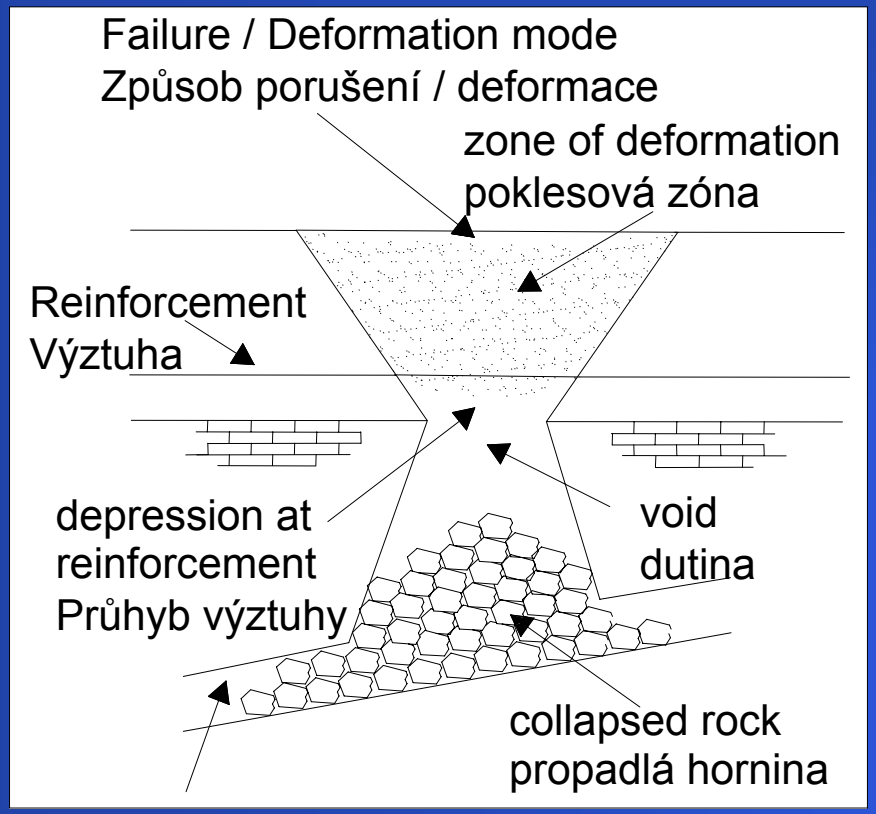
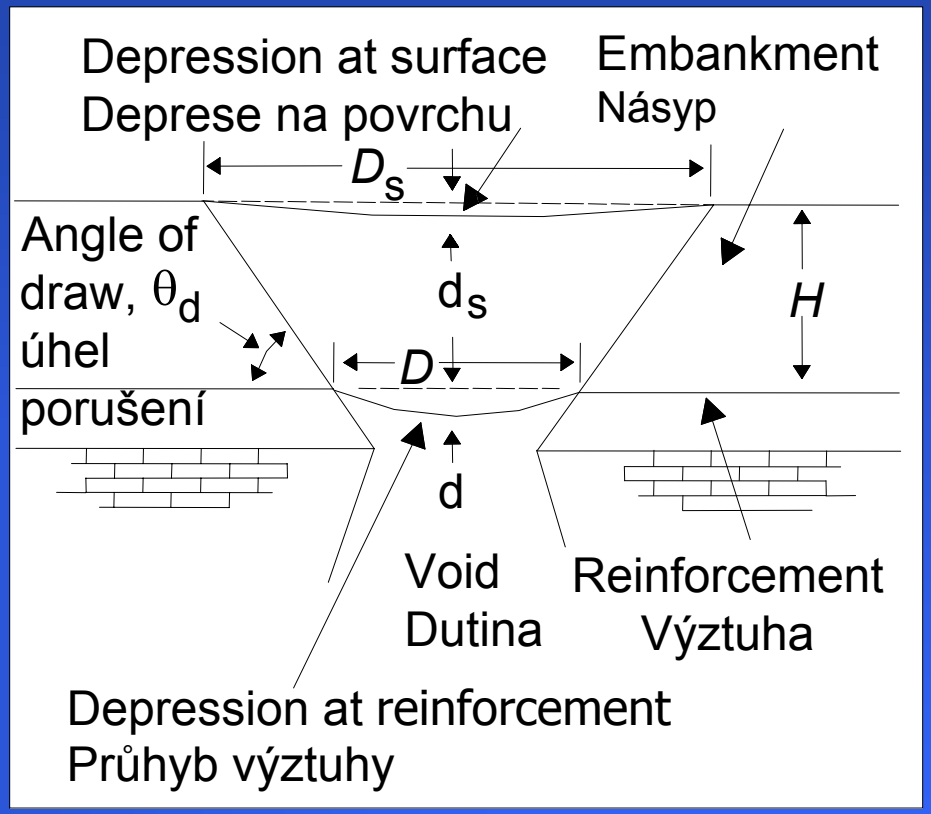
Soil Reinforcement – Innovative and Engineered Solutions with Geosynthetics

Sven Schröer
Dipl.-Ing. Civil Engineering M.Sc.,
HUESKER Synthetic GmbH, Germany

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

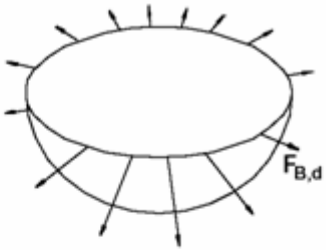
30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno





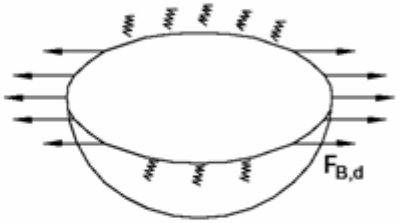
Dimensioning concept acc. to BS 8006: 1995

HUESKER



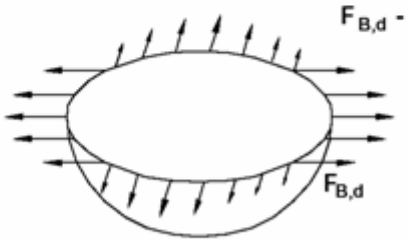
Isotropní namáhání membrány v tahu přes dutinu ve tvaru kruhu

Isotrope Zugbeanspruchung einer isotropen Membrane über einen kreisförmigen Hohlraum



Jednoosé namáhání výztuhy v tahu přes dutinu ve tvaru kruhu

Einaxiale Zugbeanspruchung einer einaxialen Bewehrung über einen kreisförmigen Hohlraum



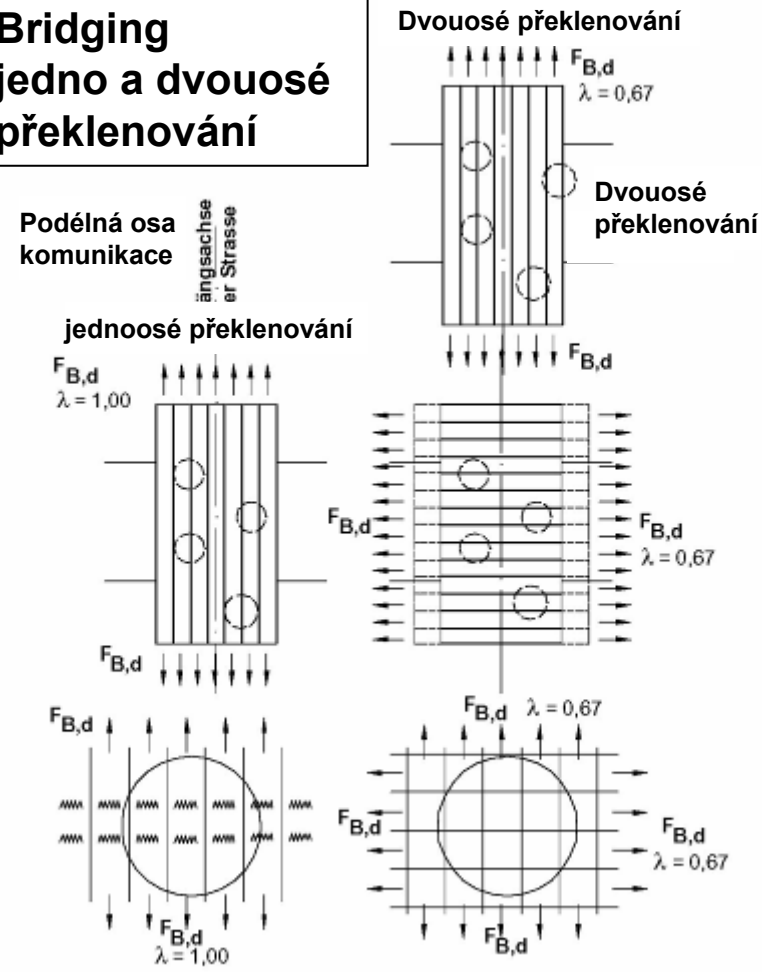
Dvouosé namáhání výztuhy v tahu přes dutinu ve tvaru kruhu

Biaxiale Zugbeanspruchung einer orthogonalen zweilagigen Bewehrung über einen kreisförmigen Hohlraum

Přemostění dutiny
princip přebírání sil

Uni- & biaxial Bridging jedno a dvouosé překlenování

HUESKER

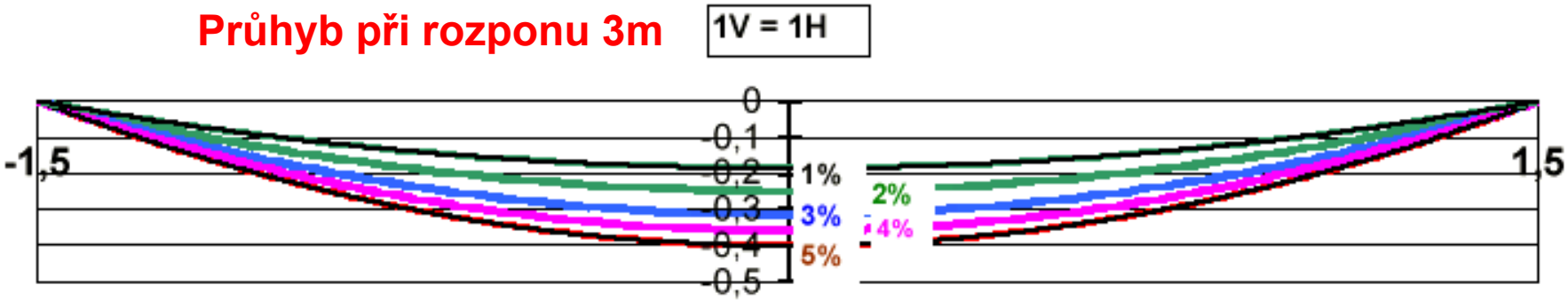


$F_{B,d}$ = erforderliche Bemessungsfestigkeit der Bewehrung

Požadovaná výpočtová pevnost výztuhy

Durchhang bei 3 m Spannweite
Deflection for 3 m span

Průhyb při rozponu 3m

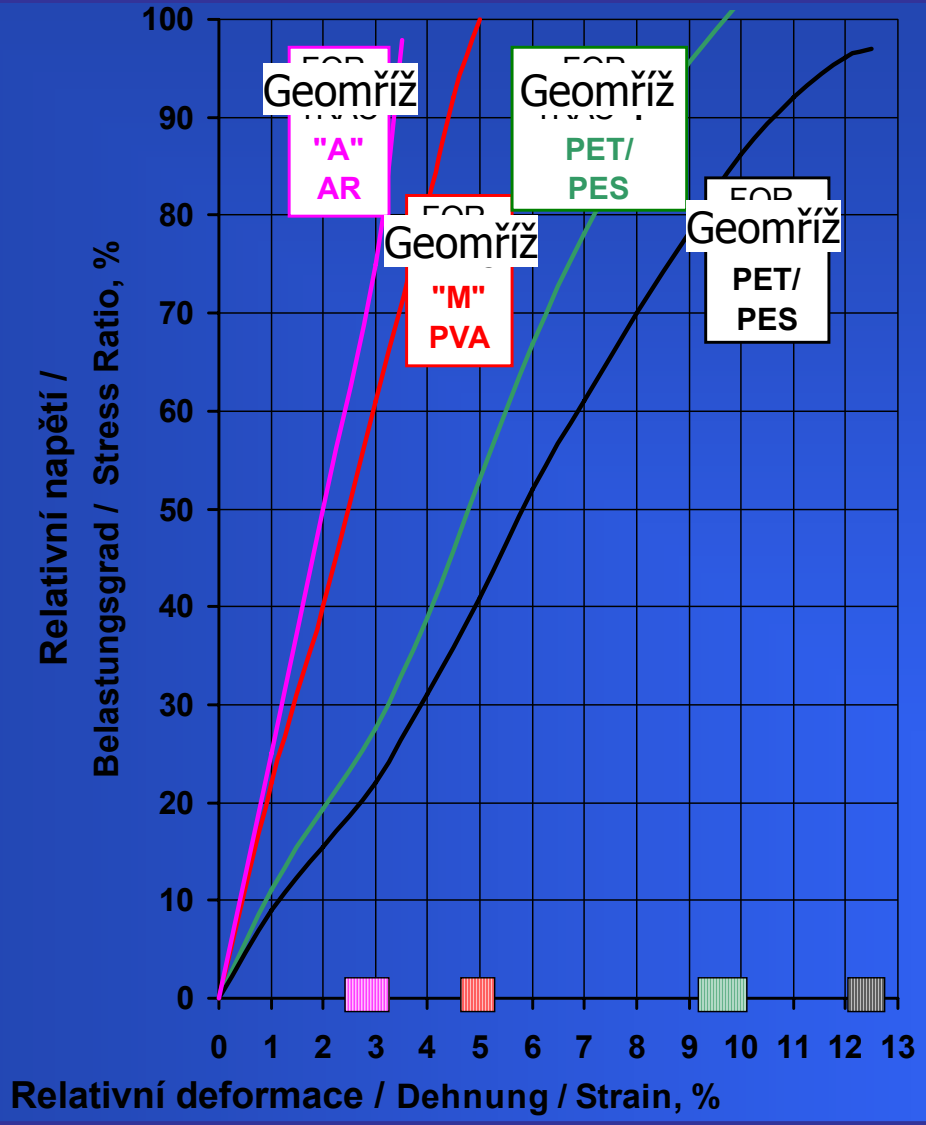


Následky protažení

Folgen der Dehnung
Consequenses of Strain

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

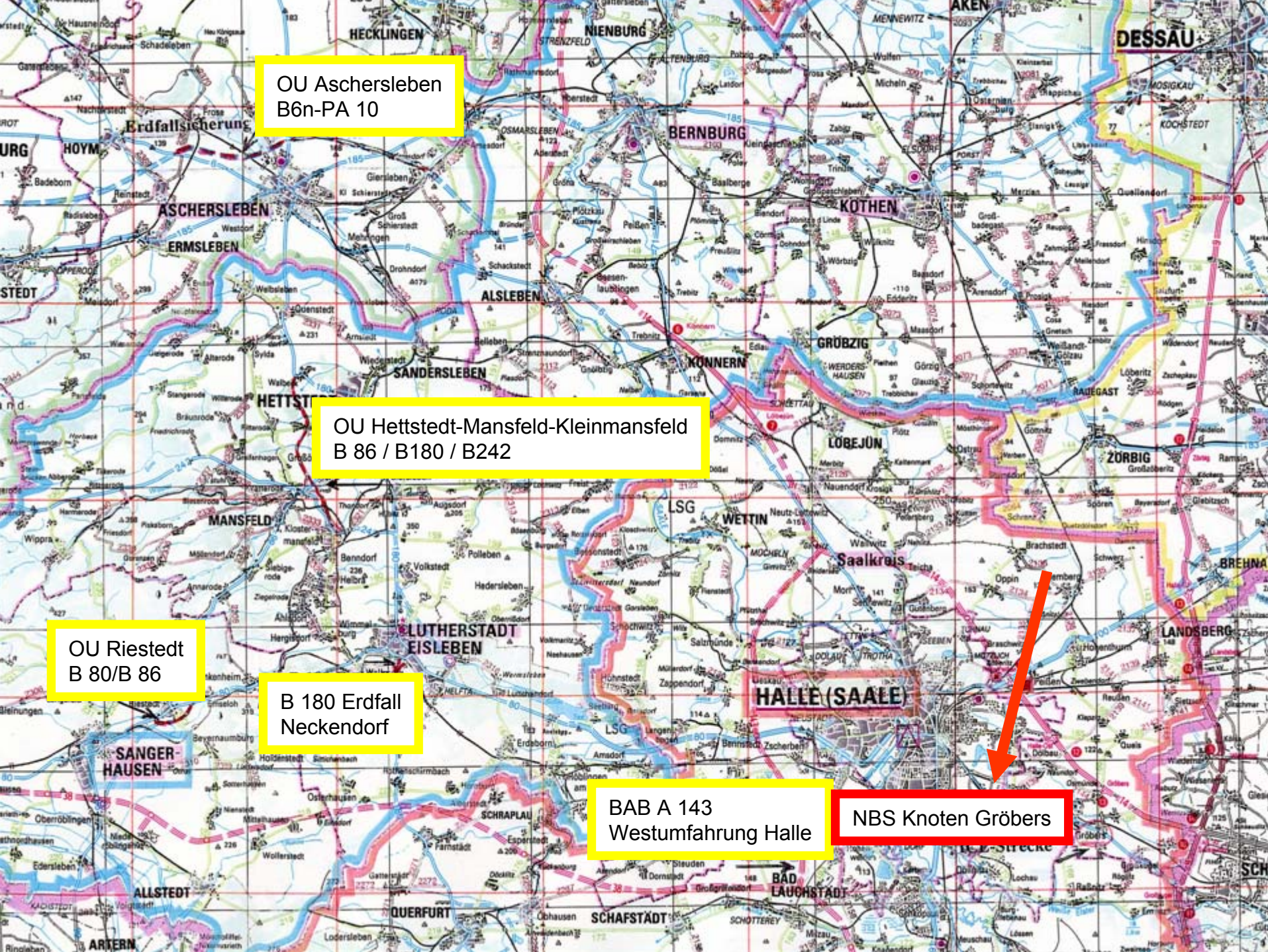


Raillink / železniční křižovatka Gröbers

Task / Úkol:

- Sinkholes with / dutiny s D ~ 4,0 m

  Mining area / poddolované území
- No alternative route for the high speed train ICE
  neexistence alternativy pro vysokorychlostní trať ICE


OU Aschersleben
B6n-PA 10
OU Hettstedt-Mansfeld-Kleinmansfeld
B 86 / B180 / B242
OU Riestedt
B 80/B 86
B 180 Erdfall
Neckendorf
BAB A 143
Westumfahrung Halle
NBS Knoten Gröbers
Erdfallsicherung
HECKLINGEN
NIENBURG
DESSAU
BERNBURG
HOYM
ASCHERSLEBEN
ERMSLEBEN
KÖTHEN
ALSLEBEN
GRÖBZIG
KÖNNERN
SANDERSLEBEN
LOBEJÜN
ZÖRBIG
MANSFELD
WETTIN
Saalkreis
LUTHERSTADT
EISLEBEN
HALLE (SAALE)
LANDSBERG
SANGER-
HAUSEN
SCHRAPLAU
BAD
LAUCHSTÄDT
ALLSTEDT
QUERFURT
SCHAFSTÄDT
ARTERN

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

FELD 3, Sinkhole in Base of Pit / Dutina na dně výkopu

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

FELD 3, Deep sinkhole, developing upwards /
Podzemní dutina propagující se k povrchu

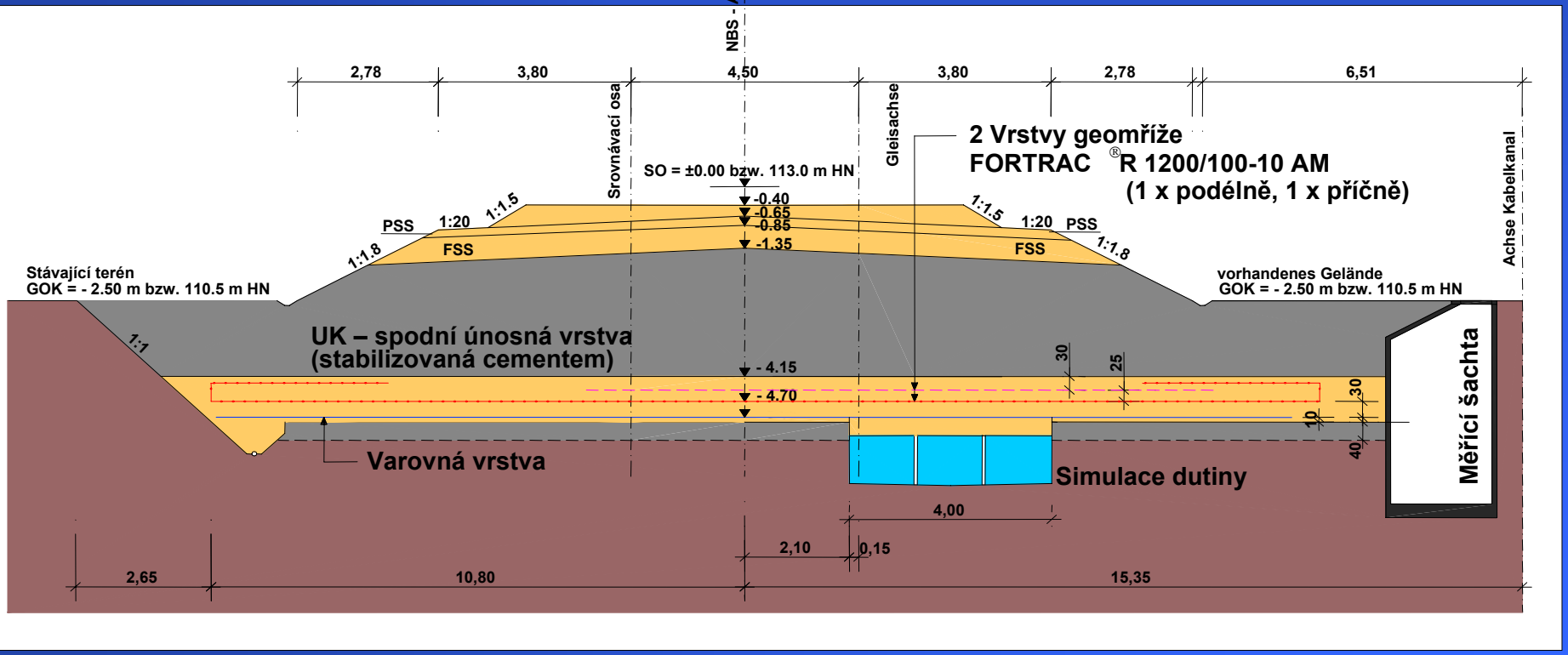
FELD 3, Sinkhole almost reached top / Dutina téměř na povrchu

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

Železniční křižovatka Gröbers 2000-2002
překlenování 4 m dutin
2 x vysokorychlostní & 6 x „normální“ nebo těžké nákladní
Geomříže 1200/100-10 AM &
Geokompozitní „Varovná vrstva“

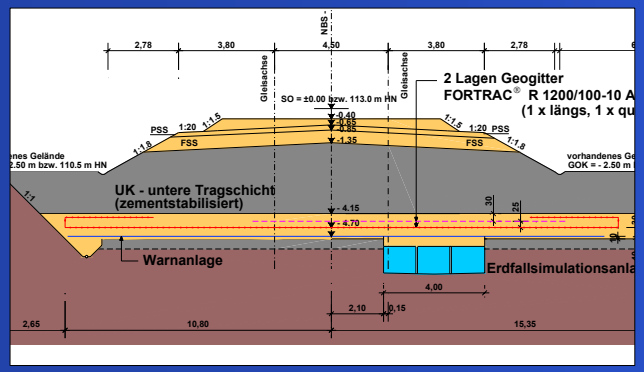
Rail-link-“node“ Gröbers 2000-2002
Bridging 4 m sinkholes
2 x high-speed & 6 x „normal“ or heavy cargo
Geogrids 1200/100-10 AM &
Geocomposit „Warning Layer“



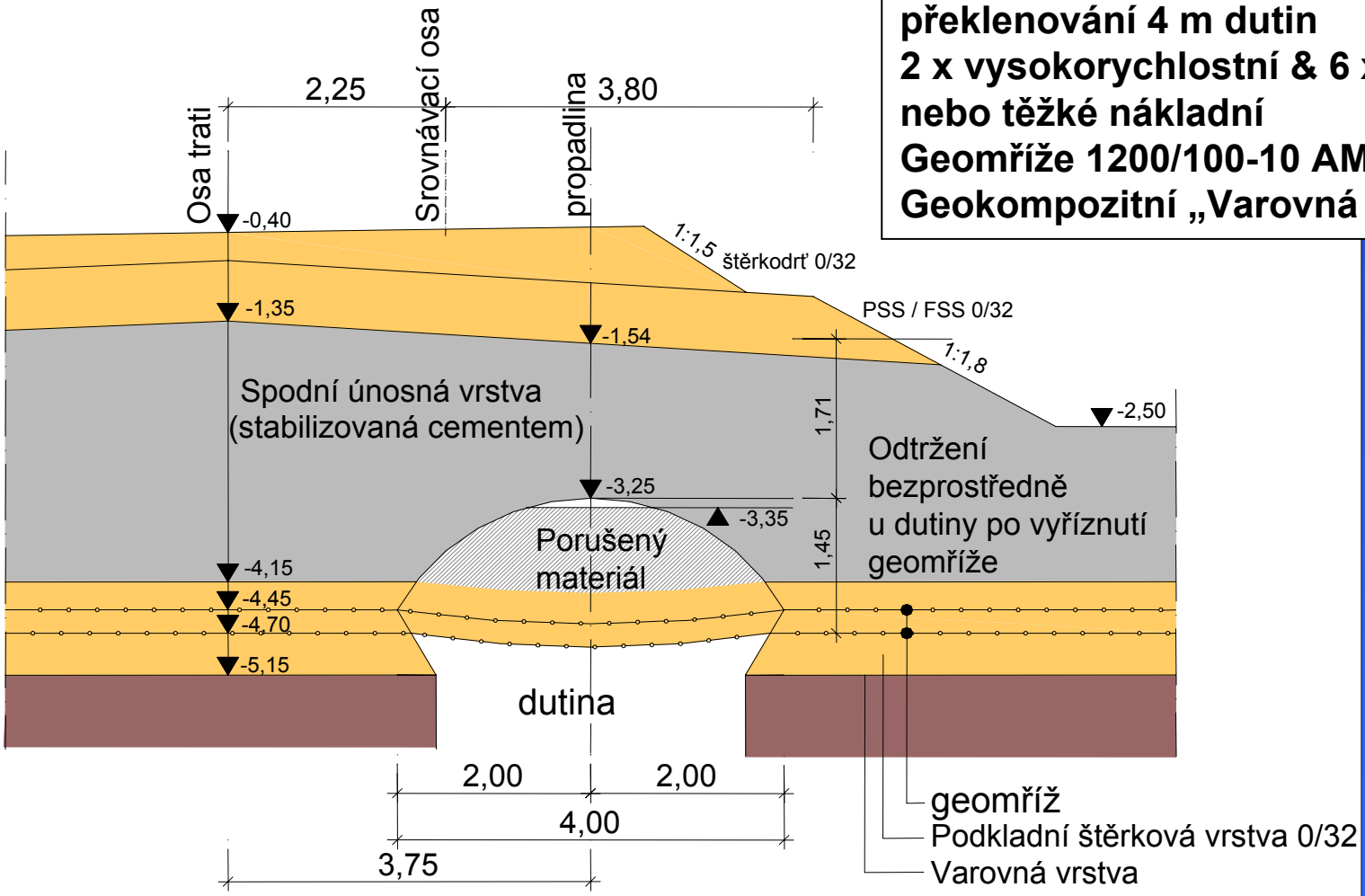
NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

Železniční křižovatka Gröbers 2000-2002
překlenování 4 m dutin
2 x vysokorychlostní & 6 x „normální“
nebo těžké nákladní
Geomříže 1200/100-10 AM &
Geokompozitní „Varovná vrstva“

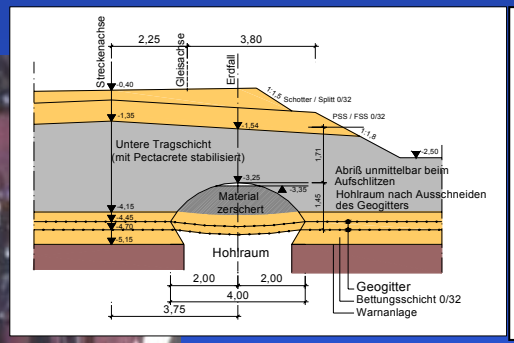


Železniční křižovatka Gröbers 2000-2002
překlenování 4 m dutin
2 x vysokorychlostní & 6 x „normální“
nebo těžké nákladní
Geomříže 1200/100-10 AM &
Geokompozitní „Varovná vrstva“



NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

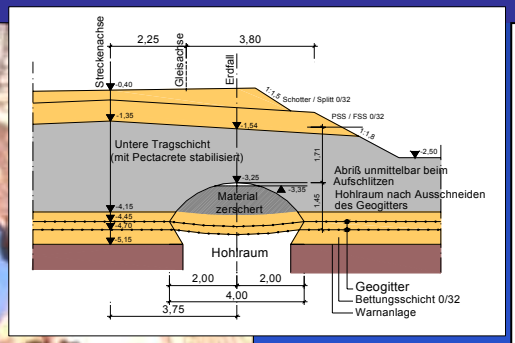
30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno



Železniční křižovatka Gröbers 2000-2002
překlenování 4 m dutin
2 x vysokorychlostní & 6 x „normální“
nebo těžké nákladní
Geomříže 1200/100-10 AM &
Geokompozitní „Varovná vrstva“

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

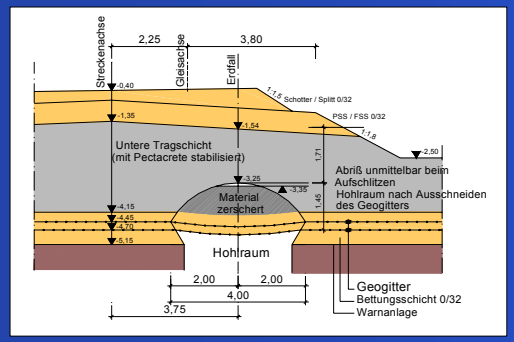


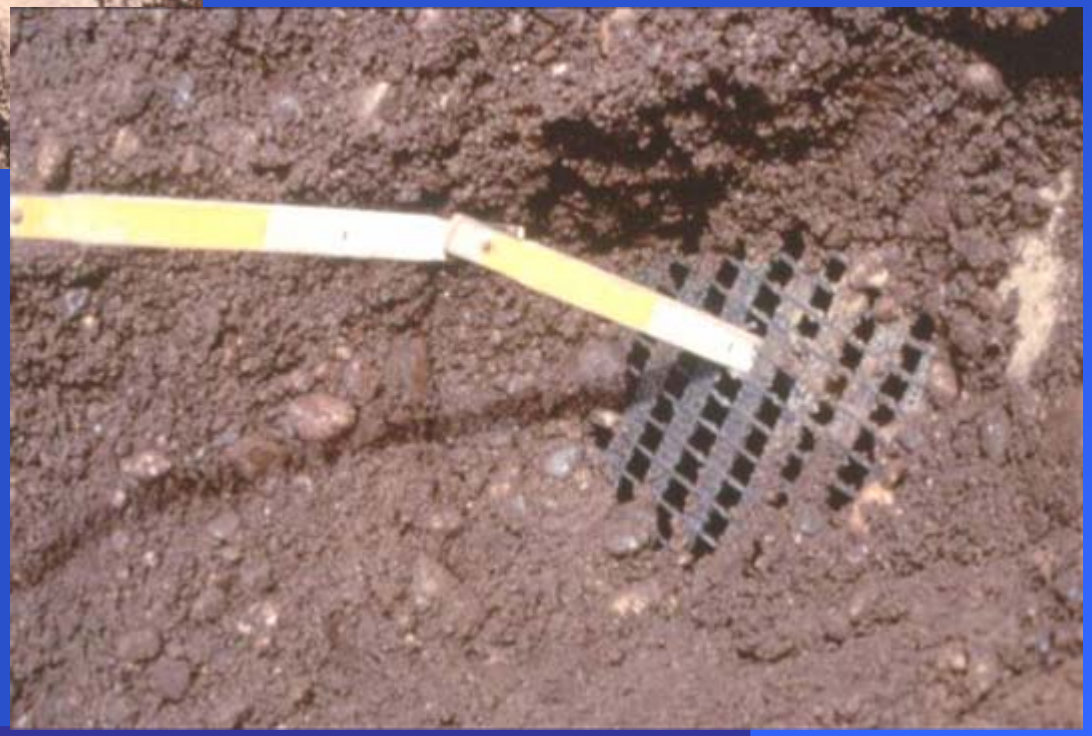
Železniční křižovatka Gröbers 2000-2002
překlenování 4 m dutin
2 x vysokorychlostní & 6 x „normální“
nebo těžké nákladní
Geomříže 1200/100-10 AM &
Geokompozitní „Varovná vrstva“

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

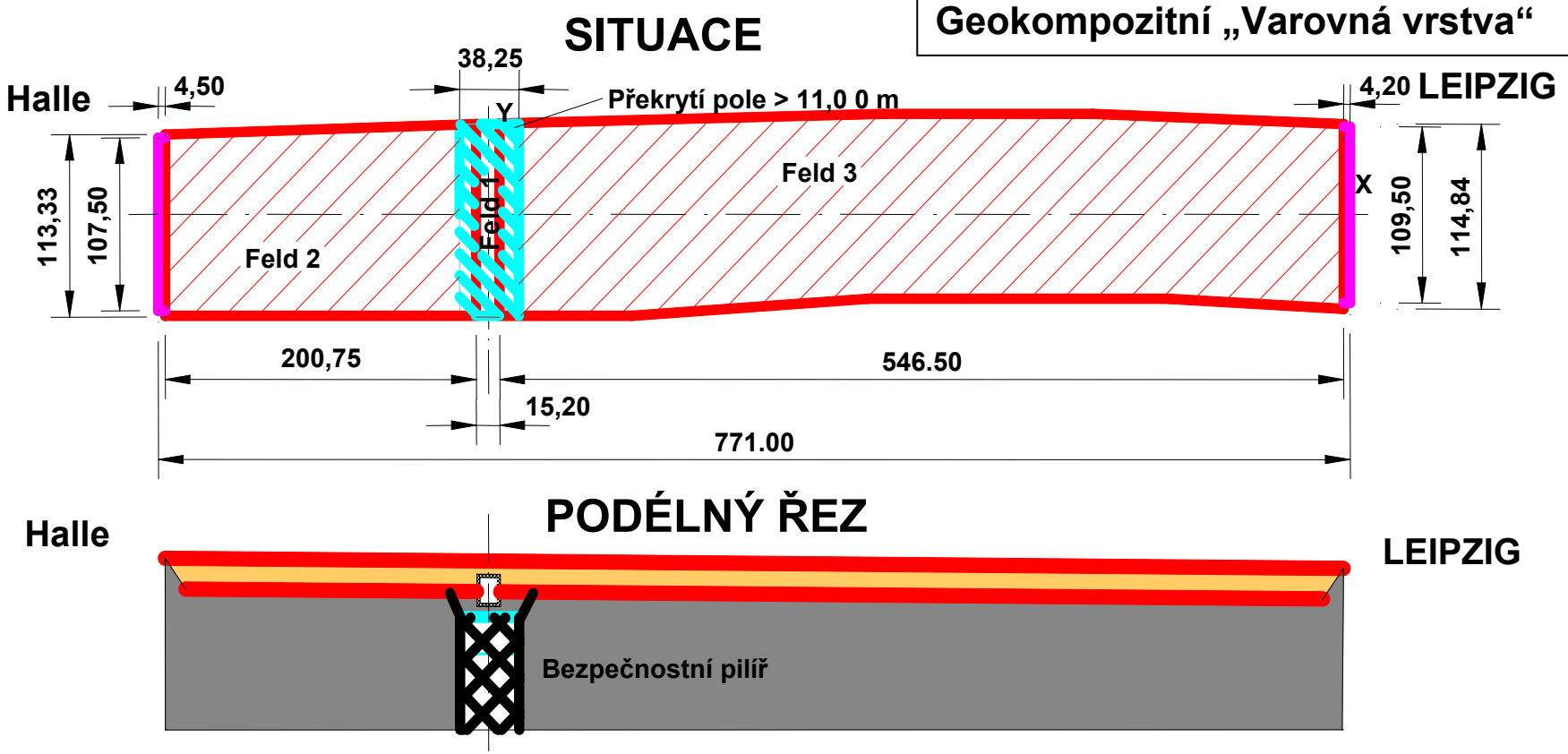
30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

Železniční křižovatka Gröbers 2000-2002
překlenování 4 m dutin
2 x vysokorychlostní & 6 x „normální“
nebo těžké nákladní
Geomříže 1200/100-10 AM &
Geokompozitní „Varovná vrstva“





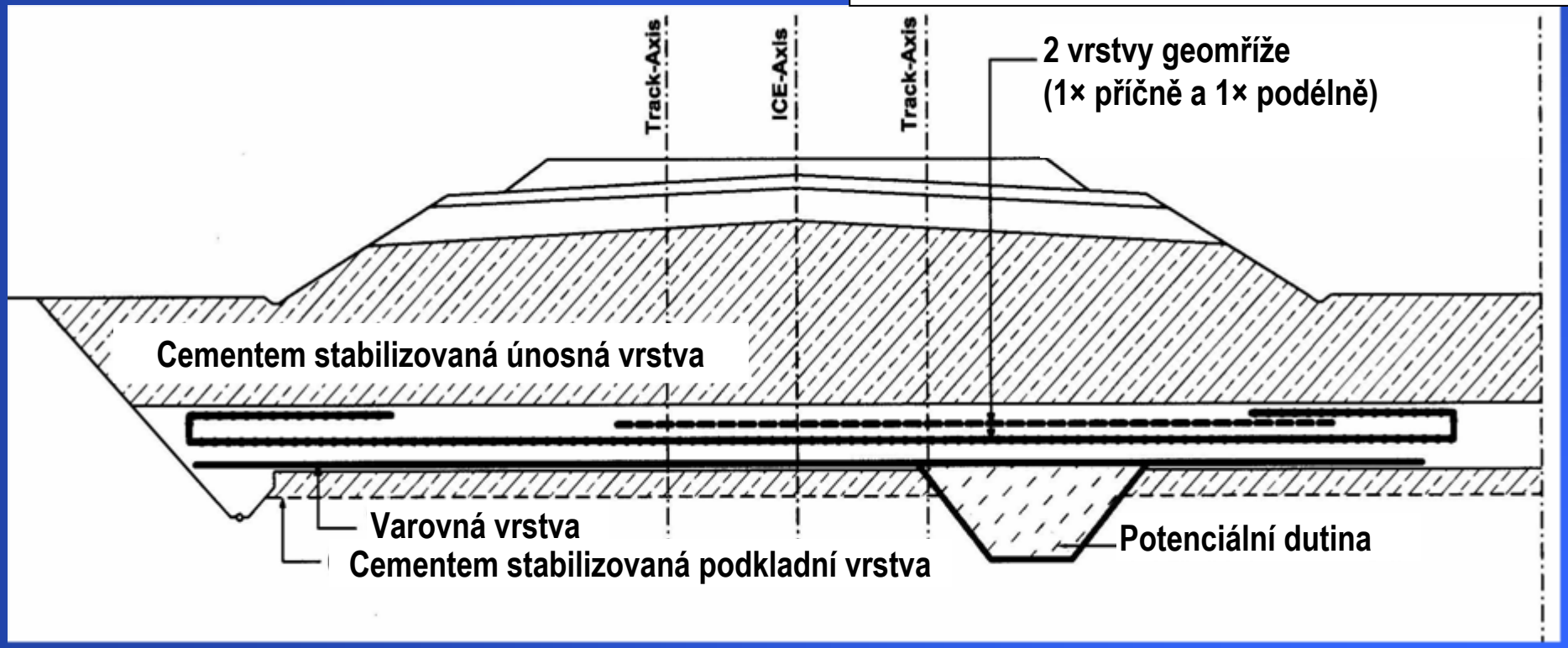
Železniční křižovatka Gröbers 2000-2002
překlenování 4 m dutin
2 x vysokorychlostní & 6 x „normální“
nebo těžké nákladní
Geomříže 1200/100-10 AM &
Geokompozitní „Varovná vrstva“

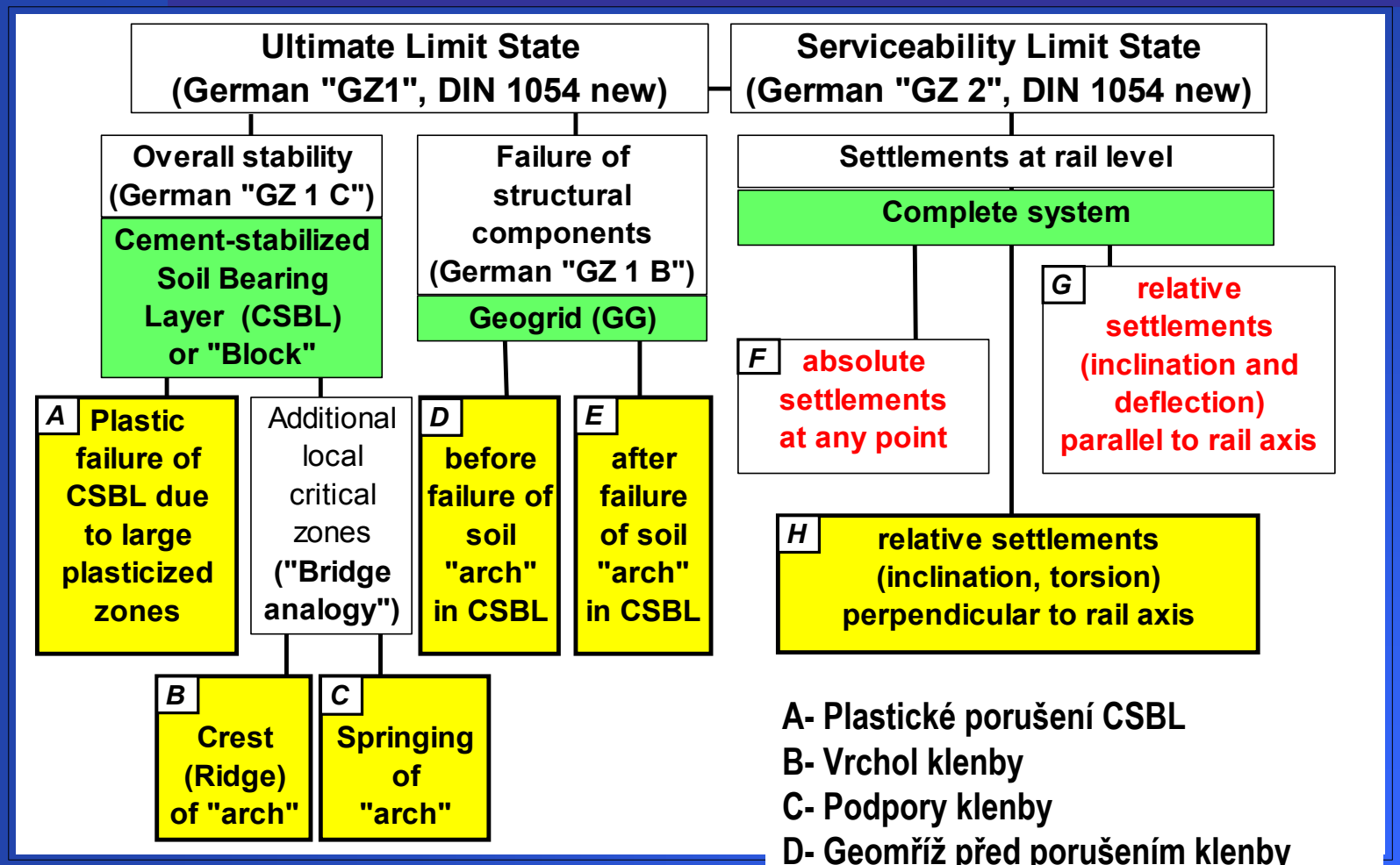


NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

Železniční křižovatka Gröbers 2000-2002
překlenování 4 m dutin
2 x vysokorychlostní & 6 x „normální“
nebo těžké nákladní
Geomříže 1200/100-10 AM &
Geokompozitní „Varovná vrstva“

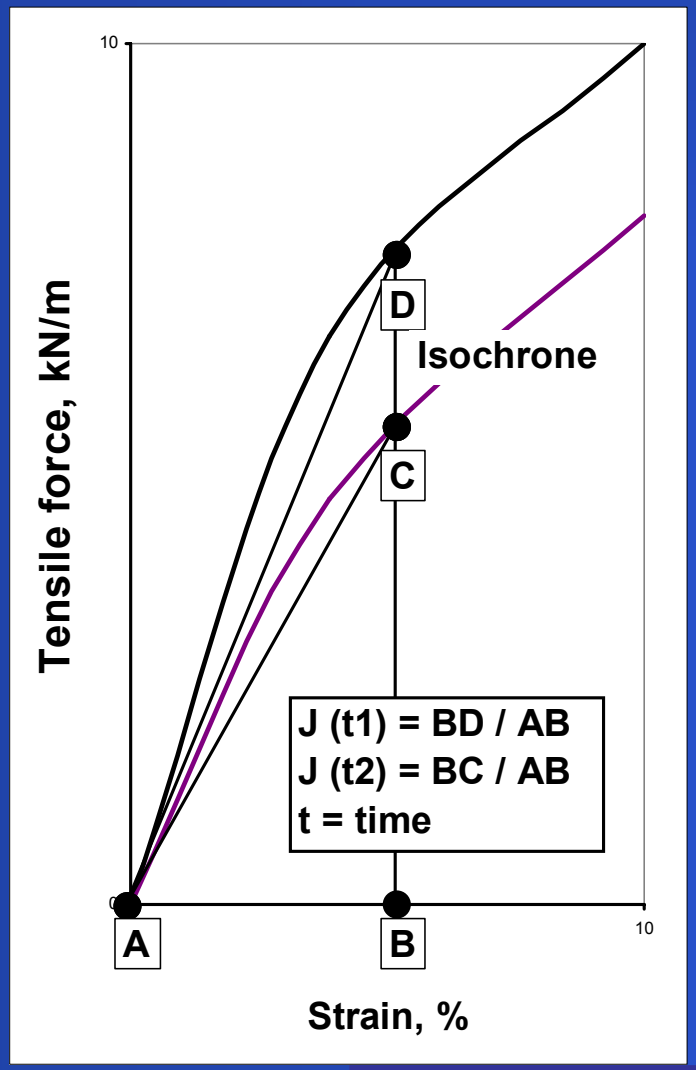




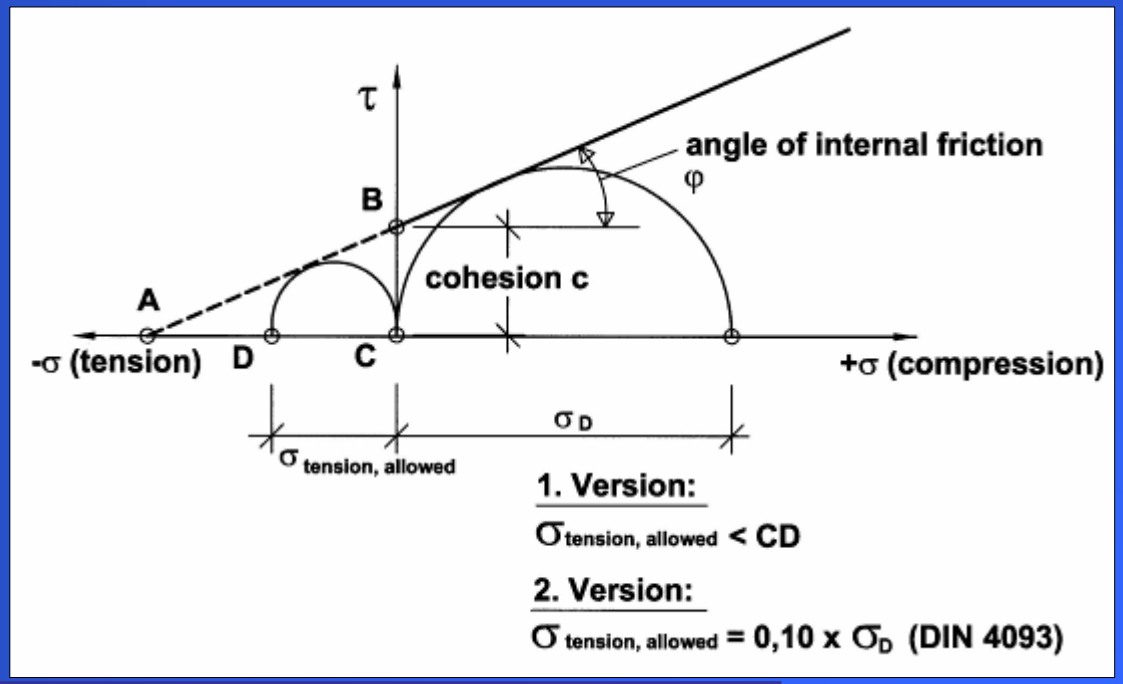
A- Plastické porušení CSBL
B- Vrchol klenby
C- Podpory klenby
D- Geomříž před porušením klenby
E- Geomříž po porušení klenby
H- Relativní deformace kolmo k ose trati

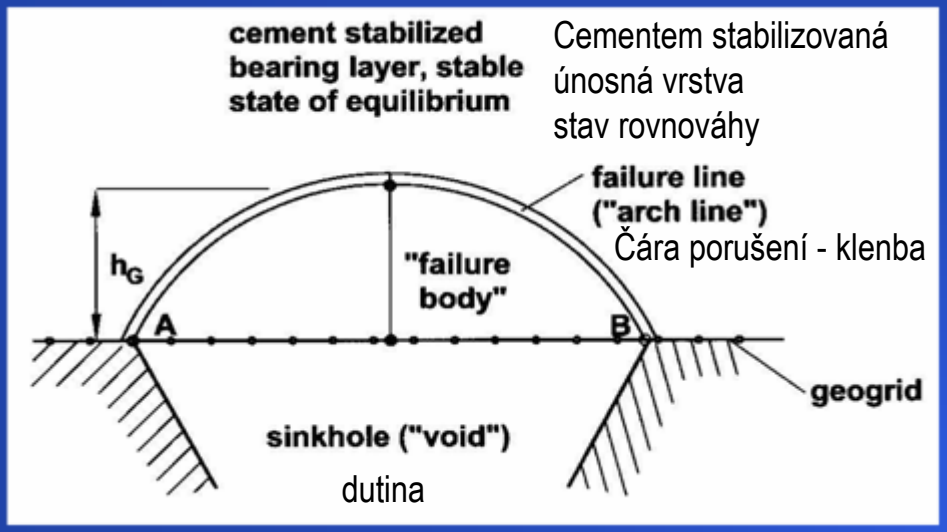
NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

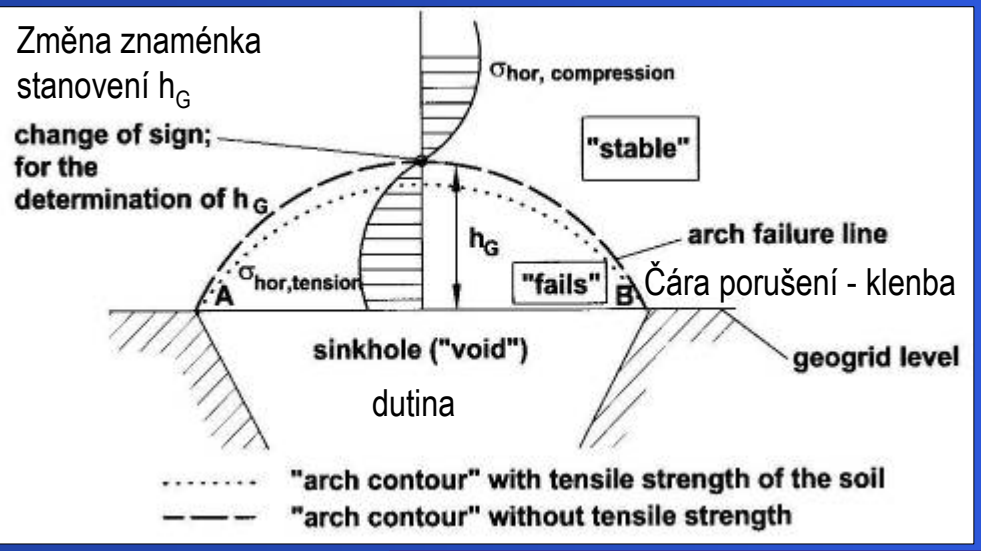


Železniční křižovatka Gröbers 2000-2002
překlenování 4 m dutin
2 x vysokorychlostní & 6 x „normální“ nebo těžké nákladní
Geomříže 1200/100-10 AM &
Geokompozitní „Varovná vrstva“



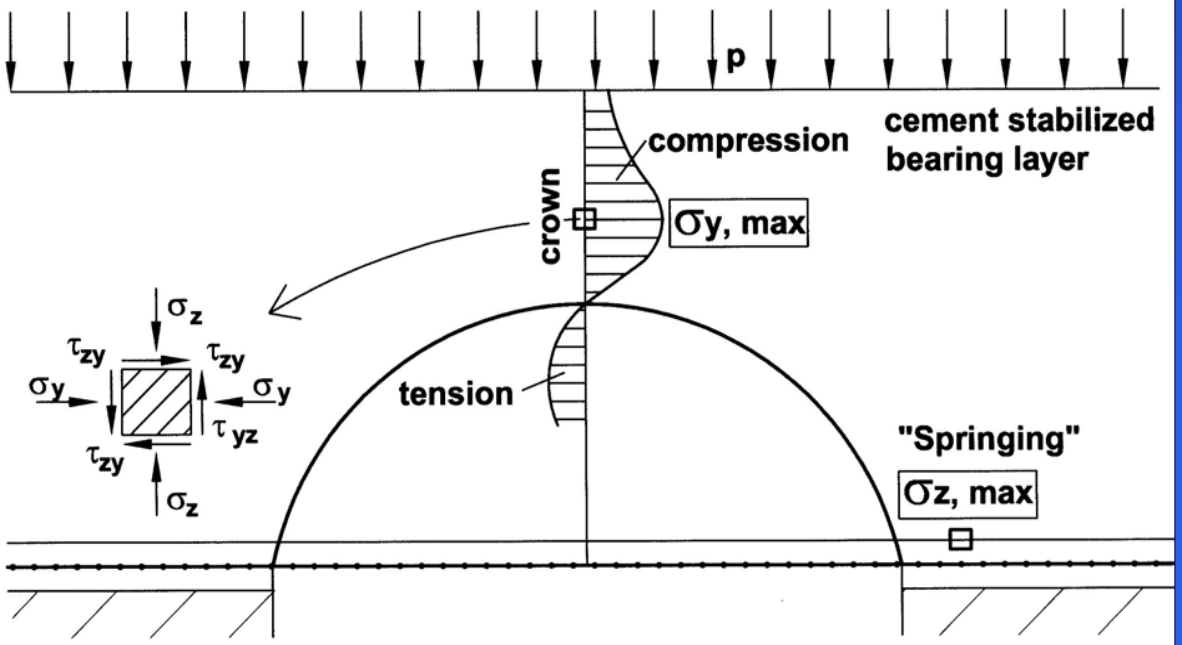


Železniční křižovatka Gröbers 2000-2002
překlenování 4 m dutin
2 x vysokorychlostní & 6 x „normální“ nebo těžké nákladní
Geomříže 1200/100-10 AM &
Geokompozitní „Varovná vrstva“



Železniční křižovatka Gröbers 2000-2002
překlenování 4 m dutin
2 x vysokorychlostní & 6 x „normální“ nebo těžké nákladní
Geomříže 1200/100-10 AM & Geokompozitní „Varovná vrstva“

Overall Stability 'GZ1C': 'Crest' and 'Springing'



$$\sin^2 \varphi = ((\sigma_z - \sigma_y) + 4\tau^2_{zy}) / ((\sigma_z + \sigma_y + 2 * c * \text{cotan}\, \varphi)^2)$$

$$\sin \varphi_{crit} = (\sqrt{((\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4 * \tau_{zy}{}^2)}) / (\sigma_z + \sigma_y + 2 * c * \text{cotan}\, \varphi)$$

Celková stabilita
– vrchol a podpory klenby

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

Železniční křižovatka Gröbers 2000-2002
překlenování 4 m dutin
2 x vysokorychlostní & 6 x „normální“
nebo těžké nákladní
Geomříže 1200/100-10 AM &
Geokompozitní „Varovná vrstva“

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

Železniční křižovatka Gröbers 2000-2002
překlenování 4 m dutin
2 x vysokorychlostní & 6 x „normální“
nebo těžké nákladní
Geomříže 1200/100-10 AM &
Geokompozitní „Varovná vrstva“

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

Železniční křižovatka Gröbers 2000-2002
překlenování 4 m dutin
2 x vysokorychlostní & 6 x „normální“
nebo těžké nákladní
Geomříže 1200/100-10 AM &
Geokompozitní „Varovná vrstva“

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

Železniční křižovatka Gröbers 2000-2002
překlenování 4 m dutin
2 x vysokorychlostní & 6 x „normální“
nebo těžké nákladní
Geomříže 1200/100-10 AM &
Geokompozitní „Varovná vrstva“

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

Železniční křižovatka Gröbers 2000-2002
překlenování 4 m dutin
2 x vysokorychlostní & 6 x „normální“
nebo těžké nákladní
Geomříže 1200/100-10 AM &
Geokompozitní „Varovná vrstva“

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

Železniční křižovatka Gröbers 2000-2002
překlenování 4 m dutin
2 x vysokorychlostní & 6 x „normální“
nebo těžké nákladní
Geomříže 1200/100-10 AM &
Geokompozitní „Varovná vrstva“

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

Water Engineering Project in Very Soft Soils,
DASA Facility, „Mühlenberger Loch“, Hamburg, Germany
Projekt rekultivace území říční delty Labe ve velmi měkkých zeminách,
Továrna DASA, „Mühlenberger Loch“, Hamburg, Německo

The foundation of a dike on Geotextile-Encased Sand Columns System Möbius in very soft soils (sludge) for land reclamation

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

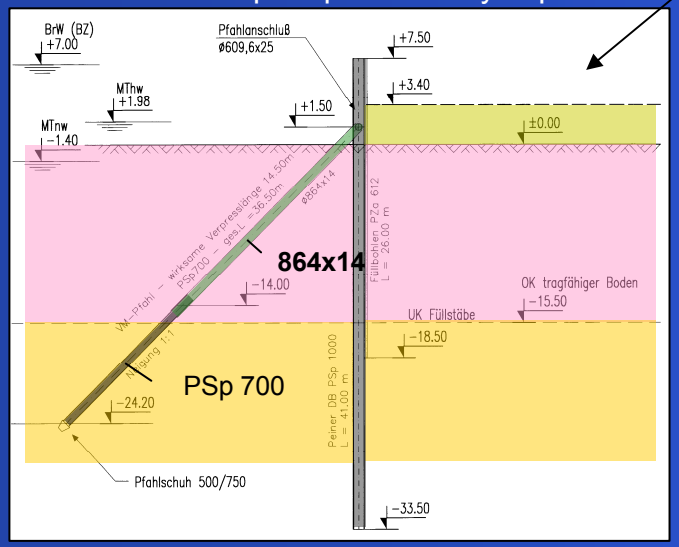
30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

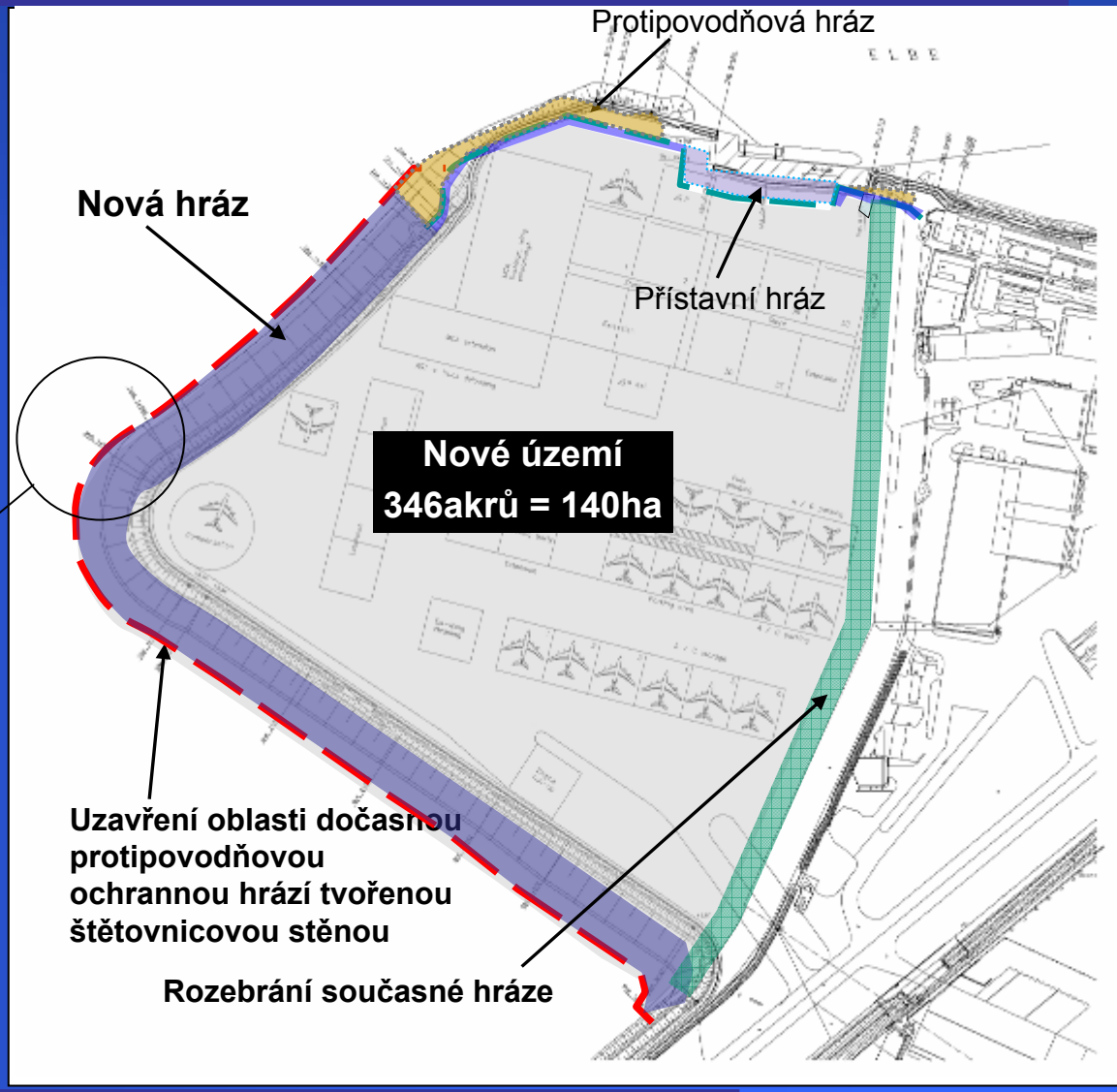
14.12. 2001 (9 Months/měsíců)

4.4. 2002 (13 Months/měsíců)

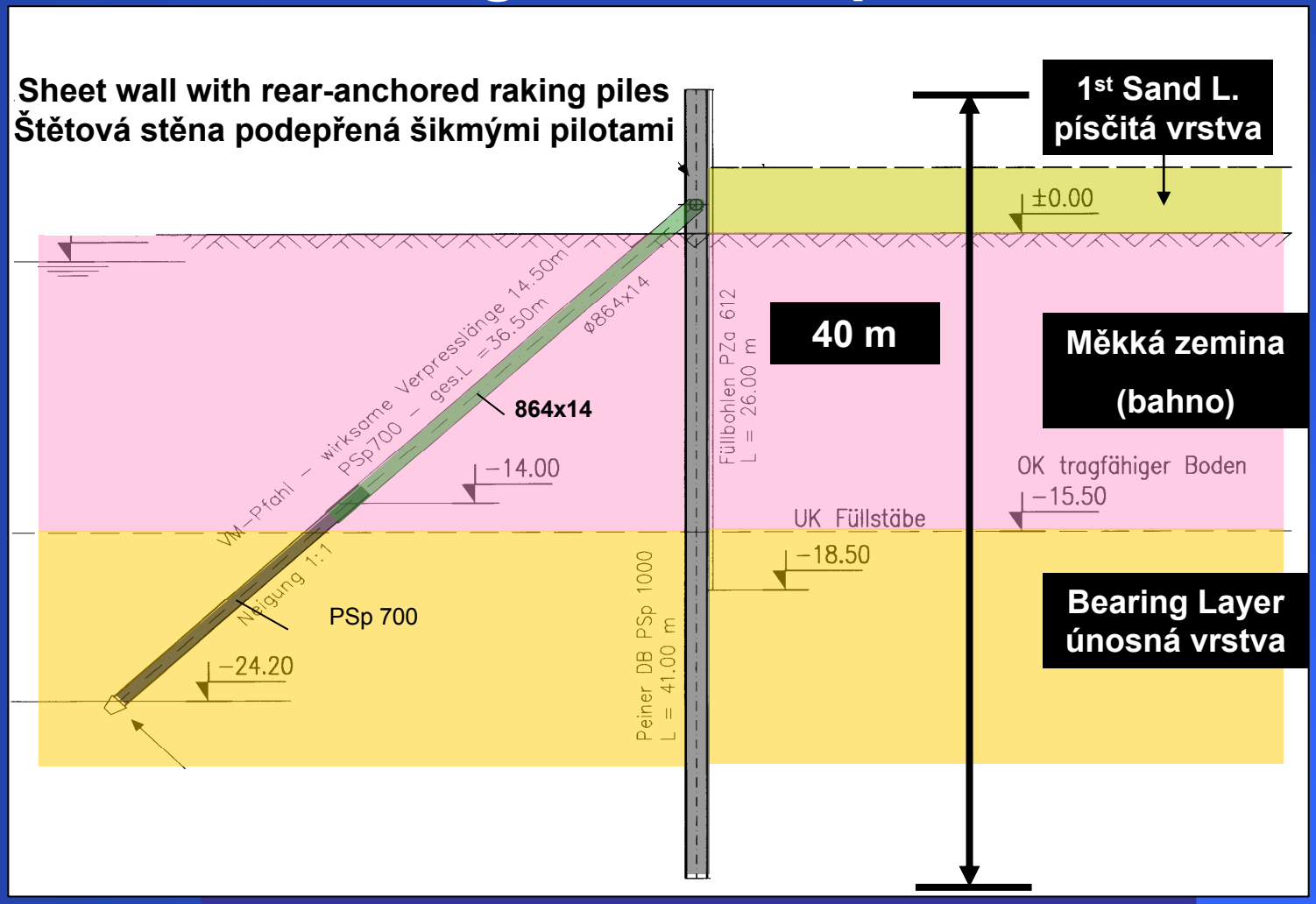
Original Concept in the Contract Documents Původní návrh – součást kontraktu

Štětová stěna podepřená šikmými pilotami





Původní návrh / Original Concept in the Contract Documents



Why construct temporary sheet wall and further dike ?
Proč stavět dočasnou štětovou stěnu a následně hráz?

- Temporary enclosure is necessary because / dočasné uzavření je třeba protože:
  - first sand layers under buoyancy (damming height +3,0 m sea level)
    na první písčitou vrstva působí vztlak (výška vzdutí až +3,0m nad mořem)
  - next step: drain elements / wick drains to accelerate consolidation
    další krok: drenážní prvky / svislé geodrény k urychlení konsolidace

- Undrained shear strength c_u in soft soil is between / neodvodněná soudržnost c_u měkké zeminy je mezi 0.4 and 5.0 kN/m²

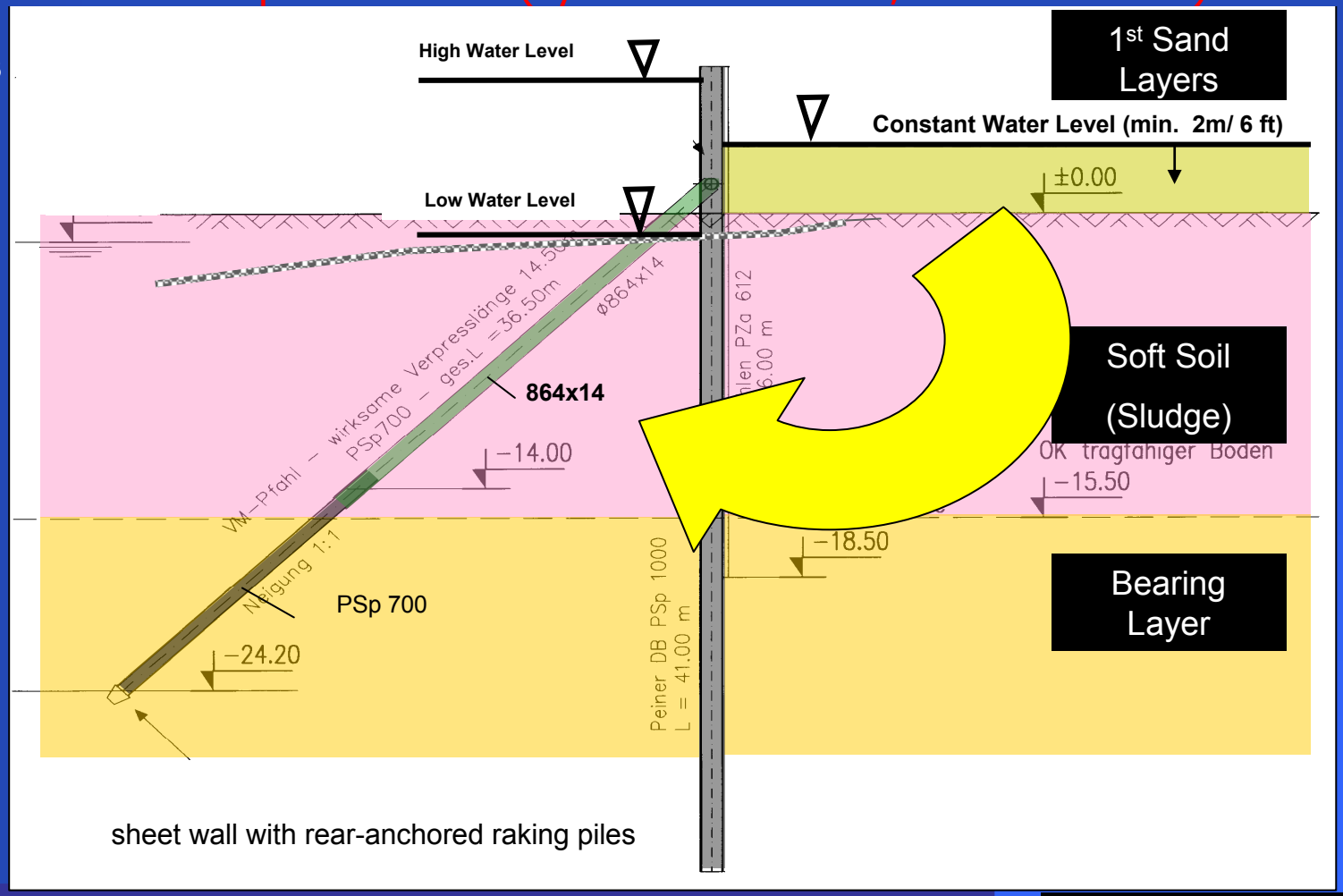
- Soil exchange or soil displacement in the river area is not allowed (contaminated soil) / Výměna zeminy v říční deltě není dovolená (kontaminovaná zemina)

- After consolidation: fill up the dike in protection of flood wall
  Po konsolidaci: násyp hráze pod ochranou protipovodňové stěny

Temporary enclosure is necessary because / dočasné uzavření je třeba protože:

- first sand layers under buoyancy (damming height +3,0 m sea level)
  na první písčitou vrstva působí vztlak (výška vzdutí až +3,0m nad mořem)

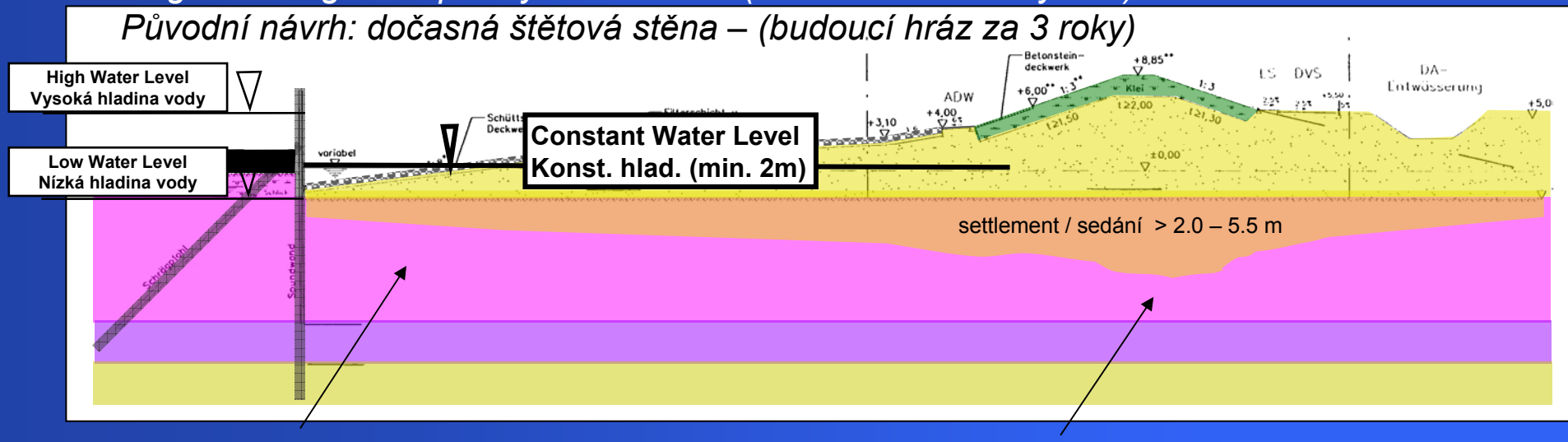
- Stability Problems
- Stabilitní problém



Temporary enclosure is necessary, because
Dočasné uzavření je třeba protože:

- **first sand layers under buoyancy (damming height +3.0 m sea level)**
  na první písčitou vrstva působí vztlak (výška vzdutí až +3,0m nad mořem)

Original Design: temporary sheet wall – (future dike after 3 years)
Původní návrh: dočasná štětová stěna – (budoucí hráz za 3 roky)

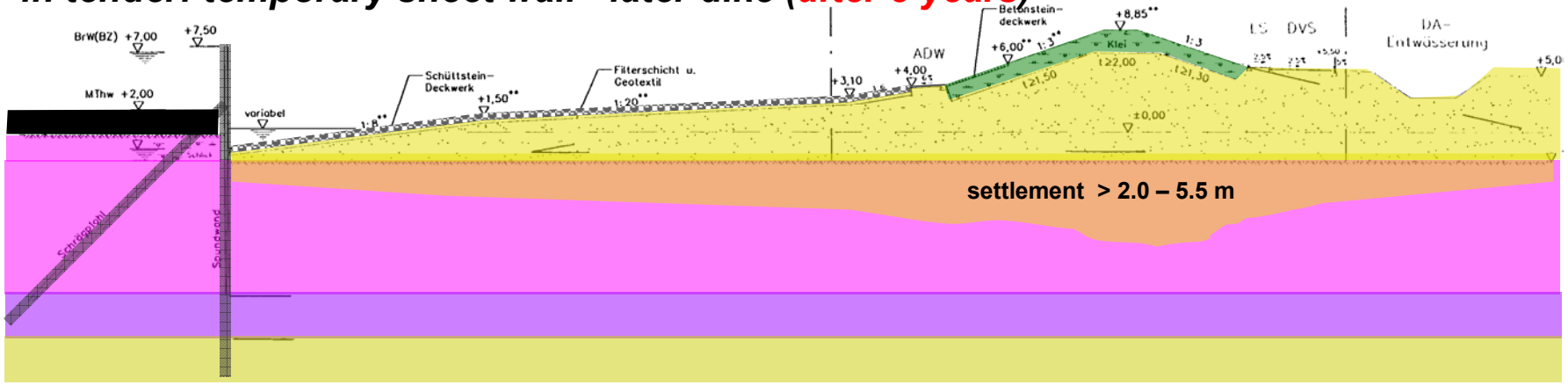


next step: drain elements / wick drains to accelerate consolidation
další krok: drenážní prvky / svislé geodrény k urychlení konsolidace

undrained shear strength c_u in soft soil is between / neodvodněná soudržnost c_u měkké zeminy je mezi 0.4 and 5.0 kN/m²

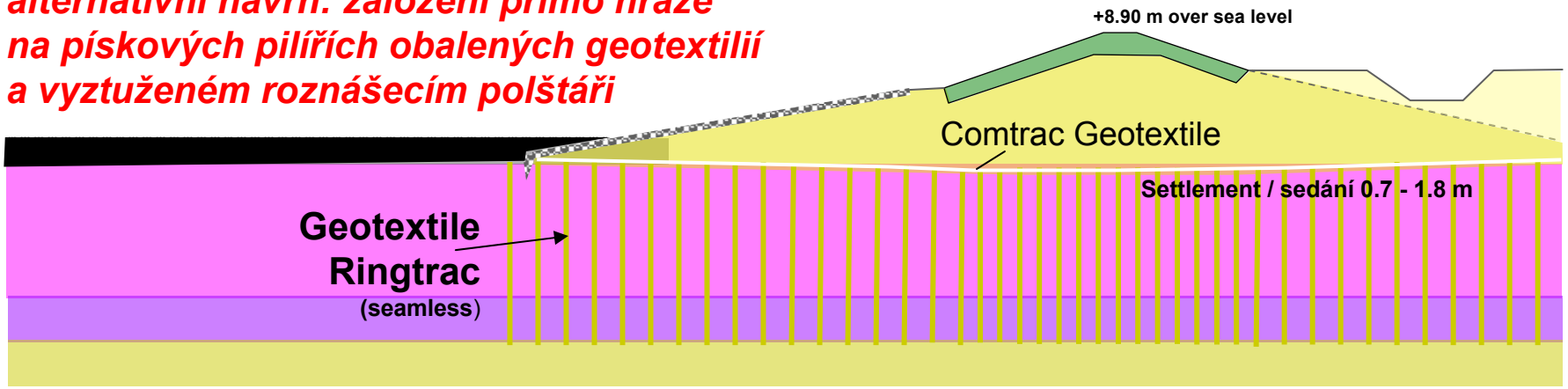
Idea of alternative procedure / návrh alternativního řešení

in tender: temporary sheet wall - later dike (after 3 years)



alternative conception: foundation system sand columns/GSM – and immediately dike

alternativní návrh: založení přímo hráze na pískových pilířích obalených geotextilií a vyztuženém roznášecím polštáři



Boundary Conditions
Okrajové podmínky

- Enclose the area with a dike / uzavření oblasti hrází
  - 21 weeks from start of the construction / 21 týdnů od počátku výstavby
    - water level in polder at +2,0m sea level
      hladina vody v poldru +2,0m n.m.
    - dike height at +4,0m sea level / výška hráze +4,0m n.m.

- Sand trickling (falling softly) and sluicing on area till +3,0m sea level
  Skrápění pískem (měkký dopad) a naplavování až do výšky +3,0m n.m.
    - 20 - 25 weeks later dike must reach the height of high tide level +7,0m sea level to provide flood control similar to the sheet wall
      20-25 týdnů později musí hráz dosáhnout výšky vysokého přílivu +7,0m n.m. pro zajištění stejné protipovodňové ochrany jako štětová stěna

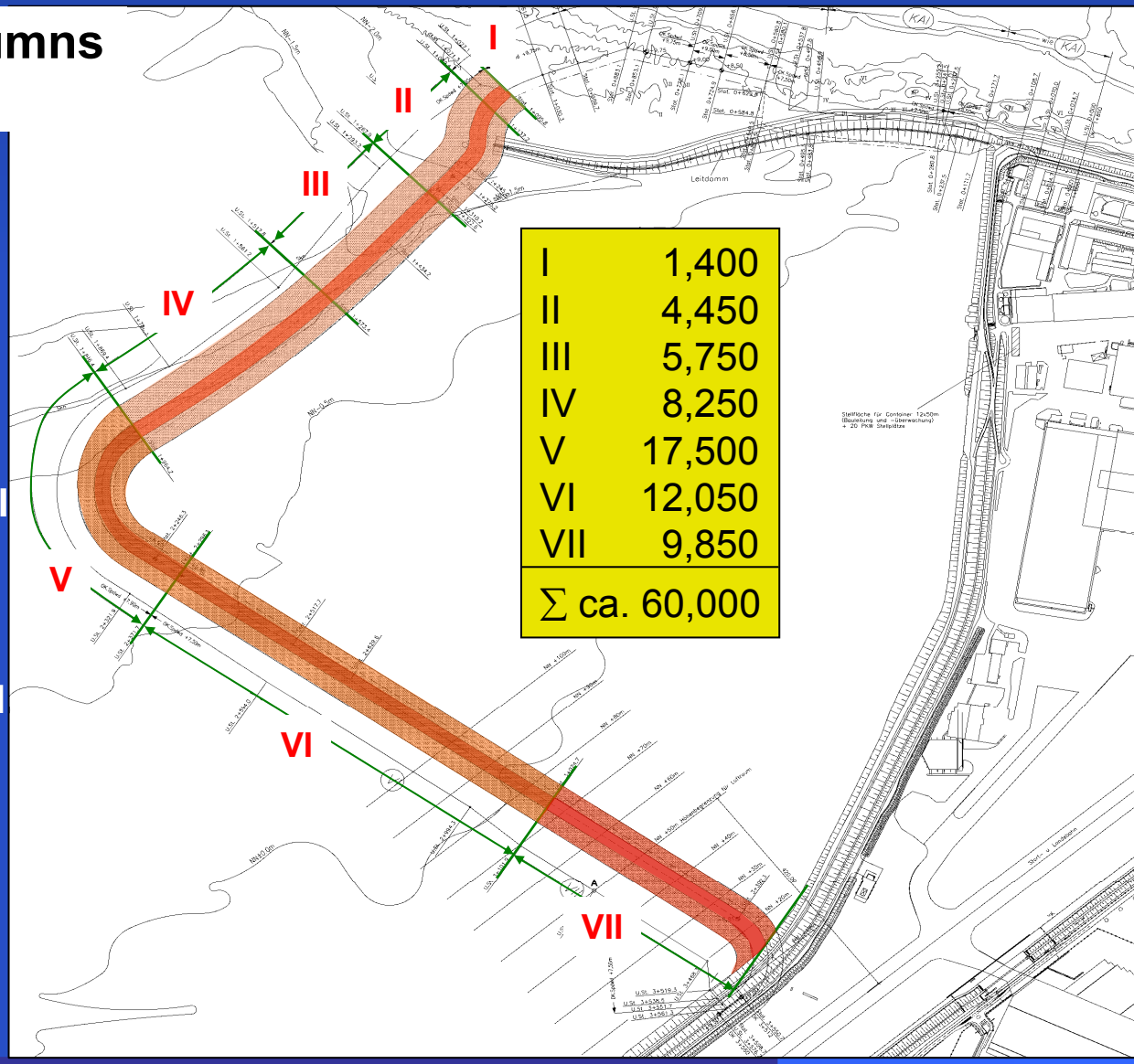
GEC Advantages over the original tender

Výhody pilířů obalených geotextilií oproti původnímu návrhu

- Saving 35,000 tons of steel for a 2400m temporary sheet wall with rear-anchored raking piles
  Úspora 35000t oceli pro 2,4km dočasné štětové stěny
- No noise pollution, less than 59 dBa are allowed (12 vibro displacement machines – 50 dBa)
  Omezení zatížení hlukem (12strojů na pilíře jen 50dBa)
- Less land reclamation necessary / saving 15 ha water protection area / tide flat area
  Menší zábor půdy / úspora 15ha záplavového území
- 1100000 m^3 less sand to fill up the dike
  potřeba o 1100000 m^3 méně písku pro násyp hráze
- Short construction time : it´s possible to fill up the dike 3 years earlier (8 months including installation of the GSM-foundation system)
  Kratší čas výstavby: dostavba hráze o 3roky dříve (jen 8 měsíců na výstavbu včetně založení pilířů)
- Large settlement reduction and good settlement acceleration similar to vertical drains
  Významné omezení velikosti sedání a jeho urychlení

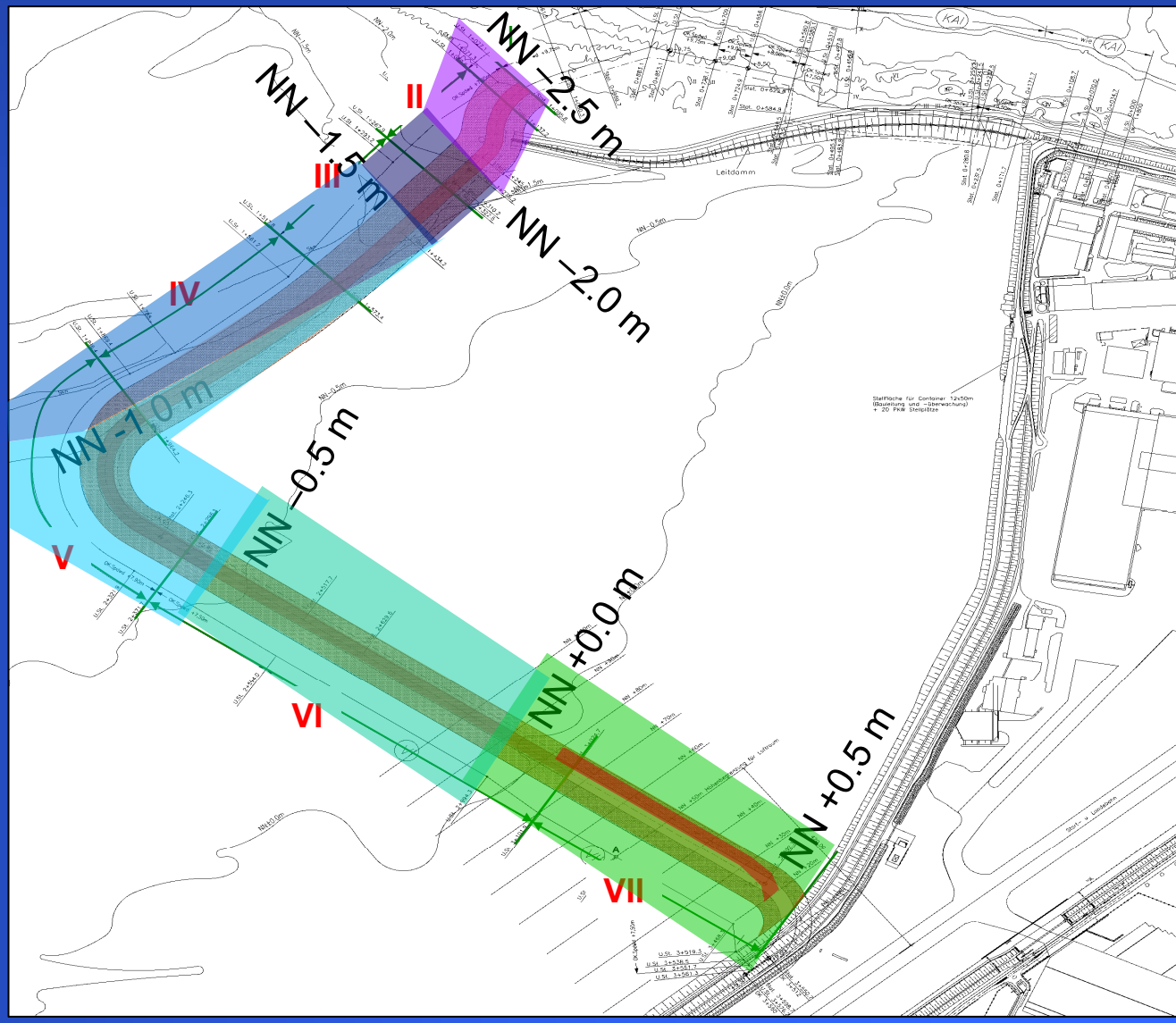
Geotextile Encased Columns
Pilíře obalené geotextilií

- More than 60,000 columns with Ringtrac 100/400 and 100/200
  Více než 60000 pilířů s geotextilií 100/400 a 100/200
- Comtrac 500/100 Sections II-IV
  pletenina 500/100 sekce II-IV
- Comtrac 1000/100 Sections V-VII
  pletenina 1000/100 sekce V-VII
- The high tensile strength geotextile placed in dike bottom is important to accelerate the fill up/raise of dike
  Vysoce pevnostní pletenina umístěná na základně násypu hráze slouží k urychlení výstavby / zvýšení hráze



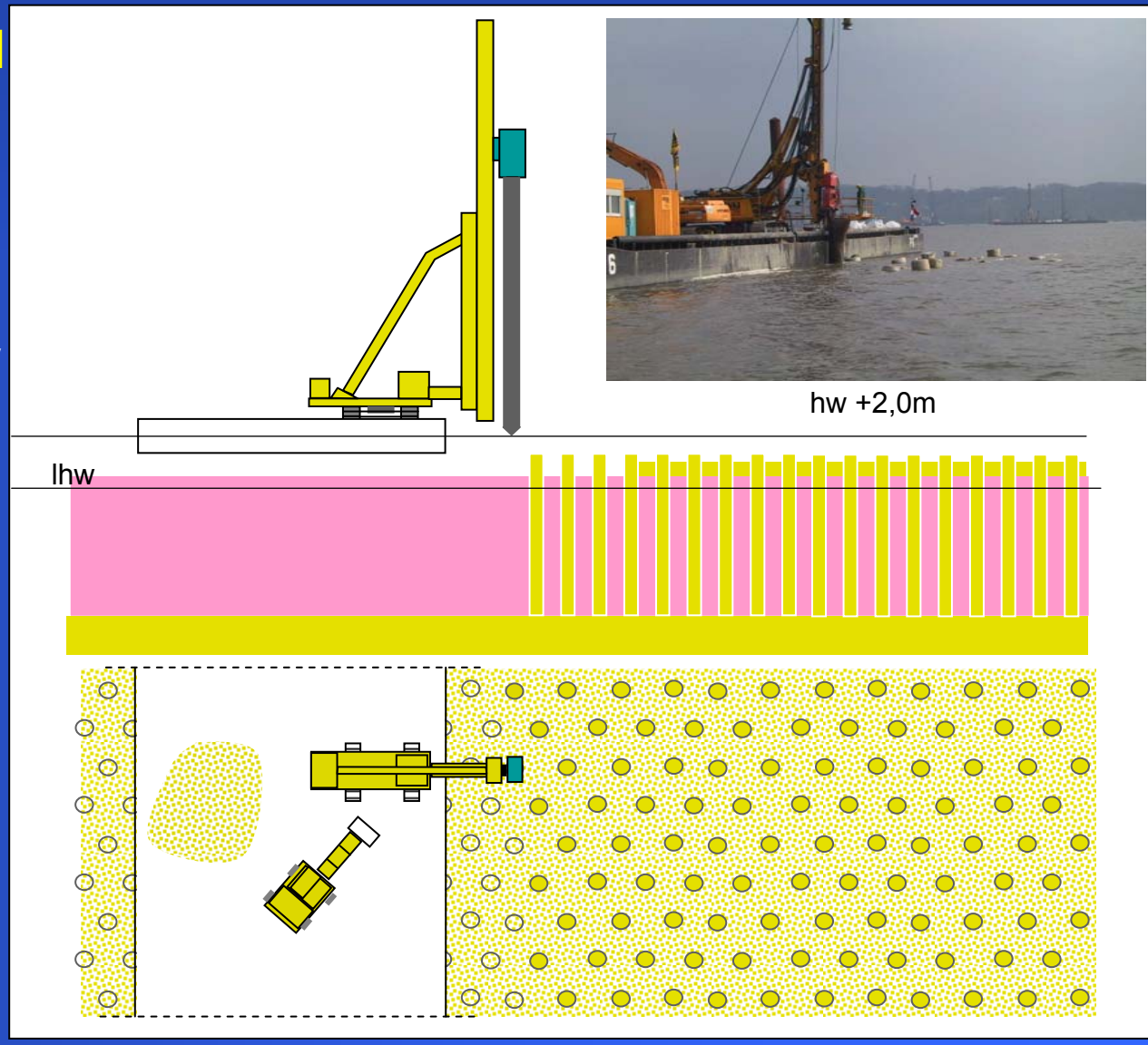
Construction Methods
Metody výstavby

- **Construction Method 1**
  - Areas II – III
  - Partial areas IV-V
- **Construction Method 2**
  - Partial areas IV-V
  - Partial area VI
- **Construction Method 3**
  - Partial area VI
  - Area VII



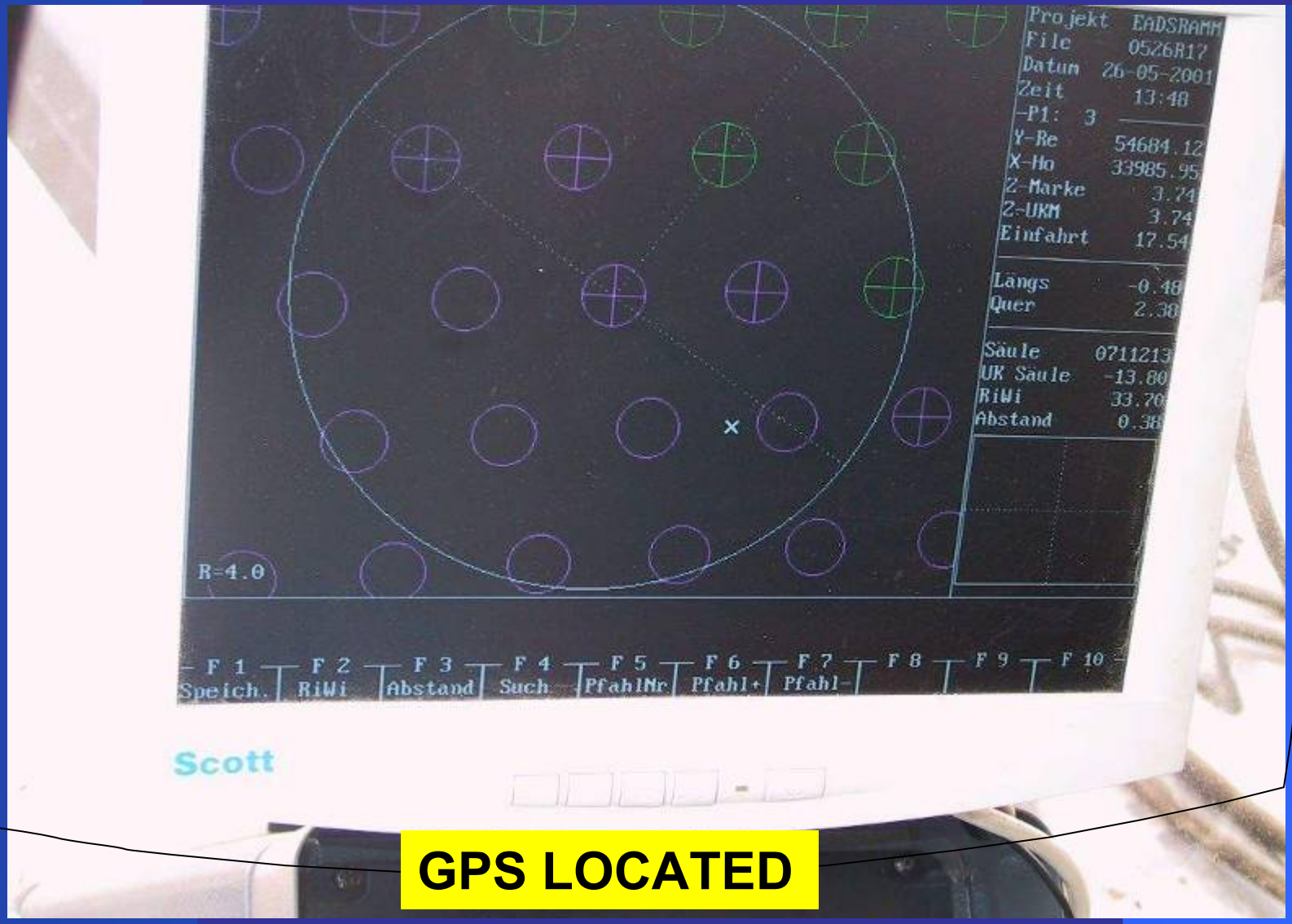
Construction Method 1

- 120-ton Vibro diplacement method used from barge
  z lodi instalované písčité pilíře metodou vibračního roztlačování pomocí 120t stroje
- Low and high tide twice per day
  Příliv a odliv 2× denně
- Filling in sand between the columns
  Prostor mezi pilíři je vyplňován pískem
- Place geotextile before starting fill up of the dike perpendicular to the dike line
  Uložení geotextilie kolmo k ose hráze ještě před započetím nasypávání hráze
- No erosion process discovered
  Erozní činnost nebyla zaznamenána



NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

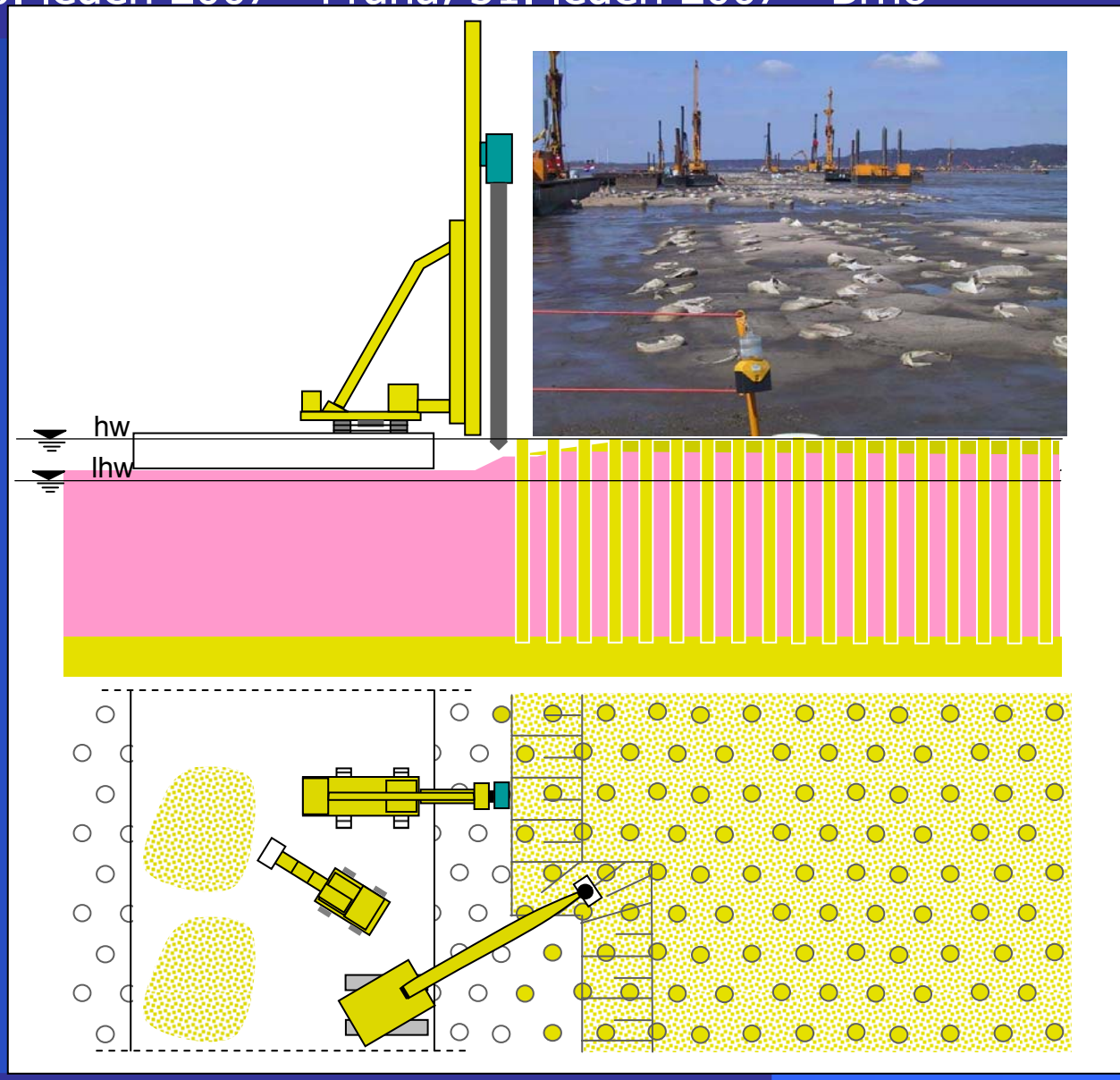

Projekt EADSRAMM
File 0526R17
Datum 26-05-2001
Zeit 13:48
-P1: 3
Y-Re 54684.12
X-Ho 33985.95
Z-Marke 3.74
Z-UKM 3.74
Einfahrt 17.54
Längs -0.48
Quer 2.38
Säule 0711213
UK Säule -13.80
RiWi 33.70
Abstand 0.38
R=4.0
F 1 Speich.
F 2 RiWi
F 3 Abstand
F 4 Such
F 5 PfahlNr
F 6 Pfahl+
F 7 Pfahl-
F 8
F 9
F 10
Scott

GPS LOCATED

Construction Method 2

- Barge rest on soft soils
  Loď z níž se instalují pilíře spočívá na měkkém podloží

- Filling in of sand between the column heads
  Prostor mezi pilíři je vyplňován pískem

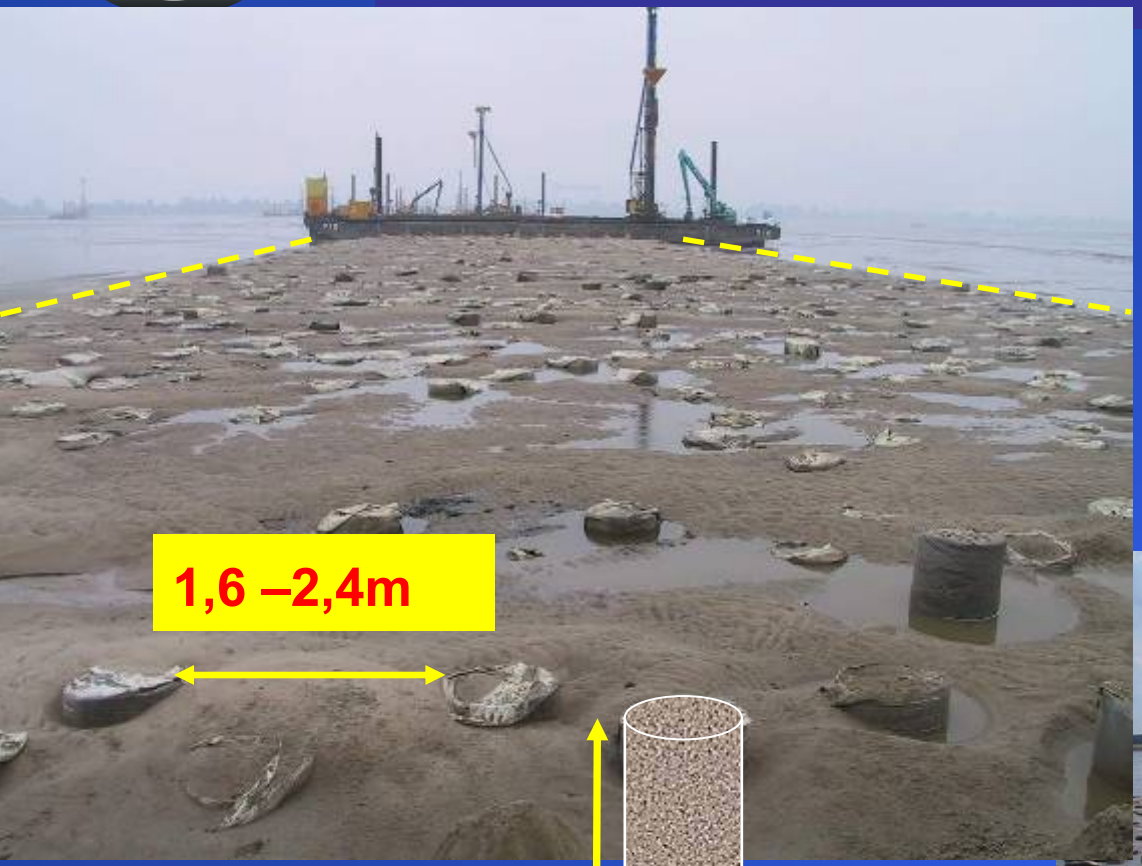


NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno


1,6 –2,4m

7,5 – 15m

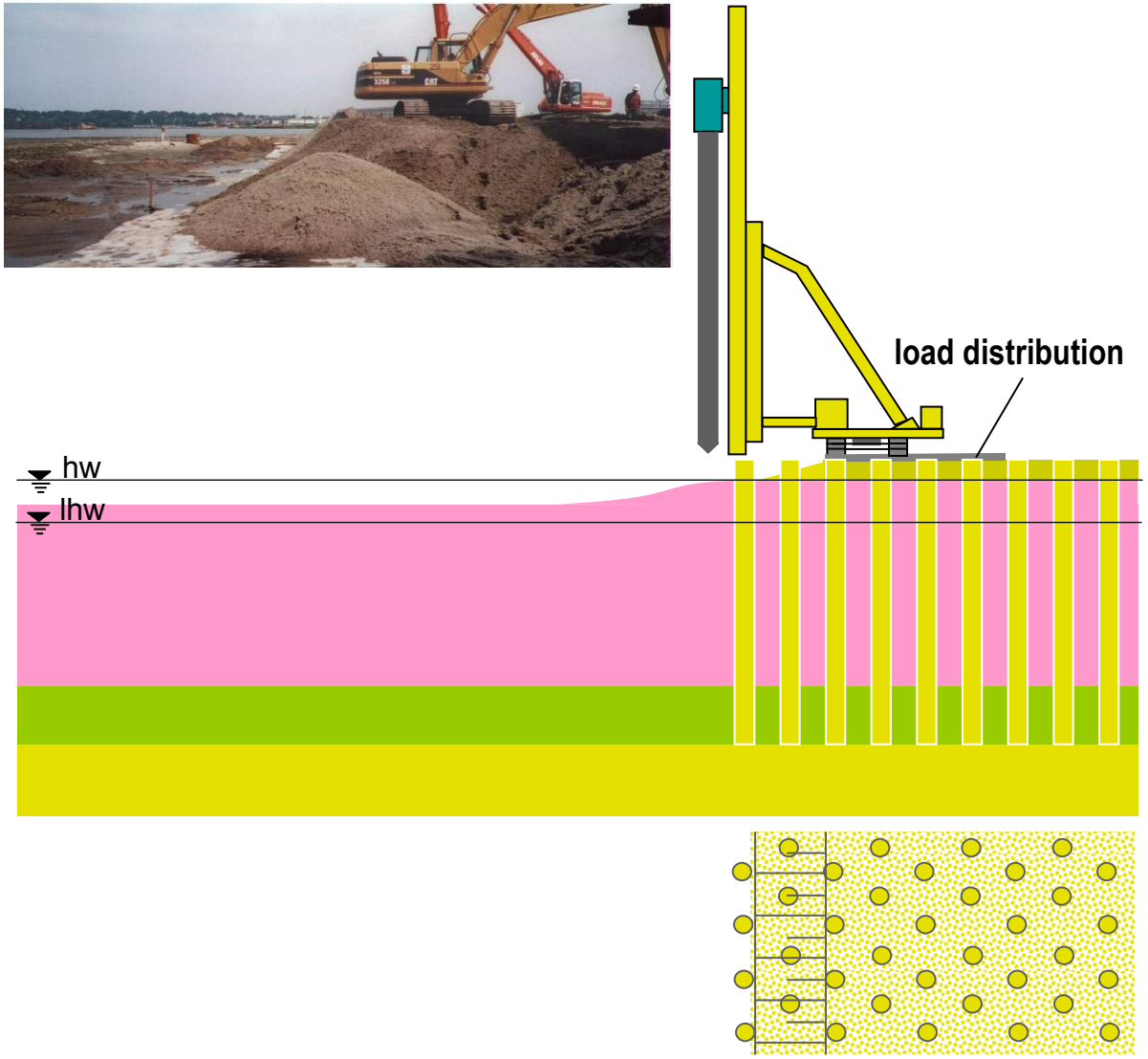
NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

Construction Method 3

- 120-ton Vibro diplacement machine used to install columns
  120t stroj pro instalaci pilířů pracuje z předem vytvořené základny hráze

- Load distribution under vibro diplacement machine
  Je třeba zajistit roznášení zatížení od stroje na větší plochu



NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

SAND PLACEMENT WITHIN DIKE

pokládka písku do tělesa hráze

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

Instalace geotextilie nad písčitými pilíři obalenými geotextilií

NOVÉ TRENDY VE VYUŽITÍ GEOSYNTETIK

30. leden 2007 - Praha, 31. leden 2007 - Brno

Summary Geotextile-Encased Sand Columns System Möbius

Shrnutí systému Möbius – písčité pilíře obalené geotextilií

- Suitable for soft soils with like peat, clay and sludge with c_u ~ 0.5 kN/m²
  Vhodný pro měkké zeminy jako rašelina, jíl a bahno s c_u ~ 0,5 kN/m²
- GEC's act as a vertical drainage system on the surrounding soft soil and thus facilitates its consolidation. Horizontal ground water flow is not disturbed
  Pilíře obalené geotextilií fungují též jako vertikální drenážní systém pro okolní měkkou zeminu a zajišťují tak její konsolidaci. Vodorovné proudění podzemní vody není narušeno
- Nearly all settlement occurs within the construction period
  Téměř veškeré sedání se uskuteční již v průběhu výstavby
- The bearing system is flexible and yields to horizontal impulses, and is therefore especially suited for earthquake prone regions.
  Základový systém je flexibilní a poddajný při horizontálním namáhání a je tudíž vhodný i do oblastí náchylných k zemětřesení
- No stability problems during the fill up of dike/embankments in combination with a Comtrac geotextile
  Nedochází ke stabilitním problémům při nasypávání hrází / násypů v kombinaci s výztužnou geotextilií
- The vibro - displacement method for column installation has shown an increase in the shear strength of the surrounding soft soil by a factor of 2.5 to 4.5 was measured
  Metoda instalace pilířů pomocí vibračního roztlačování napomáhá ke zvýšení smykové pevnosti měkké zeminy, hodnoty 2,5 až 4,5 krát větší byly naměřeny
- Reduces construction cost and time
  Snižuje finanční náročnost a zkracuje čas potřebný pro výstavbu

27.3. 2001

9.10. 2001 (6 months / měsíců)

1.11. 2001 (7 months / měsíců)

14.11. 2001 (7 months / měsíců)

30.5. 2002 (15 months / měsíců)

DĚKUJI ZA POZORNOST

Otázky / Questions ?

Poznámky / Comments ?