



Uppdragsnamn SFR Utbyggnad	Ärendenr	Uppdragsnr 23U0999
Författare (Namn) Maria Kaneteg	Sekretess C1 - Öppen	Filnamn 6-OJ-111-G-PM-0002
Revision	Status Informationshandling	Dokumenttyp Rapport
Granskad Ibrahim Al-Zubaidi	Godkänd av Ibrahim Al-Zubaidi	Datum 2025-09-26

PM Geoteknik Tillståndsprövning Piren

Revisionsförteckning

Rev	Beskrivning	Granskad	Godkänd



Innehåll

1	Objekt	3
2	Syfte.....	3
3	Underlag för undersökningen	3
3.1	Geotekniska undersökningar	3
3.2	Övriga underlag.....	3
4	Styrande dokument.....	4
4.1	Författningar	4
4.2	Styrande dokument, råd och anvisningar	4
5	Geoteknisk kategori och säkerhetsklass.....	4
5.1	Geoteknisk kategori	4
5.2	Säkerhetsklass	5
6	Planerade konstruktioner.....	5
7	Topografi-, mark- och geotekniska förhållanden	6
7.1	Topografi och ytbeskaffenhet.....	6
7.2	Geotekniska förhållanden	6
8	Materialegenskaper	6
8.1	Härledda egenskaper	6
8.2	Valda materialparametrar	6
8.3	Omräkningsfaktorer	7
9	Stabilitetsförhållanden	7
9.1	Förutsättningar	8
9.2	Resultat	8
10	Rekommendationer	9
10.1	Massutskiftning genom muddring och återfyllning.....	9
10.2	Massutskiftning genom nedpressning	10
10.3	Kompletterande undersökningar.....	11
11	Referenser	11

1 Objekt

Bjerking AB har på uppdrag av SKB utfört en geoteknisk undersökning på del av fastigheten Östhammar Forsmark 6:8 som underlag för kommande utbyggnader. Det undersökta området ligger i Forsmark, Östhammar.



Figur 1-1: Undersökt område ungefärligt markerat med streckad gränslinje. Forsmark kärnkraftverk sydväst i bild (Lantmäteriet 2025).

2 Syfte

Syftet med uppdraget har varit att utreda de geotekniska förutsättningarna för utfyllnad av befintlig pir.

3 Underlag för undersökningen

3.1 Geotekniska undersökningar

Resultaten från utförda undersökningar framgår av Markteknisk undersökningsrapport (MUR) Söderviken med filnamn 6-OJ-100-G-RA-0001, daterad 2025-09-26, upprättad av Bjerking AB.

3.2 Övriga underlag

Följande handlingar har utgjort underlag för undersökningen:

- Arbetsmaterial över planerad utfyllnad daterat 2025-05-08 och 2025-05-15 från Structor
- Situationsplan erhållen 2024-04-08

4 Styrande dokument

Denna rapport ansluter till SS-EN 1997 med tillhörande nationell bilaga enligt Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (Eurokoder), grundförfattningen BFS 2011:6 med senaste ändringsförfattningen för EKS BFS 2022:4.

4.1 Författningar

Tabell 4-1: Författningar.

Publikation	Publikationsnummer	Publicerad av
Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder)	BFS 2011:10	Boverket
Byggnads- och anläggningsarbete	AFS 1999:03	Arbetsmiljöverket
Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av eurokoder	TSFS 2018:57	Transportstyrelsen

4.2 Styrande dokument, råd och anvisningar

Tabell 4-2: Styrande dokument, råd och anvisningar.

Publikation	Publikationsnummer	Publicerad av
Geokonstruktion, Administrativa regler	TRVINFRA-00229	Trafikverket
Geokonstruktion, Dimensionering och utformning	TRVINFRA-00230	Trafikverket
Allmän material- och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten (AMA)	AMA Anläggning	Svensk Byggtjänst
Grundläggande dimensioneringsregler för bärverk	SS-EN 1990	Svensk Standard
Laster på bärverk	SS-EN 1991	Svensk Standard
Dimensionering av Geokonstruktioner	SS-EN 1997	Svensk Standard

5 Geoteknisk kategori och säkerhetsklass

Val av geoteknisk kategori och säkerhetsklass skall analyseras och väljas för respektive anläggningsdel och konstruktion.

5.1 Geoteknisk kategori

Geokonstruktioner ska utifrån geoteknisk komplexitet och risk klassificeras i geoteknisk kategori enligt SS-EN 1997-1.

Med hänsyn till följande förutsättningar skall schakt och stödkonstruktion utföras och kontrolleras enligt minst Geoteknisk Kategori 2 (GK2):

- Undergrunden är av sådan beskaffenhet att den kan beskrivas med egenskaper och metoder enligt svensk praxis.
- Grundvattensituationen kan analyseras och hanteras med allmänt vedertagna metoder.
- Allmän praktisk erfarenhet föreligger av geokonstruktionen. Dimensionering och utförande görs med allmänt vedertagna metoder.

5.2 Säkerhetsklass

Indelning av byggnadsverksdelar i säkerhetsklasser och säkerhetsindex ska göras i enlighet med "Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av Eurokoder" (TSFS 2018:57) Avdelning I, 2 kap.

Med hänsyn till omfattningen av de personskador som kan befaras vid brott i en byggnadsverksdel, skall samtliga byggnadsverksdelar i den nya geokonstruktionen hänföras till säkerhetsklass 2 (SK2) enligt följande förutsättningar:

- Byggnadsverket är så utformat och använt att personer vistas i, på, under eller invid det.
- Byggnadsverksdelen är av sådant slag att kollaps medför medelstor risk för personskador.

6 Planerade konstruktioner

För att erhålla ytterligare verksamhetsytor som behövs för det planerade Kärnbränsleförvaret och för utbyggnaden av Slutförvaret för kortlivat avfall (SFR) planeras utfyllnader vid befintlig pir. Utfyllnaden planeras att ske med sprängsten som uppstår av berguttaget för de underjordiska utrymmena.



Figur 6-1: Skiss – Planerad utfyllnad i gult med tillhörande strandbank i vitt.

7 Topografi-, mark- och geotekniska förhållanden

7.1 Topografi och ytbeskaffenhet

Området som har undersökts ligger i en havsvik i Öregrundsgrepen och kring undersökt område finns utfyllda landtungor.

Geoteknisk undersökning är utförd från vattenytan.

7.2 Geotekniska förhållanden

Sjöbotten består ytligt av grusig sand med växtdelar och jordmaterialet utgörs sedan av lera på friktionsjord på berg. Förekomsten av lerjord har främst påträffats i sonderingar utförda i områdets mellersta och västra delar.

Leran är varvig med inslag av sandkorn och siltskikt. I områdets östra delar, punkt QFR067 och QFR068, har även gyttig lera påträffats. Lerans skrymdensitet har testats i laboratorium och bedöms variera mellan ca 1,6 – 2,0 t/m³. Vattenkvoten i leran varierar mellan 26 - 80% och konflytgränsen mellan 23-67%, leran anses därför variera mellan lågplastisk och högplastisk. Leran bedöms tillhöra materialtyp 4B och tjälfarlighetsklass 3. Lerans skjuvhållfasthet har uppmätts till, korrigerad med hänsyn till konflytgräns, 2-10 kPa och benämns extremt låg till mycket låg.

Friktionsjorden utgörs av sandig lermorän och bedöms tillhöra materialtyp 5A och tjälfarlighetsklass 4. Lermoränens skrymdensitet är ca 2,0 t/m³. Lermoränens skjuvhållfasthet har uppmätts till 10-85 kPa och benämns mycket låg till hög. Utförda hejarsonderingar i lermoränen påvisar en friktionsvinkel som varierar mellan ca 33° - 42° och en elasticitetsmodul som varierar mellan 5 MPa – 80 MPa. Lermoränens relativa fasthet anses variera mellan mycket låg och mycket hög. Block förekommer i friktionsjorden vilket har registrerats i 1 av 6 jordberg-sonderingar.

Av 6 utförda JB-sonderingar tyder 1 sondering på att borrning i sprickigt berg har utförts.

8 Materialegenskaper

8.1 Härledda egenskaper

Friktionsvinkel för friktionsjorden har härletts från hejarsondering. Lerans och lermoränens odränerade skjuvhållfasthet har utvärderats genom CPT-sondering och vingförsök.

8.2 Valda materialparametrar

Materialegenskaperna har ansatts enligt härledda värden samt enligt Bilaga A i TRVINFRA-00230.

Tabell 8-1: Valda materialparametrar för beräkning.

Jordlager	Jordparameter	Valda värden
Ny fyllning packad enligt AMA, (ovan VY)	Tunghet, γ (γ')	18 kN/m ³ (8 kN/m ³)
	Odränerad skjuvhållfasthet, c_u	-
	Effektiv kohesion, c'_k	-
	Friktionsvinkel, ϕ	42°
	E-modul	50 MPa

Jordlager	Jordparameter	Valda värden
Ny fyllning (under VY)	Tunghet, γ (γ') Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Effektiv kohesion, c'_k Friktionsvinkel, ϕ E-modul	21 kN/m ³ (11 kN/m ³) - - 40° 20 MPa
Gyttig lera	Tunghet, γ (γ') Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Effektiv kohesion, c'_k Friktionsvinkel, ϕ E-modul	15 kN/m ³ (5 kN/m ³) 2-6 kPa 0,1*c _u 30° -
Lerig morän / Lermorän	Tunghet, γ (γ') Odränerad skjuvhållfasthet, c_u Effektiv kohesion, c'_k Friktionsvinkel, ϕ E-modul	20 kN/m ³ (10 kN/m ³) 6-70 kPa 0,1*c _u 30-33° 5-20 MPa

8.3 Omräkningsfaktorer

Bestämning av omräkningsfaktorer i tabell 8-2 har utförts i enlighet med kapitel 3.4.2 IEG rapport 6:2008.

För materialegenskaper valda enligt Bilaga A i TRVINFRA-00230 har omräkningsfaktorn 1,0 ansatts då egenskaperna inte är bestämda mot bakgrund av sondering eller provtagning.

Tabell 8-2. Omräkningsfaktor för lera och lermorän. Avser stabilitetsberäkningar.

Delfaktor	Förklaring	Intervall	Skjuvhållfasthet	Friktionsvinkel
$\eta_{(1,2)}$	Beror av antal oberoende undersökningspunkter och den aktuella materialegenskapens naturliga variation.	0,9–1,0	0,95	1,0
η_3	Beaktar osäkerheter i bestämningen av jordens egenskaper.	0,9–1,0	1,0	0,95
$\eta_{(4,5,6,7)}$	Beaktar omfattningen av en potentiell brottyta.	0,9–1,0	1,0	1,0
η_8	För dimensionering av banker och slänter.	1,0	1,0	1,0
η	$\eta = \eta_{(1,2)} \cdot \eta_3 \cdot \eta_{(4,5,6,7)} \cdot \eta_8$		0,95	0,95

9 Stabilitetsförhållanden

Stabilitetskontroll har utförts i tre sektioner, se figur 9-1. Utförd kontroll har utvärderats enligt partialkoefficientmetoden med dimensionerande värden varpå erforderlig säkerhetsfaktor uppgår till minst 1,00 både vid odränerad analys och kombinerad analys.



Figur 9-1: Beräkningssektioner i relation till strandbanken.

9.1 Förutsättningar

Geometrier för strandbank är uppritade enligt normalsektion 6-OJ-111-M-31-2-00-0001.

Beräkningar är utförda med lägsta vattenstånd, medelvattenstånd och högsta vattenstånd där vattennivåer (RH2000) kommer från SMHI webpdata (inom perioden 2015-08 till 2025-07).

- Lägsta vattenstånd -0,60
- Medelvattenstånd +0,10
- Högsta vattenstånd +1,10

9.2 Resultat

Tabell 9-1 redovisar erhållna säkerhetsfaktorer vid de olika analyserna.

Tabell 9-1: Resultat från stabilitetskontroll.

Sektion	Vattenstånd	Erhållen säkerhetsfaktor odränerad analys / kombinerad analys	
		Vänster slänt	Höger slänt
A-A	-0,60	1,34 / 1,33	0,82 / 0,81
	+0,10	1,41 / 1,43	0,80 / 0,81
	+1,10	1,43 / 1,44	0,82 / 0,82
B-B	-0,60	1,71 / 1,71	0,94 / 0,96
	+0,10	1,76 / 1,78	0,98 / 0,99
C-C	-0,60	2,07 / 1,97	1,44 / 1,43
	+0,10	2,12 / 2,06	1,43 / 1,43



Då erforderlig säkerhetsfaktor för sektion A-A och B-B inte uppnåddes för den högra slänten (bankens södra sida) utfördes analyser med en flackare släntlutning (1:3) för sektion A-A. Med ursprunglig släntlutning och utskiftning av det översta lerlagret höjdes säkerhetsfaktorn ytterligare.

10 Rekommendationer

Området är översiktligt undersökt och kompletterande geotekniska undersökningar rekommenderas. Följande rekommendationer är preliminära och bör verifieras med vidare undersökning under fortsatt projektering. Notera att utskiftning av material skall anpassas till den planerade verksamhetens behov och krav på planerade konstruktioner. Vid framtagande av bygghandlingar skall arbetsordningen för schakt- och uppfyllnadsarbeten beskrivas.

Innan etablering av en mobilkran, betongpumpbil eller andra tyngre arbetsfordon ska geotekniker kontaktas för att kontrollera att jorden har erforderlig bärförmåga.

För anläggande av planerad utfyllnad rekommenderas två alternativ för vidare analys och projektering.

10.1 Massutskiftning genom muddring och återfyllning

För att uppnå tillräcklig säkerhet mot skred erfordras muddring/utskiftning av den gyttjiga leran och de ytliga löst lagrade lagren av lermoränen då dessa anses förorsaka skred samt medföra sättningar vid lastökning. Återfyllning sker förslagsvis med sprängsten upp till VY för att sedan fyllas och packas enligt AMA.

Valet av muddringsutrustning anpassas till typ av sediment och det nödvändiga djupet för muddringen.

De olika materialslagen vid eventuell muddring har i detta skede bedömts vara:

- Mycket lösa ytsediment med visst organiskt innehåll
- Lösa finjordslager - havsvattenavsatta, finkorniga sediment av silt- och lerjord
- I övergången till moräner

Utöver övermuddring kommer materialet som muddras att svälla. Svällningen påverkas av jordmaterialets egenskaper, inklusive dess densitet och kornstorlek. Denna svällning uppskattas till ca 10 och 20 %.

I detta fall anses mekanisk grävuddring med enskopemudderverk utrustat med tät miljöskopa eller gripskopeverk vara den mest lämpliga metoden. Detta beror på att de lösa sedimentlagren är relativt tunna. Sugmuddring, som är mer mobilt än skopmudderverk, kan vara ett alternativ om muddring sker i närheten av pågående fartygstrafik.

Ett enskopemudderverk består av en grävmaskin monterad på en flytande ponton. Grävmaskinen ställs på en ponton med hydrauliskt förskjutbart stödben i syfte att förankra pontonen i botten. Muddringsprocessen sker etappvis, där materialet lastas i mudderpråmar med en kapacitet på 700 eller 940 m³. Ett allmänt överdjup på 0,2 meter bedöms vid muddring. Arbetsresultatet kontrolleras genom lodning och ramning av den färdiggrävda ytan. Den uppskattade kapaciteten är cirka 225 m³/h med ett muddringsdjup på upp till 20-25 meter.

Under muddringsarbeten och återfyllning av material i muddrade områden kan viss grumling och uppslamning av lösa sediment förekomma. För att förhindra spridning av detta slam kan en bubbelridå/siltgardin installeras vid behov utanför muddrings- och utfyllnadsområdet. Denna barriär hindrar eller begränsar spridningen av uppslammat material i sidled från muddringsområdet.

Nedan anges några fördelar respektive nackdelar med metoden massutskiftning genom muddring:

Fördelar

- **Hög kontroll över utförandet** – Utskiftning genom muddring ger bättre kontroll över schaktens geometri och kvalitet.
- **Lämplig för miljömässig kontroll** – Möjlighet att hantera och deponera förorenade eller känsliga jordar.
- **God verifierbarhet** – Stabilitet och sättningar kan kontrolleras genom beräkning, provning och mätning. Vid korrekt utförande kvarlämnas inga lösa jordarter kvar under planerad uppfyllnad.

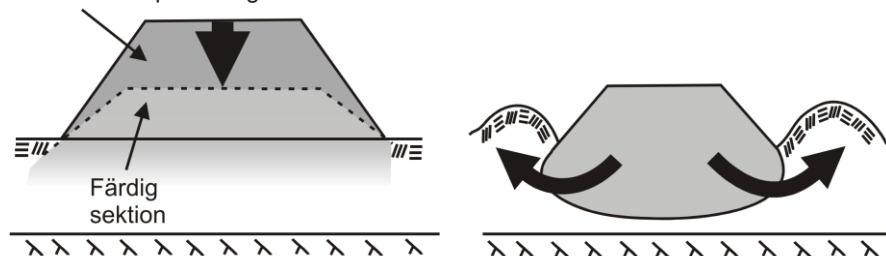
Nackdelar

1. **Logistik** – Muddermassor måste hanteras genom upplag alternativt deponi.
2. **Arbetsmoment** – Metoden består av flera arbetsmoment; Schakt, hantering av muddermassor, återfyllning.
3. **Omgivningspåverkan** – Risk för sättningar och skador på närliggande konstruktioner vid schaktning och återfyllning.

10.2 Massutskiftning genom nedpressning

Ett alternativt utförande av utfyllnad är att använda sig av massutskiftning genom nedpressning. Utfyllnad utförs genom överhöjning över den projekterade ytan där de befintliga lösa jordarna pressas undan succesivt genom kontrollerade skred och ersätts med fyllnadsmassor, se principskisser nedan.

Bank innan undanpressning



Figur 10-1. Principsektion undanpressning (Trafikverket, 2025)

För att underlätta undanpressningen kan förberedande arbeten utföras i form av förberedande schakt i arbetsriktningen.

Nedan anges några fördelar respektive nackdelar med metoden massutskiftning genom nedpressning:



Fördelar:

- **Mindre schaktarbete:** Undanpressning kräver inte omfattande urgrävning, vilket minskar behovet av borttransport av schaktmassor.
- **Snabbare utförande:** Metoden kan vara tidsbesparande, särskilt vid successiv undanpressning. Däremot finns en risk med kvarvarande sättningar som måste tas ut, se vidare under nackdelar.
- **Ekonomiskt fördelaktigt:** I vissa fall kan metoden vara billigare, särskilt där schaktning är tekniskt eller logistiskt svår.

Nackdelar:

- **Osäkerheter i resultat:** Det är svårt att exakt styra skredets utbredning och djup, vilket kan leda till kvarvarande kompressibla jordlager.
- **Risk för omgivningsskador:** Undanpressning kan orsaka hävning och sidoförskjutningar som påverkar närliggande byggnader, ledningar och marknivåer.
- **Lång liggtid:** Metoden kräver tid för att sättningar ska utbildas och stabilitet ska verifieras, vilket kan förlänga byggtiden. Detta kräver ett kontrollprogram för verifiering.
- **Begränsningar i djup:** Utskiftningsdjup över 15 meter bör undvikas, vilket begränsar användningen i vissa projekt.
- **Miljörisker:** Vid förekomst av sulfidjord kan undanpressning vara olämplig på grund av risk för förurning.

10.3 Kompletterande undersökningar

Nedan ges några förslag på kompletterande undersökningar som bör utföras vid fortsatt projektering:

- I tidigare utförda geotekniska undersökningar har endast den yttre vallen undersökts och analyserats. Vid fortsatt projektering bör övriga ytor undersökas för att få bättre kännedom i området samt att minimera de geotekniska riskerna.
- Underliggande lermorän bör analyseras vidare i syfte att klarlägga dess sättningsegenskaper vid påförande av planerad återfyllnad.
- Utförande av botten scanning i området
- I utförda undersökningar har ett avstånd mellan sonderingspunkterna ansatts till ca 100 m. Vid vidare projektering bör avståndet mellan undersökningspunkter minskas för att reducera de geotekniska riskerna i projektet.

11 Referenser

Trafikverket. (2025). TRVINFRA-00230. Borlänge: Trafikverket.