

Jordbundsundersøgelse

VOR REF.: 24316

DATO: 13-08-2024

Elling Å, Skagensvej
9900 Frederikshavn

H43824 Elling Å

Geoteknisk vurderingsrapport



H43824 Ny underføring af Elling Å

Skagensvej, Frederikshavn

Vejdirektoratet

Sammenfatning

Det planlægges at etablere en ny tunnel hvor Elling Å krydser Skagensvej. For projektet har Andreasen & Hvidberg udført en geoteknisk undersøgelse bestående af ialt 4 geotekniske borer med 6" sneglebor til 9 á 18 m under terræn (m u. t.).

Jordbunds- og grundvandsforhold

I borerne er der generelt under muld truffet postglaciale lag af sand som stedvist er organiskholdigt og stedvist med indslag en mindre tørve-, gytje-, ler- og gruslag. I ca. 4,3 á 5,1 m u. t. træffes der rene post-/senglaciale og senlaciale lag af hhv. sand, silt og ler. Samtlige borer er afsluttet i senlaciale aflejringer.

Efter endt borearbejde og ved genpejling er højest registreret vandspejl registreret 1,0 á 1,4 m u. t., svarende til kote +0,9 á 1,6 DVR90., Det højest registrerede grundvandsspejl på +1,6 DVR90 er registreret i det nedre sand-/siltlag.

Funderingsforhold

Grundet indslag af tørve- og gytjeaflejringer samt indhold af organisk materiale i de postglaciale sandaflejringer, vurderes det nødvendigt at pælefundere tunnelen såfremt der ønskes en sætningsfri konstruktion.

Hvis der kan accepteres sætninger, vurderes det muligt at fundere i de postglaciale sandaflejringer, mod at der foretages en udskiftning af de stærkt sætningsgivende lag. Valg af endelig funderingsmetode må bero på sætningsberegninger når der foreligger kendskab til laster, konstruktionstype m.m.

Tørholdelse

Med forventning om et funderingsniveau ca. 2 m u. t. (svarende til kote +0,5 DVR90) skønner vi behov for midlertidige grundvandssænkende foranstaltninger, hvilket vurderes at kan tilvejebringes med et vacuumbelastet sugespidsanlæg med nedspulede/forborede og filterkastede sugespids sat. pr. 2 m rundt om udgravningen og sat min. 2 m under forventet udgravningsniveau.

En grundvandssænkning kan påvirke naboejendomme, hvorfor det kan blive nødvendigt med recirkulering eller evt. udgravning i en afskærende byggegrube.

Udgravning

Det vurderes umiddelbart nødvendigt at etablere afstivning ved udgravning og etablering af tunnelen for at kunne opretholde trafik på Skagensvej. Afstivningen kan ligeledes fungere som afskærende for tilstrømmende grundvand som derved minimerer oppumpede vandmængder samt påvirkning af afsænkningen.

Nødvendigheden for afstivning skal dog vurderes, når der er kendskab til de endelige udgravningsniveauer, byggetakt m.m.

Udført af:
Morten Balle
Geotekniker - Ingeniør

Kontrolleret af:
Jesper Ø. Pedersen
Geotekniker – Ingeniør

INDHOLDSFORTEGNELSE

Sammenfatning.....	2
1 Indledning	6
2 Markundersøgelser og laboratorieforsøg	6
2.1 Markarbejde	6
2.2 Laboratoriarbejde	6
3 Tidligere undersøgelser	7
4 Jordbundsforhold	7
4.1 Landskab og topografi	7
4.2 Geologi.....	8
5 Grundvandsforhold.....	8
6 Funderingsforhold tunnel.....	9
6.1 Udledning af parametre.....	9
6.2 Projekteringsgrundlag	10
6.3 Pælefundering.....	11
6.4 Direkte fundering	12
7 Bæredygtighed	13
8 Udførelsesmæssige forhold.....	13
8.1 Tørholdelse.....	13
8.2 Udgravning	14
8.3 Nabokonstruktioner.....	15
8.4 Genindbygning.....	15
9 Overskudsmaterialer	16
10 Inspektion	16
11 Supplerende undersøgelser.....	17
12 Afsluttende bemærkninger	17

BILAGSFORTEGNELSE

Signaturer og definitioner	A
Signatur for frostfølsomhed og kalkindhold	B
Boreprofiler, boring nr. 1 – 4.....	1
Tidligere boreprofiler, boring nr. 1 – 2(7584)	2
Kornkurver.....	100 – 101
Situationsplan, jordbundsundersøgelse.....	S1

1 Indledning

For **Vejdirektoratet** er der foretaget geotekniske undersøgelser i forbindelse med etablering af ny tunnel hvor Elling Å krydser Skagensvej.

Markarbejdet er udført udenfor Skagensvej i perioden d. 4 - 8. juli 2024.

Undersøgelsen har til formål at belyse jordbunds- og grundvandsforholdene, samt vurdere funderingsmetoder og opstille projekteringsgrundlag for tunnelen. Denne geotekniske undersøgelse kan ligge til grund for en geoteknisk projekteringsrapport.

Projekt: På hovedvej 40, hvor Elling Å krydser under Skagensvej, skal der etableres en supplerende underføring for at aflaste den eksisterende bro hydraulisk. Den nye underføring forventes etableret som et præfabrikeret tunnelelement af beton med en indvendig topkote i +2,65 DVR90 og med en forventet bundkote i +1,0 DVR90. Der forudsættes et funderingsniveau beliggende omkring 0,5 m under bundkoten, svarende til FUK-kote i +0,5 DVR90. Projektet er stadig et projektforslag, hvorfor der kan forventes mindre ændringer.

2 Markundersøgelser og laboratorieforsøg

2.1 Markarbejde

Der er for det aktuelle projekt udført 4 geotekniske borer med 6" sneglebor til 9 á 18 m u. t. Boringerne er benævnt 1 – 4, og er vedlagt som bilag 1.

Boringerne 1 og 2 er udført længst væk fra Skagensvej og i det fremtidige åbne å-forløb mens boring 3 og 4 er udført nærmest Skagensvej og dermed nærmest den kommende tunnel. Placeringen af undersøgelsespunkterne fremgår af situationsplanen, bilag S1.

Under borearbejdet er der registreret laggrænser, udtaget repræsentative omrørte prøver af de trufne jordlag, og der er udført styrkemålinger i form af vingeforsøg i kohæsionsjord til bestemmelse af den udrænedede forskydningsstyrke.

Efter arbejdets afslutning er der i boring 1 og 2 etableret et ø63 mm pejlerør som er filtersat i det øvre sandmagasin, for evt. senere okkerundersøgelser. I boring 3 og 4 er der etableret et ø25 mm pejlerør, som er filtersat i hhv. det øvre og nedre sandmagasin. Der er pejlet efter endt borearbejde og igen d. 5. august 2024.

Terræn ved borestederne er indmålt med GPS i koordinatsystem UTM32E89. Alle koter refererer til Dansk Vertikal Reference 1990(DVR90).

2.2 Laboratoriearbejde

I laboratoriet er prøverne ingeniørgeologisk klassificeret. For udtagne jordprøver er der foretaget bestemmelse af det naturlige vandindhold.

For udvalgte prøver er der foretaget bestemmelse af kornkurven i henhold til DS/EN 933-1:2013

suppleret med hydrometeranalyse i henhold til DS/En ISO 17892-4:2016. På samme prøver er mængden af organisk materiale bestemt ved glødetabs-bestemmelse i henhold til pr VI 99-9:2010 samt methylenblåt (MB) iht. DS/EN 933-9 bestemmes.

På udvalgte store poseprøver er der udført Standard Proctor-forsøg i henhold til DS/EN 13286-2:2011 og AC:2013.

Jordprøvernes kalkindhold er subjektivt bestemt ved tilsætning af 10 % saltsyre efter skala, som findes i bilag B.

Resultaterne af de udførte forsøg og observationer fremgår af de respektive boreprofiler, bilag 1 hhv. præsenteret i afsnit 8.4 Kornkurverne fremgår af bilag 100 – 101.

Signaturer og definitioner fremgår af Vejdirektoratets standard bilag 1 som er vedlagt som bilag A.

3 Tidligere undersøgelser

Andreasen & Hvidberg har i 1975 udført 2 geotekniske borer i forbindelse med opførelse af den nuværende bro over Elling Å. Boringerne er udført på hver side af Skagensvej og er benævnt 1(7584) og 2(7584).

I boringerne er der under 0,1 á 0,7 m muld, truffet postglacialt sand til 3,6 á 4,0 m u. t. Dette underlejres af senglacialt ler med vekslende indslag af silt til 9,7 á 10,1 m u. t. hvorunder der træffes senglacialt finsand, med indslag af ler og silt, til bunden af boringerne 13 á 16,8 m u. t.

Grundvandsspejlet er d. 24. november 1975 registeret i kote +0,4 á +0,7 (formentlig DNN).

Der gøres opmærksom på, at de terrænnære forhold kan vise sig anderledes end anført i de tidligere borer, da der siden boringernes udførelse har været pågået en del byggeaktivitet.

Boringerne er medtaget fra afsnit 5.

4 Jordbundsforhold

4.1 Landskab og topografi

Projektlokaliteten er beliggende nord for Frederikshavn på hovedvej 40 (Skagensvej) som forbinder Frederikshavn og Skagen.

Nuværende vej og bro har terræn omkring kote +3,0 DVR90, mens terrænet udenfor vejarealet ligger marginalt lavere i omkring kote +2,5 DVR90 og selvfølgelig faldende ned mod Elling Å.

4.2 Geologi

I borerne nærmest Skagensvej er der i borerne 3 og 4 øverst truffet muld til 1,1 á 1,3 m u. t., hvorunder der er truffet postglacialt sand med indslag af hhv. 0,6 m tørv og ca. 0,5 m gytje til 4,3 á 4,9 m u. t. I 4,3 m u. t. underlejres dette i boring 4, af 0,6 m postglacialt grus. Herunder er der i begge borerne truffet post-/senglaciale eller senlaciale ler med indslag af silt og sand til 11,2 m u. t. Herunder er der truffet senlaciale sand med indslag af silt, hvori boring 3 er afsluttet 18 m u. t. Boring 4 er afsluttet i senlaciale ler, som træffes 16,8 m u. t.

I borerne 1 og 2, som er udført længst væk fra Skagensvej, er der øverst truffet muld til 0,3 á 0,6 m u. t., hvorunder der er truffet postglacialt sand, som stedvist er organiskholdigt og med indslag af hhv. 0,2 m ler og 0,6 m gytje i boring 2. I 4,3 m u. t. underlejres dette i boring 1, af et mindre lag post-/senglaciale grus. Herunder træffes i begge borerne senlaciale ler med indslag af silt til den borede dybde 9 m u. t.

For en mere detaljeret beskrivelse af bundforholdene henvises der til de optegnede boreprofiler, bilag 1.

5 Grundvandsforhold

I boring 1 og 2 er etableret pejlerør, som er filtersat med et 2 m Ø63 mm filter placeret 3,8 á 4,0 m u. t., svarende til det øvre sandmagasin. Ved genpejling er vandspejlet pejlet i kote +0,9 á +1,0 DVR90.

I boring 3 er der etableret pejlerør, som er filtersat med et 0,7 m Ø25 mm filter placeret 6,7 m u. t. i sandlaget netop over lerlaget. Ved genpejling er vandspejlet pejlet i kote +1,1 DVR90.

I boring 4 er der etableret pejlerør, som er filtersat med et 0,7 m Ø25 mm filter placeret 12 m u. t., og derved under lerlaget svarende til i det nedre sandmagasin. Ved genpejling er vandspejlet pejlet i kote + 1,6 DVR90.

Vandspejlet må forventes at variere med årstiden, nedbør samt vandstanden i Elling Å. Det anbefales derfor at foretage genpejlinger.

6 Funderingsforhold tunnel

For de udførte og tidligere borer er overside bæredygtige lag (OSBL), underside stærkt sætningsgivende lag (USSL) sammen med terrænkote samt vandspejlsforhold angivet i tabel 6-1.

Boring nr.	Terrænkote	FUK	OSBL		USSL		Vandspejl	
	DVR90 [m]	DVR90 [m]	DVR90 [m]	Dybde [m u. t.]	DVR90 [m]	Dybde [m u. t.]	DVR90 [m]	Filterkote DVR90 [m]
3	+2,5	+0,5	-1,8	4,3	+1,2	1,3		-4,2
4	+2,6	+0,5	-2,3	4,9	-0,7	3,3		-9,4
1(7584)	+1,9*	+0,5	*-2,1	4,0	*+1,2	0,7	*	ukendt
2(7584)	+1,6*	+0,5	*-2,0	3,6	*+1,5	0,1	*	ukendt

Tabel 6-1: Terrænkote, Overside bæredygtige lag for fundamenter (OSBL), underside stærkt sætningsgivende lag (USSL) samt vandspejlsforhold. * Formentlig koter i Dansk Normal Nul (DNN).

Med de trufne bundforhold som truffet i borerne 3 og 4 samt de tidligere borer 1-2(7584), og hvis der ønskes en sætningsfri funderingsløsning, anbefales det at pælefundere den kommende tunnel.

Såfremt der kan accepteres mindre sætninger, vurderes det muligt at foretage en direkte fundering af tunnelen efter udskiftning af samtlige aflejringer over USSL-niveau. Dette medfører at der vil blive tale om en direkte fundering kombineret med en fundering i sandpude omkring boring 4.

Valg af endelig funderingsmetode må bero på egentlige sætningsberegninger når der foreligger kendskab til laster, konstruktionstype m.m.

Det vurderes at projektet kan behandles i geoteknisk kategori 2, jf. Eurocode 7, 2007, 2. udgave, afsnit 2.1 og DK-Anneks K, afsnit K3. Den regningsmæssige fundamentslast må ikke overstige 5000 kN på enkeltfundamenter eller 1000 kN pr. m stribefundament. For direkte funderede konstruktioner må det regningsmæssige fundamentstryk på det effektive areal ikke overstige 1000 kN/m².

6.1 Udledning af parametre

På baggrund af de udførte forsøg har Andreasen & Hvidberg udledt parametre til brug for design af fundamenter. Udledning af parametrene er foretaget iht. nedenstående retningslinjer:

Rumvægt

De forskellige jordtypers rumvægt er skønnet på baggrund af den geologiske prøvebedømmelse samt intakte B-rør prøver fra den tidligere undersøgelse.

γ Angiver rumvægt til brug over vandspejl

γ' Angiver effektiv rumvægt til brug under vandspejl

Styrkeparametre

Den udrænedede forskydningsstyrke for kohæsive aflejringer er vurderet på baggrund af udførte vingeforsøg foretaget i borerne og ud fra følgende sammenhæng:

$$C_{u,k} = \mu \cdot C_{fv}$$

For de trufne leraflejringer af senglacialt ler anbefales det at anvende $\mu=1,0$.

Den effektive kohæsion er fastlagt som $c' = 0,1 \cdot c_{u,k}$, dog maksimalt 20 kN/m².

Der er ikke udført styrkeforsøg i sandaflejringerne, hvorfor den karakteristiske plane friktionsvinkel er skønnet ud fra erfaringer med lignende aflejringer. Hvis styrken af sandaflejringerne er dimensionsgivende for tunnelen, anbefales det at få udført supplerende undersøgelser – f.eks. i form af CPT-sonderinger.

Deformationsparametre

For intakte og organiskfrie leraflejringer er der til bestemmelse af konsolideringsmodul, E_{eod} , anvendt erfaringsformlen baseret på vingeforsøg, c_{fv} samt det naturlige vandindhold, w , som anført herunder:

$$E_{eod} = 4000 \cdot c_{fv}/w \text{ (kPa)}$$

(hvor vandindholdet, w , indsættes i %)

Der er ikke udført forsøg i sandaflejringerne, hvorfor konsolideringsmodul er skønnet ud fra erfaringer med lignende aflejringer. Hvis beregnede deformationer af sandaflejringerne er dimensionsgivende for stitunnelen, anbefales det at få udført supplerende undersøgelser – f.eks. i form af CPT-sonderinger.

6.2 Projekteringsgrundlag

Jordtryk på tunnelen skal fastlægges under hensyn til trafiklast, ophobning af vandtryk, komprimering, eventuelle midlertidige laster samt anden last af betydning for tunnelen.

Der bør ved fastlæggelse af designvandspejl for tunnelen tages hensyn til ekstreme regnhændelser, eventuelle klimatillæg samt eventuelle dræningsniveauer.

Såfremt der vurderes behov for dræning, skal dette udføres i overensstemmelse med retningslinjerne i Dansk Standards "Norm for dræning af bygværker mv.", DS 436, gældende udgave. Projektering af drænsystemet skal ske under hensyn til drift og vedligehold, robusthed samt evt. krav fra myndigheder.

I anvendelsesgrænsetilstanden kan der forudsættes trykspredning 2:1 (lodret:vandret) ned gennem jordlagene. Der skal foretages beregninger af anvendelsesgrænsen til den dybde, hvor den effektive lodrette spænding på grund af last fra fundamentet er 20% af den effektive in-situ spænding. Ved en pælefundering skønnes der ikke at komme sætninger af betydning for konstruktionen, hvorfor anvendelsesgrænsen her kan holdes til en vikarierende geostatisk beregning ved betragtning af negativ overflademodstand, jf. afsnit 6.3.

Gældende for aflejringerne under funderingsniveau for tunnelen anbefales det at anvende styrke- og deformationsparametre for hhv. boring 3 og 4 som angivet i Tabel 6-2 og Tabel 6-3.

Niveau [DVR90]	Jordart	γ/γ' [kN/m ³]	$\Phi_{pl,k}$ [°]	$c_{u,k}$ [kN/m ²]	Φ'_k [°]	c'_k [kN/m ²]	E_{eod} [MPa]
FUK → -1,8	Sand (Pg)	18/10	32	0	32	0	10*
-1,8 → -2,8	Sand (Pg/Sg)	18/10	32	0	32	0	25
-2,8 → -3,8	Sand / Silt (Sg)**	18/10	0	200	32	0	25
-3,8 → -8,5	Ler (Sg)	19/9	0	>200	28	20	40

Niveau [DVR90]	Jordart	γ/γ' [kN/m ³]	$\Phi_{pl,k}$ [°]	$c_{u,k}$ [kN/m ²]	Φ'_k [°]	c'_k [kN/m ²]	E_{eod} [MPa]
-8,5 → -15,5	Sand / Silt (Sg)**	18/10	0	200	32	0	40

Tabel 6-2: Karakteristiske styrke- og deformationsparametre for boring 3.

* For de pågældende sandaflejringer er der truffet indhold af organisk materiale i form af både tørv og gytje, hvorfor sætningerne må skønnes konservativt. Som følge heraf er deformationsparametrene for dette lag skønnet lavt.

Niveau [DVR90]	Jordart	γ/γ' [kN/m ³]	$\Phi_{pl,k}$ [°]	$c_{u,k}$ [kN/m ²]	Φ'_k [°]	c'_k [kN/m ²]	E_{eod} [MPa]
FUK → -0,7	Tilkørt sandfyld	18/10	36	0	36	0	30
-0,7 → -2,3	Sand / Grus (Pg)	18/10	32	0	32	0	20
-2,3 → -2,8	Silt (Sg)	19/9	0	110	32	0	15
-2,8 → -8,6	Ler (Sg)	19/9	0	>200	28	20	40
-8,6 → -14,2	Sand / Silt (Sg)**	18/10	0	200	32	0	40
-14,2 → -15,4	Ler (Sg)	19/9	0	>200	28	20	40

Tabel 6-3: Karakteristiske styrke- og deformationsparametre for boring 4.

** Der er i begge borerne truffet lag som veksler mellem sand/silt eller ler/silt, og det anbefales her at undersøge for begge tilfælde – dvs. både for sandtilfældet (drænet) og lertilfældet (udrænet) med de i tabellerne ovenfor anførte parametre.

Der er generelt målt stor spredning på forskydningsstyrke, c_{fv} , i de trufne senglaciale leraflejringer. De angivne styrkeparametre, i ovenstående tabel, må derfor betragtes som konservative styrker.

6.3 Pælefundering

Med de trufne bundforhold kan der blive tale om både overfladebærende pæle, hvor bæreevnen bestemmes ved udførelse af en geostatisk beregning eller spidsbærende pæle, hvor bæreevnen bestemmes ud fra "Den danske rammeformel", jf. Eurocode 7, 2007, 2. udgave, kapitel 7, samt det tilhørende danske annek. 5.

Pælene skal dimensioneres i såvel brudgrænsetilstanden (bæreevne) som anvendelsesgrænsetilstanden (sætninger).

Ved undersøgelse af anvendelsesgrænsetilstanden er det vigtigt at tage hensyn til en eventuel negativ overflademodstand. Ved boring 3 og 4 er der truffet fyld og blødbund i form af både organiskholdige sandaflejringer samt tørv og gytje.

Hvad angår den negative overflademodstand, så kan denne reduceres til 25 % af den regningsmæssige, såfremt pælene før ramning påføres mindst 1 mm tykt lag bitumen pen. 80/100 på den del, der efter ramning er omgivet af bløde lag og herover liggende lag. D.v.s. at man bør påføre pælene bitumen på den del, der efter ramning befinder sig i de sætningsgivende jordlag.

Bitumen bør være påført mindst 1 døgn før ramning.

Den negative overflademodstand, $F_{neg.}$, kan desuden reduceres ved at asfaltere fundamenter og tunnelvægge over OSBL.

Med de trufne jordbundsforhold i borerne skønnes det foreløbig, at en rammet uasfalteret jernbetonpæl kan opnå en regningsmæssig bæreevne som angivet i Tabel 6-4.

Boring nr.	Pæledimension [mm]	Spidskote [DVR90]	Asfaltering over kote [DVR90]	SLS [kN]	ULS [kN]
3	300	-5,0 -10,0	- -	290 >1.000*	260 >1.000*
4	300	-5,0 -10,0	- -	310 >1.000*	250 >1.000*

Tabel 6-4: Regningsmæssige pælebæreevner for uasfalterede 300 x 300 mm jernbetonpæle.

* Den oplyste bæreevne er orienterende. Da pælens spids står i sand, skal bæreevnen dokumenteres ved f.eks. "Den danske rammeformel".

Den oplyste pælebæreevne er under forudsætning om pæletop i kote +0,5 DVR90.

På baggrund af projektets størrelse vurderes det mest hensigtsmæssige at lade den endelige pælebæreevne udelukkende ske på baggrund af geostatistiske pæleberegninger eller ved at dokumentere bæreevnen ud fra "Den danske rammeformel" afhængig af hvilket jordlag pælespidsen står i.

Det anbefales, at 5 -10 % af produktionspælene rammes som prøvepæle. Prøvepælene bør være 1-2 m længere end produktionspælenes forventede længder.

Der placeres en prøvepæl ved hver geoteknisk boring, og de resterende prøvepæle fordeles jævnt ud over byggefeltet. For prøvepælene registreres hele rammeformløbet.

Prøvepælene kan indgå i den færdige konstruktion, såfremt den fornødne bæreevne er opnået.

Prøvepæle efterrammes – om nødvendigt – senest 12 timer efter indramningen. Ved efterramningen registreres nedsynkningen for 3 ramslag.

For pæle, som står i en gruppe, skal pælegruppen have mindst samme omkreds som summen af de enkelte pæles omkreds for at kunne opnå fuld bæreevne af hver enkelt pæl.

Afstanden mellem pælenes centerlinie skal være større end 3 gange pælens sidelængde for at imødegå opramning.

Pælene føres til den fornødne bæreevne i aflejringer under OSBL.

Samtlige fundamenter udføres som selvbærende jernbetonbjælker, der understøttes af pæle.

Rammearbejdet varsles i henhold til Byggelovens §12.

6.4 Direkte fundering

Ved en direkte fundering i aflejringerne under USSL må der ved boring 3 forventes funderet direkte i postglaciale og stedvist organiskholdige sandaflejringer. Ved boring 4 er der truffet stærkt sætningsgivende lag af tørv og gytje som udskiftes med rent og velkomprimeret sand – en såkaldt sandpudefundering.

Udgravning for sandpuden ned til USSl-niveau (jf. Tabel 6-1) skal ske i et omfang bestemt af flader hældende 1:1,5 vandret fra fundamentsunderkant til skæring med USSl-niveau. Herefter indbygges sandfyld, som kontrolleres til underside af tunnel/fundament.

Det kontrollerede sandfyld bør være fri for skadeligt indhold af organisk stof samt ler og silt, og være komprimerbart. Sandet bør udlægges i lag af højst 30 cm tykkelse og komprimeres med relativt tungt vibrationsmateriel.

Lagene skal komprimeres, så de opnår en relativ lejringstæthed på mindst 0,7 i gennemsnit og ingen enkeltværdier under 0,6. Alternativt kan komprimeringskravet sættes til en Standard Proctor værdi på 98 % i gennemsnit og ingen enkeltværdier under 95 %. Endeligt valg af komprimeringskrav fastsættes, når det aktuelle fyldmateriale kendes.

Hvor afstanden fra fundamentsunderside til overside af de intakte aflejringer er mindre end fundamentsbredden, skal fundamentene dimensioneres for både den indbyggede sandfyld og de underliggende, intakte aflejringer.

Derefter kan der foretages en direkte fundering i frostfri dybde, svarende til 0,9 m under fremtidigt terræn for almindeligt byggeri og 1,2 m for fritstående konstruktioner.

Udskiftningen skal udføres i overensstemmelse med Eurocode 7, 2007, 2. udgave, afsnit 5.3, samt det tilhørende danske annek.

7 Bæredygtighed

Ved fastlæggelse af funderingsmetode samt -type anbefales det at gennemføre livscyklusanalyser (LCA-analyser) for at kunne vurdere funderingen af tunnelens samlede klimaaftryk.

Bortkørsel af jord bør undgås eller minimeres, ved f.eks. at genanvende overskudsjord til at oprette/udjævne eksisterende skråninger. Alternativt kan tilstødende matriklers mulighed for at aftage overskudsjord undersøges.

8 Udførelsesmæssige forhold

8.1 Tørholdelse

Med forventning om et funderingsniveau i kote +0,5 DVR90, svarende til ca. 2 m under nuværende terræn, skal der ubetinget foretages en midlertidig grundvandssænkning for at hindre erosion af udgravningens sider og bund.

I de sandede aflejringer foretages den midlertidige grundvandssænkning formentlig lettest ved anvendelse af et vacuumbelastet sugespidsanlæg med nedspulede/forborede og filterkastede sugespids sat. pr. 2 m rundt om udgravningen og sat min. 2 m under forventet udgravningsniveau.

Det skal bemærkes, at der er risiko for, at en grundvandssænkning kan give sætningsskader på nærtliggende bygninger, der måtte være utidssvarende funderet. Risikoen kan reduceres ved at sænke vandspejlet mindst muligt i kortest mulig tid eller ved at foretage recirkulation.

På naboarealer må der som udgangspunkt ikke ske vandspejlssænkninger der overstiger 0,5 m, hvilket svarer til den estimerede årstidsvariation.

Alternativt kan man lade udgravningen ske i en byggegrubeindfatning som f.eks. spuns. Etableres den som en tæt spuns som føres til min. kote -5,0 DVR90, vil dette minimere den oppumpede vandmængde samt have minimal påvirkning af naboarealer.

Med udgravning til kote +0,5 DVR90 vurderes der med de pejlede vandspejl ikke at være opdriftsproblemer fra dybereliggende sandlag. Det anbefales dog at foretage supplerende pejlinger for at verificere dette ligesom det skal vurderes når der foreligger kendskab til det endelige udgravningsniveau.

Grundvandssænkningen skal varsles i henhold til §12 i byggeloven og udføres i overensstemmelse med Eurocode 7, 2007, 2. udgave, afsnit 5.4, samt det tilhørende danske annek. s.

Der skal søges om tilladelse til oppumpning og bortledning af vand jf. Vandforsyningsloven §26a mv.

8.2 Udgravning

For midlertidige frie og ubelastede skråninger over grundvandsspejlet, som ikke påvirkes af overflade- eller trafikklaster, kan disse generelt forventes stabile med skråningsanlæg a på 1,5 i fyld- og sandaflejringer og anlæg 1 i leraflejringer. Hvor der træffes tørve- og gytjeaflejringer, må frie skråningsanlæg forventes at skulle stå med anlæg 3 á 5.

Hvor der graves tæt på naboskel og eksisterende nabokonstruktioner (ledninger, skilte og lign.) samt vejanlæg, kan det blive nødvendigt med afstivningsforanstaltninger for at overholde krav til stabilitet. Dette vurderes nærmere, når det endelige projekt kendes.

Det vurderes umiddelbart nødvendigt at etablere afstivning ved udgravning og etablering af tunnelen for at kunne opretholde trafik på Skagensvej. Nødvendigheden for afstivning skal dog vurderes, når der er kendskab til de endelige udgravningsniveauer, byggetakt m.m.

Afstivningen kan med fordel udføres som en lukket byggegrube som er afskærende i de trufne senglaciale leraflejringer og dermed minimere både udgravning, tilstrømmende grundvand samt påvirkning af afsænkningen.

Til brug ved dimensionering af midlertidig afstivning kan der generelt anvendes styrkeparametrene som angivet i Tabel 8-1.

Jordart	γ/γ' [kN/m ³]	$\Phi_{pl,k}$ [°]	$c_{u,k}$ [kN/m ²]	Φ'_k [°]	c'_k [kN/m ²]	E_{eod} [MPa]	Q [%]
Fyld: Muld	18/10	-	50	25	0	5	-
Sand / Grus (Pg)	18/10	32	0	32	0	20	-
Tørv (Pg)	12/2	0	50	20 / 25*	0	-	45
Gytje (Pg)	15/5	0	50	20 / 25*	0	-	25

Jordart	γ/γ' [kN/m ³]	$\Phi_{pl,k}$ [°]	$c_{u,k}$ [kN/m ²]	Φ'_k [°]	c'_k [kN/m ²]	E_{eod} [MPa]	Q [%]
Ler / Silt (Sg)	19/9	0	>200	28	20	40	-
Silt (Sg)	18/10	0	200	32	0	40	-
Sand (Sg)	18/10	38	0	36	0	40	-

Tabel 8-1: Styrke- og deformationsparametre ved projektering af afstivning. *Gældende for hhv. passivt / aktivt jordtryk.

For intakte leraflejringer kan effektiv kohæsion, c' , kan tages i regning når den effektive normal-spænding på brudsnittet er positiv.

Der gøres opmærksom på at der er truffet gruslag som kan medføre rammehindringer ved f.eks. ramning af lodprofiler/spunsprofiler.

Jordtrykspåvirkede konstruktioner skal dimensioneres i såvel brudgrænsen som i anvendelsesgrænsen og ved betragtning af både den midlertidige og permanente situation.

Afstivningen anbefales påført vandtryk på aktiv siden, svarende til højeste niveau af enten registreret vandspejlsniveau eller overside lavpermeable lag. Det skal vurderes om der i en ulykkesituation (ALS) kan forekomme højerestående vandspejl. På passiv siden fastsættes vandspejl i udgravningsniveau.

Ved dimensionering af midlertidige afstivninger skal der tages hensyn til last fra opfyldning, komprimering, ophobning af vandtryk, trafiklast, materialeoplag, kraner, eksisterende fundamenter og andre laster af betydning for afstivningen.

Det skal sikres at deformationer af afstivningen ikke medfører gener for omkringliggende veje, underjordiske konstruktioner, ledninger, anlæg m.m.

8.3 Nabokonstruktioner

Ved anlægsarbejder og grundvandssænkning i nærheden af eksisterende konstruktioner, skal de eksisterende konstruktioners midlertidige og permanente funderingsforhold ubetinget undersøges minimum i geoteknisk kategori 2. Undersøgelsen skal i øvrigt afpasses efter disse eksisterende konstruktioners art, størrelse og fundering.

Når det endelig projekt kendes, skal det vurderes om, det findes nødvendigt med undersøgelse af nabokonstruktionernes midlertidige og permanente funderingsforhold.

8.4 Genindbygning

For vurdering af in-situ aflejringens komprimerbarhed er der udført Standard Proctor-forsøg for bestemmelse af aflejringernes optimale vandindhold og rumvægt. Resultatet af forsøgene er vist i Tabel 8-2.

Boring	Dybde	γ_d^{opt} [kN/m ³]	W_{opt} [%]
1	1,8 – 4,5	15,81	15,4
2	1,8 – 5,0	16,20	14,6
4	1,1 – 1,5	15,65	13,3

Tabel 8-2: Resultat af Standard-Proctor forsøg.

På udvalgte jordprøver over bundkoten er der derudover udført sigteanalyser, glødetab samt bestemmelse af methylenblåt på udvalgte prøver. Resultatet af glødetabsbestemmelse og methylenblåt fremgår af Tabel 8-3. Sigteanalyserne fremgår af kornkurverne som er vedlagt som bilag 100 – 101.

Boring	Prøve nr.	Dybde [m u. t.]	Glødetab [%]	MB [-]
1	56	1,0	Afventer	Afventer
2	37	1,0	Afventer	Afventer
2	38	1,5	Afventer	Afventer
4	3	1,5	Afventer	Afventer

Tabel 8-3: Resultat af glødetabsbestemmelse og methylenblåt.

Der gøres opmærksom på, at der ved en genanvendelse af lerede og siltede aflejringer gør sig gældende, at nedbørsmængden i anlægsfasen har stor indflydelse på materialernes komprimerbarhed. Selv ved små stigninger i vandindholdet vil det være svært at opnå tilfredsstillende komprimeringsgrader.

Vi gør opmærksom på, at der ikke må ske indbygning af frosne eller på frosne materialer.

Udenfor vejarealer, hvor der ikke stilles særlige krav til tilbagefyldningen, og der accepteres store sætninger i det genindfyldte materiale, kan samtlige trufne aflejringer genanvendes.

9 Overskudsmaterialer

Denne undersøgelse har ikke haft til formål at undersøge til de miljøtekniske forhold. Der er dog ikke ved prøvebedømmelsen truffet fyldtegn eller registreret forurenende stoffer ved syns- og lugtindtryk.

Krav til jordhåndteringen kan have indflydelse på projektets tidsplan og økonomi, hvorfor dette anbefales afklaret så hurtigt som muligt og helst inden opstart af projektet i marken.

Hvis der skal flyttes overskudsjord fra matriklen, aftales endeligt prøveantal og anvisningsmulighed med Frederikshavn Kommune.

10 Inspektion

I forbindelse med udarbejdelse af den geotekniske projekteringsrapport skal der udarbejdes en tilsynsplan med de emner/forhold som skal kontrolleres i anlægsfasen.

Det vurderes at der som minimum skal foretages følgende kontrolarbejde i forbindelse med udførelsen:

- Kontrol af dokumentation af evt. midlertidig afstivning
- Geoteknisk fagtilsyn ved installering af evt. midlertidig afstivning
- Geoteknisk fagtilsyn af funderingsniveau for tunnelen (bæredygtighed og styrke)
- Kontrol af indbygningsmaterialer omkring og over tunnel (sigteanalyser, komprimeringskontroller, referenceforsøg)
- Kontrol af vejkassematerialer (sigteanalyser, komprimeringskontroller, referenceforsøg)

Ovenstående forhold skal udføres i overensstemmelse med Eurocode 7, 2007, 2. udgave, afsnit 4.3 og 5.3.4, samt det tilhørende danske annekse.

11 Supplerende undersøgelser

Hvis styrke- og stivhedsparametrene i de intakte sandaflejringer er dimensionsgivende for hhv. tunnelen eller den midlertidige afstivning, anbefales der suppleret CPT-sonderinger.

12 Afsluttende bemærkninger

Der gøres opmærksom på, at det, i henhold til Miljøministeriets "*Bekendtgørelse om udførelse og sløjfning af borer og brønde på land*", er ejeren af boringen som har ansvaret for at boringen bliver sløjfet. Boringen skal sløjfes af ejeren/grundejeren senest 1 måned efter endt brug af boringen.

Andreasen & Hvidberg kan være behjælpelig med yderligere vurderinger i sagen – herunder:

- Udførelsen af supplerende undersøgelser (CPT-sondering, pladebelastningsforsøg m.m.)
- Geostatistiske pæleberegninger
- Udarbejdelse af projekteringsrapport, kontrolplaner m.m.
- Geoteknisk fagtilsyn
- Sløjfning af borer
- Jordhåndtering i forbindelse med bortkørsel af jord

STANDBILAG NR. 1

Signaturer og forkortelser

SITUATIONSPLAN

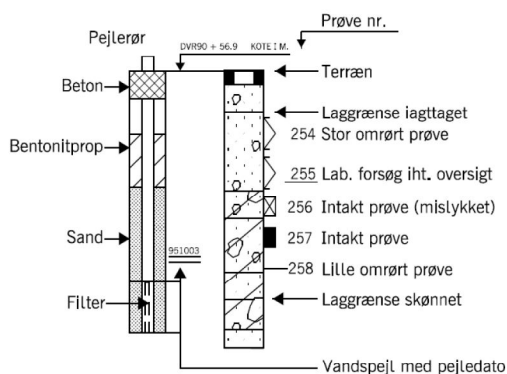
	Geoteknisk boring med prøveoptagning
	Geoteknisk boring med prøveoptagning og vingeforsøg
	CPT
	SPT/Rammesondering
	Gravning med prøveoptagning
	Vingeforsøg
	Lagfølgeboring

JORDARTSSIGNATURER (kan kombineres)

	STEN		FYLD
	GRUS		MULD
	SAND		TØRV
	SILT		TØRVEDYND
	LER		GYTJE
	MORÆNELER (dvs. LER, siltet, sandet, gruset, stenet, glacial)		SKALLER
	MORÆNESAND (dvs. SAND, leret, siltet, gruset, stenet, glacial)		PLANTERESTER / ORGANISKHOLDIG
	KALK		

NOTE: I morænejordarter må der forventes varierende indhold af sten og blokke.
I kohæsive jordarter må der generelt forventes et varierende indhold af vandførende sandlag.
Grundet spændingsændringer må der i afgravningssituationer forventes en betydelig reduktion af styrken i kohæsive lag, i forhold til de i borerne målte vingestyrker.

BOREPROFIL



FORSØG

C_{fv} (kPa)	Forskydningsstyrke målt ved vingeforsøg i intakt jord
C_{rv} (kPa)	Forskydningsstyrke målt ved vingeforsøg i omrørt jord
γ (kN/m ³)	Rumvægt (forholdet mellem totalvægt og totalvolumen)
gl (%)	Glødetab (vægttab ved glødning i procent af kornvægt)
w (%)	Vandmassen i procent af tørmassen
w_L (%)	Vandindhold ved overgangen fra flydende til plastisk tilstand
w_P (%)	Vandindhold ved overgangen fra plastisk til halvfast tilstand
I_P (%)	$w_L - w_P$
ρ (t/m ³)	Forholdet mellem totalmasse og totalvolumen
ρ_d (t/m ³)	Forholdet mellem tørmasse og totalvolumen
ρ_s (t/m ³)	Tørstoffets middeldensitet
ka (%)	Massen af CaCO ₃ i procent af tørmassen
N	Standard penetrationsmodstand (SPT)

AFLEJRING

Br	Brakvand
Fe	Ferskvand
Fl	Flydejord
Fy	Fyld
Gl	Gletscher
Ma	Marin
Ne	Nedskyl
O	Overjord
Sk	Skredjord
Sm	Smeltevand
Vi	Vind

GEOLOGISK ALDER

Re	Recent
Pg	Postglacial
Sg	Senglacial
Gc	Glacial
Ig	Interglacial
Is	Interstadial
Ng	Neogen
Pn	Palæogen
Mi	Miocæn
Ol	Oligocæn
Eo	Eocæn
Pl	Palæocæn
Sl	Selandien
Da	Danien
Kt	Kridt

FORKORTELSER

enk.	enkelte
sort.	sorteret
st.	stærkt
sv.	svagt
kalkf.	kalkfrit
kalkh.	kalkholdigt
mellem	mellemkornet
strb.	striber
orgh.	organiskholdigt
part.	partier

STANDBILAG NR. 2

Frostfølsomhedsbedømmelse

Jordarternes egenskaber i relation til frost er vurderet uden brug af laboratorieforsøg.

I forbindelse med jordartsbeskrivelsen er givet en umiddelbar vurdering af jordarterne, idet følgende signaturer er benyttet:

- ++ Jordarterne må betragtes som opfrysningsfarlige under praktisk taget alle betingelser, og opfrysningen sker relativ hurtigt, også ved kortere frostperioder og selv ved relativ stor afstand til grundvandet.
- + Jordarterne vil forårsage opfrysningsproblemer, hvis forholdene begunstiger opfrysningen; opfrysningen vil ske relativ hurtigt, men afstanden til grundvandet vil være afgørende.
- (+) Jordartende vil - ligesom de ovennævnte - forårsage opfrysningsproblemer, hvis forholdene begunstiger det, og i dette tilfælde selv med anseelig afstand til grundvandsspejlet; men den kapillære opsugning vil foregå så langsomt, at der skal længere frostperioder til for at sætte opfrysningsprocessen i gang.
- Jordarterne er ikke opfrysningsfarlige efter prøven at bedømme, men man må sikre sig, at der ikke forekommer mere opfrysningsfarlige lag i serien.
- Jordarterne er absolut uden opfrysningsfare, også uanset lokale forhold.
- ? Frostfaren kan ikke bedømmes skønsmæssigt.
- +? Frostfaren vanskelig at bedømme og afhænger ret stærkt af de lokale forhold.
- ? Frostfaren vanskelig at bedømme og afhænger ret stærkt af de lokale forhold.

STANDBILAG NR. 3

Kalkindholdsbedømmelse

Følgende signaturer er benyttet:

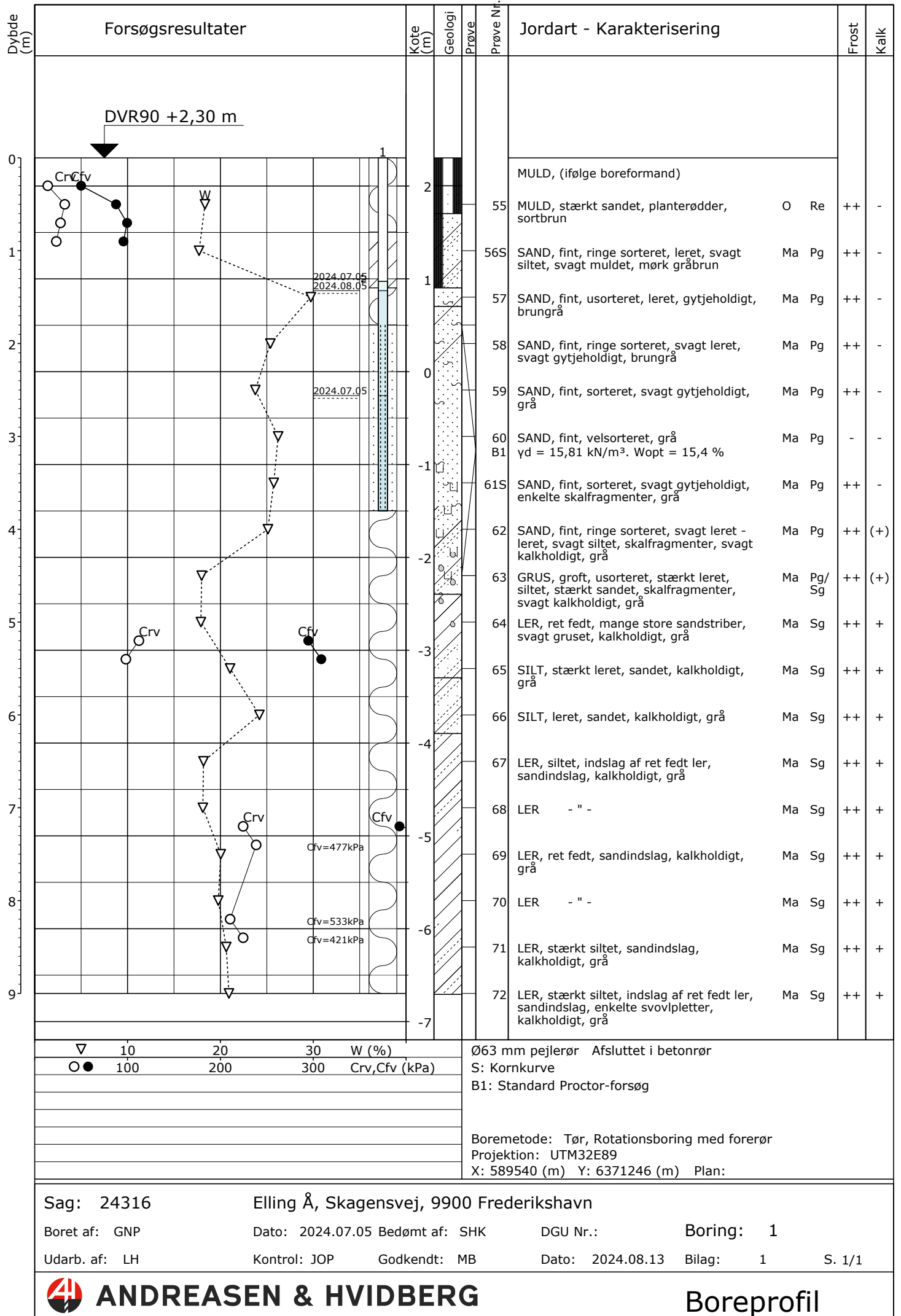
- Kalkfri

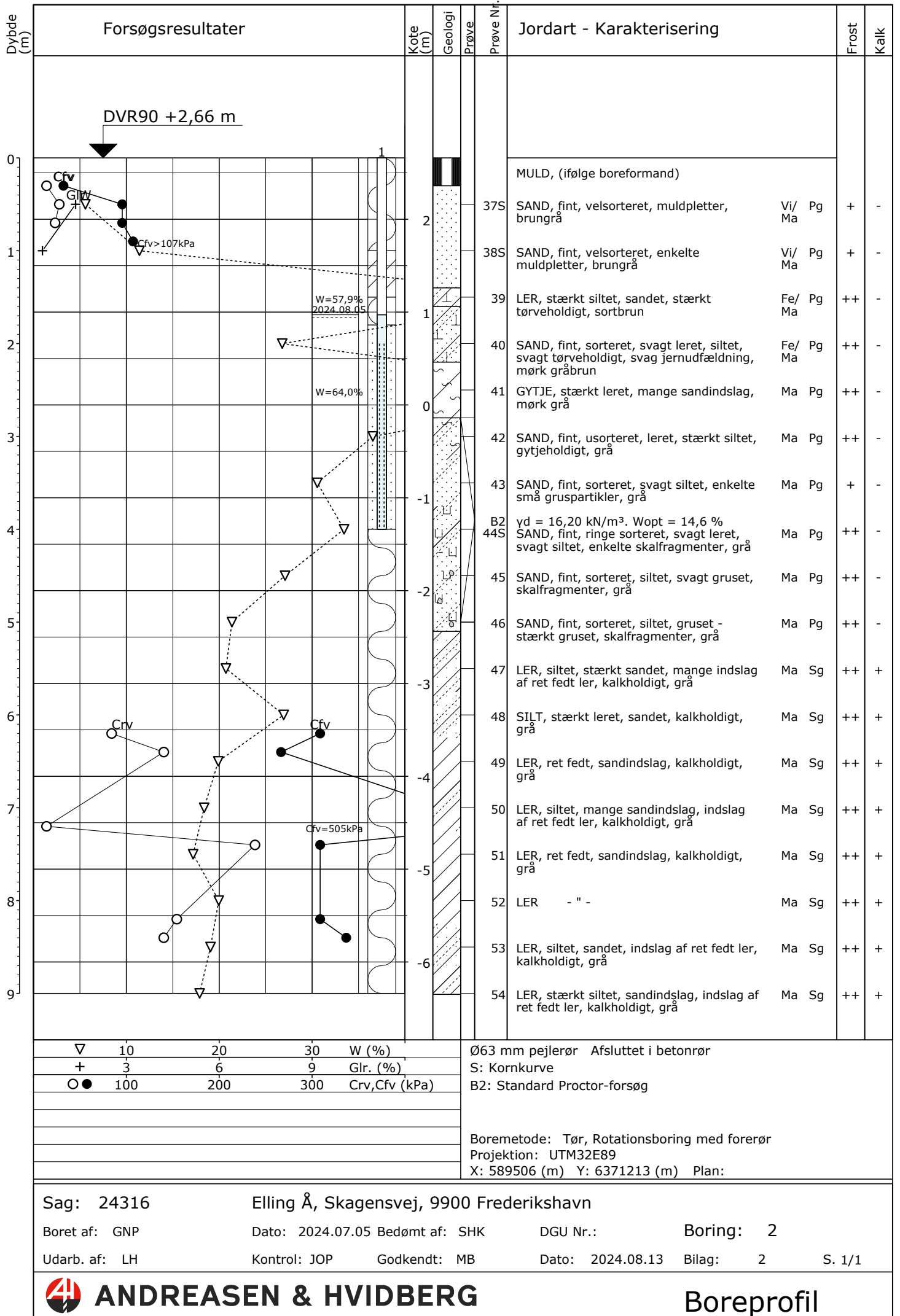
- (+) Svagt kalkholdigt

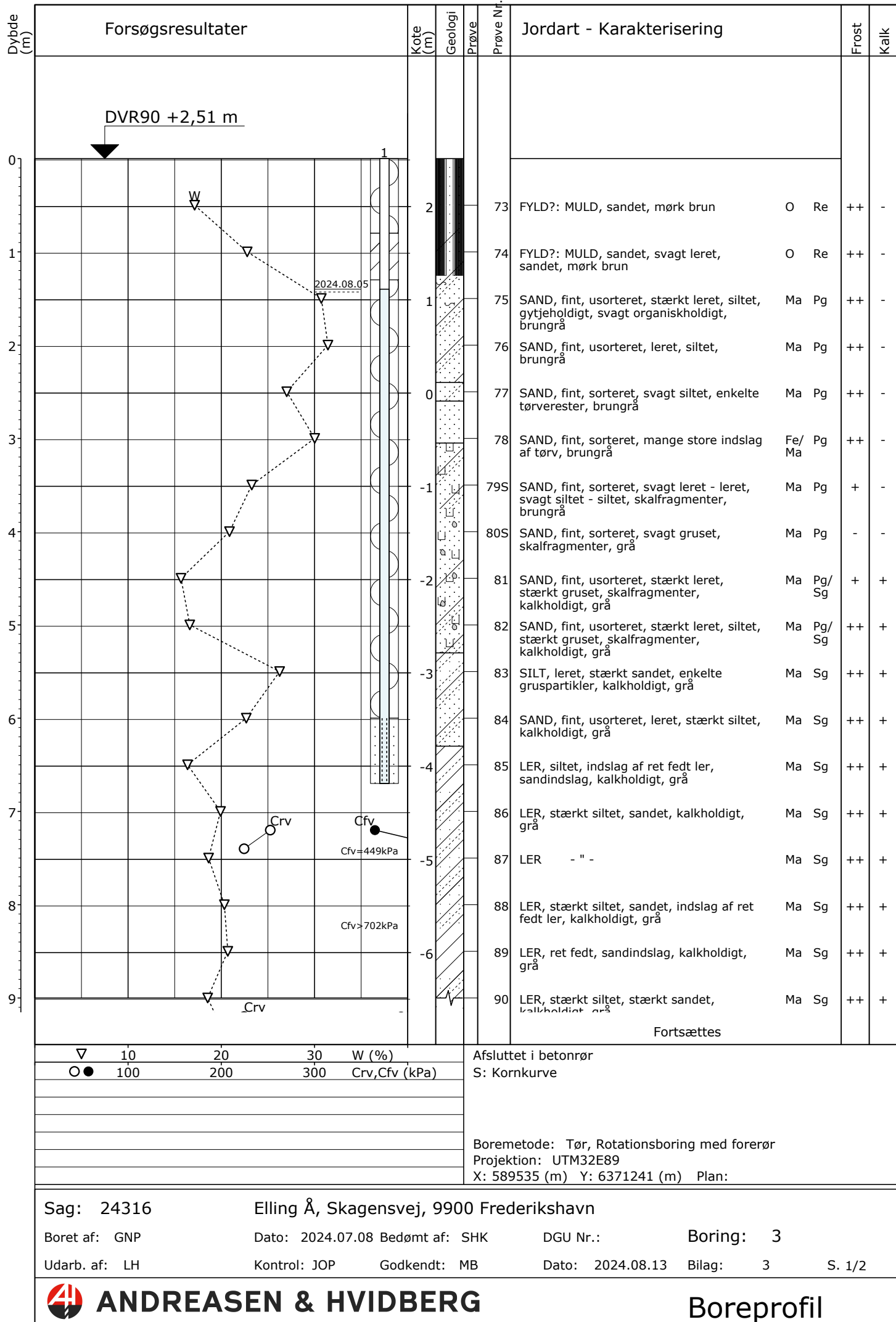
- + Kalkholdigt

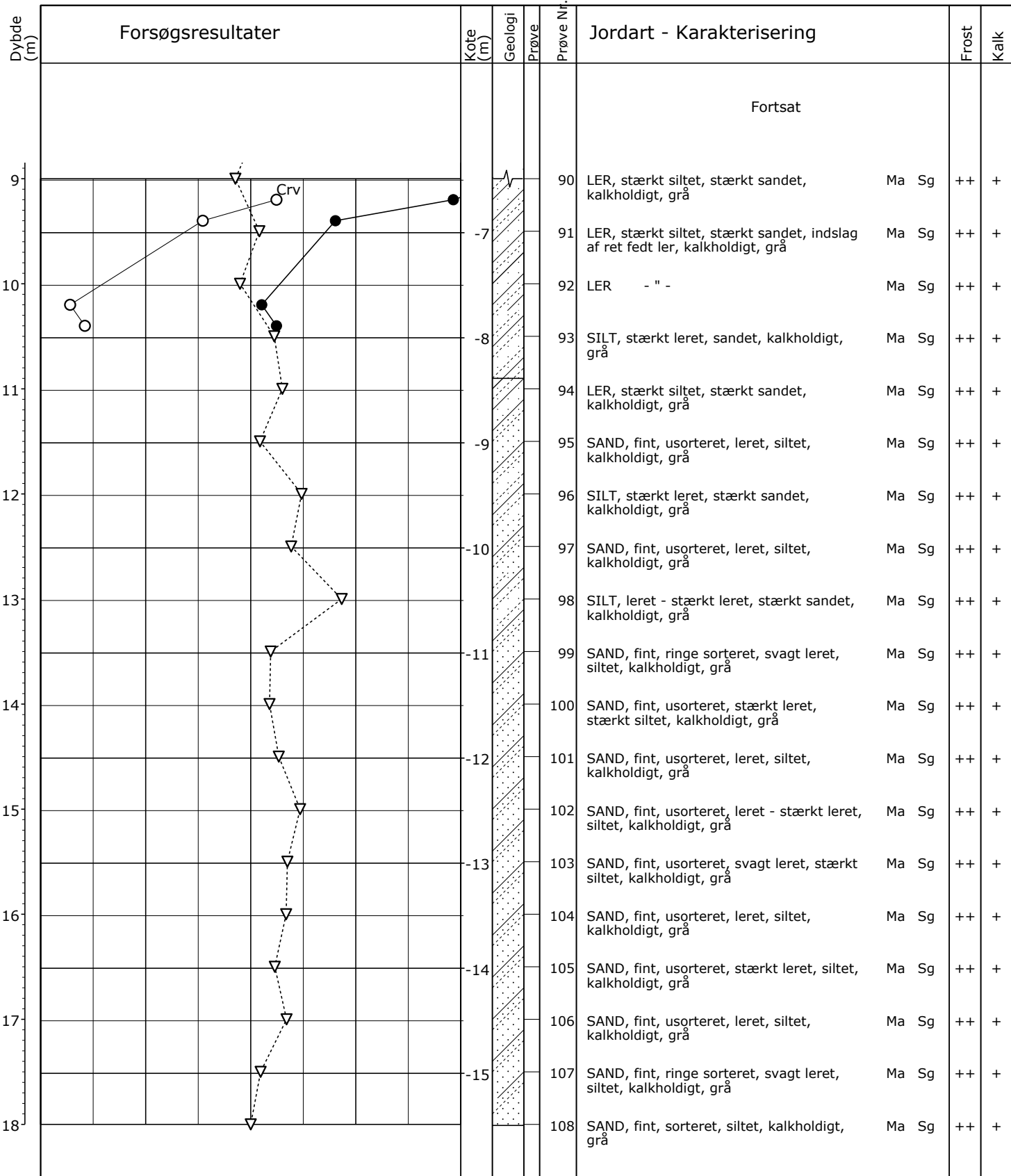
- ++ Stærkt kalkholdigt

Bilag 1









Sag: 24316

Elling Å, Skagensvej, 9900 Frederikshavn

Boret af: GNP

Dato: 2024.07.08 Bedømt af: SHK

DGU Nr.:

Boring: 3

Udarb. af: LH

Kontrol: JOP

Godkendt: MB

Dato: 2024.08.13

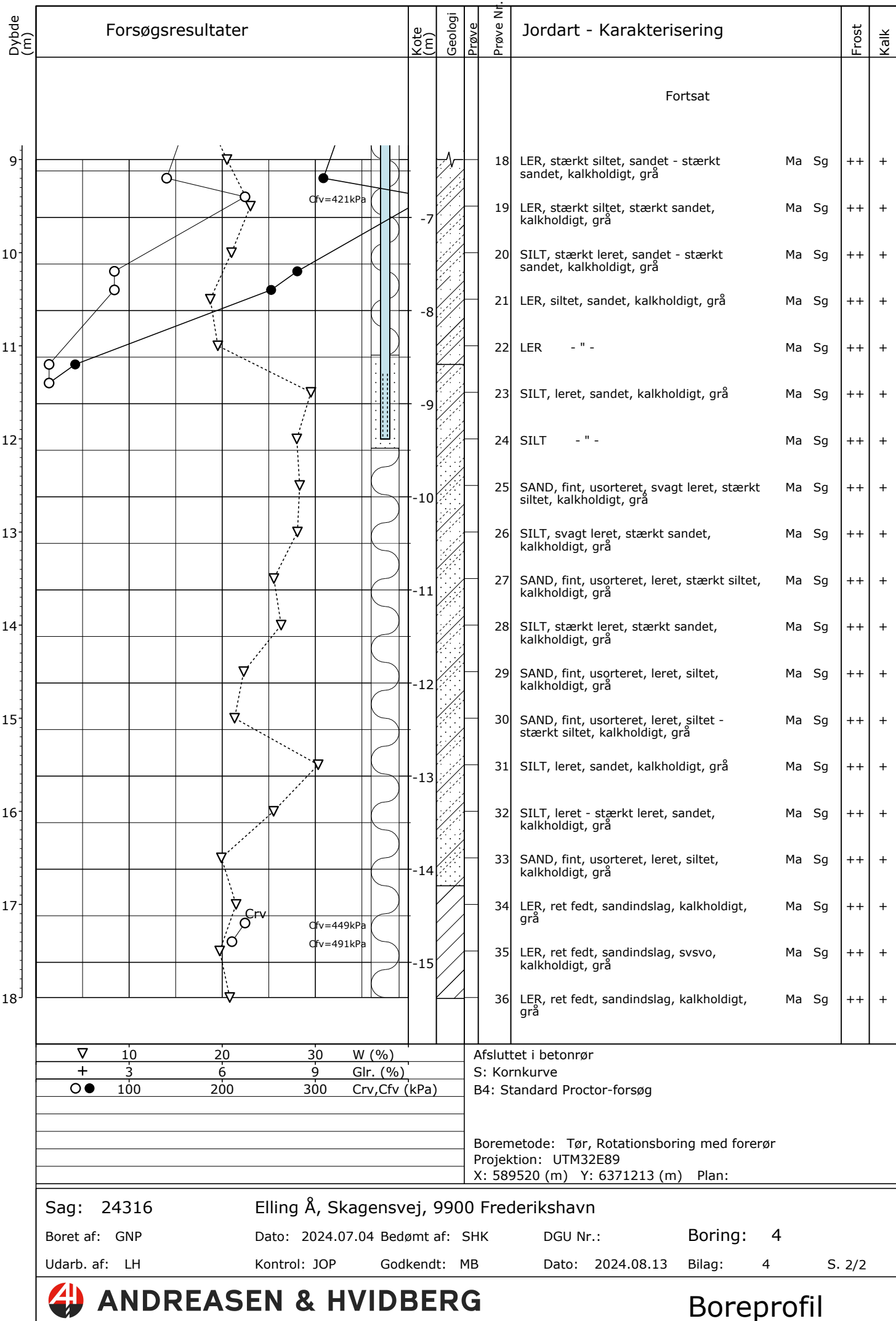
Bilag: 3

S. 2/2

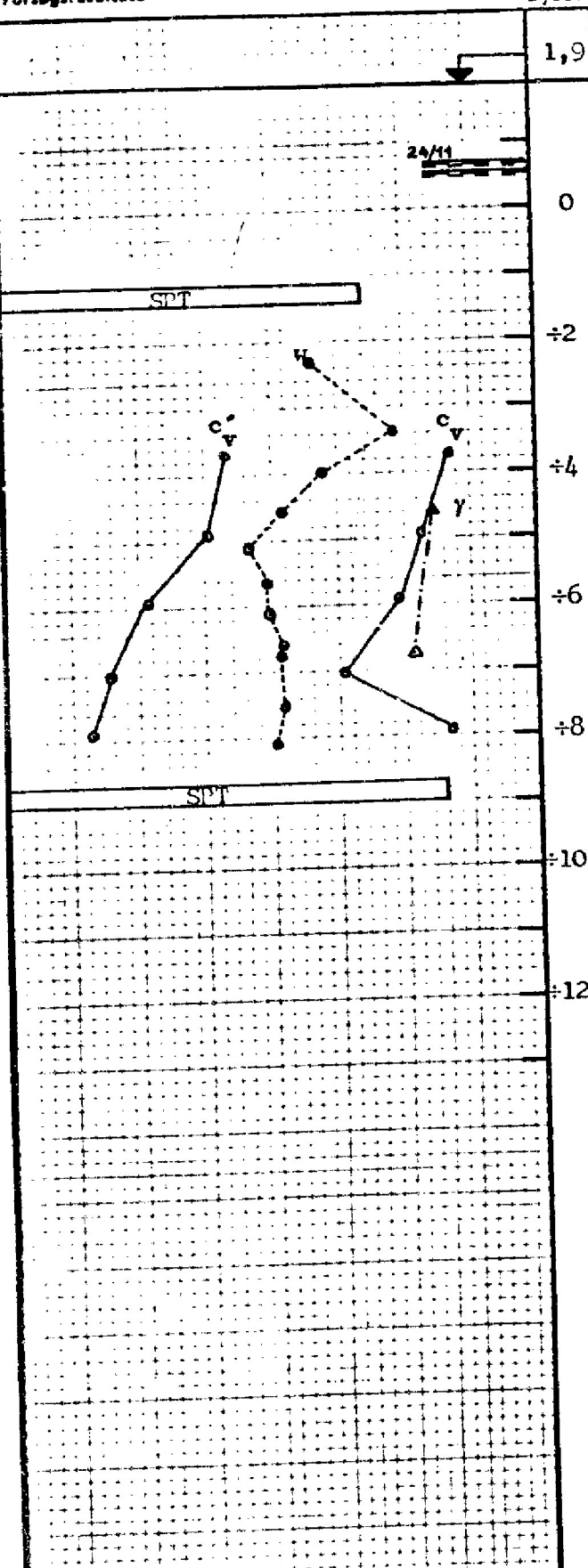


ANDREASEN & HVIDBERG

Boreprofil



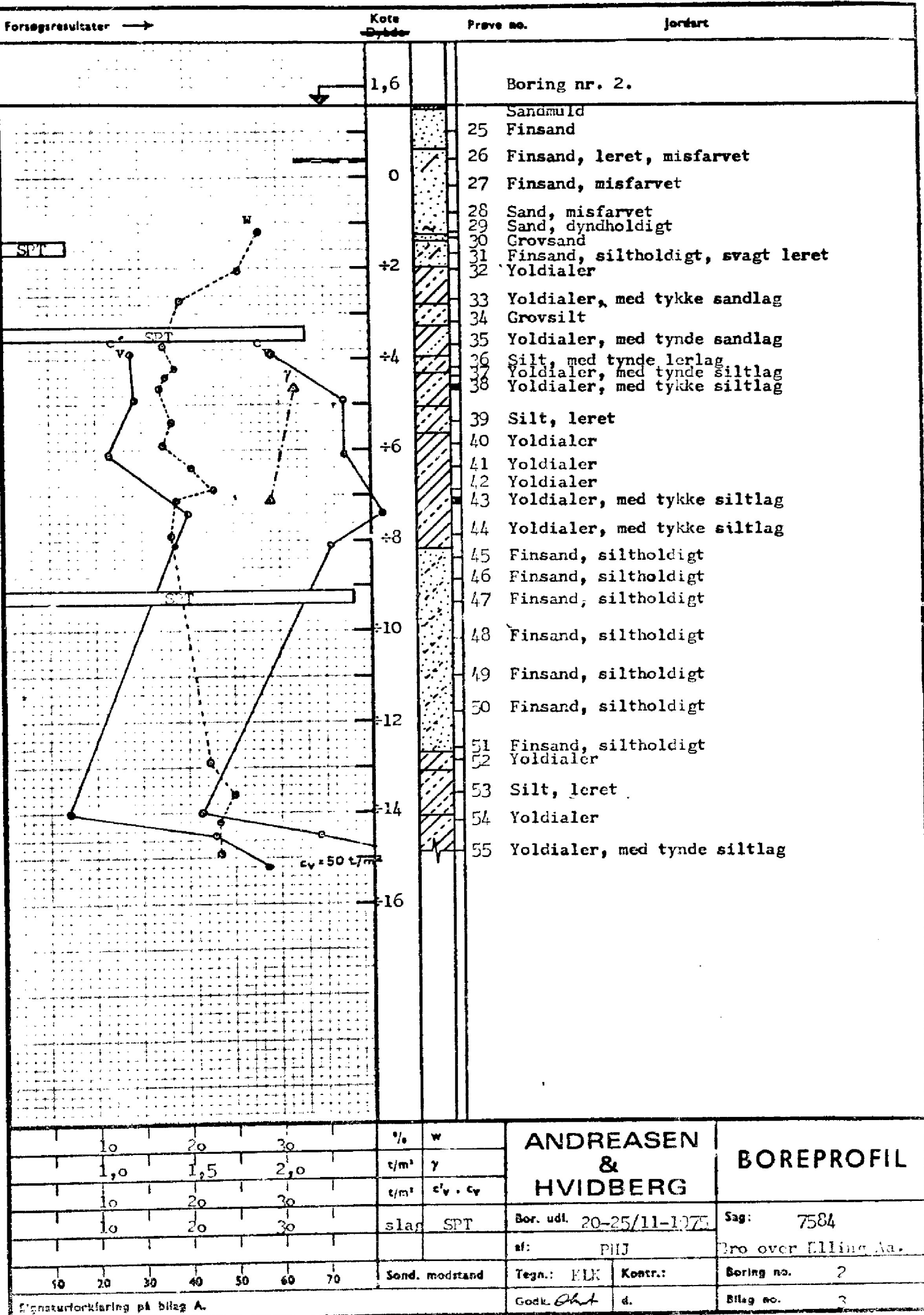
Bilag 2



Boring nr. 1.

- 1 Muld, sandet, fyld
Finsand, misfarvet
- 2 Sand, med misfarvede partier
- 3 Sand
- 4 Finsand
- 5 Finsand
- 6 Sand, grusholdigt, med skaller
- 7 Ler, fedt
- 8 Grovsilt, sandet, svagt leret
- 9 Yoldialer, med tynde siltlag
- 10 Yoldialer, sprækket, med tynde siltlag
- 11 Yoldialer, med tykke lag af finsand
- 12 Ler, fedt
- 13 Ler, fedt, med tynde siltlag
- 14 Silt
- 15 Ler, fedt
- 16 Yoldialer, med tykke lag af finsand
- 17 Silt, leret
- 18 Ler, fedt, med tykke siltlag
- 19 Finsand
- 20 Finsand
- 21 Finsand
- 22 Finsand
- 23 Finsand
- 24 Finsand

10	20	30	%	w	ANDREASEN & HVIDBERG		BOREPROFIL
1,0	1,5	2,0	t/m ³	γ			
10	20	30	t/m ³	c _v · c _v			
10	20	30	slag	SPT	Bor. udt. 18-19/11-1975	Sag: 7584	Bro over Elling Aa.
10	20	30			af: F H		
10	20	30	Sond. modstand		Tegn.: KIK	Kontr.:	Boring no. 1
10	20	30			Godk. <i>AM</i>	d.	Bilag no. 2





Situationsplan 24316 Elling Å, Skagensvej , 9900 Frederikshavn			
Boring 1-2(75084) er omtrentligt placeret.			
Tegn.: TEP/LH	Godk.: MB	Dato: 31.07.2024	Rev.:
 ANDREASEN & HVIDBERG		Mål: 1:500 / A3	Bilag: S1