

JUSTYNA MRUGAŁA

Kielce University of Technology
Faculty of Civil and Environmental Engineering
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
25-314 Kielce, Poland
e-mail: mrugala@tu.kielce.pl

SOIL STABILIZATION WITH FOAMED BITUMEN

Abstract

Foamed bitumen is a new material used for soil stabilisation. Its suitability was assessed by conducting laboratory tests for uniform-grained soil. The contents of foamed bitumen were 3.0% and 3.5%, while the contents of portland cement added to increase the grain quantity were 2.0%, 2.5% and 3.0% respectively. The test results show that soil stabilised with foamed bitumen meets the same criteria as those established for soil stabilised with 6.0% cement and for soil stabilised with recycled base material obtained by applying the foamed bitumen and the M-C-E technology. It is reported that by applying foamed bitumen it is possible to produce a semi-rigid layer of stabilised soil.

Keywords: stabilization, foamed bitumen

1. Introduction

The use of binders in the stabilisation process results in increased compressive strength of the stabilised soil. Consequently, it leads to an increased rigidity and significant shrinking deformations. That usually leads to the formation of cracks across the stabilised layer. As a result of this process considerable cracking on the road surface occurs. This is the cause of a loss in its durability. In order to avoid this destructive process, bitumen binder can be used.

Bitumen is a viscoelastic material. During the soil stabilisation it does not lead to an increase in rigidity. Also, no cracking occurs throughout the operational time of the produced layer of the stabilised soil. Additionally, such a stabilised soil layer can be used as a supporting base of the bitumen type.

Soil stabilisation technologies use liquid bitumen produced with solvents. However, this kind of bitumen binder is expensive. It also can have a negative impact on soil and water as a result of solvent penetration to the ground. The use of bitumen emulsion has also been limited for road building. It is because bitumen emulsion contains lots of water – up to 45%, which results in elongating half-life and maintaining the required stabilised soil parameters for a long time.

Only the introduction of foamed bitumen to the road building technology enabled to use bitumen binder for soil stabilisation [1, 2]. The foamed bitumen technology was developed in Africa and Australia. That is why tests to assess its effectiveness

for local soil stabilisation under the Polish conditions are necessary.

2. The aim and the scope of the investigation

The aim of the project is to determine the impact of foamed bitumen on the properties of the stabilised soil. The scope covered the following two stages:

- a) stage I: recognition of basic bitumen properties, determination of foam bitumen properties, determination of the optimal water content for bitumen foaming,
- b) stage II: recognition of the kind of the granular soil, determination of characteristics of the bitumen binders, performing tests on soil stabilised with foamed bitumen, drawing the conclusions.

3. Material and test results

3.1. Material

For the tests of the impact of foamed bitumen uniform – grained soil was used. It is classified as hardly compactable soil.

Based on the tested parameters listed in Table 1 and granulometric analysis this soil was classified as flour sand. Flour sand is hardly compactable soil.

Despite the fact that sand equivalent was less than 20%, this soil was classified as flour sand (No. 7 in Tab. 1). This classification is due to flour and loam fraction contents and the Feret triangle, according to PN-86-B-02480. It is an exceptional case.

To obtain compaction according to the standards, it is necessary to stabilise this kind of soil.

Table 1. Basic soil properties

No.	Parameter	Value
1.	Sand equivalent	19.7%
2.	Organics content	None
3.	PH	8.0
4.	Optimal humidity	9.2%
5.	Maximal density of the soil matrix	1.987 Mg/m ³
6.	Coefficient of graining non-uniformity	3.6
7.	Flour sand (basing on the areometric analysis)	PN-86-B-02480
		result
		result

$f'_p = 68-90\%$
$f'_n = 10-30\%$
$f'_i = 0-2\%$
$f'_p = 80.48\%$
$f'_n = 18.02\%$
$f'_i = 1.5\%$

3.2. Foamed bitumen properties

The fundamental foaming criterion of bitumen is its ability to produce foam of certain quality requirements [3, 4, 5]. During the tests two basic foamed bitumen parameters were assessed:

- expansion ratio (WE),
- half-life of the foamed bitumen ($t_{1/2}$).

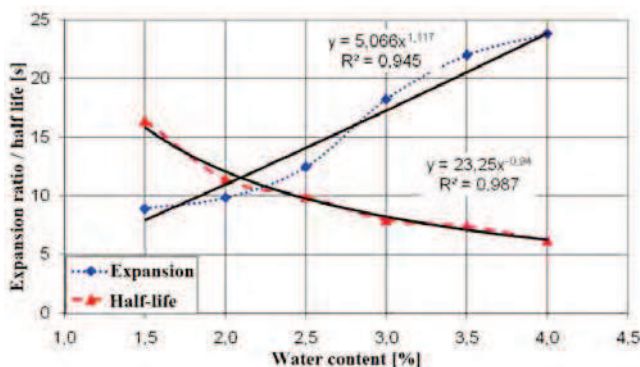
The optimal water content, which ensured the required foaming parameters, was also determined (Tab. 2).

Table 2. Foamed bitumen parameters for the recommended water content for foaming

Kind of bitumen	Water content [%]	WE Expansion ratio		$t_{1/2}$ Half - life [s]	
		Determined	Required	Determined	Required
O 50/70	2.5	6.16	15-20	8.14	10-15
O 70/100	2.0	9.84		11.41	
L 70/100	2.5	6.14		6.97	
EL 70/100E	2.5	8.53		7.14	
Nyfoam 85	2.0	15.85		15.28	
Nyfoam 190	2.0	15.11		10.39	

To enable proper covering of fine soil particles soil stabilisation should be conducted with bitumen

of as little viscosity as possible [1]. Consequently, Nyfoam 190 bitumen was used for soil stabilisation tests. Its foaming characteristics has been presented in Figure 1.


Fig. 1. Foaming characteristics of Nyfoam 190 bitumen

3.3. Test results of the stabilised soil

According to the requirements specified in PN-S-96012:1997 the effectiveness of foamed bitumen to improve soil parameters has been confirmed. It is based on the following characteristics:

- compressive strength after 28 days,
- frost resistance.

Using the foamed bitumen as a stabiliser, the final compressive strength of the stabilised soil is achieved after 28 days, while there are no strength tests after 7 days.

To increase the fine fraction content in the ground and improve tightness of the stabilised layer the cement was added to the mixes.

An important element of the tests was to determine the mechanical parameters of this material. The assessment was conducted based on the requirements for recycled pavement in the M-M-C-E technology [6] and recycled pavement with the foamed bitumen technology [3].

The test results of the impact of the Nyfoam 190 foamed bitumen on the properties of the stabilised soil have been presented in Table 3 and Figure 2.

Table 3. Impact of Nyfoam 190 bitumen on the stabilised soil properties

Material	ASp [%]	C [%]	S mean [kN]	ϵ mean [mm]	S/ϵ [kN/mm]	R28 mean [MPa]	WR frost
Soil Cement	3.0	2.0	3.92	1.58	2.48	2.65	0.81
	3.0	2.5	2.97	1.85	1.60	1.86	0.74
	3.5	3.0	2.54	1.81	1.48	1.37	0.67

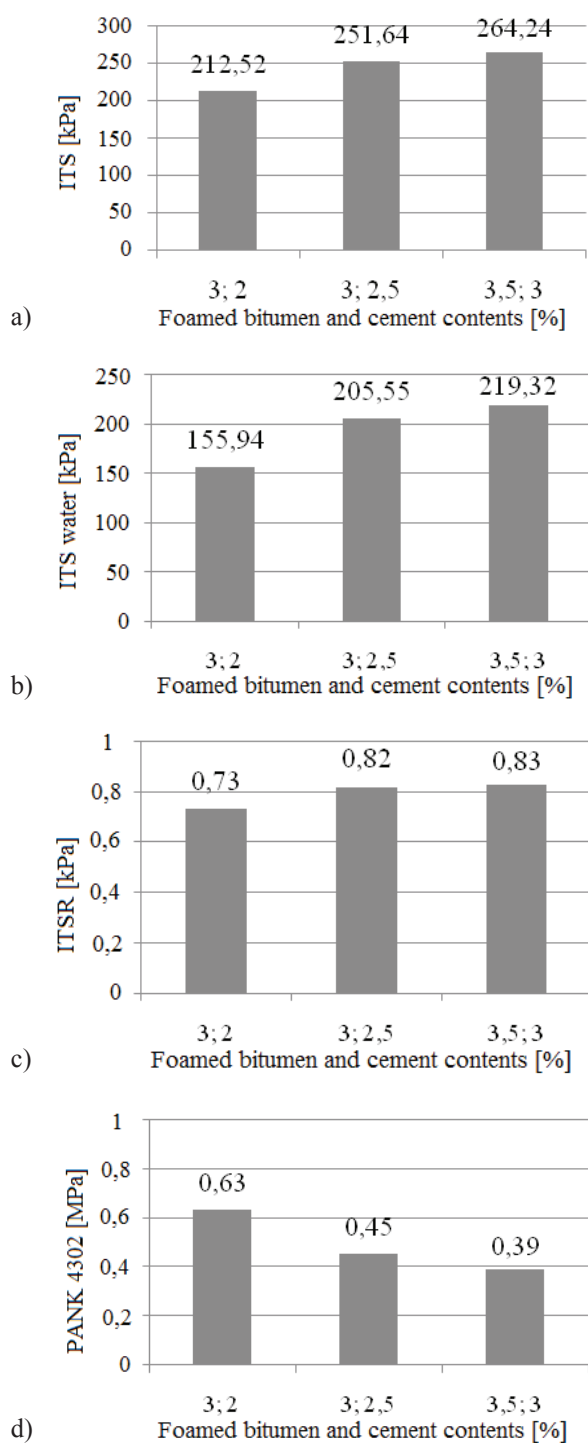


Fig. 2. Impact of the foamed bitumen and cement contents on: a) indirect tensile strength in the dry state ITS, b) indirect tensile strength after soaking with water ITS water, c) resistance to the effects of water ITSR, d) frost resistance according to PANK 4302

The soil stabilised with the foamed bitumen content of 3.0% and cement content of 2.0% has most favourable properties. At these foamed bitumen and cement contents in the stabilised soil ITS meets the

criteria as for the recycled pavement material in the foamed bitumen technology, for which ITS should be over 150 kPa. While ITSR is higher than 0.7, which also fulfills the minimal requirements with regard to the resistance to the effects of water.

Resistance to low temperature cracking of this soil is also ensured, since $ITS < 4.8$ MPa according to PANK 4302. Comparing the properties of the stabilised soil with the requirements as for the M-C-E mix it can be stated, that the requirements with regard to Marshall stability and deformations are actually met – as for the road base loaded with KR 1-2 traffic.

4. Conclusions

Based on the laboratory test results the following conclusions can be drawn:

1. The use of 3.0% foamed bitumen and 2.0% cement contents ensures meeting the requirements according to the standards with regard to compressive strength and frost resistance of the stabilised soil.
2. With the addition of foamed bitumen and cement to increase the fine fraction content, it is possible to create a semi – rigid stabilised soil layer, which not only has the proper compressive strength but also indirect tensile strength ITS.
3. The use of foamed bitumen to stabilise uniform – grained soil can create improved ground layer but also a surface base.

References

- [1] Jenkins K.J., Collings D.C, Thesey H.L., Long F.M.: *Interim Technical Guideline: Design and Use of Foamed Bitumen Treated Materials*. Edited by Les Sampson of Asphalt Academy. ISBN 0-7988-7743-6. Asphalt Academy, Pretoria, South Africa, 2003.
- [2] Polakis A., Alevra E.: *Pavement Rehabilitation by Recycling with Foamed Bitumen and Cement*. 2nd International Symposium Treatment and Recycling of Materials for Transport Infrastructure. Paris, 24-26th October 2005, C024
- [3] *Wirtgen Cold Recycling Manual*. Wirtgen GmbH. Windhagen, Germany, 2004.
- [4] Iwański M.: *Podbudowa z asfaltem spienionym (Base with foamed bitumen)*. Drogownictwo, 2006, 3, s. 97-106.
- [5] Iwański M., Chomicz A.: *Przydatność do spienienia asfaltów drogowych stosowanych w Polsce (Applicability of bitumen used in Poland to foaming)*, Drogownictwo, 2006, 8, s. 267-271.
- [6] Zawadzki J., Matras J., Mechowski T., Sybilski D.: *Warunki techniczne wykonywania warstw podbudowy z mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej (Production technical requirements of base from mineral-cement-emulsion mix)*. Zeszyt 61 IBDiM, Warszawa 1999.

Justyna Mrugała

Stabilizacja gruntu asfaltem spienionym

1. Wprowadzenie

Stosowanie spoiw w procesie stabilizacji powoduje wzrost wytrzymałości na ściskanie gruntu stabilizowanego, a w konsekwencji wzrost sztywności i duże odkształcenia skurczowe, które z reguły wywołują powstawanie spękań poprzecznych w stabilizowanej warstwie. W wyniku tego procesu powstają spękania odbite w nawierzchni, które są przyczyną utraty przez nią trwałości. Aby zapobiec temu destrukcyjnemu procesowi, celowe jest zastosowanie lepiszcza asfaltowego.

Asfalt zaliczany jest do materiałów lepkosprężystych. W czasie stabilizacji gruntu nie powoduje wzrostu sztywności i tym samym w wykonanej warstwie stabilizowanego gruntu nie powstają spękania w czasie eksploatacji. Dodatkowo taka warstwa stabilizowanego gruntu może stanowić podbudowę pomocniczą typu asfaltowego.

Opracowano technologie stabilizacji gruntu za pomocą asfaltu upłynnionego, do wytwarzania którego stosowano rozpuszczalniki. Tego rodzaju lepiszcze asfaltowe jest jednak drogie także może niekorzystnie wpływać na środowisko gruntowo-wodne w wyniku uwalniania rozpuszczalników do gruntu. Zastosowanie emulsji asfaltowej również nie znalazło szerszego wykorzystania w praktyce drogowej, ponieważ emulsja asfaltowa zawiera dużą ilość wody, nawet do 45%, co przyczynia się do wydłużenia czasu jej rozpadu i uzyskiwania wymaganych parametrów przez grunt stabilizowany w długim okresie czasu.

Dopiero wdrożenie do światowego wykonawstwa drogowego technologii asfaltu spienionego pozwoliło na wykorzystanie lepiszcza asfaltowego w tej postaci do stabilizacji gruntów [1, 2]. Technologia asfaltu spienionego rozwinęła się na kontynencie afrykańskim oraz w Australii. Dlatego też niezbędne jest dokonanie oceny skuteczności tej technologii w procesie stabilizacji gruntów miejscowych charakterystycznych dla warunków krajowych.

2. Cel i zakres badań

Celem pracy jest poznanie wpływu asfaltu spienionego na właściwości gruntu stabilizowanego.

Zakres pracy obejmował dwa etapy badań:

- etap I: rozpoznanie podstawowych właściwości asfaltu, wyznaczenie parametrów asfaltu spienionego, określenie optymalnej ilości wody do spieniania asfaltu,
- etap II: rozpoznanie rodzaju badanego gruntu sypkiego, wykonanie charakterystyk stosowanych lepiszczy asfaltowych, wykonanie badań gruntu stabilizowanego asfaltem spienionym, opracowanie wniosków.

3. Materiały i wyniki badań

3.1. Zastosowany materiał

W badaniach wpływu asfaltu spienionego zastosowano grunt sypki równoziarnisty, który zaliczany jest do gruntów trudno zagęszczalnych.

Na podstawie oznaczonych właściwości zestawionych w tabeli 1 oraz analizy granulometrycznej sklasyfikowano badany grunt jako piasek pylasty, który zaliczono do gruntów trudno zagęszczalnych.

Pomimo, że $WP < 20\%$, to jednak ze względu na zawartość frakcji pyłowej i ilowej oraz na podstawie trójkąta Fereta wg PN-86-B-02480 sklasyfikowano grunt jako piasek pylasty (pkt 7 z tabeli 1). Jest to przypadek szczególny.

W celu uzyskania normowego zagęszczenia niezbędna jest stabilizacja tego rodzaju gruntu

3.2. Właściwości asfaltu spienionego

Podstawowym kryterium przydatności asfaltu do spieniania jest możliwość wytwarzania przez niego piany o wymaganych parametrach jakościowych [3, 4, 5]. W czasie badań oceniano dwa podstawowe parametry asfaltu spienionego:

- współczynnik ekspansji (WE),
- czas połowicznego rozpadu piany asfaltowej – rozpad ($t_{1/2}$).

Ustalono również optymalną ilość wody, zapewniającą uzyskanie wymaganych parametrów spieniania asfaltu (tab. 2).

Zgodnie z zaleceniami [1], do stabilizacji gruntów należy stosować asfalty jak najbardziej miękkie, które zapewniają prawidłowe otoczenie drobnych cząstek gruntu. W związku z tym w badaniach do stabili-

zacji gruntu przyjęto asfalt Nyfoam 190, którego charakterystykę spieniania przedstawiono na rysunku 1.

3.3. Wyniki badań gruntu stabilizowanego

Zgodnie z wymaganiami przedstawionymi w PN-S-96012:1997 skuteczność oddziaływania asfaltu spienionego w zakresie ulepszenia gruntu została dokonana w oparciu o następujące charakterystyki:

- wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach,
- wskaźnik mrozoodporności.

Zastosowanie asfaltu spienionego jako stabilizatora, powoduje, że uzyskuje się wytrzymałość końcową po 28 dniach gruntu stabilizowanego; nie bada się wytrzymałości 7 dniowej.

W mieszankach gruntu stabilizowanego asfaltem spienionym zastosowano dodatek cementu, którego zadaniem jest zwiększenie ilości frakcji drobnej w gruncie oraz w pewnym zakresie poprawa szczelności warstwy stabilizowanej.

Istotnym elementem badań było określenie parametrów mechanicznych tego materiału. Jego oceny dokonano na podstawie wymagań stawianych recyklowanym podbudowom w technologii M-C-E [6] oraz podbudowom recyklowanym w technologii asfaltu spienionego [3].

Wyniki badań wpływu asfaltu spienionego Nyfoam 190 na właściwości gruntu stabilizowanego przedstawiono w tabeli 3 oraz na rysunku 2.

Najkorzystniejszymi właściwościami charakteryzuje się grunt stabilizowany przy koncentracji 3,0% asfaltu Nyfoam 190 i zawartości 2,0% cementu. Przy tej koncentracji asfaltu spienionego oraz cementu w stabilizowanym gruncie oznaczony dla niego ITS spełnia wymagania jak dla materiału recyklowa-

nej podbudowy w technologii asfaltu spienionego, dla której ITS powinien być większy od 150 kPa, a wskaźnik ITSR jest większy od 0,7 spełniając minimalne wymagania w zakresie odporności na oddziaływanie wody. Odporność na spękanie niskotemperaturowe tego gruntu stabilizowanego jest również zapewniona, ponieważ spełnia wymagania $ITS < 4,8$ MPa zgodnie z PANK 4302. Natomiast porównując właściwości gruntu stabilizowanego z wymaganiami jak dla mieszanki M-C-E można stwierdzić, że praktycznie spełnione są wymagania w zakresie stabilności i odkształcenia wg Marshalla, jak dla podbudowy drogi obciążonej ruchem KR 1-2.

4. Wnioski

Na podstawie badań laboratoryjnych stabilizowanego gruntu z asfaltem spienionym sformułowano następujące wnioski:

1. Zastosowanie 3,0% asfaltu spienionego i 2,0% cementu zapewnia normowe właściwości badanego gruntu stabilizowanego w zakresie wytrzymałości na ściskanie oraz wskaźnika mrozoodporności.
2. Przez zastosowanie asfaltu spienionego oraz cementu jako materiału do ziarniającego zapewnia uzyskanie półsztywnej warstwy gruntu stabilizowanego, charakteryzującej się nie tylko wytrzymałością na ściskanie ale również na pośrednie rozciąganie ITS.
3. Zastosowanie asfaltu spienionego w procesie stabilizacji gruntu sypkiego równoziarnistego stwarza możliwości uzyskania nie tylko warstwy ulepszanego podłoża ale również i podbudowy.