

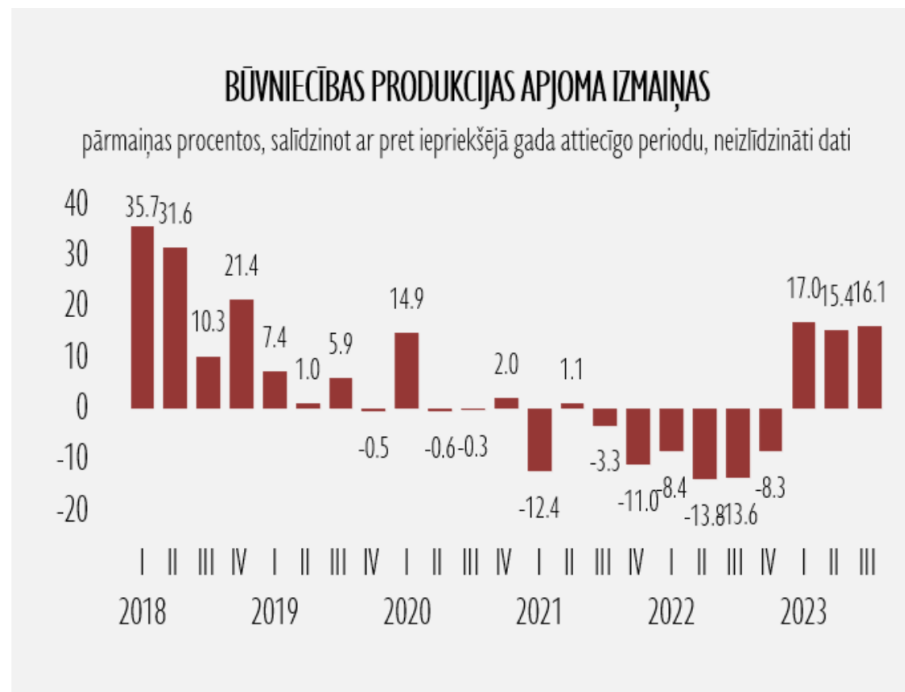


**Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni.
Latvijas Universitātes 82. starptautiskā zinātniskā
konference**

2024. gada 26. janvāris

Dr.sc.ing. Kaspars Bondars
LBS, LGTS, LBPA, ISSMGE

Būvniecības dinamika



Būvniecības produkcijas apjoma izmaiņas pret iepriekšējo gadu						
2020.	2021.	2022.	2023.	2024.	2025.	2026.
+2,7%	-6,2%					
Statistiskā prognoze →		+1,3%	+0,9%	+0,5%	+0,1%	-0,2%
Kombinētā prognoze →		+1,1%	-0,2%	+2,3%	+1,6%	+2,2%
Ekspertu prognoze →		+0,9%	-1,4%	+4,0%	+3,0%	+4,6%

Pētījums par ikgadējām izmaksu dinamikas prognozēm un pārkaršanas riskiem Latvijas būvniecības nozarē
ZIŅOJUMS, InnoMatrix, 2022.g.

Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni. 2024. gada 26. janvāris

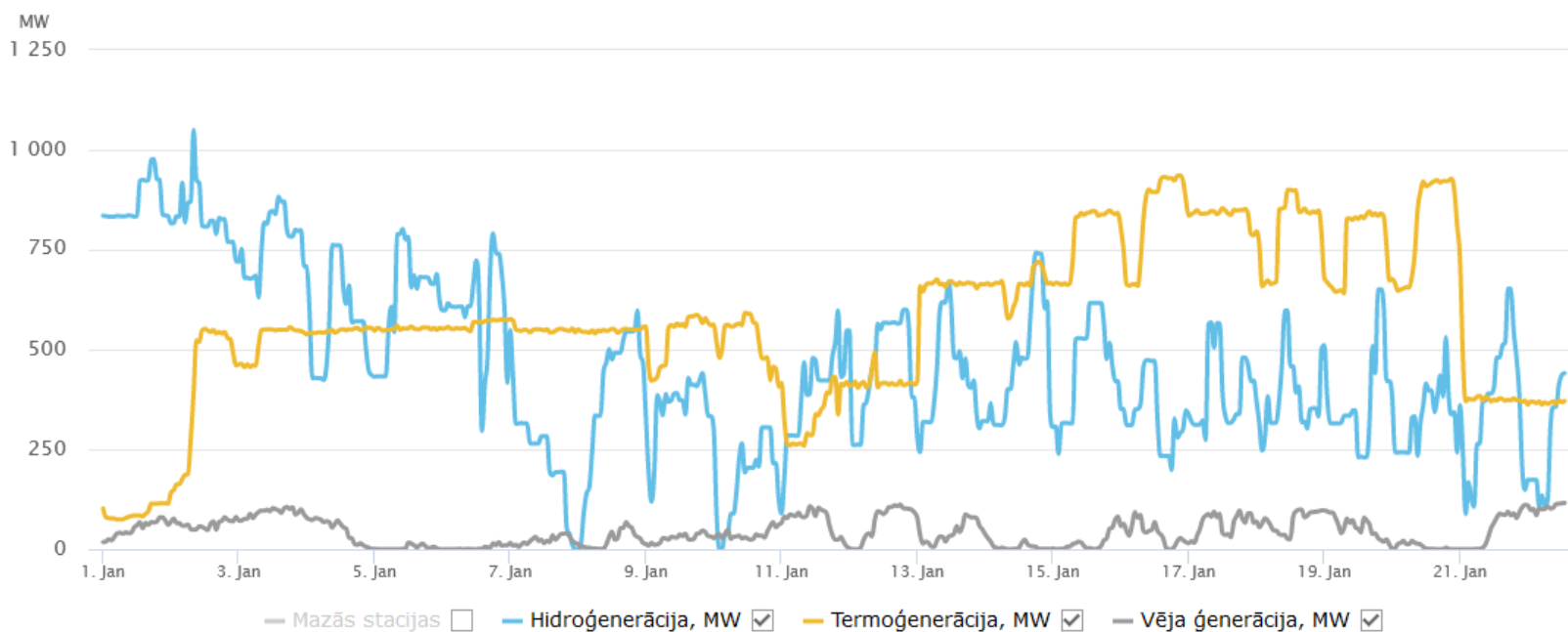
Energoģenerācijas sadalījums



Ģenerācijas tipi

DATUMS NO **01-01-2024** DATUMS LĪDZ **22-01-2024** RĀDĪT **Diagrammu**

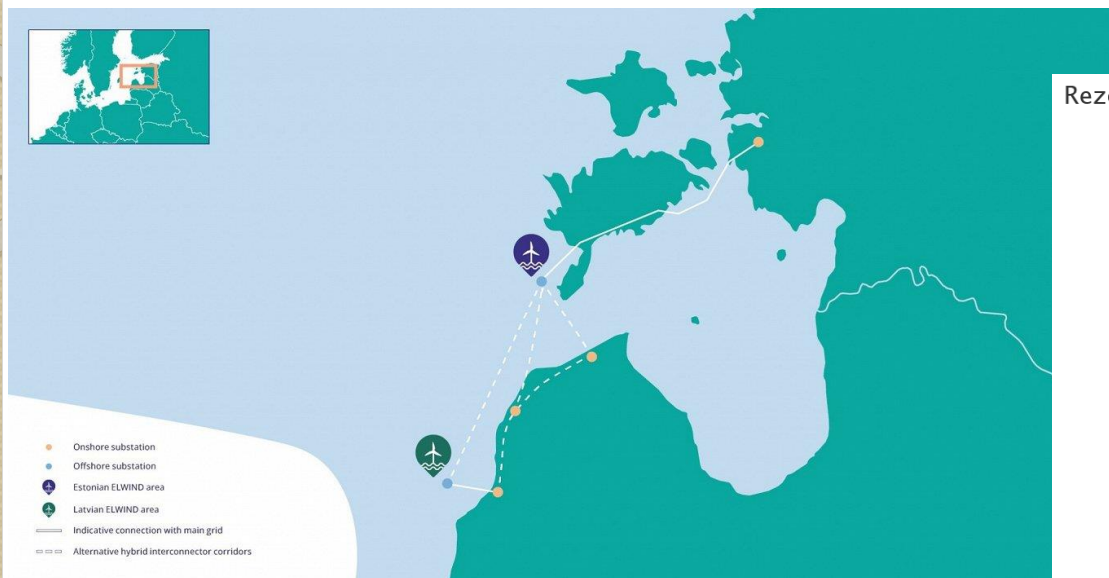
XLS CSV



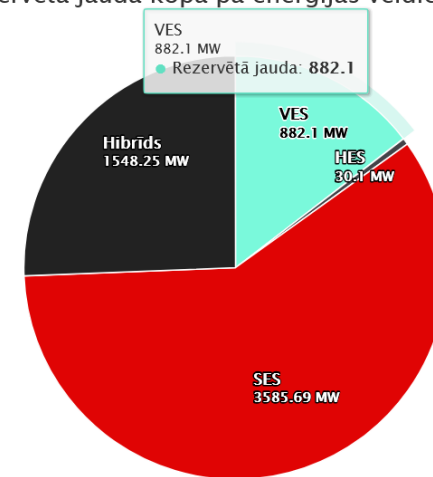
<https://ast.lv/lv/content/situacija-energosistema>

Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni. 2024. gada 26. janvāris

VES būvniecības dinamika



Rezervētā jauda kopā pa enerģijas veidiem, MW



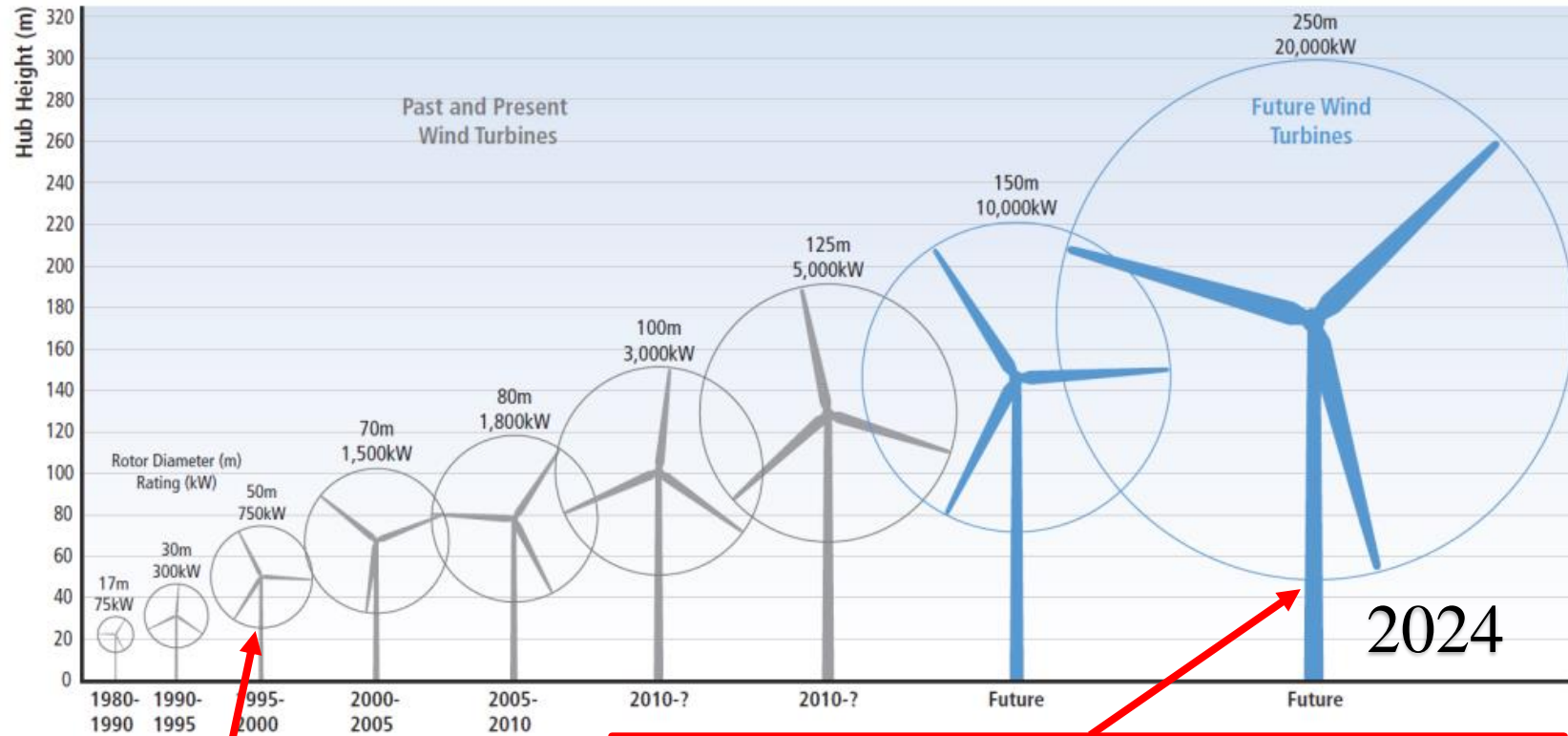
<https://www.em.gov.lv/lv/jaunums/apstiprina-latvijas-un-igaunijas-atkrastes-veja-parka-elwind-potencialo-izvietojumu>

Pieprasītāja nosaukums	Atļautā maksimālā slodze vai rezervētā jauda ražotājiem (MW)	Vieta pārvades sistēmā (līnija, apakšstacija)	Pieslēguma ierīkošanas vai atļautās slodzes izmaiņu statuss	Lietotājs vai ražotājs un elektrostacijas veids
SIA "4 Wind"	23.2	LNr.260 "Ventspils - Dundaga" jaunas apakšstacijas izbūve	Noslēgta vienošanās	Vēja elektrostacija
SIA "ENERGO WIND"	93.5	LNr.324 "Grobiņa - Klaipēda" jaunas apakšstacijas izbūve	Noslēgta vienošanās	Vēja elektrostacija
SIA "Pienava Wind"	158.4	LNr.322 "Brocēni330- Viskaji" jaunas apakšstacijas izbūve	Noslēgta vienošanās	Vēja elektrostacija
SIA "Winergy"	30.2	a/st Pope	Nosūtītas TP	Vēja elektrostacija
AS "AB Wind"	58.8	LNr.167 „Priekule – Kūmas” jaunas apakšstacijas izbūve	Noslēgta vienošanās	Vēja elektrostacija
SIA "Rapsoil"	60	LNr.162A "Grobiņa – Lauma – Zaļā Birze" jaunas apakšstacijas izbūve	Būvniecība	Vēja elektrostacija
SIA "Ventspils Wind"	66	LNr.260 "Ventspils - Dundaga" jaunas apakšstacijas izbūve	Noslēgta vienošanās	Vēja elektrostacija
SIA "WPR2"	102	LNr.171 "Smiltene - Jaunpiebalga" jaunas apakšstacijas izbūve	Noslēgta vienošanās	Vēja elektrostacija
SIA "Envirsus"	290	LNr.268 "Ventspils - Alsunga" jaunas apakšstacijas izbūve	Noslēgta vienošanās	Vēja elektrostacija
KOPĀ:	882.1			

<https://www.ast.lv/lv/content/pieslegumu-ierikosanas-un-atlautas-slodzes-izmainu-statuss>

Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni. 2024. gada 26. janvāris

VES dimensijas pakārtotas tehnoloģiju attīstībai un iespējām



LOADS :

The foundation is calculated for the following extreme loads, stated by VESTAS.

- $N_d = 260$ kN (Normal load)
- $V_d = 190$ kN (Transverse force)
- $M_d = 4510$ kNm (Bending moment)
- $M_{vd} = 0$ kNm (Twisting moment)

In the mentioned loads, following safeties are included :
 1,0 on dead load.
 1,3 on wind load.

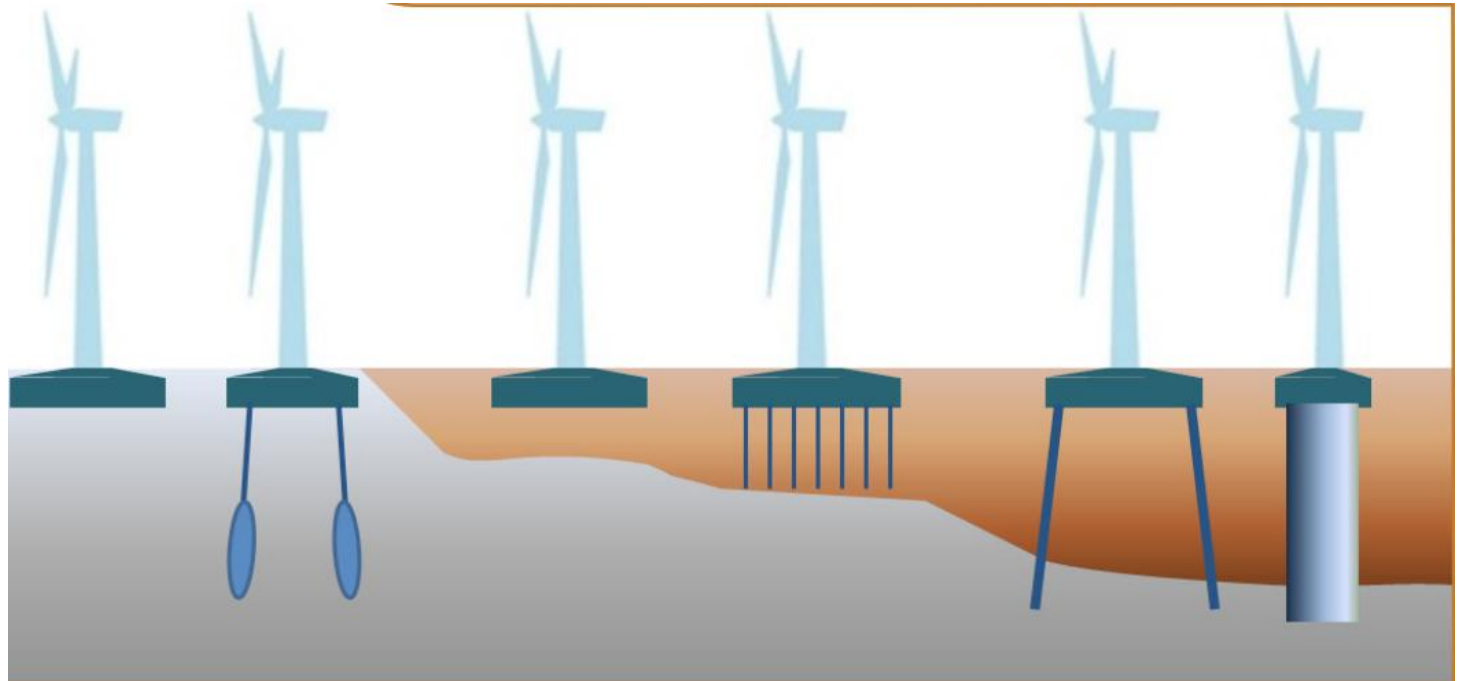
Slodzes RD170 (HH 165m)						
Slodžu veids	Slodzes faktors, Psf	Fxy (kN)	Fz (kN)	Mxy (kNm)	Mxy+ΔMxy (kNm)	Mz (kNm)
Ekstrēmā (raksturīga)	1	1762	9302	274676	284165	6348
Ekstrēmā (faktorēta)	1.1 / 0.9	1939	10232 / 8371.64	302144	311632	6982
Enerģijas ražošanas, ar pārsniegšanas varbūtību, $p_f=10^{-3}$	1	1029.96	9662	172627	-	4575

Noguruma* slodzes RD170 (HH 165m)					
Slodžu veids	Slodzes faktors, Psf	Fy (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)	Mz (kNm)
Vidējā noguruma slodze (25 gadi)	1	554.32	97431.52	-	1108.48
DEL pie 10' cikliem, m=7 (25 gadi)	1	631.4	76754.9	25515.6	9254.2
DEL pie 10' cikliem, m=7 (30 gadi)	1	648.1	78780.3	26188.9	9498.4

*. Oriģinālais pieejamais slodžu dokuments ir piemērots kalpošanas ilgumam 25 gadi, bet saskaņā ar

Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni. 2024. gada 26. janvāris

VES pamatu risinājumi pakārtoti pamatu būvniecības tehnoloģām un iespējām



Gravitācijas pamats dispersās pamatnēs

Enkurpāļu pamats / režģogs dispersās gruntīs / klinšainās pamatnēs

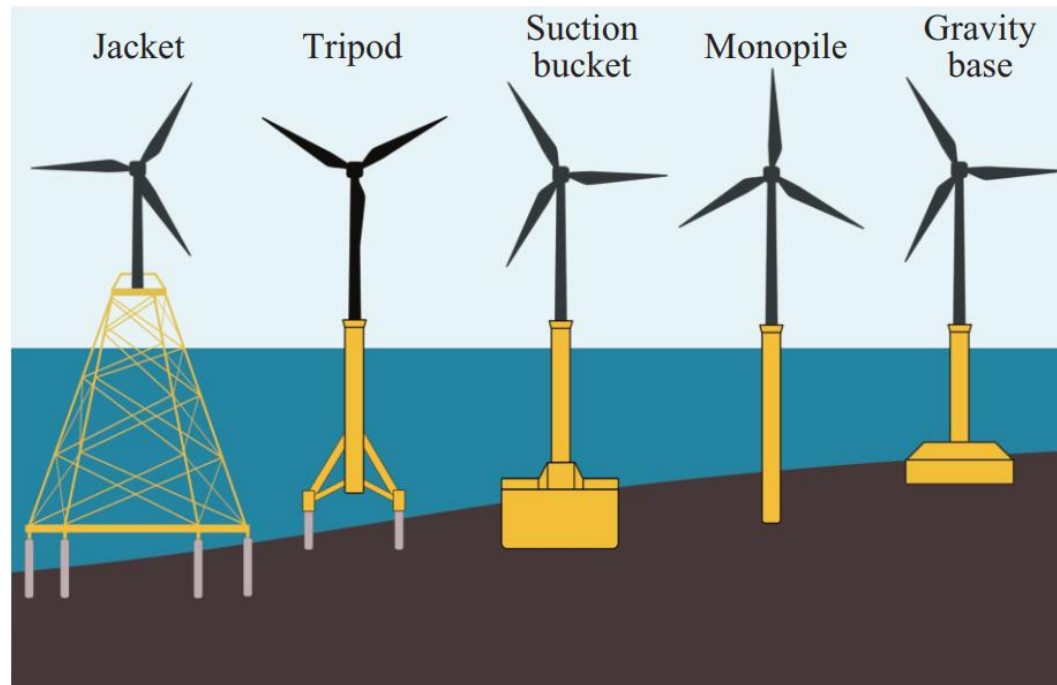
Gravitācijas pamats saistīgās pamatnēs

Piled-raft (masīvs pamats uz pāļu lauka) pamats pazeminātas nestspējas pamatnēs

Pāļu pamati pazeminātas nestspējas pamatnēs

Monopāļa / pāļa – čaulas pamats pazeminātas nestspējas pamatnēs

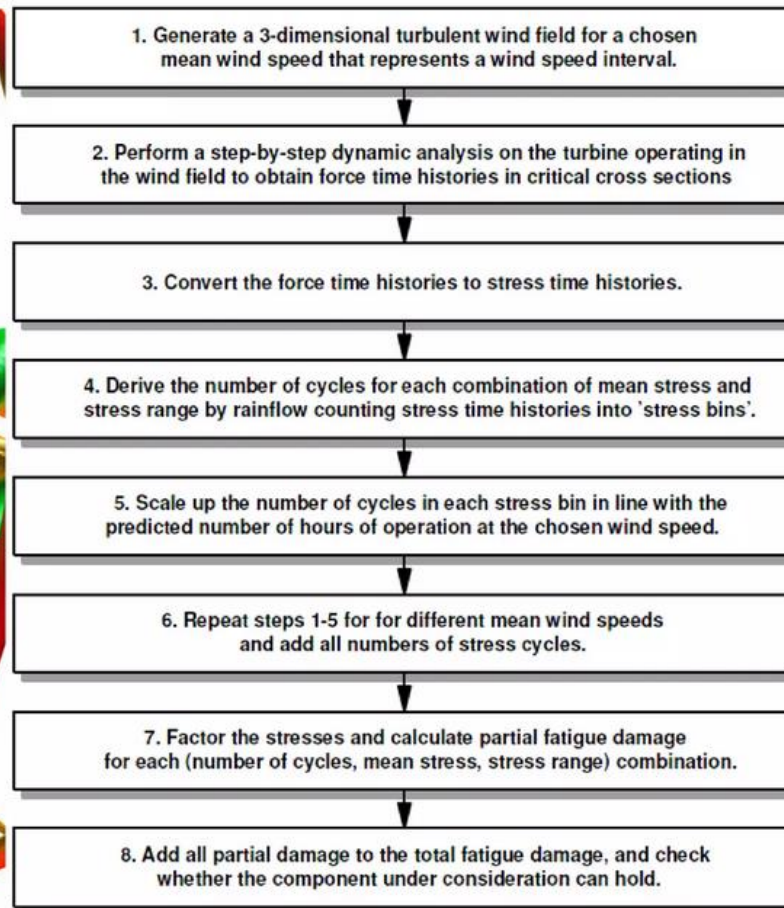
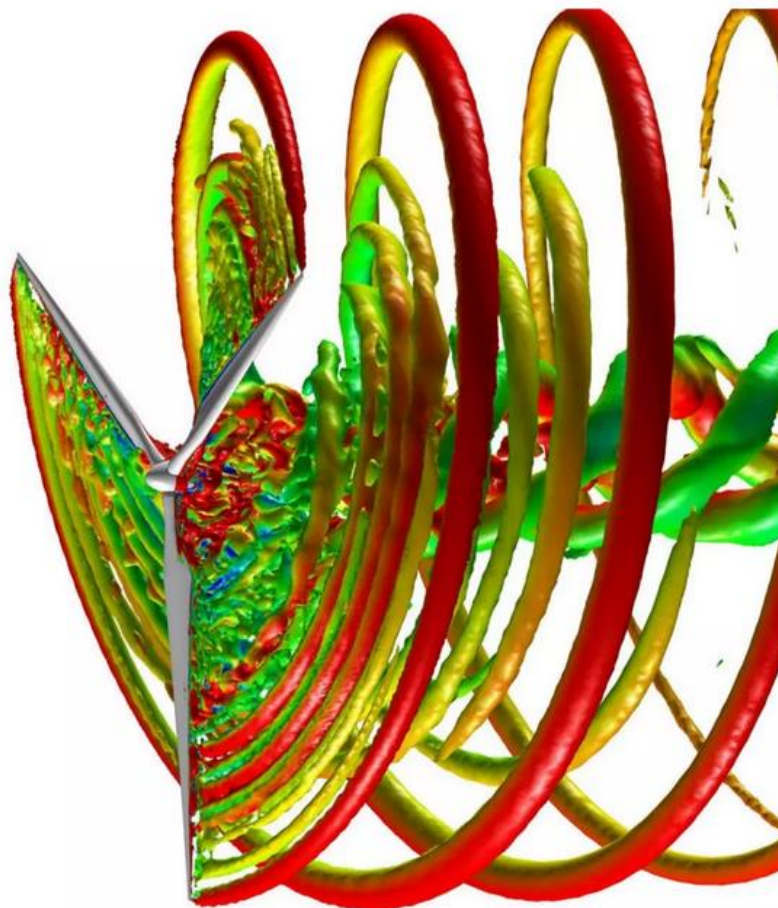
VES pamatu risinājumi pakārtoti pamatu būvniecības tehnoloģām un iespējām



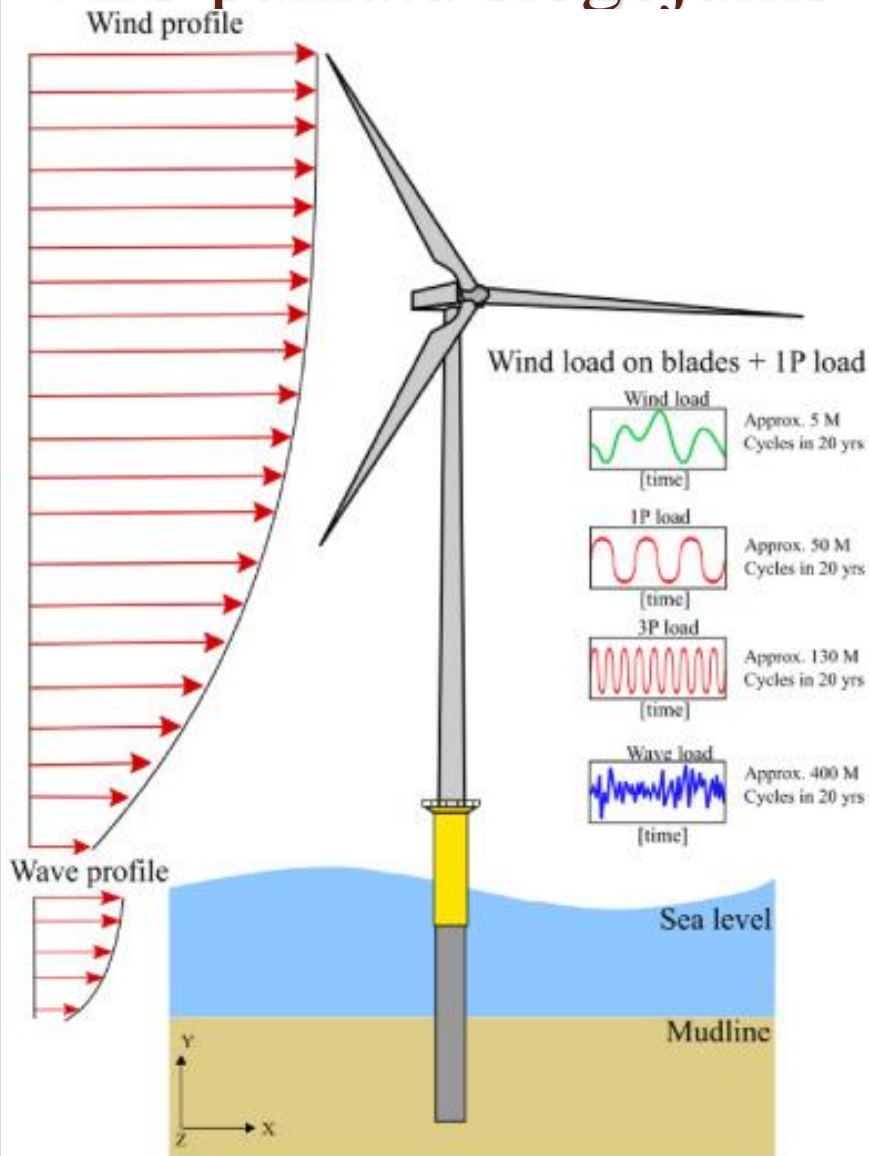
- Gravitācijas pamats uz gultnes virsmas
- Monopāļa pamats / gruntī iespīlēta kolonna
- Kesona gravitācijas pamats
- Tripods
- Režģota tipa tornis

VES pamatu slogojums

**Analīzes attīstība – no statistiskiem līdz
dinamiskiem modeļiem**



VES pamatu slogojums

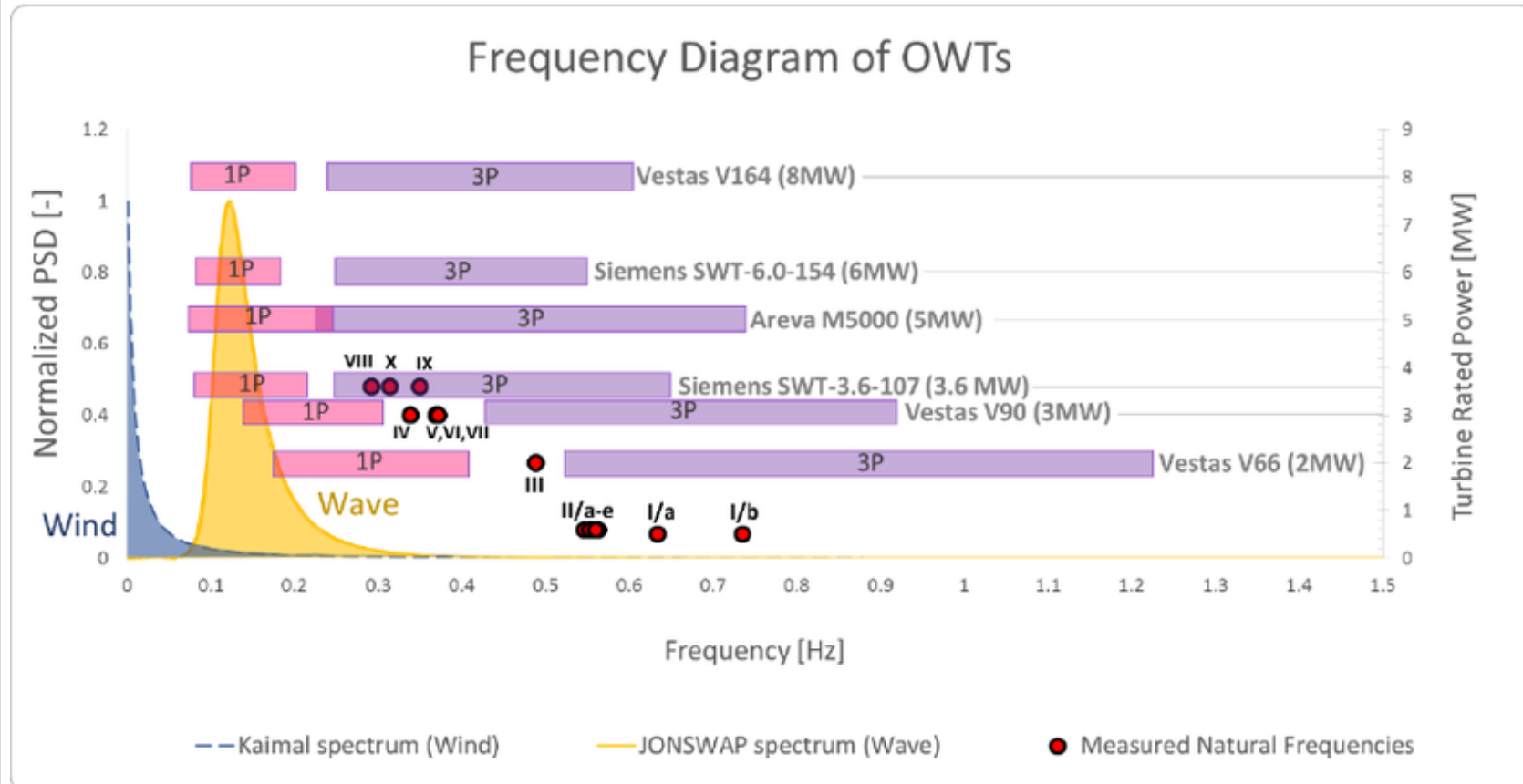


Vēja un viļņu ciklisks slogojums

- Vēja brāzmu slogojums, 5M cikli/20gados
- 1P pulsācija, 50M cikli/20gados
- 3P pulsācija, 130M cikli/20gados
- Viļņu slogojums, 400M cikli/20gados

Muhammad Aleem, Subhamoy Bhattacharya, Liang Cui, Sadra Amani, Abdel Rahman Salem, Saleh Jalbi «Load utilisation (LU) ratio of monopiles supporting offshore wind turbines: Formulation and examples from European Wind Farms» Ocean Engineering, Volume 248, 15 March 2022, 110798

VES pamatu slogojums

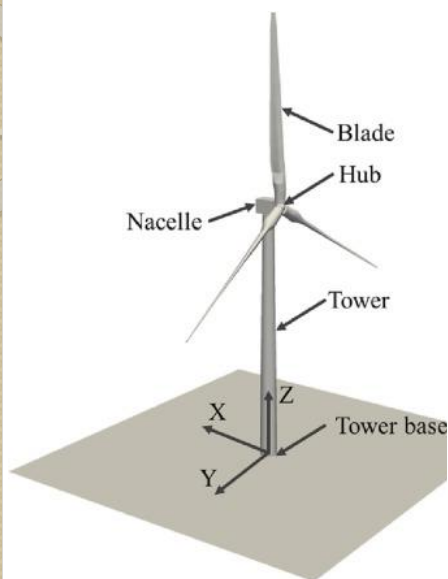


VES turbīnas rotācijas un slogojuma dinamiskās iedarbes frekvences

Qian-Feng Gao, Hui Dong, Zong-Wei Deng, Yi-Yue Ma «Wind-induced dynamic amplification effects on the shallow foundation of a horizontal-axis wind turbine», Computers and Geotechnics, Volume 88, Pages 1-280 (August 2017)

Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni. 2024. gada 26. janvāris

VES pamatu slogojums



3.5.2 Equivalent fatigue load at tower base

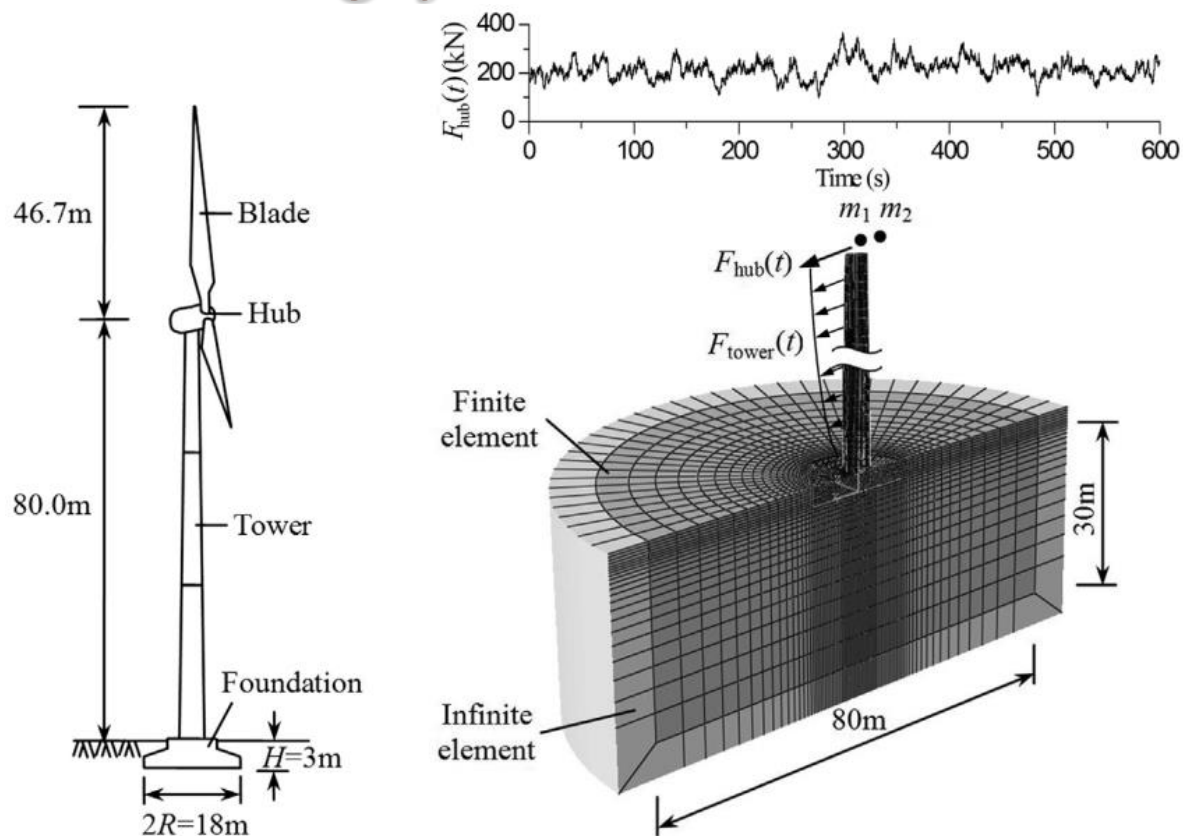
Table 3-7 Equivalent fatigue load at tower base

SN curve slope	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]	Fx [kN]	Fy [kN]	Fz [kN]
3	16514.6	38260.2	6668.5	509.1	184.2	126.0
4	15630.0	38579.3	6021.3	415.6	157.5	98.1
5	15878.3	42332.5	6059.1	385.2	172.8	87.7
6	16853.8	48450.0	6333.9	381.2	216.3	83.7
7	18503.5	56440.6	6674.8	393.2	265.1	82.7
8	20597.9	65194.4	7016.2	418.2	311.4	83.2
9	22818.6	73833.4	7335.8	453.4	354.0	84.3
10	24969.4	81975.8	7628.0	494.1	392.9	85.8
11	26976.2	89513.7	7893.2	535.9	428.4	87.5
12	28823.3	96445.2	8133.5	576.2	460.7	89.3

Uzdevums VES pamatu projektēšanai
Makrova matrica

Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni. 2024. gada 26. janvāris

VES pamatu slogojums



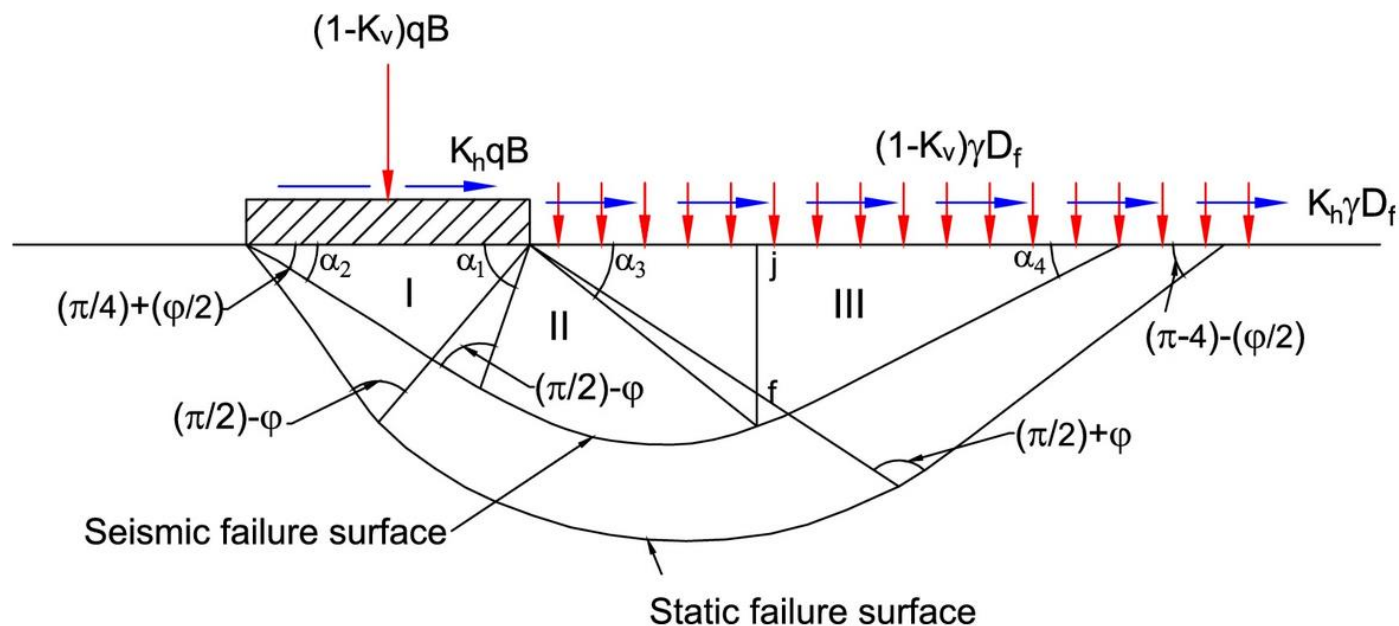
Pamatu pēdas un grunts kontakta mijiedarbības modelēšana

Qian-Feng Gao, Hui Dong, Zong-Wei Deng, Yi-Yue Ma «Wind-induced dynamic amplification effects on the shallow foundation of a horizontal-axis wind turbine», Computers and Geotechnics, Volume 88, Pages 1-280 (August 2017)

Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni. 2024. gada 26. janvāris

VES pamatu nestspēja

From: Long-term dynamic bearing capacity of shallow foundations on a contractive cohesive soil



Pamatnes noturību nosaka tā ģeometriskie parametri, grunts iekšējās berzes leņķis un saiste

Daniel R. Panique Lazcano, Rubén Galindo Aires, Hernán Patin̄o Nieto «Long-term dynamic bearing capacity of shallow foundations on a contractive cohesive soil», Acta Geotechnica, Volume 17, pages 1897–1915, (2022)

Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni. 2024. gada 26. janvāris

VES pamatu slogojums

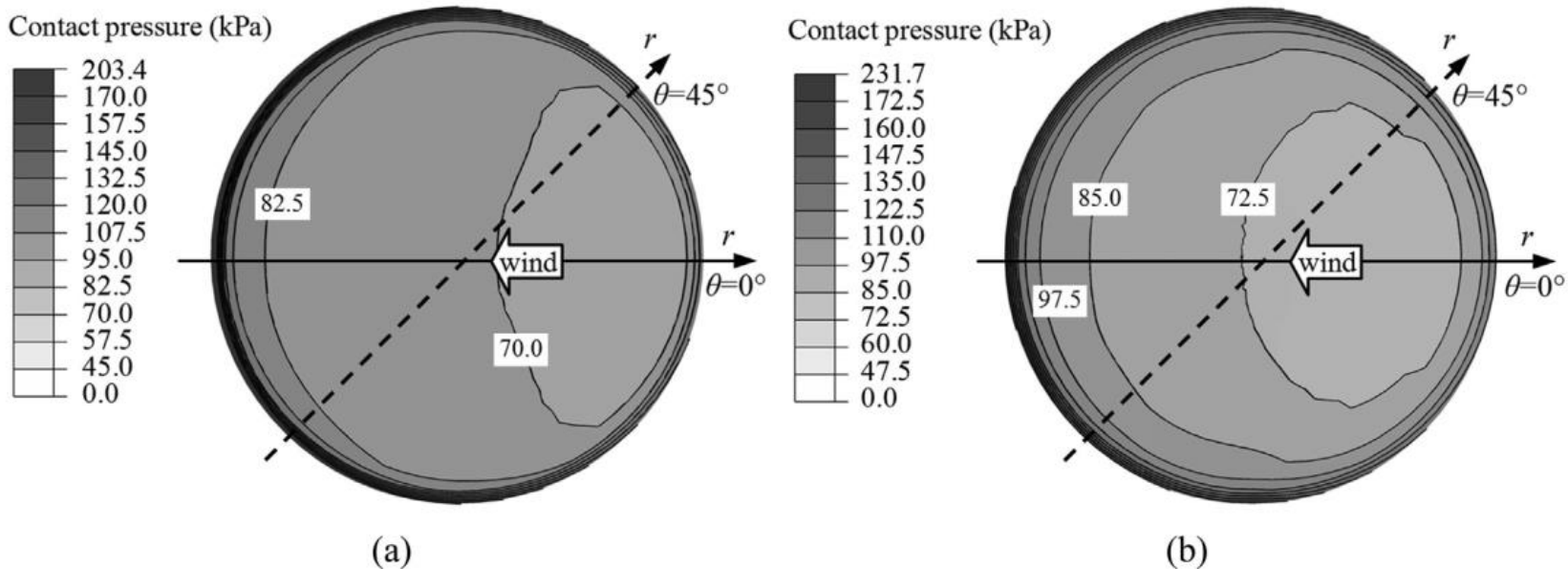


Fig. 5. Static contact pressure contours at (a) $\bar{v}_{hub} = 8$ m/s and (b) $\bar{v}_{hub} = 11$ m/s.

Pamatu pēdas un grunts kontakta mijiedarbības modelēšana

Qian-Feng Gao, Hui Dong, Zong-Wei Deng, Yi-Yue Ma «Wind-induced dynamic amplification effects on the shallow foundation of a horizontal-axis wind turbine», Computers and Geotechnics, Volume 88, Pages 1-280 (August 2017)

VES pamatnes sloojums

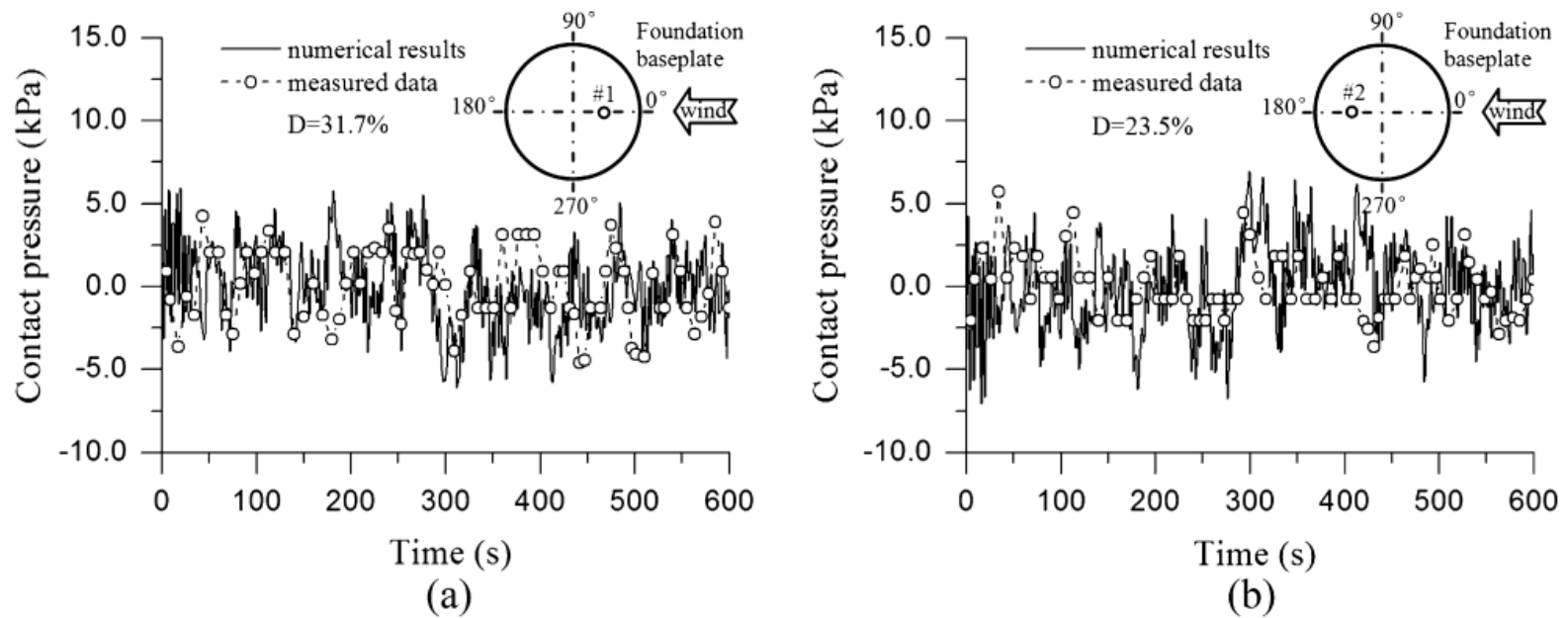
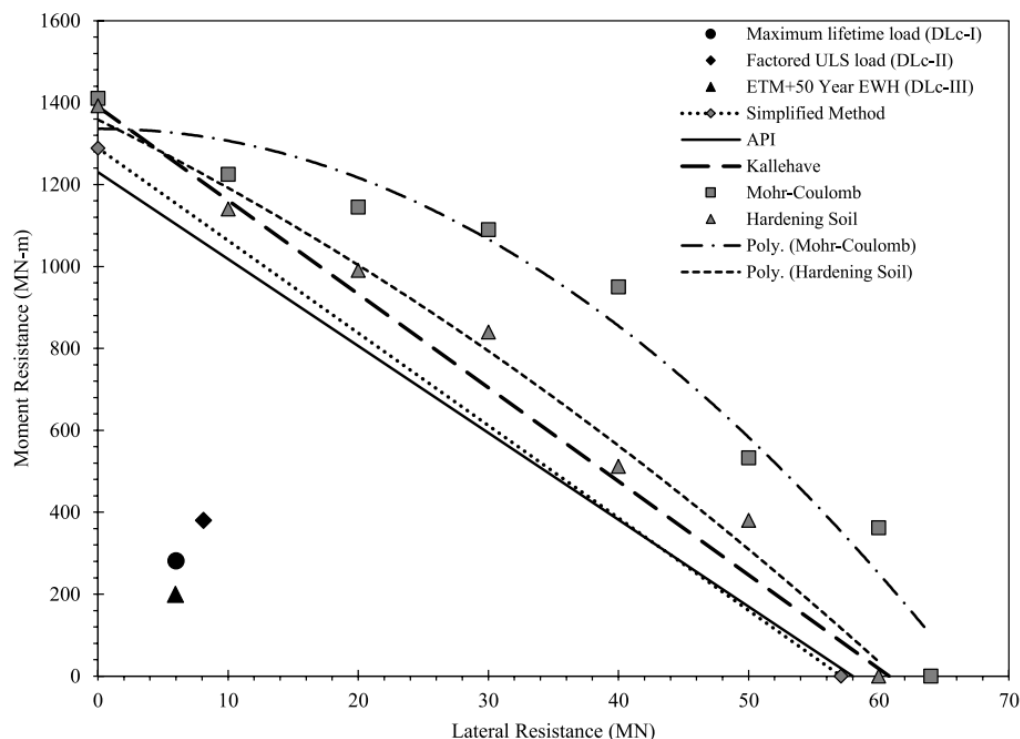


Fig. 4. The fluctuating contact pressure at $\bar{v}_{hub} = 8$ m/s in (a) position #1 and (b) position #2.

Pamatu pēdas kontakspriegums vēja slojuma apstākļos

Qian-Feng Gao, Hui Dong, Zong-Wei Deng, Yi-Yue Ma «Wind-induced dynamic amplification effects on the shallow foundation of a horizontal-axis wind turbine», Computers and Geotechnics, Volume 88
Pages 1-280 (August 2017)

VES pamatu slogojums



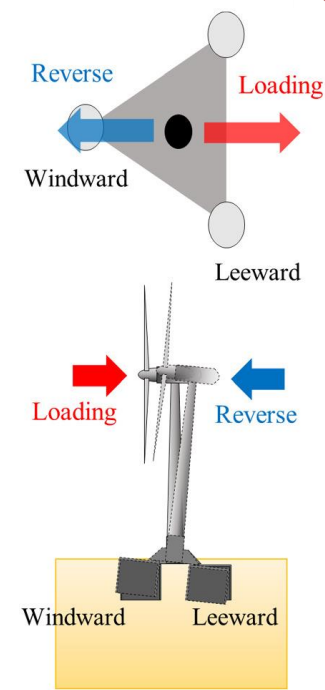
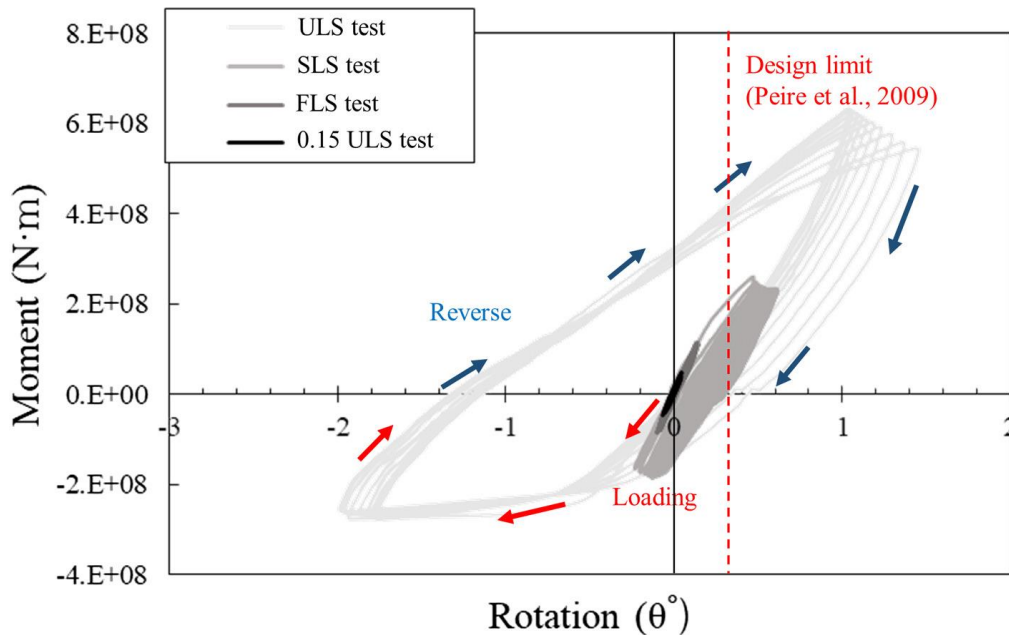
Vēja un viļņu ciklisks slogojums

- Vēja brāzmu slogojums, 5M cikli/20gados
- 1P pulsācija (rotācijas pašfrekvence), 50M cikli/20gados
- 3P pulsācija (spārnu impulsa pašfrekvence), 130M cikli/20gados
- Viļņu slogojums, 400M cikli/20gados

Muhammad Aleem, Subhamoy Bhattacharya, Liang Cui, Sadra Amani, Abdel Rahman Salem, Saleh Jalbi «Load utilisation (LU) ratio of monopiles supporting offshore wind turbines: Formulation and examples from European Wind Farms» Ocean Engineering, Volume 248, 15 March 2022, 110798

Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni. 2024. gada 26. janvāris

VES pamatnes spriegumstāvoklis



(A)

(B)

VES aprēķina robežstāvokļi:

ULS – (Ultimate Limit State) Nestspējas robežstāvoklis

SLS – (Serviceability Limit State) Lietojamības robežstāvoklis

FLS – (Fatigue Limit State) Noguruma robežstāvoklis

ALS – (Accidental Limit State) Ārkārtas (avārijas) robežstāvoklis

Yeong-Hoon Jeong, Kil-Wan Ko, Dong-Soo Kim, Jae-Hyun Kim «Studies on cyclic behavior of tripod suction bucket foundation system supporting offshore wind turbine using centrifuge model test» Wind energy, Volume24, Issue5, May 2021, Pages 515-529

Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni. 2024. gada 26. janvāris

VES pamata robežstāvokļi

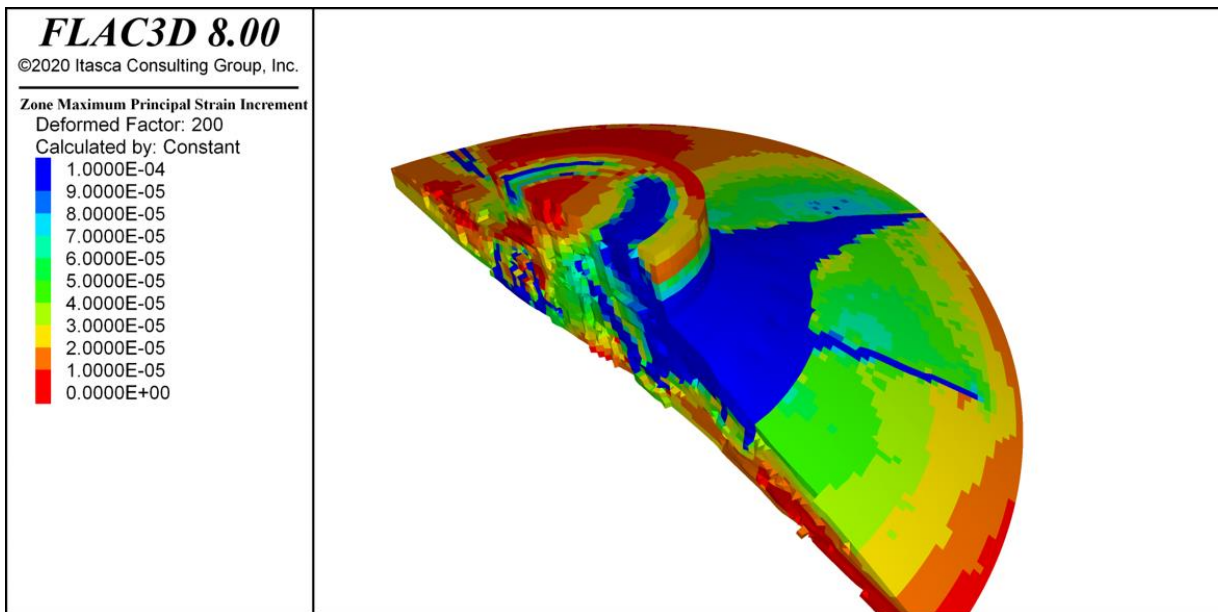


Table 2 – Summary of geotechnical limit states

Limit state	Design situation
Ultimate limit state – ULS	Loss of static equilibrium due to overturning
	Failure or excessive deformation of the ground through bearing capacity or sliding
	Internal structural failure or excessive deformation – for specialist geotechnical works, e.g. piles and anchors
Serviceability limit state – SLS	Rotational and lateral stiffness under dynamic and static conditions
	Excessive long term inclination and absolute settlement
	Long term degradation of geotechnical capacity leading to failure of other limit states – qualitative assessment

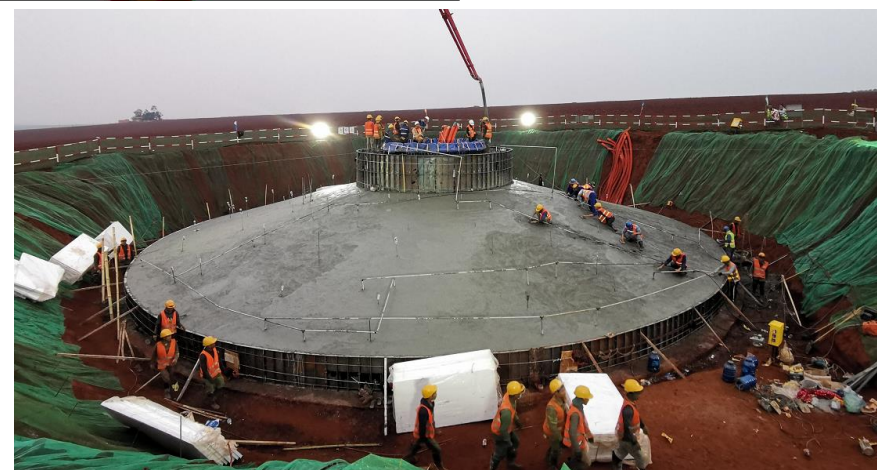
Psmstnes ģeotehnisko īpašību ilgtermiņa (visā ekspluatācijas laikā) izmaiņas ir vienas no noteicošajiem pamatu ekspluatācijas kritērijiem.

VES pamatnes spriegumstāvoklis



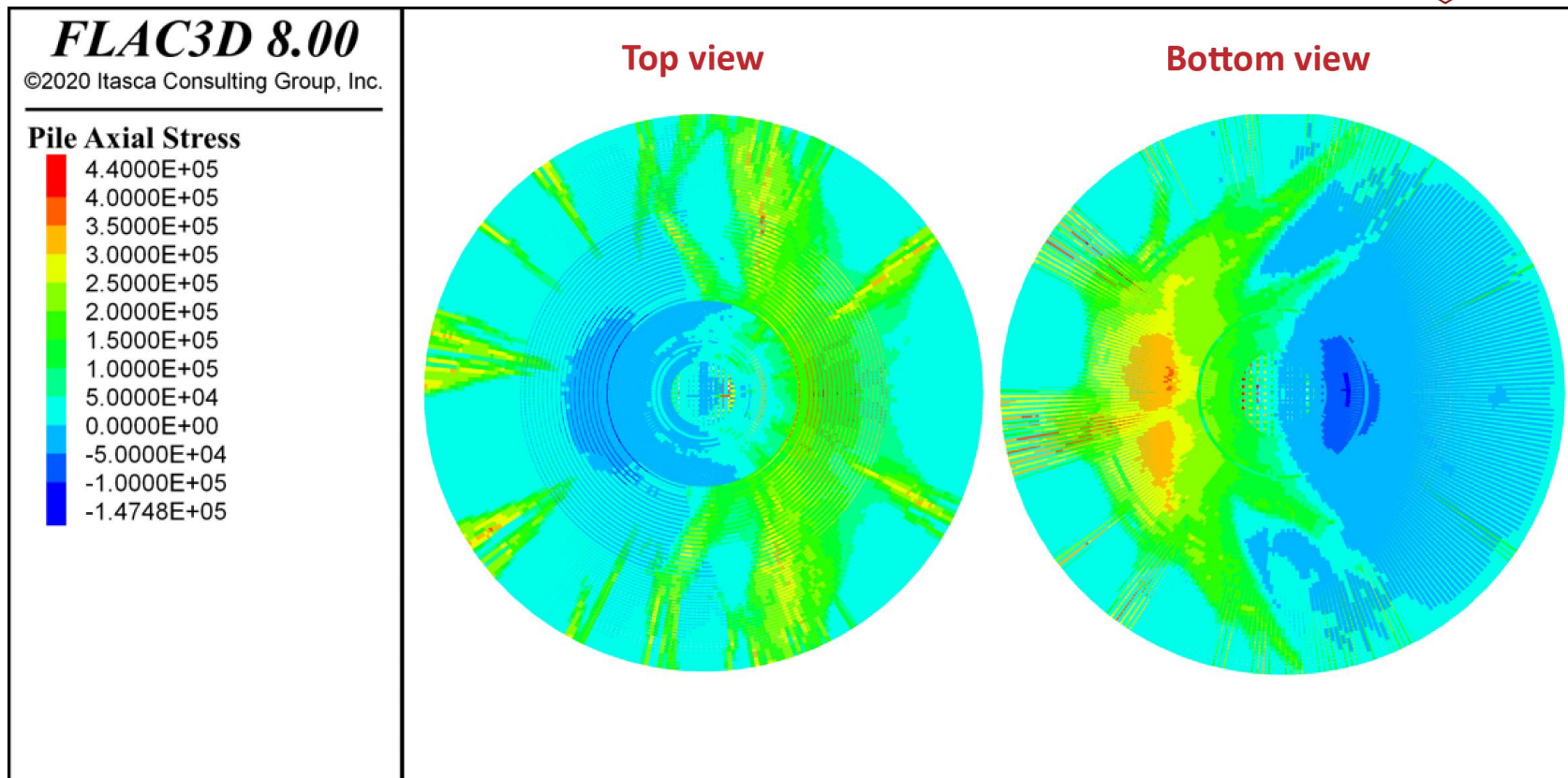
Deformētas VES pamatu pēdas plaisu aina

<https://www.itascacg.com/consulting/projects/wind-turbine-foundation-analysis>



Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni. 2024. gada 26. janvāris

VES pamatnes spriegumstāvoklis

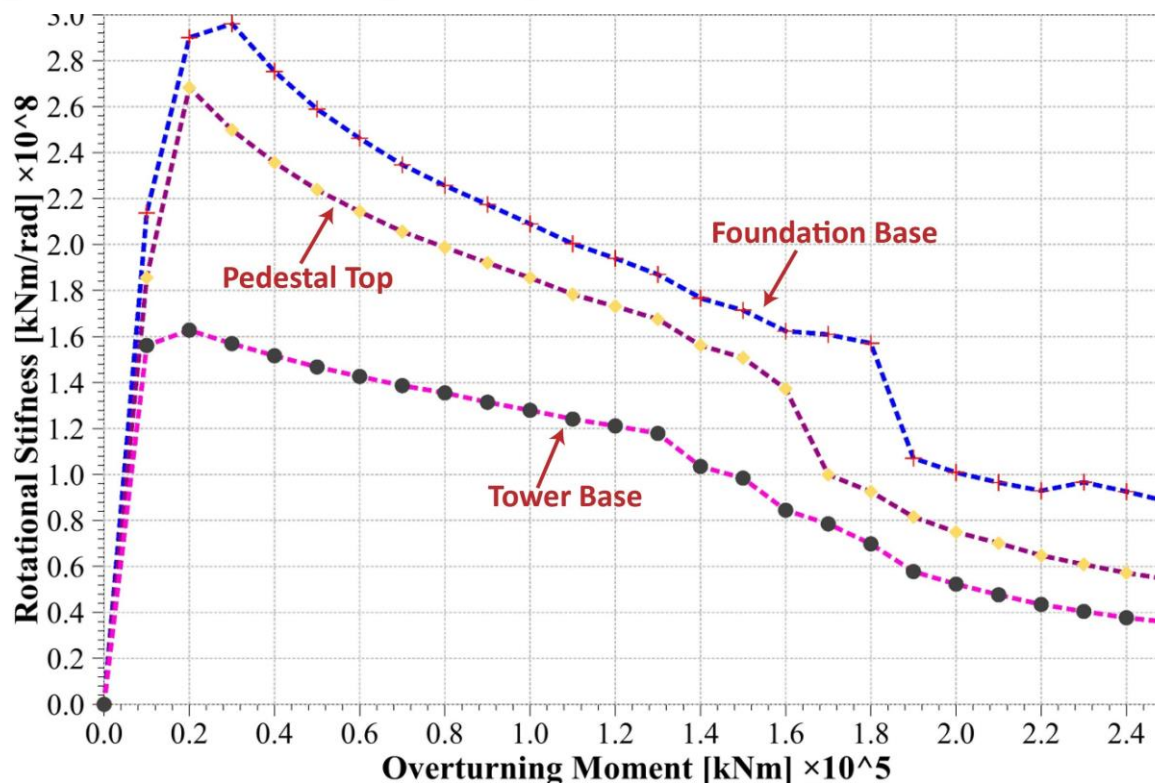


Deformētas VES pamatu pēdas plaisu aina

<https://www.itascacg.com/consulting/projects/wind-turbine-foundation-analysis>

Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni. 2024. gada 26. janvāris

VES pamatnes spriegumstāvoklis



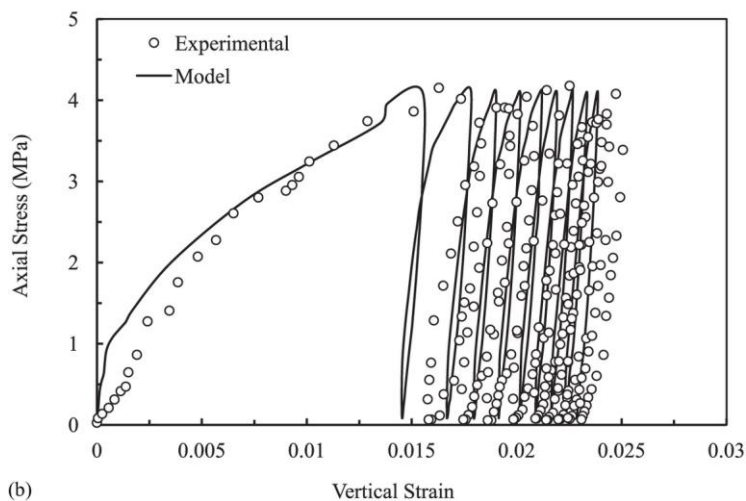
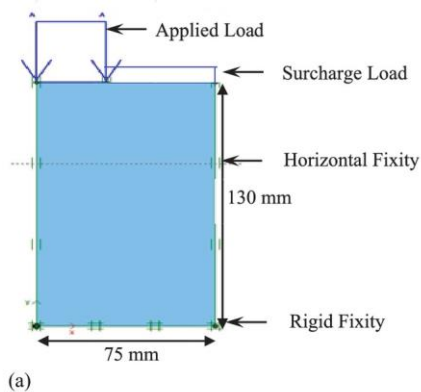
Rotācijas stinguma ierobežojumi RD170 (HH 165m)	
Min dinamiskais rotācijas stingums	K dynamic = 1.432 E+11 Nm/rad
Min statiskais rotācijas stingums	K static = 6.96 E+10 Nm/rad

VES pamata stinguma izmaiņas pieaugoša slogojuma apstākļos

<https://www.itascacg.com/consulting/projects/wind-turbine-foundation-analysis>

Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni. 2024. gada 26. janvāris

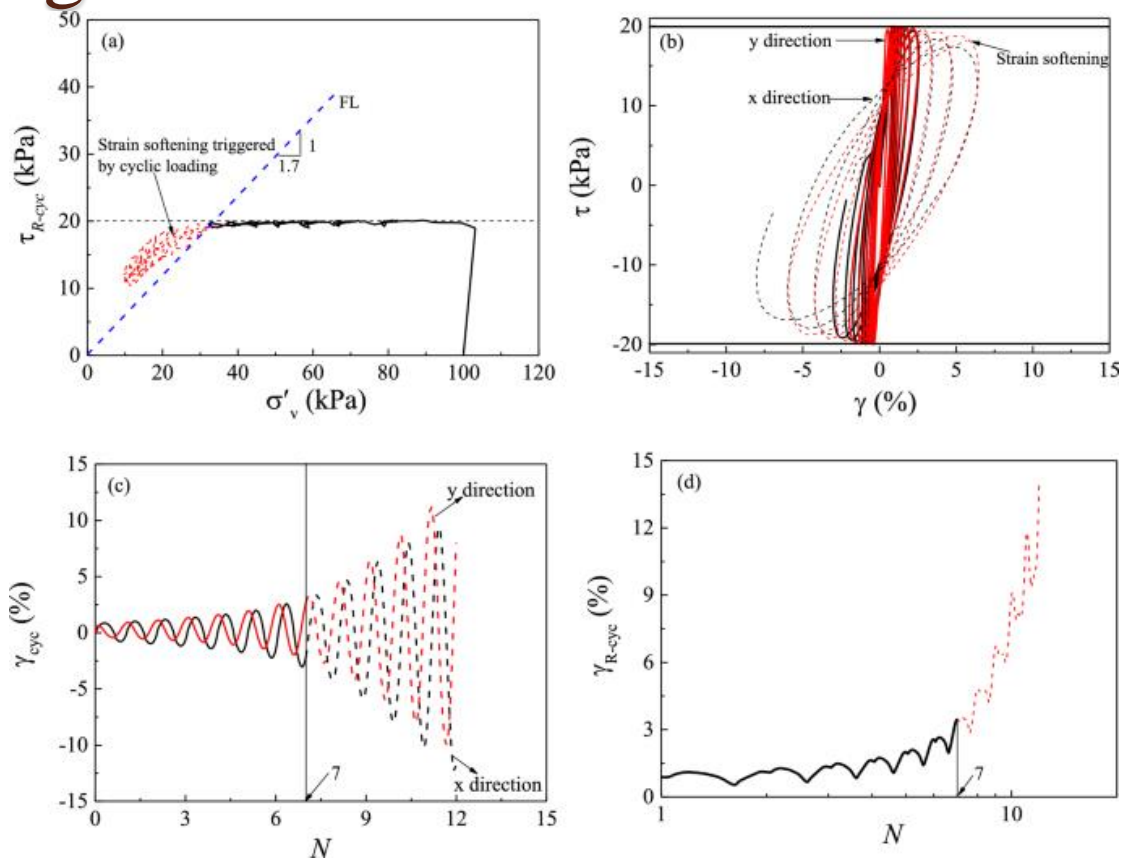
Hardening soil model



Deformāciju amplitūdas mazināšanās cikliska slogojuma apstākļos – rotācijas stinguma pieaugums

Sparsha Sinduri Nagula, R. G. Robinson, Ph.D and J. Murali Krishnan. «Mechanical Characterization of Pavement Granular Materials Using Hardening Soil Model» International Journal of Geomechanics, Vol. 18, No. 12

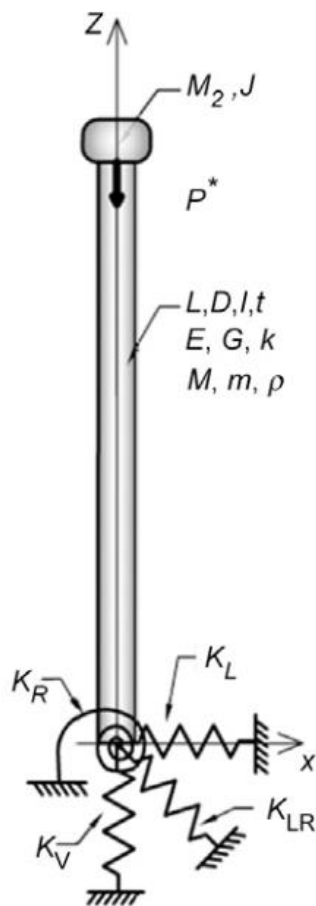
Softening soil model



Deformāciju akumulācija cikliska slogojuma apstākļos

Jin, H., Guo, L., Sun, H. et al. «Energy-based evaluation of undrained cyclic behavior of marine soft clay under multidirectional simple shear stress paths» Acta Geotechnica, December 2023, Volume 18, Issue 12

Grunts stinguma parametri



Static Stiffness	Circular Footing
Vertical K_V	$K_V = \frac{4 * G * R}{1 - \nu}$
Horizontal K_H	$K_H = \frac{8 * G * R}{2 - \nu}$
Rotational K_θ	$K_\theta = \frac{8 * G * R^3}{3(1 - \nu)}$
Torsional K_T	$K_T = 16 * G * R^3$

Where

G : The shear modulus of the soil,

ν : The Poisson ratio,

R : The radius of the circular footing

B : the width of the strip footing and

L : the length of the strip footing

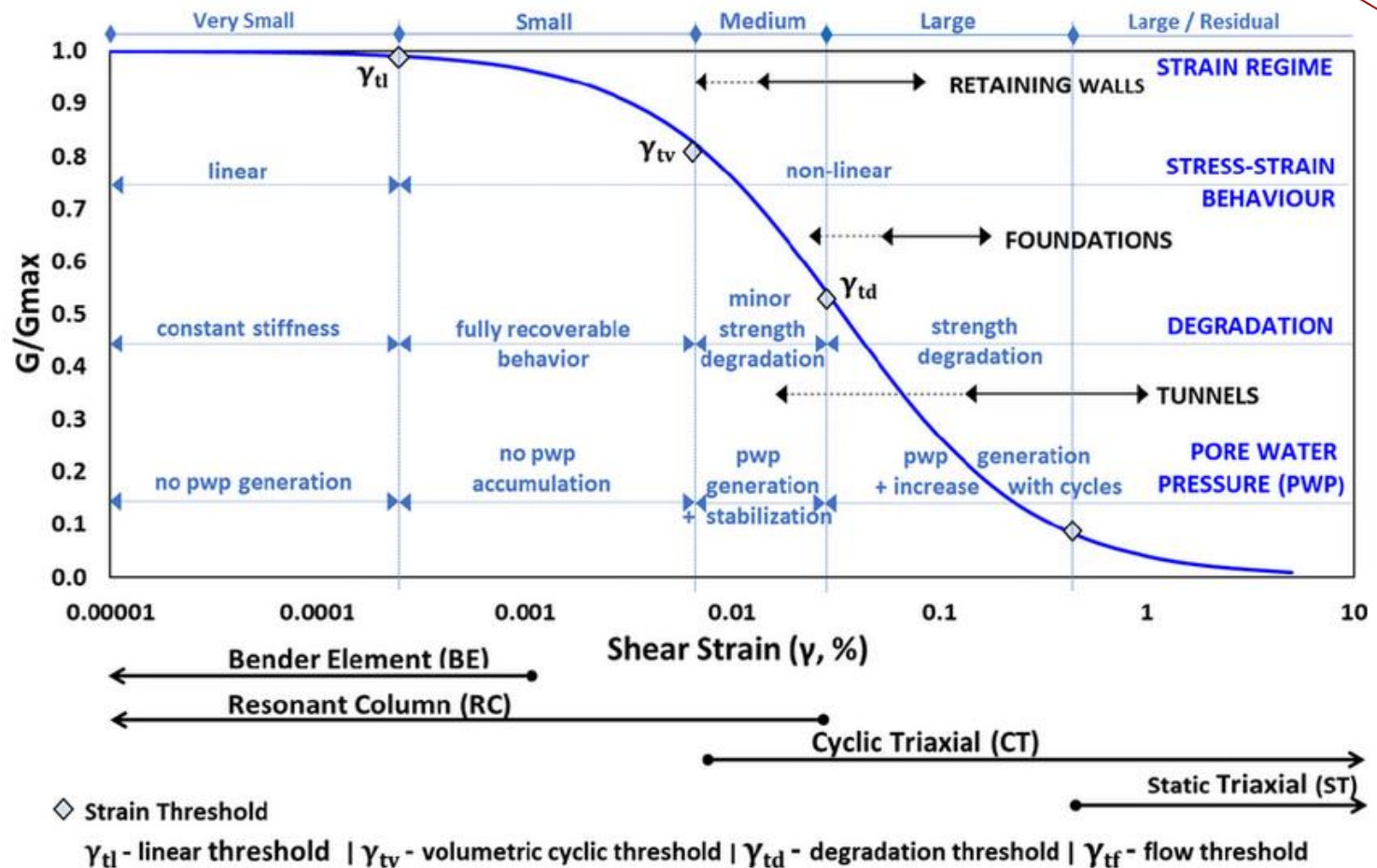
$$G = \frac{E}{2 * (1 + \nu)}$$

Stinga pamata konstrukcijas grunts stinguma parametri

<https://www.geoengineer.org/education/foundation-design-construction/soil-subgrade-reaction-in-rigid-foundations>

Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni. 2024. gada 26. janvāris

Grunts stinguma parametri



Grunts stinguma diapazoni un to testēšanas metodes

John Kok Hee Wong, Soon Yee Wong, Kim Yuen Wong «Extended model of shear modulus reduction for cohesive soils» Acta Geotechnica (2022) 17:2347–2363

Grunts stinguma modelis



Pasūtītājs: SIA "Ģeo Eko Risinājumi"
 Objekts: projektējams vēja ģeneratoru parks Kursišu pag., Saldus nov. T4.7.B

Laboratorijas pārskats 686-2023 Pasūtītājs: SIA "Ģeo Eko Risinājumi"
 11.5. PIELIKUMS Lpp 25 no 53 Objekts: projektējams vēja ģeneratoru parks Kursišu pag., Saldus nov. T4.7.B

Laboratorijas pārskats 686-2023
 11.5. PIELIKUMS Lpp 26 no 53

LG LATVIJAS ĢEOTEHNISKĀ LABORATORIJA
GRUNTSEKSPERTS
 Margrietas iela 7, Rīga, LV-1046
 mob. tālr. 29189829, latgeolab@gmail.com

LG LATVIJAS ĢEOTEHNISKĀ LABORATORIJA
GRUNTSEKSPERTS
 Margrietas iela 7, Rīga, LV-1046
 mob. tālr. 29189829, latgeolab@gmail.com

Pasūtītājs: SIA "Ģeo Eko Risinājumi", Ēveles iela 14-2, Rīga

Saspiežamība - kalkulācija Consolidation test - calculation	
Objekts: projektējams vēja ģeneratoru parks Kursišu pag., Saldus nov. T4.7.B	Parauga tips U - Undisturbed
Grunts nosaukums LVS EN ISO 14688-2:2020 Mālaina smalka SMILTS (māls ar zemu plastiskumu) (cl/Sa) ar granti	Lab. Nr. 686K325
	Urbuma Nr. - Parauga Nr. T4.7.B-10/11
	Dziļums, m 10.7-11.4
Datums 15.08.-8.09.2023.	

Pasūtītājs: SIA "Ģeo Eko Risinājumi", Ēveles iela 14-2, Rīga

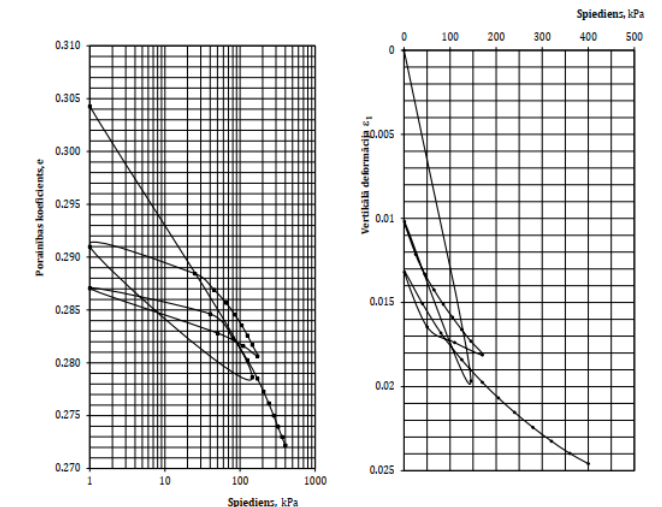
Saspiežamība - līknes	
Objekts: projektējams vēja ģeneratoru parks Kursišu pag., Saldus nov. T4.7.B	Parauga tips U - Undisturbed
Grunts nosaukums LVS EN ISO 14688-2:2020 Mālaina smalka SMILTS (māls ar zemu plastiskumu) (cl/Sa) ar granti	Lab. Nr. 686K325
	Urbuma Nr. - Parauga Nr. T4.7.B-10/11
	Dziļums, m 10.7-11.4
Datums 15.08.-8.09.2023.	

Testēšanas metode LVS EN ISO 17892-5:2017	
Aparāta Nr. 9	Parauga diametrs, mm 71.3
Augstums H ₀ , mm 24.57	
Bilvums, ρ, Mg/m ³ 2.29	Dalīju augstums, mm 18.84
Minerālāļļu bilvums 2.69	
Mitrums, w, % 11.3	Sākuma porainības koeficients e ₀ 0.304

Testēšanas metode LVS EN ISO 17892-5:2017

PORAINĪBAS KOEFICIENTS				SASPIEŽAMĪBA			
Pakāpes Nr.	Spiediens σ ₁ , kPa	Summārāsaspiede (ΔH - y), mm	Relatīvā deformācija e	Konsolidācija parauga b	Porainība s	Pakāpes augstuma izmaiņas Δσ ₁ , kPa	Pakāpes spiediena izmaiņas Δσ ₁ , kPa
					$e = \frac{H_0 - H}{H_0}$	$m_p = \frac{1}{MPa}$	$E_{oed} = \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta e}$
0	0	0	0	24.57	0.304	0	0
1	145	0.483	0.020	24.09	0.279	0.483	145
2	1	0.25	0.010	24.32	0.291	-0.233	-144
3	25	0.298	0.012	24.27	0.288	0.048	24
4	45	0.327	0.013	24.24	0.287	0.029	20
5	65	0.35	0.014	24.23	0.286	0.023	20
6	85	0.371	0.015	24.20	0.285	0.021	20
7	105	0.39	0.016	24.18	0.284	0.019	20
8	125	0.408	0.017	24.16	0.283	0.018	20
9	145	0.425	0.017	24.15	0.282	0.017	20
10	170	0.445	0.018	24.13	0.281	0.02	25
11	110	0.427	0.017	24.14	0.282	-0.018	-60
12	50	0.404	0.016	24.17	0.283	-0.023	-60
13	1	0.324	0.013	24.25	0.287	-0.08	-49
14	40	0.37	0.015	24.20	0.285	0.046	39
15	80	0.413	0.017	24.16	0.282	0.043	40
16	125	0.452	0.018	24.12	0.280	0.039	45
17	170	0.485	0.020	24.09	0.279	0.033	45
18	205	0.508	0.021	24.06	0.277	0.023	35
19	240	0.529	0.022	24.04	0.276	0.021	35
20	280	0.551	0.022	24.02	0.275	0.022	40
21	320	0.571	0.023	24.00	0.274	0.02	40
22	360	0.589	0.024	23.98	0.273	0.018	40
23	400	0.604	0.025	23.97	0.272	0.015	40

Saspiežamība - log spiediens / porainības koeficienta līkne Saspiežamība - spiediena / vertikālā deformācijas līkne



Piezīmes	Paraugu testēja	Laboratorijas vadītāja	Laboratorijas pārskats 686-2023
	A. Terentjevs	S. Terentjeva	Testēšanas rezultāti 3.3.5.
			Lpp 1 no 2

Laboratorijas pārskats 686-2023
Testēšanas rezultāti 3.3.5.
Lpp 2 no 2

Latvijas Ģeotehniskā Laboratorija „Gruntsekspersts”

Latvijas Ģeotehniskā Laboratorija „Gruntsekspersts”

Odometra tests – Grunts stinguma modelēšana

Projektējams vēja ģeneratoru parks, Kursišu pagastā, Saldus novadā, SIA “Ģeo Eko Risinājumi” 2023.g.

Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni. 2024. gada 26. janvāris

Grunts sākotnējais stingums

(Geotechnical properties - Type of clay)		Correlation (Geotechnical properties - Type of clay)	Reference
$G_{\max(1)} = 1230 \frac{(2.97 - e)^2}{(1 + e)} \sigma_m^{0.5} \text{OCR}^K$ (e:0.5-2, PI:2-85%, <i>Kaolinite and Boston blue clay</i>)	Hardin and Black (1969)	$G_{\max(2)} = 5000 e^{-1.5} \sigma_v^{0.5} \sigma_r^{0.5}$ (LL:71-127%, PI:28-116% e:0.5-4.5, <i>Ariake clay</i>)	Shibuya and Tanaka (1996)
$G_{\max(2)} = 3230 \frac{(2.97 - e)^2}{(1 + e)} \sigma_m^{0.5} \text{OCR}^K$	Kim and Novak (1981)	$G_{\max(2)} = 24000(1 + e)^{-2.4} \sigma_v^{0.5} \sigma_r^{0.5}$ (LL:41-120%, PI:19-59% e:0.5-4.5, <i>reconstituted clay samples</i>)	Shibuya et al. (1997)
$G_{\max(2)} = 1576 \frac{(2.97 - e)^2}{(1 + e)} \sigma_m^{0.5} \text{OCR}^K$ (e:0.5-1.4, PI:12-30% OCR:1.8-6.8, <i>Ontario clay</i>)		$E_{\max(1)} = 375 e^{-2.44} \sigma_v^{0.5}$ (e:0.8-1.1, <i>Boston clay</i>)	Santagata et al (2005)
$G_{\max(1)} = 3270 \frac{(2.97 - e)^2}{(1 + e)} \sigma_m^{0.5} \text{OCR}^K$	Kokusho et al. (1982)	$G_{\max(2)} = \frac{358 - 3.8PI}{0.4 + 0.7e} \sigma'_m$ (LL:50-92%, PI:22-37%, e:0.7-2.3, <i>clay of five offshore sites</i>)	Kagawa (1992)
$G_{\max(2)} = 90 \frac{(7.32 - e)^2}{(1 + e)} \sigma_m^{0.6} \text{OCR}^K$ (e:1.5-4, PI:40-100%, <i>Teganuma clay</i>)		$\frac{E_{\max(1)}}{\sqrt{p'}} = \frac{750}{e} \text{ (LL > 50\%)}$	Hicher (1996)
$G_{\max(2)} = 4500 \frac{(2.97 - e)^2}{(1 + e)} \sigma_m^{0.5} \text{OCR}^K$ (e:1.1-1.3, PI:35%, <i>Kaolinite</i>) (4.40 - e) ²	Marcuson and Wahles (1972)	$\frac{E_{\max(1)}}{\sqrt{p'}} = \frac{450}{e} \text{ (LL < 50\%)}$ (e:0.4-1.8, <i>not specified</i>)	
		$\frac{G_{\max(2)}}{P_a} = A \left(\frac{P'}{P_a}\right)^n R_0^m$ (OCR:1-8, <i>Kaolinite clay</i>)	Viggiani and Atkinson (1995)

Empīriskas sakarības – šķērsstingumu (G) moduļa atvasinātās vērtības

Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni. 2024. gada 26. janvāris

Grunts dinamisko īpašību testēšana

Table 13.1 Investigation methods for soils subjected to cyclic, dynamic and impact effects

Test suitability: ++ very good + good o limited - unsuitable	Investigated parameter					
	Investigation methods	Porewater pressure development	Increase/decrease of shear strength	Volume change	Minor distortions	Material damping
<i>Laboratory testing</i>						
Cyclic triaxial test (undrained)	++	+	-	o	o	-
Cyclic triaxial test (drained)	-	+	++	o	o	-
Cyclic simple shear test (constant volume)	++	+	-	o	o	-
Cyclic simple shear test (drained)	-	+	++	o	o	-
Cyclic box shear test (drained)	-	+	+	o	o	-
Cyclic box shear test (drained) under CNS (constant normal stiffness) conditions	-	+	+	o	-	-
Cyclic uniaxial compression test with lateral constraint (oedometer test)	-	o	+	-	o	-
Cyclic torsion test (undrained)	+	+	-	o	o	-
Cyclic torsion test (drained)	-	+	+	o	o	-
Resonant column test	-	+	o	++	++	++
Bender (piezo) element test, tension-compression (piezo) element test	-	-	-	+	-	++
<i>Field investigations</i>						
Shallow geophysics (reflection/refraction seismics, harmonic resonator)	-	-	-	+	-	+
Downhole geophysics (cross-hole, down/up-hole)	-	-	-	+	-	+
Seismic piezocone (SCPTU)	+	-	-	+	-	+
Cyclic dilatometer test	-	+	-	-	o	-



(a)



(b)

$$G_0 = \rho * V_s^2$$

$$G = \frac{E}{2 * (1 + \nu)}$$

Grunts sākotnējais stingums

The shear modulus is largest at very low strains and decreases with increasing shear strain. It has generally been found that the initial maximum shear modulus is constant for shear strains less than about $10^{-3}\%$. This initial, small strain modulus is often denoted G_o .

Mayne and Rix (1993) showed that the small strain shear modulus varied with void ratio (e) and cone penetration resistance (q_t) for a wide range of clays and can be expressed as:

$$G_o = 99.5 (p_a)^{0.305} \frac{(q_t)^{0.695}}{(e_o)^{1.130}} \quad (5.30)$$

where:

p_a = atmospheric reference stress in the same units as G_o and q_t .

The strong dependence of G_o upon void ratio (e) requires that CPT q_c is only successful as a profiler of G_o if comparison profiles of e_o are known.

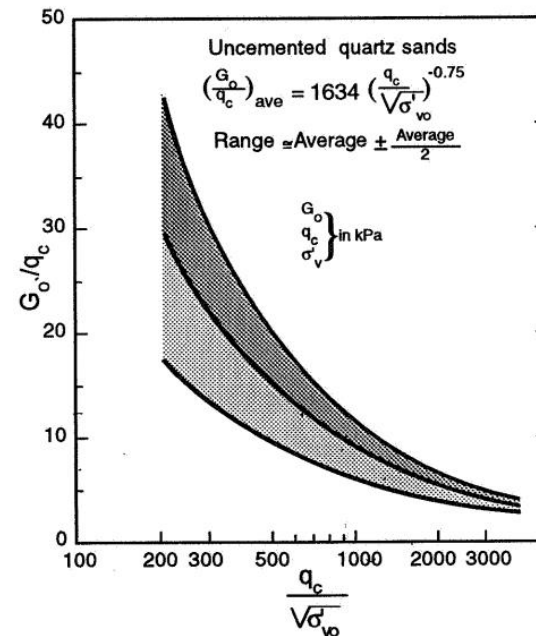


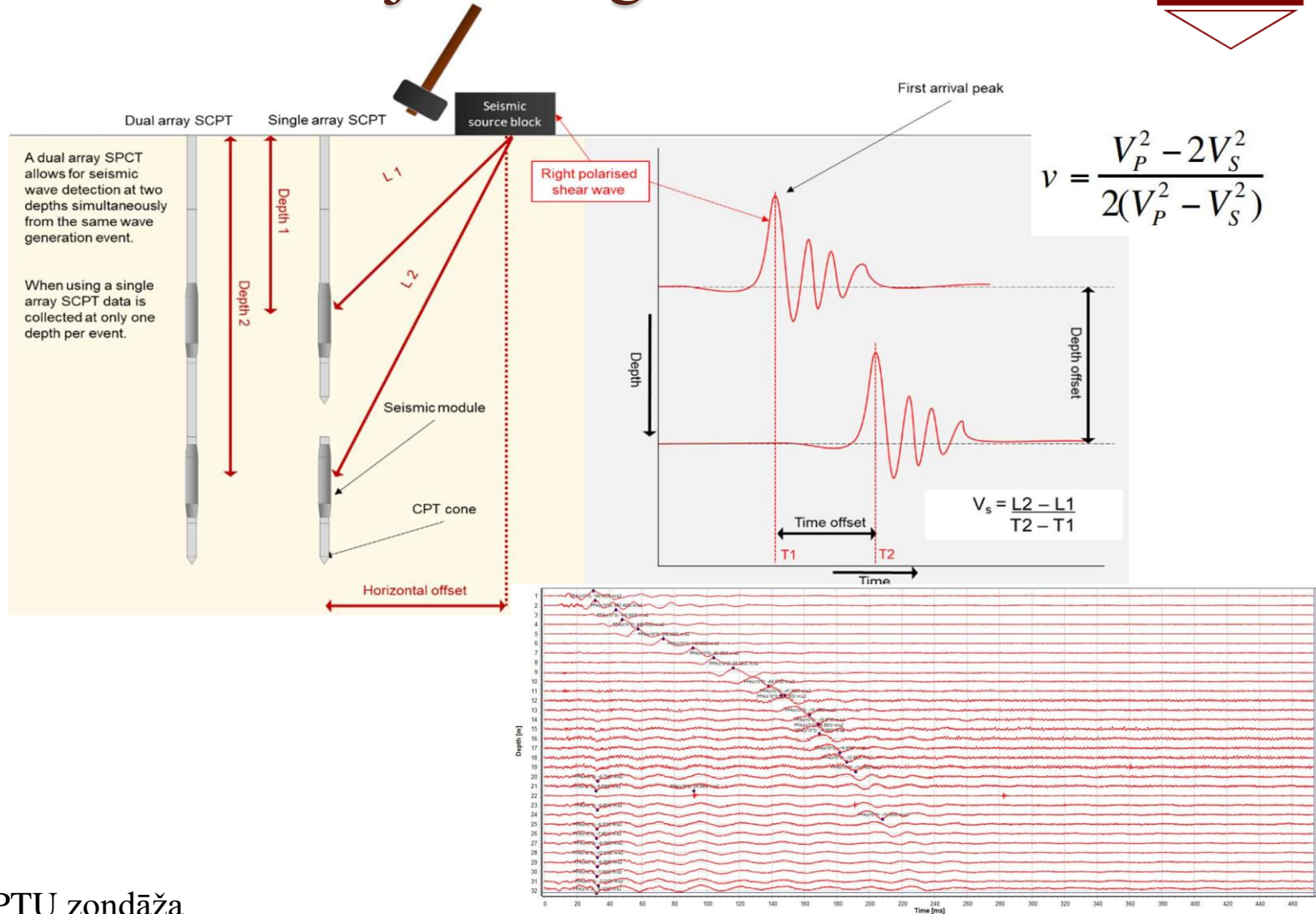
Figure 5.61 G_{max}/q_c (after Rix and Stokoe, 1992).

Empīriskas sakarības – šķērsstingumu (G) moduļa atvasinātās vērtības

T. Lunne, J.J.M. Powell, P.K. Robertson «Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice»

Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni. 2024. gada 26. janvāris

Grunts sākotnējais stingums



SCPTU zondāža

«PIENAVAS VĒJA PARKS PAMATNES ĢEOTEHNISKĀ PRIEKŠIZPĒTE» SIA “Markvarta ģeotehniskais birojs”, 2023.g.

Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni. 2024. gada 26. janvāris

Jautājumi?



Dinamiski slogotu pamatu mijiedarbība ar pamatni. 2024. gada 26. janvāris