

# UTILISATION DES SOUS-PRODUITS INDUSTRIELS DANS LA CONSTRUCTION DE ROUTE : EFFETS SUR L'ENVIRONNEMENT DES CENDRES VOLANTES

S. DIMTER

Faculté pour génie civil, Université J.J.Strossmayer Osijek, Croatie

[sdimter@gfos.hr](mailto:sdimter@gfos.hr)

T. RUKAVINA

Faculté pour génie civil, Université Zagreb, Croatie

[rukavina@grad.hr](mailto:rukavina@grad.hr)

## RÉSUMÉ

Le nombre de recherches sur les possibles utilisations des déchets ou des sous-produits industriels de certaines technologies de la construction augmente sans cesse, et ce, bien qu'elles aient débuté il y a de nombreuses années déjà. Il y a plusieurs raisons à ceci, l'un des aspects est de rationaliser la consommation des ressources naturelles de bonne qualité et l'autre de réduire au minimum l'énorme rejet des déchets de matériaux et des sous-produits industriels.

Parmi le large éventail de matériaux alternatifs à employer dans la construction routière, les cendres volantes occupent une place particulière, qui ont l'avantage sur les autres de s'employer sous leur forme originale, sans aucun recyclage ou modification.

De part la nature du matériaux ( déchets) des variations de qualités sont à prendre en considération. L'application des cendres volantes devrait dépendre de l'évaluation de l'impact possible sur le sol et les nappes phréatiques. Il est à noter que les propriétés des cendres volantes dépendent du type de charbon utilisé dans les centrales électriques ceci agit sur les propriétés chimiques et minérales de la cendre et également dans sa concentration en métal.

L'article décrit la connaissance actuelle au sujet de l'impact des cendres volantes sur l'environnement, en s'appuyant sur les recherches et l'expérience d'application croates.

## 1. PRÉFACE

Bien que les recherches sur la possibilité d'utilisation des déchets ainsi que des sous-produits des technologies de construction sont menées depuis longtemps, sont toujours en évolutions continue. Les raisons de ce phénomène sont variées: d'une part la nécessité d'utiliser d'une manière rationnelle les ressources naturelles d'agrégats naturels qui se pose à chaque pays dans le cadre du concept du développement soutenable, et d'autre part, l'accumulation de grandes quantités des matériaux de rejet sur les décharges publiques.

L'idée du développement soutenable est apparue au début des années quatre-vingt dix comme réponse aux problèmes plus ou moins présent dans le monde. Selon la définition de la WSED (World Commission on Environment and Development) le concept de la soutenabilité est un objectif commun dont la réalisation exige l'harmonisation des nécessités et aspirations actuelles sans compromettre les nécessités dans le futur. La période entre les années cinquante et soixante-dix du siècle passé a été marquée par un fort développement économique qui a exercé, à son tour, un fort impact négatif sur quelques aspects spécifiques de l'environnement. Cependant, la conscience du danger pour l'environnement ainsi que de la nécessité de préserver les ressources naturelles pour le futur n'était pas encore suffisamment forte pour provoquer des réactions positives. La première action significative au niveau mondial était la Conférence sur la Terre qui a eu lieu en 1992 à Rie de Janeiro et qui a vu la participation de 179 Etats, y compris la Croatie. Le document conclusif de la conférence – L'Agenda 21 (1), dans sa forme intégrale définit les principes sur lesquels doivent se baser les

décisions et les programmes futurs, tout en considérant l'impact environnemental du développement industriel.

## **2. LES MATERIAUX DE DECHET ET LES SOUS-PRODUITS INDUSTRIELS**

Selon les directives du développement soutenable, il est indispensable d'assurer la protection des sources naturelles des agrégats inrenouvelables, ce qui signifie qu'il faut assurer l'utilisation optimale et la plus convenable de l'ensemble des ressources disponibles.

Dans l'industrie de la construction est utilisé une importante quantité d'agrégats naturels de carrière. Une grande partie de cette quantité est utilisée dans la construction des routes et des ponts. La demande continue des matériaux naturels dégrade inévitablement les sources naturelles, tandis que les frais d'achat et de transport dans les zones qui ne disposent pas de ressources naturelles font augmenter sensiblement les prix de la construction. Les matériaux de rejet et les sous-produits industriels peuvent donc représenter une alternative très importante dans le secteur de la construction routière. L'utilisation de ces matériaux contribue à la consommation plus rationnelle des gisements d'agrégats de qualité et influe positivement sur la solution des problèmes écologiques dus à la décharge massive de matériaux de rejet.

Quelques matériaux alternatifs ont connu leur application dans la construction routière depuis longtemps déjà, surtout dans les pays industriels qu'en sont les plus importants "producteurs". Sur la base des recherches menées aux Etats Unis ainsi que des expériences (2), (3), plusieurs matériaux de déchet et sous-produits industriels peuvent être utilisés dans la construction des routes. Ce sont des matériaux qui, d'une part, sont normalement mis à la décharge en grandes quantités et qui ont un grand impact négatif sur l'environnement. D'autre part, leur utilisation comme substituts des matériaux traditionnels ou comme additif, permet, parmi les autres avantages, de réaliser des économies très importantes.

Par rapport aux autres matériaux alternatifs utilisés dans la construction des routes une place très importante est réservée aux cendres volantes qui sont utilisables sans aucune modification ou traitement préalable.

## **3. LES CENDRES VOLANTES**

Le terme "cendres volantes" a été utilisé pour la première fois en 1937 aux Etats Unis dans la publication de l'étude sur les cendres volantes de l'Institut américain du béton ACE (American Concrete Institute). Selon cette étude les cendres volantes ont été utilisées pour la première fois en 1929 aux Etats Unis dans la construction du barrage Hover, comme additif dans la production du béton. La première utilisation significative des cendres volantes dans la construction a été celle du barrage "Hungry Horse Dam" en Montana – Etats Unis, où on a ajouté 120.000 tonnes de cendres volantes au béton. Ensuite, l'utilisation des cendres volantes dans la production du béton pour la construction des barrages sur l'ensemble du territoire des Etats Unis est devenue un procédé usuel.

A partir de cette époque les cendres volantes sont utilisées aussi dans les autres domaines, spécialement dans la construction des routes, soit comme additif au liant utilisé, soit comme liant indépendant dans la réalisation des couches d'appuis stabilisées ou comme matériau pour la réalisation des couches d'appuis et remblais sans liant.

### **3.1. Mode de production des cendres volantes**

Les cendres volantes sont le sous-produit industriel de la combustion du charbon en particules minces dans les hauts-fours des usines thermo-électriques. Dans les installations de ce type, lors de l'exposition du charbon aux températures élevées (de 1000 à 1600 °C) les substances

volatiles et les composants organiques brûlent, tandis que les impuretés de nature organique (les particules de quartz et argileuses) sont le résidu incombustible. Ce résidu est transporté rapidement dans une zone de température plus basse où il se solidifie en forme de particules sphériques formant une poussière très fine qui est recueillie électro-statiquement dans des paniers spéciaux. Les cendres de ce type sont dénommées couramment *cendres volantes* et elles constituent le 75-85% des cendres totales. Le reste est constitué par de particules plus grossières qui tombent vers le bas et forment les cendres du fond du four. La qualité des cendres volantes dépend du type et de la qualité du charbon utilisé ainsi que de la technologie de la combustion.

### 3.2. Caractéristiques des cendres volantes

#### 3.2.1. *Caractéristiques mécaniques des cendres volantes*

Les caractéristiques des cendres volantes dépendent surtout du type du charbon utilisé, de la finesse de mouture, de la composition chimique et minérale ainsi que des conditions dans lesquelles se déroule la combustion.

Par sa composition mécanique les cendres volantes est une poussière très fine dont la granulométrie des particules est de 1 à 400 µ (microns). La structure des cendres volantes est amorphe, vitrée et dans la plupart des cas les particules sont de forme sphérique, ce qui est la conséquence de la fusion et du refroidissement brusque lors de la formation. Les cendres volantes sont de couleur marron clair jusqu'à gris foncé.

La grandeur et la morphologie des cellules des cendres volantes dépendent fortement de la température maximale atteinte lors de la combustion. La réactivité et les besoins en eau du mélange auquel les cendres volantes sont ajoutées varient en fonction de la disposition des particules, de la morphologie et des caractéristique de leur surface.

Les cendres volantes possèdent des caractéristiques pouzzolaniques plus ou moins exprimées ce qui leur donne la possibilité d'utilisation dans la technologie de la construction. Les caractéristiques pouzzolaniques sont favorisées surtout par les particules de grandeur inférieure aux 20 microns. Les fractions plus fines ont donc une valeur « liante » plus grande par rapport aux particules grossières (4).

#### 3.2.2. *Caractéristiques chimiques des cendres volantes*

Les cendres volantes contiennent les oxydes de silice, d'aluminium, de calcium, de fer, de magnésium, les sulphates et oxydes alcaliques, ainsi que les substances combustibles. La composition chimique, comme indiqué dans le tableau ci-après, varie en fonction du type de charbon utilisé:

Tableau 1 – Valeurs moyennes de la composition chimique des cendres volantes

Composition chimique	Cendres volantes provenant des charbons du type antracyte ou bitumineux	Cendres volantes provenant des charbons du type lignite et de qualité basse
	Masse (%)	Masse (%)
SiO <sub>2</sub>	48	38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28	22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9	4
CaO	4	24
MgO	2	5
SO <sub>3</sub>	1	3
Pertes dues au brassement	5	1

La classification de base des cendres volantes est effectuée justement d'après leur composition chimique. La norme croate EN 142277-4 [5] distingue deux groupes de cendres volantes:

Les cendres volantes aux silicates, dont les composants essentiels sont les silicates, aluminates et oxydes du fer ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), aux caractéristiques pouzzollaniques, et les cendres volantes à la chaux dont les composants essentiels sont les silicates, aluminates, l'oxyde du calcium et les sulfates ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  i  $\text{SO}_3$ ), aux caractéristiques hydrauliques et pouzzollaniques.

### 3.3. Possibilités d'utilisation des cendres volantes

Les cendres volantes sont rangées parmi les rares matériaux de déchet réutilisables directement dans la technologie de la construction sans traitement préalables.

Les cendres volantes peuvent être réutilisées en deux manières:

- comme composant de liaison où l'ajout de ce matériau induit certaines réactions chimiques dues à l'activité pouzzolanique (utilisation indirecte des cendres volantes);
- comme produit de remplissage en vue d'améliorer les caractéristiques mécaniques du mélange par l'augmentation du rapport des particules fines (utilisation directe des cendres volantes).

Les possibilités d'utilisation directe et indirecte des cendres volantes dans la construction des routes sont très nombreuses:

- comme additif lors de la préparation du béton frais où les cendres volantes substituent en partie le ciment (normalement jusqu'à 20%); cette utilisation des cendres volantes est la plus ancienne et elle est considérée comme la première méthode d'utilisation des matériaux de déchet dans la technologie de la construction;
- comme additif dans la production du ciment, ce qui est considéré comme l'application la plus répandue;
- comme liant ou comme matériau contribuant à l'effet liant (ciment-cendres ou chaux-cendres) dans les mélanges stabilisants pour la réalisation des couches d'appuis des structures de la chaussée en matériaux granuleux;
- comme matériau de base dans les mélanges pour la stabilisation réalisées avec l'ajout du ciment, de la chaux ou des cendres volantes;
- comme matériau de base pour la réalisation de remblais où sont utilisées les particules grossières et de grandeur moyenne;
- comme matériau d'ajout pour la réalisation de remblais où l'amélioration de la structure granulométrique du matériau de base est requise;
- comme produit de remplissage dans la production du mélange d'asphalte où l'amélioration des caractéristiques mécaniques du mélange;
- pour la réalisation des couches de base des pistes agricoles, pour le nivellement du terrain...

La liste des exemples indiqués ci-avant n'est pas exhaustive.

### 3.4. Impact des cendres volantes sur l'environnement

Les cendres volantes sont le produit de la combustion du charbon dans les usines thermoélectriques. Du fait que la production de l'énergie électrique de ce type est très

répandue dans le monde, un grand nombre de pays a connu le problème de la déposition des cendres dont les quantités sur les décharges deviennent de plus en plus grandes.

Selon les données américaines (3) seulement le 25% des cendres volantes produites est réutilisé tandis que le reste est déposé en décharge. De cette manière les cendres volantes deviennent un gros problème environnemental.

Une partie des cendres volantes est utilisée dans la construction routière comme alternative aux matériaux de construction traditionnels. De cette manière les quantités des cendres volantes sur les décharges diminuent et leur impact environnemental est ainsi réduit.

Les possibilités d'utilisation indiquées ci-avant et l'expérience acquise confirment les bonnes caractéristiques des cendres volantes. Cependant, il ne faut pas oublier qu'il s'agit ici d'un matériau de déchet dont les caractéristiques chimiques et minéralogiques peuvent varier sensiblement et que leur utilisation sans contrôle pourrait menacer la santé de la population et polluer le sol et les eaux. Les caractéristiques des cendres volantes dépendent du type du charbon utilisé pour la combustion ainsi que des conditions dans lesquelles se déroule la combustion dans les usines thermoélectriques, ce qui influe d'une manière décisive sur la variation de la composition des cendres, sur la radioactivité éventuelle et sur la concentration des métaux lourds.

Avant de porter une décision définitive sur l'utilisation des cendres volantes il faudra donc examiner les éventuelles conséquences négatives de cette utilisation.

#### 3.4.1. Evaluation de l'impact écologique

L'évaluation de l'influence des cendres volantes sur la santé de la population et de leur impact environnemental peut être faite à travers trois aspects: de quelle manière l'utilisation des cendres volantes peut menacer l'environnement, quels sont les aspects environnementaux menacés et en quelle mesure l'environnement pourrait être compromis.

Selon les auteurs Chesner et al. (3) l'environnement et la santé de la population peuvent être menacés.

- par la présence des métaux lourds (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn, etc.) et par la présence des substances organiques (benzènes, phénols etc.) qui sont soit filtrées ou solubles dans l'eau et qui deviennent un polluant important des eaux en surface et dans le sous-sol ainsi que du sol environnant;
- par la formation d'une poussière fine contenant des éléments organiques toxiques pouvant provoquer des problèmes respiratoires de la population;
- par la présence des métaux volatils (As, Hg, Cd, Pb, Zn) et des substances organiques (hydrocarbures chlorurés) libérés aux hautes températures, qui représentent une menace sérieuse pour la santé de la population.

##### 3.4.1.1. L'infiltration

L'infiltration filtrage à travers le sol, qui est le produit de l'action de l'eau sur les matériaux contenant des substances solubles, peut causer une pollution du sol et des eaux en surface et dans le sous-sol.

La composition fort variable des cendres volantes peut comprendre des éléments pouvant s'infiltrer de cette manière dans les eaux dans le sous-sol et en surface en devenant ainsi un danger pour la végétation et pour les animaux. Les éléments toxiques sont en premier lieu l'arsenic, le baryum, le chrome, le cadmium, le sélène et l'argent.

Les méthodes de la détermination de la valeur pH et des éléments (As, Cd, Cr, Va, Cu, Ni, Pb, Zn, Cl, NO<sub>3</sub> et SO<sub>4</sub>) sont définies par la norme européenne prEN 12506 "Characterisation of waste-Chemical analysis of evaluates".

Lors de la détermination du degré d'infiltration possible, en plus des données indiquées sur la proportion présente des éléments dangereux il est indispensable de connaître également les conditions hydrologiques de l'environnement ainsi que la perméabilité des matériaux et du sol environnant.

Un grand nombre d'étude ont été menés en vue de déterminer l'infiltration provenant des matériaux de construction à travers le sol environnant, dans les eaux de surface et du sous-sol. Baldwin et al. (6) ont constaté à la conclusion d'une recherche très vaste que la pollution de l'eau en éléments dangereux ne dépasse pas les limites admissibles en cas de l'application des règlements très sévère sur la qualité de l'eau.

Le tableau 2 indique les éléments dont la présence dans l'eau et dans le sol est normalement déterminée au Royaume Uni (7).

Tableau 2- Leachates trouvée avec la méthode DIN 38414-S4 et les méthodes d'extraction NRA

Palette typique des éléments "leachable" pour UK PFA (mg/L sauf pH )			
Aluminium	<0,01* to 9,8	Manganese	<0,01*
Arsenic	<0,1*	Molybdenum	<0,1* to 0,6
Boron	<0,1* to 6	Sodium	12 to 33
Barium	0,2 to 0,4	Nickel	<0,01*
Calcium	15 to 216	Phosphorus	<0,1* to 0,4
Cadmium	<0,04*	Lead	<0,01*
Chloride	1,6 to 17,5	Sulfur	24 to 510
Cobalt	<0,01*	Antimony	<0,01*
Chromium	<0,1*	Selenium	<0,01* to 0,15
Copper	<0,01*	Silicon	0,5 to 1,5
Fluoride	0,2 to 2,3	Tin	<0,1*
Iron	<0,1*	Titanium	<0,1*
Mercury	<0,001*	Vanadium	<0,01* to 0,5
Potassium	1 to 19	Zinc	<0,02*
Magnesium	<0,1* to 3,9	pH	7 to 11,7
Note: Les data ci-dessus sont inclus un échantillon conditionnée avec de l'eau marin, Ca résulte dans des valeurs de chlorure plus haut. Les valeurs de Boron peut augmenter aussi. * indiquons au-dessous des limites éventable			

En plus de l'infiltration pouvant polluer le sol environnant et les eaux, la pollution atmosphérique dépend fortement de la quantité totale des poussières. Le phénomène devient un problème spécialement pendant les journées de vent. Voilà pourquoi il est important d'assurer le transport des matériaux contenant une grande proportion de particules fines en conteneurs fermés et assurer leur mise en œuvre immédiatement après leur arrivée sur le site de la construction.

Le péril des différents segments de l'environnement peut être observé à travers les différentes possibilités d'application des cendres volantes dans la réalisation de la structure de la chaussée.

Les cendres volantes peuvent être utilisées dans la réalisation de la structure de la chaussée: dans la réalisation des chaussées (avec la mise en œuvre de mélanges d'asphalte et de béton), dans la réalisation des couches d'appuis, dans la réalisation des couches sans liant et dans la réalisation des remblais. Les travaux de construction de la chaussée comprennent un grand nombre d'opérations telles que le transport et le stockage des matériaux, leur répartition, le

mélange, le compactage, la mise en œuvre et l'enlèvement de la couche réalisée lors de la reconstruction. Déjà dans la phase des travaux on peut observer les phénomènes pouvant avoir une influence négative sur la santé de la population et sur l'environnement. Ce sont surtout la libération des grandes quantités de poussière fine ou l'infiltration des éléments toxiques dans le sol, et plus tard, dans les eaux en sous-sol. Lors de l'évaluation de l'impact négatif des cendres volantes sur l'environnement il est très important de connaître : la position de la couche au sein de la structure de la chaussée et son épaisseur de projet, si les cendres volantes sont liés au bitume ou au ciment et dans quel rapport.

Les matériaux liés au bitume ou au ciment ont une capacité d'infiltration sensiblement réduite . Les raisons en sont : en premier lieu, les particules des cendres volantes sont enveloppées par une couche de bitume ou de ciment, ce qui empêche le passage de l'eau, et, en deuxième lieu, les matériaux liés sont généralement utilisés pour la réalisation des couches portantes supérieures et ces couches sont normalement plus minces que les couches d'appuis inférieures.

E considérant les faits exposés ci-avant et le fait qu'il s'agit ici d'un matériau, qui, s'il est bien compacté, a une perméabilité très réduite, normalement  $10^{-7}$  m/s, et il n'y a donc pas d'influences négatives dues à l'infiltration des éléments dangereux dans le sol et dans les eaux.

Une conclusion similaire pourrait concerner les couches sans liant, à la condition que leur épaisseur soit comprise dans les limites normales et qu'elle ne demeurent pas en conditions d'humidité élevée.

Dans la réalisation des remblais routiers une grande quantité de cendres volantes est utilisée soit comme matériau de base ou comme matériau d'ajout lorsqu'il est indispensable d'améliorer la composition granulométrique du matériau de base. Avec une quantité si massive de cendres volantes le volume des éléments toxiques pouvant s'infiltrer dans les eaux et dans le sol devient important bien qu'il s'agit d'une faible concentration de tels éléments.

Ce problème peut s'aggraver dans le cas où le drainage se déverserait directement dans les cours d'eau. Dans certains cas la pollution peut entraîner la mort des organismes vivants.

Si les cours d'eau alimentent la population en eau potable ou si les remblais de cendres volantes menacent les sources et les eaux de sous-sol, les problèmes s'intensifient.

Bien que l'effet de toxicité soit réduit dans ces circonstances, il faut absolument en tenir compte puisque le goût et l'odeur de l'eau peuvent être altérés.

La figure 1 représente la réalisation de la couche portante stabilisée de la chaussée ainsi que les sources et modes visibles de l'impact négatif pour l'environnement des matériaux utilisés.

Les travaux comprennent le transport du matériau, son déchargement sur le site, le déploiement, le mélange avec le liant et le compactage.

Tous les travaux indiqués provoquent une forte concentration des poussières dans l'air et ces poussières agissent localement et immédiatement. L'effet négatif des poussières s'arrête avec l'arrêt des travaux et il n'y a plus d'effets sérieusement négatifs pour l'environnement.

L'infiltration intensive des éléments nocifs de la couche réalisée dans le sol et dans les eaux est observée lorsque, pendant la réalisation des travaux, la surface réalisée reste sans protection et elle est exposée à la pluie. D'une manière générale ce phénomène est sensiblement réduit avec la réalisation d'une nouvelle couche de support ou de la couche de roulement de la chaussée.

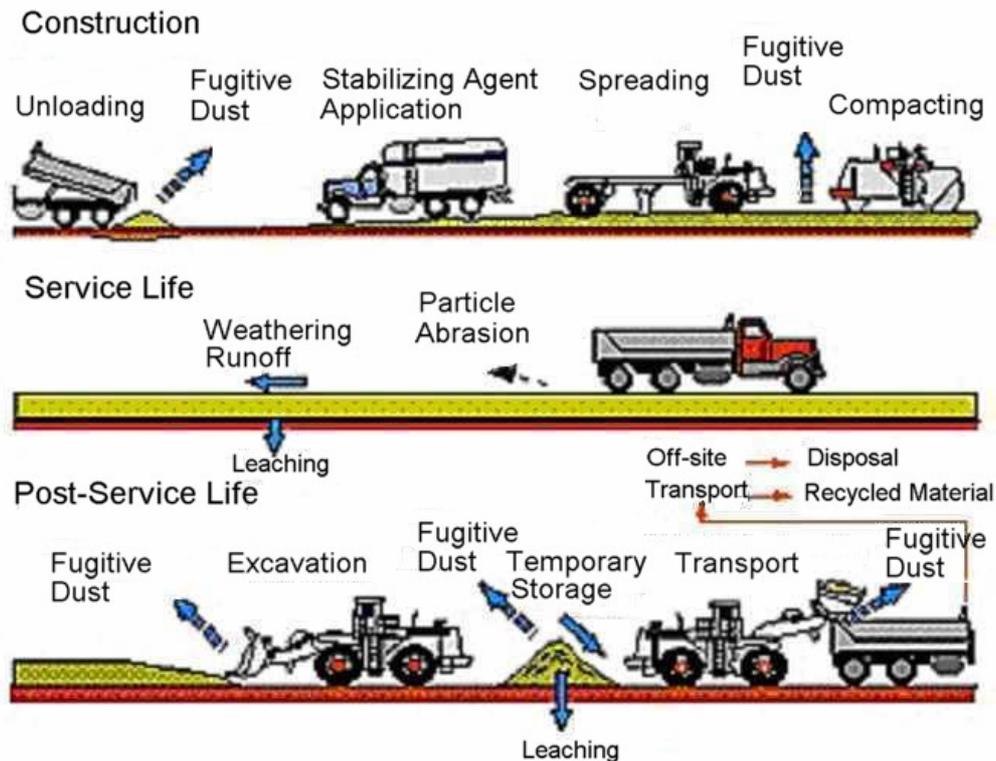


Figure 1 – Réalisation de la couche stabilisée du corps de la chaussée

### 3.4.1.2. Radioactivité des cendres volantes

L'utilisation des cendres volantes dans la technologie de la construction est limitée dans certains cas par le fait que la radioactivité de ce matériau est supérieure par rapport à celle des autres matériaux de rejet, ce qui est la conséquence de la concentration des matériaux naturels dans le charbon.

Green (8) a publié les résultats des mesurages de la radioactivité effectués au Royaume Uni sur les cendres volantes et autres matériaux contenant ces cendres, ainsi que sur les décharges. Les résultats ont démontré que l'ajout des cendres volantes aux autres matériaux n'augmente pas leur radioactivité, qu'il n'y a pas de danger pour la santé des ouvriers et pour la population locale et que tout risque potentiel peut être facilement identifié par des simples mesurages sur le site ou sur la décharge.

L'Union Internationale des Producteurs et Distributeurs de l' Energie Electrique (The International Union of Producers and Distributors of Electrical Energy – UNIPED) a publié les résultats des essais de la radioactivité des cendres volantes dans les différents pays européens. En conclusion elle propose la valeur moyenne de 200 Bq/kg. Dans le tableau 3 (8) sont visibles les valeurs limite de la radioactivité (pour l' urane U et pour le Thorium Th) concernant les différents pays européens.

Tableau 3 – Radioactivité de la poussière des cendres volantes (PFA) en Bq/kg (UNIPEDÉ)

Résultats pour le pays:	PFA pour le pays	Résultats pour U			Résultats pour Th		
		Min	Max	Moyenne	Min	Max	Moyenne
Allemagne	Allemagne	93	137	119	96	155	121
	RU	72	105	89	3	94	68
	Australie	7	160	90	7	290	150
	Pologne			350			150
Italie	Italie	130	210	170	100	190	140
Danemark	Danemark	120	210	160	66	190	120
Suède	Suède	150	200		150	200	
Belgique	Belgique	112	316	181	88	277	150
Espagne	Espagne	80	106	91	77	104	89
Allemagne				189			118
R. Tchèque	R. Tchèque	35	190	129	62	142	90

Puisque dans la construction des remblais routiers son utilisées des quantités sensiblement plus grandes que dans le autres applications dans la construction routière, l'étude de l'impact écologique des cendres volantes a porté surtout sur les remblais.

Sur la base des données fournies par les autres études (9), (10) on peut constater que les cendres volantes ne représentent pas un risque environnemental, bien que la possibilité de l'infiltration et de la concentration des éléments toxiques ou la radioactivité soient toujours possibles.

La décharge et l'utilisation des cendres volantes n'exigent pas la mise en oeuvre des précautions particulière par rapport aux mesures usuellement requises dans le génie civil.

### 3.5. Les expériences croates dans la domaine de l'utilisation des cendres volantes

#### 3.5.1. Caractéristiques des cendres volantes en Croatie

L'unique "producteur" des cendres volantes en Croatie est l'usine thermoélectrique Plomin laquelle utilisait jusqu' au 2000 comme combustible le charbon provenant de la minière de Raša et Labin. Du fait que les cendres volantes provenant de ces charbons étaient fortement radioactives, toutes les études antérieures sur les possibilité de leur utilisation étaient bientôt suspendues et l'utilisation des cendres était très limitée.

Après le 2000 l'usine de Plomin a adopté une nouvelle technologie et elle utilise comme combustible le charbon importé avec une très faible teneur de sulfure ne dépassant pas le 1%. Ce charbon est importé de l' Afrique du Sud, de l'Australie, de la Colombie et de l' Indonésie.

Les résultats de l'analyse chimique et granulométrique de l'échantillon des cendres volantes provenant du charbon d'importation sont donnés dans le tableau ci-après:

Tableau 4 – Analyse chimique et granulométrique des cendres volantes

Analyse chimique	
	Résultats (%)
Humidité dans l'échantillon	37,87
Dioxyde de silicium SiO <sub>2</sub>	53,95
Oxyde d'aluminium Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,83
Oxyde de fer Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,17
Oxyde de calcium CaO	4,32
Oxyde de soufre SO <sub>3</sub>	0,38
Chlorures Cl <sup>-</sup>	0,005
Oxyde de calcium, CaO-libre	0,00
Perte par brûlement- incombustibles	3,69
Analyse granulométrique	
Présence des particules de dimension (mm)	Résultats (%)
0-0,063	78,9
0,063-0,20	20,2
>0,20	0,9

Les résultats des essais de radioactivité sont obtenus par mesurage gamma-spectrométrie et ils sont donnés dans le tableau ci-après:

Tableau 5 – Résultat des essais de radioactivité des cendres volantes

Echantillon	Activité (Bq/kg)		
	<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th( <sup>228</sup> Ra)
Cendres volantes	563,5±14,1	81,5±2,0	59,0±2,4
Valeurs admises (selon le Journal Officiel Croate 108/99)	3000	300	200

Sur la base de l'article 20 du Règlement des conditions, de la manière et des délais définis pour les vérifications systématiques de la radiation ionisante ainsi que des types et de la radioactivité des matières présentes dans l'environnement (J.O. 108/99) la valeur maximale admise de la pollution radioactive des matériaux de construction doit être dans les limites suivantes:

$$\frac{C_{Ra-226}}{300} + \frac{C_{Th-232}}{200} + \frac{C_{K-40}}{3000} \leq 1$$

où C<sub>Ra</sub>, C<sub>Th</sub>, C<sub>K</sub> sont des radio nucléides naturels .

Les essais effectués ont démontré que les cendres volantes sont conformes aux critères écologiques prescrits (somme des quotients dans l'expression ci-haut est 0,75450<1) et elles peuvent donc être utilisées dans la technologie de la construction sans aucune limite.

Actuellement, toutes les cendres volantes produites dans l'usine de Plomin sont transportées dans la fabrique de ciment Koromačno voisine où elles sont utilisées comme ajout dans la

production du ciment. De cette manière on a réalisé plusieurs aspects de l'utilité écologique. En plus d'avoir assuré une utilisation convenable des cendres volantes, toute la quantité des cendres volantes produites est transportée directement dans la fabrique de ciment, on ne forme pas de décharges et l'impact négatif des poussières est minime, puisque les cendres sont stockées dans un silo de 1200 m<sup>3</sup> d'où elles sont transférées dans des camions-citerne et transportées vers la fabrique de ciment.

### *3.5.2. Les expériences croates dans l'utilisation des cendres volantes*

Comme indiqué au point précédent, du fait de la mauvaise qualité des cendres volantes provenant de l'usine thermoélectrique Plomin, les cendres volantes n'étaient pas utilisées pendant une longue période et les études sur la possibilité de leur utilisation dans les technologies de la construction n'étaient pas menées.

Les expériences croates en domaine de l'utilisation des cendres volantes étaient basées sur les études et sur l'utilisation des cendres volantes provenant du charbon "importé".

Les critères du choix des cendres volantes reposaient surtout sur leurs caractéristiques convenables ainsi que sur la distance de l'usine thermoélectrique "productrice". On a d'abord étudié la possibilité d'utiliser les cendres volantes provenant de l'usine thermoélectrique de Kakanj en Bosnie – Herzégovine. L'utilisation de ces cendres était envisagée comme additif dans la production du ciment (4).

Les premières études des mélanges stabilisants contenant les cendres volantes dans le liant ont été faites en 1996 au sein de la Faculté de la Construction de Osijek (11). Les cendres volantes essayées provenaient de l'usine thermoélectrique de Pécz en Hongrie.

Les études des mélanges stabilisants de composition similaire ont été amplifiées et elles ont continué en 2004 (12), également sur les cendres volantes provenant de l'usine de Pécz. Les essais en laboratoire sur plus de 600 échantillons de mélanges stabilisants, ont déterminé les caractéristiques mécaniques et élastiques: la résistance à la compression et à la traction directe et indirecte, le module de translation dynamique et le coefficient de Poisson.

L'impact écologique des cendres volantes utilisées dans les mélanges stabilisants n'a pas été étudié.

Du fait que l'usine de Plomin a commencé à utiliser le charbon de bonne qualité produisant des cendres volantes de bonne qualité, au sein de la Faculté de la Construction de Osijek des études nouvelles sont prévues, cette fois avec les cendres volantes provenant de l'usine croate. On a donc entrepris les premières mesures pour assurer un travail d'étude coordonné avec les représentants de l'usine thermoélectrique de Plomin.

### *3.5.3. Le cadre juridique de la protection de l'environnement en Croatie*

La protection de l'environnement en Croatie est devenue un facteur important dans le processus du développement à long terme. Selon la Stratégie nationale de la protection de l'environnement (J.O. 46/02) il est indispensable d'élargir l'envergure de la protection de l'environnement. Dans ce contexte deux objectifs sont décisifs (13):

1. Le concept du développement soutenable
2. Le processus de l'adhérence à l'Union européenne imposant l'harmonisation des lois croates et des critères nationaux à ceux qui sont appliqués dans les pays membres de l'union.

Deux groupes de priorités ont été isolés en ce qui concerne la protection de l'environnement. Leur choix a été effectué sur la base du niveau d'évolution des mesures pour la préservation de l'environnement ainsi que sur la base du Programme d'Action de l'U.E., soit des intérêts de l'Union européenne dans la définition de la politique et de la stratégie de la protection de

l'environnement. Le premier groupe de priorités comprend, parmi les autres, les activités telles que l'élimination des déchets, la protection des eaux, de la qualité de l'air et du sol.

Dans le cadre de ces activités le secteur de la construction peut influencer d'une manière importante sur l'amélioration de la situation actuelle et sur la mise en œuvre des principes du développement soutenable.

L'ensemble de toutes les lois et prescriptions réglant en Croatie la très vaste domaine de la protection de l'environnement comprend une centaine de règlements. Certaines lois et règlements n'ont pas le niveau souhaité ce qui est la conséquence du manque de la coordination entre les institutions scientifique lors de la définition des règlements. On peut constater également le manque de l'harmonisation entre les différents règlements. Cette situation a imposé l'élaboration de la nouvelle Loi sur la protection du sol, de la Loi sur la protection de la nature, du complément au Décret sur les valeurs limite de l'émission des substances nocives dans l'air. Actuellement est aussi en phase de préparation un grand nombre de nouvelles lois. Les activités si intensives dans la domaine de la législation sont étroitement liées à un des projets capitaux du Ministère de la protection de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de la construction (MZOPU), soit de l' "Harmonisation de la réglementation technique croate avec les directives de l' Union Européenne" qui a vu son début en 1997.

La République de Croatie est signataire d'une trentaine de conventions et contrats internationaux qui l'obligent à modifier la législation en vigueur et à assurer les ressources indispensables pour l'application pratique des règlements (introduction des technologies nouvelles).

Pour assurer une bonne protection de l'environnement il est surtout nécessaire de mettre en place un systèmes efficace d'observation de son l'état. Le système d'observation permet d'enregistrer les changements, le respect des normes est mis sous surveillance, il permet de mieux connaître les processus et de prévoir les changements dans l'environnement. Le système d'observation en Croatie est, pour la plupart des segments de l'environnement est encore dans sa première phase d'évolution, tandis que le système d'observation de la qualité des eaux superficielles se déroule sur le niveau national et on peut le considérer évolué et bien organisé.

En ce qui concerne l'utilisation des matériaux de substitution dans les technologies de la construction ainsi que la réglementation régissant leur emploi, la Croatie est en retard par rapport aux pays industriels dans lesquels ces matériaux sont utilisés depuis longtemps déjà.

#### **4. CONCLUSION**

Les cendres volantes sont considérées un sous-produit industriel qui offre le plus de possibilités d'emploi dans les technologies de la construction. D'ailleurs, elles sont le premier matériau qui a été utilisé comme substitut des matériaux traditionnels. Les raisons étaient doubles: d'une part, les grandes quantités des cendres volantes accumulées sur les décharges ont créé des sérieux problèmes écologiques. Elles devaient donc être réduites. D'autre part, les analyses des cendres volantes ont mis en évidence leurs caractéristiques positives et surtout les effets positifs de la réaction puzzolanique retardée.

Les nombreuses études effectuées jusqu'au moment actuel ont attesté la justification de l'utilisation des cendres volantes dans les technologies de la construction en affirmant également l'utilisation de ce produit de rejet beaucoup plus large.

Les cendres volantes peuvent être utilisées dans la construction des routes dans une dizaine de modes différents, soit directement ou indirectement, dans la réalisation de toutes les couches du corps de la chaussée et des remblais.

Bien que les cendres volantes soient utilisées depuis longtemps déjà et qu'elles aient démontré leurs bonnes caractéristiques, avant de décider sur leur utilisation il faut absolument évaluer les possibles conséquences négatives pour le sol et pour les eaux. Les cendres volantes étant un matériel produit dans les usines thermoélectriques, elles ont une composition chimique et minéralogique fort variable et par conséquent, lors de leur utilisation peuvent apparaître des problèmes d'infiltration des éléments toxiques dans les eaux et dans le sol ainsi que le problème de la radioactivité possible.

Les données fournies par les différentes études sur l'impact négatif des cendres volantes ont démontré que la mise en décharge et l'utilisation des cendres volantes n'exigent pas la mise en œuvre des mesures spéciales en dehors de celles qui sont usuelles dans le secteur de la construction n'est pas nécessaire.

## REFERENCES

1. \*\*\* (1992). Agenda 21, UN Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro
2. Collins, R., Ciesielski, S. (1994). Recycling and Use of Waste Materials and By-Products in Highway Construction, Transportation Research Board 1994.
3. Chesner, W., Collins, R., MacKay, M., Emery, J., User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction, FHWA; FHWA Publication Number: FHWA-RD-97-148
4. Korać, V., Ukrainčik, V., Halavanja, I. (1980). Leteći pepeo TE "Kakanj" kao dodatak klinkeru u proizvodnji cementa za hidrotehnički beton, Materijali i konstrukcije, 23(2), 31-39
5. HRN EN 14227-4 (2004). Hydraulically bound mixtures-Specifications-part 4: Fly ash for hydraulically bound mixtures
6. Baldwin, G., Addis, R., Clark, J., Rosevear, A. (1997). Use of industrial by products in road construction-water quality effects, CIRIA Report 167
7. Sear, L., Weatherley, A., Dawson, A. (2003). The environmental impacts of using fly ash-the UK producers perspective, International Ash Utilization Symposium, Center for Applied Energy Research, University of Kentucky, Paper #20
8. Green, B. (1986). Radiological significance of the utilisation and disposal of coal ash from power stations, CEEGB, National Radiological Protection Board
9. Arnold, G., Dawson, A., Muller, M. (2002). Determining the extent of ground and surface water contamination adjacent to embankments comprising pulverised fuel ash (PFA), Project report by the University of Nottingham, School of Civil Engineering, Nottingham Centre for Pavement Engineering
10. Environmental Risk Assessment available on [www.ukqaa.org.uk](http://www.ukqaa.org.uk)
11. Dimter, S. (1996). Stabilizacijski učinci letećeg pepela na lokalne materijale, magistarski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
12. Dimter, S. (2005). Svojstva stabilizacijskih mješavina namijenjenih gradnji cesta, disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
13. Aničić, D., Čulo, K. (2004). Građevinski inženjeri na putu u Europu, project CARDS 2001, 362-379