

Mieczysław LEŚKO

Grzegorz NOWACZYK

OCENA ISTNIEJĄCYCH I NOWYCH WARUNKÓW ORAZ SPRZĘTU DO BADAŃ PEŁZANIA  
BETONÓW ASFALTOWYCH

**Streszczenie.** Opracowanie zawiera krótką charakterystykę metod badań właściwości mechanicznych i reologicznych betonów asfaltowych i warunki, jakim powinny odpowiadać wykonywane badania pełzania oraz opis stanu istniejącej i prototypowej - opracowanej przez autorów - aparatury do badań pełzania mas mineralno-asfaltowych.

## 1. WSTĘP

Beton asfaltowy jest materiałem złożonym, wykazującym w nawierzchniach drogowych i lotniskowych niejednorodność, nieliniowość odkształceń i wzrost sztywności w procesie starzenia. Charakteryzuje się on skomplikowanymi związkami pomiędzy naprężeniami i odkształceniami w szerokim zakresie czasowo-termicznym i obciążeń. Reologiczny charakter betonu asfaltowego jest bardziej skomplikowany w porównaniu z innymi materiałami stosowanymi i w budownictwie. Stąd mogą powstać w nawierzchniach podczas ich normalnej eksploatacji - pod wpływem ruchu drogowego lub lotniczego oraz czynników klimatycznych [2], następujące charakterystyczne defekty i odkształcenia [55]:

- spękania (podłużne i poprzeczne, nieregularne, siatkowe, blokowe, krawędziowe i poślizgowe),
- odkształcenia (zapadnięcia, sfalowania, koleiny, fałdy i pęcherze),
- ubytki (ziaren kruszywa lub zaprawy, warstwy ścieralnej),
- wpływ lepszca lub zaprawy ("pocenie się" nawierzchni i wpływ wody lub zawiesiny),
- łaty wyniatające z wymiany lub uzupełnienia warstw ścieralnych.

Wymienione uszkodzenia są generalnie uznawane za najważniejsze przyczyny pogorszenia cech eksploatacyjnych nawierzchni z betonu asfaltowego. Dotyczy to zarówno nawierzchni nowych, jak i eksploatowanych przez dłuższy czas.

Do oceny własności mechanicznych i reologicznych betonów asfaltowych oraz przeciwstawienia się wymienionym negatywnym zjawiskom stosuje się następujące metody badań:

- a) metody konwencjonalne,
- b) badania zmęczeniowe,
- c) badania próbek poddanych obciążeniu od toczącego się koła,
- d) nowe metody polegające na badaniu wytrzymałości i podatności na odkształcenia.

W celu gruntownego poznania właściwości betonów asfaltowych zaistniała konieczność nie tylko rozwiązania problemów techniczno-materiałowych, lecz również usprawnienia metod badań i projektowania składu mas mineralno-bitumicznych.

W 1977 r. na międzynarodowym kolokwium w Zurychu [6] przyjęto (spośród przedstawionych metod badawczych) metodę pełzania jako standardową do oceny odporności betonów asfaltowych na odkształcenia lepko-sprężysto-plastyczne i jako wspomagającą badania konwencjonalne metodą Marshalla w projektowaniu składu mas mineralno-bitumicznych w celu uzyskania bardziej zbliżonej do rzeczywistości oceny ich odporności na powstawanie odkształceń trwałych. Szczegółowe badania pełzania pod stałym obciążeniem ściskającym umożliwiają określenie bezpośrednio z krzywej pełzania takich parametrów, jak:

- odkształcenia - natychmiastowe, całkowite i sprężyste;
- naprężenia - lepkie, lepko-odwracalne i lepko-trwałe;

Ponadto, wykorzystując odpowiednie modele reologiczne, można obliczyć następujące parametry:

- moduły: sprężystości natychmiastowej i sprężystości opóźnionej;
- współczynniki: lepkości pełzania, lepkości opóźnienia sprężystego itp.

Uwzględniając omówione problemy przedstawione w niniejszym opracowaniu oraz wieloletnie zainteresowania autorów tą tematyką - szczególnie w kontekście stosowanych aparatów - w Zakładzie Budowy Dróg i Ulic Politechniki Śląskiej w Gliwicach w ramach pracy własnej pt. "Opracowanie metod badań nawierzchni bitumicznych z uwzględnieniem reologicznych własności betonów asfaltowych" oraz pracy naukowo-badawczej, zleconej przez Śląskie Przedsiębiorstwo Robót Drogowych w Mikołowie, pt. "Trwałość drogowych nawierzchni bitumicznych wykonywanych przez Śl.PRD", wykonano prototypową aparaturę do badania pełzania betonów asfaltowych.

## 2. KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA METOD BADAŃ WŁASNOŚCI MECHANICZNYCH I REOLOGICZNYCH BETONÓW ASFALTOWYCH [1, 2, 3, 6]

### 2.1. Badania konwencjonalne

Do najbardziej rozpowszechnionych prostych metod badań własności mechanicznych, obecnie uznawanych za metody konwencjonalne, zalicza się badania wytrzymałości na ściskanie proste (Durieza), badania stabilności i odkształcenia w próbie Marshalla, badania Hubbard-Filda, Hveema oraz badanie penetrometrem stożkowym. Metody te w sposób fragmentaryczny określają cechy betonów asfaltowych - nie uwzględniają sposobu przygotowania próbek, szerokiej skali temperatur, w jakich nawierzchnie pracują, a także prędkość przesuwu tłoka nie odpowiada rzeczywistym stanom naprężeń w nawierzchni. Również nie umożliwiają dokładnego przewidywania i korygowania błędów we wnioskowaniu o przyszłych własnościach betonów asfaltowych podczas ich eksploatacji w nawierzchniach drogowych i lotniskowych. Do niewątpliwych zalet przedstawionych metod należy prostota badań, krótki czas ich trwania oraz niskie koszty ich wykonywania.

### 2.2. Badania zmęczeniowe

Z uwagi na konieczność gruntownego poznania własności mechanicznych betonów podczas ich eksploatacji w nawierzchniach, opracowano metody uwzględniające w większym stopniu niż omówione poprzednio następujące czynniki:

- zależności pomiędzy naprężeniami i odkształceniami w szerszym zakresie temperatur i obciążeń;
- wielkości liczbowe parametrów przydatnych w wymiarowaniu (moduły, wytrzymałość zmęczeniową i odporność na powstawanie odkształceń stałych);
- wpływ rodzaju i zawartości wskaźników na własności mechaniczne badanych betonów asfaltowych;
- sposób obciążenia próbek bardziej zbliżony do rzeczywistych, występujących podczas ruchu kołowego.

Badania zmęczeniowe można podzielić na dwie grupy:

1. Badania zachowania się betonów asfaltowych przy powtarzającym się cyklicznie zginaniu (pęknięcia zmęczeniowe, zarysowania powstające przy małych obciążeniach i w zakresie niskich temperatur).
2. Badania zachowania się betonów asfaltowych przy powtarzającym się ściskaniu (odkształcenia trwałe, koleiny powstające w wysokich temperaturach i przy długotrwałym obciążeniu).

Jednak z uwagi na ich wysoki koszt, pracochłonność oraz długotrwałość badań, a także z praktycznego punktu widzenia, badania te nie są wykonywane powszechnie.

### 2.3. Badania próbek poddanych obciążeniu od toczącego się koła

W metodzie tej przyjęto stosowanie obciążeń zbliżonych do tych, które są wywoływane podczas eksploatacji nawierzchni pod ruchem drogowym. Generalnie przyjmuje się dwa schematy obciążenia:

- obciążenie kołem poruszającym się po linii prostej "tam i z powrotem",
- obciążenie kołem poruszającym się po okręgu.

Badania te uwzględniają wymagania praktyki - dokładniejsze i szybsze oszacowanie własności badanych betonów asfaltowych w trakcie eksploatacji nawierzchni z nich wykonanych. Możliwości tych nie dają badania konwencjonalne, a badania zmęczeniowe wymagają użycia skomplikowanych urządzeń i poniesienia wysokich kosztów. Podstawowym celem tej metody badań jest opracowanie nowej metody projektowania betonów asfaltowych odpornych na powstawanie odkształceń trwałych w postaci kolein.

Omówione badanie można podzielić na dwie grupy:

- wykonywane na laboratoryjnych symulatorach ruchu;
- wykonywane na poligonach doświadczalnych.

Obciążenia próbek przyjęte w tych badaniach nie są identyczne z obciążeniem rzeczywistym występującym podczas ruchu drogowego, to jednak sposób obciążenia próbki przyjęty w badaniu odzwierciedla zadowalające obciążenia od ruchu rzeczywistego. Badania te dostarczają wielu informacji, a równocześnie są znacznie tańsze niż badania zmęczeniowe, jednak są one stosunkowo długotrwałe. Metoda ta stała się podstawą do opracowania nowych, szybkich, praktycznych i prostych metod badań wytrzymałości betonów asfaltowych.

### 2.4. Nowe metody badań wytrzymałości i odkształcalności betonów asfaltowych

Do tej grupy metod należą:

- badanie wytrzymałości na rozciąganie;
- badania pełzania przy rozciąganiu;
- badania pełzania przy ściskaniu (ściskanie przy stałym obciążeniu).

Wymienione metody badań zostały opracowane na podstawie doświadczeń uzyskanych z badań podstawowych. Są one przykładem dobrze wyważonego

kompromisu między rozwiązaniami naukowymi a wymaganiami praktyki - prostotą, prędkością pomiaru i niskimi kosztami. Przyjęte w nich warunki pomiaru nie wpływają istotnie na wartości parametrów.

Z wymienionych powodów, od drugiej połowy lat siedemdziesiątych, wiele zagranicznych ośrodków naukowo-badawczych zajęło się ustaleniem standardów i urządzeń do badania i oceny pełzania betonów asfaltowych. Badania te wykonywano w różnych warunkach i temperaturach, na różnej aparaturze i różnych próbkach pod różnymi obciążeniami. W Polsce problematyką tą zajmują się:

- Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie,
- Zakład Budowy Dróg i Ulic Instytutu Budowy Dróg Politechniki Śląskiej w Gliwicach,
- Instytut Inżynierii Komunikacyjnej Politechniki Gdańskiej,
- Instytut Dróg, Kolei i Mostów Politechniki Krakowskiej,
- Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej.

### 3. WARUNKI BADANIA PEŁZANIA

Wiodącymi ośrodkami naukowo-badawczymi w Europie w zakresie badań pełzania betonów asfaltowych oraz praktycznego wykorzystania tych badań są [6]:

- Politechnika w Zurychu,
- Państwowe Laboratorium Drogowe RWL w Holandii,
- laboratoria AUTOSTRADE SPA w Rzymie i SNAM PROGETT w Mediolanie,

Wymienione ośrodki postulują warunki, jakim powinny odpowiadać wykonywane badania pełzania. Postulaty te dotyczą:

- jednakowego stopnia zagęszczenia mieszanki mineralno-bitumicznej w każdym przekroju poprzecznym próbki;
- równoległości powierzchni obciążanych;
- maksymalnej eliminacji tarcia między płytami naciskowymi a powierzchniami obciążanymi próbki;
- utrzymania stałej temperatury w czasie termostatowania i badania próbki;
- konieczności przyłożenia obciążenia wstępnego;
- przyłożenia obciążenia stałego w sposób statyczny, bez wstrząsów;
- utrzymania stałego nacisku w ciągu całego czasu badania.

Jednocześnie zespoły badacze Politechniki w Zurychu pod kierownictwem S. Huscheka oraz Państwowego Laboratorium Drogowego w Holandii opracowały podstawowe warunki badania pełzania. Są one następujące:

1. Przyjmuje się wymiary próbek w zależności od zawartości ziaren kruszywa w betonie asfaltowym:

- ziarna kruszywa  $\phi$  do 16 mm - próbka  $\phi$  100 mm lub 4 cale, wysokość min.  $60 \pm 5$  mm;
- ziarna kruszywa  $\phi$  16 - 40 mm - próbka  $\phi$  150 mm lub 6 cali, wysokość min.  $100 \pm 5$  mm;

W celu zmniejszenia wpływu tarcia płyt naciskowych zaleca się badać próbki możliwie smukłe (stosunek wysokości do średnicy większy od 1, nawet do 2,4).

2. Temperatura badania: podstawowa  $40 \pm 1^\circ\text{C}$ , pomocnicza  $20^\circ\text{C}$ .

3. Obciążenie wstępne mniejsze niż 2% obciążenia stałego w czasie nie dłuższym niż 10 minut.

4. Naprężenie ściskające -  $0,1 \text{ MPa} \pm 3\%$  w  $40^\circ\text{C}$ .

5. Czas badania - obciążenie - 1 h, odciążenie - jeżeli jest mierzone - 1 h.

6. Mierzone i obliczane parametry:

- odkształcenie przy pełzaniu

$$\epsilon = \frac{\Delta h}{h} [\%];$$

- prędkość odkształcenia w końcowej fazie badania

$$\dot{\epsilon}_{1h} = \frac{d\epsilon}{dt},$$

- odkształcenie odwracalne  $\epsilon_{\text{odwr}}$ ,
- odkształcenie trwałe  $\epsilon_{\text{trw}}$ , przy czym  $\epsilon = \epsilon_{\text{odwr}} + \epsilon_{\text{trw}}$ ,
- moduł sztywności mieszaniki mineralno-bitumicznej

$$S_m(T, t) = \frac{\sigma}{\epsilon(T, t)}.$$

Graficzne przedstawienie funkcji  $\epsilon(t)$  może być w skali zwykłej lub podwójnej logarytmicznej. Przyjęcie skali podwójnej logarytmicznej umożliwia przedstawienie funkcji  $\epsilon(t)$  w postaci linii prostej o równaniu:

$$\log \epsilon = A + B \log t,$$

gdzie:

- A - rzędna przecięcia linii prostej wykresu pełzania w punkcie  $t = 1$  minuta,
- B - nachylenie linii prostej wykresu pełzania.

7. W przypadku próbek wyciętych z nawierzchni dopuszcza się układanie ich luzem jedna na drugiej w liczbie nie przekraczającej 3 sztuk po uprzednim odpowiednim wyrównaniu powierzchni styku.

Natomiast projekt włoskiej normy CNR z 1981 roku zaleca następujące podstawowe warunki badania pełzania:

1. Wymiary próbek: Wysokość próbki  $h$  powinna być nie mniejsza niż 1,5-krotna średnica. Próbki mogą być wykonywane w laboratorium (o kształcie cylindrycznym) lub wycięte z nawierzchni (o kształcie pryzmatycznym).

Próbki z mieszanki mineralno-bitumicznej o średnicy ziaren kruszywa do 20 mm powinny mieć średnicę 80 mm i wysokość 160 mm. Gdy średnica (mierzona sitami o okrągłych oczkach) ziarn kruszywa w mieszance jest większa od 20 mm, próbki powinny mieć średnicę 100 mm i wysokość 200 mm.

2. Zagęszczenie mieszanki mineralno-bitumicznej powinno być równe co najmniej 98% zgęszczenia uzyskanego z próby Marshalla po  $2 \times 75$  uderzeniach ubijaka.

3. Temperatura badania: 0, 20, 40  $\pm$  1°C.

4. Obciążenie wstępne nie większe niż 0,01 MPa.

5. Naprężenie ściskające powinno być stałe z dokładnością  $\pm$  1%, jego wartość nie powinna wywoływać większego odkształcenia względnie niż 0,5%.

Jednocześnie włoska norma zaleca, aby w przypadku badania betonów asfaltowych na warstwy ścieralne i wiążące stosować w zależności od temperatury badania następujące wartości naprężeń ściskających:

- w temperaturze badania 0°C: 0,2 do 0,4 MPa;

- w temperaturze badania 20°C: 0,1 do 0,2 MPa;

- w temperaturze badania 40°C: 0,05 do 0,1 MPa;

6. Czas badania - Obciążenie próbki podczas badania w temperaturze 20°C lub mniejszej trwa 1000 s. Obciążenie próbki podczas badania w temperaturze większej od 20°C trwa 500 s. Czas obciążenia próbki powinien być trzykrotnie dłuższy od czasu obciążenia. Przez pierwsze 5 s działania obciążenia odkształcenie próbki mierzy się co 0,5 s, a następnie w zakresie od 5 do 50 s i powyżej 50 s od chwili przyłożenia obciążenia - co 50 s.

7. Obliczane parametry:

$$I(t) = \frac{\epsilon(t)}{\sigma_0} [\text{MPa}^{-1}]$$

przy czym  $I(t) = I_1 \times t^\alpha$ , gdzie  $I_1$  jest wartością rzędnej dla 1 s, natomiast  $\alpha$  jest kątem pochylenia wykresu pełzania w zakresie pomiędzy 1 a 10 s narysowanego w podwójnej skali logarytmicznej.

Z krzywej odciążenia oblicza się również parametr  $I_p$

$$I_p = \frac{\epsilon_p}{\sigma_0} \times t_p$$

gdzie:  $\epsilon_p$  - odkształcenie nieodwracalne,

$t_p$  - czas obciążenia.

Parametry te są podstawą do obliczenia modułu zespolonego  $\bar{E}$ .

#### 4. APARATURA DO BADANIA PEZZANIA BETONÓW ASFALTOWYCH

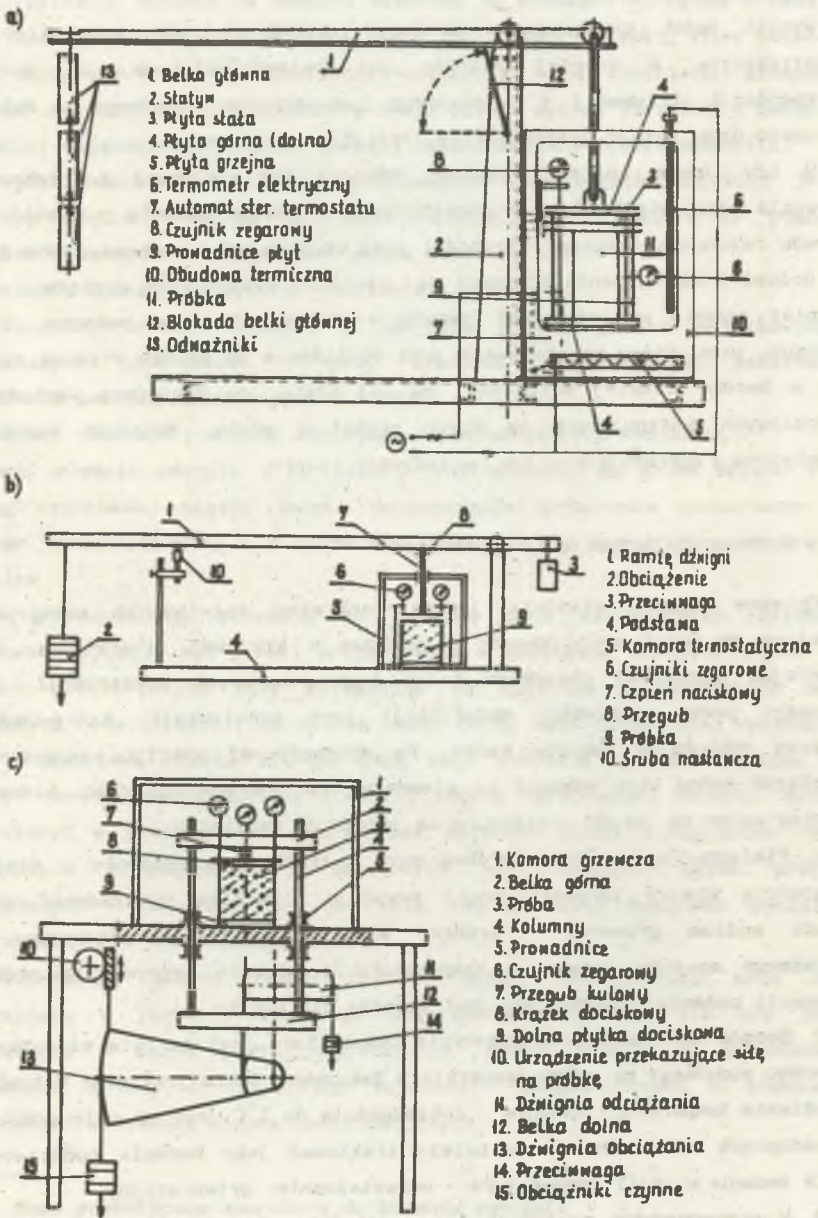
##### 4.1. Istniejąca aparatura do badania pezzania

Zalecane warunki badania pezzania sprecyzowane przez Huscheka i Bolka, włoski projekt normy oraz dotychczasowe doświadczenia z pierwszych prób badania pezzania mas bitumicznych, dokonanych przez Hillsa, Van de Loo i Van der Poela, stały się bardzo pomocne w wykorzystaniu metody badania pezzania oraz inspirująco wpłynęły na rozpoczęcie opracowania urządzeń do tych badań.

W latach osiemdziesiątych opracowano w różnych ośrodkach trzy prototypowe urządzenia do badania pezzania - tzw. *pezzarki*. Jedną z pierwszych pezzarek opracowano w Zakładzie Budowy Dróg i Ulic Politechniki Śląskiej w Gliwicach (rys. 1a) [4]. Jest to pezzarka jednostanowiskowa, umożliwiająca obciążenie próbki o średnicy 70 mm i wysokości 100 mm siłą od 25 do 200 daN, co stanowi wartość naprężenia od 0,065 do 0,520 MPa. Odczytu przemieszczeń dokonuje się za pomocą czujników. Badanie wykonuje się w temperaturach 20, 40 i 60°C. Do zapewnienia potrzebnej temperatury w czasie badania zastosowano grzałkę umieszczoną w dolnej części komory. Obciążenie jest przekazywane przez dźwignię powodującą podnoszenie się płyty dolnej ku górze. Ruch płyt względem siebie przebiegał w płaszczyznach równoległych, co zostało wymuszone umieszczeniem dolnej, ruchomej płyty w prowadnicach. Pomiar i utrzymanie odpowiedniej temperatury następowały przez układ termometru z ogranicznikiem temperatury oraz grzałki.

Również w pierwszej połowie lat osiemdziesiątych w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów w Warszawie dokonano adaptacji metody badania cech betonu asfaltowego przez pomiar pezzania [7]. W celu wykonania badania pezzania przystosowano penetrometr do standardowego badania mas bitumicznych na powstawanie odkształceń trwałych (rys. 1b). Jest to urządzenie składające się z jednostanowiskowej komory termostatycznej, gdzie próbka o średnicy 101 mm i wysokości 150 mm jest obciążana za pomocą dźwigni osłowo od góry siłą ściskającą o wartości do 200 daN. Obciążenie jest przekazywane za pomocą dwóch płytek metalowych o wadze nie większej niż 480 g przez dźwignię, która powoduje wzajemny ruch płytek górnej i dolnej względem siebie. Pomiar odkształceń odbywa się za pomocą czujników zegarowych umieszczonych wewnątrz komory termostatycznej z dokładnością do 0,01 mm. Przygotowanie i pielęgnacja termiczna próbek do odpowiedniej temperatury następuje poza termostatem - w suszarce laboratoryjnej z wymuszonym obiegiem powietrza, w czasie 1 lub 2 h. Badanie wykonuje się w temperaturach 20 i 40°C i przy naprężeniach ściskających 0,0367; 0,098; 0,159 MPa, stosownie do obciążenia dźwigni





Rys. 1. Schematy aparatu: wykonanego w ZBDIU Politechniki Śl. w Gliwicach [4], b) i c) - wykonane w IBD 1 M [7]

Fig. 1. Apparatus made in the Road and Street Construction Department of Silesian Institute of Technology in Gliwice [4], b) c) - made in the Institute of Road and Bridge Construction [7]

pełzarki ciężarem odpowiednio 30, 80 i 130 daN. Czas trwania obciążenia i odciążenia próbki wynosi 0,5; 1 i 3 h.

Wyniki badań uzyskane w omówionym urządzeniu nie zadowolili jego konstruktorów. W drugiej połowie lat osiemdziesiątych, na podstawie dokumentacji otrzymanej z Państwowego Laboratorium Drogowego w Holandii, wykonano drugą wersję pełzarki (rys. 1c) [5].

W tzw. nowym aparacie kształt dźwigni obciążającej i równoważającej zapewnia stałą wielkość siły obciążającej w czasie badania - został w ten sposób rozwiązany problem zmienności siły obciążającej podczas ruchu dźwigni ku dołowi i zmniejszeniu długości jej rzutu na płaszczyznę poziomą - a więc również momentu względem osi obrotu - podczas trwania badania. Ponadto przegub, przez który przekazywane jest obciążenie na płytkę stykową znajduje się w bardzo bliskiej odległości od tej płyty, co zmniejsza wartości sił nieosiowych występujących na styku próbki z płytą. Metodyka badań jest identyczna z występującą w tzw. urządzeniu starym.

#### 4.2. Uwagi do istniejącej aparatury

Opisane aparaty stanowią jedyne konkretne rozwiązania konstrukcyjne wdrożone do badań opublikowane dotychczas w krajowej literaturze. Wysoko oceniając pionierski charakter badań i proponowanych konstrukcji, należy zauważyć pewne możliwości modyfikacji tych konstrukcji, które zapewnią większą dokładność wyników badań. Po szczegółowej analizie proponowanych rozwiązań można więc wskazać na elementy istniejących aparatów, które mają istotny wpływ na jakość wyników, a są jednak do usunięcia:

1. Pielęgnacja termiczna próbek poza pełzarką w połączeniu z minimalną objętością komory termostatycznej powoduje niewielką bezwładność cieplną układu medium grzewcze - próbka. Wobec jednocześnie stosunkowo mało dokładnego sposobu ustalania temperatury w trakcie wygrzewania próbki i wykonania badania, czynnik ten jest istotny dla wyniku.

2. Sposób ustalania i utrzymywania temperatury jest na tyle niedoskonały, że wobec podatnego na wpływ temperatury tworzywa, jakim jest masa bitumiczna, określenie temperatury badania z dokładnością do  $1^{\circ}\text{C}$  jest za mało dokładne w prowadzonych badaniach, które należy traktować jako badania podstawowe, a wynik badania w skali temperatura - odkształcenie: orientacyjny.

3. W proponowanych aparatach nie uwzględnia się wpływu osiadiania próbki pod jej własnym ciężarem. Cecha ta, zwłaszcza przy badaniach w niskich temperaturach ( $20^{\circ}\text{C}$ ), nie jest dyskwalifikująca niemniej jednak wyeliminowanie jej pozwoli na zmniejszenie marginesu błędu pomiaru.

4. Proponowany jednostopniowy sposób zagęszczenia próbki nie daje możliwości interpretacji wyników na badania wykonane na próbkach wyciętych z nawierzchni. Dlatego wydaje się konieczne takie zagęszczenie próbki, które pozwoli odnieść otrzymane wyniki do doświadczeń uzyskanych przez wieloletnie stosowanie metody Marshalla i jednocześnie pozwoli ocenić wyniki otrzymane z badania nawierzchni dogęszczonych ruchem powyżej zagęszczenia w próbce Marshalla.

5. Pomiar odkształcenia w zaproponowanych urządzeniach obarczony jest pozornym błędem - wobec ustalenia częstotliwości pomiaru za pomocą interwałów czasowych, błędu pomiaru można doszukać się:

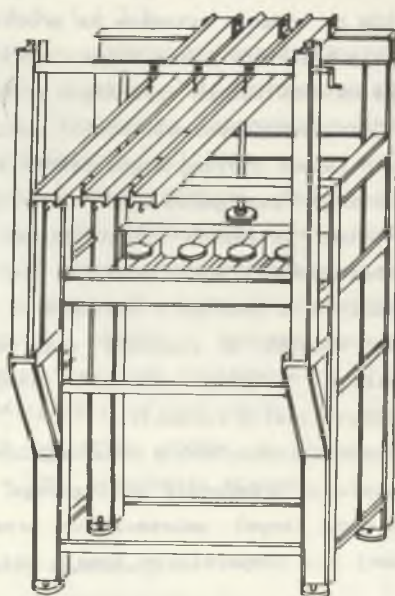
- w ustaleniu momentu odczytu na podstawie czasomierza,
- w długości trwania odczytu z czujnika zegarowego (w początkowych, najkrótszych interwałach i przy wyższych temperaturach wskazówka urządzenia podczas odczytu jest w ruchu!),
- w odstępie czasowym pomiędzy odczytami z poszczególnych czujników,
- w samym błędzie odczytu z urządzenia analogowego, na które: składa się szereg czynników, między innymi umieszczenie urządzenia pomiarowego w komorze termostatycznej - w temperaturze innej, niż temperatura komparcji czujnika.

6. W proponowanych metodach do badania cech reologicznych betonów asfaltowych stosuje się próbki przygotowane w warunkach laboratoryjnych. W warunkach rzeczywistych masy bitumiczne są wykonane w wytwórniach mas bitumicznych (otaczarkach), na skutek czego cechy masy bitumicznej wykonanej metodą przemysłową różnią się od cech masy wykonanej w laboratorium, z dokładnym naważaniem składników i ściśle według opracowanej recepty. Można więc założyć w proponowanych dotychczas metodach pewną niezgodność cech reologicznych przebadanych i ustalonych na podstawie badań próbek przygotowanych w laboratorium oraz cech reologicznych będących wynikiem próbek wyciętych z nawierzchni.

7. Proponowany zakres temperatury do badań reologicznych może być wystarczający w fazie praktycznego wykorzystania metody, ale nie jest wystarczający w fazie badań podstawowych, które pozwolą na określenie przydatności metody i wszystkich zależności matematycznych z modelami reologicznymi mieszanek mineralno-bitumicznych.

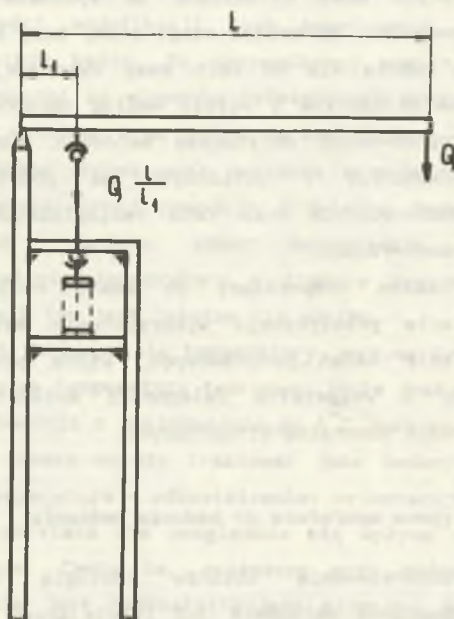
#### 4.3. Nowa prototypowa aparatura do badania pełzania

Wieloletnie zainteresowanie autorów reologią betonów asfaltowych i przedstawione rozważania dotyczące już istniejących aparatów do badania pełzania spowodowały powstanie projektu wykonania nowej aparatury, która byłaby wolna od wymienionych wad.



Rys. 2. Konstrukcja komory termostaticznej i układu obciążającego

Fig. 2. Structure of the thermostatic and load system



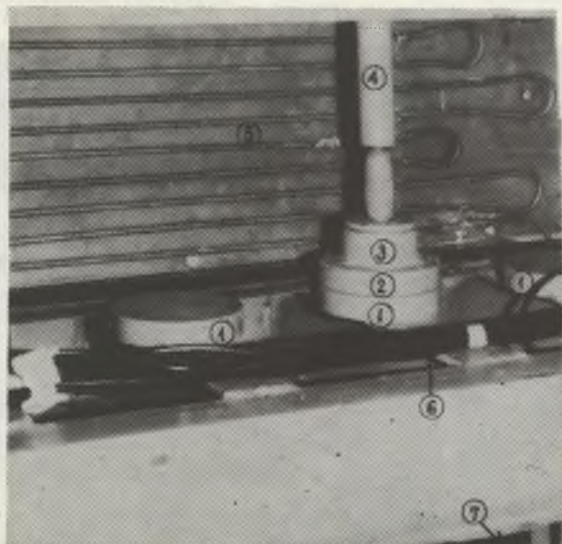
Rys. 3. Schemat statyczny obciążenia

Fig. 3. Static load diagram



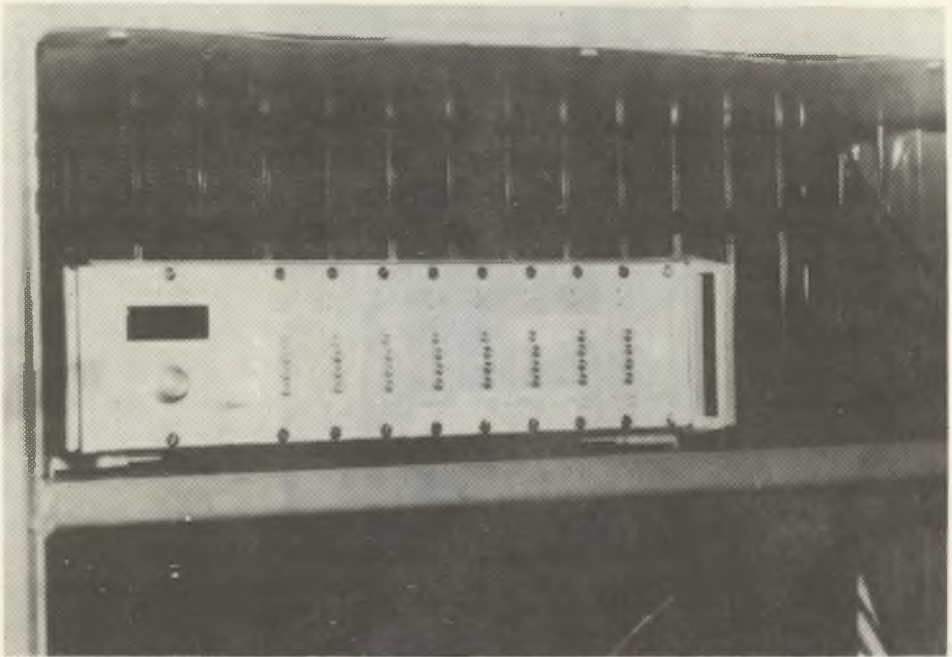
Rys. 4. Komora termostaticzna z układem obciążającym grzejno-chłodniczym i wzmacniaczem przemieszczeń liniowych (bez dźwigni obciążających i przekazujących obciążenie)

Fig. 4. Thermostatic chamber with a heating-cooling load system and linear displacement amplifier (with no loading levers and load transmitting levers)



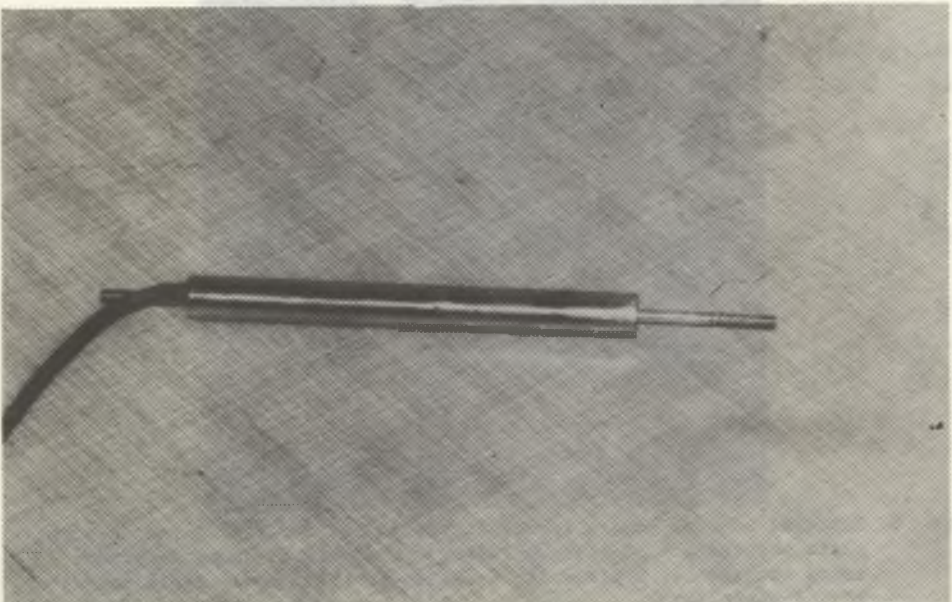
Rys. 5. Szczegół wnętrza komory termostaticznej: 1-standowisko dolne, 2-górna płyta obciążająca, 3-przegub kulowy w obudowie, 4-dźwignia przenosząca obciążenie, 5-parownik, 6-wiązka kabli do podłączenia czujników, 7-skraplacz

Fig. 5. Thermostatic chamber interior detail: 1-bottom stand, 2-upper loading plate, 3-ball- and- socket joint in casing, 4-load trasmitting lever, 5-steamer, 6-group of wires for detector connection, 7-condenser



Rys. 6. Wzmacniacz ośmiokanałowy przemieszczeń liniowych

Fig. 6. Eight - channel linear displacement amplifier



Rys. 7. Czujnik transformatorowy przemieszczeń liniowych

Fig. 7. Transformer detector of linear displacement



Rys. 8. Stanowisko komputerowe z interfejsem do połączenia wzmacniacza przemieszczeń liniowych

Fig. 8. Computer console with interface for connecting the linear displacement amplifier

Nawiązano współpracę ze Śląskim Przedsiębiorstwem Robót Drogowych w Mikołowie i wspólnymi siłami i środkami Politechniki Śląskiej i Śl. PRD wykonano prototypową aparaturę do badania pełzania betonów asfaltowych, przedstawioną na rys. 2 - 8.

Do badań zmodyfikowaną metodą używane są próbki w kształcie walców o średnicy takiej jak próbki w metodzie Marshalla, tj. 4 cale. Nowość stanowi fakt, iż do badania są przygotowywane z masy bitumicznej pobieranej w wytwórni mas bitumicznych, z bieżącej produkcji przeznaczonej do robót. Wysokość próbki przyjęta do badania wynosi 160 mm, natomiast długość bazy pomiarowej (odcinka podlegającego pomiarowi) wynosi 100 mm. Takie przyjęcie wymiarów i bazy próbki pozwala całkowicie wyeliminować zaburzenia brzegowe powstające na skutek tarcia poziomych płaszczyzn próbki o tarcze naciskowe oraz zmienność naprężeń w płaszczyźnie styku próbki z tarczą naciskową, co występuje w przypadku minimalnych nawet różnic w wysokości próbki na jej powierzchni (dla porównania - w aparacie IBDiM pomiarowi podlega cała próbka włożona do pełzarki, przed pomiarem próbki są mierzone i te, których wymiary

nie odpowiadają założonym empirycznie tolerancjom, są odrzucone). Próbkę do badań wykonywane są w wyższych formach (wysokość próbek wynosi 160 mm), o średnicy jednak identycznej z próbką Marshalla. W celu porównania własności reologicznych uzyskiwanych z badań pełzania z wykonywanymi równolegle badaniami stabilności i odkształcenia w próbie Marshalla, energię zagęszczania próbek uzależniono w prosty sposób od energii zagęszczania w próbie Marshalla. Średnia energia zagęszczania w badaniu Marshalla - przy zagęszczeniu  $2 \times 75$  uderzeń (praca 3 kJ), wynosi  $5,827 \text{ MJ/m}^3$ , czyli 0,2914 uderzenia na  $1 \text{ cm}^3$ . Po przeliczeniu na próbkę zmodyfikowaną o objętości teoretycznej  $1297,1712 \text{ cm}^3$  (rzeczywista objętość będzie zależała od gęstości, a więc od składu mieszanki, może się więc wahać w niewielkim zakresie), aby uzyskać energię identyczną z tą, którą zagęszczana jest próbka standardowa, należy zmodyfikowaną próbkę poddać  $2 \times 189$  uderzeniom. W celu uzyskania danych z pomiarów również w skali stopni zagęszczenia, co ma szczególne znaczenie przy badaniu próbek wyciętych z nawierzchni i eksploatowanych przez pewien czas, produkuje się również próbki o energii zagęszczania wynoszącej 1,50 standardowej ( $8,741 \text{ MJ/m}^3$ ), co stanowi zagęszczenie  $2 \times 283$  uderzenia oraz zagęszczone mniej niż standardowo - energia zagęszczania wynosi  $3,885 \text{ MJ/m}^3$ , co odpowiada w próbce standardowej  $2 \times 50$  uderzeniom ubijaka. W przeliczeniu na próbkę zmodyfikowaną, stosuje się w tym przypadku  $2 \times 126$  uderzeń ubijaka.

Aparat do badania pełzania składa się z komory termostatycznej (rys. 4 i 5) odizolowanej od otoczenia wełną mineralną w płaszczu z balachy stalowej. Komora mieści cztery stanowiska (rys. 2) dla próbek masy bitumicznej, które są badane jednocześnie, przy czym trzy próbki są obciążane zadaniem naprężeniem a jedna pełni rolę "świadka" w celu wyeliminowania z otrzymanych wyników pełzania próbki pod własnym ciężarem. Stanowiska są wykonane jako walce stalowe o średnicy równej średnicy próbek, tj. 4 cale. Próbki umieszczone na stanowiskach są obciążone za pośrednictwem górnych tarcz naciskowych ze stali, do których za pośrednictwem przegubu kulowego, pionowo do góry, przyłożone jest obciążenie z dźwigni (rys. 3). Zakres temperatur ustalony i możliwy do uzyskania w tym urządzeniu wynosi od  $-20$  do  $+60 \pm 1^\circ\text{C}$ . Kontrola i sterowanie temperaturą odbywa się za pomocą mikroprocesorowego sterownika (stanowiącego również rozwiązanie prototypowe), pozwalającego na osiągnięcie takiego zakresu i dokładności. W komorze termostatycznej umieszczony jest termoelement (termopara), która przesyła impuls elektryczny do sterownika, do którego podłączone są dwa człony temperaturowe: człon grzejny, składający się z szeregu grzałek listwowych niskiej mocy, rozmieszczonych równomiernie na tylnej ścianie komory termostatycznej, oraz człon chłodniczy, składający się z parownika umieszczonego we wnętrzu komory



(prototypowy, nietypowy parownik zastał zaprojektowany i wykonany na potrzeby prowadzonych badań) oraz elementów do funkcjonowania układu - skraplacz, kapilar, przewodów doprowadzających freon i sprężarki. Elementy te pochodzą z zamrażarki "Polar". Moc urządzeń jest regulowana sterownikiem i jest zmienna - wprost proporcjonalna do różnicy pomiędzy temperaturą zadaną układu (wymagana temperatura badania) i temperaturą we wnętrzu komory termostatycznej. Takie skonструowanie układu pozwala na dochodzenie do zadanej temperatury w sposób asymptotyczny i tym samym prawie całkowicie usuwa błędy związane z regulacją (ręczną czy za pomocą termometru rtęciowego z ogranicznikiem elektrycznym) temperatury we wnętrzu komory. Pozwala również uniknąć błędów związanych z bezwładnością cieplną całego układu próbka - medium grzejne.

Pomiaru przemieszczeń dokonuje się automatycznie w zadanych interwałach czasowych, w dwóch punktach bazy pomiarowej próbki (czyli dla czterech próbek umieszczonych w peźzarce pomiarowi podlega osiem długości). Pomiar prowadzony jest w punktach na obwodzie, stanowiących przecięcie tworzącej próbki : z teoretycznymi płaszczyznami prostopadłymi do siebie, których wspólna prosta umieszczona jest w osi pionowej próbki. Odstęp czasowy pomiędzy poszczególnymi pomiarami w poszczególnych punktach pomiarowych na wszystkich próbkach jest pomijalnie mały, wynosi bowiem ok. 2 milisekund. Łączny więc czas zebrania informacji o przemieszczeniach we wszystkich próbkach umieszczonych w komorze termostatycznej wynosi ok. 16 milisekund. Dokładność ustalenia momentu i dczytu przemieszczeń (zadania interwałów czasowych) wynosi ok. 1 milisekundy. Odczyt dokonywany jest z dokładnością do 0,01 mm, czyli przy długości bazy pomiarowej wynoszącej 100 mm, stanowi to 0,01% odkształcenia względnego. Osiągnięcie takiej precyzji pomiaru jest możliwe dzięki zastosowaniu następującego układu pomiarowego: do próbki w odległości równej bazie pomiarowej (tj. 100 mm) przymocowane są obejmaj, przy czym każda z nich w sposób trwały styka się z trzema punktami próbki rozłożonymi w płaszczyźnie przekroju co  $120^\circ$ . W gniazdach obejmaj umieszczone są transformatorowe czujniki przemieszczeń liniowych (rys. 7). Składają się one z korpusów z rdzeniami magnetycznymi oraz wysuwalnych trzpieni. Przesunięcie trzpienia względem korpusu powoduje powstanie impulsu elektrycznego, który jest przesyłany drogą kablową do wzmacniacza (rys. 6). Tam ulega wzmocnieniu i uliniowieniu. Następnie za pomocą specjalnie skonструowanego interfejsu sygnał o przemieszczeniu zostaje przekazany do karty AD-DA (analog - digital) komputera typu IBM-PPC (rys. 8), gdzie z postaci analogowej zostaje zmieniony na postać cyfrową. W takiej postaci trafia do opracowanego na potrzeby badań programu. Program analizuje otrzymywane wyniki, porównując ze sobą kilka z nich, otrzymanych w przedziale czasowym rzędu milisekund, odrzuca te, których

odchylenia od średniej wskazują na błąd (wahnięcia napięcia w sieci, wpływy zewnętrzne). W postaci obrabialnej przez typowe programy statystyczne przesyła tak uzyskane dane do plików wynikowych.

## 5. PODSUMOWANIE

1. Prototyp nowego aparatu do badania pełzania mas mineralno-asfaltowych, wykonany przez autorów stanowi w Polsce dalszy postęp w usprawnieniu i uściśleniu warunków badań pełzania tych mas.

2. Wyniki realizowanych badań i ocena aparatu do badania pełzania mas mineralno-asfaltowych pozwolą podjąć decyzję o budowie dalszych egzemplarzy tej aparatury i wyposażeniu w ten sprzęt zainteresowanych instytutów badawczych i okręgowych laboratoriów drogowych.

## LITERATURA

- [1] Kasztalski M.: Przegląd metod badań dynamicznego modułu sprężystości mieszanek mineralno-bitumicznych. Prace IBDiM nr 3/87, WKiŁ, Warszawa 1987.
- [2] Leśko M.: Kryteria techniczno-ekonomiczne rozmieszczenia i wielkości wytwórni mas bitumicznych. Praca doktorska. Gliwice 1979.
- [3] Lewinowski Cz., Strycharz B.: Przegląd metod badań właściwości mechanicznych mas bitumicznych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej s. Budownictwo nr 52, Gliwice 1980.
- [4] Strycharz B.: Reologiczne właściwości mas mineralno-bitumicznych w aspekcie wymiarowania podatnych nawierzchni drogowych. Praca doktorska. Gliwice 1982.
- [5] Wojdanowicz B., Zapaśnik W.: Instrukcja uszkodzeń i ocena stanu technicznego nawierzchni bitumicznych. Prace IBDiM nr 23/88, WKiŁ, Warszawa 1988.
- [6] Zawadzki J.: Ocena odkształcalności mieszanek mineralno-asfaltowych na podstawie badania pełzania. Prace IBDiM nr 1/85, WKiŁ, Warszawa 1985.
- [7] Zawadzki J.: Powtarzalność wyników w badaniu pełzania. Prace IBDiM nr 3.89, WKiŁ, Warszawa 1989.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Hop

## EVALUATION OF THE EXISTING AND NEW CONDITIONS AND EQUIPMENT FOR ASPHALTIC CREEP TEST

**Summary.** The paper comprises a short characteristic of the methods of testing mechanical and rheologic of asphaltic concretes as well as a description of the shape of both the existing and prototypical (developed by the authors) apparatus for mineral and asphaltic mix creep tests.

**И. Леско**

ОЦЕНКА СУЩЕСТВУЮЩИХ И НОВЫХ УСЛОВИЙ ВМЕСТЕ С ОБОРУДОВАНИЕМ  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОЛЗУЧЕСТИ АСФАЛЬТОВЫХ БЕТОНОВ

## Р е з ю м е

Работа содержит краткую характеристику методов исследований механических и реологических свойств асфальтовых бетонов вместе с условиями для проведения исследований ползучести. Описана существующая и опытная аппаратура, разработанная авторами, для исследования ползучести минерально-асфальтовых масс.