Ekonomikas ministrija

CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana

ID Nr. EM 2022/53

Rīga, 2022

Ekonomikas ministrija

CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Training seminar / Apmācību seminārs

Construction of Deep Foundation and Excavations in Densely Build Environment

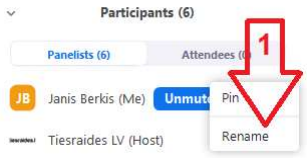
Dziļo pamatu izbūve un būvbedres blīvas apbūves apstākļos

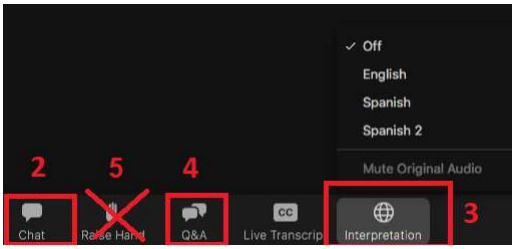
November 3, 2022, Riga

Prof. M.Topolnicki, Cl.Kummerer, D.Dymek, Gr.Sołtys (Keller Holding)

Instrukcijas semināra dalībniekiem

1. Dalībnieku sarakstā ierakstiet savu pilnu vārdu un uzvārdu
2. Reģistrēt savu vārdu var sadaļā «Tērzētava» (Chat)
3. Sadaļā«Interpretation» pieejams tulkojums latviešu valodā
4. Lai uzdotu jautājumus, lūdzu izmantojiet Q&A lietotni
5. Nav atļauts izmantot reakcijas un rokas pacelšanas funkciju





EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 3

Programma

09:00 – 10:00	**Reģistrācija**
10:00 – 11:30	**Dziļie pamati un būvbedres blīvas apbūves apstākļos – izaicinājumi un iespējas (Prof. M.Topolnicki, MSc. CE. D.Dymek, PhD. CE. Gr.Sołtys)** • Dažādas atbalstsienu sistēmas (sekantējošo pāļu sienas , d-sienas, dziļās maisīšanas sistēmas) • Atbalst konstrukciju sistēmas (enkuri, spraišļi, pārsegumu sistēmas) • Būvbedru norobežošanas zem gruntsūdens līmeņa • Projektēšanas principi un nepieciešamie ģeotehniskie dati • Projektu piemēri, kur izmantoti detalizēti 3D GEM aprēķini • Mācības, kas iegūtas izaicinošos projektos
11:30 – 12:00	**Kafijas pauze**
12:00 – 13:30	**Grunšu pastiprināšana zem esošo ēku pamatiem un kompensācijas cementācija (Prof. M.Topolnicki, PhD, Cl. Kummerer, PhD)** • Strūklas un kompensācijas cementācijas pamatprincipi • Jaunu apjomu izveide zem esošās apbūves • Dziļo pamatu aizsardzība • Vēsturisko ēku pamatu pastiprināšana • Sēšanās un deformāciju monitorings • Projektu piemēri • Mācības, kas iegūtas izaicinošos projektos
13:30 – 14:30	**Pusdienu pārtraukums**
14:30 – 15:30	**Grunšu pastiprināšanas risinājumu izmantošana projektos ar lielām slodzēm uz pamatu konstrukcijām (Prof. M. Topolnicki, PhD)** • Grunšu pastiprināšanas metožu izvēles pamatprincipi (vibro- blīvēšana, grunts pāļi, dinamiskā blīvēšana, dziļa grunts stabilizācija, stingie pastiprinājumi) • Projektēšanas prakse un izbūves risinājumi • Projekti, kur izmantotie grunšu apstiprināšanas risinājumi, kā alternatīva tipiskajiem pāļu pamatiem • Grunšu pastiprināšanas priekšrocības un CO_2 izmešu samazinājums • Mācības, kas iegūtas izaicinošos projektos
15:30 – 16:00	**Jautājumu un atbilžu sesija**

4

Programma / 10:00 - 11:30

Dziļie pamati un būvbedres blīvas apbūves apstākļos – izaicinājumi un iespējas (Prof. M.Topolnicki, MSc. CE. D.Dymek, PhD. CE. Gr.Sołtys)

- Dažādas atbalstsienu sistēmas (sekantējošo pāļu sienas , d-sienas, dziļās maisīšanas sistēmas)
- Atbalst konstrukciju sistēmas (enkuri, spraišļi, pārsegumu sistēmas)
- Būvbedru norobežošanas zem gruntsūdens līmeņa
- Projektēšanas principi un nepieciešamie ģeotehniskie dati
- Projektu piemēri, kur izmantoti detalizēti 3D GEM aprēķini
- Mācības, kas iegūtas izaicinošos projektos
- Jautājumi un atbildes

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 5

Kafijas pauze / 11:30 - 12:00

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 6

Programma / 12:00 - 13:30

Grunšu pastiprināšana zem esošo ēku pamatiem un kompensācijas cementācija (Prof. M.Topolnicki, PhD, Cl. Kummerer, PhD)

- Strūklas un kompensācijas cementācijas pamatprincipi
- Jaunu apjomu izveide zem esošās apbūves
- Dziļo pamatu aizsardzība
- Vēsturisko ēku pamatu pastiprināšana
- Sēšanās un deformāciju monitorings
- Projektu piemēri
- Mācības, kas iegūtas izaicinošos projektos
- Jautājumi un atbildes

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 7

Pusdienu pauze/ 13:30 - 14:30

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 8

Ekonomikas ministrija CLEANTECH HUB Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Programma / 14:30-16:00

Grunšu pastiprināšanas risinājumu izmantošana projektos ar lielām slodzēm uz pamatu konstrukcijām (Prof. M. Topolnicki, PhD)

- Grunšu pastiprināšanas metožu izvēles pamatprincipi (vibro- blīvēšana, grunts pāļi, dinamiskā blīvēšana, dziļa grunts stabilizācija, stingie pastiprinājumi)
- Projektēšanas prakse un izbūves risinājumi
- Projekti, kur izmantotie grunšu pastiprināšanas risinājumi, kā alternatīva tipiskajiem pāļu pamatiem
- Grunšu pastiprināšanas priekšrocības un CO_2 izmešu samazinājums
- Mācības, kas iegūtas izaicinošos projektos
- Jautājumi un atbildes

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 9

Ekonomikas ministrija CLEANTECH HUB Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Training seminar / Apmācību seminārs

Deep Foundations and Excavation Control in Dense City Environments – Challenges and Possibilities (Session 1)

Dziļie pamati un būvbedres blīvi apbūvētā pilsētas vidē – izaicinājumi un iespējas (Sadaļa Nr.1)

Prof. Michał Topolnicki, PhD, Daniel Dymek, MSc., Grzegorz Sołtys, PhD (Poland)

Ekonomikas ministrija

CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Dziļie pamati un būvbedres blīvas apbūves apstākļos

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 11

Ekonomikas ministrija

CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

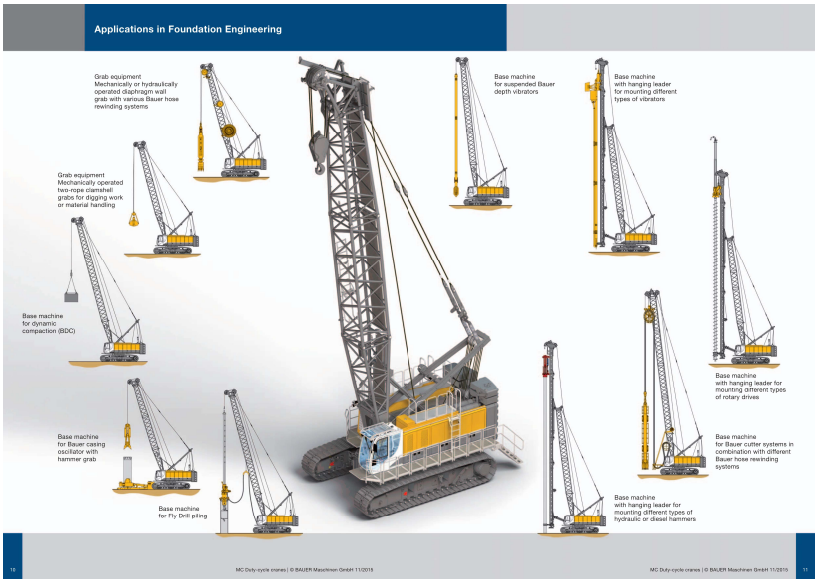
Dziļie pamati un būvbedres blīvas apbūves apstākļos

Ko nepieciešams ņemt vērā?

- Izmērs, forma un būvbedres dziļums (ģeometrija)
- Grunts un gruntsūdens apstākļi
- Apkārt esošā apbūve (ģeometrija, slodzes un vispārīgs būves stāvoklis)
- Būvniecības tehnoloģijas (priekšrocības & trūkumi, iekārtu ierobežojumi)
- Konstruktīvās slodzes
- Projektēšanas, izbūves un testēšanas standarti/vadlīnijas
- Materiāli
- Projektēšanas iespējas un ierobežojumi
- Citi robežnosacījumi
- Vietējā pieredze

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 12

Tehnoloģijas un iekārtas



Avots: https://www.bauer-equipment.com

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 13

Tehnoloģijas un iekārtas

Piling and drilling rigs
Deep foundation machines

LRB Series
Litronic

	LRB 125	LRB 125 XL*	LRB 355	LRB 355 XL*
	2501.04	2501.04	2504.05	2504.05
Weight	Operating weight** 49 t	Operating weight** 52 t	Operating weight** 94 t	Operating weight** 95.3 t
Leader	Leader length 12.5 m	Leader length 14.5 m	Leader length 22.2 m	Leader length 27.2 m
Torque	Max. torque 120 kNm	Max. torque 120 kNm	Max. torque 450 kNm	Max. torque 450 kNm
Pull/push	Max. pull force 150 kN Max. push force 200 kN	Max. pull force 150 kN Max. push force 200 kN	Max. pull force 400 kN Max. push force 400 kN	Max. pull force 400 kN Max. push force 400 kN

Avots: https://www.liebherr.com

Rig	Technique	Max. diameter	Max. drilling depth			
			12.5 m leader		14.5 m leader (XL)	
			-	Kelly +4	-	Kelly +4
		[mm]	[m]			
LRB 125	CFA (with cleaner)	600	14.4	18.4	16.4	20.4
	CFA (without cl.)		?	?	?	?
	CCFA	620	13		15	
	SDP	?	?		?	
	VDP (ring vibr.)	356-508	25		27	
	Precast pile	-	13.5		14	
	Soil mixing	-	15.2		17.2	
	Sheet pile (vibr.)	-	15.2		17.2	
	Predrill	500	15.2		17.2	

Rig	Technique	Max. diameter	Max. drilling depth
			18/21/24 m leader
		[mm]	[m]
LRB 155	CFA (with cleaner)	700	16
	CFA (without cl.)		17.5
	CCFA	620	15
	SDP	?	?
	VDP (ring vibr.)	356-508	34
	Precast pile	-	21
	Soil mixing	-	17.5
	Sheet pile (vibr./press)	-	21
	Predrill	800	21

Rig	Technique	Max. diameter	Max. drilling depth
			21/24/27/30 m leader
		[mm]	[m]
LRB 255	CFA (with cleaner)	1000	21.5
	CFA (without cl.)		23
	CCFA	900	18.5
	SDP	?	?
	VDP (ring vibr.)	356-610	40
	Precast pile	-	27
	Soil mixing	-	?
	Sheet pile (vibr./press)	-	28
	Predrill	?	?

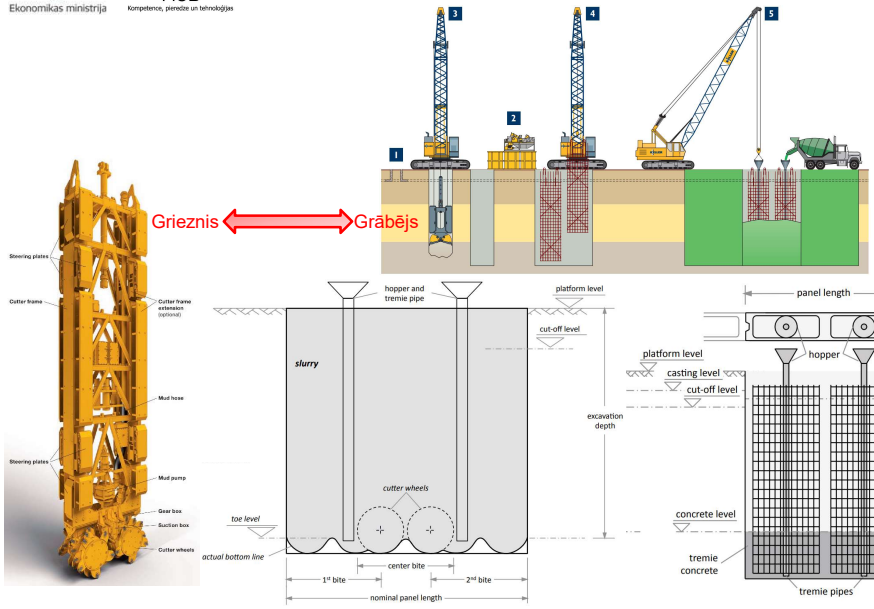
Rig	Technique	Max. diameter	Max. drilling depth			
			22.2 m leader		27.2 m leader (XL)	
			-	Kelly +10	-	Kelly +10
		[mm]	[m]			
LRB 355	CFA (with cleaner)	1200	19.6	29.6	24.6	34.6
	CFA (without cl.)		?	?	?	?
	CCFA	900	21		26 (23)	
	SDP	600	21	31	26	36
	VDP (ring vibr.)	356-610	35		40	
	Precast pile	-	19		24	
	Soil mixing	-	20.5		25.5	
	Sheet pile (vibr.)	-	21		26	
	Predrill	?	?		?	

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 14

Ekonomikas ministrija

CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Diafragmas sienas (D-sienas)



1 GUIDE WALLS
Guide walls are built of reinforced concrete and fulfil the following functions:

- Stabilizing the upper part of the diaphragm-wall
- Reflecting the geometry of the diaphragm walls and they ensure their vertically (they guide the grab during excavation)
- Function as a bearing for extraction forces when recoverable joints are used
- Enabling the required level of supporting slurry to be maintained to stabilize the open trench

2 PREPARATION OF THE SUPPORTING SLURRY
Diaphragm walls are stabilized by the hydrostatic pressure exerted by the supporting slurry on the trench walls, and by the ingress of the slurry into the soil (bentonite mud filter cake). The materials used in the slurry are usually based on bentonites or specific polymers.

3 EXCAVATION OF DIAPHRAGM-WALL PANEL
In plan view, diaphragm walls are divided into primary and secondary panels. The design length of the panel is generally between 3 and 7 m; but can be increased up to 10 meters in specific conditions.

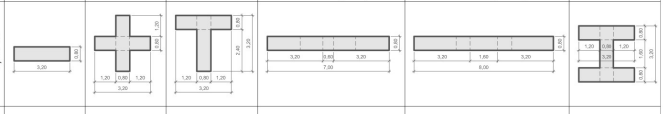
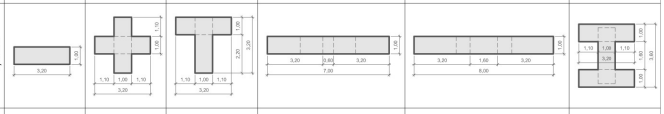
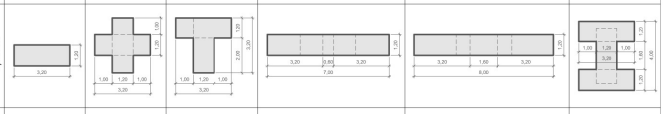
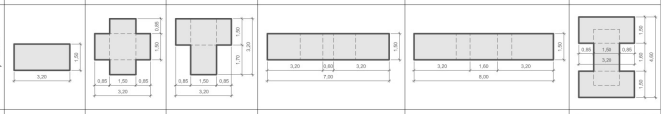
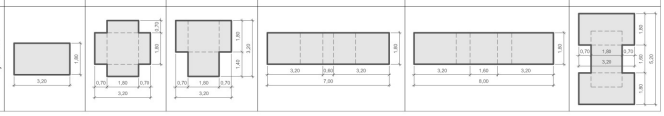
4 INSTALLATION OF REINFORCEMENT CAGES
The reinforcement of a single panels can consist of reinforcement cage(s). Care is taken that the reinforcement of the panels at any single point is not excessively dense, in order to ensure the necessary flow of concrete through the reinforcement. The reinforcement cages are positioned using cranes.

5 CONCRETING OF PANELS
The panels is concreted immediately after the reinforcement cage is inserted. The concreting is performed without interruption. The displaced supporting slurry is pumped into a special storage facility where it is regenerated for further use. To ensure a watertight seal between adjacent panel, specially designed seals are used for the joints between the panels when applicable.

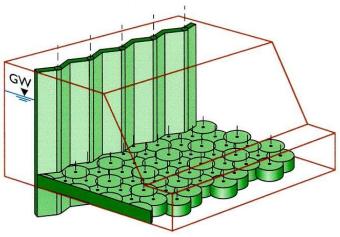
Ekonomikas ministrija

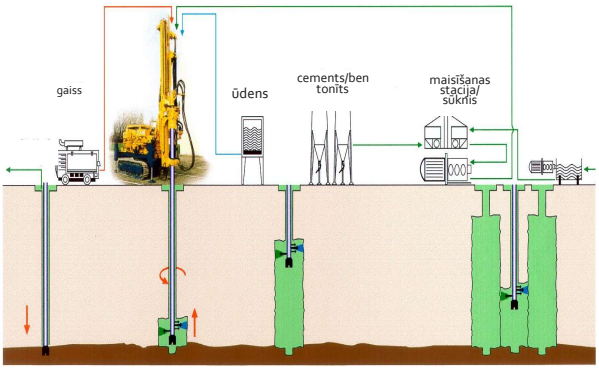
CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

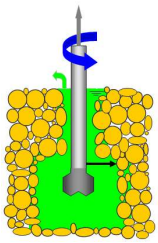
Diafragmas sienas (D-sienas)

	LOAD BEARING ELEMENTS / BARRETTES					
	SINGLE BITE	DOUBLE BITE		TRIPLE BITE		
	PANEL	X-SHAPED	T-SHAPED	PANEL (MIN)	PANEL (MAX)	H-SHAPED
0,80 m						
1,00 m						
1,20 m						
1,50 m						
1,80 m						

Strūklas cementācija (sienas, plātnes u.c.)





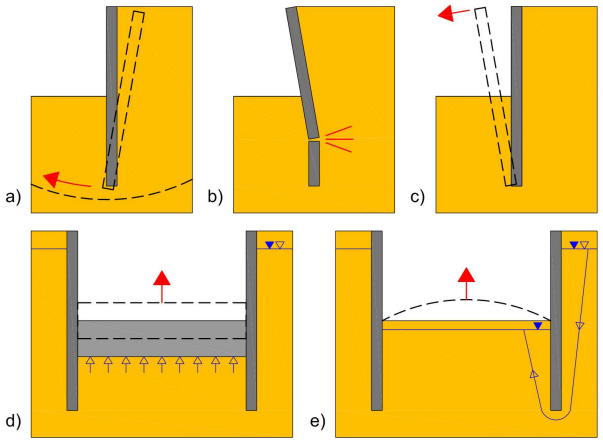


EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 17

Būvbedres pārbaudes – kas tiek pārbaudīts?

Nestspējas robežstāvoklis (ULS)
- (a) Ģeotehniskais (ārējais)
- (b) Konstrukcijas (iekšējais)
- (c) Līdzsvara (stabilitāte)
- (d) Uzpeldēšana
- (e) Hidrauliskā pacelšanās

Lietojamības robežstāvoklis (SLS)
- Pārvietojumi, izliece, deformācijas
- Plaisas
- Vibrācija

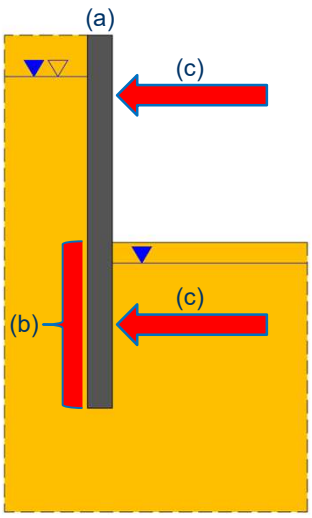


EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 18

Būvbedres pārbaudes – kā ievērtēt SLS robežstāvokli?

Horizontālo pārvietojumu, izlieču, deformāciju pārbaude

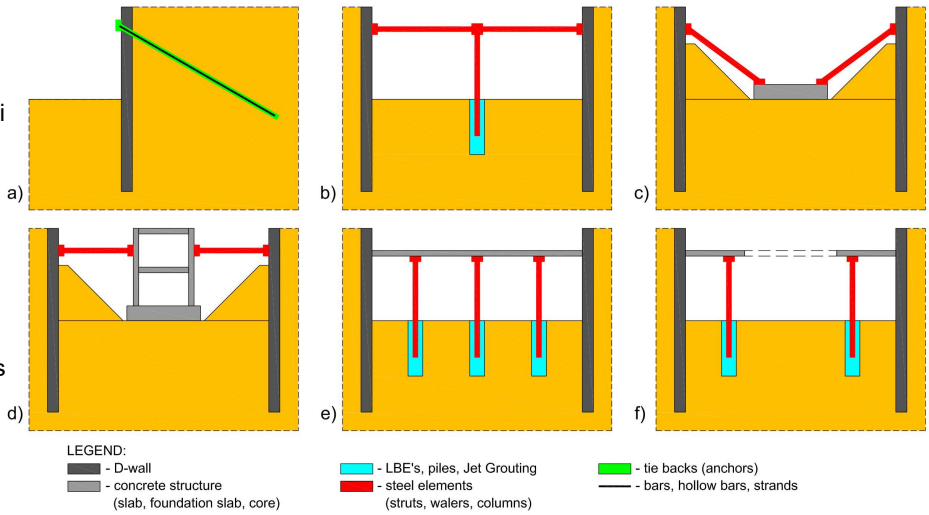
- (a) Stingums
  - Būvbedres ģeometrija
  - Atbalstsienas ģeometrija
  - Materiāli
- (b) Iedziļinājums
- (c) Atbalstsienas spraišļu tips un novietojums
  - Virs ierakuma dziļuma
  - Zem ierakuma dziļuma



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 19

Būvbedres – kā nobalstīt atbalstsienas?

- (a) Aktīvie vai pasīvie enkuri
- (b) Horizontāla spraišļu sistēma
- (c) Slīpu spraišļu sistēma
- (d) Centrāla konstruktīva balstīšanās sistēma
- (e) Pilna pārseguma balsts
- (f) Daļēja pārseguma balsts

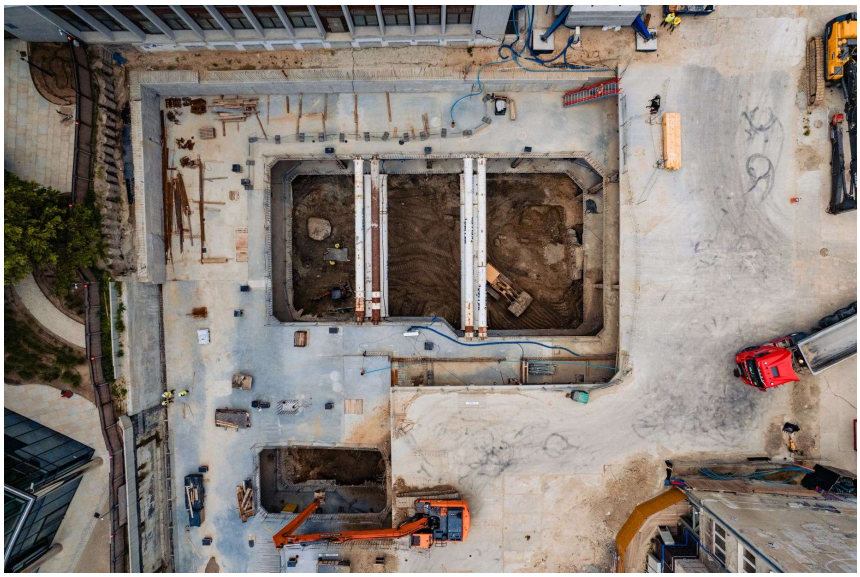


EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 20

Ekonomikas ministrija

CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Būvbedres – kā nobalstīt atbalstsienas?



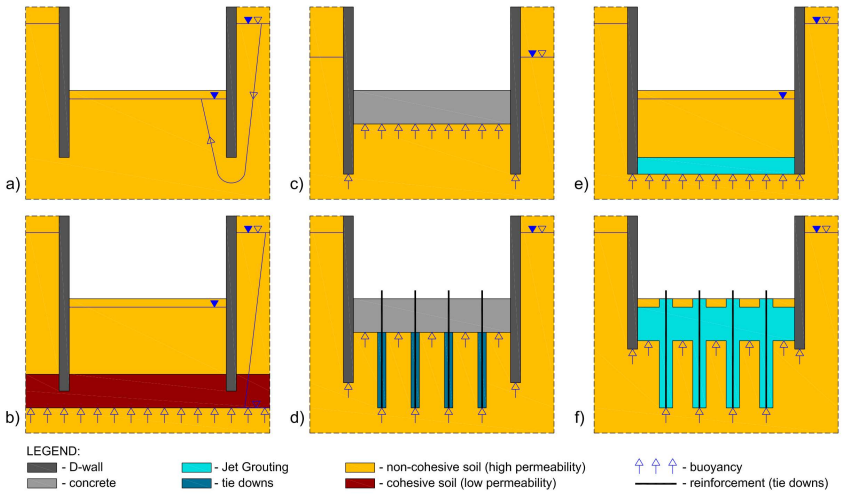
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 21

Ekonomikas ministrija

CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Būvbedres – ko darīt ar gruntsūdeni?

- (a) Pazemināšana
- (b) Dabiska padeves pārtraukšana
- (c) Aizbetonēšana ar Tremie caurules sistēmu
- (d) Aizbetonēšana ar strūklas cementēšanu
- (e) Aizbetonēšana ar Tremie caurules sistēmu un enkuriem
- (f) Aizbetonēšana ar strūklas cementēšana un enkuriem



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 22

Ekonomikas ministrija

CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Būvbedres – ko darīt ar gruntsūdeni?

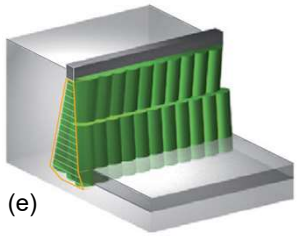
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 23

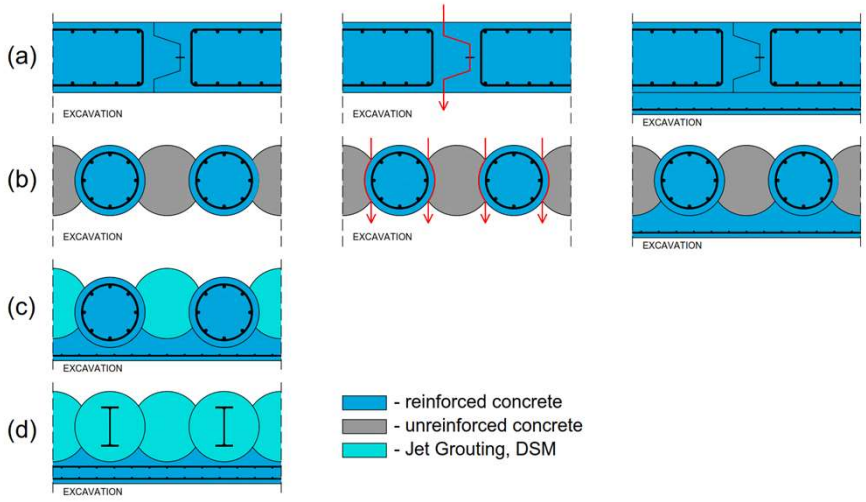
Ekonomikas ministrija

CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Atbalstsienas – ūdens necaurlaidīgi risinājumi

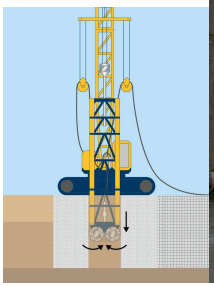
- (a) Diafragmas sienas
- (b) Sekantējošo pāļu siena
- (c) Kombinētā sekantējošo pāļu siena
- (d) Injekcijas sekantējošo pāļu siena
- (e) Strūklas cementācijas pastiprinājumi zem esoša pamata
- Rievsienas





EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 24

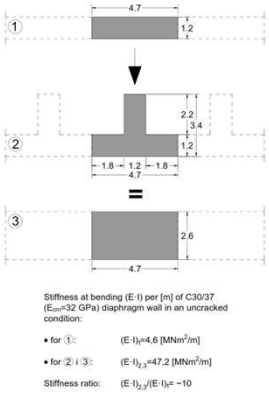
Atbalstsienas – ūdens necaurlaidīgi risinājumi

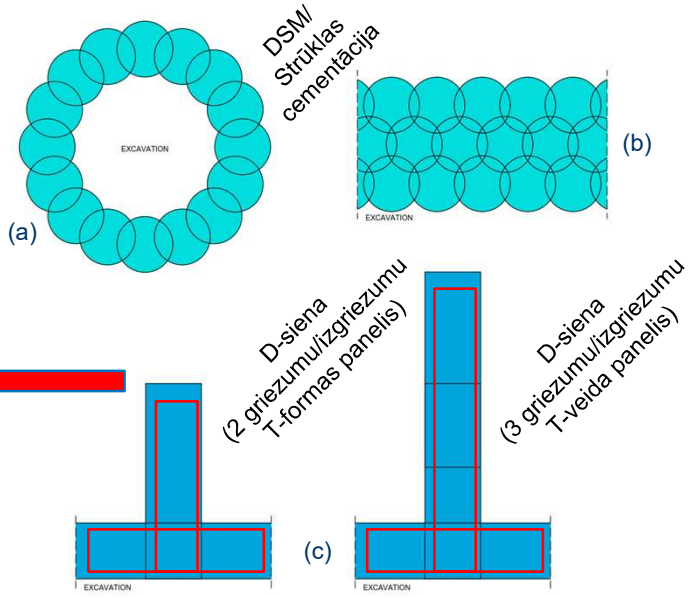


EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 25

Būvbedres – kā atbalstsienām palielināt stingumu?

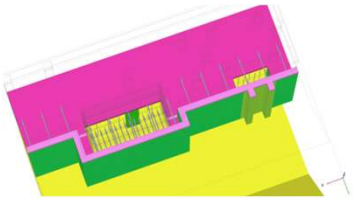
- (a) Apaļas šahtas
- (b) Masīvas sienas
- (c) T-formas paneļi

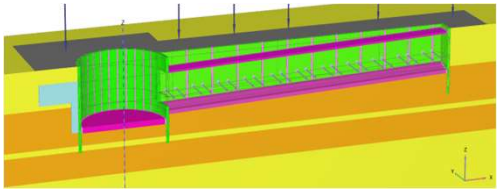
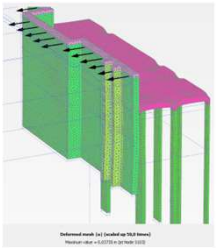
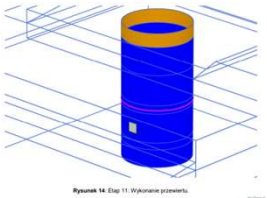
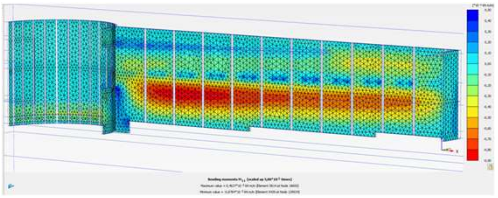
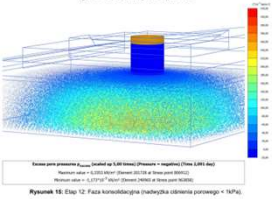




EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 26

Būvbedres – kā atbalstsienām palielināt stingumu?

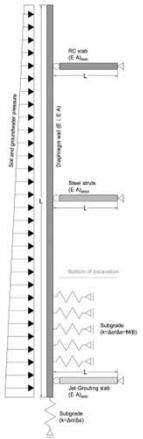
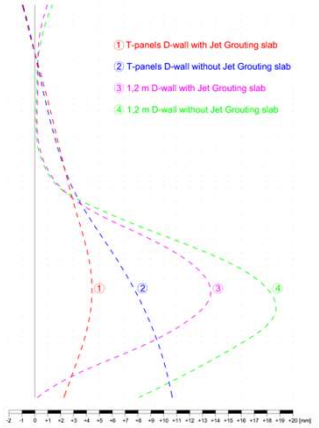


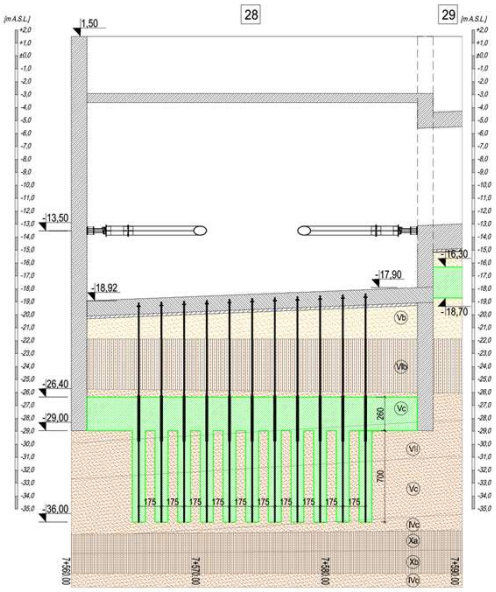






EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53

27

Būvbedres– kā atbalstsienām palielināt stingumu?



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53

28

Ekonomikas ministrija

CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Būvbedres – materiāli

- (a) Betons
- (b) Java
- (c) Java + tērauds (H-sija)

(a)

Strength classes for concrete															Analytical relation / Explanation
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck}+8$(MPa)
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm}=0,30\cdot f_{ck}^{2/3}$ for ≤C50/60; $f_{ctm}=2,12\ \ln(1+(f_{cm}/10))$ for >C50/60
$f_{ctk,0.05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk,0.05}=0,7\cdot f_{ctm}$ 5% fractile
$f_{ctk,0.95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk,0.95}=1,3\cdot f_{ctm}$ 95% fractile
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	32	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm}=22[(f_{cm})/10]^{0,3}$ (f_{cm} in MPa)
ε_{c1} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,1	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	see Figure 3.2 ε_{c1} (‰) = $0,7\ f_{cm}^{0,31} < 2.8$
ε_{cu1} (‰)	3,5									3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	see Figure 3.2 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa ε_{cu1} (‰) = 2,8+27[(98-f_{ck})/100]^4
ε_{c2} (‰)	2,0									2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	see Figure 3.3 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa ε_{c2} (‰) = 2,0+0,085(-50)^{0,53}
ε_{cu2} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	see Figure 3.3 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa ε_{cu2} (‰) = 2,6+35[(90-f_{ck})/100]^4
n	2,0									1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	for $f_{ck} \geq 50$ Mpa n=1,4+23,4[(90-f_{ck})/100]^4
ε_{c3} (‰)	1,75									1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	see Figure 3.4 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa ε_{c3}(‰) = 1,75+0,55[(-50)/40]
ε_{cu3} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	see Figure 3.4 for $f_{ck} \geq 50$ Mpa ε_{cu3}(‰) = 2,6+35[(90-f_{ck})/100]^4

ja: $M_k > M_{cr} = W_c \cdot f_{ctm}$

tad:

Crack Width Limits

Recommended values of w_{max}		
Exposure class	RC or unbonded PSC members	Prestressed members with bonded tendons
	Quasi-permanent load	Frequent load
X0,XC1	0.3*	0.2
XC2,XC3,XC4	0.3	
XD1,XD2,XS1, XS2,XS3		Decompression

* Does not affect durability, may be relaxed where appearance is not critical (eg use 0.4 mm)

Stingums liecē (E·I) samazinās

nestiegrots (a)&(b): PLAXIS Betona modelis

The yield functions can be formulated in terms of principal stresses in relation to the uniaxial compressive and tensile yield stresses, f_{cy} and f_{ty} as:

$$F_c = \frac{\sigma_1 \cdot \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 + \sigma_3 \cdot 2 \cdot \sigma_{red}}{2} \cdot \frac{f_{cy}}{2 \cdot \sigma_{red} * f_{cy}} \quad Eq.\ [293]$$

$$F_t = \sigma_3 \cdot f_t \quad Eq.\ [294]$$

where

σ_{red} = Intersection of the Mohr-Coulomb failure envelope and the isotropic axis.

For a given maximum inclination of the Mohr-Coulomb envelope, σ_{red} can be written as:

$$\sigma_{red} = \frac{f_{cy}}{2}\left(\frac{1}{\sin(\varphi_{max})} - 1\right) \quad Eq.\ [295]$$

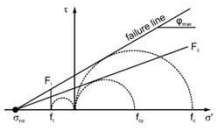


Figure 62: Yield surfaces and failure envelope for Concrete model

(b) $f_{ck} < 10$ MPa

E = „faktors”·$f_{ck} < 10$ GPa

(c) $E = (E_{col} \cdot I_{col} + E_{steel} \cdot I_{steel})/I_{col}$

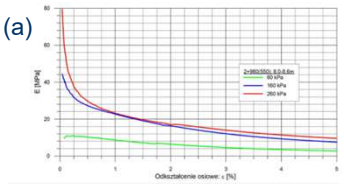
Ekonomikas ministrija

CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Būvbedres – aprēķina modeļi

- (a) Atbilstoši grunts dati
- (b) Klasiskais vai GEM 2D aprēķins
- (c) 2D vai 3D FEM aprēķins
- Jo vairāk, jo labāk?

(a)



Wykres 6.1. Wykres zmian wartości modułu odkształcenia E w zależności od odkształcenia osiowego ε

7. Dodatkowe parametry wyprowadzone

Tabela 1: Parametry do modelu Hardening Soils

Lp.	Próbka	w_{opt} [%]	γ_d [kN/m³]	γ [kN/m³]	w_{nat} [%]	E_{50}^{ref} [MPa]	E_{oed}^{ref} [MPa]	E_{ur}^{ref} [MPa]	ν_{ur} [-]	p^{ref} [kPa]	E_{50}^{ref} [MPa]	E_{oed}^{ref} [MPa]	E_{ur}^{ref} [MPa]	m [-]	E_{50}^{ref} [MPa]	E_{oed}^{ref} [MPa]
1	2+980/1500, 60	160				89,44									17,91	
3	2+980/1500, 160	160	29,3	9,4	160	89,87	88,00	4,88	0,2	100	37,33	21,40	0,689	1	29,78	19,56
5	2+980/1500, 260	260				94,69					30,66				16,28	

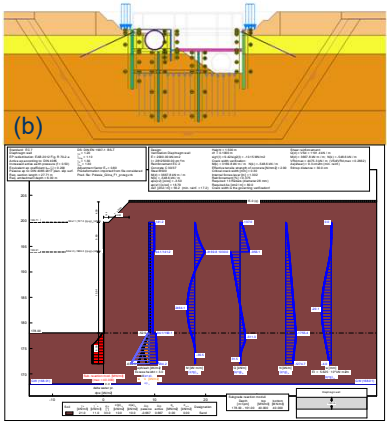
E_{50}^{ref} – referencyjny moduł odkształcenia – obciążenie,

E_{oed}^{ref} – referencyjny moduł edometryczny,

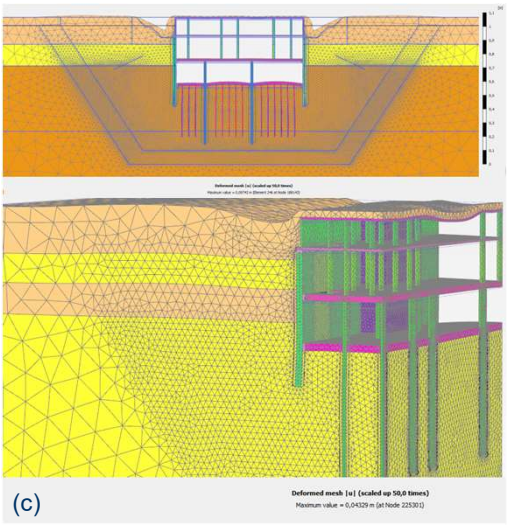
E_{ur}^{ref} – sieczny moduł odpowiadający 50% wytrzymałości,

ν' [-] – kąt dylatancji

(b)



(c)



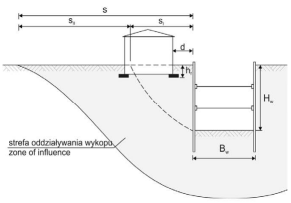
Būvbedres – ietekmes zona

Comparison of the zones of influence according to different authors (Godlewski, 2016) in light of ITA-AITES recommendations (2014)

Źródło Source	Clough i O'Rourke (1990)		Instrukcja ITB nr 376 (Kotlicki i Wysokiński 2002)				Wytyczne (ITA-AITES, 2014)	
Rodzaj gruntów w podłożu Subsoil type	piaski sands	iły i gliny clays and tills	piaski sands		iły clays		bez względu na rodzaj podłoża despite subsoil type	
Zasięg strefy oddziaływań Range of zones of influence	1,5÷2 H	2÷4 H	S_1 0,5 H	S_2 2 H	S_1 1 H	S_2 3÷4 H	S_1 (active zone) stacje – stations: 1 H lub 50 m tunele – tunnels: 1 H+1/2 D lub 50 m	S_2 (vigilance zone) stacje i tunele – stations and tunnels: 2 H lub100 m

Objaśnienia – Explanations:
H – głębokość wykopu lub posadowienia – depth of excavation or foundation level [m];
D – średnica tunelu – tunnel diameter [m].

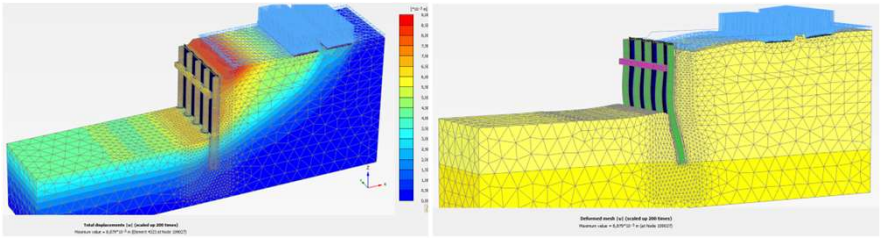
Rodzaj gruntów Soil type	Strefa oddziaływań Zone of influence	
	S_1	S_2
Piaski Sands	0,5 H_w	2,0 H_w
Gliny Glacial tills	0,75 H_w	2,5 H_w
Iły Clays	1,0 H_w	3÷4 H_w



Objaśnienia – Legend:
H_w i B_w – głębokość i szerokość wykopu – depth and width of excavation
S – zasięg strefy oddziaływania wykopu – range of influence zone
S_1 – zasięg strefy bezpośredniego oddziaływania – range of active zone influence
S_2 – zasięg strefy wpływów wtórnych – range of vigilance zone influence
d – odległość budynku od obudowy – distance of the structure from the excavation
h_f – głębokość posadowienia budynku – foundation depth

The range of influence of DF by different researchers

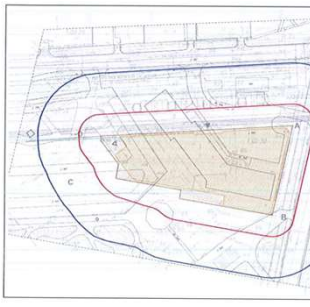
Źródło	Zasięg	Uwagi dodatkowe
[Breymann H. i inni 1997]:	1,5–2 H	grunty niespoiste: piaski drobne, średnie i żwiry
[Simpson B. i inni 1979]	2–2,5 H	iły londyńskich i gliny zwałowe
	2–3 H (maks. 5 H)	mocne grunty spoiste
[Clough G., O'Rourke T. 1998]	2–4 H	iły londyńskie i gliny zwałowe
[Kotlicki W., Wysokiński L. 2002]	2,0 H	w piaskach
	2,5 H	w glinach
	3–4 H	w iłach
norma rosyjska [TSN 50-302-2004]	30 m	przy wstępnej analizie, przy pełnej analizie – komentarz w tekście
norma rosyjska [SP22.13330.2011] przy wstępnej analizie	5 H	przy kotwionej konstrukcji zabezpieczającej wykop, ale nie więcej niż 2 Lk, gdzie Lk– długość kotwy (ciegna i buławy)
	4 H	przy stalowej konstrukcji zabezpieczającej wykop pracującej, jako wspornik lub rozpartej (stalowymi rozporami lub zastrzałami), a także przy wykonywaniu wykopu otwartego
	3 H	przy konstrukcji w technologii ścian szczelinowych lub ścian z pali, pracującej jako wspornik lub rozpartej (stalowymi rozporami lub zastrzałami)
	2 H	przy konstrukcji w technologii ścian szczelinowych lub ścian z pali i wykonywaniu wykopu metodą podstropową

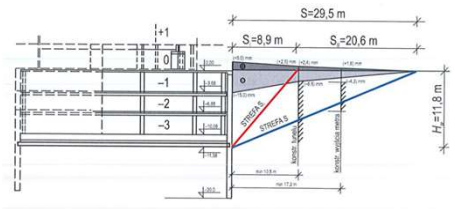


EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53

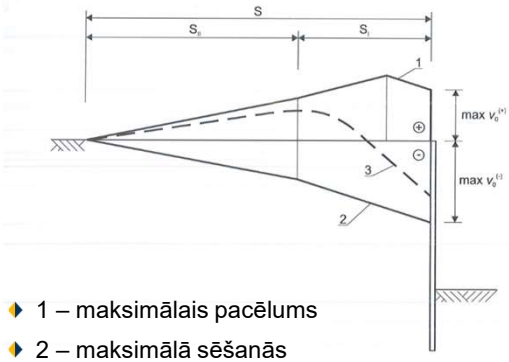
31

Būvbedres – ietekmes zona





- S_1 – aktīvā ietekmes zona
- S_2 – drošā ietekmes zona



- 1 – maksimālais pacēlums
- 2 – maksimālā sēšanās
- 3 – vidējā vertikālā sēšanās

Avots:
Protection of structures adjacent to deep excavations.
Guideline. ITB, Warsaw, 2020

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53

32

Būvbedres – blakus esošās būves

Aptuvenas robežvērtības pārvietojumiem parastām būvēm un konstrukcijām

Sensitivity	Type of structure	Settlement		Relative rotation	Tilt
		$s_{k,SLS}$	$s_{k,ULS}$	β	ω
		[mm]		[%]	
Highest	masonary buildings without tie beams, with wooden or Klein ceillings	5÷7	15÷18	0,05	0,1
High	masonary buildings with RC or beam-and-block ceillings, precast construction buildings	7÷9	20÷25	0,075	0,2
Normal	RC buildings	9÷11	25÷35	0,15	0,3

Sensitivity	Type of installation	Settlement
		$s_{k,SLS}$
		[mm]
Lowest	single cables	200
Low	multiple cables in bundles	150
	water pipes	100
	100 mm gas pipes	100
Normal	400 mm gas pipes	50
High	sewer pipes	10÷25

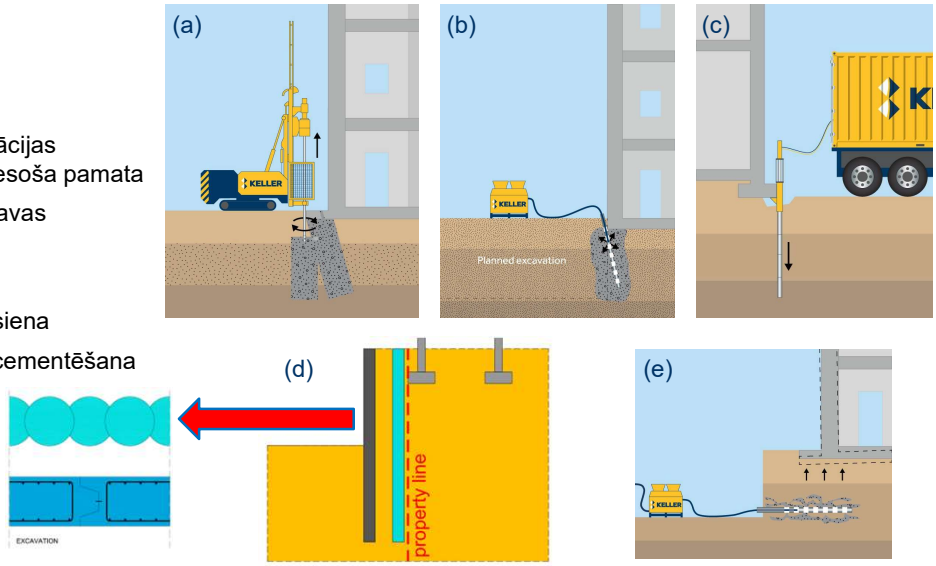
Aptuvenas robežvērtības pārvietojumiem parastām pazemes instalācijām

Avots:
Protection of structures adjacent to deep excavations. Guideline. ITB, Warsaw, 2020

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 33

Esošās būves un konstrukcijas – kā tās pasargāt?

- (a) Strūklas cementācijas pastiprinājumi zem esoša pamata
- (b) Cementācija ar javas iepludināšanu
- (c) Mikropāļi
- (d) Papildus atbalstsiena
- (e) Kompensācijas cementēšana

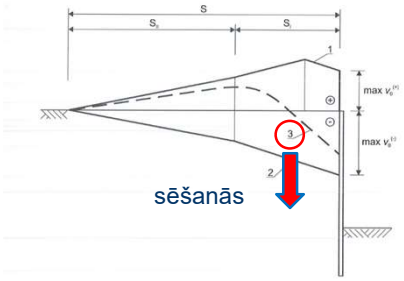


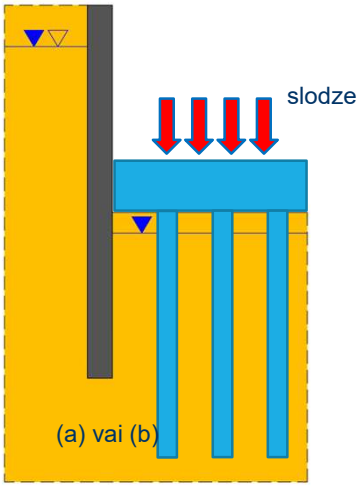
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 34

Dziļie pamati– kā pārbaudīt SLS robežstāvokli?

Vertikālo deformāciju kontrole
(pacēlums & sēšanās)

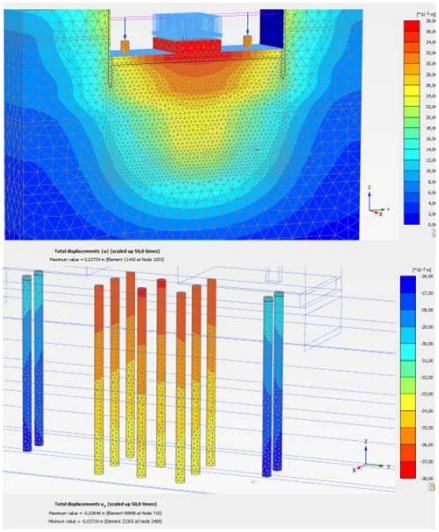
- (a) grunts pastiprināšana
- (b) pāļi vai plātne uz pāļiem





EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 35

Dziļie pamati – plātne uz pāļiem



- Sēšanās samazināšana
- Pamatu plātnes optimizācija

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 36

Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

Prezentācijas izklāsts

- Īss ievads
- 3 ēku projekta 3D FEM aprēķina piemērs
- Ģeotehniskā situācija un pielietotie risinājumi pamatu plātnei un būvbedrei
- Grunts aprēķinu modeļu apraksts
- 3D ģeotehniskā modeļa apraksts
- GEM rezultātu validācija nepabeigtai ēkai (būvniecības stadijā) ar daļējiem deformāciju mērījumiem
- GEM rezultātu validācija 2 pabeigtām ēkām un sēšanās mērījumiem

Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

Īss ievads

Detalizēti ģeotehniskie aprēķini, izmantojot 3D galīgo elementu metodi

PLAXIS 3D CONNECT Edition PLAXIS 2D CONNECT Edition

Portions © 2021 Bentley Systems,

3D vienmēr kopā ar modeļiem

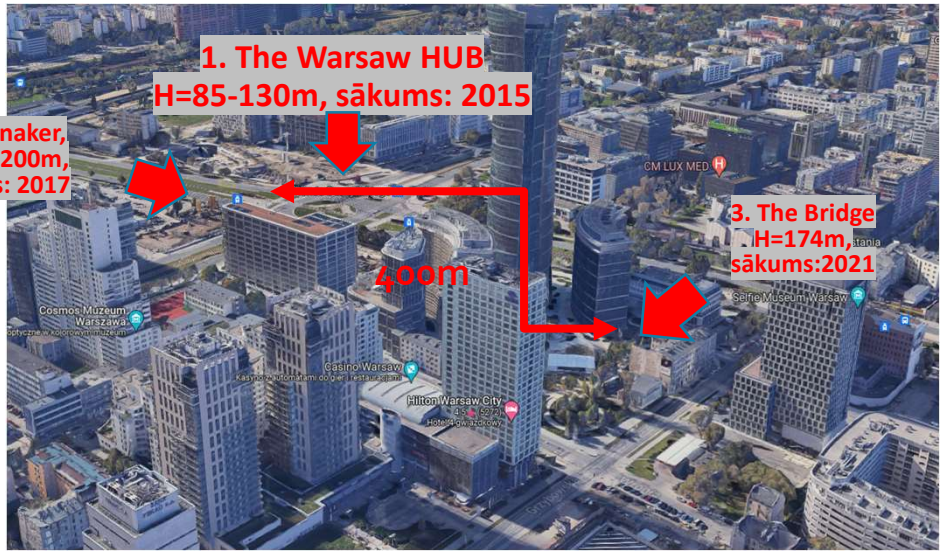
Nelineāra grunts un grunts – konstrukcijas mijiedarbības augstas detalizācijas modelēšana:

- Darbība zemu un augstu relatīvo deformāciju diapazonā (tipiskās praktiskās robežas)
- Iežu mehānika un «klasiskā» grunts mehānika ar cietu un mīkstu grunts darbību
- Konsolidācija laikā un šļūde, drenēts un nedrenēts aprēķins, dinamiskie aprēķini
- Deformāciju aprēķini ievērtējot gruntsūdens plūsmu (paliekošās vai pārejošas)
- Dažādi standarta grunšu materiāla modeļi un iespējas izmantot lietotāja definētus modeļus («dll-modeļi»)
- Automatizācijas iespējas ar «macro» un Phyton programmēšanu datu priekšapstrādei un pēcapstrādei
- Virtuālā grunts-testēšanas rīks (trīsasu, oedometera un citi testi), viegla parametru verificēšana
- Jutīguma analīze un parametru izkliede
- Mijiedarbība ar «CAD» programmām un ģeometrijas datu automātiska integrēšana

tiek izmantots Projektu piemēros

Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

Prezentācija par 3 ēkām



Varšava 5 gadus atpakaļ, Towarowa iela Avots: Google maps

Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

Prezentācija par 3 ēkām

1. The Warsaw HUB
Augstums: 130m, 130m, 85m

Darbu apjoms:
Projektēšana: D-sienas, strūklas cementēšana, baretes (plātnes veida pamats)

- D-sienas -(biezums **1,0**m, dziļums 30m)
- Baretes vai pāļi,
- Vertikāli ūdens necaurlaidīga strūklas cementācijas veidota plātne

3D GEM aprēķinu apjoms:

- Pamatu sēšanās (plātnes veida pamats)
- «atsperu» stinguma aprēķins, kuru izmantot konstrukciju aprēķina modelī (baretes, D-sienas, grunts)

2. Spinnaker
Augstums: 200m

Darbu apjoms:
Projektēšana: D-sienas, strūklas cementēšana, baretes (plātnes veida pamats)

- D-sienas -(bieums 0,8m, dziļums 23m)
- Baretes nevis pāļi,
- Horizontāli ūdens necaurlaidīga strūklas cementācijas veidota plātne

3D GEM aprēķinu apjoms:

- Pamatu sēšanās (plātnes veida pamats un pāļiem)
- «atsperu» stinguma aprēķins, kuru izmantot konstrukciju aprēķina modelī (baretes, D-sienas, grunts)
- Ietekmes novērtējums uz blakusesošo metro līniju

Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

Prezentācija par 3 ēkām

3. The Bridge
Augstums: 174m

Darbu apjoms:
Projektēšana: D-sienas, strūklas cementēšana, baretes (plātnes veida pamats)

- D-siena -(biezums 1,0m un 0,8m, dziļums 30m)
- Baretes nevis pāļi,
- Horizontāli ūdens necaurlaidīga strūklas cementācijas veidota plātne

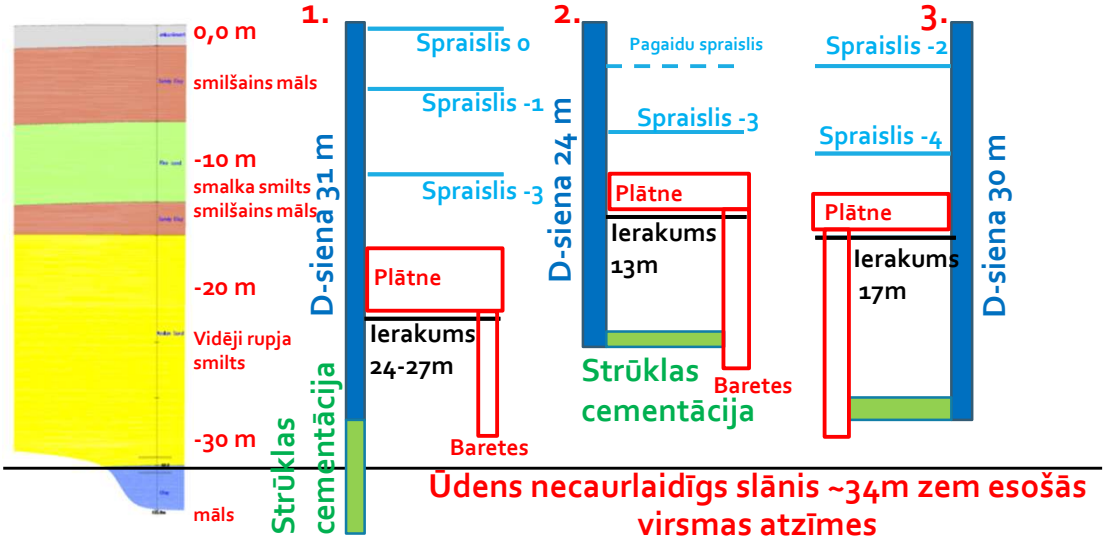
Scope of FE 3D calculation:

- Pamatu sēšanās (plātnes veida pamats)
- Būvbedres modelis un papildus 2D GE modeļi
- «atsperu» stinguma aprēķins, kuru izmantot konstrukciju aprēķina modelī (baretes, D-sienas, grunts)
- Ietekmes novērtējums uz blakusesošajām vēsturiskajām ēkām; 2D aprēķini noteiktos griezumos

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 41

Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

Grunts modelis, būvbedres un pamatu risinājumi



EM iepirkums Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana" ID EM 2022/53 42

Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

CPRF – kombinēts pāļu - pamatu plātnes pamats

Baretes (pāļi), diafragmas sienas un pamatu plātne kopā pārnes slodzi uz grunti.

Nav nepieciešams pārbaudīt katras atsevišķas baretes (pāļa) nestspēju, kā tas būtu pāļu pamatu gadījumā, kur visu slodzi uzņem pāļu pamati.

Aprēķins apskata:
- Sēšanos
- Iekšējos spēkus un piepūles pālos/baretēs/D-sienās

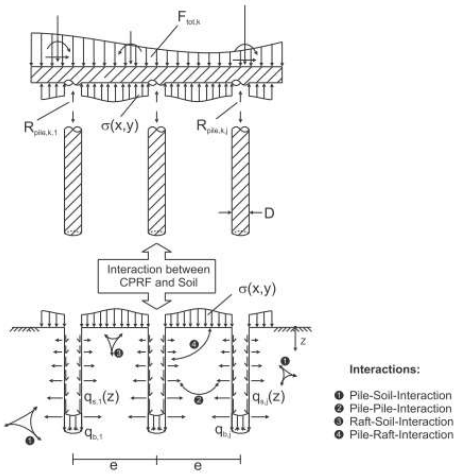


Fig. 1.1 Combined Pile Raft Foundation (CPRF) as a geotechnical composite construction and the interactions coining the bearing behaviour

Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

Dažādu grunšu aprēķina modeļu pielietojums atbilstoši Plaxis (Bentley)
A –labākais standarta modelis, B-pamatots modelis, C-pirmatnējs modelis

Model	Analysis	SANDS	SILTS: Dilatant, Low compressible	SILTS: Non-dilatant, Compressible	CLAYS: Degree of overconsolidation, High Stiff clays	CLAYS: Low	CLAYS: Normal Soft clays
Mohr-Coulomb (Drucker-Prager)	SLS						
	ULS	C	D		D		
CAP	SLS	D	D	D	D	C	C
	ULS					C	C
Modified Cam-Clay	SLS			D		C	C
	ULS			C		C	C
HS-standard	SLS					A	A
	ULS	A	A	A	A	A	A
HS-small	SLS	B	B	B	B	B	B
	ULS	A	A	A	A	A	A
HS-Brick	SLS	A	A	A	A	A	A
	ULS	A	A	A	A	A	A

Recommendations for the model choice for different soils and two type analyzes: Serviceability Limit State (SLS) and Ultimate Limit State (ULS). Meaning of rating: (A) recommended, (B) recommended except situations when small strain reversals may occur and transient analyses, (C) can be used, (D) can be used but not recommended in terms of quality of results, empty grid cell means not applicable

Gruntīm piešķirtie modeļi:
HS small & Hardening Soil

Modeļi
D-sienām, Baretēm,
Pamatu plātnei:
- **Lineāri elastīgs (tilpuma elementiem)**
- **Lineāri, elasto-plastiski konstruktīvajiem elementiem**

Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

Izmantoto grunts aprēķina modeļu apraksts

Hardening Soil:

- No sprieguma atkarīgs stingums
- Plastisko relatīvo deformāciju attīstība pie efektīvā sprieguma izmaiņas
- Plastisko relatīvo deformāciju attīstība primārās konsolidācijas laikā
- Elastīga atslogošana un pieslogošana
- Sabrukums atbilstoši Mohr-Coulomb kritērijam

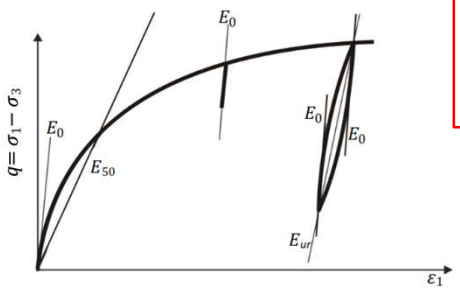
HS small: Hardening Soil + grunts darbība pie zemām relatīvajām deformācijām

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 45

Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

Izmantoto grunts aprēķina modeļu apraksts

HS small & Hardening Soil



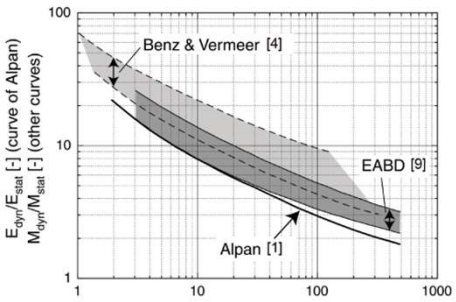
Stinguma parametri E50, Eur, Eo, no q-ε līknes trīsasu testā

m	Power for stress-level dependency of stiffness	[-]
E_{50}^{ref}	Secant stiffness in standard drained triaxial test	[KN/m^2]
E_{oed}^{ref}	Tangent stiffness for primary oedometer loading	[KN/m^2]
E_{ur}^{ref}	Unloading / reloading stiffness from drained triaxial test	[KN/m^2]
$\nu_{0.7}$	Poisson's ratio for unloading-reloading	[-]
G_0^{ref}	Reference shear modulus at very small strains ($\varepsilon < 10^{-6}$)	[KN/m^2]
$\gamma_{0.7}$	Threshold shear strain at which $G_s = 0.722G_0$	[-]

Papildus parametri HS-small modelī:
Go – balstoties uz korelācijām starp stingumu pie mazām un lielām relatīvajām deformācijām , Alpan (1970)
γ0.7 –balstoties uz stinguma redukcijas līknēm, Vucetic un Dobrey (1991)

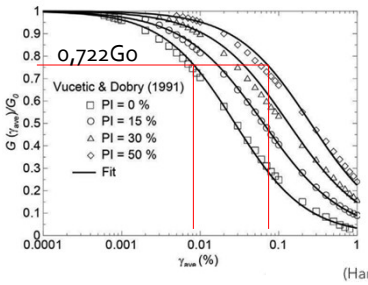
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 46

Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

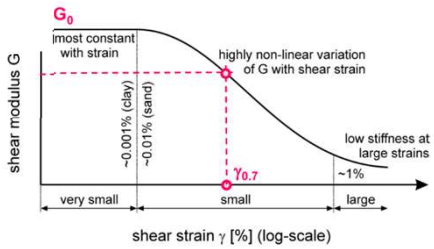


$$G_0^{ref} = E_0^{ref} / \left(2(1+\nu_{ur})\right)$$

Stinguma redukcijas līknes, Vucetic and Dobry (1991)



(Hardin & Drnevich, 1972):



$$\gamma_{0.7} \approx \frac{1}{9G_0}\left[2c'(1+\cos 2\varphi') + \sigma_1'(1+k_0)\sin 2\varphi'\right]$$

where:

c' = drained cohesion	[kN/m²]
φ' = drained angle of internal friction	[deg]
k_0 = neutral earth pressure coefficient	[-]
σ_1' = effective vertical stress (usually equal to σ_3' = 100 kPa)	[kN/m²]

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 47

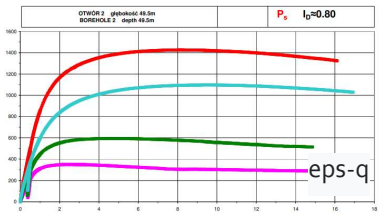
Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

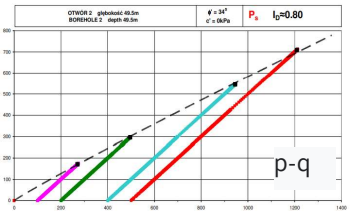
Trīsasu (konsolidētu drenētu) testi smiltij un mālam, **(3. The Bridge)**

Stinguma parametri E50, Eo, m

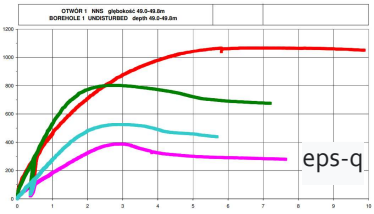
Sabrukums atbilstoši Mohr-Coulomb kritērijam

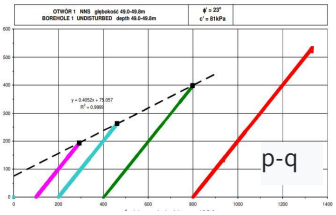
smilts



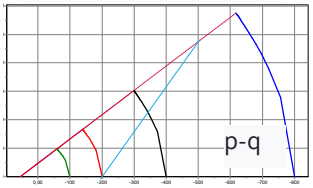


māls



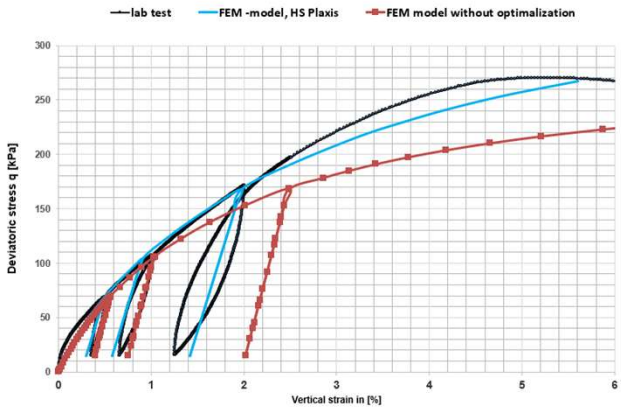


Mālam labāk lietot konsolidētu nedrenētu trīsasu testu

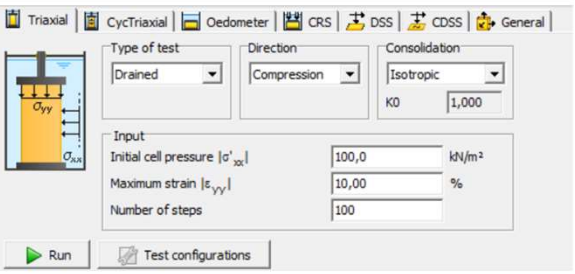


EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 48

Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi



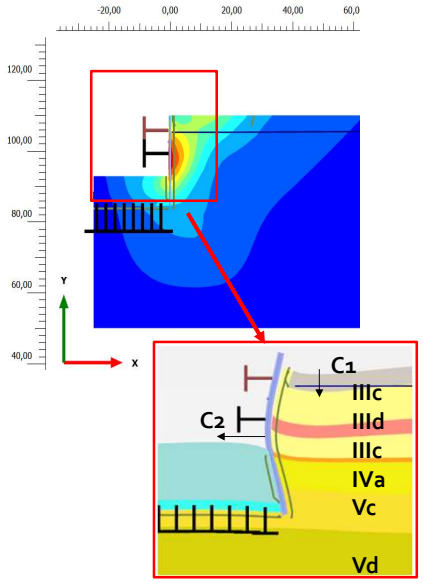
Trīsasu testā iegūto parametru optimizācija ar Plaxis Virtual Lab Test rīku

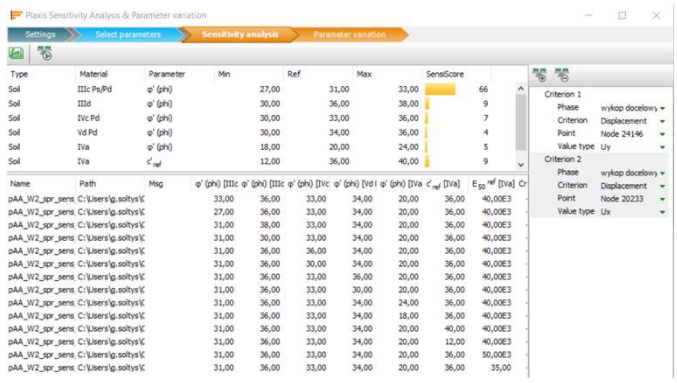


EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 49

Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

Parametru izkliede





(C1) - Kritērijs 1: blakus esošās ēkas sēšanās
(C2) – Kritērijs 2: D-sienas horizontālā deformācija

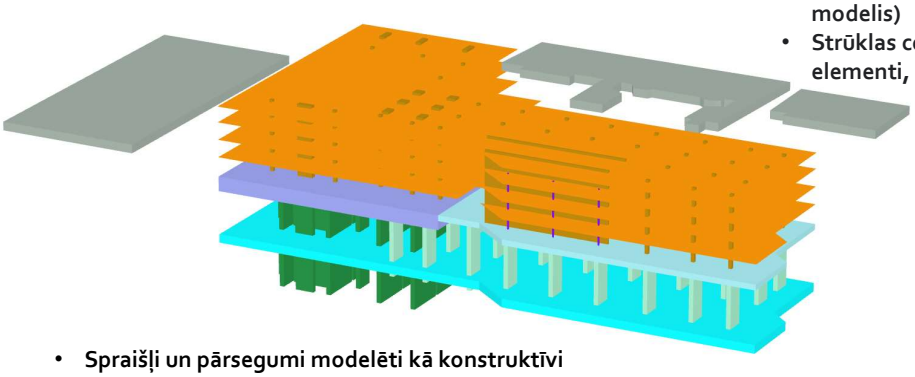
Pēc Plaxis jūtīguma analīzes => IIIc

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 50

Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

3D ģeotehniskā modeļa ģeometrijas apraksts (3. The Bridge)

- Pamatu plātne, baretes modelētas kā tilpuma elementi (lineāri elastīgs(L-E) modelis)
- Strūklas cementācijas plātne (tilpuma elementi, L-E vai betona modelis)



- Spraišļi un pārsegumi modelēti kā konstruktīvi elementi (sijas un plātnes elementi nevis tilpuma elementi)
- Dz./b. kolonnas, sienas, ēkas pamatu plāte modelēta kā tilpuma elements (L-E modelis)

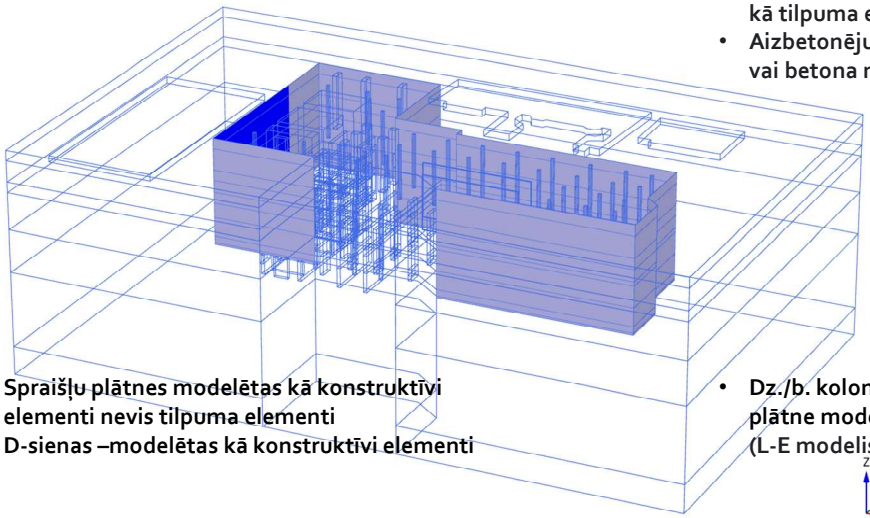
2/53

51

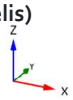
Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

3D ģeotehniskā modeļa ģeometrijas apraksts (3. The Bridge)

- Pamatu plātne un baretes modelētas kā tilpuma elementi (L-E modelis)
- Aizbetonējums (tilpuma elementi, L-E vai betona modelis)



- Spraišļu plātnes modelētas kā konstruktīvi elementi nevis tilpuma elementi
- D-sienas –modelētas kā konstruktīvi elementi
- Dz./b. kolonnas, sienas, ēkas pamatu plātne modelēti kā tilpuma elementi (L-E modelis)

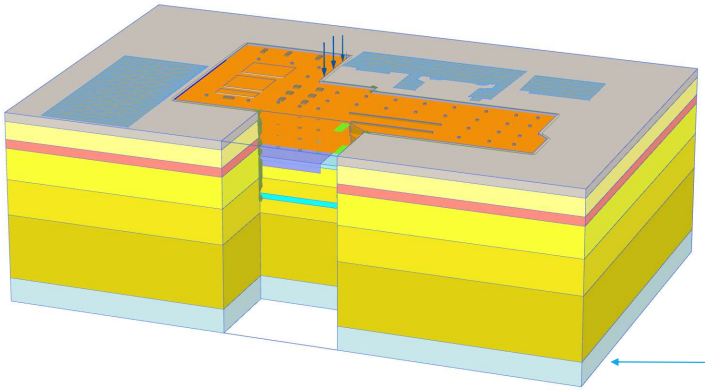


2/53

52

Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

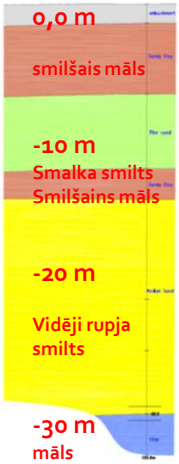
3D ģeotehniskā modeļa ģeometrijas apraksts (3. The Bridge)



- HS-modelis
- +nedrenēta darbība

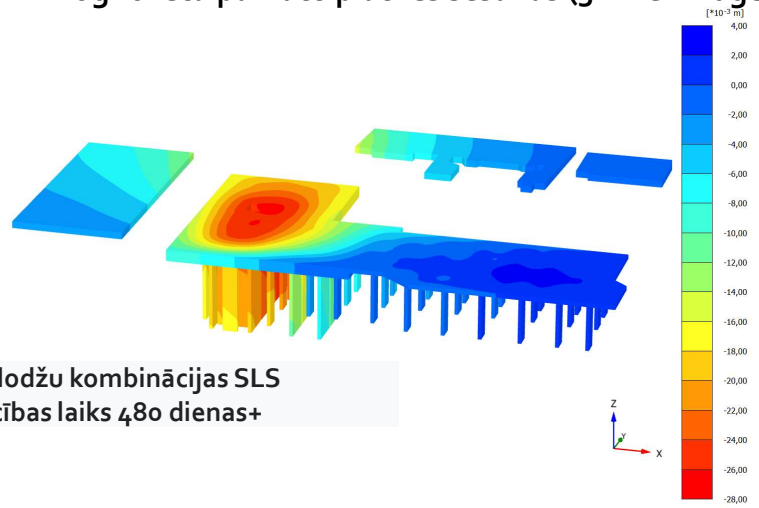
HS-Small modelis +nedrenēta/drenēta darbība

HS or HS Small modelis + nedrenēta darbība



Visiem tilpuma un konstruktīvajiem elementiem izmantots «interface» elementi (stiprības un stinguma definēšana)

Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi
Prognozētā pamatu plātnes sēšanās (3. The Bridge)



Pilnās slodžu kombinācijas SLS
Būvniecības laiks 480 dienas+

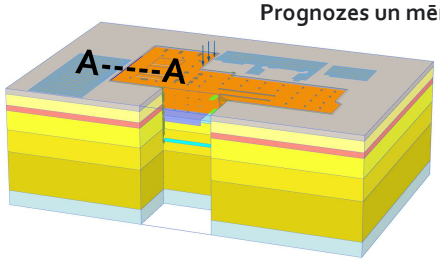
Total displacements u_z (scaled up 200 times) (Time 473,0 day)

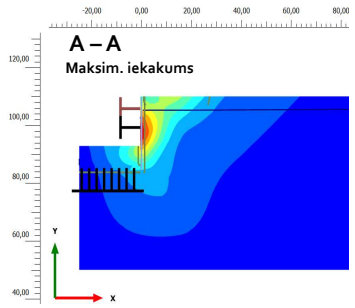
Maximum value = 3,578*10^{-3} m (Element 99345 at Node 126340)

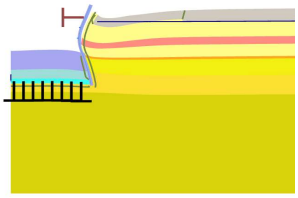
Minimum value = -0,02645 m (Element 106761 at Node 145061)

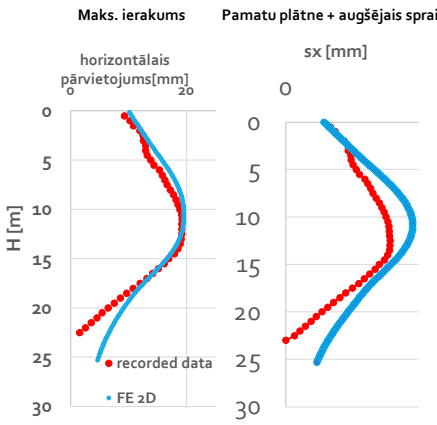
Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

Prognozes un mērījumi (3. The Bridge)





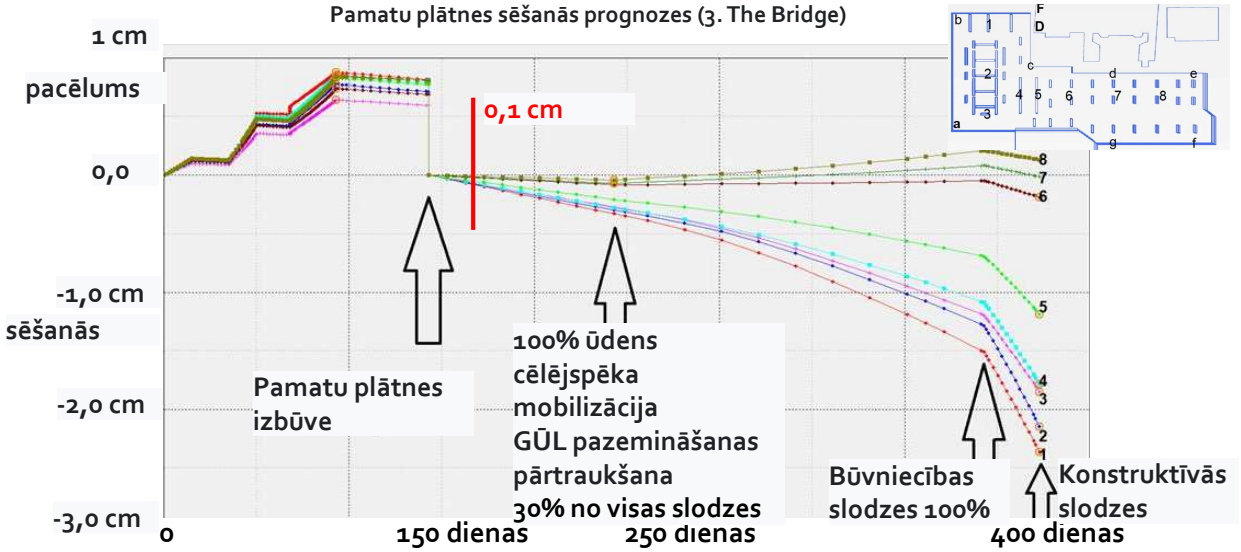




Prognozētās horizontālās deformācijas:
3D aprēķins ≈10 mm
2D aprēķins ≈24 mm
Nomērītās deformācijas ≈ 19mm
* Tiek veikta analīze; iemesli: nedaudz atšķirīgs ģeotehniskais modelis

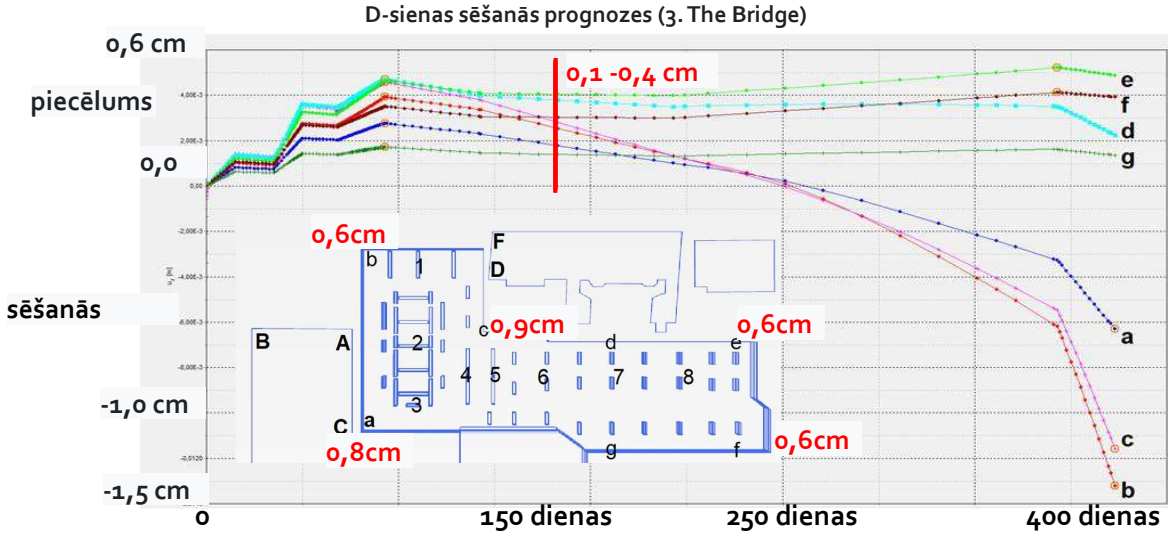
Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

Pamatu plātnes sēšanās prognozes (3. The Bridge)



Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

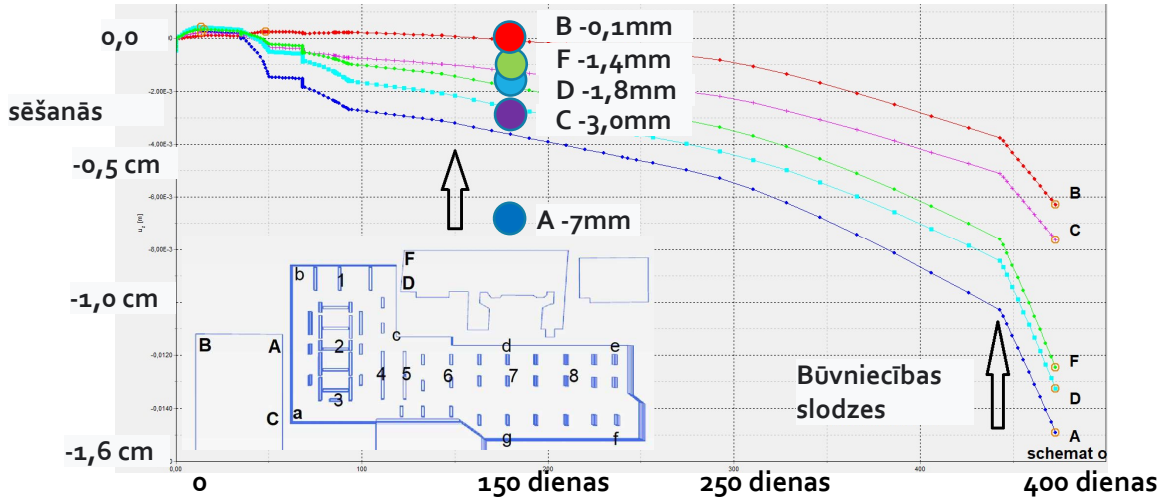
D-sienas sēšanās prognozes (3. The Bridge)



EM iepirkums Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana" ID EM 2022/53 57

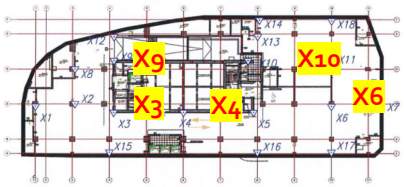
Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

Blakus esošo ēku sēšanās prognozes (3. The Bridge)



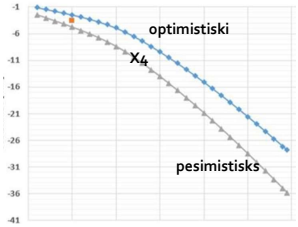
EM iepirkums Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana" ID EM 2022/53 58

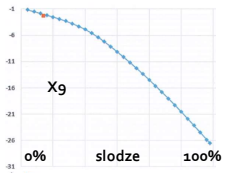
Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

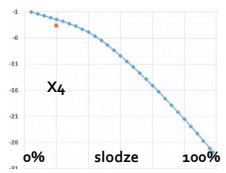


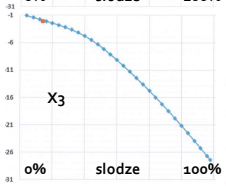
(2. The Spinnaker)

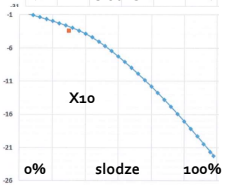
Pilns ierakuma dziļums ar 20% noslogotu pamatu plātni

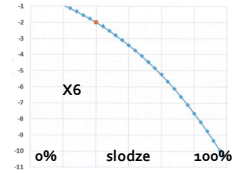


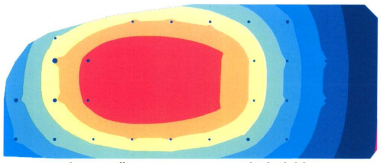




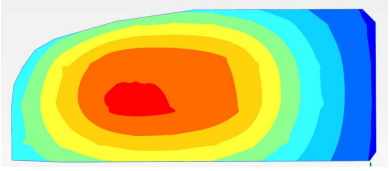




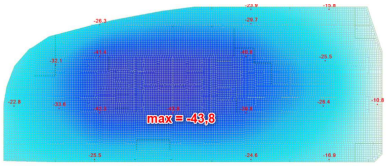




1ā aplēse: sēšanās - 36 mm (optimistiski)



2ā aplēse: sēšanās - 49 mm (pesimistiski)



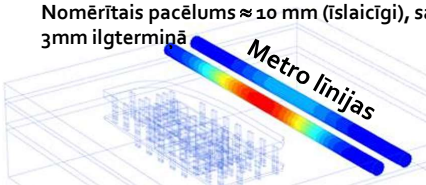
Nomērītā sēšanās ar 95% slogojuma līmeni - 44 mm

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 59

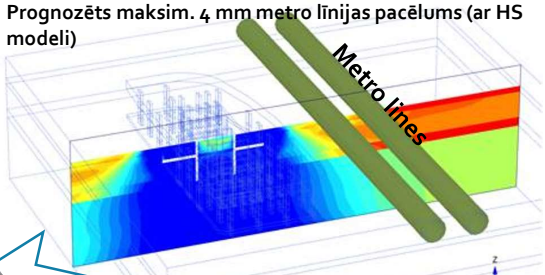
Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

Ietekmes novērtējums uz blakus esošo metro līniju (2. The Spinnaker)

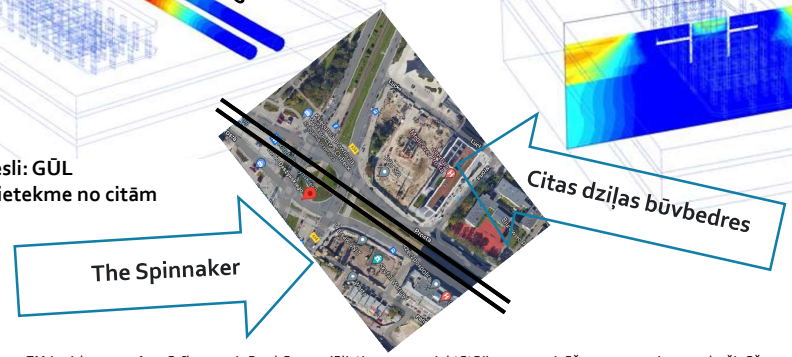
Prognozēts 2-3 mm metro līnijas pacēlums (ar HS-small modeli)
Nomērītais pacēlums ≈ 10 mm (īslaicīgi), samazinoties līdz 3mm ilgtermiņā

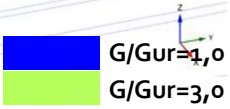


Prognozēts 2-3 mm metro līnijas pacēlums (ar HSSmall modeli)
Prognozēts maksim. 4 mm metro līnijas pacēlums (ar HS modeli)



Iespējamie iemesli: GŪL pazemināšana, ietekme no citām būvbedrēm



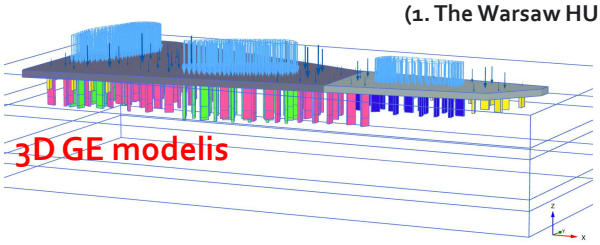


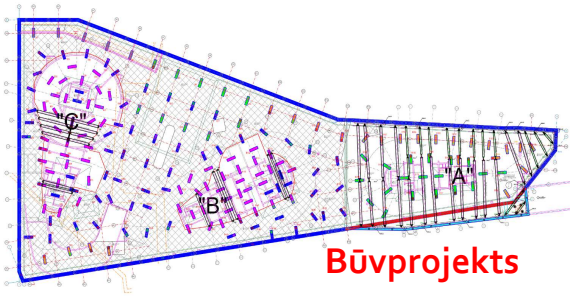
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 60

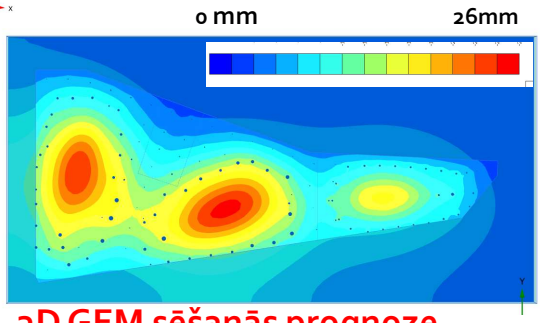
Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

(1. The Warsaw HUB)

3D GEM modelis apskata:
- Pamatu plātni
- Baretes no 5m līdz 14m
- D-sienu







EM iepirkums Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana" ID EM 2022/53

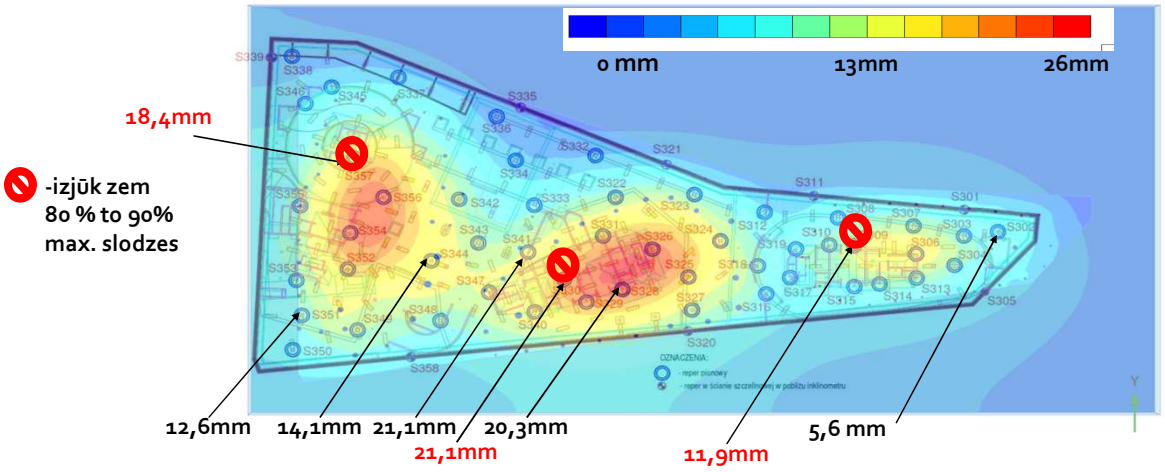
61

Projekti, kuros izmantoti detalizēti 3D GEM modeļi

(1. Warsaw HUB)

Max sēšanās no 3D GEM 24,8mm

Max nomērītā sēšanās 21,1mm* +2-3mm



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53

62

Ekonomikas ministrija

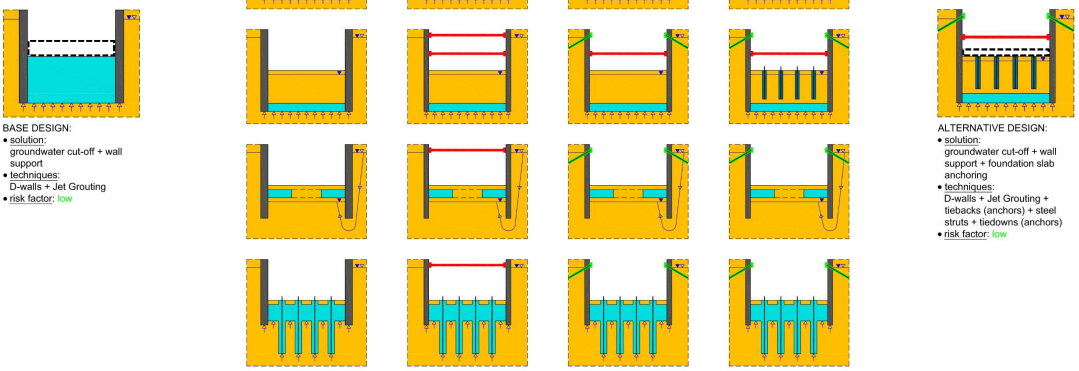
CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Mācības, kas iegūtas

Solis 1: Gruntsūdens kontrole

Solis 2: Atbalstsienas spraišļu sistēmas

Solis 3: Citas problēmas



BASE DESIGN:
- solution: groundwater cut-off + wall support
- techniques: D-walls + Jet Grouting
- risk factor: low

ALTERNATIVE DESIGN:
- solution: groundwater cut-off + wall support + foundation slab anchoring
- techniques: D-walls + Jet Grouting + tiebacks (anchors) + steel struts + tiedowns (anchors)
- risk factor: low

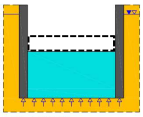
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 63

Ekonomikas ministrija

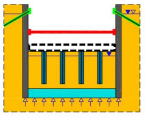
CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Mācības, kas apgūtas

- Arvien vairāk tiek plānoti augstas sarežģītības projekti
- Nepieciešams pārbaudīt dažādus risinājumus, lai atrastu labāko un piemērotāko konkrētajam projektam
- Nepieciešams ņemt vērā visus būvprojekta un izbūves aspektus
- GEM rīki projektējot augstas sarežģītības risinājumus (izmantojot atbilstošus grunšu parametrus un pieredzi)
- Kvalitātes pārbaudes un kontrole būvniecības laikā ir ļoti svarīgs aspekts
- Starptautiskā un vietējā pieredze ir kritiski svarīga



BASE DESIGN:
- solution: groundwater cut-off + wall support
- techniques: D-walls + Jet Grouting
- risk factor: low



ALTERNATIVE DESIGN:
- solution: groundwater cut-off + wall support + foundation slab anchoring
- techniques: D-walls + Jet Grouting + tiebacks (anchors) + steel struts + tiedowns (anchors)
- risk factor: low

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 64

Ekonomikas ministrija

CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Paldies par uzmanību!

@EM_gov_lv,@siltinam /ekonomikasministrija www.em.gov.lv Brīvības iela 55, Rīga, LV-1519, Latvia +371 67013100 pasts@em.gov.lv

Ekonomikas ministrija

CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Training seminar / Apmācību seminārs

Underpinning of Buildings and Compensation Grouting (Session 2)

Ēku pamatu pastiprināšana un kompensācijas cementācija (Sadaļa Nr.2)

Prof. Michał Topolnicki, PhD (Poland),
Clemens Kummerer, PhD (Austria)

- Strūklas cementācijas un kompensācijas cementācijas izbūves un projektēšanas principi

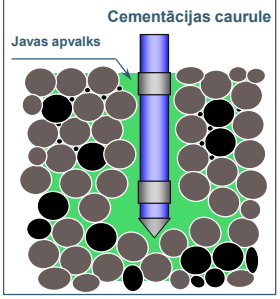
Vispārīga grunšu pastiprināšanas metožu klasifikācija

- prEN 1997-3:202x: klasifikācija 11. nodaļā

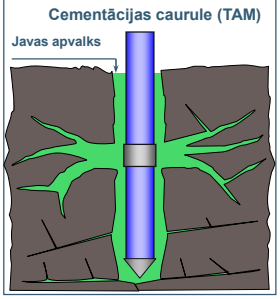
Klase	Grupas	
	A-Izkliedēti	B-Atsevišķi
I	**AI – Izkliedēti un bez vienass spiedes stiprības** Pastiprinātajai gruntij tiek uzlabota bīdes pretestība vai stingums. Pastiprinātā grunts var tikt modelēta kā grunts ar uzlabotām īpašībām. **piem., kompensācijas cementēšanas metodes**	**BI – Atsevišķi bez stingajiem pastiprinājumiem** Pastiprinājumi, kuriem ir austāka bīdes pretestība un stingums kā apkārt esošajai gruntij. Vienass spiedes stiprība šādiem pastiprinājumiem netiek mērīta.
II	**AII – Izkliedēti ar nomērāmu vienass spiedes stiprību** Pastiprinātā grunts būtiski atšķiras no sākotnējās grunts ar nomērāmu vienass spiedes stiprību, sagaidāma būtiski augstāka bīdes pretestība un stingums kā apkārtesošajai gruntij. Parasti tiek izmantota saistviela, kas iestrādāta esošajā gruntī. **piem., (strūklas) cementēšanas metodes**	**BII – Atsevišķi stingie pastiprinājumi** Stingie pastiprinājumi, kas izbūvēti gruntī, ar nomērāmu vienass spiedes stiprību un būtiski stingāki kā apkārtesošā grunts. Stingie pastiprinājumi var būt izgatavoti no dažādiem būvmateriāliem, kā piemēram, koks, betons/betona java, metāls vai arī kā grunts – javas maisījums

(Strūklas) cementācijas process

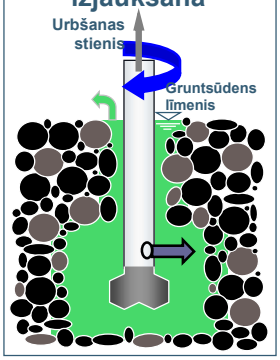
Cementācija
Poru tilpuma aizpildīšana



Plaisu cementācija
Plaisu radīšana un to aizpildīšana ar javu

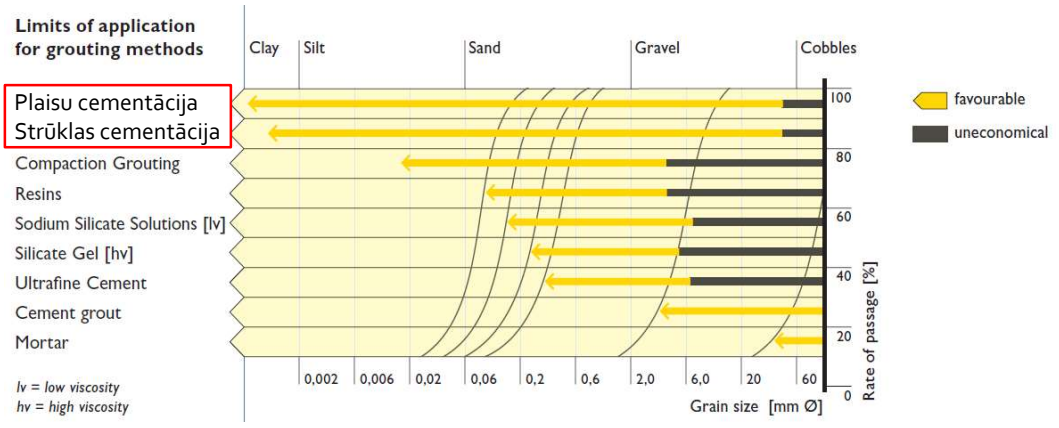


Strūklas cementācija
Grunts struktūras izjaukšana



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 69

Cementācijas metožu piemērotība dažādiem grunšu tipiem



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 70

Strūklas cementācijas procesa detaļas

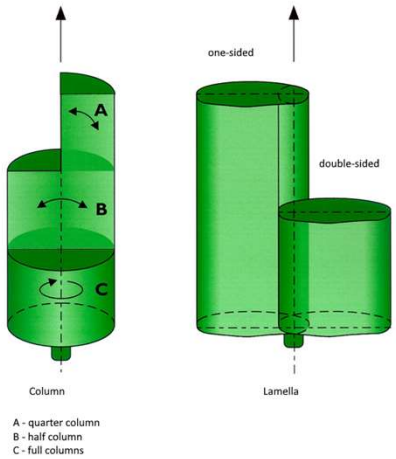
- Strūklas cementācija ir grunts struktūras hidrauliska izjaukšana, kas tiek panākta ar augsta spiediena strūklu, kas var būt arī vienlaicīgi arī cementējošā saistviela, un grunts vienlaicīga maisīšana un aizvietošana ar javu rada strūklas cementācijas ķermeni pēc hidraulisko saistvielu sacietēšanas

  (EN 12716:2019)

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 71

Strūklas cementācijas elementi

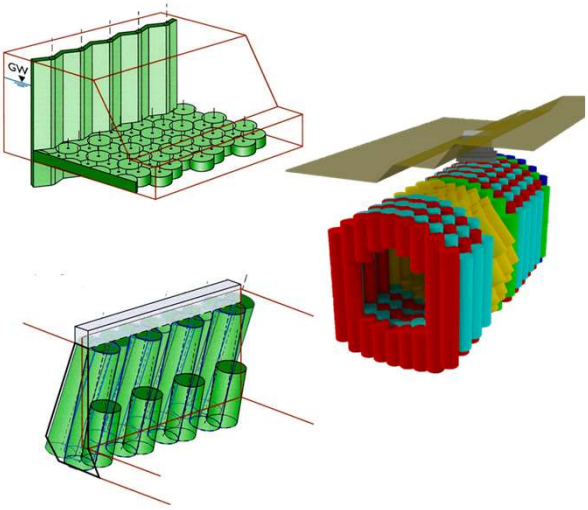
- Kontrolējot monitora kustību un izbūves parametrus, iespējams iegūt dažādas ģeometrijas
  - Pilnu kolonnu– apaļu vai elipsoīdu
  - Segmentu
  - Lamellas



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 72

Strūklas cementācijas elementu ģeometrija

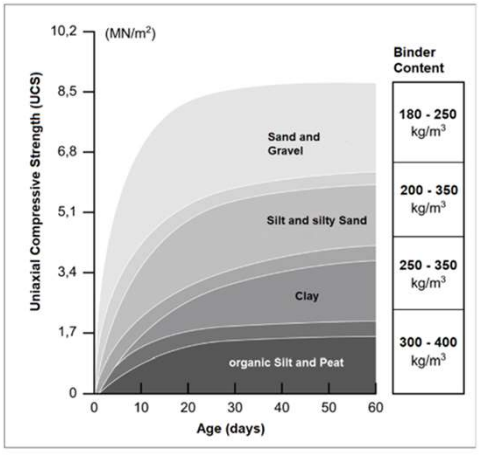
- Kombinējot atsevišķus elementus, iespējams iegūt sarežģītas ģeometrijas elementu grupas
  - Nosedzošās plātnes
  - Norobežojošās sienas
  - Pastiprinātas sienas zem esošajiem pamatiem
  - Arkas



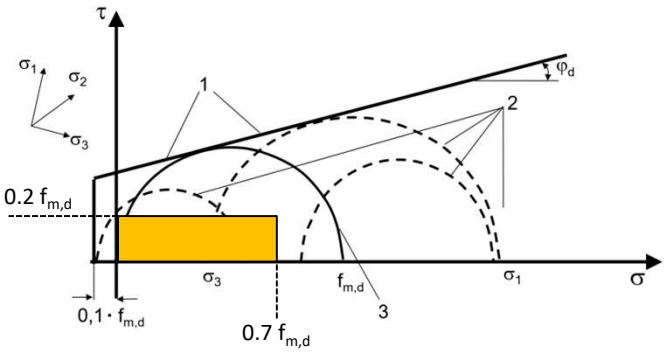
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 73

Strūklas cementācijas stiprība un vienkāršotas spriegumu pārbaudes

- Indikatīvas vienass spiedes stiprības vērtības



- Sprieguma pārbaude atbilstoši DIN 4093

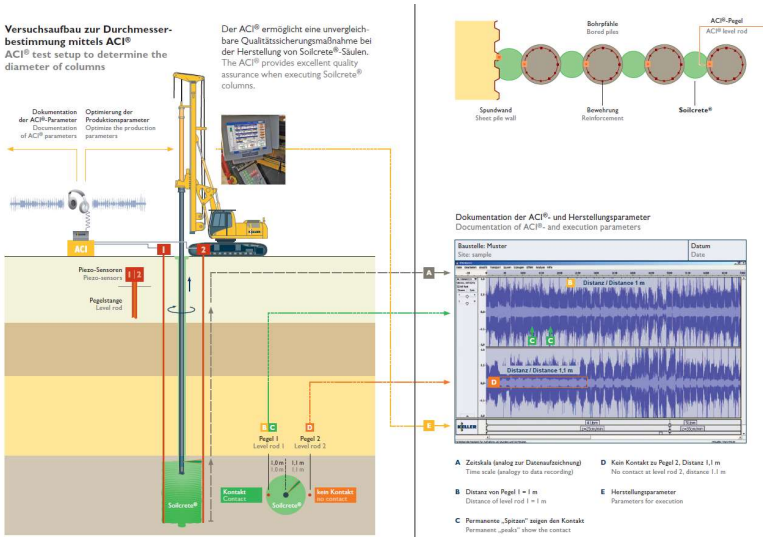


Piezīme: $f_{m,d}$ aprēķinu spiedes stiprība (cilindriskā)

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 74

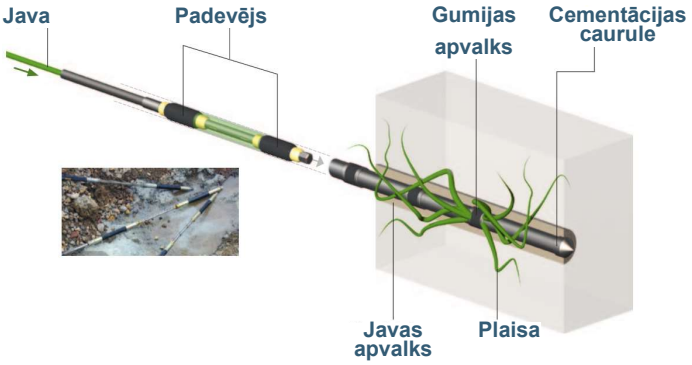
Kvalitātes kontrole
Metodes, lai noteiktu izbūves diametru

- Pieejamas dažādas sistēmas, lai monitorētu un mērītu izbūves diametru
- Viena tāda metode ir ACI® (Acoustic Column Inspector) metode, kur tiek izmantots akustiskais signāls caur strūklas cementācijas stieni, lai mērītu strūklas rādiusu

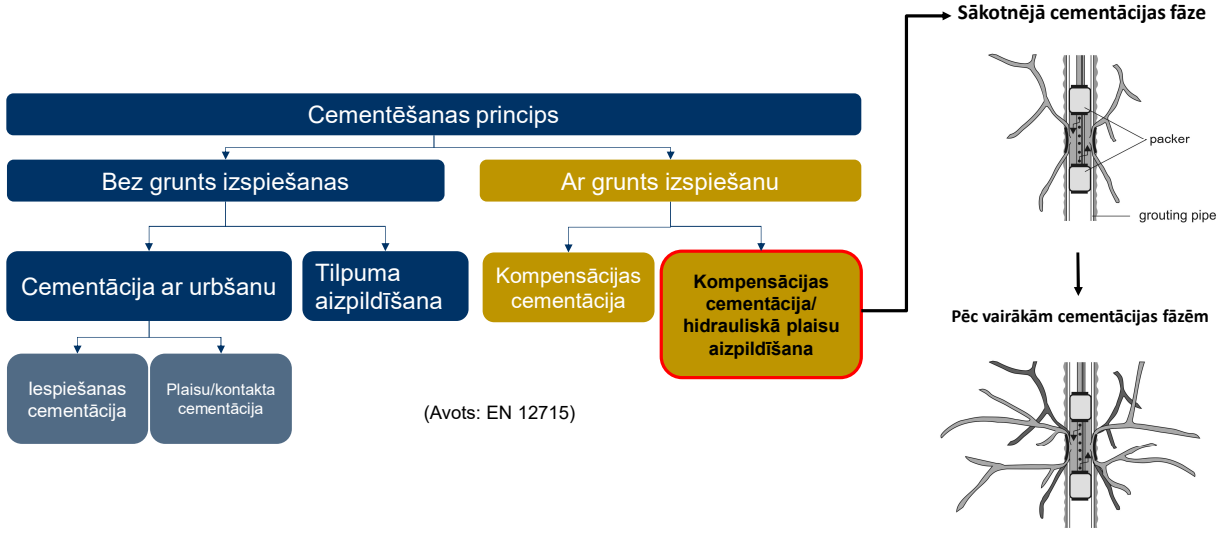


Plaisu cementācijas procesa detaļas

- Javas injekcijas gruntī rada jaunas lokalizētas plaisas (EN 12715:2021)
- Vispārīgi grunts struktūras hidrauliskā izjaukšana tiek izmantota kompensācijas cementācijai



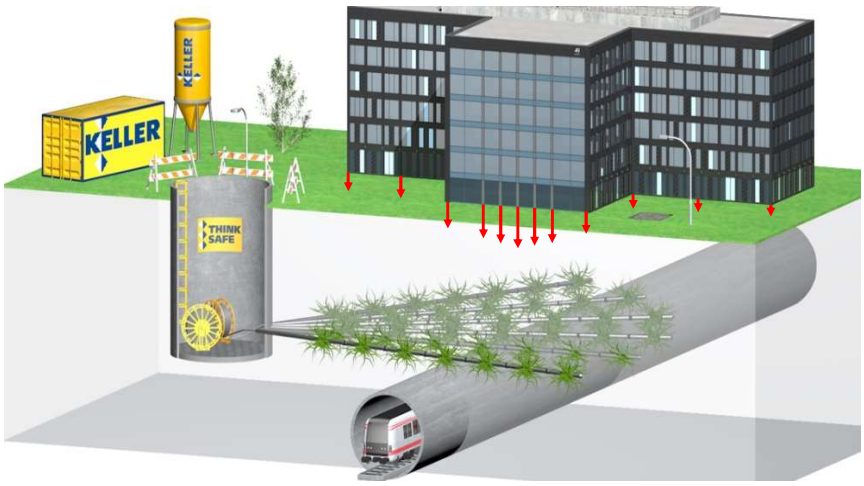
Cementēšanas metožu klasifikācija



(Avots: EN 12715)

Kompensācijas cementācijas koncepts

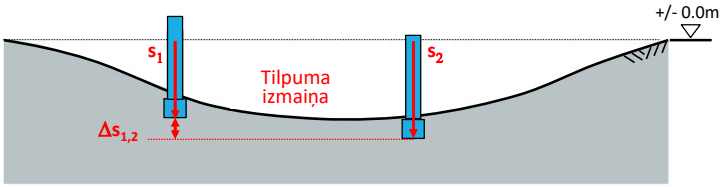
- Kompensācijas cementācijas uzdevums ir gruntī iepildīt javu vietās, kuras tiek pakļautas grunts tilpuma izmaiņām un deformācijām:
  - Dziļās būvbedres
  - Tuneļu būve
  - Dažādas citas deformētu izraisošas būves vai to elementi



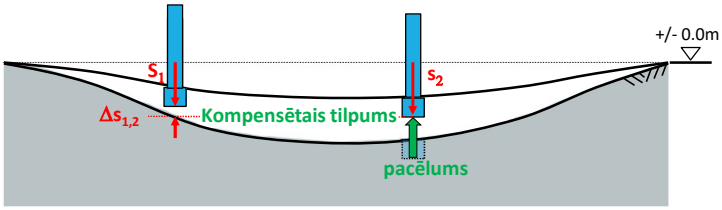
Kompensācijas cementācijas koncepts

- Kompensācijas cementācija ir pamatā ar tilpuma izmaiņu saistīta problēma
- Projektēšanas laikā nepieciešams izpētīt tilpuma izmaiņu un ietekmes zonu
- Būvkonstrukciju projektētājam jādefinē projektētais pacēlums un pielaides
- Tilpuma izmaiņa tiek kompensēta pieņemot javas efektivitātes faktoru

(1) Sēšanās pirms kompensācijas

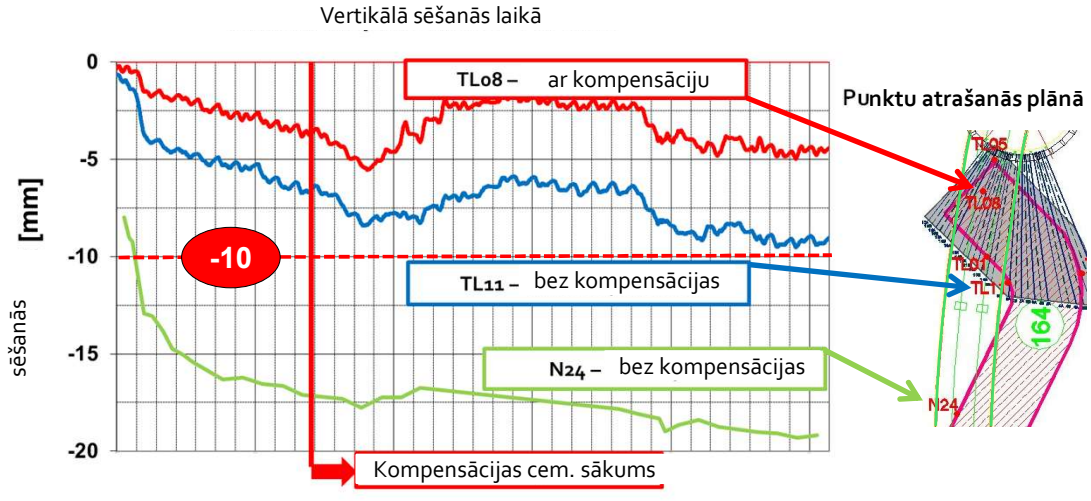


(2) Sēšanās korekcija un projektētā augstuma sasniegšana



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 79

Kompensācijas cementācijas efektivitātes pārbaudes

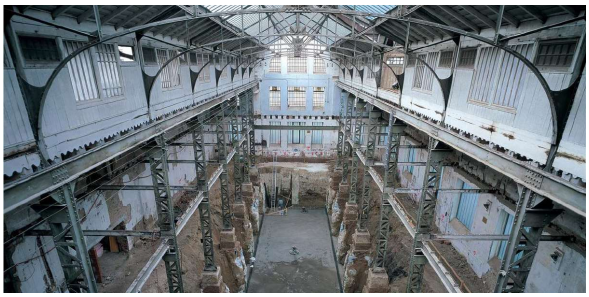


EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 80

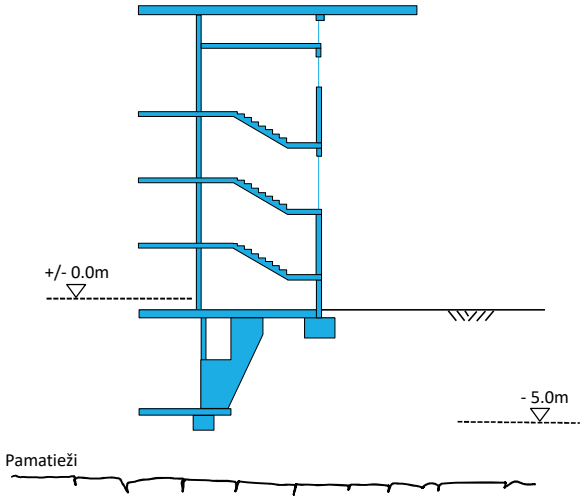
- Apjoma izbūve zem esošas apbūves

Vispārīgi apsvērumi

- Plānojot papildus apjoma izbūvi zem esošas apbūves, nepieciešamas visaptverošas zināšanas par esošās būvi un tās konstrukcijām, kā detalizēta plānošana (rasējumi!)
- Parasti jāapskata vairākas spriegumu izplatības fāzes
- Nepieciešams nodrošināt būvkonstrukciju un ģeotehnikas projektēšanas inženieru cieša sadarbība

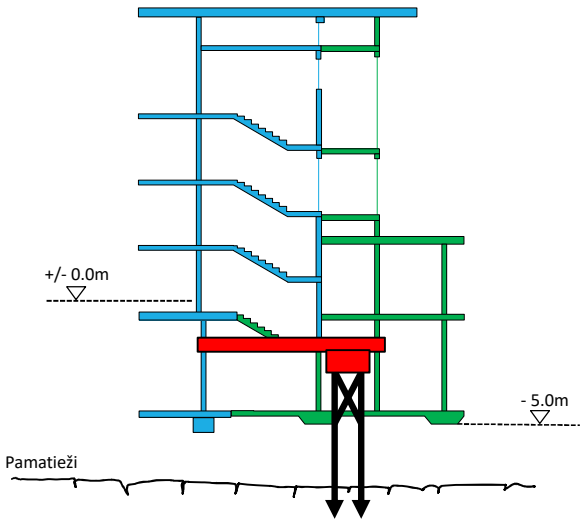


Pagraba izbūve zem esošas ēkas



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 83

Esošās ēkas atbalstīšana ar tērauda konstrukciju



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 84

Būvniecības darbu secība

- (1) Mikropāļi GEWI 63.5mm ar tērauda cauruli 139.7mm augšējā posmā
- (2) Daļējs ierakums
- (3) Pāļu augšējās plātnes izbūve
- (4) Režģogu izbūve

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 85

Būvniecības darbu secība

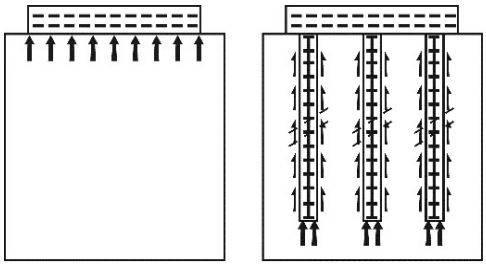
- (5) Atbalsta siju izbūve dažādos līmeņos
- (6) Daļējs ierakums
- (7) Tērauda plātņu metināšana, lai radītu konstrukcijas pastiprinājumu
- (8) Pilnīgs ierakums

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 86

- Dziļo pamatu aizsardzība

Vispārīgi apsvērumi

- Dziļo pamatu aizsardzībai jāpievērš īpaša uzmanība!
- Nepieciešams saprast slodzes pārnešanas mehānismu (sānu berze vai pāļa gals)
- Nedrīkst pieļaut neplānotu slodžu vai efektu (piem., neplānotas horizontālas iedarbes) uz pamatu elementiem



Plātnes pamats | Pāļu pamats

Ekonomikas ministrija CLEANTECH HUB Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Tilta dziļo pamatu atjaunošana

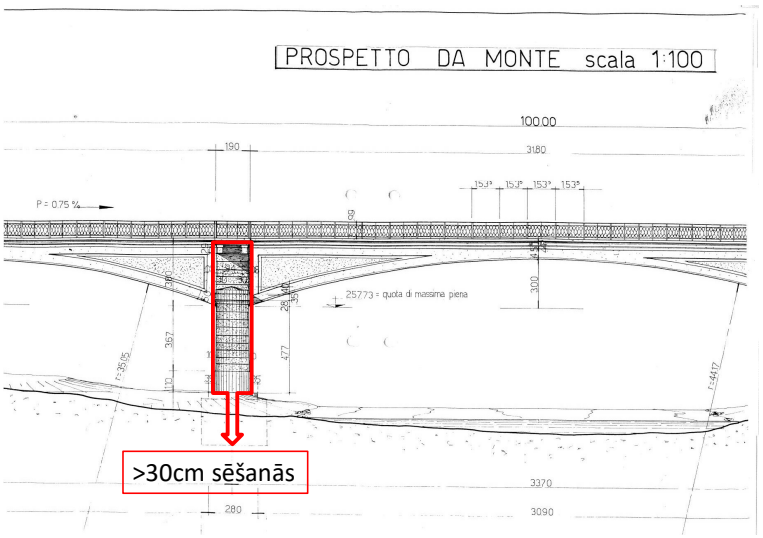
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 89

Ekonomikas ministrija CLEANTECH HUB Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Tilta dziļo pamatu atjaunošana

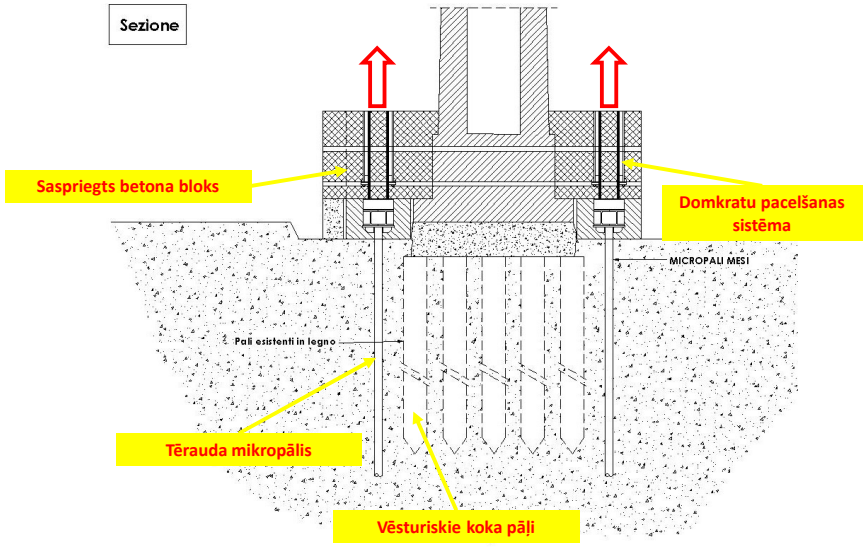
Problēmas apraksts

- Tika veikta urbšana pie tilta balsta
- Artēziskā pazemes ūdens horizonta ietekmē tika iznests liels apjoms grunts
- Tilta balsts nosēdās vairāk kā 30cm
- 34m laiduma dz./b. arkā izveidojās plastiskā locīkla



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 90

Tilta dziļo pamatu atjaunošana
Tilta balsta pacelšanas koncepts

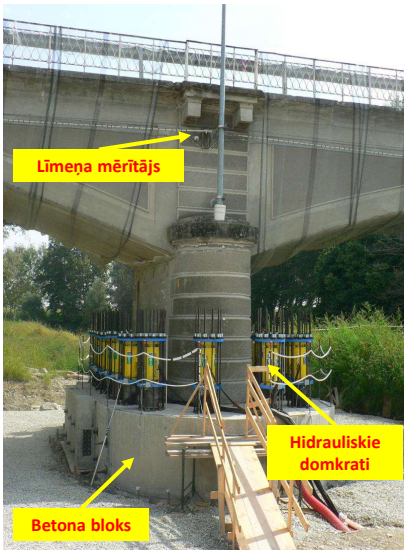


EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53

91

Tilta dziļo pamatu atjaunošana
Izpildes soļi

- 48 mikropāļu (MESI sistēma) izbūve, garums - 12m
- Saspriegta betona bloka izbūve
- 20 hidraulisko domkratu izbūve
- Tilta balsta pacelšana 3 soļos – katrā 12cm

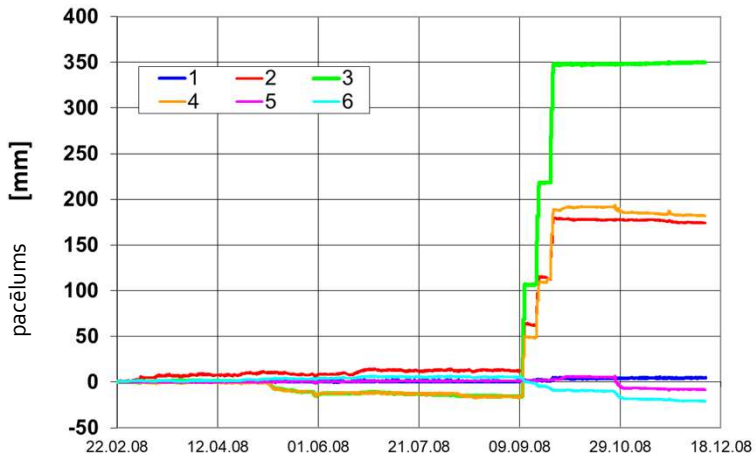


EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53

92

Tilta dziļo pamatu atjaunošana
Pacelšana ar hidrauliskajiem domkratiem

- Pacelšana laikā

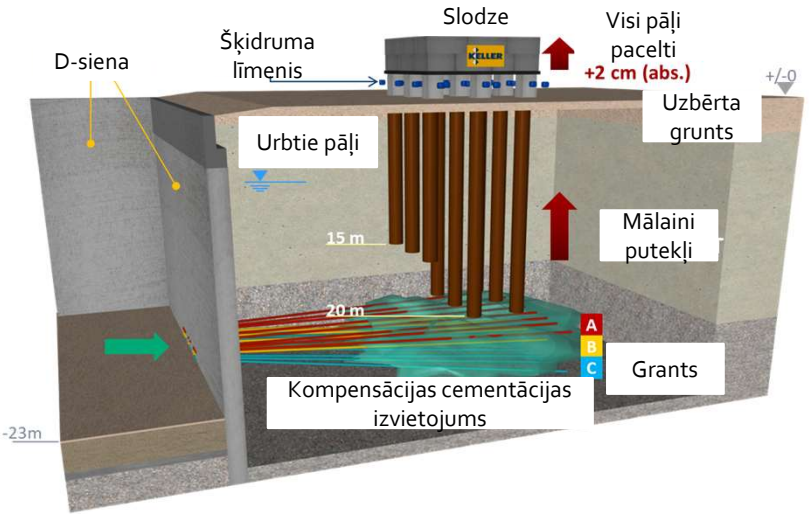


- Mezgla attēls

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 93

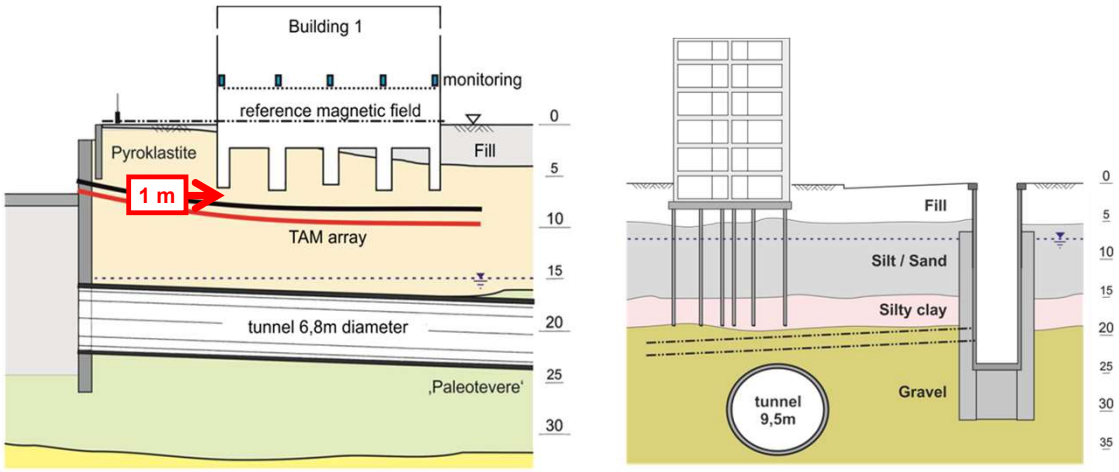
Kompensācijas cementācija, lai pasargātu pāļu pamatus

- Veikt urbšanu zem pāļiem ir sarežģīts uzdevums ģeometrijas dēļ
- Gadījumos, ja nav pietiekamas pieredzes, vēlams veikt lauka testus
  - piem., noslogoti pāļi ar lielu slodzi vai dažādi pāļu garumi



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 94

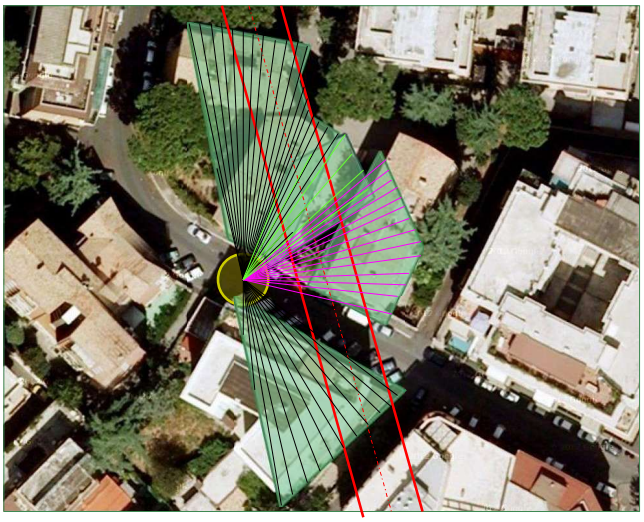
Dziļo pamatu pasargāšana no sēšanās, ko izsauc būvbedres izbūve



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 95

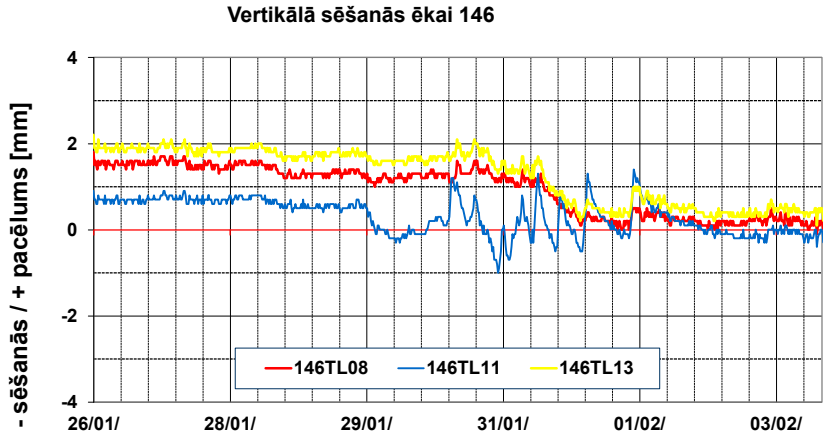
Kompensācijas cementācijas darbība kopā ar pāļu pamatiem

- Nepieciešams atrast urbšanai piemērotu vietu blīvas apbūves gadījumā, piem., šahtu
- Pirms urbšanas nepieciešams uzstādīt monitoringa sistēmu
- Nepieciešams izmantot urbšanas metodes, kas nodrošina minimālu ietekmi uz apkārt esošo grunti



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 96

Kompensācijas cementācijas darbība kopā ar pāļu pamatiem



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53

97

- Vēsturisku ēku pamatu pastiprināšana

EM iepirkums Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana" ID EM 2022/53

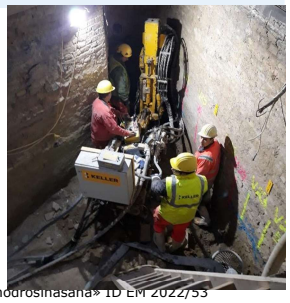
98

Vispārīgi apsvērumi projektiem pilsētvidē

- Ierobežota telpa ēkas iekšpusē un ap ēku, lai veiktu darbus (īpaši ēkas iekšpusē)
- Iespējamie arheoloģiskie atradumi
- UXO (nesprāguša munīcija) klātbūtnes risks
- Blakus esošās ēkas, kas atrodas ietekmes zonā, bieži ar ierobežotu dokumentāciju par esošo pamatu stāvokli
- Pazemes komunikācijas
- Dažādas tehnogēnās gruntis

Salīdzinājums starp manuālu un strūklas cementācijas pastiprinājumiem zem esošiem pamatiem

Metode	Priekšrocības	Trūkumi
Roku darbs ar betonu vai betona javu	• Minimāls iekārtu apjoms • Ekonomisks maziem projektiem	• Ierobežojumi, kas saistīti ar dziļumu, gruntsūdeni un slodzēm • Laikietilpīgs process • Blakus esošo īpašumu izmantošana
Strūklas cementācija	• Ļoti daudzpusīga metode • Tiešs savienojums ar pamatu • Iespējams pielāgot iekārtas	• Resursu ietilpība nelolos projektos



Salīdzinājums starp manuālu un strūklas cementācijas pastiprinājumiem zem esošiem pamatiem

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 101

Pastiprināšanas un ierakuma izbūves iespējas, lai ierobežotu deformācijas

Diafragmas sienas/urbtie pāļi

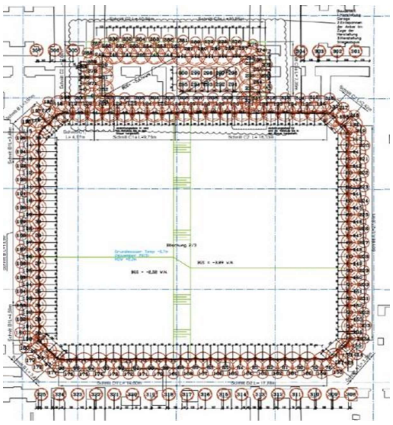
- Ierobežota piekļuve objektam
- Tilpuma izmaiņas, izbūvējot pāļu sienu

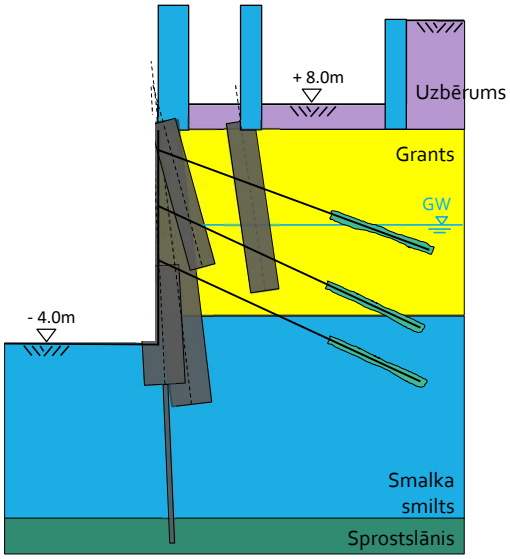
Strūklas cementācija

- Viegla piekļūšana
- Esošo pamatu pastiprināšanas iespēja

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 102

Pārbaudīts esošo pamatu risinājums ar enkurotu strūklas cementācijas risinājumu





EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53

103

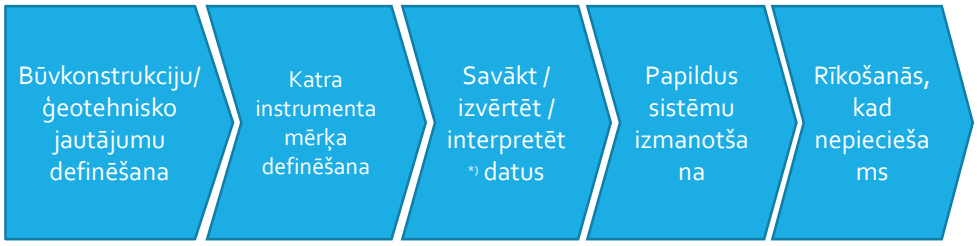
- Sēšanās un deformāciju monitorings

EM iepirkums Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana" ID EM 2022/53

104

Monitoringa sistēmas – vispārīgi apsvērumi

- Monitoringa vērtība ir uzlabota drošība, samazināts risks, laika un budžeta ietaupījums



*) Interpretācija: datu nozīme; iemesls un efekts; ieviešanā

EM iepirkums Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana" ID EM 2022/53 105

Novērošanas metodes

- Terzaghi iepazīstināja kā «mūžu dzīvo, mūžu mācis»
- Pārfrāzējot «interaktīva ģeotehniskā projektēšana»
- Koncepts ieviests arī 7. eirokodeksā
- Tiek pielietots, kad ģeotehnisko situāciju ir grūti prognozēt > projekta risinājumi jāpārskata būvniecības laikā:
  - Nepieciešams definēt robežvērtības
  - Nepieciešams monitoringa plāns
  - Nepieciešams nejaušību/risku plāns

EM iepirkums Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana" ID EM 2022/53 106

Plaši lietotas konstrukciju monitoringa tehnoloģijas

- Automātiskie tahimetri

- Automātisks optiskais monitorings
- Augsta precizitāte
- Bieži nolasījumi
- Sēšanās un deformāciju monitorings
- Nepieciešams uzstādīt prizmas un tahimetra staciju ar tiešu mērīšanas skatu
- Nav nepaciešami kabeļu savienojumi

- Šķidruma līmeņa mērīšanas sistēma

- Sēšanās monitorings
- Ļoti augsta precizitāte
- Nepārtraukta mērīšana laikā
- Nepieciešams uzstādīt hidrostatiskās līmeņošanas šūnas
- Nepieciešams savienojums starp šūnām

EM iepirkums Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana" ID EM 2022/53 107

Plaši lietotas konstrukciju monitoringa tehnoloģijas

- LVDT devēji

- Lineāro pārvietojumu monitorings
- Relatīvo deformāciju monitorings starp konstruktīvajiem elementiem vai plaisām
- Viegla uzstādīšana

- Tiltmetri

- Pagrieziena deformācija
- Pielieto uz virmas vai atsevišķa konstruktīva elementa
- Viegla izbūve

EM iepirkums Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana" ID EM 2022/53 108

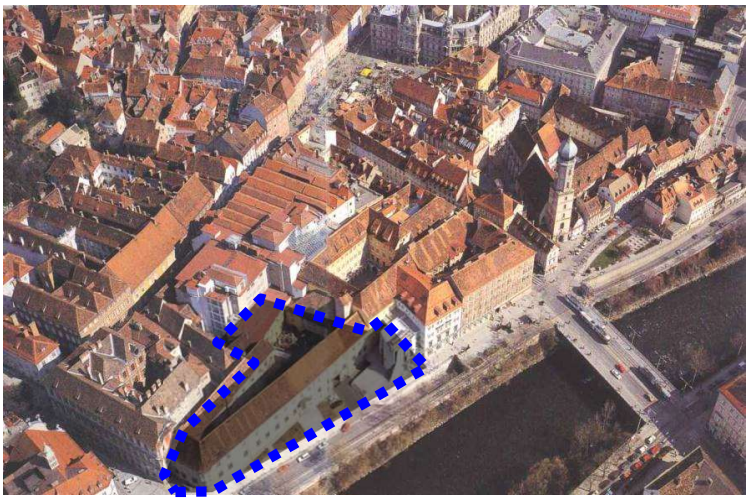
Plaši lietotas konstrukciju monitoringa tehnoloģijas

Metode	Pielietojums
Inklinometri	D-sienu un urbpāļu sienu deformāciju mērīšana
Formas izmaiņas sensori	Pāļu monitorings
Optiskās šķiedras sensori	Deformāciju un relatīvo deformāciju monitorings slodzi uzņemošos elementos
Ekstensiometri	Nevienmērīgās deformācijas mērīšana starp dažādiem punktiem gruntī
Pjezometri	Poru spiediena un poru papildus spiedienu mērīšana gruntī

- Projektu piemēri
- Mācības, kas iegūtas sarežģītos projektos

Pazemes autostāvvieta zem vēsturiskas ēkas

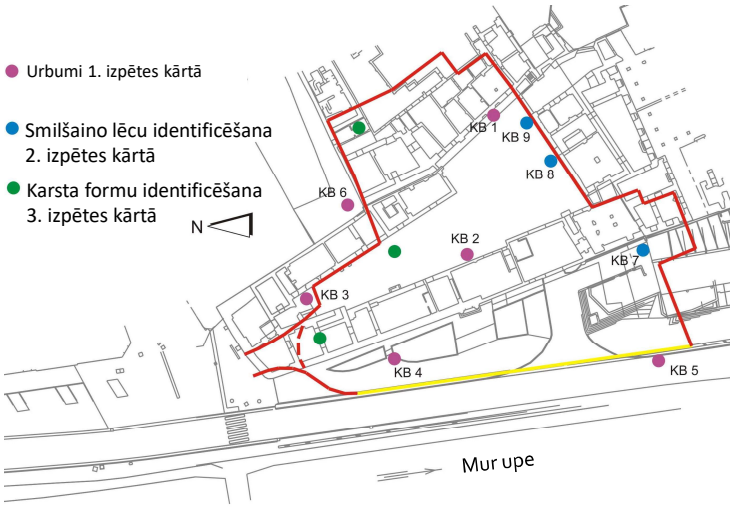
- Autostāvvietas izbūve pilsētas centrā Grācā, Austrijā
- Autostāvvieta papildus 500 automašīnām 5 pazemes stāvos zem «Admonter Hof»
- Ierakums līdz pat 18m, un 11m zem gruntsūdens līmeņa



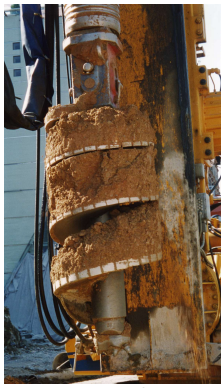
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 111

Pazemes autostāvvieta zem vēsturiskas ēkas
Ģeotehnisko izpētes punktu izvietojums

- Urbumi 1. izpētes kārtā
- Smilšaino lēcu identificēšana 2. izpētes kārtā
- Karsta formu identificēšana 3. izpētes kārtā



Kvartāra perioda grants



Terciāra perioda cietas konsistences putekļaina grunts

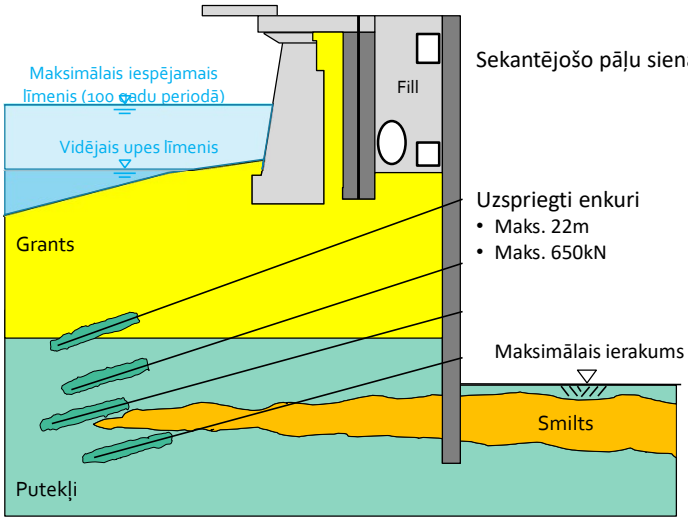
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 112

Pazemes autostāvvieta zem vēsturiskas ēkas
Esošo pamatu pastiprināšanas risinājumi

- Perimetra ēkas tika pastiprinātas ar strūklas cementāciju un injekcijām
- Centrālā ēka 'Admonter Hof' tika nostiprināta un betona sijām, kas balstītas uz urbpāļiem un mikropāļiem

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 113

Pazemes autostāvvieta zem vēsturiskas ēkas
Urbpāļu siena kā būvbedres atbalsts



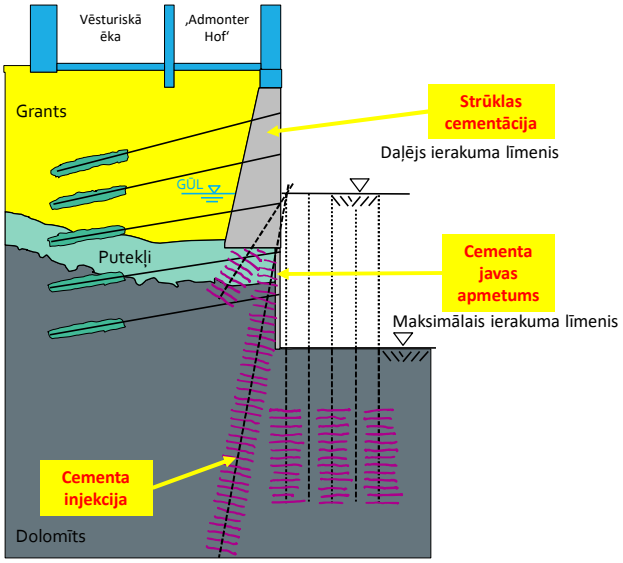
Sekantējošo pāļu siena

Uzspriegti enkuri
- Maks. 22m
- Maks. 650kN

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 114

Pazemes autostāvvieta zem vēsturiskas ēkas
Blakus esošo ēku pamatu pastiprināšana

- Augšējā grants slāņa pastiprināšana ar strūklas cementāciju
- Cementa javas apmetums, kas aizsedz putekļu slāni un pāreju līdz dolomīta slānim
- Enkurošanas sistēma ar saspriegtiem enkuriem vairākās rindās
- Injekcijas lai pastiprinātu putekļās grunts slāni kā arī ierobežotu ūdens ieplūšanu, īpaši caur dolomīta iežu slāņiem



Pazemes autostāvvieta zem vēsturiskas ēkas
Blakus esošo ēku pamatu pastiprināšana

- Strūklas cementācija ierobežotas piekļuves apstākļos
- Strūklas cementācija no ekskavatora bāzes
- Stiegrota cementa javas siena

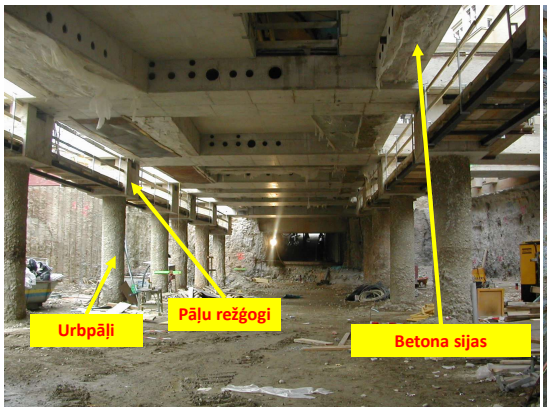
Pazemes autostāvvieta zem vēsturiskas ēkas
Centrālās ēkas pastiprināšana

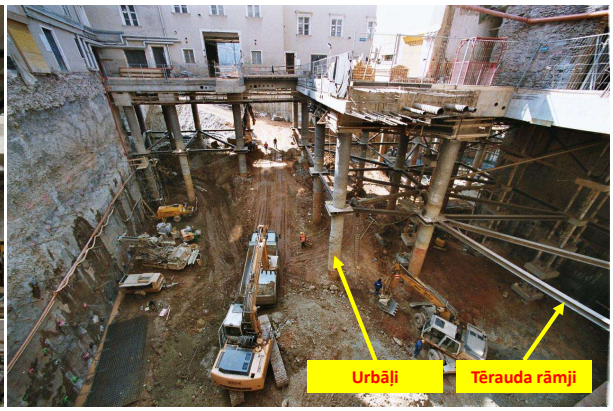
- Pāļu režģogu izbūve
- Betona siju izbūve zem esošajiem lentveida pamatiem

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 117

Pazemes autostāvvieta zem vēsturiskas ēkas
Centrālās ēkas pastiprināšana

- 1. ierakuma fāze virs gruntūdens līmeņa
- 2. ierakuma fāze līdz būvbedres apakšai pēc grunts pastiprināšanas pabeigšanas



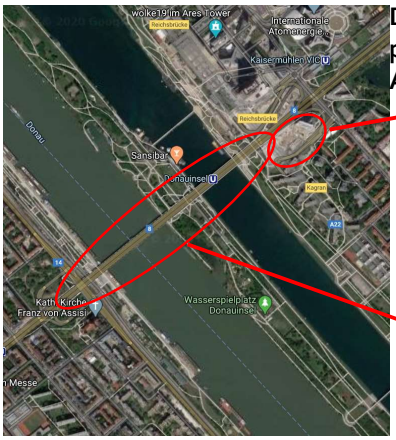


EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 118

Pazemes autostāvvieta zem vēsturiskas ēkas
Centrālās ēkas pastiprināšana

- Ēkas deformācijas tika monitorētas ar šķidruma līmeņa mērīšanas sistēmu
- Kopā tika izmantoti 33 mērīšanas punkti 2 neatkarīgās mērīšanas ķēdēs

Kompensācijas cementēšana, lai pasargātu Donavas tiltu

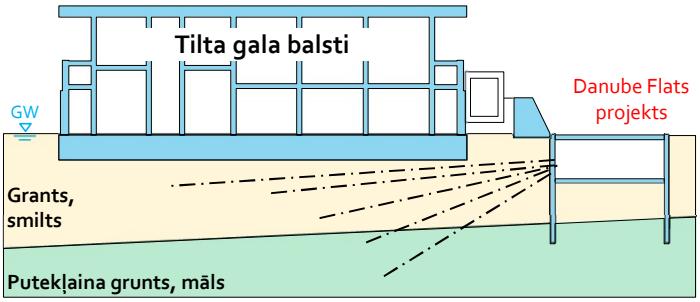


Danube Flats projekts, Vīnē, Austrijā

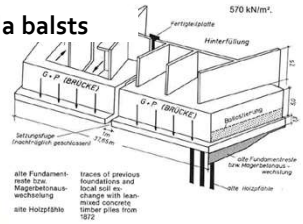
'Reichsbrücke' pāri Donavas upei

Kompensācijas cementēšana, lai pasargātu Donavas tiltu
Griezums

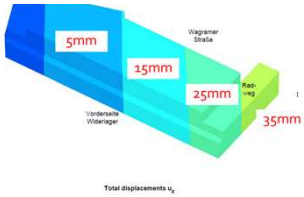
- Tilts paredzēts dažāda veida satiksmei un komunikācijām
- Sēšanās aprēķini norādīja uz būtiskām nevienmērīgu sēšanos augstceltnes būvniecības ietekmē



Gala balsts

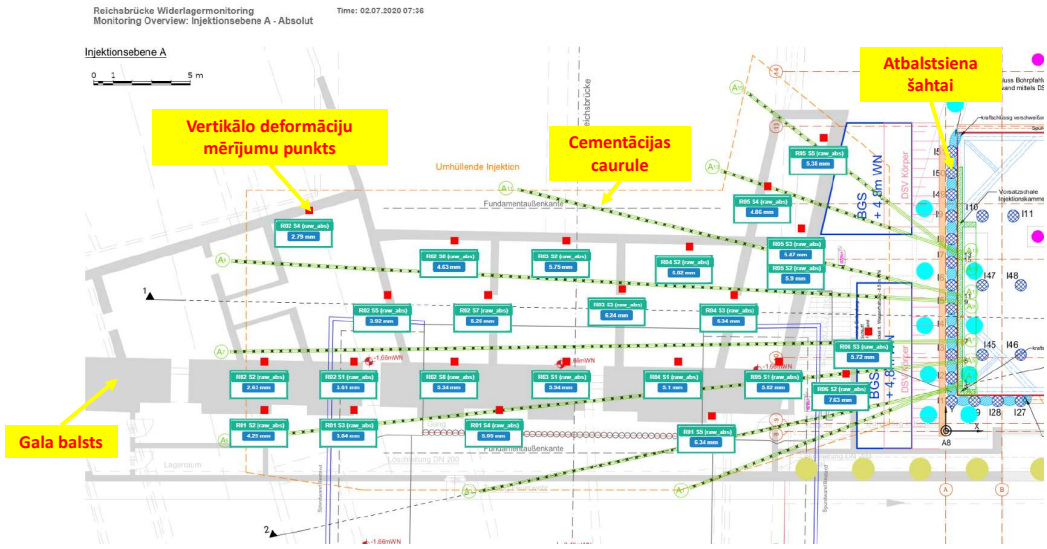


Sēšanās analīze



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 121

Kompensācijas cementēšana, lai pasargātu Donavas tiltu
Cementācijas plāns



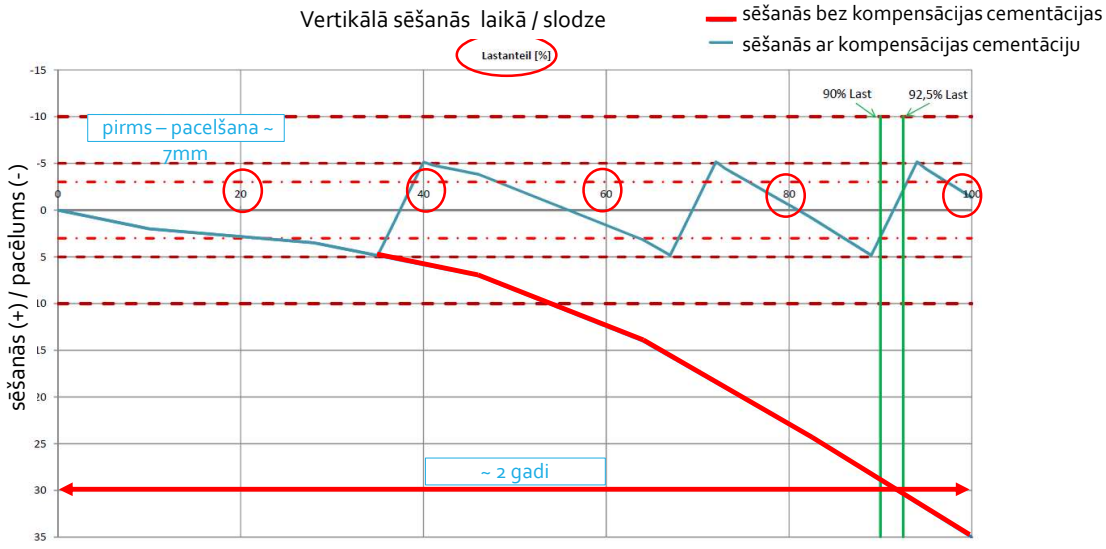
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 122

Kompensācijas cementēšana, lai pasargātu Donavas tiltu
Attēli no izbūves

- Cementācija no būvbedres, kas nostiprināta ar urbpāļiem un rievpāļiem
- Cementācijas sistēma

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 123

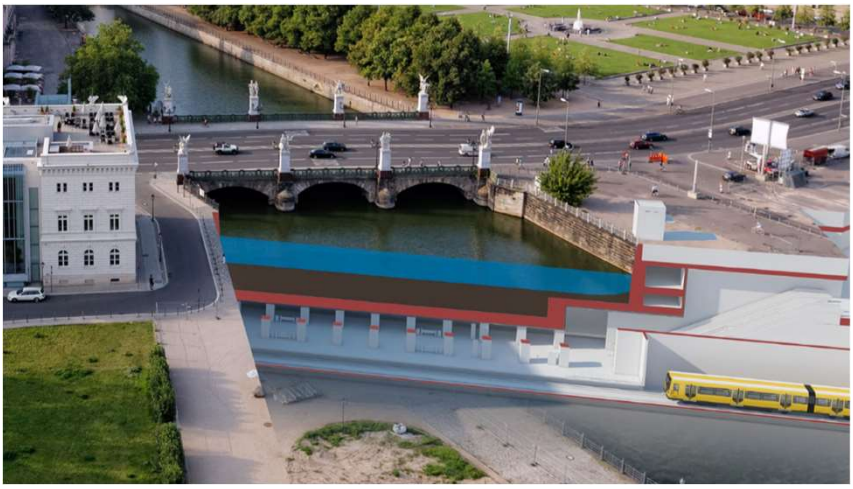
Kompensācijas cementēšana, lai pasargātu Donavas tiltu
Sēšanās/ pacēluma tendences



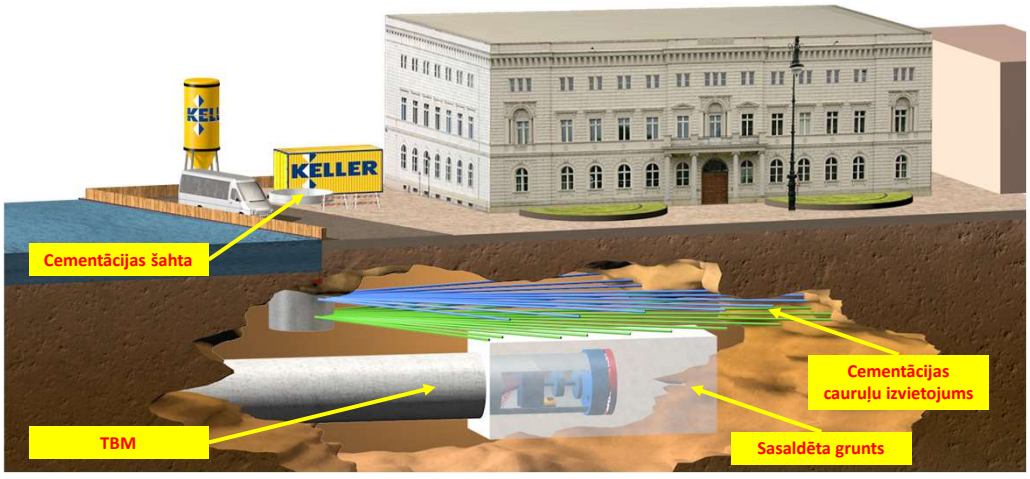
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 124

Kompensācijas cementācija sēšanās kompensēšanai Berlīnē

- Tika izbūvēti divi jauni tuneļi 5.7m diametrā kā daļa no pazemes U5 metro līnijas Berlīnē
- Jauna stacija 'Museumsinsel' tika uzbūvēta blakus/zem vēsturiskās ēkas 'Bertelsmann'

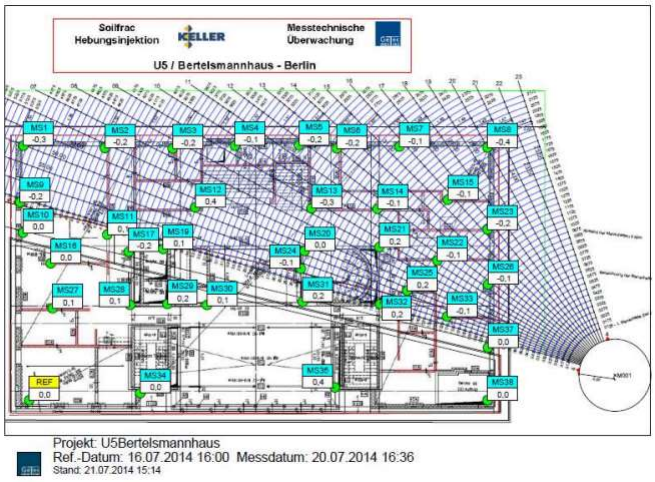


Kompensācijas cementācija U5 Berlīnē
Vispārīga shēma



Kompensācijas cementācija U5 Berlīnē
Detaļas

- Deformāciju aplēses norādīja, ka nepieciešams izmantot speciālas metodes, lai ierobežotu esošās ēkas bojājumus
- Tika izbūvēta 10m dziļa šahta
- Cementācijas caurules tika izbūvētas divās rindās (maksimāli 55m garas)
- Tika izmantotas 35 šķidruma līmeņa mērīšanas monitoringa sistēmas



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 127

Kompensācijas cementācija U5 Berlīnē
Attēli no izbūves

- Dati no monitoringa sistēmas un cementācijas darbi tika vizualizēti vienā programmā
- Robežvērtības tika noteiktas, lai noteiktu kurās robežās var darboties ar cementēšanas darbiem

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 128

Ekonomikas ministrija

CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Apgūtās mācības un secinājumi

- Ļoti sarežģīti projekti var tikt realizēti, lai radītu papildus apjomu blīvas apbūves apstākļos
- Nepieciešams pietiekams dokumentācijas apjoms par esošajām būvēm ietekmes zonā (konstrukcijas, ģeometrija, slodzes, pamatu risinājumi), lai definētu atbilstošu pastiprināšanas/aizsardzības risinājumus
- Projekti būs sekmīgi tikai tad, kad būvkonstrukciju un ģeotehniskie inženieri strādās kopā un līguma nosacījumi atbildīs uzdevuma komplicētības pakāpei
- Nepieciešama atbilstoša monitoringa programma un eksperta interpretācija
- Lai izvēlētos labākos ģeotehniskos risinājumus, nepieciešams iesaistīt ģeotehniskos darbu veicējus pēc iespējams agrākā projekta fāzē

Ekonomikas ministrija

CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Paldies par uzmanību!

Jautājumi & Atbildes

Ekonomikas ministrija

CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Training seminar / Apmācību seminārs

The Use of Ground Improvement for Heavily Loaded Objects (Session 3)

Grunšu pastiprināšanas risinājumu izmantošana projektos ar lielām slodzēm uz pamatu konstrukcijām(Sadaļa Nr.3)

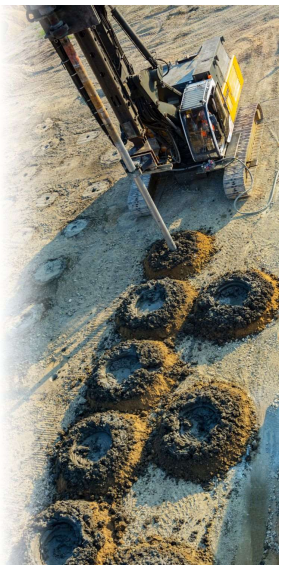
Prof. Michał Topolnicki, PhD (Poland)

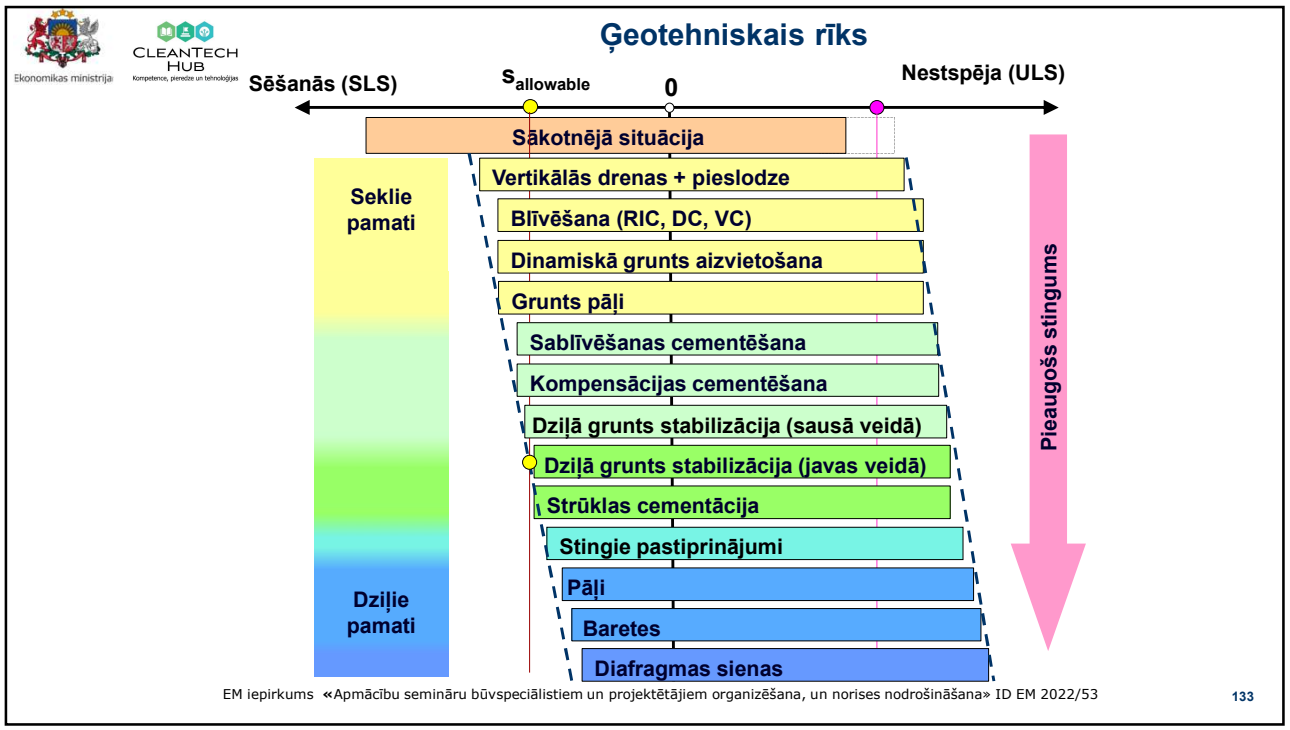
Ekonomikas ministrija

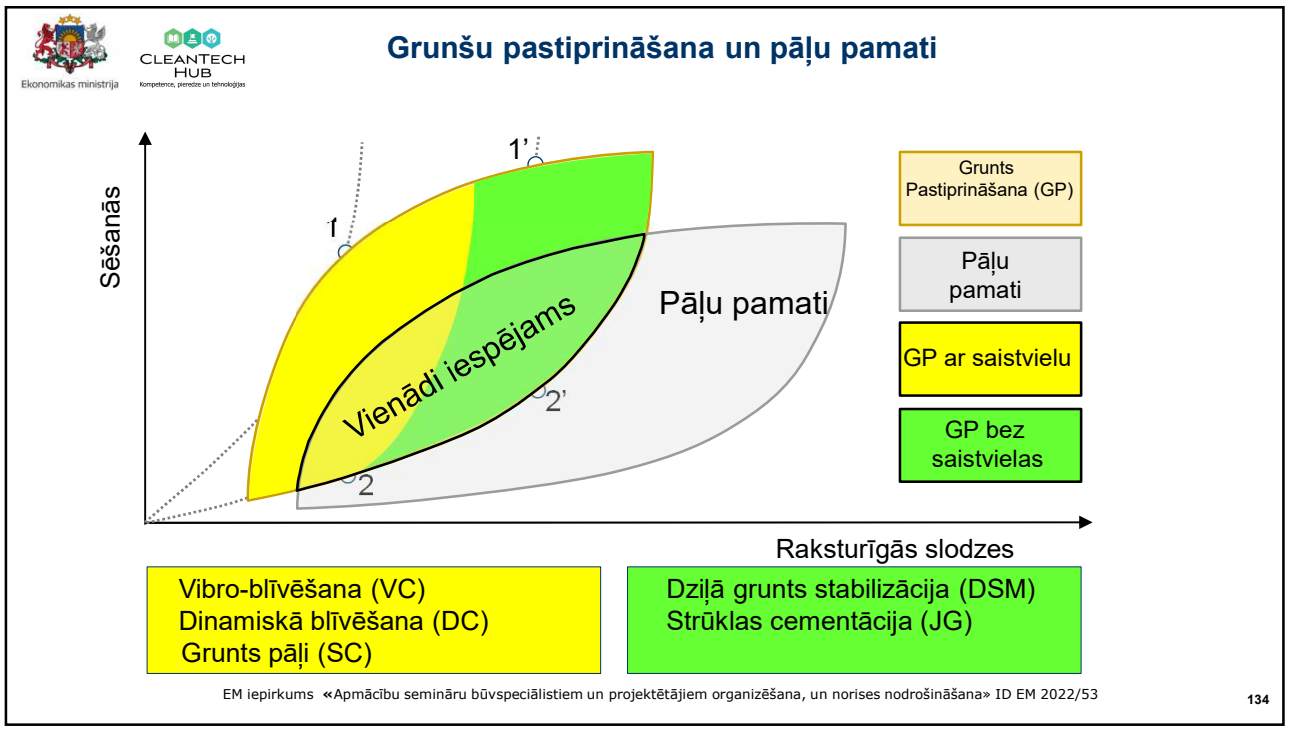
CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Prezentācijas saturs

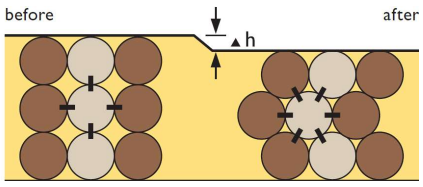
- Ievads
- Grunšu pastiprināšanas metožu izvēle
- Projekti, kuros grunšu pastiprināšana izmantota, kā alternatīva pāļu pamatiem
- Grunšu pastiprināšanas metožu priekšrocības
- Secinājumi
- Jautājumi un atbildes




Ģeotehniskais rīks
Sēšanās (SLS)
$s_{allowable}$
0
Nestspēja (ULS)
Sākotnējā situācija
Seklie pamati
Vertikālās drenas + pieslodze
Blīvēšana (RIC, DC, VC)
Dinamiskā grunts aizvietošana
Grunts pāļi
Sablīvēšanas cementēšana
Kompensācijas cementēšana
Dziļā grunts stabilizācija (sausā veidā)
Dziļā grunts stabilizācija (javas veidā)
Strūklas cementācija
Stingie pastiprinājumi
Pāļi
Baretes
Diafragmas sienas
Dziļie pamati
Pieaugošs stingums
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53
133

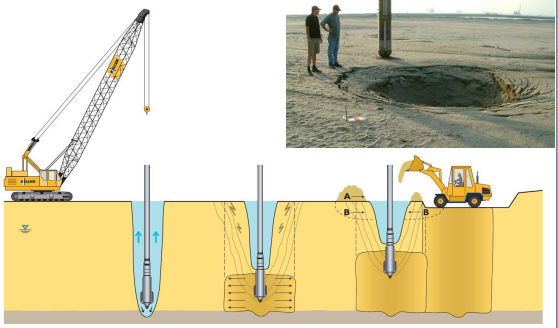

Grunšu pastiprināšana un pāļu pamati
Sēšanās
1'
1
Vienādi iespējams
Pāļu pamati
2'
2
Grunts Pastiprināšana (GP)
Pāļu pamati
GP ar saistvielu
GP bez saistvielas
Raksturīgās slodzes
Vibro-blīvēšana (VC)
Dinamiskā blīvēšana (DC)
Grunts pāļi (SC)
Dziļā grunts stabilizācija (DSM)
Strūklas cementācija (JG)
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53
134

Blīvēšanas metodes

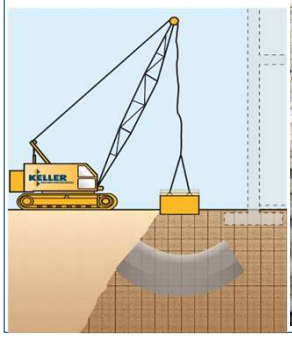


- **Blīvēšana** ir efektīva metode, kas ierobežo grunts **L sašķidrināšanās potenciālu**

Vibro – blīvēšana (VC)



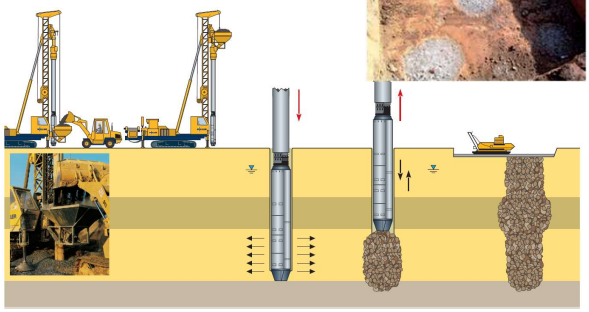
Dinamiskā blīvēšana (DC)



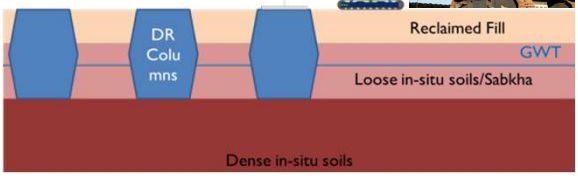
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 135

Grunts aizvietošanas metodes

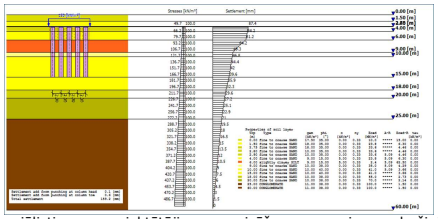
Grunts pāļi (SC)



Dinamiskā aizvietošana (DR)

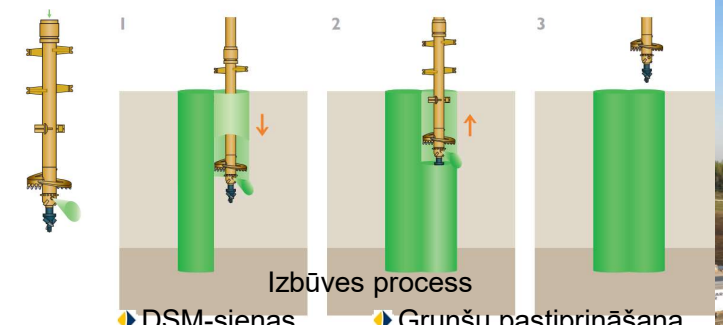


- **Grunts pāļi** būtiski samazina grunts **sašķidrināšanās potenciālu**



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 136

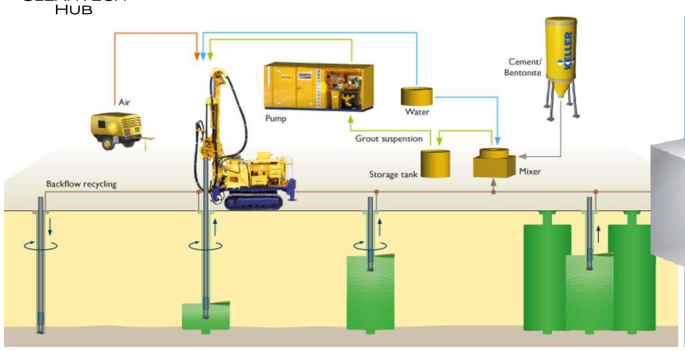
Dziļā grunts stabilizācija (DSM) javas veidā



- DSM-sienas
- Grunšu pastiprināšana

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 137

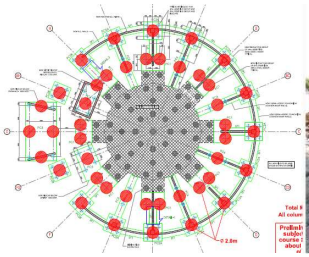
Strūklas cementācija (JG)



- Strūklas cementācija esošo ēku pamatu pastiprināšanai

- Strūklas cementācija zem pamatiem

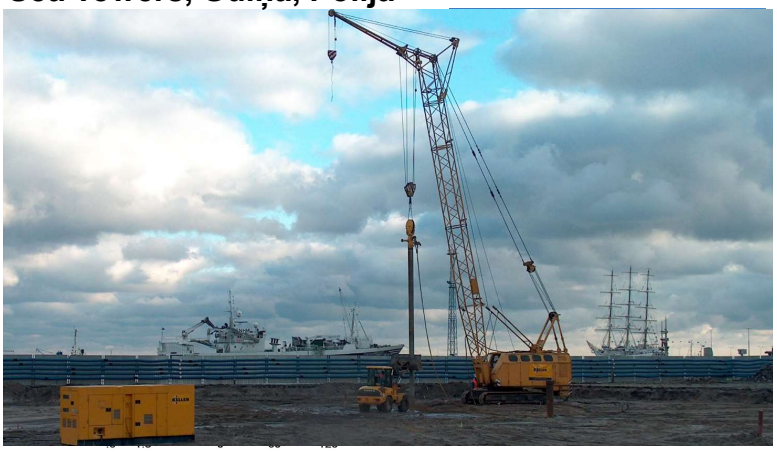
King Fahd Causeway Tower →

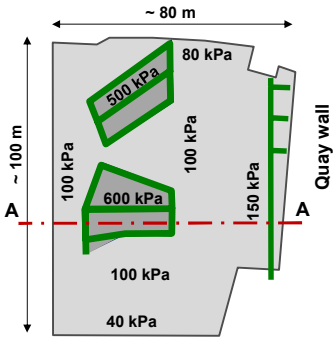


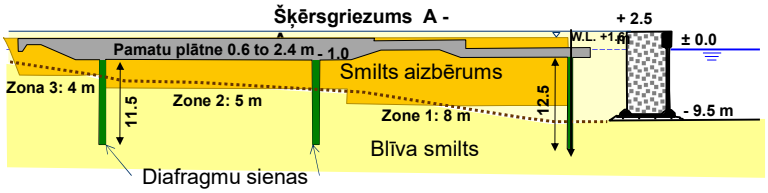
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 138

Sea Towers, Gdiņa, Polija

- Atgūstamā teritorija
- Pāļi?
- + grunšu pastiprināšana **VC/VR** izmantojot S-vibratorus



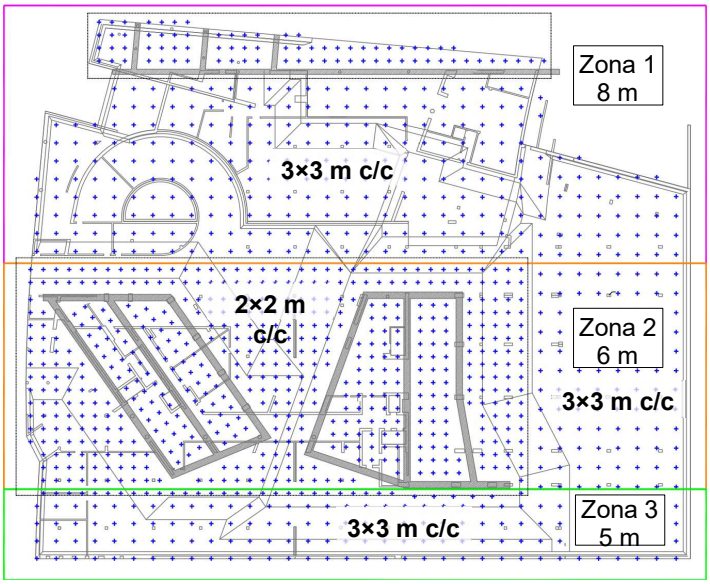


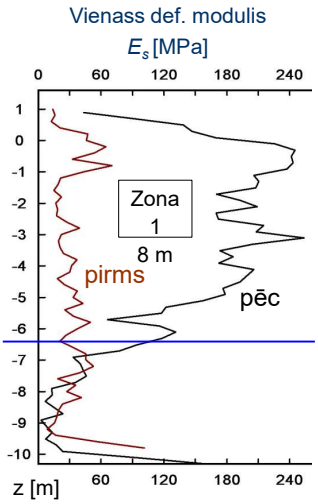


EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 139

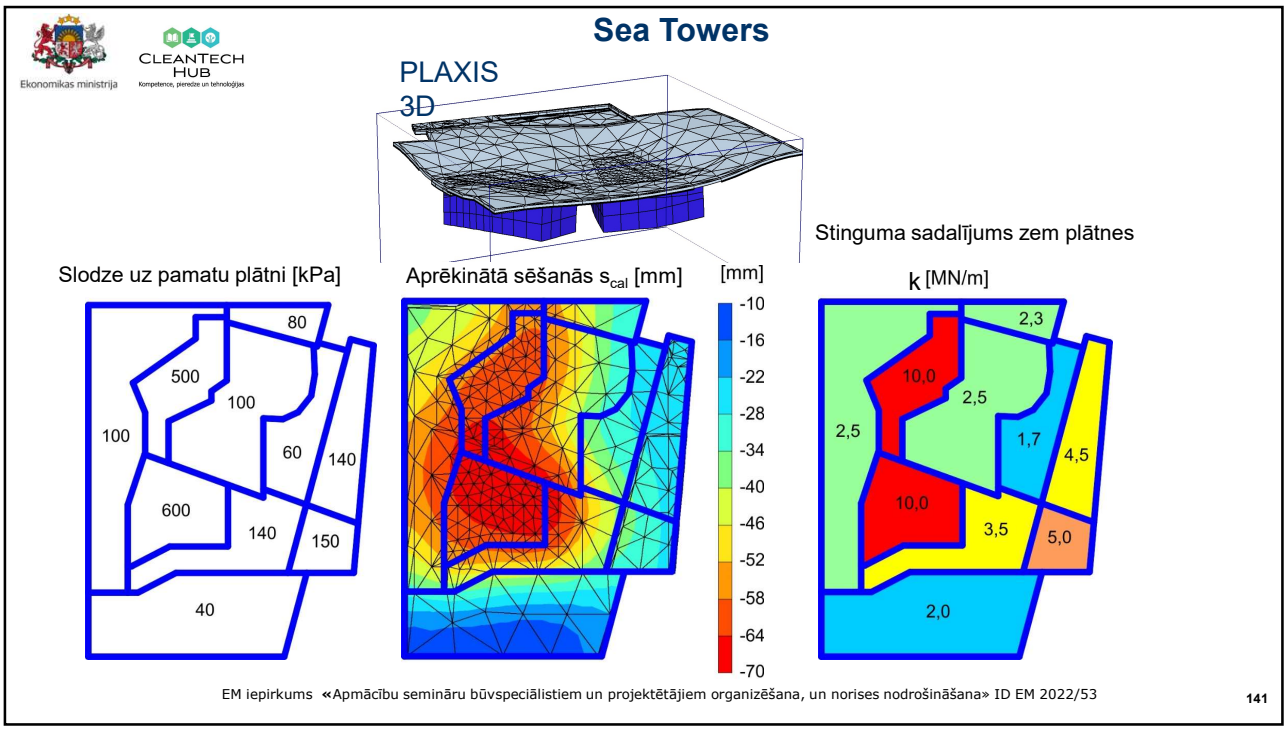
Sea Towers

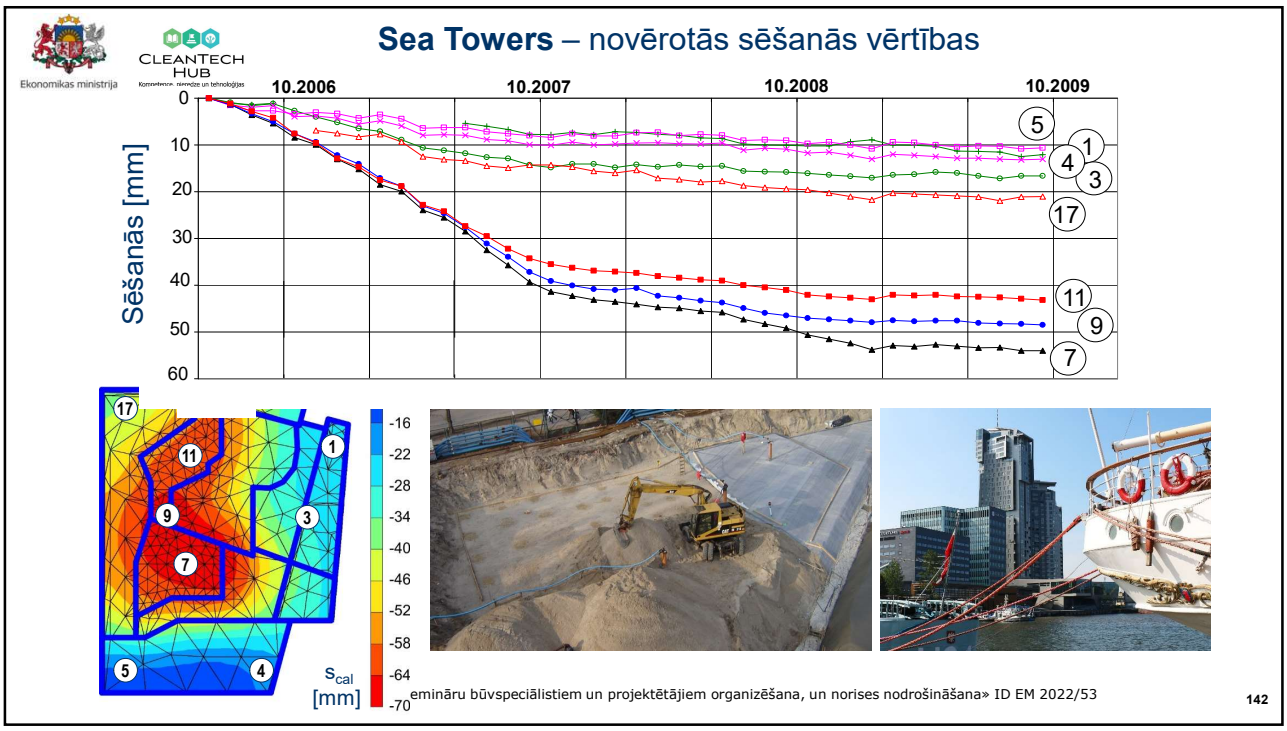
Piestātne





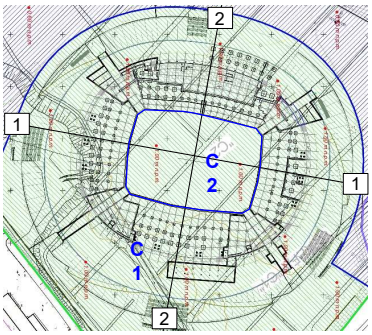
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 140

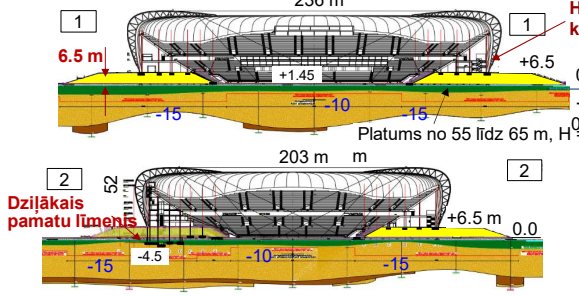

Sea Towers
PLAXIS 3D
Slodze uz pamatu plātni [kPa]
Aprēķinātā sēšanās s_{cal} [mm]
[mm]
-10
-16
-22
-28
-34
-40
-46
-52
-58
-64
-70
Stinguma sadalījums zem plātnes
k [MN/m]
80
500
100
100
60
140
600
140
150
40
2,3
10,0
2,5
2,5
1,7
4,5
10,0
3,5
5,0
2,0
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53
141


Sea Towers – novērotās sēšanās vērtības
10.2006
10.2007
10.2008
10.2009
Sēšanās [mm]
0
10
20
30
40
50
60
5
1
4
3
17
11
9
7
s_{cal} [mm]
-16
-22
-28
-34
-40
-46
-52
-58
-64
-70
semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53
142

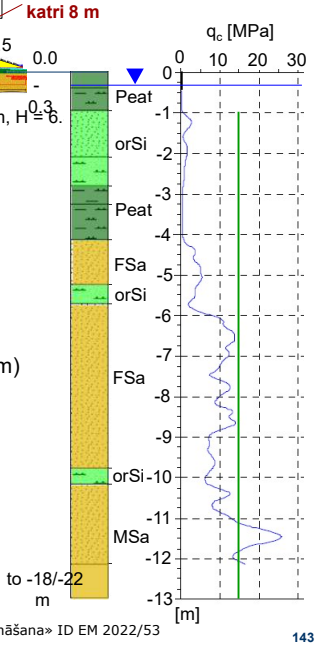
Gdaņskas stadions, Polija (VC + DC)

Kopējā platība 27.6 ha





V = 1800 kN
H = 700 kN
katri 8 m



Divi neatkarīgi iepirkumi/līgumi:

Prasības C1 + C2 (8.75 ha):

1: Grunts apmaiņa (324,000 m³, vid. 3.7 m, maks. 5.5 m)

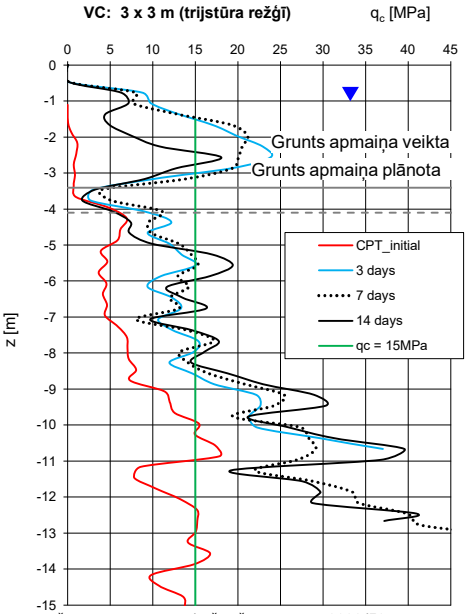
2: Dziļā grunts blīvēšana
C1 (pamati): $q_c \geq 15$ MPa līdz 15 m dziļumam,
C2 (laukums): $q_c \geq 15$ MPa līdz 10 m dziļumam

3: Virsmas blīvēšana: gala darba atzīme +0.7 m
C1: $E_{v2} = 100$ MPa, C2: $E_{v2} = 80$ MPa, Io ≤ 2.5

"Sagaidāms":
300 kPa nestspēja; s=30 mm; Δs=10 mm

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 143

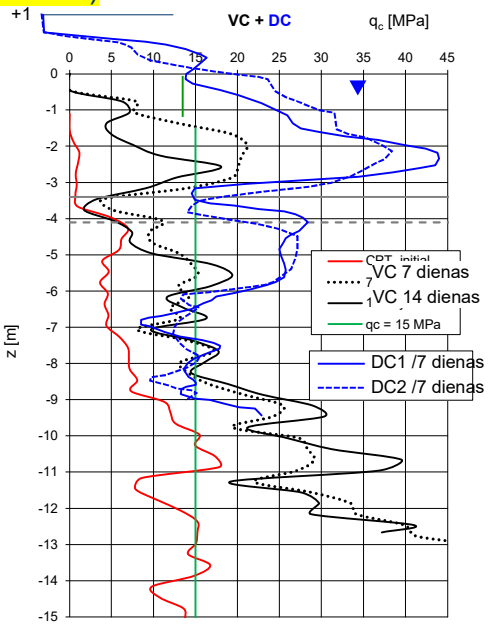
Gdaņskas stadions, Polija (VC + DC)



VC, no darba atzīmes +0.7 m, **1.27 miljoni m³**
C1 – līdz 15 m,
C2 – līdz 10 m

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 144

Gdaņskas stadions, Polija (VC + DC)



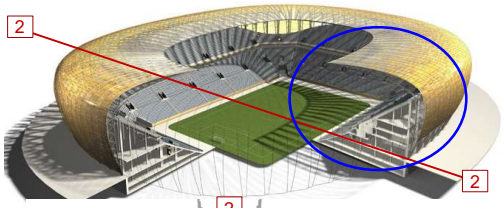
DC, no darba atzīmes +1.7 m
16 tonnas, H = 10 līdz 19 m
550 kJ/m³

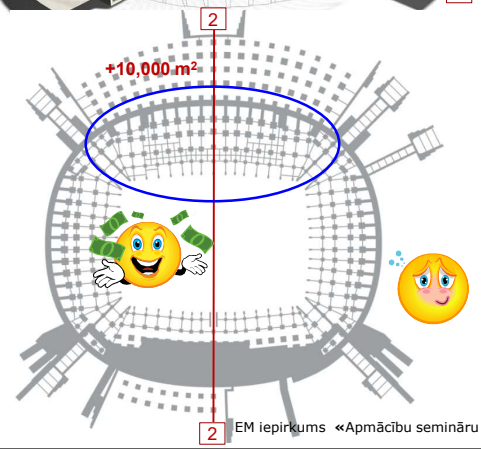
Laukums C1+C2
8.75 ha

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53

145

Gdaņskas stadions, Polija (VC + DC)

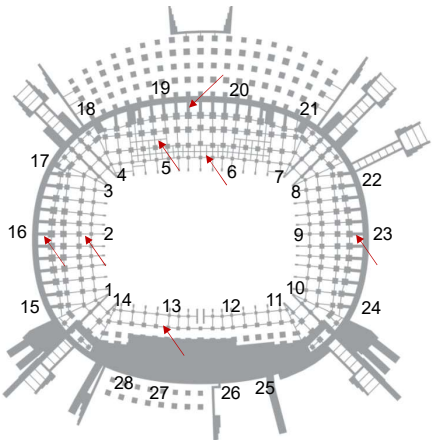




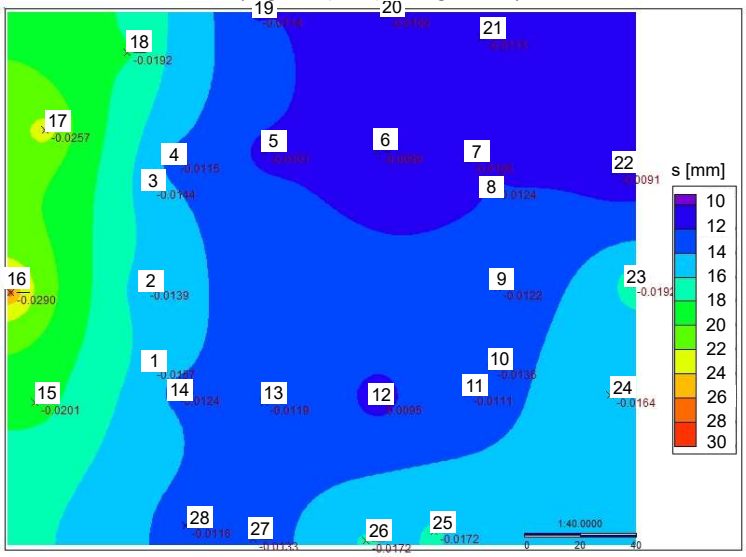
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53

146

Gdaņskas stadions, Polija (VC + DC)



Novērotās sēšanās (1 gadu pēc pabeigšanas)



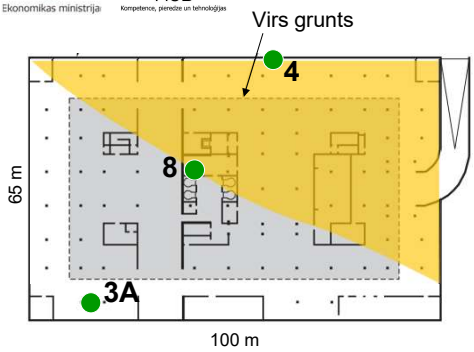
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 147

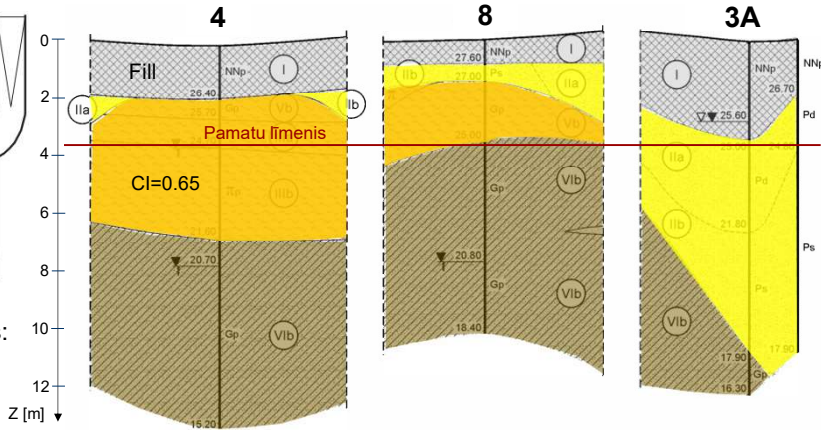
Polish Airlines LOT centrālā biroja ēka, Varšavā, Polijā (SC)

- 8-stāvu ēka ar jūtīgu stikla fasādi
- Pamatu plātne 100×65×1.2 m
- Vidējais spiediens uz grunti **125 kPa**
- Maks. atļaujamā nevienmērīgā sēšanās - 1:500
- Maks. atļaujamā kopējā sēšanās - **25 mm**

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 148

Polish Airlines LOT centrālā biroja ēka, Varšavā, Polijā (SC)





Sēšanās bez grunšu pastiprināšanas:
29 to 56 mm

Pasūtītāja risinājums:

720 gab. CFA pāļi,
Ø500 mm, L=11 m,
Kopējais garums 7,920 m

Plastisks māls | Plastisks māls | Smilts
Ciets māls

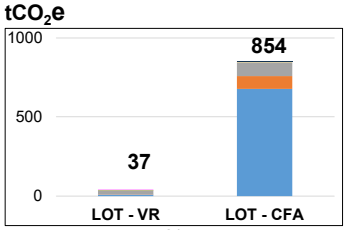
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 149

Polish Airlines LOT centrālā biroja ēka, Varšavā, Polijā (SC)

Ieviestais risinājums:

- 439 gab. grunts pāļi
  Ø 0.6-0.8 m,
  3,590 lin. metri

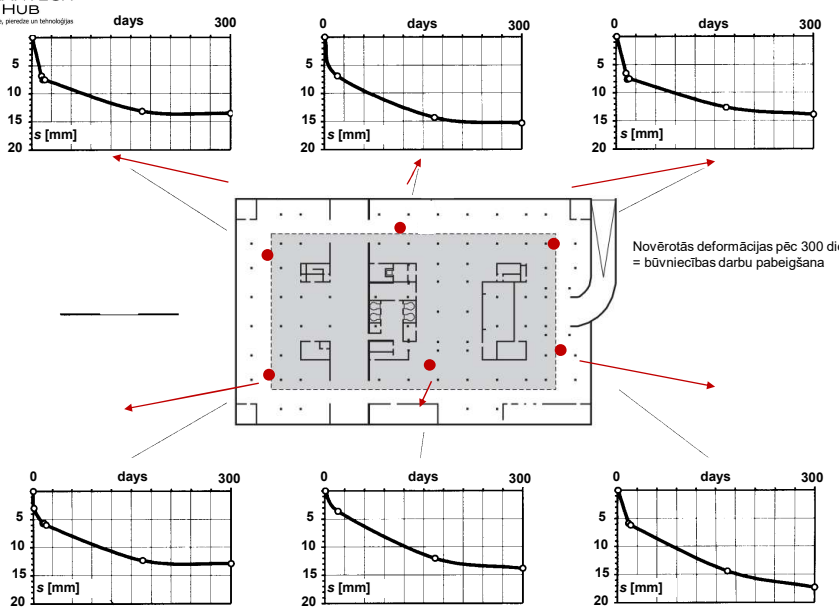
7×lētāk kā sākotnējais risinājums



EFFC/DFI
Ogļskābās gāzes izmešu aprēķins

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 150

Polish Airlines LOT centrālā biroja ēka, Varšavā, Polijā (SC)

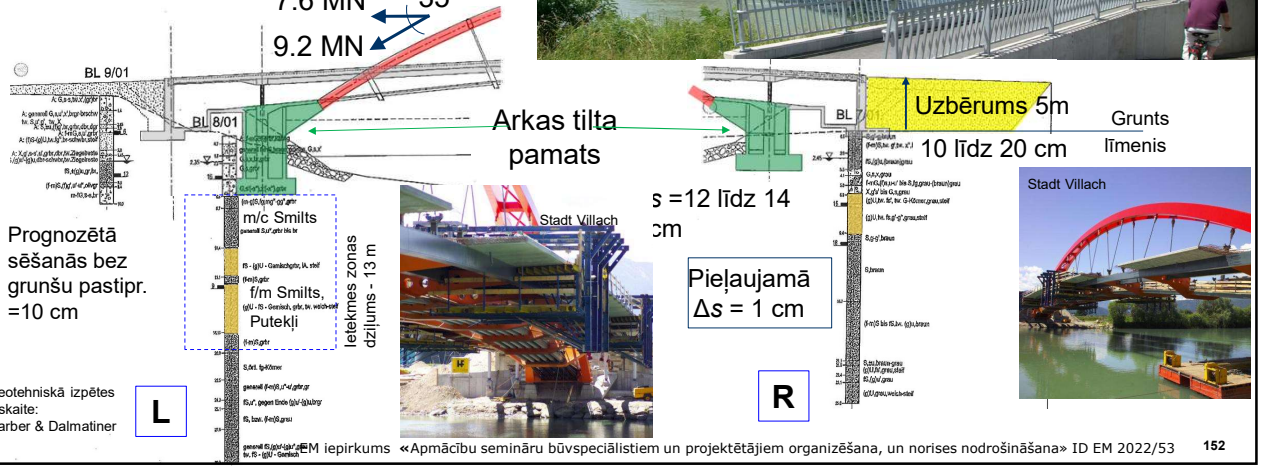


EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53

151

Arkas tilts, Fillaha, Austrija (SC)

Divi projekta risinājumi:
V1 – bez uzspriegta konstruktīva elementa
V2 - ar uzspriegtu konstruktīvu elementu



Geotehniskā izpētes atskaite: Garber & Dalmatiner

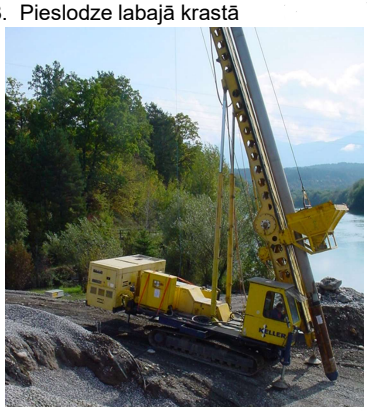
L

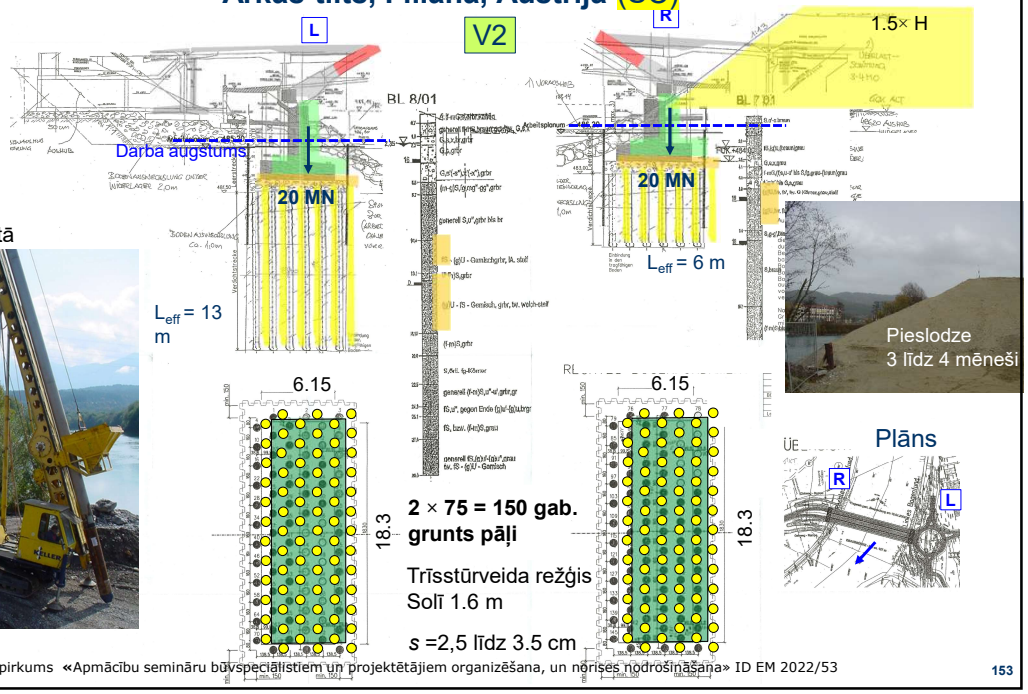
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53

152

Arkas tilts, Fillaha, Austrija (SC)

1. Grunts pāļi
2. Ierakums 1 m zem pamatu līmeņa
   + šķembas
   + blīvēšana
3. Pieslodze labajā krastā





2 × 75 = 150 gab. grunts pāļi

Trīsstūrveida režģis
Solī 1.6 m

s =2,5 līdz 3.5 cm

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 153

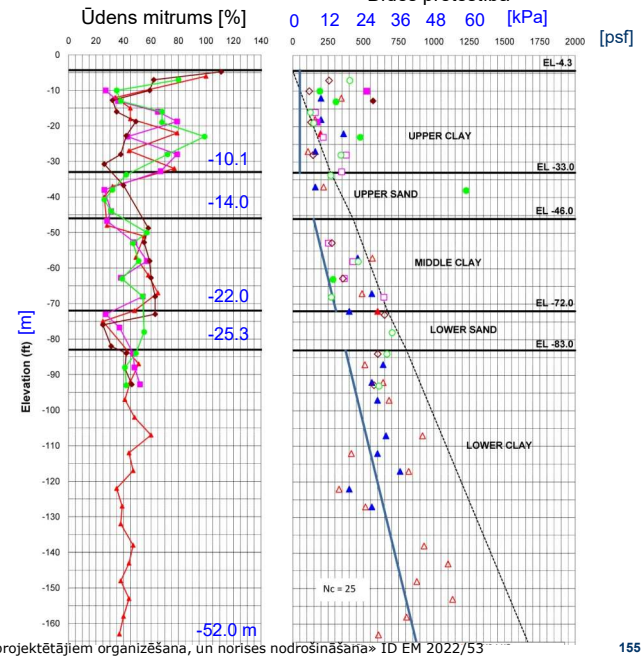
Dziļas grunts maisīšanas pielietojumi (SM)

Keller ir pieredze vairāk kā 2,000 DSM (javas veidā) projektos!

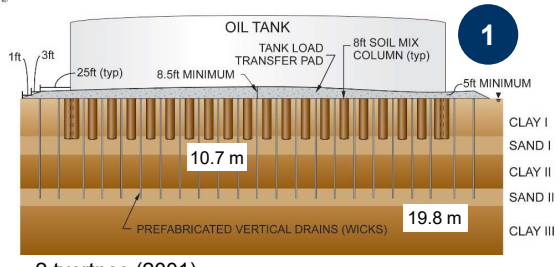
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 154

Lielas tvertnes, Luiziāna, ASV (SM)

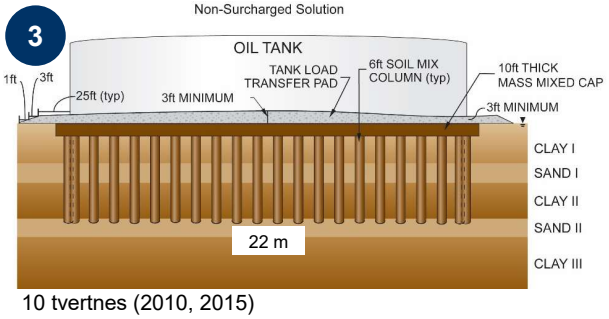
22 naftas tvertnes (LOOP LLC)
D = **90 m**
H = **15 m**
V = **95,000 m³**



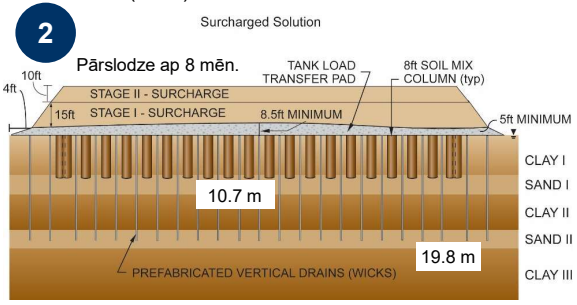
Lielas tvertnes, Luiziāna, ASV (SM)



2 tvertnes (2001)

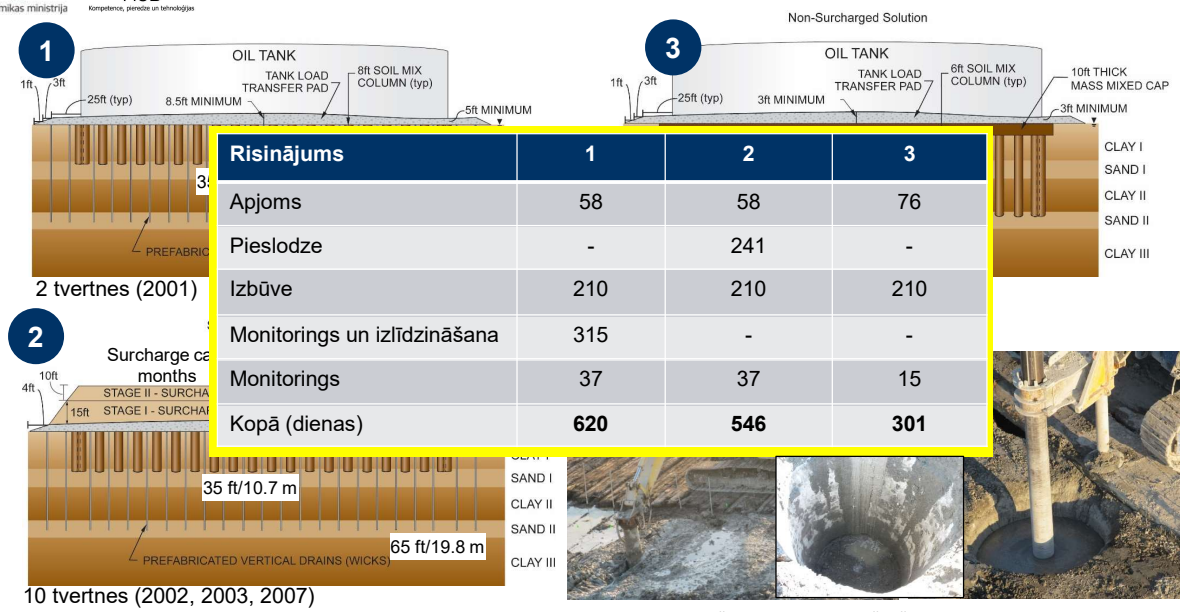


10 tvertnes (2010, 2015)



10 tvertnes (2002, 2003, 2007)

Lielas tvertnes, Luiziāna, ASV (SM)

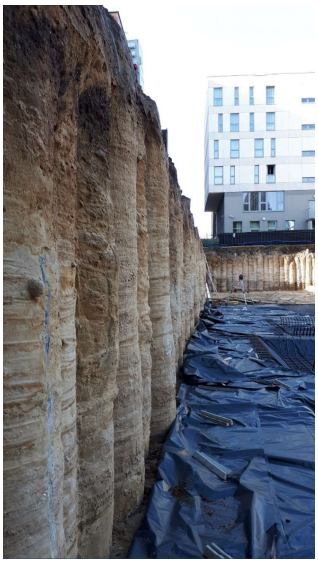


Risinājums	1	2	3
Apjoms	58	58	76
Pieslodze	-	241	-
Izbūve	210	210	210
Monitorings un izlīdzināšana	315	-	-
Monitorings	37	37	15
Kopā (dienas)	**620**	**546**	**301**

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un nc ises nodrošināšana» ID EM 2022/53

157

Būvbedres (DSM)



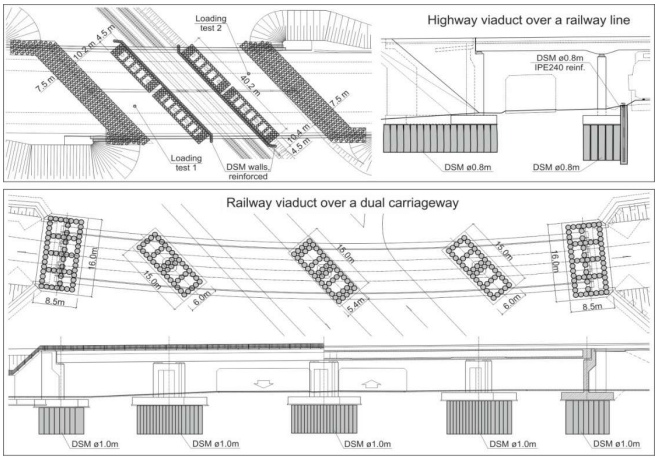
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53

158

Tiltu balsti uz DSM pastiprinājumiem

Tipiskie projektēšanas kritēriji:
s_{max} = 20-30 mm un Δs = 10 mm

Kopš 2002. gada Polijā vairāk kā **400** ceļa un dzelzceļa balsti izbūvētu uz DSM pastiprinājumiem

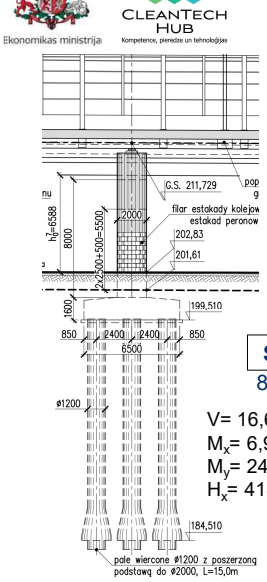


EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 159

Dzelzceļa tilts, Krakova, Polija (DSM)

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 160

Dzelzceļa tilts, Krakova, Polija (DSM)



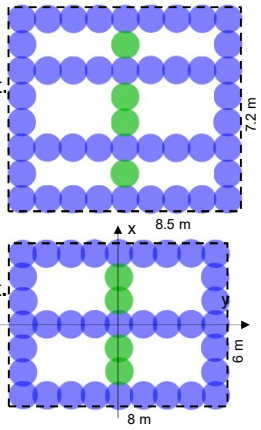
2,134 gab. **DSM** pastipr., ∅ 1.0 m

S3b 11pāļi — **44+4** past.

L=6 līdz 8 m

L = 3 m

S3a,c 8 pāļi — **35+4** past.



V= 16,623 kN (346 kPa),
M_x= 6,972 kNm,
M_y= 24,029 kNm
H_x= 4186 kN, H_y= 214 kN

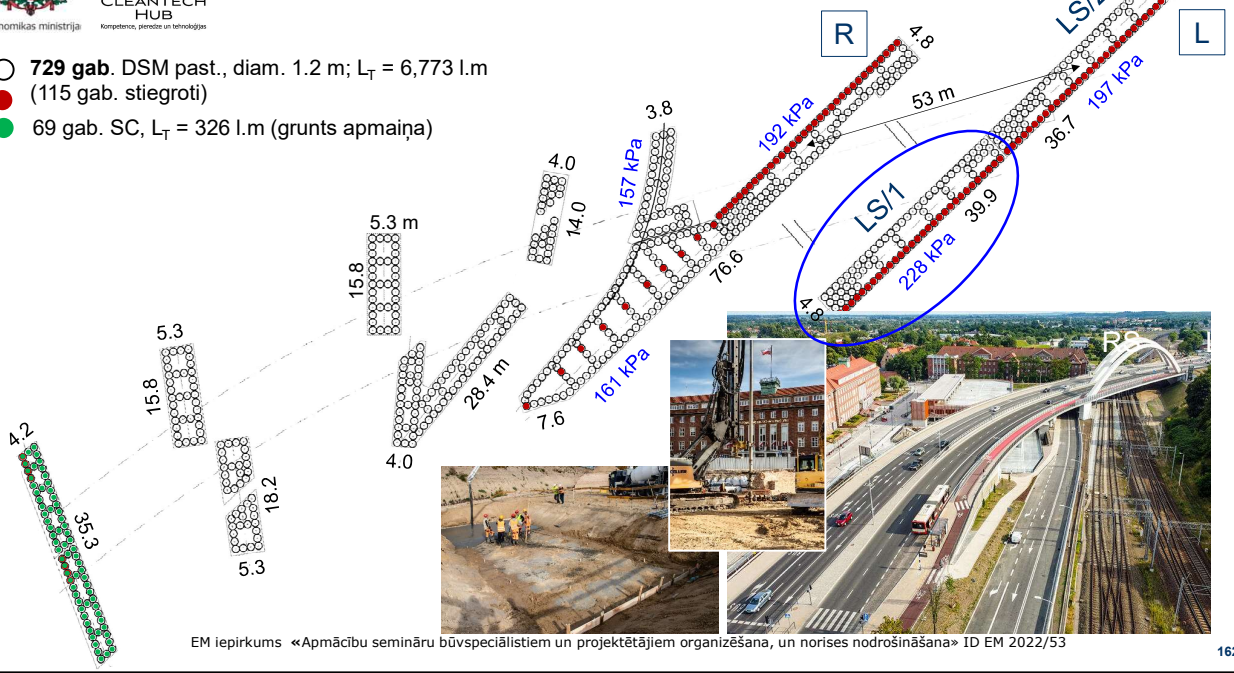
maks. N_{col} = 947 kN,
σ_{cd} = 1.77 MPa
f_{ck} = 3.1 MPa

Iepirkuma projekts:
Urbtie pāļi ∅1.2 m, pāļa gals 2.0 m
Garums 15 m

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 161

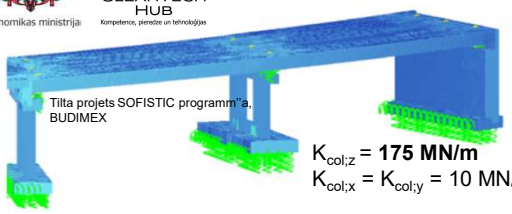
Viadukts Gdaņskā, Polijā (DSM)

○ **729 gab**. DSM past., diam. 1.2 m; L_T = 6,773 l.m
● (115 gab. stiegroti)
● 69 gab. SC, L_T = 326 l.m (grunts apmaiņa)



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 162

Viadukts Gdaņskā, Polijā (DSM)



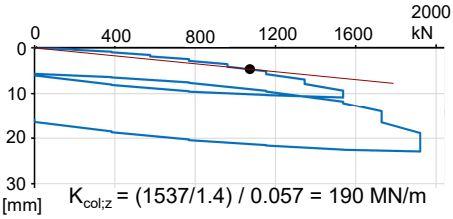
$K_{col;z}$ = **175 MN/m**
$K_{col;x}$ = $K_{col;y}$ = 10 MN/m

LS/1

924 939 969 1012 1205 1289 kN

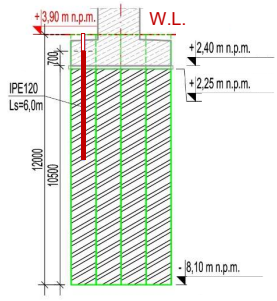
92 161 391 446 kN

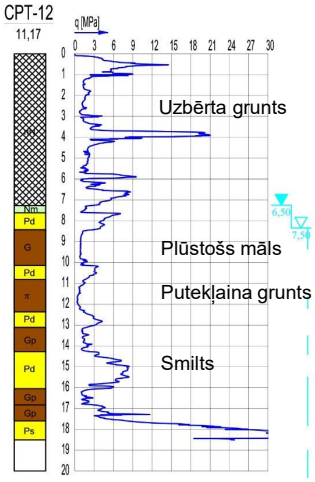
Maks. N_d = 1537 kN ; min. N_d = - 238 kN



$K_{col;z}$ = (1537/1.4) / 0.057 = 190 MN/m

LS/1





DSM projekts:

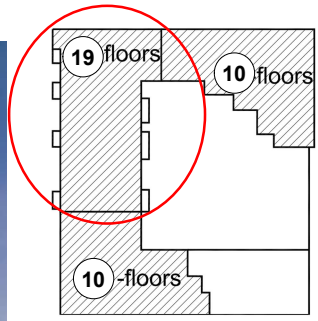
maks. σ_{cd} = 1537 kN / 1.13 m^2 = 1.36 MPa

f_{ck} = 1.36·1.5 / 0.85 = **2.4 MPa**

f_{bd} = **0.26 MPa**

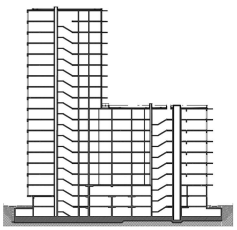
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 163

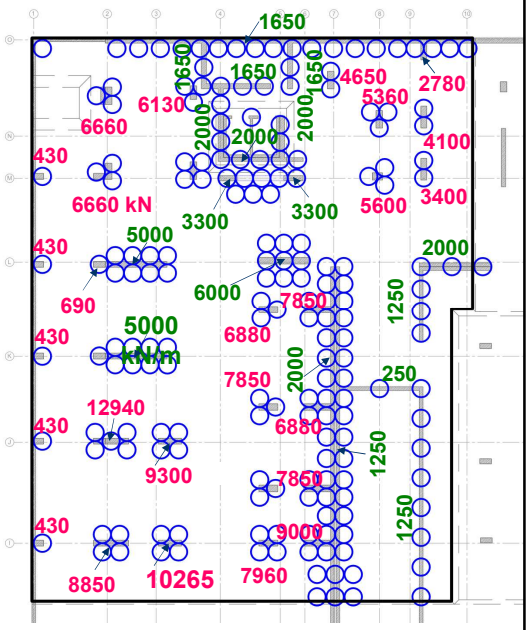
19-stāvu ēka Varšavā, Polijā (DSM)



193 DM past., Ø1.2 m,

L= 5.5 - 8.5 m, f_{ck}= 5 MPa



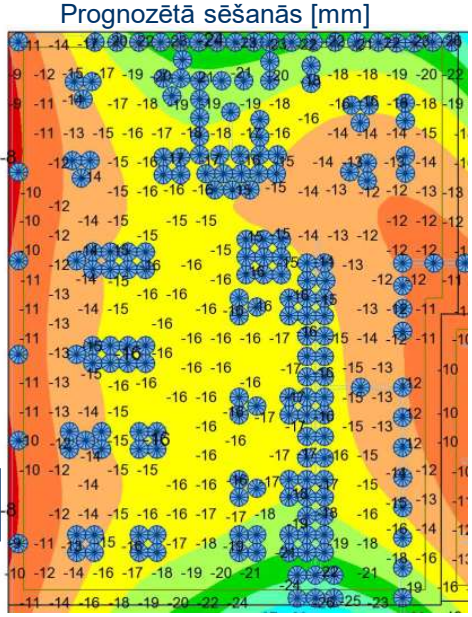


EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 164

19-stāvu ēka Varšavā, Polijā (DSM)

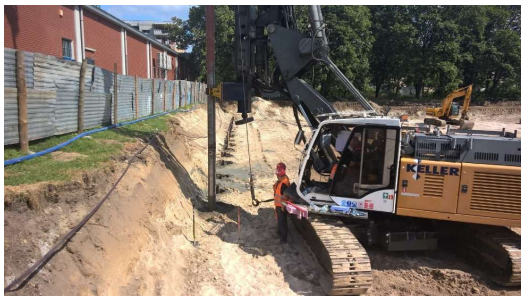
Prognozētā sēšanās [mm]

k_{column} = 75 MN/m,
k_{ground} = 8.5 MPa/m



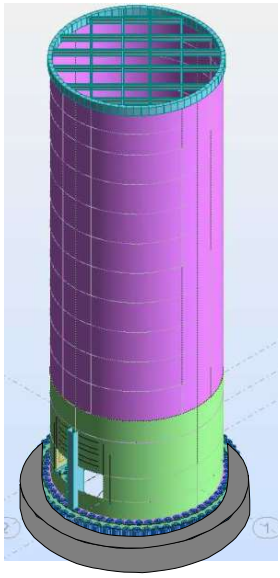
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 165

19-stāvu ēka Varšavā, Polijā (DSM)



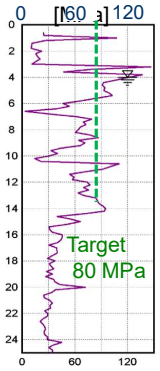
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 166

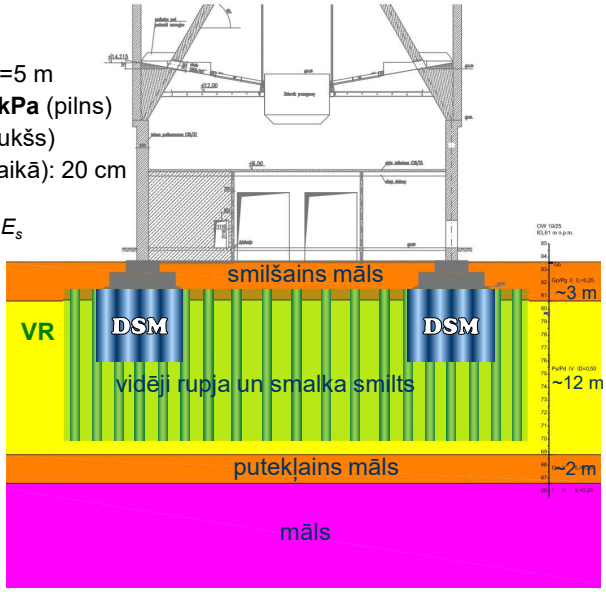
Pelnu konteineris, Varšavā, Polijā (SC + DSM)



Augstums: H = 70 m
Tilpums: V = 20,000 m^3
Gredzena pamats: D=23.6 m, B=5 m
Vidējā raksturīgā slodze: **1,125 kPa** (pilns)
324 kPa (tukšs)
Pieļaujamā sēšanās (darbības laikā): 20 cm

Vienass def. modulis E_s

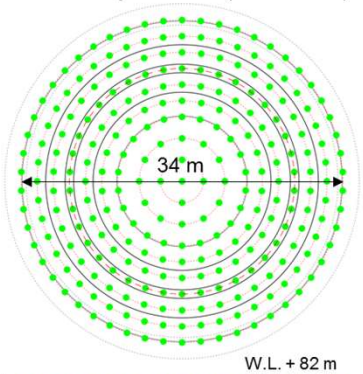




EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 167

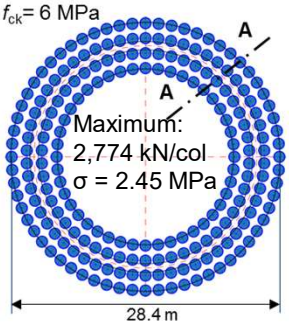
Pelnu konteineris, Varšavā, Polijā (SC + DSM)

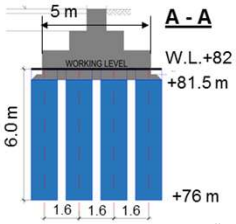
1: Vibro Replacement (bottom feed)



279 no. Sand/Gravel Columns,
∅0.6 to 0.7 m, L=12 m, 3,348 lm

2: DSM: 216 no. Columns,
∅1.2 m, L=6 m, 1,296 lm
f_{ck}= 6 MPa





EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 168

PLAZA centrs, Ribnika, Polija (DSM)

Ēka balstīta uz **187 gab. pamatiem**, kas slogoti līdz 16,500 kN (aprēķinu slodze)

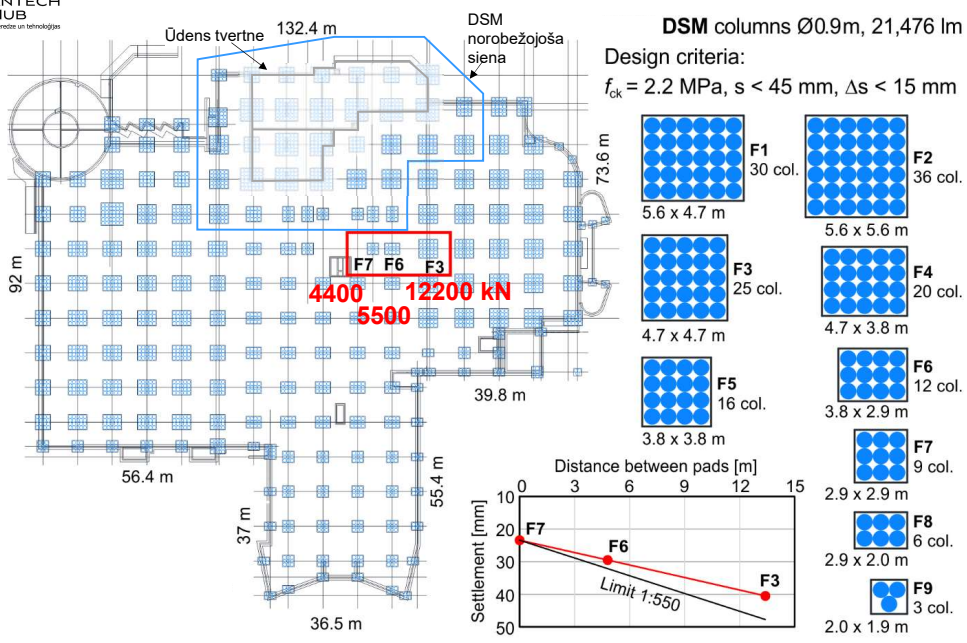
Raksturīgais spriegums **330 līdz 550 kPa**

Soil:
0 - 2 m loose Fill,
2 - 6.5 m silty Clay,
6.5 - 7.2 m coarse sand,
below stiff silty Clay

Sākotnējais risinājums:
1,010 **gab**. CFA pāļi,
Ø 80 cm,
Garums 12 m

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 169

PLAZA centrs, Ribnika, Polija (DSM)



DSM columns Ø0.9m, 21,476 lm

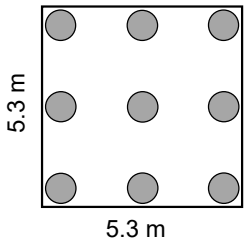
Design criteria:

f_{ck} = 2.2 MPa, s < 45 mm, Δs < 15 mm

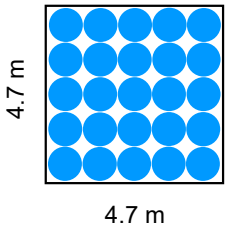
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 170

PLAZA centrs, Ribnika, Polija (DSM)

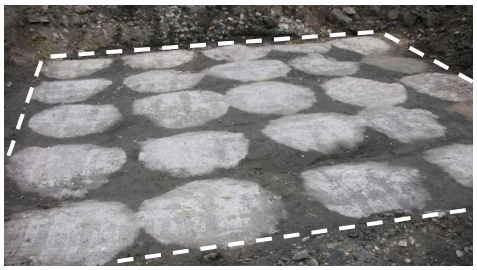
Pamats F3: raksturīgā slodze 12,200 kN (552 kPa)



9 CFA pāļi



25 DSM pastiprinājumi



SM risinājums 45% lētāks

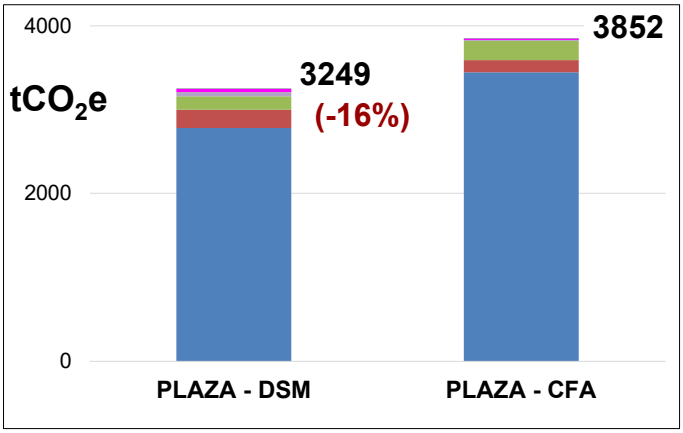
Salīdzinājums:

Pamatu veids	Skaits	Vidējais garums	Kopējais garums	Pamatu tilpums [m^3]	Stiegrojums [kg]
CFA pāļi, ∅ 0.8 m	1,154	12.0 m	13,848 m **+31%**	4,535 **-27%**	227,000 **-42%**
DM past., ∅ 0.9 m	3,304	5.5 m	18,172 m	3,292	132,000

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 171

PLAZA centrs, Ribnika, Polija (DSM)

Ogļskābās gāzes izmešu



Atbilstoši EFFC/DFI ogļskābās gāzes izmešu kalkulācijai:

- **CEM IIIA** izmantots pāļiem, pamatiem un DM, ar GGBS saturu**51%**
- Otrreiz izmantots metāls **41%**

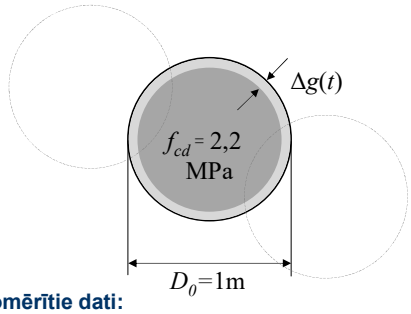
Ja **CEM I** tiktu izmantots **CFA pāļiem**:
5278 tCO_2e **(-38%)**

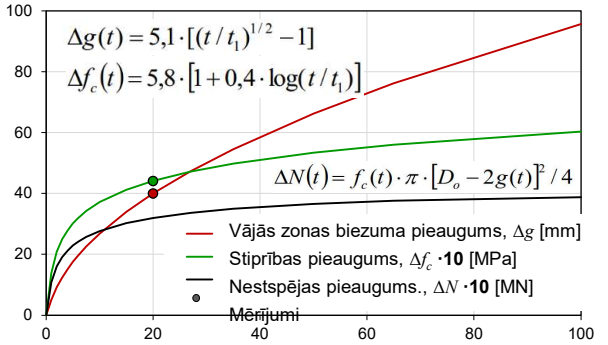
Risinājums	Tilpums, m^3	Pamati, m^3	Stiegrojums, kg
CFA pāļi	8,696	4,535	227,000
DM pastiprinājumi	11,554	3,292	132,000

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53 172

Ilgmūžība

- Kā ar projektiem, kuros nepieciešams nodrošināt aprēķina ilgmūžību >100 gadi?
- Tiešie slogošanas testi ?
- Grunts stabilizācijas pieredze >200 gadi!
- EN 14679, EN 12716, FHWA 2013 neierobežo grunšu stabilizācijas pielietošanu laikā





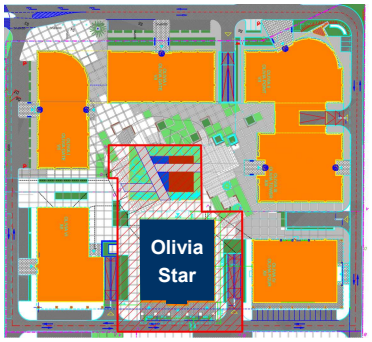
Nomērītie dati:
Ikegami M., Ichiba T., Ohishi K., Terashi M. (2003):
f_c (93 dienas) = 5.8 MPa, grunts: aluviāls māls w_n= 80-100%
Δf_c (20 gadi) = 4.4 MPa, pieaug proporcionāli log t
$\Delta g_{šķ}$ (20 gadi) = 40 mm (8%), pieaug proporcionāli $\sqrt{t}$
Vājajā zonā: f_c = 0,3 līdz 1 MPa

Novērotais pieaugums 20 gados ir pietiekams, lai saglabātu pilnu pastiprinājuma nestspēju arī 165 gados!

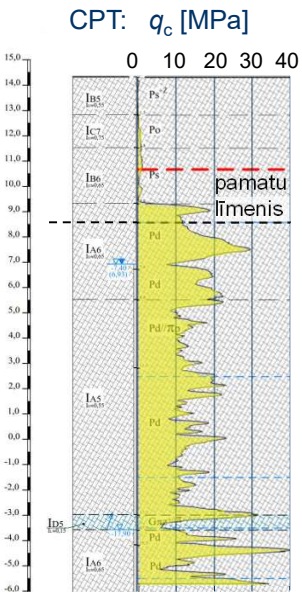
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53

173

Olivia Star, Gdaņska, Polija (JG)



Slodzes:
Vert. (SLS): 1,100 MN (**600 kPa**)
Momenti (SLS): 970 MNm
Vert. (ULS): 1,650 MN (900 kPa)
Momenti (ULS): 1,600 MNm



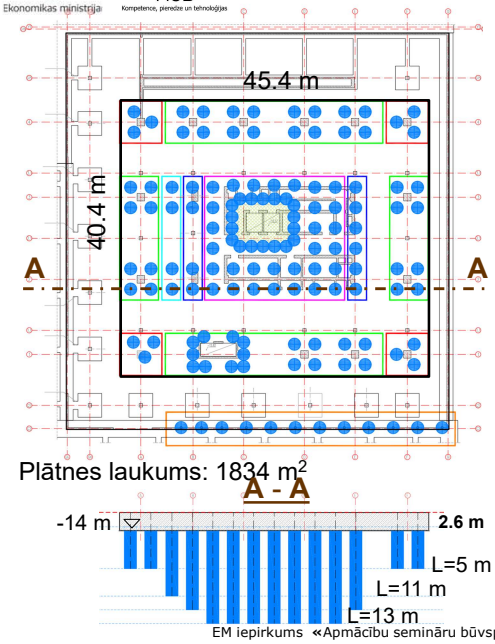
EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53

174

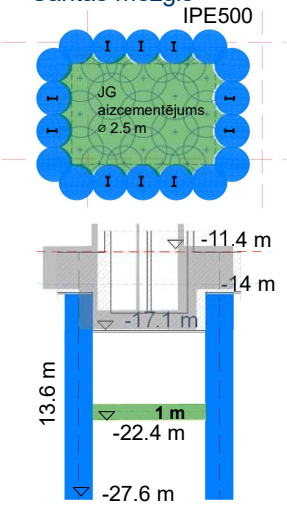
Olivia Star, Gdaņska, Polija (JG)

Strūklas cementācija:

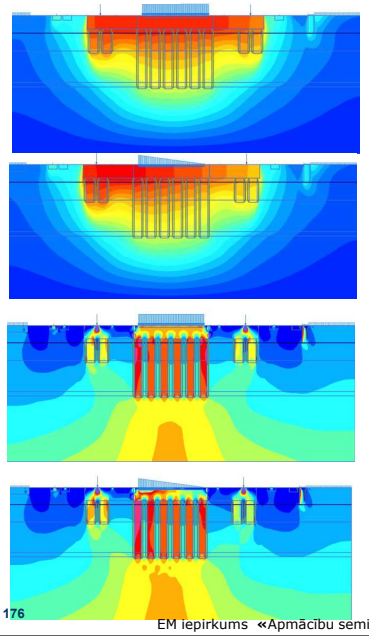
124 gab. pastiprinājumi, Ø1.8 m, f_{ck}= 8 MPa



Šahtas mezgls



Olivia Star, Gdaņska, Polija (JG)



Tikai vertikālā slodze:

s_{max} = 4.5 cm

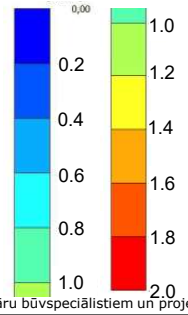
Vertikālā slodze+ moments:

s_1 = 4.9 cm

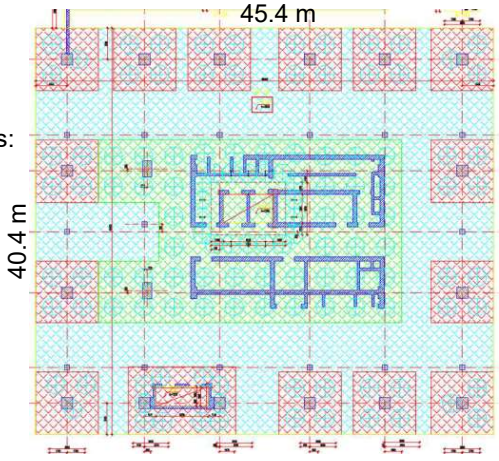
s_2 = 3.7 cm

Δs/L = 1: 3,330

Raksturīgais spriegums[MPa]



Stinguma sadalījums



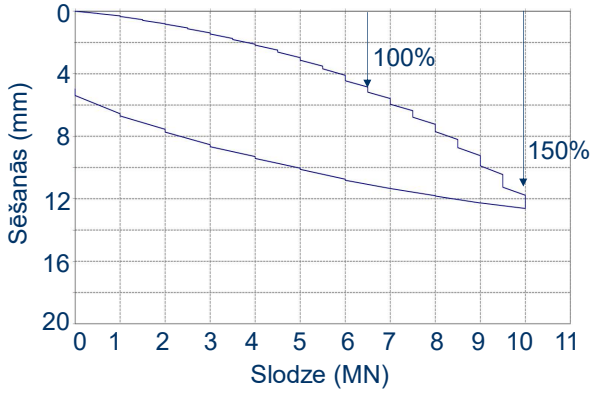
Pastiprināta grunts (kodols): K_{GI} = **27.5 MPa/m**

Pastiprināta grunts (seklie pamati): K_{GI} = **22.5 MPa/m**

Dabīgā grunts (sablīvēta): K_{Gr} = **10 MPa/m**

Olivia Star, Gdaņska, Polija (JG)

Slogošanas tests: JG past. Ø1.8 m, L=11 m



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53

177

Secinājumi

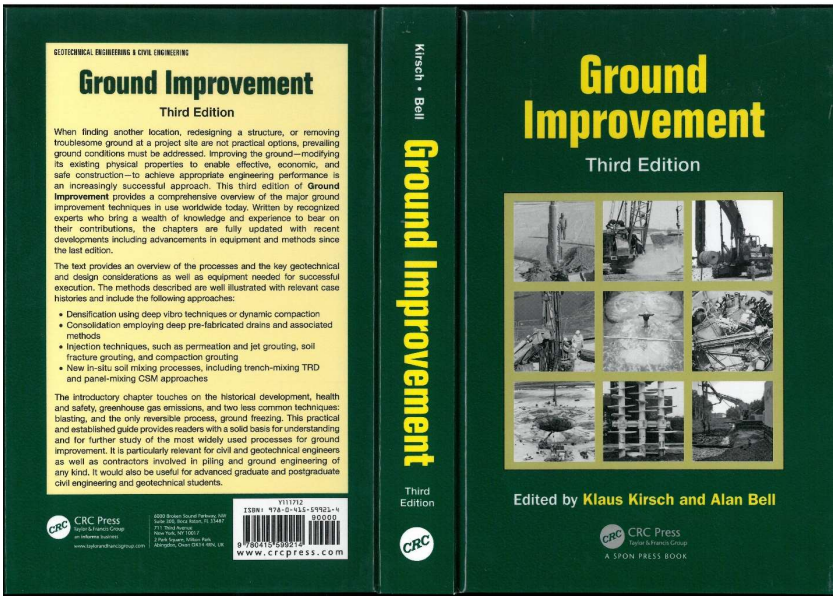
- Pareizi pielietoti grunšu pastiprināšanas risinājumi izpilda augstus projektēšanas kritērijus arī projektos ar lielām slodzēm uz pamatu konstrukcijām un ar konstrukcijām, kuras ir deformāciju jutīgas. Lai sasniegtu kopēju mērķi, nepieciešama cieša sadarbība starp būvkonstrukciju un ģeotehnikas projektētājiem.
- Salīdzinājumā ar tradicionālo dziļo pamatu risinājumiem, grunšu pastiprināšana ļauj samazināt pamatu izbūves izmaksas un laiku (dažreiz ļoti būtiski), var būt videi draudzīgāks risinājums un var samazināt būvniecības riskus, tādēļ ir pievilcīgi pasūtītājiem un galvenajiem darbu veicējiem
- Kad tiek projektēti drosmīgi grunšu pastiprināšanas risinājumi, mēs dažreiz balansējam uz komforta zonas, kas definēta standartos un pieredzē. Normatīviem nevajadzētu ierobežot attīstību (prEC7 lieto 'salīdzināma pieredze'), tomēr vienmēr nepieciešams izvērtēt un vadīt saistītos riskus. Izvēršot grunšu pastiprināšanas risinājumus, attīstībai jābūt pakāpeniskai nevis pēkšņai.

EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53

178

Ekonomikas ministrija

CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas



EM iepirkums «Apmācību semināru būvspeciālistiem un projektētājiem organizēšana, un norises nodrošināšana» ID EM 2022/53

179

Ekonomikas ministrija

CLEANTECH HUB
Kompetence, pieredze un tehnoloģijas

Paldies par uzmanību!

@EM_gov_lv,@siltinam /ekonomikasministrija www.em.gov.lv Brīvības iela 55, Rīga, LV-1519, Latvia +371 67013100 pasts@em.gov.lv