

Vedlegg 9: Geotekniske vurderinger, undersøkelser og prosjektering for

A) Utfyllingsgrunnen

B) Utfyllingsmassene

1 Innledning

Stabilitet i forbindelse med utfylling i sjø ivaretas gjennom geoteknisk prosjektering av det aktuelle tiltaket. I den sammenheng utføres det geotekniske vurderinger for både **grunnen** som utfyllingen plasseres på (utfyllings**grunnen**) og for **massene** som benyttes til utfyllingen (utfyllings**massene**).

Prosjekteringen utføres av fagpersoner, og av foretak med tilstrekkelig ansvarsrett for kompleksiteten i problemstillingen.

Utfyllingsmassene: Prosjektering av utfylling i sjø vil i mange tilfeller måtte tilpasses brukbare, tilgjengelige overskuddsmasser.

2 Lowerk knyttet til geoteknisk prosjektering

Selve prosjekteringen av en utfylling i sjø vil følge Eurokode 0 [1] for prosjektering av konstruksjoner og Eurokode 7 [2] for geoteknisk prosjektering. Prosjekteringen er underlagt krav i plan- og bygningsloven (pbl) [3]. Utfyllingsprosjekter må derfor søke tillatelse i den aktuelle kommunen.

2.1 Håndbøker og veinormal

Relevant veiledning for både prosjektering og utførelse av utfylling i sjø finnes i Statens vegvesen håndbøker V220 [4] og V221 [5].

For utfylling ifm. veiprojekter er vegnormal N200 [6] helt spesifikk: «Ved utfylling i sjø med skrånende sjøbunn, stor fyllingshøyde eller utfylling ved massefortrengning skal denne delen av prosjektet plasseres i geoteknisk kategori 3. Prosjektene kan nedklassifiseres til geoteknisk kategori 2 dersom det er spesielt gunstige forhold.»

2.2 Plan- og bygningsloven (pbl), tiltaksklasser etter SAK10

For byggesaksbehandlingen fastsettes det tiltaksklasser for de ulike oppgavene som skal utføres. Dette følger av byggesaksforskriften (SAK10) [7].

Søknad om utfylling i sjø bør inkludere beskrivelse av prosjektets byggetekniske kompleksitet for å plassere prosjektet i geoteknisk kategori, pålitelighets- og konsekvensklasse. En høyere klassifisering (fra tiltaksklasse 1 til 3) av tiltaket beskriver økende kompleksitet og vanskelighetsgrad. Dette medfører et økende krav til kompetanse for foretakene som er involvert i prosjektene, samt økende kontrollregime (uavhengig kontroll utført av annet foretak).

2.3 Eurokode, konsekvensklasse, pålitelighetsklasse og geoteknisk kategori

Eurokode 0 stiller krav til prosjektering ut fra tre ulike konsekvensklasser (fra 1 til 3), mens Eurokode 7 stiller krav til geotekniske kategorier (fra 1 til 3). Både konsekvensklasse og geoteknisk kategori settes ut fra prosjektets kompleksitet og konsekvenser ved uønskede hendelser.

Krav til uavhengig kontroll av både prosjektering og utførelse av fyllingsarbeider utføres i henhold til konsekvensklasse, dvs. høyere konsekvensklasse vil kreve mer omfattende og mer detaljert kontroll.

Utfylling i sjø nevnes spesifikt som et eksempel på konstruksjoner som er i samsvar med geoteknikk kategori 2 under forutsetning av at det ikke foreligger «unormale risikoer» eller «vanskelige grunnforhold». For utfyllinger «der det er sannsynlig at grunnen er ustabil» kreves klassifisering som geoteknikk kategori 3, altså høyeste kategori. Omfang av geotekniske grunnundersøkelser og detaljeringsgrad av geoteknikk prosjektering skal tilpasses deretter.

2.4 Miljøhensyn

Det vil være hensiktsmessig å kontrollere at miljøhensyn er ivaretatt når tiltaket plasseres i tiltaksklasse etter pbl og konsekvensklasse etter Eurokode 7 i forbindelse med geoteknikk prosjektering. Dette gjelder spesielt risikoen knyttet til en mulig utglidning og dermed fare for spredning av potensielt forurenset materiale. Tiltaksklasse og konsekvensklasse vil være avgjørende for omfang og detaljeringsgrad av både prosjektering og uavhengig kontroll.

Miljøhensyn kan medføre at det aktuelle tiltaket bør plasseres i en høyere tiltaksklasse enn rene geotekniske utfordringer tilsier.

I forbindelse med søknadsprosessen for tillatelse til utfylling i sjø bør også mulige miljøkonsekvenser og valg av konsekvensklasse vurderes iht. forurensingsloven. Dette for å sikre riktig omfang og detaljeringsgrad for både prosjektering og utførelse av utfyllingen.

3 Stabilitet i utfyllingsgrunnen

En utfylling vil kunne medføre stor belastning på sjøbunnen. Hensikten med å undersøke de geotekniske forholdene i utfyllingsgrunnen, er å kunne gi en overordnet beskrivelse av det som kan påvirke stabiliteten. Hvis sjøbunnen består av ustabile løsmasser eller mekanisk svake masser, kan det være fare for grunnbrudd eller undersjøisk utglidning. Ustabile grunnforhold kan også medføre en risiko for utglidning av arealer på land.

3.1 Nødvendige undersøkelser

Innledningsvis bør eventuelle resultater fra tidligere geotekniske grunnundersøkelser vurderes for å få en første oversikt over det aktuelle området. For å sjekke om det foreligger tidligere utførte grunnundersøkelser fra utfyllingsområdet anbefales det å sjekke NGU sin kartdatabase over grunnundersøkelser [NADAG](#) [8]. NGUs [InSAR-kart](#) [9] kan benyttes for å undersøke om det finnes registreringer som viser historisk setningsutvikling for utfyllingsområdet. Denne type offentlig tilgjengelig informasjon kan gi en indikasjon på behov for, og nødvendig omfang av geotekniske undersøkelser for et utfyllingsområde.

NGF-melding nr. 2 [10] gir en utfyllende oversikt over metoder og verktøy for geotekniske grunnundersøkelser¹. Geotekniske grunnundersøkelser vil inkludere kartlegging av sjøbunnsstopografi ved batymetri (geomorfologi), dybde til bergoverflaten samt type og beskaffenhet av stedlige løsmasser.

Spesielt i strandsonen i bukter og viker er bunnsedimenter ofte finkornige og bløte, samt at de kan ha høyt innhold av organisk materiale. Det er derfor viktig å kartlegge og dokumentere løsmassenes mektighet og skjærfasthet (evne til å motstå brudd) ved hjelp av geotekniske undersøkelser. Omfang og type undersøkelser må være egnet til å definere nødvendig grunnlag for geoteknikk prosjektering av utfyllingen og mulige avbøtende tiltak som hindrer undersjøisk utglidning av masser.

¹ Grunnundersøkelser - fysiske undersøkelser av grunnen for identifisering, klassifisering og karakterisering av jord til ingeniørformål.

Geotekniske undersøkelser av utfyllingsgrunnen kan inkludere kartlegging av:

- *Terrenghelning og sjøbunnsstopografi* ved batymetri av sjøbunnen.
 - Sjøbunnsbatymetri kan kartlegges med geofysiske undersøkelser (ekkolodd) for å dekke hele området innledningsvis i undersøkelsen, eller punktvis ved hjelp av enkeltsonderinger (typisk totalsonderinger).
- *Løsmassemektighet over berg* ved dybde fra sjøbunnsverflaten til underliggende bergoverflate.
 - Dybde til berg kan kartlegges med geofysiske undersøkelser (refraksjonsseismikk eller resistivitetmålinger) for å dekke hele området innledningsvis i undersøkelsen, eller punktvis ved hjelp av enkeltsonderinger (typisk totalsonderinger).
- *Geotekniske materialegenskaper, type og oppbygging av løsmasser* ved lagdeling og karakterisering av sedimentene.
 - Totalsonderinger indikerer lagdelinger og kan brukes til en kvalitativ vurdering av massene, konkret om det foreligger faste eller bløte masser, og avdekker mulighet for opptreden av kvikkleire eller sprøbruddmateriale.
 - Trykksonderinger (CPTu) viser lagdeling i løsmasser. Geoteknisk tolkning av sonderingsresultatene gir et kvantitativt estimat for løsmassenes egenskaper, som f.eks. skjærstyrke, basert på empiriske korrelasjoner.
 - Måling av poretrykk bør utføres ved trykksonderinger.
 - Prøvetaking ved prøvesylinder.
 - Det bør tas prøver og utføres geotekniske laboratorieforsøk fra hvert lag for beskrivelse av sedimentene.
 - Laboratorieforsøk bør omfatte klassifisering (kornfordeling, organisk innhold, plastisitet og korndensitet), ødometerforsøk (stivhet, permeabilitet, stedlig belastningshistorikk ved faste masser) samt treaksialforsøk (skjærstyrke). Laboratorieresultater brukes også til å kalibrere tolkning av trykksonderinger for stedlige forhold.

3.2 Dokumentasjon

Alle planlagt og utførte grunnundersøkelser for det aktuelle prosjektet fremstilles i en borplan. Borplanen viser plassering og type geotekniske grunnundersøkelser og er dokumentasjon på at hele utfyllingsområdet er undersøkt. Dette omfatter utviklingsområdet samt områder for mulige utglidninger.

Borplanen gir informasjon om blant annet:

- Sjøbunnskote/eksisterende terreng.
- Dybde til/kote for bergoverflate.
- Løsmassemektighet.
- Innboring i berg (dersom utført).
- Lokale grunnforhold² med lagdeling for stedlige masser.

Basert på geotekniske undersøkelser utarbeides det plantegninger og snitt. Disse bør gi god oversikt over potensielt kritiske forhold, som f.eks. bløte lag med lav styrke som bør vurderes nærmere ifm. geoteknisk prosjektering av utfyllingens stabilitet.

² Grunnforhold - geoteknisk beskrivelse av stedlige masser i utfyllingsområdet. Beskriver løsmassemektighet og type løsmasser, samt deres oppbygging og lagdeling.

Plantegninger og snitt bør blant annet vise:

- Tolkede grunnforhold i form av lagdeling og karakterisering av sedimentene.
- Prosjekterte løsninger og mulige avbøtende tiltak.

3.3 Mulige avbøtende tiltak

Avbøtende tiltak for å ivareta stabiliteten i utfyllingsgrunnen kan være:

- Stabilisering av bløte leirmasser, slik at de kan tåle belastningen fra utfyllingsmassene. Dette kan for eksempel gjøres ved å injisere et sementbasert bindemiddel i leirmassene (såkalt stabilisering og solidifisering (STSO)).
- Mudring av bløte masser for å etablere fast grunn.
- Tiltak som forhindrer at finstoff presses opp i fyllingen og dermed medfører en ustabilitet i utfyllingsgrunnen.
- Tiltak som forhindrer at finstoff som kan inneholde forurensning presses opp i fyllingen og dermed legge seg oppå fyllmassene og spres.
- Tiltak som f.eks. vertikaldren som hindrer utfyllingsmassene å synke ned i stedlige sedimenter.
- Motfylling (en fyllingsfot på utsiden av utfyllingsområdet) eller spunt som hindrer undersjøisk utglidning av masser.
- Instrumentering og overvåkning av poretrykk i sjøbunnen og i fyllingen, inkl. grenser for når ytterligere tiltak bør settes inn.

4 Stabilitet i utfyllingsmassene

De geotekniske undersøkelsene av utfyllingsmassene, skal gi informasjon om at massene tilfredsstillende krav til stabilitet, samt dokumentere kvaliteten på massene. Kravene til massene vil avhenge av type utfylling og om det skal etableres vei/bygg på toppen av fyllingen eller ikke.

Geoteknisk prosjektering bør beskrive særskilte krav til utførelse av utfyllingsarbeider, som f.eks. graveplaner for mudring eller planer for trinnvis etablering av utfyllingen, spesielt dersom slike krav stilles til utførelse for å ivareta utfyllingens stabilitet.

4.1 Nødvendige undersøkelser

Geotekniske vurderinger skjer i samsvar med pbl [3], byggesaksforskriften (SAK10) [7], Eurokode 0 [11] og Eurokode 7 [2]. Der utfyllingsområdet skal benyttes til vei- eller jernbaneprosjekter vil hhv. Statens vegvesens vegnormaler [12] og Bane NORs tekniske regelverk [13] være styrende.

Eurokode 7 avsnitt 5.3.2, pkt.3 oppgir kriterier for å angi om materialet er egnet til bruk som utfyllingsmasser. Følgende kriterier bør vurderes:

- Kornstørrelsesfordeling.
- Motstand mot knusing.
- Komprimerbarhet.
- Permeabilitet.
- Plastisitet.
- Organisk innhold.
- Kjemisk aggressivitet.
- Virkning av forurensninger.

- Oppløselighet.
- Tendens til volumendringer (svellende leirer og kollapsible materialer).
- Lav temperatur og fare for tele.
- Motstand mot forvitring.
- Virkning av utgraving, transport og utlegging.
- Mulighet for sementering etter utlegging (f.eks. masovnslegg).

4.2 Dokumentasjon

For å dokumentere geotekniske vurderinger knyttet til utfyllingsmassene, utarbeides det plantegninger og snitt. Disse skal vise at prosjektering kan anses som tilstrekkelig for risikobildet knyttet til mulige miljøkonsekvenser for utfyllingen:

- Tverrsnitt gjennom utfyllingen som viser oppbygging av utfyllingen.
- Beregningssnitt for stabilitet som viser utstrekning av mulig utglidning (glideflate).
- Oversiktskart som viser planlagt utfylling inkludert ev. avbøtende tiltak for utfyllingens stabilitet (f.eks. motfyllinger).

4.3 Mulige avbøtende tiltak

Dersom det skulle oppstå utglidning i utfyllingsgrunnen, kan en mulig risiko fra utfyllingsmassene være ukontrollert partikkelspredning, som kan ha stor miljøkonsekvens.

Geoteknisk prosjektering kan konkludere at det ikke er behov for avbøtende geotekniske tiltak for enkle utfyllinger. Der prosjekteringen viser at det er behov for avbøtende tiltak kan de omfatte:

- God kontroll og dokumentasjon på massene som skal brukes til utfylling.
 - Inkluderer eksempelvis finstoffinnhold og kornfordeling.
 - Dette inkluderer også utfyllingsmassenes motstand mot nedknusning, dvs. deres mekaniske egenskaper.
- Plan- og rekkefølgebestemmelser for utlegging av massene, her under
 - Lagtykkelser.
 - Utfyllingshastigheter, f.eks. ved bruk av rør eller bigpack for å oppnå innkapsling av forurensede sedimenter.
 - Komprimeringskrav.
- Tiltak som f.eks. vertikaldren som hindrer utfyllingsmassene å synke ned i stedlige sedimenter.
- Motfylling (en fyllingsfot på utsiden av den planlagte fyllingen) eller spunt som hindrer undersjøisk utglidning av masser.
- Instrumentering og overvåkning av setningsutvikling i fyllingen, inkl. grenser for når ytterligere tiltak bør settes inn.

5 Et eksempel: TBM-masser

Steinmasser fra TBM-drevne tunneler er eksempel på en utfyllingsmasse med høyt innhold av finstoff. Slike masser fremstår oftest som forholdsvis ensgradert samtidig som steinen gjerne har en nåleformet/flislig, stenglig fasong («chip» eller kaks) sammenlignet med sprengstein. SVV håndbok V221 fraråder bruk av slike steinmasser i veifyllinger.

TBM-kaks kan likevel være egnet for andre typer utfyllinger enn til rene veiformål [14]. Tilsvarende vil andre finkornete typer utfyllingsmasser, som kan være aktuelle f.eks. ved utfylling i strandkanten, kreve en nøye

vurdering av stabilitet i utfyllingen. Geoteknisk prosjektering vil i slike tilfeller definere tiltak som f.eks. motfylling for å ivareta påkrevd stabilitet i utfyllingen.

6 Referanser

- [1] Standard Norge, «NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.,» 2016.
- [2] Standard Norge, «NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2020 Eurokode 7 Geoteknisk prosjektering. Del 1: Allmenne regler,» 2020.
- [3] Kommunal- og distriktsdepartementet, Lovdata, «Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven),» 2009/2023. [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71>. [Funnet 01 2024].
- [4] Statens vegvesen, «N-V220 Geoteknikk i vegbygging,» 2023.
- [5] Statens vegvesen, «Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger - Håndbok V221,» 2021/2014.
- [6] Statens vegvesen, «N200 Vegbygging,» 2022.
- [7] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggesaksforskriften (SAK10) med veiledning,» Direktoratet for byggkvalitet, [Internett]. Available: <https://www.dibk.no/regelverk/sak>. [Funnet 12 2023].
- [8] Norges Geologiske Undersøkelser (NGU), «NADAG - Nasjonal database for grunnundersøkelser Geotekniske undersøkelser,» [Internett]. [Funnet 06 2024].
- [9] Norges Geologiske Undersøkelser (NGU), «InSAR,» [Internett]. [Funnet 06 2024].
- [10] Norsk Geoteknisk Forening, «NGF-melding nr. 2 – Veiledning for symboler og definisjoner i geoteknikk,» 2011.
- [11] Standard Norge, «NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner.,» 2016.
- [12] Statens vegvesen, «Vegnormalene,» [Internett]. Available: <https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/vegnormalene/>. [Funnet 02 2024].
- [13] Bane NOR, «Teknisk regelverk,» [Internett]. Available: <https://trv.banenor.no/wiki/Forside>. [Funnet 12 2023].
- [14] B. E. D. M. o. E. Langford, «TBM-kaks - karakterisering og potensiale for nyttiggjøring, på land og i sjø,» *Fjellsprengningsteknikk, Bergmekanikk/Geoteknikk*, pp. 6.1 - 6.21, 2020.