

# MATERIAUX DE REVETEMENT AMELIORANT LA RESISTANCE D'ORNIERES SUR DES ZONES DE LOURDE CHARGE

J. SUNDAHL

RAMBOLL, Département d'Aviation et Aéroports, Copenhague, Danemark

[jsu@ramboll.dk](mailto:jsu@ramboll.dk)

J. ELERT MUNK

RAMBOLL, Département des Routes, Copenhague, Danemark

[jem@ramboll.dk](mailto:jem@ramboll.dk)

S. BUNCH

DENSIT A/S, Département de Gestion des Produits, Aalborg, Danemark

[sbu@densit.dk](mailto:sbu@densit.dk)

## RESUMÉ

Des charges lourdes présentes sur des aires de stationnement des aéroports, sur des aires des installations industrielles et sur des sections routières telles que des voies d'autobus et terminaux d'autobus exigent des matériaux de revêtement résistants aux ornières et qui ont un module de haute rigidité, même avec des fréquences basses de chargement. La sélection traditionnelle des matériaux dans de telles aires ont été des constructions de revêtement rigide telles que du béton de ciment. Il existe cependant un besoin des matériaux plus flexibles recevant des déformations sans craquer et sans joints, les deux aboutissant en des coûts réduits d'entretien ce qui est demandé. Cela a eu pour résultat le développement d'un matériau semi-flexible pour des aires de charges lourdes.

Le matériau semi-flexible de revêtement décrit dans cet essai consiste en une construction d'asphalte ouvert (agrégats 8/11 mm ou 11/16 mm) où un mortier microsilice de haute résistance a pénétré dans les vides aériens (environ 25%) du mélange asphaltier. Les résultats se basent sur le type spécial de matériau semi-flexible appelé Densiphalt®. Le revêtement semi-flexible combine la résistance du mortier micro-silice avec la flexibilité des matériaux asphaltés. Le mortier micro-silice spécialement conçu de Densit a la qualité de pénétrer totalement dans la structure ouverte d'asphalte et ainsi assurer un matériau de revêtement homogène.

Le module de design de la rigidité du revêtement semi-flexible a été déterminé à 8.000 MPa à 25°C et une fréquence de chargement de 33 Hz, 2 à 3 fois plus hautes que pour l'asphalte. La vie de service des matériaux de revêtement est de 15 à 20 ans. Le matériau peut être construit en différentes couleurs par des additifs ajoutés au mortier. La surface finie du matériau a des différentes apparences selon l'utilisation et les exigences à, par exemple, la friction.

Ces dernières années, la construction de Densiphalt® a été améliorée davantage en introduisant le renforcement en acier dans le fond de la couche. Des matériaux semi-flexibles de revêtement sont normalement construits en épaisseurs entre 40 et 100 mm selon le chargement appliqué sur l'aire. Le renforcement acier a prouvé d'améliorer davantage la résistance contre les ornières, ainsi permettant l'utilisation sur des aires de couches d'asphalte traditionnel exigeant des réparations partielles. De plus, le temps court d'assèchement du revêtement (entre 24 et 48 heures selon la température de l'air) fait des matériaux un choix excellent pour des aires où le temps de réparation doit être aussi court que possible.

Des revêtements semi-flexibles ont été utilisés, avec des résultats excellents, pour environ 10 à 15 ans partout dans le monde sur des aires de stationnement des aéroports, des aires de stockage et des installations industrielles ainsi que dans des terminaux d'autobus.

## **MOTS CLÉS**

REVÊTEMENT / MATERIAUX / ORNIÈRES / RIGIDITE / FATIGUE.

## **1 INTRODUCTION**

Des lourds chargements statiques présents sur une aire de stationnement d'un terrain d'aviation, sur des aires de stockage des installations industrielles, ainsi que sur des sections de routes telles que des voies des bus et terminaux de bus ont besoin des matériaux de revêtement supportant des lourds chargements. Les matériaux de revêtement devraient être très résistants envers des ornières causées par des chargements statiques. La sélection traditionnelle de matériau a été des revêtements rigides telles que du béton de ciment.

Pendant les dernières années, le développement des matériaux flexibles de revêtements a montré que ces matériaux résultent en une exécution améliorée, des coûts de constructions et des coûts d'entretien diminués. Les matériaux de revêtement semi-flexibles décrits dans cet essai ont été définis comme un matériau composite d'un matériau asphaltier ouvert où les porosités sont remplies d'un mortier de ciment microsilice. De plus, l'introduction d'armature métallique (traditionnellement des barres d'acier à bourrelets 6 mm) des matériaux semi-flexibles ont été traduits afin d'augmenter la résistance d'ornières.

Des matériaux semi-flexibles de revêtement ont été utilisés au Danemark et partout dans le monde pendant plus de 15 ans. Cet essai décrira les caractères et l'expérience gagnée de l'utilisation des matériaux semi-flexibles de revêtement dans des aires de lourd chargement.

## **2 CARACTÈRES DU MATÉRIAU**

Des matériaux de revêtement semi-flexibles consistent en un revêtement asphaltier ouvert où les vides d'air sont remplis d'un mortier microsilice. Par conséquent, le matériau possède la flexibilité des matériaux traditionnels d'asphalte et la résistance du béton de ciment. La résistance n'est cependant pas du même ordre que le béton de ciment. Un exemple d'un noyau de revêtement semi-flexible est montré dans la figure 1 où les espaces clairs sont le mortier microsilice.

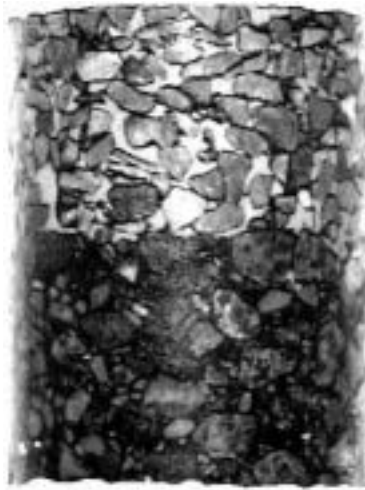


Figure 1 Noyau d'un matériau de revêtement semi-flexible avec une couche intermédiaire bitumineuse

## 2.1 Asphalte ouvert

Le matériau d'asphalte ouvert utilisé dans le matériau de revêtement semi-flexible est semblable à l'asphalte de drainage. Le matériau d'asphalte comprimé a des vides d'air Marshall d'environ 25%. Un exemple du matériau d'asphalte est montré dans la figure 2. La taille nominale de l'agrégat est de 11,2 mm dans cet exemple.

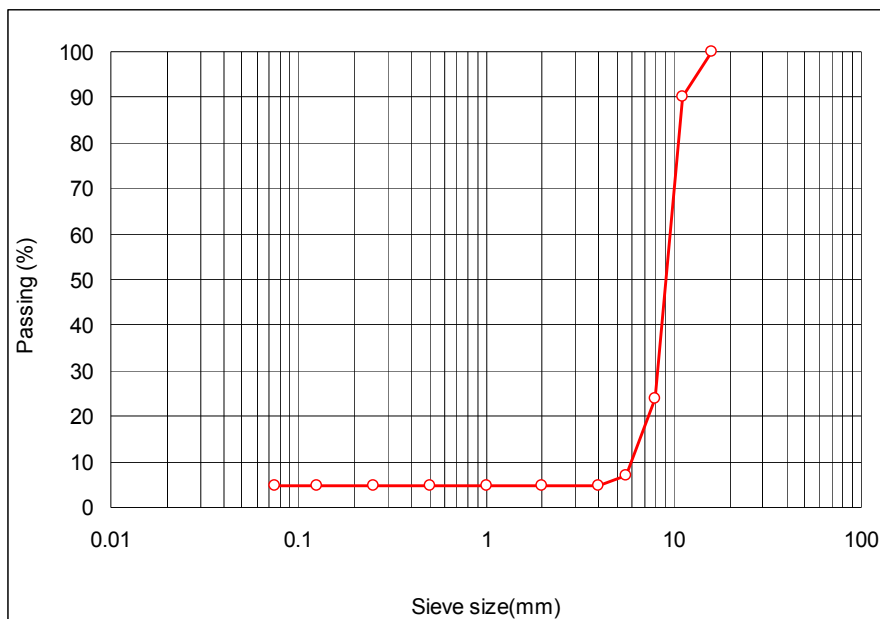


Figure 2 Exemple d'une analyse de tamisage du matériau d'asphalte utilisé dans le matériau de revêtement semi-flexible.

Le matériau d'asphalte est normalement fourni avec un agrégat nominal de taille maximale de 8 mm, 11,2 mm ou 16 mm. Les agrégats doivent être cubiques et avoir une valeur d'abrasion Los Angeles moins que 15%.

Le bitume utilisé dans le matériau d'asphalte a des valeurs de pénétration entre 40/60, 70/100 ou 160/220. Le choix de type de bitume dépend du climat et de la charge actuelle de l'emplacement du revêtement semi-flexible. Dans des espaces d'une charge très haute,

le bitume dur 40/60 est choisi, tandis qu'on choisit le bitume 160/220 dans des zones de trafic d'autobus limité à cause de ses meilleures propriétés de vieillissement. Le bitume le plus souvent est un bitume de distillation directe. Du bitume modifié de polymère n'a pas été pris en considération comme alternative à cause des résultats satisfaisants de l'utilisation du bitume de distillation directe.

Normalement, le contenu d'adhésif de l'asphalte ouvert est d'environ 4% selon l'agrégat utilisé. Des fibres de cellulose sont ajoutées au mélange afin d'éviter une séparation du mélange d'asphalte pendant le transport. Le contenu de ces fibres est normalement 0,2-0,3% des agrégats total utilisés. Des agents traditionnels d'amélioration d'adhésion tels que du calcaire hydraté sont de plus ajoutés. La quantité du calcaire hydraté est d'environ 1-1,5% des agrégats.

## 2.2 Mortier microsilice

Le mortier microsilice utilisé dans des matériaux de revêtement semi-flexible est un mortier basé sur un ciment à haute résistance. Le microsilice a une résistance compressive après 28 jours de durcissement à 20°C d'environ 100 MPa. Le mortier microsilice gagne ses propriétés par un adhésif amélioré de ciment d'une microstructure extrêmement dense. Le mortier contient environ 100 fois de petites particules que le ciment normal.

La raison principale de l'utilisation du mortier microsilice au lieu du mortier de ciment traditionnel est la haute résistance du mortier microsilice. Cela aboutit à une haute densité où le mortier devient imperméable et chimiquement résistant. L'expérience de l'utilisation du ciment traditionnel a montré que le mortier ne fournit pas suffisamment de résistance au matériau du revêtement. L'utilisation du mortier microsilice avec sa haute résistance compressive montre cependant qu'on peut obtenir des propriétés satisfaisantes du matériau composite.

## 2.3 Matériaux de revêtement semi-flexibles

Le produit composite appelé revêtement semi-flexible, qui consiste en l'asphalte ouverte avec des vides d'air remplis de mortier microsilice, peut être décrit par les besoins suivants:

- Indice de poudre doit être entre 110 et 130%
- La résistance compressive après 7 jours selon BS 1881 doit être 7-10 MPa.
- La résistance à la congélation-décongélation conformément à SS 137244 doit être "Very good".

L'indice de poudre est calculé par:

$$\text{Indice de poudre} = 100 \times \frac{\text{quantité de poudre utilisée} - \text{quantité de poudre perdue}}{\text{quantité théorique de poudre}}$$

Les besoins susmentionnés aboutissent en des revêtements semi-flexibles avec des propriétés satisfaisantes à être utilisés dans des zones de lourdes charges.

L'expérience de l'utilisation des matériaux semi-flexibles de revêtement a montré que le matériau est résistant aux combustibles. Bien que le bitume du revêtement composite ne soit pas résistant aux combustibles, le matériau de revêtement semi-flexible a prouvé d'être résistant aux combustibles. Une autre propriété importante des matériaux semi-

flexibles de revêtement est la surface dense aboutit à un revêtement imperméable. Cela signifie que des liquides tels que des agents dégivreurs utilisés dans les aéroports ne peuvent pas pénétrer dans le revêtement. Voilà une des raisons pourquoi le revêtement convient sur des plate-formes dégivreurs dans des aéroports où de grandes quantités de liquides sont propagées sur les avions et par conséquent sur le revêtement.

### 3 CONSTRUCTION DES REVÊTEMENTS SEMI-FLEXIBLES

Des équipements traditionnels de la construction des revêtements en asphalte font la construction des revêtements semi-flexibles. L'asphalte ouvert est posé en utilisant des finisseurs traditionnels, et la couche est comprimée en utilisant des rouleaux compacteurs avec rouleaux à roues en acier. Il est très important que l'asphalte ouvert n'ait pas trop comprimé comme les besoins des vides à air doivent être remplis dans le matériau d'asphalte comprimé. Afin de remplir les besoins de l'indice de poudre, le mortier a besoin d'espace pour pouvoir pénétrer.

Le revêtement semi-flexible est normalement construit sur une couche d'adhésif d'asphalte avec des propriétés spéciales à supporter des charges lourdes. La couche d'adhésif d'asphalte doit posséder des propriétés à réduire au minimum la possibilité d'ornières comme cela est le dégât le plus souvent observé sur des revêtements semi-flexibles après l'ouverture au trafic. L'orniérage est observé d'avoir lieu dans la couche d'adhésif bitumineux. Par la présente, le risque d'orniérage est réduit au minimum, mais des fissurages pourraient alors devenir un problème. Il faut alors une épaisseur plus grande du revêtement semi-flexible. Cette méthode est souvent utilisée dans des installations d'intérieur où la température est presque constante. De plus, l'introduction de l'armature métallique permet l'utilisation des revêtements semi-flexibles sur des couches bitumineuses avec une résistance moins que celle mentionnée ci-dessus. L'armature métallique est placée sur la vieille surface d'asphalte et aspergée avec un enduit d'accrochage bitumineux. L'asphalte ouvert est ensuite construit sur le treilarmé en acier. Un exemple de la pose d'asphalte sur le treilarmé en acier est montré dans la figure 3.



Figure 3 Pose d'asphalte ouvert sur le treilarmé en acier

Le mortier microsilice est normalement fourni comme poudre en sacs. Le mixage de la poudre avec de l'eau a lieu sur site conformément à la description du fabricant.

L'épandage du mortier est le plus souvent exécuté manuellement ou par des petits engins motorisés, au maximum 48 heures après la pose du revêtement d'asphalte ouvert. Il est très important que le mortier soit mis jusqu'au fond du matériau d'asphalte ouvert. Une inspection visuelle, et des techniques de manutention sont, par conséquent, très importants.

Les conditions du temps lors de l'exécution de l'épandage du mortier aussi sont importantes, comme des températures trop élevées pourraient aboutir au séchage du mortier avec pour résultat un durcissement trop rapide du mortier microsilice. Afin d'éviter trop de séchage d'un mortier récemment répandu, on utilise souvent un curing de la surface.

La pluie, cependant, aussi aboutit en un matériau fini médiocre à cause de l'eau dans le revêtement à être déplacée par le mortier, ce qui cause un risque de pénétration médiocre du mortier au fond de l'asphalte ouvert. L'épandage est par conséquent une procédure difficile et il faut prendre grand soin.

Des matériaux de revêtement semi-flexible peuvent être mis en différentes épaisseurs selon le trafic. Si on construit plus d'environ 70 mm, la construction de l'asphalte ouvert devrait avoir lieu en deux couches. L'épandage du microsilice a cependant lieu en une seule opération. L'expérience a montré que, si le matériau d'asphalte ouvert est correctement conçu et construit comme il faut, la pénétration du mortier peut avoir lieu pour jusqu'à 150 mm avec de bons résultats, où le fond de l'asphalte est rempli de mortier. Dans la figure 4 est montré un exemple d'épandage de mortier.



Figure 4 Épandage de mortier microsilice sur de l'asphalte ouvert, (Densit A/S, 2000).

Le temps de curing des revêtements semi-flexibles est 24 heures à 20°C. Cela implique que des zones où on construit des revêtements semi-flexibles, selon la température, peuvent être ouvertes pour la circulation environ un ou deux jours après l'épandage du mortier. Cela est un temps de curing très court, comparé au béton de ciment.

C'est un avantage des revêtements semi-flexibles qu'ils peuvent être construits sans joints comme les seules fissures introduites dans le revêtement sont des fissures micro. Des fissures plus grandes sont évitées à cause de la flexibilité du revêtement qui peut absorber les mouvements des mouvements de température. Ainsi, les coûts d'entretien du

revêtement sont réduits comme il ne faut pas remplacer des matériaux de joints, chaque trois à cinq ans.

La surface finie du revêtement semi-flexible peut être traitée dans différentes manières. Souvent, la surface durcie est grenillée afin d'exposer les agrégats du matériau d'asphalte. D'autres méthodes comprennent l'épandage de sable fin avant que le mortier ne développe une pellicule sur la surface ou en raclant la surface à fond après l'épandage du mortier. Toutes ces méthodes sont utilisées afin d'obtenir une friction satisfaisante sur la couche de roulement. L'expérience montre qu'une friction semblable aux couches de roulement en asphalte traditionnel peut être obtenue, et la solidité de la résistance de dérapage aussi est pareille aux couches de roulement en asphalte.

## **4 SOLIDITÉ ET PROPRIÉTÉS**

### **4.1 Modules de raideur**

Les matériaux semi-flexibles ont des modules de raideur beaucoup plus élevés que les matériaux flexibles traditionnels tel que l'asphalte. Le module de raideur élevé est dû à la présence du mortier microsilice dans le matériau de revêtement. Le module de raideur des matériaux semi-flexibles est d'environ deux fois le module des matériaux d'asphalte traditionnels.

Un module de raideur élevé permet l'utilisation des matériaux semi-flexibles pour des revêtements à charges lourdes à cause de l'épaisseur plus petite du revêtement complet. Parce que le revêtement semi-flexible est utilisé comme couche de roulement, l'épaisseur totale du revêtement peut être considérablement réduite.

Le module de raideur des matériaux de revêtement semi-flexible dépend de la température comme pour les matériaux d'asphalte traditionnels. L'existence de bitume dans le matériau aboutit à des relations entre la température et le module de raideur pareil à ceux des matériaux d'asphalte traditionnels. Un exemple de cette relation est montré dans la figure 5, où le module de raideur est déterminé pour trois températures différentes. Les modules de raideur sont déterminés sur des échantillons pour essai fabriqués dans un laboratoire. La méthode d'essai utilisée est la procédure d'essai de Module de Résistance à l'Écrasement Radial. Les résultats dans la figure 5 montrent qu'il y a une relation linéaire, dans l'intervalle de température montrée, entre la température et les modules de raideur pour des matériaux de revêtement semi-flexible.

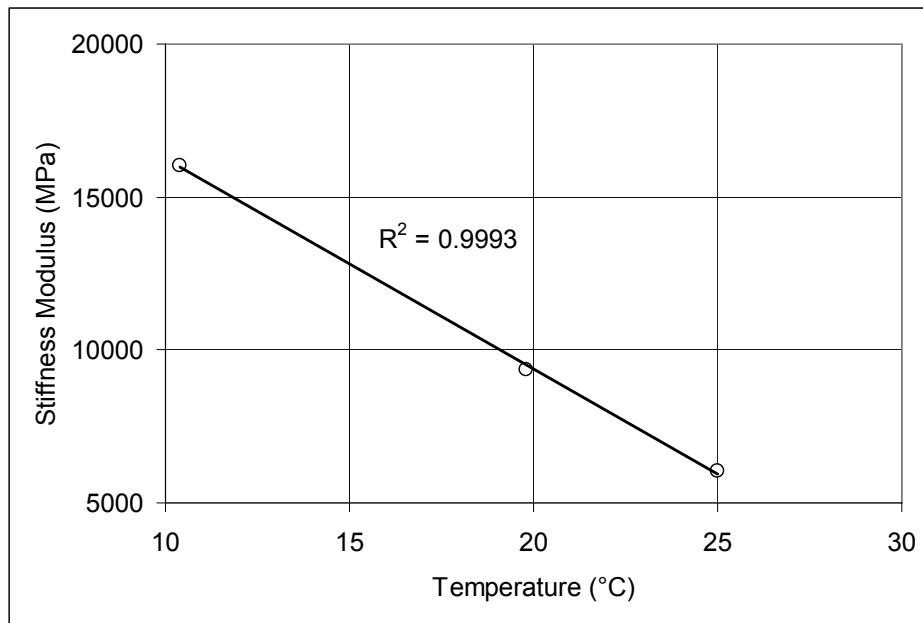


Figure 5 Module de Résistance à l'Écrasement Radial à une fréquence de charge de 10 Hz sur des matériaux de revêtement semi-flexible selon la température d'essai.

L'admixtion d'armature métallique augmente le module de raideur. Des expériences dans le laboratoire en utilisant l'essai de poutre de flexion 4 points sur des échantillons de revêtement semi-flexible montrent que le module de raideur augmente jusqu'à 70% comparé aux matériaux semi-flexibles sans armature métallique. Des expériences ont montré que la plus grande augmentation du module de raideur est obtenue quand l'armature métallique est placée dans le fond de la couche. Le tableau 1 montre les résultats de la détermination de flexion 4-points du module de raideur des échantillons avec et sans l'introduction d'armature métallique.

	Sans armature métallique	Avec armature métallique
Module de raideur (MPa)	6,180	10,540

Tableau 1 Résultats de la détermination de flexion 4-points du module de raideur à 25°C.

#### 4.2 Résistance à l'orniérage

La résistance à l'orniérage des matériaux de revêtement semi-flexible est considérablement meilleure comparée aux matériaux de revêtement en asphalte traditionnel. Cela aussi est une des raisons pourquoi le matériau convient à l'utilisation sur des zones de chargement robuste.

Afin de montrer cette résistance à l'orniérage améliorée et l'influence de l'adjonction d'armature métallique à la couche de revêtement, une investigation dans le laboratoire fut initiée. Des échantillons de laboratoire, comprenant trois constructions différentes, furent préparés. Le tableau 2 résume les différentes constructions de revêtement. Il est à noter que le choix d'asphalte de bas-produits comme matériau de base fut fait afin de mieux examiner l'influence des différentes couches de roulement. La couche de roulement en asphalte de l'essai de référence est un Béton d'Asphalte. L'essai fut entrepris à 60°C un utilisant le Contrôleur d'orniérage Hambourg.



	Échantillon N° 1	Échantillon N° 2	Échantillon N° 3
Couche de roulement	40 mm de béton d'asphalte	40 mm de semi-flexible sans armature	40 mm semi-flexible avec armature
Couche de base	80 mm d'asphalte de bas-produits	80 mm d'asphalte de bas-produits	80 mm d'asphalte de bas-produits

Tableau 2 Résumé des différents types de constructions d'asphalte utilisés dans la détermination d'orniérage.

Dans la figure 6, les résultats de l'essai d'orniérage sont montrés. Comme il s'avère de la figure, les deux types de construction de revêtement semi-flexible montrent une résistance considérablement plus haute comparé aux matériaux d'asphalte traditionnels. De plus, l'introduction d'armature métallique au fond de la couche de roulement semi-flexible augmente la résistance d'orniérage même plus.

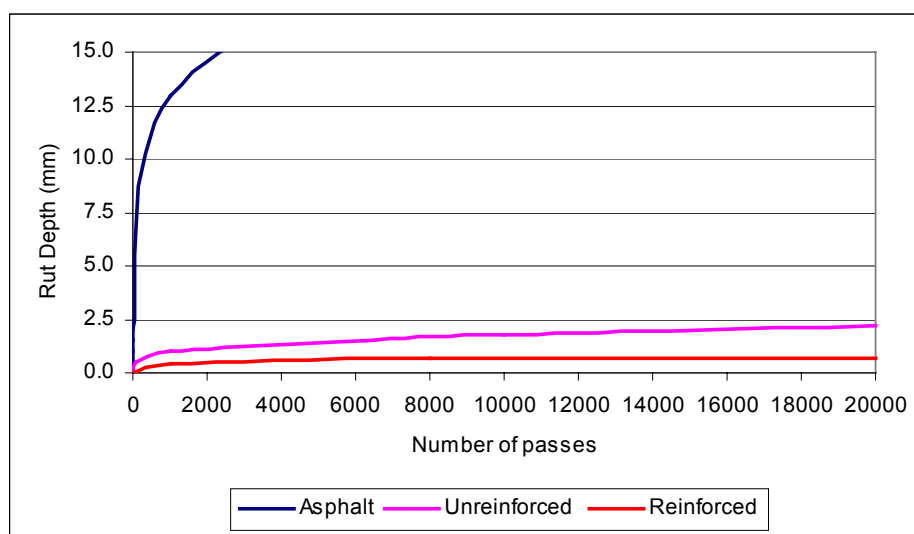


Figure 6 Résultats de la détermination de profondeur d'ornières de différents types de constructions de revêtement, avec et sans armature métallique au fond de la couche de roulement semi-flexible.

Afin d'illustrer la différence entre les trois types de construction de revêtement éprouvés à la fin de l'essai, veuillez vous référer à la figure 6, où est présenté une photo des échantillons.



Figure 7 Comparaison des trois différentes constructions de revêtement à la fin de l'essai. Au premier plant se trouve la couche de roulement en asphalte, au milieu la couche de roulement semi-flexible sans armature métallique, et en arrière la couche de roulement semi-flexible avec armature métallique

#### 4.3 Résistance à la fatigue

Un exemple de la résistance à la fatigue des matériaux de revêtement semi-flexible est montré dans la figure 8. Des échantillons utilisés pour la détermination de la courbe d'endurance sont produits dans un laboratoire, ce qui aboutit en des échantillons de propriétés homogènes telles que vides d'air et degré de vides d'air remplis de mortier. La méthode d'essai est l'Essai de Traction de Fatigue Indirect. Pour comparaison, un exemple du matériau de revêtement traditionnel Béton d'Asphalte (AC) est montré dans la figure 8 aussi.

Comme il s'avère de la figure 8, les matériaux semi-flexibles sont moins sensibles envers le trafic comparé au Béton d'Asphalte traditionnel. Cela aussi indique que le matériau du revêtement semi-flexible convient dans des revêtements comme les charges lourdes produit des hautes valeurs de tension dans le revêtement.

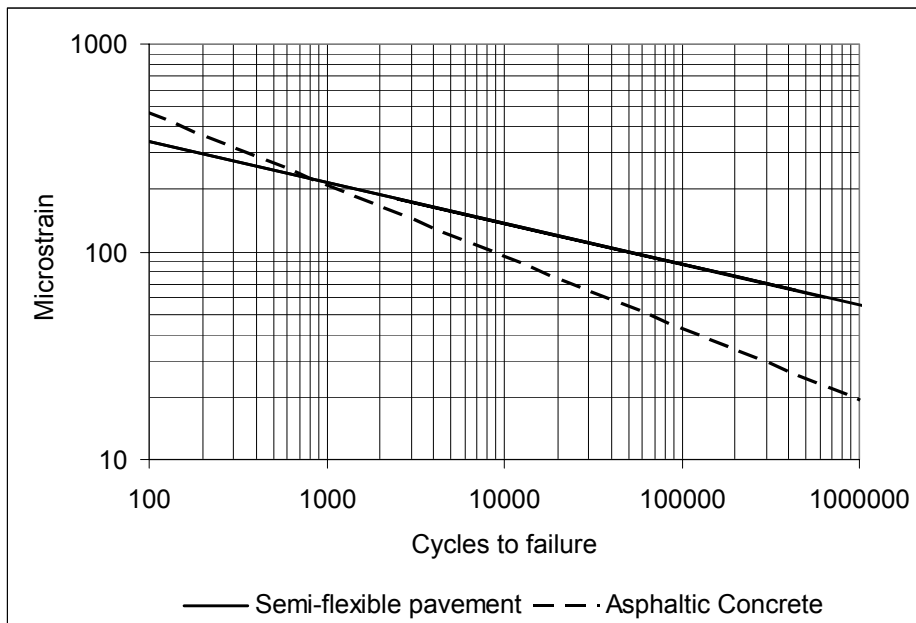


Figure 8 Essai de Traction de Fatigue Indirect à une fréquence de 10 Hz sur des noyaux des matériaux de revêtement semi-flexible fabriqués dans un laboratoire, comparé au béton d'asphalte.

#### 4.4 Coupes minces

RAMBØLL a entrepris des études des revêtements semi-flexibles en utilisant la technique de coupes minces. Cette procédure d'essai permet des investigations sur des matériaux de revêtement détaillées.

Les coupes minces sont produites par des échantillons de matériaux de revêtement pour des matériaux de revêtement semi-flexible ainsi que pour des matériaux d'asphalte traditionnel. Une coupe mince est produite en prenant un noyau et l'imprégner d'époxy dans le vide. De l'échantillon, où tous les vides d'air sont remplis, on tranche un échantillon plus petit et le polit sur un tampon-diamant. Le résultat après le coupage et le polissage est que l'échantillon est environ 20 $\mu$ m d'épaisseur, et on peut commencer les investigations sous microscope. Des exemples des investigations sur des matériaux de revêtement semi-flexible ont été montrés sur les figures 9 et 10.

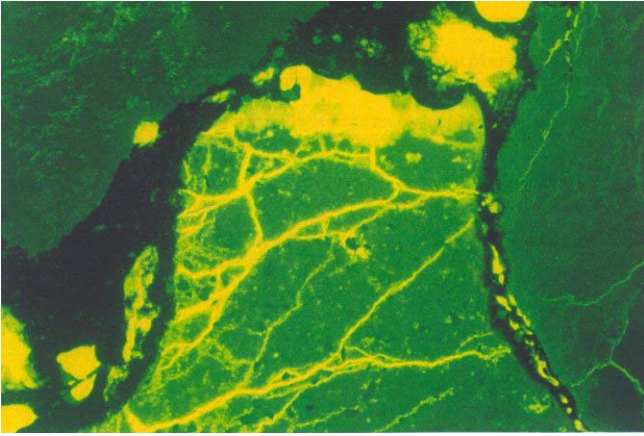


Figure 9 Photo d'une coupe mince d'un matériau de revêtement semi-flexible de 10 ans d'âge. La photo représente environ 4,2 x 2,7 mm.

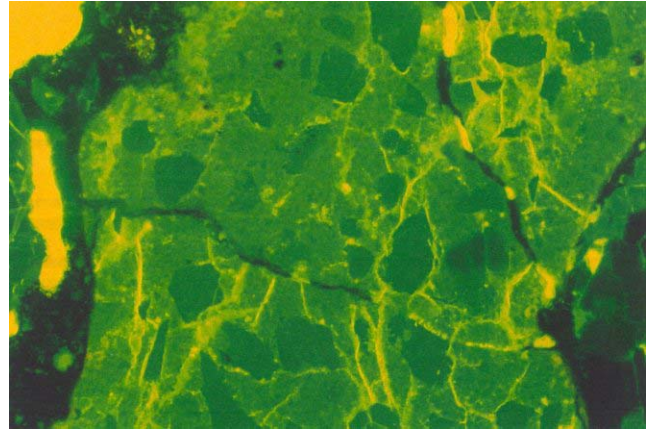


Figure 10 Photo d'une coupe mince d'un matériau de revêtement semi-flexible de 1 an d'âge. La photo représente environ 1,64 x 1,1 mm.

La figure 9 montre une photo d'un revêtement semi-flexible de dix ans d'âge, et la figure 10 montre un revêtement d'un an. Les deux revêtements ont été exposés au trafic pendant leurs vies. Par conséquent, le revêtement montré dans la figure 9 a été exposé à environ dix fois plus de trafic que le matériau montré dans la figure 10.

En comparant les deux photos, il s'avère que la quantité de micro-fissures n'est pas considérablement plus grande dans le revêtement de dix ans que dans la photo du revêtement d'un an. Cela indique que les micro-fissures dépendent plus de la qualité de construction que du trafic auquel elles ont été exposées. Il est très important que le mortier soit mis au fond du matériau d'asphalte ouvert. Si cela n'est pas le cas, des micro-fissures développeront très vite après l'ouverture du revêtement au trafic, et le risque que des fissures plus grandes soient développées a augmenté.

## 5 EXEMPLES DE DESIGN

Des revêtements semi-flexibles ont été utilisés pour nombreux revêtements de charges lourdes tels que des aires de stationnement et des terminus d'autobus. L'expérience des aéroports comprend entre autres le Danemark, la Lettonie, les USA, la Norvège, les Pays-Bas, l'Allemagne, la Suède et Singapour. Au Danemark, le matériau a éliminé le béton de ciment du marché sur les aires de stationnement à cause de ses coûts de construction bas et d'entretien peu élevés.

En ce qui concerne des revêtements d'intérieur, la couche d'usure semi-flexible serait traditionnellement placée sur une couche de base de ciment stabilisé qui a reçu une compression dynamique afin d'introduire des micro-fissures. En ce qui concerne les revêtements de l'extérieur, la couche plus épaisse semi-flexible de roulement et d'adhésion sera placée sur une base bitumineuse ou sur une couche de base de ciment stabilisé dynamique comprimée. Sur des vieilles couches de résistance réduite, l'introduction d'armature métallique augmentera la qualité de la construction du revêtement. Des exemples des constructions de revêtement des planchéiages industrielles (béton maigre) et d'aires de stationnement (couche de base bitumineuse) sont donnés ci-dessous.

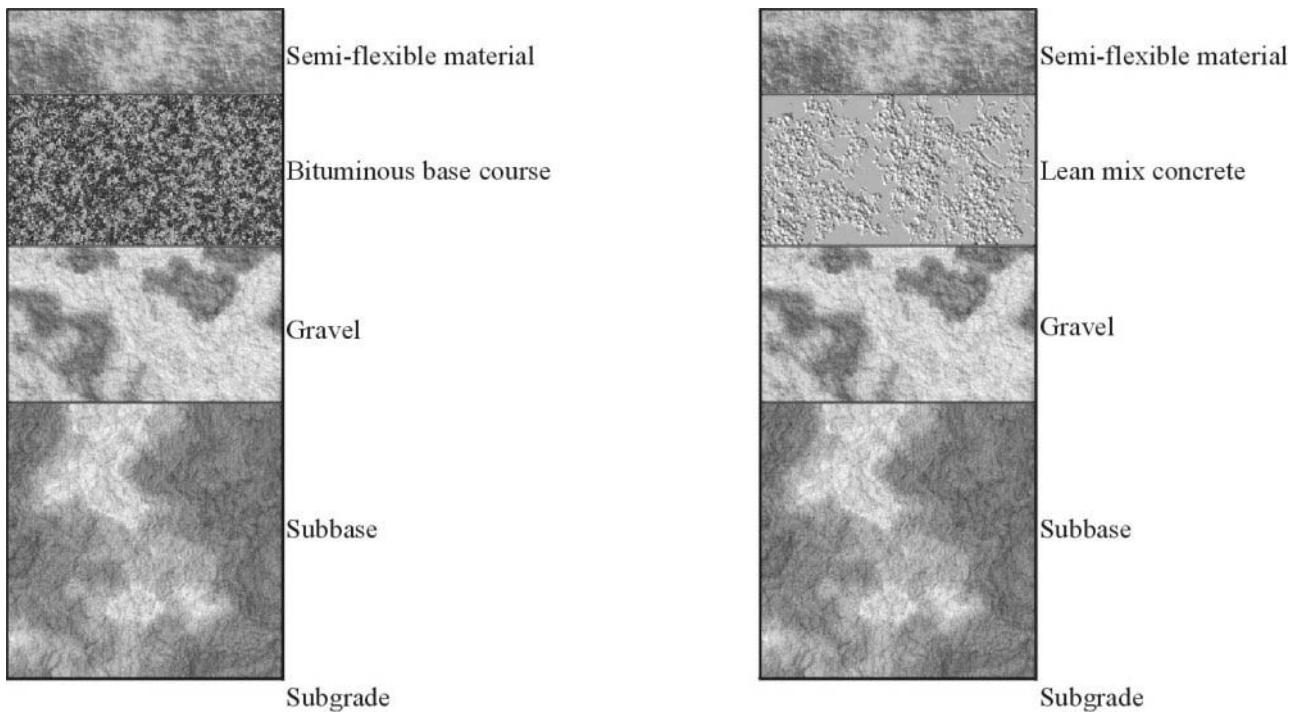


Figure 11 Exemples du design des revêtements semi-flexibles avec couche de base bitumineuse et béton maigre comme base.

Des revêtements semi-flexibles conviennent bien à l'utilisation dans les méthodes de design mécanique utilisé dans beaucoup de pays autour du monde. La résistance du matériau peut être mise à 8.000 MPa pour les fréquences de charge normales (33 Hz). Les revêtements peuvent par conséquent être conçu pour chaque situation en particulier (charge, résistance du fond de forme, propriétés du matériau) en utilisant les relations tirées localement.

L'expérience a montré que des revêtements d'aire de stationnement servant les avions les plus lourds pourrait, selon la situation, courir un risque de montrer un orniérage prématuré. Des investigations ont montré que l'orniérage se produit dans la couche de base bitumineuse. D'où le développement dernier dans la construction de revêtement est d'augmenter l'épaisseur du matériau semi-flexible jusqu'à 150 mm ou d'incorporer une incrustation d'armature afin d'augmenter les propriétés de la contrainte de traction. Jusqu'ici, l'expérience montre que le mortier de ciment de haute résistance pénètre sans problèmes jusqu'au fond de la couche, même avec une épaisseur de 150 mm. Une autre direction de développement des revêtements extérieurs est le remplacement de la couche de base bitumineuse par des couches de base de ciment stabilisé. Une telle construction serait exempte de risque d'orniérage. En ce qui concerne les deux directions de développement, les résultats préliminaires sont positifs.

De plus, en particulier les résultats des essais d'orniérage sur les matériaux de revêtement semi-flexible avec armature métallique montrent que les matériaux de revêtement peuvent être utilisés dans des espaces où le revêtement existant n'a pas suffisamment de résistance pour satisfaire aux charges appliquées. Cela veut dire que le remplacement des couches de roulement existantes avec un haut degré d'orniérage par une couche de roulement semi-flexible avec armature métallique peut être avantageux. Il existe alors une solution qui convient à réparer des vieux revêtements de basse résistance où on applique des charges hautes.

## 6 CONCLUSION

L'utilisation des matériaux de revêtement semi-flexible sur des espaces conçu pour le trafic lourd a plusieurs avantages qui ont été résumés comme suit:

- Des revêtements semi-flexibles peuvent être construits en couches de 25 mm à 150 mm, ce qui permet le design des situations particulières selon les charges et autres facteurs.
- Le revêtement est construit sans joints ce qui réduit les coûts d'entretien considérablement comparé à d'autres types de revêtement à charges lourdes.
- La solidité et la résistance à la fatigue du revêtement sont très bonne. Le développement des fissures sur la surface est limité, et seuls des micro-fissures sont introduites dans le revêtement.
- La résistance d'ornières du revêtement est haute. C'est le cas notamment quand on introduit de l'armature métallique au fond de la couche de roulement.
- Des couches de roulement semi-flexibles peuvent utilement être utilisées à réparer des revêtements existants avec peu de résistance d'orniérage dans les couches supérieures.
- Les surfaces du revêtement semi-flexible peuvent être traitées afin d'obtenir une friction suffisante, et l'expérience montre que l'antidérapance peut être obtenu pour plus de dix ans.
- Les revêtements semi-flexibles sont résistants aux combustibles et imperméables envers les agents de dégivrage et autres liquides.
- L'entière construction des revêtements semi-flexibles s'est révélé rentable comparé à d'autres revêtements pour charges lourdes.

## 7 RÉFÉRENCES

Densit A/S, "Densiphalt® Handbook", 2000