

**XXIV^e CONGRÈS MONDIAL DE LA ROUTE
MEXICO 2011**

**RÉPUBLIQUE SLOVAQUE – RAPPORT
NATIONAL**

SÉANCE D'ORIENTATION STRATÉGIQUE TS D

**GESTION DU PATRIMOINE ROUTIER
DANS UN CONTEXTE
DE DÉVELOPPEMENT DURABLE
ET D'ADAPTATION
AU CHANGEMENT CLIMATIQUE**

I. Gschwendt

Université Technique Slovaque, Bratislava, République Slovaque
gschwend@svf.stuba.sk

Z. Boros et R. Stano

TPA Slovaquie, Institut de la Qualité et de l'Innovation, Bratislava, République Slovaque

K. Bacová

Université Technique Slovaque, Bratislava, République Slovaque

J. Komacka

Faculté d'Ingénierie Civile, Université de Žilina, Žilina, République Slovaque

RÉSUMÉ

Conditions climatiques et leur impact sur l'Étude et la construction de routes. La conception de la solution des problèmes liés au changement des conditions climatiques et de leur impact sur l'étude et la construction des routes inclut un scénario de changements climatiques, une analyse du régime de température des structures des chaussées, les résultats de l'étude des problèmes partielles et les recommandations pour la conception et la construction des chaussées.

Dans ces derniers temps, les changements climatiques qui se sont traduits sur le territoire de la Slovaquie par une augmentation des températures moyennes et maximales de l'air, par un dépassement des records de température et par des augmentations de la fréquence des pluies intenses ont mené à une nécessité de réévaluer les exigences sur les matériaux de construction routiers, d'adapter le procédé et les critères de dimensionnement des chaussées et de réviser les normes et réglementations techniques.

1. GÉNÉRALITÉS

L'opportunité des solutions contenues dans les projets des chaussées ainsi que le choix des matériaux, des procédés technologiques et des méthodes de l'entretien du réseau routier sont en permanence vérifiés dans la pratique, l'un des critères essentiels de la conformité technique étant la résistance aux effets des changements climatiques (dans une certaine localité). En simplifiant considérablement la caractérisation des conditions climatiques et en ne considérant que le régime de température et la quantité des pluies, les effets en cause sont envisagés:

- lors de la rédaction des projets des routes dans la conception de la pente longitudinale et transversale de la plate-forme, de l'aménagement du profil transversal, de l'inclinaison minimale (ou bien maximale) des fossés, des adaptations du fond des fossés, de l'inclinaison et de l'adaptation des pentes de l'assiette ,
- lors du choix des matériaux pour la construction des couches des chaussées (résistants contre les déformations permanentes) et lors de la protection de la chaussée contre l'effet de gel,
- lors du choix des procédés technologiques, notamment au cours des terrassements et de la construction de l'assiette (par exemple avec la protection de la plate-forme, lors du remblayage par couches et de la stabilisation des sols),
- lors du dimensionnement des éléments du système d'évacuation des eaux.

Plusieurs exigences sont prévues dans les normes techniques relatives au génie routier, dans les règles et modalités techniques. Les changements relativement rapides des conditions nécessitent une adaptation urgente des normes et de différentes règles (lorsqu'on connaît des solutions), ainsi qu'une prise de décisions opérationnelles concernant les procédés pratiques.

La conception de la solution des problèmes liés au changement des conditions climatiques décrit un scénario des changements climatiques, une analyse de l'état actuel des ouvrages d'art ainsi que plusieurs problèmes de recherche partiels. Presque toujours il faut réaliser les divers mesures ainsi que les mesures complémentaires de différentes caractéristiques.

2. RÉGIME DE TEMPÉRATURE DES CHAUSSÉES ET SES CARACTÉRISTIQUES

Le régime de température des chaussées et du sol de fondation est le mieux caractérisé par des températures de la surface de la chaussée, de ses différentes couches et du sol de fondation ainsi que par le gradient de température de la structure de la chaussée (Gschwendt, 1999). En pratique on peut utiliser les valeurs moyennes annuelles de ces caractéristiques ainsi que les valeurs extrêmes et les soi-disant valeurs de calcul (de projet). Les caractéristiques de calcul sont obtenues à partir des données statistiques provenant des soi-disant mesures à long terme – au moins 25 années. Les mesures effectués depuis longtemps (en Slovaquie avant de plus de 50 ans) ont démontré que les caractéristiques dépendent dans une certaine mesure de l'altitude de la localité donnée ainsi que de la valeur moyenne annuelle de la température de l'air et qu'ils en peuvent être déduites (Staňo, 1975). De tels mesures du régime de température des chaussées ont été réalisés dans la localité à 130 mètres d'altitude avec température moyenne annuelle de l'air 9,8 °C, dans la localité à 370 mètres d'altitude avec température moyenne annuelle de l'air 7,4 °C et dans la localité à 700 mètres d'altitude avec température moyenne annuelle de l'air 5,8 °C. Ces mesures montre en diagramme la figure 1.

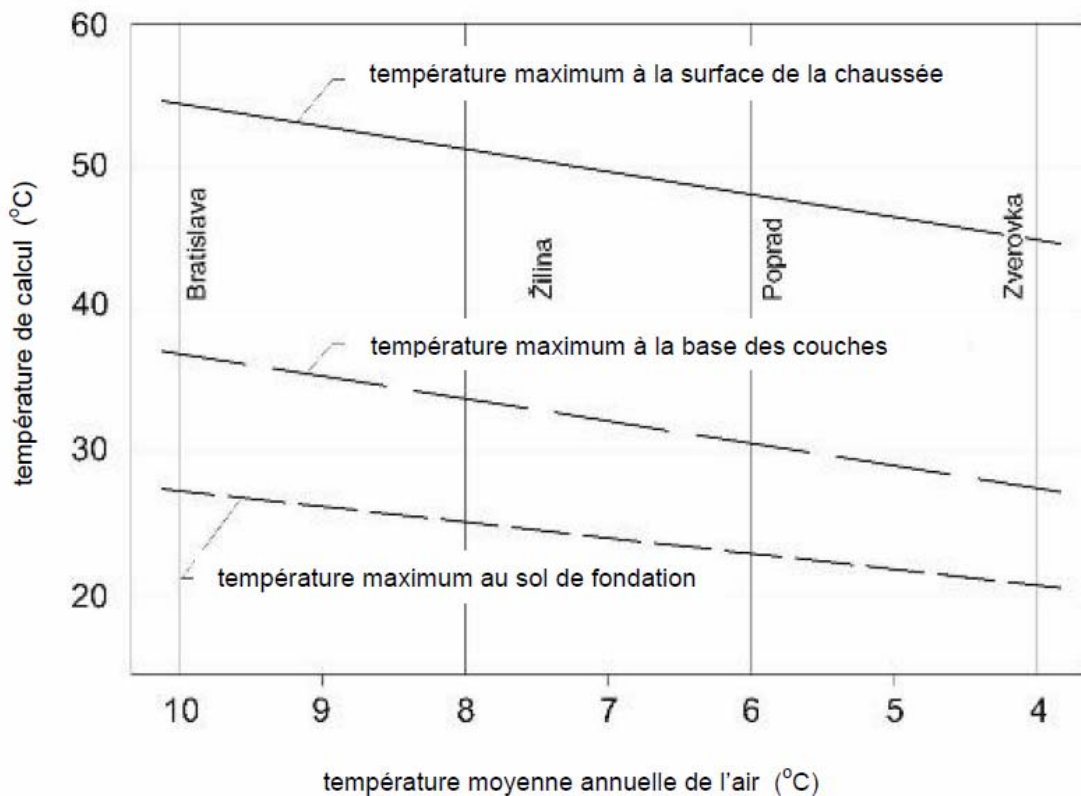


Figure 1 - Températures d'une chaussée bitumineuse à températures moyennes annuelles de l'air

En calculant les soi-disant valeurs de calcul (des caractéristiques) du régime de température des chaussées bitumineuses on a tenu compte du fait que la charge de circulation, soit volume de circulation et ses effets se manifestent entre 6.00 h et 18.00 h (où se réalise cinq sixièmes de la charge). Les valeurs de calcul de la soi-disant température équivalente des couches bitumineuses dans les conditions standards sont indiquées dans le tableau suivant:

Nombre de jours de l'an	Partie respective de l'année	Température équivalente	Note
75	0,2	0 °C	hiver
186	0,5	+11 °C	printemps, automne
104	0,3	+ 27 °C	été

Dans la conception, le calcul et l'évaluation des chaussées bitumineuses on prend en considération l'effet de la variation de la température (dans un cycle annuel) sur les caractéristiques de déformation et de résistance des mélanges bitumineux en faisant la comparaison entre les valeurs de la contrainte dans les couches et de la résistance du matériau bitumineux dans les trois périodes de l'année caractérisées par des températures différentes. Le coefficient d'utilisation de la résistance du matériau (mélange bitumineux) SV est calculé comme une valeur relative selon la formule suivante:

$$SV = \sum q_i \frac{\sigma_{r,i,j}}{S_{N,i} \cdot R_{i,j}}$$

- où q_i - constitue la partie respective de l'année (0,2, 0,3 et 0,5) avec différentes températures équivalentes des couches bitumineuses (0 °C, 27 °C, 11 °C);
 $\sigma_{r,i,j}$ - contrainte de traction par flexion dans la couche i dans les conditions j ,
 $R_{i,j}$ - résistance de calcul du matériau dans la couche i dans les conditions j ,
 $S_{N,i}$ - coefficient de fatigue du matériau de la couche i pour N répétitions de la charge qui est différent pour des mélanges bitumineux et pour des matériaux cimentés.

Les caractéristiques de déformation – le module de flexibilité, le numéro Poisson et les caractéristiques de résistance de certains mélanges bitumineux de type AC en fonction de la température (dans les conditions j) sont dans le tableau suivant:

Mélange bitumineux	Module de flexibilité (Mpa)			Numéro Poisson μ			Contrainte de traction par flexion (Mpa)		
	0°C	11°C	27°C	0°C	11°C	27°C	0°C	11°C	27°C
AC c. de roulement	7500	5500	3000	0,21	0,30	0,40	4,0	3,1	1,4
AC c. de base	5700	4200	2000	0,21	0,30	0,40	3,40	2,70	1,20
AC c. de base, PMB	5700	4600	2800	0,21	0,30	0,40	3,40	2,80	1,30
AC de fondation	4500	3050	1250	0,21	0,33	0,44	3,20	2,40	0,95

Dans la conception, le calcul et l'évaluation d'une chaussée avec revêtement en béton de ciment les conditions climatiques sont caractérisées par:

- une température moyenne annuelle de l'air $T_{m,r}$ (°C),
- une amplitude de la température moyenne journalière de l'air dans le cycle annuel A_r (°C), et
- un indice de gel dont la valeur de calcul est envisagé selon une périodicité diverse (par exemple $n = 0,1$ pour les autoroutes).

Nous supposons que la température au milieu de l'épaisseur d'une dalle de béton de ciment devient égale à la température de l'air, et de ce fait la température moyenne annuelle est de $T_{m,r}$. La différence entre la température de la surface supérieure et celle inférieure pouvant être positive (au cours de la journée) ou négative (au cours de la nuit) constitue une caractéristique importante du régime de température des couches superficielles en béton de ciment. Elle est exprimée comme °C/mm de l'épaisseur de la dalle. Le gradient de température dans la dalle en béton de ciment ΔT provoque sa déformation, gauchissement. Lorsque le gradient de température est positif, la dalle a une forme convexe. En fonction de l'épaisseur de la dalle (de son poids), de ses dimensions et du frottement au niveau de la liaison entre la dalle et la fondation il se produit dans le béton des contraintes qui peuvent atteindre plus au moins la même valeur que les contraintes causées par la charge par essieu du véhicule. L'influence du gradient de température sur les contraintes $\sigma_{T,sx}$ pour les dalles d'épaisseur h_B et capacité portante de la fondation $k = 100 \text{ MN} \cdot \text{m}^{-3}$ montre la figure 2.

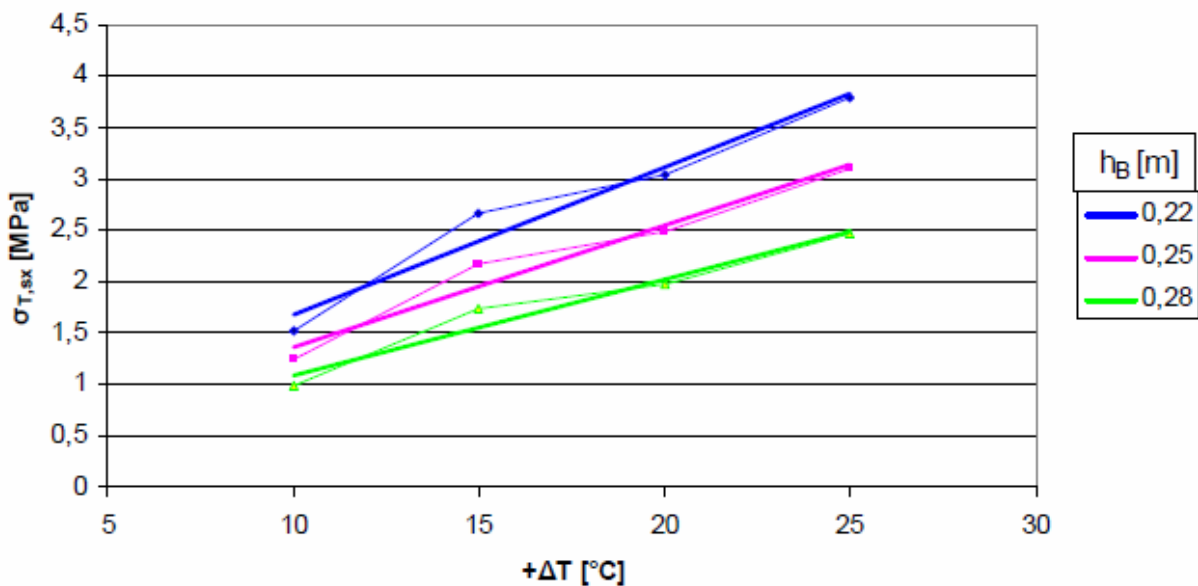


Figure 2 - Les contraintes de traction par flexion dans les dalles en béton de ciment dues au gradient de température

Les caractéristiques du régime de température importantes pour les calculs des chaussées en béton de ciment (en Slovaquie) sont déduites des mesures réalisées in situ sur les différentes constructions entre 1970 et 1980. Une relation empirique a été établie pour le gradient de température positif de la dalle de 220 mm d'épaisseur selon la formule suivante:

$$+\Delta T_{n,22} = 18,6 - 0,6 T_{m,r}$$

Pour les dalles en béton de ciment d'autres épaisseurs (mais avec la limitation jusqu'à 300 mm) la validité de la relation s'est élargie. Dans des règles techniques on utilise les formules suivantes:

- pour une différence de température positive $+\Delta T = 12,44 - 0,6 T_{m,r} + 0,028 h_B$,
- pour une différence de température négative $-\Delta T = 6,214 - 0,3 T_{m,r} + 0,0113 h_B$

Les mesures de la température de l'air réalisés dans les derniers temps ont démontré que les températures moyennes annuelles doivent être corrigées et qu'il faut modifier les formules empiriques.

3. SCÉNARIO DU CHANGEMENT DES CONDITIONS CLIMATIQUES

La Slovaquie est située dans l'Europe centrale dans la zone d'influence du climat océanique et continental. C'est une variabilité du temps relativement fréquente qui caractérise cette région et on y enregistre également des changements fréquents des caractéristiques climatiques essentielles. D'après Lapin, 2001, les conditions climatiques en Slovaquie changent depuis le 19^e siècle. Ce changement se traduit par une augmentation de la température moyenne annuelle de l'air d'environ de 1,5°C, par une modification du régime des précipitations atmosphériques, par une baisse de l'humidité relative de l'air ainsi que par l'accroissement de l'évaporation potentielle – approximativement de 10%. Dans la période après 1985 à 1988, un réchauffement a commencé à se manifester plus intensément avec le changement du régime de quantité totale des précipitations atmosphériques. Il y avait des années dans lesquels les températures étaient légèrement jusqu'à fortement supérieures à la moyenne. Au début, les totaux des précipitations étaient inférieurs à la moyenne à long terme, plus tard on a enregistré une variabilité plus intense des totaux des précipitations: les périodes chaudes sans précipitations alternant avec les courtes périodes de précipitations très intenses. La fréquence des averses intenses s'est accrue graduellement.

Les scénarios du changement du climat depuis 2100 se préparent sur la base de l'analyse des modèles globaux et régionaux (GCMs). On a préparé notamment les scénarios de la croissance des températures moyennes mensuelles de l'air ainsi que les scénarios des changements des totaux mensuels des précipitations (sur le territoire entier de la Slovaquie). Il ressortit du scénario des changements des températures moyennes mensuelles une croissance continue de la température de l'air tout au long du 21^{er} siècle (Lapin, 2008). D'ici 2075, les températures moyennes mensuelles se sont accrues d'au moins 1,8 ou bien 2,0 °C. Cela aura un impact sur les autres éléments climatiques, notamment sur l'humidité de l'air, les évaporations et la quantité de précipitations. Il découle des scénarios des changements des totaux des précipitations (pour la Slovaquie) qu'il devrait se produire une augmentation des totaux des précipitations, et enfin également un changement sensible du bilan hydrologique sur le territoire entier de la Slovaquie. On suppose que les débits des rivières peuvent être très variables.

Sur la base de l'analyse de l'état actuel du climat et des scénarios des changements climatiques (dès 2025 jusqu'à 2100), les climatologues ont abouti aux conclusions partielles dont il est évident (pour le génie routier) notamment que:

- les changements climatiques se traduisent par un changement des températures moyennes annuelles de l'air qui ont tendance manifeste à s'accroître (jusqu'à 2100);
- les températures minimales de l'air s'augmenteront, le nombre de jours durant lesquels la température dépassera le degré de congélation s'accroîtra et, en été, le nombre de nuits avec une température minimale (supérieure à 18°C ou bien à 20°C) s'augmentera;
- les augmentations de température de l'air et de totaux des précipitations pronostiquées contribueront à la croissance de l'intensité des chutes de pluie, des orages et du vent fort ainsi qu'à l'augmentation de la quantité et de l'intensité de givrage en hiver (tout cela inclut également des risques de brouillards denses).

Ces conclusions ont été reflétées dans les programmes de recherche.

4. RECHERCHE DES PROBLÈMES PARTIELS

En liaison avec le régime de température des chaussées bitumineuses et les propriétés des bitumes en mélanges pour les différentes couches une étude a été élaborée dans le cadre de laquelle on a mesuré les températures de la surface et de différentes couches des chaussées dans la période d'été et d'hiver (sur le territoire de la Slovaquie). A partir des données sur la température de l'air transmises par 20 stations météorologiques ont été calculées, selon une formule relativement compliquée, les températures de la surface de la chaussée bitumineuse, les températures de la surface de la couche de base ainsi que les températures de la surface de la couche de fondation supérieure. Pour la localité à 130 mètres d'altitude avec la fréquence de présence de 95 %, ces températures étaient de 55,70 °C, 46,70 °C et 36,70 °C. En comparant les différences entre les températures de la surface des différentes couches (dans les stations citées) une chute sensible de la température en profondeur a été constatée. La différence entre la température de la surface de la chaussée et celle à 130 mm de profondeur était entre 20 et 25 °C. Dans la période d'hiver, la température de la couche de fondation supérieure était de 7 °C supérieure par rapport à celle de la surface (Hroncová, 2008).

Si les exigences sur les propriétés physiques des bitumes devraient être déterminées en tenant compte des températures existantes dans la structure de la chaussée, les trois propriétés essentielles du bitume telles que le point de ramollissement, la pénétration et le point de fragilité se différencieraient pour les mélanges destinés aux différentes couches et aux différentes régions. Les valeurs minimales du point de ramollissement étaient comprises entre 55 et 58 °C, dans les conditions standards entre 59 et 63 °C et dans la région plus chaude entre 64 et 66 °C. Les valeurs du point de ramollissement du mélange pour la couche de base seraient inférieures de 10 °C à celles des mélanges pour la couche de roulement, même inférieures de 20°C à celles du mélange pour la couche de fondation supérieure.

Quant au choix du type du liant bitumineux pour certaines conditions climatiques, l'une des solutions disponibles est l'élaboration d'une « carte des températures » (soi-disant carte PG). A l'aide de cette carte et sur la base des examens fonctionnels des mélanges avec une variété de liants, il sera possible d'opter pour un liant approprié. Cette démarche n'est pas nouvelle – les dossiers ont été élaborés au terme du projet SHRP aux Etats Unis. Elle est mieux adaptée aux pays d'une grande superficie ou aux pays dont les régions ont des conditions très différentes.

La préparation de la carte PG consiste à choisir les stations météorologiques, à traiter les données sur les températures de l'air pour une période suffisamment longue et à déterminer les zones et catégories de température. La carte PG en tant que document informatif nécessaire à la conception du mélange bitumineux peut concerner les couches de roulement, de base et de fondation.

L'effet de la température sur la résistance ou bien la stabilité des mélanges bitumineux peut être testé (et a été testé) par le biais de divers essais de laboratoire (Boros, 2008). L'essai de stabilité selon Marshall est très simple, à la température standard de +60 °C. On peut voir le changement de la stabilité du mélange AC 11 sous l'influence de la température dans l'enregistrement suivant:

SM	20 °C	48,80 kN	(100 %)
	30 °C	38,35 kN	(79 %)
	40 °C	21,03 kN	(43 %)
	50 °C	14,54 kN	(30 %)
	60 °C	11,62 kN	(24 %)

Le changement de la résistance du même mélange à la traction transversale:

P_{\max}	-15 °C	61 300 N	(100 %)
	0 °C	53 600 N	(87,4)
	5 °C	41 900 N	(68,3)
	15 °C	26 700 N	(43,5)
	30 °C	11 900 N	(19,4)

La recherche des propriétés des mélanges bitumineux qui sont moins sensibles à la température et en principe plus résistants aux déformations permanentes (orniérage) a mené aux conclusions générales suivantes (Loveček, 2009):

- le mélange bitumineux est plus résistant lorsqu'il possède une plus grande fraction de l'agrégat concassé, y compris une fraction du sable de concassage;
- le mélange est plus résistant lorsque le rapport des fractions volumiques filler F/ bitume A varie entre 1,50 et 1,75;
- le mélange est plus résistant lorsque le liant bitumineux est modifié.

Il est intéressant que les recommandations et les dispositions d'amélioration des propriétés des mélanges bitumineux relatives au régime de température de la région (de la zone) se différencient en fonction des zones chaudes et des zones avec des températures basses. Par exemple, pour les zones chaudes on a adopté les recommandations (dispositions) suivantes:

- a. l'utilisation d'un liant bitumineux présentant une plus grande dureté (valeur KG plus grande);
- b. un plus grand rapport des fractions volumiques filler/bitume;
- c. un agrégat concassé – jusqu'à 100 %, fraction granulométrique moins fine;
- d. une teneur en liant plus petite et adaptée à un plus grand indice des vides du granulat.

Les recommandations pour des zones avec des températures basses sont les suivantes:

- a. l'utilisation d'un liant plus mou (bas point de fragilité);
- b. un plus petit rapport des fractions volumiques filler F/bitume A;
- c. une teneur en liant plus grande (adaptée à un plus petit indice des vides du granulat).

5. SOMMAIRE

Les changements climatiques qui se sont traduits dans ces derniers temps sur le territoire de la Slovaquie par une augmentation des températures moyennes de l'air, par un dépassement des records de température et par des augmentations de la fréquence des pluies intenses ont mené à une nécessité de réévaluer les exigences sur les matériaux de construction routiers, d'adapter le procédé et les critères de dimensionnement des chaussées et de réviser les normes techniques et technologiques. Certains problèmes résultant du scénario accepté des changements climatiques exigent des solutions dans le cadre des programmes de recherche et de la coopération internationale.

Recommandations concernant les structures de chaussée:

- pour le trafic moyen et lourd utiliser de préférence les structures semi-solides avec une couche de base inférieure cimentée et des couches en mélanges bitumineux d'une plus petite épaisseur totale;
- élargir l'utilisation des revêtements en mélange bitumineux poreux (PA = porous asphalt) à la condition qu'on trouve une solution d'évacuation des eaux;
- utiliser le béton de ciment drainant pour des couches de base de la chaussée en béton de ciment;
- préférer les surfaces plus claires pour des chaussées dans les villes (zones d'habitation) – par exemple utiliser un agrégat plus clair ou également pigments dans les mélanges bitumineux;
- choisir les dimensions plus petites des dalles en béton de ciment, ou bien une forme carrée, à l'exception des joints de retrait armés de goujons et concevoir également les joints de dilatation (créer les blocs de dilatation).

Recommandations concernant les propriétés des matériaux:

Pour des couches de roulement, de base et de fondation et, notamment, pour des couches de base, il y a lieu d'utiliser les mélanges bitumineux confectionnés avec des liants bitumineux modifiés et de vérifier toujours la résistance à l'orniérage.

Conformément au catalogue des mélanges bitumineux utilisés en Slovaquie ce sont les mélanges et bitumes suivants:

AC 11 0	(AC 16 0)	PMB 45/80 – 75	45/80 – 60
AC 16 L	(AC 22 L)	PMB 45/80 – 55	25/55 – 65
AC 16 P	(AC 22 P)	PMB 45/80 – 55	(alt CA 35/50)
SMA 8	SMA 11	PMB 45/80 – 75	45/80 – 60
PA 8	PA 11	PMB 45/80 – 60	45/80 – 75

Recommandations concernant les procédés technologiques:

La gestion des terrassements doit faire le suivi des changements des conditions et d'assurer toujours l'évacuation de l'eau de la surface de la plate-forme. Le traitement et la protection du talus de remblai doivent être faits très rapidement. Dans les deux cas il faut disposer de géosynthétiques standard ou spéciaux.

6. REFERENCES:

Boros, Z. (2008). Influence of climate condition on deformations of asphalt mixes. XIIIth Seminar of Ivan Poliaček. Bratislava 2008. Proceedings, pp 100-113

Gschwendt, I. (1999). Pavements – structures design. Jaga Group. Bratislava. 155 pp, ISBN 80 – 88905 – 14 – 1

Hroncová, L. and Komačka, J. (2008). Climate condition and maximum air temperatures in summer and winter period. XIIIth Seminar of Ivan Poliaček. Bratislava 2008. Proceedings, pp 16 – 30

Lapin, M. (2001). Impact of climate changes on some sectors in Slovakia. Enviromagazin, No. 6, pp 10 – 11

Lapin, M. (2008). Scenario of climate changes until 2100 and impact in Slovakia. XIIIth Seminar of Ivan Poliaček. Bratislava 2008. Proceedings, pp 8 – 17

Loveček, Z. (2009). Asphalt mixes according to European standards. European standards in road construction conference. Podbanské 2009. Proceedings, pp 50 – 53

Staňo, R. and all (1975). Monitoring of road pavement temperature regime. Research report P12 - 526 – 074, Slovak University of Technology, Road Research Laboratory, Bratislava