

OPPEGÅRD KOMMUNE

KOLBOTN VA

SPUNTBREGNING, GEOTEKNISK NOTAT

ADRESSE COWI AS
Karvesvingen 2
Postboks 6412 Etterstad
0605 Oslo
TLF +47 02694
WWW cowi.no

OPPDRAGSNR.	DOKUMENTNR.				
A099077	NOT-RIG-021				
VERSJON	UTGIVELSES DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET	KONTROLLERT	GODKJENT
00	07.02.2018	Dimensjonering spunt	BALI	ASBJ	ASBJ

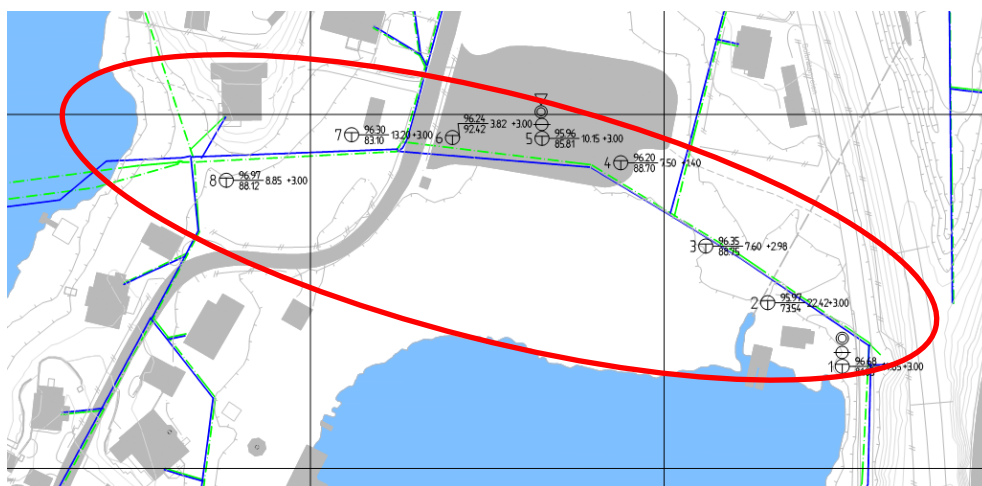
INNHOOLD

1	Innledning	2
2	Grunnlagsmateriale	3
3	Beskrivelse av topografi og grunnforhold	3
3.1	Jordparametere opprinnelig løsmasser	3
4	Stabilitetsvurdering langs Solbråtanveien	5
5	Utførelse av prosjekt	8
5.1	Laster	8
5.2	Resultater i Geosuite (spunting ned til berg)	8
5.3	Resultater i PLAXIS 2D (dybde til berg >13 m)	11
6	Oppsummeringstabell	15
7	Tegning- og vedleggsliste	15

1 Innledning

COWI AS er engasjert av Oppedgård kommune som geoteknisk rådgiver (RIG) i forbindelse med prosjektering av ny hovedavløpsledning gjennom Kolbotn sentrum.

Dette notatet omhandler støttetiltak og beregninger av spunt i forbindelse med etablering av VA-grøft. Strekningen som er vurdert i dette notat er vist med rød markering i Figur 1.



Figur 1: Prosjektert VA-trasé er vist med blå og grønn linje.

Plan- og snittegninger av de planlagte VA-ledningene er vist på tegning nr. H111.

2 Grunnlagsmateriale

For detaljert beskrivelse av grunnforholdene og prosjekteringsforutsetninger henvises det til:

- > Geoteknisk datarapport utført av COWI AS rapport nr. A104117-RAP-RIG-01, datert 20.12.2017
- > Oppsummering grunnundersøkelser samt innledende geotekniske vurderinger utført av COWI AS notat nr. A099077-NOT-RIG-020_ver3.0, datert 07.02.2018

3 Beskrivelse av topografi og grunnforhold

Grunnforholdene er vurdert på bakgrunn av geoteknisk datarapport utarbeidet av COWI AS rapport nr. A104117-RAP-RIG-01 datert 20.12.2017.

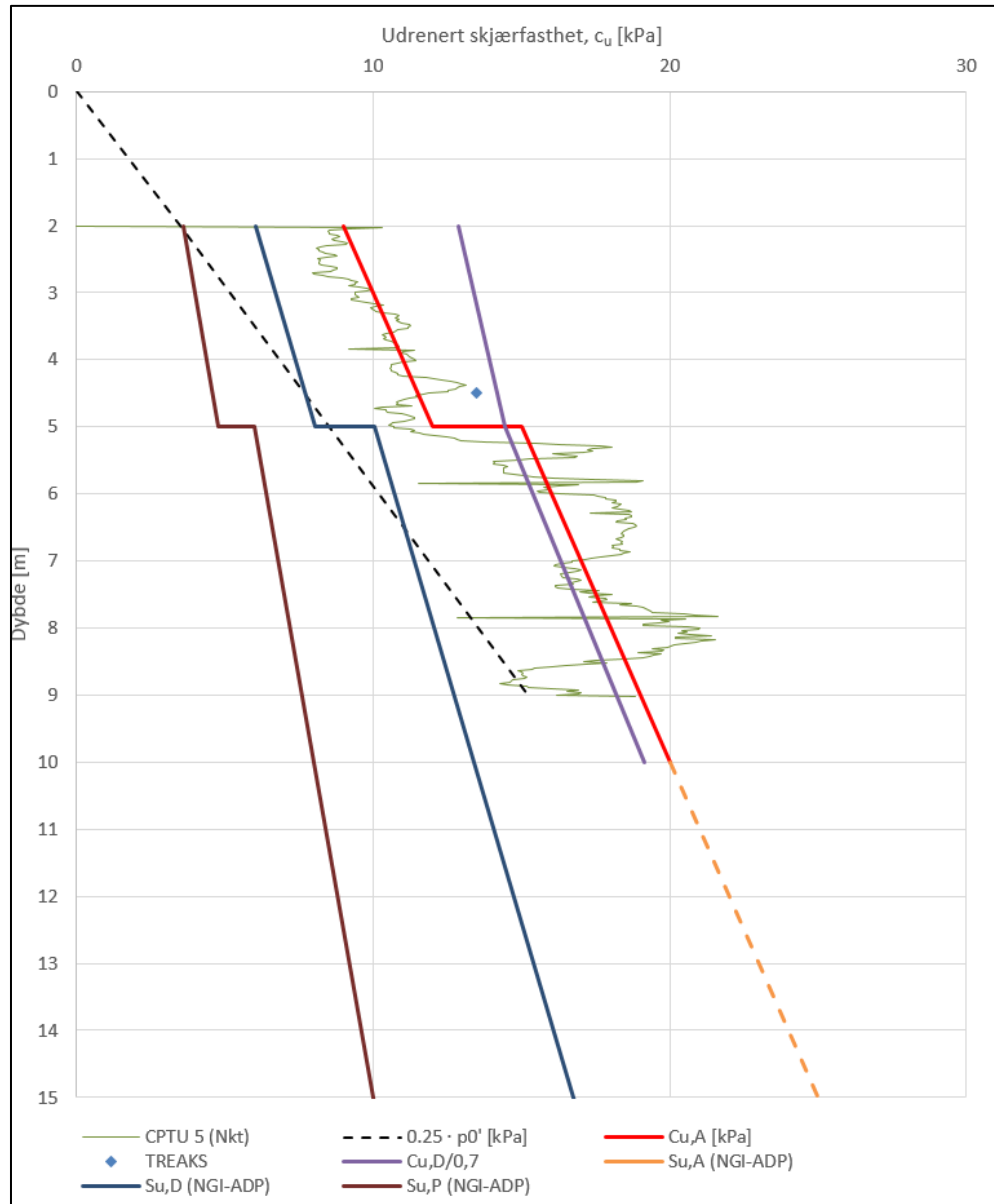
Grunnforholdene er oppsummert og beskrevet med hensyn til profilinndeling i notat nr. A099077-NOT-RIG-020_ver3.0 datert 07.02.2018. I VA-grøftens beliggenhet Østli for Vestlibukta er det utført grunnundersøkelser ved 8 punkter (se datarapport).

Samtlige boringer er innboret i berg. Prøveserie tatt ved hull 1 viser på grusig og sandig leire i toppen ned til ca. 4 m dybde. 4 til 6 m under terreng er der leirig dy. 6 – 10 m under terreng er der humusholdig leire med organiske rester og grus. Totalsonderingsdiagram for dette borehull viser at leiren strekker seg ned til ca. 13,5 m dybde der det overgår i et hardt lag over berg som er registrert på 15 m dybde under terreng som tilsvarer kote +81,8. Prøveserie tatt ved hull 5 viser på matjord i toppen ned til 2 m dybde under terreng. Under matjorden er der bløt til meget bløt leire ned til avsluttet prøvetaking på 9 m dybde. I følge totalsonderingsdiagrammet for dette borehull er det leire ned til truffet fjell på ca. 10 m dybde under terreng, tilsvarende ca. kote +85,8.

Grunnvannstanden er målt ved borepunkt 1 ned til ca. 1,4 m dybde under terreng som tilsvarer kote +95,3. Ved borehull 5 ble det installert 2 elektriske poretrykksmålere med spissdybder 4 og 8 m under terreng. Poretrykksmåler ved 8 meters dybde indikerer et poreovertrykk på ca. 1 m tilsvarende ca. 10 kPa.

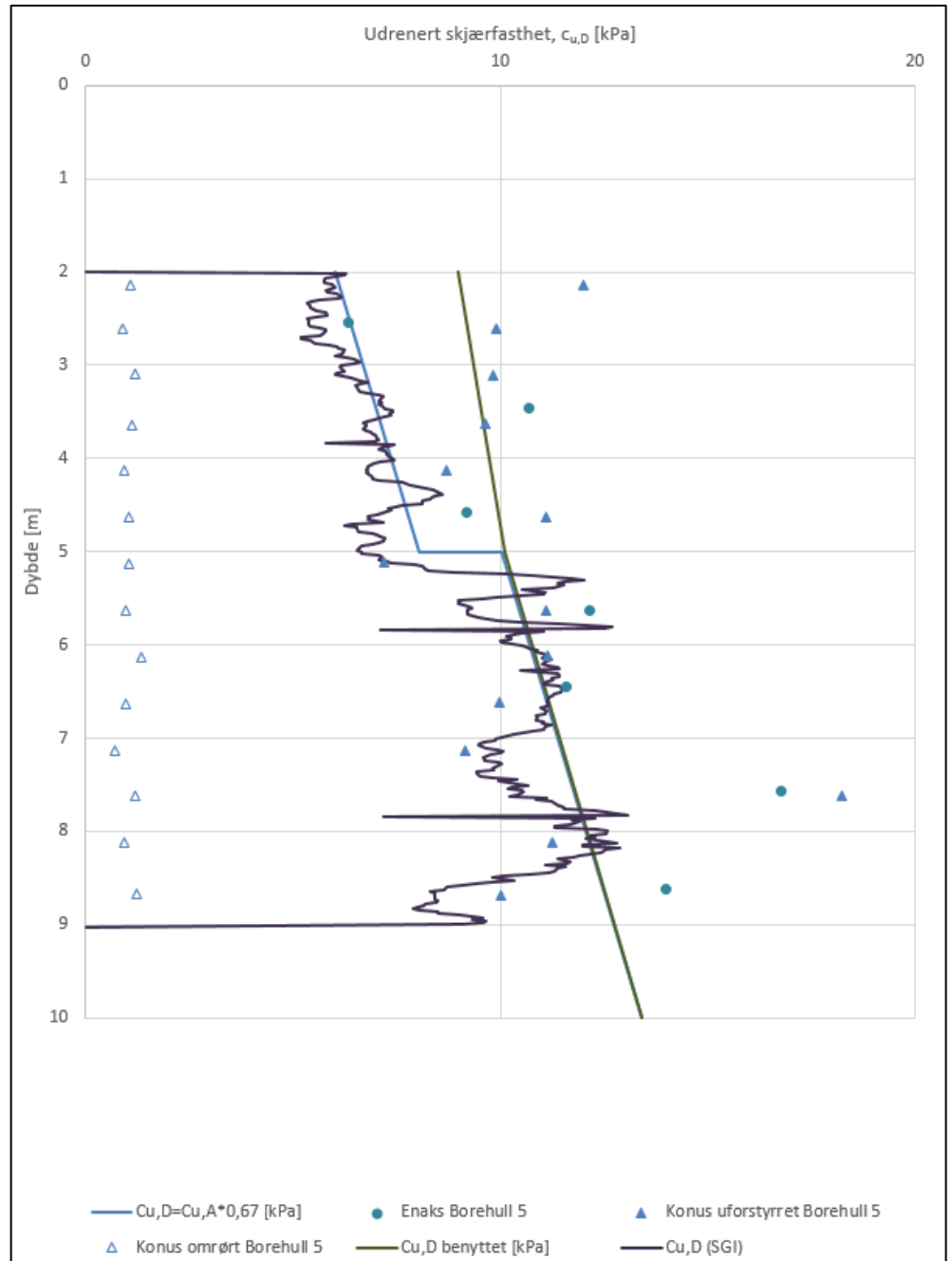
3.1 Jordparametere opprinnelig løsmasser

Jordparametere for stabilitet- og spuntberegningene er bestemt ut fra de foretatte grunnundersøkelsene i forbindelse med den planlagte VA-traséen samt laboratorieundersøkelser. For øvrig er CPTU utført ved borehull 5 og benyttet for parametervalg. Hovedfokus i CPTU-tolkning er lagt på skjærfasthetsprofil.



Figur 2: Benyttete skjærfasthetsprofiler.

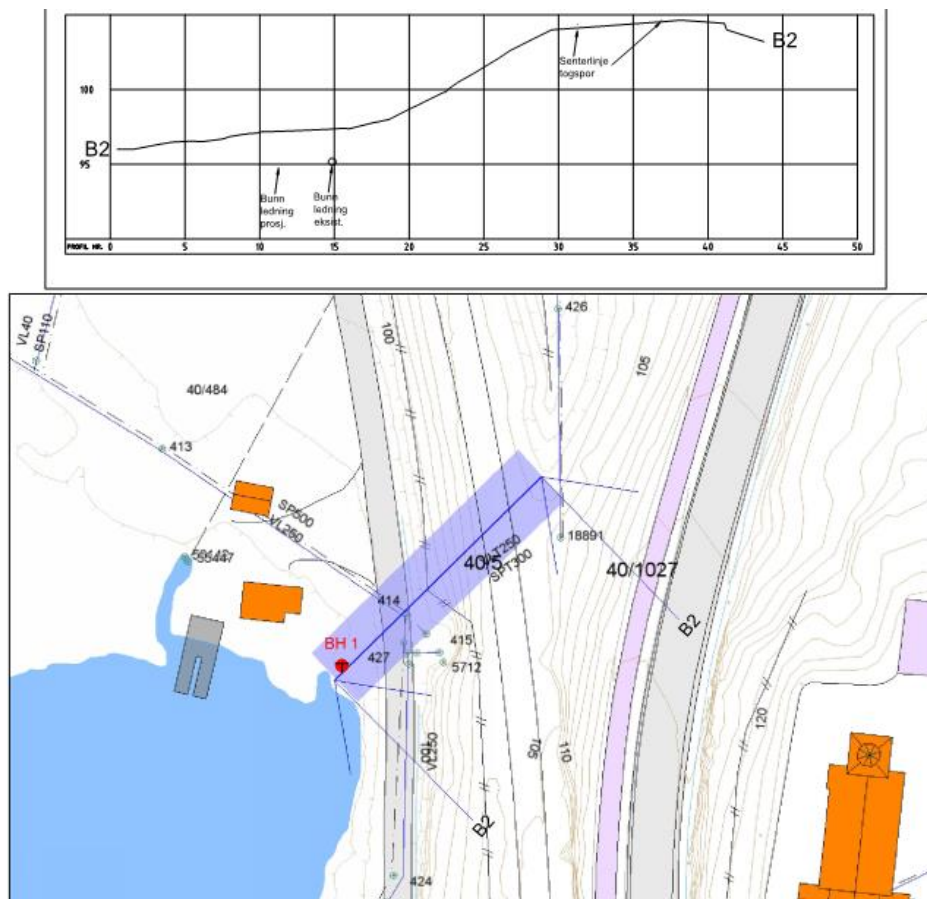
For beregninger i Geosuite Excavation er det benyttet $C_{u,A}$ bak spunten og $C_{u,P} = 0,4 \cdot C_{u,A}$ foran spunten, se Figur 2. For beregninger i PLAXIS 2D er $S_{u,A}$ (NGI – ADP), $S_{u,D}$ (NGI – ADP) og $S_{u,P}$ (NGI – ADP) benyttet.



Figur 3: Korrelasjon mellom rutineforsøk, CPTU og skjærfasthetsprofil.

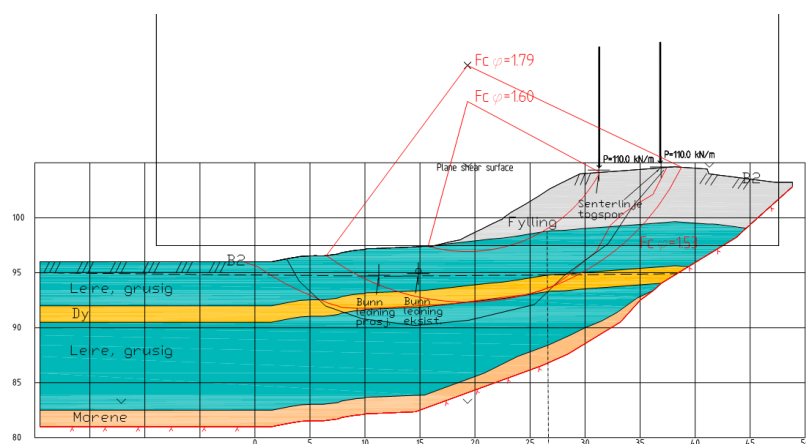
4 Stabilitetsvurdering langs Solbråtanveien

Profil 100-125 krysses av Solbråtanveien. Langs Solbråtanveien går det en jernbanelinje som er antatt å være fundamentert på fyllmasser over leirig forekomst. På østsiden av jernbanelinjen er det synlig fjell i dagen, mens ved utsiden er det registret berg til ca. 15 meter under terreng ved borehull 1. Det er derfor antatt at det befinner seg løsmasser under fyllmassene. Tykkelsen på fyllmassene er antatt til 5 m. Her er det utført stabilitetsberginger for snitt B2, se Figur 4.

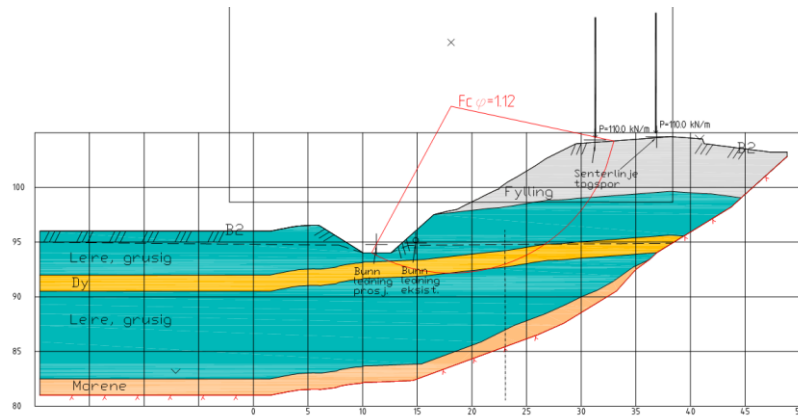


Figur 4: Lengdeprofil B2-B2.

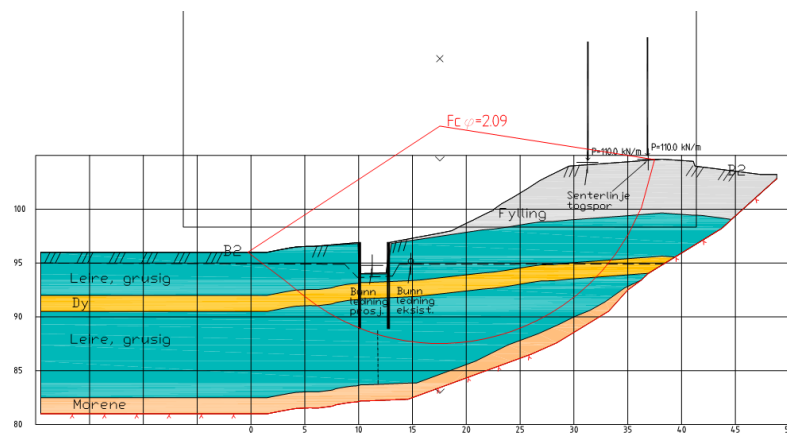
VA-traséen skal gå vinkelrett mot jernbanelinjen fra borehull 1, se Figur 1. Ved stabilitetsberegningene er traséen tegnet i den samme retningen som jernbanelinjen og kan derfor ses som konservativt beregnet. Derfor legges ingen vekt ved beregnede sikkerhetsfaktorer, men figurene nedover illustrerer at sikkerheten øker med spunt i sammenligning med fri graving. Stabiliteten er beregnet for dagens situasjon, utgraving for VA-trasé uten støttetiltak, og utgraving med støttetiltak dvs. spunt.



Figur 5: Stabilitet ved dagens situasjon.



Figur 6: Stabilitet ved fri utgravning ned til 3 m.



Figur 7: Stabilitet ved spunting ned til 8 m.

Tabell 1: Sikkerhet ved effektivspenningsanalyse.

Situasjon	Sikkerhetsfaktor $F_{c\phi}$
Dagens situasjon	1,60
Utgravning 3 m uten støttetiltak	1,12
Utgravning med spunt	2,09

Som vi ser ut i fra tabell 1 er sikkerheten for jernbanelinjen ikke tilstrekkelig ved fri utgravning. Ved anvendelse av spunt vil det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot utglidning for jernbanen iht. Bane Nors sine krav og forskrifter, se Figur 2 i avsnitt 2.8 i Innledende vurderingsnotat A099077-NOT-RIG-020_ver3.0.

5 Utførelse av prosjekt

Dybden under terreng for nye ledninger varierer mellom ca. 2,0 m og 3,8 m. Ledningene skal plasseres på et fundament med tykkelse på ca. 0,4 m. Utgravingsdybde skal derfor ligge mellom 2,4 m og 4,2 m under eksisterende terreng.

Dybde til berg varierer mellom ca. 22,4 m og 3,8 m. For spuntberegninger hvor dybden til berg overstiger 13 m er programmet PLAXIS 2D blitt bruk, mens programmet Geosuite Excavation (GS) er blitt brukt for dimensjonering av spunt hvor dybden til berg er antatt mellom 3,8 m og 13,2 m fra utførte boringer. Vi mener at PLAXIS er en bedre programvare ved analyse av dype utgravninger fordi programvaren er basert på finitta element metoden. Det er i tillegg mulig at modellere begge spuntveggene i sin helhet. For beregningene i GS-excavation er spunten blitt forankret i berg med fotbolt i alle beregninger.

5.1 Laster

Det er regnet med en generell dimensjonerende terrenglast bak spunten lik 20 kPa.

5.2 Resultater i Geosuite (spunting ned til berg)

Ved beregninger med dybde til berg på 3,8 m respektive 7,6 m er det blitt brukt en avstivningsnivå i samme nivå som terrenget etter utgraving ned til 0,5 m. For det andre beregningene er avstivningsnivå satt 0,5 m under terreng etter utgraving ned til 1 m.

Senteravstand for avstivere er satt til 3 m for alle beregninger.

Det er antatt en grunnvannstand i samme nivå som terrenget i alle beregninger.

Tabell 2: Dimensjonerende krefter og moment, samt anbefalte spunttyper.

Dybde til berg [m]	Gravedybde [m]	F _{d,bruk} stivere (c/c 3,0m) [kN]	F _{d,brudd} stivere (c/c 3,0m) [kN]	F _{d,ulykke} stivere (c/c 3,0m) [kN]	Maks. moment [kNm/m]	Maks. skjærkraft fotbolt [kN/m]	Foreslått spunttype (stålkvalitet S355)
3,8	2,4	109,1	124,5	163,7	53	61	AZ 12-770
	3,8	122,9	136,2	184,4	61	84	AZ 12-770
7,6	2,4	228,5	283,7	342,8	228,5	95	AZ 12-770
	4,2	357,7	417,7	536,6	359	192	AZ 12-770
10,2	2,4	269,6	396,2	404,4	280	93	AZ 12-770
	4,2	522,9	644,6	784,4	589	230	AZ 20-700
13,2	2,4	271,5	467,6	407,3	399	94	AZ 13-700
	4,2	672,4	864,3	1008,6	962	278	AZ 36-700N

5.2.1 Dimensjonering puter

Stiverne monteres mot installerte puter mot spunten.

Dimensjonering av puter i bruddgrensetilstand:

Momentkapasiteten til putene regnes ut fra en antagelse om en jevnt fordelt last på kontinuerlige puter uten vipping. Det benyttes en formfaktor $K_{form} = 1,2$ for å ta høyde for unøyaktigheter i plassering samt det faktum at man ikke har en jevnt fordelt last, men lastoverføring mot flere oppleggspunkter på spunten.

$$M_{d,brudd} = K_{form} * \frac{q * l^2}{12}$$

l = senteravstand mellom avstivere

q = last i avstivernes retning

Kravet ved dimensjonering av puter at installert momentkapasitet skal være større enn dimensjonerende moment ved brudd.

$$W_{x,brudd} > \frac{M_{d,brudd}}{f_d}$$

Puter i ulykkestilstand:

Det skal kontrolleres ulykkestilstand for puter ved knekking av stiver (stiverbortfall). Materialfaktor for stål ved ulykke settes lik $\gamma_{\text{stål}} = 1,0$. Det antas ingen reduksjon av jordtrykket som følge av deformasjoner ved knekking av stiver. Følgelig velges $\lambda = 1,0$.

5.2.2 Dimensjonering fotbolt

Ved dimensjonering av fotbolter er det brukt en senteravstand (c/c) på 2,8 m. Dimensjonerende skjærkrefter er vist i Tabell 2.

3,8 m til berg 2,4 m utgravning			3,8 m til berg 3,8 m utgravning	
	Inputparametere			Inputparametere
Diameter \varnothing [mm]	70		Diameter \varnothing [mm]	78
Motstandsmoment W [mm ³]	33674		Motstandsmoment W [mm ³]	46589
Stålets flytespenning f_y [N/mm]	355		Stålets flytespenning f_y [N/mm]	355
Glippe spunt berg Δ [mm]	120		Glippe spunt berg Δ [mm]	120
partialfaktor stål γ_M	1,15		partialfaktor stål γ_M	1,15
Dimensjonerende horisontalkraft S_d [kN] c/c 2,8 m	170,8		Dimensjonerende horisontalkraft S_d [kN] c/c 2,8 m	235,2
	Outputparametere			Outputparametere
Motstandskapasitet $R_{i,brudd}$ iht. likning presentert 9.3	173		Motstandskapasitet $R_{i,brudd}$ iht. likning presentert 9.3	240
$R_{i,brudd} > S_d$	Ja (oppfyller krav)		$R_{i,brudd} > S_d$	Ja (oppfyller krav)
7,6 m til berg 2,4 m utgravning			7,6 m til berg 4,2 utgravning	
	Inputparametere			Inputparametere
Diameter \varnothing [mm]	81		Diameter \varnothing [mm]	103
Motstandsmoment W [mm ³]	52174		Motstandsmoment W [mm ³]	107278
Stålets flytespenning f_y [N/mm]	355		Stålets flytespenning f_y [N/mm]	355
Glippe spunt berg Δ [mm]	120		Glippe spunt berg Δ [mm]	120
partialfaktor stål γ_M	1,15		partialfaktor stål γ_M	1,15
Dimensjonerende horisontalkraft S_d [kN] c/c 2,8 m	266		Dimensjonerende horisontalkraft S_d [kN] c/c 2,8 m	537,6
	Outputparametere			Outputparametere
Motstandskapasitet $R_{i,brudd}$ iht. likning presentert 9.3	268		Motstandskapasitet $R_{i,brudd}$ iht. likning presentert 9.3	552
$R_{i,brudd} > S_d$	Ja (oppfyller krav)		$R_{i,brudd} > S_d$	Ja (oppfyller krav)

Figur 8: Anbefalte diametere på fotbolter.

10,2 m til berg 2,4 m utgravning		10,2 m til berg 4,2 m utgravning	
Inputsparametere		Inputsparametere	
Diameter \varnothing [mm]	81	Diameter \varnothing [mm]	109
Motstandsmoment W [mm ³]	52174	Motstandsmoment W [mm ³]	127139
Stålets flytespenning f_y [N/mm]	355	Stålets flytespenning f_y [N/mm]	355
Glippe spunt berg Δ [mm]	120	Glippe spunt berg Δ [mm]	120
partialfaktor stål γ_M	1,15	partialfaktor stål γ_M	1,15
Dimensjonerende horisontalkraft S_d [kN] c/c 2,8 m	260,4	Dimensjonerende horisontalkraft S_d [kN] c/c 2,8 m	644
Outputsparametere		Outputsparametere	
Motstandskapasitet $R_{i,brudd}$ iht. likning presentert 9.3	268	Motstandskapasitet $R_{i,brudd}$ iht. likning presentert 9.3	654
$R_{i,brudd} > S_d$	Ja (oppfyller krav)	$R_{i,brudd} > S_d$	Ja (oppfyller krav)
13,2 m til berg 2,4 m utgravning		13,2 m til berg 4,2 m utgravning	
Inputsparametere		Inputsparametere	
Diameter \varnothing [mm]	81	Diameter \varnothing [mm]	116
Motstandsmoment W [mm ³]	52174	Motstandsmoment W [mm ³]	153241
Stålets flytespenning f_y [N/mm]	355	Stålets flytespenning f_y [N/mm]	355
Glippe spunt berg Δ [mm]	120	Glippe spunt berg Δ [mm]	120
partialfaktor stål γ_M	1,15	partialfaktor stål γ_M	1,15
Dimensjonerende horisontalkraft S_d [kN] c/c 2,8 m	263,2	Dimensjonerende horisontalkraft S_d [kN] c/c 2,8 m	778,4
Outputsparametere		Outputsparametere	
Motstandskapasitet $R_{i,brudd}$ iht. likning presentert 9.3	268	Motstandskapasitet $R_{i,brudd}$ iht. likning presentert 9.3	788
$R_{i,brudd} > S_d$	Ja (oppfyller krav)	$R_{i,brudd} > S_d$	Ja (oppfyller krav)

Figur 9: Anbefalte diametere på fotbolter.

5.3 Resultater i PLAXIS 2D (dybde til berg >13 m)

For strekningen innenfor profil 100-150 skal det etableres avstivet spunt.

Dimensjoneringen av spunten er utført i PLAXIS 2D som plan tøyning. PLAXIS 2D er basert på finitta element metoden.

5.3.1 Jordparametere

Jordparameterne er, som tidligere beskrevet i kapitel 3.1, basert på rutineforsøk og CPTU-sondering ved borehull 5. Matjorden er modellert med bruk av Mohr-Coulomb (MC) materialmodellen mens leiren er modellert med bruk av NGI-ADP materialmodellen. Inputparameterne er angitt i Tabell 3:

Tabell 3: Jordparametere brukt for spuntdimensjonering.

Dybde [m]	Jord-type	Material-modell	γ_m [kN/m ³]	s_u^* [kPa]	$s_u^{A_{inc}}$ [kPa/m]	ϕ' [°]	$\gamma_f C / \gamma_f DSS / \gamma_f E$ [%]	Eoed [MPa]	G/ s_u [-]
0-2	Mat-jord	MC	17	0,1	N.A.	25	N.A.	10	N.A.
2-5	Leire	NGI-ADP	17	9/6,0/3,6	1,0	N.A.	1,0/1,5/2,0	N.A.	300
5-20	Leire	NGI-ADP	17	15/10,1/6	1,0	N.A.	1,0/1,5/2,0	N.A.	300

* For lag modellert med NGI-ADP materialmodellen er styrken angitt som $s_u^A / s_u^D / s_u^P$, hvor s_u^A er for aktiv belastning, s_u^D er for direkte belastning og s_u^P er for passiv belastning.

Interface parameteren R_{inter} er fastsatt til 0,67 for matjorden og 0,1 for leiren.

5.3.2 Spunt profil 100-150

Det er valgt en spunt med spissen i dybde 11,5 m av profiltipe AZ12-700 og stålkvalitet S355. Parametere til PLAXIS modell er angitt i Tabell 4. Spunten er modellert med en gjensidig avstand på 2,5 m.

Tabell 4: Spuntparametere brukt i PLAXIS modell.

Type materiale	Vekt, w	Normal stivhet, EA	Bøyningsstivhet, EI
	[kN/m/m]	[kN/m]	[kNm ² /m]
Elastisk og isotropisk	1,04	3,6e6	76e3

5.3.3 Gjensidig avstivning

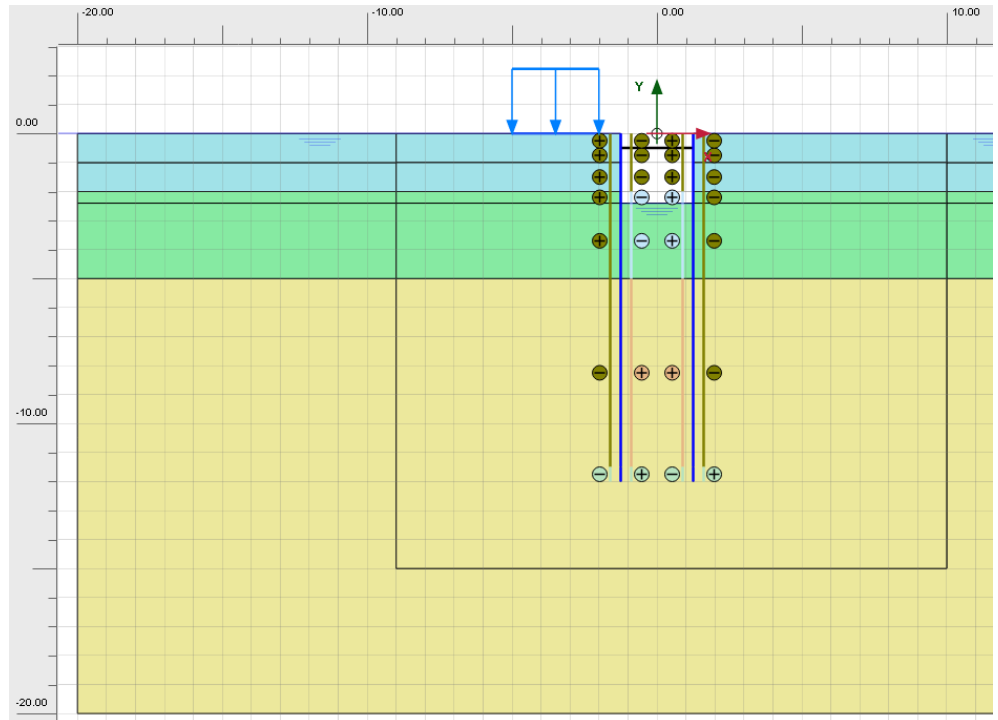
Spunten er gjensidig avstivet i en dybde under terreng av 0,5 m. Den gjensidige avstivning er i PLAXIS modellert med parameterne i Tabell 5.

Tabell 5: Parametere brukt for avstivning i PLAXIS modell.

Materiale typ	Normal stivhet, EA	Avstand mellom avstivninger
	[kN]	[m]
Elastisk	1,64e6	3

5.3.4 Geometri PLAXIS modell

Geometri av PLAXIS modellen er vist i Figur 10.



Figur 10: PLAXIS modell.

5.3.5 Modelleringsfaser

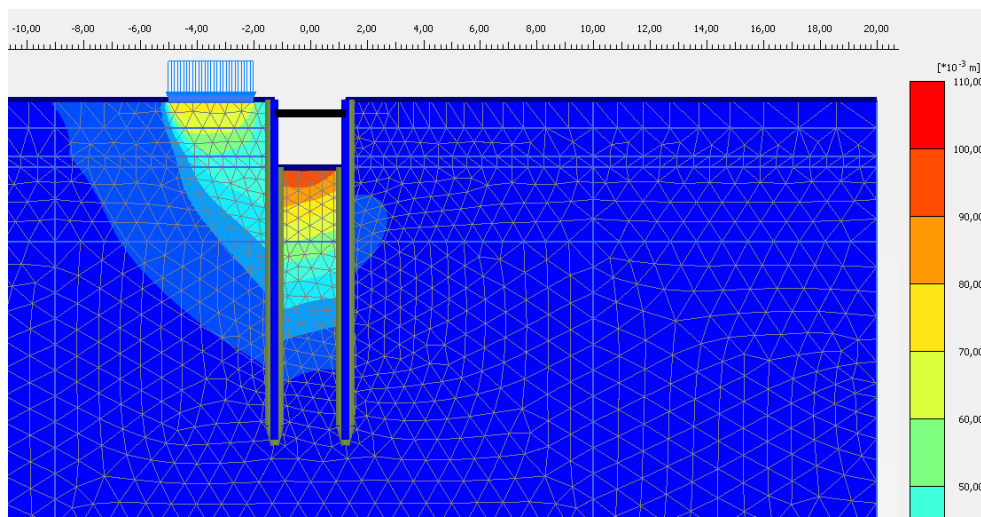
PLAXIS modelleringen er utført i følgende faser:

- 1 Initial phase: K0 procedure
- 2 Installasjon av spunt
- 3 Utgravning til 1,0 m dybde
- 4 Installasjon av avstivning i 0,5 m dybde
- 5 Utgravning til 2,4 m dybde

5.a) Sikkerhetsanalyse med ϕ -c reduksjon. Det er brukt et "target" sikkerhetsforhold 1,5.

5.3.6 Resultater fra PLAXIS modell

Deformasjonsfigur for fase 5 (utgravning til 2,4 m dybde) er vist på Figur 11. Deformasjonsfiguren ser forventelig ut og det kan ses at det skjer en heving av jorden i utgravningen.



Figur 11: Deformasjonsfigur for utgravning til 2,4 m dybde.

Fra sikkerhetsanalyse finnes et sikkerhetsforhold på henholdsvis $\sum MSf = 1,57$ ved utgravning ned til 2,4 m (fase 5.a).

Krefter i stivere og maksimalt moment i spunten er oppsummert i Tabell 6.

Tabell 6: Kraft i stivere og moment i spunt.

	Maksimalt moment i spunt, M_{spunt} [kNm/m]	Kraft i stivere ved brudd [kN/m]
Utgravning ned til 2,4 m (fase 5.a)	277,0	399,4

5.3.7 Valg av spunt-type

Det er fastslått at en spunt av typen AZ 17-700 er tilstrekkelig. Denne har et motstandsmoment på $W_x = 1730 \text{ cm}^3/\text{m}$. For en stål kvalitet S355 er det en dimensjonerende flytspenning på 309 MPa.

6 Oppsummeringstabell

Tabell 7: Oppsummeringstabell.

		Type/dimensjon	c/c avstand [m]	Antall
Svevende spunt (profil 100-150)	Spunt	AZ 17-700		
	Stiver	Skall dimensjoneres etter krefter angitt i Tabell 6	Anbefales til 3 m	17
	Puter	Skall dimensjoneres etter krefter angitt i Tabell 6		
Spunting ned til berg (profil 150-325)	Spunt	Se anbefalte spunttype i Tabell 2		
	Stiver	Skall dimensjoneres etter krefter angitt i Tabell 2	Anbefales til 3 m	59
	Puter	Skall dimensjoneres etter krefter angitt i Tabell 2		
	Fotbolt	Se Figur 8 og 9	Anbefales til 2,8 m	126




7 Tegning- og vedleggsliste

Tegning	Nummer
Borplan	V01
Snitt- og plantegning	H111
Tillegg	Nummer
Kvalitetssikrings skjema	KS3

KVALITETSSIKRINGSSKJEMA

Oppdragsnr: A099077

Spuntberegning, geoteknisk notat Kolbotn VA**GEOTEKNISK PROSJEKTKONTROLL:**

Geoteknisk kontroll i henhold til NS-EN 1997			
Kontroll type:	Firma:	Sign:	Dato:
Godkjent	COWI AS Asgrimur Björnsson		07.02.18
Egenkontroll	COWI AS Baltzar Linde		06.02.18
Sidemannskontroll	COWI AS Asgrimur Björnsson		07.02.18

Kommentarer til prosjektkontrollen (Uavh./utvidet prosjekteringskontroll):