

## **6 Construction methodology - Design data for the railway embankment (Relevant paragraph of the paper: CONSTRUCTION METHODOLOGY OF THE RAILWAY EMBANKMENT)**

Based on the results of the geotechnical calculations of the embankment it is concluded that at certain areas, where the embankment is founded on alluvial deposits (AL), the installation of prefabricated vertical drains is required in order to increase the rate of consolidation settlements. Through the presented case study the students have the opportunity to get familiar with the complex construction methodology and the construction materials of railway embankments with vertical wick drains. Moreover, the students have the opportunity to become acquainted with fundamental data regarding the individual parts of a railway embankment.

The construction sequence of the examined embankment includes the following stages, whereas the construction materials are described in the following sections (Figure 6-1):

- **Excavation**  
Excavation to the required level in order to remove the surface unsuitable material or plant remains (loose soil and organic materials).
- **Stabilization-Improvement of Embankment Excavation Base**  
Placement of crushed material (rock-fill) from rock excavation products for the stabilization of the excavation base in order to facilitate the passing of the machinery during compaction of the improvement layer.  
The stabilization layer is suggested to consist of crushed material of 10-30cm grain size in combination with separating geotextile.
- **Separating Geotextile**  
Placement of non-woven separating geotextile, which is also extended to the longitudinal side drains.
- First drainage layer of 0.25m thickness consisting of crushed materials (from rock excavations). The drainage layer is required in order to drain out the ground water collected through the installed vertical drains and lead it to the longitudinal side drains.
- Installation of prefabricated vertical drains at triangular grid with length determined based on the results of the performed geotechnical analyses.
- Second drainage layer of 0.25m thickness consisting of crushed materials.
- Construction of longitudinal side drains along the embankment with vertical drains, in order to lead the ground water, which is collected from vertical drains, to adjacent hydraulic systems. The side drains consist of coarse grained materials inside which a perforated plastic drain pipe having diameter  $\varnothing 200\text{mm}$  is installed.
- Spreading of non-woven separating geotextile, which is also extended to the longitudinal side drains.
- **Foundation of the Embankment**  
Improvement layer overlying the drainage layer. In this case the thickness of the layer required for the replacement of the unsuitable materials results by taking also the thickness of the drainage layer (0.50m) into consideration.



The improvement layer consists of crushed material or rockfill free-draining material having maximum particle size equal to 10-15cm. The improvement layer should be compacted at 90% of the maximum density of the Modified Proctor Test.

- Drainage Layer

The “foundation” of the embankment is completed by constructing the drainage layer up to 50cm above the original ground surface, in order to achieve dissipation of any excess pore water pressure inside the core of the embankment. The drainage layer consists of crushed material with maximum particle size equal to 3" (7.62cm), fines content (passing sieve No 200) less than 10% and plasticity index ( $I_P$ ) ≤ 4%. The drainage layer should be compacted at 90% of the maximum dry density of the Standard Proctor test.

- Core of Embankment

Construction of embankment's core with suitable materials. For the construction of the main part of the embankment materials classified at categories 1.3 to 1.5 or 2.1 to 2.3 or 3.1 and 3.2 (Figure 6-1) are used. These materials should be compacted at least at 95% of the maximum dry density of the Standard Proctor Test.

- Prepared Sub-grade Layer

The prepared sub-grade layer consists from crushed materials of QS2 or QS3 categories (see Table 6-1). The thickness of this layer is determined according to UIC719 R Standard. These materials should be compacted at least at 100% of the maximum dry density of Standard Proctor Test.

- Blanket layer and Ballast

The blanket layer is constructed using well-graded coarse-grained (sand and gravels) materials (materials of QS2 or QS3 categories). These materials should be compacted at least at 103% of the maximum dry density of Standard Proctor Test. The thickness of the blanket layer varies from 37cm to 42cm, depending on the type of soil material used for the core of the embankment and the required transversal inclination of this layer.

The ballast has minimum thickness of 0.30 – 0.50m and consists of crushed material with maximum particle diameter equal to 2.0-6.0cm.

- Soil covering with humus soil on the slopes of the embankment.

The construction methodology and the construction materials of the embankment are presented in the typical cross section of Figure 6-1.

The classification of soil material according to UIC Code 719R is included in Table 6-1.

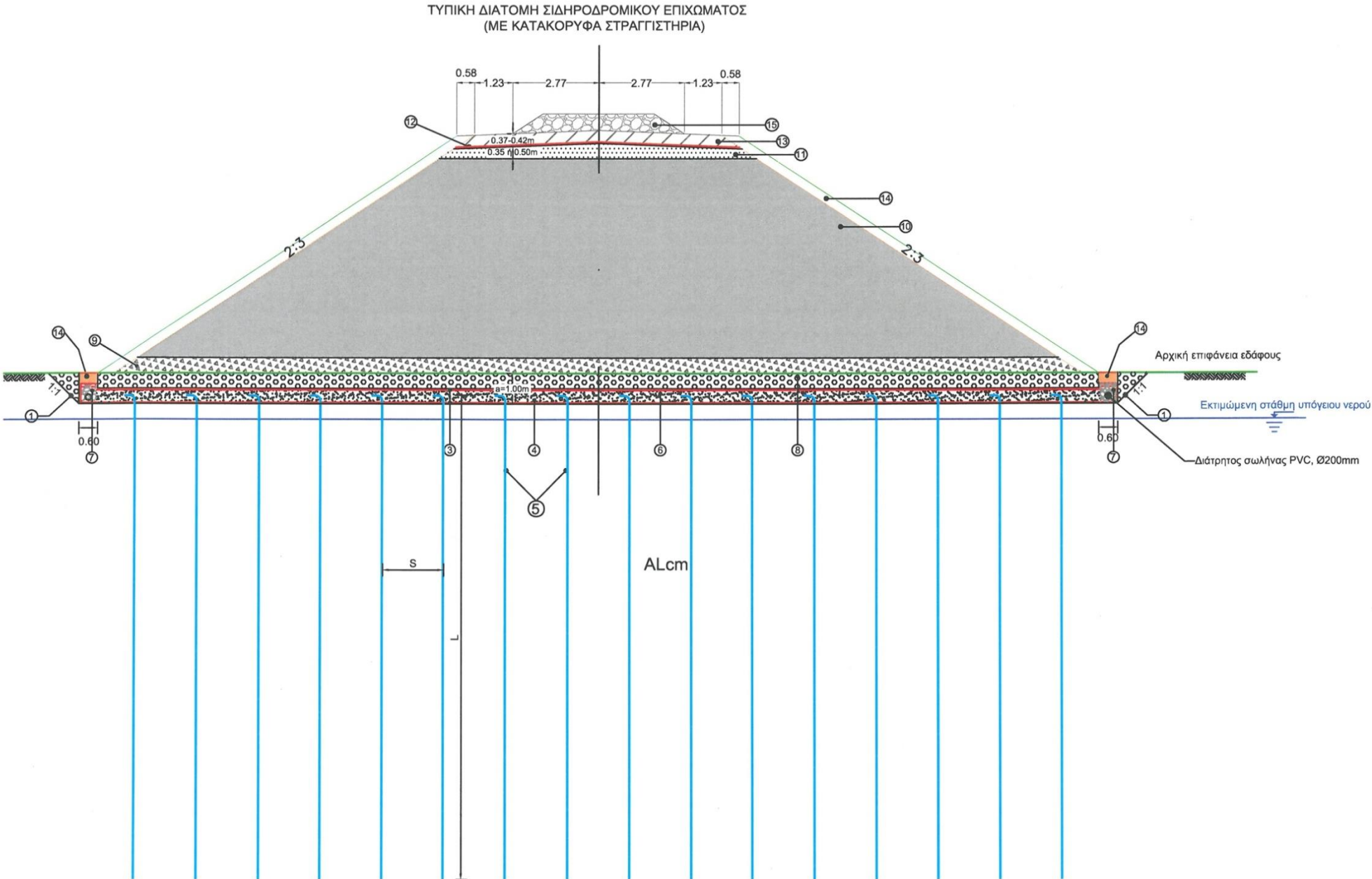


**Table 6-1:** Classification of soil materials according to UIC Code 719 R

SOIL TYPE (GEOTECHNICAL CLASSIFICATION)		SOIL QUALITY CLASS
0.1.	Organic soils	QS0
0.2.	Soft soils containing more than 15% fines <sup>(1)</sup> with high moisture content: therefore unsuitable for compaction	
0.3.	Thixotropic soils <sup>(2)</sup> (e.g. quick clay)	
0.4.	Soils containing soluble material (e.g. rock salt or gypsum)	
0.5.	Contaminated ground (e.g. industrial waste)	
0.6.	Collapsible soils or Expansive soils	
1.1.	Soft soils containing more than 40% of fines <sup>(1)</sup> (except for soils classified under 0.2)	QS1
1.2.	Rocks which are very susceptible to weathering, e.g.: - Chalk with $\rho_d < 1.7 \text{ t/m}^3$ and high friability - Marl - Weathering shale	
1.3.	Soils containing 15% to 40% of fines <sup>(1)</sup> (except for soils classified under 0.2)	QS1 (3)
1.4.	Rocks which are moderately susceptible to weathering, e.g.: - Chalk with $\rho_d < 1.7 \text{ t/m}^3$ and low friability - Un-weathered shale	
1.5.	Soft rock e.g. Micro-deval wet (MDE) > 40 and Los Angeles (LA) > 40	
2.1.	Soils containing from 5 to 15% of fines <sup>(1)</sup>	QS2 (2)
2.2.	Uniform soil containing less than 5% of fines <sup>(1)</sup> ( $C_u \leq 6$ )	
2.3.	Moderate hard rock, e.g.: If $25 < \text{MDE} \leq 40$ and $30 < \text{LA} \leq 40$	
3.1.	Well graded soils containing less than 5% of fines <sup>(1)</sup>	QS3
3.2.	Hard rock, e.g.: If $\text{MDE} \leq 25$ and $\text{LA} \leq 30$	

- (1) These percentages are calculated from particle size distribution analysis undertaken on material passing a 60 micron sieve. The percentages indicated have been rounded down (particles vary slightly from one Railway to another); they may be increased by up to 5% if sufficiently representative number of samples are taken.
- (2) Certain Railways sometimes include these soils in quality class QS1.
- (3) These soils can come under quality class QS2 if the hydro-geological and hydrological conditions are good.
- (4) These soils can come under quality class QS3 if the hydro-geological and hydrological conditions are good.





**Figure 6-1.** Typical cross section of the railway embankment with vertical drain

ΥΠΟΜΟΝΗΜΑ ΥΛΙΚΩΝ	
1.	Προσωρινές εκσκαφές με κλίση 1:1 (α:β)
2.	Λιθορριπή σταθεροποίησης σκάφης πάχους 30-50cm με διάσταση κόκκων 10-30cm, σε περίπτωση κορεσμένου υπεδάφους κατηγορίας QS0 ή QS1
3.	Στην περίπτωση υπεδάφους κατηγορίας QS0 ή QS1 θα τοποθετείται μη υφασμένο γεωψάσμα διχωρισμού, βελονιτώ, ελάχιστου βάρους 400gr/m <sup>2</sup>
4.	Πρώτη στρώση στράγγισης πάχους 25cm από θραυστά υλικά (βραχυδμή προϊόντα εκσκαφής) (D <sub>max</sub> = 3-8cm, ποσοστό λεπτόκοκκων FC-7-10%)
5.	Προκατασκευασμένα γεωυνωθικά κατακόρυφα στραγγιστήρια μήκους L σε τριγωνικό κάρναβο πλευράς S ( από πολυπροπυλένιο , τύπου MEMBRADRAIN MD88 ή άλλο ισοδύναμο)
6.	Δεύτερη στρώση στράγγισης πάχους 25cm από θραυστά υλικά (βραχυδμή προϊόντα εκσκαφής) (D <sub>max</sub> = 3-8cm, ποσοστό λεπτόκοκκων FC-7-10%)
7.	Κατασκευή πλευρικών στραγγιστηρίων από θραυστά υλικά (βραχυδμή προϊόντα εκσκαφής) (D <sub>max</sub> = 10cm, ποσοστό λεπτόκοκκων FC-5-7%)
8.	Στρώση εξυγίανσης πάχους a=30cm για υπεδάφους κατηγορίας QS2 ή QS3 και a ≥ 100cm για υπεδάφους κατηγορίας QS0 ή QS1, αποτελούμενη από φυσικό ή θραυστό υλικό (π.χ. σκύρα οδοστρώσεως) ή λιθορριπή μέγιστης διάστασης κόκκου 10-15cm με καλές στραγγιστικές ιδιότητες
9.	Στρώση στράγγισης πάχους 50cm αποτελούμενη από θραυστά ή φυσικά υλικά μέγιστης διαμέτρου 3" (7.62cm), με ποσοστό διερχόμενων από το κόσκινο Νο200 ≤10% και με δείκτη πλαστικότητας (Ip) ≤4%
10.	Υλικό επιχώματος τύπου 1 <sup>η</sup> 3 <sup>η</sup> 1.5 ή 2.1 έως 2.3 ή 3.1 και 3.2 με ελάχιστο δείκτη παραμορφωσης E <sub>v2</sub> >45 MN/m <sup>2</sup> & E <sub>v2</sub> >60 MN/m <sup>2</sup> για λεπτόκοκκα & αμοιχαλικά υλικά εδάφους
11.	Στρώση διαμόρφωσης από φυσικό ή θραυστά κοκκοειδή υλικά κατηγορίας QS2 ή QS3 με ελάχιστο δείκτη παραμορφωσης E <sub>v2</sub> >80 MN/m <sup>2</sup>
12.	Μη υφασμένο γεωψάσμα με λειτουργία φίλτρου, βελονιτώ, ελάχιστου βάρους 400gr/m <sup>2</sup>
13.	Υπόστρωμα επιβολής από αμοιχαλικό καλά διαβαθμισμένο (υλικά κατηγορίας QS2 ή QS3) με ελάχιστο δείκτη παραμορφωσης E <sub>v2</sub> 120 MN/m <sup>2</sup>
14.	Επένδυση με φωτικές γαίες
15.	Έρμα από θραυστό υλικό με μέγεθος κόκκου 2.0 - 6.0cm

ΤΥΠΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ (ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ)		ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΟΚΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ
0.1	Οργανικά εδάφη	QS0
0.2	Μαλακά εδάφη με ποσοστό λεπτόκοκκων τούλαχιστον 15% (1) και υψηλό ποσοστό υφραούς.	
0.3	Θαλάσσια (εδάφη (2) π.χ. από υπερυψωμένα όρη (quick - clay)	
0.4	Εδάφη με περιεκτικότητα σε υδατοδιαλυτά στοιχεία (π.χ. ορυκτό άλας ή γύψος)	
0.5	Ακαθάρτα εδάφη (π.χ. με βιομηχανικά απόβλητα)	
0.6	Μικτά εδάφη (οργανικά μετὰ 5% καί 30%)	QS1
1.1	Εδάφη με ποσοστό λεπτόκοκκων τούλαχιστον 40% (1) (πλην των εδαφών της κατηγορίας 0.2)	
1.2	Πείρωματα με υψηλό κίνδυνο αποσάθρωσης π.χ. - Κιμαλώ με $p_u < 1,7 \text{ t/m}^2$ και υψηλή ευρωπτότητα - Μόρια - Μη αποσπασθιμύνας αργιλέας σχετιόθως	
1.3	Εδάφη με ποσοστό λεπτόκοκκων 15 - 40% (1) (πλην των εδαφών της κατηγορίας 0.2).	
1.4	Πείρωματα με σχετικό κίνδυνο αποσάθρωσης π.χ. - Κιμαλώ με $p_u < 1,7 \text{ t/m}^2$ και χαμηλή ευρωπτότητα - Μη αποσπασθιμύνας αργιλέας σχετιόθως	
1.5	Μαλακά πείρωματα, για τα οποία ισχύει: - άκριμη με παρουσία νερού Microdeval (MDE) > 40 και - άκριμη Los Angeles (L.A) > 40	QS1 (3)
2.1	Εδάφη με ποσοστό λεπτόκοκκων 5 - 15% (1)	QS2 (4)
2.2	Χυανόγεις έδαφος με ποσοστό λεπτόκοκκων λυότριο από 5% (1) ( $C_u < 6$ )	
2.3	Σύνθετες ακλόρη πείρωματα π.χ. Εισώ $25 < \text{MDE} < 40$ και $30 < \text{LA} < 40$	
3.1	Καλά διαβρωθιμύνα εδάφη με ποσοστό λεπτόκοκκων λυότριο από 5% (1)	
3.2	Σκληρά πείρωματα, π.χ. Εισώ $\text{MDE} \leq 25$ και $\text{LA} \leq 30$	
		QS3

- (1) Αυτά τα ποσοστά % αφορούν/είναι βάσει της συγκεκριμένης για υλικό που διέρχεται από κόκκινο 60 mm. Τα ποσοστά στα συγκεκριμένα στη μονάδα προς τα κάτω (ορισμένα) Σεισμοδυναμικά χαρακτηριστικά διαφορετική (μεθοδολογία). Τα ποσοστά μπορούν να αυξηθούν μέχρι και 5% μετά από επαρκή διεξαγωγή.
- (2) Ορισμένα Σεισμοδυναμικά εντάξει κατατάσσονται από τα εδάφη στην κατηγορία QS1.
- (3) Αυτά τα εδάφη μπορούν να ενταχίσουν στην κατηγορία QS2 εφόσον οι υδρογεωλογικές και υδρολογικές συνθήκες είναι καλές.
- (4) Αυτά τα εδάφη μπορούν να ενταχίσουν στην κατηγορία QS3 εφόσον οι υδρογεωλογικές και υδρολογικές συνθήκες είναι καλές.



The proposed monitoring of the examined embankment is presented in a separate study, referring to the monitoring program of the whole project (cuts embankments and tunnels). The monitoring program for the case of the presented embankment includes the installation of settlement platforms every 200m along the embankment. These platforms consist of a square concrete plate having dimensions equal to 0.50x0.50x0.50m in which a steel pipe with threaded couplings (surrounded by a sleeve plastic pipe) is embedded. The concrete plate is placed on the natural ground, whereas the steel pipe protrudes from the upper surface of the embankment, so that the settlement of the platform can be determined by measuring the elevation of the top of the steel pipe using surveying methods (Dunnicliff, 1993). Due to the fact that the embankment has not been constructed yet and thus settlement measurements are not available, no reference to monitoring instrumentation was made in the paper.

### **Relevant Reference**

Dunnicliff, J. (1993). "Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance", John Wiley & Sons Inc.

UIC Code 719R, 2nd Edition 1.1.94, Earthworks and Track-Bed Layers for Railway Lines, International Union of Railways, Paris, France, 1994