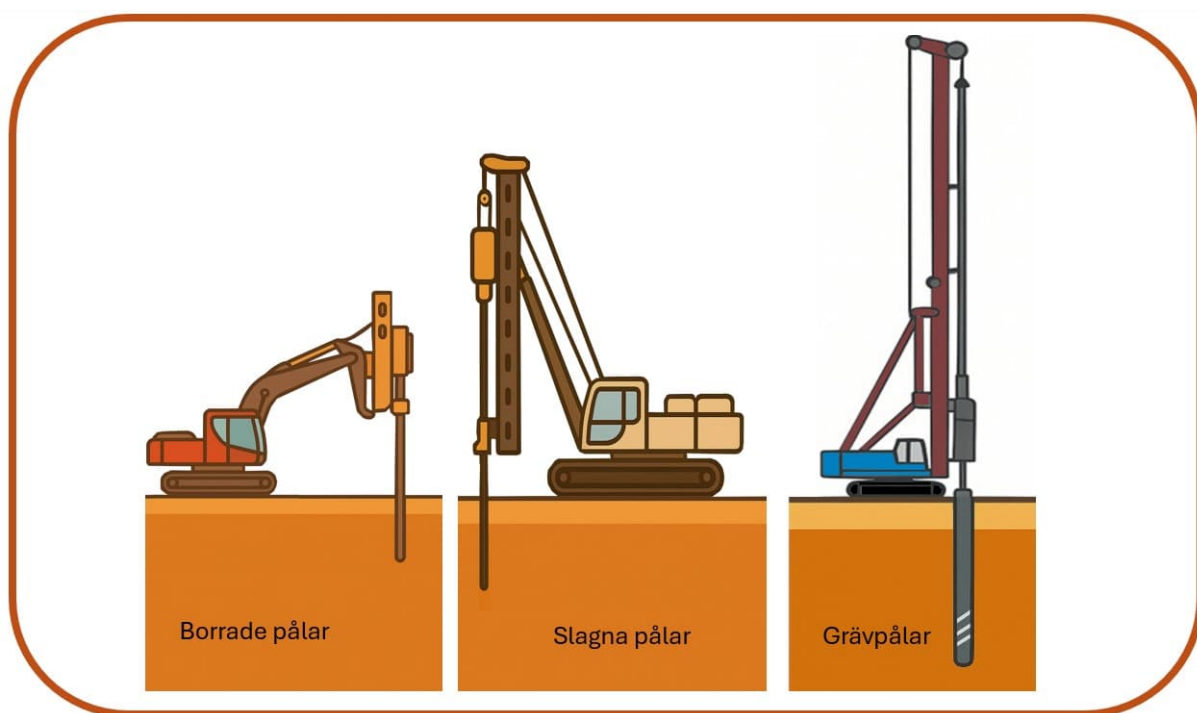


PÅLHANDBOKEN

KAPITEL 2, UNDERLAG FÖR PROJEKTERING



INNEHÅLLSFÖRTECKNING

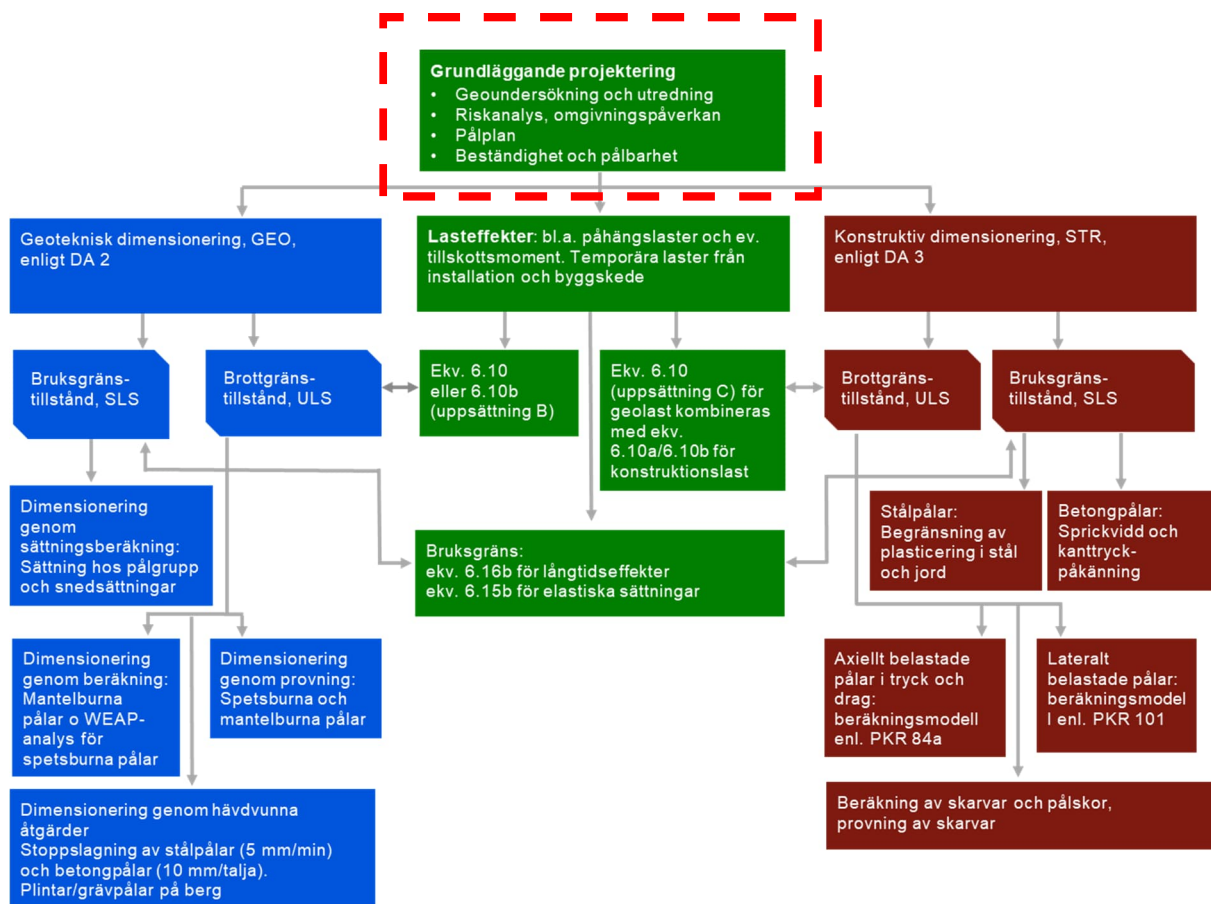
2	Underlag för projektering	5
2.1	Allmänt	5
2.2	Styrande dokument	6
2.2.1	Övergripande	6
2.2.2	Geotekniska och miljötekniska undersökningar	7
2.2.3	Provning av geokonstruktioner	10
2.2.4	Geoteknisk övervakning genom instrumentering i fält	10
2.2.5	Svenska kravdokument och rådgivande dokument	11
2.3	Underlag från geotekniska fält- och laboratorieundersökningar	13
2.3.1	Underlag för val av grundläggningsmetod	13
2.3.2	Syfte med undersökningar	14
2.3.3	Undersökningsstrategi	15
2.3.4	Kart- och arkivunderlag	16
2.3.5	Fält- och laboratoriemetoders användningsområden	17
2.3.6	Underlag med hänsyn till pålars verkningssätt, pålbarhet och drivbarhet	25
2.3.7	Underlag från provpålning	39
2.3.8	Underlag för bedömning av arbetsplattformar	39
2.4	Underlag med hänsyn till omgivningspåverkan	40
2.4.1	Allmänt	40
2.4.2	Underlag	40
2.5	Underlag med hänsyn till beständighet	42
2.5.1	Generellt	42
2.5.2	Robusthet	42
2.5.3	Stål	42
2.5.4	Betong	43
2.5.5	Trä	43
2.6	Lasteffekter	44
2.7	Referenser	46

2 UNDERLAG FÖR PROJEKTERING

2.1 ALLMÄNT

Vid projektering av en byggnadskonstruktion som grundläggs med pålar ska de geotekniska och konstruktiva villkoren klarläggas så att konstruktionen med betryggande säkerhet kan överföra uppträdande laster under brott- och bruksstadiet till underliggande jord eller berg utan att skadliga rörelser uppstår, se Figur 2.1.

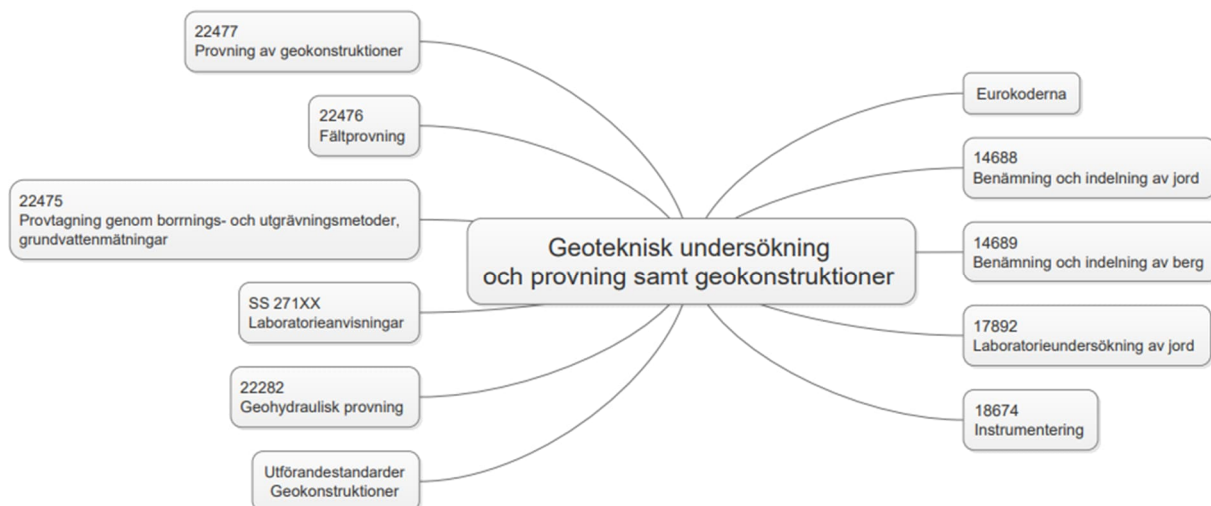
Målet för projekteringen är att erhålla en säker och tekniskt optimal grundläggningslösning för aktuell byggnadskonstruktion. Projekteringsprocessen för pålgrundläggning beskrivs i kapitel 3.



Figur 2.1 Dimensioneringsprocess för pålar. Inringade delar illustrerar det som beskrivs i kapitel 2, underlag för projektering.

2.2 STYRANDE DOKUMENT

För geotekniska undersökningar och provningar av jord och berg, samt materialkrav och provning av geokonstruktioner gäller standarder enligt Figur 2.2. I nedanstående avsnitt specificeras vilka standarder som ligger under respektive fält.



Figur 2.2 Förteckning över standarder med kravställning på undersökning och provning av jord- och bergmaterial vid olika typer av geokonstruktioner.

2.2.1 Övergripande

Övergripande Eurokoder, med tillhörande standarder, redovisas i kapitel 1. I Tabell 2.1 redovisas de standarder som är specifika gällande underlag för projektering och utförande av olika typer av geokonstruktioner.

Tabell 2.1 Utförandestandarder för geokonstruktioner.

Utförandestandarder Geokonstruktioner	
SS-EN 1536: 2010+A1:2015 (SIS, 2015a)	Grävpålar
SS-EN 1537:2013 (SIS, 2013a)	Förankringar*
SS-EN 1538: 2010+A1:2015 (SIS, 2015b)	Slitsmurar
SS-EN 12063:2024 (SIS, 2024a)	Sponter, kombisponter, förstyvade sponter
SS-EN 12699:2015 (SIS, 2015c)	Massundanträngande pålar
SS-EN 12715:2020 (SIS, 2020a)	Injektering
SS-EN 12716:2018 (SIS, 2018a)	Jetinjektering
SS-EN 14199:2015 (SIS, 2015d)	Mikropålar
SS-EN 14475:2006 (SIS, 2006)	Armerad jord
SS-EN 14490:2010 (SIS, 2010)	Jordspikning
SS-EN 14679:2005 (SIS, 2005a)	Djupstabilisering med bindemedel
SS-EN 14731:2005 (SIS, 2005b)	Jordförstärkning med djupvibrering
SS-EN 15237:2007 (SIS, 2007a)	Vertikaldränering

*OBS, avseende provning av förankringar så gäller SS-EN ISO 22477-5:2018 (SIS, 2018m).

2.2.2 Geotekniska och miljötekniska undersökningar

I Tabell 2.2–Tabell 2.6 redovisas standarder avseende geoteknisk fältprovning, geohydraulisk provning, provtagning genom borrhings- och utgrävningsmetoder och grundvattenmätningar, benämning och indelning av jord och berg samt laboratorieundersökning av jord. I Tabell 2.7 och Tabell 2.8 redovisas svenska laboratorieanvisningar samt standarder avseende miljö- och materialtekniska undersökningar.

Tabell 2.2 Geoteknisk fältprovning.

22476 Fältprovning	
SS-EN ISO 22476-1:2023 (SIS, 2023a)	Spetstrycksondering med elektrisk spets, CPT och CPTu
SS-EN ISO 22476-2:2005 (SIS, 2005c) Tillägg 1: SS-EN ISO 22476-2:2005/A1:2011 (SIS, 2011a)	Hejarsondering, inklusive tillägg 1
SS-EN ISO 22476-3:2005 (SIS, 2005d) Tillägg 1: SS-EN ISO 22476-3:2005/A1:2011 (SIS, 2011b)	SPT-försök, inklusive tillägg 1
SS-EN ISO 22476-4:2021 (SIS, 2021a)	Pressometerförsök enligt Ménard
SS-EN ISO 22476-5:2023 (SIS, 2023b)	Provning med förborrad pressometer
SS-EN ISO 22476-6:2018 (SIS, 2018b)	Provning med självborrande pressometer
SS-EN ISO 22476-7:2012 (SIS, 2012a)	Försök med stel borrhålsdilatometer
SS-EN ISO 22476-8:2018 (SIS, 2018c)	Provning med massundanträngande pressometer
SS-EN ISO 22476-9:2020 (SIS, 2020b)	Fältvingprovning (FVT och FVT-F)
SS-EN ISO 22476-10:2017 (SIS, 2017a)	Viktsondering
SS-EN ISO 22476-11:2017 (SIS, 2017b)	Dilatometer provning
SS-EN ISO 22476-12:2009 (SIS, 2009a)	Mekanisk spetstrycksondering
SS-EN ISO 22476-14:2020 (SIS, 2020c)	Dynamisk sondering i borrhål
SS-EN ISO 22476-15:2016 (SIS, 2016a)	Mätning under borrhning
SS-EN ISO 22476-16:2024 (SIS, 2024b)	Provning med skjuvutrustning i borrhål

Tabell 2.3 Geohydraulisk provning.

22282 Geohydraulisk provning	
SS-EN ISO 22282-1:2012 (SIS, 2012b)	Allmänna regler
SS-EN ISO 22282-2:2012 (SIS, 2012c)	Bestämning av hydraulisk konduktivitet i öppna borrhål
SS-EN ISO 22282-3:2012 (SIS, 2012d)	Vattenförlustmätning i berg
SS-EN ISO 22282-4:2021 (SIS, 2021b)	Provpumpning
SS-EN ISO 22282-5:2012 (SIS, 2012e)	Infiltrationsprovning
SS-EN ISO 22282-6:2012 (SIS, 2012f)	Bestämning av hydraulisk konduktivitet i (av) manschetterade borrhål

Tabell 2.4 Provtagning genom borrhings- och utgrävningsmetoder och grundvattenmätningar.

22475 Provtagning genom borrhings- och utgrävningsmetoder och grundvattenmätningar	
SS-EN ISO 22475-1:2021 (SIS, 2021c)	Tekniskt utförande

Tabell 2.5 Benämning och indelning av jord och berg.

14688 – Benämning och indelning av jord	
SS-EN ISO 14688-1:2018 (SIS, 2018d)	Benämning och beskrivning
SS-EN ISO 14688-2:2018 (SIS, 2018e)	Klassificeringsprinciper

14689 – Benämning och indelning av berg	
SS-EN ISO 14689: 2018 (SIS, 2018f)	Benämning och indelning av berg

Tabell 2.6 Laboratorieundersökning av jord.

17892 – Laboratorieundersökning av jord	
SS-EN ISO 17892-1:2014 (SIS, 2014a) Tillägg 1: SS-EN ISO 17892-1:2014/A1:2022 (SIS, 2022a)	Bestämning av vattenkvot inklusive tillägg
SS-EN ISO 17892-2:2014 (SIS, 2014b)	Bestämning av skrymdensiteten hos fin-kornig jord
SS-EN ISO 17892-3:2016 (SIS, 2016b)	Bestämning av kompaktdensitet
SS-EN ISO 17892-4:2016 (SIS, 2016c)	Bestämning av kornstorleksfördelning
SS-EN ISO 17892-5:2017 (SIS, 2017c)	Ödometerförsök med stegvis belastning
SS-EN ISO 17892-6:2017 (SIS, 2017d)	Provning med fallkon
SS-EN ISO 17892-7:2018 (SIS, 2018g)	Enaxlig tryckprovning
SS-EN ISO 17892-8:2018 (SIS, 2018h)	Okonsoliderad odränerad triaxialprovning
SS-EN ISO 17892-9:2018 (SIS, 2018i)	Konsoliderad aktiv triaxialprovning på vattenmättad jord
SS-EN ISO 17892-10:2019 (SIS, 2019a)	Provning med skjuvbox och ringskjuvapparat
SS-EN ISO 17892-11:2019 (SIS, 2019b)	Permeabilitetstest
SS-EN ISO 17892-12:2018 (SIS, 2018j) Tillägg 1: SS-EN ISO 17892-12:2018/A1:2021 (SIS, 2021d) Tillägg 2: SS-EN ISO 17892-12:2018/A2:2022 (SIS, 2022b)	Bestämning av flytgräns och plasticitetsgräns inklusive tillägg

Tabell 2.7 Svenska laboratorieanvisningar.

SS 271XX Laboratorieanvisningar	
SS 27105 Geotekniska provningsmetoder (SIS, 1990a)	Organisk halt i jord - Glödningsförlustmetoden
SS 27107 Geotekniska provningsmetoder (SIS, 1990b)	Organisk halt i jord - Kolorimetermätning
SS 27110 Geotekniska provningsmetoder (SIS, 1994)	Packningsegenskaper- Fältbestämning av densitet
SS 27112 Geotekniska provningsmetoder (SIS, 1989a)	Bestämning av kapillaritet med undertryckskapillarimeter
SS 27117 Geotekniska provningsmetoder (SIS, 1989b)	Beräkning av portal och porositet
SS 27126 Geotekniska provningsmetoder (SIS, 1991a)	Kompressionsegenskaper - Ödometerförsök, CRS-försök - Kohesionsjord
SS 27127 Geotekniska provningsmetoder (SIS, 1991b)	Skjuvhållfasthet - Direkta skjuvförsök, CU och CD-försök - Kohesionsjord

Tabell 2.8 Markmiljö.

Miljö- och materialtekniska undersökningar	
SS-EN ISO 11885:2009 (SIS, 2009b)	Vattenundersökningar – Bestämning av ett antal utvalda grundämnen genom atomemissionsspektrometri med induktivt kopplad plasma (ICP-AES)(ISO 11885:2007)
ISO 4316:1977 (ISO, 1977)	Surface active agents - Determination of pH of aqueous solutions – Potentiometric method
SS-EN 196-2:2013 (SIS, 2013b)	Cement – Provning – Del 2: Kemisk analys
DIN 4030-2:2008-06 (DIN, 2008)	Assessment of water, soil and gases for their aggressiveness to concrete – Part 2: Sampling and analysis of water and soil samples
SS-EN 16502:2014 (SIS, 2014c)	Provningsmetod för bestämning av surhetsgraden i jord enligt Baumann-Gully
SS-EN 206:2013+A2:2021 (SIS, 2021e)	Betong – Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse
SS-ISO 11265 (SIS, 1996)	Markundersökningar – Bestämning av den elektriska konduktiviteten
DIN 50929-3:2024-05 (SIS, 2024)	Corrosion of metals – Corrosion likelihood of metallic materials when subject to corrosion from the outside – Part 3: Buried and underwater pipelines and structural components
DIN 38409-7:2005-12 (DIN, 2005)	German standard methods for the examination of water, waste water and sludge – Parameters characterizing effects and substances (group H)- Part 7: Determination of acid and baseneutralizing capacities (H 7)
SS-EN ISO 10304-1:2009 (SIS, 2009c)	Vattenundersökningar – Bestämning av lösta anjoner med jonkromatografi – Del 1: Bestämning av bromid, klorid, fluorid, nitrat, nitrit, fosfat och sulfat
SS-EN ISO 10390: 2022 (SIS, 2022c)	Jord, behandlat bioavfall och slam – Bestämning av PH

2.2.3 Provning av geokonstruktioner

I Tabell 2.9 redovisas standarder avseende provning av pålar och förankringar.

Tabell 2.9 Provning av geokonstruktioner.

22477 Provning av geokonstruktioner	
SS-EN ISO 22477-1:2018 (SIS, 2018k)	Statisk provbelastning av pålar med axiell trycklast
SS-EN ISO 22477-2:2023 (SIS, 2023c)	Statisk provbelastning av pålar med axiell draglast
SS-EN ISO 22477-4:2018 (SIS, 2018l)	Dynamisk provbelastning av pålar
SS-EN ISO 22477-5:2018 (SIS, 2018m)	Provning av förankringar
SS-EN ISO 22477-10:2016 (SIS, 2016d)	Provning av pålar: snabb provbelastning

2.2.4 Geoteknisk övervakning genom instrumentering i fält

I Tabell 2.10 redovisas standarder avseende geoteknisk övervakning genom instrumentering i fält och i Tabell 2.11 redovisas övriga svenska standarder avseende övervakning med mätningar.

Tabell 2.10 Geoteknisk övervakning genom instrumentering i fält.

18674 – Geoteknisk övervakning genom instrumentering i fält	
SS-EN ISO 18674-1:2015 (SIS, 2015e)	Allmänna regler
SS-EN ISO 18674-2:2016 (SIS, 2016e)	Mätning av förskjutningar längs en linje: Extensometrar
SS-EN ISO 18674-3:2017 (SIS, 2017e) Tillägg 1: SS-EN ISO 18674-3:2017/ A1:2020 (SIS, 2020d)	Mätning av förskjutningar tvärs en linje: Inklinometrar inklusive tillägg
SS-EN ISO 18674-4:2020 (SIS, 2020e)	Mätning av porvattentryck: Portrycksmätare
SS-EN ISO 18674-5:2019 (SIS, 2019c)	Totalspänningsmätning med jordtryckscell [TPC]
SS-EN ISO 18674-7:2025 (SIS, 2025)	Mätning av töjning: Töjningsgivare
SS-EN ISO 18674-8:2023 (SIS, 2023d)	Mätning av kraft: Kraftgivare

Tabell 2.11 Övriga svenska standarder avseende övervakning med mätningar.

Övervakning med mätningar	
SS 25211 (SIS, 1999)	Vibration och stöt - Riktvärden och mätmetod för vibrationer i byggnader orsakade av pålning, spontning, schaktning och packning
SS 4604860:2022 (SIS, 2022d)	Vibration och stöt - Syneförrättning – Arbetsmetod för besiktning av byggnader och anläggningar i samband med vibrationsalstrande verksamhet

2.2.5 Svenska kravdokument och rådgivande dokument

I Tabell 2.12 redovisas svenska krav- och upphandlingsdokument avseende geokonstruktioner och brokonstruktioner och i Tabell 2.13 visas svenska rådgivande dokument avseende geoteknik.

Tabell 2.12 Svenska krav- och upphandlingsdokument avseende geokonstruktioner och brokonstruktioner.

TRVINFRA-00230, Version 3.0 (Trafikverket, 2025b)	Geokonstruktion, Dimensionering och utformning, Krav med rådstext
TRVINFRA-00227, Version 6.0 (Trafikverket, 2025a)	Bro och broliknande konstruktion, Byggande, Krav med rådstext
AMA Anläggning (Svensk Byggtjänst, 2023)	AMA Anläggning 23, RA Anläggning 23 och MER Anläggning 23

Tabell 2.13 Svenska rådgivande dokument.

SGF Rapport 1:2013 (SGF, 2013a)	Fälthandbok Geoteknik
SGF Rapport 2:2013 (SGF, 2013b)	Fälthandbok Förorenade områden
SBUF 13413 (SBUF, 2019)	Installation av pålar och spont i förorenad mark, Spridningsrisk och ansvarsfördelning
SGI Uppdragsrapport 14717 (SGI, 2019)	Pålning i förorenade områden, Kunskapssammanställning
Svensk Byggtjänst (Svensk Byggtjänst, 2015)	Schakta säkert
Svensk Byggtjänst / SBUF 13547 (Svensk Byggtjänst, 2021)	Säker uppställning av tunga anläggningsmaskiner
SGF Rapport 2:2020 (SGF, 2020)	Osäkerheter vid bestämning av organisk halt i jord
SGF Notat 2:2018 (SGF, 2018a)	Fallkonförsöket
SGF Notat 1:2018 (SGF, 2018b)	Konflytgränsen
SGF Rapport 1:2017 (SGF, 2017)	Metodik för bestämning av skjuvhållfasthet i lera – en vägledning
SGF Rapport 1:2016 (SGF, 2021)	Jordarternas indelning och benämning
SGF Rapport 4:2012 (SGF, 2012a)	Metodbeskrivning för jord-bergsondering
SGF Rapport 2:2012 (SGF, 2012b)	Triaxialförsök – en vägledning
SGF Notat 1:2009 (SGF, 2009)	Jämförande sonderingar Jb-total-sondering, CPT och Hejarsondering
SGF Notat 3:2007 (SGF, 2007)	Laboratieprovning för geotekniska utredningar
SGF Rapport 2:2006 (SGF, 2:2006)	Metodbeskrivning för installation av inklinometerrör
SGF Notat 2:2005 (SGF, 2005)	Permeabilitetsbestämning genom laboratieförsök
SGF Notat 2:2004 (SGF, 2004)	Direkta skjuvförsök – en vägledning
SGI Vägledning 8 (SGI, 2023)	Utredning av släntstabilitet, utgåva 1
SGI Information 1 (SGI, 2008)	Jords egenskaper
SGI Information 2 (SGI, 1984)	Geotekniska undersökningar i fält
SGI Information 3 (SGI, 2007)	Skjuvhållfasthet – utvärdering i kohesionsjord

SGI Information 6 (SGI, 1988)	Torv – geotekniska egenskaper och byggmetoder
SGI Information 7 (SGI, 1989a)	Report of the ISSMFE Technical committee on Penetration Testing of Soils – TC 16 with Reference Test Procedures, CPT-SPT-DP-WST
SGI Information 8 (SGI, 1989b)	Hållfasthet i friktionsjord
SGI Information 10 (SGI, 1989c)	Dilatometerförsök – En in situ-metod för bestämning av lagerföljd och egenskaper i jord. Utförande och utvärdering
SGI Information 11 (SGI, 1990)	Mätning av grundvattennivå och portryck
SGI Information 15 (SGI, 2015)	CPT-sondering, utrustning-utförande-utvärdering. <i>Delvis inaktuell pga diskrepans mot SS-EN ISO 22476-1:2023</i>
SGI Information 16 (SGI, 1998)	Siltjordars egenskaper – Silt som konstruktionsmaterial, bestämning av geotekniska egenskaper
TrV Publ 2017-037 (Trafikverket, 2016)	Bestämning av leras skjuvhållfasthet. Delrapport 3 - Sammanställning av case records
TrV Publ 2017:078 (Trafikverket, 2017)	Bestämning av den odränerade skjuvhållfasthet med specialiserade metoder i praktiska tillämpningar. Delrapport 4 – Rekommendationer för val av skjuvhållfasthet

2.3 UNDERLAG FRÅN GEOTEKNISKA FÄLT- OCH LABORATORIEUNDERSÖKNINGAR

2.3.1 Underlag för val av grundläggningsmetod

Ett byggnadsverk ska grundläggas så att det håller och inte rör sig mer än vad överliggande konstruktion (väg, byggnad eller annan anläggning) tillåter. För att välja grundläggningsmetod behöver markens egenskaper och ingående jordarter kartläggas. Ytgrundläggning, så som grundplatta och plintar, utförs vanligtvis vid små jorddjup, fast lagrad jord och vid små laster, medan högre laster, större jorddjup och lösare jordarter erfordrar djupgrundläggning, vanligtvis pålar med olika verkningssätt.

Vilken grundläggningsmetod som slutligen väljs beror på förekommande jordarter under markytan. Den övervägande delen av Sveriges jordarter bildades under den senaste istiden (glacial tid) som varade cirka 100 000 år och slutade för cirka 10 000 år sedan samt tiden därefter (postglacial tid). Jordarter som är äldre än den senaste istiden har bara påträffats på enstaka ställen i Sverige. Se även kapitel 1.

Jordarterna indelas efter kornstorleksfördelning samt efter bildningssätt och bildningsmiljö. Den dominerande jordarten i Sverige är morän. Det är en osorterad jordart som bildades när inlandsisen slipade eller bröt loss bitar av berggrunden, samt krossade och blandade materialet med äldre jordarter. En stor del av Sveriges yta består även av isälvs- och issjösediment (sten, grus och sand), samt sediment (silt och lera). Sediment som avsattes efter den senaste istiden benämns som postglaciala sediment.

Fyllningsjord används som benämning på en icke naturligt avlagrad jordart, vanligtvis jord som blandats upp med olika kornfraktioner, byggnadsmaterial etc. och som använts för ut- och uppfyllnad.

För att kunna välja en lämplig grundläggningsmetod behöver en geomodell skapas på den aktuella platsen. Detta definieras i Eurokod 1997-2:2024 (SIS, 2024c) som "Ground Model, GM". I geomodellen ska utvärderade värden på undersökta egenskaper ingå, och jordlagerföljden för påverkansområdet för grundläggningsarbetena ska beskrivas. Geomodellen ska bygga på geotekniska, miljötekniska, geofysiska, hydrogeologiska och bergtekniska inventeringar, fält- och laboratorieundersökningar, vilka sammanställs i en MUR (Markteknisk Undersökningsrapport). I MUR:en redovisas de undersökningar som utförts, liksom relevant förhandsinformation från arkivstudier, bygglovshandlingar, digitala karttjänster etc. MUR:ens syfte är att visa förutsättningar för grundläggning och ska kunna visa och ge svar på frågeställningar under projekteringsskedet.

Resultatet från en markteknisk undersökning ligger till grund för geomodellen. Vanligtvis utförs först en översiktlig undersökning, för att kartlägga markens beskaffenhet, jordlagerföljd och för att erhålla djup till fast botten eller berg. Denna undersökning utgör normalt ett otillräckligt underlag för en detaljerad bedömning av förutsättningarna för grundläggning. Det räcker inte med att konstatera att exempelvis pålning erfordras. Därför rekommenderas en geoteknisk undersökning som utförs stegvis.

Utöver upplysningar om jord-, berg-, och grundvattenförhållanden ska det redan i utrednings- och projekteringsskedet kunna bedömas lämpligt verkningssätt för pålar, påltyp, pålbarhet, erforderlig pållängd, lämplig verifieringsmetod, risk för omgivningspåverkan, beständighet etc. Sådana uppgifter erhålls genom en kompletterande markteknisk undersökning. Det är dock inte alltid möjligt att enbart utifrån resultaten av dessa undersökningar bedöma vilken påltyp som ska användas. I sådana fall kan det bli aktuellt med propålning, vilket också räknas som en geoteknisk undersökningsmetod.

När förfrågningsunderlaget ska upprättas omarbetas de geotekniska rekommendationerna i projekteringsunderlaget till programhandling/systemhandling/bygghandling. Den geotekniska undersökningen kan behöva kompletteras i efterföljande skeden.

Den geotekniska undersökningen ska klarlägga jordlagrens

- typ
- horisontella utsträckning
- tjocklek
- hållfasthet
- deformationsegenskaper.

Geoprojekteringsprocessen omfattar geotekniska undersökningar, utvärdering av materialegenskaper samt upprättande av geomodell, beräkningsmodeller och prognoser. Utifrån platsens förutsättningar bestäms vilken grundläggningsmetod som är lämplig, vilket medför att ytterligare fältundersökningar erfordras för att tydliggöra geomodellen för vald grundläggningsmetod. I avsnitten nedan beskrivs metodik för att ta fram underlag för projektering av pålgrundläggning. Projekteringsprocessen för pålgrundläggning beskrivs i detalj i kapitel 3.

2.3.2 Syfte med undersökningar

Inför projektering av en pålgrundläggning behövs detaljerad information avseende de geologiska, geotekniska och hydrogeologiska förhållandena inom området. Som underlag för planeringen av de marktekniska undersökningarna rekommenderas att en inventering görs av tidigare utförda geotekniska undersökningar och genomförda pålningsarbeten i området.

Arkivinventering samt geotekniska undersökningar utförs för att ge underlag till att:

- Bedöma pålarnas verkningssätt t.ex. friktionspåle, kohesionspåle, spetsburen påle.
- Beräkna pålarnas axiella och transversella **geotekniska bärförmåga** (GEO, ULS) och korresponderande längd samt **sättningar** hos konstruktionen (GEO, SLS).
- Dimensionera **pålelement**, bestämma **jordens bäddmodul** för beräkning av axiell (knäckning) och transversell bärförmåga samt omräkningsfaktorn η , (STR).
- Bedöma **pålbarheten**, dvs. jordens egenskaper med avseende på påslagning.
- Bedöma **drivbarheten**, dvs. egenskaper vid drivning med en viss utrustning.
- Bedöma pålarnas **beständighet** t.ex. korrosion och exponeringsklass för betong.
- Dimensionera **temporära arbetsvägar och arbetsbäddar** för arbetsmaskiner, transporter m.m. samt framkomlighet i terrängen och eventuella pålbryggor.
- Ge en övergripande bild över de geologiska, geotekniska och geohydrologiska förhållandena i området, exempelvis för bedömning av olika typer av **omgivningspåverkan**.

Ett flertal uppgifter är nödvändiga för att kunna planera och genomföra en kvalitativ projektering. Exempel på uppgifter är bl.a. sådana som gäller överbyggnadens funktion, samverkan med vald grundläggning och vilka geotekniska förhållanden som kan förväntas. Utöver detta tillkommer förundersökningar om det planerade arbetets inverkan på omgivningen och förhållanden som rör lagar, tredje man och avtal.

En konstruktion grundläggs med pålar för att begränsa uppkommande rörelser. Genom att dimensionera med utgångspunkt från godtagbara vibrationer och deformationer hos överbyggnaden kan pål-

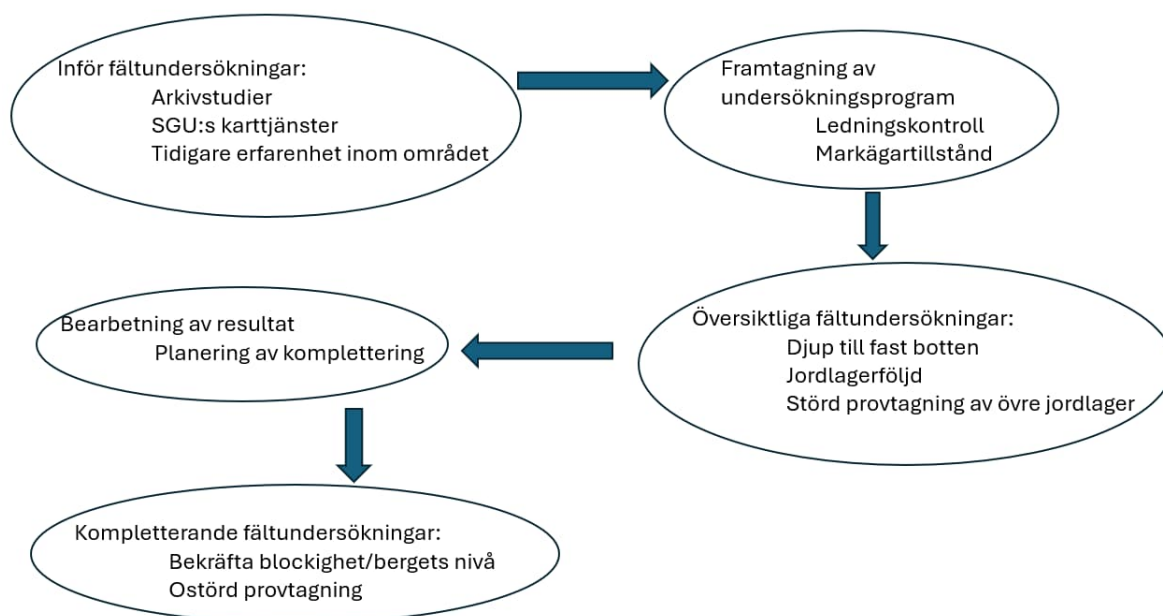
ningen optimeras. Föreskrivna säkerhetsmarginaler måste hållas, både för bruksgräns- och brottgränstillstånd. I projekteringsskedet ska därför alltid beaktas vilka rörelser och lutningar som kan godtas hos överliggande konstruktion.

Förundersökningarna ska också klarlägga vilka lasteffekter som ska förutsättas. Detta gäller såväl inverkan av de krafter som verkar på pålgrundläggningen, som de rörelser som påtvingas pålarna, se avsnitt 2.6.

2.3.3 Undersökningsstrategi

De arkivundersökningar som redovisas i avsnitt 2.3.4 bildar tillsammans en relativt god bild över vilka förhållanden som kan förväntas inom ett undersökningsområde. De ger dock inte en heltäckande bild, varför fält- och laboratorieundersökningar måste utföras. Med hänsyn till vad som ska byggas, vilka laster som ska föras ner från överliggande konstruktion och hur förhållandena ser ut i övrigt kan det krävas såväl geotekniska, miljötekniska, hydrogeologiska som bergtekniska fältundersökningar i form av sonderingar och provtagningar. Som ett komplement kan också geofysiska metoder eller provpå-ning utföras.

Ett undersökningsprogram tas fram baserat på den information som framkommit i arkivstudien. Det är ofta fördelaktigt att arbeta iterativt; inledande översiktliga fältundersökningar kompletteras i ett senare skede med mer detaljerade undersökningar. Iterationen faller sig naturligt om exempelvis översiktliga fältundersökningar utförts i detaljplaneskedet, som sedan följs upp av mer inriktade sonderingar och provtagningar inför byggnation. Iterationen kan också ske löpande genom direktkontakt med personalen i fält, dvs. att undersökningsprogrammet revideras och utökas utifrån resultatet av de inledande sonderingarna. Det är oavsett en fördel att starta fältundersökningen med översiktliga sonderingar och provtagningar, för att få en preliminär bedömning av jordlagerföljd inom området. Baserat på det inledande resultatet kompletteras undersökningsprogrammet exempelvis med tätare sonderingar, mer kvalificerade undersöknings-, provtagnings- och laboriemetoder eller bestämning av blockighet och bergytans nivå. Flödesschema för fältundersökningar visas i Figur 2.3. I avsnitt 2.3.5 redovisas olika fält- och laboriemetoders användningsområden.



Figur 2.3 Flödesschema fältundersökningar.

En väl underbyggd fält- och laboratorieundersökning ska kunna ge besked om förutsättningarna för installation av pålar, ge underlag för att analysera pålarnas förmåga att bära överliggande konstruktion

med påverkande laster och belysa vilken omgivningspåverkan som grundläggningen kan ge upphov till. Kort sagt minska sannolikheten för otrevliga överraskningar i utförandeskedet.

För val av verkningssätt och påltyp är det även viktigt att bestämma exempelvis grundvattenytans läge och årstidsvariationer, jordens elektriska resistivitet och andra förutsättningar som kan påverka grundläggningens beständighet. Det ska också framgå vilka hinder för pålningen som kan förutsättas, exempelvis förekomst av block, sten och byggnadsrester i fyllningsjord, samt kornfraktioner i naturlig jord som kan påverka installationssättet, exempelvis genom så kallade "falska pålstopp". En väl utförd fält- och laboratorieundersökning ska dessutom ge svar om det finns områden med låg markstabilitet, om det finns behov av förstärkning för arbetsfordon, om det förekommer sättningar eller andra rörelser i marken eller om stabiliteten innebär restriktioner för utförande av pålningsarbetet.

I avsnitt 2.3.6 redovisas undersökningsunderlag med hänsyn till pålars verkningssätt, pålbarhet och drivbarhet. I avsnitt 2.3.7 redovisas underlag baserat på provpålning och i avsnitt 2.3.8 redovisas undersökningsunderlag för bedömning av arbetsplattformars bärighet.

Erforderliga kontroller vid pålningsarbeten och omgivningspåverkan vid pålning behandlas detaljerat i kapitel 3, 7, 9 och 10.

Redovisning av undersökningar

Resultaten av de geotekniska fält- och laboratorieundersökningarna redovisas i en separat rapport (MUR – Markteknisk Undersökningsrapport). Denna rapport bör inte innehålla tolkningar och värderingar. Uttolkade, bedömda förhållanden och förutsättningar som har betydelse för projekteringen ska redovisas i en separat handling, ofta rubricerad som geotekniskt planerings- eller projekteringsunderlag, samt i Teknisk Beskrivning/Mängdförteckning.

2.3.4 Kart- och arkivunderlag

Inför planering av geotekniska fältundersökningar ska tillgängligt kartunderlag och tidigare geotekniska utredningar inventeras, för att få en översiktlig bild av geotekniska förhållanden inom undersökningsområdet. Exempel på detta är inventering av befintliga byggnadsverk, installationer och deras grundläggningssätt, vilket är viktigt vid bedömning av omgivningspåverkan inför ett pålningsarbete.

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) samlar ett antal digitala underlag (WMS-tjänster) på sin Kartvisare (<http://apps.sgu.se/kartvisare>), vilken i varierande skalor ger information om jordarter, jordlagerföljd, jorddjup, berggrund, grundvattennivå, torvförekomst m.m. Dessa kartvisare kan ge en indikation om vilken jordlagerföljd som kan förväntas inom ett område på en översiktlig nivå. Om undersökningar av tillräckligt god kvalitet (brunnar eller Jb-sonderingar) finns i anslutning till aktuellt område kan goda indikationer på pållängder erhållas.

Statens Geotekniska institut (SGI) samlar geotekniska undersökningar och GeoSuite-borrhål från Trafikverket, Stockholms stad och Branschens geotekniska arkiv (BGA) via Geoteknisk sektorsportal (<https://gis.swedgeo.se/startgsp>). En rad övriga tjänster finns att tillgå inom SGI såsom:

[Kartunderlag om ras, skred och erosion - SGI](#)

[Kartläggning av kvicklera - SGI](#)

Satellitmätningar för mätning av sättningar kan beställas och det finns även gratistjänst (med något sämre upplösning) i Sättningskartan (<https://sattningskartan.se/sv/>), som kan ge en indikation om sättningsförhållanden inom ett undersökningsområde (restriktion om användning finns). Sättningskartan visar en beräknad rörelsehastighet på en stor mängd InSar-mätpunkter under åren 2017 till 2021. Kartan begränsar sig till södra delarna av Sverige, söder om en linje mellan Öregrund i Uppland och Sunne i Värmland.

Geotekniskt arkivmaterial kan också finnas på kommuners arkiv, från utredningar inom exempelvis detaljplaneprocessen eller från större nybyggnationer. Bygglovshandlingar kan ge information om lämplig grundläggning inom ett område. Geotekniska arkivhandlingar för befintliga vägar och järnvägar finns i Trafikverkets arkiv.

Lantmäteriets visningstjänst "Min Karta" (<https://minkarta.lantmateriet.se>) har kartlager som exempelvis visar terrängskuggning, plushöjder, fastighetsgränser och äldre flygbilder från år 1960 och 1975.

MIFO (fas 1) är ett nationellt verktyg, framtaget av Naturvårdsverket, som används för att inventera förorenade områden (finns restriktion om användning) (Naturvårdsverket, 1999). Resultatet från inventeringen ger kunskap om tidigare verksamhet inom området, och visar om det finns förutsättning för eventuella föroreningar i mark.

Geotekniskt arkivmaterial kan även finnas i hamnars arkiv. Verksamhetsberättelser utgör en god informationskälla, då de ofta innehåller utförliga beskrivningar av den historiska utvecklingen på platsen avseende utförda schakt-, muddrings-, fyllnings- och grundläggningsarbeten.

2.3.5 Fält- och laboratoriemetoders användningsområden

Nedan anges användningsområde och begränsningar för flertalet av de undersökningsmetoder, som är aktuella vid undersökningar för pålningsarbeten. Metoderna har indelats i följande grupper:

- geofysiska metoder
- geotekniska sonderingsmetoder
- provtagningsmetoder
- provningsmetoder
- laboratoriemetoder och modellförsök
- hydrogeologiska mätmetoder.

För flertalet av de angivna metoderna finns svensk eller internationell standard, se avsnitt 2.2.2.

2.3.5.1 Geofysiska metoder

De i Sverige vanligast förekommande geofysiska metoderna är georadar, refraktionsseismik och resistivitmätning. Dessa tre metoder har sina för- och nackdelar och behöver kombineras med traditionella geotekniska undersökningsmetoder för att kunna tolka uppmätta resultat.

Georadar utförs från markytan genom att förflytta en nedåtriktad radar på hjul eller släde. Metoden används huvudsakligen för att kartlägga jordlagerföljden i de översta jordlagren. Fördelen är att ett mycket stort område kan täckas in per dag (normal promenadtakt) till en relativt låg kostnad. Nackdelen är att signalen släcks ut i lera och vid vattenyta/ grundvattenyta. Dessutom kan hinder på markytan (t.ex. block/ tät buskage m.m.) försvåra framdriften.

Refraktionsseismik används huvudsakligen för att bestämma djup till berg och i vissa fall djup till fast morän. En kabel med geofoner läggs ut på markytan och fästs med spett. Därefter skapas en stöt på markytan och vågornas gångtid genom marken mäts. Fördelen med metoden är att det är möjligt att tränga ner till stora djup (dock med något sämre noggrannhet mot djupet). Nackdelen är att tjälade jordförhållanden försvårar utvärderingen av mätresultaten.

Seismiska försök mot djupet som mellanhålsförsök (eng. cross-hole test) och nerhålsförsök (eng. down-hole test), kan användas för bestämning av jordens styvhet (skjuvmodul). Mellanhålsförsök är

mer exakt då olika jordlager oftast är avlagrade horisontellt. Nerhålsförsök är billigare att utföra eftersom endast ett borrhål krävs och kan även kombineras med CPT-sondering och dilatometerförsök.

Resistivitetsmätning utförs genom att lägga ut en kabel på markytan som fästs med dubbar ner i marken. Kabelns längd kan variera utifrån markförhållandena och det nedträngningsdjup som ska uppnås. Ett normalt utlägg är mellan 80-160 m och ibland kan även ett dubbelt utlägg göras på 320 m. Därefter leds elektrisk ström genom kabeln ner i marken och dess elektriska ledningsförmåga mäts. Metoden används huvudsakligen för att kartlägga jordlagerföljder. Fördelen är att det blir möjligt att tränga ner till stora djup (dock med sämre noggrannhet på djupet), få en snabb överblick över jord- och bergförhållanden och även mäta läget på fast botten genom vatten. Nackdelen är att tjäle i marken gör det svårare att få elektrisk kontakt med jorden.

2.3.5.2 Geotekniska sonderingsmetoder

Jord-bergsondering (Jb)

Jord-bergsondering (Jb2, Jb3 och Jb-tot) är den enda metod som med säkerhet bestämmer djupet till berg. Detta utförs genom att borra 3-5 m ned i förmodat berg. I undantagsfall krävs längre inborrning i berg, vilket anges objektsspecifikt. Exempelvis kräver borrade pålar friskt berg för att erhålla tillräcklig bärförmåga. Detsamma gäller fallet med dragbelastade pålar där en längre inborrning i berg behövs för att kompensera för sammanfallande bergkoner. Metoden ger även en viss uppfattning om jordens blockighet och bergets egenskaper – t.ex. zoner med sämre bergkvalitet och diskontinuiteter. Bergnivå bestämd med jord-bergsondering korrelerar relativt bra med stopp för slagna stålrörspålar.

Hejarsondering (HfA)

Hejarsondering, (HfA, även benämnd DPSH-A), används för att kunna göra en grov bedömning av jordlagerföljd och som underlag för bedömning av förväntade pållängder för slagna betongpålar. Observera att detta är behäftat med stor osäkerhet. Det måste beaktas att stoppkriteriet sänktes cirka år 2013 från tre serier med 30 mm/50 slag (motsvarar 333 slag/0,20 m) eller fem serier med 200 slag/0,20 m till 200 slag/0,2 m eller fem serier med 100 slag/0,20 m. Sonderingsstopp korrelerade tidigare någorlunda bra med stoppdjup för slagna betongpålar i morän med måttlig mäktighet, men med utveckling av hur betongpålar installeras och hur HfA-metoden samtidigt förändrats (försämrats), så gäller detta numera i liten utsträckning. Ett vridmoment hos sondstången under neddrivningen $M_v > 100$ Nm kan vara en indikation på att sonderingsmotståndet ($N_{20,netto}$) är kraftigt påverkat av mantelfriktion. Mantelfriktionen tenderar dock att underskattas i mäktiga jordlager. Metoden ger också information om jordens egenskaper i fasta jordar såsom friktionsvinkel, där andra lättare sonderingsmetoder inte kan användas.

Spetstrycksondering med mätning av mantelfriktion och portryck (CPTU)

CPT-sondering är den sonderingsmetod som ger bäst information om jordlagerföljd och relativ lagringstäthet. Även andra egenskaper hos jorden kan utvärderas baserat på empiri, såsom jordart, skrymdensitet, friktionsvinkel, odränerad skjuvhållfasthet, portryck, förkonsolideringstryck och elasticitetsmodul. Med en viss sondspets är det även möjligt att mäta jordens elektriska resistivitet (CPTU-R), för att bl.a. bedöma förekomst av kvicklera. CPT-sondering är olämplig i mycket fasta jordlager, exempelvis bottenmorän eller blockrik friktionsjord.

Totaltrycksondering eller mekanisk trycksondering (Tr)

Trycksondering är en översiktlig sonderingsmetod som främst används för att bedöma jordlagerföljd i lösa jordlager, från lera till fast lagrad sand.

Viktsondering (Vim)

Viktsondering används för att översiktligt bestämma jordlagerföljd och lagringstäthet hos lösa friktionsjordar. Metoden är inte lämplig för fast lagrade och siltiga jordar.

Tung slagsondering (Slb)

Tung slagsondering används för bestämning av bergfritt djup.

2.3.5.3 Geoteknisk och miljöteknisk provtagning

Provtagning enligt svensk standard

I den svenska standarden för geoteknisk undersökning och provning, SS-EN ISO 22475-1:2021 (SIS, 2021c), beskrivs och indelas provtagningsmetoder i jord i

- a. Provtagning genom borrhning (t.ex. kärnprovtagare med trippelrör, skruvprovtagare, sonicborrning, hammarborrning).
- b. Provtagning med provtagare (t.ex. öppna rörprovtagare, kolvprovtagare).
- c. Blockprovtagning (t.ex. SGI blockprovtagare, Laval provtagare, NGI:s miniblockprovtagare).

Skruvprovtagning, störd provtagning (Skr)

Skruvprovtagaren används för upptagning av störda prover i främst finkorniga jordar ned till omkring 5 m djup. Normalt är det svårt att ta upp prover under grundvattenytan i friktions- och mellanjordar. Prover tagna med skruvprovtagare används för jordartsbestämning och vissa rutinundersökningar. Laboratieförsök kan göras på inpackade prover.

Kolvprovtagning, ostörd provtagning (Kv St I/St II)

Med kolvprovtagaren upptas ostörda prover. Detta är endast möjligt i kohesionsjord och mellanjord (silt). Provtagaren förekommer i två olika typer, St I och St II, vilka ofta är likvärdiga beträffande provkvalitet. St II är vanligtvis bättre i fast lagrad lera, men kräver grövre foderrör vid provtagning under vatten. Ostörda jordprover används för rutinundersökning och laboratoriebestämning av hållfasthets- och sättningsegenskaper.

Blockprovtagare, ostörd provtagning

I finkornig jord kan blockprovtagare användas, för att erhålla prover med god kvalitet, som ska testas med avancerade laboratoriemetoder. Provtagaren utgörs av ett öppet rör, cirka 200 mm i innerdiameter och strax över 1 m i längd. Metoden erfordrar förborrade och stabiliserade hål, en omfattande kringutrustning och vanligtvis fler än 2 personer som medverkar vid provtagningen.

Spetsprovtagning, störd provtagning (Ps)

Spetsprovtagning används för upptagning av störda prover vid punktviss provtagning i fastare friktionsjord och fast kohesionsjord samt vid provtagning på relativt stora djup. Prover tagna med spetsprovtagare används främst för jordartsbestämning och vissa rutinundersökningar. Laboratieförsök kan göras på inpackade prover.

Kannprovtagning, störd provtagning (K)

Kannprovtagaren används vid störd, punktviss provtagning i fasta jordarter, särskilt under grundvattenytan. På prover tagna med kannprovtagare görs samma undersökningar som på störda prover tagna med spets- och skruvprovtagare.

Moränprovtagning, störd provtagning

Moränprovtagaren används för upptagning av störda prover i morän men kan även användas i grus, sand, silt och lera, såväl över som under grundvattenytan. Prover tagna med moränprovtagare används för jordartsbestämning och vissa rutinundersökningar.

Öppen tunnväggig rörprovtagare, ostörd provtagning

Öppna tunnväggiga rörprovtagare kan användas för upptagning av ostörda prover i silt, fast lera och lermorän. En öppen tunnväggig rörprovtagare är ett tunnväggigt, öppet provtagningsrör, vanligen med ytterdiametern 75, 100 eller 150 mm, som är svarvat till en egg i ena änden. Normalt har den en längd av 0,7 meter men de finns även i längre längder. Det tunnväggiga stålröret är öppet i den nedre delen och trycks ned från botten av ett foderrörborrat hål. Provtagaren är vanligen inte försedd med något inre rör, utan hela provtagaren tas med in till laboratorium alternativt trycks provet ut i fält för inspektion och benämning. En öppen tunnväggig rörprovtagare har inget slutarbleck men kan i övre delen vara försedd med en kulbackventil. Denna fungerar så att under neddrivningen är ventilen öppen vilket medför att luft och vatten kan strömma ut ur provtagaren och när provtagaren dras upp sluter ventilen tätt och orsakar ett vakuum som bidrar till att hålla kvar jorden i provtagaren. Erfarenheter från användning av metoden beskrivs i SGF Rapport 1:2023 (SGF, 2023).

Kärnprovtagning med trippelrör, provtagning av fasta jordar

Provtagningsmetoden tillhör kategorin kärnborrning/rotationsborrning med spolning med vatten som utförs med trippelrör och ett wirelinesystem enligt SS-EN ISO 22475-1:2021 (SIS, 2021c). Provtagningsutrustningen består av ett yterrör med borrhälskrona monterad i änden och ett inrerör (provtagare) med ett provtagningsrör i plast eller stål. Som spolmedium kan även luft, skum och olika typer av slurries, så som suspension av bentonit eller polymer användas, vilket kan påverka kärnåtervinningen. Det huvudsakliga användningsområdet för metoden är kärnprovtagning i berg, men metoden har även använts för provtagning i fasta jordar. Provtagaren kan utrustas med olika typer av borrhälskronor, vilka väljs efter typ av jord eller berg som borrhningen utförs i. Erfarenheter från användning av metoderna beskrivs i SGF Rapport 1:2023 (SGF, 2023).

Sonicborrning, miljöteknisk provtagning

Sonicborrning är ett samlingsnamn för borrning där högfrekvent vibration, enbart eller i kombination med rotation (som då kallas roto-sonic), av en borrhälskrona eller lös spets används för neddrivning av provtagare och eventuellt foderrör. Metoden kan hämta kontinuerliga borrhälskärnor och jordprover till markytan för analys. Ur miljögeoteknisk synpunkt kan proverna betraktas som ostörda, dvs. kontaminering av prover sker inte mellan olika jordlager. Ur geoteknisk synpunkt ska proverna betraktas som störda, dvs. det går inte att använda proverna för hållfasthetsbestämning och CRS-försök. Metoden fungerar i jordarter från lera till grus, men kan vara problematisk vid allt för grova friktionsmaterial (större än provtagarens mynning som hindrar jord från att komma in i provtagaren). Provtagaren kan drivas djupt ned i jordprofilen och metoden är lämplig för provtagning under grundvattenytan. Det erfordras särskild borrhälsutrustning för sonicprovtagning med oscillerande borrhälskrona, se Figur 2.4.

I Sverige har metoden använts främst vid miljögeotekniska undersökningar och inom gruv- och vattenkraftsbranschen. Erfarenheter från användning av metoden beskrivs i SGF Rapport 1:2023 (SGF, 2023).



Figur 2.4 Borrrigg för sonicborrning. Foto: Peter Harms-Ringdahl.

2.3.5.4 In situ-metoder

Vingförsök (Vb)

Vingförsök är ett indexförsök och används för bestämning av odränerad skjuvhållfasthet hos kohesionsjord (se vidare i Kap 7) baserat på empiri. Vingarna finns i flera olika storlekar och ska anpassas efter förhållandena på platsen och provningsdjupet. Det finns även en vinge där vingen dras in i och skyddas av ett hölje mellan provningsnivåerna, se Figur 2.5. Detta förhindrar att lera fäster runt vingen och skyddar den under neddrivning. På större djup och i fastare lera medför detta förfarande bra provningskvalitet.



Figur 2.5 Vinginstrument EVT 2000 med skyddssko för vinge och ett skyddande rör runt förlängningsstängerna (Foto: Geotech).

Pressometerförsök (PMT)

Pressometerförsök används för bestämning av hållfasthets- och deformationsegenskaper i främst fast lera, silt och sand.

Dilatometertest (DMT)

Dilatometertest används för jordartsbedömning samt för bestämning av hållfasthets- och deformationsegenskaper i silt, sand och överkonsoliderad lera. Metoden är ej lämplig i stenig jord eller andra fasta jordar.

2.3.5.5 Bergteknisk provtagning

Kartering berg

Kartering av berg i dagen kan göras med olika ambitionsnivå, beroende på vilken information som önskas. Exempel på grunddata är plats, utbredning, bergarter och bergartsgränser. Till det läggs ofta information om sprickorienteringar för att kunna utvärdera vanliga sprickgrupper och hur de kommer att påverka stabiliteten vid bergschakt. Informationen kan utökas med olika typer av sprickparametrar, t.ex. sprickvidder, sprickmineral, vattenföring m.m., vilka förutom att bidra till kunskapen om stabilitets-situationen även används för karaktärisering/klassificering av bergmassan. Vittringsnivå, bedömd hållfasthet, förekomst av kross- eller sprickzoner, lerslag m.m. är ytterligare information som på olika sätt bidrar till hur projektering, anläggningsarbeten, underhåll och drift bör se ut.

Kartering av berg i dagen ger viktig information om var, när, hur och i vilken riktning eventuella kärnborrhål ska planeras, och ska därför alltid föregå kärnborrning.

Kärnprovtagning i berg

Kärnborrning görs för att utvinna hela bergprover/kärnor med hjälp av diamantborrkrona och dubbelt eller trippelt kärnrör. Syftet är att undersöka bergets sprickighet och ge underlag för att bedöma spetsburna pålars bärförmåga i berg. Borrningens riktning kan vara uppåt, nedåt eller horisontellt. Det går även att utföra så kallad styrd borrning, dvs. långa krökta borrhål. Kärnborrning kan göras i alla bergarter, kristallint som sedimentärt och oavsett kvalitet. Beroende på vilket berg som förväntas, anpassas typ av kärnrör och borrkrona.

Kärnan dras upp inuti borrsträngen och läggs sedan ut i lådor anpassade efter borrkärnans diameter. Kärnan kommer att vara mer eller mindre uppsprucken av både naturliga och borrinducerade sprickor. För att kunna kartera kärnan på ett sådant sätt att rätt information erhålls är det viktigt att varje bergbit läggs i rätt ordning och riktning.

Borrkärnorna kan undersökas för flertalet parametrar, exempelvis bergarter, texturer, strukturer, sprickfrekvens, lerslag, svaghetszoner och olika sprickegenskaper. Det är vanligt att berget klassificeras enligt ett bergkvalitetssystem, t.ex. Q- systemet eller RMR-systemet. Då karteras kärnan för olika sprickegenskaper såsom apertur, sprickfyllning, RQD (Rock quality designation), sprickfrekvens, råhet mm. Ibland är endast enstaka egenskaper av intresse, t.ex. sprickfrekvens, lerslag eller bergarter.

För att kunna utvärdera sprickors orientering i berget behöver kärnan vara korrekt orienterad vilket kan göras med olika metoder. Vanliga metoder är spettmetoden, Reflex-systemet, EzyMark och OPTV/Televiwing.

2.3.5.6 Laboratoriemetoder

Rutinundersökningar

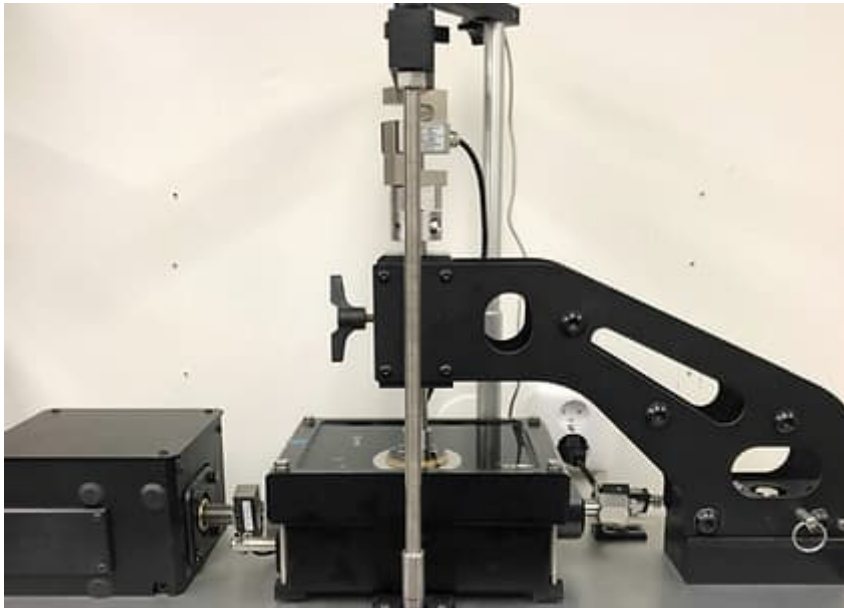
Rutinundersökning på prover upptagna vid störd provtagning innebär jordartsklassificering samt bestämning av vattenkvot och konflytgräns. Rutinundersökning på ostörda prover innefattar dessutom bestämning av skrymdensitet och bestämning av odränerad skjuvhållfasthet (ostörd och omrörd d.v.s. även sensitivitet) genom konförsök (indexförsök). Generellt ger konförsök skjuvhållfasthetsvärden med sämre tillförlitlighet jämfört med direkta skjuvförsök.

Ödometerförsök (Incremental Loading, IL)

Ödometerförsök används för bestämning av kompressionsegenskaper hos finkornig jord inklusive krypning. Vid ödometerförsök kan belastning påföras provet antingen stegvis eller med konstant deformationshastighet (Constant Rate of Strain, CRS).

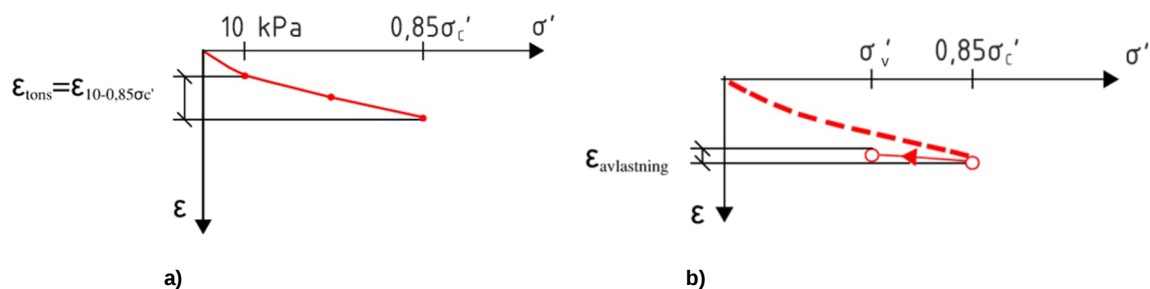
Direkta skjuvförsök (DS)

Direkta skjuvförsök utförs huvudsakligen för att bestämma en jords odränerade skjuvhållfasthet i direkt skjuvriktning i finkornig jord, men även dränerade försök kan utföras. I Figur 2.6 visas en direkt skjuvapparat. Metoden har visat sig vara mindre känslig för provtagningsstörningar jämfört med fallkonförsök. Resultat från specialiserad provning som direkta skjuvförsök ska ges stor vikt vid en sammanvägd bedömning av data insamlad med olika metoder (SGF, 2017 och Trafikverket, 2017).



Figur 2.6 Utrustning för direkta skjuvförsök. Foto: LabMind.

Upplastning utförs under dränerade förhållanden till cirka 85% av provets förkonsolideringstryck i ett par laststeg, där varje laststeg får verka i någon timme. Därefter avlastas provet under dränerade förhållanden till rådande vertikal effektivspänning in situ och provet får anpassa sig till detta spänningstillstånd, vanligen under natten. Se Figur 2.7. Därefter skjuvas provet.



Figur 2.7 Last-töjningssamband vid: a) konsolidering före skjuvning och b) avlastning före skjuvning. Baserat på SGF (2017).

Triaxialförsök, jord

Odränerade triaxialförsök utförs för att bestämma den odränerade skjuvhållfastheten i aktiv eller passiv skjuvriktning i finkornig jord. Vid triaxialförsök kan även förkonsolideringsspänningar/ belastningshistorik bestämmas genom aktiv/ passiv och dränerat/ odränerat försök.

Skjuvstansning

Skjuvstansning är en indexmetod utvecklad av Statens geotekniska institut (SGI) för bestämning av odränerad skjuvhållfasthet i lera. Metoden ger god överensstämmelse med direkta skjuvförsök, efter korrigering, och fungerar som ett komplement till indexförsök med fallkon för att snabbt bestämma en leras odränerade skjuvhållfasthet. Metoden beskrivs närmare i rapporten "Indexförsök för bestämning av odränerad skjuvhållfasthet" (Kalén, Holmén, Burman, Vesterberg och Andersson, 2023).

Point Load Test, berg

Point Load Test är ett indextest och görs med en enklare utrustning än exempelvis UCS, se nedan. Testet kan göras på cylindriska, rektangulära och oregelbundna prover, givet att de uppfyller vissa geometriska kriterier.

Provet placeras mellan två konformade anläggningsytor i stål, och trycks mellan dessa tills brott uppstår. Placering, geometrikrav och beräkning av Point Load Strength görs på olika vis beroende på vilken form bergprovet har.

Minst tio tester behövs för att beräkna ett resultat. Beräkningen innefattar värden på provdimensioner och brottlast, varvid en okorrigerad punktlaststyrka härleds. Då en provkroppens storlek påverkar utfallet i inhomogena material som berg, justeras värdet till en referensstorlek av 50 mm med hjälp av en korrektionsfaktor. Därefter kan ett medelvärde på punktlaststyrkan bestämmas.

Från ett Point Load Test kan också den enaxliga tryckhållfastheten i berg, UCS, uppskattas. Det görs genom en omräkning som beror av erhållen korrigerad punktlaststyrka och provkroppens storlek.

Enaxliga tryckförsök på bergkärnor (UCS)

Enaxliga tryckförsök görs på borrhärdar med jämnt preparerade ytor, för att bestämma bergmassans enaxiella tryckhållfasthet. Alla bergarter kan testas. Det är dock viktigt att tänka på att in situ-tryckhållfasthet beror på flera andra bergparametrar, så som faktisk bergspänningssituation, sprickegenskaper, förkastningar, vittring m.m.

Provet utsätts för tryck i dess axiella riktning medan det är oinspant i övriga riktningar. Trycket ökas tills brott sker. Det krävs minst fem försök innan ett pålitligt resultat kan beräknas. Den enaxiella tryckhållfastheten beror av trycket vid brott och provets tvärsnittsarea. Berget kan sedan karaktäriseras i en skala från starkt till mycket svagt.

Triaxialförsök, berg

Triaxialförsök görs på borrhärdar med jämnt preparerade ytor, för att bestämma bergmassans triaxiala tryckhållfasthet. Alla bergarter kan testas. Det är dock viktigt att tänka på att in situ-tryckhållfasthet beror på flera andra bergparametrar, så som faktisk bergspänningssituation, sprickegenskaper, förkastningar, vittring m.m.

Provet utsätts för ett jämnt tryck från alla håll innan huvudspänningen i provets axiella riktning ökas till brott sker. Efter att minst tre försök gjorts kan en brottenvelop beräknas med hjälp av Mohr-Coloumb's eller Hoek-Brown's brottkriterium.

2.3.5.7 Grundvattenmätning

Öppna mätsystem

Ett öppet mätsystem består antingen av ett nertill perforerat rör eller en filterspets kopplad till ett rör med olika dimension (1 tum/2 tum) och material (stål eller plast). Ett öppet mätsystem används för mätning av grundvattentryck (grundvattennivå) i vattenförande friktionsjordlager. Stålrören med diameter 25 mm/50 mm används huvudsakligen för att mäta grundvattennivån medan plaströren (PEH) med diameter 64 mm används för att ta vattenprover för miljöanalys, ofta i kombination med mätning av grundvattennivån. Avläsningarna görs antingen manuellt eller automatiskt och det är viktigt att ha långa mätserier för att fånga upp naturliga fluktuationer mellan årstider och fluktuationer i nederbörd. Alternativt kan grundvattenrören förses med en s.k. diver som lagrar mätdata med ett givet intervall. Med en sådan mätserie om minst 6 månader kan jämförelser göras med t.ex. öppna data från SMHI och max- och min-värden på grundvattennivån kan beräknas.

Slutna mätsystem (portrycksmätningar)

Slutna mätsystem består av rör försedda med filterspetsar och ett pneumatiskt, hydrauliskt eller elektriskt mätsystem. Dessa mätsystem används vid mätning av portryck i lera samt vid mätning av snabba tryckförändringar i andra relativt täta jordar i syfte att snabbt agera vid risk för hållfasthetsnedsättning eller skredrisk. Normalt placeras spetsarna på olika djup för att fånga upp portrycket i olika vattenförande jordlager i varvig lera, varför dessa ofta grupperas i portrycksstationer. Avläsningarna görs antingen manuellt eller automatiskt och det är även här viktigt att ha långa mätserier för att fånga upp naturliga fluktuationer mellan årstider och i nederbörd.

2.3.6 Underlag med hänsyn till pålars verkningssätt, pålbarhet och drivbarhet

2.3.6.1 Inledning

Det bör utifrån den geotekniska undersökningen framgå vilket verkningssätt pålarna kan förväntas ha vid aktuella geotekniska förhållanden. Verkningssättet påverkas även av lasteffekten. Det skiljs normalt mellan:

- spetsburna pålar
- mantelburna friktionspålar
- mantelburna kohesionspålar.

I följande text anges undersökningsmetoder som kan rekommenderas för neddrivna spetsburna pålar, pålar nedborrade i berg, mantelburna friktionspålar respektive mantelburna kohesionspålar. Pålar har ibland ett kombinerat verkningssätt. Exempelvis har en huvudsakligen spetsburen påle oftast också en viss mantelbärförmåga. Detta innebär att flera av avsnitten nedan kan vara aktuella. I texten behandlas frågeställningar som de geotekniska undersökningarna ska ge svar på.

En lämplig omfattning av respektive undersöknings- och provtagningsmetod för ett visst projekt beror av geoteknisk kategori samt projektets storlek och svårighetsgrad och kan därför ej anges generellt. Ibland kan även lokal erfarenhet av vissa undersökningsmetoder göra att en alternativ metod är lämpligare än de metoder som normalt rekommenderas. Tidigare pålningsarbeten i närheten av undersökningsområdet kan även ge indikation på förväntade pålstoppnivåer.

I Eurokod SS-EN 1997-2:2024 (SIS, 2024c) ställs krav på geotekniska utredningar i relation till vilken geoteknisk kategori konstruktionen ska hänföras till. I Tabell 2.14 visas en fritt översatt tabell från SS-EN 1997-2:2024 (SIS, 2024c). Tabellen motsvarar i princip tidigare praxis enligt IEG Grunder (IEG, 2013).

Tabell 2.14 Minsta mängd geotekniska undersökningar för respektive Geoteknisk kategori 1 till 3, baserad på SS-EN 1997-2:2024 (SIS, 2024).

Geoteknisk kategori	Minsta mängd markundersökningar
GK3	Alla punkter enligt GK1 och GK2 nedan, samt: • Tillräckliga undersökningar för att fånga relevanta variationer i marken. • Tillräckliga undersökningar för att utreda relevanta geotekniska parametrar för alla ingående jordlager genom användning av mer än en undersökningsmetod. • Tillräckliga undersökningar för att fånga materialegenskapens spridning inom varje ingående jordlager.
GK2	Alla punkter enligt GK1 nedan, samt: • Tillräckliga undersökningar för att identifiera rådande jordlagerföljd inom influensområdet. • Bestämning av relevanta materialegenskaper genom sondering, in situ- och laboratorieförsök samt genom övervakning/ mätning.
GK1	Alla punkter nedan: • Skrivbordsstudie över undersökningsområdet, översiktlig bedömning utifrån tidigare erfarenhet i jämförbara förhållanden. • Platsbesök. • Konservativ överslagsberäkning om nödvändigt.

Spetsburna pålar

Undersökningarna ska ge underlag för att bedöma nivån på fast botten inom ett undersökningsområde. Undersökningarna måste ha sådan omfattning att de täcker in hela det aktuella pålningsområdet och bör ha sådan omfattning att man kan bedöma såväl medellängd som maximi- och minimilängd för pålarna. Härutöver ska undersökningarna också ge underlag för bedömning av omgivningspåverkan (se avsnitt 2.4) samt vilket sidostöd som erhålls för pålarna. För områden med fyllning måste man normalt klarlägga fyllningens tjocklek och sammansättning genom exempelvis provgroppsgrävning. För pålkranars arbetsbädd (se avsnitt 2.3.8) behövs även uppgifter om jordens ytliga hållfastegenskaper t.ex. torrskorpelerans mäktighet. Ytterligare beskrivning avseende underlag för spetsburna pålar görs i avsnitt 2.3.6.3. Vidare beskrivning avseende grävpålar görs i avsnitt 2.3.6.8.

Pålar inborrade i berg

När det gäller pålar inborrade i berg är det viktigt att klarlägga bergets förmåga att ta upp lasten från överliggande konstruktion genom pålen. Bergets kvalitet i form av sprickighet, hållfasthet och bergart behöver klarläggas. Ytterligare beskrivning görs i avsnitt 2.3.6.4.

Mantelburna friktionspålar

Vid stora friktionsjordsmäktigheter är det ofta inte nödvändigt att installera pålarna till fast botten eller berg under förutsättning att tillräcklig mantelfriktion kan uppnås efter friktionspålens mantelyta. Det är därför viktigt att undersöka friktionsjordens relativa fasthet/inre friktionsvinkel mot djupet och minst 3 ggr pålens diameter under pålspetsen. Vidare beskrivning görs i avsnitt 2.3.6.5.

Borrade och injekterade pålar hänförs oftast till denna kategori. Ytterligare beskrivning görs i avsnitt 2.3.6.7.

Mantelburna kohesionspålar

Vid stora lermäktigheter är det ofta inte nödvändigt att installera pålarna till fast botten eller berg under förutsättning att tillräcklig mantelfriktion kan uppnås efter kohesionspålens mantelyta. Det är därför viktigt att undersöka lerans skjuvhållfasthet mot djupet. Normalt måste de lösa lerlagren överstiga 40 m mäktighet för att kohesionspålnings ska bli aktuellt. Om pålarnas längd och dimension är okänd vid undersökningstidpunkten, bör undersökningarna utföras till cirka 90 m djup. Observera att det ur sättningsynpunkt kan krävas att undersökningarna av den lösa lera sker till betydligt mycket större djup. Då ligger såklart fokus också på sättningsegenskaperna. I fastare och mer överkonsoliderad lera minskar dessa djup. Vidare beskrivning görs i avsnitt 2.3.6.6.

2.3.6.2 Bedömning av pålbarhet och drivbarhet

Med **pålbarhet** avses en egenskap hos jordlagren vid installation av pålar. Det kan handla om packningseffekter, falska pålstopp, hinder i marken och risk för bortslagning. Även metod för att installera en påle ska utvärderas, d.v.s. en påles drivbarhet. **Drivbarhet** är möjligheten att installera en påle ned till ett avsett djup, med lämplig utrustning, utan att pålen tar skada. Förenklat utvärderas pålbarheten utifrån geotekniska undersökningar, medan drivbarheten bedöms genom datorsimuleringar eller erfarenheter.

Syftet med att i förväg bedöma pålbarhet och drivbarhet i ett pålningsprojekt är flera. Bedömningen ska:

- utgöra underlag för val av lämplig påltyp och neddrivningsutrustning
- utgöra bas för kalkylering av pålningskostnaden
- utgöra underlag för upprättande av tidplaner
- reducera risken för extrakostnader, reservationer och tvister.

De aspekter som behöver klargöras för utvärdering av pålbarhet och bedömning av drivbarhet är följande:

- spetsmotstånd
- blockighet
- övriga hinder, trärester, befintliga konstruktionsrester
- falska pålstopp, siltig morän
- släntberg
- rösberg
- bergets enaxliga hållfasthet
- packningsgrad, packningseffekt
- rullgrus (åsmaterial)
- sensitiv lera med låg hållfasthet
- hydrogeologiska förhållanden.

Spetsmotstånd

Genom olika typer av trycksondering eller slagsondering (CPTu, Tr, Slb eller HfA) erhålls uppgift om jordens relativa fasthet vilket kan översättas till inre friktionsvinkel eller skjuvhållfasthet som ingångsparametrar för att beräkna en påles spetsmotstånd. Syftet med sonderingarna är att ge en indikation på ungefärlig pålstoppnivå för en slagen friktionspåle baserat på spetsmotståndet. Resultat från CPTu och HfA ger bäst korrelation med spetsmotståndet.

Hinder i jord, sten och block

Med hinder i jord menas i huvudsak sten (63-200mm) och block (>200mm). Stoppslagning mot sten och block i fast eller mycket fast friktionsjord utgör oftast inget problem eftersom den omgivande jorden stabiliserar stenar och block, vilket därmed möjliggör stoppslagning av pålen utan att stenen eller blocket förflyttar sig i sidled. Problem med sten och block uppstår i huvudsak i lösa och medelfasta jordlager och speciellt vid slagning i ås- och isälvsmaterial. Problem med dessa material är att de är mycket inhomogent uppbyggda och samtidigt kan vara mycket löst lagrade.

Jordartsbestämning sker på basis av andelen viktprocent av en viss kornfraktion, enligt SS-EN ISO 14688-1 och -2 (SIS, 2018d och 2018e). När det gäller friktionsjord baseras denna klassificering på siktning av material med kornstorlek <63 mm. För ytlig friktionsjord är det möjligt att bestämma sten- och blockhalt vid provgrovsgrävning. För friktionsjord på stora djup är det självfallet svårt att bestämma sten- och blockhalt genom provtagning.

Ett stort problem vid pålningsentreprenader är därför att beskriva blockförekomsten på ett objektivt och mätbart sätt. En sådan beskrivning är till hjälp, exempelvis vid val av påltyp med hänsyn till risken för bortslagning (pålbarhet). För att underlätta beskrivningen av blockförekomst i jord i samband med pålning föreslås en klassificering som baseras på antalet genomborrade block per meter vid jord-bergs-sondering (Jb-sondering), för respektive jordlager. En sådan klassificering anger blocktäthet, vilket redovisas i Tabell 2.15.

Tabell 2.15 Klassificering av blocktäthet.

Klassificering Blocktäthet	Antal block/ bormeter i respektive jordlager
Mycket låg	0 – 0,015
Låg	0,015 – 0,05
Medelhög	0,05 – 0,15
Hög	0,15 – 0,3
Mycket hög	>0,3

Som komplement till redovisning av blocktätheten föreslås även en klassificering som baseras på risken för att stöta på block genom hela jordprofilen ned till bergnivån eller ned till projekterad/förväntad pålstoppnivå. En sådan klassificering baseras på antalet genomborrade block och anger blockrisken, vilket redovisas i Tabell 2.16.

Tabell 2.16 Klassificering av blockrisk

Klassificering Blockrisk	Antal block/ borrhål
Mycket liten	<0,02
Liten	0,02 – 0,05
Medelstor	0,05 – 0,2
Stor	0,2 – 0,5
Mycket stor	>0,5

Falsa pålstopp

I siltiga jordar är det inte ovanligt att s.k. falska pålstopp kan uppstå. Under pålneddrivning, genom slagning i vattenmättade siltiga jordlager med en medelfast till mycket fast lagringstäthet, kan negativa porvattentryck utbildas. Det uppstår då en ökning av drivmotståndet kring pålspetsen, vilket gör att pålen kan stoppslås till att förefalla ha uppnått erforderlig geoteknisk bärförmåga. En tid efter utförd pålning dräneras det negativa porvattentrycket ut och pålens geotekniska bärförmåga minskar (se kapitel 3). Pålstoppet som först erhållits var alltså inte reellt. Är man inte uppmärksam på risken för falska pålstopp, är det inte förrän vid en dynamisk kontrollmätning av den geotekniska bärförmågan som det falska pålstoppet uppmärksammas.

För att undersöka förutsättningarna för falska pålstopp, bör jordart och lagringstäthet bestämmas. CPTu-sondering är då den mest lämpliga undersökningsmetoden. Provtagning och siktning av upptagna prover kan också utföras för bedömning av siltinnehåll. Bedöms det finnas risk för falska pålstopp, ska det i projekteringen rekommenderas att en viss procentandel av de installerade pålarna ska efterslås. Teorin bakom falska pålstopp och lämpliga åtgärder beskrivs vidare i kapitel 3 och 8.

Släntberg

Om berget sluttar kraftigt ökar sannolikheten för att en påle glider längs berget och risken för att den inte får tillräckligt bra fäste mot bergytan ökar. Detta kan leda till att pålen blir bortslagen, dels för att pålen inte får något bra stopp och därmed inte kan verifieras geotekniskt, dels för att den kan brytas av p.g.a. stora moment runt pålspetsen. Med släntberg där bergytan sluttar mer än 45 grader mot normalen till pålens centrumlinje (pålen träffar berget i en spetsigare vinkel än 45 grader) så behöver detta beaktas vid val av påltyp, pållutning, typ av bergsko mm. Om pålen lutar längs med berget kan detta inträffa också för bergytelutningar mindre än 45 grader. Bergytans lutning är olika problematisk beroende på jordlagerföljd. Störst risk för bortslagning p.g.a. släntberg är det vid lös lera direkt på berg. Ju mäktigare friktionsjordlager som överlagrar berget och ju fastare friktionsjorden är, desto bättre är styrningen av pålen och desto mindre är risken för bortslagning. Se vidare detaljer i kapitel 3.

Sammanfattningsvis är det viktigt att utföra tillräckligt och tätt med Jb-sonderingar i kombination med geofysiska mätningar, för att utröna om släntberg utgör ett potentiellt problem.

Rösberg och slag i berg

Vid inledande bergkarteringar kan en indikation fås om sprickornas stupning/strykning samt gångbergarter som skulle kunna påverka bergmassans hållfasthet. Beroende på projektets dignitet finns främst tre sonderingsmetoder att tillgå:

- Med Jb2-sondering erhålls en grov bedömning av bergets kvalitet genom tolkning av sonderingen.
- Med Jb3-sondering erhålls fler parametrar på bergmassans kvalitet genom att vattenförlust och borrhingsmotstånd mäts.
- Med kärnbörning erhålls en bättre kontroll på bergmassans kvalitet genom analys av bergkärnorna.

Bergets enaxliga hållfasthet

Om det finns anledning att misstänka att bergets kvalitet är låg, p.g.a. exempelvis utförda Jb-sonderingar och om spetsbärande stål kärnepålar eller borrade stål pålar är ett alternativ, så kan undersökningarna med fördel kompletteras med kärnbörningar och uppföljande provning av bergets enaxliga tryckhållfasthet på upptagna bergkärnor. Utifrån erhållna värden kan bärförmågor beräknas och uppskattas som underlag för pålningsarbetena.

Packningsgrad, packningseffekt

Påslagning i främst löst lagrade friktionsjordar kan orsaka packningseffekter, vilket kan orsaka negativ omgivningspåverkan men också försvåra neddrivningen. Det är därför viktigt att undersöka hela jordvolymen med hjälp av CPTu-sondering eller Hejarsondering (HfA).

Sensitiv lera med låg hållfasthet

Kännedom om förekomst av högsensitiv lera och kvicklera är viktigt med hänsyn till uppställningsytor för tunga anläggningsmaskiner och närhet till naturliga och schaktade slänter, vilket påverkar val av påltyp, installationssätt och omgivningspåverkan. Sensitiviteten bestäms genom analys av upptagna ostörda prover (kolvprovtagning). Problem med massundanträngning minskar generellt vid förekomst av högsensitiv lera eller kvicklera. Augerborrning för att minska massundanträngning kan samtidigt bli i princip omöjlig att utföra.

Hydrogeologiska förhållanden

Starkt strömmande vatten, artesiskt grundvattentryck och föroreningar kan påverka valet av påltyp och behöver klarläggas genom undersökning av grundvattensituationen i området.

2.3.6.3 Neddrivna spetsburna pålar

Undersökningar för neddrivna spetsburna pålar ska ligga till grund för att kunna bedöma bl.a. påltyp, pålbarhet, förekommande hinder i mark, förväntad pålstoppnivå (pållängder), eventuella påhängslaster på pålarna, omgivningspåverkan samt markytans eller schaktbottens bärförmåga för dimensionering av erforderlig arbetsbädd.

För neddrivna spetsburna pålar rekommenderas följande undersökningsmetoder:

Jord-bergsondering (Jb2, Jb3) används för bestämning av nivå på bergets överyta, så kallad bergkontroll. Metoden är också lämplig vid exempelvis lutande berg, för bestämning av blockförekomst och där övriga sonderingsmetoder inte kan genomföras ner till berg. Jord-bergsondering ger ett säkert underlag för bedömning av förväntade pållängder.

Hejarsondering enligt metod A (DPSH-A (HfA)) kan användas för bedömning av ungefärlig pålstoppnivå för slagna betongpålar i morän med måttlig mäktighet. Detta förutsätter att tidigare svensk praxis för stoppkriterium används, se avsnitt 2.3.5. Enligt tidigare praxis avbryts sonderingen vid s.k. bergsvar, det vill säga då ingen sjunkning erhålls och då hejaren studsar, alternativt då sonderingsmotståndet är 200 à 300 slag/ 0,2 m sjunkning under 3-5 på varandra följande slagserier om 0,2 m sjunkning. Vid lös jord lagrad direkt på berg kan även hejarsondering enligt metod B (äldre metod) användas. Metoden ger också information om jordens egenskaper i fasta jordar såsom friktionsvinkel, där andra lättare sonderingsmetoder inte kan användas.

CPT-sondering (CPT) används för att bedöma jordlagerföljd i främst löst lagrad jord, lagringstäthet och för att erhålla materialegenskaper i jordprofilen, vilket bl.a. ger underlag till beräkning av strukturell bärförmåga.

Totaltrycksondering (Tr) eller spetstrycksondering är en översiktlig sonderingsmetod som främst används inledningsvis för bestämning av de lösa jordlagrens mäktighet och dess relativa fasthet. Det är viktigt att dessa lagers mäktighetsvariationer klarläggs inom det aktuella pålningsområdet.

Viktsondering (Vim) i kombination med **motorslagsondering** (Slb) används för att bedöma pållängder när jordlagerförhållandena enligt tidigare undersökningar är "enkla", t.ex. vid distinkta övergångar mellan löst och fast lagrad jord eller berg.

Kolvprovtagning

Provtagning utförs oftast punktvis (ej kontinuerligt) genom jordlagren, varje meter eller glesare. I lera tas normalt ostörda prover med kolvprovtagare, eftersom laboratorieundersökningar av leran ofta erfordras för andra bedömningar än pålinstallationen, exempelvis för bedömning av risk för knäckning och påhängslaster. Från kolvprover kan lerans skjuvhållfasthet bestämmas med konförsök, direkta skjuvförsök och triaxialförsök. Ostörda prover från kolvprovtagning används även för bestämning av jordens konsolideringsgrad och sättningsegenskaper, genom att göra ödometerförsök, med stegvis ökande eller med konstant last (CRS).

Skruvprovtagning

I ytliga jordlager och i friktionsjord mot djupet kan störda jordprover tas med skruvprovtagare, provtagningsspets eller moränprovtagare.

Kärnprovtagning i berg

Foderrörsborrning utförs cirka 1 m ner i friskt berg och gjuts fast för att möjliggöra vattenförlustmätning. Därefter utförs kärnprovtagning i berg, där kärnorna tas upp metervis genom den bergmassa som ska undersökas. Provning av bergets kvalitet, med enaxliga tryckförsök, kan vara relevant att utföra, då låga värden på bergets tryckhållfasthet (<cirka 55 MPa) kan försvåra verifiering av pålarnas geotekniska bärförmåga med hjälp av stötvågsmätning.

In situ-metoder

Vingförsök utförs vanligtvis i den övre delen av jordprofilen, för att bestämma lerans odränerade skjuvhållfasthet. Vingförsök visar ofta andra värden jämfört med mer avancerade försök, varför metoden bör ses som relativt översiktlig. Dilatometertest kan också användas som komplement för bedömning av odränerad skjuvhållfasthet och kompressionsegenskaper.

Grundvattenmätning

Grundvattenmätning utförs i lera genom porttrycksmätning (slutet mätsystem) och i vattengenomsläpplig jord med öppet mätsystem (observationsrör med filter). Mätresultaten används för val av påltyp och vid värdering av risk för påhängskrafter på pålarna. Uppgift om grundvattenförhållandena i jorden erfordras för bedömning av sättningsförhållanden.

Refraktionsseismik

Seismik används främst som komplement till övriga undersökningsmetoder, speciellt vid vattendrag eller utmed längre sträckor (väg- och järnvägskorridorer, längre ledningsstråk), där det är kostsamt och besvärligt att utföra täta sonderingar, provtagningar och in-situ undersökningar.

Datorsimulering

Datorsimulering av påslagning är ett kompletterande hjälpmedel för bedömning av lämplig slagningsutrustning, förväntad slagningskapacitet och bärförmåga vid olika stoppslagningsvillkor. I vissa fall kan sådana bedömningar göras direkt utifrån undersökningsresultat och lokal erfarenhet från området. Detta beskrivs mer ingående i kapitel 3 och 7.

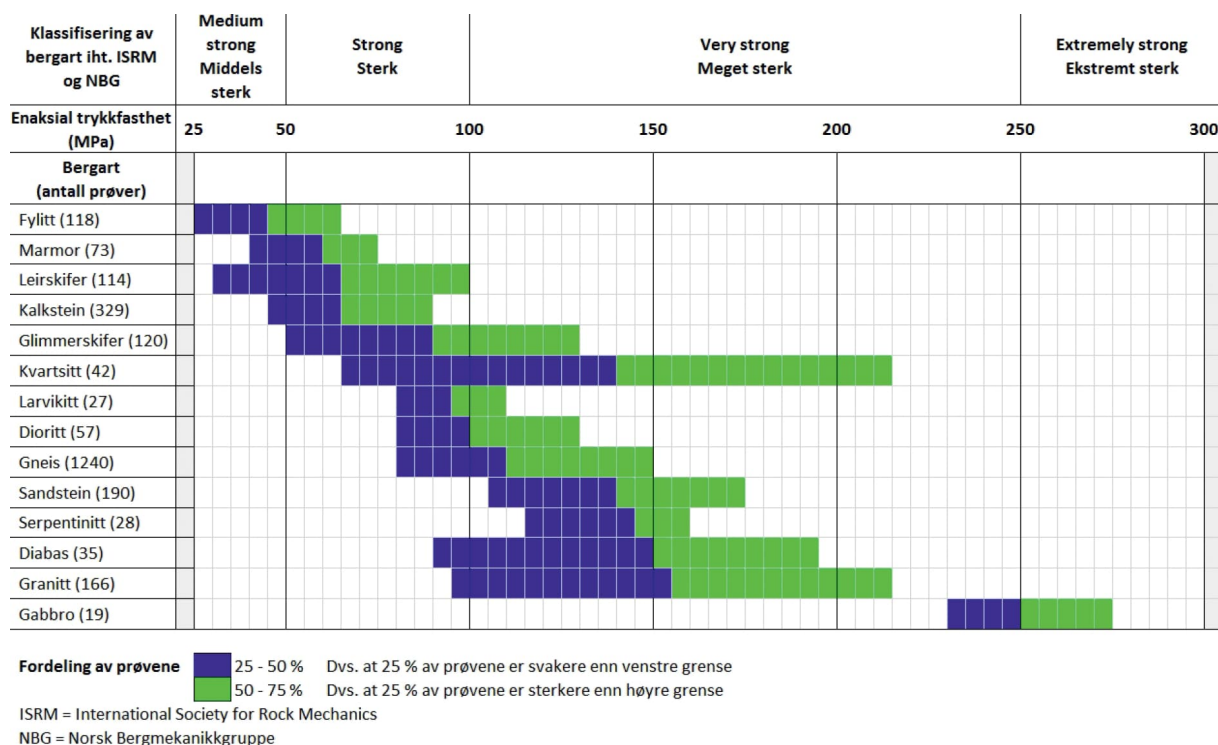
Övrigt

Verifiering av pålars geotekniska bärförmåga baseras inte primärt på undersökningsresultaten från utförda geotekniska undersökningar. Den geotekniska bärförmågan för spetsburna pålar verifieras genom stoppslagningskriterier, provpåling och stötvågsmätning, alternativt utifrån hävdvunna åtgärder, se vidare i kapitel 7.

2.3.6.4 Pålår/ förankringar i berg

Påle i berg innebär att pålen gjuts fast i ett bergborrhål på en viss längd som i stor utsträckning bestäms av kravet på geoteknisk bärförmåga. Med spetsburna pålar inborrade i berg finns vissa risker om bergets kvalitet lokalt är sämre än förväntat. Dessa risker kan till stor del undvikas genom att använda pålar som överför lasten till berg via manteln. En stor fördel med sådana pålar är att dessa förutom tryckbelastning även kan ta upp stora dragkrafter. Vid tryck- och dragbelastning överförs kraften till bergmassan genom betongfyllningen mellan påle och bergborrhål. Exempel på pålar som kan förankras i berg (utan separata förankringar) är stålkärnepålar och borrade injekterade pålar.

Pålens eller förankringens geotekniska bärförmåga bestäms till stor del av hållfastheten (tryckhållfasthet) i bergmassan som pålen gjuts fast i. I Handboken Bygg del G (Svensk Byggtjänst, 1984) redovisas rekommenderade karakteristiska vidhäftningsspänningar mellan betong och berg för olika bergarter och cylindertryckhållfastheter. Samma tabell redovisas även i Pålkommisionens rapport 97 (Pålkommisionen, 2000a), se kapitel 7. Hållfastheten varierar beroende på bergart och bergkvalitet. För inhomogent berg kan hållfastheten variera kraftigt inom bergmassan. Hållfastheten i en sprickzon är ofta lägre än i partier med homogent berg. En viktig faktor som påverkar den geotekniska bärförmågan är relationen mellan pålens eller stagets ingjutningslängd i berg och avståndet mellan eventuella diskontinuiteter (sprickor, krosszoner) i berget. I Figur 2.8 visas ungefärlig enaxlig tryckhållfasthet för berg i förhållande till bergart.



Figur 2.8 Indikativ oppmått enaxlig trykfasthet for berg (Källa: Peleveilendingen, 2019, kap 4. SINTEF Bergmekanisk laboratorium. Klassifisering enligt ISRM, 1978: Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. Int. j. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 15:6:319-368.)

De geotekniska förundersökningskraven omfattar:

- bergläge (tillräckligt många borrhål)
- bergkvalitet (tryckhållfasthet, E-modul, sprickor, strykning, stupning, slag)
- kärnprover som tas upp och provas om tryckhållfasthet och E-modul ska bestämmas
- jordlager (jordarter, mäktighet, densitet, skjuvhållfasthet, korrosivitet)

- grundvattenförhållanden
- borrhingshinder i mark, exempelvis befintliga ledningar
- angränsande byggnaders och anläggningars tillstånd och grundläggningssätt.

Geotekniska fältundersökningar av berg omfattar borrhälsmetoder, kärnprovtagningar och geofysiska metoder. Enligt Smolczyk (2002) kan, då geologisk information om platsen finns, borrhälsmetoder användas för att få en uppfattning om bergets kvalitet och hållfasthet. För att få en bättre uppfattning om t.ex. sprickvidd och orientering kan loggning av borrhål utföras i foderrörsborrade undersökningshål.

Jord-bergsondering (Jb) ska vara utförd som klass 2 eller 3 för att kunna antas ge relevant information av bergnivå och bedömning av bergkvalitet. Jb-sondering med tidigare metoder ger i många fall otillräcklig information beträffande bergmassans kvalitet.

Kärnprovtagning kan vara motiverat vid krav på hög geoteknisk bärförmåga. Provtagning bör också utföras om bergförhållandena är osäkra, lokal erfarenhet finns av dåliga bergförhållanden eller om berggrundskartor eller annan information ger indikationer på förekomst av ogynnsamma bergförhållanden t.ex. sedimentära bergarter, förekomst av krosszoner och sprickformationer.

Tidigare erfarenhet och kunskap om bergförhållandena är av stor vikt vid beräkning av den geotekniska bärförmågan. Behovet av erforderliga geotekniska undersökningar avgörs därför av förutsättningarna för varje enskilt projekt. För den som ansvarar för förfrågningsunderlag för borrade stålrörspålar är det viktigt att inte ge vare sig för optimistisk eller pessimistisk bild av bergets kvalitet.

I kapitel 7 görs en mer detaljerad redovisning av metoder avseende bergkvalitet.

2.3.6.5 Mantelburna friktionspålar

I projekteringsskedet krävs detaljkunskap om jordens egenskaper. I friktionsjord bör undersökningen utföras med metoder som ger underlag för utvärdering av jordart, lagringstäthet och inre friktionsvinkel eller gränstryck. Enkelt uttryckt är det endast CPT-sonderingar som ger tillräckligt bra underlag för att kunna uppskatta pålars geotekniska bärförmåga och därmed längd i friktionsjord.

Pålar, vars geotekniska bärförmåga till stor del beror av mantelbärförmåga i friktionsjord, utförs i Sverige till största delen som slagna pålar. De flesta borrade och injekterade pålar kan också betraktas som friktionspålar, se avsnitt 2.3.6.7. Val av geotekniska undersökningsmetoder som är mest lämpliga beror bland annat på de lokala förutsättningarna, vilket skede utredningen befinner sig i och vilken utrustning som finns tillgänglig. En kombination av följande geotekniska undersökningsmetoder används normalt som underlag för friktionspålning:

- **CPT-sondering (CPTu)** rekommenderas som huvudalternativ. I princip är detta den enda möjligheten att med hjälp av fältundersökningar utföra beräkningar av den geotekniska bärförmågan för slagna pålar med någon som helst säkerhet. Utrustningen måste dock vara anpassad så att höga spetstryck kan uppnås, förslagsvis $q_c \sim 15 - 20$ MPa för att kunna utgöra ett bra underlag för dimensionering av friktionspålar. Sådan utrustning är relativt ovanlig i Sverige. Detta kan innebära att foderrörsborring måste utföras för att komma ned till tillräckligt stora djup. Foderrör kan även behövas för att förhindra att sondstången knäcker ut i mycket lösa jordlager eller vid öppet vatten. Utvärdering av CPT-sonderingar ger värdefull information om jordart, hållfasthetsparametrar, lagringstäthet, förkonsolideringstryck m.m. CPT-sondering kombineras med provtagning.
- **Hejarsondering (HfA)** är en sonderingsmetod som eventuellt lämpar sig för att erhålla pålstoppsnivå för slagna betongpålar, men för en mantelburen friktionspåle ger den mycket lite användbar information. Det är tillåtet att utföra dimensionering med beräkning med metoden som underlag (se vidare kapitel 7), men säkerhetsfaktorerna blir mycket höga och är därför

inte att rekommendera. Jordprovtagning bör alltid utföras tillsammans med hejarsondering eftersom mantelfriktionen kraftigt påverkar sonderingsmotståndet vid sondering till större djup. Ett vridmoment hos sondstången under neddrivningen $M_v > 100 \text{ Nm}$ kan vara en indikation på att sonderingsmotståndet ($N_{20, \text{netto}}$) är kraftigt påverkat av mantelfriktion. Det kan då vara mycket svårt att särskilja silt och lera från sand, och som en följd av detta även att uppskatta jordens lagringstäthet. På jordproverna utförs sedan sedvanlig rutinanalys. Momentvridningsförsök på hejarsondstänger görs för utvärdering av mantelmotstånd och bärförmågetillväxt (se Axelsson, 2000 samt Axelsson och Westin, 2000). Momentvridningsförsök har även utförts i samma syfte vid SPT-sondering, s.k. SPT-T (se Bullock et. al., 2005).

- **Jord-bergsondering (Jb)** kan användas för att uppskatta mängden sten och block i jorden samt för att bestämma bergnivån. Jord-bergsondering rekommenderas som komplement till CPT-sondering, trycksondering och hejarsondering. Flerkanalers Jb-sonderingar (Jb2 och Jb3) bidrar till den generella kunskapen om jordformationerna, men kan i vissa fall vara bättre än exempelvis hejarsondering (HfA) som underlag för att bedöma drivbarhet och troliga stoppdjup för olika påltyper.
- **Viktsondering (Vim)** kommer normalt inte ned till några större djup i friktionsjord, varför den inte är speciellt användbar för friktionspålar. **Totaltrycksondering (TrT)** i kombination med jordprovtagning är att föredra framför viktsondering. Totaltrycksondering kan användas för att tolka relativ fasthet hos jordlager och bidra till övergripande kunskap om jordlagerföljd om resultaten kalibreras mot CPT-sondering. Utvärdering av friktionsvinkel kan göras empiriskt för viktsondering, även om osäkerheter finns för siltig jord. Sondering och provtagning bör utföras till erforderligt djup, för att kontrollera att inga lösa, sättningsskänsliga jordlager förekommer under pålarnas spetsnivå.

Ibland kan även följande undersökningsmetoder vara aktuella som alternativ eller som komplement till ovanstående metoder:

Pressometerförsök (PMT) kan utföras för bestämning av modul och **dilatometertest** (DMT) för bestämning av modul och friktionsvinkel. Resultaten av dessa in situ-metoder används direkt vid beräkning av friktionspålars bärförmåga och även vid beräkning av sättningar. De kan också reducera antalet övriga provningar och används ofta som komplement till sondering och provtagning.

SPT-sondering (SPT) kan användas som alternativ till hejarsondering, som ett alternativ i fastare jordlager där CPT-sondering inte kan tryckas ned i jorden. Vid SPT-sondering utförs även provtagning. Fördelen med SPT-sondering jämfört med hejarsondering är, förutom att man erhåller ett jordprov, att sonderingsmotståndet bestäms punktvis vid varje provtagningsnivå. Detta innebär att sonderingsmotståndet endast påverkas av mantelmotstånd lokalt, på provtagaren och inte längs hela sondstången som vid hejarsondering. SPT-sondering är vanlig internationellt, men inte i Sverige.

En utförlig beskrivning av olika geotekniska undersökningsmetoder finns i Geoteknisk Fälthandbok, SGF rapport 1:2013 (SGF, 2013a).

Grundvattenmätningar utförs normalt med öppna mätsystem. Uppgift om grundvattenytans nivå erfordras vid beräkning av pålarnas bärförmåga och sättningar för pålgrupper. I tätare jordlager kan komplettering krävas med porttrycksmätning.

2.3.6.6 Mantelburna kohesionspålar

En kohesionspåles geotekniska bärförmåga bestäms huvudsakligen av pålens mantelyta, samt av hur stor skjuvspänning som kan mobiliseras mellan påle och omgivande jord. Det senare bestäms i stor utsträckning av den omgivande jordens hållfasthet. Ett visst tillskott ges också av spetsbärförmågan,

vilket i många fall kan anses vara försumbart. Knäckning kan naturligtvis också vara dimensionerande i lös lera eller då pålens övre del står fritt i vatten eller luft.

I Sverige, där kohesionspålar huvudsakligen används i låghållfasta lerlager, brukar bestämning av den geotekniska bärförmågan baseras på jordens odränerade skjuvhållfasthet. I vissa sammanhang används emellertid jordens dränerade skjuvhållfasthet vid bestämning av en påles geotekniska bärförmåga (främst i överkonsoliderade jordar). Beräkningar av en kohesionspåles geotekniska bärförmåga enligt svensk praxis utförs enligt en utvärderad skjuvhållfasthetsprofil, vilken kan sägas utgöra ett medelvärde av skjuvhållfastheten. Vad som är en relevant undersökningsprofil är inte helt enkelt att bestämma. I en undersökning för ett bestämt objekt, utan intilliggande undersökningar, är det förstås enkelt. När däremot stora ytor hänförs till samma geotekniska område, många gånger flera hektar stora i t.ex. infrastrukturprojekt kan det visa sig att det inom området finns flera tiotal undersökningsprofiler. Även om man håller sig till profiler inom en pållängds radie, kan det lätt bli tiotals punkter eftersom en påle många gånger kan vara längre än 70–75 m.

Bestämningen av skjuvhållfasthet bör baseras på så mycket information som möjligt. Helst ska skjuvhållfasthetsmodellen korreleras med värden från direkta skjuvförsök, triaxialförsök och, för normalkonsoliderade leror, empiriska samband utifrån förkonsolideringstryck, erhållna ur CRS-försök eller ödometerförsök. Vid användning av CPT, vingförsök och fallkonförsök, måste hänsyn tas till att dessa metoder ofta är behäftade med osäkerheter, både vad gäller utvärdering och utförande. Kvaliteten på dessa är mycket avgörande, vilket givetvis också gäller för de mer kvalificerade undersökningarna. Om vingförsöken utförs med vinge, där vingen skyddas vid neddrivning och "rengöres" inför varje provnivå, kan kvaliteten i många fall ökas. Olika dilatometertest visar också på god överensstämmelse med mer kvalificerade undersökningar, varför sådana försök framgent bör kunna ges större utrymme i de geotekniska undersökningarna som underlag till beräkning av kohesionspålars geotekniska bärförmåga.

För val av odränerad skjuvhållfasthet hänvisas till TRV 2017-078, Rekommendationer för val av odränerad skjuvhållfasthet, delrapport 4 (Trafikverket, 2017).

I kohesionsjord erfordras främst uppgifter om lerans skjuvhållfasthet. Undersökningarnas omfattning anpassas till förhållandena på platsen, samt till vilken typ av pålar som kan bli aktuell.

I lösa jordlager utförs sondering med statiska metoder såsom CPT-sondering, trycksondering eller viktsondering. I fasta jordar används dynamiska metoder, exempelvis hejarsondering eller jord-bergs-sondering.

För noggrann bestämning av lerans egenskaper används fältprovning med exempelvis pressometerförsök eller laboratorieförsök, t.ex. ödometerförsök, triaxialförsök eller direkta skjuvförsök.

2.3.6.7 Borrade och injekterade pålar

Det finns i princip två typer av installationsmetoder för borrade och injekterade pålar:

- Cementbruk används som spolmedium, där borrar och injektering sker samtidigt. Fördelen är att i och med installationen av pålen är den klar att användas efter sedvanlig härdning av cementbruket. Nackdelen är att cementbruket kan penetrera lösa jordlager till följd av för högt injekteringstryck med stor åtgång av cementbruk som följd. Detta kan även ses som en fördel då pålens diameter blir större.
- Vatten används som spolmedium till dess att installationsdjupet uppnåtts för att därefter efterinjekteras med cementbruk.

Borrade och injekterade pålar är mest lämpade i friktionsjordar – från silt till grövre fraktioner. I de fall lera förekommer kan det fortfarande vara ekonomiskt att använda denna påltyp, men det förutsätter en

analys av risken för knäckning. Skulle lerans egenskaper vara sådana att den konstruktiva bärförmågan blir för låg, kan man med fördel använda foderrör genom lerlagren. Foderrör eller snabbhärdande cementbruk är också lämpligt att använda för att begränsa utbredningen av cementbruk i exempelvis sprängstensfyllning eller vattenförande jordlager.

Det är viktigt att utreda följande:

- Typ av jordart, jordlagerföljden och dess tjocklek samt att jordens geotekniska egenskaper kartläggs (CPT-sondering, hejarsondering (HfA) och Jord-bergsondering (Jb2 eller Jb-Tot).
- Eventuella pågående och framtida sättningar i områden, som kan medföra påhängslaster, genom att analysera upptagna ostörda lerprover (Kolvprovtagning (Kv) med CRS-försök).
- Grundvattenförhållanden – genom CPT-sondering erhålls en första indikation på vattenförande skikt och genom hejarsondering/jord-bergsondering erhålls information om friktionsjordens mäktighet och djup från markytan. Öppna grundvattenrör med spetsen nedförd till vattenförande friktionsjordskikt installeras. Alternativt installeras porttrycksgivare till nämnda djup. Förekommer flera akviferer sätts porttrycksgivare på olika djup för att erhålla tillräcklig information om grundvattentrycket. Grundvattenförhållandena i form av trycknivå, flöden och eventuellt innehåll av föroreningar är viktiga parametrar i sammanhanget, då det kan styra cementbrukets sammansättning t.ex. vid val av cementsort och olika tillsatser i cementbruket.
- Eventuella restriktioner för påverkan av grundvatten inom t.ex. skyddszoner för grundvattentäkter och huruvida pH-förändringar kan uppstå och accepteras.
- Intilliggande konstruktioner i mark – erhålls genom att inhämta underlag från t.ex. ledningsägares ledningsförläggningar samt skrivbordsstudie.
- Fornlämningar som kan påverkas negativt av att cementbruk injekteras i marken.

2.3.6.8 Grävpålar

Grävpålar medför att jorden ersätts med en armeringskorg och betong. För att borrhålets väggar ska ha tillräcklig stabilitet krävs att jorden inte är flytbenägen (vilket sker med silt under grundvattenytan) och att den har tillräcklig fasthet. Ofta krävs att den jord som tas upp från borrhålet ersätts med en bentonitslurry eller en polymerlösning, som har lite högre densitet än en ren vattenfyllning, för att hålet ska kunna stå öppet under resterande del av installationsfasen. Vid ogynnsamma förhållanden krävs infordring av foderrör av stål, vilka i värsta fall kan behöva kvarlämnas.

Geotekniska undersökningar utförs i sådan omfattning att underlag finns för bestämning av att

- tillräcklig säkerhet mot brott i undergrunden nås under påspets
- uppkommande deformationer får sådan storlek att de kan tolereras i ovanliggande byggnadskonstruktion
- projektets grundläggningskostnad blir rimlig med hänsyn till förhållandena.

Den geotekniska undersökningen ska ge upplysningar om förhållandena på platsen avseende

- jordlagerföljd
- densitet
- bergnivå

- grundvattentryck
- schaktbarhet och hinder
- jordlagrens förmåga att ta upp pållasten
- omgivningens villkor.

Vidare ska den geotekniska undersökningen utföras så att speciella belastningar orsakade av geotekniska förhållanden uppmärksammas, t.ex. negativ mantelfriktion eller sidokrafter på pålar orsakade av rörelser i jorden.

Är grundläggning mot berg aktuell erfordras jord-bergsondering som klarlägger bergytans nivå, lutningsförhållanden och överlagrande jords ungefärliga fasthet och blockinnehåll. Är djupet till berg stort eller om det förekommer fasta jordlager som kan förmodas bära aktuella pållaster utförs tryck- eller hejarsondering till erforderligt djup. Jordlagrens karaktär bestäms genom att jordprover tas upp och undersöks i geotekniskt laboratorium.

Den geotekniska undersökningen ska klarlägga förekommande jordarter och jordlagrens horisontella utsträckning, tjocklek, eventuell förekomst av sulfid (eller andra föroreningar som kan påverka pålelementet och/ eller risk för spridning av markföroreningar till följd av pålningsarbetet) och hållfasthet.

I lösa jordlager som lera, silt och löst lagrad friktionsjord, utförs sondering med lätt utrustning (vikt- och CPT-sondering) och i fastare jordlager med tyngre utrustning (hejarsondering och eventuellt jord-bergsondering). Även trycksondering med 15 å 20 kN neddrivningskraft kan vara lämplig.

Lerors skjuvhållfasthet bestäms direkt i jorden genom CPT-sondering och vingförsök eller på upptagna jordprover genom konförsök m.m.

Friktionsjordars lagringstäthet kan bestämmas med ledning av CPT-sondering, hejarsondering eller viktsondering samt pressometerförsök eller tryckplattförsök. Provtagning ska alltid utföras av friktionsjord för klassificering och kan utnyttjas för andra laboratorieundersökningar t.ex. triaxialförsök och direkta skjuvförsök.

Sonderingsdjupet måste vara tillräckligt för att säkert kunna bedömas pålarnas bärförmåga i jorden.

Bergytans nivå är viktig att klarlägga, exempelvis när man ska avgöra om grävpålar till berg eller till jord blir ekonomiskt gynnsammast eller när man vill vara säker på att grävpålar av vald längd inte omväxlande kommer att grundläggas på jord och berg.

Den geotekniska undersökningen ska klarlägga:

- bergytans nivå och ungefärliga lutning
- bergart
- uppgifter om sprickzoner och slag.

Bergnivån kan bestämmas översiktligt med seismik (varvid gånghastighetens värde och variation ger värdefulla indikationer om bergets egenskaper) och detaljerat genom jord-bergsondering varvid sonderingen drivs 3 å 5 m in i berg. Normalt bör jord-bergsondering utföras med maximalt cirka 20 m punktavstånd.

Till stor del består berggrunden i Sverige av urbergarter med god bärförmåga. Bergets hållfasthets- och deformationsegenskaper behöver därför klarläggas endast i undantagsfall och endast när grävpålar grundläggs på berg. Vid grundläggning på mjukare bergarter t.ex. skiffer, kalksten och sandsten görs särskild utredning.

Bergets sprickighet behöver normalt inte klarläggas såvida inte resultatet av jord-bergsonderingarna påvisar att berget innehåller slag. Vid speciellt känsliga fall, t.ex. stora laster och brant lutande berg med lutande slag görs särskild utredning.

Det är också viktigt att klarlägga de hydrogeologiska förhållandena när det gäller grävpålar. Grundvattnen kan förekomma med olika trycknivå i olika jordlager. Speciellt viktigt är att klarlägga grundvatten-trycken i skiktad jord med varierande permeabilitet i vilket det vid schaktning kan föreligga risk för hydraulisk bottenuppträckning. I jordlager med stark grundvattenströmning kan speciella åtgärder erfordras vid gjutning av grävpåle, t.ex. gjutning med kvarsittande foderrör.

Föreligger misstanke om att grundvatten är aggressivt görs en särskild utredning.

Den geotekniska undersökningen ska klarlägga väsentliga uppgifter för schaktbarhetsbedömning. Viktiga uppgifter om jordens beskaffenhet är i dessa sammanhang dess lagringstäthet, kornstorleksfördelning samt sten- och blockhalt.

Risk för flytjordsbeteende har stor betydelse för schaktbarheten och ska därför särskilt anges.

Bestämning av sten- och blockhalt vid geotekniska undersökningar kan normalt endast utföras ytligt i provgropar. Av sonderingsstoppmarkeringar, moränprovers benämning och genomborrade block, se avsnitt 2.3.6.2, kan emellertid viktig information om sten- och blockförekomst erhållas.

2.3.6.9 Negativ mantelfriktion, påhängslaster

För att utröna om pålarna i långtidslastfallen kommer att behöva dimensioneras för negativ mantelfriktion och därmed påhängslaster, behöver jordens sättningsegenskaper bestämmas. Det innebär att sättningshistoriken i området behöver klarläggas och att ödometerförsök och/eller CRS-försök behöver utföras. För detta krävs ostörd provtagning av leran i sin helhet. Också portryckssituationen behöver vara känd. Samtidigt måste också användandet av uppfyllnader och lättfyllnader i projektet utredas. Vidare måste skjuvhållfastheten hos leran också bestämmas för att korrekt kunna beräkna den negativa mantelfriktionen. Se vidare beskrivning i kapitel 3 och 5.

2.3.6.10 Energipålar

En energipåle kan vara av både stål och betong och är en specialpåle med vanligt verknings sätt men som kombineras med en kollektorslang för värmeväxling ner till undergrunden.

I normala fall behöver hänsyn tas till ett mycket stort antal parametrar, inte minst till konstruktionens energibehov. Krävs både värme och kyla? Detta påverkar i hög grad den möjliga prestandan hos anläggningen. Samtidigt är det mycket avgörande i vilken geologi som pålen installeras. Ju tätare jord, desto trögare respons och större påverkan på jordens egenskaper. Ju större vatteninnehåll, desto bättre prestanda, ju större vattenströmning, desto större energiutvinning, men samtidigt ökade svårigheter att utnyttja värmeinlagring. Betong och stål som pålmaterial har också olika temperaturmotstånd och kan påverka möjligheten att utnyttja anläggningen optimalt ur energihänseende. En annan påverkande parameter utgörs av anläggningens latitud och därmed de rådande jordtemperaturerna och frostfria djupet.

De flesta relevanta parametrar erhålls ur en normal geoteknisk undersökning som utförs för pålning. Det som kan vara av extra intresse är dock hur stor grundvattenströmning som finns i hela eller delar

av geologin. Detta kan i hög grad påverka vilken total energi som kan tas ur energipålarna och sådana hydrogeologiska undersökningar kan därför behöva utföras.

Det rekommenderas att utföra en fullskaleprovning, om möjlighet finns, för att få fram korrekta värden inför en slutlig dimensionering.

Information om energipålar kan exempelvis erhållas från "In-situ testing of floating thermal piles in soft sensitive clay" (Bergström, 2017).

2.3.7 Underlag från provpålning

Begreppet provpålning är brett och kan definieras på många olika sätt. I föreliggande kapitel betraktas provpålning som en metod att testa huruvida påltypen i fråga är lämplig för de geotekniska förhållandena som råder på platsen. Provpålning är en mycket bra metod för att undersöka pålbarheten och bärformågan av planerad påltyp genom att installera en eller flera provpålar och genomföra dynamisk eller statisk provbelastning. Utvärderingen kan sedan användas som underlag för slutligt val av påltyp.

I kapitel 3, 7 och 9 beskrivs i detalj hur provpålning kan utföras.

2.3.8 Underlag för bedömning av arbetsplattformar

Det är viktigt att utföra markundersökningar för att säkerställa tillräcklig bärighet för arbetsplattformar. En arbetsplattform har ofta högst belastning under pålkranens basmaskin eller mobilkranens krantorn med risk för sättningar eller i värsta fall vältnings som följd. Förutom underlag från en normal geoteknisk undersökning är det viktigt att utreda de geotekniska förhållandena i de översta metrarna i jordlagerföljden. Det gäller speciellt då undergrunden består av lösa lerjordar.

Den odränerade skjuvhållfastheten ska bestämmas i minst de översta 3 metrarna från marknivån och nedåt (minst 3 gånger plattbredden) genom CPT-sondering eller vingförsök. Forskning har visat att skjuvhållfastheten överskattas i torrskorpelera (Lefebvre et. al., 1987) med dessa metoder och för att ta hänsyn till detta ska det karakteristiska värdet på den odränerade skjuvhållfastheten i torrskorpelera reduceras till halva uppmätta mätvärdet, dock som högst till 50 kPa och som lägst till uppmätt värde just under torrskorpan (Svensk Byggtjänst, 1993). För mer detaljer kring säkerhet vid uppställning av tunga anläggningsmaskiner – se rapporten "Säker uppställning av tunga anläggningsmaskiner" (Svensk Byggtjänst, 2021).

2.4 UNDERLAG MED HÄNSYN TILL OMGIVNINGSPÅVERKAN

2.4.1 Allmänt

Med omgivningspåverkan avses den negativa inverkan som pålningsarbetet kan ha på byggnader, anläggningar och förhållanden i närheten av arbetsplatsen. Pålning kan orsaka skador på närliggande byggnader, anläggningar och markförlagda ledningar samt störa människors komfort och orsaka driftstörningar för utrustning i de närliggande byggnaderna. Omgivningspåverkan kan därför ibland vara avgörande för valet av påltyp, pållängder och pålningsmetod.

För att undersöka risken för påverkan på omgivningen krävs kunskap om de geotekniska förhållandena både inom arbetsområdet och i dess närhet. Dessutom måste närliggande byggnader och anläggningar med pågående verksamheter inventeras. I detta avsnitt ges rekommendationer om vilket underlag som behövs för att utreda risken för påverkan på omgivningen vid pålningsarbeten. I kapitel 3 ges en översiktlig genomgång av de olika skaderiskerna och annan negativ påverkan på omgivningen som kan uppstå på grund av pålgrundläggning och relaterade arbeten. För mer detaljer angående skaderisker, tillämpliga regelverk och prognostiseringsverktyg för olika jord-, vatten- och luftfenomen som kan uppstå på grund av pålningsarbeten eller pålgrundläggning, se kapitel 10. I kapitel 10 redovisas också grunderna för att fastställa gränsvärden för deformationer på grund av pålningsarbeten, som kan orsaka skador på angränsande byggnader och anläggningar.

2.4.2 Underlag

När jorden utsätts för de störningar som installation av pålar kan orsaka, kan olika jord- och luftfenomen uppstå såsom sättningar, hävningar, förhöjt porvattentryck eller nedsatt hållfasthet. Vilket av dessa fenomen som uppstår beror på jordarten, grundvattenförhållandena samt lastens storlek och varaktighet. Hur objekten påverkas beror även på olika faktorer såsom typ av verksamhet, grundläggningsmetod, stomtyp och byggnadsmaterial. Vissa av de olika påverkansfenomen som kan uppstå är lokala och andra kan sprida sig till större avstånd. Påverkan från pålningsarbeten som kan orsaka stabilitetsbrott, deformationer på grund av massundanträngning, vibrationsskador och komfortstörningar bör undersökas och utredas upp till ett avstånd på minst 100 m från pålningsarbetet. Risken för förorening av vattenmiljön kan dock behöva undersökas och utredas på ännu större avstånd. Övriga påverkansfenomen är främst lokala och bör utredas upp till minst 5 m från pålningsarbetet. I Tabell 2.17 sammanfattas de parametrar som bör inventeras, undersökas, bestämmas och utredas vid projektering av ett pålningsarbete avseende geotekniska förhållanden och de objekt som kan påverkas, samt själva pålningsarbetet och påltyp.

Tabell 2.17 Olika parametrar som bör inventeras, undersökas, bestämmas och utredas vid projektering av ett pålningsarbete avseende omgivningspåverkan.

	Bärighetsbrott	Deformations-skador	Vibrations-skador	Komfortstörning	Vattenmiljö-förorening
1. Källan (pålningsarbetet)					
1.1 Pålninstallation	✓	✓	✓	✓	✓
- Drivmetod (slagning, vibrodrivning, borrar, etc.)	✓	✓	✓	✓	✓
- Drivenergi, W_k			✓	✓	
1.2 Påltyp	✓	✓	✓	✓	✓
- Pålelement (betong, stålrör, trä, etc.)	✓	✓	✓	✓	✓
- Verknings sätt (mantelburen el. spetsburen)			✓	✓	
2. Geotekniska förhållanden					
2.1 Topografi	✓	✓			
- marknivåer och lutningar	✓	✓			
2.2 Jordprofil	✓	✓	✓		✓
- jordart	✓	✓	✓		✓
- jordlagerföljd och med ev. skikt	✓	✓	✓		✓
- jorddjup, d	✓	✓			
2.3 Jord- och bergegenskaper	✓	✓			✓
- vattenkvot, w		✓			
- plasticitetsindex, $PI (w_L, w_P)$	✓	✓			
- relativ lagringstäthet, $I_D (e, e_{max}, e_{min}, R_c)$	✓	✓	✓	✓	
- organisk halt, C/N		✓			
- effektivspänning, $p' (r, s_v, K_0, u)$		✓			
- förkonsolideringstryck, $s'_c (s'_L)$		✓			
- styvhet, $E (G, M_0, M_L, M', n, \alpha_s)$		✓			
- hållfasthet, $t (s', j', c', c_u, S_t)$	✓				
2.4 Geohydrologi	✓	✓			✓
- grundvattennivå, G_{vy}	✓	✓			✓
- grund- och porvattentryck, u	✓	✓			✓
- permeabilitet, $k (K, v)$	✓	✓			✓
- strömningsriktning					✓
2.5 Mark- och vattenföroreningar					✓
- föroreningsgrad					✓
- föroreningsfas					✓
- nedbrytningshastighet					✓
- löslighet i vatten					✓
- tunghet jämfört med vatten					✓
3. Påverkansobjekt					
3.1 Bef. verksamhet		✓	✓	✓	✓
- inomhusmiljö (kontor, bostad, industri, etc.)		✓	✓	✓	
- utomhusmiljö (vattenskyddsområde, lekpark)				✓	✓
3.2 Bef. grundläggning	✓	✓	✓		✓
- Platta på mark (lera, sand, berg, fyllning)	✓	✓	✓		
- Pålgrundläggning (mantelburen, spetsburen)	✓	✓	✓		
- Grundläggningsnivå, entrénivåer	✓	✓			✓
3.3 Bef. byggnadsmaterial		✓	✓		
- Stomme (betong, trä, etc.)		✓	✓		
- Fasad (tegel, puts, etc.)		✓	✓		
- Pålelement (betong, stålrör, trä, etc.)	✓	✓	✓	✓	✓
- Verknings sätt (mantelburen, spetsburen, etc.)			✓	✓	

2.5 UNDERLAG MED HÄNSYN TILL BESTÄNDIGHET

2.5.1 Generellt

Geotekniska undersökningar med hänsyn till pålars beständighet syftar till att ge underlag för bedömning av jordens och grundvattnets korrosivitet gentemot betong eller stål.

I fråga om korrosion av stål i jord finns ett antal olika dokument och regelverk att ta hänsyn till vid dimensionering. Det alltigenom förhärskande dimensioneringssättet i Sverige för att ta hänsyn till korrosion har varit genom dimensionering genom rostmån p.g.a. avrostning. Det finns andra sätt att göra detta på, oftast genom olika skydd mot korrosion, men i ett normalfall är detta inte lönsamt.

Rent formellt så gäller för Boverkets jurisdiktion (BFS) tabellvärden i SS-EN 1993-5:2007 (SIS, 2007c), där inga nationella val har gjorts. Tabellen är dock inte fullständig och avviker en hel del från svensk praxis.

Vad gäller svensk praxis har denna sedan lång tid utgått ifrån kapitel 7 i Pålkommisionens rapport 98 (Pålkommisionen, 2000b). Sedan dess har Pålkommisionens rapport 105 (Pålkommisionen, 2009) publicerats, vilket är ett omfattande kunskapsdokument, men utan avrostningsrekommendationer och Teknisk PM 4:2015 (Pålkommisionen, 2015), vilken innehåller en sammanfattning av fenomenet och det gällande kunskapsläget, såväl som nya rekommendationer för avrostningsvärden. Dessa är främst kopplade till jordart och grundvattenyta.

För att krav enligt TSFS 2018:57 (Transportstyrelsen, 2018) ska uppfyllas finns dessutom Trafikverkets beställarkrav att ta hänsyn till. Kraven framgår för närvarande i TRVINFRA-00227, version 6.0 (Trafikverket, 2025a), där det framgår vilka jord- och grundvattenförhållanden som måste klarläggas för att kunna ta hänsyn till pålars beständighet.

2.5.2 Robusthet

En geokonstruktion ska utformas så att den har tillräcklig robusthet under sin tekniska livslängd m.h.t. oväntade ogynnsamma händelser. Åtgärder för att förbättra en geokonstruktions robusthet ska utföras enligt specificering av behöriga myndigheter eller, om sådan inte finns, i enlighet med överenskomelse för ett specifikt projekt mellan de berörda parterna. Se vidare i kapitel 3.

Kommunala och lokala riktlinjer kan finnas med t.ex. en lägsta grundläggningsnivå för nybyggnation med hänsyn till framtida översvämningsrisker.

2.5.3 Stål

Forskning har visat att under grundvattenytan är korrosionsrisken försumbar i alla typer av jordar om det inte förekommer läckströmmar. Den allvarligaste korrosionen uppstår strax under grundvattenytan ifall pålen står i jord och i den s.k. "skvalpzonen" då pålen står fritt i vatten, speciellt ifall pålen är exponerad för saltvatten eller strömmande vatten. Det har också visat sig att förhållandena i jorden ovanför grundvattenytan påverkar korrosionshastigheten i form av jordens luftning, vattenkvot och resistivitet.

Det är alltså av vikt att tidigt klarlägga följande:

- Fastställande av jordtyp. Om inte jordtypen fastställs kan resistivitetsmätning utföras.
- Uppmätning av grundvattenytans läge om korrosionsskyddande åtgärder planeras för konstruktionsdelar ovanför grundvattenytan.
- Uppmätning av elektriska gradienter om misstanke om läckströmspåverkan föreligger.

- pH-värdet i jorden. Låga pH-värden medför större korrosionsrisk.
- Mikrobiell aktivitet, vilket ofta beror på pH-värdet, vilket ofta är fallet i organiska jordar såsom gytta och sulfidlera.

Utförlig beskrivning avseende stålplåars beständighet redovisas i kapitel 3.

2.5.4 Betong

För betongplåar ska adekvata exponeringsklasser anges. I ett normalfall med icke aggressiv jord kan exponeringsklass XC2/XF1 anses föreligga. För många exponeringsklasser finns tabellerade värden på erforderliga täcksikt och sprickvidder. I vissa fall måste dessa anges i varje enskilt fall, främst för kemiska angrepp, XA1-3 och för angrepp av havsklorider, XS2-3. Vad gäller kemiska angrepp, XA, finns ett antal föroreningshalter listade som i jord och grundvatten leder till en exponeringsklass för det aktuella fallet. Provtagning och utvärdering av dessa enligt olika laboratorieprocedurer bör utföras för att undvika onödiga kostnader. Riktlinjer för val av olika exponeringsklasser finns i SS-EN 206:2013+A2:2021 (SIS, 2021e).

Utförlig beskrivning avseende betongplåars beständighet redovisas i kapitel 3.

2.5.5 Trä

För träplåar erfordras kännedom om grundvattenförhållandena och dess fluktuation, dels vid byggnadstillfället och dels under byggnadens livslängd, för att bedöma risken för rötangrepp. Kännedom om dessa förhållanden är avgörande för bedömning av verkets beständighet. Det bör med tillräcklig säkerhet kunna garanteras att träplåen under hela sin livslängd kommer att befinna sig under grundvattenytan.

Utförlig beskrivning avseende träplåars beständighet redovisas i kapitel 3.

2.6 LASTEFFEKTER

I kapitel 5 beskrivs de lasteffekter för vilka en påle ska dimensioneras. I föreliggande avsnitt beskrivs vilken påverkan lasteffekter har avseende underlag för projektering. För mer ingående analys av lasteffekter hänvisas till kapitel 3, 5, 6 och 7.

Vid projekteringen ska samtliga lasteffekter i gränstillstånden STR och GEO klarläggas och detta ska göras i brottgränstillstånd (ULS – Ultimate Limit State), olyckslastfallet (ALS – Accident Limit State) samt i bruksgränstillstånd (SLS – Service Limit State). Vissa lasteffekter är så väl definierade att någon diskussion inte kan uppkomma vid senare detaljutformning av pålarna. Förvånansvärt ofta uppkommer emellertid tvister i fråga om vilka lasteffekter som därutöver ska förutsättas. Det kan gälla frågor av mer formell karaktär, exempelvis vilka normer och regler som ska gälla och hur programhandlingar ska tolkas, men även att lastfall som inte alls beaktats vid projekteringen kan bli aktuella.

Exempel på "oförutsedda" lastfall är lasteffekter orsakade av olika typer av tvång, dvs. överbyggnadsrörelser som genom att pålarna tvingas med i en rörelse medför uppkomst av krafter och moment i pålarna. Andra exempel är inverkan av strömmande vatten kring fristående pålar och liknande mer ovanliga fenomen eller lutande pålar utanför fastighetsgräns, som i framtiden skulle kunna påverkas av sättningar eller transversalbelastning på pålarna.

Vertikala lasteffekter är normalt dominerande för pålgrundläggningar. De vanligaste påltyperna i Sverige är samtliga slanka och lämpar sig mycket dåligt för upptagande av horisontella lasteffekter. Sådana leder till stora förskjutningar av överliggande konstruktion och ofta kraftigt nedsatt vertikal bärförmåga för pålarna. Vid grundläggning med grova stålrörspålar eller grävpålar av olika slag är det mer aktuellt att även ta upp horisontella laster. Vidare måste alltid inverkan av de rörelser som överbyggnaden och den omgivande jorden påtvingar pålarna undersökas. Vid beräkningar av pålar utsatta för horisontella lasteffekter krävs information om jordens egenskaper till tillräckliga djup. I normalfallet krävs detta till 20 m djup eller mer, beroende på pålens egenskaper.

Vid förekomst av negativ mantelfriktion, syftar de geotekniska fältundersökningarna till att ge underlag för dimensionering med avseende på påhängslaster. Här krävs undersökningar av jordens egenskaper längs hela pålens längd. Håll isär påhängslaster som verkar i långtidsfall på vertikala pålar och jord som sätter sig runt en lutande påle och som åstadkommer en permanent deformation av pålen, vilken påverkar pålens strukturella bärförmåga i samtliga lastfall.

Pålade byggnader i närheten av, eller i öppet vatten blir vintertid exponerade för last från is. En avgörande dimensionerande faktor är isens tjocklek som är temperaturberoende och strömmande vatten som vintertid kan få istäcket att ge upphov till horisontella belastningar på enskild påle eller pålgrupp. För mer ingående detaljer kring islaster, se Pålkommisionen Teknisk PM 1:2020, Islaster mot pålar (Pålkommisionen, 2020).

Cykliska laster på pålar, exempelvis från trafik, vågor, vind och temperaturvariationer, kan leda till utmattningsavbrott av materialet, minskad geoteknisk bärförmåga eller ökade sättningar. Upprepad cyklisk belastning kan orsaka mikrosprickor eller progressiv skada i pålens material, såsom stål eller betong. För stålpålar kan utmattningsavbrott leda till sprickbildning och spricktillväxt, vilket kan minska pålens strukturella bärförmåga. För betongpålar kan cykliska spänningar försvaga bindningen mellan betong och armering eller orsaka sprickbildning. I dessa båda fall är det pålmaterialet som behöver dimensioneras för den cykliska belastningen. Lastens egenskaper (storlek, amplitud, frekvens och antal belastningscykler) behöver också bestämmas. Se vidare i kapitel 6 för dimensionering av pålarnas strukturella bärförmåga.

Den cykliska belastningen på pålar kan också påverka jorden utmed pålens mantel och under pålspetsen. Detta kan leda till sättningar på grund av omlagring av löst lagrad friktionsjord, eller till minskad

geoteknisk bärförmåga i vattenmättad, lågpermeabel löst lagrad friktionsjord på grund av förhöjda porvattentryck. Även i lera kan förhöjda porvattentryck initieras, varvid lerans odränerade skjuvhållfasthet kan minska. Underlaget för denna bedömning, förutom lastens egenskaper, utgörs av jordens egenskaper och geotekniska förhållanden (jordart, styvhet, hållfasthet, lagringstäthet, permeabilitet och spänningsförhållanden). Beräkningar av cykliska lasters påverkan på den geotekniska bärförmågan redovisas i kapitel 7. Se även kapitel 10 gällande de geotekniska fenomen som kan uppstå vid cykliska laster.

Transport- och utförandeskedet kan orsaka lasteffekter som måste beaktas utöver de lasteffekter som driftstadiet ger upphov till. Som exempel kan nämnas utmattningsinverkan orsakad av långvarig och hård drivning. Pålen kan på så sätt få en del av sin kapacitet "förbrukad" innan den införlivas med överbyggnadskonstruktionen.

När det gäller omgivningspåverkan från pålningsarbeten och övriga grundläggningsarbeten hänvisas till kapitel 10. Där beskrivs vilka påtvingade deformationer pålar kan utsättas för. Dessa leder i sin tur till tilläggsmoment och deformationer, vilka leder till en försämrad bärförmåga för pålen.

2.7 REFERENSER

Axelsson, G., 2000. *Long-term set-up of driven piles in sand*. Ph.D thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm.

Axelsson, G. och Westin, A., 2000. Torque tests on driven rods for prediction of pile set-up, ASCE, Geotechn. Spec. Publ. (GSP); New Technological and Design Developments in Deep Foundations, Proc. GeoDenver 2000, Denver, Colorado.

Bergström, A., 2017. *In-situ testing of floating thermal piles in soft sensitive clay*. Chalmers Tekniska Högskola, Thesis for the degree of licentiate of engineering in geotechnical engineering.

Bullock P.L., Schmertmann J.H., McVay, M.C. och Townsend F.C., 2005. Side Shear Setup II: Results from Florida test piles, J. Geotech. & Environ. Engng., ASCE, vol. 131. no.3.

DIN, 2005. *DIN 38409-7: 2005-12 - German standard methods for the examination of water, waste water and sludge - Parameters characterizing effects and substances (group H) - Part 7: Determination of acid and base-neutralizing capacities (H 7)*.

DIN, 2008. *DIN 4030-2:2008-06 - Assessment of water, soil and gases for their aggressiveness to concrete - Part 2: Sampling and analysis of water and soil samples*.

DIN, 2024. *DIN 50929-3:2024-05 - Corrosion of metals - Corrosion likelihood of metallic materials when subject to corrosion from the outside - Part 3: Buried and underwater pipelines and structural components*.

Geotech. <https://www.geotech.se/product/evt-2000-med-vingskydd-och-skyddsrör/>.

IEG, 2013. *IEG Rapport 2:200 8, rev 3, Tillämpningsdokument, Grunderna i Eurokod*. ISBN 978-91-87683-00-8.

ISO, 1977. *ISO 4316:1977 - Surface active agents — Determination of pH of aqueous solutions — Potentiometric method*.

Kalén, R., Holmén, M., Burman, F., Vesterberg, B., Andersson, M., 2023. *Indexförsök för bestämning av odränerad skjuvhållfasthet, Skjuvstansning*. Utgåva 2, 2023. Statens geotekniska institut, SGI, Linnköping, 2023-03-01.

Lantmäteriets visningstjänst "Min Karta" (<https://minkarta.lantmateriet.se>).

Lefebvre, G., Paré, J., Dascal, O., 1987. Undrained shear strength in the surficial weathered crust. 23-34, Canadian Geotechnical Journal 24.

Möller, B., 1991. *SGI Varia 342 - Falskt påstopp*. Statens geotekniska institut.

Naturvårdsverket, 1999. *Rapport 4918 - Metodik för inventering av förorenade områden, Bedömningsgrunder för miljö kvalitet, Vägledning för insamling av underlagsdata*.

NGF, 2019. *Pelevägledningen 2019*. Norsk geoteknisk förening, Den norske Pelekomité.

Pålkommissionen, 2000a. *Rapport 97 – Stålkärnepålar, Anvisningar för projektering, dimensionering utförande och kontroll*. Författare: Håkan Bredenberg.

Pålkommissionen, 2000b. *Rapport 98 – Dimensioneringsanvisningar för slagna slanka stålpålar*. Författare: Åke Bengtsson, Bo Berglars, Sven Hultsjö och Jan Romell.

Pålkommisionen, 2009. *Rapport 105 - Stålpållars beständighet mot korrosion i jord, En sammanställning av kunskaper och erfarenheter*. Författare: Göran Camitz, Ulf Bergdahl och Tor-Gunnar Vinka.

Pålkommisionen, 2015. *Teknisk PM 4:2015 - Korrosion av stålkonstruktioner med lång förväntad livslängd – nuläges-sammanställning*. Författare: Bertil Sandberg.

Pålkommisionen, 2020. *Teknisk PM 1:2020 - Islaster mot pållar*. Författare: Henrik Mayor, Anders Sagemo och Per-Olof Johansson.

SBUF, 2019. *Installation av pållar och spont i förorenad mark, Spridningsrisk och ansvarsfördelning*. SBUF ID: 13413. Redaktör: Ellen Samuelsson.

SGF, 2004. *SGF Notat 2:2004 - Direkta skjuvförsök – en vägledning*. SGF:s Laboratoriekommitté med Rolf Larsson som huvudförfattare.

SGF, 2005. *SGF Notat 2:2005 – Permeabilitetsbestämning genom laboratorieförsök*. SGF:s Laboratoriekommitté med Rolf Larsson som huvudförfattare.

SGF, 2006. *Rapport 2:2006 - Metodbeskrivning för installation av inklinometerörr*. Svenska Geotekniska Föreningen. Författare: Lars Persson och Björn Möller.

SGF, 2007. *SGF Notat 3:2007 - Laboratieprovning för geotekniska utredningar, En vägledning*. Svenska Geotekniska Föreningen. SGF:s Laboratoriekommitté.

SGF, 2009. *SGF Notat 1:2009 - Jämförande sonderingar - Jb-totalsondering, CPT och Hejarsondering*. Svenska Geotekniska Föreningen. SGF:s fältkommitté.

SGF, 2012a. *Rapport 4:2012 - Metodbeskrivning för jord-bergsondering, Utförande, utrustning och kontroll*. Svenska Geotekniska Föreningen. SGF:s fältkommitté.

SGF, 2012b. *Rapport 2:2012 - Triaxialförsök - En vägledning*. Svenska Geotekniska Föreningen. SGF:s Laboratoriekommitté. Författare: Bo Westerberg, Sölve Hov och Martin Holmén.

SGF, 2013a. *Rapport 1:2013 - Geoteknisk fälthandbok*. Version 1.0. Svenska Geotekniska Föreningen. SGF:s Fältkommitté.

SGF, 2013b. *Rapport 2:2013 - Fälthandbok, Undersökningar av förorenade områden*. Svenska Geotekniska Föreningen.

SGF, 2017. *Rapport 1:2017 - Metodik för bestämning av skjuvhållfasthet i lera, En vägledning*. Svenska Geotekniska Föreningen.

SGF, 2018a. *SGF Notat 2:2018 - Fallkonförsöket*. Svenska Geotekniska Föreningen. SGF:s Laboratoriekommitté.

SGF, 2018b. *SGF Notat 1:2018 - Konflytgränsen*. Svenska Geotekniska Föreningen. SGF:s Laboratoriekommitté.

SGF, 2020. *Rapport 2:2020 - Osäkerheter vid bestämning av organisk halt i jord*. Svenska Geotekniska Föreningen. Författare: Lars G Eriksson i samarbete med SGF:s Arbetsgrupp Lab.

SGF, 2021. *Rapport 1:2016 - Jordarternas indelning och benämning*. Svenska Geotekniska Föreningen. Rev 1, 2021-11-11. Rapporten är bearbetad av Lars G Eriksson i samarbete med SGF:s laboratoriekommitté.

SGF, 2023. *Rapport 1:2023 - Provtagning av silt, sand, grus och morän, Beskrivning av provtagningsmetoder och erfarenheter av dessa*. Svenska Geotekniska Föreningen. Författare: Björn Dehlbom, Karin Lundström och Mattias Andersson.

SGI, 1984. *Information 2 - Geotekniska undersökningar i fält*. Statens geotekniska institut. Författare: Ulf Bergdahl.

SGI, 1988. *Information 6 - Torv - geotekniska egenskaper och byggmetoder*. Statens geotekniska institut. Författare: Peter Carlsten.

SGI, 1989a. *Information 7 - Report of the ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing of Soils - TC 16 with Reference Test Procedures, CPT- SPT- DP- WST*.

SGI, 1989b. *Information 8 - Hållfasthet i friktionsjord*. Statens geotekniska institut. Författare: Rolf Larsson.

SGI, 1989c. *Information 10 - Dilatometerförsök - En in-situ metod för bestämning av lagerföljd och egenskaper i jord. Utförande och utvärdering*. Statens geotekniska institut, Linköping. Författare: Rolf Larsson.

SGI, 1990. *Information 11 - Mätning av grundvattennivå och portryck*. Statens geotekniska institut och Vägverket, Linköping. Författare: Marius Tremblay.

SGI, 1998. *Information 16 - Siltjordars egenskaper, Silt som konstruktionsmaterial, Bestämning av geotekniska egenskaper*. Statens geotekniska institut. Författare: Sven Knutsson, Rolf Larsson, Marius Tremblay, Anna-Lena Öberg-Högsta.

SGI, 2007. *Information 3 - Skjuvhållfasthet - utvärdering i kohesionsjord*. Statens geotekniska institut och Chalmers tekniska högskola. Författare: Rolf Larsson, Göran Sällfors, Per-Evert Bengtsson, Claes Alén, Ulf Bergdahl, Leif Eriksson.

SGI, 2008. *Information 1 - Jords egenskaper*. Statens geotekniska institut. Författare: Rolf Larsson.

SGI, 2015. *Information 15 - CPT-sondering, utrustning – utförande – utvärdering. En in-situ metod för bestämning av jordlagerföljd och egenskaper i jord*. Statens geotekniska institut. Författare: Rolf Larsson.

SGI, 2019. *Pålning i förorenade områden, Kunskapssammanställning*. SGI Uppdragsrapport 14717. Författare: Charlotta Tiberg, Paul Edebalk och Björn Dehlbom.

SGI, 2023. *SGI Vägledning 8 - Utredning av släntstabilitet. Utgåva 1*. Statens geotekniska institut. Huvudförfattare: Karin Odén och Tobias Thorén.

SIS, 1989a. *SS 27112 - Geotekniska provningsmetoder - Bestämning av kapillaritet med undertrycks-kapillarmeter*.

SIS, 1989b. *SS 27117 - Geotekniska provningsmetoder - Beräkning av portal och porositet*.

SIS, 1990a. *SS 27105 - Geotekniska provningsmetoder - Organisk halt i jord – Glödningsförlustmetoden*.

SIS, 1990b. *SS 27107 - Geotekniska provningsmetoder - Organisk halt i jord – Kolorimetermätning*.

SIS, 1991a. *SS 27126 - Geotekniska provningsmetoder - Kompressionsegenskaper - Ödometerförsök, CRS-försök – Kohesionsjord*

SIS, 1991b. SS 27127 - Geotekniska provningsmetoder - Skjuvhållfasthet - Direkta skjuvförsök, CU- och CD-försök – Kohesionsjord.

SIS, 1994. SS 27110 Geotekniska provningsmetoder - Packningsegenskaper - Fältbestämning av densitet.

SIS, 1996. SS-ISO 11265 - Markundersökningar - Bestämning av den elektriska konduktiviteten.

SIS, 1999. SS 25211 - Vibration och stöt - Riktvärden och mätmetod för vibrationer i byggnader orsakade av pålning, spontning, schaktning och packning.

SIS, 2005a. SS-EN 14679:2005 - Utförande av geokonstruktioner - Djupstabilisering med bindemedel.

SIS, 2005b. SS-EN 14731:2005 - Utförande av geokonstruktioner - Jordförstärkning med djupvibrering.

SIS, 2005c. SS-EN ISO 22476-2:2005 - Geoteknisk undersökning och provning - Fältprovning - Del 2: Hejarsondering (ISO 22476-2:2005).

SIS, 2005d. SS-EN ISO 22476-3:2005 - Geoteknisk undersökning och provning - Fältprovning - Del 3: SPT-försök (ISO 22476-3:2005).

SIS, 2005e. SS-EN 1997-1:2005 - Eurokod 7: Dimensionering av geokonstruktioner - Del 1: Allmänna regler inklusive tillägg SS-EN 1997-1:2005/A1:2013.

SIS, 2006. SS-EN 14475:2006 - Utförande av geokonstruktioner - Armerad jord.

SIS, 2007a. SS-EN 15237:2007 - Utförande av geokonstruktioner – Vertikaldränering.

SIS, 2007b. SS-EN 1997-2:2007 - Eurokod 7: Dimensionering av geokonstruktioner - Del 2: Marktek-niska undersökningar.

SIS, 2007c. SS-EN 1993-5:2007 - Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner - Del 5: Pål- och spont inklusive SS-EN 1993-5:2007/AC:2009.

SIS, 2009a. SS-EN ISO 22476-12:2009 - Geoteknisk undersökning och provning - Fältprovning - Del 12: Mekanisk spetstryckssondering (ISO 22476-12:2009).

SIS, 2009b. SS-EN ISO 11885:2009 - Vattenundersökningar - Bestämning av ett antal utvalda grundämnen genom atomemissionsspektrometri med induktivt kopplad plasma (ICP-AES) (ISO 11885:2007).

SIS, 2009c. SS-EN ISO 10304-1: 2009 - Vattenundersökningar - Bestämning av lösta anjoner med jonkromatografi - Del 1: Bestämning av bromid, klorid, fluorid, nitrat, nitrit, fosfat och sulfat (ISO 10304-1:2007).

SIS, 2010. SS-EN 14490:2010 - Utförande av geokonstruktioner – Jordspikning.

SIS, 2011a. SS-EN ISO 22476-2:2005/A1:2011 - Geoteknisk undersökning och provning - Fältprovning - Del 2: Hejarsondering - Tillägg 1 (ISO 22476-2:2005/Amd 1:2011).

SIS, 2011b. SS-EN ISO 22476-3:2005/A1:2011 - Geoteknisk undersökning och provning - Fältprovning - Del 3: SPT-försök - Tillägg 1 (ISO 22476-3:2005/Amd 1:2011).

SIS, 2012a. SS-EN ISO 22476-7:2012 - Geoteknisk undersökning och provning - Fältprovning - Del 7: Försök med stel borrhålsdilatometer (ISO 22476-7:2012).

SIS, 2012b. SS-EN ISO 22282-1:2012 - Geoteknisk undersökning och provning - Geohydraulisk provning - Del 1: Allmänna regler (ISO 22282-1:2012).

SIS, 2012c. SS-EN ISO 22282-2:2012 - Geoteknisk undersökning och provning - Geohydraulisk provning - Del 2: Bestämning av hydraulisk konduktivitet i öppna borrhål (ISO 22282-2:2012).

SIS, 2012d. SS-EN ISO 22282-3:2012 - Geoteknisk undersökning och provning - Geohydraulisk provning - Del 3: Vattenförlustmätning i berg (ISO 22282-3:2012).

SIS, 2012e. SS-EN ISO 22282-5:2012 - Geoteknisk undersökning och provning - Geohydraulisk provning - Del 5: Infiltrationsprovning (ISO 22282-5:2012).

SIS, 2012f. SS-EN ISO 22282-6:2012 - Geoteknisk undersökning och provning - Geohydraulisk provning - Del 6: Bestämning av hydraulisk konduktivitet i (av) manschetterade borrhål (ISO 22282-6:2012).

SIS, 2013a. SS-EN 1537:2013 - Utförande av geokonstruktioner – Förankringar.

SIS, 2013b. SS-EN 196-2:2013 - Cement - Provning - Del 2: Kemisk analys.

SIS, 2014a. SS-EN ISO 17892-1:2014 - Geoteknisk undersökning och provning - Laboratorieundersökning av jord - Del 1: Bestämning av vattenkvot (ISO 17892-1:2014).

SIS, 2014b. SS-EN ISO 17892-2:2014 - Geoteknisk undersökning och provning - Laboratorieundersökning av jord - Del 2: Bestämning av skrymdensiteten hos finkornig jord (ISO 17892-2:2014).

SIS, 2014c. SS-EN 16502:2014 - Provningsmetod för bestämning av surhetsgraden i jord enligt Bau-mann-Gully.

SIS, 2015a. SS-EN 1536: 2010 - A1:2015 - Utförande av geokonstruktioner – Grävpålar.

SIS, 2015b. SS-EN 1538: 2010 + A1:2015 - Utförande av geokonstruktioner – Slitsmurar.

SIS, 2015c. SS-EN 12699:2015 - Utförande av geokonstruktioner - Massundanträngande pålar.

SIS, 2015d. SS-EN 14199:2015 - Utförande av geokonstruktioner – Mikropålar.

SIS, 2015e. SS-EN ISO 18674-1:2015 - Geoteknisk undersökning och provning - Geoteknisk övervakning genom instrumentering i fält - Del 1: Allmänna regler (ISO 18674-1:2015).

SIS, 2016a. SS-EN ISO 22476-15:2016 - Geoteknisk undersökning och provning - Fältprovning - Del 15: Mätning under borrar (ISO 22476-15:2016).

SIS, 2016b. SS-EN ISO 17892-3:2016 - Geoteknisk undersökning och provning - Laboratorieundersökning av jord - Del 3: Bestämning av kompakt densitet (ISO 17892-3:2015, Corrected version 2015-12-15).

SIS, 2016c. SS-EN ISO 17892-4:2016 - Geoteknisk undersökning och provning - Laboratorieundersökning av jord - Del 4: Bestämning av kornstorleksfördelning (ISO 17892-4:2016).

SIS, 2016d. SS-EN ISO 22477-10:2016 - Geoteknisk undersökning och provning - Provning av geokonstruktioner - Del 10: Provning av pålar: snabb provbelastning (ISO 22477-10:2016).

SIS, 2016e. SS-EN ISO 18674-2:2016 - Geoteknisk undersökning och provning - Geoteknisk övervakning genom instrumentering i fält - Del 2: Mätning av förskjutningar längs en linje: Extensometrar (ISO 18674-2:2016).

SIS, 2017a. SS-EN ISO 22476-10:2017 - Geoteknisk undersökning och provning - Fältprovning - Del 10: Viktsondering (ISO 22476-10:2017).

SIS, 2017b. SS-EN ISO 22476-11:2017 - Geoteknisk undersökning och provning - Fältprovning - Del 11: Dilatometer provning (ISO 22476-11:2017).

SIS, 2017c. SS-EN ISO 17892-5:2017 - Geoteknisk undersökning och provning - Laboratorieundersökning av jord - Del 5: Ödometerförsök med stegvis belastning (ISO 17892-5:2017).

SIS, 2017d. SS-EN ISO 17892-6:2017 - Geoteknisk undersökning och provning - Laboratorieundersökning av jord - Del 6: Provning med fallkon (ISO 17892-6:2017).

SIS, 2017e. SS-EN ISO 18674-3:2017 - Geoteknisk undersökning och provning - Geoteknisk övervakning genom instrumentering i fält - Del 3: Mätning av förskjutningar tvärs en linje: Inklinometrar (ISO 18674-3:2017).

SIS, 2018a. SS-EN 12716:2018 - Utförande av geokonstruktioner – Jetinjektering.

SIS, 2018b. SS-EN ISO 22476-6:2018 - Geoteknisk undersökning och provning - Fältprovning - Del 6: Provning med självbörande pressometer (ISO 22476-6:2018).

SIS, 2018c. SS-EN ISO 22476-8:2018 - Geoteknisk undersökning och provning - Fältprovning - Del 8: Provning med massundanträngande pressometer (ISO 22476-8:2018).

SIS, 2018d. SS-EN ISO 14688-1:2018 - Geoteknisk undersökning och provning - Benämning och indelning av jord - Del 1: Benämning och beskrivning (ISO 14688-1:2017).

SIS, 2018e. SS-EN ISO 14688-2:2018 - Geoteknisk undersökning och provning - Identifiering och klassificering av jord - Del 2: Klassificeringsprinciper (ISO 14688-2:2017).

SIS, 2018f. SS-EN ISO 14689: 2018 - Geoteknisk undersökning och provning - Benämning och indelning av berg (ISO 14689:2017).

SIS, 2018g. SS-EN ISO 17892-7:2018 - Geoteknisk undersökning och provning - Laboratorieundersökning av jord - Del 7: Enaxlig tryckprovning (ISO 17892-7:2017).

SIS, 2018h. SS-EN ISO 17892-8:2018 - Geoteknisk undersökning och provning - Laboratorieundersökning av jord - Del 8: Okonsoliderad odränerad triaxialprovning (ISO 17892-8:2018).

SIS, 2018i. SS-EN ISO 17892-9:2018 - Geoteknisk undersökning och provning - Laboratorieundersökning av jord - Del 9: Konsoliderad aktiv triaxialprovning på vattenmättad jord (ISO 17892-9:2018).

SIS, 2018j. SS-EN ISO 17892-12:2018 - Geoteknisk undersökning och provning - Laboratorieundersökning av jord - Del 12: Bestämning av flytgräns och plasticitetsgräns (ISO 17892-12:2018).

SIS, 2018k. SS-EN ISO 22477-1:2018 - Geoteknisk undersökning och provning - Provning av geokonstruktioner - Del 1: Statisk provbelastning av pålar med axiell trycklast (ISO 22477-1:2017).

SIS, 2018l. SS-EN ISO 22477-4:2018 - Geoteknisk undersökning och provning - Provning av geokonstruktioner - Del 4: Dynamisk provbelastning av pålar (ISO 22477-4:2018).

SIS, 2018m. SS-EN ISO 22477-5:2018 - Geoteknisk undersökning och provning - Provning av geokonstruktioner - Del 5: Provning av förankringar (ISO 22477-5:2018).

SIS, 2019a. SS-EN ISO 17892-10:2019 - Geoteknisk undersökning och provning - Laboratorieundersökning av jord - Del 10: Provning med skjuvbox och ringskjuvapparat (ISO 17892-10:2018).

SIS, 2019b. SS-EN ISO 17892-11:2019 - Geoteknisk undersökning och provning - Laboratorieundersökning av jord - Del 11: Permeabilitetstest (ISO 17892-11:2019).

SIS, 2019c. SS-EN ISO 18674-5:2019 - Geoteknisk undersökning och provning - Geoteknisk övervakning genom instrumentering i fält - Del 5: Totalspänningsmätning med jordtryckscell (TPC) (ISO 18674-5:2019).

SIS, 2020a. SS-EN 12715:2020 - Utförande av geokonstruktioner – Injektering.

SIS, 2020b. SS-EN ISO 22476-9:2020 - Geoteknisk undersökning och provning - Fältprovning - Del 9: Fältvingprovning (FVT och FVT-F) (ISO 22476 9:2020).

SIS, 2020c. SS-EN ISO 22476-14:2020 - Geoteknisk undersökning och provning - Fältprovning - Del 14: Dynamisk sondering i borrhål (ISO 22476-14:2020).

SIS, 2020d. SS-EN ISO 18674-3:2017/A1:2020 - Geoteknisk undersökning och provning - Geoteknisk övervakning genom instrumentering i fält - Del 3: Mätning av förskjutningar tvärs en linje: Inklinometrar - Tillägg 1 (ISO 18674-3:2017/Amd 1:2020).

SIS, 2020e. SS-EN ISO 18674-4:2020 - Geoteknisk undersökning och provning - Geoteknisk övervakning genom instrumentering i fält - Del 4: Mätning av porvattentryck: Portrycksmätare (ISO 18674-4:2020).

SIS, 2021a. SS-EN ISO 22476-4:2021 - Geoteknisk undersökning och provning - Fältprovning - Del 4: Pressometerförsök enligt Ménard (ISO 22476-4:2021).

SIS, 2021b. SS-EN ISO 22282-4:2021 - Geoteknisk undersökning och provning - Geohydraulisk provning - Del 4: Provpumpning (ISO 22282-4:2021).

SIS, 2021c. SS-EN ISO 22475-1:2021 - Geoteknisk undersökning och provning - Provtagning genom borrhäns- och utgrävningsmetoder och grundvattenmätningar - Del 1: Tekniskt utförande (ISO 22475-1:2021).

SIS, 2021d. SS-EN ISO 17892-12:2018/A1:2021 - Geoteknisk undersökning och provning - Laboratorieundersökning av jord - Del 12: Bestämning av flytgräns och plasticitetsgräns (ISO 17892-12:2018/Amd 1:2021).

SIS, 2021e. SS-EN 206:2013+A2:2021 - Betong - Fordringar, egenskaper, tillverkning och överensstämmelse.

SIS, 2022a. SS-EN ISO 17892-1:2014/A1:2022 - Geoteknisk undersökning och provning - Laboratorieundersökning av jord - Del 1: Bestämning av vattenkvot (ISO 17892-1:2014/Amd 1:2022).

SIS, 2022b. SS-EN ISO 17892-12:2018/A2:2022 - Geoteknisk undersökning och provning - Laboratorieundersökning av jord - Del 12: Bestämning av flytgräns och plasticitetsgräns (ISO 17892-12:2018/Amd 2:2022).

SIS, 2022c. SS-EN ISO 10390: 2022 - Jord, behandlat bioavfall och slam - Bestämning av PH (ISO 10390:2021).

SIS, 2022d. SS 4604860:2022 - Vibration och stöt - Metod för syneförrättning av byggnader och anläggningar i samband med vibrationsalstrande verksamhet.

SIS, 2023a. SS-EN ISO 22476-1:2023 - Geoteknisk undersökning och provning - Fältprovning - Del 1: Spetsstrycksondering med elektrisk spets, CPT och CPTU (ISO 22476-1:2022).

SIS, 2023b. SS-EN ISO 22476-5:2023 - Geoteknisk undersökning och provning - Fältprovning - Del 5: Provning med förborrad pressometer (ISO 22476-5:2023).

SIS, 2023c. SS-EN ISO 22477-2:2023 - Geoteknisk undersökning och provning - Provning av geokonstruktioner - Del 2: Provning av pålar: Statisk provdragbelastning (ISO 22477-2:2023).

SIS, 2023d. SS-EN ISO 18674-8:2023 - Geoteknisk undersökning och provning - Geoteknisk övervakning genom instrumentering i fält - Del 8: Mätning av kraft: Kraftgivare (ISO 18674-8:2023).

SIS, 2024a. SS-EN 12063:2024 - Utförande av geokonstruktioner – Sponter, kombisponter, förstyvade sponter.

SIS, 2024b. SS-EN ISO 22476-16:2024 - Geoteknisk undersökning och provning – Fältprovning – Del 16: Provning med skjuvutrustning i borrhål (ISO 22476-16:2024, IDT).

SIS, 2024c. SS-EN 1997-2:2024 - Eurokod 7: Dimensionering av geokonstruktioner - Del 2: Mark-egenskaper.

SIS, 2025. SS-EN ISO 18674-7:2025 - Geoteknisk undersökning och provning – Geoteknisk övervakning genom instrumentering i fält – Del 7: Mätning av töjning: Töjningsgivare (ISO 18674-7:2025, IDT).

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) samlar ett antal digitala underlag (WMS-tjänster) på sin Kartvisare (<http://apps.sgu.se/kartvisare>),

Smoltczyk, U., 2002. *Geotechnical Engineering Handbook, Volume 1: Fundamentals*. Ernst & Sohn. Berlin 2002.

Statens Geotekniska institut (SGI) samlar geotekniska undersökningar och GeoSuite-borrhål från Trafikverket, Stockholms stad och Branschens geotekniska arkiv (BGA) via Geoteknisk sektorsportal (<https://gis.swedgeo.se/startgsp>).

Svensk Byggtjänst, 1984. *Handboken Bygg – Geoteknik*. Redaktionskommitté: Torbjörn Stål och Per Wedel. Huvudredaktör: Sigurd Avén.

Svensk Byggtjänst, 1993. *Plattgrundläggning*. Svensk Byggtjänst och Statens Geotekniska Institut. ISBN 91-7332-662-3. Författare: Ulf Bergdahl, Elvin Ottosson och Bo Stigson Malmberg.

Svensk Byggtjänst, 2015. *Schakta säkert*, Svensk Byggtjänst och SGI, ISBN 978-91-7333-737-3. Författare: Karin Lundström, Karin Odén och Wilhelm Rankka.

Svensk Byggtjänst, 2021. *Säker uppställning av tunga maskiner*. Svensk Byggtjänst och SBUF, ID: 13547. Författare: Wilhelm Rankka, Sven Liedberg, David Rudebeck och Björn Dehlbom.

Svensk Byggtjänst, 2023. *AMA Anläggning 23, RA Anläggning 23 och MER Anläggning 23*.

Sättningskartan (<https://sattningskartan.se/sv/>).

Trafikverket, 2016. *Publikation 2017-037 - Bestämningar av odränerad skjuvhållfasthet med specialiserade metoder i praktiska tillämpningar, Delrapport 3, Sammanställning av "Case Records"*. Trafikverket. Författare: Göran Sällfors och Rolf Larsson.

Trafikverket, 2017. *Publikation 2017:078 - Bestämningar av odränerad skjuvhållfasthet med specialiserade metoder i praktiska tillämpningar, Delrapport 4, Rekommendationer för val av odränerad skjuvhållfasthet*. Trafikverket. Författare: Göran Sällfors, Rolf Larsson och Per-Evert Bengtsson.

Trafikverket, 2025a. *TRVINFRA-00227 - Krav med rådstext - Bro och broliknande konstruktion, Bygande*. Version 6.0, Publiceringsdatum 2025-07-01.

Trafikverket, 2025b. *TRVINFRA-00230 - Krav med rådstext - Geokonstruktion, Dimensionering och utformning*. Version 3.0, Publiceringsdatum 2025-05-01.

Transportstyrelsen, 2018. *TSFS 2018:57 - Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av eurokoder*.