoré de la crypte de la 1 ^{re} église romane	de plâtre	40		0,5	3,5 *	56

* Eclats de céramique.
 ** Eclats de céramique et de charbon.
 *** Eclats de céramique et grains de feldspath.
 **** Grains de feldspath.

TABLEAU 2
RESULTATS DE L'ANALYSE CHIMIQUE DES ECHANTILLONS DE PAVEMENT

Indication des échantillons de pavement Couches	Résultats de l'analyse chimique, composantes en % du poids				
	Humidité	Insolubles dans 2 n HCl	Plâtre CaSO ₄ . 2 H ₂ O	CaCO ₃	Autres
I/I	0,50	69,0	4,34	25,58	0,58
II/I	0,70	37,2	58,0	4,1	
III/I	0,68	24,2	62,21	12,11	0,80
IV/I	0,25	51,65	22,40	25,7	
V/I	1,30	9,05	75,25	14,10	0,3
Pavement décoré de la crypte de la 1 ^{re} église romane	0,32	3,93	93,85	0,66	0,24

TABLEAU 3
**TEMPERATURES INITIALES, MINIMA ET MAXIMA DES REACTIONS THERMIQUES
PENDANT L'ANALYSE THERMO-DIFFERENCIELLE DES ECHANTILLONS DE PAVEMENT**

Indication des échantillons de pavement Couches	Réactions endothermiques						Réactions exothermiques	
	I		II		III		I	
	ti °C	tm °C	ti °C	tm °C	ti °C	tm °C	ti °C	tm °C
I/I				575	795	880		
II/I	110	190 220			770	790		410
III/I	130	200 220			750	800		390
IV/I	105	180 215		570	750	835		410
V/I	125	190 225			760	810		395
Pavement décoré de la crypte de la 1 ^{re} église romane	120	195 225				740		420
Pavement non décoré de la crypte de la 1 ^{re} église romane	125	200 230		640	680	740	380	400

4. Analyse thermo-différentielle des échantillons du pavement

Les résultats de l'analyse thermo-différentielle sont présentés dans le tableau 3 et illustrés par des thermogrammes (fig. 18). L'analyse thermo-différentielle a confirmé les résultats des analyses chimiques et microscopiques et a prouvé que les mortiers ne comportent pas de substances organiques. Le thermogramme de la couche I du pavement présente un fort effet endothermique avec un minimum à la température de 880° C, lié à la décomposition du carbonate de chaux. Assez nettement marqué est également l'effet endothermique à la température de 575° C, illustrant la transformation polymorphique du quartz. Les thermogrammes de 2 à 7 sont assez proches. Le double effet endothermique sur les thermogrammes 2, 7, avec des minima aux températures de 180-200° C et 215-230° C, prouve la présence du plâtre $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ et est lié à une déshydratation graduelle : à la température de 180-200° C se dégage une molécule et demi d'eau, à la température de 215 et 230° C la molécule et demi d'eau restante. L'effet exothermique avec des maxima aux températures de 390-420° C illustre une reconstruction de la structure gypseuse en anhydride. Le second effet endothermique avec des minima aux températures de 740-880° C est lié à la décomposition du carbonate de chaux. Le déplacement du minimum de l'effet dépend de la quantité de carbonate de chaux existant dans le mortier. Quand la quantité de CaCO_3 est petite, le minimum de l'effet se déplace vers les températures plus basses.

L'effet endothermique indiqué sur le thermogramme 4 à la température de 570° C est causé par la forte teneur en quartz. Le très faible effet endothermique visible sur le thermogramme 7 à la température de 640° C peut être causé par une faible teneur en substances argileuses. Dans tous les échantillons de pavement étudiés, les composantes actives thermiques dans le champ de température entre 20 et 1.000° C sont : le plâtre $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ et le carbonate de chaux, apparaissant en quantités diverses.

Analyses physiques et de résistance des échantillons du pavement (3)

Les résultats des analyses physiques et de résistance sont regroupés dans le tableau 4. Les analyses des caractéristiques physiques ont englobé le volume et le poids, la porosité, l'étanchéité et l'imprégnation. A partir des différences de porosité et d'imprégnation on a calculé le nombre de pores fermés. La résistance à la pression et l'usure sur le plateau de Böhme n'ont été indiqués que pour les couches II/I et V/I, ainsi que III du pavement par suite du manque de matériaux suffisants des autres couches.

Les échantillons de la couche I/II présentent une forte résistance à la pression (171 - 211 kg/cm^2) et une faible

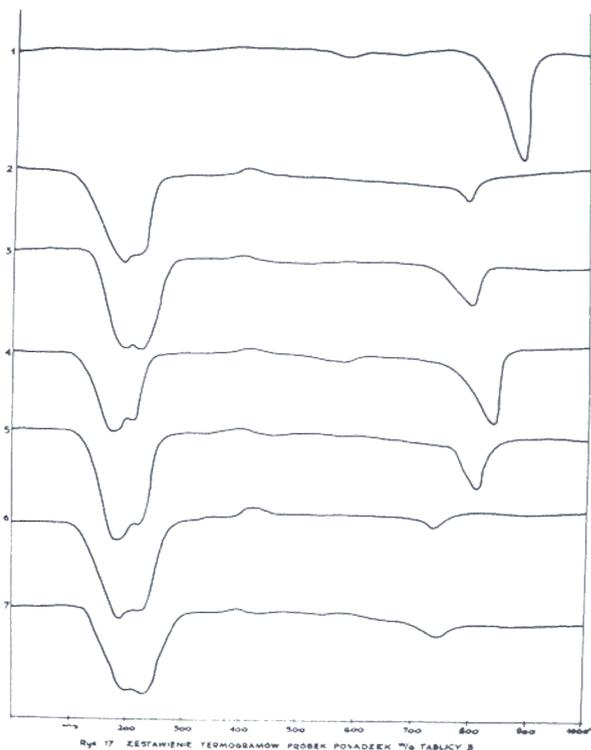


Fig. 18. — Thermogrammes des échantillons du pavement d'après le tableau 3.

usure de 0,46 cm, ce qui explique leur bon état de conservation. Les échantillons des couches V/I et I/II (pierre indépendante) présentent une résistance bien moindre (74 kg/cm^2) et une usure relativement forte, 0,695 cm, ce qui illustre leur destruction plus avancée. L'échantillon de la couche II/I a la résistance la plus faible (25 kg/cm^2) et la plus forte usure, 0,925 cm, ce qui explique sa forte destruction. La résistance à la pression des mortiers de plâtre actuellement produits (5) va de 100 à 200 kg/cm^2 et l'usure de 0,4 à 0,5 cm. Un trait caractéristique des mortiers de plâtre étudiés est la présence d'un grand nombre de pores fermés (14,45 - 22,4 %) qui se formèrent au cours du malaxage de la masse du mortier. L'imprégnation de ces mortiers balance dans un cadre relativement large, de 6,85 à 26 %, ce qui est lié à la composition de la masse et à l'état de conservation des échantillons.

TABLEAU 4
RESULTATS DES ANALYSES DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES
ET DE RESISTANCE DES ECHANTILLONS

Indications des échantillons de pavement	Volume	Poids	Porosité	Etanchéité	Imprégnation *	Nombre de pores fermés	Usure sur le plateau de Böhme cm	Résistance à la pression
Couches	g/cm ³	g/cm ³	%		%	%		kg/cm ²
I/I **	2,072	2,55	18,8	0,812				
II/I ***	1,51	2,57	41,1	0,589	18,7	22,4	0,925	25
III/I	1,77	2,64	33,0	0,670	12,3	20,7		
IV/I	1,66	2,49	33,3	0,667	26,0	7,3		
V/I	1,89	2,40	21,3	0,787	6,85	14,45	0,695	74
I/II	1,80				5,5		0,46	171,0 211
I/II (morc. isolé)	1,75				7,4		0,61	99,5
Pavement décoré de la crypte de la 1 ^{re} église romane	1,85	2,54	27,2	0,728	7,9	19,3		
Pavement non décoré de la crypte de la 1 ^{re} église romane	1,74	2,53	31,2	0,688	12,7	18,5		

* L'imprégnation a été établie par immersion dans le pétrole de densité 0,769 g/cm³, puis on a recalculé en eau de densité 1,0 g/cm³.

** On n'a pas calculé l'imprégnation faute de morceaux de taille suffisante.

*** La résistance à la pression et l'usure n'ont été mesurées que pour les couches II/I, V/I et I/II, faute de morceaux de taille suffisante pour les autres couches.

TABLEAU 5
COMPOSITION DES MORTIERS CORRESPONDANT AUX MORTIERS DU PAVEMENT DE LA COUR ET AU PAVEMENT DECORE, AVEC LE TEMPS DE SOLIDIFICATION DES MORTIERS

Indication des mortiers	Composition des mortiers en %							Rapport chaux/plâtre	Temps de consolidation		
	Plâtre	CaO	Chaux	Quartz	Plâtre Ca SO ₄ 2 HO ₂	Céra.	Feldspath		Début	Fin	
Couches du pavement de la cour	II/I	37	—	4	35	22	2,0	—	0,18	102 min.	4 h. 50 min.
	III/I	44,5	5,5	5	20	20	3	2	0,21	22 min.	1 h. 45 min.
	IV/I	26,3	18,7	5	45	—	—	5	0,25	58 min.	2 h. 7 min.
	V/I	47,3	6,7	5	9	30	2	—	0,24	30 min.	1 h. 50 min.
Mortier d'après le pavement décoré de la crypte de la 1 ^{re} église	33				6,4	3			0,30	4 h.	7 h. 20 min.
Plâtre standard BN-62/6733-01	100								0,34	4 h. 50 min.	14 h. 20 min.

6. Analyse des résultats des recherches sur les mortiers du pavement

Les résultats des recherches menées prouvent que le pavement de la cour découverte sur le site du « château » se compose de plusieurs couches très diversifiées. La couche I/I de la portion découverte plus tôt, posée directement sur le sol, est un mortier de sable et chaux au liant partiellement délavé, contenant 65 % de sable quartzueux et 5 % d'éclats de roches calcaires. L'épaisseur de cette couche était modeste et mesurait — comme le prouvent les échantillons — un peu plus de 1 cm. Il faut croire que cette couche était un fond égalisant le sol sous le pavement proprement dit. La couche II/I, d'une épaisseur d'environ 4 cm, était exécutée en mortier de plâtre dont la matière de remplissage était un sable de quartz fin de grain d'environ 1 mm (35 %), de gypse pilé (22 %) dont les grains ont jusqu'à 2 mm, et d'une petite quantité (4 %) d'éclats de calcaire.

Sur les échantillons de la couche II/I on a constaté l'existence d'une mince pellicule de mortier de chaux de composition et de construction identiques à celles de la couche I/I, ce qui prouve que le mortier de plâtre fut directement coulé sur le mortier de chaux de la couche I/I.

La couche III/I est un mortier de plâtre avec adjonction de chaux, épais d'environ 2 cm. Dans ce mortier la teneur en sable quartzueux est moindre, avec une quantité identique à la couche II/I de matière de remplissage de plâtre et d'éclats de calcaire, ce qui cause une augmentation du liant. Le rapport entre le liant de plâtre et de chaux est de 6 : 1.

Dans le mortier de la couche IV/I le rapport entre le liant de plâtre et de chaux est presque de 1 : 1. La matière de remplissage est ici un sable quartzueux fin avec adjonction de 5 % d'éclats de calcaire. On n'a pas trouvé trace de gypse pilé.

Le mortier de la couche V/I, d'une épaisseur d'environ 3,5 cm, a une autre composition. Le sable quartzueux en forme à peine 9 % et la matière de remplissage est surtout constituée de gypse pilé (30 %) avec une faible quantité (environ 5 %) d'éclats de calcaire. Le liant est une masse plâtreuse avec addition de chaux (en rapport 5 : 1).

Le fragment de pavement découvert en 1967 se compose de quatre couches. Il n'y a pas ici de mortier de chaux correspondant à la couche I/I, ainsi que de mortier de chaux et plâtre correspondant à la couche IV/I. L'épaisseur du mortier du premier fragment de pavement était de plus de 12 cm, tandis que celle du deuxième fragment était d'environ 9 cm. La différence de trois centimètres d'épaisseur est causée par l'absence des couches I/I et IV/I. Les couches I/II et II/II du deuxième fragment correspondent à la couche V/I du premier fragment. L'épaisseur des couches V/I, I/II et II/II est d'environ 4 cm. La couche III/II correspond à la couche III/I et à la

même épaisseur de 2 cm. La couche IV/II correspond à la couche II/I, mais a une épaisseur moindre.

Dans tous les mortiers de plâtre apparaissent de petits (environ 1 mm) éclats de céramique de teinte brune, qui peuvent provenir de l'argile cuite pilée utilisée pour la production du plâtre. Les petits morceaux de charbon de bois purent se mêler au plâtre également au cours de la cuisson. Les grains de feldspath et de quartzite peuvent être des adjonctions du sable quartzueux. Les éclats de calcaire apparaissant dans tous les mortiers possèdent des petits restes organiques, ce qui prouve leur origine organogénétique.

Le mortier de plâtre du pavement décoré et non décoré de la crypte de la première église romane découverte dans les souterrains de la collégiale de Wíslíca a une autre composition. Le liant est de plâtre et la masse de remplissage est sous forme de gypse pilé. La teneur en carbonates est minime (0,66 %) et les grains de quartz se trouvent uniquement dans la masse de la céramique. Les petits débris de charbon ont un aspect et des dimensions proches des débris se trouvant dans les mortiers du pavement de la cour.

Les plus proches du mortier utilisé dans la crypte de la première église romane sont les mortiers des couches I/II et V/I, mais ils s'en distinguent par la teneur en sable quartzueux, éclats de calcaire et par la présence d'une plus grande quantité de carbonate de chaux.

II RESULTATS DES RECHERCHES SUR LES MORTIERS DE COMPOSITION CORRESPONDANTE AUX MORTIERS DES PAVEMENTS (3)

1. *Elaboration des recettes et exécution des échantillons de mortiers*

Sur la base des résultats des analyses microscopiques, de l'analyse chimique et thermo-différentielle on a élaboré les recettes de quatre mortiers correspondant aux quatre couches du fragment de pavement de la cour découvert en premier lieu. On a laissé de côté dans ces recherches la couche I/I de mortier de chaux, car c'est un type de mortier très faible et ne jouant aucun rôle important dans ce cas. Les compositions des mortiers ont été comparées dans le tableau 5. On a également tenu compte des résultats d'études plus anciennes (4) du pavement décoré découvert dans la crypte de la première église romane (6). Pour les mortiers on a utilisé du plâtre approprié (5), obtenu par la cuisson du gypse à la température de 800 - 1.000°. Le gypse — $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ — cuit à cette température se transforme en sulfate anhydre se décomposant partiellement avec dégagement de CaO en quantité d'environ 3 %. Le CaO ajouté au mortier sous forme de chaux cuite pilée, le carbonate de chaux — en tant que poudre obtenue par meulage du calcaire à gros grain de Pinczów, les grains de dimensions de

1 - 3 mm. Le sable quartzé à grains de dimensions environ 1 mm a été préparé par moulure d'un sable courant fin. La céramique à grains de 1 - 2 mm a été obtenue par broiement du fond d'un pot à fleur en céramique normal. La matière du remplissage de plâtre en grains de 2 mm a été préparée par broiement d'un gypse de structure cristalline sans impuretés.

Des matières premières ainsi préparées on a formé 12 cylindres de dimensions $4 \times 4 \times 16$ cm et deux cubes de dimensions $7 \times 7 \times 7$ cm, suivant les recettes données dans le tableau 5, ainsi que 9 barres de composition courante et deux cubes de dimensions $7 \times 7 \times 7$ cm pour les analyses de résistance et d'usure. Les échantillons ont été conservés suivant la norme BN-62/6733-01 pour le plâtre pendant 48 heures dans les formes sous un tissu constamment humecté, puis après la prise de forme pendant 12 jours dans une atmosphère d'humidité relative ne descendant pas en dessous de 18° C, puis dans les conditions d'entourage. Sur des échantillons séparément préparés on a indiqué à l'aide de l'instrument de Vicat les délais de liaison des mortiers et on les a insérés dans le tableau 5. On a également vérifié sur des galettes d'essai la constante de volume des mortiers.

2. Analyse des caractéristiques physiques et de résistance des mortiers

L'analyse de la résistance à la pression et à la courbure ont été menés après 7, 28 et 90 jours. Les échantillons normalisés ont été analysés après 14 et 28 jours. Les

analyses d'usure sur le plateau de Böhme avec usage d'un électrocorindon B n° 80 ont été exécutées sur les cubes après 90 jours de maturation. Les résultats des analyses ont été présentés dans le tableau 6.

3. Analyse des résultats des analyses des mortiers reconstitués

Tous les échantillons de mortier ont montré une nette augmentation de la résistance au cours du processus de maturation. La résistance la moindre — 34 kg/cm² — a distingué, ce qui était prévisible, le mortier de chaux et plâtre de la couche IV/I, ainsi que la plus forte usure vérifiée sur le plateau de Böhme et étant de 2,89 cm. Les plus fortes résistances sont obtenues par les mortiers de plâtre correspondant aux couches III/I et V/I, auxquels on a ajouté 5,5 - 6,7 % de CaO. Ces résistances après 90 jours, étaient à la courbure de 73 et 66 kg/cm², à la pression 294 et 271 kg/cm². L'usure de ces mortiers était la plus basse — 0,25 et 0,20 cm. La couche II/I manifestait une résistance bien moindre atteignant après 90 jours : à la courbure environ 38 kg/cm² et à la pression environ 156 kg/cm², par contre l'usure était presque deux fois plus élevée : 0,43 cm.

Pour le pavement décoré (4) on a obtenu après 28 jours la résistance suivante : à la courbure 67 kg/cm², à la pression 245 kg/cm² et à l'usure 0,40 cm.

L'analyse de la composition des masses des mortiers montre que l'addition de quelques pour cent de CaO entraîne une forte augmentation de la résistance. Le

TABLEAU 6

RESULTATS DES ANALYSES DE RESISTANCE DES MORTIERS DE PLATRE EXECUTES D'APRES LES RECETTES ELABOREES SUR LA BASE DES RESULTATS DES ANALYSES DES ECHANTILLONS DU PAVEMENT DE LA COUR, DE L'ENSEMBLE ARCHITECTURAL DE WISLICA ET DU PAVEMENT DECORE DE LA CRYPTTE DE LA PREMIERE EGLISE ROMANE (3)

N°	Mortiers de plâtre suivant les recettes des couches	Résistance en kg/cm ² (moyenne)						Usure sur le plateau de Böhme cm
		Après 7 jours		Après 28 jours		Après 90 jours		
		Courbure	Pression	Courbure	Pression	Courbure	Pression	
	II/I	11,2	46	29,3	111	37,7	156	0,43
	II/I	27,6	122	57,6	242	73	294	0,25
	IV/I	1,79	5,7	7,66	15,2	12,2	34	1,89
4	V/I	23,7	96	58,6	222	66	271	0,20
	Pavement décoré dans la cryptte de la 1 ^{re} église romane (4)			67,4	245,5			0,40
	Mortier de plâtre standard	Après 14 jours						
		48	197	70	280			0,30

surplus ou l'absence de CaO entraîne l'abaissement de la résistance. De même la quantité de plâtre ajoutée influe sur la résistance des mortiers et sur leur usure. L'abaissement de l'usure est aussi influencé par une addition pas trop élevée de sable quartzéux (de grande dureté) car l'usure la moindre — 0,20 cm — est donnée par le mortier correspondant à la couche V/I, contenant 9 % de sable quartzéux. Le mortier de la couche III/I, caractérisée par une usure de 0,25 cm, comporte deux fois plus de quartz (20 %) et moins de matière de remplissage de plâtre. Les deux mortiers étudiés comportaient 46 et 48 % de matière de remplissage et par conséquent 54 et 50 % de liant. Le mortier suivant la recette du pavement décoré, comportant 67 % de matière de remplissage surtout plâtreuse et 33 % de liant de plâtre, présente après 28 jours une résistance à la pression aussi forte que le mortier de la couche III/I, mais son usure est bien plus élevée et est de 0,40 cm. La résistance à la pression du mortier de composition standard est après 28 jours de 280 kg/cm², l'usure par contre de 0,35 cm. Le mortier de plâtre pur correspondant au pavement décoré commença à se consolider après 4 heures pour finir après 7 heures et 20 minutes, tandis que le mortier comportant 5,5 % de chaux, correspondant à la couche III/I du pavement de la cour, commença à se consolider après 22 minutes et le processus se termina après 1 heure et 45 minutes. Les temps de consolidation (tableau 5) des mortiers de plâtre suggèrent un usage conscient de la chaux en tant qu'activateur.

III. CONCLUSIONS

Les analyses menées ont prouvé que les deux fragments proviennent du même pavement de la cour. L'absence de la couche I/I, égalisant et stabilisant le sol, peut prouver que le second fragment de pavement était coulé sur un sol qui n'exigeait pas d'égalisation préliminaire. L'absence de la couche IV/I est plus difficile à expliquer; on peut toutefois admettre qu'elle égalisa les lacunes dans les pavements par suite de l'exploitation, ce qui n'eut pas lieu à l'emplacement du second fragment. La présence de plusieurs couches de mortier dans le pavement de la cour prouve qu'on mena des réparations et rénovations du pavement.

Il semble qu'au début le pavement avait deux couches de plâtre et une de chaux, égalisant une partie du sol. C'étaient les couches II/I et III/I et les couches correspondantes IV/II et III/II. Au bout d'un certain temps, quand le pavement fut partiellement détruit, on a ajouté par endroits une couche de chaux et de plâtre IV/I et par-dessus la couche V/I ou les couches correspondantes II/II et I/II. Les couches III/I, III/II, ainsi que V/I et I/II ont une composition ainsi que des caractéristiques très proches, ce qui prouve que la technologie utilisée avant ne fut pas modifiée, et donc qu'un long espace de temps ne put s'écouler. Suivant

les opinions actuelles (9), il convient d'utiliser les mortiers de plâtre avant tout dans les cas où les éléments exécutés doivent avoir une grande résistance au gel, à l'eau et aux conditions atmosphériques et une faible tendance à la déformation plastique, ainsi qu'une résistance relativement grande à la pression et à l'usure. Sur l'exemple du pavement étudié, on voit la grande habileté dans le choix du mortier adéquat dans des buts précis. D'autant plus que cela fut obtenu par un changement dans les proportions de la masse de remplissage et du liant, l'utilisation de diverses matières de remplissage et l'introduction de suppléments activateurs sous forme de chaux et cela, en des proportions correspondantes aux technologies modernes.

L'instruction d'exécution des fonds sans liants et des pavements de plâtre (ITB, Centre d'Information Technique et Economique pour la Construction, Warszawa, 1962) conseille l'utilisation en tant que fond, sous le pavement de plâtre, d'un mortier de plâtre avec rapport du liant au sable quartzéux de 1 : 1 ou 1 : 0,5. L'épaisseur des pavements à double couche ne doit pas être inférieure à 40 mm, dont l'épaisseur du fond de 20 - 25 mm et la couche supérieure de 10 - 15 mm. Les couches II/I et IV/I — comme il ressort de leur composition — remplissent un rôle de fond. De même, le pavement décoré (4) se compose de deux couches de mortier de plâtre comportant une masse de remplissage de plâtre et une pellicule extérieure de plâtre. Les couches supérieures du pavement de la cour III/I et V/I étaient exécutées — comme l'ont prouvé les analyses — d'un mortier d'usure de 0,20 - 0,25 cm. Actuellement la norme en vigueur pour les dalles de trottoir en béton (PN-63/B-14050), en rapport avec leur classe, limite l'usure possible à 0,3 - 0,5 cm. La résistance des mortiers utilisés pour le pavement est également extrêmement élevée et s'est maintenue, comme l'ont montré les analyses de la couche I/II, après de nombreux siècles.

L'usage au haut moyen âge de mortiers dont les caractéristiques atteignent les limites supérieures prévues en théorie (5) pour ce type de mortiers en recourant à la technologie moderne prouve un très haut niveau d'habileté technique en ce domaine (*).

Teresa Danuta CIACH
Stanisław OSLER
(Varsovie)

(*) Article repris en traduction avec l'aimable accord de la revue « Ochrona Zabytków » (N.D.L.R.).

BIBLIOGRAPHIE

1. BROCHWICZ Z., *Zaprawy romańskie z reliktyw architektury kamiennej okrytej na Podgrodziu Książęcym w Gnieźnie*, thèse de doctorat, Toruń 1967.
2. JEDRZEJEWSKA H., *Analiza porównawcza zapraw budowlanych z Wiślicy*, exposé 1960; *Zaprawy romańskie w Wiślicy na tle zapraw polskich*, exposé 1961; *Sprawozdanie z konferencji naukowych, Zespół Badań nad Polskim Średniowieczem UW i PW*, Varsovie 1962.
3. OSLER S., *Badanie zapraw gipsowych występujących w reliktyw wczesnośredniowiecznych w Wiślicy*, thèse de doctorat sous presse.
4. WARTOŁOWSKA Z., PENKAŁA B., CIACH T., *Problemy konserwacji rytowanej posadzki gipsowej odkrytej w krypcie I kościoła romańskiego w podziemiach gotyckiej kolegiaty w Wiślicy*, *Ochrona Zabytków*, XVIII, 1965, n° 2, p. 35.
5. SKALMOWSKI W., *Technologia materiałów budowlanych*, t. II, Varsovie 1966.
6. TOMASZEWSKI A., *Kolegiata wiślicka. Badania w latach 1958-63*, Kielce 1965, éd. Muzeum Świętokrzyskie.
7. WARTOŁOWSKA Z., *Dzieje Wiślicy w świetle odkryć archeologicznych. Zespół Badań nad Polskim Średniowieczem UW i PW. Sprawozdanie 1964-1965*, Varsovie 1968.
8. WARTOŁOWSKA Z. - WOŹNICKA Z., *Sprawozdanie z badań wykopaliskowych na stanowisku « Zamek » w Wiślicy. Zespół Badań nad Polskim Średniowieczem UW i PW*, Sprawozdanie z roku 1966, Varsovie 1968.
9. AKERMAN K., *Gips i anhydryt*, Varsovie 1964.

SUMMARY

INVESTIGATIONS CARRIED OUT ON EARLY MEDIAEVAL MORTARS IN FLOORINGS FOUND IN RUINED MONUMENTS AT WISLICA

The authors present the results of investigations conducted on the courtyard floorings which have recently been discovered by Dr. Z. Wartolowska in a group of early mediaeval remains in the castle area at Wislica.

Two fragments of the courtyard flooring have been discovered, one of them about 5 inches thick and composed of five different layers and the other 3 1/2 inches thick and composed of four layers.

Examination under a microscope and chemical and combined chemical and physical investigation have shown that in the case of the first of these fragments the bottom layer consists of a lime and sand mixture, the second and third layers of gypsum, the fourth of a lime and gypsum mixture, and the top one of gypsum alone. The fillers used for the mortars present

from the second layer upwards consist of mixtures using a variety of proportions of crushed gypsum, stone, quartz, sand and fine organogenetic lime chippings. The mortars also contained 2 to 5 % admixtures of pottery fragments, feldspar grains and fine-grained coal. The layers in the second fragment are basically the same as those in the first, except that the lime and lime-and-gypsum layers are absent. One of the samples taken showed a high crushing strength (171 - 211 kg/cm²) and a relatively high abrasion resistance (0.46 cm), thus evidencing its perfect state of preservation despite the centuries that had passed since the flooring was laid.

On the basis of the results obtained it was possible to determine what the ancient recipes had been, with the result that new samples could be prepared and subjected to crushing strength tests.

The high values obtained following the above investigations and tests point to perfect mastery by the craftsmen of the early mediaeval period of the techniques used for the preparation of anhydrous gypsum mortars.

Fig. 1. — Wiślica, plan of the 11th-Century palace buildings. Drawing by K. Zielińska (reproduced after Z. Wartolowska).

Fig. 2. — Paving from the courtyard, layer I/I. 7. Fine-grain carbonated mass. 3. Quartz grains. 5. Ceramic chips. 8. Carbonate chips. Nicoles, magnification 150 ×.

Fig. 3. — Paving from the courtyard, layer I/I. 7. Fine-grain carbonate mass. 8. Organogenetic chip. Nicoles X, magnification 150 ×.

Fig. 4. — Paving from the courtyard, layer I/I. 3. Quartz grains. Fine-grain carbonate mass. 9. Calcite rings round pores. Nicoles X, magnification 150 ×.

Fig. 5. — Paving from the courtyard, layer II/I. 1. Fine-crystal gypsum mass. 3. Quartz grains. 5. Coarse ceramic chips. 8. Carbonate chip. Nicoles X, magnification 100 ×.

Fig. 6. — Paving from the courtyard, layer II/I. Fine-crystal gypseous mass. 2. Coarse grain of gypsum. 3. Quartz grain. 4. Pores. Nicoles X, magnification 150 ×.

Fig. 7. — Paving from the courtyard, layer III/I. 1. Fine-crystal gypsum mass. 2. Coarse gypsum crystals. 3. Quartz grains. 5. Ceramic material. 10. Grains of feldspar. Nicoles X, magnification 150 ×.

Fig. 8. — Paving from the courtyard, layer III/I. 1. Fine-crystal gypsum mass. 3. Quartz grains. 4. Pores. Nicoles X, magnification 150 ×.

Fig. 9. — Paving from the courtyard, layer IV/I. 1. Fine-crystal gypsum and lime filling materials. 3. Quartz grains. 8. Coarse chip of organogenetic carbonate. Nicoles X, magnification 150 ×.

Fig. 10. — Paving from the courtyard, layer IV/I. 1. Fine-crystal gypsum and lime mass. 3. Quartz grains. Nicoles X, magnification 150 ×.

Fig. 11. — Paving from the courtyard, layer V/I. 1. Fine-crystal gypsum mass. 2. Gypsum crystals. 5. Grains of ceramic material. Nicoles X, magnification 100 ×.

Fig. 12. — Paving from the courtyard, layer V/I. 1. Fine-crystal gypsum mass. 2. Coarse gypsum crystals. 5. Grains of ceramic material. Nicoles X, magnification 150 ×.

Fig. 13. — Paving from the courtyard, layer V/I. 1. Fine-crystal gypsum mass. 3. Quartz grains, mosaic arrangement. Nicoles X, magnification 150 ×.

Fig. 14. — Decorated flooring from the original romanesque church. 1. Mass of gypsum filling material. 2. Coarse gypsum crystal. Nicoles X, magnification 150 ×.

Fig. 15. — Decorated flooring from the original romanesque church. 1. Mass of gypsum filling material. 2. Coarse gypsum crystal, fibrous construction, partially discoloured. Nicoles X, magnification 100 ×.

Fig. 16. — Decorated flooring from the original romanesque church. 1. Mass of gypsum filling material. 4. Pores. 5. Coarse ceramic chip. Nicoles X, magnification 150 ×.

Fig. 17. — Decorated flooring from the original romanesque church. 1. Mass of gypsum filling material. 3. Fine quartz grains. 5. Coarse ceramic chip. Nicoles X, magnification 150 ×.

Fig. 18. — Thermograms of paving samples, taken from chart. 3.