

что позволяет отнести их к категории плотных, цементированных грунтов. Они обладают слабой окатанностью кварцевых зерен, плотно упакованы, устойчивы при нагрузках в стенках котлованов. Южная зона занимает территорию Белорусского Полесья, где широким распространением пользуются отложения речных террас. На геологических разрезах в составе аллювиальных отложений, покрывающих супесчано-суглинистую толщу, повсеместно преобладают слоистые мелкие пески с высоким содержанием тонкодисперсной фракции и выдержанным литологическим составом по простираению. При проектировании сооружений должно учитываться наличие на малых глубинах (порядка нескольких метров) супесей и суглинков, обладающих высокой степенью просадочностью, что подтверждено бурением разведочных скважин.

**Заключение.** Выявленные зоны и закономерности строения в них грунтовых толщ, их прочностных и деформационных свойств ориентируют изыскателей и проектировщиков на получение достоверных данных и на их основе реализацию безопасного строительства инженерных объектов.

#### Список цитированных источников

1. Колпашников, Г.А. Инженерная геология – Мн.: УП «Технопринт», 2005. – 132 с.
2. Повловская, И.Э. Полоцкий ледниково-озерный бассейн. Строение, рельеф, история развития. – Мн.: Наука и техника, 1994 – 121 с.
3. Колпашников, Г.А. Происхождение и свойства лессовидных отложений Республики Беларусь: материалы межд. научно-технич. конф. «Геотехника Беларуси: наука и практика». – № 3-4. – 2003. – С. 273-278.
4. Колпашников, Г.А. Инженерно-геологические особенности четвертичных отложений восточной части Белорусского Полесья как оснований зданий и сооружений // Строительная наука и техника. – 2008. – №6 (21). – С. 17-19.

## ERFAHRUNGEN BEI DER HERSTELLUNG EINER HYDRAULISCH VERFESTIGTEN TRAGSCHICHT IM ORTMISCHVERFAHREN UNTER VERWENDUNG DES SPEZIALBINDEMITTELS „INFRACTETE ST“

Monika Schad

### Gliederung:

1. Angaben zum Sanierungssystem „Verfestigung mit InfraCrete ST“
2. Anforderungen an die geotechnische Ausgangssituation
3. Bauablauf für die Herstellung der hydraulischen Verfestigung im Baumischverfahren
4. Qualitätsüberwachung der Bauausführung
5. Zusammenfassende Bewertung / Gegenüberstellung Baumischverfahren und Standardbauweise

1. Angaben zum Sanierungssystem „Verfestigung mit InfraCrete ST“. Bei dem Sanierungssystem handelt es sich um ein Sonderbauverfahren, bei welchem der im Bereich der Ausbaustrecke anstehende pechhaltige Straßenbaustoff aufgefräst und als Asphaltgranulat in die hydraulisch verfestigte Tragschicht eingebunden wird. Die Herstellung der hydraulischen Verfestigung erfolgt im Baumischverfahren (mixed-in-place), dies bedeutet, dass das Mischgerät auf der für die Bodenbehandlung vorbereiteten Schicht fährt und das aufgebraute Bindemittel und die gegebenenfalls erforderliche Wassermenge einarbeitet.

Im Rahmen der Ausführung des Sonderbauverfahrens wird das Spezialbindemittel „InfraCrete®ST“ eingesetzt, welches aus verschiedenen alkalischen und erdalkalischen Elementen besteht. Diese bewirken eine Neutralisierung der in den meisten Böden vorhandenen Fluor- und Karbonsäuren und dadurch eine Förderung des Zementhydratationsprozesses. Umbildungen des Gefüges durch zusätzliche Neubildung von Mineralien während der Zementhydratation führen zu erheblichen Festigkeitssteigerungen, ohne dass die verfestigte Schicht zur Rissbildung neigt.

Daraus ergibt sich eine frostsichere und dauerhafte Verfestigung bei gleichzeitiger Immobilisierung der im alten Straßenaufbau enthaltenen pechhaltigen Straßenbaustoffe, sodass eine aufwendige Entsorgung nicht erforderlich war.

Des Weiteren konnte durch die Verwendung des Spezialbindemittels „InfraCrete®ST“ auf das nach den ZTV Beton-StB [1] geforderte Kerben der hydraulisch gebundenen Tragschicht verzichtet werden.

„InfraCrete®ST“ wurde als Additiv mit einer Menge von 2 M.-% dem verwendeten Portlandzement CEM I,32,5 R zugemischt und als fertig gemischtes Bindemittel auf die Baustelle geliefert.

Gegenüber der konventionellen Vorgehensweise zur Herstellung einer hydraulisch gebundenen Tragschicht, bei welcher die Verwertung von pechhaltigen Straßenbaustoffen üblicherweise im Zentralmischverfahren erfolgt, liegen die Vorteile des Sonderbauverfahrens vor allem in der Zeit- und Kosteneinsparung im Bereich der Baustellentransporte.

**2. Anforderungen an die geotechnische Ausgangssituation und an das Ausgangsgemisch für die Verfestigung.** Ziel der betrachteten Baumaßnahme war, die vorhandene Trassenführung durch eine Verbreiterung der Fahrbahn sowie eine Glättung der Gradienten, unter Berücksichtigung des Massenausgleichs, herzustellen.

Auf Planumsniveau der Einschnittsbereiche sowie im Planumbereich der Verbreiterung der Trasse wurde die Tragfähigkeit überwiegend durch die Ausführung einer Bodenverbesserung hergestellt. In den nicht vorbelasteten Einschnittsbereichen wurde eine Mindesttragfähigkeit von  $E_{v2} \geq 30 \text{ MN/m}^2$  und im Bereich der Verbreiterung von  $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$  festgelegt.

Bei der Bauausführung wurde das Sonderbauverfahren mit folgenden Schichtmächtigkeiten ausgeführt:

**Aufbau InfraCrete®ST**



Um durch eine hydraulische Verfestigung mit dem Spezialbindemittel „InfraCrete®ST“ eine funktionsfähige Tragschicht zu erhalten, sollte bei einer Verwertung von pechhaltigen Straßenbaustoffen darauf geachtet werden, dass durch die Kornabstufung des Ausgangsgemisches die Voraussetzungen für eine tragfähige und frostsichere Tragschicht mit möglichst dichter Struktur gegeben sind.

Die Ergebnisse ausgeführter Eignungsuntersuchungen zeigen, dass Ausgangsgemische welche der Bodengruppen GU\*/GT\* (Kies-Schluff/Ton-Gemische) mit einem Feinkornanteil < 0,063 mm von 15 bis 30 M.-% für eine Verfestigung mit gleichzeitiger Immobilisierung der PAK-Belastung sehr gut geeignet sind.

Durch die Verwendung des Spezialbindemittels „InfraCrete®ST“ können diese Ausgangsgemische, welche nach den Frostklassen der ZTVE-StB [2] als „sehr frostempfindlich“ eingestuft werden, die Anforderung an die Frostsicherheit mit ausreichender Sicherheit einhalten.

Die sehr geringe Wasserdurchlässigkeit dieser Gemische von  $10^{-8}$  bis  $10^{-9}$  m/s wirkt sich positiv auf die Immobilisierung der durch die pechhaltigen Straßenausbaustoffe vorhandene PAK-Belastung aus.

Liegt der Feinanteil < 0,063 mm der Ausgangsgemische höher als 30 M.-%, tritt die Festigkeitsentwicklung langsamer ein. Die Anforderungen an die Festigkeit und an die Frostsicherheit können jedoch auch hier nach 28-Tagen nachgewiesen werden.

**3. Bauablauf für die Herstellung der hydraulischen Verfestigung im Baumischverfahren.** Nach Durchführung der erforderlichen Erdarbeiten erfolgt die Herstellung der hydraulisch gebundenen Tragschicht mit folgenden Arbeitsschritten:

**Bauablauf bei Verwendung der Anbaufräse:**

1. Fräsen der ca. 9–20 cm mächtigen Asphaltdecke
2. Schutz der Außenränder durch Verwendung von nicht pechhaltigen Straßenausbaustoffen in den Randbereichen
3. Zerkleinern und Durchmischen mittels Steinfräse mit einer Frästiefe von 30-35 cm
4. Vorbereiten und Bewässern des Grobplanums für die Ausführung der Verfestigung
5. Aufbringen des Spezialbindemittels „InfraCrete®ST“ mit einer Bindemittelmenge von 54 kg/m<sup>2</sup> für eine Schichtmächtigkeit der Verfestigung von 30 cm
6. Einfräsen des Bindemittels – 1. Fräsvorgang
7. Nachwässern des Boden-Bindemittel-Gemisches
8. Homogenisieren des Boden-Bindemittel-Gemisches – 2. Fräsvorgang
9. Herstellung des Planums mit einem lasergesteuerten Grader
10. Verdichten der Schicht durch eine Vibrationswalze mit Glattmantelbandage und Herstellen des Oberflächenabschlusses mit einer Gummiradwalze
11. Aufbringen des Verdunstungsschutzes durch mehrfaches Wässern und nach Fertigstellung der Tragschicht Oberflächenversiegelung durch eine lösungsmittelfreie Bitumenemulsion

Die Fräsabschnitte für die Bauausführung müssen so gewählt werden, dass der vom Bindemittelhersteller vorgegebene Zeitraum zwischen dem Einfräsen des Bindemittels und der Herstellung der Oberfläche der Tragschicht von max. 3 – 4 Stunden nicht überschritten wird. Bei Verwendung einer Anbaufräse liegt der Richtwert bei ca. 3000 m<sup>2</sup> pro Tag.

Der Vorteil der Verwendung einer Großfräse liegt vor allem darin, dass beim ersten Fräsvorgang das für das Baustoffgemisch erforderliche Wasser im Mischraum der Fräse dosiert zugegeben werden kann und daher kein weiterer Fräsvorgang erforderlich ist.

**4. Qualitätsüberwachung der Bauausführung.** Ziel der Tragschichtverfestigung ist eine möglichst konstante Qualität bei der Bauausführung der Tragschichtverfestigung zu erhalten. In Bereichen, in denen die anstehenden Baustoffe der alten Trasse verwendet werden, muss vor Beginn der Bauausführung überprüft werden, ob

unterhalb der Frästiefe eine ausreichende Planumtragfähigkeit vorhanden ist. In Bereichen in denen das Planum neu hergestellt wird, muss eine ausreichende Planumtragfähigkeit nachgewiesen werden.

Schwankungen in der Materialgüte können bei der Anwendung dieses Verfahrens nicht ausgeschlossen werden. Erfahrungen zeigen jedoch, dass die verwendete Bindemittelmenge des Spezialbindemittels „InfraCrete®ST“ von 180 kg/m<sup>3</sup>, diese mit ausreichender Sicherheit ausgleicht.

**4.1. Überprüfung der Qualität des Unterbaus im Bereich von Einschnitten und der Querschnittsverbreiterung.** Die geforderte Mindesttragfähigkeit des Unterbaus sollte vor allem in den Bereichen überprüft werden, in denen das Planum für die Verfestigung nicht im Bereich der alten Kiestragschicht verläuft. Diese Überprüfung der Tragfähigkeit kann mit dem dynamischen Plattendruckversuch mit folgenden Richtwerten für den dynamischen Verformungsmodul  $E_{vd}$  erfolgen:

Unterbau vorhandene Trassenführung [GU]	$E_{v2} = 30 - 45 \text{ MN/m}^2$	$E_{vd} > 30 \text{ MN/m}^2$
Unterbau Einschnitt / Verbreiterung [verbessertes Verwitterungslehm]		$E_{vd} > 25 \text{ MN/m}^2$

**4.2. Überprüfungen bei Beginn der Baumaßnahme.** Bei Beginn der Baumaßnahme sollte der optimale Einbauwassergehalt im Proctorversuch bestimmt werden, sodass das für eine ausreichende Hydratation der Verfestigung erforderliche Zugabewasser ermittelt und beim Fräsvorgang zugegeben werden kann.

**4.3. Überprüfung zur Kontrolle der eingebauten Qualität.** Im Rahmen der Einbaukontrolle sollten folgende Prüfungen nach Augenschein bzw. durch eine einfache Abschätzung überprüft werden:

- Überprüfung der Bindemitteldosierung, austreute Bindemittelart und -menge
- Überprüfung der Zusammensetzung und Homogenität des Baustoffgemisches nach dem Einfräsen des Bindemittels

Zusätzlich empfehlen wir, alle 3000 m<sup>2</sup> bzw. einmal je Einbautag folgende Kennwerte zu bestimmen:

Mindestverdichtungsgrad	$D_{pr} > 98 \%$
Richtwerte für die Spaltzugfestigkeit	0,75 - 1,20 N/mm <sup>2</sup>
Anforderung an den Frostwiderstand	max. Längenänderung $\Delta l \leq 1 \%$

Nach Fertigstellung der hydraulisch verfestigten Tragschicht sollten die profilgerechte Lage, die Ebenheit sowie falls eine schnelle Überbauung vorgesehen, die dafür erforderliche Mindesttragfähigkeit überprüft werden.

**5. Zusammenfassende Bewertung sowie Gegenüberstellung Baumischverfahren und Standardbauweise.** Die Ausführung des Sanierungssystems beim Vorhandensein von pechhaltigen Straßenausbaustoffen im Bereich der alten Asphaltdecke kann als geeignete Bauweise angesehen werden.

Die Verwendung des Spezialbindemittels „InfraCrete®ST“ mit einer Bindemittelmenge von 180 kg/m<sup>3</sup> bzw. 54 kg/m<sup>2</sup> bei einer Schichtmächtigkeit von 30 cm bewirkt, dass Schwankungen im Ausgangsmaterial der Verfestigung sich nur unwesentlich auf die Eigenschaften bezüglich der Festigkeit und der Frostsicherheit der verfestigten Tragschicht auswirken. Erfahrungen zeigen, dass bei einer Verwendung „InfraCrete®ST“ keine nennenswerte Rissbildung auftritt, sodass auf Zusatzmaßnahmen, wie das Kerben der Tragschicht, verzichtet werden kann.

Die pechhaltigen Straßenausbaustoffe sind im Bereich der hydraulisch gebundenen Tragschicht mit dichter Struktur so eingebunden, dass eine Eluierbarkeit der PAK-Belastung nicht möglich ist. Des Weiteren zeigen auch die vorliegenden Erfahrungswerte, dass der in der Vorschrift [3] für die Verwertung von pechhaltigen Straßenausbaustoffen angegebene Grenzwert für die PAK-Belastung im Eluat von 0,03 mg/l, für die in der Verfestigung eingebundenen Straßenausbaustoffe weit unterschritten wird.

Daher ist bei Einhaltung der genannten Randbedingungen und Maßnahmen zur Qualitätssicherung von einer schadlos funktionierenden Bauweise auszugehen, die im Hinblick auf Bauzeit, ökologische Massenbilanz und Wirtschaftlichkeit Vorteile bietet.

Erfahrungen zeigen, dass die Verwendung des Sonderbauverfahrens führte im Rahmen eines einfachen Ausbaus einer Ortsverbindungsstraße gegenüber der konventionellen Bauweise zu einer Kostenreduzierung von ca. 25% und einer Reduzierung der Bauzeit um ca. 4 Wochen.

#### Die Liste der zitierten Quellen

1. ZTV Beton-StB 07, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton, FGSV 2007.

2. ZTVeE-StB 04, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, FGSV 2004.

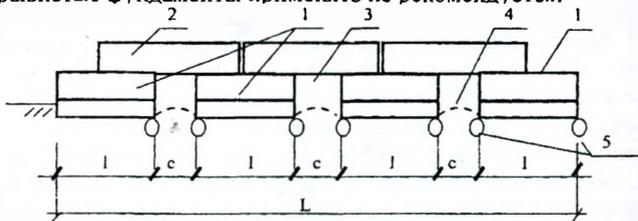
3. Merkblatt für die Verwertung von Asphaltgranulat und pechhaltigen Straßenausbaustoffen in Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln, FGSV Ausgabe 2002.

УДК 624.15

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ЛЕНТОЧНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

Грицук М. С., Чумичева Н.В.

**Введение.** При проектировании прерывистых ленточных фундаментов в соответствии с [1] и [2], расчетное расстояние между плитами должно быть такое, чтобы давление на грунт не превышало его несущей способности (расчетного сопротивления  $R$ ) [1]. Однако следует отметить, что при использовании прерывистости по краям плит в продольном направлении будут возникать области пластических деформаций (рис. 1), что отрицательно скажется на несущей способности грунтового основания. При этом предполагаемый максимальный экономический эффект даже на плотных грунтах не превышает 30%. Для грунтов средней плотности он составляет 10-15%. Если грунты имеют коэффициент пористости  $e$  больше 0,7, или показатель пластичности  $I_L$  больше 0,5, то по данным [1] прерывистые фундаменты применять не рекомендуется.



1 — железобетонная плита; 2 — фундаментные стенные блоки; 3 — промежутки между плитами; 4 — арочный эффект; 5 — зоны пластических деформаций грунта

Рисунок 1 — Схема прерывистого ленточного фундамента