

Til
Viborg Kommune

Dokumenttype
Datarapport

Dato
November 2016

TAPHEDE

KORTLÆGNING AF

NEDSIVNINGSPOTENTIAL



Revision **1**
Dato **23. november 2016**
Udarbejdet af **Peter Thomsen, Charlotte Sinkbæk Schow**
Kontrolleret af **Mette Ryom Nielsen**
Godkendt af **Peter Thomsen**
Beskrivelse **Taphede - Kortlægning af nedsivningspotentialer**

Ref. 1100024676

INDHOLD

| | | |
|---|--|-----------|
| 1. | Indledning | 3 |
| 2. | Resultater fra DualEM kortlægningen | 7 |
| 2.1 | Middelmodstand i dybdeintervaller fra 0 til 6 m. | 7 |
| 3. | Boringer | 10 |
| 3.1 | Tykkelsen af den umættede zone | 13 |
| 3.2 | Sammensætningen af den umættede zone | 14 |
| 4. | Profiler | 16 |
| 5. | Analyser vedrørende regnvandsafledning | 18 |
| 5.1 | Recipients og strømningsveje | 18 |
| 5.2 | Mulighed for traditionel kloakering | 19 |
| 5.3 | Mulighed for overfladisk afledning på terræn | 19 |
| 5.4 | Mulighed for nedsvivning | 19 |
| 6. | Referencer | 21 |
| Appendiks A: DualEM421 - Metoden | | 22 |
| | Processering | 22 |
| | Geofysisk tolkning | 23 |
| | Tolkning af jordens elektriske modstand til litologi | 23 |

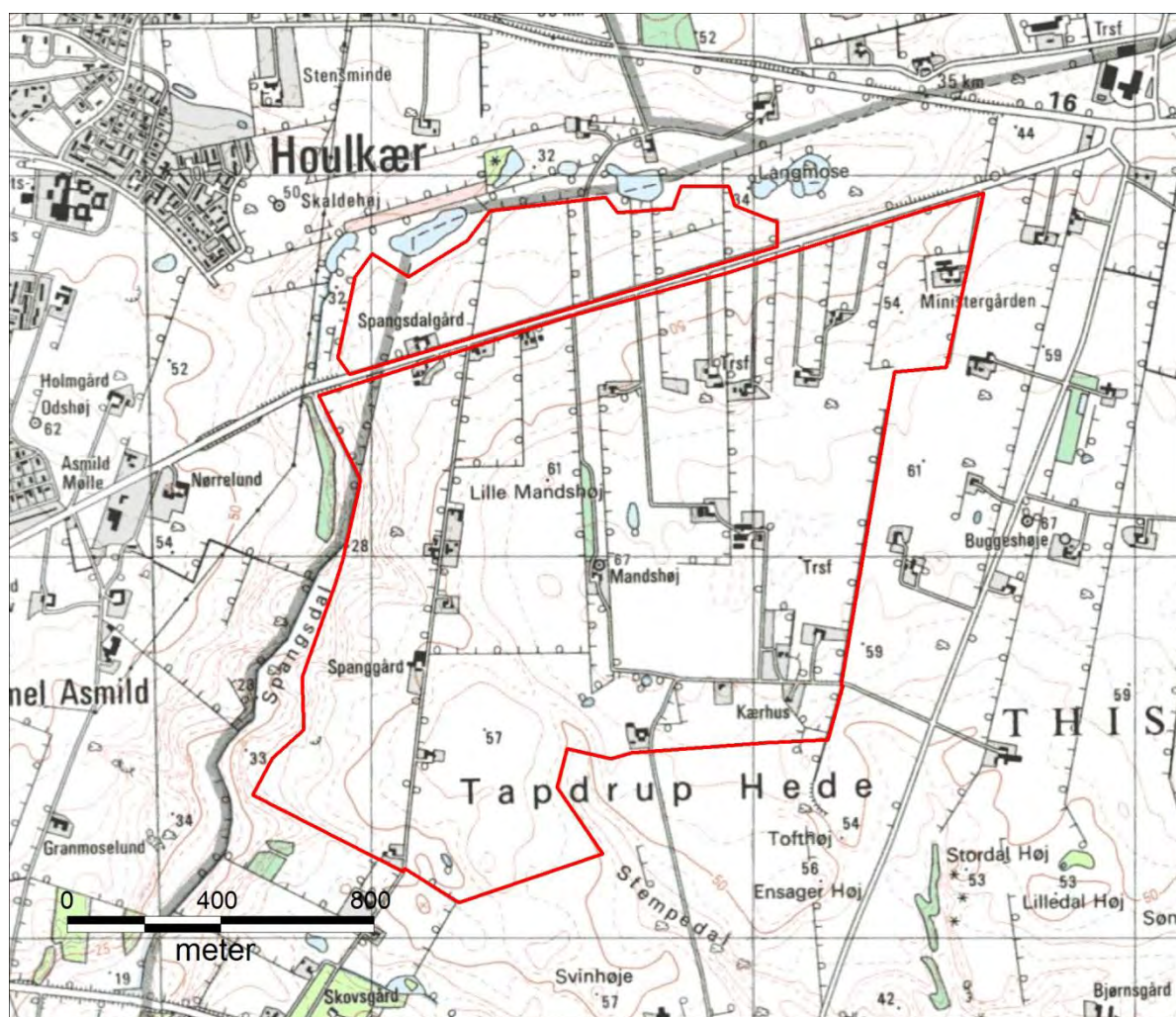
BILAG

- Bilag 1: Middelmodstandskort beregnet på baggrund af DualEM
- Bilag 2: Borejournaler for de 21 undersøgelsesboringer
- Bilag 3: Kornstørrelsesanalyser
- Bilag 4: Modstanden tykkelsen og sammensætningen af den umættede zone

1. INDLEDNING

Nærværende rapport omfatter afrapporteringen af udførte undersøgelser i projektområdet Taphede øst for Viborg, Figur 1. Arealet af området er på i alt 221 hektar.

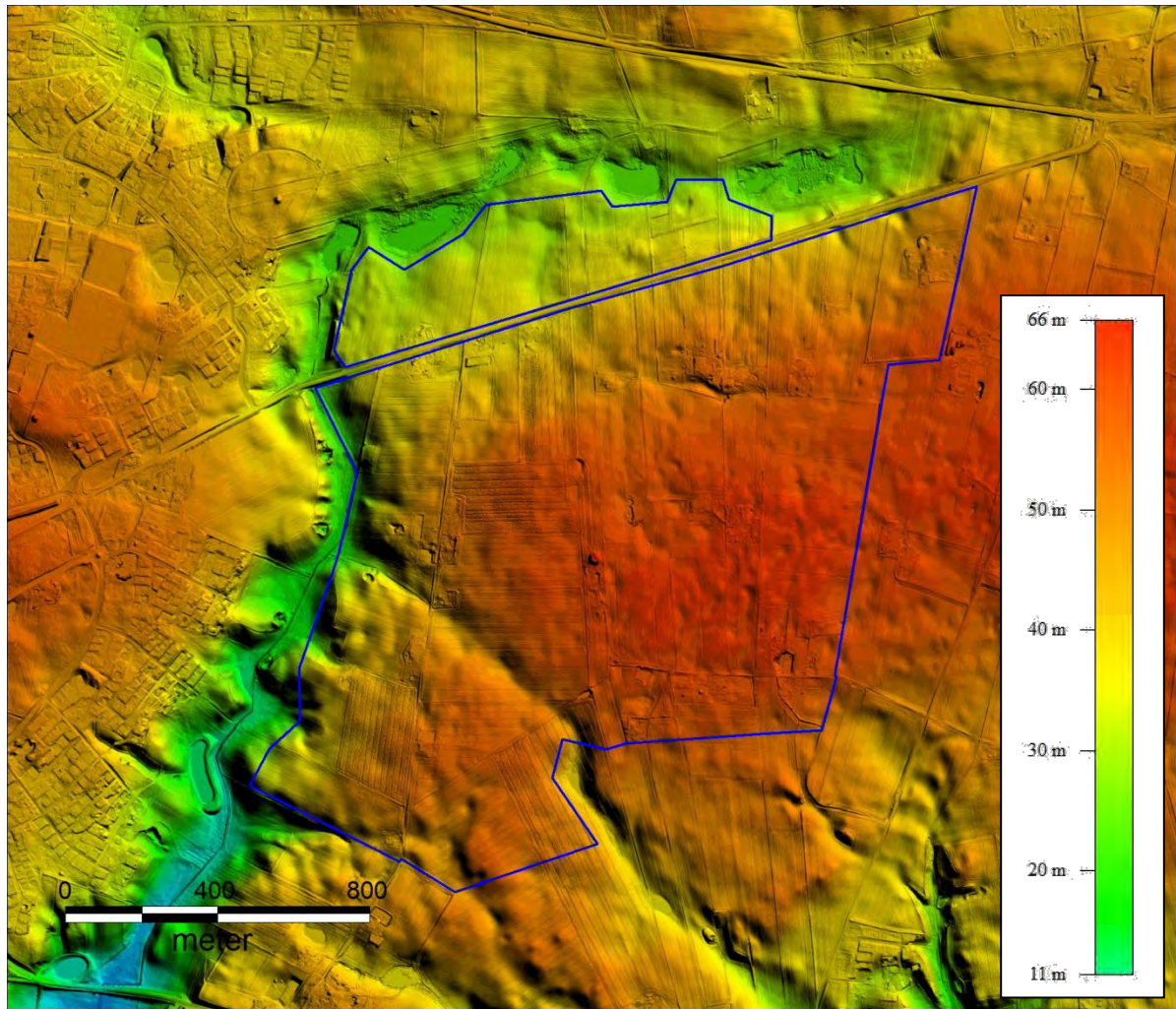
Formålet med undersøgelserne er at vurdere mulighederne for lokal afledning af regnvand i området. Undersøgelserne omfatter indledningsvis en detaljeret geofysisk kortlægning af de øvre jordlag udført med DualEM421 systemet. Metoden er yderst velegnet til en detaljeret kortlægning af de øverste 5 m til 10 m af jordlagene. Metoden kortlægger jordens elektriske modstand, der kan oversættes til geologiske aflejringer ved at sammenholde med boringsinformationer. Se Appendiks A for en generel beskrivelse af metoden og databehandlingen. På baggrund af resultaterne fra den geofysiske kortlægning er der placeret og udført i alt 21 undersøgelsesboringer med pejling af det terrænnære grundvandsspejl.



Figur 1 Placeringen af kortlægningsområdet ved Taphede markeret med røde afgrænsning.

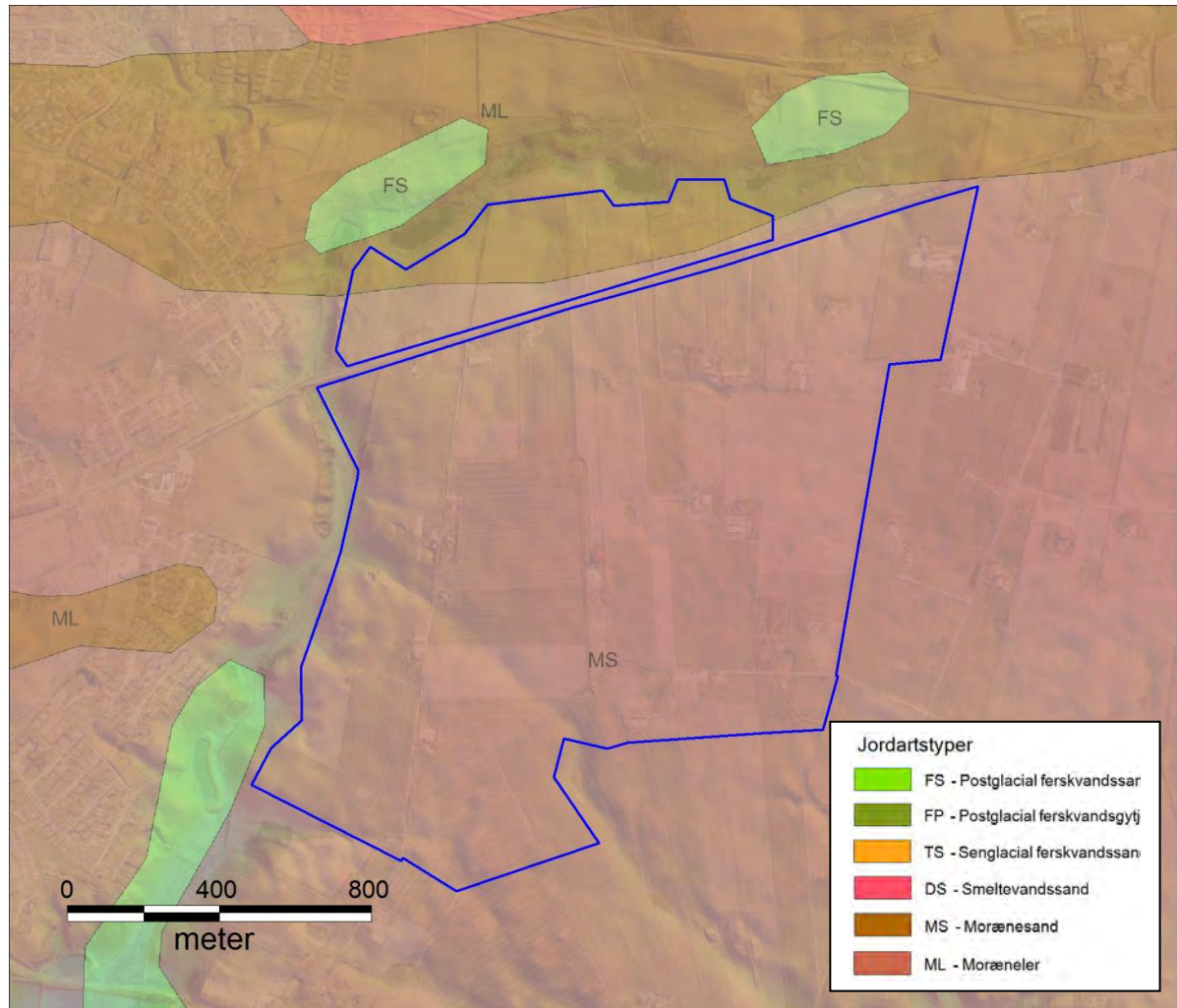
Det anbefales at resultaterne fra nærværende rapport indgår i den videre planlægning af området. Dels ved planlægning af afvandingsløsning og dels ved planlægning af en evt. senere geotekniske kortlægning/udredning af området.

Figur 2 viser terrænoverfladen indenfor kortlægningsområdet. Som det fremgår, varierer terrænet fra omkring kote 65 m o.h. i den centrale og sydøstlige del af området til omkring og under kote 20 m o.h. langs Vibæk/Spangsdalen, der udgør den vestlige og nordlige afgrænsning af området. I den sydvestlige del af området ses en NV-SØ orienteret nedskåret dal navngivet Stempedal.



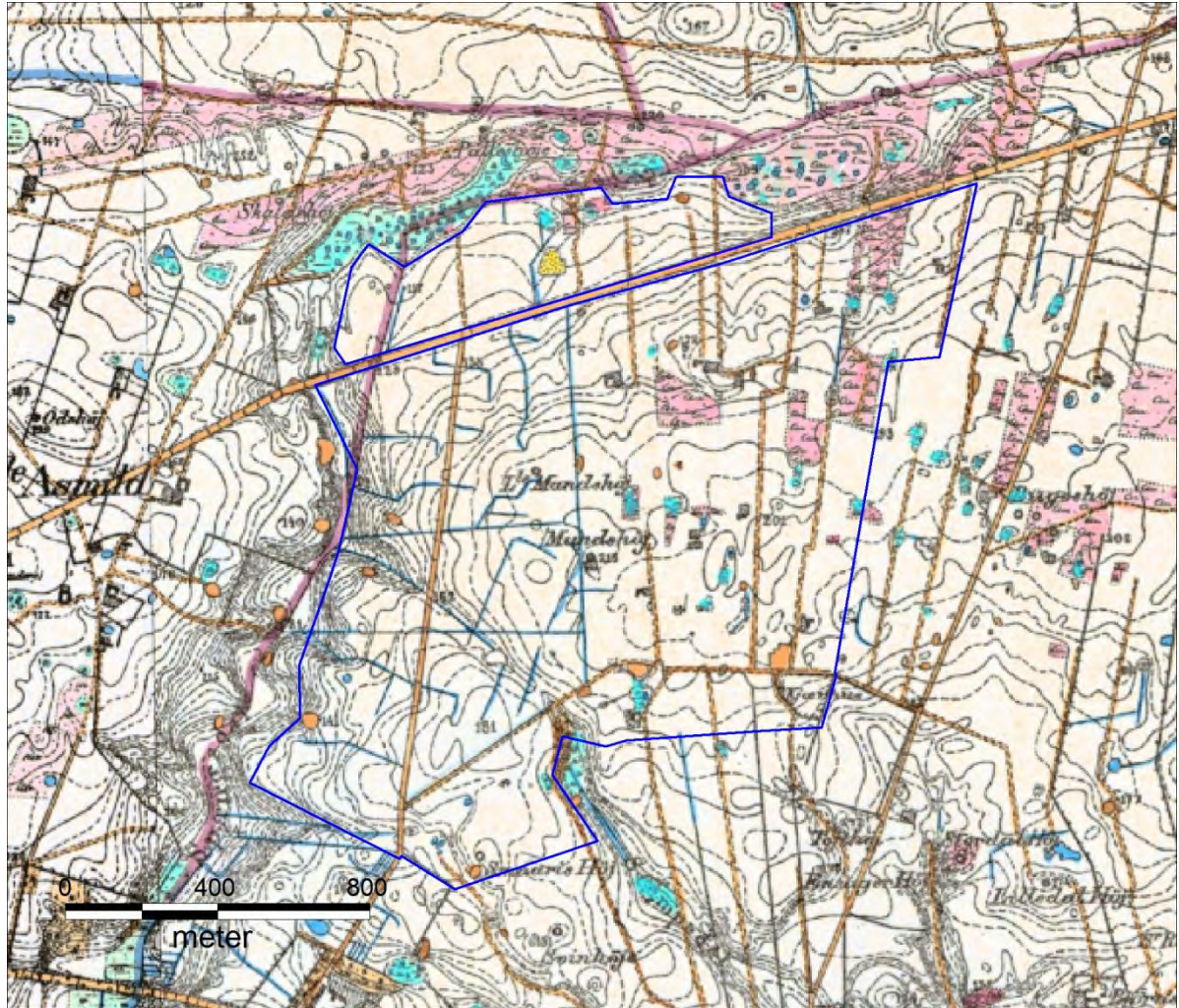
Figur 2 Terrænoverfladen indenfor kortlægningsområdet (DHM/Terræn (0,4 m grid))

På Figur 3 er jordartskortet for området vist i en opløsning, der dog er optimeret til en større skala svarende til 1:200.000, da området endnu ikke er omfattet af de mere detaljerede kort i 1:25.000. Som det fremgår, er området præget af morænesand, med moræneler i den nordligste del. Ifølge jordartskortet findes ingen blødbundsaflejringer indenfor området, men til gængæld i en række afgrænsede områder umiddelbart udenfor nærværende kortlægningsområde.



Figur 3 Jordartskort (udarbejdet til opløsningen 1:200.000, men vist i 1:20.000), copyright GEUS

Det høje målebordsblad fra 1842-1899 for området er vist på Figur 4. Af kortet ses, at der i området findes et antal mindre vådområder, hvilke kan have givet anledning til afgrænsede områder med blødbundsaflejringer, af begrænset mægtighed. Mod nord grænser området op til et større decideret vådområde, langs den nordlige del af Spangsdalen. Herudover ses vådområde i den NV-SØ orienterede Stempedal, umiddelbart uden for området.



Figur 4 Målebordsblad over området ved Søndergård, 1842-1899

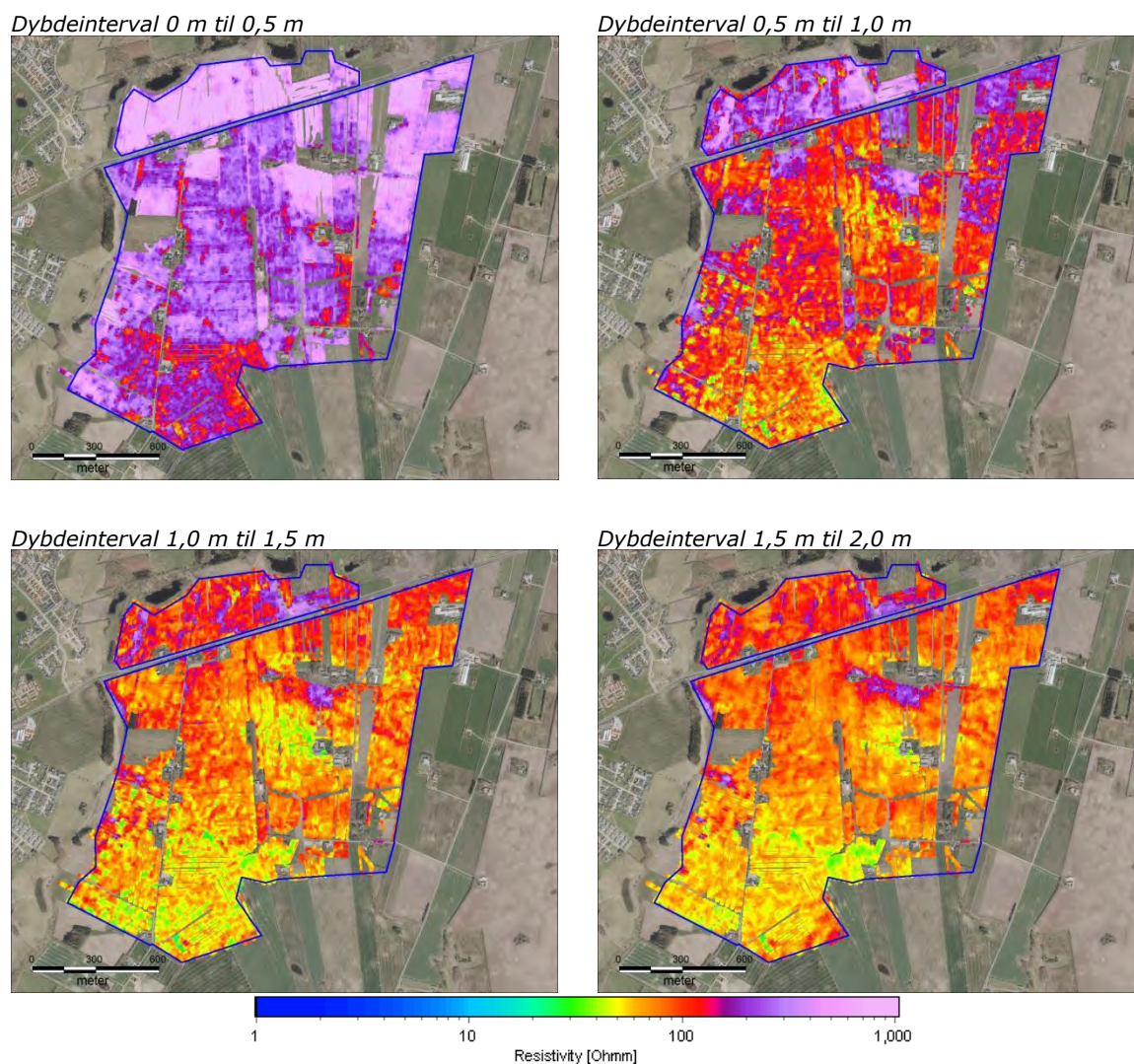
2. RESULTATER FRA DUALEM KORTLÆGNINGEN

Der er i løbet af fem dag i perioden fra d. 16. til 28. september 2016 indsamlet i alt ca. 260 km DualEM. For at opnå den ønskede detaljeringsgrad er der indsamlet data langs linjer med en indbyrdes afstand af 10 meter mellem linjerne. Pga. udfordringer med adgangsforholdene er der mindre områder, hvor det ikke har været muligt at indsamle data. Den overordnede vurdering er dog, at datadækningen er acceptable i forhold til at kunne beskrive mulighederne for nedsvivning i området. De indsamlede data vurderes at være af god kvalitet.

2.1 Middelmodstand i dybdeintervaller fra 0 til 6 m.

På baggrund af den geofysiske mangelags-tolkning er der beregnet middelmodstand/resistivitet i dybdeintervaller á 0,5 m fra terræn til 3 m's dybde, og i intervaller af 1 m fra 3 til 7 m u. t.

Den beregnede middelmodstand er præsenteret i Figur 5 som punkttema, og der er derfor ikke foretaget nogen form for gridning af de beregnede værdier. Kortene er præsenteret i større skala i bilag 1.1 til 1.10.

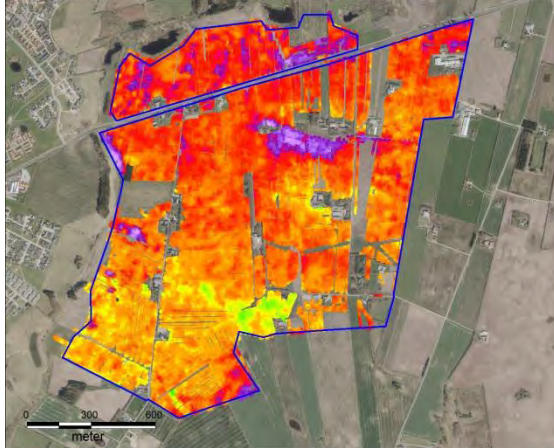


Figur 5 beregnet middelmodstand i dybdeintervaller á 0,5 m fra terræn til 2,0 m u.t.

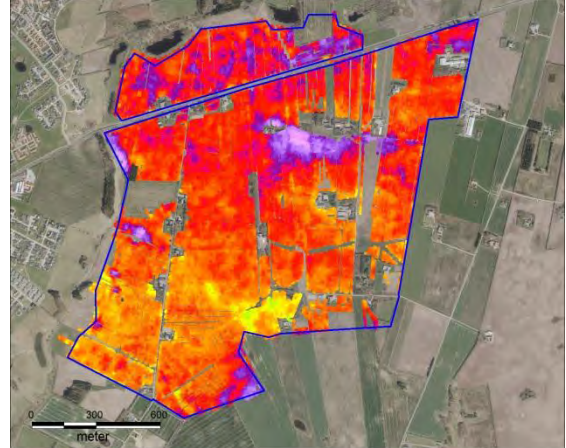
Som det fremgår Figur 5 og bilag 1.1 til 1.4, er den øverste halve meter præget af lag med høj modstand, i høj grad svarende til muldlaget. I intervallet fra 0,5 m til 1,0 m er modstanden lavere, i sær i den sydlige del af området, svarende til sandsynligvis mere lerede aflejringer. I den nordlige del af området er modstanden fortsat høj, svarende til overvejende sandede

aflejringer eller stærkt sandet moræneler. Fra en dybde af 1 m ses væsentligt lavere modstand i den sydlige del, svarende til overvejende lerede aflejringer. Kun i mindre afgrænsede områder i den nordlige del, er modstanden fortsat høj, svarende til sandede aflejringer.

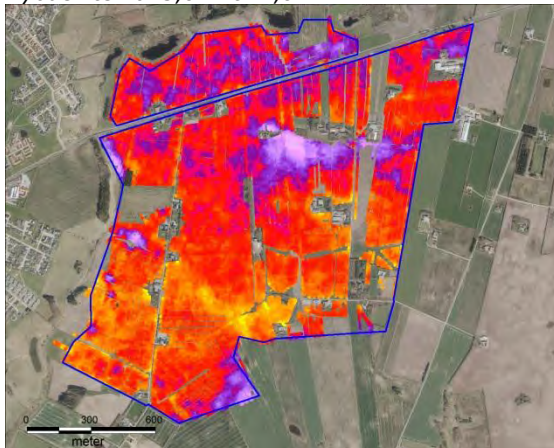
Dybdeinterval 2,0 m til 2,5 m



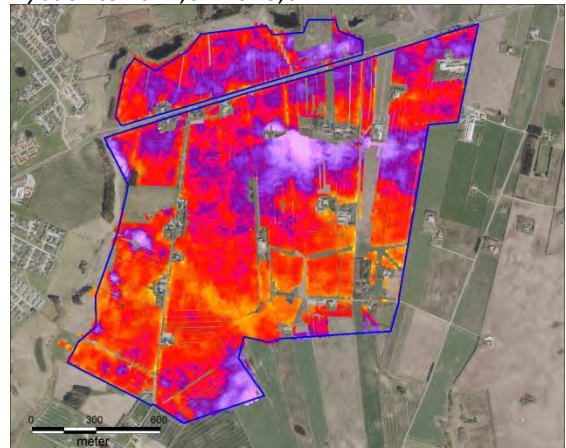
Dybdeinterval 2,5 m til 3,0 m



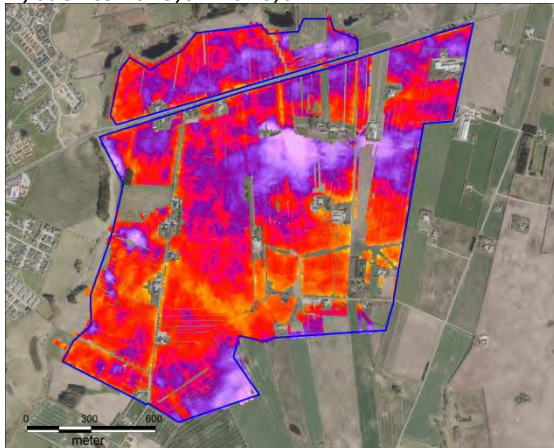
Dybdeinterval 3,0 m til 4,0 m



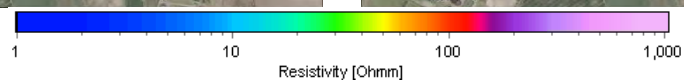
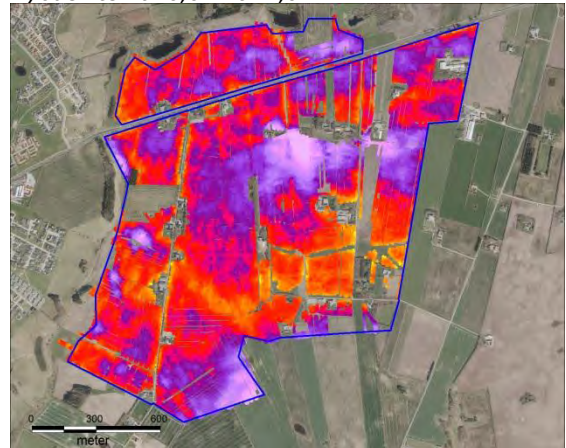
Dybdeinterval 4,0 m til 5,0 m



Dybdeinterval 5,0 m til 6,0 m



Dybdeinterval 6,0 m til 7,0 m



Figur 6 Middelmotstand i dybdeintervaller fra 2 m til 7 m.

På Figur 6, og i bilag 1.5 til bilag 1.10, ses den beregnede middelmodstand i intervaller fra 2 m til 7 m. Som det ses af intervallet fra 2 m til 2,5 m er modstanden fortsat lavest i den sydligste del af området, med lavest modstand, svarende til lerede aflejringer, i et mindre afgrænset område i den centrale sydlige del. Fra en dybde af 3 m bliver modstanden gradvist højere igen, og dermed sandsynligvis mere sandede. De højeste modstande findes i den nordlige og centrale del af området. Fra 4 m til 7 m er modstanden stort set uændret, med områderne med høj modstand hhv. i den central nordlige del og i den sydøstligste hjørne af området.

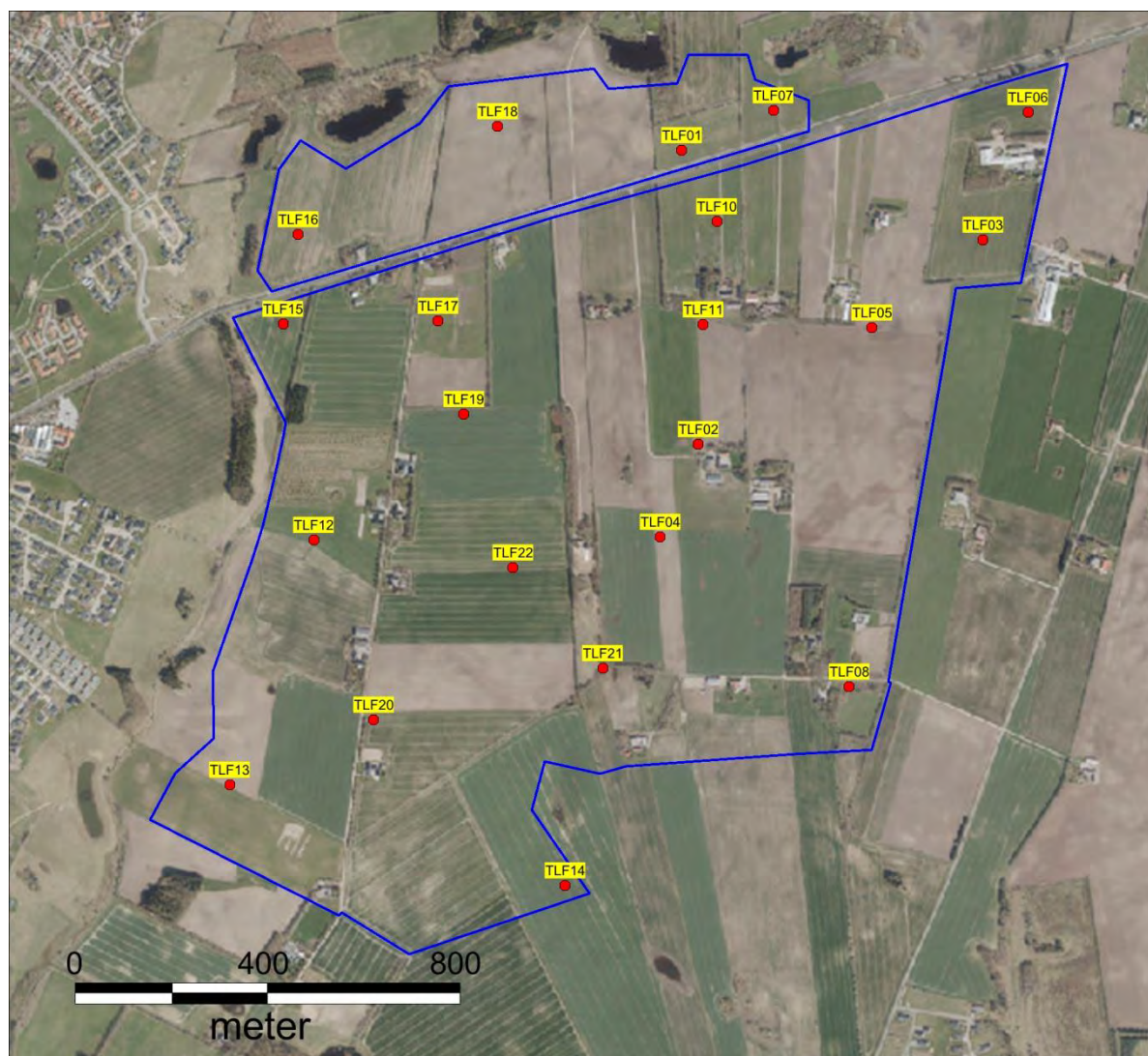
3. BORINGER

Der er udført 21 undersøgelsesboringer indenfor projektområdet, Figur 7. Placeringen af borerne er planlagt i henhold til:

- At verificere de kortlagte variationer i jordens elektriske modstand i forskellige dybdeintervaller, dvs. der er placeret borerne ift. både lav- og højmodstandsområder.
- Den digitale højdemodel (DHM/Terræn og DHM/Højdekurver)
- Orthofoto

Forud for borearbejdet er placeringen af de 21 borer godkendt af Viborg Kommune og ledningsoplysninger er hentet gennem LER.

Boringerne er sat af med en pæl og placeringen er indmålt med DGPS med en nøjagtighed på +/- 2 cm.



Figur 7 Placeringen af de 21 lagfølgeboringer, TLF01 til TLF22.

Boringerne er udført af Jysk Geoteknik d. 3. november 2016, og har en boreddybde på 4 m. Der er installeret et Ø25 pejlerør, og der er foretaget en pejling af rovandsspejlet d. 11. november 2016, dvs. 8 dage efter borerne er udført. På grund af problemer med adgangsforholdene er boring TLF09 udgået og forekommer derfor ikke af præsentationerne.

Der er foretaget ingeniør-geologisk prøvebestemmelse af jordprøver, udtaget for hver halve meter, og vandindholdet i jordprøverne er beregnet efter tørring. Borejournalerne for de 21 borer er vedlagt som bilag 2. I Tabel 1 er informationer fra samtlige borer noteret. Som det fremgår af tabel 1, er der kun ved tre af borerne (TLF03, TLF10 og TLF20) pejlet et grundvandsspejl. Ved de resterende 18 borer er der ikke registreret et vandspejl, hvilket betyder at grundvandsspejlet som minimum er beliggende 4 m under terræn. Koterne for vandspejlet for disse borer er derfor angivet som en maksimumsværdi. Udover vandspejlskoten er der i tabellen angivet hovedbestanddelen af den umættede zone. Udover de angivne aflejringer er der i samtlige borer øverst beskrevet et muldlag med en tykkelse varierende fra 0,1 m til 0,65 m.

| ID | Kote [DVR90] | Vandspejl [m u.t.] 11-11-2016 | Vandspejl ¹ [m o.h.] 11-11-2016 | Etablerings -dato | Beskrivelse af hovedbestanddelen af den umættede zone | Prøvedybde [m] | K-Værdi [m/s] | Finstof i % | d60/d10 |
|-------|--------------|-------------------------------|--|-------------------|--|----------------|---------------|-------------|---------|
| TLF01 | 43,26 | Tør | <39,26 | 03-11-2016 | MORÆNESAND, mellem, leret, siltet, sv. gruset | | | | |
| TLF02 | 60,22 | Tør | <56,22 | 03-11-2016 | MORÆNELER, siltet, sandet, sv. gruset MORÆNESAND, mellem, sv. leret, sv. siltet, sv. gruset | | | | |
| TLF03 | 57,49 | 1,70 | 55,79 | 03-11-2016 | MORÆNELER, sandet, siltet, sv. gruset | | | | |
| TLF04 | 61,36 | Tør | <57,36 | 03-11-2016 | MORÆNELER, sandet, siltet, sv. gruset | | | | |
| TLF05 | 57,97 | Tør | <53,97 | 03-11-2016 | MORÆNELER, sandet, siltet, sv. gruset MORÆNESAND, mellem, leret, siltet, sv. gruset | | | | |
| TLF06 | 51,67 | Tør | <47,67 | 03-11-2016 | SAND, mellem, ringe graderet, sv. siltet, gruset MORÆNESAND, mellem, leret, siltet, gruset MORÆNELER, sandet, siltet, sv. gruset | | | | |
| TLF07 | 38,87 | Tør | <34,87 | 03-11-2016 | MORÆNESAND, mellem, leret, sv. siltet, sv. gruset MORÆNELER, sandet, siltet, sv. gruset SAND, fint - mellem, sort., sv. gruset | 3,0 m | 1,0 E-04 | 7,5 | 4,3 |
| TLF08 | 59,31 | Tør | <55,31 | 03-11-2016 | MORÆNELER, siltet, sandet, sv. gruset | | | | |
| TLF10 | 50,90 | Tør | <46,90 | 03-11-2016 | MORÆNELER, siltet, sandet, gruset | | | | |
| TLF11 | 54,57 | Tør | <50,57 | 03-11-2016 | MORÆNESAND, mellem, leret, siltet, gruset MORÆNELER, siltet, sandet, gruset SAND, mellem, sort., sv. gruset | 2,5 m | 1,9 E-04 | 6,3 | 3,2 |
| TLF12 | 34,66 | Tør | <30,66 | 03-11-2016 | MORÆNESAND, mellem - groft, sv. leret, sv. siltet, st. gruset SAND, mellem, sort., sv. gruset | 2,0 m | 1,4 E-04 | 6,1 | 4,0 |
| TLF13 | 41,90 | Tør | <37,90 | 03-11-2016 | MORÆNELER, siltet, sandet, sv. gruset | | | | |
| TLF14 | 51,69 | Tør | <47,69 | 03-11-2016 | MORÆNELER, siltet, sandet, sv. gruset | 4,0 m | 2,7 E-04 | 2,7 | 3,1 |

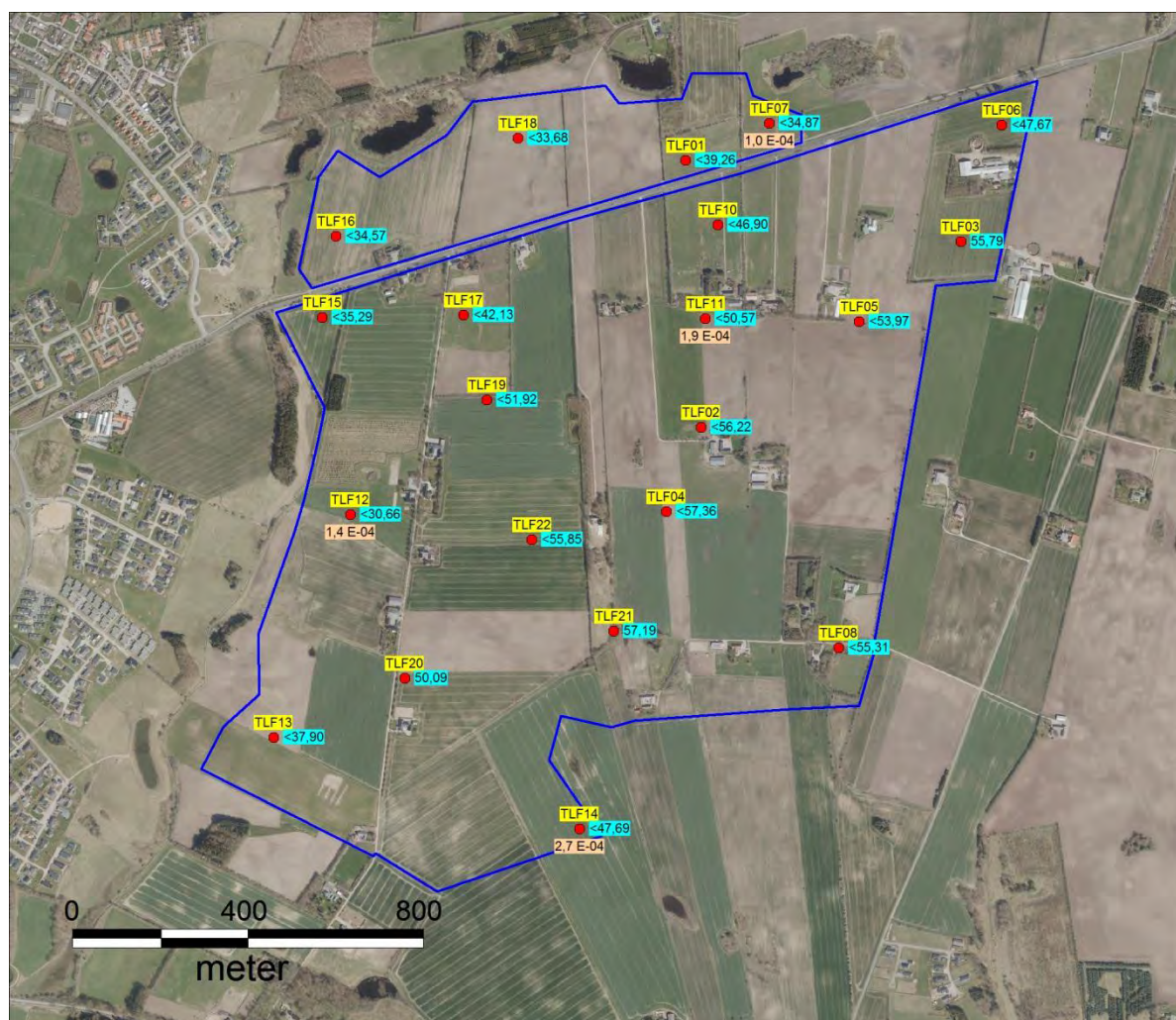
¹ Vandspejlskote er bestemt som en maksimumsværdi ud fra den viden, at vandspejlet er minimum 4 m u.t.

| | | | | | | | | | |
|--------------|-------|------|--------|------------|--|-------|--|------|------|
| | | | | | MORÆNESAND, mellem, sv. leret, siltet, sv. gruset SAND, mellem, sort., sv. gruset | | | | |
| TLF15 | 39,29 | Tør | <35,29 | 03-11-2016 | MORÆNELER, siltet, sandet, gruset | | | | |
| TLF16 | 38,57 | Tør | <34,57 | 03-11-2016 | MORÆNELER, siltet, sandet, gruset | 1,0 m | | 12,1 | >7,3 |
| TLF17 | 46,13 | Tør | <42,13 | 03-11-2016 | MORÆNESAND, mellem, leret, siltet, gruset MORÆNELER, siltet, sandet, gruset | | | | |
| TLF18 | 37,68 | Tør | <33,68 | 03-11-2016 | MORÆNELER, siltet, sandet, gruset | | | | |
| TLF19 | 55,92 | Tør | <51,92 | 03-11-2016 | MORÆNELER, siltet, sandet, gruset | | | | |
| TLF20 | 53,13 | 3,04 | 50,09 | 03-11-2016 | MORÆNELER, siltet, sandet, gruset | | | | |
| TLF21 | 59,80 | 2,61 | 57,19 | 03-11-2016 | MORÆNELER, siltet, sandet, gruset | | | | |
| TLF22 | 59,85 | tør | <55,85 | 03-11-2016 | MORÆNELER, siltet, sandet, gruset | | | | |

Tabel 1 Data fra de 21 boringer TLF01 til TLF22.

I fem af boringerne, hhv. TLF07, TLF11, TLF12 TLF14 og TLF16 er der udført kornstørrelsesanalyse. Ved 4 af prøverne er der tolket en porøsitet, og derfra et estimat af den hydrauliske ledningsevne K. Ved prøven fra TLF16 var der et finstofindhold på 12,1 %, hvorfor der her ikke er beregnet nogen porøsitet. Der er ikke konstateret store forskel i den hydrauliske ledningsevne, om varierer fra $1,0 \cdot 10^{-4}$ m/s til $2,7 \cdot 10^{-4}$ m/s, svarende til fint til mellemkornet sand.

På Figur 8 er potentialet for det terrænnære grundvandsspejl angivet dels som m u.t. og som kote for vandspejlet. Som nævnt er der ved 18 af de 21 boringer ikke registreret et vandspejl og koten er derfor en maksimumskote.

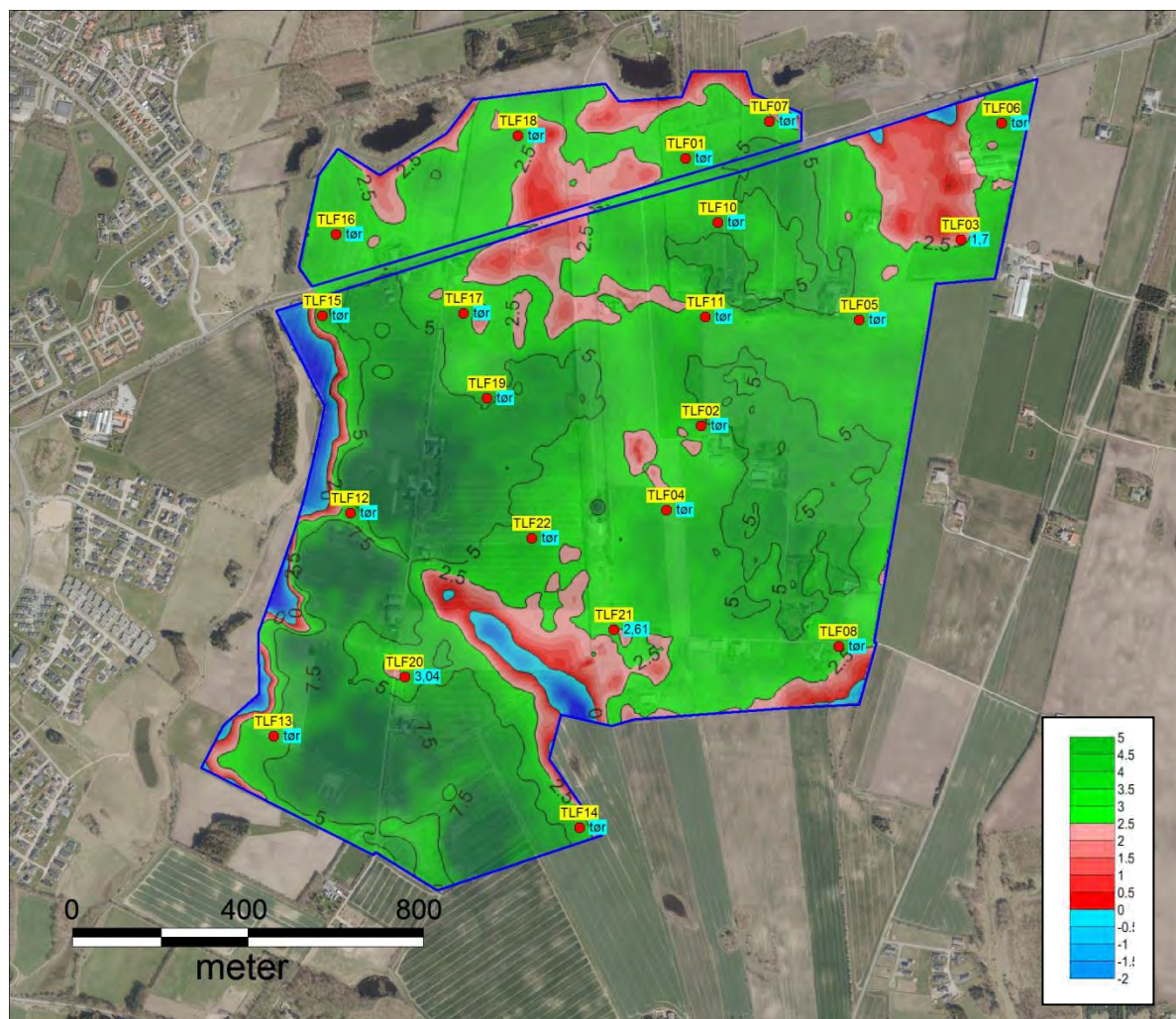


Figur 8 Placeringen af de 21 boringer sammen med pejlingerne, hhv. dybde under terræn (grøn) og koten for vandspejlet (blå), og den beregnede K-værdi.

3.1 Tykkelsen af den umættede zone

På baggrund af pejlingerne af det terrænnære vandspejl er der beregnet et fladedækkende potentiale for det terrænnære vandspejl. For at inddrage boringer, hvor der ikke er pejlet et grundvandsspejl, indgår disse med maksimumskote baseret på en minimums dybde på 4 m u.t. Den fladedækkende grundvandsspejlskote er herefter trukket fra den digitale højde model, hvorved tykkelsen af den umættede zone er beregnet som en minimumstykkelse, vist i Figur 9. Den umættede zone kan således lokalt være tykkere end hvad der er angivet på figuren. På grund af de generelt lerede aflejringer i området, skal vandspejlet ikke opfattes som et sammenhængende magasin, men blot som et udtryk for i hvilken dybde aflejringerne er vandmættede.

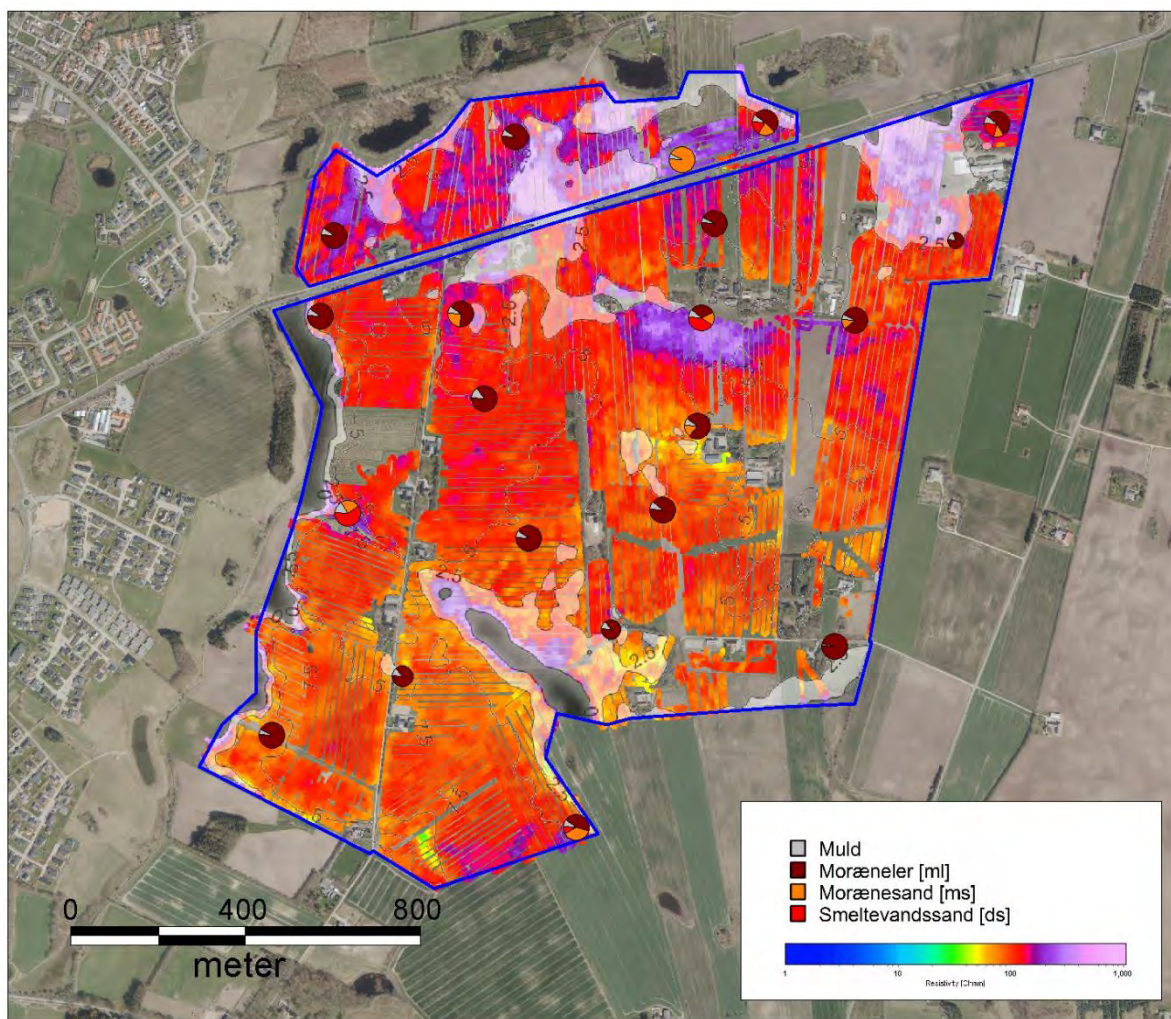
På Figur 9 er tykkelser af den umættede zone over 2,5 m angivet med grønne farver, mens en tykkelse mellem 0 m og 2,5 m er vist med røde farver. Endeligt er områder, hvor det modellerede terrænnære grundvandsspejl ligger over terrænet, vist med blå farver. Som det fremgår, er dette udbredt langs Spangsdal og Stempedal, samt lokalt i det nordøstlige og sydøstlige hjørne. Da der ikke findes boringer, hvor vandspejlet er pejlet tæt på terræn, fremkommer disse områder udelukkende på grund af at terrænet falder.



Figur 9 Estimeret tykkelse af den umættede zone. Tykkelsen skal betragtes som en minimumstykkelse.

3.2 Sammensætningen af den umættede zone

For at opnå en vurdering af sammensætningen af den umættede zone er der beregnet en middelmotstanden indenfor den umættede zone baseret på de indsamlede DualEM data. Middelmotstanden af den umættede zone er vist i Figur 10 og bilag 4. Figuren skal bruges til at udpege områder hvor nedsvivning kan lade sig gøre, hvilket vil være områder med den tykkeste og mest sandede umættede zone. I områder, hvor den umættede zone er mellem 0 m til 2,5 m er modstanden gradvist afblændet med en grålig tone, idet det vurderes at den umættede zone er for tynd til at nedsvivning er relevant. De områder som vil være optimale, i forhold til nedsvivning, vil således være de områder, hvor modstanden er høj, dvs. røde farver, og hvor den ikke er afblændet med grålig tone.

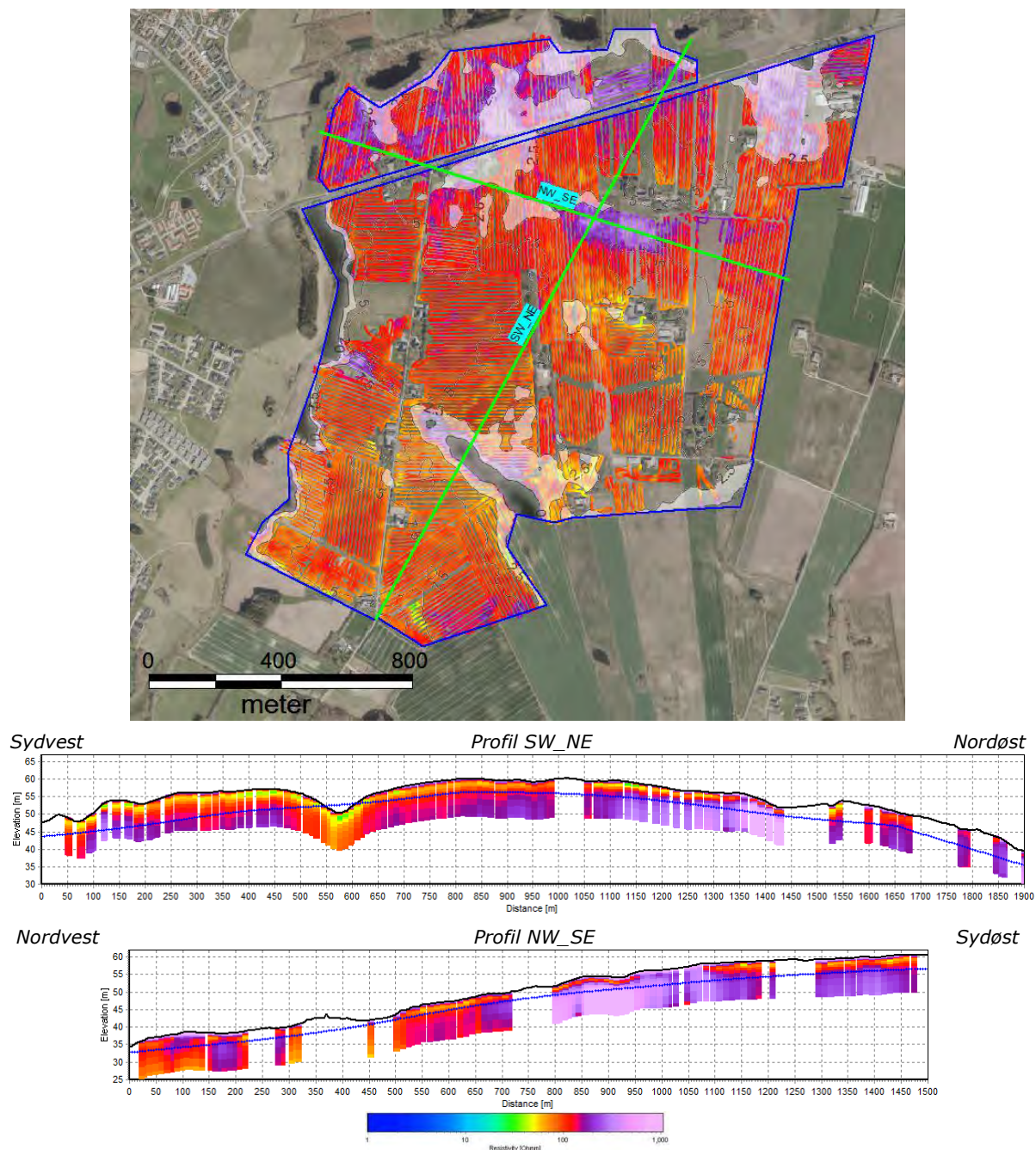


Figur 10 Modstanden af den umættede zone. Områder hvor den umættede zone er under 2,5 m tyk er afblændet med en grålig tone. Jordtypebeskrivelser er angivet som cirkler på boringslokaliteterne.

Udover tykkelsen og middelmogstanden af den umættede zone er den overordnede jordtypebeskrivelse i den umættede zone angivet som farvelagte cirkler for hver af de 21 borer. Størrelsen på cirklen angiver tykkelsen af den umættede zone, som for 18 ud af de 21 borer er sat til de minimum 4 m. Cirklernes sammensætning er et udtryk for mængden af de forskellige jordtyper, og skal ikke forstås som en lagfølge. Som det fremgår af Figur 10 er der en rimelig god overensstemmelse mellem områder, hvor borerne indeholder størst andel af sandede aflejringer og områder med højest modstand, mens borer hvor lerede aflejringer er dominerende er placeret i områder med en modstand omkring eller lige under 100 ohmm.

4. PROFILER

På Figur 13 er vist to profiler gennem kortlægningsområdet, hhv. fra sydvest mod nordøst og fra nordvest mod sydøst. Langs profilerne er de tolkede modstande fra DualEM kortlægningen vist som søjler sammen med topografen og det modellerede terrænnære vandspejl. Som nævnt tidligere er grundvandspejlet det maksimalt beliggende vandspejl, da dybden til grundvandspejlet er sat til minimum 4 m i de 18 borer, hvor der ikke er registreret et grundvandspejl ved pejlingen. Placeringen af profilerne er vist på oversigtskortet med modstanden af den umættede zone.



Figur 11 Kort over modstanden af den umættede zone med angivelse af profilinjer. Profilerne viser de tolkede modstande og det modellerede terrænnære grundvandspejl markeret med den stiplede blå linje

I området hvor profilerne skærer hinanden ses et sammenhængende område med høj modstand, svarende til sandede aflejringer over grundvandspejlet. TLF11 er placeret i dette område, og er

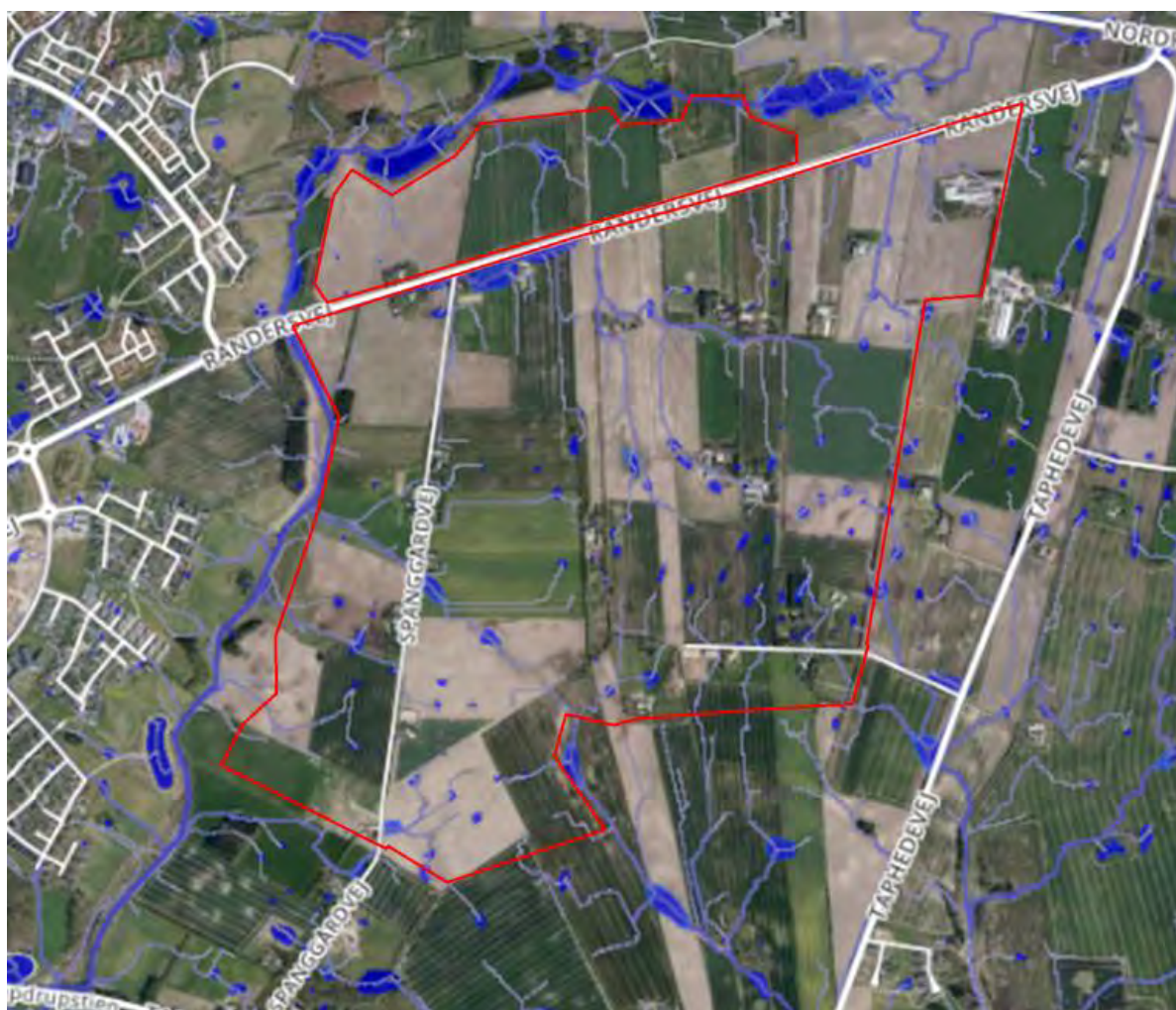
beskrevet ved overvejende sandede aflejringer og en tolket hydrauliske ledningsevne K på $1,9 \cdot 10^{-4}$ m/s, Tabel 1.

5. ANALYSER VEDRØRENDE REGNVANDSAFLEDNING

Regnvandsafledning sker ofte til en nærliggende recipient eller ved nedslivning. Ved regnvandsafledning til en nærliggende recipient kan regnvandet enten ledes via traditionel regnvandskloakering eller på terræn f.eks. i åbne render. Der vil i langt de fleste tilfælde være behov for et bassin/volumen inden udledning til recipienten, for at rense regnvandet samt for at minimere risikoen for erosion og oversvømmelser ved recipienten. Nedslivning kan foretages meget lokalt, eller regnvandet kan ledes til fælles nedslivningselementer, typisk i områder hvor nedslivningen er særlig gunstig. I det følgende vil der på baggrund af den geofysiske kortlægning samt de 21 undersøgelsesboringer, blive vurderet hvilke typer regnvandsafledning, der er mest optimal i det konkrete område. Indledningsvist vil de nærliggende recipienter samt naturlige strømningsveje blive gennemgået.

5.1 Recipienter og strømningsveje

Området afgrænses mod vest af Vibæk/Spangsdalen, hvortil der allerede afledes regnvand fra den østlige del af Viborg. Vibæk løber mod syd ud i Nørreå i Nørreådalen syd for området. Mod nord afgrænses projektområdet Taphede af nogle mindre søer, der leder overfladevand mod vest. Sydøst for området løber Tapdrup Bæk, der ligeledes leder til Nørreå. Der er nogle mindre søer i området. Stempedal løber fra nordvest mod sydøst i den sydlige del af området (se Figur 4).



Figur 12 Strømningsveje og lavpunkter der fyldes først under skybrud.

Figur 12 viser hovedstrømningsvejene på terræn samt de lavninger, der først og fremmest vil stå vandfyldte, hvis der forekommer et større skybrud. Data stammer fra SCALGOLIVE, og er baseret

på den nyeste landsdækkende højdemodel. Som det fremgår, er der strømningsveje mod både nord, vest samt mod syd ned mod Tapdrup by.

5.2 Mulighed for traditionel kloakering

Umiddelbart er forholdene gunstige for traditionel kloakering af området. Det terrænnære grundvandsspejl er de fleste steder dybere end 2,5 m, hvilket betyder at grundvandsspejlet forventeligt vil ligge dybere end kloakken. Dette betyder, at der ikke umiddelbart er potentielle udfordringer med indsivende grundvand i kloakken, hvis denne er utæt. Der er ligeledes ikke noget der tyder på, at der skulle være udfordringer med at terrænet sætter sig betydeligt, hvilket kan betyde driftsproblemer og øgede vedligeholdelsesudgifter for kloakken. Regnvandskloakken vil skulle afledes til Vibæk og Tapdrup Bæk via Stempedal. Der vil være behov for anlæggelse af rensedamme/regnvandsbassiner inden regnvandet udledes til recipienterne.

Afvanding ved kloakering er ikke optimal i områder, hvor grundvandsstanden er over den dybde, hvor kloakken anlægges, og hvor det ikke er muligt at foretage en velfungerende grundvandssænkning under anlægsarbejdet. Det vil være dyrt og besværligt at anlægge kloakken under vand, med stor risiko for at kloakken på sigt sætter sig, og derved ikke fungerer optimalt. Der vurderes ikke generelt at være særlige udfordringer i området relateret til dette.

5.3 Mulighed for overfladisk afledning på terræn

Det vil umiddelbart være muligt, at aflede regnvand overfladisk på terræn i grøfter eller trug med Vibæk samt Tapdrup Bæk som recipienter. Det kræver en mere detaljeret analyse af terrænforholdene at afgøre, om det er muligt at aflede hele området overfladisk uden markante terrænreguleringer. Såfremt afledning på terræn overvejes, anbefales det derfor at udarbejde en indledende skitseplan for dette. Ligesom ved en kloakering, vil det være nødvendigt at etablere forsinkelsesvolumen. Et spændende projekt kunne evt. skabes i Stempedal, hvor denne kunne anvendes til midlertidig opmagasinering af regnvand. Når regnvandet transporteres i åbne grøfter og trug giver det mulighed for at være mere kreative i forhold til design af forsinkelsesvolumen.

Der er generelt så meget terrænfald, at det bør være muligt at finde terrænfald til overfladisk afvanding, der følger terrænet.

5.4 Mulighed for nedsivning

For at nedsivning af regnvand er muligt, kræver det, at jordens nedsivningsevne er tilstrækkelig høj, samt at der er et godt stykke ned til grundvandsspejlet fra den dybde hvor nedsivningen sker. Det bør medtages i vurderingerne, at grundvandsspejlet ændres i løbet af året og at fremtidens klimaændringer kan medføre stigende grundvandsspejl. Ligeledes kan ændringer i arealanvendelsen evt. medføre ændringer i grundvandsspejlet.

Nedsivning kan ske fra koter tæt på terræn f.eks. ved regnbede eller lidt dybere nede f.eks. fra faskiner. Der kan være områder, hvor nedsivning fra terræn er muligt, men hvor grundvandsspejlet er så højt, at nedsivning fra faskiner ikke kan anbefales grundet høj grundvandsstand.

For at nedsivning af regnvand er muligt, er der to forhold, der som minimum skal være opfyldte:

- Der skal være en relativ tyk umættet zone.
- Jordbundsforholdene skal være egnede til nedsivning.

Jordens nedsivningsevne skal være så god i det øvre jordlag over grundvandsspejlet, at nedsivning er en driftssikker og økonomisk konkurrencedygtig løsning. Nedsivningsevnen har betydning for, hvor store nedsivningsanlæggene skal være, og har derfor indflydelse på nedsivningsanlæggenes pladskrav samt anlægs- og driftsudgifter.

Den umættede zone er generelt tyk i området, de fleste steder minimum 2,5 meter. Der er enkelte områder, specielt den nordlige del af Stempedal, hvor den umættede zone er tynd og der kan forekomme vand på terræn. Her vil det ikke være anbefalelsesværdigt at bygge generelt. På baggrund af tykkelsen af den umættede zone, og dermed grundvandsstanden, er nedsivning umiddelbart mulig i store dele af området.

Imidlertid viser de geofysiske undersøgelser samt undersøgelsesboringerne, at jordlagenes modstand i den umættede zone generelt svarer til primært er moræneler, hvor nedsivningsevnen må forventes at være meget begrænset. I enkelte af boringer er der dog beskrevet sandede aflejringer. Ved fire boringer er der ved sigteanalyse af sandede jordprøver tolket en hydraulisk ledningsevne K på mellem $1,0 \cdot 10^{-4}$ m/s og $2,7 \cdot 10^{-4}$ m/s, hvilket sammen med en stor mægtighed af den umættede zone betyder, at der her lokalt kan foretages direkte nedsivning

Der er især to afgrænsede områder, hvor nedsivning indledningsvis vurderes mulig. Det ene område er nord for Randersvej ved boring TLF01. Her viser data, at der er et område, hvor aflejringer primært består af sand, og hvor der er relativt langt ned til grundvandsspejlet. Ved TLF11 er der ligeledes relativt meget sand i aflejringerne over grundvandsspejlet, samt relativt langt ned til grundvandsspejlet, og en tolket hydraulisk ledningsevne på $1,9 \cdot 10^{-4}$ m/s. Ellers er variationerne i geologien begrænset, og nedsivning forventes ikke at være muligt grundet primært lerede aflejringer over grundvandsspejlet.

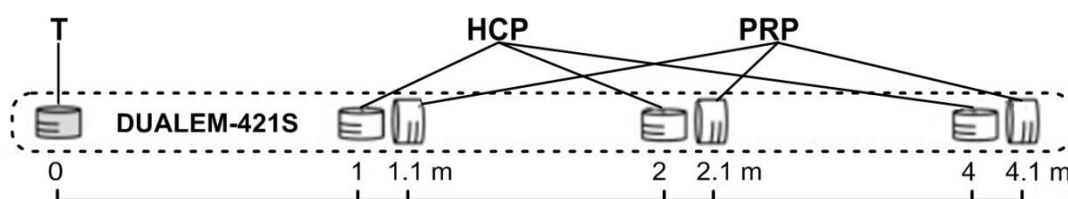
6. REFERENCER

- /1/ Smed, P. 2014: Weichsel istiden på Sjælland. Geologisk Tidsskrift 2013, pp. 1–42. ISSN 2245-7097, København
- /2/ Lærebog i Geoteknik, Polyteknisk forlag, 2007

APPENDIKS A: DUALEM421 - METODEN

Som nævnt indledningsvist er den geofysiske kortlægning udført med DualEM metoden.

DualEM421-metoden er en GCM (Ground Conductivity Meter) metode, og er en videreudvikling af de traditionelt anvendte stangslingsrammetoder som eks. EM38 og EM31. DualEM421 er, som navnet antyder, et multikonfigurationsudstyr med spoleafstande på hhv. 1, 2, og 4 meter. Til forskel for andet anvendt geofysisk udstyr indeholder DualEM421, dual-orienterede spoler, dvs. spolepar med hhv. horisontale og vertikale spoler. På Figur 13 ses hvorledes de enkelte spoler i DualEM421 systemet er sat op.



Figur 13 System setup for DualEM421 systemet.

Som det fremgår af figur 5 er senderspølen T placeret ved 0 m, de horisontale spoler HCP er placeret ved hhv. 1, 2 og 4 m, mens de vertikale spoler er placeret ved 1,1 m, 2,1 m og 4,1 m. I alt omfatter dette således målinger af i alt 6 konfigurationer af sende-modtager kombinationer, hvilket resulterer i 6 datapunkter, relateret til 6 forskellige dybder. Ved geofysisk inversion tolkes disse data efterfølgende til en resistivitetsmodel og resulterer således i en detaljeret horisontal og vertikal resistivitetsmodel ned til 5-10 m, afhængig af den elektriske modstand af de øvre jordlag.



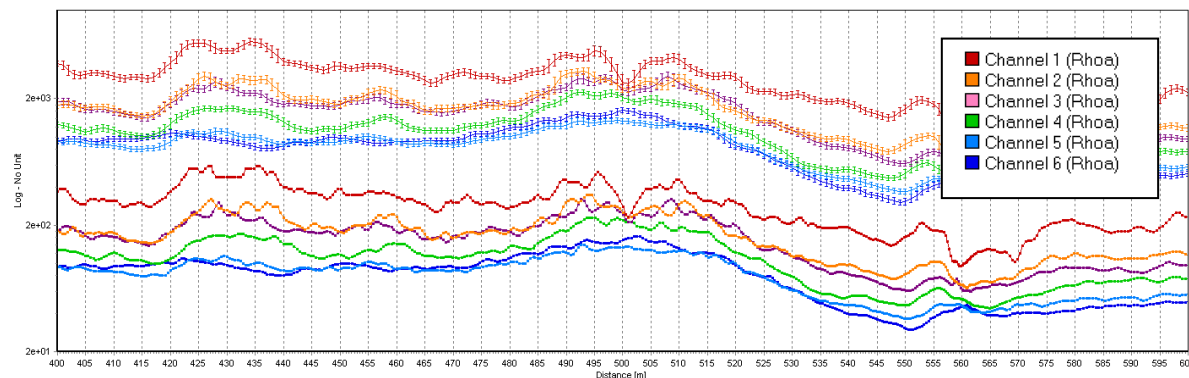
Figur 14 Instrument setup, placeret på en slæde som trækkes bag en ATV.

Selve DualEM421-instrumentet er lagt ind i et PVC-rør, placeret på en specielt designet slæde, der trækkes efter en ATV, se foto i Figur 14. For at minimere støjen fra bevægelser, er slæden konstrueret på en sådan måde, at instrumentet glider så glat som muligt og så tæt på jorden som muligt. På den forreste del af slæden sidder en GPS, der kontinuert logger positionen sammen med de indsamlede data med stor nøjagtighed. Opsætningen med slæde og ATV betyder, at eventuelle markskader er minimale på selv våde marker.

Processing

De indsamlede data processeres i processerings- og tolknings-softwarepakken Aarhus Workbench fra Aarhus Universitet.

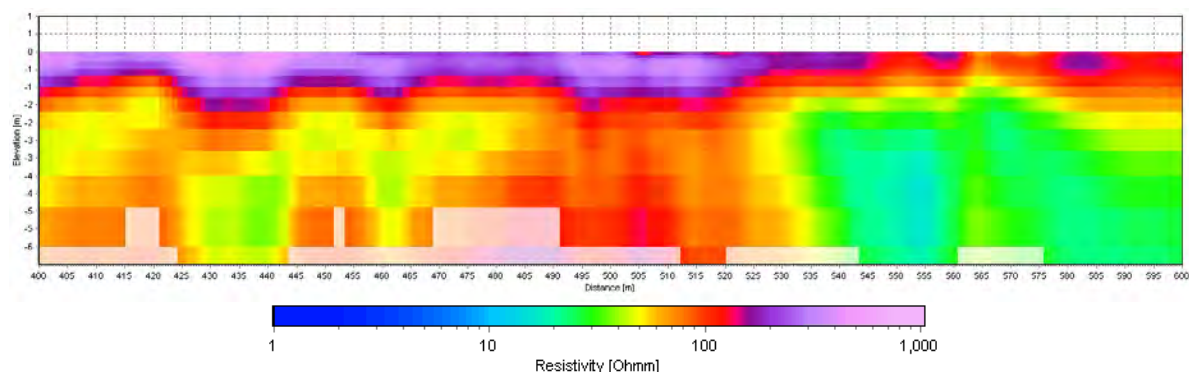
I forbindelse med nærværende projekt er data indsamlet med en repetitionsfrekvens på 10 Hz, hvilket betyder, at der opsamles et datasæt bestående af 6 datapunkter for hvert 1/10 sek. Data filtreres og midles i det endelige datasæt til ét datapunkt for hver 10. meter. På Figur 15 ses et screendump fra processeringssoftwaren.



Figur 15 Screendump fra Aarhus Workbench. Nederst er vist de rå data og øverst de processerede data.

Geofysisk tolkning

De processerede data tolkes efterfølgende med Spatially Constrained Inversion (SCI), smooth mangellagsmodel med 14 lag. Et eksempel på en tolket sektion er vist på Figur 16.

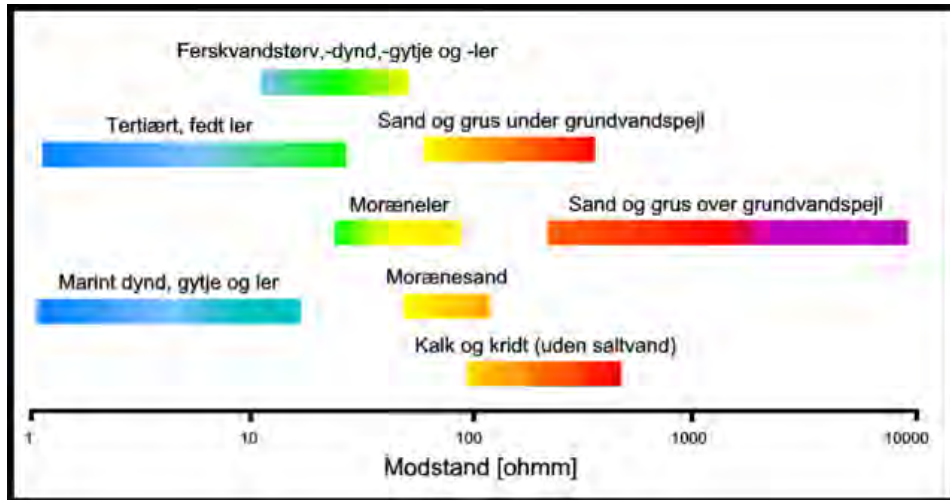


Figur 16 Eksempel på en tolket modelsektion.

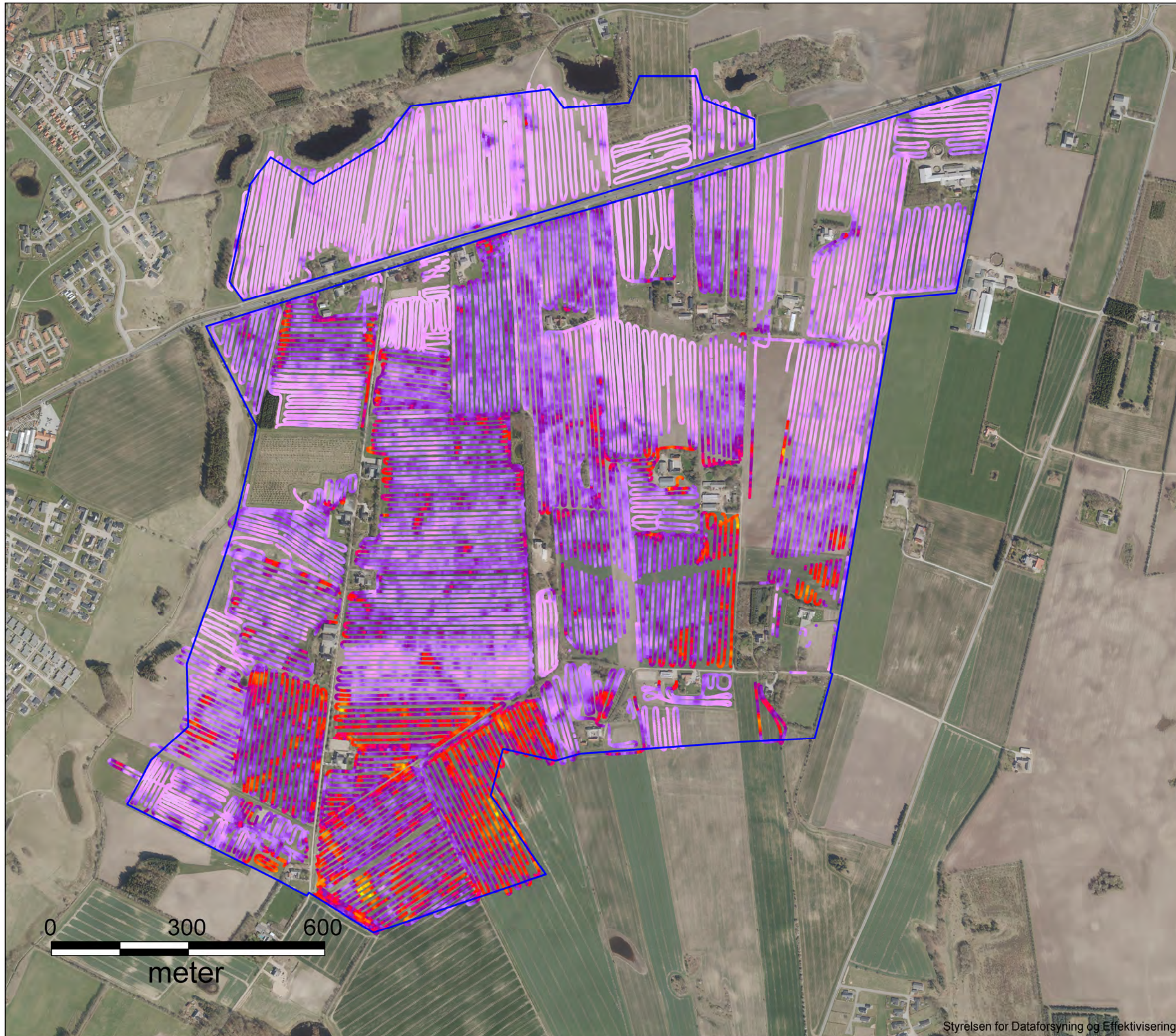
På Figur 16 er den del af modellen, der er under den beregnede indtrængningsdybde (DOI), visualiseret med mindre mættet farvelægning.

Tolkning af jordens elektriske modstand til litologi

Med DualEM421 udføres en deltaljeret kortlægning af jordens elektriske modstand fra terræn til ca. 10 meters dybde. Indtrængningsdybden er afhængig af jordens elektriske modstand og er for nærværende kortlægning omkring 6-8 m. Den tolkede modstand kan oversættes til geologiske lag som f.eks. sand og ler ud fra erfaringer omkring modstanden af de forskellige aflejringer. På Figur 17 ses, hvorledes forskellige aflejringer vil have forskellige elektriske modstande. Lerede aflejringer vil således resultere i en lav modstand, mens sandede aflejringer har en højere modstand. Som det fremgår af Figur 17, vil moræneler og morænesand dog kunne have en meget varierende modstand, alt efter indholdet af silt, sand og grus. Af Figur 17 ses det derudover, at det kan være vanskeligt at skelne mellem blødbundsaflejringer som tørv/gytje og glaciale/marine lerede aflejringer.



Figur 17 Oversættelse af modstand til litologi.



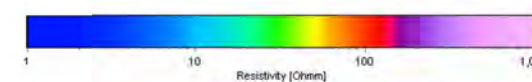
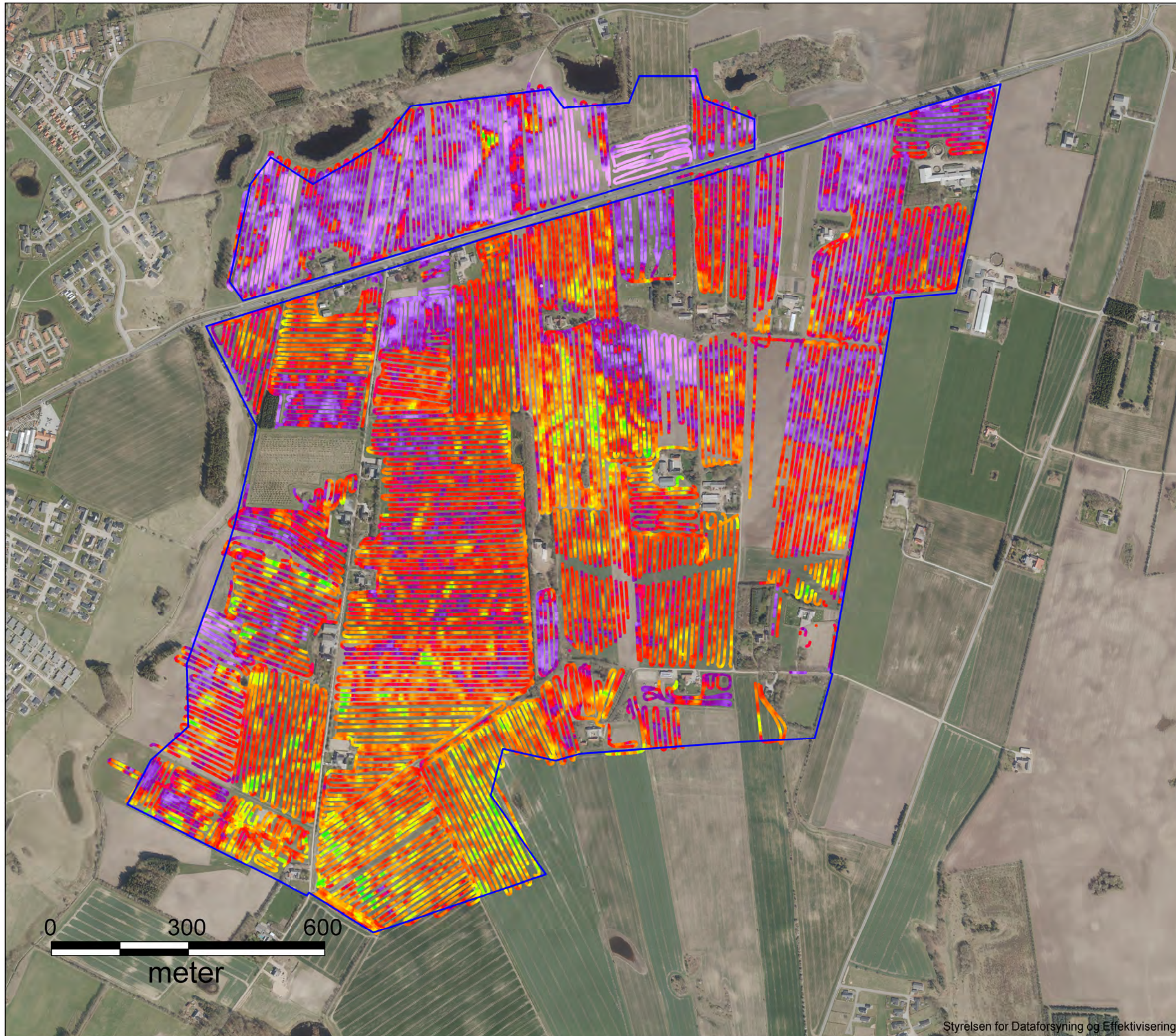
Rev.: 01
Dato: 2016-11-16
Af: PRT
Kontrol: MAXH
Sag: 1100024674

Bilag 1.1

**Middelmodstand i dybdeinterval
0 til 0,5 m**

Taphede



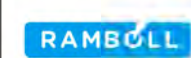


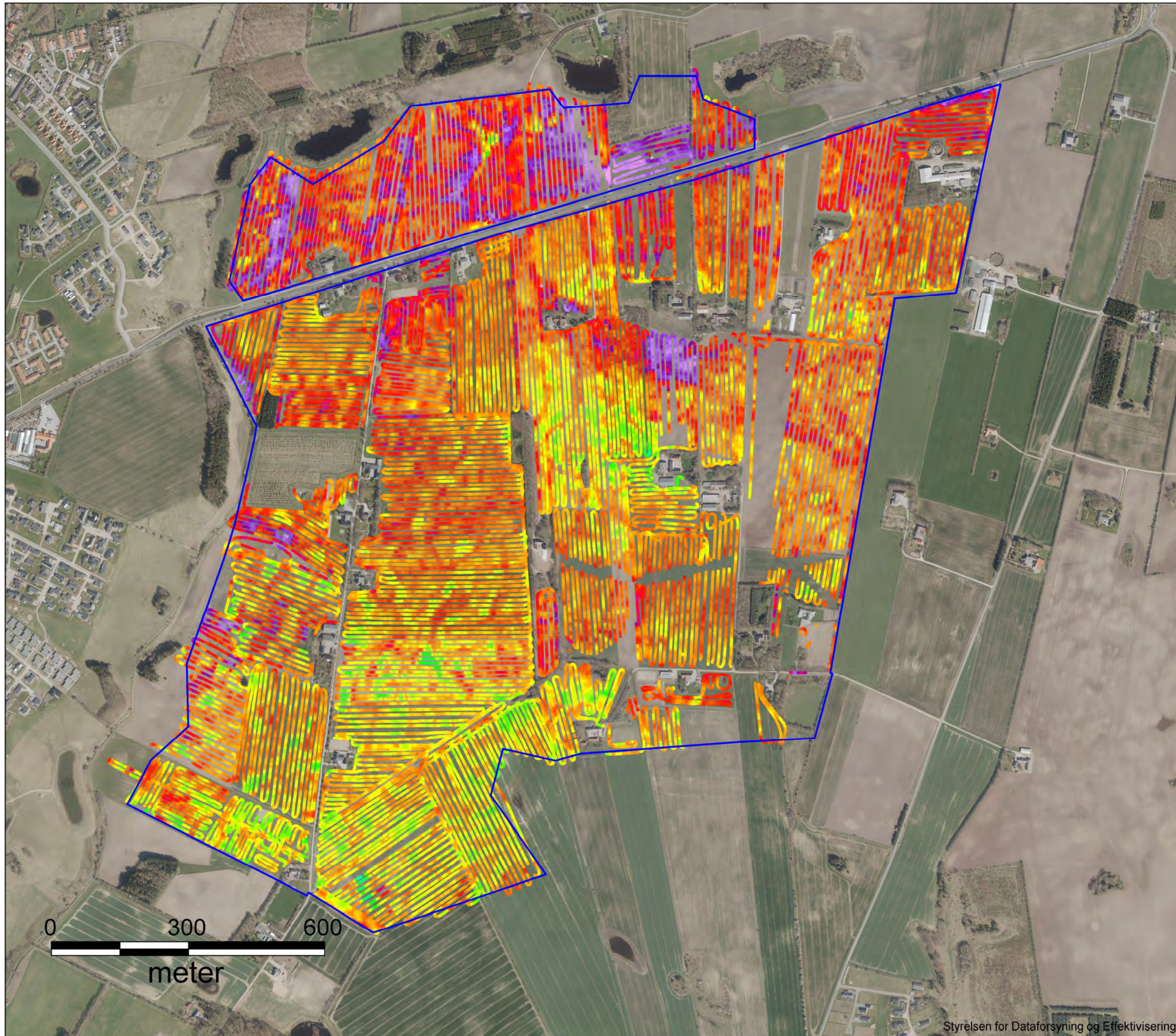
Rev.: 01
Dato: 2016-11-16
Af: PRT
Kontrol: MAXH
Sag: 1100024674

Bilag 1.2

**Middelmodstand i dybdeinterval
0,5 til 1,0 m**

Taphede





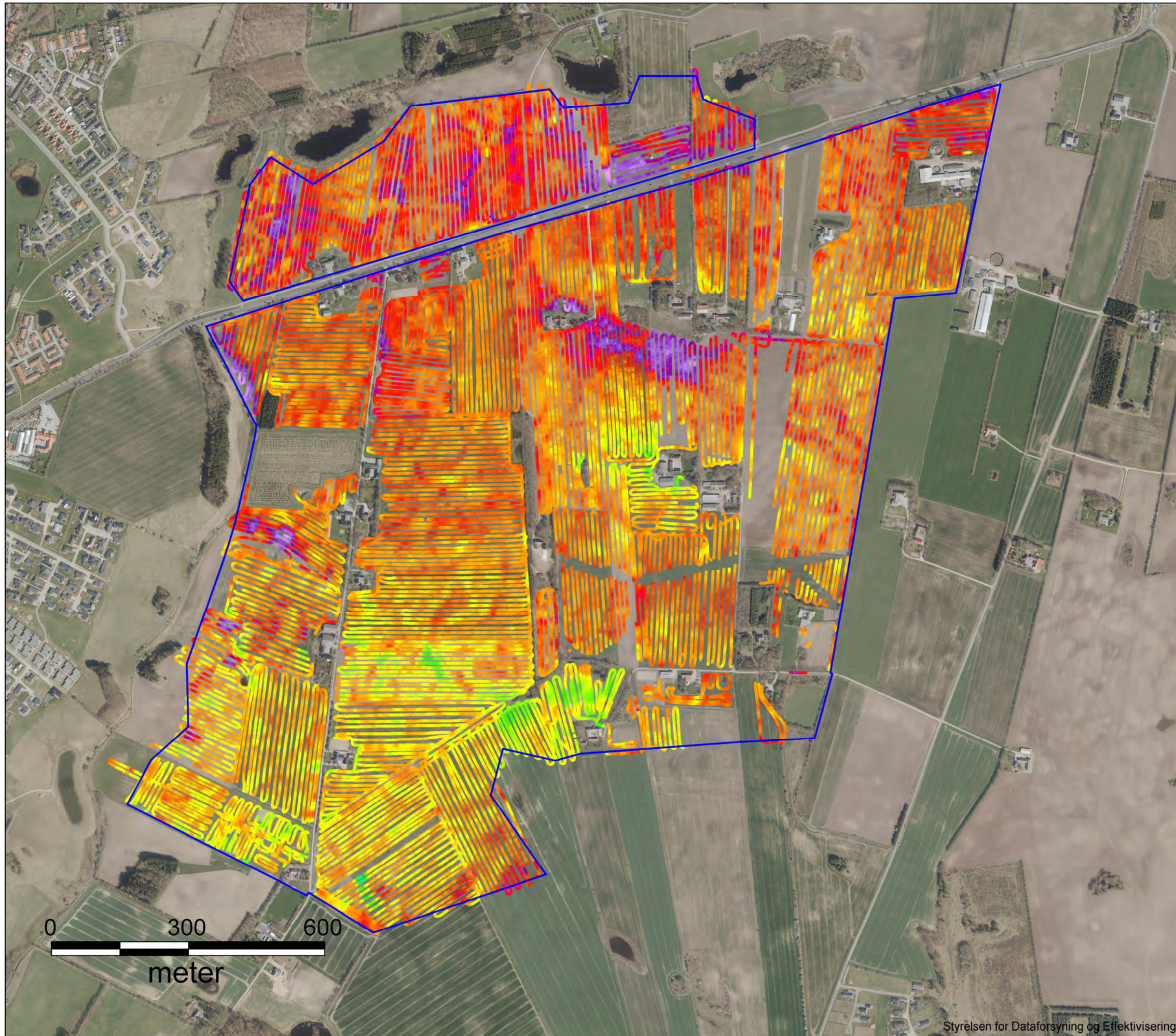
Rev.: 01
Dato: 2016-11-16
Af: PRT
Kontrol: MAXH
Sag: 1100024674

Bilag 1.3

**Middelmodstand i dybdeinterval
1,0 til 1,5 m**

Taphede





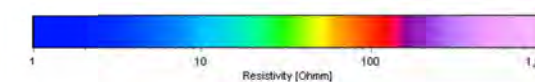
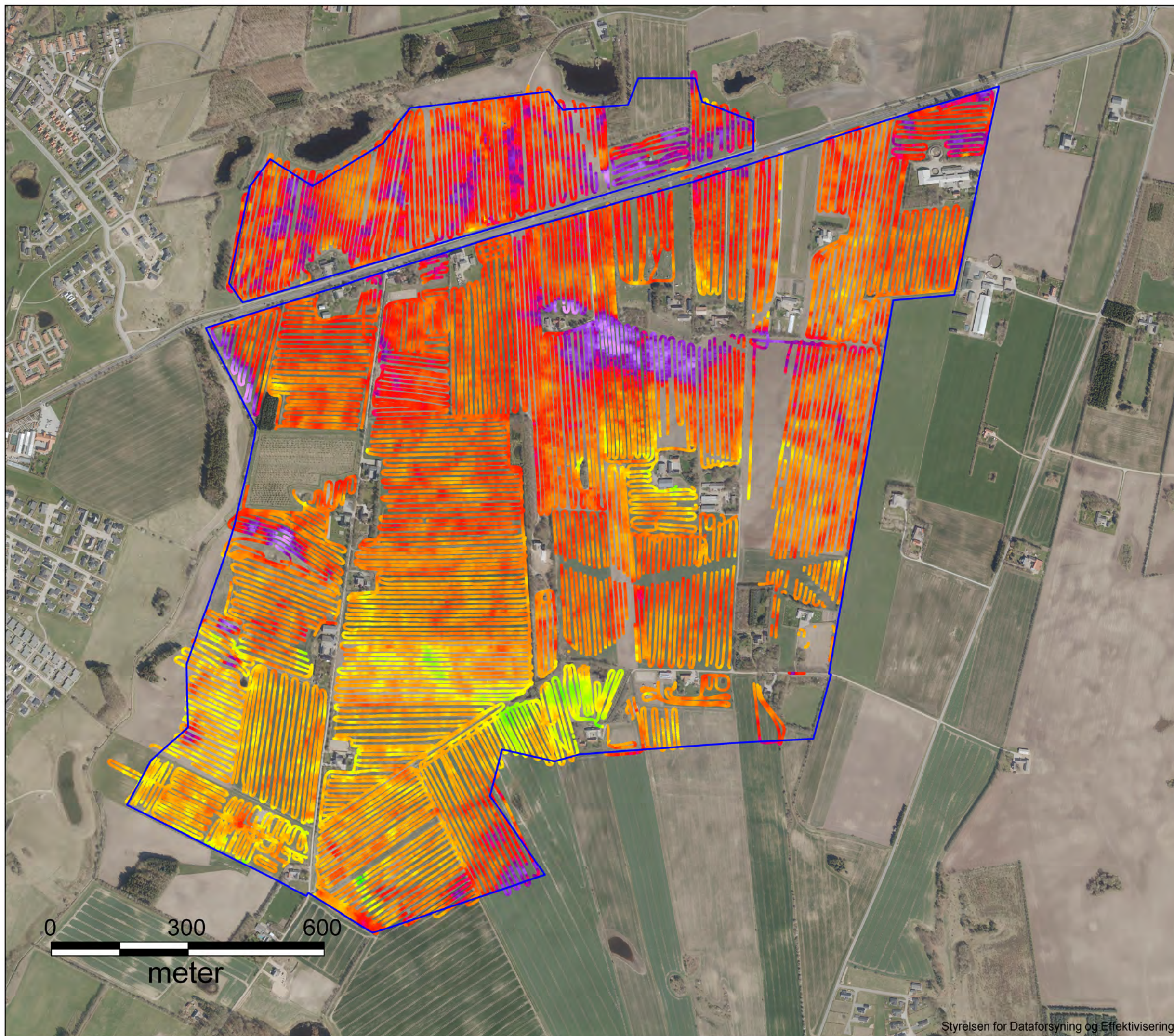
Rev.: 01
Dato: 2016-11-16
Af: PRT
Kontrol: MAXH
Sag: 1100024674

Bilag 1.4

**Middelmodstand i dybdeinterval
1,5 til 2,0 m**

Taphede





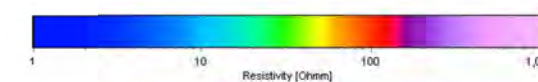
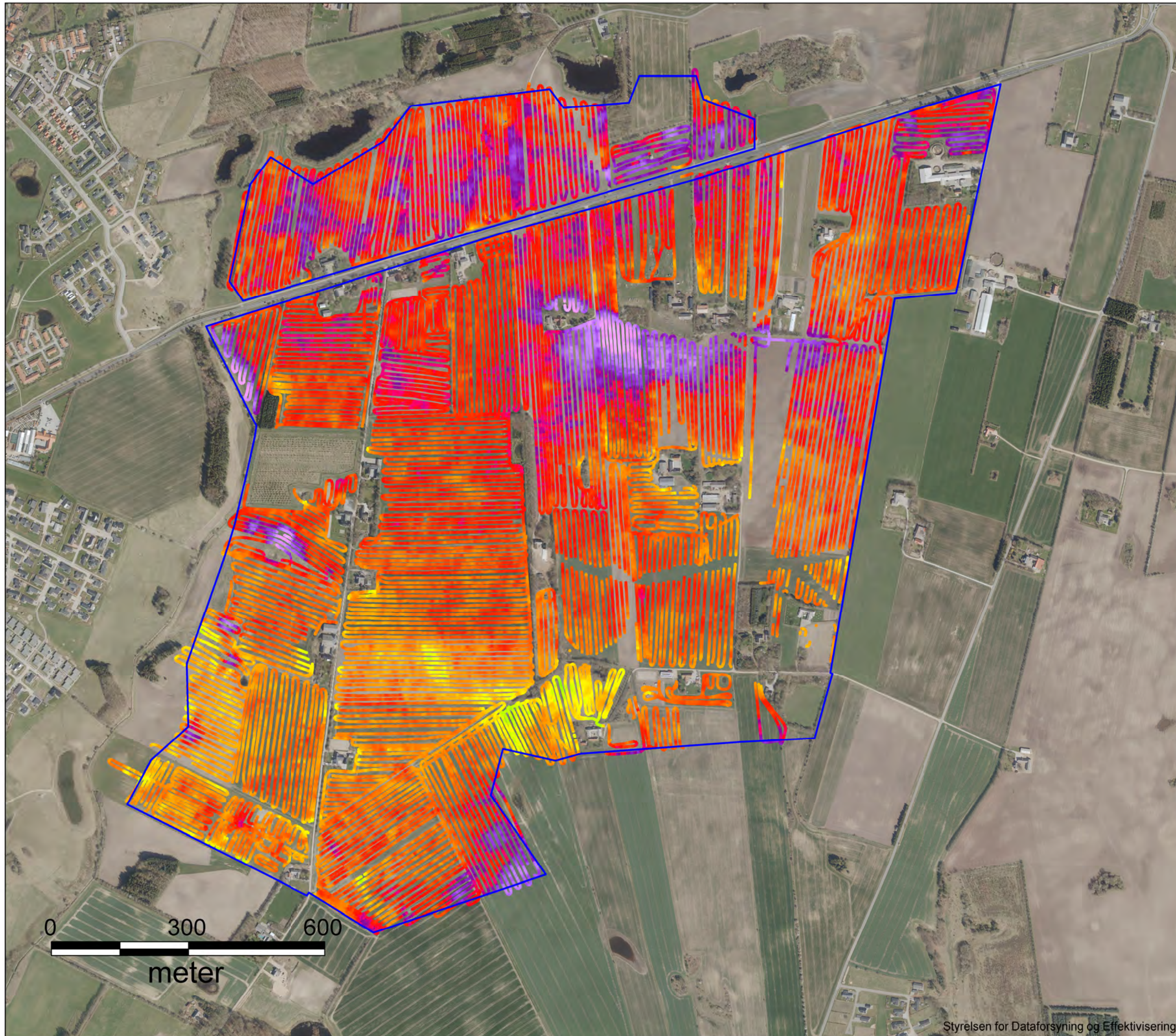
Rev.: 01
Dato: 2016-11-16
Af: PRT
Kontrol: MAXH
Sag: 1100024674

Bilag 1.5

**Middelmodstand i dybdeinterval
2,0 til 2,5 m**

Taphede



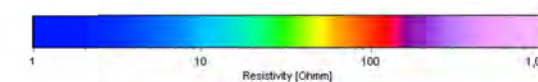
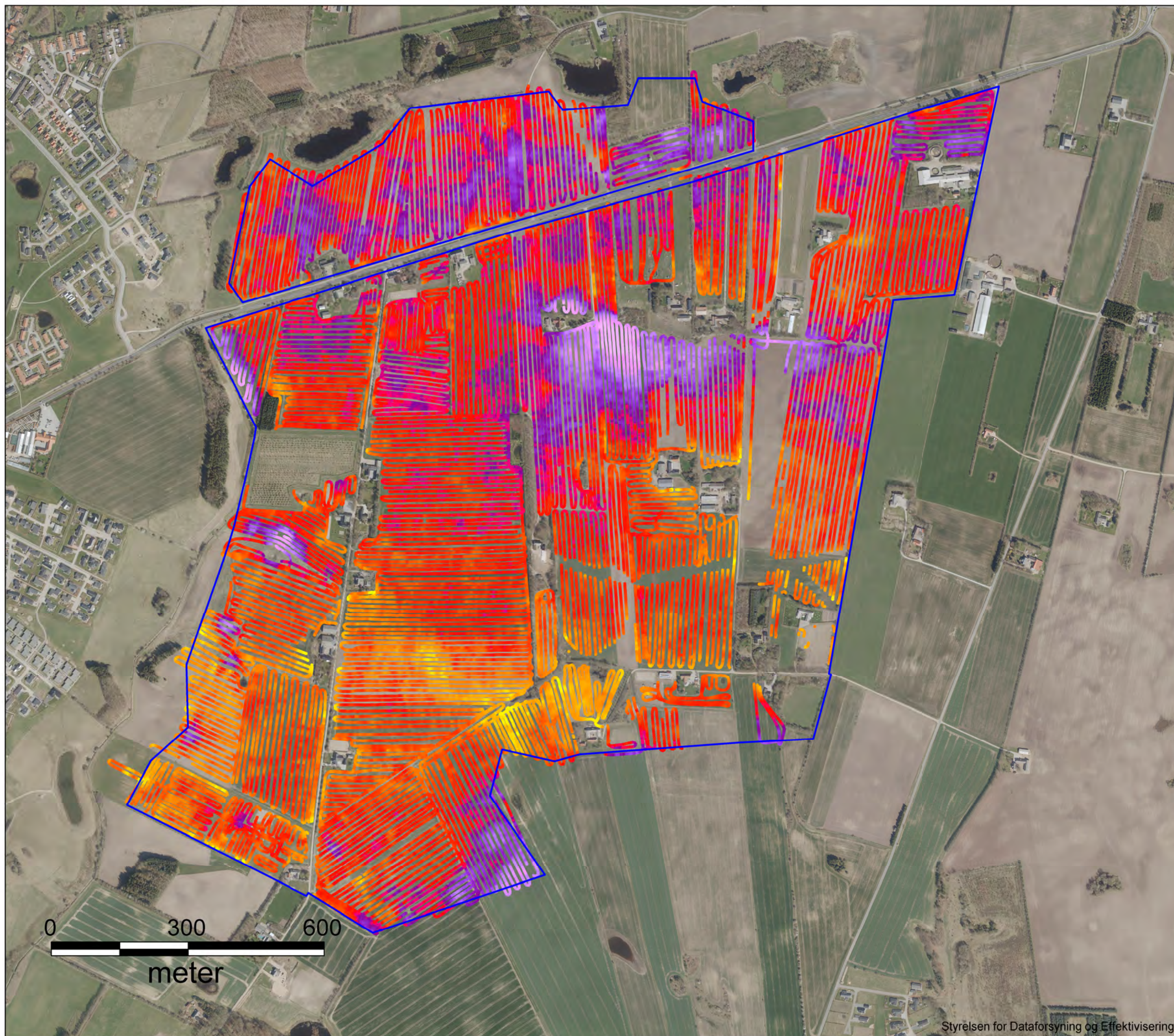


Rev.: 01
Dato: 2016-11-16
Af: PRT
Kontrol: MAXH
Sag: 1100024674

Bilag 1.6

**Middelmodstand i dybdeinterval
2,5 til 3,0 m**

Taphede



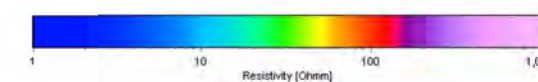
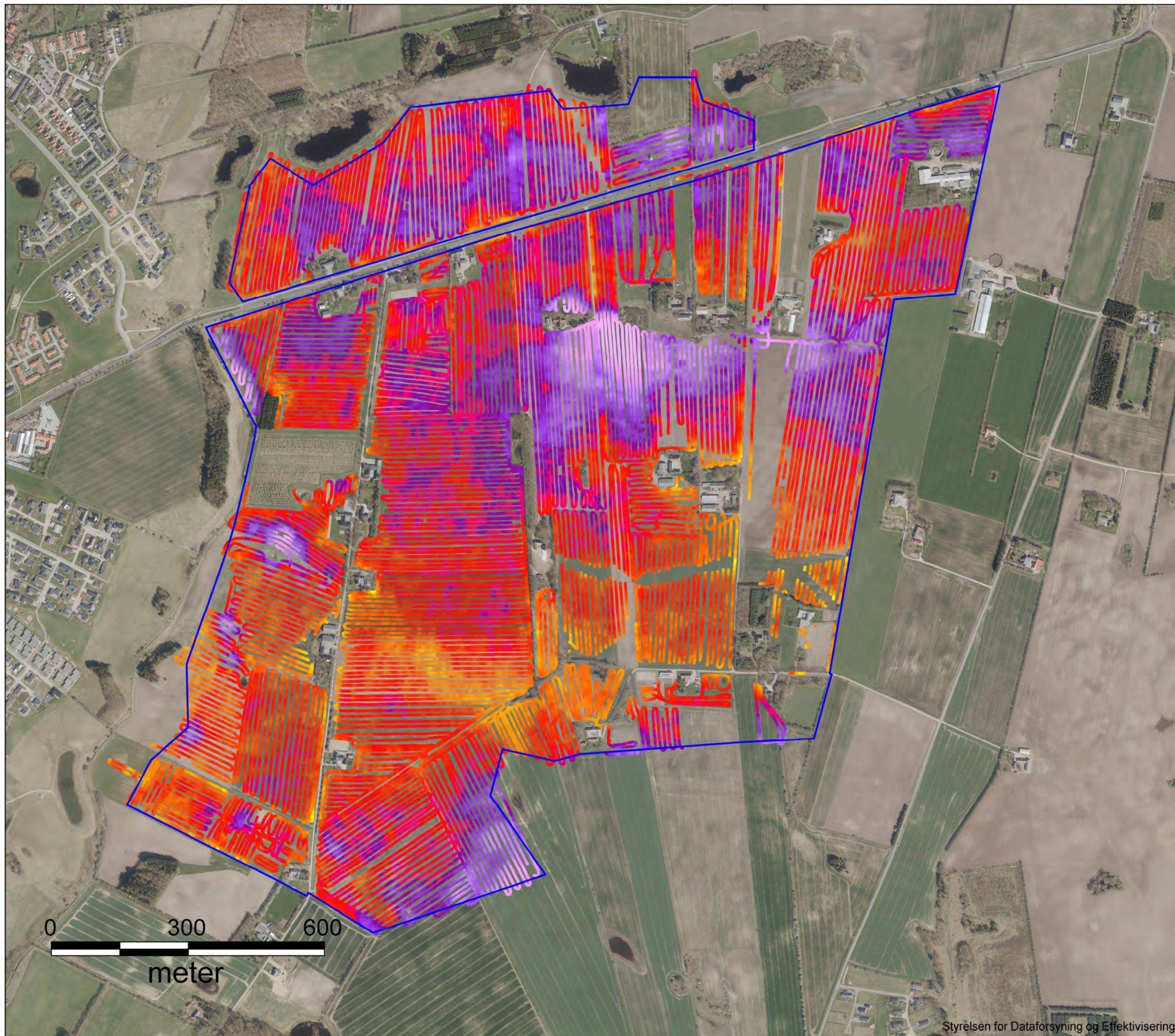
Rev.: 01
Dato: 2016-11-16
Af: PRT
Kontrol: MAXH
Sag: 1100024674

Bilag 1.7

**Middelmodstand i dybdeinterval
3,0 til 4,0 m**

Taphede





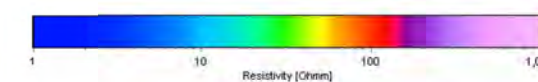
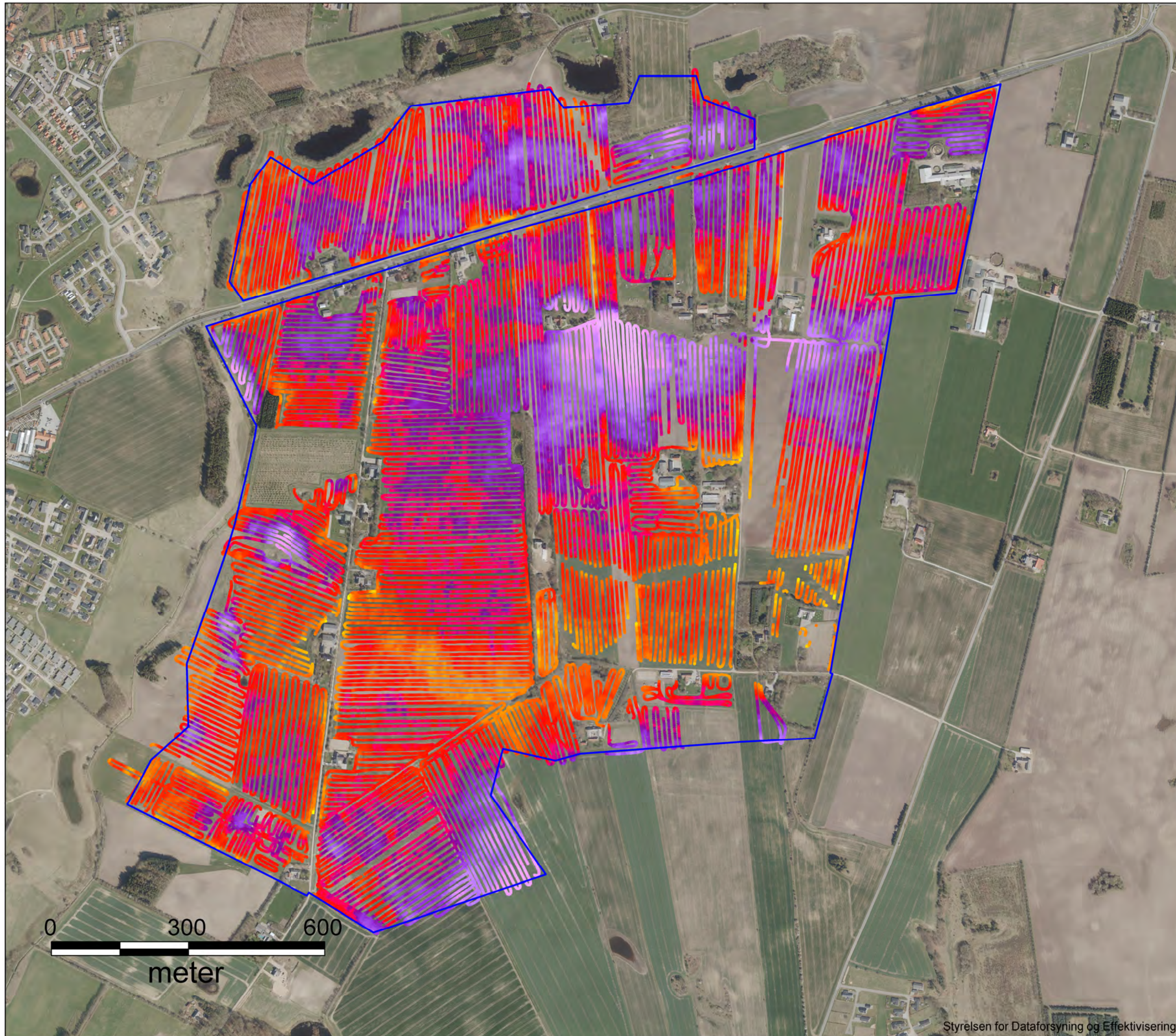
Rev.: 01
Dato: 2016-11-16
Af: PRT
Kontrol: MAXH
Sag: 1100024674

Bilag 1.8

**Middelmodstand i dybdeinterval
4,0 til 5,0 m**

Taphede



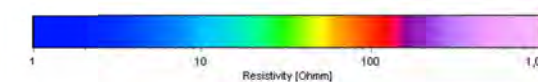
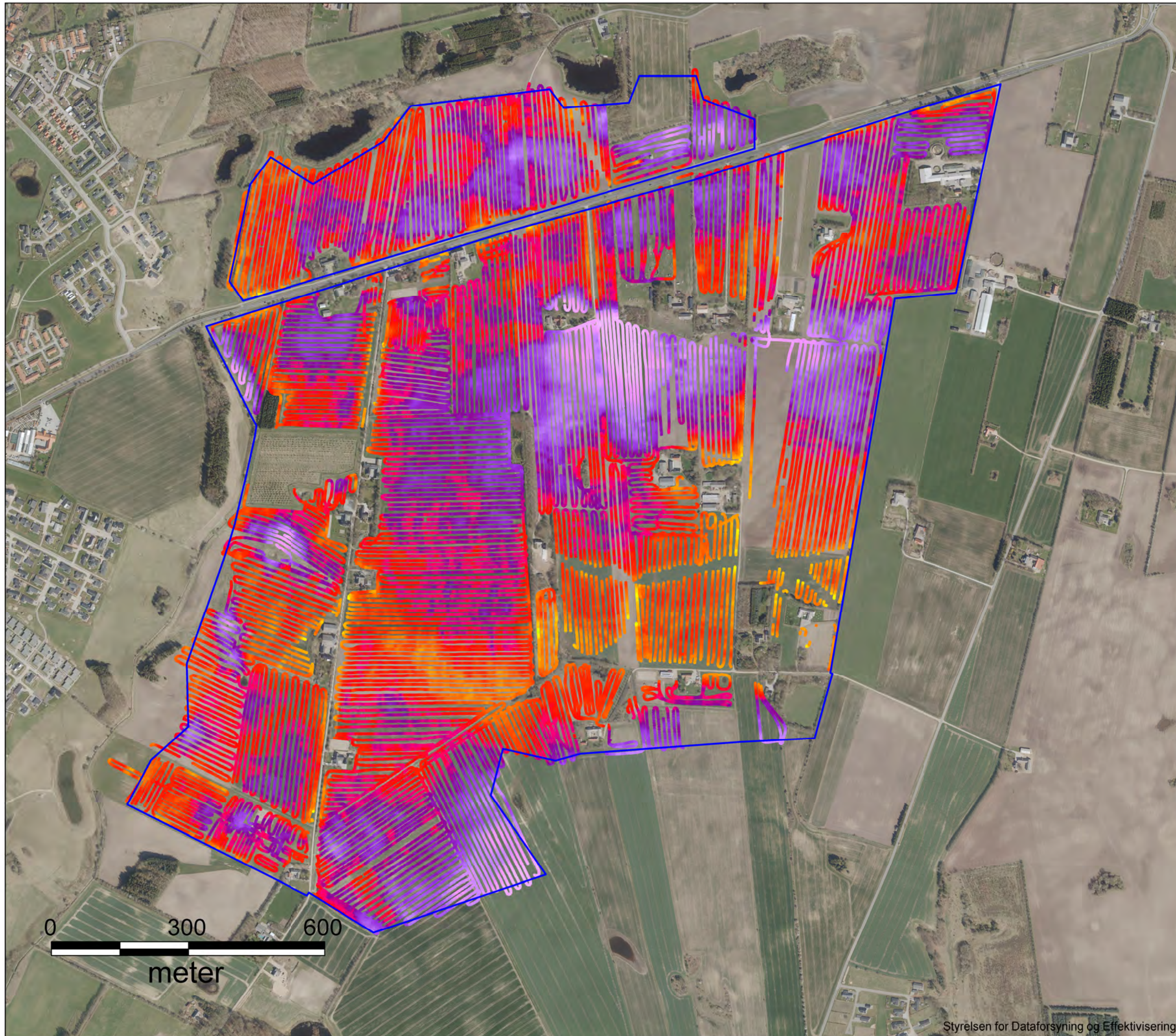


Rev.: 01
Dato: 2016-11-16
Af: PRT
Kontrol: MAXH
Sag: 1100024674

Bilag 1.9

**Middelmodstand i dybdeinterval
5,0 til 6,0 m**

Taphede

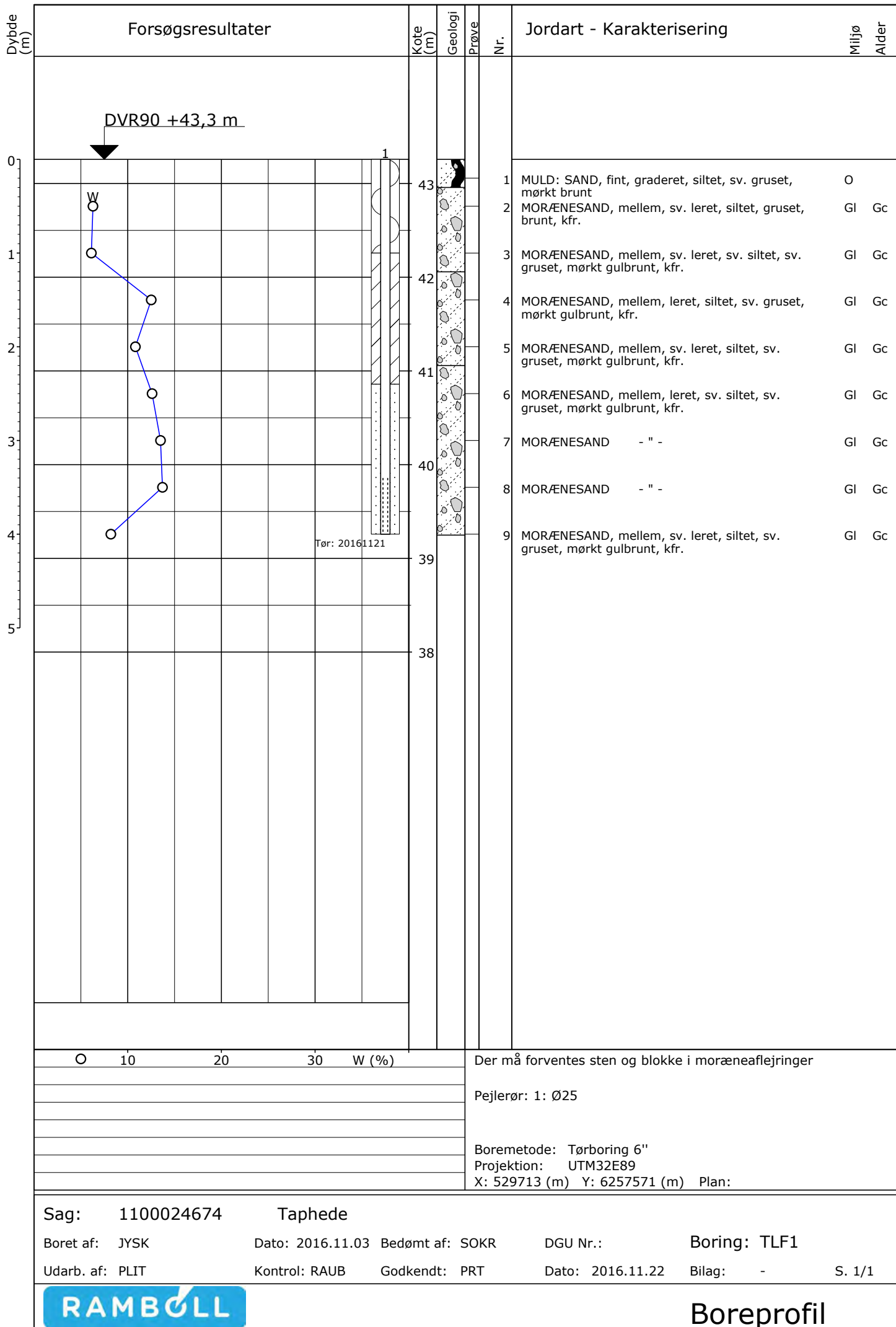


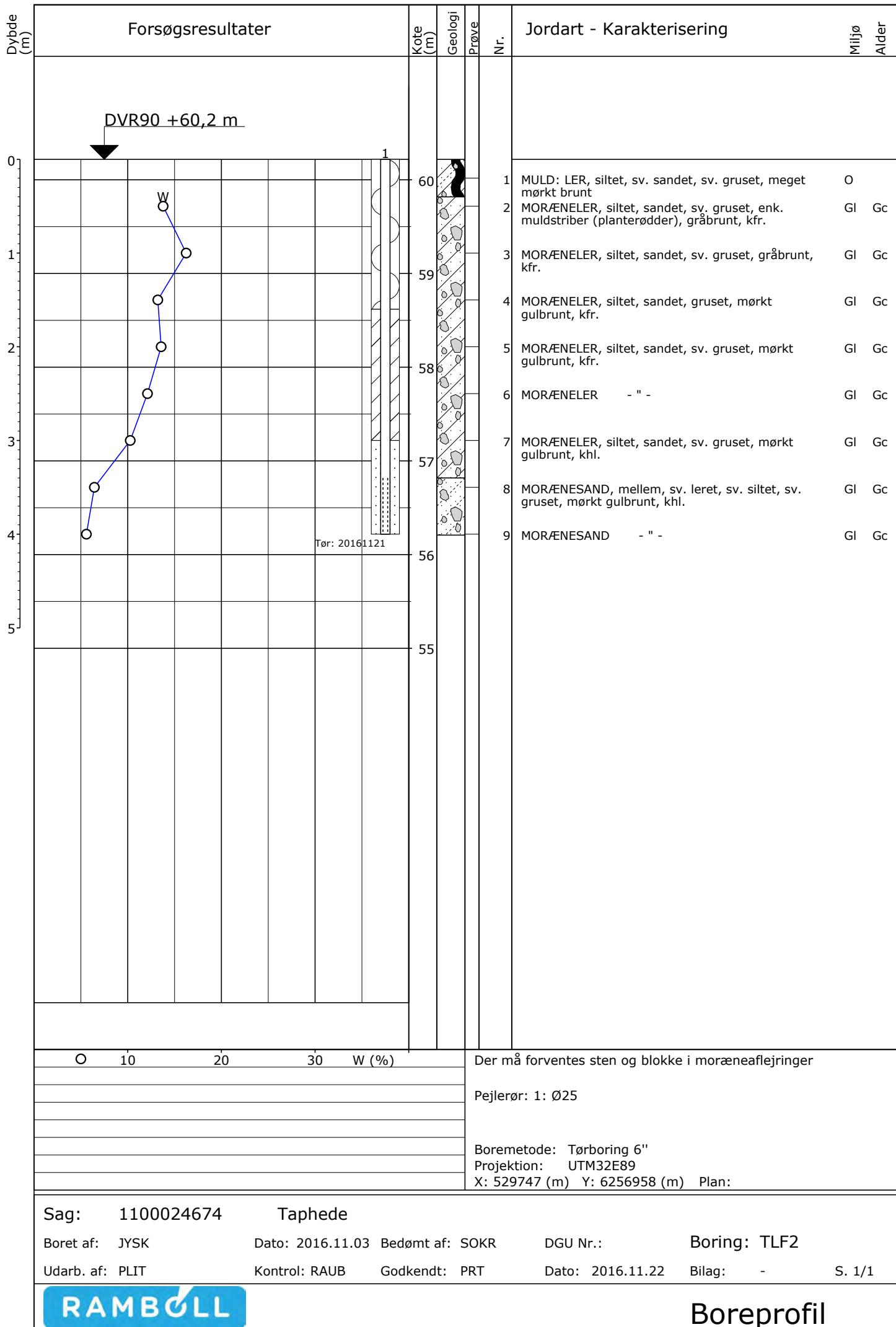
Rev.: 01
Dato: 2016-11-16
Af: PRT
Kontrol: MAXH
Sag: 1100024674

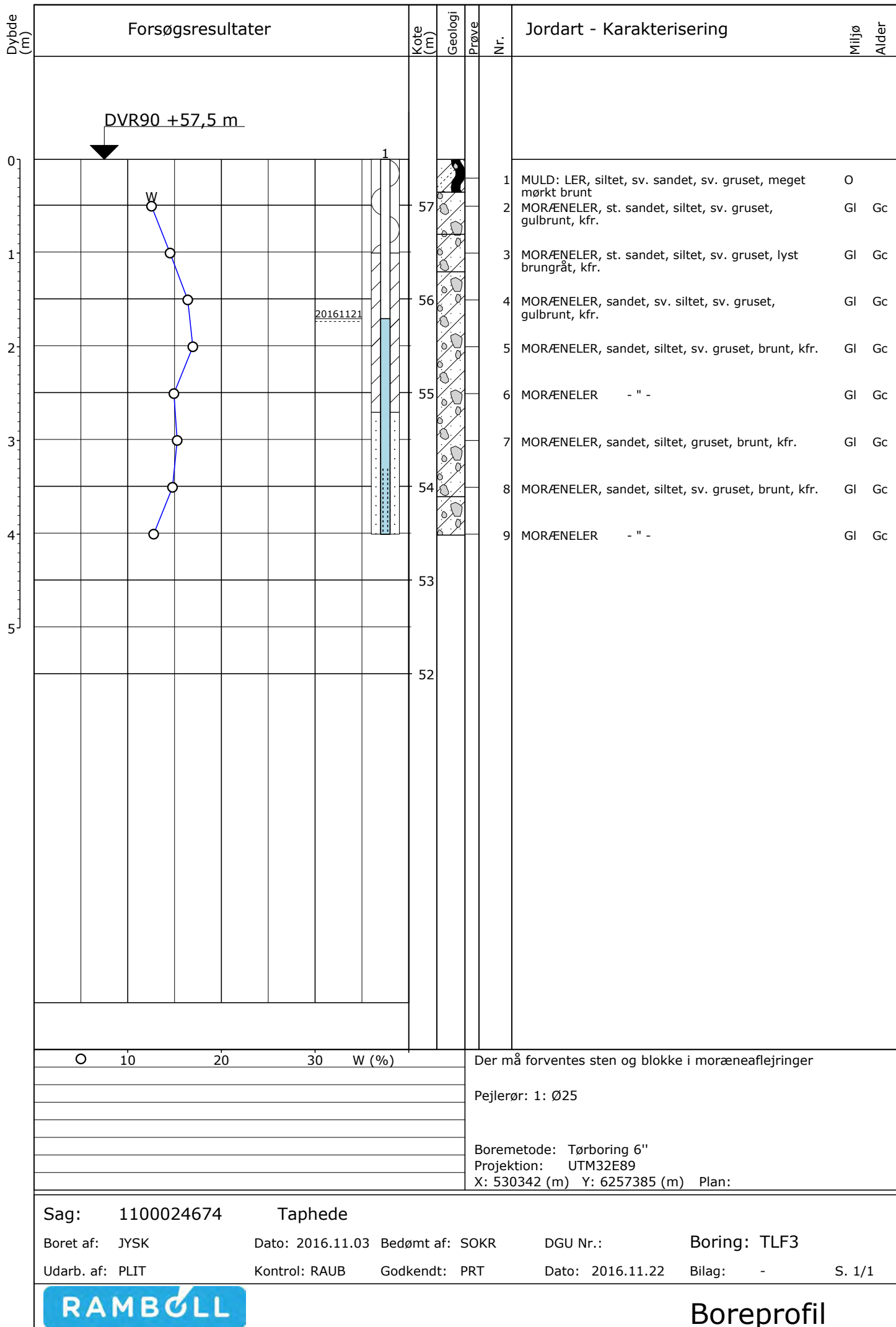
Bilag 1.10

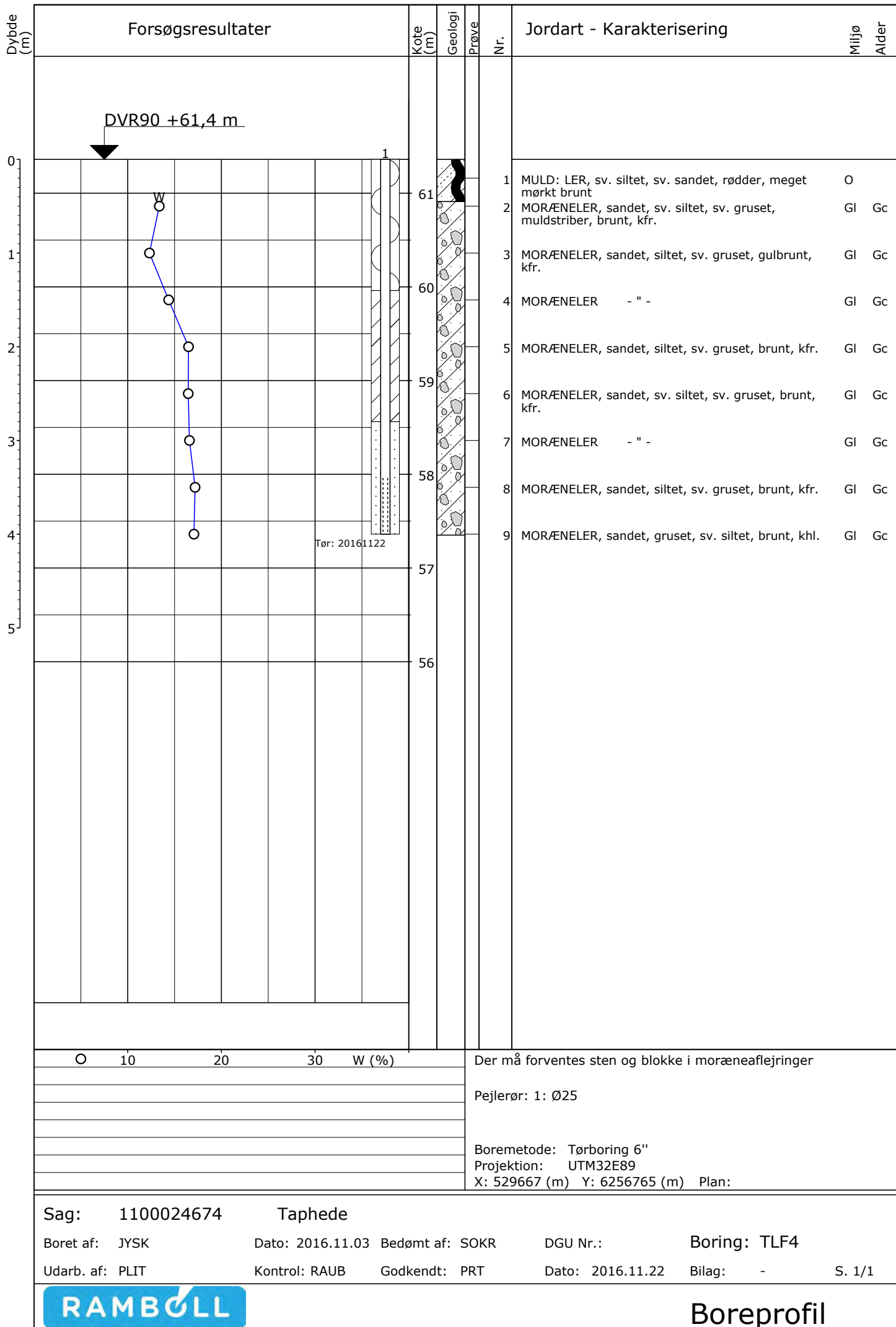
**Middelmodstand i dybdeinterval
6,0 til 7,0 m**

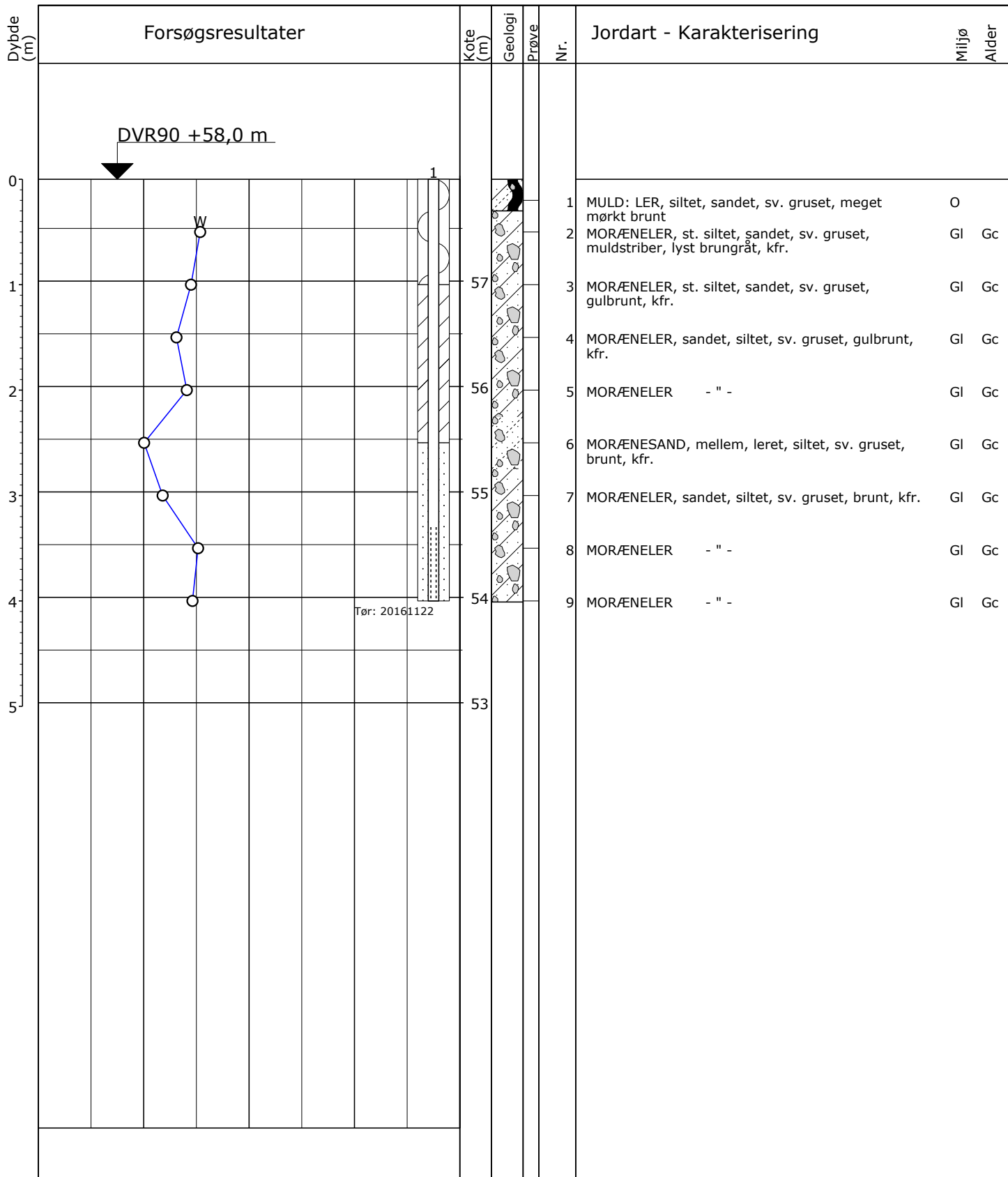
Taphede











Tør: 20161122

○ 10 20 30 W (%)

Der må forventes sten og blokke i moræneaflejringer

Pejlerør: 1: Ø25

Boremetode: Tørboring 6"

Projektion: UTM32E89

X: 530110 (m) Y: 6257201 (m) Plan:

Sag: 1100024674 Taphede

Boret af: JYSK

Dato: 2016.11.03 Bedømt af: SOKR

DGU Nr.:

Boring: TLF5

Udarb. af: PLIT

Kontrol: RAUB

Godkendt: PRT

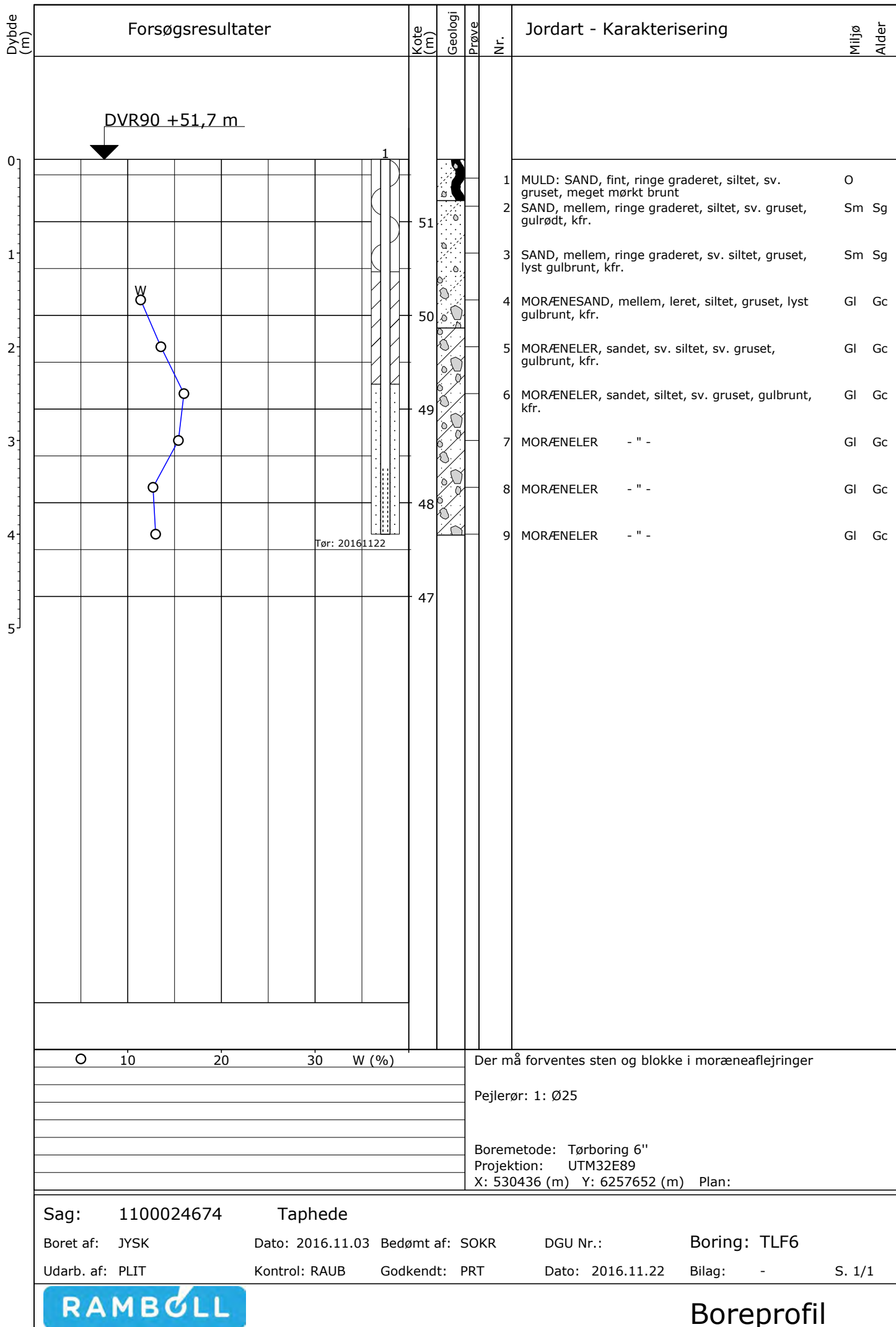
Dato: 2016.11.22

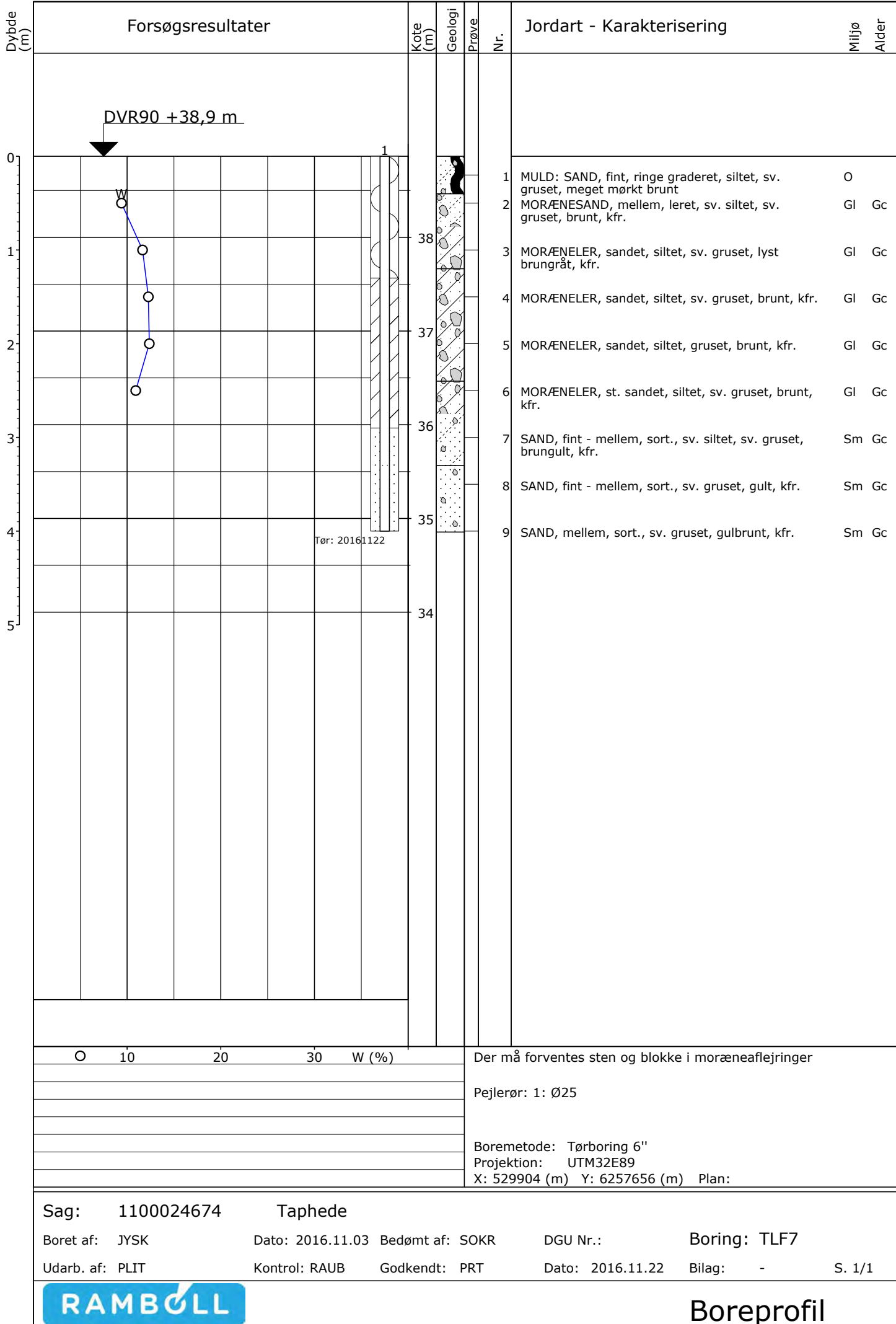
Bilag: -

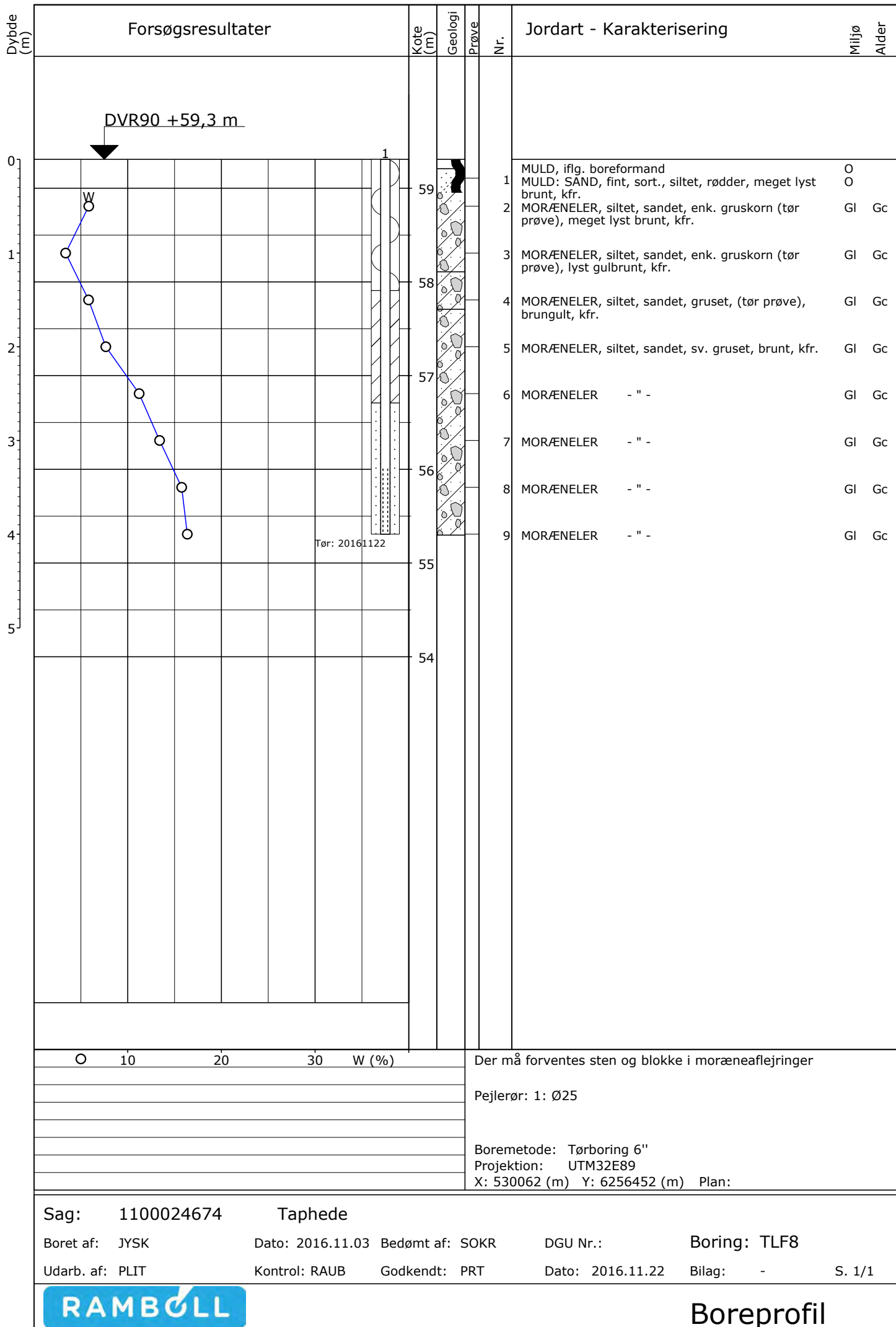
S. 1/1

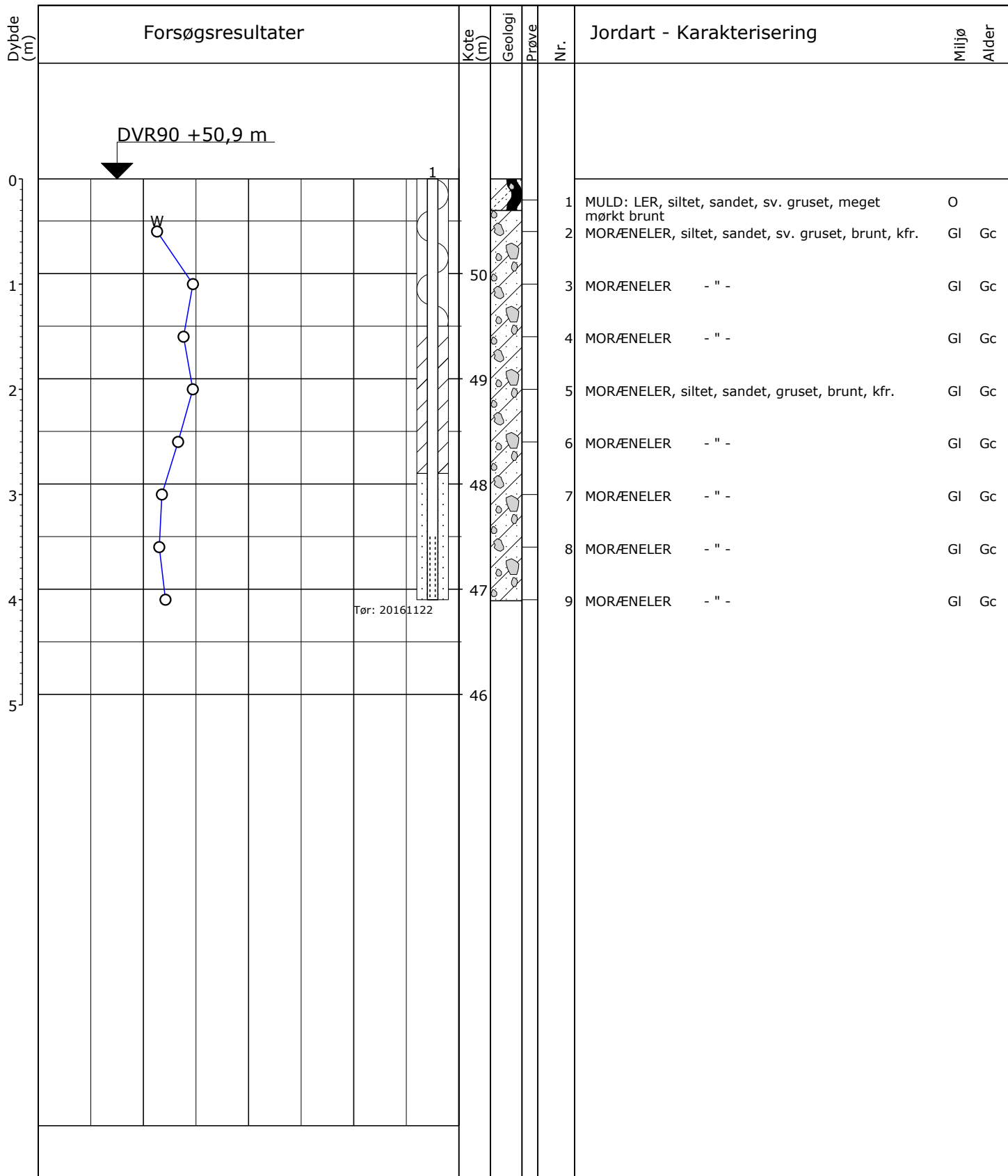


Boreprofil









Tør: 20161122

○ 10 20 30 W (%)

Der må forventes sten og blokke i moræneaflejringer

Pejlerør: 1: Ø25

Boremethode: Tørborring 6"

Projektion: UTM32E89

X: 529786 (m) Y: 6257423 (m) Plan:

Sag: 1100024674 Taphede

Boret af: JYSK

Dato: 2016.11.03 Bedømt af: TLM

DGU Nr.:

Boring: TLF10

Udarb. af: PLIT

Kontrol: RAUB

Godkendt: PRT

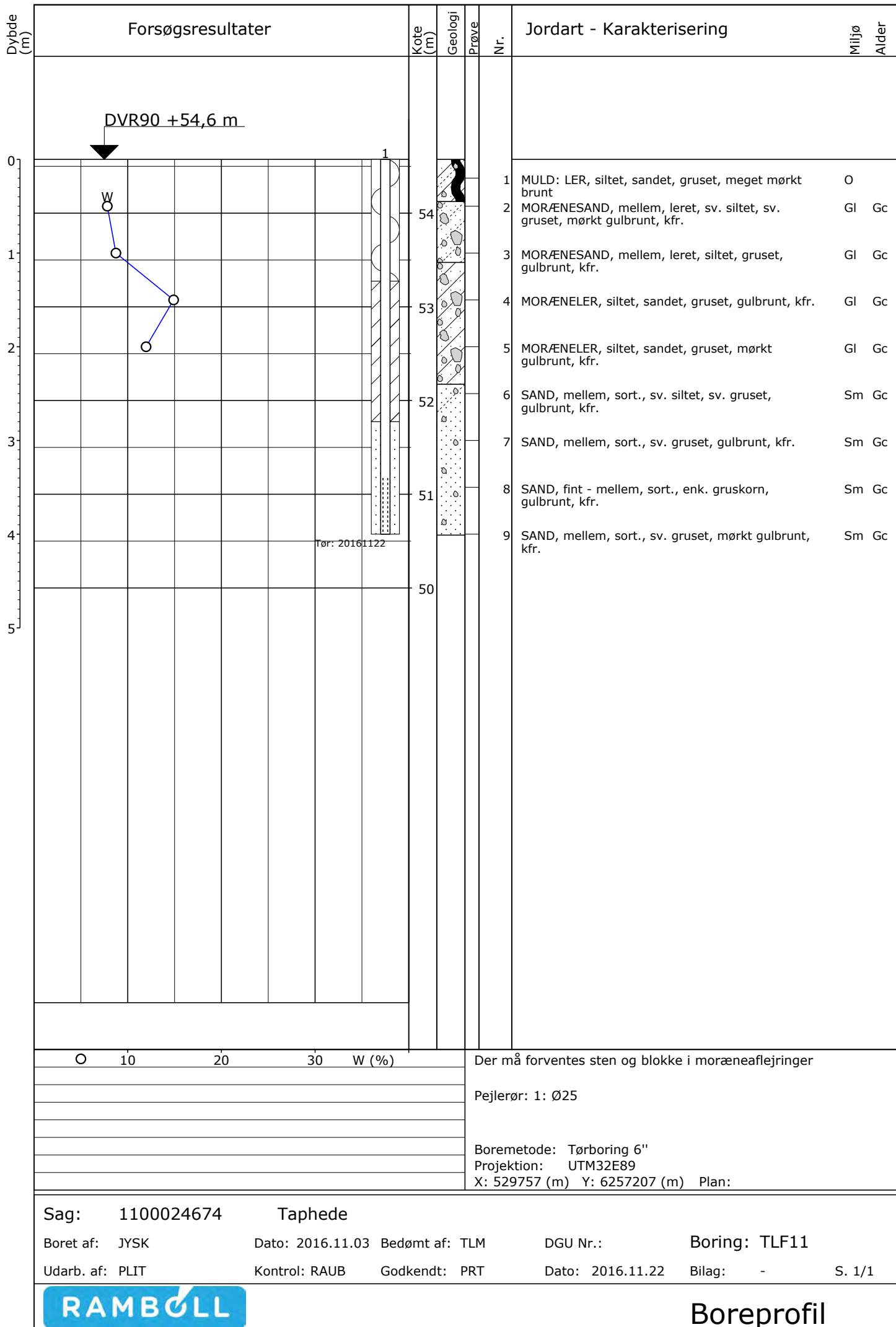
Dato: 2016.11.22

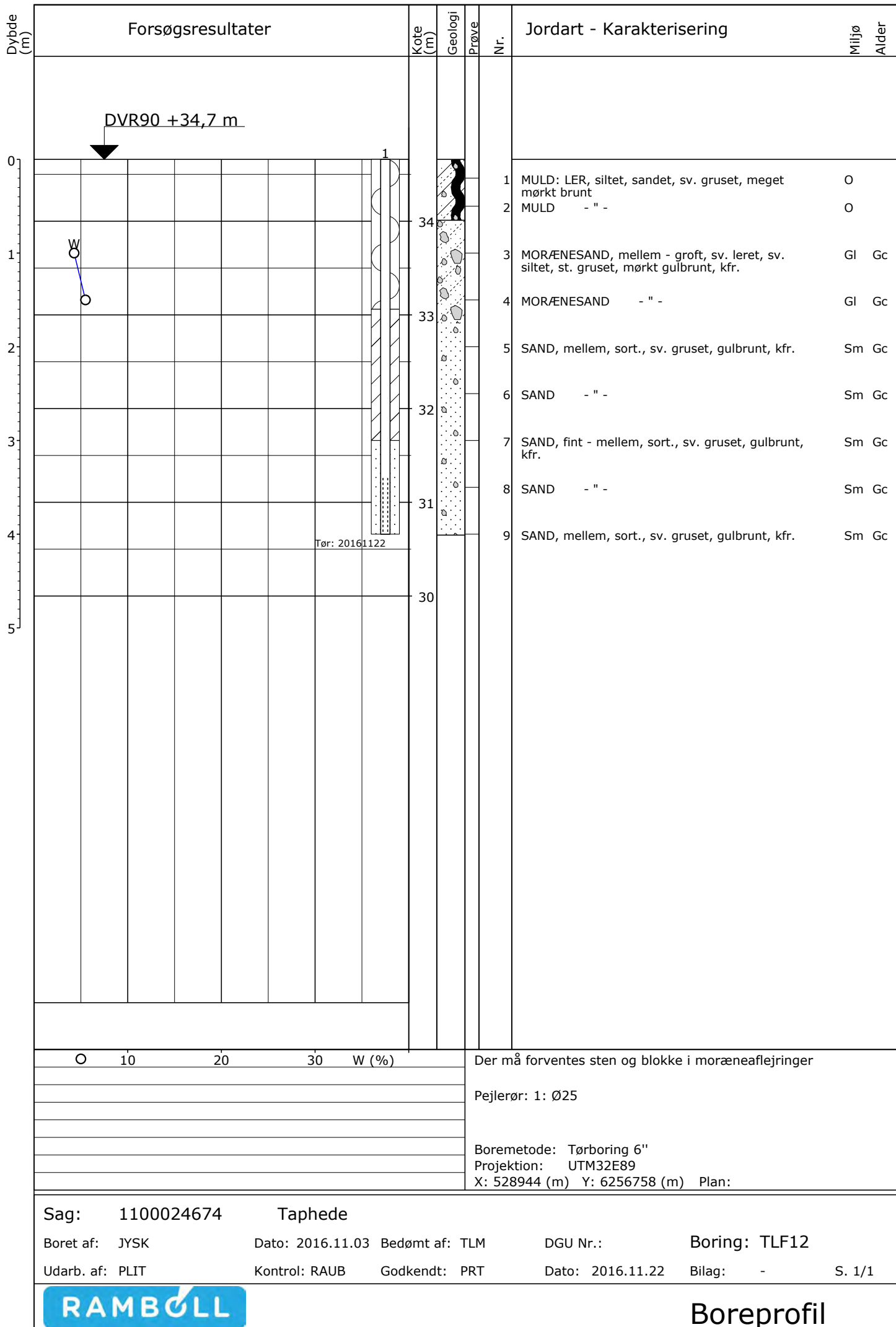
Bilag: -

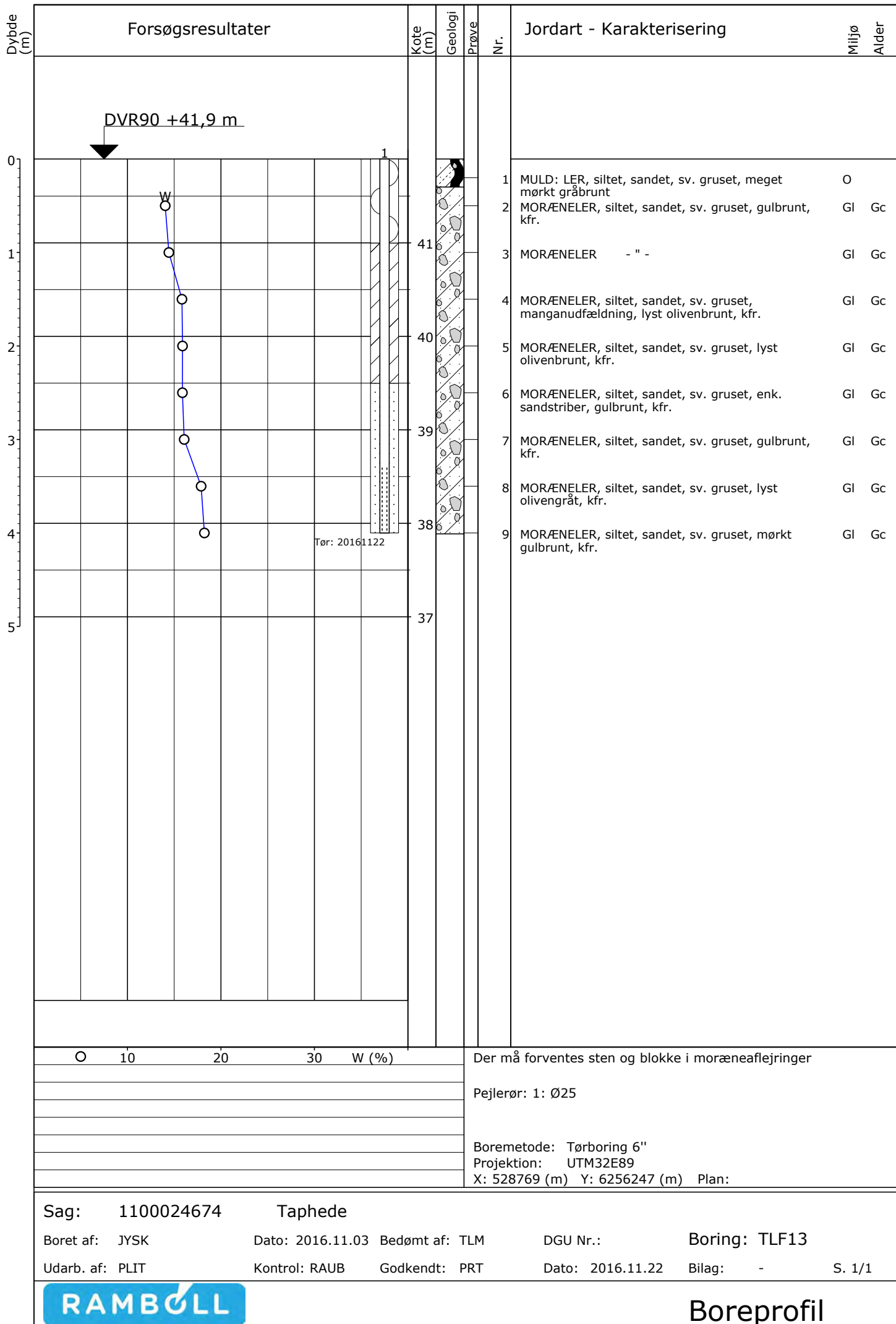
S. 1/1

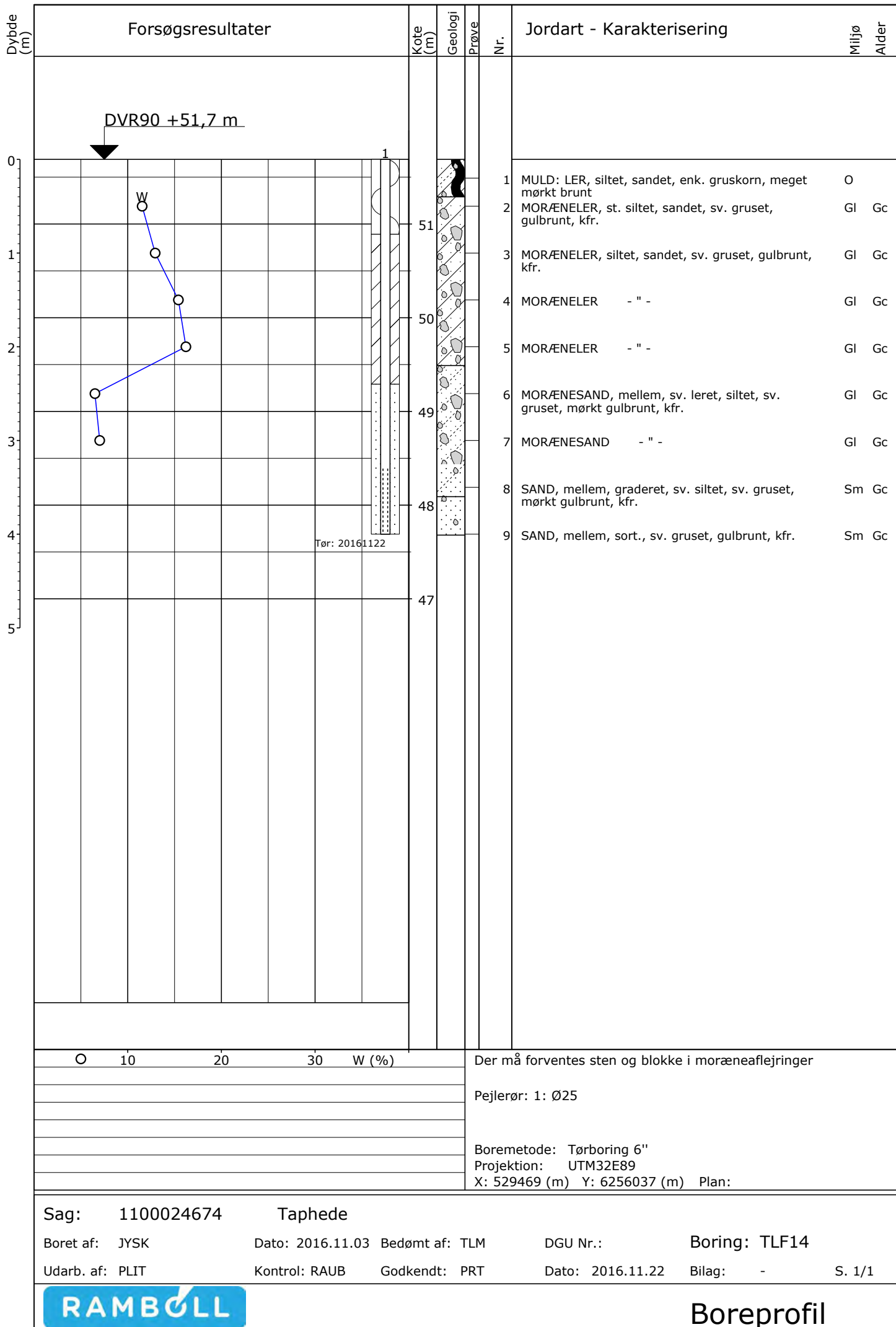


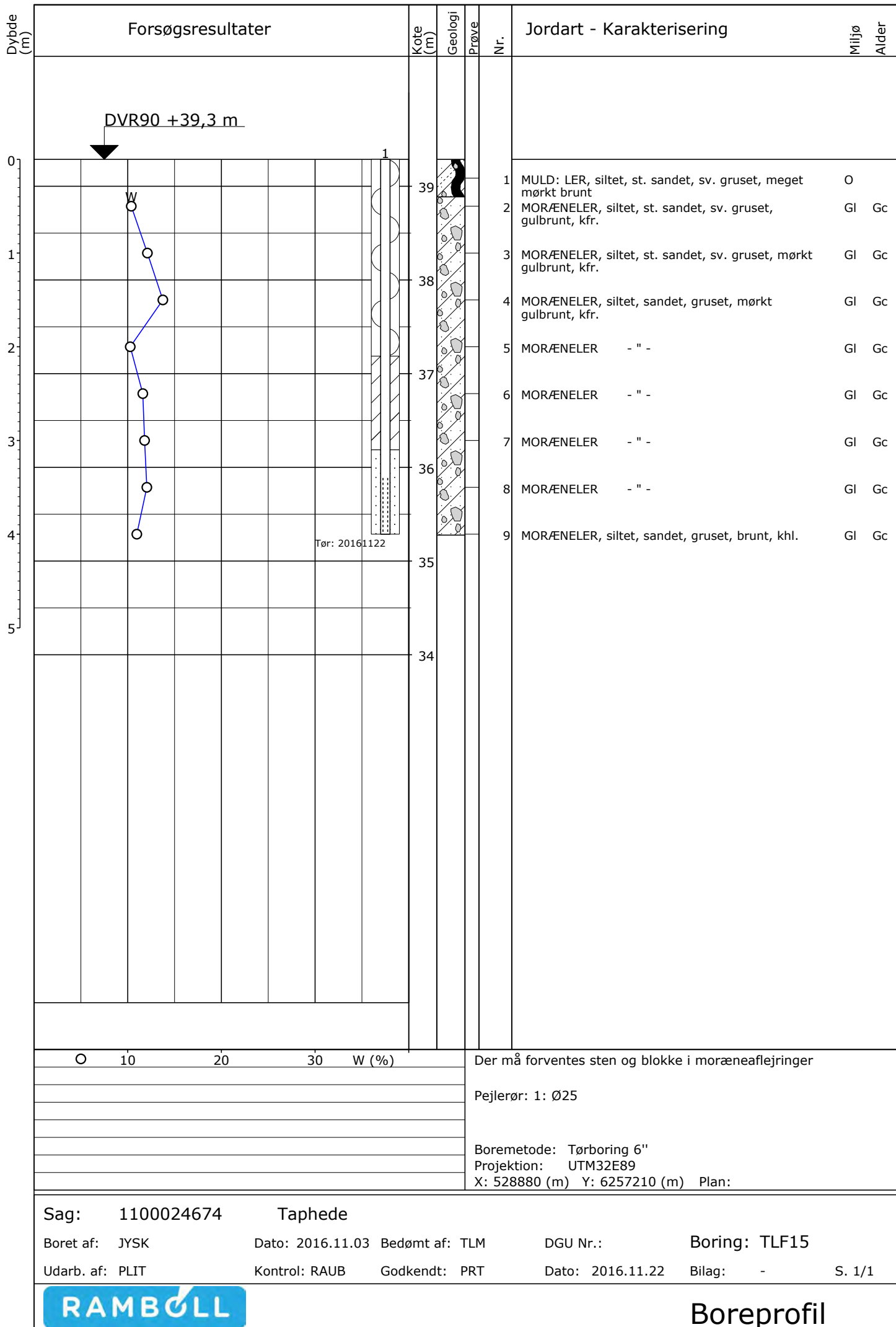
Boreprofil

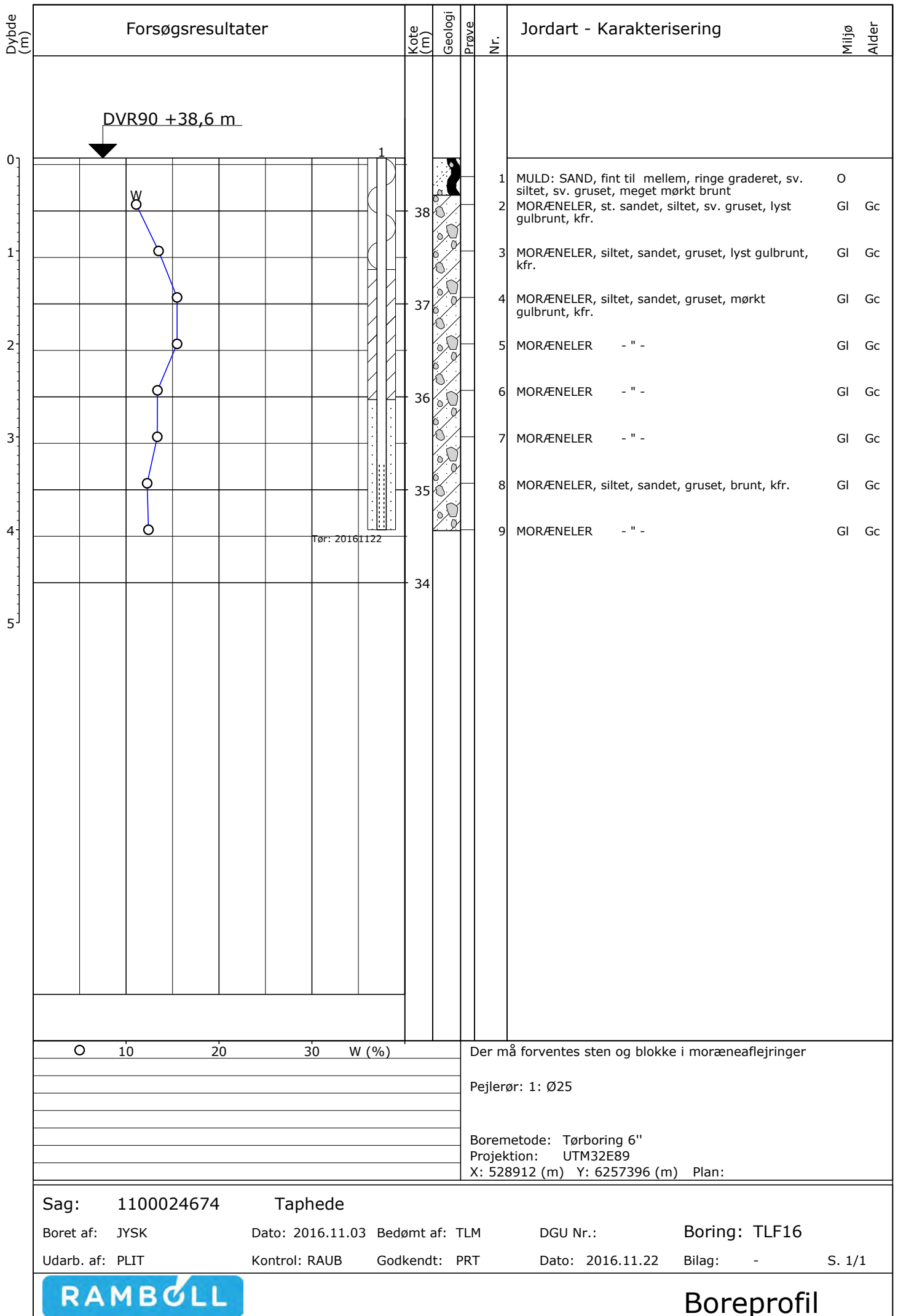


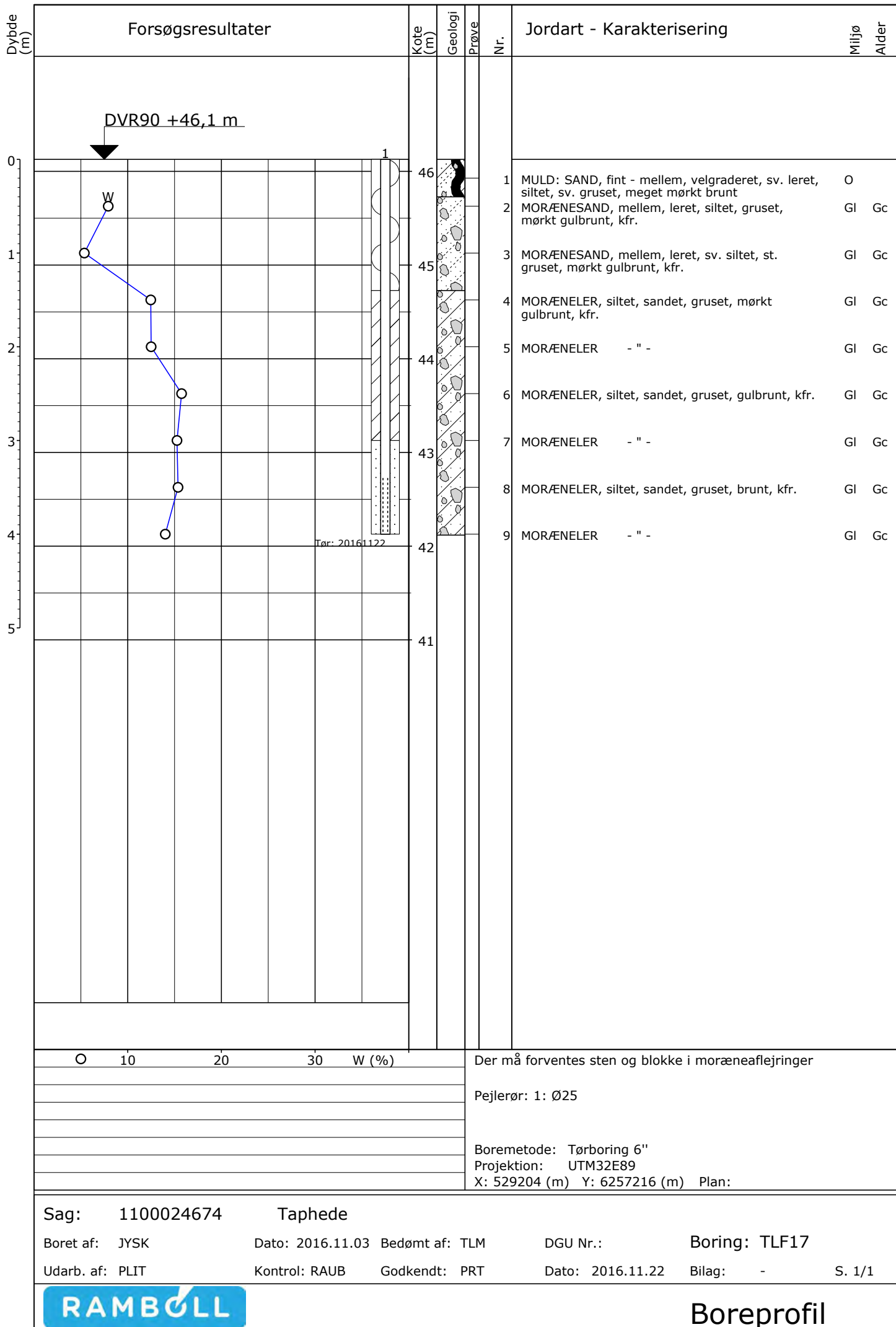


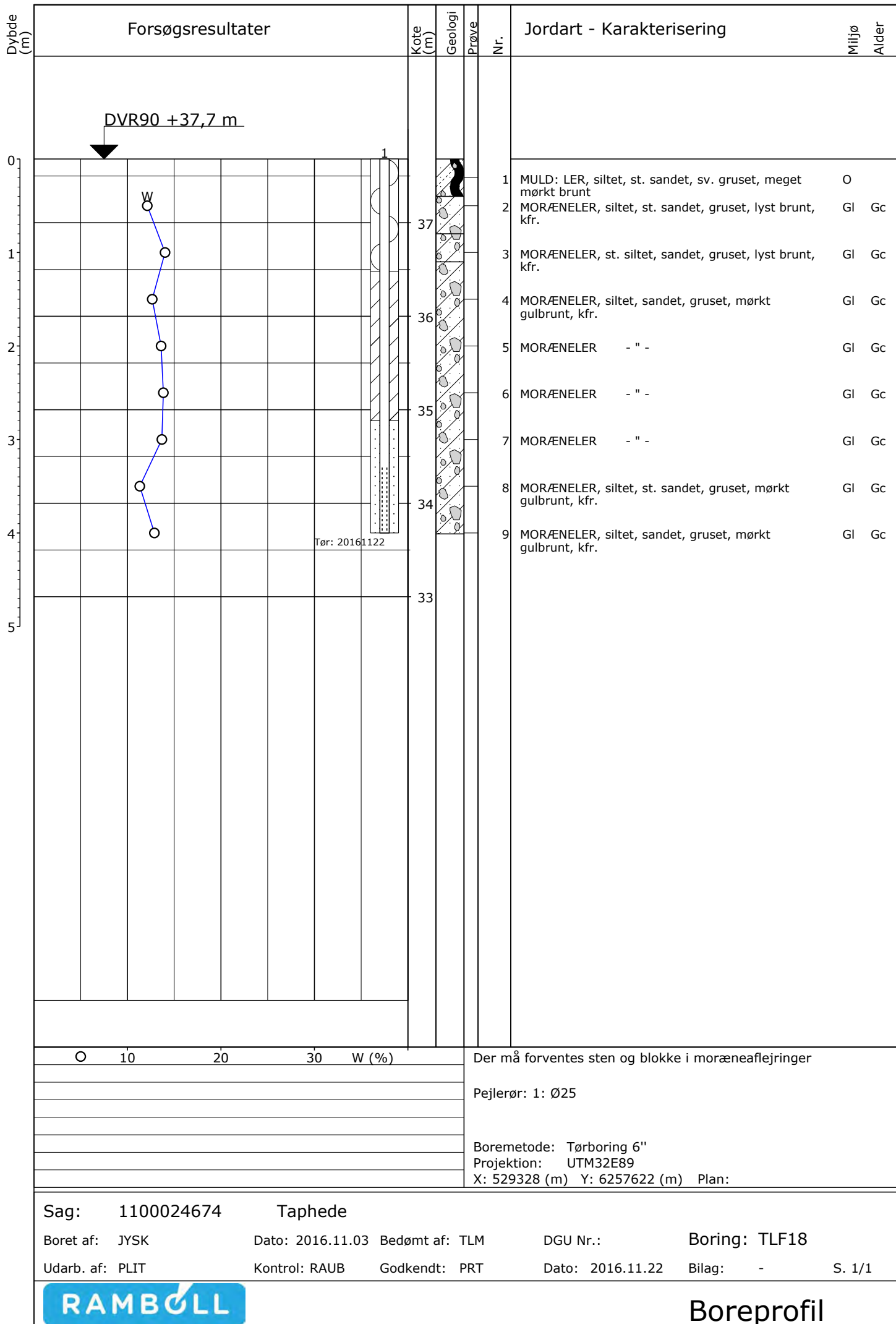


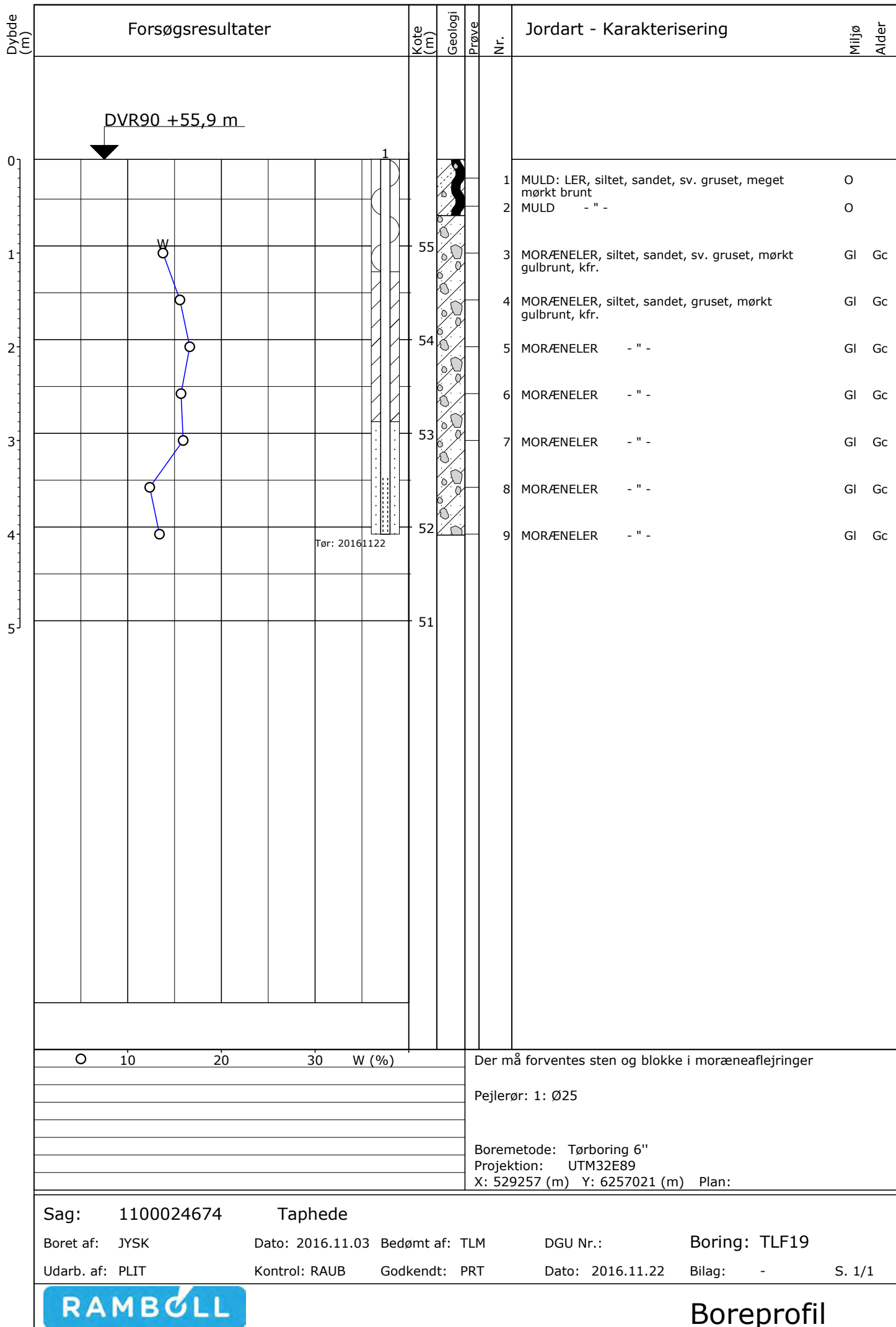


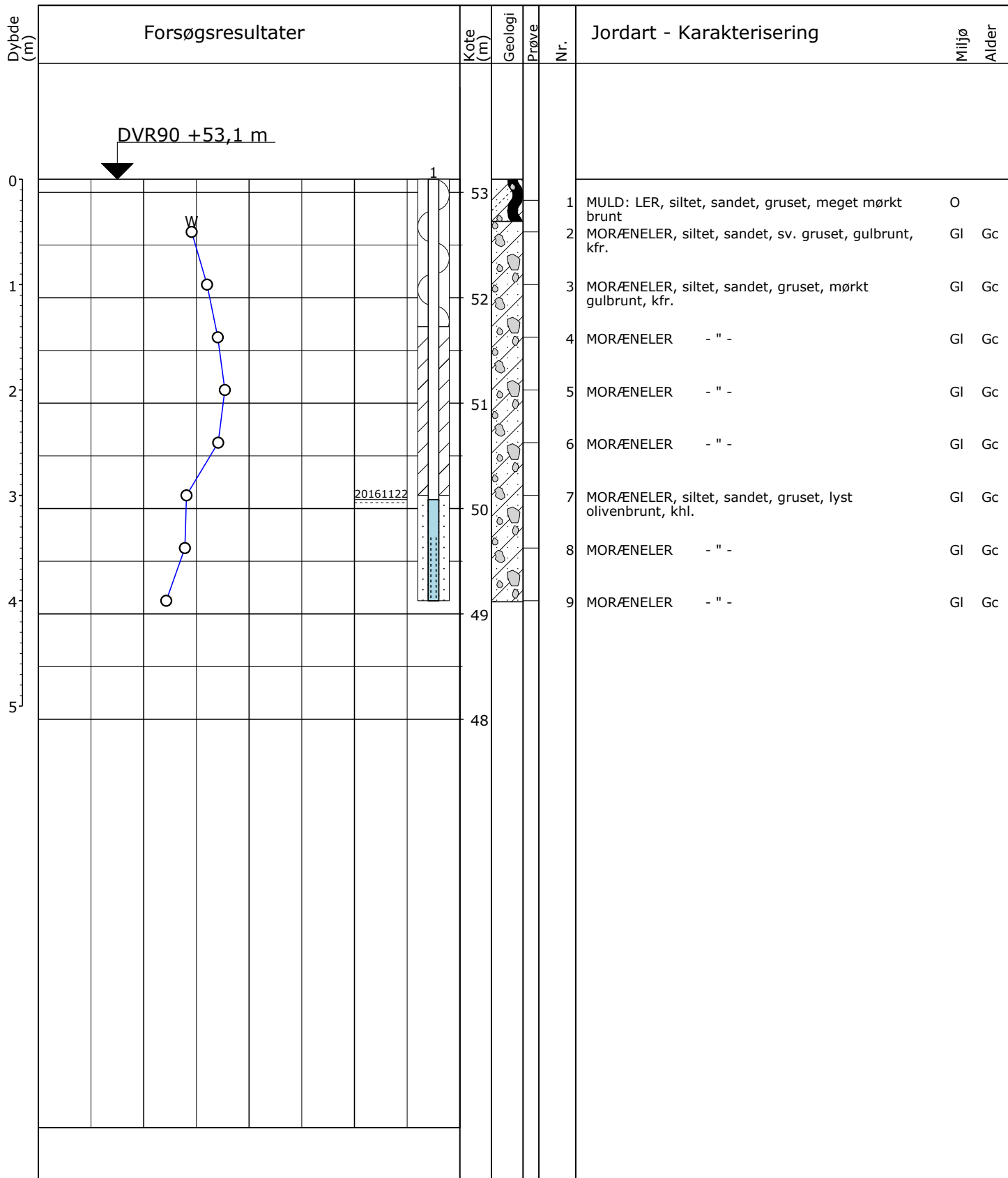












○ 10 20 30 W (%)

Der må forventes sten og blokke i moræneaflejringer

Pejlerør: 1: Ø25

Boremetode: Tørboring 6"

Projektion: UTM32E89

X: 529069 (m) Y: 6256383 (m) Plan:

Sag: 1100024674 Taphede

Boret af: JYSK

Dato: 2016.11.03 Bedømt af: TLM

DGU Nr.:

Boring: TLF20

Udarb. af: PLIT

Kontrol: RAUB

Godkendt: PRT

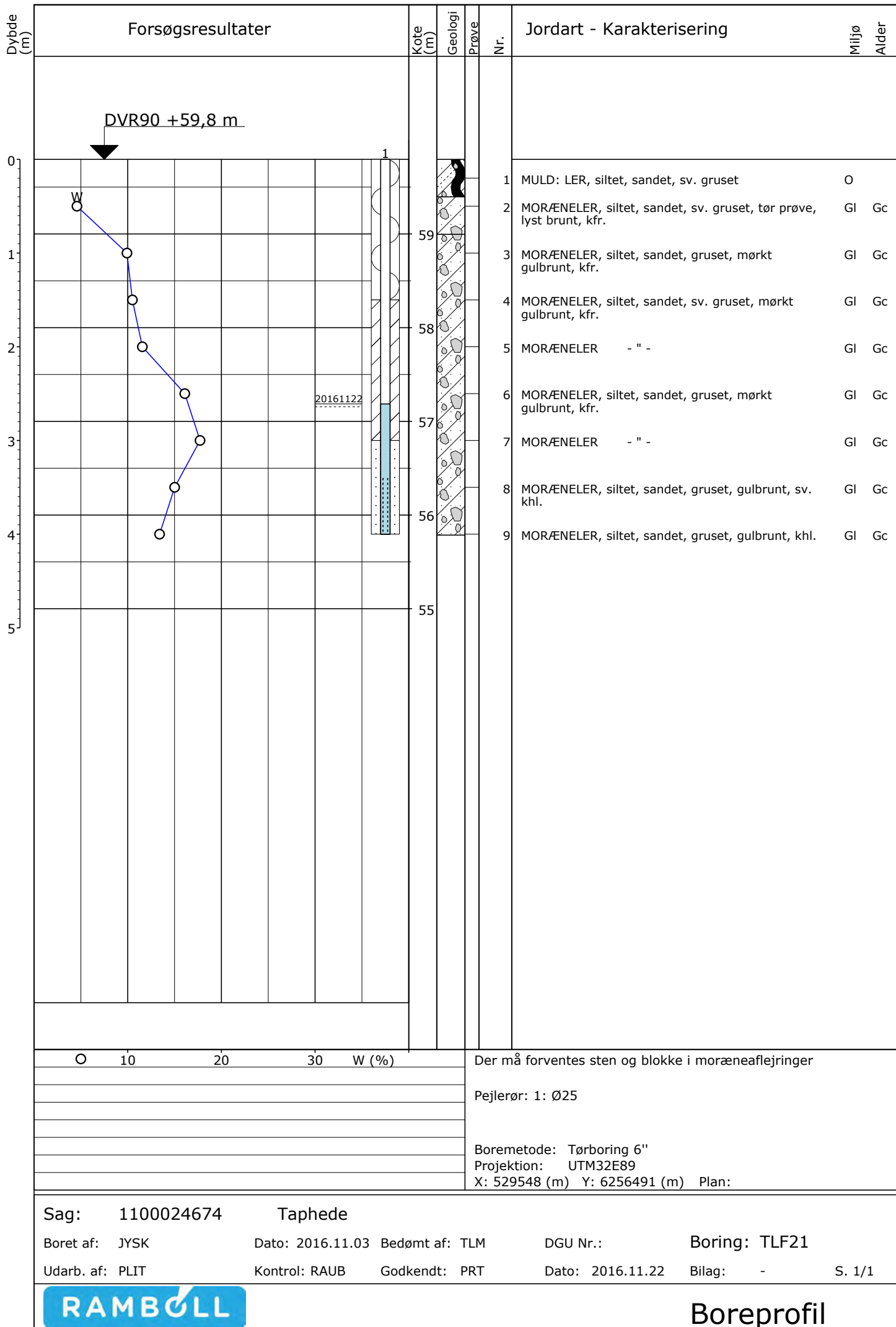
Dato: 2016.11.22

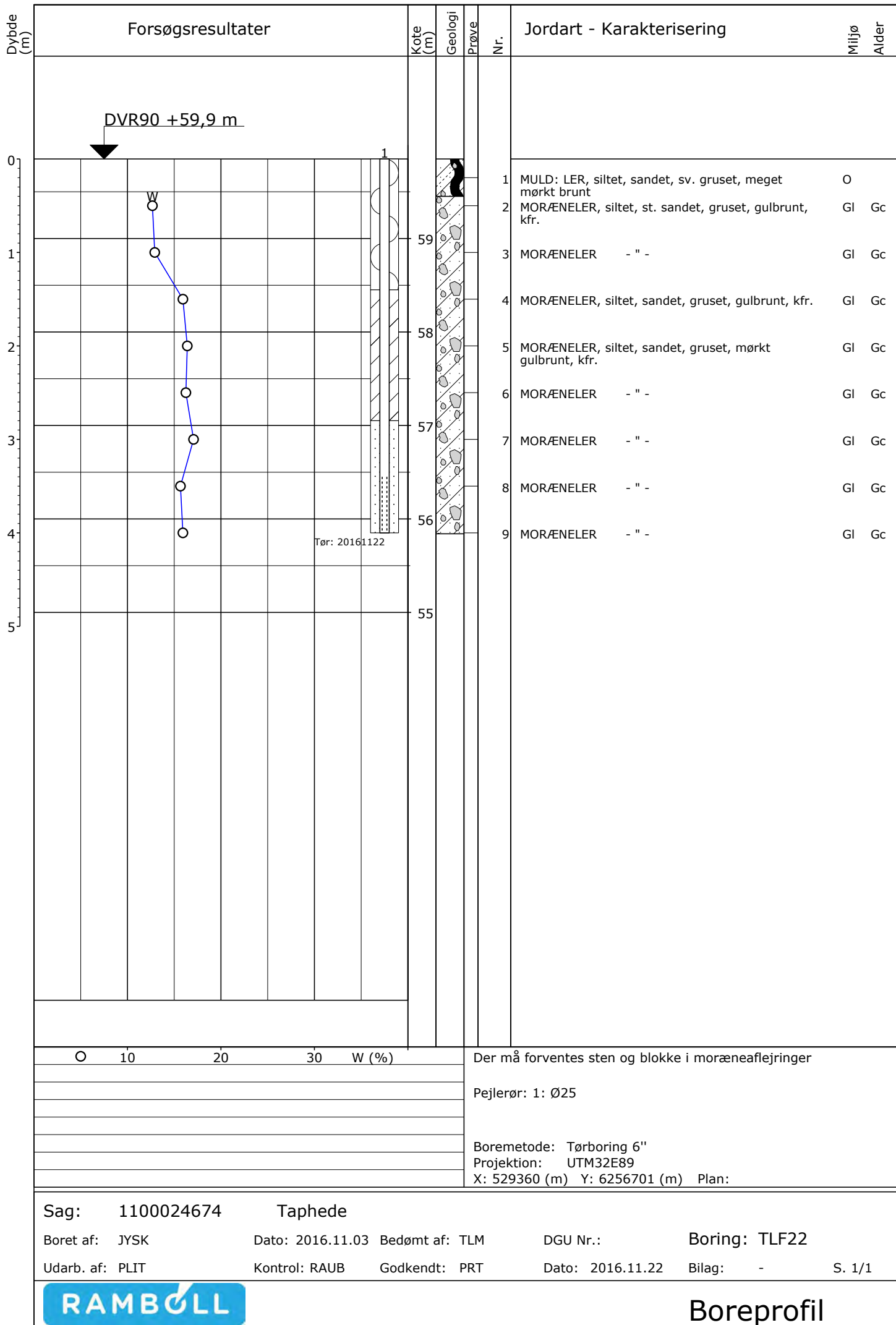
Bilag: -

S. 1/1



Boreprofil





Sag: 1100024674

Taphede

Boret af: JYSK

Dato: 2016.11.03 Bedømt af: TLM

DGU Nr.:

Boring: TLF22

Udarb. af: PLIT

Kontrol: RAUB

Godkendt: PRT

Dato: 2016.11.22

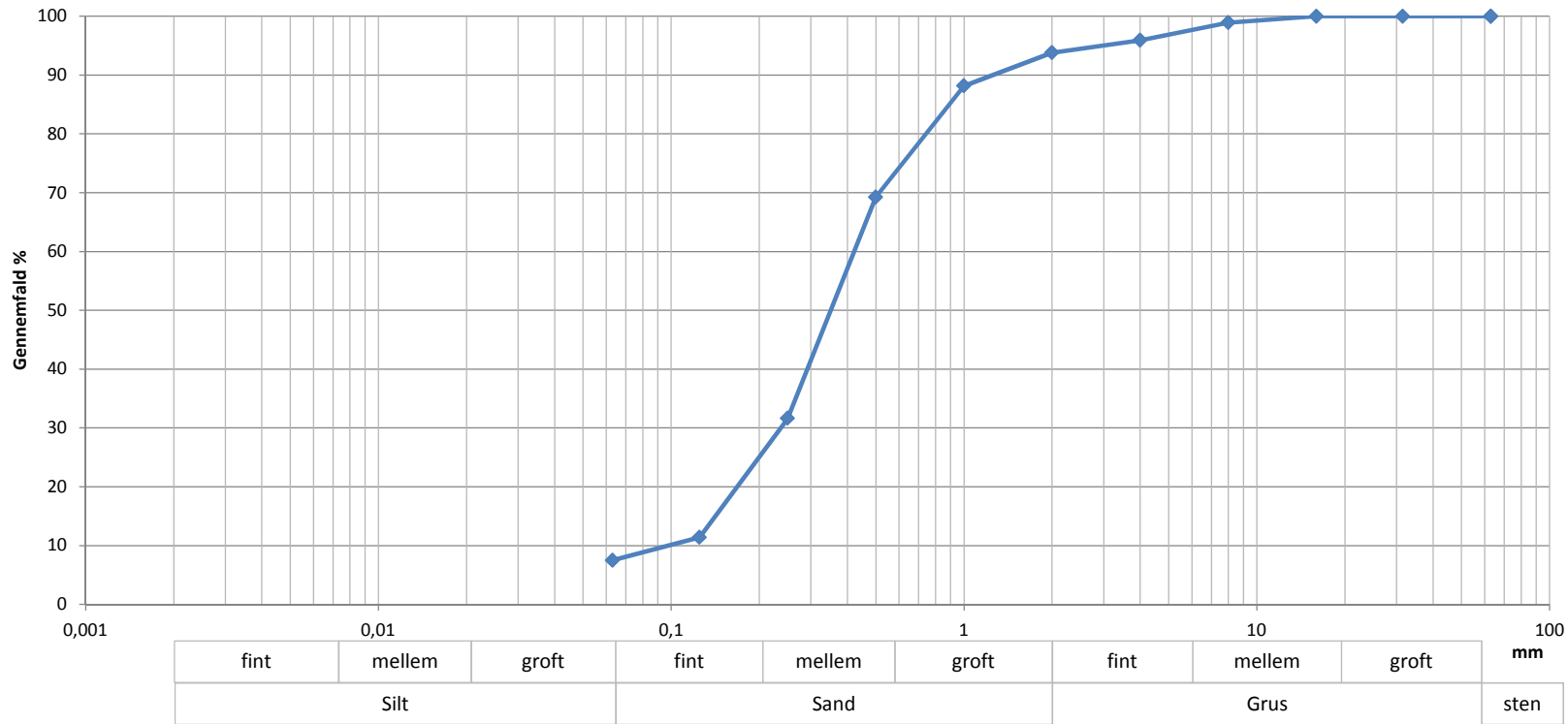
Bilag: -

S. 1/1



Boreprofil

| | | | |
|--------------------|--------------------|-------------------|---|
| Sagsnr: | 16.G0732.01 | KORNKURVE | |
| Sag: | Taphede | Standard: | DS/CEN ISO/TS 17892-4 og DS/EN 933-1: 2004 |
| Boring nr.: | TLF07 | Prøve nr.: | 7 |



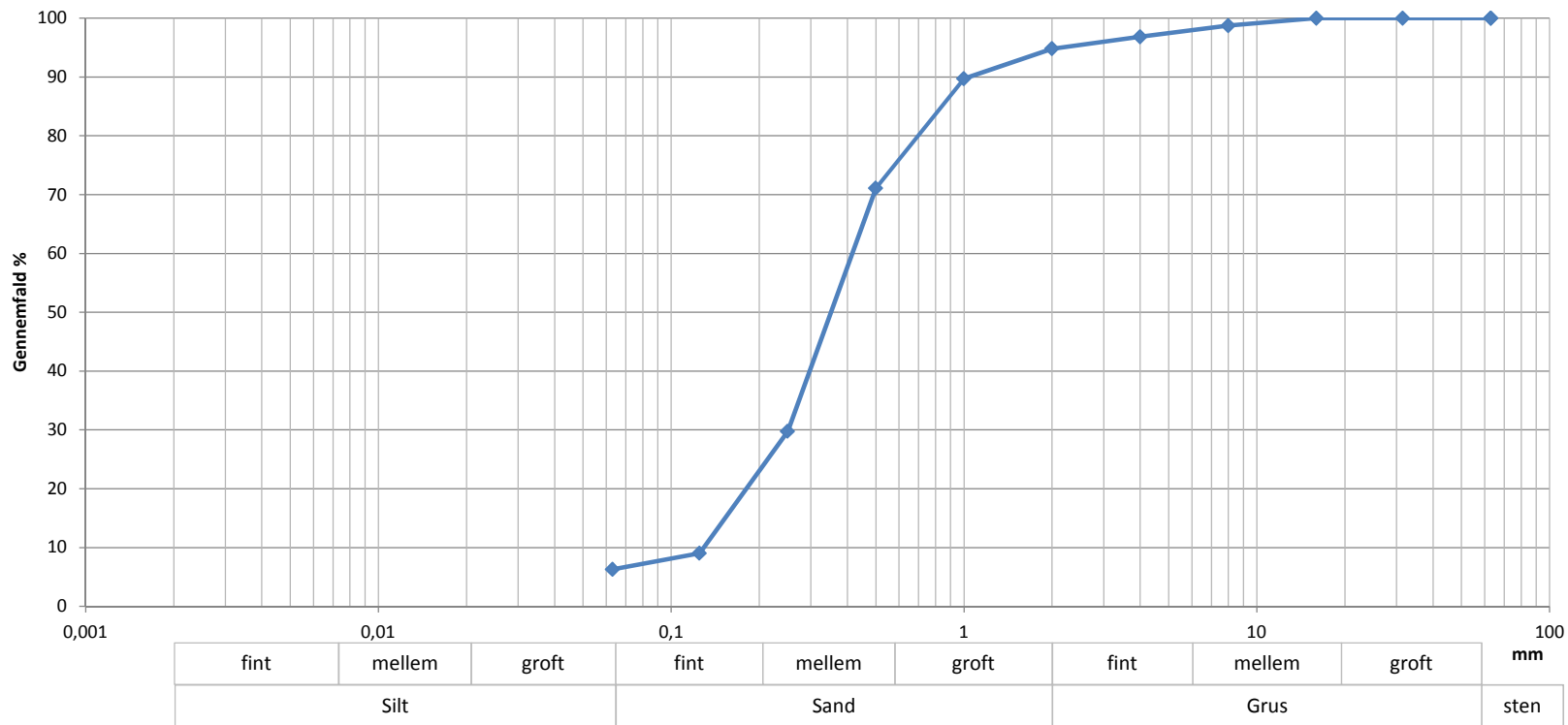
| Sigte (mm) | Gennemfald (%) |
|------------|----------------|
| 63 | 100 |
| 31,5 | 100 |
| 16 | 100 |
| 8 | 99 |
| 4 | 96 |
| 2 | 94 |
| 1 | 88 |
| 0,5 | 69 |
| 0,25 | 32 |
| 0,125 | 11 |
| 0,063 | 7,5 |

| |
|--------------------|
| Totalprøvens masse |
| 251,55 |

| | | | | |
|-------------------------|--------------|---------------------------|--|--------|
| Prøve nr | 7 | Geologi: | | |
| Middelkornstørrelse: mm | 0,35 | d10 | Bemærkninger: Beholder nr 25 | |
| U (d60/d10) | 4,3 | d20 | | |
| Grus + sten % | 6,2 | d50 | | |
| Sand % | 86,3 | d60 | | |
| <0,063 mm % | 7,5 | K-værdi efter Beyer (m/s) | 0,0001023 Metode: Vaskning og sigtning | |
| Udført af: | Udført dato: | KS af: | Godkendt: | Bilag: |
| SOKR | | PRT | PRT | 3.1 |



| | | | |
|--------------------|--------------------|-------------------|---|
| Sagsnr: | 16.G0732.01 | KORNKURVE | |
| Sag: | Taphede | Standard: | DS/CEN ISO/TS 17892-4 og DS/EN 933-1: 2004 |
| Boring nr.: | TLF11 | Prøve nr.: | 6 |



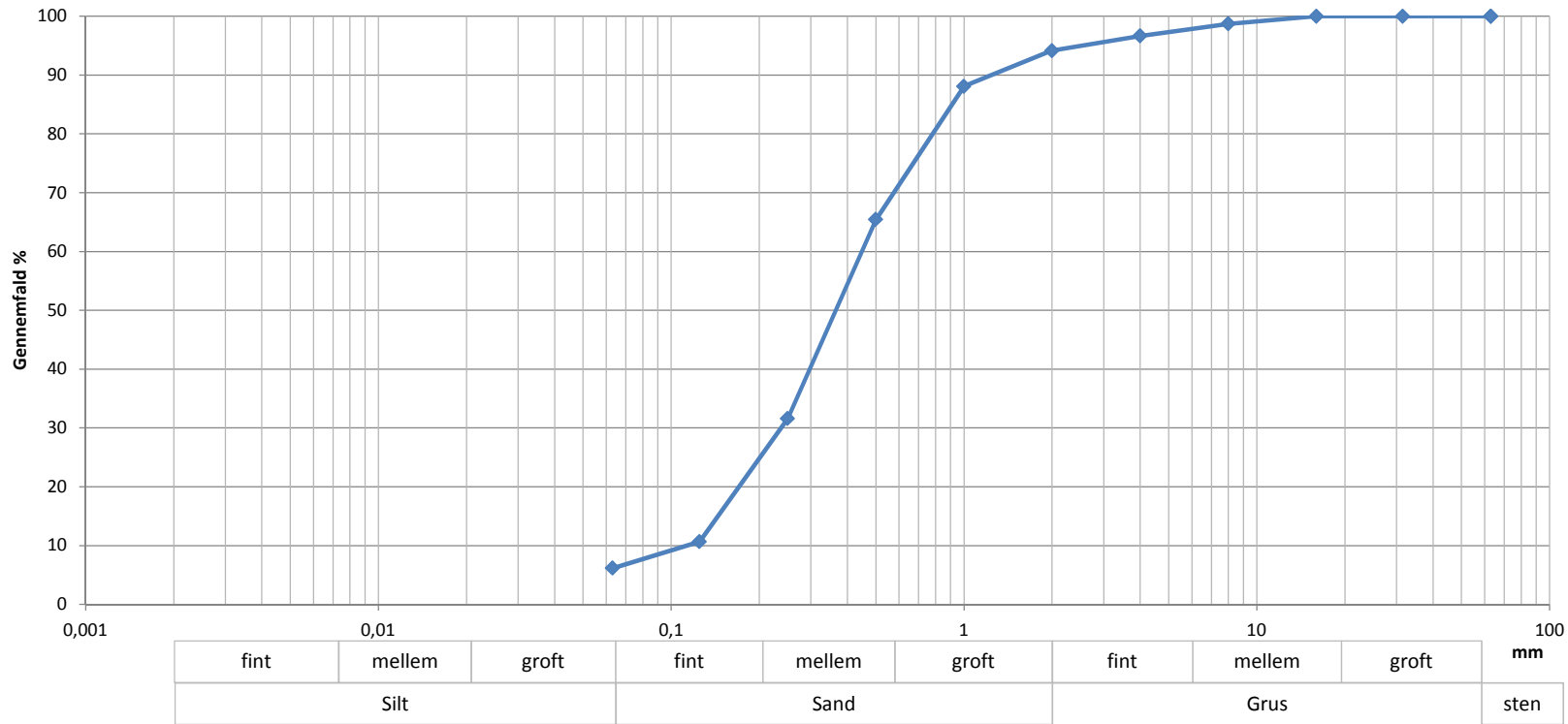
| Sigte (mm) | Gennemfald (%) |
|------------|----------------|
| 63 | 100 |
| 31,5 | 100 |
| 16 | 100 |
| 8 | 99 |
| 4 | 97 |
| 2 | 95 |
| 1 | 90 |
| 0,5 | 71 |
| 0,25 | 30 |
| 0,125 | 9 |
| 0,063 | 6,3 |

| |
|--------------------|
| Totalprøvens masse |
| 246,29 |

| | | | |
|-------------------------|------|---------------------------|-------------------------------|
| Prøve nr | 6 | Geologi: | |
| Middelkornstørrelse: mm | 0,35 | d10 | Bemærkninger: Beholder nr 5-7 |
| U (d60/d10) | 3,2 | d20 | |
| Grus + sten % | 5,2 | d50 | |
| Sand % | 88,5 | d60 | |
| <0,063 mm % | 6,3 | K-værdi efter Beyer (m/s) | 0,000189 |
| Udført af: SOKR | | Udført dato: | Metode: Vaskning og sigtning |
| | | KS af: PRT | Godkendt: PRT |
| | | Bilag: 3.2 | |



| | | | |
|--------------------|--------------------|-------------------|---|
| Sagsnr: | 16.G0732.01 | KORNKURVE | |
| Sag: | Taphede | Standard: | DS/CEN ISO/TS 17892-4 og DS/EN 933-1: 2004 |
| Boring nr.: | TLF12 | Prøve nr.: | 5 |



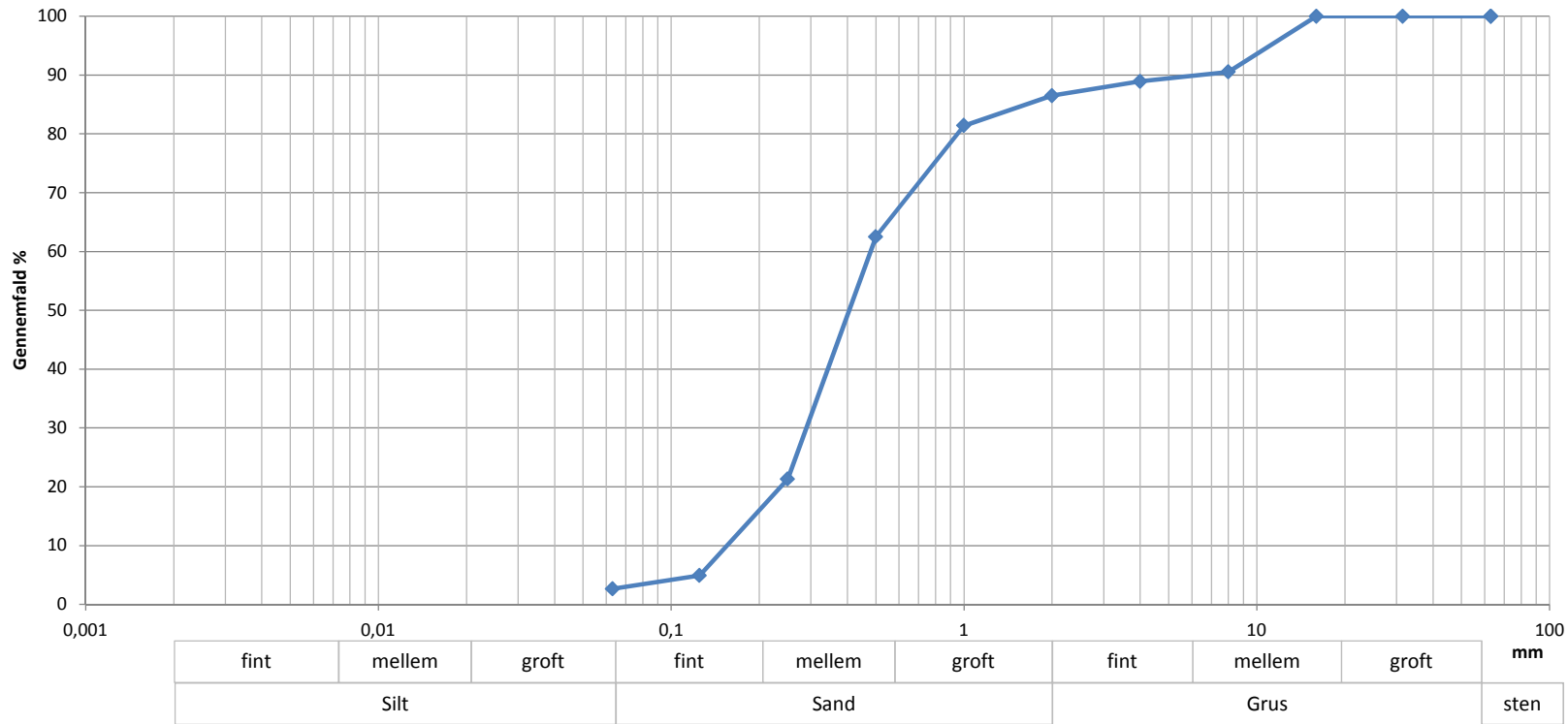
| Sigte (mm) | Gennemfald (%) |
|------------|----------------|
| 63 | 100 |
| 31,5 | 100 |
| 16 | 100 |
| 8 | 99 |
| 4 | 97 |
| 2 | 94 |
| 1 | 88 |
| 0,5 | 65 |
| 0,25 | 32 |
| 0,125 | 11 |
| 0,063 | 6,2 |

| |
|--------------------|
| Totalprøvens masse |
| 287,34 |

| | | | |
|-------------------------|--------------|---------------------------|--|
| Prøve nr | 5 | Geologi: | |
| Middelkornstørrelse: mm | 0,36 | d10 | Bemærkninger: Beholder nr 9 |
| U (d60/d10) | 4,0 | d20 | |
| Grus + sten % | 5,8 | d50 | |
| Sand % | 88,0 | d60 | |
| <0,063 mm % | 6,1 | K-værdi efter Beyer (m/s) | 0,0001387 Metode: Vaskning og sigtning |
| Udført af: | Udført dato: | KS af: | Godkendt: |
| SOKR | | PRT | PRT |
| | | Bilag: 3.3 | |



| | | |
|----------------------------|---|--|
| Sagsnr: 16.G0732.01 | KORNKURVE | |
| Sag: Taphede | Standard: DS/CEN ISO/TS 17892-4 og DS/EN 933-1: 2004 | |
| Boring nr.: TLF14 | Prøve nr.: 9 | |



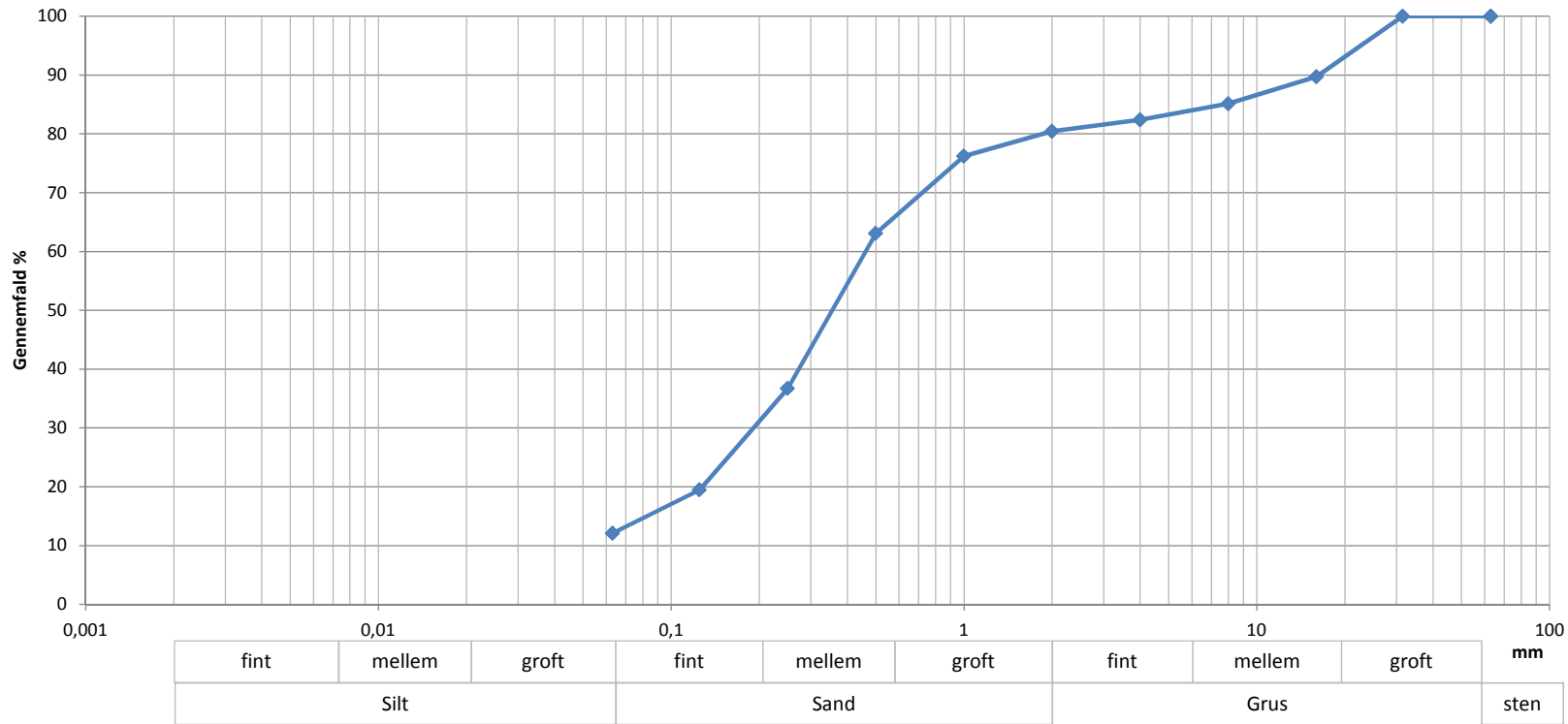
| Sigte (mm) | Gennemfald (%) |
|------------|----------------|
| 63 | 100 |
| 31,5 | 100 |
| 16 | 100 |
| 8 | 91 |
| 4 | 89 |
| 2 | 87 |
| 1 | 81 |
| 0,5 | 63 |
| 0,25 | 21 |
| 0,125 | 5 |
| 0,063 | 2,7 |

| |
|--------------------|
| Totalprøvens masse |
| 278,82 |

| | | | |
|-------------------------|------|---------------------------|------------------------------|
| Prøve nr | 9 | Geologi: | |
| Middelkornstørrelse: mm | 0,41 | d10 | Bemærkninger: Beholder nr 55 |
| U (d60/d10) | 3,1 | d20 | |
| Grus + sten % | 13,5 | d50 | |
| Sand % | 83,9 | d60 | |
| <0,063 mm % | 2,7 | K-værdi efter Beyer (m/s) | 0,0002739 |
| Udført af: SOKR | | Udført dato: 18-11-2016 | KS af: PRT |
| | | Godkendt: PRT | Metode: Vaskning og sigtning |
| | | | Bilag: 3.4 |



| | | | |
|--------------------|--------------------|-------------------|---|
| Sagsnr: | 16.G0732.01 | KORNKURVE | |
| Sag: | Taphede | Standard: | DS/CEN ISO/TS 17892-4 og DS/EN 933-1: 2004 |
| Boring nr.: | TLF16 | Prøve nr.: | 3 |



| Sigte (mm) | Gennemfald (%) |
|------------|----------------|
| 63 | 100 |
| 31,5 | 100 |
| 16 | 90 |
| 8 | 85 |
| 4 | 82 |
| 2 | 80 |
| 1 | 76 |
| 0,5 | 63 |
| 0,25 | 37 |
| 0,125 | 20 |
| 0,063 | 12,1 |

| |
|--------------------|
| Totalprøvens masse |
| 288,68 |

| | | | | |
|-------------------------|--------------|---------------------------|------------------------------|--------|
| Prøve nr | 3 | Geologi: | | |
| Middelkornstørrelse: mm | 0,35 | d10 | Bemærkninger: Beholder nr 12 | |
| U (d60/d10) | >7,3 | d20 | | |
| Grus + sten % | 19,6 | d50 | | |
| Sand % | 68,3 | d60 | | |
| <0,063 mm % | 12,1 | K-værdi efter Beyer (m/s) | Metode: Vaskning og sigtning | |
| Udført af: | Udført dato: | KS af: | Godkendt: | Bilag: |
| SOKR | | PRT | PRT | 3.5 |





- Muld
- Moræneler [ml]
- Morænesand [ms]
- Smeltevandssand [ds]



Rev.: 01
Dato: 2016-11-22
Af: PRT
Kontrol: MAXH
Sag: 1100024674

Bilag 4

Middelmodstand og tykkelsen af
i den umættede zone, samt geologisk
jordartbeskrivelse

Taphede

