



**ANDREASEN
& HVIDBERG**



TRÆ
Information

jens jakob porsmose - geotekniker

1

Geoteknisk firma siden 1968

Stor geoteknisk database med mere end 70.000 borer, 30 ingeniører, geologer, teknikere og boreformænd.

Arbejdsområder

- **Geoteknik**
 - Undersøgelser onshore/offshore
 - Beregninger / FEM (byggegruber, pæle m.m.)
 - Eget laboratorium
 - Belastningsforsøg
 - Tilsyn/Feltkontroller
 - Komprimeringskontroller
 - Vibrationsmålinger

- **Miljø**
 - Feltundersøgelser
 - §8, §19, §52.....
 - Due Diligence

Forskning i samarbejde med AAU



**ANDREASEN
& HVIDBERG**



2

PROGRAM



**ANDREASEN
& HVIDBERG**

- Præsentation
- Hvorfor er det vigtigt med geoteknik når vi snakker skruepæle
- Hvordan virker skruepæle – hvor er forskellen fra andre typer af pæle
- Hvordan dokumentere vi skruepælene
 - Installation
 - Test
 - Dokumentation
- Geoteknisk kategori og konstruktionsklasser
- Korrosionsbeskyttelse og bæreevne
- CO₂
- Hvordan kobler vi pælen til konstruktionen
- Hvordan gør vi tingene rigtigt

08-10-2025

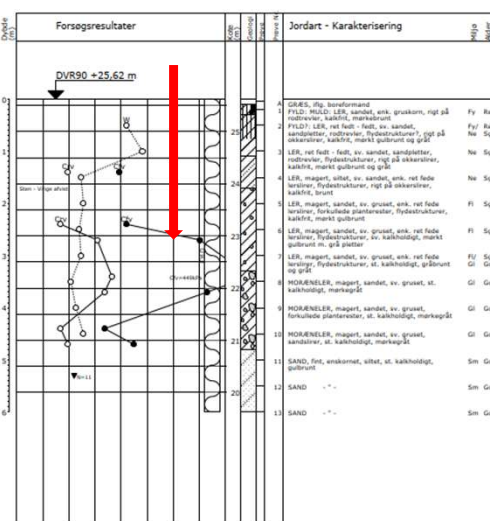
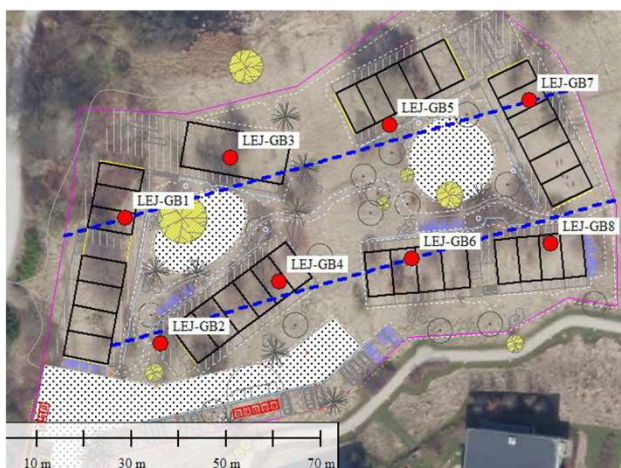
3

3

GEOTEKNIK



**ANDREASEN
& HVIDBERG**



08-10-2025

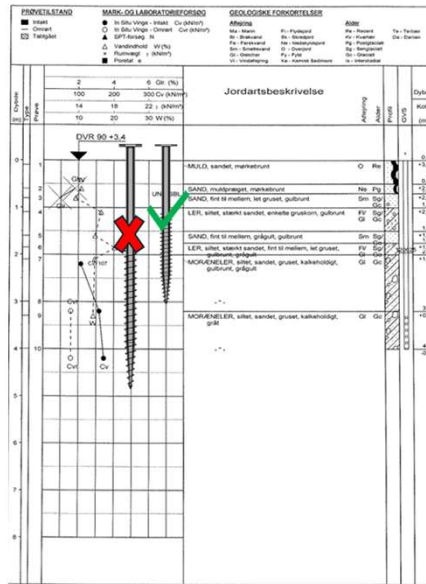
4

4

GEOTEKNIK



- Jordbundsundersøgelserne skal være ført minimum 2 meter under pælespids.
- Hele gevindet skal være placeret i det bæredygtige lag.
- Opmærksom på gennemlogning.
- Styrkeparametre skal baseres på test og ikke udelukkende på erfaring.



08-10-2025

5

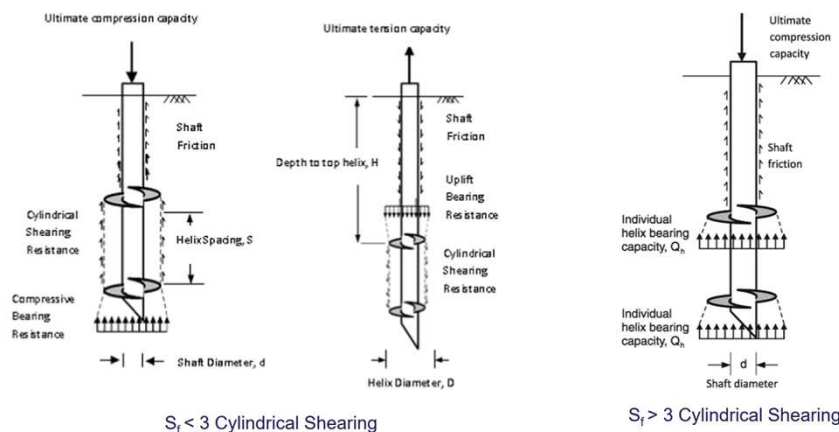
5

SKRUEPÆLE – INTERACTION MED JORD



Andreasen & Hvidberg
Svenstrup Bane Alle 11
9230 Svenstrup J

www.aogh.dk

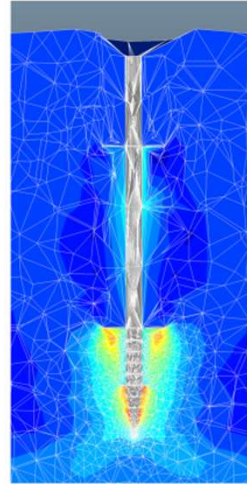
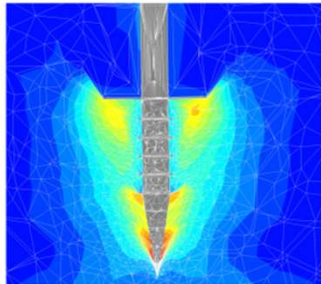
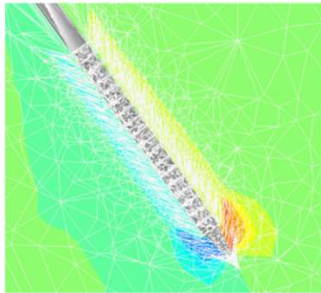


6

HVERT SKRUEPÆLSDESIGN GIVER EN UNIK BRUDFIGUR



Skrue pæl

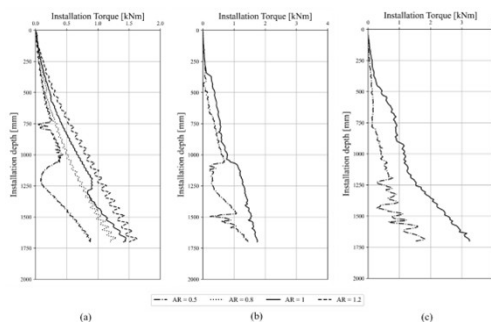


7

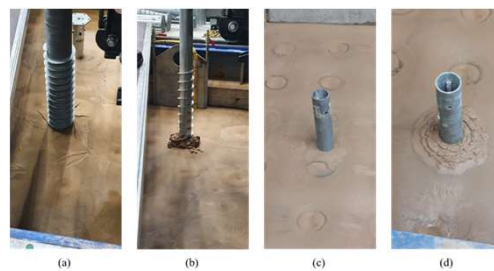
KONTROLLERET INSTALLATION



advancement rate study



- a) Installation curves for D76T10 pile installed with varying AR and a relative density of 78%
- b) Installation curves for D89T10 pile installed with AR of 0.5 and 1 and a relative density of 83%
- c) Installation curves for D76H100 pile installed with AR of 0.5 and 1 and a relative density of 83%








- Tapered screw piles and the soil surface during installation with
- a) AR = 1.0 and
 - b) AR = 0.5 installed in partially saturated sand and
 - c) AR = 1.0 and
 - d) AR = 0.5 installed in saturated sand.



8

PÆLETYPER

Pæletype	Materiale	Installation	Genanvendelighed	Miljøvurdering
Skruepæl (helix)	Stål	Skrues ned med moment	100% genanvendelig, kan genbruges direkte	 Lav – bæredygtig løsning
Præfabrikeret betonpæl	Beton	Rammes ned	Ikke genanvendelig, destrueres ved fjernelse	 Høj
Boret pæl (in-situ)	Beton	Bores og støbes	Delvist genanvendelig (betonaffald)	 Middel
Mikropæl	Stål/cement	Bores og injiceres	Begrænset genanvendelighed	 Middel-høj
Stålpæl (rør/H-profil)	Stål	Rammes/bores	Kan smeltes om, men ikke genbruges direkte	 Høj

08-10-2025

9

9

PÆLEDESIGN OG DOKUMENTATION

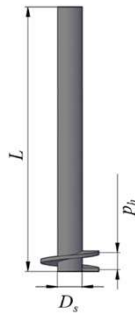


10

HVAD ER VIGTIGT NÅR VI INSTALLERE SKRUEPÆLE



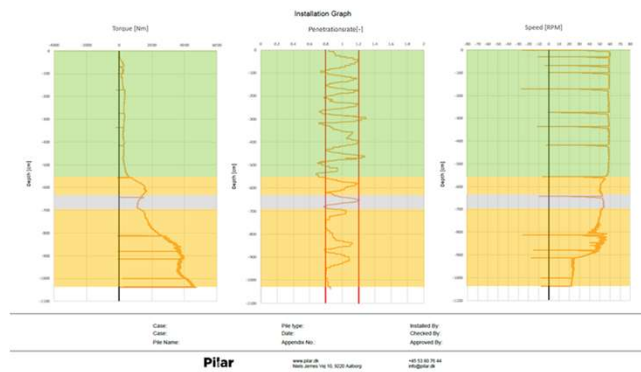
- Mål kontinuerligt: Torsion, Penetrationsrate og Installationshastighed for samtlige pæle.
- Penetrationsraten bør holdes til ≈ 1 , (forhold imellem gevindstigning af skruepæl og installationsdybde pr. omgang) – Der risikeres at opnå et tab på op til 70% af bæreevne.
- Installationshastighed skal holdes identisk for alle pæle for at kunne sammenligne installationsenergien. Det anbefales at holde hastigheden < 20 RPM i bæredygtigt jord.
- Installationslog er et krav, uden dette skal hvert eneste pæl prøvebelastes.



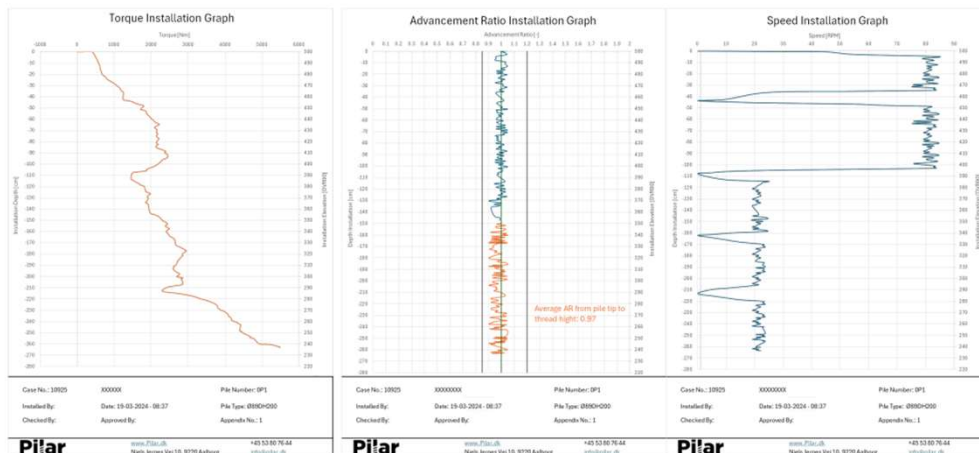
$$\text{Penetrationsraten} = \Delta z / P_h$$

Δz = Installationsdybde pr. omgang.
 P_h = Gevindstigning.

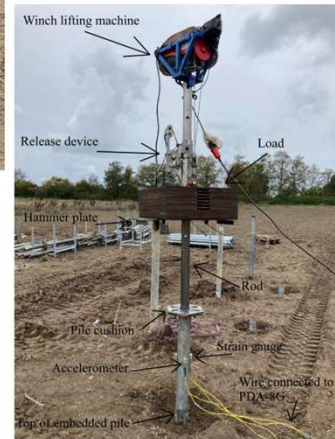
Penetrationsraten = 1: Perfekt installation.



08-10-2025



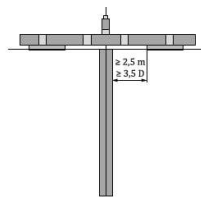
Typer af test som kan udføres på skruepæle



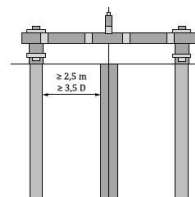
13

Hvor meget skal der testes

- Prøvebelastning på min 5% af pæle (min. 3 stk.), for hver pælegeometri ISO 22477-2:2023(E) (pæletype og længde), og jordtype.
- Opmærksom på statisk prøvebelastnings-setup, og tjek at der minimum er 1,5 meters afstand imellem testpælen testudstyrs placering på jorden / modholdspæl.
- Hvis der udføres statisk tryk belastning og modholdspæle indgår i produktion, skal det dokumenteres at disse modholdspæle ikke bevæger sig under test, som vil resultere i et hulrum under spidsen af dem.



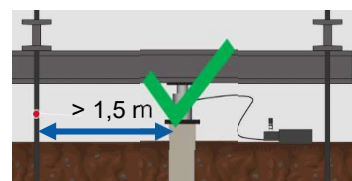
a) Shallow foundations



b) Compression piles

Figure 1 — Minimum clear distances between test pile and reaction system

For static pile load tests on piles with a diameter smaller than 300 mm, these distances may be reduced. However, the minimum clear distance shall be 1,5 m.

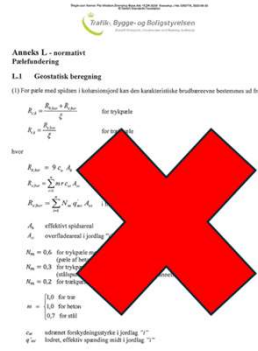


14

DIMENSIONERING -



- Geostatistiske beregninger kan udelukkende bruges til tilbudsestimater og ikke til selve dokumentationen. Dette skyldes, at selv små ændringer i geometri har store konsekvenser for bæreevnen, og derfor findes der ikke en universel formel, der kan prædikere bæreevnen for skruepæle.
- Selv hvis der blev opfundet / korreleret en formel, der præcist kunne prædikere bæreevnen, ville den ikke kunne bruges til dokumentation. Da bæreevnen er stærkt afhængig af installationen.



Practical Piles

A Practical Guide to Design and Installation

Howard A. Perko, Ph.D., P.E.

08-10-2025

15

15

SIKKERHEDSANALYSE – NU



Sikkerheds analyse – Nuværende sikkerhed

Korrelationsfaktor ξ

$$F_{c,d} \leq R_{c,d} = \frac{R_{c,k}}{\gamma_R}; \quad R_{c,k} = \frac{R_{b,cal} + R_{s,cal}}{\xi}$$

A.3.2.3 Korrelationsfaktor ξ til udlædning af karakteristiske værdier ud fra rammemodstand

(1)P Den karakteristiske brudbæreevne:

$$R_{c,k} = \frac{R_{c,m}}{\xi}$$

skal udlædes af beregningsregler baseret på efterviste sammenhænge mellem resultaterne af statiske belastningsforsøg og resultater fra indfremning. Disse beregningsregler skal være udformet på en sådan måde, at brudbæreevnen ved brug af karakteristisk værdi $R_{c,k}$ i gennemsnit ikke overstiger den målte brudbæreevne divideret med

- $\xi = 1.5$, hvor bæreevnen er baseret på en rammeformel
- $\xi = 1.25$, hvor bæreevnen for den betragtede pæl desuden er analyseret ved stødbølgemålinger
- $\xi = 1.4$ for de pæle, hvor stødbølgemålingen er repræsentativ i relation til bl.a. pæledimension, installationsmetode og jordbundsforhold.

A.3.2 Korrelationsfaktorer for pælefundamenter

A.3.2.1 Korrelationsfaktor ξ til udlædning af karakteristiske værdier ud fra statiske pælebelastningsforsøg

(1)P Ved fastlæggelse af den karakteristiske brudbæreevne $R_{c,k}$ ud fra værdier af $R_{c,m}$ målt i ét eller flere pælebelastningsforsøg skal der tages hensyn til variationen i jordbundsforholdene og til indflydelsen af pæleindbringningen. Den karakteristiske brudbæreevne bestemmes som:

$$R_{c,k} = \frac{R_{c,m}}{\xi}$$

hvor

- $\xi = 1.1$ for selve de prøvebelastede pæle
- $\xi = 1.25$ for de øvrige pæle, hvor pælebelastningsforsøgene er repræsentative jf. DS/EN 1997-1, 7.5.2 og 7.6.2.2.

A.3.2.2 Korrelationsfaktor ξ til udlædning af karakteristiske værdier ud fra jordparametre bestemt ved geotekniske undersøgelser

(1)P Den karakteristiske brudbæreevne:

$$R_{c,k} = \frac{R_{c,m}}{\xi}$$

skal udlædes af beregningsregler baseret på efterviste sammenhænge mellem resultaterne af statiske belastningsforsøg og resultaterne af mark- eller laboratorieforsøg. Disse beregningsregler skal være udformet på en sådan måde, at brudbæreevnen ved brug af karakteristisk værdi $R_{c,k}$ ikke overstiger den beregnede eller målte brudbæreevne divideret med

- $\xi = 1.5$, hvor bæreevnen er baseret på en geostatisk beregning
- $\xi = 1.25$, hvor bæreevnen for den betragtede pæl desuden er analyseret ved stødbølgemålinger, som støtter den geostatistiske beregning
- $\xi = 1.4$ for de pæle, hvor stødbølgemålingen er repræsentativ i relation til bl.a. pæledimension, installationsmetode og jordbundsforhold.

(2)P Beregningsreglerne skal være baseret på anerkendt dokumentation. En analytisk metode til bæreevnebestemmelse er angivet i nationalt annekset L.

(3)P Bæreevne for borede pæle skal bestemmes i henhold til angivelserne i nationalt annekset L.

NOTE - Bæreevne for CFA-pæle skal bestemmes som for borede pæle.

16

SIKKERHEDSANALYSE – NU



Sikkerheds analyse – Nuværende sikkerhed

Partialkoefficient γ_R

$$F_{c,d} \leq R_{c,d} = \frac{R_{c,k}}{\gamma_R} ; R_{c,k} = \frac{R_{b,cal} + R_{s,cal}}{\xi}$$

$$\gamma_R = 1.3 * 1.5 = 1.95$$

Tabel A.3.2 NA Partialkoefficienter for STRGEO-dimensionering: Pæle og ankre

Dimensioneringsmetode		3				
Grænseforhold		STRGEO				STR
Lastkombination		1	2	3	4	5
Partialkoefficienter for last, ref. (2.6a) ¹⁾		γ	A1* eller A2 ²⁾			
Permanent last ³⁾	Tyngde, generelt ⁴⁾	Ugensigt	1,2 K_{G1} ⁵⁾	1,0 K_{G1}	1,2 ⁶⁾	1,0
	Gennemsnit	Ugensigt	1,0	0,9	1,0	0,9
Tyngde af jord og grundvand, geotekniske konstruktioner ⁷⁾	Ugensigt	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	Gennemsnit	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Vægtet last	Dominerende	Ugensigt	1,5 K_{G1}	0	1,5 ψ_{01}	0
	Øvrige	Ugensigt	1,5 $\psi_{01} K_{G1}$	0	1,5 ψ_{01}	0
Tryk/laster, trykbelastning ⁸⁾	Dominerende	Ugensigt	1,4 K_{G1} ⁵⁾	0	1,4 ⁶⁾	0
	Ikke-dominerende	Ugensigt	1,4 $\psi_{01} K_{G1}$	0	1,4 ψ_{01}	0
Partialkoefficienter for jordparametre ref. ligning (2.7a)		γ_{M2}	M2			
Friktionsvinkel ⁹⁾		γ_{ϕ}	-	-	-	-
Effektiv kohæsion		γ_c	-	-	-	-
Udrettet trykvedhæftningsværdi		γ_{σ}	-	-	-	-
Skævt trykvedhæft		γ_{τ}	-	-	-	-
Rumtægt		γ_{ρ}	1,0	1,0	1,0	1,0
Partialkoefficienter for modstandsværdi ref. ligning (2.7b)		γ_{M3}	M3			
Spidsmodstand af trykplivirkede pæle		γ_p	1,3	1,3 K_{G1}	-	-
Overflademodstand af trykplivirkede pæle		γ_s	1,3	1,3 K_{G1}	-	-
Total kombineret modstandsværdi af trykplivirkede pæle		γ	1,3	1,3 K_{G1}	-	-
Overflademodstand af trykplivirkede pæle		γ_s	1,3	1,3 K_{G1}	-	-
Ankre, brudbæreværdi		$\gamma_{a,b}$	1,3	1,3 K_{G1}	-	-
Ankre, guldtrådsforankring		$\gamma_{a,t,d}$	1,3	1,3 K_{G1}	-	-
Faktor på partialkoefficient for styrkeparametre og beregning for konstruktionsmaterialer jf. DSN EN 1992 - DSN EN 1996 og DSN EN 1999		γ	1,0	1,0	K_{G1}	K_{G1}

SIKKERHEDSANALYSE – EC 0– A. D



Sikkerheds analyse jf. Eurocode 0 Anneks D

Overordnet steps:

b (bias) $\rightarrow \Delta_i$ (Estimeret værdi) $\rightarrow \bar{\Delta}_i$ (Estimeret middel værdi) $\rightarrow s_{\Delta}$ (Standardafvigelse) $\rightarrow V_{\Delta}$ (Variationskoefficient)

Beregningskema struktur:

r_e [kN]	r_t [kN]	r_e/r_t	$r_e \cdot r_t$	r_t^2	$r_e/r_t/b$	$\ln(r_e/r_t/b)$
Middel		SUM	SUM			Middel

Bias bestemmes med følgende formel:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N r_e \cdot r_t}{\sum_{i=1}^N r_t^2} \quad s_{\Delta}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2 = \sigma \left(\ln \left(\frac{r_e}{r_t/b} \right) \right)$$

SIKKERHEDSANALYSE – OPSUMMERING



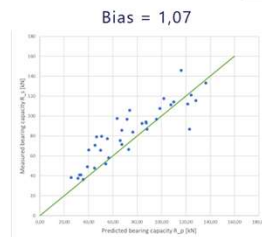
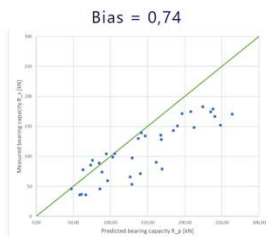
Skrue	γ_{EC}	γ_M	Bias b	n
R_{ec}	1,40	1,32	1,07	38
$R_{40 \text{ mm}}$	1,38	1,31	0,91	35
$R_{50 \text{ mm}}$	1,42	1,33	0,85	35
$R_{100 \text{ mm}}$	1,62	1,41	0,74	36

Helix	γ_{EC}	γ_M	Bias b	n
R_{ec}	1,59	1,40	0,87	30
$R_{40 \text{ mm}}$	1,47	1,35	0,83	30
$R_{50 \text{ mm}}$	1,50	1,36	0,81	28
$R_{100 \text{ mm}}$	1,59	1,37	0,77	22

Når bias < 1 så vil bæreevnerne fra modellen være mindre end den målte bæreevne.

$$F_{c,d} \leq R_{c,d} = \frac{R_{c,k}}{\gamma_R} ; R_{c,k} = \frac{R_{b,cal} + R_{s,cal}}{\xi}$$

$$\gamma_R = 1,3 * 1,5 = 1,95$$



19

GEOTEKNISK KATEGORI OG KONSTRUKTIONSKLASSER



- ◆ **1. Geoteknisk kategori (GC) – Eurocode 7**
 - EN 1997-1 §2.1 (3)P + Annex A (A.3.2, Table A.3) → Pælefundering = altid Geoteknisk Kategori 2 (eller højere).
- ◆ **2. Konstruktionsklasse (KK) – BR18**
 - §487: konsekvensklasse fastsættes (CC1–CC3). §489, stk. 1: KK1 er muligt for CC2-bygninger, men kun ved simple/traditionelle løsninger, hvilket pæle fundamenter ikke er.
 - §488, stk. 2–3: utraditionelle konstruktioner → højere KK.
- ◆ **3. Sammenkædningen i praksis**
 - Fordi pæle er **Geoteknisk kategori 2** iht. Eurocode 7, er de *ikke* "simple works" da dette er (Geoteknisk Kategori 1). Dermed kan de ikke være i KK1.
 - Hvis pælene dokumenteres via en traditionel metode, så som installationsenergien for fortrængningspæle:
 - Ved rammede pæle er det målinger af faldehammer vægt, faldhammer faldhøjde og nedsynk pr. slag.
 - Og ved skruepæle er det torsionsmodstand, rotationshastighed og penetrationsrate,
 - Så er kan de typisk/argumenteres for at være i **KK2**.
 - Hvis pælene dokumenteres utraditionelle (fx rammede pæle uden at have indramningsresultaterne, eller skruepæle uden at have, torsion, hastighed og penetrationsrate) så baseres bæreevnen på en utraditionel metode, hvilket resulterer i at funderingsafsnittet så løftes til **KK3**.

Husk det er kun fundamentet der løftes til KK2 og ikke hele byggeriet. Men Pæle har aldrig kunne være i KK1!

08-10-2025

20

20

SKRUEPÆLE TRADITIONEL VS. UTRADITIONEL



- En skruepæl betragtes som en fortrængningspæl (eller delvist fortrængningspæl) på linje med rammede pæle.
For rammede pæle dokumenteres bæreevnen gennem måling af installationsenergien, hvor man registrerer nedsyknning pr. slag, antal slag, faldhøjde, hammerens vægt samt effektivitetsfaktoren.
- For skruepæle sker dokumentationen på tilsvarende måde, men med andre parametre:
 - **Torsion** (målt direkte, ikke via olietryk)
 - **Penetrationsrate** (advance pr. omdrejning i forhold til pælens pitch)
 - **Installationshastighed** (rotationshastighed under indskrugging)
- For rammede pæle kan installationsenergien korreleres til bæreevne via en empirisk formel, den danske rammeformel.
En tilsvarende generel formel findes ikke for skruepæle, hvorfor installationsenergien i stedet skal korreleres til bæreevne gennem belastningsforsøg.
- Konklusion:
Hvis installationsenergien for skruepæle måles korrekt (torsion, penetrationsrate og hastighed), er der tale om en **traditionel dokumentationsmetode** på lige fod med rammede pæle.
- Hvis der ikke måles på alle relevante installationsparametre, er metoden derimod at betragte som **utraditionel**.

21

21

SKRUEPÆLE TRADITIONEL VS. UTRADITIONEL



Skruepæle – Traditionel vs. Utraditionel



Rammede pæle	Skruepæle
Fortrængningspæl	Fortrængningspæl / Delvis Fortrængningspæl
Bæreevne baseres på installationsenergi	Bæreevne baseres på installationsenergi
- Blivende deformation	- Torsion (Ikke olietryk)
- Faldhøjde (hastighed)	- Rotationshastighed (hastighed)
- Effektivitetsfaktoren	- Penetrationsraten
- Hammervægten	- Maskines Tryk og Torsionskraft.
Korrelation imellem installationsenergi og bæreevne = Den Danske Rammeformel	Korrelation imellem installationsenergi og bæreevne = Belastningsforsøg

22

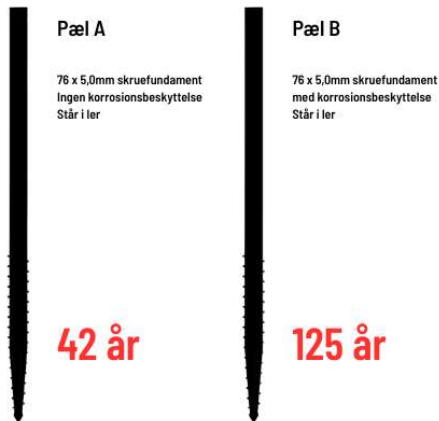
22

KORROSIONSBESKYTTELSE OG BÆREEVNE



Hvad betyder korrosionsbeskyttelse?

Begge skruefundamenter starter med en bæreevne på 145kN - hvornår har de kun 50 kN



	Zinc Corrosion Rate ($\mu\text{m} / \text{year}$)
Dry- Well drained Sand	1,5
Moderately moist Soil	3
High Moisture, Neutral pH	5
Acidic Soil (low pH < 5)	10
Contaminated / Salty Soil	20

EN 1993-5: 2007 (E)

Table 4-1: Recommended value for the loss of thickness [mm] due to corrosion for piles and sheet piles in soils, with or without groundwater

Required design working life	5 years	25 years	50 years	75 years	100 years
Undisturbed natural soils (sand, silt, clay, schist, ...)	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20
Polluted natural soils and industrial sites	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Aggressive natural soils (swamp, marsh, peat, ...)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Non-compacted and non-aggressive fills (clay, schist, sand, silt, ...)	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
Non-compacted and aggressive fills (ashes, slag, ...)	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75

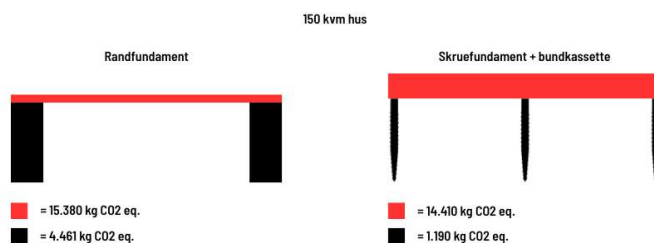
Notes:

1) Corrosion rates in compacted fills are lower than those in non-compacted ones. In compacted fills the figures in the table should be divided by two.

2) The values given for 5 and 25 years are based on measurements, whereas the other values are extrapolated.

23

CO₂ - BELASTNING



BESPARELSE

Terrændæk: 6%
Fundament: 73%

24

PUBLIKATIONER FRA AALBORG UNIVERSITET

- <https://vbn.aau.dk/da/publications/forslag-til-krav-til-dokumentation-af-st%C3%A5lskruep%C3%A6le-projekter>
- <https://vbn.aau.dk/da/publications/full-scale-laboratory-investigation-of-installation-effects-and-a>
- <https://vbn.aau.dk/da/publications/recommendation-execution-of-special-geotechnical-works-steel-scre>