

**Mag. (FH) DI Dr. Stefan Krispel<sup>1</sup>, DI Dr. Martin Peyerl<sup>1</sup>,  
Dipl.- Ing. Gerald Maier<sup>1</sup>, Prof. Mag. Dr. Philipp Weihs<sup>2</sup>, Prof. Dr. Erich Mursch-Radlgruber<sup>3</sup>,  
Mag. Christian Gützer<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Smart Minerals GmbH Reisnerstraße 53, A-1030 Vienna

<sup>2</sup> University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Institute for Meteorology, Gregor Mendel Strasse 33, A-1180 Vienna

<sup>3</sup> Institute for Meteorology, Gregor Mendel Strasse 33, A-1180 Vienna

## **Wykorzystanie nakładek betonowych na nawierzchnie drogowe do zmniejszenia ilości miejskich wysp ciepła – technologia „whitetopping”**

### **Reduction of Urban Heat Islands with Whitetopping**

**Słowa kluczowe:** nawierzchnia betonowa, „whitetopping”, wyspa ciepła, ogrzewanie, bezpieczeństwo ruchu drogowego

**Keywords:** Concrete pavements; Whitetopping; Heat Island; Warming; Safety of traffic participants

#### **1. Przegrzewanie strefy miejskiej**

Obecne wymagania dotyczące betonu nawierzchniowego są ograniczone do klasy wytrzymałości, trwałości i odporności na poślizg. Projekt „Traffic Area Concrete” koncentruje się na dodatkowych czynnikach obejmujących zwiększenie ruchu drogowego pojazdów ciężarowych, zmniejszenie wysp ciepła oraz poprawę bezpieczeństwa. Jasność nawierzchni odgrywa w tym przypadku kluczową rolę.

Nakładki betonowe mogą przynosić korzyści związane ze zmniejszeniem kosztów w wyznaczonych strefach miejskich w przypadku szczególnych zastosowań, a mianowicie drogi z oprawą świetlną, obejmujące latarnie miejskie dla uczestników ruchu o małej prędkości podróżowania, to znaczy pieszych. Obecnie, przepisy regulujące ruch drogowy skupiają się wyłącznie na dużej przepustowości sieci komunikacyjnej, nie uwzględniając kwestii związanych z nawierzchniami.

Pojawienie się tak zwanych „miejskich wysp ciepła” ma duży wpływ na klimat miejski. Ich temperatura może być nawet o kilka stopni wyższa niż temperatura w miejscach oddalonych od centrum miasta, na którą wpływa także gęstość zabudowy.

Jednym z celów badań było określenie wpływu rozjaśnienia nawierzchni betonowych na zmniejszenie ilości wysp ciepła. W obszarach o małym natężeniu ruchu te nawierzchnie zwiększają poczucie bezpieczeństwa ludności i zmniejszają ryzyko wypadków, szczególnie w miejscach bez oświetlenia drogowego. Badano także, czy nawierzchnie o różnej białości mają wpływ na bezpieczeństwo ruchu.

---

E-mail do korespondencji: office@smartminerals.at

#### **1. Problem Statement**

Presently the requirements for the building material concrete for traffic areas are limited to construction, inter alia the fulfilment of a necessary strength class, the resistance to environmental influences and suitable skid resistance. The project „Traffic Area Concrete” focuses on additional challenges, such as i.e. the increase of heavy goods vehicle traffic, the manifestation of urban Heat Islands and the improvement of the safety of traffic participants. At this point the lightness properties play a crucial role.

Yet, the material cement can offer further beneficial characteristics when being used for the production of lower ranking, especially urban, traffic areas. These are the result of the special characteristics of the area of application such as i.e. the necessary illumination of the road space with light fixtures (street lamps), the influence on the small scale resp. local climate and the presence of traffic participants with low travelling speed (i.e. pedestrians). The current regulations are tailored to the high-level transport network and do not take the issues mentioned above into account.

The impact of the constructed areas as heat reservoirs has a considerable effect on the urban climate. So called „Urban Heat Islands” emerge. Their temperature can be up to several degrees higher than the temperature in the surrounding rural areas. Due to the high building density, traffic areas are one significant aspect influencing the local climate.

Therefore one aim of the investigation was the identification of a possible reduction and positive influence on urban Heat Islands by using optimized, lighter traffic area concretes.

---

Corresponding author: office@smartminerals.at

## 2. Wyspy ciepła

Wyspy ciepła podnoszą temperaturę w obszarach miejskich wpływając na zmiany klimatu i globalne ocieplenie. W konsekwencji klimat w obszarze miejskim znacznie różni się od klimatu w obszarach wiejskich, co jest szczególnie odczuwalne w gorące lub bezwietrzne letnie dni. Ten wzrost temperatury nie tylko niekorzystnie wpływa na samopoczucie i wydajność pracy ludzi, ale także zwiększa ich śmiertelność (1, 2).

Na klimat miejski, w porównaniu z klimatem terenów sąsiadujących – do około 250 km, ma wpływ większa liczba czynników. Najważniejszymi z nich są lokalizacja, zabudowanie i wielkość miasta, a także promieniowanie słoneczne, geometria budynków i związane z tym ograniczenie przepływu powietrza. Rodzaj wykorzystywanych materiałów budowlanych odgrywa również ważną rolę w powstawaniu miejskich wysp ciepła (3).

Bilans promieniowania pokazuje wpływ rodzaju materiału na energię cieplną oddawaną przez nawierzchnię. Rozróżnia się promieniowanie długo- i krótkofalowe. Czynnikiem determinującym promieniowanie krótkofalowe materiałów jest białość  $\alpha$ ; jest to parametr określający stosunek odbitego promieniowania krótkofalowego do padającego promieniowania krótkofalowego. W tabelicy 1 podano białość wybranych materiałów, które można spotkać w otoczeniu miejskim.

Jak to wynika z danych zawartych w tabelicy 1, wybór rodzaju powierzchni wpływa na białość. Rysunek 1a. przedstawia mapę termiczną centrum Wiednia (5) z odpowiadającą jej mapą satelitarną na rysunku 1b. (6).

Na mapie termicznej zimne obszary zaznaczone są na czarno, natomiast ciepłe na czerwono. Na mapie satelitarnej wyraźnie widać, że obszary ruchu, do których należą na przykład „Ringstraße” i „Guertel”, wyróżniają się bardzo wysokimi temperaturami powierzchni, podczas gdy tereny zielone wykazują znacznie niższe temperatury. Z tego powodu szczególnie ważne jest zmniejszenie temperatury powierzchni w tych obszarach.

Liczne badania (7–9, 10) dotyczyły wpływu współczynników odbicia fali przez różne powierzchnie między innymi dachów i asfaltu, na mikroklimat miejski. Wykazano, że zmiana współczynnika odbicia zależy od rodzaju powierzchni, może prowadzić do zmian mikroklimatycznych. Santamouris i in. (10), na podstawie badań w okresie letnim, stwierdzili spadek temperatury powierzchni o 12°C oraz spadek temperatury powietrza o 1,9°C dla rozjaśnionego asfaltu w stosunku do konwencjonalnej nawierzchni asfaltowej o powierzchni 4500 m<sup>2</sup>. Współczynniki odbicia dla badanej nawierzchni rozjaśnionej wynosiły odpowiednio 47% w zakresie światła widzialnego oraz 71% w zakresie promieniowania podczerwonego. Zwiększenie współczynnika odbicia w zakresie światła widzialnego może powodować „oślepienie” kierowców, zatem może stanowić zagrożenie bezpieczeństwa. Szczególną uwagę poświęca się zwiększeniu współczynnika odbicia nawierzchni asfaltowych w zakresie podczerwieni.

Especially in areas with low or no illumination, lighter surfaces increase the subjective feeling of safety and lower the risk of accidents.

On these grounds this project also investigated if choosing corresponding surfaces can increase the safety of traffic participants. Therefore the different traffic areas used feature differing lightness properties.

## 2. State of the Art – Heat Island Effect

One of urban climatology's most important phenomena is the development of an additional effect called “Urban Heat Island” which further increase the temperature level in the urban area, adding to the general warming related to climate change

As a consequence, the climate in an urban area significantly differs from the large scale caused figures (an effect that is particularly drastic on hot or windless summer days). This increase in temperature does not only negatively influence well-being and performance but also increase the mortality rate (1, 2).

Climate change in the city in comparison to the change in the surrounding areas (to about 250 km) is based on a large number of factors. Additional to general influencing parameters such as location, design and size of a city as well as solar radiation, building geometry and the resulting flow restrictions, air pollution and the used construction materials also play important roles in the manifestation of urban Heat Islands (3).

The proportion of radiation balance shows the biggest material dependent influence on the induced energy on the surface. A distinction between long- and shortwave radiation is made.

The determining factor of the shortwave radiation balance is the surface albedo  $\alpha$  (Ratio of reflected short wave irradiance to incident short wave irradiance). Table 1 contains a summary of albedo values of different selected materials that can be found in the urban surrounding.

As the table 1 shows, the choice of surface influences the albedo values. To illustrate this, figure 1a. compares the thermal image

Tablica 1 / Table 1

BIAŁOŚĆ WYBRANYCH MATERIAŁÓW (1, 3, 4)

ALBEDO OF SELECTED MATERIALS (1, 3, 4)

Material / Materiał	Shortwave Albedo Krótkofalowa białość [%]
Asphalt / Asfalt	5 – 20
Cement	10 – 35
White Cement / Biały cement	70
Meadow / Łąka	15 – 25
Deciduous Forest / Lasy liściaste	15 – 20

### 3. Zastosowanie projektu

Aby zdefiniować dane klimatyczne oraz niezbędne dane wejściowe dla modeli obliczeniowych, stworzono sześć różnych pól badawczych różniących się rodzajem nawierzchni i jej budową. Wybrano tradycyjną nawierzchnię asfaltową, nawierzchnię betonową, nawierzchnię pokrytą mastyksem samozagęszczającym się oraz nawierzchnie z trzema rodzajami nakładek betonowych, wykonanych techniką „whitetopping”. Charakterystykę przedstawiono w tablicy 2.

Aby uzyskać warunki zbliżone do rzeczywistych, badane nawierzchnie są rozmieszczone w obszarze bez potencjalnego zaciemnienia przez budynki i roślinność. Rysunek 2 przedstawia rozmieszczenie sześciu pól badawczych; każdy o wymiarach 8 m x 8 m.

Betonowe nawierzchnie wykonano zgodnie z RVS 08.17.02 (12). Maksymalny wymiar ziarna mieszanki o konsystencji F52 wynosił 22 mm. Do wykonania typowej nawierzchni betonowej [pole 2] stosowano cement CEM II BS 42,5 N (DZ) (13). W składzie nawierzchni na polu 1 cement ten zastąpiono cementem białym (CEM 52,5 N). Jasną nakładkę betonową [pole 3] uzyskano po dodaniu białego pigmentu (dwutlenek tytanu). Składy badanych betonów podano w tablicy 3 natomiast ich właściwości w tablicach 4 i 5.

Tablica 2 / Table 2

#### CHARAKTERYSTYKA PÓL BADAWCZYCH

#### STRUCTURE OF THE TEST FIELDS

Indication Oznaczenie pola badawczego	Structure / Budowa	Thickness Grubość, cm
Whitetopping „white” [Test Field 1] Biała nakładka betonowa [Pole 1]	Lower unbound bases [rounded aggregates]/ Dolna mieszanka niezwiązana [kruszywo otoczkowe] Upper unbound bases [angular aggregates]/ Górna mieszanka niezwiązana [kruszywo łamane] Bituminous base layer AC22 70/100 [after routing]/ Warstwa bitumiczna frezowana Street concrete top layer OB F52 GK 22 with white cement/ Warstwa nakładki betonowej z białego cementu	0 30 10 10
Concrete Surface/ [TestField 2]/Nawierzchnia betonowa [Pole 2]	Lower unbound bases [rounded aggregates]/ Dolna mieszanka niezwiązana [kruszywo otoczkowe] Upper unbound bases [angular aggregates]/ Górna mieszanka niezwiązana [kruszywo łamane] Bituminous base layer AC22 70/100/ Warstwa bitumiczna Street concrete top layer OB F52 GK 22/ Warstwa nakładki betonowej	0 30 5 20
Whitetopping „light” [Test Field 3] Jasna nakładka betonowa [Pole 3]	Lower unbound bases [rounded aggregates]/ Dolna mieszanka niezwiązana [kruszywo otoczkowe] Upper unbound bases [angular aggregates]/ Górna mieszanka niezwiązana [kruszywo łamane] Bituminous base layer AC22 70/100 [after routing]/ Warstwa bitumiczna Street concrete top layer OB F52 GK 22 with white cement/ Nakładka betonowa z cementu białego	0 30 10 10
Asphalt Surface [Test Field 4] Nawierzchnia asfaltowa [Pole 4]	Lower unbound bases [rounded aggregates]/ Dolna mieszanka niezwiązana [kruszywo otoczkowe] Upper unbound bases [angular aggregates]/ Górna mieszanka niezwiązana [kruszywo łamane] Bituminous base layer AC22 70/100/ Warstwa bitumiczna frezowana Bituminous top layer AC11 70/100	0 30 15 5
Whitetopping „normal” [Test Field 5] Typowa nakładka betonowa [Pole 5]	Lower unbound bases [rounded aggregates]/ Dolna mieszanka niezwiązana [kruszywo otoczkowe] Upper unbound bases [angular aggregates]/ Górna mieszanka niezwiązana [kruszywo łamane] Bituminous base layer AC22 70/100 [after routing]/ Warstwa bitumiczna frezowana Street concrete top layer OB F52 GK 22/ Nakładka betonowa	0 30 10 10
Mastic Asphalt [Test Field 6] Mieszanka mastyksova [Pole 6]	Lower unbound bases [rounded aggregates]/ Dolna mieszanka niezwiązana [kruszywo otoczkowe] Upper unbound bases [angular aggregates]/ Górna mieszanka niezwiązana [kruszywo łamane] Sub concrete C20/25/X0/ Beton Mastic asphalt MA4, 90/10/ Mastyks	0 10 10 2

[5] of Vienna’s city centre to the corresponding satellite image in figure 1b. (6).

The thermal image marks especially cold areas in black and very warm areas in red. In comparison to the satellite image, one can clearly see, that traffic areas, such as the „Ringstraße“, the „Guer-tel“, etc. are characterised by very high surface temperatures, while green spaces exhibit significantly lower temperature levels. It is for this reason, that a reduction of the surface temperature in these areas is especially useful. Numerous studies (7, 8, 9 and 10) have addressed the influence of differently reflecting roof areas and road asphalt on the urban microclimate and have investigated if a change in the ground surface reflection could lead to micro climatic changes. During nice summer weather, Santamouris et al. (10) identified a 12°C decrease in the surface temperature and a 1,9°C decrease of the air temperature lying above a 4500 m<sup>2</sup> brightened asphalt area with reflexion values of 47 % in the visible and 71% in the infrared irradiation range, compared to conventional asphalt surfaces,.

As an increased reflexion in the visible wavelength area, can i.e. lead to dazzling of drivers and therefore may pose a security problem, the focus especially lies on the increase of the reflection in asphalt surfaces in the infrared range.



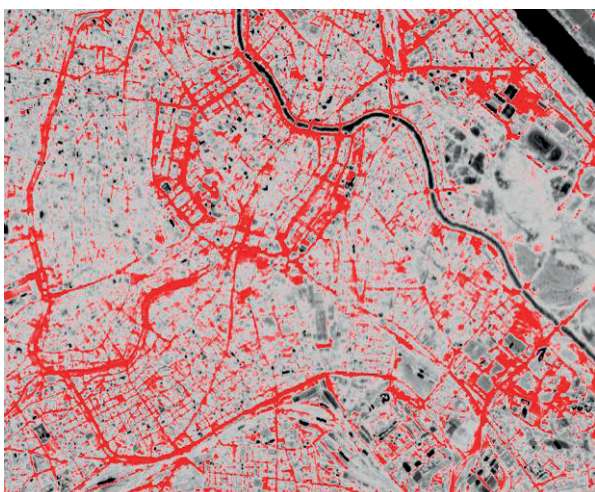


Fig. 1a. Thermal image of Vienna [5]

Rys. 1a. Termiczna mapa Wiednia (5)

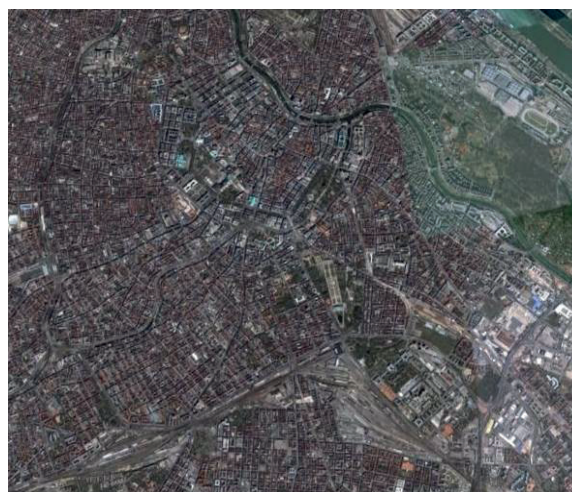


Fig. 1b. Satellite image of Vienna [6]

Rys. 1b. Satelitarna mapa Wiednia (6)

## 4. Wyniki projektu

### 4.1. Wyniki pomiarów temperatury betonów

Aby zbadać wpływ różnego rodzaju materiałów na ogrzewanie nawierzchni dokonano pomiaru temperatury na powierzchni oraz na różnych głębokościach. W tym celu zainstalowano czujniki temperatury na głębokości 0 cm, 2,5 cm, 6 cm i 12 cm, w każdym z sześciu badanych pól.

Najwyższe temperatury powierzchni zarejestrowano na nawierzchniach asfaltowych. Nawierzchnie betonowe zapewniają maksymalne temperatury mniejsze o 10 K. Najniższą temperaturę uzyskano dla nawierzchni z cementu białego. Zarejestrowano bardzo małą różnicę między temperaturami typowej nawierzchni betonowej, a nawierzchni z nakładkami betonowymi jasną lub typową. Rysunek 3 pokazuje krzywe temperatur badanych nawierzchni w lipcu. Zróżnicowanie temperatur nawierzchni zmieszano do 12 cm ich głębokości. Rysunek 4 przedstawia temperatury zmierzone w nawierzchniach na głębokości 6 cm w okresie letnim, w lipcu.

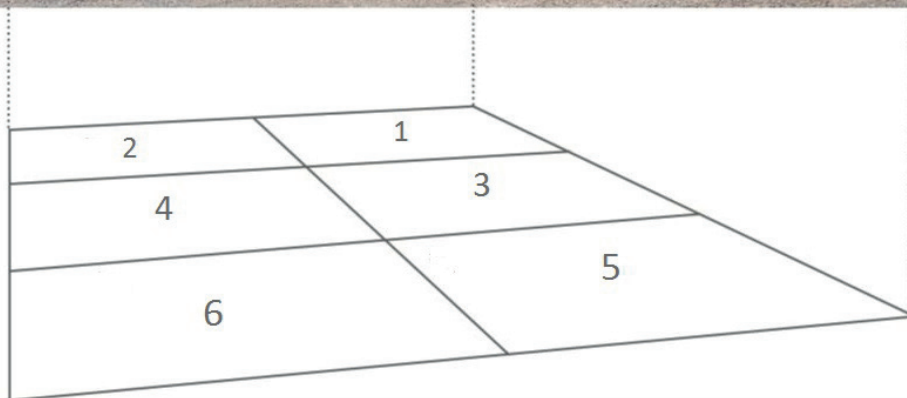


Fig. 2. Arrangement of the test fields (11)

Rys. 2. Rozmieszczenie pól badanych nawierzchni (11)

### 4.2. Wyniki badań luminancji i współczynnika odbicia światła

Aby określić wpływ różnego rodzaju nawierzchni na indywidualne poczucie bezpieczeństwa uczestników ruchu należy ustalić widocz-

## 3. Project Implementation

In order to identify the climatic data and the necessary initial data for the calculation models, six different test fields were created, that featured various cover layers as well as different overall struc-

Tablica 3 / Table 3

SKŁADY BETONÓW OB GK22 F52, OB GK22 F52 [JASNY] ORAZ OB GK22 F52 [BIAŁY]

COMPOSITION OF FORMULAS FOR THE CONCRETE TYPES OB GK22 F52, OB GK22 F52 LIGHT-COLOURED AND OB GK22 F52 WHITE

Concrete Constituent/Składnik betonu	Target Mass according to Formula resp. Concrete Values Masa poszczególnych składników betonu, kg/m <sup>3</sup>		
	OB GK22 F52	OB GK22 F52 light	OB GK22 F52 white
Concrete Type /Rodzaj betonu			
Fields/ Numer badanego pola	2;5	3	1
CEM II/B-S 42,5 N	420	421	-
CEM I 52,5 N White Cement/ Biały cement	-	-	421
Pigment Titandioxid/ Pigment z dwutlenku tytanu	-	21	-
Aggregate/Kruszywo RK 0/4	780	784	781
Aggregate/Kruszywo RK 8/11	162	163	163
Aggregate/Kruszywo RK 11/22	962	966	965
Total Water/Woda całkowita	168	168	167
Plasticizer/ Plastyfikator	2,96	2,52	2,52
Air Entrainment/Zawartość powietrza	0,73	0,76	0,75
Water-Cement Ratio /Stosunek wodno cementowy	0,40	0,40	0,40
Consistency [flow table test]/Konsystencja	54 [cm]	55 [cm]	51 [cm]

<sup>1</sup> OB – Top-layer concrete / Wierzchnia warstwa betonu

Tablica 4 / Table 4

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ROZCIĄGANIE BETONÓW: OB GK22 F52, OB GK22 F52 [JASNY] ORAZ OB GK22 F52 [BIAŁY], PO 2 I 28 DNIACH

SPLITTING TENSILE STRENGTH AFTER 2 AND 28 DAYS FOR THE CONCRETE TYPES OB GK22 F52, OB GK22 F52 LIGHT-COLOURED AND OB GK22 F52 WHITE

	Concrete age [days] Czas dojrzewania [dni]	Splitting tensile strength / Wytrzymałość na rozciąganie [N/mm <sup>2</sup> ]	
		Single values / Wyniki	Mean value / Średnia
OB GK22 F52	2	2,20; 2,15; 2,15	2,2
	28	5,00; 4,40; 4,40	4,6
OB GK22 F52 light/ jasny	2	2,05; 2,15; 2,05	2,1
	28	4,80; 4,40; 4,95	4,7
OB GK22 F52 white/ biały	2	3,55; 3,15; 3,45	3,4
	28	3,70; 3,70; 4,05	3,8

Tablica 5 / Table 5

ZAWARTOŚĆ POWIETRZA I PUSTYCH PRZESTRZENI W BETONACH OB GK22 F52, OB GK22 F52 – JASNY ORAZ OB GK22 F52 – BIAŁY<sup>1</sup>AIR CONTENT AND AIR VOID CHARACTERISTICS FOR THE CONCRETE TYPES OB GK22 F52, OB GK22 F52 LIGHT-COLOURED AND OB GK22 F52 WHITE<sup>1</sup>

Rodzaj betonu	Air content of the fresh concrete Zawartość powietrza [%]	Air void characteristics / Zawartość pustych przestrzeni	
		L300 <sup>a)</sup> [%]	Współczynnik przestrzeni [mm]
OB GK22 F52	4,81	3,53	0,16
OB GK22 F52 light / jasny	3,55	2,31	0,22
OB GK22 F52 white / biały	6,63	4,40	0,14

<sup>1</sup> Micropores content ≤ 300 μm / Zawartość mikroporów ≤ 300 μm

ność oraz poziom oświetlenia badanych pól. Badania obejmują ocenę luminancji oświetlenia ulicznego w nocy oraz określenie współczynnika odbicia. Aby przeprowadzić pomiar, lampy symulujące oświetlenie drogowe są umieszczane na każdym polu, a widoczność osoby badanej była oceniana wizualnie na podstawie videorejestracji. Pomiary luminancji i koloru przeprowadzono się zgodnie z normą ÖNORM EN 13201-4 (14), z uwzględnieniem normy ÖNORM EN 13201-3 (15). Aparat do pomiaru luminancji wraz z kamerą umieszczono na wysokości 1,5 m. Powierzchnie były oświetlone latarnią o mocy 150 W, którą przymocowano do mobilnej przyczepy.

Badanie współczynnika odbicia światła przeprowadzono zgodnie z normą BS 8493 (16), na powierzchniach wysuszonych. Wyniki stanowiły średnią z pięciu pomiarów. Urządzenie obracano o 90°, 180° i 270°, zgodnie z ruchem wskazówek zegara. Rysunek 5 przedstawia układ pomiarowy.

Wyniki oznaczenia luminancji badanych nawierzchni zamieszczono na rysunku 6.

W trakcie badania luminancji pobierano tzw. obrazy luminancji z każdego badanego pola. Rysunki 7a i 7b przedstawiają przykładowy obraz luminancji nawierzchni asfaltowej [pole 4] i nawierzchni betonowej [pole 2].

### 4.3. Wyniki badań wpływu rodzaju nawierzchni na klimat lokalny

Badania obejmują część doświadczalną, a także część modelową, opartą na przedstawionych w pracy wynikach. Podczas pomiarów wzięto pod uwagę zmienne fizyczne i zmienne związane z symulacją. Przede wszystkim określono właściwości optyczne badanych nawierzchni, a mianowicie współczynnik odbicia i

tures. In the process, a traditional asphalt surface, a conventional concrete pavement, a pavement construction and three different Whitetopping-systems were selected. The construction of the test fields is summarised in Table 2.

In order to gain the most realistic parameters, the traffic areas are positioned in an area without any potential shadowing by buildings and flora.

Fig. 2 shows the arrangement of the six test fields; each sized 8 m x 8 m.

The formula for „top layer street concrete“ according to RVS 08.17.02 (12) with a maximum particle size of 22 mm and the consistency F52 forms the basis for the production of concrete surfaces. The fabrication of the normal concrete surface [field 2] takes place with top cement CEM II B-S 42,5 N [DZ] (13), for the Whitetopping area of field 1 this cement is replaced by white cement [CEM 52,5 N]. The light Whitetopping area [field 3] is achieved by adding white pigment (titan dioxide). The target weights of the taken cement samples are summarised in Table 3. The concrete characteristics are shown in Tables 4 and 5.

## 4. Project Results

### 4.1. Results of the Determination of the Temperature Curve

In order to collect the effects of the different surfaces on the heating behaviour the temperature measurement is performed on the surface as well as on different depths, in different dates throughout the year. For this purpose temperature probes are installed in each of the six test fields in the depths of 0 cm, 2,5 cm, 6 cm and 12 cm.

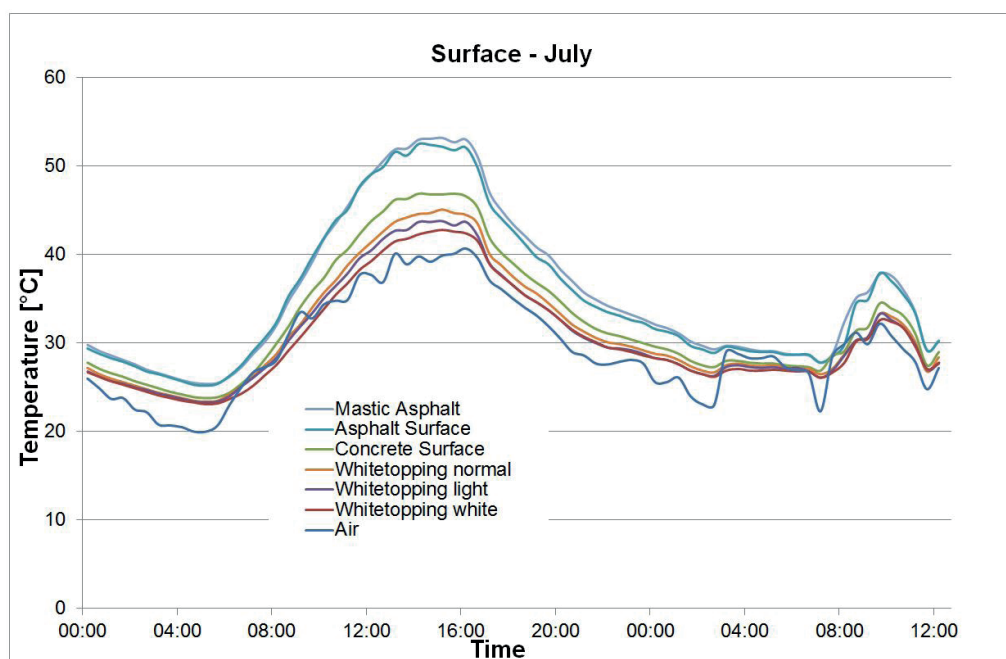


Fig. 3. Surface temperature in July

Rys. 3. Temperatura nawierzchni w lipcu

The highest surface temperature can generally be measured on mastic asphalt and asphalt street surfaces. Cement surfaces deliver maximum temperatures that range at 10 K less. Comparing the concrete street surfaces with each other shows, that the Whitetopping “white” causes the lowest surface temperature. The difference between Whitetopping “light”, “normal” and common concrete surface is very low, in practice insignificant. Fig. 3 shows the curve of the surface temperature during the month of July.

The effects of the different material properties on the temperature results can be found up to a depth of 12 cm, measured from the surface of the respective test field.



emisyjność. W celu wykonania bilansu energetycznego, dokładniej bilansu promieniowania, mierzone są strumienie promieniowania w zakresie krótkich fal, a także w zakresie podczerwieni [dłuższe fale]. Dzięki zastosowaniu radiometrów przeprowadzono ciągły pomiar na zbudowanych nawierzchniach [rysunek 8]. Mierzono promieniowanie odbite, a temperaturę powierzchni, czyli jednocześnie emitowane promieniowanie długofalowe, mierzone termicznymi czujnikami podczerwieni. Ponadto rejestrowano temperaturę powietrza w odległości 10 cm od badanych powierzchni, jak również prędkość i kierunek wiatru; wartości te oznaczono dla jednego pola i uznano jako stałe dla reszty badanych pól.

Innym parametrem koniecznym do wykonania bilansu energetycznego w obszarach miejskich jest pojemność cieplna powierzchni. Pojemność cieplna określa ilość energii potrzebnej do ogrzania 1 kg określonego materiału o 1 K. Energia cieplna gromadzi się w tak zwanych korytarzach miejskich między budynkami na uszczelnionych powierzchniach, a następnie jest ponownie uwalniana do atmosfery. Dlatego magazynowanie ciepła jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na przegrzanie miast. W celu określenia pojemności cieplnych w warunkach laboratoryjnych pobrano próbki badanych pól.

Analiza bilansu promieniowania i temperatury nawierzchni poszczególnych badanych obszarów wskazuje na wyraźny wpływ białości powierzchni na jej temperaturę. Pomiary temperatury powierzchni za pomocą termoelementów i czujników podczerwieni, a także zdjęcia temperatury powierzchni wykonane przez kamerę termiczną, pokazują różnice temperatury nawierzchni sięgającą 15°C. Temperatury nawierzchni asfaltowych dochodziły do 53°C. Nawierzchnia z nakładki betonowej o najwyższej białości wykazywała maksymalną temperaturę 42°C. Pomiary temperatury powietrza za pomocą termoelementów przeprowadzono w odległości 10 cm od powierzchni badanych nawierzchni. Masa powietrza na tej wysokości przejmuje ponad 99% strumienia promieniowania odbitego z powierzchni 8x8m. Pomiary pokazały duże wahania badanych parametrów, które spowodowała konwekcja powietrza i jej następstwa, to jest wpływ mas powietrza przepływających przez badany obszar. Aby zminimalizować ten efekt wysokość czujnika pomiarowego powinna wynosić 1/100 odległości od widocznej niejednorodności gruntu. Wahań temperatury powietrza na wysokości 10 cm można było uniknąć, gdyby długość boku badanej powierzchni wynosiła  $2 \times 100 \times 0,1 \text{ m} = 20 \text{ m}$ . Średnia temperatura powietrza nad badanymi nawierzchniami betonowymi była o około 1°C niższa od temperatury nad nawierzchnią asfaltową.

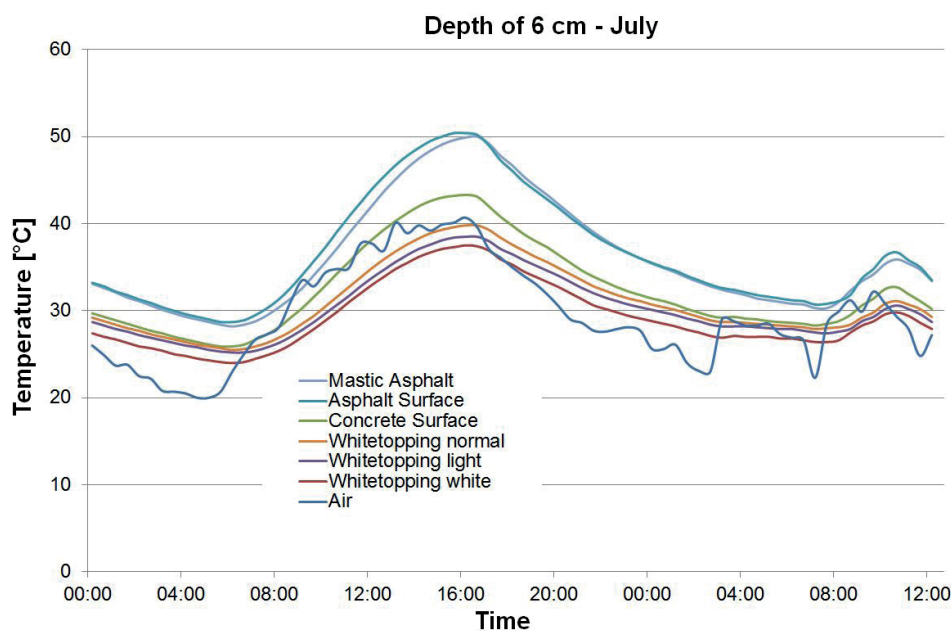


Fig. 4. Temperatures at a depth of 6 cm in July

Rys. 4. Temperatury nawierzchni na głębokości 6 cm rejestrowane w lipcu.

Fig. 4 shows the temperature at a depth of 6 cm, in July. As can be clearly seen, the concrete surface has lower maximum temperature.

#### 4.2. Results of the Determination of the Luminance and the Degree of Reflection

In order to determine which effects the different surfaces have on the individual sense of security of the traffic participants i.e. their visibility, the test fields illumination levels are established. These tests consist of the visual assessment of the resp. luminance of common street lighting by night as well as the determination of the reflection degree. To carry out the measurement a street light is positioned on every test field and the visibility of a test person is visually recorded. The measurements of the luminance and the colour information take place dependent on the situation at hand and in accordance with the ÖNORM EN 13201-4 (14), in consideration of the ÖNORM EN 13201-3 (15) with a spatially-resolved luminance camera, measured at a height of 1,5 m. The different surfaces are illuminated with a common street lamp – case luminaire 150 watt, which is fixed to a mobile trailer.

The determination of the reflection factor takes place according to BS 8493 [16], under dried surface conditions. At each measurement point, the average of five single measurements is determined, then the device is rotated by 90°, 180° and 270° clockwise and the measurement is repeated. The result is an average of four measurements for each five single measurements per measurement point. Figure 5 shows the measuring arrangement.

The results of the luminance determination of the test fields can be found in Fig. 6.

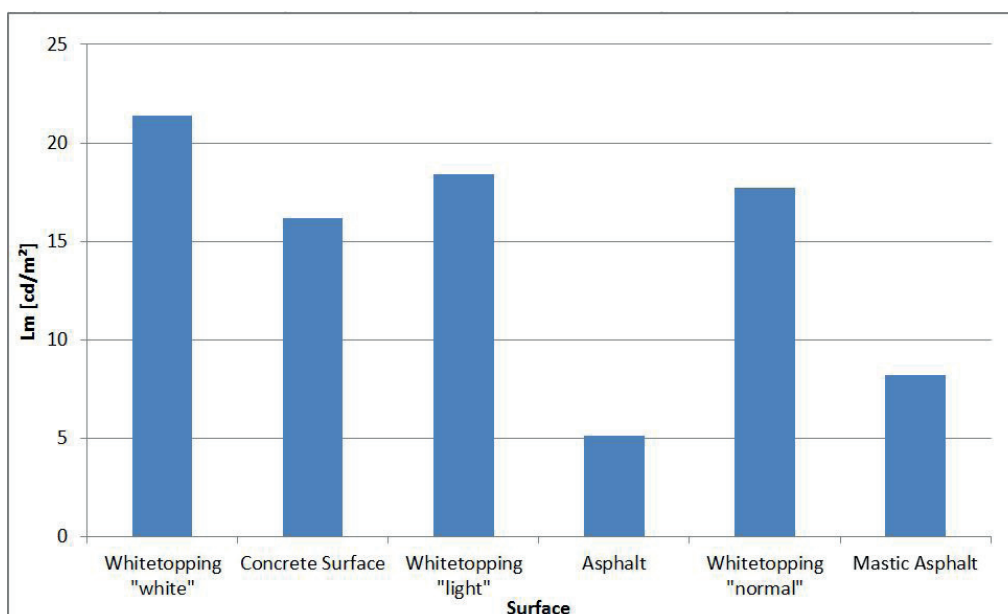


Fig. 6. Average luminance  $L_m$  of analysed surfaces

Rys. 6. Średnia luminancja  $L_m$  analizowanych nawierzchni

Wykorzystując program do symulacji bilansu energii miejskiej Envi-met wersja 3.99 (18), określono wpływ białości powierzchni i właściwości materiału na temperaturę powietrza dla warunków płaskich, czyli braku tak zwanych korytarzy miejskich, płaskie jednorodne powierzchnie o wymiarach 150x150 m. Do obliczeń wybrano wartości typowe dla nawierzchni asfaltowych [pole 4] i nawierzchni z białą nakładką betonową [pole 1].

Właściwości materiałowe różnych pól pomiarowych, które zastosowano jako przykładowe parametry wejściowe określono w laboratorium lub w zbudowanym miejscu pomiarowym i podsumowano w tabelicy 6. Aby uniknąć efektu związanego z niejednorodnością powierzchni, przyjęto, że badane powierzchnie o wymiarach 150 × 150 m, bez względu na rodzaj materiału, mają taką samą jednorodność.

Tabela 6 podsumowuje wyniki pomiarów białości oraz maksymalnych temperatur sześciu badanych pól o różnych nawierzchniach. Trzecia kolumna opisuje emisję przedstawioną jako porównanie zmierzonej temperatury powierzchni (PT100) z określonym promieniowaniem długofalowym (Kipp i Zonen 4 Net Radiometer). Kolumna 4 przedstawia ciepła właściwe materiałów, które oznaczono w laboratorium.

Symulacje z wykorzystaniem Envi-met pokazują różnicę temperatur między nawierzchnią asfaltu, a nawierzchnią z nakładki betonowej wynoszącą w przybliżeniu 11°C. Temperatura nawierzchni asfaltowej może dochodzić do 52°C, a nawierzchni z nakładką betonową do 41°C. Maksymalna temperatura powietrza, mierzone na wysokości 20 cm od powierzchni z asfaltu, o godzinie 15:10 różni się o 1°C i wynoszą dla nawierzchni asfaltowej 32,2°C oraz dla nawierzchni z nakładką betonową 31,1°C.

W celu oszacowania wpływu stresu termicznego na ludzi brane są pod uwagę nie tylko temperatura powietrza, ale także promienio-

During the measurements of the average luminance, so called luminance images are taken of each test field. Figs. 7a. and 7b. exemplary present the luminance image of an asphalt pavement [test field 4] and a concrete pavement [test field 2].

From the presented results, the conclusion can be drawn, that concrete pavements feature considerably increase luminance levels than asphalt resp. mastic asphalt.

For additional verification of the measurement data a visual assessment of the visibility of a person on the different test fields is added. In general smoother surfaces will reflect more than rough surfaces.



Fig. 5. Measuring arrangement to determine the level of reflectance [Picture: SMG – Smart Minerals GmbH]

Rys.5. Układ pomiarowy do pomiaru współczynnika odbicia

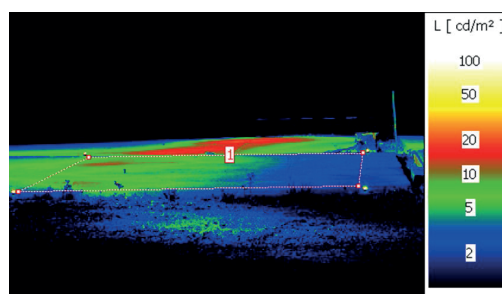


Fig. 7a. Luminance image of asphalt pavement (17)

Rys. 7a. Obraz luminancji nawierzchni asfaltowej (17)

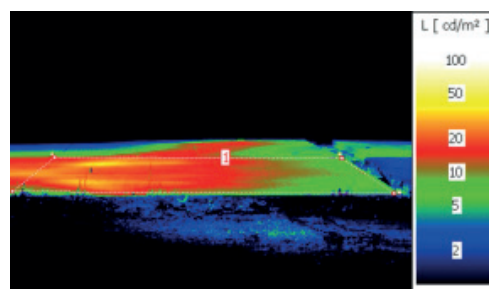


Fig. 7b. Luminance image of concrete pavement (17)

Rys. 7b. Obraz luminancji nawierzchni betonowej (17)



Surface (Nr. of test field)/ Nawierzchnia	Albedo Białość	Surface Temperature Temperatura powierzchni [°C]	Emission Invariable Emisja	Specific Heat Capacity Ciepło właściwe [J/(kg.K)]
Mastic Asphalt / Mastik	0.12	50 ± 1°C	0.95 ± 0.02	901
Asphalt Surface / Nawierzchnia asfaltowa	0.13	52 ± 1°C	0.98 ± 0.02	901
Concrete Surface [2] / Nawierzchnia betonowa	0.43	48 ± 1°C	0.99 ± 0.02	721
Whitetopping „white“ [1] / Nakładka betonowa biała	0.57	41 ± 1°C	0.99 ± 0.02	891
Whitetopping „light“ [3] / Nakładka betonowa jasna	0.47	44 ± 1°C	0.99 ± 0.02	891
Whitetopping „normal“ [5] / Typowa nakładka betonowa	0.48	43 ± 1°C	0.99 ± 0.02	891

wanie krótkofalowe i długofalowe docierające do ciała ludzkiego [np. Weihs i in., 2012 (19)]. Aktywny strumień promieniowania na ciało ludzkie i promieniowania emitowanego przez ciało jest przyjęte jako średnia temperatura promieniowania. Ze względu na odbite promieniowanie krótkofalowe, średnia temperatura promieniowania o godzinie 15:00 osiąga wyższą wartość na powierzchni z warstwą betonu równą 74,9°C, w porównaniu do powierzchni asfaltowej, gdzie wartość wynosi 66,3°C.

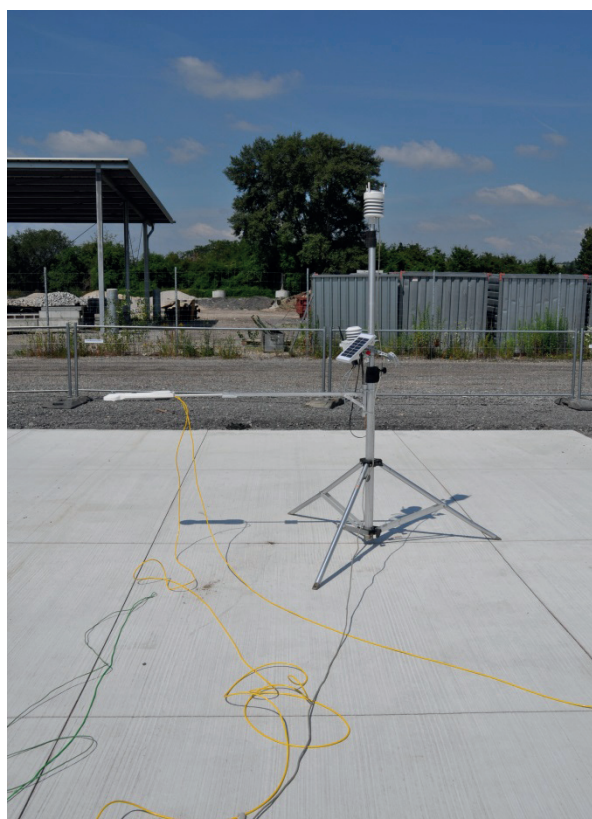


Fig. 8. Measuring device to determine the radiation balance, air temperature, wind speed and wind direction. 93% of the ground reflected radiation incident on a downward looking sensor placed in the middle of 8x8 m concrete surface at 1 m height. [Picture: SMG – Smart Minerals GmbH]

Rys. 8. Urządzenie pomiarowe do określania bilansu promieniowania, temperatury powietrza, prędkości i kierunku wiatru. 93% powierzchni odbijało promieniowanie padające na czujnik skierowany w dół i umieszczony na wysokości 1 m, na środku betonowej powierzchni o wymiarach 8x8 m

Concrete surfaces are rough enough to avoid any reflection. Reflection and glare may eventually occur on wet surfaces. Glare may also occur when the eyes of the driver are adapted to darkness and are suddenly exposed to high reflected radiance. This phenomena depends on the individual constitution of the driver i.e. how fast the eye pupile reacts to the changing radiation intensity.

#### 4.3. Results of the Detection of the Influence of the Surface Types on the Small-Scale to the Local Climate

The determinations in order to describe the influence on surfaces encompass an experimental part as well as a model simulation, which is based on the previously mentioned part. The measurements should gather the necessary physical variables and phenomena for the simulation. This includes the determination of the optical characteristics of the test fields, that is the albedo (reflectivity of the test fields) and the emissivity  $\epsilon$  of the surfaces. In order to characterise the energy balance, and at this point especially the radiation balance, the individual radiation fluxes in the shortwave range and also in the thermal infrared range (long wave) are measured. Continuous measurement of the short wave and the long wave radiation balance is conducted over a test field using radiometers (see Fig. 8). On the other areas, the reflected radiation is measured with sensors and the surface temperature (that is at the same time also the emitted long wave radiation) is determined using thermal infrared sensors. Additionally to these measured values, the air temperature at a height of 10 cm, the surface temperature with thermo elements, the air temperature as well as the wind speed and direction - only over one area, but representative for all areas – are being quantified.

Another necessary measured value for the energy balance in urban areas is the specific heat capacity of sealed surfaces. The specific heat capacity indicates how much energy is needed in order to heat 1 kg of a specific material by 1 K. The thermal energy accumulates in the urban canyons, in the sealed surfaces and is then again released into the air. Therefore heat storage is one of the most important influencing factors that lead to overheating of

Pomimo, że temperatura powietrza nad nawierzchnią z nakładką betonową jest niższa, obliczenia uniwersalnego wskaźnika termicznego (UTCI) wykazały, że jest on większy dla nawierzchni betonowej w porównaniu do nawierzchni z asfaltu i wynosi odpowiednio 42,7°C i 41,6°C, co oznacza, że nawierzchnie betonowe wywołują nieco większy stres termiczny. Prezentowane wyniki badań potwierdzają dane literaturowe [20, 21], które wskazują na wzrost stresu termicznego przez wzrost białości okolicy miejskiej.

Wpływ zwiększonej białości nawierzchni ulic na potencjalne obniżenie średniej temperatury w dużym mieście, został oceniony na podstawie wyników literatury naukowej.

Według Akbari i Rose (22) nawierzchnie stanowią ok. 29 do 44% powierzchni miasta. Przy założeniu, że ulice – bez chodników stanowią jedynie 20% całego obszaru miasta, zwiększenie białości ulic z 0,2 do 0,5 podniosłoby ogólną średnią białość miasta o 0,12. W celu oszacowania wpływu białości na klimat w szerszej skali, stosowano równanie regresji Santamourisa (23), które uwzględnia spadek średniej temperatury i maksymalnej temperatury miasta w funkcji zmiany białości. Ogólny wzrost stopnia białości miasta o 0,12 prowadzi do zmniejszenia średniej i maksymalnej dziennej temperatury, w bezchmurne letnie dni, o 1°C.

Aby odpowiedzieć na pytanie, czy można wykorzystać efekt wzrostu białości nawierzchni, zapobiegając jednocześnie zwiększeniu stresu termicznego, poprzez dostosowanie planu zagospodarowania przestrzeni, wykonano badania z użyciem modelu Envi-met (rys. 10). W wyniku zbadanych parametrów oraz na podstawie badań modelowych wykonano obliczenia dla trzech różnych wariantów:

- Żywopłot między chodnikiem a ulicą
- Ściana między chodnikiem a ulicą,
- Brak oddzielenia chodnika od ulicy (rys. 10).

W środku korytarza miejskiego nad ulicą nawierzchnia drogi wykonanej z nakładką betonową technologią whitetopping prowadzi do wzrostu średniej temperatury promieniowania, współczynnika odbicia oraz stresu termicznego (rys. 11). Jednak wpływ większego współczynnika odbicia nawierzchni

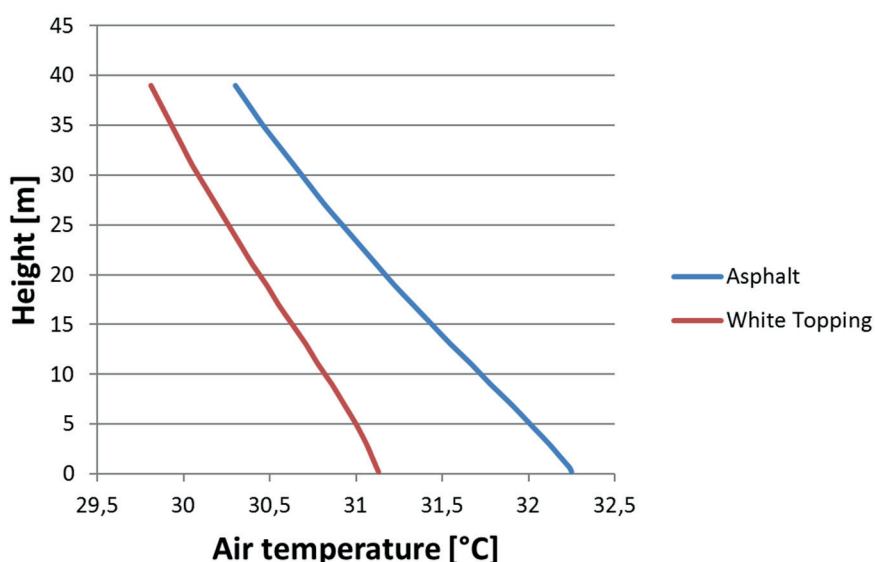


Fig. 9. The vertical profile of air temperature above a flat surface with 150 x 150 m dimension covered with asphalt and with whitetopping was simulated with the Envi-met software. The vertical profile of the maximum air temperature of the day (occurring at 1510 MEZ) is shown for a typical summer day. Wind speed was assumed to be almost equal to 0 m/s. Albedo values were set to 0.57 and to 0.12 for Whitetopping and Asphalt respectively.

Rys. 9. Zmiany temperatury powietrza w zależności od odległości od powierzchni o wymiarach 150 x 150 m, pokrytych asfaltem i z nakładką betonową – technologia whitetopping. Wartości temperatur zostały pokazane dla letniego dnia (przy 1510 MEZ). Przyjęto, że prędkość wiatru jest równa 0 m/s. Białość wynosiła odpowiednio 0,57 dla nakładki betonowej i 0,12 dla nawierzchni asfaltowej.

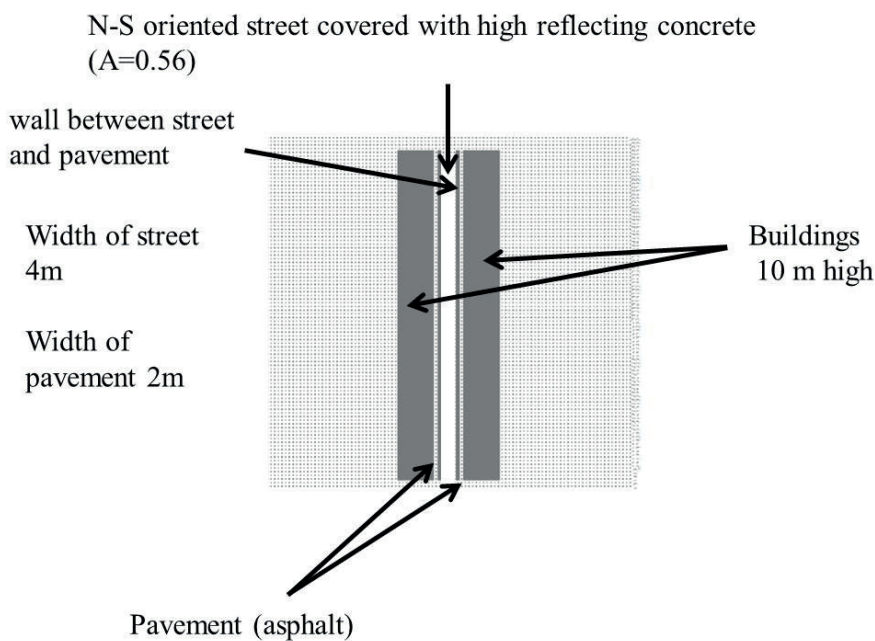


Fig. 10. The urban canyon that was defined for the ENVI-Met simulations is shown. Simulations were performed with a street covered with white topping [albedo = 0.56] that were compared to a “reference” simulations performed with a street covered with conventional asphalt (albedo = 0.12). The pavement is made of asphalt. The width of the street and of the pavement are 4 and 2 m respectively.

Rys. 10. Korytarz miejski dla symulacji ENVI-Met. Symulacje przeprowadzono dla nawierzchni pokrytej białą nakładką betonową (białość = 0,56), które porównano z symulacjami referencyjnymi wykonanymi dla nawierzchni asfaltowej (białość = 0,12). Chodnik wykonany jest z asfaltu; szerokość ulicy i chodnika wynosi odpowiednio 4 i 2 m.

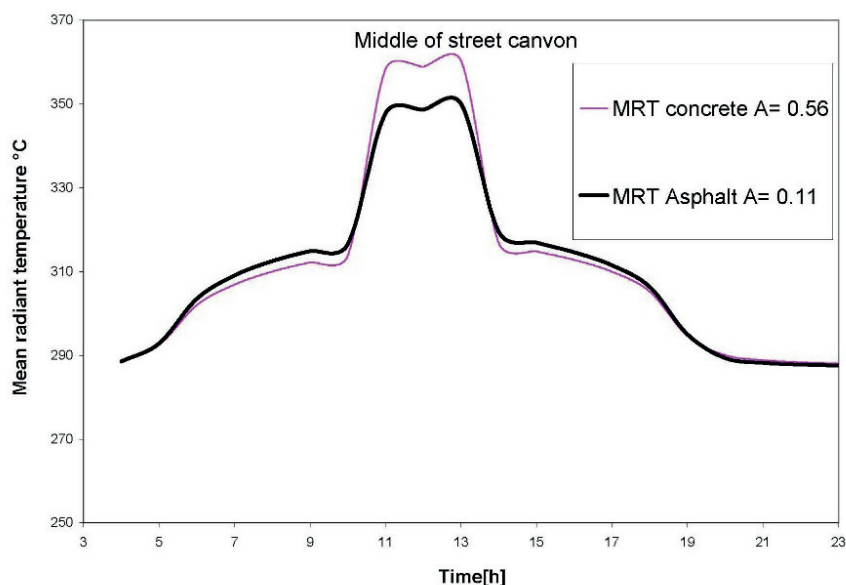


Fig. 11: Diurnal variation of the mean radiant temperature in the middle of the street canyon just above the street. A high reflective concrete surface leads to an increase in mean radiant temperature compared to an asphalt surface.

Rys. 11: Dobowa zmiana średniej temperatury promieniowania w środku korytarza ulicznego nad ulicą. Powierzchnia betonowa o większym współczynniku odbicia powoduje wzrost średniej temperatury promieniowania w porównaniu z powierzchnią asfaltową.

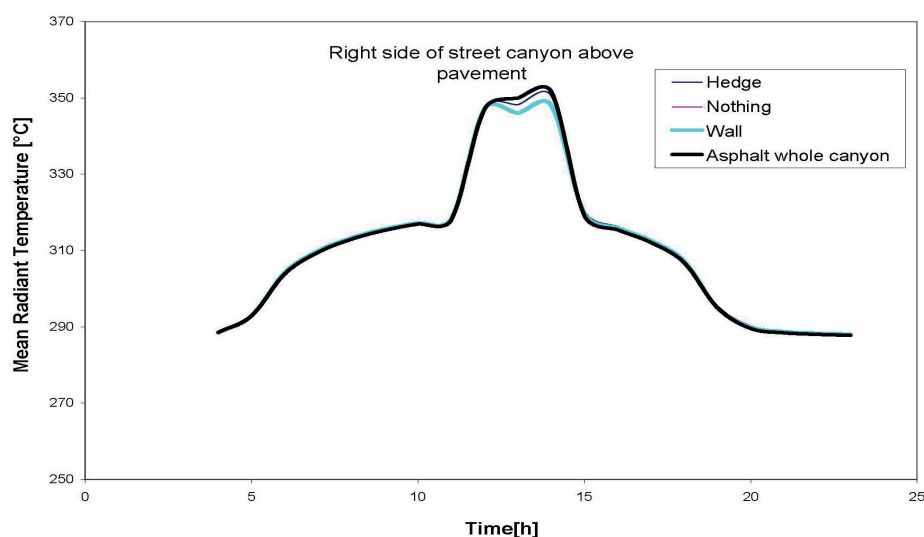


Fig. 12: Diurnal variation of the mean radiant temperature on the right side of the street canyon above the pavement. The influence of the high reflecting concrete surface of the street on mean radiant temperature is not discernible any more.

Rys. 12: Dobowa zmiana średniej temperatury promieniowania po prawej stronie korytarza ulicznego nad chodnikiem. Wpływ ulicznej powierzchni betonowej o dużym współczynniku odbicia na średnią temperaturę promieniowania nie będzie już nigdy pomijany.

betonowej nie jest zauważalny w odległości 1 m od chodnika (nad nawierzchnią asfaltową).

#### 4.4. Trwałość właściwości optycznych betonu

Beton jest trwałym materiałem budowlanym. Jego właściwości optyczne są również trwałe. Aby zobrazować tę trwałość optyczną przedstawiono proste porównanie zdjęcia trzy- do cztero-letniej

the cities. In order to determine the specific heat capacities samples taken from the test fields are being used in the laboratory.

The analysis of the measurements of the radiation balance and the surface temperature of the individual test areas show a clear influence of the surface albedo on the surface temperature. Measurements of the surface temperature with thermo-elements and infrared sensors as well as pictures of the surface temperature taken by a thermal camera show differences of the surface temperature ranging up to 15°C, whereas the asphalt test fields temperatures reached up to 53°C, and the Whitetopping surface with the highest albedo exhibited up to 42°C. Measurements of the air temperature with thermo-elements were performed at 10 cm height above the respective test surfaces. The air mass in this height receives more than 99% of the reflected radiation flux from the 8x8m surface, where it was mounted. The measurements displayed a very high fluctuation of the values due to thermal, turbulences and side effects i.e. the influence of the different characteristics of the air masses that were transported by the surrounding area. In order to avoid any "fetch" effect i.e. influence of the surrounding air masses on the properties of the measured air mass the height of the measuring sensor should be 1/100 of the distance, to the next ground inhomogeneity. In our case fluctuations in air temperature in 10 cm height could only have been avoided for a dimension of the test surface of 2 x 100 x 0.1 m = 20 m. However, we still obtained differences in the measured air temperature above the different test surfaces. On average the mean air temperature in 10 cm height was approximately 1°C higher above asphalt as compared to concrete.

Using the urban energy balance model Envi-met version 3.99 (18) the influence of the surface albedo and the material properties on the air temperature was simulated for flat conditions – no urban canyon, flat homogeneous surfaces of 150 x 150 m size. The characteristic values of the test fields asphalt surface [field 4] and Whitetopping „white“ [field 1] were chosen for the simulated calculation.

The material properties of the different test fields that were used as exemplar input parameters were determined in the laboratory or on the test sites and are summarised in Table 6. In order to avoid fringe effects, the entire surface of the model grid sized 150 x 150 m was assumed to be homogeneous asphalt resp. concrete surface.





Fig. 13. Visual impression of a concrete paved holding range in Vienna in 2007; 3-4 years after placing. Directly before and directly after the pictured holding range the pavement is made of asphalt.

Rys. 13. Betonowa nawierzchnia w Wiedniu w 2007 roku; 3-4 lata po ułożeniu. Było to bezpośrednio przed i po wykonaniu nawierzchni z asfaltu.



Fig. 14: Visual impression of the same holding range 10 years later (2017). Concrete still appears bright in comparison to asphalt. Asphalt did not remarkably brighten up. Concrete did not darken in spite the close vicinity to asphalt surfaces.

Rys. 14: Nawierzchnia betonowa 10 lat później (2017). Beton w zasadzie nie zmienił koloru w porównaniu z asfaltem i jest jaśniejszy od asfaltu.

nawierzchni betonowej, a tym samym zdjęciem wykonanym 10 lat później, to jest 13-14 lat po jej ułożeniu [rysunki 12 i 13].

Porównanie wyglądu powierzchni betonowych podczas eksploatacji pokazuje wyraźnie, że beton zachowuje swoje właściwości

Table 6 summarises the results of the albedo measurements of six test fields and the determined maximum surface temperature. The third column describes the emission invariable, identified by comparing the measured surface temperature [PT100] with the determined long wave radiation [Kipp und Zonen 4 Net Radiometer]. Column 4 presents the specific heat capacity of the materials, which was determined in the laboratory.

The simulations using Envi-met show a temperature difference between the asphalt surface and the Whitetopping surface ranging at approximately 11°C, whereas the asphalt surfaces temperature can reach up to 52°C and the Whitetopping surfaces up to 41°C. The displayed maxima of the air temperature, measured at 3:10 pm, at the height of 20 cm above the asphalt surface range at 32,2°C. Above the Whitetopping surface they range at 31,1 °C. We note a temperature difference of 1°C (Fig.9).

In order to estimate the subsequent thermal stress on humans, not only the air temperature but also the short wave and long wave radiation, reaching the human body, are taken into consideration [e.g. Weihs et al., 2012 (19)]. The active radiant flux on the human body and the radiation the body receives are described by mean radiant temperature. Due to the reflecting short wave radiation the mean radiation temperature at 3 pm reaches a higher maximum on the Whitetopping surface [74,9°C] than on the asphalt, where the value ranges at 66,3°C.

Even though the air temperature above a Whitetopping surface is lower, the calculations of the Universal Thermal Climate Index (UTCI) resulting in 42,7°C show a slightly higher thermal stress above cement than over asphalt, where the UTCI reaches 41,6°C. The results of the present study confirm already published studies (20, 21) that point out a growth of thermal stress by an albedo increase in the surrounding area.

optyczne w czasie, nawet w niekorzystnych warunkach, spowodowanych dużą częstotliwością ruchu oraz sąsiedztwem nawierzchni asfaltowych.

## 5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można przedstawić następujące wnioski:

- Za pomocą pomiarów temperatury na różnych głębokościach [0 cm, 2,5 cm, 6 cm i 12 cm] właściwości grzewcze zmieniają się w zależności od rodzaju materiałów nawierzchni. Wyniki badań pokazują, że nawierzchnie betonowe wykazują do 10 K niższe maksymalne temperatury w porównaniu do nawierzchni asfaltowych, co wpływa również na mikroklimat miasta.
- Zastąpienie nawierzchni bitumicznych betonem o białości 0,5 może zmniejszyć temperaturę powietrza w lecie o 1°C. Przeprowadzone badania modelowe również to potwierdzają.
- Według danych Centralnego Instytutu Meteorologii i Geodynamiki w Wiedniu od końca XIX wieku temperatura powietrza w Wiedniu wzrosła o około 2°C (24). Od 1980 r. stwierdzono wzrost temperatury o 1°C.
- Wzrost współczynnika odbicia gruntu prowadzi do zwiększenia stresu termicznego pieszych. Nawierzchnie betonowe mają większy współczynnik odbicia w porównaniu do nawierzchni asfaltowych, jednak symulacje pokazują, że wykonywanie asfaltowych chodników dla pieszych może pomóc w ograniczeniu szoku termicznego.
- W celu określenia, w jaki sposób różne rodzaje nawierzchni wpływają na indywidualne postrzeganie bezpieczeństwa użytkowników dróg oznaczono luminancję zgodnie z normalnymi metodami badawczymi, a także oceniono widoczność ludzi na różnych badanych nawierzchniach. Wyniki pokazują wyraźne zalety stosowania nakładek z betonu w porównaniu do nawierzchni bitumicznych.
- Badanie współczynnika odbicia światła metodą opisaną w pracy jest obiecujące ze względu na łatwość i skrócony czas jego oceny oraz możliwości wykonania badań na miejscu, na przykład podczas inspekcji placów budowy, jeśli wymagane są kluczowe wartości fotometryczne.

Podsumowując, konstrukcja z nakładkami betonowymi, wykonana technologią Whitetopping, jest niedrogą i skuteczną metodą zwiększającą nośność nawierzchni oraz wpływającą korzystnie na warunki oświetlenia obszarów ruchu miejskiego. Badania dowodzą, że istnieje możliwość zmniejszenia temperatury powierzchni i średniej temperatury miejskiej. Ponadto stosowanie nawierzchni betonowych, może znacznie poprawić widoczność użytkowników dróg. Właściwości rodzaju nawierzchni umożliwiają określenie wymagań dotyczących drogowych inwestycji budowlanych w przyszłości.

The influence of an increased street albedo on potential decrease of medium temperature in a large city was subsequently assessed based on the findings in the papers found in literature.

According to Akbari and Rose (22) sealed surfaces represent approx. 29 to 44 % of a city. On the assumption that the streets, without sidewalk, only represent 20 % of the whole area, the increase of the streets albedo from 0,2 to 0,5 would raise the average city albedo to approximately 0,12. Subsequently, in order to estimate the influence on the large-scale climate, Santamouris (23) regression equation, that contextualises the decrease of the average temperature and the maximum temperature of a city as a function of the albedo change, was used. A rise of the city albedo by 0,12 would lead to a decrease of the average and maximum daily temperature on cloudless summer days of 0,4 respectively 1°C.

The last part of the study at hand considers the question whether the positive effects on an albedo increase caused by higher reflecting traffic routes can be used, with a simultaneous prevention of an increased local thermal stress for the people by adapted spatial planning. Techniques to avoid thermal stress for humans were simulated using the Envi-met model [Fig. 10].

Resulting from the identified parameters and based on simulated urban canyons, model calculations for three different scenarios were conducted:

The presumed scenarios were:

- Hedge between sidewalk and street
- Wall between sidewalk and street
- No partitioning between sidewalk and street (Fig. 10).

These calculations are compared to the reference calculation, meaning the simulation of a paved road including a paved sidewalk. In the middle of the urban canyon above the street, the Whitetopping road surface leads to an increase of the mean radiant temperature and subsequently to a rise of thermal stress [Fig. 11]. Still this influence of the higher short wave reflexion of the Whitetopping surface is not discernable in a 1 m distance from the sidewalk, above the asphalt pavement.

### 4.4. Durability of optical properties of concrete

Concrete is a particularly durable construction material. From experience its optical properties are also long-lasting. To picture the durability of its appearance a simple comparison between a 3 - 4 year old concrete pavement and the same picture made 10 years later, 13-14 years after construction, can be used [Figs. 12 and 13].

This simple comparison of the appearance of concrete surfaces during their service-life shows clearly how concrete keeps its positive optical properties also in unfavourable environments [high traffic loads/frequency, vicinity of asphalt surfaces] over time.



## Literatura / References

1. Matzarakis, A.: Die thermische Komponente des Stadtklimas. Habilitation an der Universität Freiburg. Freiburg. 2001 (in German)
2. Helbig, A.; Baumüller, J.; Kerchgens, M.J.: Stadtklima und Luftreinhaltung, 2. Aufl. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York. 1999 (in German)
3. Fezer, F.: Das Klima der Städte. Perthes Geographie Verlag. Gotha. 1995 (in German)
4. Nefzger, H.; Karipot, A.: Einfluß von Strahlung und Mikroklima auf Straßenwetterprognosen. Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten. Wien. 1997 (in German)
5. Wiener Umweltschutzabteilung MA 22, Thermalbild vom 15.08.2001 20-22MEZ
6. Google.at/maps: retrieved in January 2010
7. Zinzi, M.: Cool materials and cool roofs: Potentialities in Mediterranean buildings. Adv. Build. Energ. Res. 2010, 4, S. 201-266.
8. Synnefa A.; Karlessi T.; Gaitani N.; Santamouris M.; ASSIMAKOPOULOS DN.; PAPA KATSIKAS C.: On the optical and thermal performance of cool colored thin layer asphalt used to improve urban microclimate and reduce the energy consumption of buildings. Build Environ, 2011, 46, S. 38-44
9. Doulos L.; Santamouris M.; Livada I.: Passive Cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. Sol Energy 2004, 77(2), S. 231-249.
10. Santamouris M.; Gaitani N.; Spanou A.; Saliari M.; Giannopoulou K.; Vasilakopoulou K.; Kardomateas T.: Using cool paving materials to improve microclimate of urban areas - Design realisation and results of the flisvos project. Building and Environment, 2012, 53, S. 128-136.
11. Weihs, P.: Anordnung der Versuchsfelder (Foto). Stadtverkehrsflächen-Optimierter Beton für den innerstädtischen Bereich. In: Update, Heft 44. 2016. S. 2- 22. (in German)
12. RVS 08.17.02: Deckenherstellung, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien. 2011 (in German)
13. ÖNORM B 3327-1: Zemente gemäß ÖNORM EN 197-1 für besondere Verwendungen - Teil 1: Zusätzliche Anforderungen. Österreichisches Normungsinstitut, Wien. 2005 (in German)
14. ÖNORM EN 13201-4: „Straßenbeleuchtung – Methoden zur Messung der Gütemerkmale von Straßenbeleuchtungsanlagen“, Österreichisches Normungsinstitut, Wien. 2005 (in German)
15. ÖNORM EN 13201-3: Straßenbeleuchtung - Teil 3: Berechnung der Gütemerkmale, Österreichisches Normungsinstitut, Wien. 2005 (in German)
16. BS 8493:2008+A1: 2010: Light reflectance value of a surface – Method of test. BSI Standards Publication, 2008 (14.06.2016)
17. MA 39: Laborbericht über die Bestimmung der Leuchtdichte von unterschiedlichen Straßenoberflächen, Erstellt im Rahmen des Forschungsprojektes von der Magistratsabteilung 39 - Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien, 2015 (in German)
18. Bruse, M.: Envi- met 3.1, Dezember 2009. In: <http://www.envi-met.com/documents/onlinehelpv3/helpindex.htm> (14.06.2016)
19. Weihs, P; Staiger, H; Tinz, B; Batchvarova, E; Rieder, H; Vuilleumier, L; Maturilli, M; Jendritzky, G; . (2012): The uncertainty of UTCI due to uncertainties in the determination of radiation fluxes derived from measured and observed meteorological data. Int J Biometeorol. 2012; 56(3):537-555
20. Hui, Li: Evaluation of Cool Pavement Strategies for Heat Island Mitigation. Phd University of California, 2012
21. Lee, H.; Mayer, H.; Schindler, D.: Importance of 3-D radiant flux densities for outdoor human thermal comfort on clear –sky summer days in

## 5. Conclusions

Based on the conducted investigations following results can be presented:

- By means of measurements of the temperatures at different depths [0 cm, 2,5 cm, 6 cm and 12 cm] the various heating behaviours of the different materials could be displayed. The results show that concrete surfaces exhibit up to 10 K lower temperature maxima compared to mastic asphalt resp. asphalt surfaces. This heating behaviour, which can be detected up into a depth of 12 cm, obviously also influences the microclimate of a city.
- Replacing bituminous surfaces with concrete [i.e. Whitetopping] with a 0,5 albedo would reduce the air temperature in summer by approx. 1°C. The conducted model simulations of the air temperature above a homogenous area sized 150 x 150 m also exhibit a temperature decrease of the Whitetopping surface compared to asphalt by 1°C.
- According to the data of the Central Institute for Meteorology and Geodynamics in Vienna (24) the atmosphere in Vienna has warmed up by approx. 2°C since the end of the 19th century. In the period since 1980 alone a temperature increase by 1°C was determined. The usage of concrete instead of bituminous materials for the inner-city traffic areas presents a significantly positive contribution to the inner-city climate resp. the inner city heat
- A higher ground reflection would however lead to a higher thermal stress for the pedestrians. Simulations however show that lower reflecting [asphalt] pavements [for the pedestrians] would be a protective measure that would provide enough protection from the thermal stress provoked by the high reflecting road surface.
- In order to determine how the different surfaces influence the individual perception of safety of the road users resp. their visibility, an investigation of the illumination of the different road surfaces is conducted. For this purpose the luminance in accordance with normative investigation procedures was determined on the one hand and on the other hand the visibility of people on different traffic area surfaces was assessed. The results show clear advantages of the cement bound construction methods (cement surface, Whitetopping construction) compared to bituminous traffic area surfaces (asphalt surface, mastic asphalt). Using the visibility evaluation of people, the measured difference in light density can be clearly confirmed.
- The determination of the reflectance provides a promising test method for easy and quick assessments on site, i.e. during inspections of construction sites, if key photometric values are required. The resulting values correlate well to the time consuming and expensive light density determination.

In conclusion, it can be summarised that the Whitetopping construction is an efficient method in order to improve carrying capacity as well as the luminosity properties of urban traffic areas in a simple and cost efficient manner. The investigations prove that



Freiburg, Southwest Germany, Meteorologische Zeitschrift, 2014, Vol. 23, No. 3, S. 315-330

22. Akbari, H.; Rose, L.s.: Urban surfaces and heat island mitigation potentials. Journal of the Human-Environment System, 2008, 11, S. 85-101

23. Santamouris, M.: Cooling Cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environment. Solar Energy 2014, 103, S. 682-703

24. Zamg: Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. In:<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/neoklima/lufttemperatur> (14.06.2016) (in German)

the surface temperature and the general temperature level in the inner city area could be substantially decreased. Additionally the usage of lighter materials like concrete can significantly improve the visibility of road users during the same illumination levels at night. Furthermore the various test fields enable the clear definition of requirements for the future construction of such road structures.