

# Implementeringskommission för Europastandarder inom Geoteknik

Rapport 8:2008, Rev 3

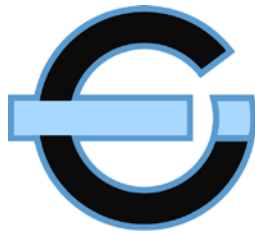
**Tillämpningsdokument**

EN 1997-1 Kapitel 7  
Pålgrundläggning



**Svenska Geotekniska Föreningen**  
Swedish Geotechnical Society





Implementeringskommission för  
Europastandarder inom Geoteknik

IEG Rapport 8:2008, rev 3

## Tillämpningsdokument

EN 1997-1 Kapitel 7, Pålgrundläggning

Framtagen av IEG

Stockholm 2008, reviderad 2010-09-27, reviderad 2016-04-20

**IEG Rapport** Implementeringskommissionen för  
Europastandarder inom Geoteknik

Beställning SGF  
Web: [www.sgf.net](http://www.sgf.net)

ISBN 978-91-85647-26-2  
Upplaga Digital

Version April 2016

## Förord

Denna rapport är upprättad på uppdrag av IEG (Implementeringskommissionen för Europastandarder inom Geoteknik). IEG är en ideell förening som verkar under Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien. Föreningen har till uppgift att initiera, samordna, genomföra och redovisa arbete som krävs för att kunna implementera Europastandarder inom Geoteknikområdet i Sverige.

Rapporten utgör ett tillämpningsdokument som är tänkt att vägleda användaren vid dimensionering av pålar i enlighet med SS-EN 1997-1 som är den svenska versionen av Eurokod 7, dvs inklusive den svenska nationella bilagan. Dokumentet kan användas tillsammans med aktuella europastandarder och Trafikverkets föreskrifter TRVFS 2011:12 respektive och Boverkets föreskrifter BFS 2015:6 (Boverket och Banverket) som bestämmer de nationella valen till eurokoderna.

Tillämpningsdokumentet beskriver resultatet av arbetet utfört i fas 1, fas 2 och fas 3 för ämnesområdet pågrundläggning. I IEG rapport fas 1 har skillnader mellan Europastandarden och svensk praxis identifierats och konsekvenserna av dessa beskrivits. I IEG rapport fas 2 (referens [11]) redovisas dimensioneringsgång och konsekvensanalyser. Rapporten utgör också underlag till den svenska nationella bilagan

Björn Nyblad (ELU konsult) har aktivt deltagit i utformandet och redigeringen av dimensioneringsexemplen som redovisas i bilagor till rapporten. I samband med revideringen har Razvan Ignat, (Skanska Teknik) dessutom medverkat vid utformning av metodiken för val av omräkningsfaktorn  $\eta$ .

Rapporten har granskats av Christer Hermansson (Europile) och Lovisa Moritz (Trafikverket). En beredningsgrupp för projektet har tillsatts som förutom granskarna har bestått av Gunilla Franzén (VTI). Synpunkter har även erhållits från beredningsgruppen, Gunnar Holmberg och Razvan Ignat, (båda Skanska Teknik), Per-Evert Bengtsson (SGI) samt Claes Alén (Chalmers). Den reviderade upplagan har granskats av Bo Berggren, (SGI) och Magnus Karlsson (Trafikverket). Författaren vill tacka för alla värdefulla synpunkter.

Svenska Geotekniska Föreningen, SGF, har sedan den 1 juni 2011 tagit över förvaltningen av IEG:s dokument. Under 2015/2016 har en mindre revidering genomförts, bl.a. för att samordna språket i samtliga Tillämpningsdokument och korrigera felaktigheter som noterats. Revideringen har gjorts utifrån underlag framtaget av Peter Alheid, Hercules, Håkan Karlsson, Skanska Teknik och Gary Axelsson, ELU konsult

Stockholm 2008-10-01,  
reviderad 2010-09-27 och 2016-04-20

Gary Axelsson, ELU Konsult



# Sammanfattning

Syftet med detta tillämpningsdokument är ge geotekniker och konstruktörer ett hjälpmedel vid dimensionering av pålgrundläggning enligt SS-EN 1997-1 med tillhörande svensk nationell bilaga. Dokumentet behandlar dimensionering av pålar avseende geoteknisk bärförmåga och konstruktiv bärförmåga i gränstillstånden GEO respektive STR.

Enligt SS-EN 1997-1 kan en dimensionering i brottgränstillstånd utföras genom användning av ett av tre dimensionerings sätt. För pålgrundläggning gäller enligt den svenska nationella bilagan däremot följande:

- Vid dimensionering genom beräkning eller provbelastning i gränstillståndet GEO ska dimensioneringssätt 2 (DA2) användas.
- Vid dimensionering av en geokonstruktions konstruktiva bärförmåga i gränstillståndet STR ska dimensioneringssätt 3 (DA3) användas.

Dimensionering genom beräkning av geoteknisk bärförmåga (GEO) i brottgränstillstånd omfattar bl a följande;

- Enskild påles bärförmåga för tryckbelastning; spets- och mantelmotstånd
- Enskild påles bärförmåga för dragbelastning; mantelmotstånd
- Enskild påles bärförmåga för transversalbelastning
- Pålgruppens bärförmåga med hänsyn till eventuell gruppverkan av t ex packning och blockbrott<sup>1</sup>.

Dimensionering genom beräkning av konstruktiv bärförmåga (STR) i brottgränstillstånd omfattar bl a följande:

- Påle utsatt för axiell belastning, tryck och drag
- Påle utsatt för transversallast och böjande moment
- Påle utsatt för dynamisk last eller utmattningslast

Dimensioneringen omfattar även påldetaljer såsom skarvar och spets.

Dimensionering av pålgrundläggning genom beräkning (GEO) på basis av geotekniska undersökningsresultat får enligt SS-EN 1997-1 utföras enligt två tillvägagångssätt:

- Modellpåleanalogi
- Kompletterande tillvägagångssätt

Dimensionering ska i första hand när så är möjligt utföras enligt modellpåleanalogin.

Partialkoefficienterna för pålar i SS-EN 1997-1, Tabell A.6 samt A.7 och A.8, uppsättning R2 har justerats upp med 0,1-0,15 i underlaget till den svenska nationella bilagan, TRVFS 2011:12. De något högre värdena för grävpålar och CFA-pålar jämfört med slagna pålar motiveras av större osäkerhet vid tillverkning och installation för insitu-tillverkade pålar.

I SS-EN 1997-1 anges att vald beräkningsmodell ska vara tillförlitlig eller ge fel på säkra sidan. I tillämpningsdokumentet redovisas modellosäkerheter för olika beräkningsmodeller och olika provbelastningsmetoder för friktionspålar, kohesionspålar respektive spetsbärande pålar. Modellosäkerheterna förutsätter att välbeprövade och väletablerade beräkningsmetoder och utvärderingsmetodik används vid dimensioneringen. Dessa värden är endast rådgivande. I detta tillämpningsdokument ges även information avseende utförande, kontroll, uppföljning och dokumentation av pålgrundläggning.

---

<sup>1</sup> Blockbrott motsvarar brott hos pålgruppen bestående av pålar inklusive innesluten jord, se SS-EN 1997-1, paragraf 7.6.2.1

## Summary

The main purpose of this document is to provide guidance to geotechnical and structural engineers in the design of pile foundations in accordance with Eurocode 7 including the Swedish national annex.

The design guide is primarily focused on geotechnical design and structural design in the limit states GEO and STR respectively.

According to SS-EN 1997-1, the design approaches DA2 is to be used in the limit state GEO and DA3 is to be used in the limit state STR. Furthermore, design in DA2 is primarily to be undertaken in accordance with the model pile procedure.

The design guide gives recommendations for model factors with regard to various design methods and testing methods.

The design guide also provides information regarding pile installation, documentation, quality assurance and supervision.





# Innehåll

FÖRORD.....	I
SAMMANFATTNING .....	III
SUMMARY.....	IV
<b>1 INLEDNING.....</b>	<b>1</b>
<b>2 ORDLISTA OCH DEFINITIONER .....</b>	<b>2</b>
<b>3 UNDERLAG FÖR PROJEKTERING .....</b>	<b>3</b>
3.1 Fält- och laboratorieundersökningar .....	3
3.2 Från mätdata till dimensionerande värde.....	3
3.3 Övrigt underlag .....	4
<b>4 PROJEKTERING .....</b>	<b>4</b>
4.1 Dimensioneringsförutsättningar .....	4
4.1.1 Geoteknisk kategori .....	4
4.1.2 Säkerhetsklass.....	5
4.1.3 Laster och lasteffekter i brottgränstillstånd .....	5
4.1.4 Laster och lasteffekter i bruksgränstillstånd.....	8
4.2 Dimensionering i brottgränstillstånd (GEO).....	8
4.2.1 Dimensionering genom beräkning.....	8
4.2.2 Dimensionering genom hävdvunna åtgärder.....	13
4.2.3 Dimensionering genom provbelastning .....	14
4.2.4 Dimensionering genom observationsmetoden.....	15
4.3 Dimensionering i brottgränstillstånd (STR).....	15
4.3.1 Dimensionerings sätt.....	15
4.3.2 Beräkning av dimensionerande värde för geoteknisk parameter (STR).....	16
4.3.3 Omräkningsfaktor, $\eta$ .....	16
4.3.4 Modellfaktor .....	17
4.3.5 Beräkningsmodell för böjknäckning.....	17
4.3.6 Delfaktorer för böjknäckning.....	17
4.3.7 Delfaktorer för transversalbelastning .....	19
4.3.8 Val av partialkoefficienter .....	19
4.4 Dimensionering i bruksgränstillstånd .....	20
4.4.1 Dimensioneringskrav.....	20
4.4.2 Dimensionering genom beräkning.....	20
4.4.3 Dimensionering genom hävdvunna åtgärder.....	20
4.4.4 Dimensionering genom modellförsök och provbelastning.....	20
4.4.5 Dimensionering genom observationsmetoden.....	20
<b>5 MATERIALKRAV .....</b>	<b>20</b>
<b>6 UTFÖRANDE .....</b>	<b>21</b>
<b>7 UPPFÖLJNING OCH KONTROLL.....</b>	<b>22</b>
<b>8 DOKUMENTATION.....</b>	<b>22</b>
<b>9 REFERENSER .....</b>	<b>23</b>

# 1 Inledning

Syftet med detta tillämpningsdokument är att ge geotekniker och konstruktörer ett hjälpmedel vid dimensionering av pålgrundläggning enligt SS-EN 1997-1. Prefixet "SS" anger att handlingen är svensk standard. Transportstyrelsen<sup>2</sup> respektive Boverket<sup>3</sup> anger i sina föreskrifter (nationell bilaga) de nationella valen. Tillämpningsdokumentet behandlar dimensionering av pålar avseende geoteknisk bärförmåga och konstruktiv bärförmåga i gränstillstånden GEO respektive STR.

Följande normer, med tillhörande nationell bilaga (med prefix SS-), ska användas i förekommande fall vid dimensionering av pålar i GEO, UPL och STR:

- SS-EN 1997-1 (Eurocode 7, Dimensionering av geokonstruktioner)
- SS-EN 1990 (Eurocode 0, Grundläggande dimensioneringsregler för bärande konstruktioner)
- SS-EN 1991 (Eurocode 1; Laster på bärverk)
- SS-EN 1992, SS-EN 1993, SS-EN 1994 och SS-EN 1995 (Eurocode 2 till 5, dimensionering av konstruktioner med material såsom, betong, stål, kompositmaterial och trä).

Följande utförandestandarder är aktuella vid installation och tillverkning av pålar:

- Mikropålar, SS-EN 14199.
- Grävpålar, SS-EN 1536.
- Massundanträngande pålar, SS-EN 12699.
- Stålspontväggar, SS-EN 12063.

Följande tillverkningsstandarder gäller för betongpålar:

- Förtillverkade betongpålar, SS-EN 12794.
- Betong-del 1, fodringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse, SS-EN 206-1.

Dessutom förekommer två stycken standarder som behandlar säkerhetsfrågor vid pålningsarbeten:

- Pålningsutrustning – säkerhetsföreskrifter, SS-EN 996
- Borrningsutrustning – säkerhet, SS-EN 791.

För övriga normer och standarder som kan vara aktuella se normativa hänvisningar i SS-EN 1997-1, avsnitt 1.2, samt i ovanstående tillverknings- och utförandestandarder.

---

<sup>2</sup> TRVFS 2011:12 [19]

<sup>3</sup> BFS 2015:6 [18]

## 2 Ordlista och definitioner

Förklaringar av symboler redovisas i dokumentet i direkt anslutning till där de används. Förklaringar finns även i SS-EN 1997-1.

I Tabell 2.1 redovisas förklaring och kommentarer till några tekniska pålningstermer som bör förtydligas tillsammans med dess engelska motsvarighet.

**Tabell 2.1 Engelsk-Svensk teknisk ordlista för pålar,**

<i>ENG</i>	<i>SVE</i>	<i>Kommentar</i>
Working pile	Produktionspåle	Påle som avses användas i konstruktionen
Trial pile	Provpåle	
Test pile	Provbelastad påle	
Pile base, pile toe	Pålspets	
Pile top	Pålhuvud	
Structural design	Konstruktiv dimensionering	Tidigare begrepp är Lastkapacitet
Friction piles	Mantelburna pålar	Den engelska termen avser både kohesionspålar och friktionspålar
Wave equation analysis	Datorbaserad slagningsimulering (WEAP-analys)	Både WEAP-analys och CAPWAP baseras på stötvågsanalys
Signal matching	CAPWAP-analys	Datoranalys av stötvågskurvor genom signal matchning
Settlement reducing piles	Sättningsreducerande pålar	Pålar som i samverkan med grundplattan är avsedda att reducera sättningar (sk samverkansgrundläggning).
Driving resistance	Nedslagningsmotstånd	Antal slag per längdenhet
Ground	Mark	Avser både berg och jord
Driven piles	Neddrivna pålar	Avser pålar som slås, vibrerats, tryckts eller skruvas ned i jorden.
Pile driving test	Provpålning	Här avses bl a mätning av antal slag under neddrivning samt stoppsjunkning.
Re-driving	Efterslagning eller Kontrollslagning	I Eurokod 7 görs ingen åtskillnad mellan efterslagning och kontrollslagning
Rock socket	Borrad pådel i berg	Avser pålar nedborrade i berg.

## 3 Underlag för projektering

### 3.1 Fält- och laboratorieundersökningar

Som underlag för dimensionering av pålar i gränstillståndet GEO bör följande geotekniska information finnas som underlag vid dimensionering i geoteknisk kategori 2 och 3:

- Jordens hållfasthet (skjuvhållfasthet  $c_u$ , friktionsvinkel, spetstryck  $q_c$ )
- Lagringstäthet hos friktionsjord
- Densitet (tunghet)
- Sättningssegenskaper hos lera (kompressionsmodul, förkonsolideringstryck)
- Grundvattennivå

I vissa fall kan även följande information vara värdefull:

- Deformationsmodul (E-modul, skjuvmodul)
- Sensitivitet och flytgräns hos lera

Som underlag för dimensionering av pålar i gränstillståndet STR (konstruktiv bärförmåga) bör följande geotekniska information finnas:

- Omgivande jords motstånd mot utböjning vid axiell belastning eller transversal belastning baseras ofta på sonderingsmotstånd, exempelvis CPT, eller på odränerad skjuvhållfasthet.
- Vissa kemiska och fysikaliska parametrar i jord för att bedöma beständighet hos pålmaterial. Gränsvärden för bestämning av exponeringsklass för betongpålar i jord anges i SS-EN 206-1.

### 3.2 Från mätdata till dimensionerande värde

Dimensionering av pålar i gränstillståndet GEO ska utföras enligt dimensioneringssätt DA2. Karakteristiskt värde (avseende den aktuella geokonstruktionen) bör i första hand bestämmas med den sk Modellpåleanalogen. Det karakteristiska värdet bestäms baserat på medelvärdet från provbelastningar eller från jordparametrar som sedan divideras med en korrelationsfaktor  $\xi$  som beror av antalet utförda provningar samt eventuellt även en modellfaktor  $\gamma_{Rd}$  som tar hänsyn till osäkerhet i beräkningsmodellen.

När modellpåleanalogen av olika skäl inte är lämplig att använda får det karakteristiska värdet på geotekniska bärförmågan bestämmas direkt, utan användning av korrelationskoefficienter. Det karakteristiska värdet ska i sådana fall motsvara ett medelvärde (vald genom försiktig värdering, där hänsyn tas till osäkerhet enligt SS-EN 1997-1, 2.4.5.2). Detta angreppssätt benämns Kompletterande tillvägagångssätt och beskrivs i SS-EN 1997-1, avsnitt 7.6.2.3(8). Kompletterande tillvägagångssätt kommer att kräva att partialkoefficienterna på bärförmågesidan ( $\gamma_t, \gamma_s, \gamma_b$ ) måste korrigeras med en kompletterande (extra) modellfaktor,  $\gamma_{Rd,e}$ .

Dimensionering av pålelement i gränstillståndet STR (konstruktiv bärförmåga) ska utföras med dimensionerande jordmaterialvärden bestämda enligt dimensioneringssätt DA3. I TD Grunder [9] ges en utförlig beskrivning hur dimensionerande jordmaterialvärden beräknas för den aktuella geokonstruktionen.

Informationen ska dokumenteras i en markteknisk undersökningsrapport (MUR), se TD Dokumenthantering [10].

### 3.3 Övrigt underlag

Övrigt underlag som kan vara värdefullt vid projektering av en pålgrundläggning är områdets geologiska bildningssätt och berggrundens bergart. Detta kan erhållas från geologiska kartblad (SGU). Övergripande bedömningar av geologiskt bildningssätt kan även tolkas från geofysiska undersökningar eller genom flygbildtolkning. Informationen ska dokumenteras i en markteknisk undersökningsrapport (MUR), se TD Dokumenthantering [10].

Inventering av utförd pålning i närområdet (pålprotokoll, provbelastningsrapporter o dyl) eller från liknande påltyp vid liknande geotekniska förutsättningar ger oftast ett utmärkt underlag för bedömning av pålbarhet och drivbarhet hos pålar.

## 4 Projektering

### 4.1 Dimensioneringsförutsättningar

#### 4.1.1 Geoteknisk kategori

Val av geoteknisk kategori, GK, bestäms enligt SS-EN 1997-1, kapitel 2.1.

Till GK1 eller GK2 hänförs pålgrundläggning som utförs med välbeprövade och accepterade metoder för de aktuella geotekniska förhållandena. GK2 är den normala kategori som gäller om inte den geotekniska situationen bedöms vara "lätt" eller "svår". Valet av GK styr omfattningen av nödvändiga undersökningar, beräkningar, kontroller etc.

För GK2 krävs en verifiering av bärförmågan med exempelvis beräkningar och/eller provbelastning samt geotekniskt underlag i form av minst rutinundersökningar på laboratorium. I GK3 ska en oberoende granskare normalt tillsättas. Även i GK2 kan med fördel en oberoende granskare användas. I TD Grunder [9] ges en utförligare beskrivning av vilka krav som gäller för olika geotekniska kategorier samt vilka uppgifter en oberoende granskare har.

Exempel på pålgrundläggning i GK1:

- Plintar (grävpålar) grundlagda direkt på "friskt" berg ovanför grundvattenytan.
- Konventionella slagna spetsbärande pålar med låg relativ last med hänsyn till både pålens konstruktiva bärförmåga och spetsstryck. Stoppslagningen ska utföras med välbeprövad metod och utrustning för vilken det finns schablonmässiga stoppslagningskriterier.
- Risken för skred, ras eller markrörelser i omgivningen ska vara försumbar.

Exempel på pålgrundläggning i GK3:

- Där det finns en stor risk för att markrörelser och totalstabilitetsförhållanden påverkar omgivningen med allvarliga konsekvenser som följd.
- Pålar i mycket varierande eller komplicerade markförhållanden som kräver särskilt noggrann uppföljning under installationen.
- Användning av in-situ tillverkade påltyper, t ex grävpålar och CFA-pålar i oprövade markförhållanden.
- Pålar utsatta för exceptionella lastförhållanden med t ex stor andel draglast (i förhållande till mantelbärförmågan) eller dynamisk last.

För pålgrundläggning i GK2 och GK3 får beta-metoden tillämpas (sannolikhetsteoretisk beräkning enligt se SS-EN 1990, bilaga C).

## 4.1.2 Säkerhetsklass

Val av säkerhetsklass för en byggnadsdel ska göras enligt de övergripande riktlinjer som anges i BFS 2015:6[18] eller TRVFS 2011:12 [19]. Nedan anges förslag på indelning av pålgrundläggning (STR och GEO) i säkerhetsklasser.

Pålgrundläggning får hänföras till säkerhetsklass 1 (SK1) när stora deformationer inte kan orsaka kollaps utan endast obrukbarhet av ovanförliggande konstruktion eller när personer endast i undantagsfall vistas i och i närheten av konstruktionen.

Exempel på pålgrundläggning i SK1:

- Spets- eller mantelburna pålar i friktionsjord där deformationer vid brott beräknas bli små (deformationshårdnande egenskaper).

Pålgrundläggning ska hänföras till säkerhetsklass 3 (SK3) när stora deformationer kan orsaka omedelbar kollaps av ovanförliggande konstruktion. Dessutom ska många personer vistas i och i närheten av konstruktionen.

Exempel på pålgrundläggning där SK3 kan vara aktuell:

- Mantelburna pålar i sensitiv lera eller annan jord med deformationsmjuknande egenskaper (sprött brott).
- Pålar där böjknäckning är dimensionerande (STR) och där en del av pålen saknar sidomotstånd, t ex i luft eller vatten.
- Pålgrundläggning som befaras kunna bli utsatt för betydande draglast eller cykliskt last.
- Pålar där konsekvensen av brott hos en enstaka påle kan medföra kollaps hos ovanförliggande konstruktion

Pålgrundläggning som inte kan hänföras till säkerhetsklass 1 eller 3 ska hänföras till säkerhetsklass 2.

## 4.1.3 Laster och lasteffekter i brottgränstillstånd

### Beräkning av lasteffekt

Dimensionerande lasteffekt för gränstillstånden GEO och STR bestäms som det högsta värdet av SS-EN1990, ekvation 6.10a och 6.10b:

Ekvation 6.10a:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} (\gamma_{G,j} G_{k,j}) + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} (\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}) \quad (4.1)$$

Ekvation 6.10b:

$$E_d = \sum_{j \geq 1} (\xi \gamma_{G,j} G_{k,j}) + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} (\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}) \quad (4.2)$$

där

$\xi$  Reduktionsfaktor =0,89 för ogynnsamma permanenta laster (nationellt val enligt BFS 2015:6respektive TRVFS 2011:12).

$\psi_{0,i}$  Faktor för kombinationsvärde för variabel last. Nationella val enligt BFS 2015:6eller TRVFS 2011:12.

$\gamma_{G,j}$ ,  $\gamma_{Q,i}$ ,  $\gamma_P$  Partialkoefficient för säkerhet eller brukbarhet som beaktar sannolikhet av ogynnsamma avvikelser hos lastvärden samt modellosäkerhet och variationer i tvärsnittsmått. Partialkoefficienterna för säkerhet är sammansatta koefficienter av två ingående parametrar av vilken en är beroende av säkerhetsklassen och den andra återfinns i BFS 2015:6 eller TRVFS 2011:12.

$G_{k,j}$  Karakteristiskt värde för en permanent last.

$Q_{k,i}$  Karakteristiskt värde för en variabel last.

P Relevant representativt värde för spännkraft,

”+” i ovanstående ekvationer innebär att lasterna ska kombineras.

Förenklat kan dessa ekvationer uttryckas på följande sätt (med en variabel last):

$$\text{Ekvation 6.10a: } E_d = \gamma_d \cdot 1,35 \cdot G_{k,j,\text{sup}} + \gamma_d \cdot 1,5 \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} \quad (4.3)$$

$$\text{Ekvation 6.10b: } E_d = \gamma_d \cdot 0,89 \cdot 1,35 \cdot G_{k,j,\text{sup}} + \gamma_d \cdot 1,5 \cdot Q_{k,1} \quad (4.4)$$

Se TD Grunder [9] för mer information om beräkning av lasteffekt.

### Geoteknisk lasteffekt (STR)

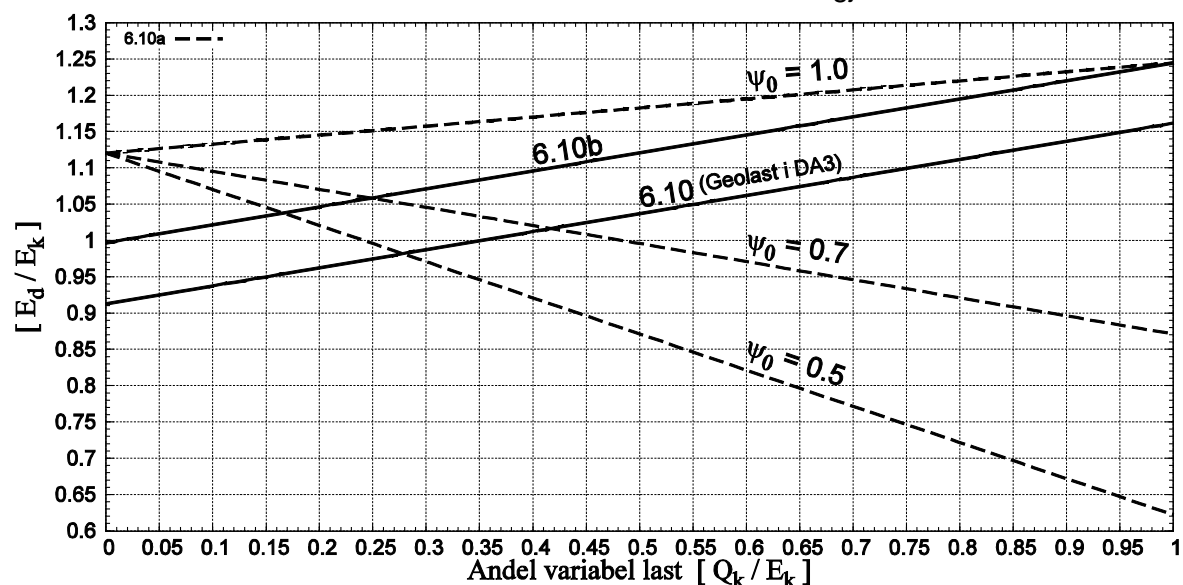
Som komplement till ekvation 6.10a och 6.10b ovan ska ekvation 6.10 enligt SS-EN1990 användas för geoteknisk last i DA 3. Här redovisad den i förenklad form med en variabel last med uppsättning som redovisas i TRVFS 2011:12 och i BFS 2015:6:

$$\text{Ekvation 6.10: } E_d = \gamma_d \cdot 1,1 \cdot G_{k,j,\text{sup}} + \gamma_d \cdot 1,4 \cdot Q_{k,1} \quad (4.5)$$

där

$G_{k,j,\text{sup}}$  Övre karakteristiskt värde för en permanent last (”sup”=superior).

I figur 4.1 redovisas en jämförelse mellan lasteffekter beräknat med ekvation 6.10a, 6.10b samt ekvation 6.10 för olika andel variabel last. Jämförelsen är gjord i säkerhetsklass 1.



**Figur 4.1** Jämförelse mellan laster i säkerhetsklass 1 på pålar enligt SS-EN 1990; ekvation 6.10a och 6.10 b för GEO i DA2 och för STR i DA3, samt ekvation 6.10 för geolast i DA3.



## Partialkoefficienter för säkerhetsklass

Enligt TRVFS 2011:12 och i BFS 2015:6:10 skall säkerhetsklassen beaktas vid dimensionering i brottgränstillstånd. Partialkoefficienten för säkerhetsklass har följande värden:

SK1:  $\gamma_d=0,83$

SK2:  $\gamma_d=0,91$

SK3:  $\gamma_d=1,0$

## Exceptionell last (olyckslast) och seismisk last

För exceptionell last (olyckslast) i brottgränstillstånd gäller ekvation 6.11b i SS-EN 1990. Någon reduktionsfaktor  $\xi$  för permanent last eller partialkoefficienter  $\gamma_{G,j}$ ,  $\gamma_{Q,i}$ ,  $\gamma_P$  för last används inte. För seismisk last gäller däremot ekvation 6.12b.

## Last orsakad av negativ mantelfriktion (påhängslast)

### Allmänt

Enligt SS-EN 1997-1, avsnitt 7.3.3.2, ska påhängslaster på grund av sättningar relativt pålen, dvs negativ mantelfriktion, räknas som en yttre last. Denna last behöver normalt inte kombineras med tillfälliga laster. Vidare ska dess värde vara det högsta som kan genereras genom sättningar relativt pålen.

Den valda beräkningsmodellen för negativ mantelfriktion kan eventuellt behöva korrigeras med en modellfaktor för att erhålla tillräcklig säkerhet.

### Påhängslast i gränstillståndet GEO

Beräkning av påhängslast (negativ mantelfriktion) med dimensioneringssätt 2 (DA2) för gränstillståndet GEO bör baseras på **valt värde**<sup>4</sup>. Om en förenklad beräkning utförs appliceras den beräknade påhängslasten på lastsidan. Eftersom påhängslaster och tillfälliga laster normalt inte behöver kombineras blir ekvation 6.10a styrande.

### Påhängslast i gränstillståndet STR

Påhängslast som beräknas med avseende på friktionsvinkel eller odränerad skjuvhållfasthet för gränstillståndet STR (dimensioneringssätt 3) bör baseras på **karaktéristiskt värde** för den aktuella geokonstruktionen, dvs  $X_{valt} / \eta$ , enligt ekvation 4.15 (högt värde ogynnsamt).

Påhängslasten kan betraktas som en geolast där dimensionerande lasteffekt beräknas enligt ekvation 6.10 (ekvation 4.5 ovan). Denna ska sedan kombineras med konstruktionslasten enligt ekvation 6.10a alternativt ekvation 6.10b. I normala fall blir ekvation 6.10a styrande eftersom tillfälliga laster vanligtvis inte behöver medräknas.

### Samverkansanalys

Ovanstående förfarande är inte lämplig om en noggrann samverkansanalys utförs med bestämning av det neutrala lagrets läge. I detta fall bör analysen baseras på härledda värden. Samverkansanalys är lämplig att utföra när en betydande del av bärförmågan hänförs till manteln (där positiv och negativ mantelfriktion uppträder i samma jordlager) eller där sättningen relativt pålen kan förväntas bli liten.

---

<sup>4</sup> Om beräkningsmodell enligt Pålkommisionens rapport 100 används bör även neg mantelfriktion beräknas med okorrigerat värde på  $c_u$  se vidare Pålkommisionens rapport 100, supplement 1. Valt värde ska baseras på medelvärdet, med hänsyn till empiri, undersökningarnas relevans och där felaktiga mätvärden exkluderats. För definition se TD Grunder.

I gränstillståndet STR bör däremot påhängslasten beräknas som en yttre last enligt ovan, efter det att neutrala lagrets läge bestämts.

#### **4.1.4 Laster och lasteffekter i bruksgränstillstånd**

I bruksgränstillstånd beräknas dimensionerande lasteffekt enligt följande ekvationer:

Konstruktionslaster och geotekniska laster, ogynnsamma laster:

$$E_d = G_{kj,sup} + \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (4.6)$$

Konstruktionslaster och geotekniska laster, gynnsamma laster:

$$E_d = G_{kj,inf} \quad (4.7)$$

där

$G_{kj,inf}$  Undre karakteristiskt värde för en permanent last ("inf"=inferior).

Varaktighetskoefficienterna,  $\psi_{0,1}$ ,  $\psi_{0,i}$  återfinns i BFS 2015:6 och TRVFS 2011:12.

Övriga gränstillstånd samt ytterligare detaljer återfinns i "SS-EN 1990: Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk", kapitel 4 och nationell bilaga; BFS 2015:6 samt TRVFS 2011:12.

Notera att för betongpålar (och stålplålar med betongfyllning) beräknas kantryckpåkänning och sprickvidder i SLS. Påhängslasterna beräknas i detta fall på samma sätt som vid STR, men kombineras med lasteffekten enligt ekvation 6.16b (kvasipermanent lastkombination).

## **4.2 Dimensionering i brottgränstillstånd (GEO)**

### **4.2.1 Dimensionering genom beräkning**

#### **Dimensioneringsätt**

Enligt avsnitt 2.4.7.3.4 i EN 1997-1 ska en dimensionering i brottgränstillstånd göras genom användning av ett av tre dimensioneringsätt. För dimensionering av pålgrundläggning genom beräkning eller provbelastning i gränstillståndet GEO, enligt SS-EN 1997-1 (samt BFS 2013:10 respektive TRVFS 2011:12), ska **dimensioneringsätt 2 (DA2)** användas.

Dimensionering genom beräkning av geoteknisk bärförmåga (GEO) i brottgränstillstånd omfattar bl a följande;

- Enskild påles bärförmåga vid tryckbelastning; spets- och mantelmotstånd
- Enskild påles bärförmåga vid dragbelastning; mantelmotstånd
- Enskild påles bärförmåga vid transversalbelastning
- Pålgruppens bärförmåga med hänsyn till eventuell gruppverkan av t ex packning och blockbrott.

Vid dimensionering kan hänsyn behöva tas till tidsberoende förändringar av bärförmågan, på grund av konsolidering i kohesionsjord, bärförmågetillväxt i friktionsjord, eller reduktion av bärförmåga vid upprepad dynamisk last eller förhöjda portryck.

#### **Modellpåleanalogi respektive Kompletterande tillvägagångssätt**

Dimensionering av pålgrundläggning genom beräkning (GEO) på basis av geotekniska undersökningsresultat kan enligt SS-EN 1997-1, avsnitt 7.6.2.3, utföras enligt två tillvägagångssätt:

- Modellpåleanalogi
- Kompletterande tillvägagångssätt

I Modellpåleanalogin används en korrelationskoefficient  $\xi$ , som beror på antalet prov, för att bestämma det karakteristiska värdet på den geotekniska bärförmågan. Modellpåleanalogin är det tillvägagångssätt som ska väljas i första hand.

I Kompletterande tillvägagångssätt används inga korrelationskoefficienter varför en kompletterande (extra) modellfaktor  $\gamma_{Rd,e}$  ska användas för att få tillräcklig totalsäkerhet. Denna sätts till 1,4 vilket motsvarar  $\xi$  för en undersökningspunkt. Denna metodik ska inte förväxlas med tidigare svensk praxis.

### Bestämning av karakteristiskt värde för geokonstruktionen

Karakteristiska värden för beräkning (GEO) med **modellpåleanalogin** ska bestämmas med korrelationskoefficienter enligt tabell A.10 i SS-EN 1997-1 som det minsta av följande värde:

$$R_k = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \frac{R_{cal,mean}}{\xi_3} \text{ (medelvärde) } \quad \text{alternativt.} \quad R_k = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \frac{R_{cal,min}}{\xi_4} \text{ (minvärde)} \quad (4.8)$$

där

$R_{cal}$  Beräknad bärförmåga baserad på härlett medelvärde (mean) eller minvärde (min).  
 $\gamma_{Rd}$  Modellfaktor, framgår av tabellerna 4.3-4.5.

**Tabell 4.1      Tabell A.10 enligt SS-EN 1997-1.**

Tabell A.10 Korrelationskoefficienter $\xi$ för bestämning av karakteristiska värden från resultat av geotekniska undersökningar (n - antalet undersökningar)							
$\xi$ för n =	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,4	1,35	1,33	1,31	1,29	1,27	1,25
$\xi_4$	1,4	1,27	1,23	1,2	1,15	1,12	1,08

Om pålfundamentet har tillräcklig styvhet för att överföra laster från svaga till starka pålar får en reduktion genom division med 1,1 av  $\xi_3$  och  $\xi_4$  göras, enligt SS-EN 1997-1, avsnitt 7.6.2.3(7). Inga ändringar till Tabell A.10 har gjorts i Trafikverkets, TRVFS 2011:12 eller Boverkets, BFS 2015:6.

Vid användning av **kompletterande tillvägagångssätt** ska det karakteristiska värdet motsvara medelvärdet, valt genom en "försiktig" ("noggrann") värdering. Notera att Kompletterande tillvägagångssätt först och främst är tänkt att användas när man bestämmer ett karakteristiskt värde baserat på erfarenhet eller direkt empiri, utan att någon statistisk analys baserad på variation av parametervärden och antalet undersökningar/prov utförs. Ett exempel på detta är när man väljer parametrar (dämpning och quake) för WEAP-analys. Modellpåleanalogin ska därför anses som primärt alternativ vid dimensionering av pålar baserat på undersökningsresultat eller provbelastning.

### Dimensionerande bärförmåga i DA2 (GEO)

Den dimensionerande bärförmågan enligt **modellpåleanalogin** beräknas på följande sätt:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} \quad (4.9a)$$

där

$\gamma_R$  Partialkoefficient för bärförmågan vid spets (index b), mantel (index s), total bärförmågan (index t) eller för dragen påle (index s,t). Värden anges nedan.

Den dimensionerande bärförmågan enligt **kompletterande tillvägagångssätt** beräknas på följande sätt:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{Rd,e}} \frac{1}{\gamma_{R_d}} \cdot \frac{R_{k,kompl}}{\gamma_R} \quad (4.9b)$$

där

$R_{k,kompl}$  Karakteristiskt värde som beräknas enligt ekvation 7.9 i EN 1997-1 för spets respektive mantel. Notera att  $R_{k, kompl}$  bestäms utan att applicera några korrelationsfaktorer

$\gamma_{Rd,e}$  Extra modellfaktor som sätts till 1,4.

Partialkoefficienterna för slagna pålar i EN 1997-1, Tabell A.6, kolumn R2 (vilken gäller för DA2) har höjts i Trafikverkets föreskrifter, TRVFS 2011:12, jämfört med EN 1997-1 med 0,1 till 1,2 för tryckbelastning dvs:

$$\gamma_b = 1,2 \quad \gamma_s = 1,2 \quad \gamma_t = 1,2$$

För dragbelastning har partialkoefficienten höjts med 0,15 till 1,3 dvs:

$$\gamma_{s,t} = 1,3.$$

Partialkoefficienterna för CFA-pålar och grävpålar redovisade i Tabellerna A.7 och A.8, kolumn R2 har höjts med 0,2 till 1,3 för tryckbelastning dvs:

$$\gamma_b = 1,3 \quad \gamma_s = 1,3 \quad \gamma_t = 1,3$$

För dragbelastning har partialkoefficienten höjts med 0,25 till 1,4 dvs:

$$\gamma_{s,t} = 1,4.$$

**Tabell 4.2 Partialkoefficienter för slagna pålar, CFA och grävpålar enligt TRVFS 2011:12.**

<i>Partialkoefficient</i>	<i>Slagna pålar Tabell A.6(S)</i>	<i>CFA och grävpålar Tabell A.7(S) samt A.8(S)</i>
$\gamma_b$	1,2	1,3
$\gamma_s$	1,2	1,3
$\gamma_t$	1,2	1,3
$\gamma_{s,t}$	1,3	1,4

Det något högre värdet för grävpålar och CFA-pålar jämfört med slagna pålar motiveras av större osäkerhet vid tillverkning och installation av insitu-tillverkade pålar.

### Indelning av påltyper för dimensionering

Vid dimensionering av pålar enligt EN 1997-1 delas pålarna in i tre huvudgrupper med avseende på installations- och tillverkningsätt:

- Slagna pålar (neddrivna pålar), dvs pålar neddrivna genom slagning, vibrering eller nedtryckning.
- Grävpålar (eng "bored piles"), dvs borrarade eller grävda pålar
- CFA-pålar (eng. continuous Flight Auger), dvs pålar där gjutning sker med samtidig borrarning med auger och avlägsnande av jordmaterial.

För val av partialkoefficienter enligt tabeller A.6-A.8 i SS-EN 1997-1 bör följande uppdelning av i Sverige vanligt förekommande påltyper i de tre olika huvudgrupperna användas.

Slagna (neddrivna) pålar:

- Förtillverkade slagna, vibrerade eller nedtryckta pålar.
- Spetsbärande stålkärnepålar som stoppslås
- Borrade rörpålar som stoppslås, t ex RD-påle.

Grävpålar (grävda eller borrade pålar):

- Mantelburna stålkärnepålar
- Grävda platsgjutna betongplintar/-pålar
- Borrade injekterade pålar, t ex TITAN-påle, MAI-påle
- Slagna injekterade pålar, t ex Soilex-påle, CSG-påle
- Jetpålar/-pelare

CFA-pålar:

- Pålar borrade med jordskruv (auger) under samtidig gjutning, dvs CFA-pålar

Notera att pålar i grupperna Grävpålar och CFA-pålar ovan har samma värde på partialkoefficienten på bärförmågesidan, vilket innebär samma totalsäkerhetsfaktor oavsett påltyp.

### **Beräkningsmodell och modellosäkerhet**

I SS-EN 1997-1, avsnitt 2.4.1(6)P anges att vald beräkningsmodell ska vara tillförlitlig eller ge fel på säkra sidan. Vidare anges i avsnitt 2.4.1 (8) att beräkningsresultaten därför får modifieras med en modellfaktor för att säkerställa dimensioneringen. Dessutom anges i avsnitt 2.4.1 (9) att en sådan modellfaktor ska ta hänsyn till osäkerheter orsakade av själva analysmetoden samt kända systematiska fel förknippade med metoden. Enligt avsnitt 7.6.2.3(1)P ska beräkningsmetoder som baseras på resultat från geotekniska undersökningar grundas på provbelastningar och dokumenterad erfarenhet från jord och berg med liknande geotekniska egenskaper och för liknande påltyp.

Även om det inte direkt uttalas i SS-EN 1997-1, avsnitt 2.6 så kan modellfaktorer även appliceras på provningsmetoder. Detta framgår av tabell A.11 där modellfaktorer för olika stötvågsbaserade metoder redovisas.

I tabellerna 4.3 till 4.5 redovisas modellfaktorer för olika beräkningsmodeller och olika provbelastningsmetoder för friktionspålar, kohesionspålar respektive spetsbärande pålar. Användning av dessa modellfaktorer förutsätter att välbeprövade och väletablerade beräkningsmetoder och utvärderingsmetodik används vid dimensioneringen. Dessa värden är endast rådgivande. Under speciella förutsättningar kan ett val av andra modellfaktorer ibland motiveras. Dessa får beräknas med statistiska metoder eller tas fram genom korrelation mot provbelastningar. Högre modellfaktorer än nedan angivna bör väljas om beräkningsmodellen eller provningsmetoden bedöms som mer osäker än normalt under de rådande geotekniska förutsättningarna. Notera att i tabellerna 4.3 till 4.5, förekommer modellfaktorer som inte finns angivna i BFS 2015:6 eller TRVFS 2011:12.

För dragbelastade friktionspålar där dragbärförmågan baseras på mantelmotståndet under tryckbelastning, genom beräkning eller provbelastning, bör en reduktionsfaktor på minst 0,7 användas (om inte en provning eller noggrann analys visar på en annan faktor är tillämplig).

**Tabell 4.3 Modellosäkerheter för friktionspålar (GEO).**

Beräkningsmodell / provningsmetod	Modellfaktorer
	$\gamma_{Rd}$
Geostatisk metod enligt API-RP-2A eller enligt Beta-koncept, se PKR <sup>5</sup> 103. (	1,8
Dimensionering baserad på CPT såsom LCPC-metoden och ICP-metoden, se PKR 103	1,4
Dimensionering av pålar baserad på SPT-resultat enligt Decourts-metod, se PKR 103	1,7
Statisk provbelastning	1,0
Dynamisk provbelastning utvärderad endast med CASE-metoden.	1,2
Dynamisk provbelastning med signalmatchning med CAPWAP-analys.	0,85
Dragbelastning utvärderad från CAPWAP. Dessutom bör en reduktionsfaktor för dragbelastning på 0,7 användas.	1,3
Påslagningsformler	Tillåts ej
Slagningssimulering (sk WEAP-analys)	Tillåts ej
Mantelburna stålkärnepålar utvärderade med wave-up metoden enligt PKR 106 avsnitt 7.6.1.	0,85

**Tabell 4.4 Modellosäkerheter för kohesionspålar (GEO).**

Beräkningsmodell / provningsmetod	Modellfaktorer
	$\gamma_{Rd}$
Odränerad analys ( $\alpha$ -metod) enligt PKR 100, supplement 1, med skjuvhållfasthet utvärderad utifrån triaxialförsök och/eller direkta skjuvförsök.	1,1
Odränerad analys ( $\alpha$ -metod) enligt PKR 100, supplement 1, med skjuvhållfasthet EJ utvärderad med triaxialförsök och/eller direkta skjuvförsök.	1,2
Dränerad analys ( $\beta$ -metod)	1,2
Statisk provbelastning	1,0
Dynamisk provbelastning, CASE-metod	Tillåts ej
Dynamisk provbelastning med signalmatchning med CAPWAP-analys.	1,3
Kalibrering mot statisk provbelastning enligt EN 1997-1, avsnitt 7.5.3(1)	
Påslagningsformler	Tillåts ej
Slagningssimulering (sk WEAP-analys)	Tillåts ej

**Tabell 4.5 Modellosäkerheter för spetsbärande pålar (GEO).**

Beräkningsmodell / provningsmetod	Modellfaktorer
	$\gamma_{Rd}$
Statisk provbelastning	1,0
Dynamisk provbelastning utvärderad med CASE-metoden	1,0
Dynamisk provbelastning utvärderad med CASE-metoden Spetsburna pålar på berg/morän där sjunkningen per slag $\leq 2$ mm, samt spetsfjädringen $\leq D/60$	0,85
Dynamisk provbelastning med signalmatchning med CAPWAP-analys	0,85
Slagningssimulering (WEAP-analys)	1,3
Dynamisk provbelastning utvärderad med CASE-metoden på pålar nedborrade och stoppslagna i berg enligt PK 106 avsnitt 7.6.1.	0,8
Påslagningsformler	Tillåts ej
Slagningssimulering av pålar inborrade i berg	1,1

<sup>5</sup> PKR Pålkommisionens rapport



## 4.2.2 Dimensionering genom hävdvunna åtgärder

### Slagna standard betongpålar

Spetsbärande pålar typ SP1, SP2 och SP3 som stoppslås enligt praxis med en viss fallhöjd får hänföras till hävdvunna metoder. Maximal dimensionerande geoteknisk bärförmåga väljs enligt Pålkommisionens rapport 106 [20], tabellerna 5.1 och 5.3.

Det finns i dag inga tabeller med angivna fallhöjder för accelererande hejare (se Pålkommisionen Tekniskt PM 1:2012 [4]).

Vid eventuell stoppslagning mot berg utförs inmejsling i berg enligt standardutförande, dvs 300 slag med låg fallhöjd (< 20 cm) som sedan avslutas med tre serier (taljor) om 10 slag med 80% av fallhöjden enligt moränstopp. Sjunkningen per serie ska vara mindre än 3 mm. Detta är en hävdvunnen åtgärd för stoppslagning på berg.

### Slanka stålplålar

För slagna stålplålar finns också stoppslagingsregler vid stoppslagning, med frifallshejare. Dessa redovisas i tabellform i Pålkommisionens rapport 106, avsnitt 5.3. Där redovisas också krav på hejare vid sådan stoppslagning samt drivning med annan utrustning.

### Spetsburna grävpålar på berg

Dimensionering av spetsbärande grävpålar på berg som finns beskrivet i Pålkommisionens rapport 58, Grävpåleanvisningar [7], kan hänföras till hävdvunna åtgärder. Här anges tillåtna grundtryck på berg, för tre pålningsklasser. Varje klass anger max pållast och spetspåkänning samt krav på kontroller, geotekniska undersökningar och inspektioner, se tabell 4.6 nedan. Grävpåleanvisningarna avser pålar med en diameter större än 0,6 m. För pålklass A och eventuellt B tillkommer även kärnborring genom färdig påle för kontroll av betongkvalitet samt anslutningen mellan påle och berg. Pålklass C får hänföras till hävdvunna metoder med hänsyn till det relativt låga spetstrycket samt att provtryckningar av bergets hållfasthet inte lär behövas. Anvisningarna i Pålkommisionens rapport 58 [7] gäller endast för pålar längre än 3 meter.

Enligt TK Geo avsnitt 2.5.2.2 [17] och förutsatt att den geotekniska undersökningen minst omfattar, fastställande av bergart och kontroll av bergytan genom besiktning eller bergsondering, får bergtyp 1 utnyttjas till max 10 MPa, bergtyp 2 till 4 MPa samt bergtyp 3 till 2 MPa.

**Tabell 4.6** Pålningsklasser för grävpålar enligt Pålkommisionens rapport 58.

<i>Pålklass</i>	<i>Max pållast</i>	<i>Max spetspåkänning</i>	<i>Krav på geoteknisk undersökning</i>
A Endast kristallint berg	> 15 MN	> 8 MPa	25% jb-sondering, max avstånd 10 m, bergkärnor med bergkvalitet och bergart
B	7,5-15 MN	5-8 MPa	10% jb-sondering max avstånd 15 m, ev tas bergkärnor.
C	<7,5 MN	< 5MPa	10% jb-sondering max avstånd 20 m

## 4.2.3 Dimensionering genom provbelastning

### Dynamisk provbelastning

Vid bestämning av karakteristiskt värde från dynamiska provbelastningar enligt SS-EN 1997-1 är medelbärförmågan dimensionerande alternativt den minsta uppmätta enskilda bärförmågevärdet. Det minsta av följande värde ska således användas som karakteristiskt värde:

$$R_{ck} = \frac{R_{mean}}{\xi_5} \quad (4.10)$$

$$R_{ck} = \frac{R_{min}}{\xi_6} \quad (4.11)$$

Korrelationskoefficienten ( $\xi$ ) fås från tabell A.11 i SS-EN 1997-1. Denna har reviderats i de svenska föreskrifterna med avseende på (se tabell 4.7 nedan)::

- Minsta antalet mätta pålar är tre. Pålkommisionens rapport 106 avsnitt 7.2. rekommenderar att ytan för ett kontrollobjekt inte överskrider 25x25 m<sup>2</sup>. En kolumn för fyra stycken mätta pålar samt en för  $\geq 40$  st har införts.
- Modellfaktorer har reviderats.
- Påslagningsformler tillåts inte som metod för bestämning av stoppslagningskriterier.

Utförs signalmatchning av stötvågskurvorna får  $\xi$  multipliceras med en modellfaktor  $\gamma_{Rd} = 0,85$ . Om dessutom byggnadsverket kan överföra laster från svaga pålar till starka får enligt TRVFS 2011:12 korrelationskoefficienten  $\xi$  divideras med en faktor 1,1 ( $\xi$  dock lägst 1,0). Detta gäller dock inte enligt BFS 2015:6 vid dynamisk provbelastning.

Dimensionerande värde beräknas sedan enligt ekvation 4.9a. Modellosäkerhet (modellfaktorer) för olika provlastningsförfarande och pålfunktion redovisas i tabell 4.3-4.5. Notera att för dynamisk provbelastning enligt tabell A.11 (S) skall  $\xi$  multipliceras med  $\gamma_{Rd}$  redan vid bestämning av karakteristiskt värde, vilket medför att  $\gamma_{Rd}$  inte skall användas en gång till i ekvation 4.9a eller 4.9b.

**Tabell 4.7      Tabell A.11(S) enligt TRVFS 2011:12 samt BFS 2015:6.**

*Tabell A.11 Korrelationskoefficienter  $\xi$  för bestämning av karakteristiska värden från dynamiska provbelastningar (n - antalet provade pålar)*

$\xi$ för n =	3	4	$\geq 5$	$\geq 10$	$\geq 15$	$\geq 20$	$\geq 40$	samtliga
$\xi_5$	1,60	1,55	1,50	1,45	1,42	1,40	1,35	1,30
$\xi_6$	1,50	1,45	1,35	1,30	1,25	1,25	1,25	1,25

### Dragbelastade pålar

För dragbelastade mantelburna pålar i friktionsjord får dragbärförmågan bestämmas genom CAPWAP-analys. En reduktionsfaktor ska användas som tar hänsyn till att provbelastningen utförts under tryck. Bestämning av dragbärförmågan för huvudsakligen spetsburna pålar enligt CAPWAP-analys bör inte utföras eftersom precisionen mellan mantel- och spetsbärförmåga är relativt dålig.

Upptäckning/uppdragning av en pålgrupp tillhör gränstillståndet UPL och ska i förekommande fall kontrolleras.

### Statisk provbelastning

Motsvarande som för dynamiska provbelastningar gäller även för statiska provbelastningar dvs:



$$R_{ck} = \frac{R_{mean}}{\xi_1} \quad (4.12)$$

$$R_{ck} = \frac{R_{min}}{\xi_2} \quad (4.13)$$

Om byggnadsverket kan överföra laster från svaga pålar till starka får  $\xi$  divideras med en faktor 1,1 ( $\xi$  dock lägst 1,0). Korrelationskoefficienten  $\xi$  fås från tabell A.9 i SS-EN 1997-1 (se tabell 4.8). Inga förändringar har gjorts i de svenska nationella bilagorna. För en mätt påle gäller att största avståndet mellan pålar inom ett kontrollobjekt är 25 m (i annat fall ska minst 2 st pålar mätas). Dimensionerande värde beräknas sedan enligt ekvation 4.9a.

Brottkriterier för bestämning av bärförmågan ska baseras på pålspetsens sättning, vilket innebär att hänsyn ska tas pålelementets elastiska hoptryckning. Vid svårigheter att utvärdera bärförmågan på grund av deformationshårdnande beteende bör den utvärderas vid en rörelse som motsvarar maximalt 10% av spetsdiametern. För pålar med stor diameter (t ex grävplålar eller grova stålrörspålar) kan ett sådant brottkriterium innebära oacceptabla sättningar med risk för brott i ovanförliggande konstruktion. I dessa fall ska dimensionering även utföras i bruksgränstillstånd alternativt används ett brottkriterium som är bättre anpassat till ovanförliggande konstruktion. Att utvärdera kryplasten när man har utfört stegvis pålastning kan i många fall vara ett bra alternativ/komplement till utvärdering av brottlasten. I Pålkommissionens rapport 59 beskrivs bl a hur kryplasten utvärderas.

**Tabell 4.8      Tabell A.9(S) enligt TRVFS 2011:12 samt BFS 2015:6.**

*Tabell A.9 Korrelationskoefficienter  $\xi$  för bestämning av karakteristiska värden från statistiska provbelastningar (n - antalet provade pålar)*

$\xi$ för n =	1	2	3	4	5
$\xi_1$	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00
$\xi_2$	1,40	1,20	1,05	1,00	1,00

#### 4.2.4 Dimensionering genom observationsmetoden

I SS-EN 1997-1, avsnitt 2.7 beskrivs de krav som ska uppfyllas för att dimensionering enligt observationsmetoden får tillämpas. För pålgrundläggning bör därmed minst följande moment ingå för att kunna klassificeras som observationsmetoden:

- Att ett mätprogram/kontrollprogram upprättas där bl a utförande, krav och förutsättningar för provpålingen och produktionskontrollen beskrivs.
- Att en löpande produktionskontroll under byggskedet utförs med en återkoppling och eventuell revidering med hänsyn till observationer och mätresultat.

### 4.3 Dimensionering i brottgränstillstånd (STR)

#### 4.3.1 Dimensioneringssätt

Enligt avsnitt 2.4.7.3.4 i EN 1997-1 ska en dimensionering i brottgränstillstånd göras med användning av ett av tre dimensioneringssätt. Vid dimensionering av pålgrundläggning gäller enligt SS-EN 1997-1 (samt BFS 2015:6 respektive TRVFS 2011:12) att **dimensioneringssätt 3 (DA3)** ska användas för en påles konstruktiva bärförmåga (gränstillståndet STR).

Dimensionering genom beräkning av konstruktiv bärförmåga (STR) i brottgränstillstånd omfattar bl a följande:

- Påle utsatt för axiell belastning, tryck och drag
- Påle utsatt för transversallast och böjande moment

- Påle utsatt för dynamisk last eller utmattningslast  
Dimensioneringen omfattar även påldetaljer såsom skarvar och spets.

### 4.3.2 Beräkning av dimensionerande värde för geoteknisk parameter (STR)

Vid dimensionering av konstruktiv bärförmåga i DA3 ska nedanstående samband (ekv. 4.14 och ekv 4.15) användas för beräkning av dimensionerande värde för aktuell geokonstruktionen. Ytterligare information finns i TD Grunder [9]

När ett lågt värde är ogynnsamt får den geotekniska parameterns dimensionerande värde (för aktuell geokonstruktion),  $X_d$ , sättas till:

$$X_d = \frac{1}{\gamma_M} \cdot \eta \cdot X_{valt} \quad (4.14)$$

Hänsyn tagen till osäkerheter förknippade med jordens egenskaper samt aktuell geokonstruktionen. Enligt SS-EN 1997-1 definierad som karakteristiskt värde.

där:

$\gamma_M$	Fast partialkoefficient, värdet erhålls från TRVFS 2011:12 eller BFS 2015:6
$\eta$	Omräkningsfaktor som tar hänsyn till osäkerheter relaterade till jordens egenskaper och aktuell geokonstruktion.
$X_{valt}$	Värderat medelvärde baserat på härledda värden

Valt värde beräknas eller uppskattas som medelvärdet av härledda värden. Eventuella värden och undersökningar som inte är representativa för sökt egenskap ska tas bort innan uppskattning eller beräkning. Undersökningsmetoder som med större säkerhet kan användas för att bestämma sökt egenskap ges större tyngd.

När ett högt värde är ogynnsamt, får den geotekniska parameterns dimensionerande värde (för aktuell geokonstruktion),  $X_d$ , sättas till:

$$X_d = \gamma_M \cdot \frac{1}{\eta} \cdot X_{valt} \quad (4.15)$$

### 4.3.3 Omräkningsfaktor, $\eta$

Omräkningsfaktorn  $\eta$  bör beakta följande delfaktorer:

- Egenskapens naturliga variation (definierad i form av variationskoefficienten V),  $\eta_1$
- Antal oberoende undersökningspunkter,  $\eta_2$
- Osäkerhet relaterad till bestämning av jordens egenskaper,  $\eta_3$
- Geokonstruktionens närhet till undersökningspunkt,  $\eta_4$
- Omfattning av den del av marken som bestämmer beteendet hos geokonstruktion i det betraktade gränstillståndet,  $\eta_5$
- Geokonstruktionens förmåga att överföra laster från veka till fasta delar i marken,  $\eta_6$
- Typ av brottmekanism (sprött eller segt),  $\eta_7$
- Parameterns vikt i förhållande till övriga parametrar.  $\eta_8$

Omräkningsfaktorn,  $\eta$ , får beräknas/bedömas genom att ovanstående osäkerheter direkt värderas in i faktorn  $\eta$ . Alternativt får omräkningsfaktorn beräknas som produkten av flera delfaktorer:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n \quad (4.16)$$

#### 4.3.4 Modelfaktor

SS EN 1997-1 anger att varje beräkningsmodell ska antingen vara tillförlitlig eller ge fel på säkra sidan. För att säkerställa att dimensioneringen blir tillförlitlighet eller på säkra sidan kan beräkningsmodellens resultat behöva modifieras.

Modifieringen kan t ex göras genom att använda en modelfaktor,  $\gamma_{Rd}$ . Denna kan appliceras på en eller flera materialegenskaper, på en delberäkning/delresultat eller genom modifiering av slutresultat (t.ex. bärförmågan).

#### 4.3.5 Beräkningsmodell för böjknäckning

Användning av nedanstående delfaktorer baseras på att en beräkningsmodell enligt 2:a ordningens teori används (se Pålkommisionens rapport 81) för böjknäckning och materialstukning för axiellt belastade pålar.

I beräkningsmodellen för böjknäckning/stukning av pålar enligt Pålkommisionen ingår en konservativt vald empirisk korrelation mellan odränerad skjuvhållfasthet och jordens bäddmodul. Vid användning av denna beräkningsmodell kan modelfaktorn  $\gamma_{Rd}$  därför sättas till 1,0.

Avsnitt 7.8(5) i SS-EN 1997-1 bör inte tillämpas om Pålkommisionens beräkningsmodell används. Pålar bör alltid kontrolleras för böjknäckning och/eller stukning enligt andra ordningens teori. Detta motsvarar också den praxis vi använder i Sverige

#### 4.3.6 Delfaktorer för böjknäckning

Nedan ges riktlinjer för val av värde på delfaktorer vid konstruktiv dimensionering med hänsyn till böjknäckning/materialstukning av pålar i normalkonsoliderad eller svagt överkonsoliderad lera.

För konstruktiv dimensionering med avseende på t.ex. böjknäckning/stukning i friktionsjord, kraftigt överkonsoliderad lera eller för pålar utsatta för transversallast (böjmoment) kan andra värden än nedanstående vara mer relevanta.

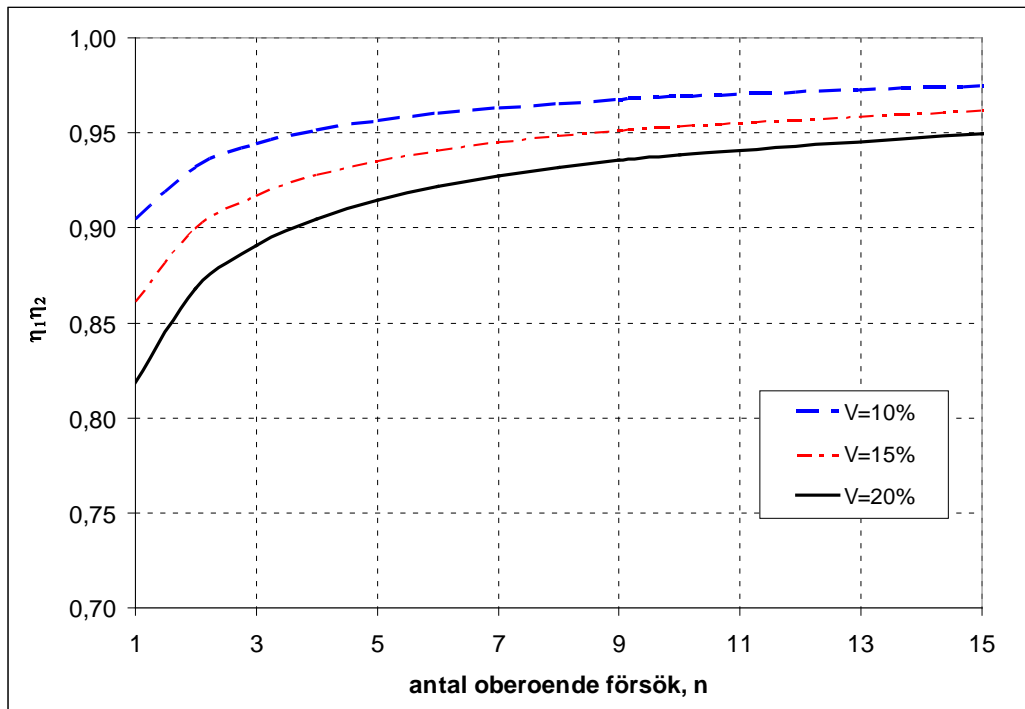
Delfaktorerna  $\eta_1$ - $\eta_2$  beror av antalet undersökningspunkter och spridningen i resultatet I figuren 4.2 nedan ges förslag på produkten av delfaktorer  $\eta_1$  och  $\eta_2$ , vilket behandlar jordens naturliga spridning och antalet oberoende undersökningspunkter. Variationskoefficienten antas vara "känd", vilket menas att man har en förkunskap av vad som är normal spridning på den aktuella platsen. Produkten  $\eta_1\eta_2$  har enligt figuren beräknats enligt:

$$\eta_1 \cdot \eta_2 = e^{-V_x/\sqrt{n}} \quad (4.16)$$

där

n                      antalet oberoende undersökningar  
V<sub>x</sub>                    variationskoefficienten för aktuell egenskap.

Detta uttryck motsvarar en standardavvikelse och log-normalfördelning.



**Figur 4.2. Produkten  $\eta_1\eta_2$  som funktion av variationskoefficient och antalet oberoende undersökningspunkter.**

Delfaktorn  $\eta_3$  tar hänsyn till osäkerheten i undersökningsmetoden

Vid bestämning av bäddmodulen indirekt via jordens odränerade skjuvhållfasthet med empirisk korrelation enligt Pålkommisionens rapport 81, genom vingförsök, konförsök, enaxlig tryckhållfasthet, triaxialförsök eller CPT kan  $\eta_3$  i normala leror sättas till 1,0. Samma värde kan användas om jordens bäddmodul utvärderas genom pressometerförsök (notera att pressometermodulen inte är detsamma som bäddmodulen).

Delfaktorn  $\eta_4$  tar hänsyn till inverkan av avståndet till närmaste undersökningspunkt ( $L_u$ ) och beror av hur homogena förhållandena är på den aktuella platsen med avseende på medelvärdet längs knäcklängden ( $l_k$ ). Om avståndet till närmaste undersökningspunkt är större än cirka dubbla knäcklängden bör ett värde  $< 1,0$  övervägas. Notera att denna delfaktor även beror på hur välkända förhållande är inom pålningsområdet (dvs, av produkten  $\eta_1\eta_2$ ). Det betyder att om omfattningen på den geotekniska undersökningen inom pålningsområdet är omfattande och variationskoefficienten kan bestämmas med tillräcklig noggrannhet kan  $\eta_4$  sättas till 1,0. Följande värden på  $\eta_4$  kan användas utan noggrannare utredning:  $L_u \leq 2 * l_k = 1,0$ ,  $L_u \leq 5 * l_k = 0,9$ ,  $L_u \leq 10 * l_k = 0,8$  samt för  $L_u > 10 * l_k$  bör ett värde under 0,8 övervägas. Knäcklängden ligger normalt mellan 2-6 m.

Delfaktorn  $\eta_5$  tar hänsyn till hur stor jordvolym som är involverad vid brott. Vid beräkning av böjknäckning i lera bestäms normalt en medelskjuvhållfasthet längs pålens knäcklängd. I lös lera (med skjuvhållfasthet i intervallet extremt låg ( $< 10$  kPa) till låg (25-40 kPa) brukar den teoretiska knäcklängden för slanka stål- och betongpålar ( $D < 0,3$  m) vanligtvis ligga mellan ca 2-6 m. Om utvärdering av jordens odränerade skjuvhållfasthet i djupled har gjorts varje meter eller tätare sätts  $\eta_5$  förslagsvis till 1,0. Vid glesare bestämning i vertikalled bör en lägre faktor övervägas.

Delfaktorer  $\eta_6$  och  $\eta_7$  som beror av geokonstruktionen

För påle som ingår i en pålgrupp med styvt fundament eller pålar där stora delar av lasten ( $>50\%$ ) kan överföras till närliggande pålar via överliggande konstruktion vid eventuell defekt

påle eller pålbrott kan  $\eta_6$  sättas till 1,1. För pålar där endast en mindre del av lasten kan överföras till andra pålar kan  $\eta_6$  sättas till 1,05. För pålar som enskilt ska bära all tilldelad last sätts  $\eta_6$  till 1,0.

Böjknäckning av pålar i jord kan betraktas som ett segt brott om beräkningen baseras på en långtidsmodul, eftersom förloppet normalt är relativt långsamt. Delfaktorn  $\eta_7$  kan därför sättas till 1,0.

Tunnväggiga rörpålar av stål som inte fylls med cementbruk kan ha en förhöjd risk för ett sprödare och snabbare brottförlopp varför  $\eta_7$  sätts till 0,95. Om dessa däremot fylls med cementbruk kan  $\eta_7$  sättas till 1,0.

Notera att för konstruktioner där spröda brott hos pålgrundläggningen kan leda till omedelbar kollaps av ovanförliggande konstruktion normalt hänförs till SK3, dvs en högre partialkoefficient påförs på lastsidan.

#### Delfaktor $\eta_8$

Med hänsyn till alla ingående osäkerheter väger jordmaterialets egenskaper normalt tyngre i dimensioneringen än pålmaterialets egenskaper varför  $\eta_8$  bör sättas till 1,0.

För träpålar, där oftast en högre säkerhetsmarginal läggs på pålmaterialet kan en delfaktor > 1,0 eventuellt övervägas.

#### Slutlig sammanvägning av delfaktorer

Efter att hänsyn tagits till ovanstående delfaktorer och en sammanvägning gjorts bör en slutlig värdering av omräkningsfaktorn  $\eta$  göras. Ett  $\eta$  större än 1,0 bör inte användas. Dock kan  $\eta$  värdet vara större än 1,0, men en övervägning av konsekvensen för detta skall då göras. Även vid ett värde mindre än ca 0,7 bör en bedömning göras om värdet kan höjas med hänsyn till att flera delfaktorer kan vara interkorrelerade. En sådan bedömning kan exempelvis baseras på beta-metoden.

### **4.3.7 Delfaktorer för transversalbelastning**

I de flesta fall är transversalbelastade pålar huvudsakligen axiellt belastade. De i avsnitt 4.3.6 redovisade  $\eta$ -delfaktorer gäller när pålarna är enbart axiellt belastade. Om pålarna däremot är helt eller delvis transversalbelastade kan andra  $\eta$ -delfaktorer vara aktuella. Exempelvis kan en annan del av jordvolymen vara aktuell än vid ren böjknäckning.

### **4.3.8 Val av partialkoefficienter**

Vid beräkning av konstruktiv bärförmåga (STR) i DA3 hos pålar ska partialkoefficienter på jordparametrarna enligt tabell 4.9 användas. Om bäddmodulen utvärderas via pressometerförsök bör samma modul som för odränerad skjuvhållfasthet användas, dvs  $\gamma_M = 1,5$ .

Geokonstruktionens dimensionerande värde beräknas enligt ekvation 4.14 eller 4.15 ovan.

**Tabell 4.9 Partialkoefficienter ( $\gamma_M$ ) för materialparametrar i DA3 enligt TRVFS 2011:12 samt BFS 2015:6.**

Jordparameter	Symbol	Värde
Friktionsvinkel ( $\tan \phi'$ )	$\gamma_{\phi'}$	1,3
Effektiv kohesion	$\gamma_{c'}$	1,3
Odränerad skjuvhållfasthet	$\gamma_{cu}$	1,5
Tunghet	$\gamma_{\gamma}$	1,0

## 4.4 Dimensionering i bruksgränstillstånd

### 4.4.1 Dimensioneringskrav

Bruksgränstillstånd beräknas genom att  $E_d \leq C_d$  och ingående partialkoefficienter sätts till 1,0.  $E_d$  är den dimensionerande lasteffekten och  $C_d$  är gränsvärdet på lasteffekten vid dimensionering.

Gränsvärden för maximala sättningar och deformationer bör bestämmas i samråd med byggherren eller dess ombud.

### 4.4.2 Dimensionering genom beräkning

I Pålkommisionens rapporter nr 100, Kohesionspålar [4] och Pålkommisionens rapport nr 103, Slagna friktionspålar [5] redovisas lämpliga metoder för beräkning av sättning hos pålgrupper i lera respektive friktionsjord.

När det gäller bruksgränstillståndet ska spänningar i stål och trä, enligt svensk praxis (se Pålkommisionens rapport 96:1) begränsas till elastiska förhållanden och kantpåkänning hos betongpålar ska begränsas till  $0,6 \cdot f_{ck}$ . Detta krav gäller även i SS-EN 1992-1. Dessutom gäller att hänsyn ska tas till icke linjär krypning när tryckspänningen för långtidslast överstiger  $0,45 \cdot f_{ck}$  (se avsnitt 3.1.4 i SS-EN 1992-1).

### 4.4.3 Dimensionering genom hävdvunna åtgärder

Någon utpräglad hävdvunnen åtgärd har inte identifierats för bestämning av sättningen hos pålar. Sättningsberäkningar brukar dock inte utföras för stoppslagna pålar med spetsen på berg eller bottenmorän. Sättningen är minst lika med axialkompressionen av pålen. Spetsrörelsen för en enskild påle stoppslagen på berg/morän kan med god säkerhet antas bli mindre än 5 mm, vilket brukar kunna accepteras för de flesta byggnadsverk.

### 4.4.4 Dimensionering genom modellförsök och provbelastning

Sättning hos enskilda pålar i friktionsjord kan oftast med god noggrannhet utvärderas från statiska provbelastningar eller från CAPWAP-analyser baserade på dynamiska provbelastningar. Detta gäller speciellt upp till den dimensionerande bärförmågan där inverkan av krypning kan förväntas vara mycket liten. För att bestämma sättningen hos en pålgrupp kan superponering med hjälp av samverkansfaktorer enligt t ex Randolph & Fleming [3] användas.

För pålar i kohesionsjord däremot kan långtidssättningar hos pålgrupper orsakade av konsolidering inte utvärderas från provbelastningar av enskilda pålar varför beräkningsmetoder istället måste användas.

### 4.4.5 Dimensionering genom observationsmetoden

Se motsvarande avsnitt under brottgränstillstånd.

## 5 Materialkrav

I inledningen till rapporten redovisas en lista på de viktigaste normer och standarder som styr materialkraven för pålar.

## 6 Utförande

I SS-EN 1997-1 hänvisas till fyra stycken utförandestandarder för påningens utförande:

- Mikropålar, SS-EN 14199.
- Grävpålar, SS-EN 1536.
- Massundanträngande pålar, SS-EN 12699.
- Sponter, SS-EN 12063.

I tabell 6.1 redovisas för vilka påltyper som dessa utförandestandarder kan vara aktuella.

I utförandestandarden Massundanträngande Pålar anges bland annat följande dimensioneringsrelaterade krav:

- Krav ställs på toleranser i plan men även på maximal lutningsändring. För slagna förtillverkade pålar gäller 10 cm i plan respektive 4 cm/m i lutning.
- Toleransen för riktningsavvikelse för lutande pålar är 2 grader
- Krav ställs även på att beräknad spänning i pålen under nedrivning inte får överstiga 0,8 gånger betongens tryckhållfasthet respektive 0,9 gånger stålets hållfasthet. Om stötvågsmätning utförs under nedrivning får dessa värden ökas med 10 % respektive 20 %.
- För insitu-gjutna pålar anges ett minsta täckskikt för armering när betongen är i direkt kontakt med jord respektive omges av foderrör (temporärt eller permanent). Minsta täckskikt är 50 mm respektive 40 mm.

I utförandestandarden Grävpålar anges bland annat följande dimensioneringsrelaterade krav:

- Krav ställs på toleranser i plan och på maximal lutningsändring. Minsta tolerans i plan är 10 cm för grävpålar upp till 1,0 m i diameter. För större pålar ökar toleranserna
- Max lutningsändring är 2 cm/m för vertikala grävpålar och 4 cm/m för lutande grävpålar.
- En minsta armeringsmängd i pålarna anges och varierar mellan 0,25 % och 0,5 % beroende på pålens tvärsnittsarea.
- Ett minsta täckskikt anges för armering (temporärt eller permanent) på 40 mm för pålar med foderrör och för pålar utan foderrör gäller 60 mm eller 50 mm beroende på om diametern är större respektive mindre än 0,6 m.

I utförandestandarden Mikropålar anges bland annat följande dimensioneringsrelaterade krav:

- Riktlinjer för toleranser i plan för mikropålar anges till 10 cm. Största vinkeländring i skarv är 1/150 radianer. Även avvikelser från pålens teoretiska centrumlinje anges. Här gäller att för vertikala pålar är kravet 2% av längden. För lutande pålar  $n > 4$  är kravet max 4% och för  $n < 4$  är kravet max 6%.
- Samma krav som för massundanträngande pålar ställs på beräknad spänning i pålen under nedrivning, se ovan.
- Förslag på korrosionshastigheter i jord anges för olika förhållanden
- Betongbruket ska ha en lägsta enaxlig tryckhållfast på 25 MPa efter 28 dygn.

Notera att även CFA-pålar och sekantpåleväggar omfattas av utförandestandarden Grävpålar.

I Tabell 6.1 redovisas för vilka påltyper som utförandestandarderna ska användas.



**Tabell 6.1     Aktuell utförandestandard för respektive påltyp.**

Påltyp	Utförandestandard
Standard betongpålar	-Massundanträngande pålar
Slagna stålrörspålar	- Massundanträngande pålar
Borrade stålrörspålar $\varnothing < 300$ mm	- Mikropålar
Borrade stålrörspålar $\varnothing > 300$ mm	- Grävpålar
Stålkärnepålar $\varnothing < 300$ mm	- Mikropålar
Träpålar	- Massundanträngande pålar
Grävpålar, CFA-pålar, Sekantpåleväggar	- Grävpålar

## 7 Uppföljning och kontroll

Enligt SS-EN 1997-1, avsnitt 7.6.2.7 (2) bör efterslagning utföras i siltiga jordar. Syftet är att undersöka om neddrivningsmotståndet har reducerats på grund av lokala porttrycksförändringar, vilket kan indikera att sk "falskt stopp" föreligger. Efterslagning för utvärdering/kontroll av stoppkriterium bör utföras tidigast 12 timmar efter avslutad slagning. Dessutom bör efterslagning alternativt kontrollslagning utföras på pålar som befaras ha rört sig på grund av slagning av näraliggande pålar. Notera att i SS-EN 1997-1 används inte begreppet kontrollslagning. Med kontrollslagning menas en enkel kontroll av näraliggande pålars stoppsjunkning i direkt anslutning till pågående pålslagning och utan någon förflyttning av pålkranen. Kontrollslagning bör utföras rutinmässigt av kranbesättningen vid slagning av spetsbärande pålar för beslut om eventuell efterslagning.

I utförandestandarderna Grävpålar, SS-EN 1536 och Massundanträngande pålar, SS-EN 12699 ges en mer utförlig beskrivning avseende övervakning, uppföljning och provning vid installation och tillverkning av pålar.

## 8 Dokumentation

Projekterings och dimensioneringsarbetet ska dokumenteras i ett projekterings-PM. Förslag på vad ett projekterings-PM bör innehålla redovisas i TD Dokumenthantering [10].

I SS-EN 1997-1, avsnitt 7.9, ställs krav på att en plan över pålinstallationen ska upprättas och förslag på vad en sådan ska innehålla ges. Dessutom ställs krav på att pålprotokoll ska föras över installationen.

Vid användning av observationsmetoden ska ett kontrollprogram/mätprogram upprättas där bland annat acceptabla gränser för beteende ska anges, se avsnitt 2.7 i SS-EN 1997-1.

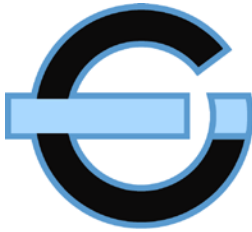
Enligt avsnitt 7.5.4 i SS-EN 1997-1 ska en separat rapport upprättas för alla utförda provbelastningar. Krav ges även på vad en sådan rapport ska omfatta. Jämför med TD Dokumenthantering [10].



Enligt EN 1997-1 bör pålprotokoll sparas i minst 5 år och att relationshandlingar bör upprättas och förvaras tillsammans med bygghandlingarna. Enligt svensk praxis bör de sparas i minst 10 år för att skapa samstämmighet med svenska arkiveringsprinciper. Pålprotokoll bör likställas med provbelastningsrapport och relationshandlingar. För övriga dokument hän visas till TD Dokumenthantering [10]

## 9 Referenser

- [1] Boverket (2004), Boverkets konstruktionsregler, BKR 2004.
- [2] Boverket (2008), Boverkets författningssamling, BFS 2009:16. Föreskrifter om ändring.
- [3] Fleming W.G.K., Weltman M.E., Randolph M.F. and Elson W.K. (1992), "Piling Engineering", John Wiley & sons.
- [4] Pålkommissionen (2004), "Kohesionspålar", Pålkommissionens rapport 100, med supplement 1
- [5] Pålkommissionen (2008), "Slagna Friktionspålar", Pålkommissionens rapport 103
- [6] Pålkommissionen (2004), "Standardpålar av betong – lastkapacitet och geoteknisk bärförmåga", Pålkommissionens rapport 94
- [7] Pålkommissionen (1979), "Grävpåleanvisningar", Pålkommissionens rapport 58
- [8] Pålkommissionen (1979), "Anvisningar för propålning med efterföljande provbelastning", Pålkommissionens rapport 59
- [9] IEG (2008), "Tillämpningsdokument Grunder", IEG rapport 2:2008
- [10] IEG (2008), "Tillämpningsdokument Dokumenthantering", IEG Rapport 4:2008
- [11] IEG (2008), "EN 1997-1 kapitel 7, Pålar, fas 2", IEG rapport 6:2007
- [12] Svensk Byggtjänst (1993), "Pålgrundläggning", ISBN 91-7332-663-1
- [13] Pålkommissionen (1993), "Datasimulering av påslagning", Pålkommissionens rapport 92.
- [14] Vägverket (2009), Vägverkets författningssamling, VVFS 2009:19. Föreskrifter om ändring och tillämpning av Eurokod. *Notera: senare version finns och hänvisas till i reviderad TD.*
- [15] Vägverket (1994), Bro 94, Vägverket Publ 1994:3.
- [16] Vägverket (2002), Bro 2002, Vägverket Publ 2002:47.
- [17] TK Geo (2009); Banverket BVS 1585.001 resp Vägverket Publ 2009:46
- [18] Boverket (2015). Boverkets författningssamling, BFS 2015:6. Föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)
- [19] Trafikverket (2011). Vägverkets författningssamling, TRVFS 2011:12 Föreskrifter om tillämpningen av europeiska beräkningsstandarder.
- [20] Pålkommissionen (2014), " Verifiering av geoteknisk bärförmåga för pålar enligt Eurokod", Pålkommissionens rapport 106
- [21] SS-EN 14199, Utförande av geokonstruktioner Mikropålar
- [22] SS-EN 1536, Utförande av geokonstruktioner Grävpålar
- [23] SS-EN 12699, Utförande av geokonstruktioner Massundanträngade pålar
- [24] SS-EN 12063, Utförande av geokonstruktioner Sponter



## IEG

IEG är en ideell förening, under ingenjörsvetenskapsakademins, IVA, hägn, som har till uppgift att initiera, samordna och utföra arbete som krävs för implementering av Europastandarder inom Geoteknikområdet, vilka inom de närmaste åren enligt EU-direktiv och lagen om offentlig upphandling kommer att ersätta och komplettera stora delar av dagens svenska geotekniska regelverk.

Syftet är också att säkerställa att det tas fram nödvändiga hjälpmedel i form av anpassade tillämpningsdokument o. dyl.

## Utgivna rapporter

- 1:2005 Eurokoder och Europastandarder. Vad kan man skriva i Nationella Tillämpningsregler till olika Geotekniska Standarder?
- 1:2006 Sammanställning av standarder och närliggande dokument
- 2:2006 EN 1997-1, Grunder, Fas I
- 3:2006 EN 1997-1 kapitel 6, Plattgrundläggning, Fas I
- 4:2006 EN 1997-1, kapitel 8 och 9, stödkonstruktioner, Fas 1
- 5:2006 EN 1997-1, kapitel 7, pålgrundläggning, Fas 1
- 6:2006 Eurokod 7 i jämförelse med BV Tunnel och Tunnel 2004, Fas 1
- 7:2006 EN 1997-1, Grunder, fas 2
- 8:2006 EN 1997-1, kapitel 6, plattgrundläggning, fas 2
- 9:2006 Fältmetoder, Dynamisk sondering
- 10:2006 EN 1997-1, Geoteknisk data, fas 1
- 11:2006 EN 1997-1, kapitel 8–9, Stödkonstruktioner, Beta-beräkningar
- 1:2007 EN 1997-1, kapitel 10 och 11, Slänter och bankar, fas 1
- 2:2007 EN 1997-1, Geoteknisk kategori
- 3:2007 Fältmetoder dynamisk sondering, underlag nationell bilaga
- 4:2007 En 1997-1, kapitel 10 och 11, Slänter och bankar, fas 2
- 5:2007 EN 1997-1, Geoteknisk data – Hantering av geoteknisk data, fas 2
- 6:2007 EN 1997-1, kapitel 7, Pål, fas 2
- 1:2007 EN 14688 Klassificering
- 2:2008 Tillämpningsdokument - Grunder
- 3:2008 Bergtunnel fas 2
- 4:2008 Tillämpningsdokument – Dokumenthantering
- 5:2008 EN 22475-1 Provtagning och grundvattenmätning
- 6:2008 Tillämpningsdokument – EN 1997-1 kapitel 10 och 11, Slänter och bankar
- 7:2008 Tillämpningsdokument – EN 1997-1 kapitel 6, Plattgrundläggning
- 8:2008 Tillämpningsdokument – EN 1997-1 kapitel 7, Pålgrundläggning
- 1:2009 EN 1997-1 Kapitel 8–9, Stödkonstruktioner, Fas 2
- 2:2009 Tillämpningsdokument – EN 1997-1 kapitel 9 stödkonstruktioner
- 3:2009 Vägledning för tillämpning av Skredkommissionens rapport 3:95 och 2:96 i enlighet med Eurokod. Fas 1 Frågeställningar
- 1:2010 Konsekvensanalys EN 1997-2, fas 2
- 2:2010 Rapportering geotekniska fältundersökningar (jord)
- 3:2010 Klassificering (jord) enligt En 14688-1 och 2