

M^{me} Janina OSTAPIUK
L'Ecole Polytechnique
de Szczecin
P O L O G N E

La durabilité des
cheminées industrielles
construites en briques

Durability of Industrial Chimneys built of Bricks

/Summary/

In that paper have been worked out on a base of scientific research, of 36 energetics and 6 ventilating chimneys a methods of improving thier durability.

The observed damages have been divited into thermal, mechanical and chemical /corrosive/.

The ways of achieving the state in which further safe exploitation of those objects would be possible have been given /rings round chimney shaft, repairing the upper part of the chimney and the craks/ taking into account the kind of damage.

LA DURABILITE DES CHEMINEES INDUSTRIELLES
CONSTRUITES EN BRIQUES

/R e s u m e/

Dans l'exposé d'après les observations et les études de 36 chemi -
nées énergétiques et 6 cheminées de ventilation, on a redigé les
méthodes d augmentation de la durabilité de celles - ci. On a con -
statés que les dommages peuvent être thermiques, mécaniques et
chimiques /corrosions/. Dépédant du caractère de ces dommages, on a
montré dans cet exposé les possibilités de continuer l'exploitation
tout a fait sécurè de ces cheminées.

1. INTRODUCTION

Dans plusieurs pays du monde existe un nombre important de cheminées en briques qui doivent être, à cause de différents dommages, objet de rénovations et d'entretiens prolongeant la durée de leur fonctionnement ce qui est très important sur le plan économique.

L'Institut de Génie Civil de l'Ecole Polytechnique de Szczecin, depuis plusieurs années, organise des études et des examens de cheminées pour déterminer les causes et l'étendue des dommages de ces constructions Cette recherche permet de définir les méthodes les plus efficaces de rénovation des cheminées.

2. CARACTÉRISTIQUES DES CHEMINÉES EXAMINÉES

Trente six cheminées éner-
getiques et six cheminées de
ventilation ont été contrô-
lées. La moyenne d'âges des
cheminées contrôlées é-
tait environ de 60 ans

Les cheminées basses /dont/
la hauteur ne dépassait pas
25 m/ et les cheminées de la
hauteur moyenne/ entre 25 m
et 70 m/ ont. en général 70
ans.

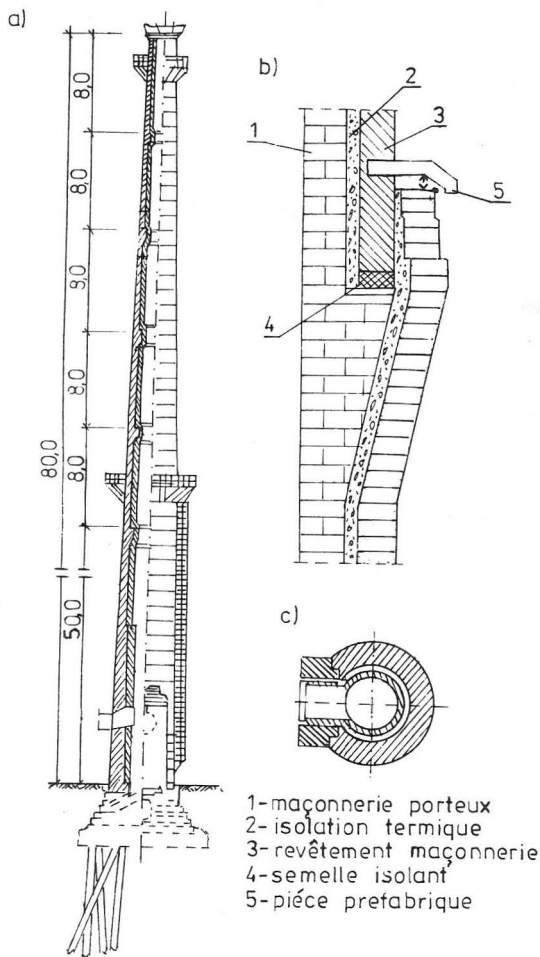


Fig. 1. La cheminée énergétique.

a/ coupe longitudinal et vue de
facade,

b/ la console du revêtement maçonnerie

c/ coupe transversale,

L'âge des cheminées de grande hauteur oscille entre 40 et 50 ans.

Les cheminées basses sont implantées le plus souvent sur des radiers de fondation de briques ou de béton tandis que les cheminées de la hauteur moyenne et grande sont installées sur des radiers de fondation en béton armé ou sur les pieux /fig. 1/.

Les conduits des cheminées de construction ancienne ont, le plus souvent, la forme d'un cylindre tandis que l'enveloppe est conique, irrégulière et sa face extérieure est décorée de différents motifs, leurs soubassements sont de forme polygonale.

Le fût de la plupart des cheminées examinées ^{est} de forme cylindrique, parfois de forme parallélépipédique. Les enveloppes coniques sont composées de segments dont les dimensions dépendent du diamètre et de la hauteur de la cheminée. Les segments dans la partie haute ont une épaisseur de 20 cm dans la partie basse 64-110 cm. Les redans des cheminées sont intérieurs.

2.1. CONDUITS D'EVACUATION DES GAZ /de ventilation/.

La différence entre les conduits d'évacuation des gaz et les conduits des fumées consiste dans les caractéristiques des revêtements qui dans les conduits d'évacuation des gaz doivent résister aux différents composants agressifs des gaz évacués: SO_2 , SO_3 , CO_2 et des autres.

En général ces cheminées ne possèdent pas de colliers de renforcement.

2.2. CARNEAUX

Les gaz brûlés sont évacués par des carnaux en briques enterrés ou posés sur le sol tandis que les gaz de ventilation sortent par des carnaux en bois, métalliques, ou briquetés. En fonction du nombre de carnaux les parties de la cheminée dans lesquelles ils débouchent sont divisées par des parois en chambres internes.

Les conduits des fumées ainsi que les conduits d'évacuation des gaz possèdent des installations paratonnerres, galeries d'éclairage, des échelons pour monter et des paliers extérieurs /rarement intérieurs/.

3. DOMMAGES DES CHEMINÉES INDUSTRIELLES

3.1. Dommages des cheminées énergétiques

Parmi les dommages observés sur les conduits des fumées on distingue les dommages d'origine thermique, mécanique et les déformations du fût.

Dommages d'origine thermique:

Les différences de température entre les faces interne et externe de l'enveloppe provoquent des contraintes normales: horizontales et verticales. A proximité de la face intérieure il y a des contraintes de compression qui se transforment en approchant de l'extérieur, en contraintes de traction provoquant des fissures des cheminées en briques dont la résistance à la traction est faible.

L'aspect des fissures est fonction du type d'isolation de la cheminée, de sa hauteur et de la température des gaz évacués.

/Le croquis N° 2 explique l'influence de l'isolation - suivant son type/.

Les fissures des cheminées

basses, froides, ne possédant pas de colliers de renfort sont verticales, longues et se transforment en fentes /Fig 3^a/.

Dans un cas /fût à section carrée/ la fissure s'étend sur toute la hauteur de la cheminée. /Fig. 3^b/.

Les fentes avaient une largeur de 2 à 30 mm.

La largeur des fentes des cheminées "chaudes" est beaucoup moins importante,

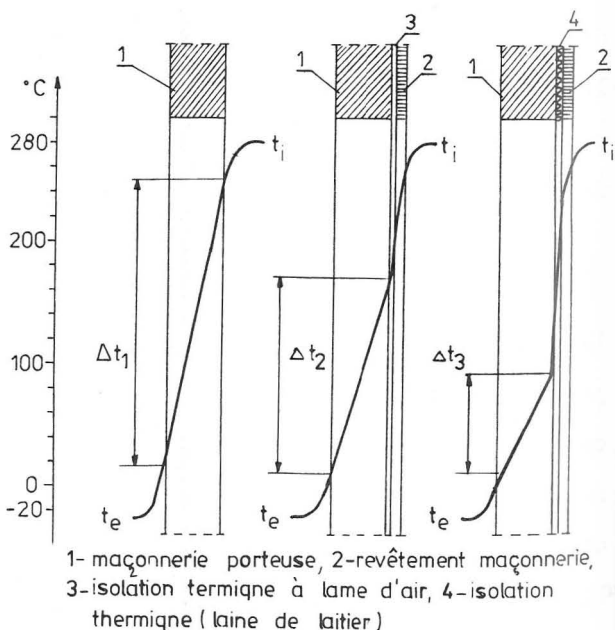


Fig. 2. Influence de l'isolation thermique.

après la mise en place des colliers de refort /Fig.3^c/ elle oscille entre 1 et 30 mm.

Les ^{g=2}brûlés dont la température dépasse 300°C, à part des dommages cités au-dessus, provoquent en plus les fissures sur le soubassement de la cheminée /Fig. 4/. La largeur des fentes oscille entre 2 et 40 mm. Si les contraintes verticales de /traction/ dues aux différentes de températures et à l'influence de vent, dépassent les contraintes de compression provoquées par le poids de la cheminée, on peut avoir les fissures horizontales /on les a observées sur la face exposée au vent de grande intensité/.

Dommages d'origine mécanique:

Dans plusieurs cheminées on a trouvé les détériorations de l'enveloppe /trous/ causées lors de la deuxième guerre mondiale.

Dommages d'origine chimique:

Les dommages d'origine chimique se manifestent soit par l'écailage des briques soit par le foisonnement du mortier diminuant ses qualités de résistance. [

2, 4]

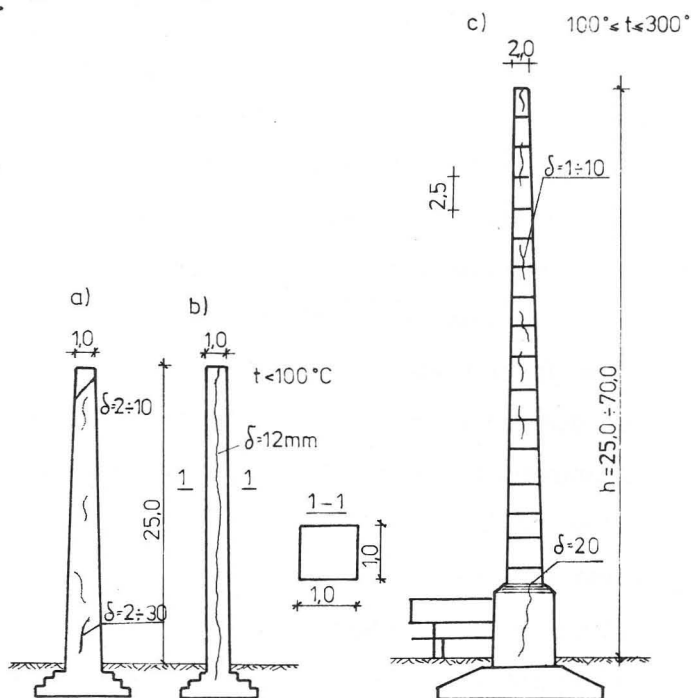


Fig. 3. Fissures des cheminées: a/ basses b/ basses fût a section carrée, c/ moyen

$t > 300^\circ$

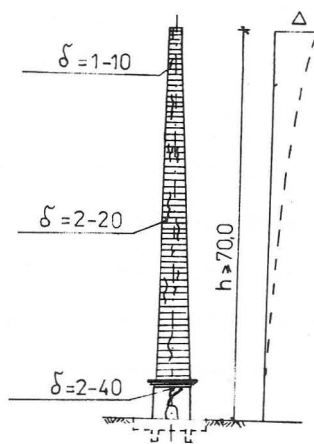


Fig. 4. Fissures des cheminées hauts

La corrosion chimique du mortier provient surtout du milieu acide résultant de la condensation de SO_2 , SO_3 , CO_2 et des autres. La réaction chimique issue de la rencontre des acides et de la chaux du mortier et par conséquent endommagent le mur.

Les briques des cheminées et leurs revêtements possèdent un grand nombre de pores dans lesquelles pénètrent les acides dont les différentes réaction qui donnent les sels augmentant de volume lors de cristallisation, provoquent l'écaillage des briques.

Les cheminées évacuant les gaz dont la température est moyenne, sont le plus souvent l'objet de la corrosion parce que le milieu acide est formé entre 120°C et 150°C .

Admettons qu'avec chaque mètre de la hauteur de la cheminée, la température des gaz évacués descend de $0,5^\circ \text{C}$ et que la température à l'entrée ne dépasse pas 300°C ; les composants acides des gaz augmentent la température jusqu'au point de rosé dans les parties supérieures, à proximité du couronnement de la cheminées.

C'est par ce phénomène qu'on peut expliquer les dommages rencontrés sur des couronnements des cheminées industrielles.

Une mauvaise exploitation de la cheminée accélère aussi sa corrosion.

Les extinctions répétées du four provoquent la formation d'une certaine quantité de condensant sur les faces froides de l'enveloppe.

L'entrée des gaz chauds dans la cheminée froide, après l'extinction, donne encore plus de condensant.

Le problème de la condensation périodique et continue, à l'intérieur des parois des cheminées et des carnaux n'est pas suffisamment apprécié.

La vapeur d'eau qui comprend différents composants agressifs traverse les parois et si le matériau est mauvais, si l'épaisseur de l'isolation est trop faible, il se produit une condensation à l'intérieur des parois.

Le caractère de paroi influence la condensation à cause des poussières et des sels hygroscopiques qui se déposent constituant des centres de corrosion. Si les dommages causés au mortier de la face extérieure de

l'enveloppe sont localisés sur la face exposée le plus au vent, ils entraînent une certaine inclinaison du fût.

Analyse des déformations des cheminées:

Les cheminées examinées ont des déformations soit locales soit générales. Une déformation générale concerne l'axe verticale. Pour connaître les causes des déformations il faut faire le relevé géométrique de l'axe de la cheminée il faut aussi déterminer les valeurs indiquant le déplacement des points caractéristiques.

Dans la plupart des cheminées étudiées /80 %/ la deviation a la forme d'une courbe arquée /voir croquis N° 4/.

Ce type de deformation est provoqué par la corrosion . Parfois les cheminées ont la forme d'une ligne brisée.

Les deviations des cheminées à l'axe droit et non pas brisé ont été observées quand l'affaissement du terrain /argile/ était irrégulier.

L'analyse géologique permanente a permis de déterminer la vitesse de deviation de la cheminée et le temps de stabilisation. Elle permet aussi de vérifier la stabilité des cheminées.

3.2. Dommages des cheminées d'évacuation des gaz: /de ventilation/

Les dommages des conduits d'évacuation des gaz ont le plus souvent l'origine chimique. Des efflorescences des sels constatées sur l'enveloppe des cheminées étaient localisées, le plus souvent, à proximité du couronnement et sur le soubassement, face à l'entrée de carneau dans la cheminée. Dans certains cas, le mortier étant complètement détruit, les joints étaient degarnis amenant ainsi une mauvaise étanchéité de l'enveloppe, et pendant les journées froides, on voyait les gaz sortant du conduit en fines fumées blanches.

L'agressivité de la corrosion du mortier était précisée par la mesure du pourcentage de CaSO_4 dans les éprouvettes.

Dans ce groupe de conduite, la cheminée du Complexe des Fibres

Synthétiques de Szczecin, est un exemple significatif: elle est en service depuis 40 ans, hauteur d'origine = 72 m, raccourcié et restaurée 3 fois /voir fig. N° 5/.

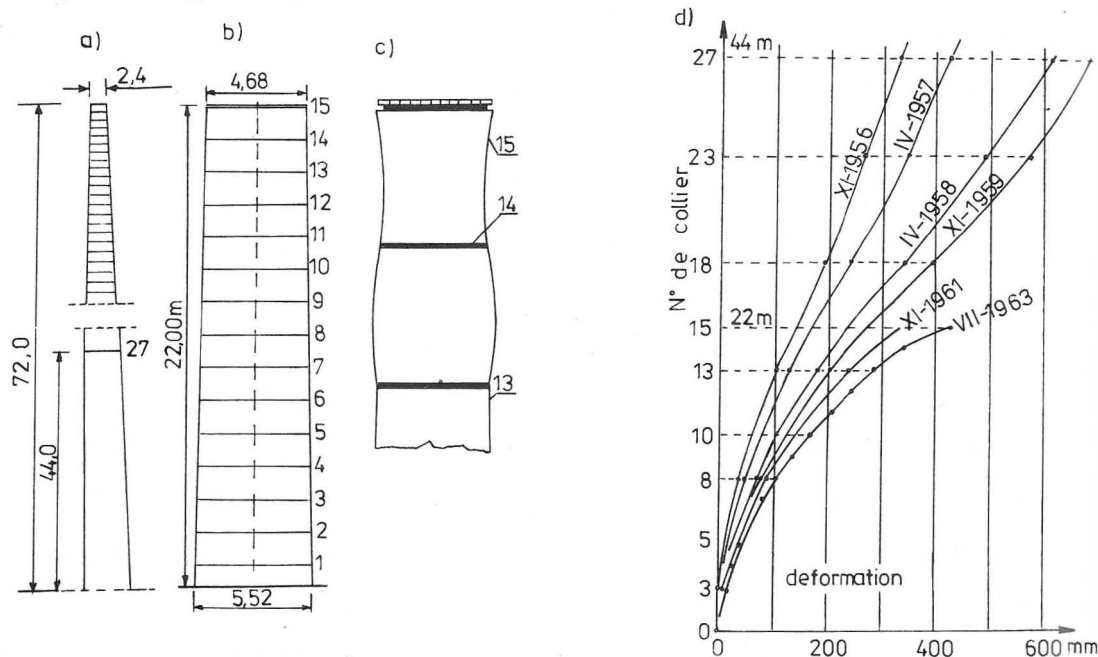


Fig. 5. Deformation de cheminée d'évacuation de gaz a/ vue d'origine b/ vue après raccourcié, c/ deformation des tronçons entre les ceintures de renfort, d/ deformation d'axe pendant les années 1956 - 1963.

On a constaté les alterations de l'axe ainsi que la deformation des tronçons superieurs entre les ceintures de renfort.

L'examen de la surface extérieure /les spécialistes ayant escaladé la cheminée /a démontré que les briques de l'envolpe tombaient en groupes apres être heurtées par une corde ou simplement légèrement touchées. Sur 6 cm d'épaisseur, le mortier était désagrégé. La face interieure de l'envolpe, principalement dans sa partie basse, ainsi que la partie supérieure du massif ont été gravement endommagées par les vapeurs acides condensées provenant du haut de la cheminée. On a constaté des fissures et des fentes dont la largeur pouvait atteindre 25 mm.

4. MESURES POSSIBLES POUR /PROLONGER LA RESISTANCE ET LA DUREE

DE VIE DES CHEMINEES.

Pour assurer un fonctionnement long et sûr, les suivants travaux de rénovation et de renfort ont été réalisés:

- démontage des cheminées dont la partie haute est trop déformée ou dont la réformation /le fruit/, est trop importante,
- réparation des parties fissurées du fût,
- remplacement des couronnements,
- bourrage des petites fissures,
- l'équipement de la cheminée a été changé et complété: ceintures de renfort, échelons, paliers de repos,
- renforcement des soubassements.

Les soubassements ont été renforcés à l'aide d'une charpente en acier et de tirants. Fig. N°6 montre une solution pour renforcer le soubassement de la cheminée dont la température des gaz brûlés passe de 300°C à 600°C le charbon ayant été remplacé par un combustible gazeux. Pour que les tirants ne soient pas trop tendus on a mis en place des compensations à ressort autoreglable.

Dans un conduit d'évacuation de gaz, le soubassement en béton et la partie basse du fût en brique ont été renforcés à l'aide d'une protection en béton armé

dont l'épaisseur inférieure et extérieure étaient de 20 et 12 cm, con-

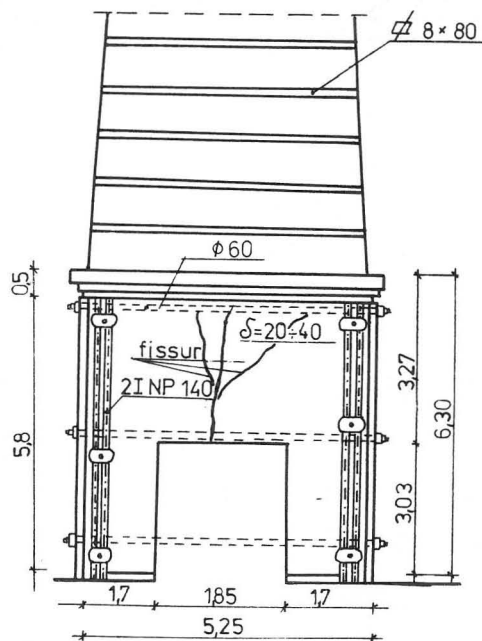


Fig. 6. Renforcement la soubassement de la cheminée energetique

formement au calcul /fig. N° 7/.

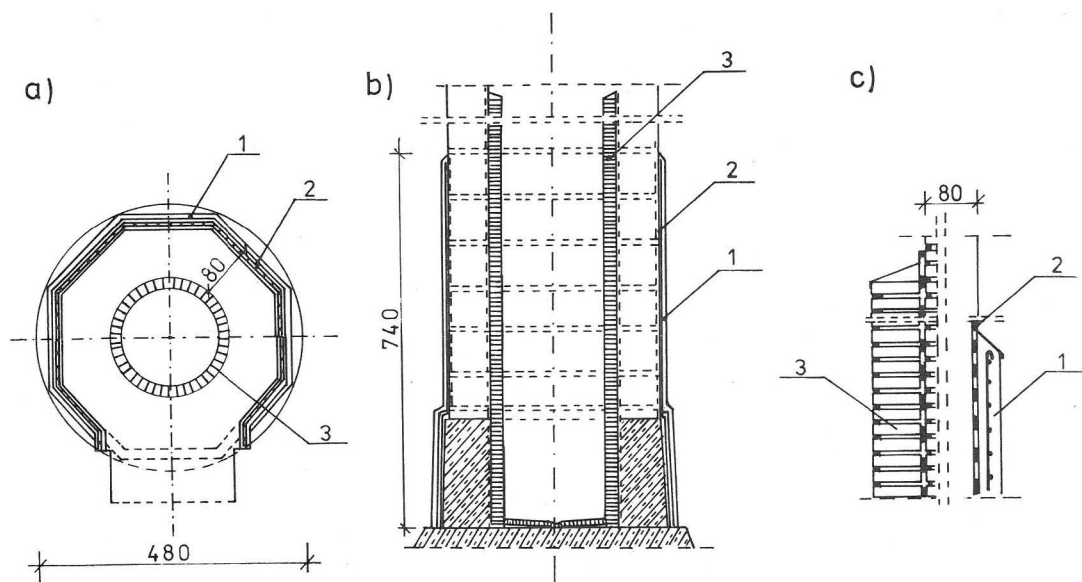


Fig. 7. Renforcement la soubassement de la cheminée d évacuation de gaz
 a/ coupe transversale, b/ coupe longitudinele, c/ detail "A"

L'épaisseur de l'enveloppe extérieure en béton ainsi que la section des armatures sont fonction du calcul statistique basé sur le principe que toute la poussée du vent est appliquée à la partie renforcée. Après la mise en place du béton, l'enveloppe a été renforcée par un isolation en jute /6 feuilles/ et par la résine epoxy.

Le revêtement de la face interne, à l'endroit même de détérioration, a été changé sur une longueur de 12 cm: l'épaisseur du nouveau lit de briques clinker est de 25 cm et le mortier à base de mastic epoxy. Le fond de la cheminée est étanche /cuvelage/.

Après avoir réalisé ces améliorations en 1968, la cheminée est toujours en service. [2, 3]

6. CONCLUSION:

La longévité de la cheminée dépend de plusieurs facteurs variables en fonction du temps, un raisonnement purement mathématique ne peut s'y appliquer, cependant il est évident que la durée de vie décroît en raison de:

- température excessive à l'intérieur du fût,
- agressivité des gaz évacués,
- nature des matériaux employés pour la construction du fût,
- mode d'exploitation,
- conditions atmosphériques.

Ces facteurs agissant en principe simultanément, chacun d'entre eux ne peut être pris séparément pour servir au calcul de la durée de vie d'une cheminée et surtout pour celles ayant entre 50 et 70 ans.

L'examen technique des vieilles cheminées montre qu'il faut les contrôler périodiquement. Cette visite doit être effectuée au moins tous les cinq ans et doit comprendre:

- contrôle de la face extérieure et avant tout
- l'estimation de l'état de l'intérieur du conduit d'autant plus que les vieilles cheminées ne possèdent pas de revêtement interne.

Un projet de loi pour augmenter la sécurité d'exploitation des cheminées en briques est en cours de préparation.

Chaque rénovation de cheminée entraînant un changement des charges thermiques doit être précédée par une analyse de la résistance de la structure et des matériaux employés pour la construction du fût, une analyse des problèmes thermiques et des problèmes liés à l'étanchéité des cheminées. Cette analyse doit comprendre aussi les solutions pour la protection contre la corrosion.

BIBLIOGRAPHIE

1. J. Ostapiuk "Durabilité des cheminées industrielles" Revues du

bâtiment n° 7/1973

2. J. Ostapiuk "Durabilite des constructions industrielles" Cahier Scientifique n° 51 Szczecin 1976
3. J. Ostapiuk "Reinforcement des cheminées industrielles" - Revues du batiment n° 7 - 8 1974
4. J. Ostapiuk "Des Problem des Bauschutzesgegen Sauerkorrosion in der Chemifaserindustrie" International Symp. Szczecin - Drezden.