

August Fiskum Ness

# Grunnvanns- og løsmassekartlegging med georadar for etablering av et akvakulturanlegg på Frya i Gudbrandsdalen

Masteroppgave i Tekniske geofag

Veileder: Bjørn Frenstad og Bernt Olav Hilmo

Juni 2021





August Fiskum Ness

# **Grunnvanns- og løsmassekartlegging med georadar for etablering av et akvakulturanlegg på Frya i Gudbrandsdalen**

Masteroppgave i Tekniske geofag  
Veileder: Bjørn Frengstad og Bernt Olav Hilmo  
Juni 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for geovitenskap og petroleum



Kunnskap for en bedre verden



# OPPGAVETEKST

*Grunnvanns- og løsmassekartlegging med georadar for etablering av et akvakulturanlegg på Frya i Gudbrandsdalen*

Formålet med oppgaven er å kartlegge utbredelsen av løsmasser, grunnvannsmagasin og samspillet mellom grunnvannsmagasinet og elvene Frya og Gudbrandsdalslågen, ved å benytte georadar. Det er ønskelig å utvikle et nytt RAS-anlegg (Resirkulerende akvakultursystemer) på Frya, Ringebru, noe som vil kreve etablering av nytt grunnvannsuttak og infiltrasjon av avløpsvann. I tillegg til å gjøre grunnvanns- og løsmassekartlegging med georadar vil også faktorer som hydrologi, arealbruk, potensielle forurensningskilder, utbyggingskostnader og grunneierforhold være med i vurderingen når egnede områder pekes ut.

Det er ønskelig å kartlegge grunnvannsstrømmen på Frya grunnet et varierende arealbruk i området. En vil ut fra denne kartleggingen kunne vurdere spredningsveier fra potensielle forurensningskilder. Denne informasjonen vil bli benyttet som et ledd i vurderingen av plasseringen av et nytt grunnvannsuttak og infiltrasjonsanlegg for RAS-anlegget, slik at anlegget ikke vil påvirke noen av dagens grunnvannsuttak.

Feltarbeidet i oppgaven vil i hovedsak bestå av systematisk kartlegging med georadar, befaringer på studieområdet og målinger av grunnvannsnivå i tilgjengelige brønner. I tillegg til feltarbeid vil informasjon og data fra tidligere hydrogeologiske-, miljøgeologiske- og grunnundersøkelser benyttes.

# SAMMENDRAG

En åpen akvifer på Frya er blitt kartlagt systematisk med georadar for å kartlegge grunnvannsstrømmen, interaksjonen mellom akviferen og elvene Frya og Gudbrandsdalslågen, samt løsmassemektheten og -sammensetningen. Hensikten var å finne egnede tomter på Frya for oppstart av et landbasert akvakulturanlegg som benytter RAS-teknologi.

Det var effektivt å benytte georadar til å kartlegge grunnvannsstrømmen på Frya siden en hadde flere brønner å korrigere bølgehastigheten mot, grunnvannsnivået lå oftest i grove løsmasser med lavt kapillærsug og det var et betydelig innhold av stein i umettet sone en kunne utføre hyperboltilpasninger på. Valg av bølgehastighet, skarpheten og bredden på pulsene i radargrammet, og georefereringen av profilene er usikkerheter knyttet til metoden. Dette vil ofte gi så store usikkerheter at metoden vil være dårligere egnet i områder hvor det er liten endring i hydraulisk potensial som styrer grunnvannsstrømmen.

På Frya er det varierende arealbruk med forskjellig forurensningspotensial, og ekvipotensialkartet ble benyttet for å indikere områder hvor grunnvannet kan være forurenset. Kartleggingen viste at elva Frya er influent og mater akviferen gjennom en umettet sone, og skaper et grunnvannsskille som skiller østlige og vestlige deler av Frya-området fra hverandre. Gudbrandsdalslågen mates av grunnvannsmagasinet, men på øst-siden av Frya er grunnvannsstrømmen mer parallell med Gudbrandsdalslågens retning og på vest-siden går grunnvannsstrømmen i en sør-vestlig retning.

Løsmassemektheten på Frya er stor, og bergoverflaten ble ikke indikert i utførte undersøkelser. Georadarmålingene og tilgjengelige boringer på studieområdet antyder at det er tre lagpakker. Øverst en vifteavsatt grusig sand med innhold av stein, etterfulgt av et 2-3 meter lakustrint avsatt finsandlag over en mektig sandavsetning med høy permeabilitet. Det bør utføres sonderboringer og etableres undersøkelsesbrønner for å kontrollere denne tolkningen, da disse avsetningene ikke behøver å være kontinuerlige på Frya og georadarprofilene ikke er entydige.

En tomt nord-øst på Frya er blitt pekt ut for plassering av akvakulturanlegget og videre utredninger. Denne tomten har en mektighet på umettet sone varierende fra 7 til 4 meter, et tilsigsområde med lite problematisk arealbruk, og vannprøver fra dette området viser tilfredsstillende vannkvalitet. Muligheter for grunnvannsuttak og infiltrasjon på samme tomt, infiltrasjon på egen tomt og samarbeid med kommunen om uttak av vann eller et eget uttak av grunnvann på en annen nærliggende tomt må utforskes i neste trinn.

# ABSTRACT

An open aquifer at Frya has been systematically mapped with ground-penetrating radar (GPR) for the purpose of mapping the groundwater flow, the interaction between the aquifer and the rivers Frya and Gudbrandsdalslågen, and the extent and composition of the geological materials. The purpose was to designate suitable properties at Frya for the start-up of a land-based aquaculture facility.

Using GPR to map groundwater flow was an effective tool at Frya, since there were several wells to correct the wave velocity against, the groundwater level was most often situated in coarse sand and gravel with low capillary fringe, and there was a significant content of boulders in the unsaturated zone where hyperbolic adjustments could be made. The choice of wave velocity, the sharpness of the wavelet in the radargram and the georeferencing of the profiles are uncertainties associated with the method. These uncertainties will often render the method less suitable in areas where there are small changes in hydraulic potential controlling the flow.

At Frya there is varying land use with different potential of pollution. The equipotential map was used to indicate exposed areas. The river Frya is influential and feeds the aquifer through an unsaturated zone, creating a groundwater barrier that separates eastern and western parts of the Frya area from each other. The aquifer feeds Gudbrandsdalslågen at both sides of Frya, but at the eastern parts of Frya the ground water flow is more parallel and along the river Gudbrandsdalslågen, and the western part has a flowpath in a south-west direction.

There is a large thickness of unconsolidated sediments at Frya, and no bedrock has been indicated. Based on the GPR profiles and available boreholes in the study area, three sediment layers have been interpreted. First a layer of fan-deposited gravelly sand, followed by a 2-3 meter lacustrine deposited fine sand layer over a thick sand deposit with high permeability. Probe drilling and exploration wells should be carried out to control this interpretation, as these deposits do not have to be continuous at Frya.

An area north-east of Frya has been designated for the location of the aquaculture facility. This area has a thickness of unsaturated zone varying from 7 to 4 meters, and water samples from the area shows satisfying quality. Further studies should investigate the opportunities for groundwater abstraction and infiltration on the same property, infiltration on own property and cooperation with the municipality on abstraction of water or a separate abstraction of groundwater on another nearby property.

# FORORD

Masteroppgaven «*Grunnvanns- og løsmassekartlegging med georadar for etablering av et akvakulturanlegg på Frya i Gudbrandsdalen*» er utført ved Institutt for geovitenskap og petroleum hos Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet våren 2021, og beskrivelsen av oppgaven ble utformet i midten av januar 2021.

Oppgaven er blitt skrevet i samarbeid med Asplan Viak AS, under Asplan Viak-programmet. Sommeren 2020 ble undertegnende introdusert til kartlegging med georadar i felt med Bernt Olav Hilmo og Rolf Forbord hos Asplan Viak. Det var en lærerik opplevelse som resulterte i et ønske om å gå videre med metoden både på prosjekt og masteroppgave. En stor takk rettes til Bernt Olav Hilmo for god oppfølging underveis i oppgaven, hyggelige feltturer og alle faglige råd. Jeg vil også rette en stor takk til Rolf Forbord for mange gode faglige innspill, hyggelige samtaler og hjelp med programvare underveis i arbeidet.

Jeg vil også takke for samarbeidet og deling av informasjon til alle kontaktpersoner rundt på Frya, dette være representanter fra Ringebu kommune, Sør-Fron kommune, Tine Frya, Frya renseanlegg, Midt-Gudbrandsdals renovasjonsselskap, Statens vegvesen med mer.

Til slutt vil jeg rette en stor takk til min hovedveileder Professor Bjørn Frengstad ved NTNU for gode råd, gode samtaler og veiledning underveis i skrivingen.

# Innholdsfortegnelse

OPPGAVETEKST.....	I
SAMMENDRAG.....	II
ABSTRACT.....	III
FORORD .....	IV
FIGURLISTE.....	X
TABELLISTE.....	XIV
1 INNLEDNING.....	1
2 TEORI.....	4
2.1 Grunnvannsstrømning.....	4
2.2 Ekvipotensialkart .....	5
2.3 Interaksjonen mellom vassdrag og grunnvann .....	6
2.4 Infiltrasjonsegenskaper til umettet sone.....	9
2.5 Spredning av forurensing og sone-inndeling .....	10
2.6 Georadar og elektromagnetiske bølger .....	12
2.6.1 Elektromagnetiske bølger .....	13
2.6.2 Hastighetskalibrering .....	18
2.6.3 Prosessering og databehandling.....	19
2.6.4 Tolkning.....	21

3 OMRÅDEBESKRIVELSE.....	24
3.1 Geografi .....	24
3.2 Hydrologiske og klimatiske data .....	25
3.2.1 Frya .....	25
3.2.2 Gudbrandsdalslågen.....	27
3.2.3 Flom.....	30
3.2.4 Klima.....	31
3.3 Berggrunnsgeologi.....	32
3.4 Kwartærgeologi .....	34
3.5 Arealbruk og potensielle forurensningskilder.....	37
3.5.1 Arealbruk over tid.....	38
3.5.2 Frya miljøstasjon.....	42
3.5.3 Frya Renseanlegg.....	42
3.5.4 Bilverksteder og entreprenører som Frya Bil, Fron Diesel, Fron bilverksted og Frya Grustak.....	43
3.5.5 Tine Frya.....	44
E3.5.6 Deponi av sprengstein .....	45
3.5.7 Uttak av sand og grus.....	47
3.5.8 Frya Flyplass .....	47
3.5.9 Pipelife AS – Isoterm AS og annen industri.....	48
3.5.10 Jordbruk og gårdsdrift.....	48
3.5.11 Travbanen .....	48
3.5.12 Privat infiltrasjonsanlegg .....	48
3.5.13 Dovrebanen .....	49



3.5.14 E6 .....	49
3.6 Dagens vannuttak og tilgjengelige peilebrønner.....	52
3.6.1 Frya vannverk .....	52
3.6.2 Tine Frya.....	54
3.6.3 Gårdsbruk Sør-Fron .....	55
3.6.4 Frya renseanlegg .....	55
3.6.5 Pipelife Norge AS .....	55
3.6.3 Midt-Gudbrandsdals Renovasjonsanlegg .....	55
3.7 Tidligere hydrogeologiske undersøkelser og andre rapporter .....	56
3.7.1 NGU 1997 - Frya .....	56
3.7.2 Miljøgeologi AS 2005 – Risøya .....	58
3.7.3 Norconsult 2010 – Risøya.....	58
3.7.4 Geovita 2010 – Grunnundersøkelser knyttet til kulvert ved E6 Frya .....	60
4 METODE.....	61
4.1 Forhåndskartlegging .....	61
4.2 Feltarbeid .....	63
4.2.1 Georadarkartlegging .....	63
4.2.2 Måling av grunnvannstand.....	65
4.3 Databehandling og fremlegging av resultat .....	65
4.3.1 Kartbehandling.....	65
4.3.2 Prosessering og tolkning av georadardata.....	66
4.3.3 Modellering og visualisering. ....	68
4.3.4 Tolkning av løsmassesammensetning.....	69
5 RESULTATER.....	70

5.1 Målinger av grunnvannsnivå.....	73
5.2 Hastighetskalibrering av umettet sone .....	75
5.2.1 Profil 1 og 2 .....	75
5.2.2 Profil 6 og 9 .....	78
5.2.3 Profil 22, 23 og 27 .....	81
5.2.4 Profil 14 og 24 .....	84
5.2.5 Profil 13 .....	86
5.2.6 Andre hyperboltilpasninger .....	87
5.3 Tolkning av grunnvannsnivå.....	90
5.4 Modell av grunnvannsspeilets overflate .....	95
5.5 Mektighet på umettet sone .....	97
5.6 Løsmassesammensetning.....	98
5.6.1 Tolkning av profil 4 med 50 MHz, 100 MHz og 250 MHz.....	98
5.6.2 Tolkning av andre profiler .....	104
6 DISKUSJON.....	113
6.1 Gyldighet for tolkninger og resultater.....	113
6.1.1 Ekvipotensialkart .....	113
6.1.2 Løsmassetolkning basert på georadar .....	116
6.2 Georadar som metode for kartlegging av grunnvannsstrømmen.....	117
6.3 Løsmassesammensetning.....	118
6.4 Umettet sone og sårbarhet mot forurensning .....	119
6.4.1 Infiltrasjonspotensial.....	119
6.4.2 Akviferens sårbarhet .....	119

6.5 Strømningsbilde og spredning av potensielle forurensningskilder .....	122
6.5.1 Strømningsretning og interaksjon mellom vassdrag og grunnvannsmagasin.....	122
6.5.2 Spredning av potensiell forurensning .....	123
6.6 Vurdering av lokasjon for videre utredning.....	127
7 KONKLUSJON .....	130
REFERANSER.....	132
VEDLEGG.....	138

# FIGURLISTE

Figur 1: Prosentvis bruk av grunnvann til vannforsyning i gamle fylker i Norge (Brattli, 2016). .....	1
Figur 2: Eksempler på forskjellige interaksjoner som finnes mellom vassdrag og grunnvann (Berhane, 2015). (a) Effluent elv. (b) Influent elv. (c) Frakoblet grunnvannsmagasin. (d) Elv med gjennomstrømmende grunnvann.....	7
Figur 3: Interaksjon mellom vassdrag og grunnvann ved flomsituasjoner. A) Normalsituasjon der grunnvannet mater elva. B) Vannstand opp til elvebanken, som fører til temporær lagring og nydannelse av grunnvann i elvebanken. C) Flomepisoder med stor nydannelse av grunnvann (Winter et al., 1998).....	8
Figur 4: Forslag til arealbruksbegrensning i de forskjellige klausuleringssonene. Hentet fra Eckholdt og Snilsberg, 1992. ....	12
Figur 5: Prinsipper over hvordan diffraksjoner skaper hyperboler som varierer med hastigheten i mediet og dypet de kommer fra (Annan, 2001).....	19
Figur 6: Refleksjonskonfigurasjoner fra georadar knyttet mot forskjellige avsetninger (Mauring, et al., 1994). ....	23
Figur 7: Frya og Fryas regionale beliggenhet. ....	24
Figur 8: Øverst er Frya sitt nedbørsfelt markert og tabellen under viser tilhørende hydrologiske data til vassdraget og nedbørsfeltet. Generert fra NVE sin tjeneste NEVINA (NVE, 2021a).....	26
Figur 9: Øverst er Gudbrandsdalslågen sitt nedbørsfelt markert og tabellen under viser tilhørende hydrologiske data til vassdraget. Generert fra NVE sin tjeneste NEVINA (NVE, 2021a).....	28
Figur 10: Vannstand i Gudbrandsdalslågen ved stasjon i Eide, like nord for Vinstra (NVE, 2021b). ....	29
Figur 11: Kart som viser konsekvensene av en 200-årsflom på Frya (Naserzadeh & Larsen, 2004).....	30
Figur 12: Månedsnormaler for nedbør og temperatur fra stasjon på Fåvang ut ifra 1991-2020 klimanormalen. ....	31
Figur 13: Oversiktskart som viser berggrunnsregionene i Sør-Norge. Ringeburegionen er markert med en rød sirkel (Ramberg, et al., 2013). ....	32
Figur 14: Berggrunnsgeologisk kart kartlagt i 1:50 000 av området rundt Frya. Strek midt i kartet er skillet mellom to kartblad (NGU, 2020b). ....	33
Figur 15: Løsmassekart over Frya kartlagt i 1:50 000 skala (Follestad, 2007).....	35
Figur 16: Oversiktsbilde av dagens arealbruk på Frya, flyfoto hentet fra <a href="http://www.norgebilder.no">www.norgebilder.no</a> . ....	38
Figur 17: Flyfoto fra 1958 hentet fra <a href="http://www.norgebilder.no">www.norgebilder.no</a> . Den røde markeringen viser hvor en stor andel av ammunisjonslagrene fra andre verdenskrig befant seg. Bildet viser de øvre delene av Frya.....	39
Figur 18: Et av ammunisjonslagrene på Frya leir. Viser hvor lite trygt lagret de var, kun under noen plater bølgeblikk (Dølen, 2018). ....	39

Figur 19: Flyfoto av Frya fra 1978, hentet fra <a href="http://www.norgebilder.no">www.norgebilder.no</a> .	40
Figur 20: Flyfoto av Frya fra 2002, hentet fra <a href="http://www.norgebilder.no">www.norgebilder.no</a> .	41
Figur 21: Flyfoto fra 2017 av et av biloppsamlingspunktene på Frya, hentet fra <a href="http://www.norgebilder.no">www.norgebilder.no</a> .	44
Figur 22: Foreslåtte traseer for ny E6 gjennom Frya (Statens vegvesen Region øst, 2008).	50
Figur 23: Foreslåtte alternativer for ny E6 gjennom Frya og Ringebu (Nye Veier AS, 2021).	51
Figur 24: Oversikt over dagens grunnvannsuttak og tilgjengelige peilebrønner på Frya.	52
Figur 25: Trykklogger fra de to brønnene på Frya vannverk under maks uttak av brønn 1 (øverst). Trykkloggeren er montert på topp av pumpa så y-aksen angir høyden på vannsøyla over pumpa.	54
Figur 26: Lokalisering av undersøkelsesbrønner, på vestsiden av Frya der den munner ut i Gudbrandsdalslågen. Hentet fra Klemetsrud, 1997.	56
Figur 27: Rødt område markerer Miljøgeologi AS sitt undersøkelsesområde på Risøya.	58
Figur 28: Undersøkelsesområde på Risøya benyttet av Norconsult.	59
Figur 29: Totalsonderingslogg fra E6 Frya (Geovita, 2010).	60
Figur 30: De forskjellige antennene benyttet under feltkartleggingene, bildene er tatt selv. A) 50 MHz RTA antenne B) 100 MHz RTA antenne C) 250 MHz shielded antenne.	63
Figur 31: Fremgangsmåten for å eksportere data. Viser et georadarprofil til venstre, med markering i midten og eksportert data til høyre.	68
Figur 32: Oversiktskart av georadarprofilene som ble utført på Frya i perioden 15.-19 mars.	70
Figur 33: Ekvipotensialkart med 1 meters koter basert på målingene av grunnvannsnivået i de seks røde punktene i kartet. Potensialet gitt i meter over havet.	74
Figur 34: Plassering av profil 1, 2 og peilebrønnene på miljøstasjonen.	75
Figur 35: Profil 1 med innlagt plassering av peilebrønn 1, høydeprofil for terrenget hentet fra <a href="https://hoydedata.no/LaserInnsyn/">https://hoydedata.no/LaserInnsyn/</a> og hastighetskalibrering ved hyperboltilpasning.	76
Figur 36: Profil 2 med vedlagt høydeprofil hentet fra <a href="https://hoydedata.no/LaserInnsyn/">https://hoydedata.no/LaserInnsyn/</a> og innlagt hastighetskalibrering med hyperboltilpasning.	77
Figur 37: Oversikt over profil 6, 9 og plasseringen av brønnen på gården.	78
Figur 38: Profil 6 med innlagt grunnvannsnivå ved gårdsbruket, samt hyperbol-tilpasning av diffraksjonene fra to avløpsrør profilet krysser ved 465 m.	79
Figur 39: Tilsendt kart av VA-rør som går inn til Frya renseanlegg (personlig meddelelse, Åge Øverjordet). VA-rørene er de grønne og blå markeringene i kartet.	80
Figur 40: De første 160 meterne av profil 9, med en benyttet hastighet på 0,157 m/ns.	80
Figur 41: Plassering av profil 22, 23 og 27 og brønnene på Frya vannverk.	81
Figur 42: Profil 22 med innlagt plassering av grunnvannsmåling fra Frya vannverk.	82
Figur 43: Profil 23 med innlagt plassering av grunnvannsmåling fra Frya vannverk.	82

Figur 44: Profil 27 med grunnvannsnivået ved Frya vannverk innlagt i enden av profilet. ....	83
Figur 45: Plassering av profil 14, 24 og peilebrønnen mellom Tine og sprengsteinsdeponiet. ....	84
Figur 46: Profil 24 med inntegnet grunnvannsnivå fra peilebrønnen. ....	84
Figur 47: Profil 14 med inntegnet grunnvannsnivå fra peilebrønnen i enden av profilet og hyperboltilpasninger. ....	85
Figur 48: Profil 13 som følger sideløpet til Gudbrandsdalslågen, hvor grunnvannet slår direkte ut i elva. ....	86
Figur 49: Profil 13 inkludert hyperboltilpasninger med en benyttet hastighet på 0,14 m/ns. ....	87
Figur 50: Profil 3 med hyperboltilpasninger til 0,13 m/ns. ....	87
Figur 51: Profil 8 med hyperboltilpasninger til 0,13 m/ns. ....	88
Figur 52: Profil 10 med hyperboltilpasninger til 0,15 m/ns. ....	88
Figur 53: Profil 15 med hyperboltilpasninger til 0,14 m/ns. ....	88
Figur 54. Profil 21 med hyperboltilpasninger til 0,14 m/ns. ....	89
Figur 55: Profil 25 med hyperboltilpasninger til 0,13 m/ns. ....	89
Figur 56: Profil 26 med benyttet hastighet 0,13 m/ns. ....	90
Figur 57: Profil 3 (se figur 32 for lokalisering). Øvre uten tolkning og nedre med innlagt tolkning av grunnvannsnivå. ....	91
Figur 58: Profil 4 (se figur 32 for lokalisering). Øvre uten tolkning og nedre med innlagt tolkning av grunnvannsnivå. ....	91
Figur 59: Profil 6 (se figur 32 for lokalisering). Øvre uten tolkning og nedre med innlagt tolkning av grunnvannsnivå. ....	92
Figur 60: Profil 14 (se figur 32 for lokalisering). Øvre uten tolkning og nedre med innlagt tolkning av grunnvannsnivå. ....	92
Figur 61: Profil 17 (se figur 32 for lokalisering). Øvre uten tolkning og nedre med innlagt tolkning av grunnvannsnivå. ....	93
Figur 62: Profil 24 (se figur 32 for lokalisering). Øvre uten tolkning og nedre med innlagt tolkning av grunnvannsnivå. ....	93
Figur 63: Profil 27 (se figur 32 for lokalisering). Øvre uten tolkning og nedre med innlagt tolkning av grunnvannsnivå. ....	94
Figur 64: Profil 15 (se figur 32 for lokalisering). Øvre uten tolkning og nedre med innlagt tolkning av grunnvannsnivå. ....	94
Figur 65: Ekvipotensialkart over Frya basert på kontinuerlige georadarmålinger og målinger i brønner. Fargeskalaen viser det hydrauliske potensialet til grunnvannet, og er gitt som meter over havet. ....	95
Figur 66: Ekvipotensialkart over Frya med koter, basert på færre utplukkede punkter per georadarprofil for å frem trendene. ....	96

Figur 67: Mektighet på umettet sone på Frya. Fargeskalaen på siden er i meter. ....	97
Figur 68: Kart over profil 4 og NGU-boringene som ble utført på Frya. ....	98
Figur 69: Profil 4 med 50 MHz antenne. ....	99
Figur 70: Profil 4 med 100 MHz-antenne. ....	100
Figur 71: Profil 4 med 250 MHz-antenne. ....	101
Figur 72: Profil 4 med 50 MHz-antenne med tolkning og innlagte boringer fra NGU i 1997. Gul farge er sand/grus og brun finsand/silt. ....	102
Figur 73: Profil 31 (se figur 32 for plassering) gått med 50 MHz-antenne. ....	104
Figur 74: Profil 31 med fremhevet tolkning av refleksjonskonfigurasjoner og lagpakker, der gul er sand/grus og brun mulig finsand/silt. ....	105
Figur 75: Profil 17 gått sørover langs Flyplassvegen med 100 MHz-antenne, korrigert for topografien (se figur 32 for plassering).....	106
Figur 76: Profil 17 med fremhevet tolkning av refleksjonskonfigurasjoner og lagpakker, der gul er sand/grus og brun mulig finsand/silt. ....	106
Figur 77: Profil 32 gått langs flystripa med 50 MHz-antenne, korrigert for topografien (se figur 32 for plassering). ....	107
Figur 78: Profil 32 med fremhevet tolkning av refleksjonskonfigurasjoner og lagpakker, der gul er sand/grus og brun mulig finsand/silt. ....	108
Figur 79: Profil 14 gått nordover mot flystripa med 100 MHz antenne, korrigert for topografien (se figur 32 for plassering). ....	109
Figur 80: Profil 14 med fremhevet tolkning av refleksjonskonfigurasjoner og lagpakker, der gul er sand/grus og brun mulig finsand/silt. ....	109
Figur 81: Profil 21 gått med 100 MHz-antenne, korrigert for topografien (se figur 32 for plassering). ....	110
Figur 82: Profil 21 med fremhevet tolkning av refleksjonskonfigurasjoner og lagpakker, der gul er sand/grus og brun finsand/silt. ....	111
Figur 83: Plassering av potensiell problematisk arealbruk mot mektigheten på umettet sone på Frya. Fargeskalaen er i meter. ....	121
Figur 84: Figur som viser utsnitt fra grunnvannsmodellen øverst, og elva Frya sin høydeprofil nederst som er hentet fra <a href="https://hoydedata.no/LaserInnsyn/">https://hoydedata.no/LaserInnsyn/</a> . Området hvor det hydrauliske potensialet til grunnvannsnivået stiger langs elva, samsvarer med det svarte området markert i høydeprofilen, hvor gradienten på elva Frya blir slakkere. Fargeskalaen på siden er i meter over havet. ....	123
Figur 85: Spredningsveier for forurensning på vest-siden av elva Frya, piler indikerer strømningsretning. Øverst er avfallsdeponiet og biloppsamlingen markert. ....	124

Figur 86: Spredningsveier for forurensning på øst-siden av elva Frya, piler indikerer strømningsretning og den blå sirkelen peilebrønnen ved Tine Frya. De markerte områdene er arealbruk med forurensningspotensial. ....	125
Figur 87: Foreslåtte tomter før undersøkelsesstart. Grønne områder er tomter akvakulturanlegget kunne plasseres på, der det var tenkt mulig med både infiltrasjon og uttak av grunnvann. De gule områdene var tomter tiltenkt for infiltrasjon. De blå tomtene er tomter tiltenkt for uttak av grunnvann. Den grønne tomtene nord-øst er den som vurderes best egnet. ....	127

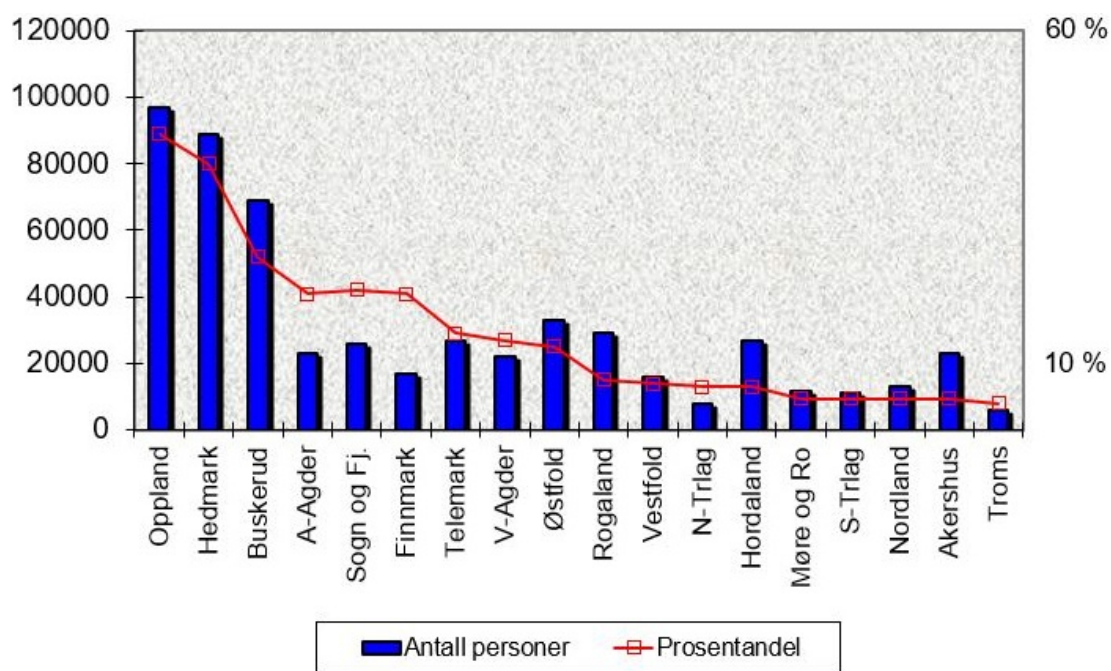
## TABELLISTE

Tabell 1: Forskjellige geologiske materialer sine elektriske egenskaper og tilhørende bølgehastighet. Modifisert og hentet fra Neal, 2004 og Reynolds, 2011. ....	16
Tabell 2: Forskjellige teoretiske refleksjonskoeffisienter for endringer som vanninnhold, porøsitet, kornform, kornorientering og overgang fra løsmasse til fjell. Hentet fra Neal, 2004. .	22
Tabell 3: Vannkvalitetsanalyser tatt i peilebrønnen mellom sprengsteinsdeponiet og Tine Frya (personlig meddelelse, Taale Steinsbye. For analysebevis, se vedlegg E). ....	45
Tabell 4: Resultater fra Klemetsrud, 1997, sine undersøkelser på Frya. ....	57
Tabell 5: Type data innhentet med tilhørende kilder og lenker. ....	61
Tabell 6: Opptaksparametere benyttet på de forskjellige georadarantennene. ....	64
Tabell 7: Målte grunnvannstander på Frya. ....	73



# 1 INNLEDNING

Grunnvann har ofte en stabil vannkvalitet og er bedre beskyttet mot forurensning sammenlignet med overflatevann (Gaut, 2009). I Europa er grunnvann generelt en godt benyttet ressurs nettopp på grunn av dette, hvor land som Danmark, Østerrike og Kroatia nesten utelukkende dekker sitt vannbehov av grunnvann, og i Italia og Ungarn mer enn 90% (Margat & Van der Gun, 2013). Norge er beriket med mye nedbør og tilgang på overflatevann av god nok kvalitet. Her dekkes vannforsyningsbehovet til omtrent 90% av befolkningen av overflatevann, og kun 10% fra grunnvann fra fjell eller løsmasser (Myrstad, et al., 2014). I Innlandet er situasjonen en annen, dette kan ses av figuren nedenfor (Brattli, 2016). I dalførene i Innlandet er det mangel på overflatevann av god kvalitet sammenlignet med de kystnære strøkene, og grunnvann fra egnede løsmasseavsetninger knyttet til de store vassdragene blir i større grad benyttet til vannforsyning.



Figur 1: Prosentvis bruk av grunnvann til vannforsyning i gamle fylker i Norge (Brattli, 2016).

Fordeler med benyttelse av grunnvann er at det oftest kreves enklere vannbehandling sammenlignet med overflatevann, og ofte vil det finnes gode grunnvannsforkomster nærmere forsyningsområdet sammenlignet med en overflatevannsforkomst.

Denne oppgaven er knyttet til en mulig oppstart av et landbasert fiskeoppdrettsanlegg som benytter RAS-teknologi på Frya, ved Ringebu. RAS er en forkortelse for resirkulert

akvakultursystem, og er en ny teknologi som har sine fordeler og utfordringer. RAS-anlegg resirkulerer vannet ved å benytte forskjellige vannbehandlingsprosesser som blant annet fjerner suspendert stoff, ammonium, CO<sub>2</sub>, desinfiserer, justerer pH og tilfører oksygen til vannet (Martins, et al., 2010). Dette gir RAS-anleggene et mindre vannforbruk. En øker i tillegg biosikkerheten til fisken siden anleggene er godt beskyttet mot bakterier og sykdommer utenfra, samt at de ikke kan spre de til omgivelsene, et problem ved tradisjonelle oppdrettsanlegg.

Dette gjør at RAS-anlegget på Frya krever et uttak av grunnvann samt en løsning for infiltrasjon av avløpsvann. Avløpsvannet vil ha forventede utslippskonsentrasjoner på 35 mg/l Total-Nitrogen, 3,3 mg/l Total-Fosfor, 10 mg/l TSS (Total Suspended Solids), <100 mg/l KOF og <10 mg/l BOF som gjør at en må finne en egnet lokasjon hvor løsmassene kan rense avløpsvannet tilstrekkelig og ikke vil påvirke grunnvannskvaliteten.

På Frya er det i dag allerede flere grunnvannsuttak, men også en varierende arealbruk som kan gjøre grunnvannsmagasinet utsatt for forurensning. Formålet med masteroppgaven er å kartlegge grunnvannsmagasinet, derav grunnvannsstrømmene, løsmassesammensetningen og mektigheten på umettet sone. Dette for å definere sårbarheten til grunnvannsmagasinet og indikere egnede områder for oppstart av RAS-anlegget.

Det vil i all hovedsak benyttes georadar, et geofysisk måleinstrument hvor en kan tolke undergrunnen basert på refleksjoner av elektromagnetiske bølger. Fra georadarmålingene vil en prøve å hente ut tykkelsen på umettet sone, løsmassemektigheten samt gi indikasjoner på løsmassesammensetningen på Frya. Vanlig praksis er å benytte peilerør til å kartlegge grunnvannets overflate, og derav grunnvannstrømmens retning. I denne oppgaven vil det forsøkes å benytte data fra georadar i tillegg til målinger i brønner for å kartlegge dette. Georadarmålinger vil ha en høyere usikkerhet, og det vil diskuteres i oppgaven hvorvidt dette er en egnet metode eller ikke. I kombinasjon med informasjonen en får fra disse undersøkelsene vil faktorer som hydrologi, arealbruk, potensielle forurensningskilder, utbyggingskostnader og grunneierforhold også være med i vurderingen.

Oppgaven er inndelt i kapitlene som følger: Teori, områdebeskrivelse, metode, resultater, diskusjon og konklusjon. I teori-kapittelet vil relevant bakgrunnskunnskap for oppgaven redegjøres for. Dette blir etterfulgt av et kapittel med områdebeskrivelse, der hydrologiske, geologiske og hydrogeologiske forhold diskuteres. Arealbruk, potensielle forurensningskilder og

dagens grunnvannsutttak vil også bli gjort rede for her, selv om dette er et resultat av skrivebordsundersøkelsene i oppgaven. Deretter følger metode-kapittelet; her vil informasjonsinnhenting beskrives, samt utførelsen av feltarbeid og databehandling. I resultat-kapittelet vil data fra feltarbeidet presenteres, og i diskusjonen vil resultatene fra feltarbeidet og områdebeskrivelsen diskuteres, samt metodens egnethet og mulige plasseringer for akvakulturanlegget. Oppgaven avsluttes med en konklusjon.

## 2 TEORI

I denne delen av oppgaven vil teori som er spesielt relevant, og som benyttes aktivt i oppgaven redegjøres for.

### 2.1 Grunnvannsstrømning

Forskjellige prosesser bidrar til hvordan vann strømmer i grunnen, avhengig om det befinner seg i mettet eller umettet sone. Generelt er drivkreftene som gjør at vann strømmer fra A til B forårsaket av energi- og trykkforskjeller, og vannet sitt ønske om å utligne disse (Fetter, 2001).

I umettet sone styres strømningsretningen og infiltrasjonen av markvann av to forskjellige faktorer (Fetter, 2001). Matematisk kan denne presenteres ved et gravitasjonspotensial og et fuktighetspotensial, der fuktighetspotensialet er strengt avhengig av vanninnholdet i jordarten (Childs, 1967). Fuktighetspotensialet er et negativt trykk som oppstår på grunn av overflatespenninger mellom løsmassekornene og vann, og jo lavere vanninnhold desto større fuktighetspotensial og overflatespenning vil det være (Fetter, 2001). Dette gjør at i løsmasser med lavt vanninnhold og mye luftfylte porer vil grunnvannet kun strømme langs vannfylte porevegger. Dette er ikke nødvendigvis rent vertikalt, og er avhengig av hvordan strømningskanalene er utformet. Når vannmetningen øker, f.eks. ved nedbør, vil overflatespenningene og fuktighetspotensialet bli lavere. Når porene fylles opp med vann åpnes kanalene og den hydrauliske konduktiviteten til løsmassene øker. Da vil infiltrasjonen av vann gjennom umettet sone i større grad styres av gravitasjonspotensialet, og være mer vertikalt (Fetter, 2001)

I mettet sone er det det hydrauliske potensialet som er bestemmende for grunnvannsstrømmen og retningen det har. Det hydrauliske potensialet for grunnvann kan utledes fra den kinetiske energien, potensielle energien og trykkpotensialet det har, hvor grunnvann vil strømme fra et høyt hydraulisk potensial til et lavt (Fetter, 2001). Ved antakelser om lav strømningshastighet, blir det hydrauliske potensialet summen av stedshøyden og trykkehøyden over datum.

For å gi estimer på strømningsraten i et porøst medium benyttes gjerne Darcys lov. Dette er en grunnleggende sammenheng den franske ingeniøren Henry Darcy fant etter studier på væskestrømmen gjennom sandsøyler. Funnet fra studien var at strømningsraten gjennom et

porøst medium var proporsjonal med tverrsnittarealet og trykkfallet, og omvendt proporsjonal med lengden på søylene. Sammenhengen Darcy fant uttrykkes på følgende måte:

$$Q = -KA \frac{dh}{dl} \quad (1) \quad (\text{Fetter, 2001})$$

Der  $Q$  er strømningsraten i  $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $K$  er den hydrauliske konduktiviteten i  $\text{m/s}$ ,  $A$  er strømningsstverrsnittet i  $\text{m}^2$  og  $dh/dl$  er endring i hydraulisk potensial over en gitt lengde. Likningen forutsetter en laminær strømning gjennom et homogent og isotropt medium, hvilket innebærer strømning med lav energi slik at det er de viskøse kreftene, og ikke de kinetiske kreftene, som dominerer. I de fleste tilfeller følger grunnvannsstrømning i mettet sone Darcys lov, men kravet til laminær strømning kan være problematisk dersom hastigheten blir for stor og en får turbulent strømning (Fetter, 2001).

Geologien i seg selv vil ha stor innflytelse på både retning og hastigheten til grunnvannstrømmene, da løsmasseavsetninger sjelden er homogene og isotrope porøse medier (Woessner, 2000). Dette gjør at faktorer som naturlige variasjoner i løsmassenes hydrauliske konduktivitet, grunnet lokale endringer i avsetningsmiljø, samt endringer i topografien også vil være med å påvirke strømningen. Dette kan gjøre strømningsretningen og strømningsraten komplisert og vanskelig å forutse (Woessner, 2000).

## 2.2 Ekvipotensialkart

Et verktøy som illustrerer grunnvannsstrømmen, er ekvipotensialkart. Ekvipotensialkart er et kart som viser det hydrauliske potensialet til grunnvannet på samme måte som et topografisk kart viser topografien i et landskap (Fetter, 2001). Slike kart kan illustreres som konturkart hvor linjene representerer det hydrauliske potensialet, eller ved hjelp av andre ønskede metoder, så lenge kartet representerer et tredimensjonalt syn av overflaten (Fetter, 2001). I en åpen akvifer viser et ekvipotensialkart grunnvannets overflate, og i en lukket akvifer viser det grunnvannets trykkpotensial. Potensialet er ofte gitt ut fra et referansedatum, og det vanligste er å vise potensialet ut ifra havoverflaten. Et ekvipotensialkart viser en kontinuerlig overflate over grunnvannet, dermed kan retningen på grunnvannsstrømmen indikeres, som vil være normalt på kotene, og man kan finne den hydrauliske gradienten mellom to punkt (Fetter, 2001).

Vanligvis lages ekvipotensialkart ved å benytte peilebrønner for å finne det hydrauliske potensialet i strategiske punkter på et studieområde. Målingene i brønnene bør utføres til tilnærmet samme tid og brønnene bør stå cirka like dypt for å unngå at de står i forskjellige akviferer under trykk, slik at de representerer grunnvannets overflate på best mulig måte (Fetter, 2001).

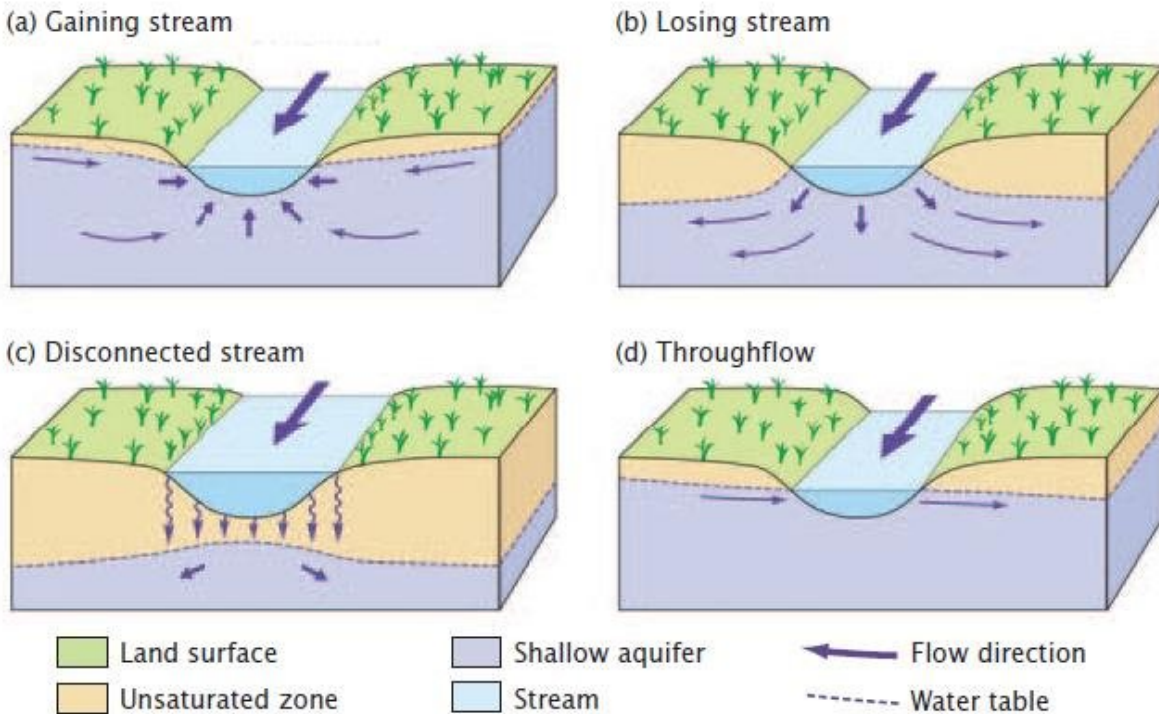
Inngangsdataene til et ekvipotensialkart er spredde punktdata, og for å representere de spredde datapunktene til en tre-dimensjonal flate må en interpolere mellom punktene. To måter å gjøre dette på er ved Delaunay-triangulering eller kriging.

Delaunay-triangulering er en metode hvor en skaper triangler mellom de spredde datapunktene, og kommer av Boris Delaunay sitt arbeid fra 1934 (Lee & Schachter, 1980). Delaunay-trianglene blir konstruert slik at de skal gi et best mulig bilde av de spredde datapunktene. Trekantene konstrueres slik at den minste vinkelen i trekantene skal være så stor som mulig, og hvis en konstruerer omskrivende sirkler til en av trekantene skal de ikke omslutte noen andre datapunkter. Overflaten til de konstruerte trekantene vil i dette tilfellet representere grunnvannsflaten.

Det finnes også forskjellige kriging-metoder en kan benytte for å interpolere verdier i hele områder kun basert på spredde datapunkter. Felles for krigingmetodene er at de er algoritmer som baserer seg på variogram-modeller som estimerer verdier for hvert punkt basert på vektning og summen av verdier i nærliggende punkter (Shi, 2014).

## **2.3 Interaksjonen mellom vassdrag og grunnvann**

Grunnvann og overflatevann er i hydraulisk kontakt i de fleste landskapsformer og kan ofte ses på som en enhet. Forståelsen av interaksjonen mellom disse vil være avgjørende for å forvalte/beskytte både overflatevann, grunnvann og tilhørende økosystemer (Winter, et al., 1998). Forskjellige typer interaksjoner mellom grunnvann og vassdrag vises i figur 2, og som det kan ses vil det være en grad av utveksling mellom grunnvann og overflatevann i samtlige situasjoner, og derav vil forurensning av en komponent ofte påvirke den andre (Winter et al., 1998). Spesielt viktig vil slik kunnskap være for åpne akviferer tilknyttet store vassdrag. Her vil grunnvannsspeilet være nær overflaten som gjør grunnvannsmagasinerne mer sårbare for forurenset overflatevann (Winter et al., 1998).



Figur 2: Eksempler på forskjellige interaksjoner som finnes mellom vassdrag og grunnvann (Berhane, 2015). (a) Effluent elv. (b) Influent elv. (c) Frakoblet grunnvannsmagasin. (d) Elv med gjennomstrømmende grunnvann.

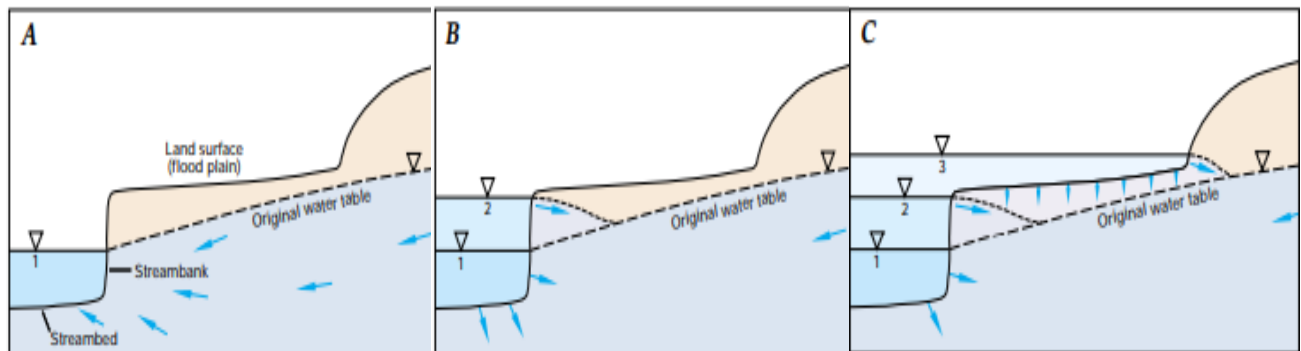
Det nøyaktige samspillet mellom vassdrag og grunnvann kan være vanskelig å forutse, da det avhenger av flere faktorer, deriblant de hydrauliske egenskapene til elvebunnen og akviferen, det hydrauliske potensialet til elva sammenlignet med grunnvannet og elveløpets geometri, gradient og beliggenhet (Woessner, 2000).

Noen av de forskjellige interaksjonene vises i figur 2, basert på Winter et al., 1998, hentet fra Berhane, 2015. Figur a) viser en effluent elv, en elv som er i hydraulisk kontakt og mates av grunnvannet. Med nedbørsmengdene og den moderate fordampningen det er i Norge vil dette være det vanligste scenarioet da grunnvannet ofte står høyt og følger topografien, dette konkluderte et NVE-prosjekt ved Rena langs Glomma med (Colleuille, et al., 2005). De fant at det stort sett var grunnvannet som matet elva, og at endringer av vannstanden i elvene generelt hadde lite effekt på både utvekslingsmengdene mellom elv og grunnvann, strømningsforholdet og oppholdstiden til grunnvannet. Dette konkluderte de basert på arbeidet i Colleuille, et al., 2004. Figur b) viser en influent elv, en elv som er i hydraulisk kontakt og mater grunnvannet, et

vanligere scenario i tørre klima eller i åpne grunnvannsmagasiner med lite nydannelse av grunnvann fra direkte infiltrert nedbør. Figur c) viser en elv som ikke er i direkte hydraulisk kontakt med grunnvannet. Elva henger over grunnvannsspeilet, og mater grunnvannet gjennom en umettet sone, som skaper en hydraulisk gradient og et grunnvannsskille under elva. Figur d) viser et scenario hvor det er en regional grunnvannsstrøm som overstyrer elva sine matende egenskaper, og en får en gjennomstrømming av grunnvann (Winter et al., 1998).

Utover disse fire scenarioene finnes det andre tilfeller. Et tilfelle er når grunnvannsstrømmen er parallell med elva, i slike scenarioer kan utvekslingen variere og være stedvis både effluent, influent (Woessner, 2000), eller det kan være null utveksling av vann da parallell strømming indikerer at elva og grunnvannsmagasinet er i likevekt (Colleuille, et al., 2005). Et annet scenario vil være når elva og grunnvannet er helt adskilt av et impermeabelt lag. I slike tilfeller kan grunnvannet ligge i trykk og ha et større hydraulisk potensial under elva.

Colleuille et al, 2005 konkluderte med at små variasjoner i vannstand i elvene ikke påvirker grunnvannsstrømmen og utvekslingen i stor grad, men at det under store flomsituasjoner kunne snus (Colleuille et al, 2005; Winter et al., 1998). Figuren nedenfor viser tre forskjellige stadier under en flom og hvordan utvekslingen mellom elv og grunnvann vil variere.



*Figur 3: Interaksjon mellom vassdrag og grunnvann ved flomsituasjoner. A) Normalsituasjon der grunnvannet mater elva. B) Vannstand opp til elvebanken, som fører til temporær lagring og nydannelse av grunnvann i elvebanken. C) Flomepisoder med stor nydannelse av grunnvann (Winter et al., 1998).*

Scenario A er normalsituasjonen hvor grunnvannet strømmer ut i elva. Med høyere vannstand i elva, som ikke overgår elvebanken (som i scenario B), vil det oppstå en temporær lagring i elvebanken (Winter et al., 1998). Elvevann vil i disse tilfellene infiltrere elvebanken og lagres



der midlertidig før det returnerer til elva i løpet av få dager til uker (Winter et al., 1998). Spesielt hyppige fluktasjoner i grunnvannsnivå skaper denne temporære lagringen av grunnvannet, dette kan skyldes store nedbørsmengder, raske snøsmelteperioder eller tapping av reguleringsmagasin (Colleuille et al., 2005). Det siste scenarioet er ved store flomepisoder som oversvømmer elvesletta. Dette vil skape en stor nydannelse av grunnvann ved infiltrasjon og på sikt heve grunnvannsstanden i akviferen, da infiltrasjonen av umettet sone kan være en langsom prosess. På sikt vil det infiltrerte ellevannet returnere til vassdragene, men dette er en prosess som kan ta fra uker til år (Winter et al., 1998).

## **2.4 Infiltrasjonsegenskaper til umettet sone**

Mektigheten og sammensetningen av umettet sone er spesielt viktig da det er i denne sonen de fleste renseprosessene foregår (Gaut, 2009). Dette fordi det i umettet sone er god tilgang på oksygen og strømningshastigheten generelt er lavere enn i mettet sone. De tre vesentlige renseprosessene som forekommer i umettet sone er sorpsjon, nedbrytning og desimring. Det er dermed ønskelig med en så stor mektighet på umettet sone som mulig for å forlenge disse prosessene.

Sorpsjon omfatter både adsorpsjon, hvor et stoff fester seg på en overflate, absorpsjon, hvor et stoff innesluttet i et annet fast stoff og ionebytte, hvor det skjer en absorpsjon ved å ta imot og avgi ioner (Gaut, 2009). Sorpsjon er en spesielt relevant hos finkornete sedimenter som leire, silt og organiske materialer på grunn av deres overflateladning og høye spesifikke overflateareal. Samtidig skjer også denne prosessen hyppigere i finkornete sedimenter da deres kornstørrelse gir trangere porekanaler som fører til flere sammenstøt mellom forurenset materiale og løsmassekorn og dermed et høyere rensningspotensial (Gaut, 2009). Sand og grus-avsetninger, som er egnede for grunnvannsutttak på grunn av deres hydrauliske konduktivitet, vil dermed ha dårligere sorpsjonsegenskaper nettopp på grunn av deres hydrauliske konduktivitet.

Nedbrytning av forurensinger i umettet sone skjer i hovedsak biologisk ved hjelp av mikroorganismer (Gaut, 2009). Flere mikroorganismer livnærer seg på flere organiske forbindelser som Benzen, Toluen, Etylbenzen og Xylen som kan stamme fra drivstoff, men nedbrytningen er avhengig av tid, temperatur og avstand fra forurensningskilden.

Desimering er en prosess hvor uønskede bakterier (f.eks. E. coli) blir utkonkurrert av andre bakterier som er mer motstandsdyktige og tåler forholdene i umettet sone bedre (Gaut, 2009).

Generelt vil en velgradert sand og grus-avsetning være mer ønskelig enn en ensgradert sand- eller grus-avsetning, da en velgradert avsetning gjerne vil ha trangere porekanaler og bedre filtreringsegenskaper. Sand og grus-avsetninger har også en mye større infiltrasjonskapasitet enn finkornige løsmasser, som er en viktig egenskap ved infiltrasjon av avløpsvann i åpne sedimentbassenger eller i brønner. Viktige egenskaper en må se på ved valg av infiltrasjonslokalitet vil dermed være dens infiltrasjonskapasitet og vanngjennomgang, hvor mye avløpsvann som kan trenge gjennom umettet sone, og mektigheten til grunnvannsnivået, for å øke oppholdstiden slik at rensningsprosessene kan pågå så lenge som mulig.

Under store flomsituasjoner vil ofte elvesletter og åpne akviferer bli sårbare for forurensning (Gaut, 2009). Da vil oppholdstiden til grunnvannet gå ned, mektigheten på umettet sone bli mindre, rensprosessene blir mindre effektive og faren for fekal forurensning større (Kvitsand & Østerhus, 2014). I elvebunnen infiltreres elvevannet gjennom et rensende biolag, under flomhendelser og perioder med høy vannstand vil elvevannet i stedet infiltreres høyere i elveløpet eller på elveslettene med dårligere renssegenskaper enn biolaget. En annen faktor er at biolaget kan skures bort under perioder med høy vannføring, som kan redusere renseseffekten til elvebunnen (Kvitsand & Østerhus, 2014). Flomvann vil i tillegg ha et høyt fargetall, og ved begrenset infiltrasjon i umettet sone vil dette påvirke fargetallet til grunnvannet, som gjør UV-behandling av grunnvannet mindre effektivt, og sannsynligheten for mikrobiell forurensning større. Det er flere eksempler på vannverk lokalisert på elvesletter som har opplevd dårligere vannkvalitet etter flomepisoder (Gaut, 2009). I verste fall kan store flomsituasjoner skape en kortslutning av grunnvannsuttak, der overflatevann trenger seg inn via brønntoppen. Det er derfor viktig å flombeskytte brønntoppene mot dette, og i henhold til plan og bygningsloven (TEK 17) skal bygninger og tekniske installasjoner i sikkerhetsklasse F3 sikres mot et gjentakintervall på 1000-år (Byggteknisk forskrift, 2017).

## **2.5 Spredning av forurensning og sone-inndeling**

Er forurensingen kommet gjennom umettet sone er det to forskjellige måter den kan spre seg videre på, dette er enten ved adveksjon eller ved hydrodynamisk dispersjon (Gaut, 2009).

Adveksjon er prosessen der forurensingen blir med og følger den naturlige strømningsretningen

til grunnvannet, og hydrodynamisk dispersjon er en langsommere prosess, som styres av både konsentrasjonsforskjeller og hastighetsforskjeller som naturen vil utligne (Gaut, 2009). Spredningen fra hydrodynamisk dispersjon vil være mer uforutsigbar, men vil også være en langsommere prosess og ikke like utslagsgivende som spredningen fra adveksjon.

Kombinasjonen av løsmassenes egenskaper og potensielle forurensningskilder fra arealbruk og andre menneskelige aktiviteter er med å definere sårbarheten til en akvifer. For å redusere sårbarheten er det vanlig å klausulere og begrense arealbruk i influensområdet til akviferen som benyttes til grunnvannsuttak, dette gjengis i GiN veileder nummer 7 (Eckholdt & Snilsberg, 1992). Klausuleringssonene deles inn i fire soner. Sone 0, er brønnområdet og har en utstrekning på 10-30 meter fra brønnen. Sone 1, som er begrenset av en ytre grense som definerer det området der grunnvannet vil ha 60 døgns oppholdstid i mettet sone før det når frem til grunnvannsutaket under maksimalt uttak. Sone 2, som er det fjerne tilsigsområdet, er området utenfor 60-døgnssonen hvor grunnvann med sikkerhet når grunnvannsutaket. Til slutt er sone 3, som er det ytre verneområdet, og omfatter arealer utenfor sone 2 som kan påvirke forurensingssituasjonen i både sone 1 og 2. Forslag til begrenset arealbruk i de forskjellige sonene vises i figuren under (Eckholdt & Snilsberg, 1992).

Aktiviteter	Sone 0	Sone 1	Sone 2	Sone 3
Industri som anses forurensningsfarlig, store lagre/tanker for olje og kjemikalier, søppelfyllplasser mv.	-	-	-	-
Utslipp av kloakk i grunnen	-	-	-	-(+)
Sikrede oljetanker, max. 3 m <sup>3</sup>	-	-	-(+)	+
Annen industri, boliger, hytter, små P-plasser	-	-	-(+)	+
Utslipp av gråvann i grunnen	-	-	-(+)	+
Kloakkledninger	-	-	-(+)	+
Jordbruk; fulldyrket mark, plantevernmidler i fareklasse X, A, B	-	-	-(+)	+
Offentlige veier	-	-	-(+)	+
Uttak av løsmasser, også i elv/innsjø	-	-	-(+)	+
Jordbruk; gjødselstoffer, beite, plantevernmidler i fareklasse C	-	-(+)	+	+
Uthus o.l.	-	-(+)	+	+
Skogbruk	-	+	+	+

- ikke tillatt  
 -(+)uønsket, men kan under spesielle omstendigheter vurderes tillatt  
 + kan tillates, eventuelt på visse vilkår

Figur 4: Forslag til arealbruksbegrensning i de forskjellige klausuleringssonene. Hentet fra Eckholdt og Snilsberg, 1992.

## 2.6 Georadar og elektromagnetiske bølger

Undertegnede prosjektoppgave «Det fysiske grunnlaget for bruk av georadar og dens anvendelse til hydrogeologiske undersøkelser» ble skrevet høsten 2020. Det ble utført et grundig litteratursøk på teorien bak georadar og hvordan den ble anvendt både nasjonalt og internasjonalt til hydrogeologiske og sedimentologiske undersøkelser (Ness, 2020). I dette kapittelet vil de viktigste temaene om georadar oppsummeres, for mer detaljert forklaring henvises det til prosjektoppgaven.

Generelt er georadar en ikke-destruktiv geofysisk kartleggingsmetode, hvor det kreves lite personell for å utføre målinger og man kan kartlegge store områder over kort tid. En georadar sender ut pulser av elektromagnetiske bølger (EM-bølger) ned i bakken, disse reflekteres og registreres av georadaren som amplituder av elektromagnetisk energi mot gangtiden til bølgen.

De fleste georadarsystemer består av en signalgenerator, kontrollenhet og sender- og mottakerantenne. Signalgeneratoren produserer pulsene, senderantennen sender ut bølgene, mottakerantennen registrerer bølgene og kontrollenheten tar opp og behandler de mottatte signalene (Reynolds, 2011). De registrerte bølgene presenteres i et radargram/radarprofil, hvor

amplitudene på de mottatte bølgene plottes mot gangtiden til bølgen, tiden det tar for en bølge å bevege seg fra senderantennen, bli reflektert og tilbake til mottakerantennen. Fra senderantennen sendes korte pulser av EM-energi med et bestemt frekvensinnhold som styres av nedbrytningstiden til pulsen, og nedbrytningstiden bestemmes av lengden på antennene. Lengre antenner gir lengre nedbrytningstid og lavere frekvensinnhold, mens kortere antenner gir høyere frekvensinnhold. Frekvensene vil være sentrert rundt en senterfrekvens som kalles antennefrekvensen, og frekvensinnholdet vil ha en båndbredde som oftest er lik senterfrekvensen. Dette gir et frekvensinnhold fra  $1/2$  til  $3/2$  av antennefrekvensen (Mauring, et al., 1994). For å unngå foldningsfeil, slik at frekvensene blir korrekt gjengitt i radarprofilene, må en benytte en samplingsfrekvens som er minst dobbelt så høy som det høyeste frekvensinnholdet i signalet. Dette kommer fra teorien om Nyquist-frekvensen (Mauring, et al., 1994).

### **2.6.1 Elektromagnetiske bølger**

Hvordan EM-bølger reflekteres og forplanter seg i bakken er vesentlig kunnskap for forståelsen av georadar. EM-bølger består av en magnetisk og elektrisk komponent/felt, og disse beveger seg ortogonalt på hverandre og utbredelsesretningen til bølgen (Annan, 2005). Fra Maxwells likninger kan egenskapene til disse komponentene utledes, da de beskriver sammenhengen mellom det magnetiske og elektriske feltet til bølgen. Kort forklart skaper hurtig vekslende strømmer eller landinger i bevegelse, f.eks. fra senderantennen, et magnetfelt. Dette magnetfeltet induserer så et elektrisk felt, som igjen skaper elektriske strømmer og setter nye ladninger i bevegelse (Annan, 2005). Denne prosessen kan dermed repetere seg, hvor et felt driver det neste, og en får et bevegelsesmønster som vil forplante seg i tid og rom. Avhengig av materialets elektriske egenskaper, vil bevegelsene forplante seg som en bølge (Annan, 2005).

Det er tre fysiske parametere som er viktig ved utledning av EM-bølger sine egenskaper, den elektriske ledningsevnen, den dielektriske permittiviteten og den magnetiske permeabiliteten. Dette er tre parametere som kan variere blant annet med tid, trykk, fuktighet, temperatur, styrken og frekvensen på det elektriske feltet de blir utsatt for og i forskjellige retninger. For rent praktisk bruk av georadar antas de å være konstante og virke i samme retning som feltet de blir utsatt for (Annan, 2005).

Den elektriske ledningsevnen,  $\sigma$  (S/m), beskriver et materiale sin evne til å lede elektrisk strøm, å sette frie ladninger i bevegelse når de blir utsatt for et elektrisk felt. For geologiske materialer

styres denne parameteren hovedsakelig av porevannet sine egenskaper, og ikke løsmassekornene (Archie, 1942).

Den dielektriske permittiviteten,  $\varepsilon$  (F/m), beskriver evnen et materiale har til å skape en forskyvningsstrøm. Med andre ord, graden et materiale lar seg polarisere ved påvirkning av et ytre elektrisk felt, hvor det kun er faste ladninger innad et molekyl som forflytter seg. Den dielektriske permittiviteten,  $\varepsilon$ , deles opp og er lik  $\varepsilon_r \varepsilon_0$ , hvor  $\varepsilon_0$  er permittiviteten til vakuum der  $\varepsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi}$  F/m, og  $\varepsilon_r$  er en dimensjonsløs konstant kalt dielektrisitetskonstanten, og beskriver hvor mange ganger mer dielektrisk et materiale er enn rent vakuum. For geologiske materialer er det i all hovedsak porøsiteten og metningen av vann og luft som styrer de dielektriske egenskapene, da vann lett lar seg polarisere og har en dielektrisitetskonstant på 80, luft på 1 og løsmassekornene som kan variere mellom 2,55-7,5 (Neal, 2004).

To sammenhenger og formler er blitt foreslått for å gi et estimat på dielektriske konstanten til geologiske materialer, derav:

$$\varepsilon_r = 3,03 + 9,3\theta_w + 146\theta_w^2 - 76,6\theta_w^3 \quad (2)$$

(Topp, et al., 1980)

Dette kalles Topp-forholdet og er en empirisk formel som beskriver den dielektriske konstanten basert på det volumetriske vanninnholdet til jordarten, hvor det volumetriske vanninnholdet er produktet av vannmetningen og porøsiteten til løsmassen.

En annen tilnærming er Complex resistive index method (CRIM), metoden gir et estimat på dielektrisitetskonstanten basert på sammensetningen til løsmassen.

$$\varepsilon_r = [(1 - \varphi)\sqrt{\varepsilon_s} + S_w\varphi\sqrt{\varepsilon_w} + (1 - S_w)\varphi\sqrt{\varepsilon_a}]^2 \quad (3)$$

(Roth, et al., 1990)

Der  $\varepsilon_s$ ,  $\varepsilon_w$ ,  $\varepsilon_a$  er dielektrisitetskonstanten til henholdsvis løsmassekornene, vann og luft,  $\varphi$  er porøsiteten og  $S_w$  er vannmetningen.

Den magnetiske permeabiliteten,  $\mu$  (H/m), er et mål på et materiale sin evne til å magnetiseres i et ytre magnetfelt, og angir i hvor stor grad et magnetfelt kan trenge inn materialet. Den blir delt inn og satt lik  $\mu_0\mu_r$  hvor  $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$  H/m og er vakuumkonstanten, og  $\mu_r$  den relative magnetiske permeabiliteten til et materiale. For geologiske materialer er det hovedsakelig mengden magnetitt, ilmenitt, magnetkis og andre jernoksider som styrer disse egenskapene. Med et volumetrisk innhold av magnetitt på 1%, som vil bli sett på som høyt i de fleste tilfeller, gir dette kun  $\mu_r = 1,038$  (Annan, 2001). Ved hydrogeologiske undersøkelser antas det derfor at  $\mu_r = 1$  fordi man oftest ser på ikke-magnetiske materialer (Annan, 2005).

Nedenfor gis den generelle likningen for hastigheten til EM-bølger, hvor  $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} = 2,988 * 10^8$  m/s og er hastigheten til EM-bølger i tomt rom og  $\omega = 2\pi f$  der  $f$  = antennens senterfrekvens.

$$v = \frac{c}{\left\{ \left[ \frac{\mu_r \epsilon_r}{2} \right] \left[ \left( 1 + \frac{\sigma^2}{\omega^2 \epsilon^2} \right)^{\frac{1}{2}} + 1 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

(Reynolds, 2011)

Med antakelsen om at man ser på ikke- magnetiske materialer, bruker antenner med senterfrekvens i området 10 MHz- 1 GHz og det geologiske materialet har en ledningsevne fra 0,2 mS/m-10 mS/m kan likningen forkortes og skrives om til

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (5)$$

(Reynolds, 2011)

Likningen viser at i typiske geologiske materialer med lav ledningsevne og ikke-magnetiske egenskaper, som er en gyldig antakelse i friksjonsjordarter, er det de dielektriske egenskapene som styrer hastigheten EM-bølgene har i mediet.

Tabellen nedenfor viser typiske verdier for forskjellige geologiske materialer. Disse verdiene gir et godt utgangspunkt ved hastighetskalibrering av georadarprofiler.

Tabell 1: Forskjellige geologiske materialer sine elektriske egenskaper og tilhørende bølgehastighet. Modifisert og hentet fra Neal, 2004 og Reynolds, 2011.

Materiale	$\epsilon_r$	$\sigma$ (mS/m)	V (mm/ns)
Luft	1	0	300
Ferskvann	80	0,5	33
Saltvann	80	30000	33
Umettet sand	2,55-7,5	0,01	100-200
Mettet sand	20-31,6	0,1-1	50-80
Umettet sand og grus	3,5-6,5	0,007-0,06	90-130
Mettet sand og grus	15,5-17,5	0,7-9	60
Umettet silt	2,5-5	1-100	90-120
Mettet silt	22-30	100	50-70
Umettet leire	2,5-5	2-100	90-120
Mettet leire	15-40	20-1000	50-70
Umettet morene	7,4-21,1	2,5-10	65-113
Mettet morene	24-34	2-5	51-61
Myr (ferskvann)	57-80	<40	33-40
Jordbruksjord	15	-	77
Grunnfjell	4-6	0,0001-40	120-130
Snø	1,4-3	-	194-252
Is	3-3,15	-	168
Tele	1-8	-	106-300

I et georadarprofil er det refleksjoner av EM-bølgene som fremstilles, og det er hastighetskontrasten mellom to lag som bestemmer hvor stor andel av energien som reflekteres tilbake. Dette er gitt av refleksjonskoeffisienten. Refleksjonskoeffisienten er et tall som ligger mellom -1 og 1, og angir hvor mye av amplituden til bølgen som blir reflektert i overgangen mellom to lag, der fortegnet på refleksjonskoeffisienten angir polariteten på bølgen.



Refleksjonskoeffisienten kan uttrykkes lik likningen under, hvor  $\varepsilon_1$  og  $\varepsilon_2$  er den relative dielektrisitetskonstanten til henholdsvis lag 1 og 2. Likningen viser at det er kontraster i dielektriske egenskaper som styrer refleksjoner.

$$R \cong \frac{\sqrt{\varepsilon_2} - \sqrt{\varepsilon_1}}{\sqrt{\varepsilon_2} + \sqrt{\varepsilon_1}} \quad (6)$$

(Reynolds, 2011)

EM-bølger vil dempes i geologiske materialer, dempningen begrenser hvor dypt en kan se med georadar. Dempningen deles opp i ohmsk dempning og frekvensavhengig dempning (Reynolds, 2011; Annan, 2001). Den frekvensavhengige dempningen oppstår ved at reflektorer i bakken ikke sender energien direkte tilbake til antennen, men ut i ulike retninger. Denne dempningen øker med valgt antennefrekvens, som gjør at en vil ha et mindre penetrasjonsdyp med antenner med høy frekvens, men vil også variere med de geologiske materialene, der heterogene løsmasser vil ha en større dempning enn ensgraderte (Annan, 2001). Den ohmske dempningen kontrolleres av de elektriske egenskapene til løsmassene, hvor løsmasser med høy ledningsevne vil dempe energien til bølgene hyppigere mens dielektriske egenskaper vil øke dybderekkevidden (Reynolds, 2011). Ledningsevnen styres oftest av porevannet sine egenskaper, og i leire, siltige masser og i områder det er benyttet veisalt eller kunstgjødsel vil ledningsevnen ofte være høyere og metoden vil være dårligere egnet, mens friksjonsjordarter som blant annet mett sand og grus vil gi god forplanting av radarbølger (se tabell 1).

Oppløsningen en får med georadar, den minste avstanden det kan være mellom to objekter for at de skal stamme fra forskjellige reflektorer og ikke en, vil variere avhengig av frekvensen til bølgene. Horisontalt styres oppløsningen av fresnelsonen, som er det horisontale arealet som dekkes når en bølge har beveget seg en fjerdedel av en bølgelengde. Det er tre faktorer som påvirker størrelsen på fresnelsonen. Høyere frekvenser og høyere dielektriske konstanter gir et mindre areal av fresnelsonen, og større dyp ned til reflektorer gir et større areal av fresnelsonen (Neal, 2004). Den vertikale oppløsningen vil rent teoretisk maksimalt være en fjerdedel av bølgelengden for at en skal kunne skille to reflektorer (Neal, 2004). Nedenfor vises hvordan bølgelengden vil variere med frekvens og dielektriske egenskaper.

$$\lambda = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (7)$$

Høyere frekvenser og dielektrisk egenskaper gir kortere bølgelengder, dette vil dermed øke den vertikale oppløsningen. En annen faktor påvirker også den vertikale oppløsningen, og den er knyttet til muligheten man har til å plassere en refleksjon til riktig dybde eller gangtid. Dette er begrenset av pulsbredden og skarpheten på refleksjonene, og med høyere frekvenser vil pulsbredden bli mindre og derav oppløsningen bedre (Neal, 2004).

### 2.6.2 Hastighetskalibrering

For å knytte en hendelse i tid over til riktig dybde må en ha et godt estimat over bølgehastigheten i det geologiske materialet. Det finnes flere metoder å gjøre dette på, i denne oppgaven er det benyttet tre forskjellige.

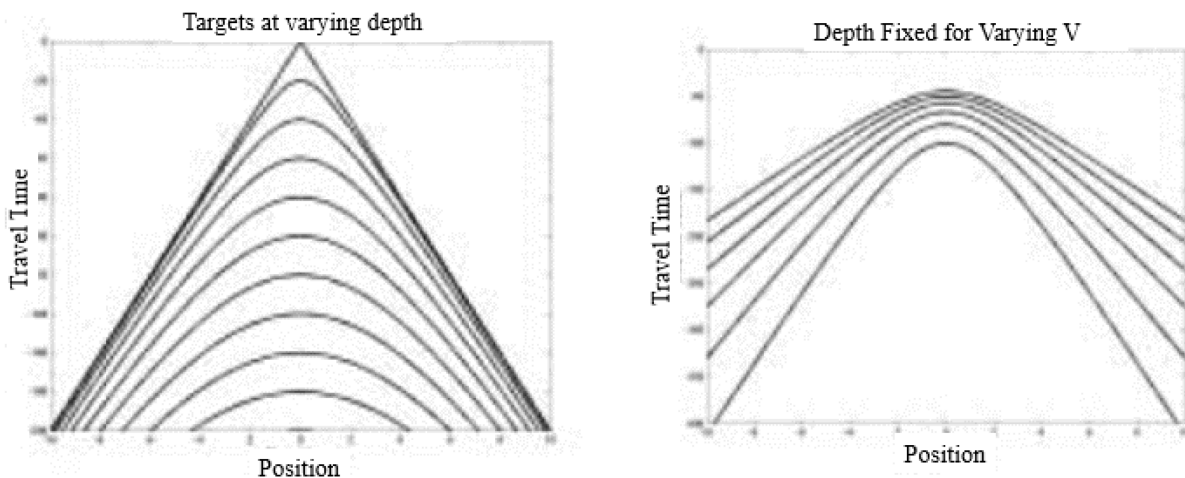
Den simpleste metoden vil være å anta basert på tabulerte verdier, som i tabell 1. Dette kan gi grove estimater på dybder og mektigheter, og kan være greit å ta i bruk i innledende undersøkelser når man er i felt og ikke har noen bedre verdier å ta utgangspunkt i.

En annen metode vil være å knytte hendelser i tid mot kjente dybder. Dette kan gjøres ved å knytte georadarmålingene mot boringer, brønner eller andre kjente dybder, som f.eks. grunnvannsnivået, dybde til fjell, overgang til morene osv. Ved å kunne plukke ut en hendelse i tid fra en kjent dybde har en kun en ukjent variabel, som er hastigheten. Hastigheten ned til den kjente laggrensen blir da:

$$v = \frac{2 * dybde}{gangtiden} \quad (8)$$

En annen metode som kan gi hastighetsestimater er å tilpasse hyperboler fra diffraksjoner i radarprofilene. Gjenstander som større stein, blokker, VA-rør og andre nedgravde objekter som burde skape punkter i profilene vil skape hyperboler på grunn av geometriske effekter da man plotter refleksjoner vertikalt under senderen i radarprofilene, selv om refleksjonen har sitt opphav fra en annen plass (Annan, 2001). Da disse hyperbolene er geometrisk bestemt vil deres form avhenge av hastigheten og dybden de er fra. Figuren nedenfor viser hvordan formen vil variere, hyperbolene til venstre viser at desto dypere refleksjonene kommer fra, jo mer åpen blir

de, og figuren til høyre viser at høyere hastighet gir mer åpne hyperboler (Annan, 2001). Slike hyperboltilpasninger er tilgjengelig i flere programvarer.



*Figur 5: Prinsipper over hvordan diffraksjoner skaper hyperboler som varierer med hastigheten i mediet og dypet de kommer fra (Annan, 2001).*

Fordelen med dette er at man kan få gode hastighetsestimater på profiler en ikke kan knytte til noen kjent dybde. Det som derimot begrenser metoden er at det trengs tydelige hyperboler for å anvende den, og det er ikke nødvendigvis inkludert i et hvert georadarprofil.

Et mer nøyaktig hastighetsestimat, som kan gi hastigheten lagvis i et profil, ville vært å anvende Common mid-point-målinger (Reynolds, 2011), men dette ble ikke utført under masteroppgaven.

### **2.6.3 Prosessering og databehandling**

For å fremheve ønskede refleksjoner og fjerne støy slik at profilene gir et mer realistisk bilde av grunnen, for å tolke data bedre, er det flere prosesseringsteknikker og databehandlingsmetoder en kan benytte. I dette avsnittet gjengis teori for metoder som har blitt benyttet i arbeidet til denne oppgaven.

Det finnes flere kilder til frekvensstøy i radarprofilene, og wow-effekten er en av dem. Det er en effekt som skjer på grunn av det korte tidsintervallet mellom når senderantennen sender ut signalet og mottakerantennen registrerer stor mengde energi fra både luftbølgen, overflaterrefleksjonen og andre refleksjoner nær overflaten. Dette gjør at mottakerantennen blir

signalmettet, og når det skjer, induseres en svakt, avtagende lavfrekvent «wow» på trasene, som løfter det samlede signalet og gjør refleksjoner fra høyere frekvenser vanskelig å se (Fisher, et al., 1996). For å få signalet tilbake til null-nivå kan det benyttes et «dewow»-filter på profilene (Annan, 2001).

Deler av frekvensinnholdet i profilene behøver ikke å ha sitt opphav fra georadaren, og for å utelukke disse uønskede frekvensene er det forskjellige én-dimensjonale frekvensfiltre som kan fjerne de fra trasene. I et «average amplitude spectrum plot» kan en indentifisere frekvensinnholdet i profilene, og plukke ut hvilket frekvensinnhold som hører til trasene og hva som er støy (Annan, 2001). For å fjerne de ulike frekvensene kan en benytte et lavpass-filter, som kutter ut høye frekvenser, et høypass-filter, som kutter ut de lave frekvensene, eller et båndpassfilter som er brukerdefinert og kan kutte ut seksjoner av frekvensene (Annan, 2001). Det er ønskelig å bevare frekvenser fra senterfrekvensen til antennen, inkludert dens båndbredde som et minimum.

Dekonvolving er et annet verktøy, med sin hensikt å komprimere bredden på pulsene og refleksjonene for å øke den vertikale oppløsningen, samt fjerne refleksjoner som er multipler (Annan, 2005).

Det finnes også to-dimensjonale filtre som kan benyttes for å fjerne systematisk støy som opptrer konstant i radarprofilene. Disse filtrene kan fungere på ulike måter, men generelt vil det være en subtraksjon av gjennomsnittsamplitudene i trasene, hvor brukeren selv kan bestemme hvor mange traser som skal inkluderes i hver beregning og fjerning av amplituder, men en må også ta hensyn til at metoden kan fjerne horisontale og konstante refleksjoner som skal være i profilene (Annan, 2001).

Da EM-bølgene hyppig vil dempes i geologiske medier, slik tidligere nevnt, må en benytte forskjellige forsterkningsfunksjoner for å kompensere for dette energitapet. Det finnes forskjellige måter å gjøre dette på, blant annet som en konstant forsterkning av hele trasen, lineært, eksponentielt, brukerdefinerte funksjoner eller at alle refleksjoner automatisk blir tatt opp til et terskelnivå (Neal, 2004; Reynolds, 2011). Hvor mye en må forsterke vil avhenge både av overflateforholdene og det geologiske mediet sine egenskaper.

Det siste databehandlingssteget som kan være stedvis nyttig, er å korrigere for topografien og migrere dataene. Å migrere dataene vil si å rette opp i de geometriske effektene som oppstår når en plotter refleksjoner vertikalt under antennen, når de har opphav fra en annen plass. Dette vil si å rette opp hyperboler fra punktrefleksjoner, rette opp hellende lag slik at de får sin sanne helning og fjerne såkalte «bow-ties» fra refleksjoner fra forsenkninger i bakken (Neal, 2004). Retter man opp topografien i profilet vil også vinkelen til lag og den reelle dybden langs et profil bli mer korrekt plassert (Reynolds, 2011).

#### **2.6.4 Tolkning**

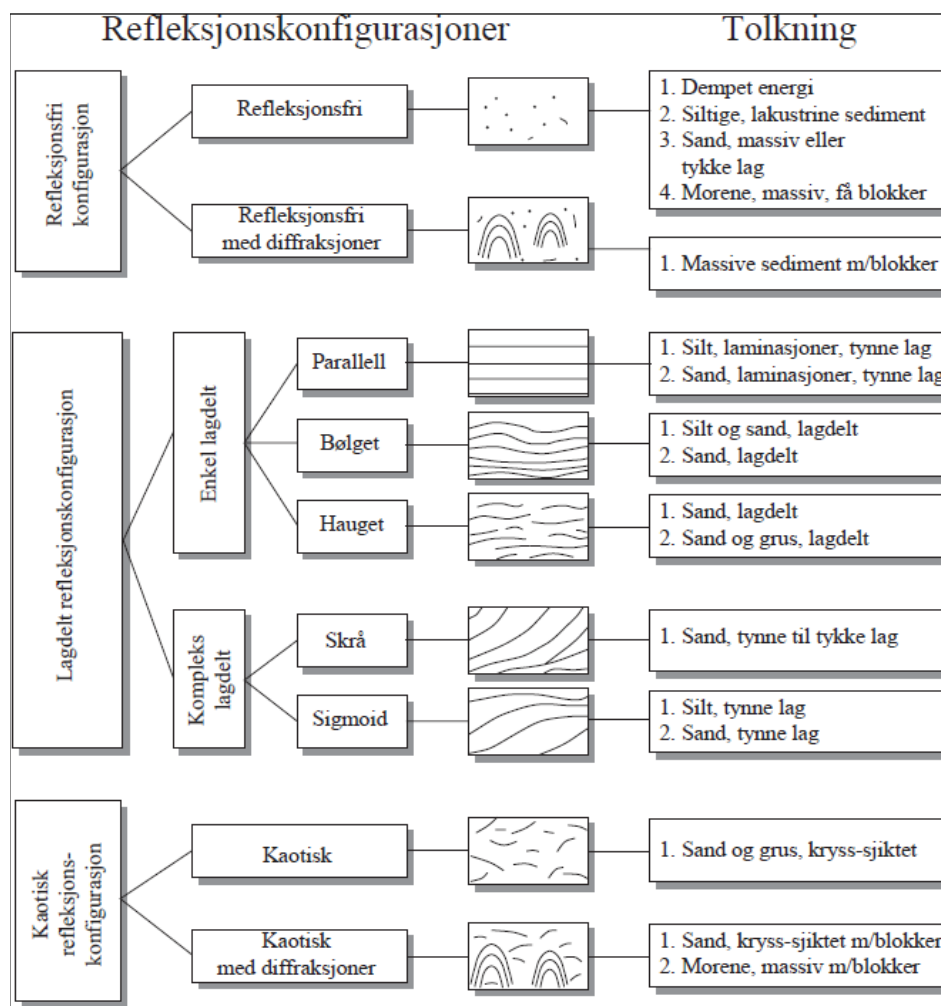
For å tolke georadarprofiler må en knytte geologiske faktorer og avsetninger mot forskjellige refleksjonskonfigurasjoner og amplitudene på refleksjonene. Tabell 2 viser en rekke teoretiske refleksjonskoeffisienter for forskjellige endringer i geologien (Neal, 2004).

Av tabellen fremgår det at overganger fra umettet til mettet sone, aurdellelag og overgang fra mettet sand til grunnfjell vil gi sterke refleksjonskoeffisienter. Hvor godt en ser overgangen fra umettet til mettet sone vil avhenge av den kapillære stighøyden til løsmassen. Hvis løsmassen har et høyt kapillærsug vil overgangen til grunnvannsnivået være gradvis og en vil ikke få en tydelig overgang i dielektriske egenskaper. Hvis løsmassen er grovkornet derimot, vil kapillærsuget være lavt, og en vil få en klar overgang i dielektriske egenskaper og grunnvannsnivået vil gi en tydelig refleksjon. Dermed kan en knytte en klar grunnvannsreflektor mot løsmassesammensetningen og dens egnethet til blant annet grunnvannsuttak, da dette gir indikasjoner på grove løsmasser (Mauring et al., 1994). Andre faktorer som kan kjennetegne grunnvannsreflektoren er at den bryter andre strukturer i profilet, og oftest er tilnærmet horisontal etter at man har korrigert for topografien i profilet. Grunnfjellsreflektoren vil kun være tydelig hvis den ligger under mettet sone, da det er lite kontrast i dielektrisitet mellom tørr sand og grunnfjell. Den kan da kjennes igjen av at den vil være irregulær, avhengig av grunnfjellets topografi (Mauring et al., 1994).

Tabell 2: Forskjellige teoretiske refleksjonskoeffisienter for endringer som vanninnhold, porøsitet, kornform, kornorientering og overgang fra løsmasse til fjell. Hentet fra Neal, 2004.

Lag 1 Lag 2	Porøsitet (%)	$\epsilon_r$	Refleksjons- koeffisient	Geologisk faktor
Tørr sand Mettet sand	35 35	3,1 20,7	-0,44	Grunnvannsnivået
Tørr sand Tørr sand	35 30	3,1 3,27	-0,013	5% endring i porøsitet i tørr sand
Mettet sand Mettet sand	35 30	20,7 17,7	0,04	5% endring i porøsitet i mettet sand
Tørr sand Tørr sand med tungmetall	35 35	3,1 19,9	0,43	Aurhellelag i umettet sone.
Mettet sand Mettet sand med tungmetall	35 35	20,7 53	0,23	Aurhellelag i mettet sone.
Runde mineralkorn Flate mineralkorn	33 33	23,5 16,9	0,08	Endring i kornform
Isotropisk kornpakking Anisotropisk kornpakking	33 33	22,5 16,9	0,07	Endring i kornorientering
Mettet sand Grunnfjell	35	20,7 5	0,34	Overgang fra vannmettet løsmasse til grunnfjell

Strukturelle endringer i løsmassen, som stratigrafiske lag, vil gi svakere refleksjoner. Dette kan ses i tabellen over. Likevel vil disse strukturene ofte gi en konfigurasjon/mønster som kan knyttes til forskjellige typer avsetninger. Fra Neal, 2004 og Mauring et al., 1994, er det blitt foreslått forskjellige typer konfigurasjoner man kan knytte mot forskjellige avsetninger. Figuren nedenfor er hentet fra Mauring et al., 1994.



Figur 6: Refleksjonskonfigurasjoner fra georadar knyttet mot forskjellige avsetninger (Mauring, et al., 1994).

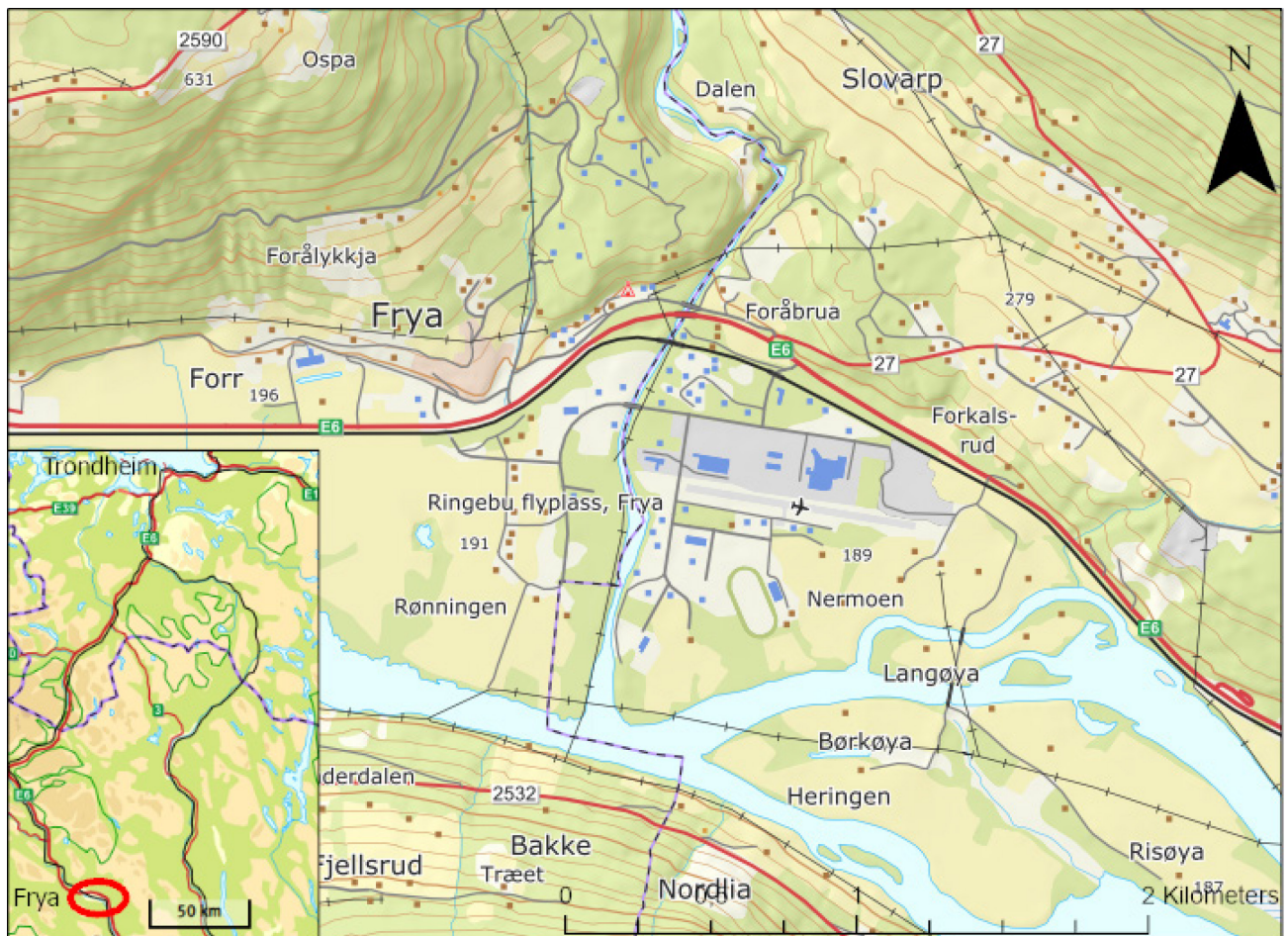
Figuren over viser at refleksjonskonfigurasjonene ofte ikke er entydige. Dermed kan en direkte tolkning av refleksjonskonfigurasjoner uten å sette de i kontekst, som f.eks. opp mot boringer eller annen geologisk informasjon, gi rom for feiltolkninger. I tillegg kan georadarprofil ofte være kompliserte og sammensatt av flere av disse konfigurasjonene samtidig. Fra figuren er det uansett trender. Skrå refleksjoner indikerer deltaavsetninger av sand og grus, kaotiske konfigurasjoner indikerer sand og grus og lagdelte, parallelle refleksjonskonfigurasjoner indikerer løsmasser avsatt i stille vann (Neal, 2004; Mauring et al., 1994). I tillegg kan penetrasjonen av signalene være med å gi et godt tolkningsbilde, da en begrenset penetrasjon gir indikasjoner på finkornige masser som silt/leire og god dybderekkevidde på signalene vil indikere mer grovkornede løsmasser (Reynolds, 2011).



# 3 OMRÅDEBESKRIVELSE

## 3.1 Geografi

Studieområdet for masteroppgaven er satt til bygda Frya, som ligger på grensen mellom Sør-Fron og Ringebu kommune i Gudbrandsdalen, Innlandet fylke, tidligere Oppland fylke. Kartet nedenfor viser geografien til bygda Frya, samt dens regionale plassering. Sett bort fra et lite område helt sør og på vestsiden av elva Frya som tilhører Ringebu, utgjør elva Frya hovedsakelig grensen mellom disse to kommunene, der Sør-Fron ligger på vestsiden og Ringebu på østsiden av elva. Frya med sin totale lengde på 50,3 km drener store deler av Kvamsfjellet og deler av Rondane nasjonalpark, og har sitt utløp i Gudbrandsdalslågen (se figur 8). Gudbrandsdalslågen på sin side drener store arealer, blant annet hele Gudbrandsdalen, Jotunheimen, Breheimen og deler av Reinheimen nasjonalpark (se figur 9).



Figur 7: Frya og Fryas regionale beliggenhet.



Viktig infrastruktur og ferdselsårer som Dovrebanen og E6, samt avkjørsel til fylkesvei 27 over Venabygdsfjellet, passerer gjennom bygda Frya. Frya benyttes i dag til dels som et industriområde, med en varierende industri og arealbruk, men også til landbruk og andre aktiviteter som travbane og flyplass. Dette vil bli gjennomgått i detalj i kapittelet «Arealbruk og potensielle forurensningskilder».

Dalsidene rundt Frya er bratte og høye, strekker seg opp til 1000-1100 meter over havet og har flere tydelige skredløp som kan ses i topografiske kart. Selve elvevifta, som er fokuset for denne masteroppgaven, er derimot forholdsvis flat. I øverste del av vifta, der E6 krysser Frya ligger kotene på rundt 200 meter over havet. Der Frya munner ut i Gudbrandsdalslågen ligger kotene på rundt 185 meter over havet. Av skalaen på kartet over kan det sees at elvevifta har dimensjoner fra øst til vest på 2-3 kilometer og nord til sør på 1,5 kilometer. Da mye av landskapet er dyrket mark og flatt og åpent terreng, gjør dette Frya til en egnet lokalitet for å kartlegge systematisk med georadar.

## **3.2 Hydrologiske og klimatiske data**

Hydrologiske og klimatiske data er viktig informasjon med tanke på hvor stor nydannelsen av grunnvann er, slik at en kan forstå hvilke uttak av grunnvann som vil være bærekraftig for et grunnvannsmagasin på lang sikt. En kan av hydrologiske og klimatiske data få indikasjoner på hvor stor effekt selvmating og elveinfiltrasjon vil ha på et grunnvannsmagasin.

### **3.2.1 Frya**

I figur 8 vises elva Frya sitt nedbørsfelt og hydrologiske data. Frya er et varig vernet vassdrag, som gjør at kraftproduksjon og utbygging er utenkelig på lang sikt. Dette vil si at vannstanden i stor grad styres av nedbørsmengde og snøsmelting. Frya sitt nedbørsfelt er på 371 km<sup>2</sup>, og drenerer Furu sjøen på Kvamsfjellet og deler av Rondane nasjonalpark. Dette området er i all hovedsak fjell-landskap og nasjonalpark som i stor grad er ubebodd, og det kan forventes en god råvannskvalitet av Frya. Den normaliserte avrenninga fra elva Frya, sett fra klimanormalen 1961-1990, gir en vannføring på 5305,3 l/s. På andre siden er den alminnelige lavvannsføringen i Frya på 445,2 l/s, som oftest vil opptre i kalde og tørre perioder om vinteren.



Norges  
vassdrags- og  
energidirektorat

Kartbakgrunn: Statens Kartverk  
Kartdatum: EUREF89 WGS84  
Projeksjon: UTM 33N  
Beregn.punkt: 237100 E  
6832931 N

## Lavvannindekser

Vassdragsnr.: 002.DF3A0  
Kommune.: Ringebu  
Fylke.: Innlandet  
Vassdrag.: Frya

### Hypsografisk kurve

Høyde <sub>MIN</sub>	185 m
Høyde <sub>MAX</sub>	1661 m

### Feltparametere

Areal (A)	371 km <sup>2</sup>
Effektiv sjø (A <sub>SE</sub> )	0.27 %
ElvleNGde (E <sub>L</sub> )	50.5 km
Elvegradient (E <sub>G</sub> )	24.5 m/km
Elvegradient <sub>1005</sub> (E <sub>G,1005</sub> )	17.0 m/km
Helning	9 °
Dreneringstetthet (D <sub>T</sub> )	1.3 km <sup>-1</sup>
Feltlengde (F <sub>L</sub> )	37.8 km

### Lavvannindekser

Alminnelig lavvannføring	1.2 l/s*km <sup>2</sup>
5-persentil (år)	1.1 l/s*km <sup>2</sup>
5-persentil sommer (1/5-30/9)	2.7 l/s*km <sup>2</sup>
5-persentil vinter (1/10-30/4)	1.1 l/s*km <sup>2</sup>
Base flow	5.99 l/s*km <sup>2</sup>
Base flow index (BFI)	0.42 -

### Arealklasse

Bre (A <sub>BRE</sub> )	0 %
Myr (A <sub>MYR</sub> )	7.4 %
Leire (A <sub>LEIRE</sub> )	0 %
Skog (A <sub>SKOG</sub> )	40.5 %
Sjø (A <sub>SJØ</sub> )	2.2 %
Snaufjell (A <sub>SN</sub> )	41.7 %

### Klima- /hydrologiske parametere

Klimaregion	Ost -
Lavvannsperiode	Vinter -
Avrenning 1961-90 (Q <sub>N</sub> )	14.3 l/s*km <sup>2</sup>
Sommernedbør	364 mm
Vinternedbør	304 mm
Årstemperatur	-1.1 °C
Sommertemperatur	6.2 °C
Vintertemperatur	-6.2 °C
Temperatur juli	8.4 °C
Temperatur august	9.0 °C

Figur 8: Øverst er Frya sitt nedbørsfelt markert og tabellen under viser tilhørende hydrologiske data til vassdraget og nedbørsfeltet. Generert fra NVE sin tjeneste NEVINA (NVE, 2021a).

### 3.2.2 Gudbrandsdalslågen

I figur 9 vises Gudbrandsdalslågen sitt nedbørsfelt og hydrologiske data. Gudbrandsdalslågen er et regulert vassdrag, som benyttes til kraftproduksjon i flere ledd. Dette gjør at vannstanden vil ha daglige svingninger avhengig av strømmeterspørsel og strømproduksjon, i tillegg til å være påvirket av større nedbørsmengder og snøsmelting.

Arealet på nedbørsfeltet til Gudbrandsdalslågen fram til det møter elva Frya er på 9864 km<sup>2</sup>. Store deler av dette nedbørsfeltet er rent arealmessig snaufjell og urørt natur fra fjellområder som f.eks. Jotunheimen. Selv om mye av vannet kommer fra urørt natur, er det også flere bebygde områder med forskjellig arealbruk som vil påvirke råvannskvaliteten. Sammenlignet med Frya forventes en dårligere råvannskvalitet fra Gudbrandsdalslågen.

Sett fra klimanormalen 1961-1990 vil Gudbrandsdalslågen fram til elva Frya ha en avrenning på 225885.6 l/s og en alminnelig lavvannsføring på 41428 l/s, som gjør det til et av Norges største vassdrag. Fra et hydrologisk standpunkt vil potensialet for elveinfiltrasjon fra Gudbrandsdalslågen være veldig høyt, og i kombinasjon med elveinfiltrasjon fra elva Frya vil større grunnvannsuttak være bærekraftig så fremt løsmassene er egnet og det er utveksling av vann mellom elva og grunnvannsmagasinet.



Norges  
vassdrags- og  
energidirektorat

Kartbakgrunn: Statens Kartverk  
Kartdatum: EUREF89 WGS84  
Projeksjon: UTM 33N  
Beregn.punkt: 236894 E  
6832788 N

## Lavvannindekser

Vassdragsnr.: 002.DF5  
Kommune.: Ringebu  
Fylke.: Innlandet  
Vassdrag.: Vormå-Lågen

### Feltparametere

Areal (A)	9864 km <sup>2</sup>
Effektiv sje (A <sub>eff</sub> )	0.12 %
Elvelengde (E <sub>L</sub> )	149.8 km
Elvegradient (E <sub>g</sub> )	2.9 m/km
Elvegradient <sub>1000</sub> (E <sub>g,1000</sub> )	2.9 m/km
Helling	12.3 °
Dreneringstetthet (D <sub>r</sub> )	1.2 km <sup>-1</sup>
Feltlengde (F <sub>L</sub> )	157.7 km

### Arealklasse

Bre (A <sub>bre</sub> )	3.0 %
Myr (A <sub>myr</sub> )	2.3 %
Loire (A <sub>loire</sub> )	0 %
Skog (A <sub>skog</sub> )	23.1 %
Sjø (A <sub>sjø</sub> )	4.1 %
Snaufjell (A <sub>sf</sub> )	60.6 %

### Hypsografisk kurve

Høyde <sub>med</sub>	184 m
Høyde <sub>max</sub>	2463 m

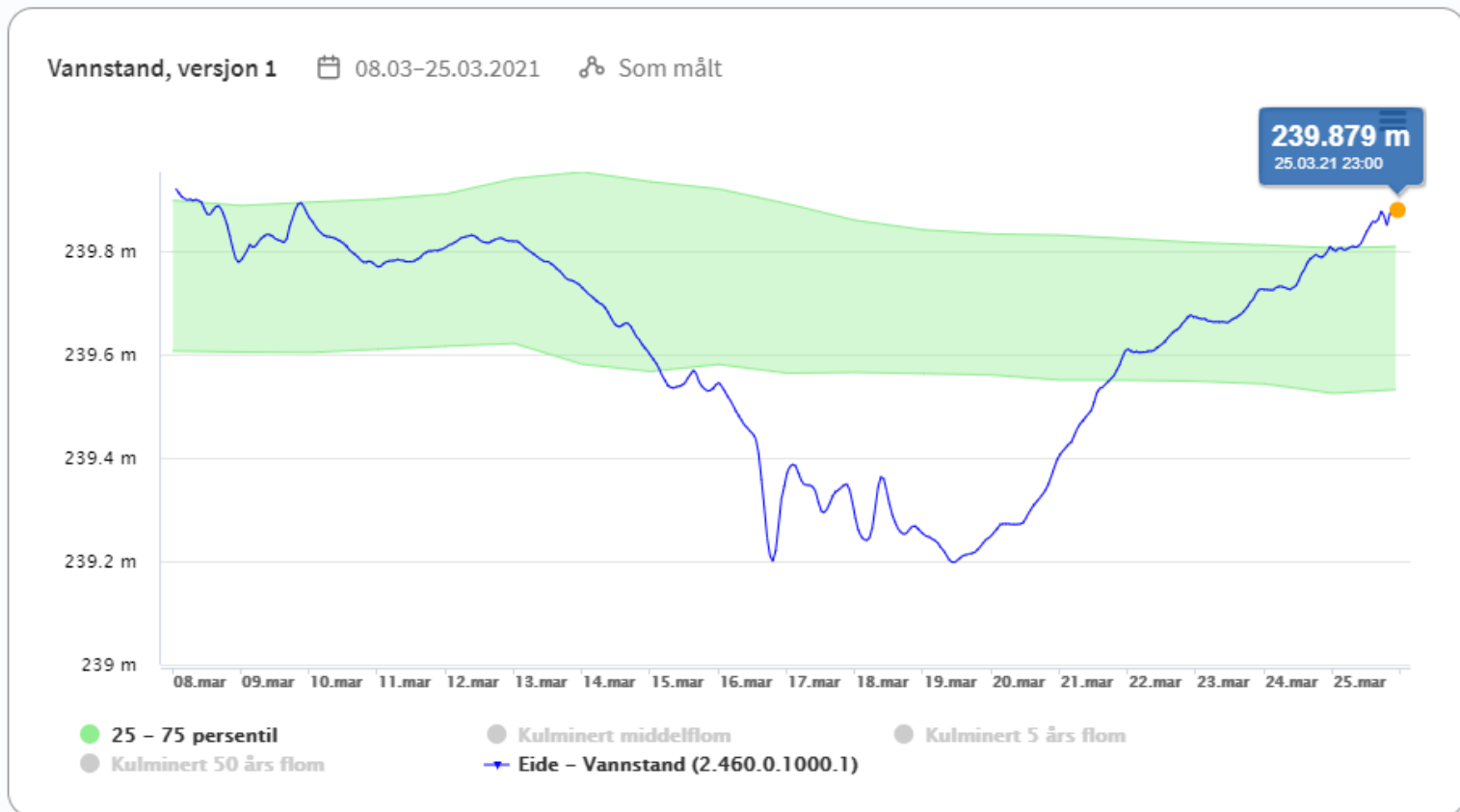
### Lavvannindekser

Alminnelig lavvannføring	4.2 l/s*km <sup>2</sup>
5-persentil (år)	4.2 l/s*km <sup>2</sup>
5-persentil sommer (1/5-30/9)	20.3 l/s*km <sup>2</sup>
5-persentil vinter (1/10-30/4)	3.5 l/s*km <sup>2</sup>
Base flow	8.00 l/s*km <sup>2</sup>
Base flow index (BFI)	0.35 -

### Klima- /hydrologiske parametere

Klimaregion	Ost -
Lavvannsperiode	Vinter -
Avrenning 1961-90 (Q <sub>N</sub> )	22.9 l/s*km <sup>2</sup>
Sommermedbær	375 mm
Vintermedbær	446 mm
Årstemperatur	-2.0 °C
Sommertemperatur	4.8 °C
Vintertemperatur	-6.8 °C
Temperatur juli	6.8 °C
Temperatur august	7.8 °C

Figur 9: Øverst er Gudbrandsdalslågen sitt nedbørsfelt markert og tabellen under viser tilhørende hydrologiske data til vassdraget. Generert fra NVE sin tjeneste NEVINA (NVE, 2021a).

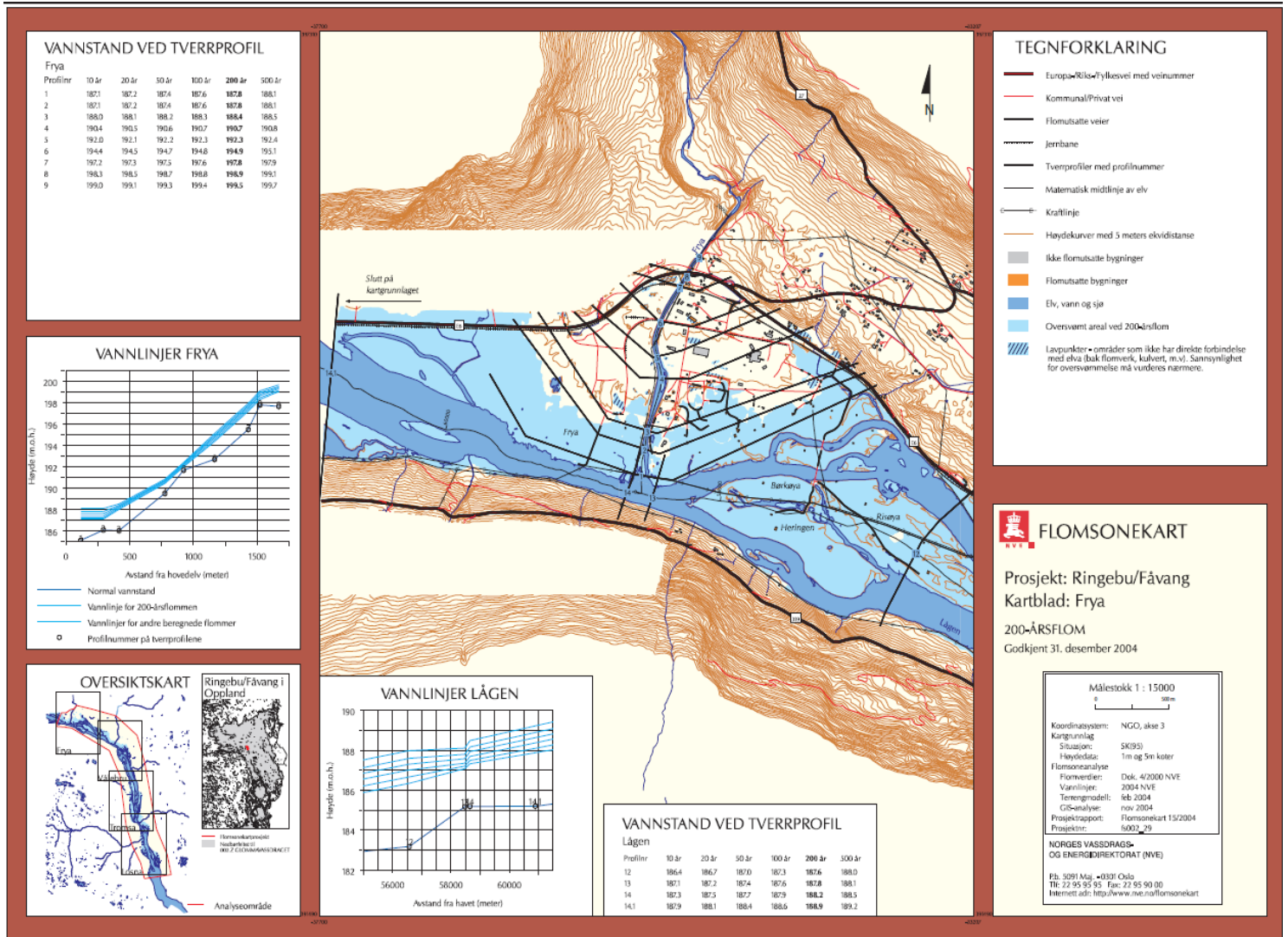


Figur 10: Vannstand i Gudbrandsdalslågen ved stasjon i Eide, like nord for Vinstra (NVE, 2021b).

Ovenfor vises vannstanden i Gudbrandsdalslågen under feltperioden, som var fra 15. til 19. mars (NVE, 2021). Dataene er hentet fra stasjonen Eide, som befinner seg like nord for Vinstra, 2 mil oppstrøms Frya. Disse målingene vil anses å være nøyaktige nok til å vise relative forskjeller i vannstand under feltperioden, selv om elva Vinstra og vannkraftstasjonen Nedre Vinstra har sitt utløp nedstrøms denne stasjonen. Av grafen ser en at feltperioden ble lagt til en periode med lav vannstand, både sammenlignet med før og etter feltperioden, men også sammenlignet med 25-75 persentilen (grønt markert område). Hvorvidt den lave vannstanden vil innvirke på grunnvannsnivået i Frya er usikkert, spesielt da det er snakk om små forskjeller i høyde over kort tid, og at det kan være en viss treghet i akviferen for å utligne disse små høydeforskjellene. En sannsynlig antakelse er at Gudbrandsdalslågen mater magasinet oppstrøms Frya og at grunnvannsstrømmen går parallelt med Gudbrandsdalslågen, og hvis det er tilfellet vil lavere vannstand i Gudbrandsdalslågen kunne gi lavere grunnvannsnivå på Frya.



### 3.2.3 Flom

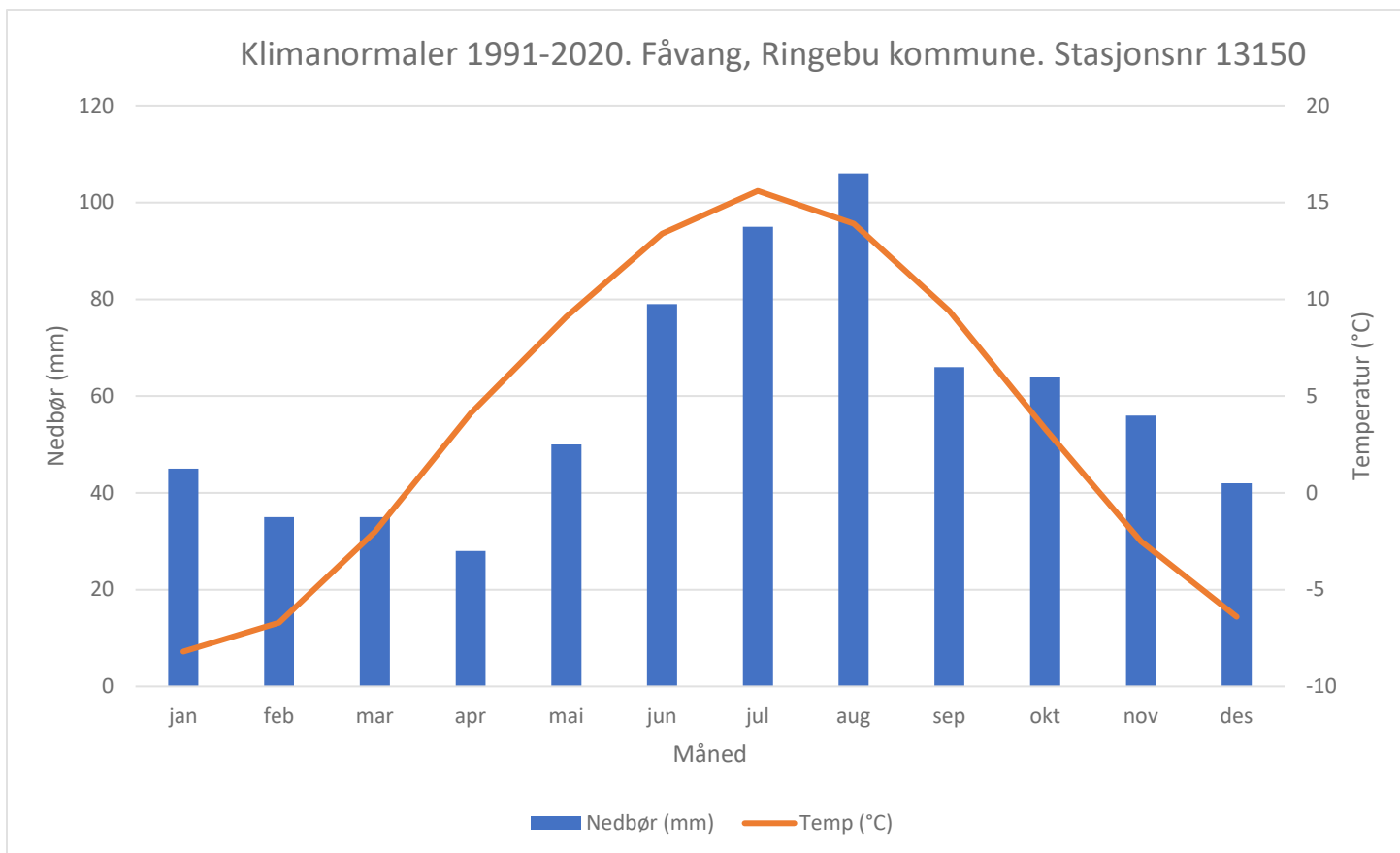


Figur 11: Kart som viser konsekvensene av en 200-årsflom på Frya (Naserzadeh & Larsen, 2004).

Studieområdet på Frya er lavtliggende og svært flomutsatt (Naserzadeh & Larsen, 2004).

Ovenfor vises et teoretisk flomsonekart for en 200-årsflom på Frya, som viser at store deler av området vil bli oversvømt ved en slik hendelse. Dette gjør plassering av ny arealbruk på Frya krevende, og må flomsikres i henhold til TEK-17 (Byggteknisk forskrift, 2017). Slike flomhendelser vil også påvirke grunnvannsstrømmen, oppholdstiden og mektigheten på umettet sone innad en akvifer (Colleuille, et al., 2005), og bør tas hensyn til når en ser på blant annet spredningsveier for forurensing og for uttak av grunnvann.

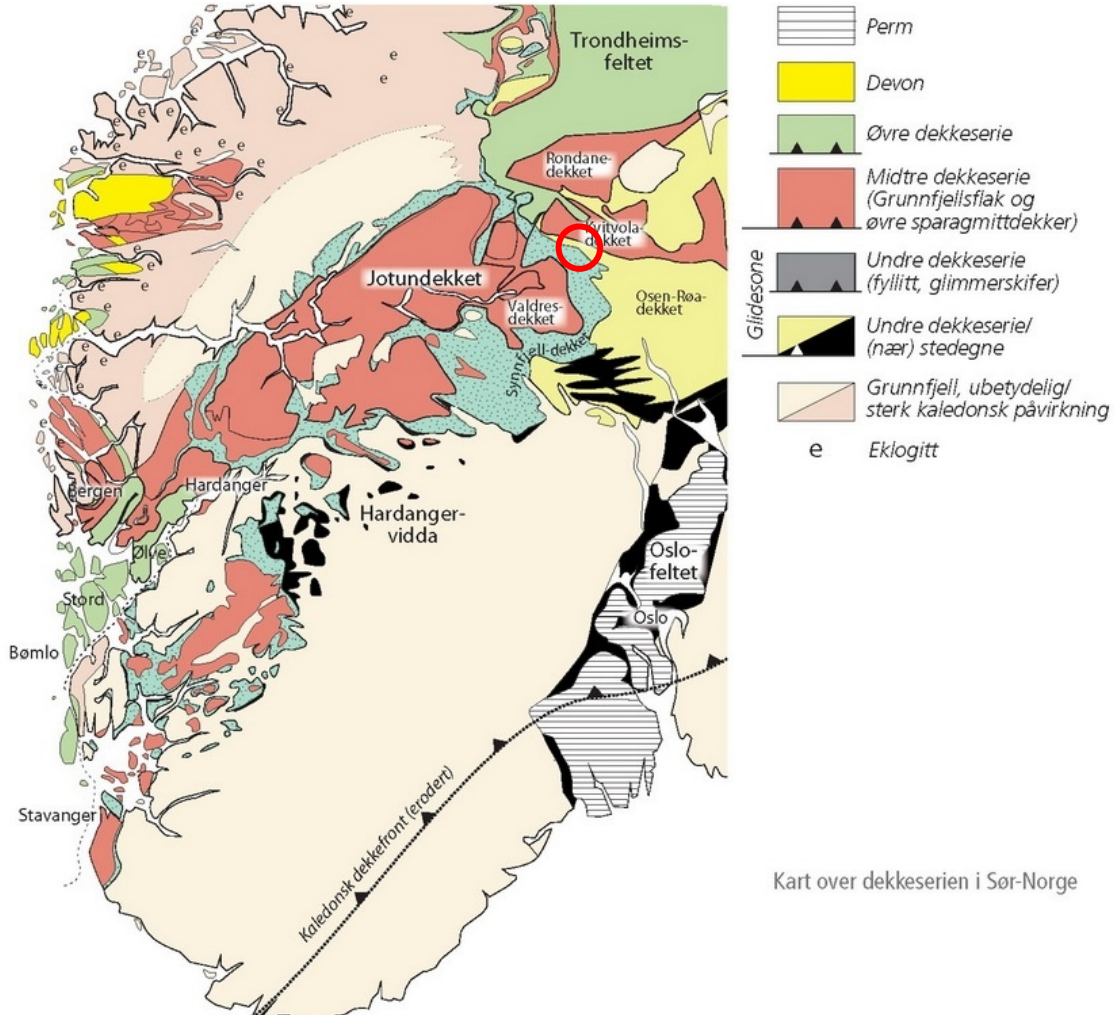
### 3.2.4 Klima



Figur 12: Månedsnormaler for nedbør og temperatur fra stasjon på Fåvang ut ifra 1991-2020 klimanormalen.

Etter epost-korrespondanse med metrologisk institutt fikk undertegnede tilgang på de klimatiske månedsnormalene for alle nedbørstasjonene i Ringebu. Over vises månedsnormalene for henholdsvis temperatur og nedbør for stasjon 13150 i Fåvang, som befinner seg 15km sør for studieområdet på Frya. I tillegg til disse månedsnormalene, så er den årlige middeltemperaturen på 3,6 grader og akkumulert årlig nedbør er på 706 mm (Meteorologisk institutt, personlig meddelelse). I all hovedsak viser de klimatiske dataene at studieområdet er preget av et tørt innlandsklima, med en lav årsmiddeltemperatur og generelt lite årlig nedbør, hvor de største nedbørsmengdene kommer sent om sommerhalvåret. Setter man nedbørsmengdene i sammenheng med vannføringen i vassdragene rundt Frya, vil vassdragene være den desidert største kilden til nydannelse av grunnvann.

### 3.3 Berggrunnsgeologi



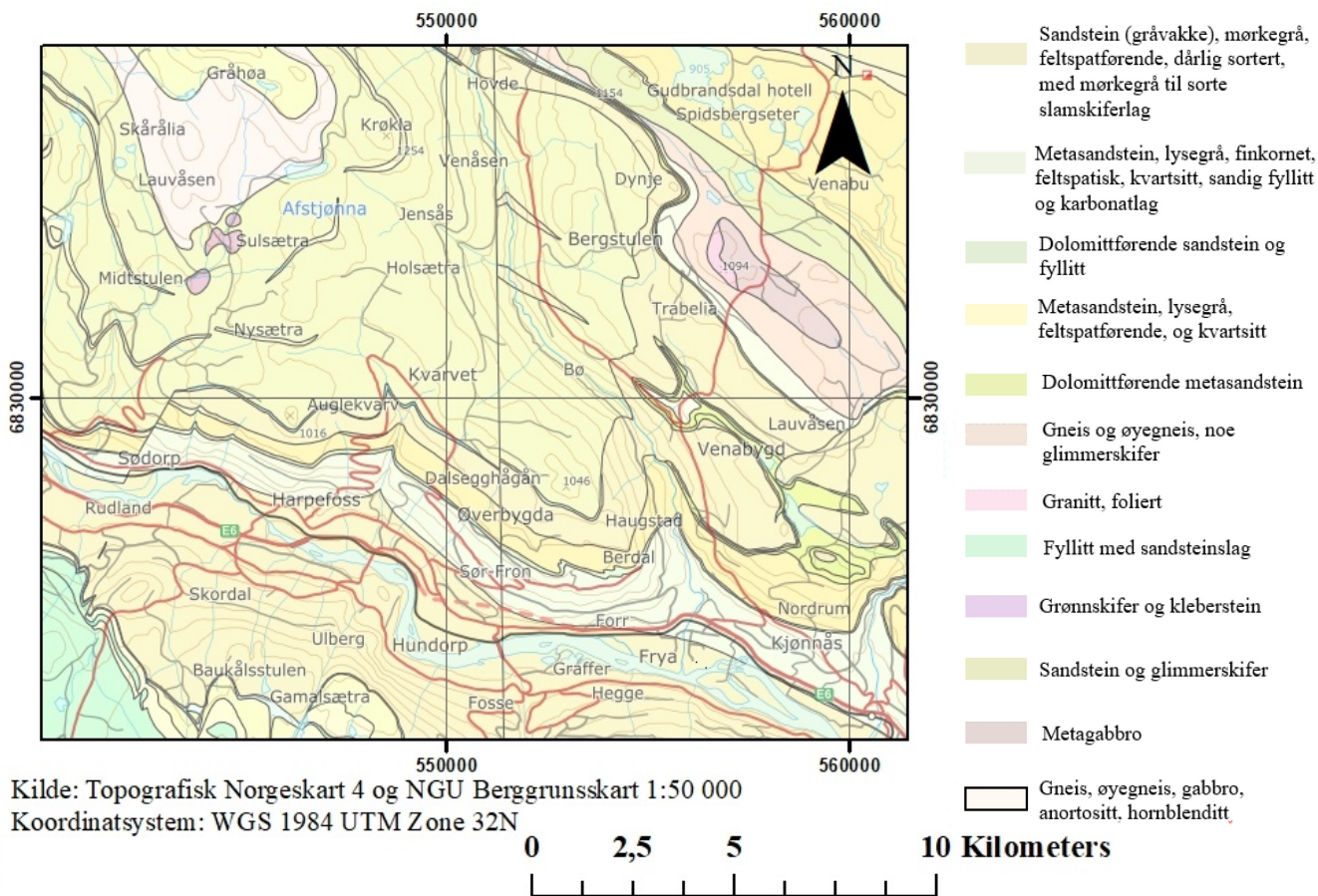
Figur 13: Oversiktskart som viser berggrunnsregionene i Sør-Norge. Ringeburegionen er markert med en rød sirkel (Ramberg, et al., 2013).

Figur 13 viser et oversiktskart over berggrunnsregionene i Sør-Norge, med Ringebu-regionen markert med en rød sirkel. Regionen rundt Ringebu er dominert av en stor variasjon innen kaledonske bergarter og skyvedekker, med Jotundekket og Kvitvoladekket som en del av den midtre dekkeseerien bestående av grunnfjellsflak og øvre sparagmittdekker og Synnfjell-dekket og Osen-Røa-dekket som en del av den undre dekkeseerien bestående av sedimentære bergarter som fyllitt, glimmerskifer og stedegne sandsteiner (Fossen, et al., 2013).

NGU kartla berggrunnen i en skala på 1:50 000 rundt Ringebu i 2003 (Englund & Siedlecka, 2003), og følgende figur 14 viser en sammenstilling av denne kartleggingen, hvor Frya er



lokalisert nede til høyre i kartet. Selv om fargene gjør bergartene i kartet vanskelig å skille fra hverandre, kan en se fra beskrivelsen at det i hovedsak er forskjellige varianter av sedimentære og metamorfe bergarter som sandstein og metasandstein som dekker kartbladet, med noen få innslag av krystalline bergarter som granitt, metagabbro og gneiser.



Figur 14: Berggrunnsgeologisk kart kartlagt i 1:50 000 av området rundt Frya. Strek midt i kartet er skillet mellom to kartblad (NGU, 2020b).

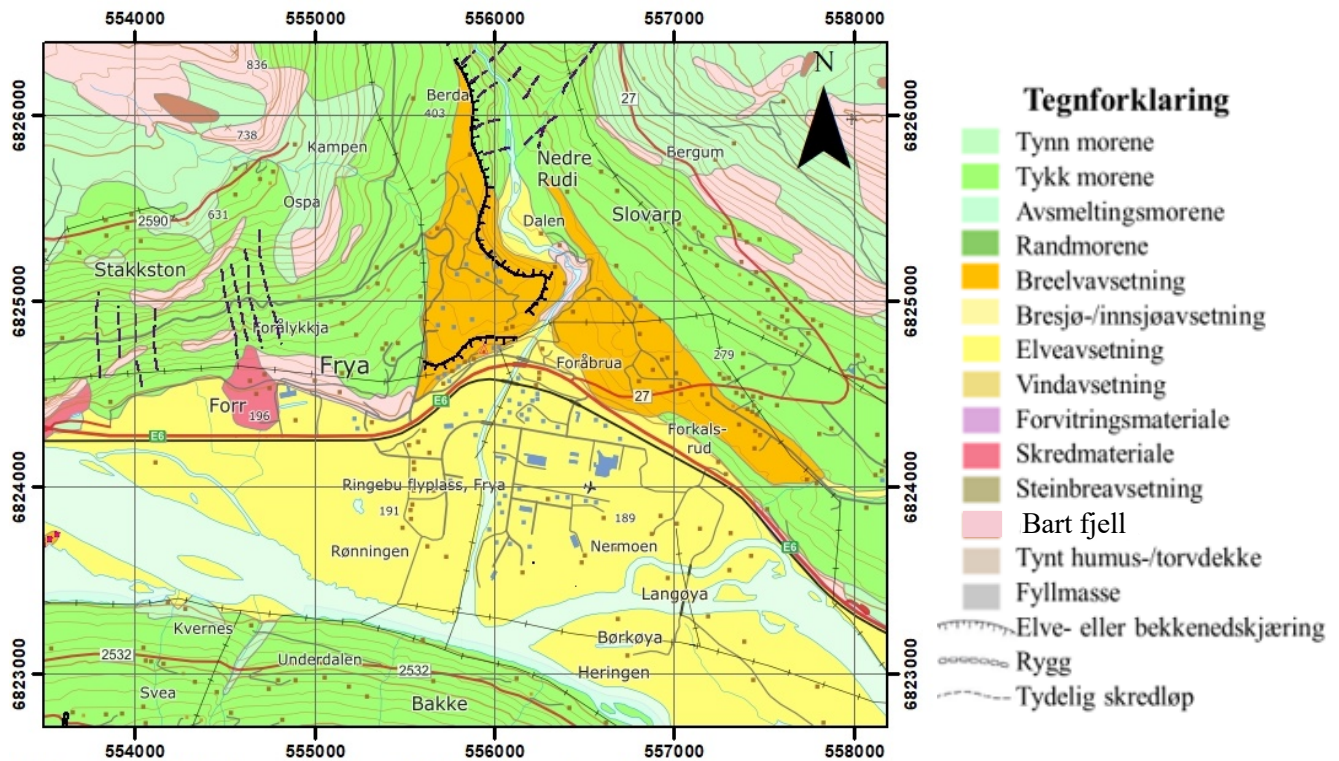
Løsmasser er et resultat av forvitring og erosjon av berggrunnen, som gjør at berggrunnen i en region bestemmer det petrografiske innholdet til en løsmasseavsetning, og derav løsmasseavsetningens innvirkning på grunnvannets fysiske og kjemiske kvaliteter. Studieområdet sine to vassdrag drenerer som nevnt to forskjellige fjellområder, hvor Gudbrandsdalslågen drenerer store deler av Jotundekket som i all hovedsak består av krystalline bergarter som blant annet gabbro, men også noen innslag av metamorfe bergarter som kvartsitt, og Frya som drener området rundt Fursjøen som består i hovedsak av forskjellige typer sandsteiner (Fossen, et al., 2013). Løsmasseavsetningen i studieområdet vil derfor mest antakelig

ha et varierende petrografisk innhold mot dypet, avhengig av hvilket vassdrag som til hvilken tid har hatt størst evne til å avsette løsmasser, og det vil være vanskelig å fastslå den petrografiske sammensetningen fra et skrivebordsstudium alene.

Fra berggrunnskart og figur 14 ser en at det er flere dolomittførende bergarter og karbonatlag i berggrunnen rundt Frya, og det kan dermed være en sannsynlighet for at det naturlige grunnvannet kan være hardt, og har en viss alkalitet og nøytral pH på grunn av et mulig kalsium-, magnesium- og karbonatinnhold. Berggrunnens sammensetning kan påvirke grunnvannskvaliteten, men det er andre faktorer som også spiller inn. Frya og Gudbrandsdalslågen sin vannkjemi vil også være med å bestemme kvaliteten hvis det er elveinfiltrasjon som gir mest nydannelse av grunnvann. Studier gjort på grunnvann i berg (Banks, et al., 2000) viser at den mineralske sammensetningen ikke er det som påvirker grunnvannskjemien i størst grad, men faktorer som grunnvannets pH (som dog kan påvirkes av tilgjengelige ioner fra mineraler), redokspotensial og oppholdstiden innad akviferen i større grad er bestemmende for grunnvannskjemien.

### **3.4 Kwartærgeologi**

Kwartærgeologien i Gudbrandsdalen har blitt kartlagt i flere omganger, blant annet av Follestad, 2007 og Sletten et al., 2020. Figuren under er hentet fra Follestad sin kartlegging, og er kartlagt i 1:50 000 skala. Gudbrandsdalen sin sentrale plassering i Norge gjorde den til en av de siste isfrie områdene under forrige istid og kvartærgeologien i området er formet av dette. I hovedsak er den et resultat av innlandsisen sin varierende evne til å erodere, transportere og avsette løsmasser under forrige istid, samt vassdragene knyttet Gudbrandsdalen sin evne til å senere erodere i breelv- og moreneavsetningene, for å så avsette de på nytt (Follestad, 2007).



Kilde: Topografisk Norgeskart 4 og NGU Løsmassekart 1:50 000  
 Koordinatsystem: WGS 1984 UTM Zone 32N

Figur 15: Løsmassekart over Frya kartlagt i 1:50 000 skala (Follestad, 2007).

I dalsidene langs Gudbrandsdalen er det i varierende grad avsatt morener, og en ser fra løsmassekartet at rundt studieområdet er disse moreneavsetningene av vekslende tykkelse, og at det flere plasser er markert bart fjell (Follestad, 2007). Langs dalsidene er det også kartlagt flere skredløp og i bunn av dalen enkelte små avsetninger av skredmateriale.

Oppstrøms Frya er det avsatt en større breelvavsetning som har sitt platå ved ca. 360 meter over havet. I denne avsetningen er det flere dødisgroper og uregelmessige overflater. Det er heller ingen tegn til dreneringskanaler, som indikerer at breelvavsetningen er blitt avsatt subglasialt, og mest sannsynlig under den større vertikale nedsmeltingen av innlandsisen mot slutten av forrige istid (Follestad, 2007; Sletten et al., 2020). Under denne vertikale nedsmeltingen drenerte store mengder med smeltevann fra innlandsisen langs Frydalen og eroderte med seg tilgjengelig morenemateriale som ble avsatt der Frydalen traff Gudbrandsdalen, som var ca. 170 meter høyere enn dagens nivå av dalbunnen.

Fokus for denne oppgaven er elvevifta på Frya, og i hydrogeologisk sammenheng vil løsmassesammensetningen og -mektigheten innvirke på akviferens egenskaper og dens

muligheter for grunnvannsuttak, samt egenskaper som resipient for forurensing og infiltrasjonsegenskaper. I Follestad sin kartlegging er elvevifta kun markert som en elveavsetning og i Sletten et al. sin kartlegging markert som en elveavsetning med en sammenhengende flomavsetning i topp. En flomavsetning har et mer variert innhold av kornstørrelse, dette indikerer at det øverste laget av elveavsetningen vil være dårligere sortert og ha en dårligere vanngjennomgang.

Elveavsetningen er et resultat av at Frya har gravd seg ned i breelvavsetningen avsatt oppstrøms Frya. Dette kan en tydelig se av elvenedskjæringene i breelvavsetningen markert langs elva Frya i løsmassekartet. Disse breelvavsetningene og morendekkene har dermed blitt avsatt på nytt i munningen ut mot Gudbrandsdalslågen (Follestad, 2007). En kan se av løsmassekartet at elva Frya må ha hatt tilgang på store mengder løsmasser, så mye at elvevifta har presset Gudbrandsdalslågen over mot andre siden av dalen.

Løsmassekart tar ofte kun hensyn til det øverste dekket av topografien, men gir lite informasjon om mektigheten og løsmassesammensetningen mot dypet. Innen hydrogeologi er dette viktig informasjon og ofte en begrensende faktor for grunnvannsuttak. Fra NGU sin nasjonale grunnvannsdatabase, Granada, finnes det tilgjengelig informasjon om flere boringer og undersøkelser i studieområdet. De forskjellige undersøkelsene presenteres i kapittel «3.7 Tidligere hydrogeologiske undersøkelser», men noen av sonderboringsloggene er verdt å nevne i dette kapitlet. Blant annet viser en sonderboring utført ytterst på elvevifta, der Frya munner ut i Gudbrandsdalslågen, en løsmassemektighet på minst 28 meter, og en tydelig endring i sammensetning mot dypet (Klemetsrud, 1997). Ned til 10 meter er det en blanding av stein, grus og sand, fra 10 til 13 meter er det et lag med finsand og fra 13 meter og ned til bunn er det grovere sand med god vanngiverevne. Sonderboringsloggen indikerer dermed at det med tiden har vært forskjellige avsetningsforhold. Selv om boringen er stoppet ved 28 meter, er det rimelig å anta at dybden ned til grunnfjellet er større.

En teori er at dypere avsetninger på Frya med grovsand kan stamme fra en gammel sandur fra en av interstadialene fra forrige istid. I Kvam, ei bygd nord for Frya, er det i dalbunnen funnet store avsetninger av grov sand og grus med skråsjikt og bortimot horisontal lagdeling. Denne avsetningen er blitt tolket til å stamme fra rester av store elvesletter fra smeltevannselvene fra breene under en periode der isen hadde trukket seg kraftig tilbake og Gudbrandsdalen var

tilnærmet isfri (Vorren & Mangerud, 2013). Vorren og Mangerud skriver at avsetningen av denne grusen også kan finnes opp til 50-60 meter over dagens nivå på Gudbrandsdalslågen, og at det er tenkelig at Gudbrandsdalen på dette tidspunktet var fylt opp til dette nivået av sand og grus som en sammenhengende dal-fylling helt fra Otta og ned til Fåvang, som er omtrent 15 km sør for Frya. Denne grusavsetningen har et petrografisk innhold bestående av mye gabbro, som indikerer at løsmassene stammer fra Jotundekket og Jotunheimen (Vorren & Mangerud, 2013).

Derfor er en teoretisk mulighet at det øvre laget av elveavsetningen, med sand, grus og stein, stammer fra Frya sin erosjon i breelv- og morenemateriale i dens nedbørsfelt, og det nedre grovsandlaget fra den eldre sanduren med løsmasser fra Jotundekket. Dette kan eventuelt avdekkes med georadar, hvis en finner skrålagsstrukturer og avsetningsretning på de forskjellige lagpakken. Finsandlaget kan være et kontinuerlig avsatt lag over hele elvevifta, som et resultat av en lakustrin avsetning hvis området var f.eks. bredt over en lengre periode.

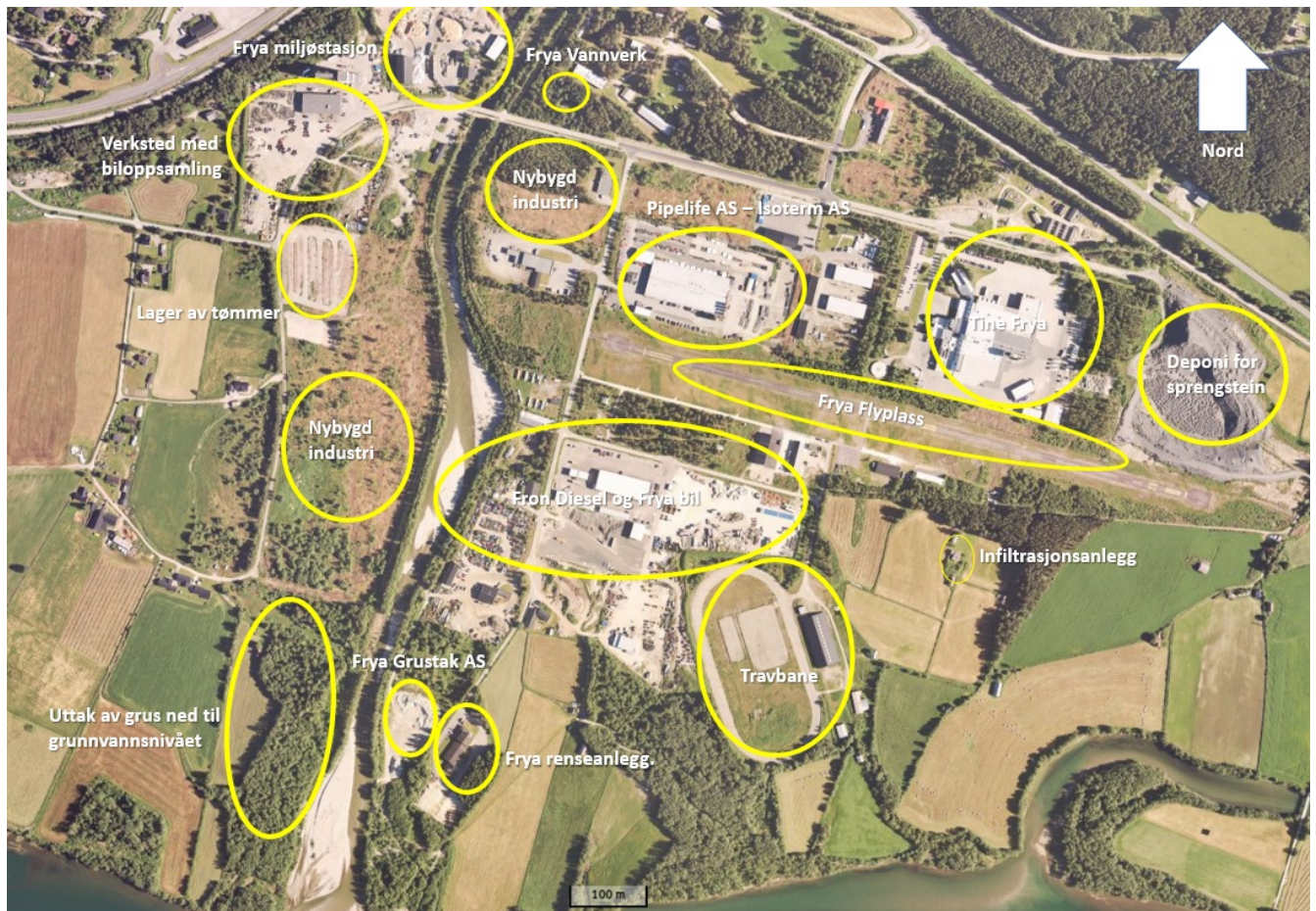
Gudbrandsdalen har flere kjente bresjø-avsetninger, blant annet Store Dølasjø som strakk seg fra Lesja til Sjøa (Jørgensen, et al., 2013). Det kan også være at finsandlaget finnes stedvis enten som resultat av en bak-evje i elvene eller som små flomavsetninger. Hvis finsandlaget er en lakustrin avsetning er det mulig at den stedvis er blitt erodert bort under avsetningen av elvevifta av elva Frya, som også gjør den til et ikke-kontinuerlig lag.

### **3.5 Arealbruk og potensielle forurensningskilder**

I denne oppgaven vil ikke den faktiske forurensingen av grunnen eller grunnvannet bli kartlagt, da det ikke er anledning til å sette undersøkelsesbrønner for å ta vannprøver av grunnvannet eller ta prøver av løsmasser. Oppgaven vil derimot diskutere potensielle forurensningskilder ut ifra arealbruken, og fra feltarbeidet finne dens mulige spredningsveier ved å få oversikt over grunnvannsstrømmen innad akviferen.

Figuren under gir en grov oversikt over dagens arealbruk på Frya. Frya er regulert som et industriområde, og det har spesielt de siste 40 årene blitt utviklet en del ny aktivitet i området. Flyfotoet under er det nyeste som er tilgjengelig på [www.norgebilder.no](http://www.norgebilder.no), det er fra 2017. Siden 2017 har det skjedd flere endringer i arealbruk, og da spesielt på østsiden av Frya.





Figur 16: Oversiktsbilde av dagens arealbruk på Frya, flyfoto hentet fra [www.norgebilder.no](http://www.norgebilder.no).

Figuren over viser at det meste av arealet på Frya er benyttet, med høyst varierende aktiviteter. Disse aktivitetene vil det bli gjort rede for senere i kapitlet.

### 3.5.1 Arealbruk over tid

Dagens arealbruk kan skjule eldre arealbruk som kan være av betydning for dagens situasjon og forurensingsbilde, derfor vil det først bli gjort rede for endring i arealbruk over tid.

Figur 17 er et av de tidligste flyfotoene tatt av Frya, og er fra 1958. På dette tidspunktet var det kun en aktivitet på området, og det var Frya leir som den gang var en aktiv militærleir (Dølen, 2018). Leiren ble også benyttet som ammunisjonslager for blant annet geværammunisjon, miner og artillerigranater (Dølen, 2018). I figur 17 er det markert en rød sirkel som omrissene noen av lagrene, og figur 18 viser hvordan de ble lagret.





*Figur 17: Flyfoto fra 1958 hentet fra [www.norgebilder.no](http://www.norgebilder.no). Den røde markeringen viser hvor en stor andel av ammunisjonslagrene fra andre verdenskrig befant seg. Bildet viser de øvre delene av Frya.*



*Figur 18: Et av ammunisjonslagrene på Frya leir. Viser hvor lite trygt lagret de var, kun under noen plater bølgeblikk (Dølen, 2018).*

Ammunisjonen tilhørte tyskerne under andre verdenskrig, som det norske forsvaret tok over etter krigen (Fron historielag, 2018). Under en planlagt destruksjon av ammunisjon den 19. mai 1960 utviklet det seg en gressbrann som spredde seg til flere av ammunisjonslagrene som kan ses på kartet. Dette førte til store eksplosjoner som spredde granater og splinter over store avstander (Dølen, 2018). I ettertid ble det gått manngard på Frya, og området skal være rensket for alt av sprengrester, og resterende ammunisjon skal være flyttet til en fjellhall i Brøttum (Dølen, 2018). Selv om området er blitt gått manngard og ammunisjonen er flyttet er forurensningen fra denne hendelsen uvisst. Da eksplosjonene spredde granatrester helt over til andre siden av Gudbrandsdalslågen (Dølen, 2018) vil dette kunne være et usikkerhetsmoment for hele elvevifta, ikke bare på vestsiden av Frya hvor lagrene var plassert.



*Figur 19: Flyfoto av Frya fra 1978, hentet fra [www.norgebilder.no](http://www.norgebilder.no).*



Figur 19 viser et flyfoto fra 1978. Den store arealendringen i dette tidsrommet er dannelsen av et askedeponi fra et forbrenningsanlegg der Frya miljøstasjon i dag holder til (se figur 16), samt byggingen av Fryavegen som krysser elva Frya ved miljøstasjonen.



*Figur 20: Flyfoto av Frya fra 2002, hentet fra [www.norgebilder.no](http://www.norgebilder.no).*

Neste tilgjengelige flybilde er fra 2002, og vises over i figur 20. Mye av arealet på Frya har blitt utbygd i tidsrommet 1978-2002. Blant annet er Frya miljøstasjon, Frya vannverk, Frya rensesanlegg, Frya flyplass, Tine Frya, Frya travbane, Frya grustak og Frya bil AS blitt etablert. Sammenligner man med figur 16 fra 2017 som ble presentert først i kapittelet, ser en at kun et par endringer er blitt utført mellom 2002 og 2017. Det er etableringen og utbyggingen/utvidelsen av Fron Diesel AS, Fron Bilverksted AS og sprengsteinsdeponiet øst for Tine Frya.

Etter 2017 er det i tillegg gjort noen endringer som ikke kan ses på flyfoto, disse er markert i figur 16. Det gjelder utbygging av mer industri på vestsiden langs elva Frya og sør for Frya vannverk. En annen inngripende arealendring er at det også er blitt nedhogd skog og tatt ut sand og grus helt ned til grunnvannsnivået på vestsiden av utløpet til Frya.

### **3.5.2 Frya miljøstasjon**

Midt- Gudbrandsdal Renovasjonsselskap (MGR) drifter i dag Frya miljøstasjon, som ligger helt nord på Sør-Fron sin side av elvevifta (se figur 16). I dag omfatter dette behandling og sortering av husholdnings- og næringsavfall samt et flisdeponi. Med tiden har det vært en variabel arealbruk og aktivitet på stasjonen. Etter e-post og telefonkorrespondanse med Roger Skansgård, renovasjonssjef hos MGR, fikk undertegnede innblikk i aktiviteten. Fram til 1991 var miljøstasjonen et forbrenningsanlegg, og hadde to deponiceller for aske. Disse deponicellene hadde membran i bunn, og er nå dekket med asfalt. Det var også før et grovavfallsdeponi på miljøstasjonen, som også er blitt dekket med asfalt, men der er det ikke installert membran i bunn. Mest antakelig ligger bunn av deponiene over grunnvannsnivået.

Sigevannskvaliteten fra avfallsdeponiet bør utredes videre, da den er en potensiell forurensningskilde. I og med deponicellene er blitt asfalterte og ligger over grunnvannsnivået, vil det under normale forhold ikke transporteres store mengder sigevann ut i grunnvannsmagasinet. Ved store flomsituasjoner vil dette dog være et usikkerhetsmoment. På generell basis skal all industri som anses forurensningsfarlig, derunder avfallsdeponi, ikke være tillatt i noen av klausuleringssonene til drikkevannsuttak (Eckholdt & Snilsberg, 1992). Derfor vil grunnvannsstrømmen fra avfallsdeponiet være viktig å kartlegge.

### **3.5.3 Frya Renseanlegg**

Frya renseanlegg er et interkommunalt avløpsrenseanlegg som renser avløpsvann fra Ringebu, Sør-Fron og Nord-Fron kommune, og er lokalisert helt sør på elvevifta (se figur 16 for nærmere plassering). Avløpsvann som er rensert blir sendt i rør ut i Gudbrandsdalslågen (personlig meddelelse Åge Øverjordet, tjenesteleder kommunalteknikk, Sør-Fron kommune), og det blir lagret avløpslam på tomta som blir behandlet og senere benyttet til gjødsling av landbruks- og grøntareal.

I og med det rensede avløpsvannet sendes ut i Gudbrandsdalslågen, er det liten fare for at det vil påvirke grunnvannskvaliteten. Lekkasje fra avløpsledninger inn til renseanlegget, samt slambehandlingsanlegget og slamtankene kan derimot være en potensiell forurensningskilde, da utslipp av kloakk er en uønsket arealbruk innenfor sone 3, og kloakkledninger en uønsket arealbruk innen sone 2 (Eckholdt & Snilsberg, 1992).

### **3.5.4 Bilverksteder og entreprenører som Frya Bil, Fron Diesel, Fron bilverksted og Frya Grustak**

På Frya er det flere bilverksteder og entreprenører som driver med biloppsamling, disse kan vises i figur 16. Når det gjelder krav til slike behandlings- og oppsamlingsplasser er det satt spesifikt tre krav til bransjen, og det er fylkesmannen som har myndighet og skal kontrollere slike anlegg (Miljødirektoratet, 2015). Det første kravet er at alle bilvrak skal miljøsaneres, det vil si å ta ut alle komponenter som utgjør en forurensningsfare eller som kan gjenvinnes. Dette gjelder væsker som drivstoff, motorolje, girkasseolje, girolje, hydraulikkolje, oljefilter, bremsevæske og kjølevæske, kuldemediums-gasser under trykk og faste komponenter som batteri, katalysator, vippebrytere med kvikksølv, dekk og blylodd (Miljødirektoratet, 2015). Det andre kravet er plikt til å hindre forurensning av omgivelser. Det vil si hvis bilvrak og bildeler har en risiko for væskelekkasje skal de lagres på fast dekke med oppsamling av væske i enten oljeutskiller eller en lukket tank. (Miljødirektoratet, 2015) Dette gir ikke et absolutt krav til at vrakede biler må lagres på fast dekke, men selve miljøsaneringen må skje under slike forhold. Det siste kravet er at alt farlig avfall skal håndteres forsvarlig, sorteres og lagres separat i solid emballasje og til slutt leveres til et godkjent mottak av farlig avfall (Miljødirektoratet, 2015).

Nedenfor vises et flyfoto fra et av disse biloppsamlingspunktene, og som en ser av fotoet er ikke bilene lagret på fast dekke. Derav må en anta at de ikke har noen risiko for væskelekkasje, og at de er fullstendig miljøsanerte så fremt miljødirektoratet sine krav er blitt fulgt.

Biloppsamlingspunktene på Frya er sentrert til to områder, et like ved Frya miljøstasjon og flere større områder like sør for flystripa. Den aktuelle forurensningen fra disse biloppsamlingspunktene er uavklart med dagens kunnskapsgrunnlag, og inntil dette er avklart vil det måtte ses på som en potensiell forurensningskilde.



*Figur 21: Flyfoto fra 2017 av et av biloppsamlingspunktene på Frya, hentet fra [www.norgebilder.no](http://www.norgebilder.no).*

### **3.5.5 Tine Frya**

Tine Frya ligger nordøst på Frya, se figur 16. De produserer en rekke meieriprodukter, og tilknyttet produksjonen vil det bli restprodukter som overskuddsvann fra oppkonsentrerte melkeprodukter og annet prosessavløp som må behandles. Prosessavløpet sendes til Frya renseanlegg, og overskuddsvann fra melkeproduktene (myse) infiltreres i grunnen (Fylkesmannen i Oppland, 2017). Før infiltrasjonen gjennomgår mysen vannbehandling med omvendt osmose (personlig meddelelse, Rolf Kvitrud, prosjektleder Tine Frya). Dette skjer på østlige deler av tomten, og det er snakk om små mengder. Det vil derfor anses som rent og vil dermed ikke knyttes til noen forurensingsproblematikk. Hvis det hadde vært utslipp av vann med høyt organisk innhold ville oksidasjonen av disse organiske stoffene skapt grunnvann med reduserte egenskaper, som på sin side igjen gir stoffer som jern og mangan en høyere løselighet i vann.

På nordøstlig del av tomten har Tine også et diesellagringsanlegg. Dette anlegget er installert med betongplater, infiltrasjonskum, oljeutskiller og sandfangskum for å sikre mot søl og

eventuell spredning av diesel til grunnvannet. Fra Eckholdt og Snilsberg, 1991, er sikrede oljetanker opp til 3 m<sup>3</sup> en uønsket aktivitet i sone 2 og innenforliggende soner.

### E3.5.6 Deponi av sprengstein

Under byggingen av Hundorptunnelen på E6 mellom Frya og Hundorp ble det valgt å midlertidig deponere sprengstein fra tunnelen på tomten øst for Tine Frya. Tunnelen ble ferdigstilt i 2016, og det har blitt deponert sprengstein der siden 2013. Ved opprettelsen av deponiet ble det boret en prøvebrønn på tomten til Tine, og det er blitt tatt grunnvannsprøver i denne siden 2013 (personlig meddelelse Taale Stensbye, prosjektleder Statens vegvesen).

Fra sprengstein er det spesielt nitrogenforbindelser i form av nitrat, ammoniakk og ammonium som kan gi en forurensingsproblematikk. Hvor stort forurensingsproblem det vil gi avhenger av type sprengstoff som er blitt anvendt, mengden sprengstoff og om sprengsteinen er blitt vasket før den er deponert (Bækken, 1998). I Bækken, 1998, sine studier ble 65% av nitrogenet vasket bort ved første vask av sprengsteinen, og totalt tilsvarte avrenningen av nitrogen fra sprengsteinen 14,7% av nitrogenet benyttet i sprengstoffet. Sulfid- og metallholdige bergarter kan også gi sur avrenning og løse opp metaller som kan påvirke vannkvaliteten (Sørensen, 1998). En antagelse basert på geologien over Hundorptunnelen (se figur 14), og observasjoner av sprengsteinen i felt, er at mye av sprengsteinen er av lavmetamorf sandstein, og det vil dermed ikke knyttes noen stor risiko opp mot slik avrenning.

I tabellen nedenfor vises tre av prøveresultatene undertegnede fikk innsyn i fra Statens vegvesen, som viser utviklingen i vannkjemi over tid.

*Tabell 3: Vannkvalitetsanalyser tatt i peilebrønnen mellom sprengsteinsdeponiet og Tine Frya (personlig meddelelse, Taale Steinsbye. For analysebevis, se vedlegg E).*

<b>Dato:</b>	<b>13.12.2013</b>	<b>29.03.2016</b>	<b>22.03.2019</b>
<b>pH</b>	7,3	6,9	6,9
<b>Konduktivitet</b>	8,39 mS/m	7,52 mS/m	12,05 mS/m
<b>Total nitrogen</b>	1 mg/l	0,689 mg/l	7,46 mg/l
<b>Nitrat</b>	0,187 mg/l	<0,5 mg/l	8,5 mg/l
<b>Ammoniumsnitrogen, NH<sub>4</sub></b>	0,019 mg/l	0,058 mg/l	<0,010 mg/l
<b>Sulfid</b>	0,10 mg/l	0,02 mg/l	<0,020 mg/l



<b>Hydrokarboner, olje i vann</b>	Ikke påvist	Ikke påvist	Ikke påvist
<b>Aluminium (Al)</b>	1,840 µg/l	121,0 µg/l	64,7 µg/l
<b>Arsen (As)</b>	<0,05 µg/l	0,10 µg/l	0,12 µg/l
<b>Barium (Ba)</b>	46,30 µg/l	41,90 µg/l	67,5 µg/l
<b>Kalsium (Ca)</b>	9,42 mg/l	8,93 mg/l	12,5 mg/l
<b>Kadmium (Cd)</b>	0,0040 µg/l	<0,002 µg/l	0,00282 µg/l
<b>Kobolt (Co)</b>	0,04 µg/l	0,17 µg/l	0,266 µg/l
<b>Krom (Cr)</b>	0,12 µg/l	0,41 µg/l	0,234 µg/l
<b>Kobber (Cu)</b>	0,42 µg/l	2,66 µg/l	14,1 µg/l
<b>Jern (Fe)</b>	Ikke påvist	0,2310 mg/l	0,1280 mg/l
<b>Kvikksølv (Hg)</b>	<0,002 µg/l	<0,002 µg/l	<0,002 µg/l
<b>Kalium (K)</b>	1,050 mg/l	0,871 mg/l	1,27 mg/l
<b>Magnesium (Mg)</b>	3,32 mg/l	2,62 mg/l	3,55 mg/l
<b>Mangan (Mn)</b>	4 µg/l	9,5 µg/l	4,64 µg/l
<b>Molybden (Mo)</b>	0,09 µg/l	0,08 µg/l	<0,05 µg/l
<b>Natrium (Na)</b>	3,43 mg/l	2,72 mg/l	2,95 mg/l
<b>Nikkel (Ni)</b>	0,46 µg/l	0,36 µg/l	0,557 µg/l
<b>Total fosfor</b>	0,185 mg/l	0,060 mg/l	0,0219 mg/l
<b>Bly (Pb)</b>	<0,01 µg/l	1,1 µg/l	2,1 µg/l
<b>Silisium</b>	2,78 mg/l	2,68 mg/l	3,19 mg/l
<b>Strontium (Sr)</b>	66,8 µg/l	58,9 µg/l	93,8 µg/l
<b>Sink (Zn)</b>	8,35 µg/l	4,9 µg/l	12,5 µg/l
<b>Vanadium (V)</b>	0,04 µg/l	0,23 µg/l	0,14 µg/l

Vannprøvene tyder på at de fleste parameterne stort sett har holdt seg stabile over tid, med noen unntak. Blant annet har innholdet av aluminium, jern, kobber, bly, total nitrogen, nitrat og ledningsevnen gått opp. Prøvene mangler turbiditetsmålinger for å gi indikasjoner på partikkelinnholdet i vannprøven, da det er en mistanke om at prøvene ikke er filtrerte og at innholdet av flere av metallene nettopp skyldes et partikulært innhold. Fra pourbaix-diagrammet til aluminium kan det ses at løseligheten til aluminium er strengt avhengig av pH i vannet, og at

den i nøytral pH ikke er løselig (Ashby & Jones, 2012). Innholdet av silisium har på den andre siden holdt seg stabilt på rundt 3 mg/l. Dette samsvarer med løseligheten kvarts har i lave temperaturer, og indikerer at grunnvannet har lang oppholdstid (Rimstidt, 1997).

Innholdet av total nitrogen og nitrat har økt fram til 2019. Grenseverdiene i drikkevannsforskriften er satt til 50 mg/l for nitrat (Drikkevannsforskriften, 2016), så det er fremdeles godt under dette kravet. Likevel, det viser at sprengstoffrester muligens har påvirket grunnvannskvaliteten de siste årene. En annen forklaring er at nitrat-innholdet kommer fra gjødsling av dyrket mark, eller at det er infiltrasjonen av det rensede mysevannet fra Tine som påvirker nitrogen og nitrat-verdiene. Generelt viser prøvene at sprengsteinen ikke har ført til forurensing av betydning for grunnvannskvaliteten, men det bør undersøkes videre.

### **3.5.7 Uttak av sand og grus**

På begge sider av utløpet til Frya er det tatt ut sand og grus ned til grunnvannsnivået. Dette gir ingen umettet sone, og forurenset overflatevann vil ikke kunne bli infiltrert gjennom umettet sone i disse områdene. Dette gjør grunnvannet spesielt sårbart under flomsituasjoner eller for andre hendelser som skaper overflateforurensing. Uttak av sand og grus er en ikke tillat aktivitet i sone 0 og 1, og en uønsket aktivitet i sone 2 ved klausulering av drikkevannskilder (Eckholdt & Snilsberg, 1992).

### **3.5.8 Frya Flyplass**

Frya Flyplass benyttes i dag kun til småfly og seilfly, og må kategoriseres til å ha en uavklart forurensningsproblematikk.

Et kjent forurensningsproblem på flere flyplasser er PFOS-forbindelser etter brannskum som før ble benyttet under brannøvelser (Miljødirektoratet, 2017). Om Frya flyplass er blitt benyttet som brannøvingsfelt er derimot ukjent. Det samme vil gjelde sårbarhet for forurensing ved ulykker på flyplassen.

Drivstoff lagres også på en flyplass, dette kan utgjøre et ukjent forurensningsproblem dersom det er lekkasje i systemet. Generelt er det forbud mot store lagre eller tanker for olje og kjemikalier i alle fire soner, men sikrede oljetanker på maksimalt 3 m<sup>3</sup> kan vurderes tillatt i sone 2 og 3 under spesielle omstendigheter (Eckholdt & Snilsberg, 1992).

### **3.5.9 Pipelife AS – Isoterm AS og annen industri**

Rundt om på Frya er det forskjellig industri, inkludert Pipelife AS – Isoterm AS som driver med produksjon av frostsikre VA-rør. Ifølge miljødirektoratet vil mulig forurenset grunn fra plastindustri være klorerte og ikke-klorerte løsemidler, tungmetaller, cyanider, ftalater, fenoler, aromater, klorerte hydrokarboner og fosfororganiske flammehemmere (Miljødirektoratet, 2017). Om Pipelife AS – Isoterm AS sin industri bidrar til noen forurensning av grunnen er ikke kjent, og må derfor ses på som en potensiell forurensningskilde.

Det er også påbegynt bygging av nye industribygg i nærheten av Pipelife sine lokaler, samt på vestsiden av Frya, nedenfor tømmerlageret. Nøyaktig hvilken aktivitet som er tiltenkt, og dens påvirkning i henhold til klausulering og potensiell forurensing av grunn og grunnvann er ukjent, og må videre undersøkes.

For å kartlegge den faktiske forurensingen av industrien vil det mest hensiktsmessige være å undersøke dette i felt. Dette kan blant annet undersøkes ved å sette undersøkelsesbrønner og ta utvidede vannanalyser.

### **3.5.10 Jordbruk og gårdsdrift**

På Frya er det mye landbruksjord, dette kan ses på flyfoto. Den største bekymringen ved dette vil være om det er brukt sprøytemidler, og i så fall hvilke typer sprøytemidler. Gjødselstoffer og plantevernmidler i fareklasse C er en uønsket aktivitet innen sone 1, og plantevernmidler i fareklasse X, A og B er en uønsket aktivitet innen sone 2 (Eckholdt & Snilsberg, 1992).

### **3.5.11 Travbanen**

Arealbruken og problematikken på travbanen er knyttet til bruk av større kjøretøy for prepareringen av travbanen og eventuelle lekkasjer av olje/drivstoff. En annen faktor vil være fekal forurensning fra hestene.

### **3.5.12 Privat infiltrasjonsanlegg**

Etter kontakt med VA-avdeling i Ringebu kommune ble det opplyst om et privat infiltrasjonsanlegg på Frya, plassering ses i figur 16. Alderen på anlegget, mengden avløpsvann og om det i det hele tatt er i drift er usikkert, da annen informasjon enn plassering ikke er gitt. Utslipp av gråvann i grunnen er generelt satt til en uønsket aktivitet inne sone 2, og kloakk satt til en uønsket aktivitet innen sone 3 (Eckholdt & Snilsberg, 1992).



### **3.5.13 Dovrebanen**

Dovrebanen går gjennom studieområdet på Frya, og vil måtte tas med i vurderingen. Bruk av plantevernmidler, og spesielt glyfosat, til vegetasjonskontroll langs jernbanespor kan være en kilde til forurensing. Fram til 2014 var det i Norge et årlig forbruk på glyfosat langs jernbanespor på 5 tonn. Fra 2015 har forbruket sunket, ned til 3 tonn per år (Statistisk sentralbyrå, 2019), men det vil likevel være en potensiell forurensningskilde.

Avsporingsulykker vil også være en potensiell forurensningskilde med store konsekvenser ettersom Dovrebanen brukes til å frakte gods av variabel risiko for miljø. Det er derimot en lav sannsynlighet for at slike hendelser forekommer.

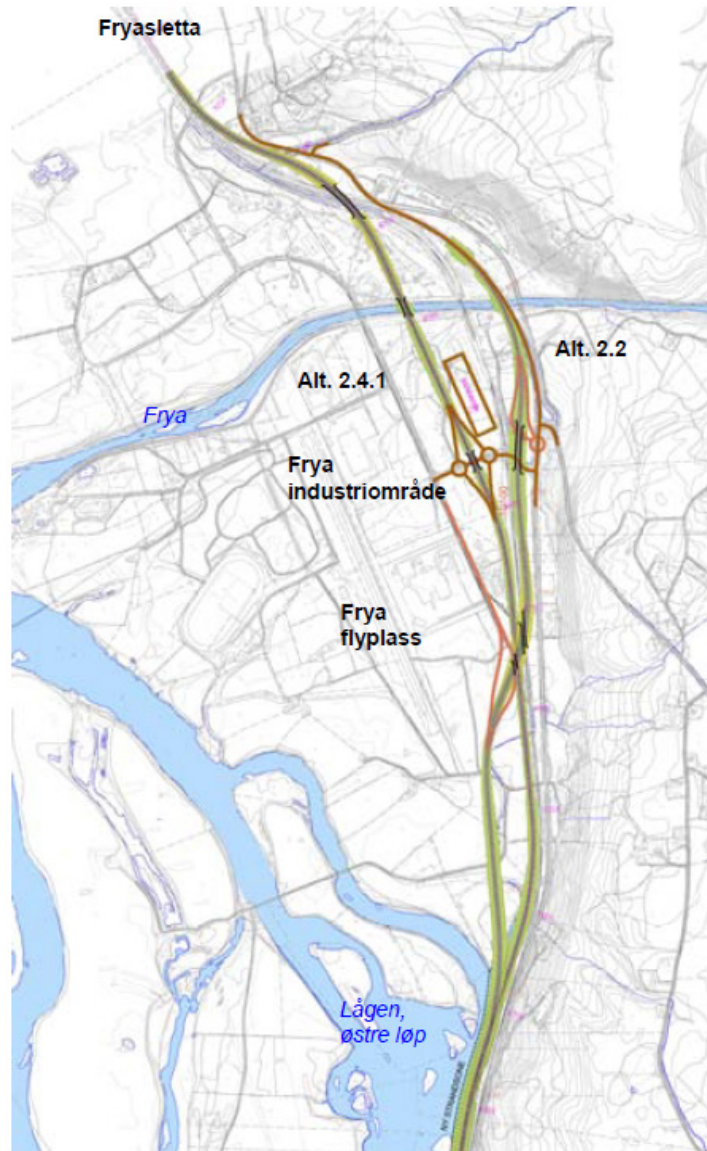
### **3.5.14 E6**

På lik måte som for Dovrebanen vil E6 være en potensiell forurensningskilde ved større trafikkulykker hvis det skaper lekkasje og spredning av drivstoff, oljer og andre miljøgifter. Offentlige veier er derfor en uønsket aktivitet innen sone 2 (Eckholdt & Snilsberg, 1992). Vegsalting kan også påvirke grunnvannskvaliteten, og er de siste årene blitt benyttet i større grad her til lands (Statistisk sentralbyrå, 2019).

E6 er planlagt oppgradert og utvidet de neste årene, dette kan bety at den vil benytte nytt og/eller mer areal på Frya. Nedenfor oppsummeres to av utredningene som er gjort for hvordan E6 skal passere Frya.

#### ***Statens vegvesen Region øst 2008 – Konsekvensutredning E6 Ringeby sør- Frya***

I forbindelse med mulighetsstudie for utbygging og oppgradering av E6 gjennom Ringeby ble det i 2008 utført en konsekvensutredning av Multiconsult for Statens vegvesen (Statens vegvesen Region øst, 2008). Figuren nedenfor viser alternativene gjennom Frya som ble foreslått videreført i kommunedelplanen.

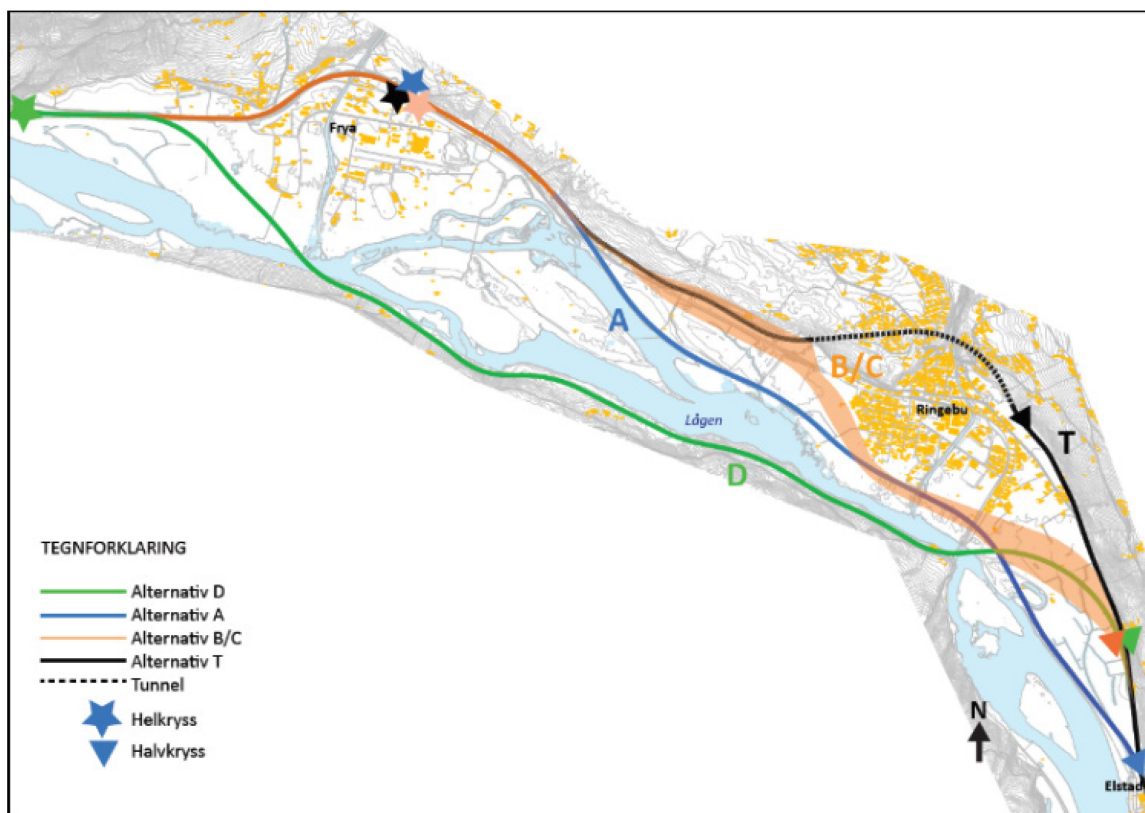


Figur 22: Foreslåtte traseer for ny E6 gjennom Frya (Statens vegvesen Region øst, 2008).

Naturressursene på Frya ble i denne rapporten kategorisert til å være fra middels til stor verdi på grunn av et betydelig grunnvannspotensial samt at løsmassene på Frya er godt egnet til infiltrasjon. Som grusressurs ble avsetningen på Frya kategorisert til middels verdi. Av foreslåtte alternativer slik en ser over vil alternativ 2.4.1 være det mest inngripende for Frya sitt grunnvannsmagasin, da alternativet går tettere på Frya vannverk og Tine-meieriet. Alternativ 2.2 følger til dels dagens strekning.

### *Nye veier 2021 – Vurdering av alternative løsninger ved Ringebu*

I 2019 overtok Nye veier AS rollen som byggherre for Statens vegvesen på strekningen Øyer – Otta på E6, og det ble dermed utredet nye alternativer for E6 i Gudbrandsdalen. Asplan Viak AS og Dr. Ing. A. Aas-Jakobsen AS ble brukt som rådgivere for rapporten som skulle vurdere de forskjellige korridorene gjennom Ringebu-regionen. Figuren nedenfor viser de forskjellige alternativene det ble utredet for (Nye Veier AS, 2021). I rapporten understrekes det at den ikke tar endelig stilling til hvilket alternativ som er best egnet, og at ferdig forslag til reguleringsplanen for E6 kommer i løpet av 2022.

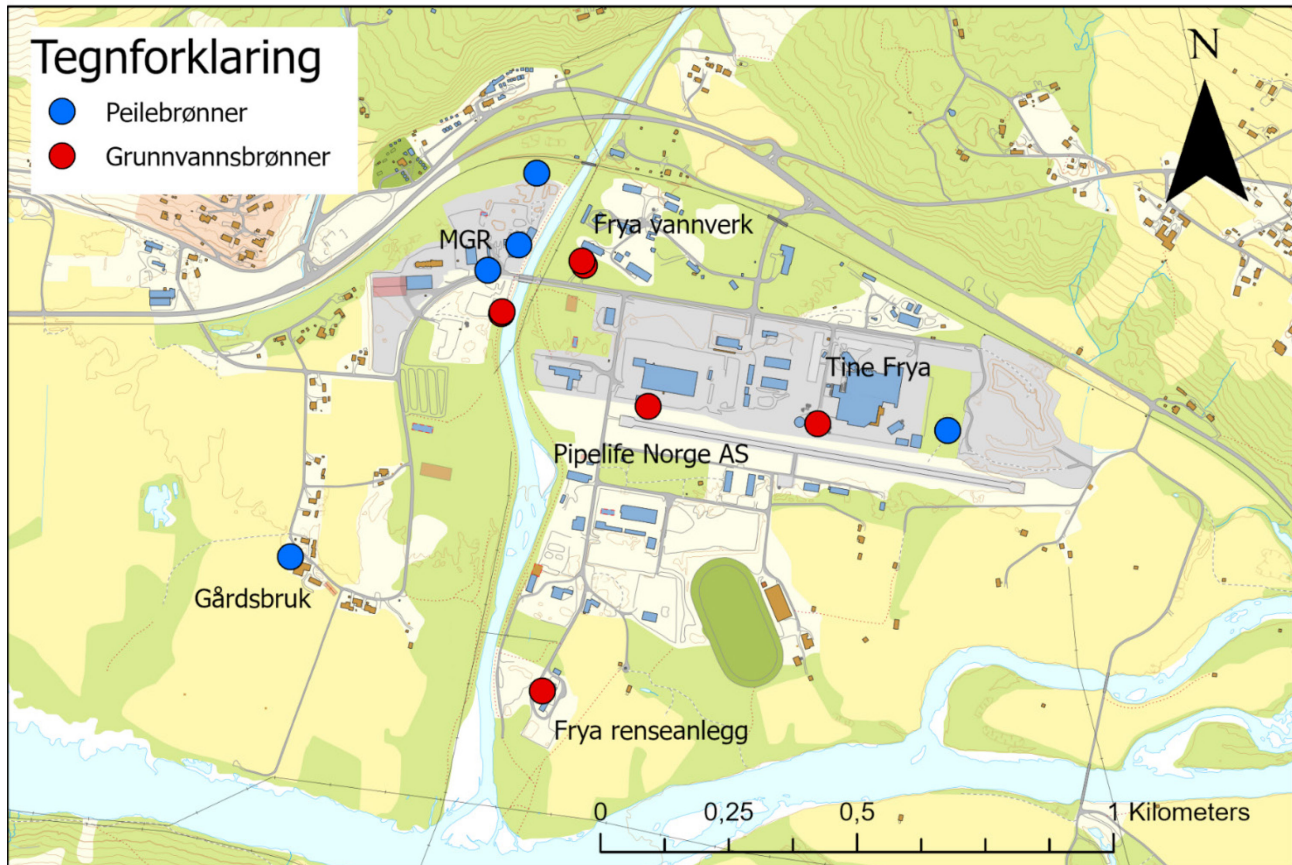


*Figur 23: Foreslåtte alternativer for ny E6 gjennom Frya og Ringebu (Nye Veier AS, 2021).*

Som en ser av figuren over er det kun ett forslag, alternativ D, som fører til en vesentlig ny arealbruk på Frya. De andre alternativene vil føre til en bredere utbygging av veien og etablering av et nytt og større kryss ved utkjøring til fylkesvei 27, men vil ikke være like inngripende som alternativ D da de følger dagens trase. I vurderingen og konklusjonen i rapporten kom alternativ D derimot dårlig ut. Dette grunnet størst prosessrisiko, mest krevende anleggsgjennomføring og nest dårligste score på miljøtemaene. På den andre siden vil også alternativ D gjøre nordlige

deler av Frya som f.eks. Frya vannverk og Tine sitt meieri mindre sårbar for forurensning ved trafikkuhell etc., da en flytter trafikken på lengre avstand fra vannverket.

### 3.6 Dagens vannuttak og tilgjengelige peilebrønner



Figur 24: Oversikt over dagens grunnvannsuttak og tilgjengelige peilebrønner på Frya.

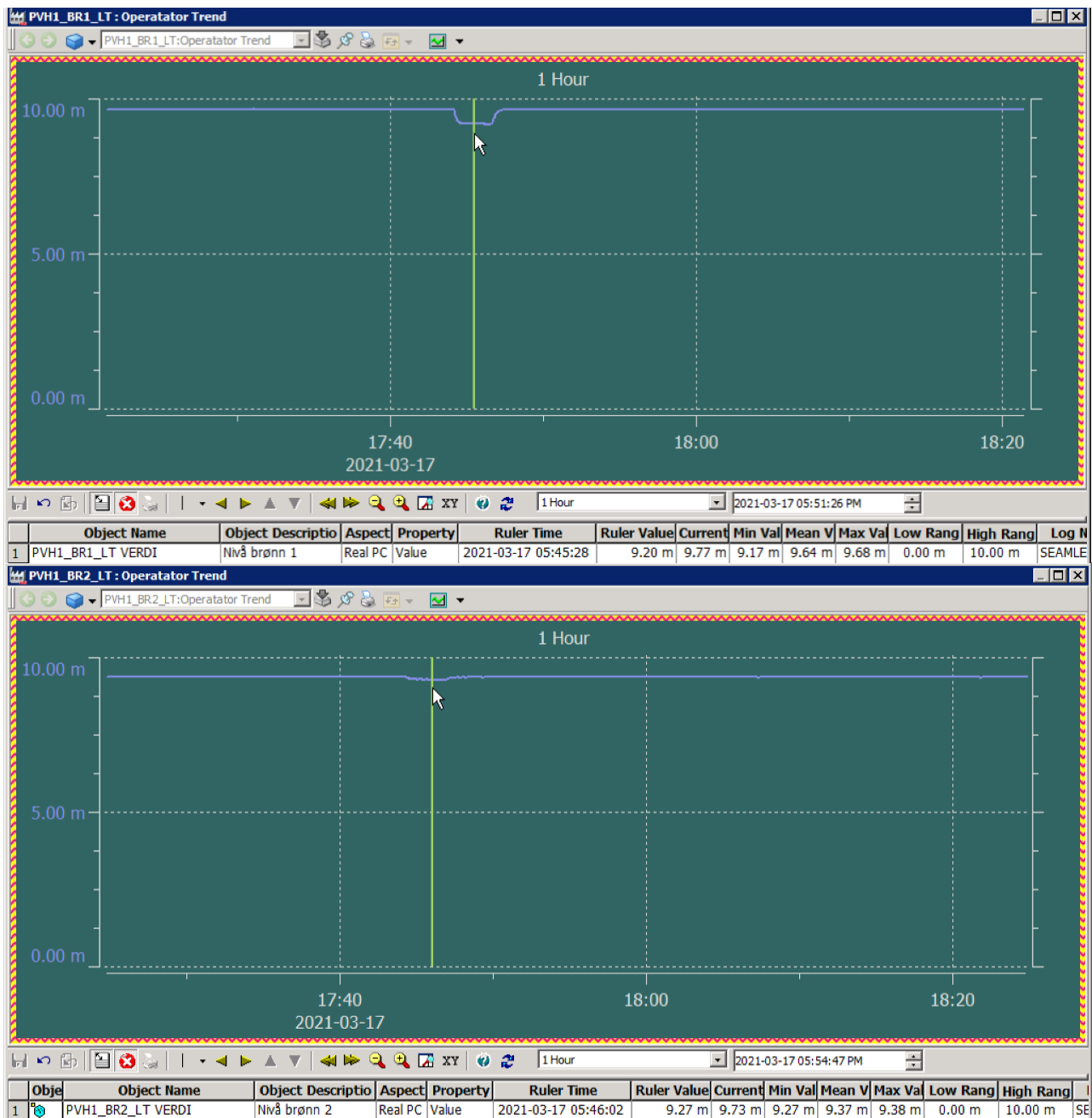
#### 3.6.1 Frya vannverk

Frya vannverk er eid av Ringebu kommune. Det er et lite vannverk, som i 2008 forsynte 85 personenheter (Statens vegvesen Region øst, 2008). Ved befaring i anlegget mars 2021 ble det observert en akkumulert uttaksmengde det siste året på 40912 m<sup>3</sup>. Dette tilsvarer et gjennomsnittlig uttak på 1,3 l/s.

Per dags dato er ikke vannverket godkjent av Mattilsynet, dette grunnet forurensningsfaren fra miljøstasjonen på motsatt side av elva, og den generelle usikkerheten rundt arealbruken på Frya. Ringebu kommune og Mattilsynet er nå i en prosess med å få omgjort dette. Det har vært et strengt testregime for vannverket med utvidet prøvetakning og analyse over lengre tid, og

vannkvaliteten har vært god (personlig meddelelse på e-post med Marcel Petrus van der Velpen, VA-ingeniør i Ringebu kommune).

Vannverket har to brønner som begge er 22 meter dype og er installert med 35 m<sup>3</sup>/t pumper. Pumpene er den begrensende faktoren på uttakskapasiteten i disse brønnene, dette gir et samlet maksimalt uttak 19,4 l/s. Ved befaring av anlegget med driftsoperatør Arnt Strandlien, fikk undertegnede innsyn i senkningen i brønnene ved maksimalt uttak. Ved maksimalt uttak ga dette en senkning på 48 cm i uttaksbrønnen, og en senkning på 11 cm i nabobrønnen som er plassert 10 meter unna. Dette kan en se av å sammenligne «Ruler Value» og «Max Value» i figur 25. Den begrensede senkningen vitner om løsmasser med høy permeabilitet, og i dette tilfellet en spesifikk kapasitet på over 20 l/s/meter senkning. Senkningstrakta vil her ha en liten utbredelse, og uttaket vil dermed ikke påvirke den regionale grunnvannstrømmen i noen stor grad.



Figur 25: Trykklogger fra de to brønnene på Frya vannverk under maks uttak av brønn 1 (øverst). Trykkloggeren er montert på topp av pumpe så y-aksen angir høyden på vannsøyla over pumpe.

### 3.6.2 Tine Frya

Tine sitt meieri på Frya har et større grunnvannsanlegg som inngår i deres produksjon. Undertegnede har fått et innblikk i anlegget etter personlig meddelelse fra Rolf Kvitrud, prosjektleder hos Tine Frya. Til sammen har Tine Frya fire brønner som er opp til 36 m dype og



er installert med 60 m<sup>3</sup>/t pumper. Dette gir et samlet maksimalt uttak på 66,7 l/s. Anlegget har uttak av vann kun 6 dager i uka og en større produksjon på sommerhalvåret.

Vannanalyser fra brønnene viser at vannkvaliteten er god (personlig innblikk i analyser). Nøytral pH, ledningsevne på 50 µS/cm og en UV-transmisjonsverdi på 99%, som vil si lav turbiditet og fargetall. Prøvene kunne ikke indikere hverken innhold av jern, ammonium eller noen form for bakterieinnhold.

### **3.6.3 Gårdsbruk Sør-Fron**

Et gårdsbruk har en privat brønn på Sør-Fron sin side av Frya (se figur 24). Brønnen benyttes til vanning av åker, og er 12 meter dyp. Gårdsbruket har også en eldre brønn som før gjorde det selvforsynt med vann, men de er nå koblet på det kommunale vann- og avløpsnettet. Under feltarbeidet ble vannstanden målt i den gamle brønnen.

### **3.6.4 Frya renseanlegg**

Frya renseanlegg fikk i juli 2020 boret en grunnvannsbrønn for uttak av vann som skulle benyttes i en renseprosess (personlig meddelelse, Henning Beitdøkken, Gudbrandsdal Brønnboring A.S). Denne brønnen er enda ikke satt i drift, men kommer til å bli det i løpet av 2021 (personlig meddelelse, Åge Øverjordet). Brønnen er 21 meter dyp og installert med filter de tre nedre meterne, med slissedimensjon på 1 mm. Plassering vises i figur 24.

### **3.6.5 Pipelife Norge AS**

Pipelife Norge AS fikk også boret en grunnvannsbrønn av Gudbrandsdal Brønnboring A.S i februar 2020 (se plassering figur 24). Denne brønnen er boret 21 meter under bakkenivå, med filter plassert mellom 18-21 meter og slisser på 1mm. Ved prøvepumping av denne brønnen på 7,5 l/s ga dette en senkning på 35 cm. I februar 2020 var vannspeilet ved denne brønnen på 6,95 meter (personlig meddelelse, Henning Beitdøkken, Gudbrandsdal Brønnboring A.S).

### **3.6.3 Midt-Gudbrandsdals Renovasjonsanlegg**

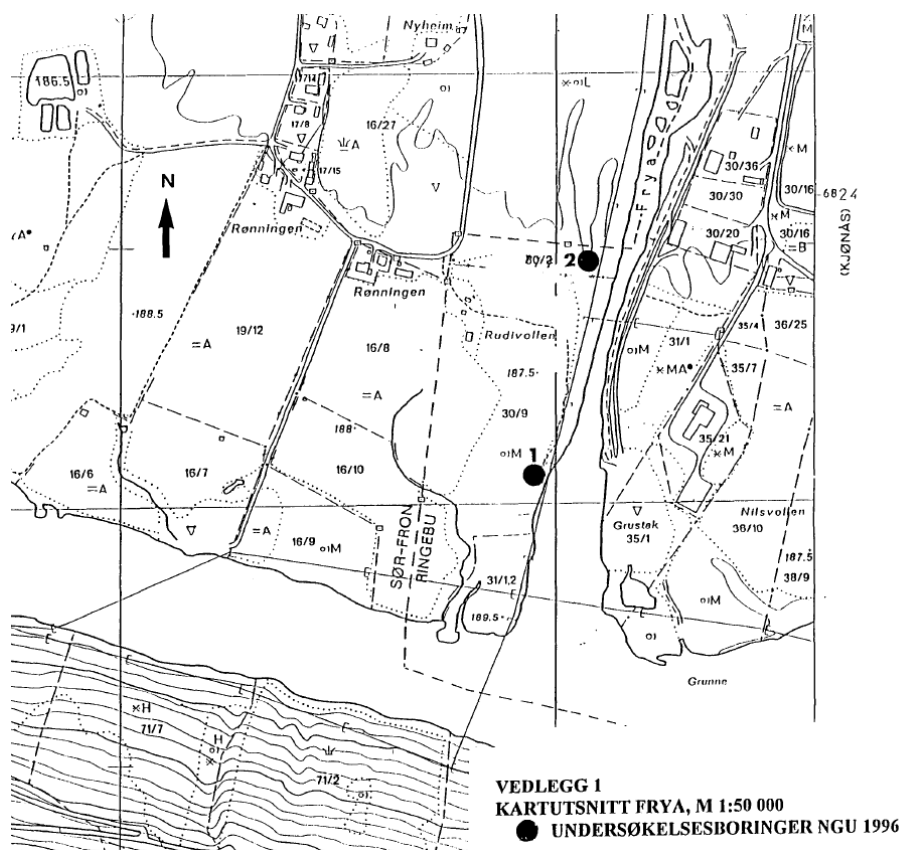
Midt-Gudbrandsdals Renovasjonsanlegg (MGR) benytter et grunnvarmeanlegg til sitt kontorbygg, som er et åpent system med to brønner (personlig meddelelse, Roger Skansgård, MGR). Anlegget består av en infiltrasjonsbrønn og en uttaksbrønn, og posisjon vises i figur 24. På selve miljøstasjonen er det også tre peilebrønner, og grunnvannsstanden ble målt i disse under feltarbeidet.

### 3.7 Tidligere hydrogeologiske undersøkelser og andre rapporter

I dette kapittelet presenteres ulike hydrogeologiske undersøkelser som tidligere er blitt utført i og rundt studieområdet for masteroppgaven.

#### 3.7.1 NGU 1997 - Frya

I 1996 og 1997 utredet NGU med Tiedemann Klemetsrud muligheter for et nytt vannverk som kunne erstatte dagens vannverk på Frya, på grunn av mulig forurensningsfare fra avfallsdeponiet. Totalt ble det utført to sonderboringer og satt to undersøkelsesbrønner. Resultater og plassering fra undersøkelsene presenteres i tabellene og figuren under.



Figur 26: Lokalisering av undersøkelsesbrønner, på vestsiden av Frya der den munner ut i Gudbrandsdalslågen. Hentet fra Klemetsrud, 1997.



Tabell 4: Resultater fra Klemetsrud, 1997, sine undersøkelser på Frya.

	<b>Borehull 1</b>	<b>Borehull 2</b>
<b>Sonderboringslogg</b>	0-10m: Stein, grus, sand 10-13m: Finsand 13-28m: Sand	0-12m: Sand, grus, stein 12-15m: Finsand 15-29m: Sand
<b>Prøvepumping (l/s)</b>	7-8 m: 0,83 17-18m: 1,67 19-20m: 1,67	5-6m: 0,75 12-13m: 0,16 17-18m: 1,67 22-23m: 1,67
<b>Temperatur (°C)</b>	7-8 m: 6,5 17-18m: 6,5 19-20m: 5,0	5-6m: 6,7 12-13m: 10 17-18m: 6,5 22-23m: 3,8

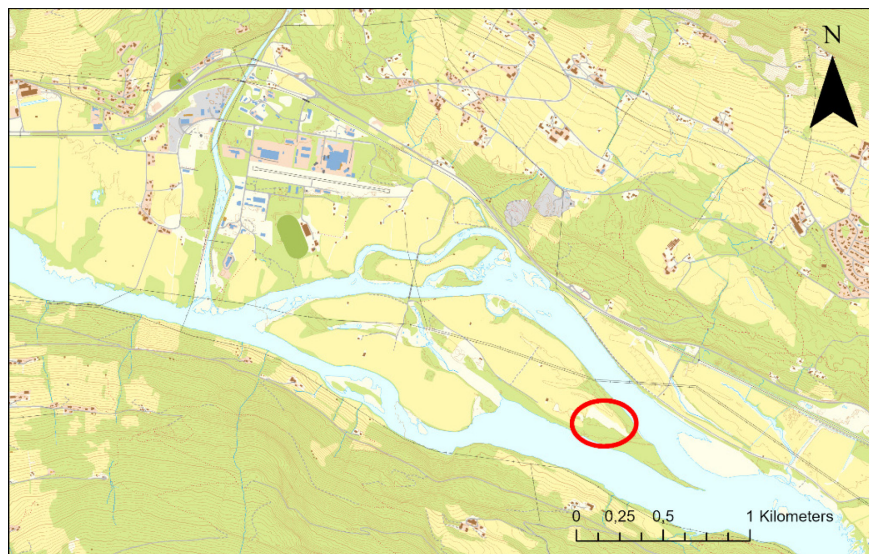
Selv om testpumpingen ikke viser store vannmengder skyldes det pumpen sin sugehøyde, og ikke løsmassenes vanngiverevne. De relative forskjellene mellom dybdene viser dog at det er mot dypet den hydrauliske konduktiviteten til løsmassene er størst. Det øverste grove laget med dårlig sortering har en middels vanngiverevne og finsandlaget har en ganske lav vanngiverevne. Temperaturmålingene i brønn 2 viser svært varierende resultater. I og med finsandlaget nærmest ikke ga vann, skyldes nok den høye temperaturen målt i dette laget temperaturforurensing fra pumpa. I det dypeste sjiktet (22-23m) hvor temperaturen ble målt til 3,8 grader, finner en grunnvann med lengst oppholdstid. Dette kan en se da den temperaturen er nærmest årsmiddeltemperaturen i Ringebru-regionen, som er på 3,6 grader (se kap 3.2.4).

Vannprøvene tatt i 1996 finnes i Klemetsrud sin rapport. Kort oppsummert er vannanalysene muligens litt misvisende, da de viser et høyt innhold av jern, mangan og aluminium samtidig som fargetallet og turbiditeten i prøvene er høy. Dette tyder på at prøvene ikke er blitt filtrert i felt og/eller at det har vært for kort pumpetid før prøvetakning. Innholdet kan derfor skyldes et partikulært innhold av jern, mangan og aluminium, slik at prøvene ikke gjenspeiler den faktiske grunnvannskvaliteten i stor grad.

I 1997 anbefalte Klemetsrud oppstart av prøvepumping i borepunkt 2, med et dimensjonert grunnvannsutttak på 25 l/s og filter i brønnen fra 15-30 meter. Dette på grunn av eiendomsforhold og at det punktet er mindre flomutsatt.

### 3.7.2 Miljøgeologi AS 2005 – Risøya

I forbindelse med en mulig utvidelse av E6 og driftsproblemer på Ringerike vannverk ble det i 2005 utredet muligheter for en reservevannkilde på Risøya, som er lokalisert mellom Frya og Ringebru. Figuren nedenfor viser området hvor det ble utført boringer.

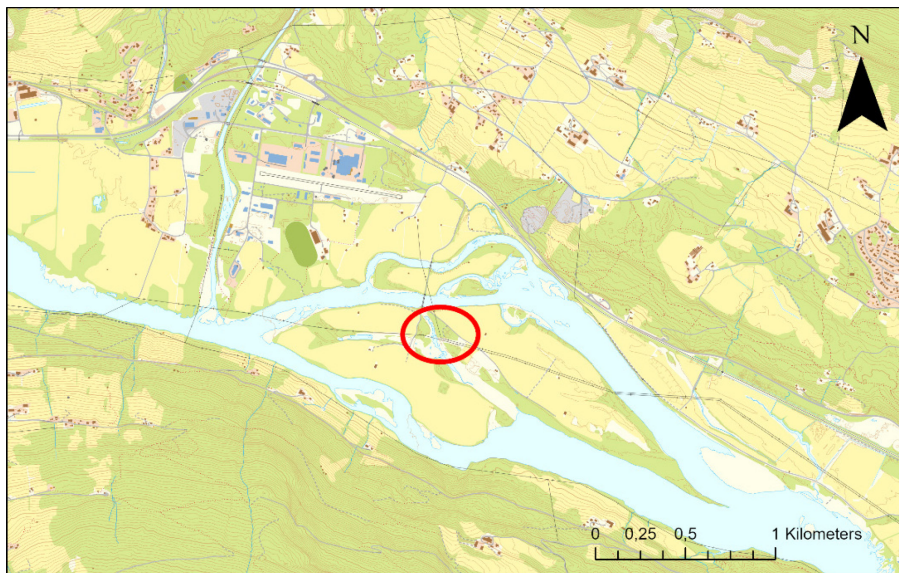


Figur 27: Rødt område markerer Miljøgeologi AS sitt undersøkelsesområde på Risøya.

Det ble satt tre sandspisser ned til 25 meter i disse undersøkelsene. Topplaget besto av finere løsmasser, mest antakelig en flomavsetning, over sand og grus som går over til siltig finsand ved 20-21 meter (Eckholdt og Wahl, 2005). Eckholdt og Wahl karakteriserte løsmassene til å ha gode vannførende egenskaper ned til finsandlaget. Grunnvannet hadde en snittemperatur rundt 5,5 °C og en ledningsevne fra 150-230  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Rapporten konkluderte med å fortsette utredningene med to testbrønner med filter fra 10-16 meter.

### 3.7.3 Norconsult 2010 – Risøya

I 2009 og 2010 utførte Norconsult hydrogeologiske undersøkelser på Risøya. Det ble etablert og testpumpet to pilotbrønner med tanke på å kunne øke vannforsyningen til Frya industriområde og andre områder i kommunen hvis behov (Allen, 2010). Området for disse boringene er lengre nord på Risøya sammenlignet med området Miljøgeologi undersøkte, se rød ring i figuren under.



*Figur 28: Undersøkelsesområde på Risøya benyttet av Norconsult.*

I Joseph Allen sine undersøkelser ble det sondert i 6 punkter med borerigg samt satt sandpiss og tatt løsmasseprøver mot dypet. Resultatene indikerte til dels usortert grov sand og grus ned til 20 meter, hvor det der gikk over til finere løsmasser.

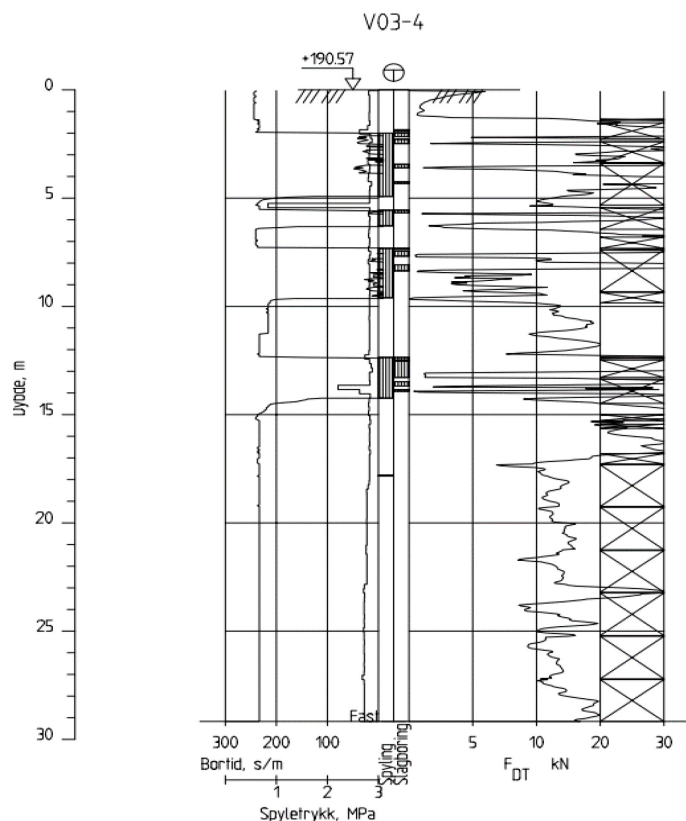
På grunn av vannkvalitetsprøver som viste et høyt innhold av jern og mangan mot dypet, ble testbrønnene satt med filter fra 8-11 meter under terreng for å unngå disse konsentrasjonene. Generelt viste vannprøvene fra prøvepumpingen en svakt basisk pH, bløte egenskaper, høye kimtall og lave jern-/mangan-verdier. Temperaturmålingene fra prøvepumpingen viser en stor variasjon gjennom året, som indikerer at grunnvannet har kort oppholdstid og at løsmasseavsetningen på Risøya har god hydraulisk kontakt med Gudbrandsdalslågen. Den spesifikke kapasiteten til hver av testbrønnene ble satt til henholdsvis 6,6 l/s pr meter senkning og 12,2 l/s pr meter senkning, og den anbefalte brønncapasiteten til hver brønn ble satt til 12 l/s.

Utfordringen med grunnvannsanlegg på Risøya var sårbarheten for flom, da Risøya utsettes for flom nesten årlig ved kraftige snøsmelteperioder eller perioder med mye regn om sensommeren/høsten. Det ble dermed anbefalt å bygge opp med lav-permeable løsmasser rundt brønnene opp til nivå på 200-årsflommen. Flomepisoder som dette kan gi grunnvannet enda kortere oppholdstid og være en utfordring for vannkvaliteten, spesielt bakteriologisk. Det var foreslått å bruke UV-desinfeksjon som standard, anvendelse av klor ved behov, samt en pH-justering ved f.eks. alkalisering (Allen, 2010).

### 3.7.4 Geovita 2010 – Grunnundersøkelser knyttet til kulvert ved E6 Frya

I 2010 ble det utført fire totalsonderinger nordvest langs E6 i studieområdet av Statens vegvesen Region øst, hvor Geovita rapporterte grunnundersøkelsene (Geovita, 2010).

Sonderingene gikk fra 21-29 meters dyp, og det ble ikke truffet på fjell i noen av undersøkelsene. De øverste 12-15 meterne ble det rapportert om grovere løsmasser av grusig sand/ sandig grus og under dette sand (Geovita, 2010). Nedenfor vises sonderloggen for en av totalsonderingene. Mellom 10-12,3 meter i denne sonderingen ble det antatt av borer et løst sandlag (Geovita, 2010). Som en ser er det stor variasjon i bormotstanden fra 0-10 meter og det er benyttet mye slag som indikerer grove masser med variasjon i kornstørrelse av sand, grus og stein. Mellom 10-12 meter synker bormotstanden og det er ikke blitt benyttet slag. Under er det blitt benyttet slag igjen, og har en liten variasjon i bormotstand som indikerer sand med lag av grus og grusig sand. En kan se den samme overgangen mellom 10-15 meter i de tre andre totalsonderingene som også ble utført. Dette løst lagrete laget kan tenkes å være det samme laget med finsand fra Klemetsrud, 1997, sine undersøkelser.



Figur 29: Totalsonderingslogg fra E6 Frya (Geovita, 2010).

## 4 METODE

Følgende kapittel beskriver prosessen med å innhente, behandle og presentere data i masteroppgaven. Hvor en har hentet informasjon fra, hvordan feltarbeidet har blitt utført, hvilke opptaksparametere som er blitt benyttet, hvordan bølgehastighetsberegninger ble gjort, hvilke prosesseringstrinn som er benyttet og valgt metode for visualisering og modellering vil bli redegjort for.

### 4.1 Forhåndskartlegging

Innhenting av relevant informasjon om studiestedet har utgjort en stor del av oppgaven. Dette ble i all hovedsak gjort før feltarbeidet og i den innledende fasen av oppgaveskrivingen, men noe av informasjonen har blitt innhentet i ettertid. Tabell 5 oppsummerer type data, kilder og lenker som er blitt benyttet. Mye av informasjonen hentet herifra er allerede blitt beskrevet i kapittel 3.

*Tabell 5: Type data innhentet med tilhørende kilder og lenker.*

<b>Tema</b>	<b>Type data innhentet</b>	<b>Kilder og lenker</b>
<b>Tidligere rapporter</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Hydrogeologiske rapporter</li><li>- Andre konsulentrapporter.</li><li>- Borelogger</li><li>- Vannanalyse</li><li>- Informasjon om grunnvannsanlegg og arealbruk</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- GRANADA – nasjonal grunnvannsdatabase (<a href="http://geo.ngu.no/kart/granada_mobil/">http://geo.ngu.no/kart/granada_mobil/</a>)</li><li>- NGU Publikasjoner (<a href="https://www.ngu.no/side/publikasjoner">https://www.ngu.no/side/publikasjoner</a>)</li><li>- NADAG – Nasjonal database for grunnundersøkelser (<a href="http://geo.ngu.no/kart/nadag/">http://geo.ngu.no/kart/nadag/</a>)</li><li>- Personlig kontakt med VA-avdeling Ringeby og Sør-Fron kommune, Gudbrandsdals Brønnboring AS, Norconsult, Statens vegvesen, Midt-Gudbrandsdals Renovasjonsanlegg, Tine Frya, Frya renseanlegg</li></ul>
<b>Nedbør og klima</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Månedlige klimanormaler for nedbør og temperatur</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Epost-korrespondanse med meteorologisk institutt</li></ul>

<b>Hydrologi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hydrologiske data tilknyttet Gudbrandsdalslågen og Frya sitt nedbørsfelt</li> <li>- Vannstand i Gudbrandsdalslågen ved stasjonen Eide</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- NEVINA, Nedbørfelt-Vannføring-Indeks-Aanalyse fra NVE (<a href="http://nevina.nve.no/">http://nevina.nve.no/</a>)</li> <li>- Sildre, NVE-tjeneste som leverer historiske vannstands-, vannførings- og vanntemperaturmålinger (<a href="https://sildre.nve.no/">https://sildre.nve.no/</a>)</li> </ul>
<b>Geologi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oversikt over berggrunnsgeologi</li> <li>- Oversikt over kvartærgeolog</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Berggrunn, nasjonal berggrunnsdatabase (<a href="http://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/">http://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/</a>)</li> <li>- Løsmasser, nasjonal løsmassedatabase (<a href="http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/">http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/</a>)</li> <li>- API og WMS-tjenester levert av NGU (<a href="https://www.ngu.no/emne/api-og-wms-tjenester">https://www.ngu.no/emne/api-og-wms-tjenester</a>)</li> </ul>
<b>Forurensing</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oversikt over forurenset grunn i studieområdet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grunnforurensing, fra Miljødirektoratet (<a href="https://grunnforurensning.miljodirektoratet.no/">https://grunnforurensning.miljodirektoratet.no/</a>)</li> </ul>
<b>Kart, flyfoto og høydedata</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oversikt over arealbruk og geografi</li> <li>- Oversikt over topografi</li> <li>- Endring i arealbruk over tid</li> <li>- Detaljerte høydedata</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Topografisk norgeskart 4 (<a href="https://norgeskart.no/">https://norgeskart.no/</a> og <a href="http://openwms.statkart.no/skwms1/wms.topo4?">http://openwms.statkart.no/skwms1/wms.topo4?</a>)</li> <li>- Norge i bilder (<a href="https://www.norgebilder.no/">https://www.norgebilder.no/</a>)</li> <li>- NDH Ringebu – Fron – Gausdal 5pkt 2017. Nasjonal detaljert høydemodell levert av kartverket (<a href="https://hoydedata.no/">https://hoydedata.no/</a>)</li> </ul>

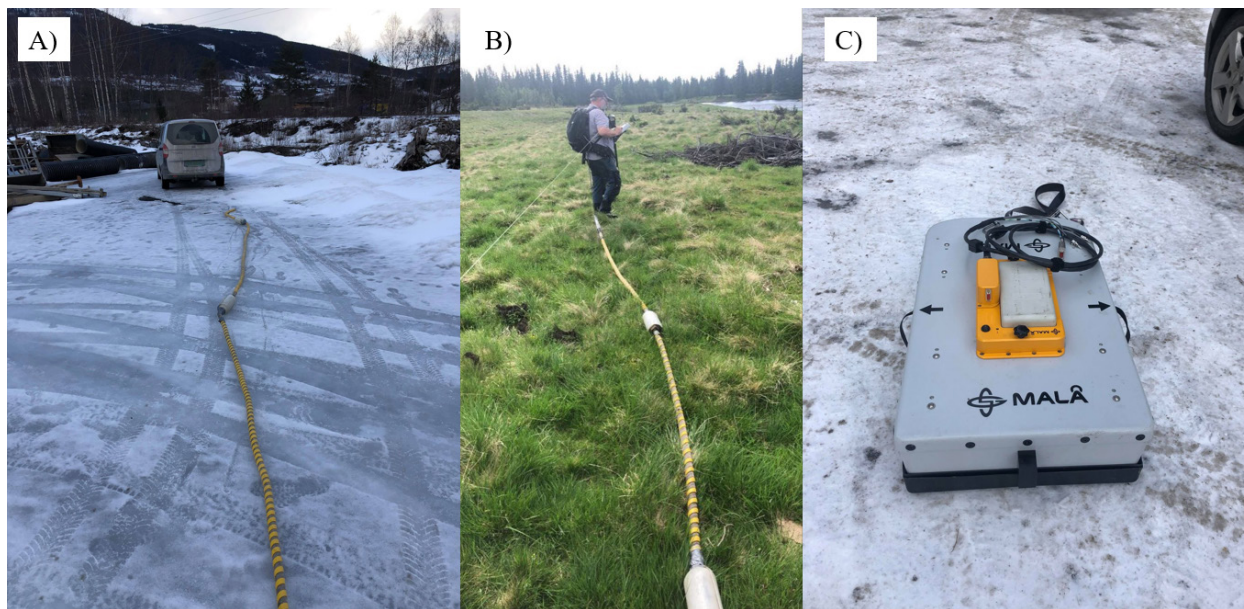


## 4.2 Feltarbeid

Feltarbeidet ble gjennomført i perioden 15.-19. mars 2021, og omfatter i all hovedsak befaringer, kartlegging med georadar og måling av vannstand i tilgjengelige brønner rundt om på studieområdet.

### 4.2.1 Georadarkartlegging

Under feltarbeidet ble tre forskjellige antenner knyttet til MALÅ ProEx systemet benyttet. Disse antenne vises i figuren under, og er av typen *MALÅ ProEx 50 MHz rough terrain antenna*, *MALÅ ProEx 100 MHz rough terrain antenna* og *MALÅ ProEx 250 MHz shielded antenna*. 50 MHz-antennen og 100 MHz-antennen ser ganske like ut, den store forskjellen er lengden, hvor 50 MHz er 9,25 meter lang og 100 MHz 6,56 meter lang. 250 MHz antennen har andre egenskaper, og det at den er shielded betyr at den senterer radarbølgene til å gå ned i bakken og ikke ut i lufta, som er effektivt spesielt for høy-frekvente antenner (Reynolds, 2011).



*Figur 30: De forskjellige antennene benyttet under feltkartleggingene, bildene er tatt selv. A) 50 MHz RTA antenne B) 100 MHz RTA antenne C) 250 MHz shielded antenne.*

De forskjellige antennene har ulike egenskaper, disse ble diskutert under teorikapitlet.

Antennenes senterfrekvens styrer oppløsningen og penetrasjonen man får med radarbølger. Dette gjør 50 MHz best egnet til å se dype refleksjoner og 250 MHz best egnet til å se små strukturer/objekter og grunne refleksjoner. 100 MHz blir et kompromiss mellom begge, og kan

både se dypt nok og har en tilfredsstillende nok oppløsning til å plukke ut hendelser fra riktig dyp. For å utnytte de forskjellige antennene sitt potensial vil forskjellige opptaksparametere benyttes. Disse vises i tabell nedenfor.

*Tabell 6: Opptaksparametere benyttet på de forskjellige georadarantennene.*

	<b>50 MHz RTA</b>	<b>100 MHz RTA</b>	<b>250 MHz shielded</b>
<b>Tidsvindu</b>	922,2 ns	647,8 ns	261,4 ns
<b>Samplingsfrekvens</b>	609,43 MHz	1509,73 MHz	2547,68 MHz
<b>Stacks</b>	16	16	16
<b>Traseavstand</b>	0,125 m	0,125 m	0,1 m

Det viktigste ved bestemmelse av opptaksparametere er å ha en høy nok samplingsfrekvens for å unngå foldingsfeil og for å få så høy oppløsning som mulig, samt ha et langt nok tidsvindu for å kunne registrere hendelser fra ønsket dybde. De valgte samplingsfrekvensene er langt mer enn dobbelt så stor som antennene sin senterfrekvens, foldingsfeil vil dermed ikke være et problem ifølge teorien om Nyquistfrekvensen. Med valgte tidsvindu vil man kunne plukke opp refleksjoner fra 46,1 meter med 50 MHz, 32,4 meter med 100 Mhz og 13,1 meter med 250 MHz ved valgt bølgehastighet på 0,1 m/ns. Dybderekkevidden vil naturligvis avhenge av det geologiske mediet sine elektriske egenskaper og den faktiske bølgehastigheten.

«Hip Chain» (trådsnelle) ble benyttet for å trigge målinger med georadar. Tråden festes til et fastpunkt og snella er festet til utstyret, lengden på profilene blir målt ut fra hvor mye tråd som blir dratt ut av snella. Traseavstanden ble satt til 0,125 meter for 50 og 100 MHz-antennene og 0,1 meter for 250 MHz-antennen. Profilene ble samtidig målt inn i UTM 32 koordinater ved å benytte veipunkter på en *Garmin GPSMAP 66s*-enhet.

I og med alle antennene er fastmonterte og kun måler i «common offset» vil CMP-målinger ikke kunne benyttes for å gi lagvise hastighetsestimater i profilene. Georadarprofilene må derfor knyttes opp mot boringslogger og brønnmålinger. En må også tilpasse hyperboler i profilene der det er gode diffraksjoner, for å kunne knytte hendelser i tid til riktig dybde. Dette gjøres etter feltarbeidet i programvaren ReflexW 2D- data analysis.



## 4.2.2 Måling av grunnvannstand

Alle brønnene ble målt inn i UTM 32-koordinater med *Garmin GPSMAP 66s*-enheten. Vannstanden ble målt ved å benytte både målesnelle og ekkolodd, og det ble ved enhver måling trukket fra høyden av brønnrøret over bakken slik at grunnvannsstanden står i meter under terreng og ikke meter under brønntopp. Målesnellen er levert av Geonor og er av merke SEBA Hydrometrie. Ekkoloddet kommer fra Eno Scientific, og er av modell Well Sounder 2010 PRO. De nøyaktige meterne over havet brønnene er lokalisert på, for å finne det hydrauliske potensialet til grunnvannet, ble gjort i ettertid av feltarbeidet ved å benytte en detaljert høydemodell.

## 4.3 Databehandling og fremlegging av resultat

Flere programvarer for å fremstille og behandle dataene fra feltarbeidet i denne masteroppgaven. Disse programvarene er ArcGis Pro, ArcMap 10.8, MATLAB R2020b, ReflexW 2D-data analysis, RAMAC Groundvision og Microsoft Excel.

### 4.3.1 Kartbehandling

I innledende fase av arbeidet ble ArcMap 10.8 brukt, ettersom dette er programvare undertegnede hadde kjennskap til fra tidligere. Etter kort tid gikk man over til å benytte ArcGis Pro, da dette var en langt mer brukervennlig og pålitelig programvare.

Koordinatsystemet WGS 1984 UTM 32 er benyttet, og topografisk norgeskart 4 har i all hovedsak blitt brukt som kartunderlag. Fra høydedata.no ble 5-pktsmodellen fra prosjektet NDH Ringebu-Fron-Gausdal 2017 (under prosjektet nasjonal detaljert høydemodell) lastet ned som en TIF-fil og brukt som terrengoverflate i ArcGis Pro. TIF-filen er punktdata som leveres som et 0,25\*0,25m grid med meter over havet helt ned til 7 desimalers nøyaktighet. Selv om dataene leveres med 7 desimalers nøyaktighet, er det i prosjektrapporten til høydemodellen skrevet at det var opp til 0,029 meter i standardavvik i målingene når de ble sammenlignet opp mot kontrollpunkt i prosjektet (Terratec, 2018). Dette anses likevel som en mer enn god nok nøyaktighet, og er det beste alternativet tilgjengelig.

Alle georadarprofiler og brønner som ble målt inn med GPS ble dermed lagt inn i ArcGis Pro og ble tilegnet Z-koordinaten fra den detaljerte høydemodellen.

### 4.3.2 Prosessering og tolkning av georadardata

Filtrering og prosessering ble gjennomført i programvaren ReflexW 2D-data analysis. Det ble eksperimentert og benyttet forskjellige verktøy på profilene, spesielt når det gjaldt forsterkningen. En gjenganger av filtreringsverktøy som ble benyttet var:

- Correct max phase
- Move start time
- Forsterkningsfunksjoner (F.eks. energy decay, gain function, manual gain, multiplication)
- Subtract mean (dewow) (1D-filter)
- Bandpass frequency (1D-filter)
- Running average (2D-filter)
- Background removal (2D-filter)
- Deconvolution
- Fk-migration
- Correct for 3D- topography

«Correct max phase» og «move start time» ble benyttet for å flytte starten av profilet til når første positive hendelse ankommer mottakerantennen. De forskjellige forsterkningsfunksjonene ble brukt for å få frem hendelser fra større dyp mer tydelig. Energy decay er en funksjon som tar hensyn til et eksponentielt tap av energi til radarbølgene. Gain function kan tilpasses selv, om man vil ha den lineær og/eller eksponentiell. I manual gain kan man tilpasse formen på funksjonen helt selv og multiplication forsterker like sterkt nedover hele trasen. Subtract mean (Dewow) ble benyttet for å fjerne lavfrekvent støy og bandpass frequency for å fjerne både lavfrekvent og høyfrekvent støy. Avkuttingen i bandpass frequency ble satt til omtrent båndbredden til antennen. Running average og Background removal ble begge benyttet for å fjerne systematisk støy i profilene. Deconvolution ble av og til benyttet, dette for å komprimere refleksjonen og dempe multipler og etterdønninger fra kraftige refleksjoner. Fk-migration ble benyttet for å fjerne geometriske effekter og flytte hendelser til riktig plass i radargrammet, og Correct for 3D-topography for å justere topografien langs profilet.

Nedenfor vises to forskjellige prosesseringssekvenser fra programvaren reflexw 2D-data analysis som ble benyttet til 100 MHz-antennen under tolkningen av georadarprofilene.

```

Prosesseringssekvens 1:
correct max. phase / 25 / 40 / 33,59896 / 0 / / 1 / 1 / 0 / 0
gain function / 0 / 1 / 0 / 10000 / / 1 / 1 / 1 / 3584
subtract-mean(dewow) / 10 / 0 / 0 / 0 / / 1 / 1 / 1 / 3584
running average / 0 / -33,54868 / 644,0544 / 0 / / 1 / 1 / 1 / 3584
bandpassfrequency / 0 / 45 / 180 / 0 / / 2 / 3 / 1 / 3584
correct 3Dtopography / 0 / 0 / 190,89 / 0,09 / / 0 / 0 / 0 / 0

```

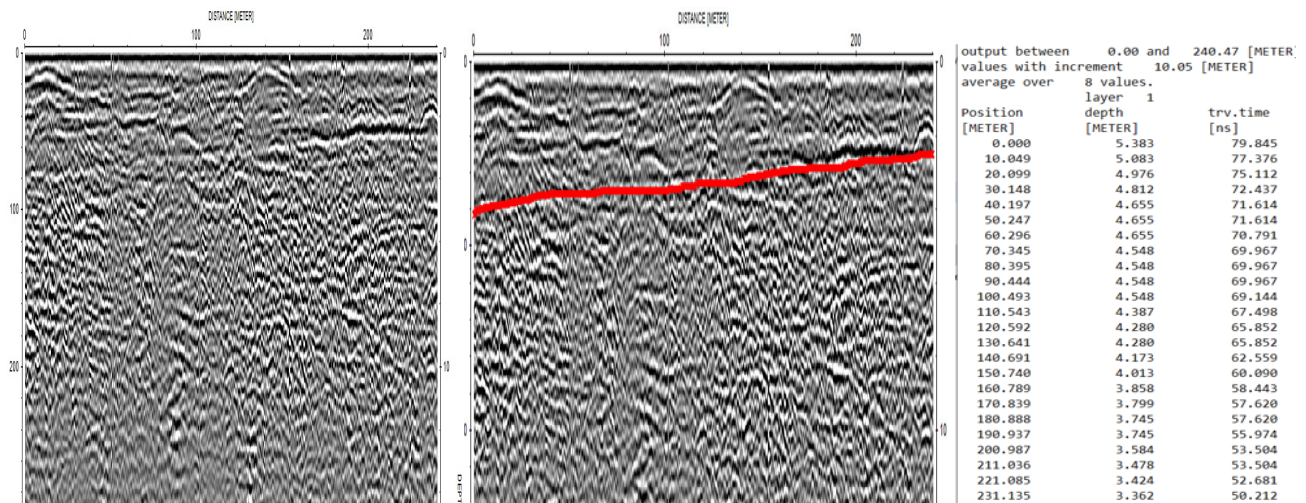
```

Prosesseringssekvens 2:
correct max. phase / 20 / 40 / 35,11201 / 0 / / 1 / 1 / 0 / 0
move starttime / -33,54868 / 0 / 0 / 0 / / 0 / 1 / 0 / 0
energy decay / 0,6 / 0 / 0 / 0 / / 1 / 1 / 1 / 5114
subtract-mean(dewow) / 12,5 / 0 / 0 / 0 / / 1 / 1 / 1 / 5114
bandpassfrequency / 0 / 50 / 180 / 0 / / 2 / 3 / 1 / 5114
deconvolution / 0 / 100 / 20 / 10 / / 2 / 3 / 1 / 5114
multiplication / 2 / 0 / 0 / 632,562 / / 2 / 3 / 1 / 5114
bandpassfrequency / 20 / 60 / 170 / 190 / / 0 / 3 / 1 / 5114
correct 3Dtopography / 0 / 0 / 190,89 / 0,09 / / 0 / 0 / 0 / 0

```

Så fremt løsmassene har et lavt kapillærsug vil det være en tydelig overgang i vannmetning til grunnvannsspeilet. Fra null vannmetning til full vannmetning blir det da en høy hastighetskontrast som avgir en sterk refleksjon. Ved å benytte lav kontrast og/eller forsterkning i prosesseringen vil en dermed fremheve grunnvannsrefleksjonen framfor andre svakere refleksjoner. I profiler der grunnvannsspeilet var høyt ble det benyttet forsterkningsfunksjoner som forsterket mer i dybden, slik at refleksjonskonfigurasjonene fra løsmassene også kom tydelig frem. I profiler med lavt grunnvannsspeil ble det brukt en svakere forsterkningsfunksjon slik at det mottatte signal ikke ble overmettet og det ble lettere å sammenligne amplitudene på refleksjonene i profilet.

I ReflexW 2D-dataanalyse kan en benytte «pick»- og «layer»-verktøyene til å markere og eksportere hendelser som en ASCII-fil. Dette er en kolonnedelt tekstfil med posisjon i meter langs profilet hendelser er fra, dybden hendelser kommer fra og gangtiden til hendelsen. Nedenfor vises et eksempel på hvordan et profil ble markert og filen som ble eksportert. En verdi per tiende meter langs profilene ble eksportert, der gjennomsnittsverdien 1 meter rundt punktet ble benyttet.



Figur 31: Fremgangsmåten for å eksportere data. Viser et georadarprofil til venstre, med markering i midten og eksportert data til høyre.

Flere profiler ble gått på kryss av hverandre, slik at hendelsene kunne plukkes ut i flere profiler samtidig så en var sikker på at man fulgte samme refleksjon i overlappende profiler. Refleksjonene ble plukket ut i gangtid først, og dybden ble korrelert i ettertid ved å gjøre hastighetsestimater.

Hastighetsestimater ble utført ved å enten knytte refleksjonene mot kjente dybder fra f.eks. målinger i brønner, sonderingslogger eller ved hjelp av hyperboltilpasninger i programvaren ReflexW 2D-data analysis. Ved å plukke ut refleksjoner fra en kjent dybde, er den eneste ukjente parameteren bølgehastigheten. Bølgehastigheten blir da lik to ganger dybden delt på gangtiden til bølgen (se likning 8). Hyperboltilpasningene kan kun utføres i profiler som viser tydelige diffraksjoner, som f.eks. fra større stein, blokker og VA-rør i bakken. Fordelen med de tilpasningene er at man kan få hastighetsestimater i profiler som ikke direkte kan knyttes mot noen kjente dybder.

### 4.3.3 Modellering og visualisering.

De eksporterte ASCII-filene fra georadarprofilene kunne deretter georefereres langs profilene i ArcGis Pro, slik at de fikk den nøyaktige z-koordinaten fra høydemodellen. Etter at hastighetskalibrering var utført og refleksjonene ble konvertert fra gangtid til en dybde, ble dybden trukket fra z-koordinaten for å få det hydrauliske potensialet til grunnvannet.

Vedlegg B viser Matlab-scriptet som ble benyttet for å visualisere og modellere grunnvannsnivået. Det leser inn verdier fra en Excel-fil og lager en overflatemodell basert på

spredde datapunkter ved hjelp av Delaunay-triangulering, som gir en lineær interpolering mellom punktene. Resultatet fra modellen er et fargekart, og dette kan georefereres inn i ArcGis Pro slik at en får plassert modellen på kartet. Fordelen med denne modellen er at den viser frem trender godt, og små feil og unøyaktigheter i metoden ikke kommer like tydelig frem.

Det ble også laget et kotekart i ArcGis Pro ved å benytte diverse krige- og rasterfunksjoner basert på punktene fra brønnmålingene og georadarprofilene. Derav Empirical Bayesian Kriging, ordinær kriging, universell kriging og Topo to raster fra 3D-analyst var verktøy som ble benyttet. Alle metodene ga tilnærmet like resultater, men det var «Topo to raster» fra 3D-analyst som ga den mest jevne høydemodellen når en skulle lage koter basert på raster-filen. For å lage et regionalt ekvipotensialkart ble det gjort noen modifiseringer. Rasterfilene ble fort kaotiske ved å bruke en verdi per tiende meter som ble gått med georadar, og det ble heller plukket ut 1-2 punkter per profil man følte seg sikre på for å lage ekvipotensialkartet.

#### **4.3.4 Tolkning av løsmassesammensetning**

Løsmassesammensetningen vil først bli tolket i profil 4 som går forbi NGU sine undersøkelsesbrønner, hvor en har god kontroll på geologien mot dypet. En vil deretter plukke ut forskjellige refleksjonskonfigurasjoner til de forskjellige lagpakkene i profil 4, og prøve å knytte disse konfigurasjonene til andre profil rundt om på Frya.



## 5 RESULTATER

I følgende kapittel vil resultater og tolkninger fra feltarbeidet som ble utført fra 15.-19.mars presenteres. Figuren og tabellen under viser og oppsummerer georadarprofilene som ble utført.



Figur 32: Oversiktskart av georadarprofilene som ble utført på Frya i perioden 15.-19 mars.

<b>Profil</b>	<b>Beskrivelse</b>	<b>Lengde (m)</b>	<b>Type antenne (MHz)</b>
1	Vestover langs miljøstasjonen	120	100
2	Nordover langs Frya og miljøstasjonen	140	100
3	Sørover fra miljøstasjonen langs Frya	615	100
4	Fra NGU-boring til Lågen	430	100
5	Vestover langs Lågen	492	100
6	Helt vest på Frya, retning nordover	702	100
7	Østover langs Fryavegen og på oversiden av tømmerlager	385	100
8	Sørover langs Rudvollvegen	406	100
9	Østover gjennom gårdsbruk og til NGU-boring	420	100
10	Langs gårdsvei ned til Lågen	390	100
11	Sørover langs sprengsteindeponi ned til flystripa	264	100
12	Fra flystripa til sideelv Lågen	285	100
13	Langs sideelv Lågen	288	100
14	Fra Lågen til flystripa	542	100
15	Flystripa vestover	882	100
16	Flyplassvegen sørover	285	100
17	Flyplassvegen sørover (fortsettelse)	242	100
18	Forbi renseanlegget til Lågen	494	100
19	Fra renseanlegget til travbane	403	100
20	Jorde nedenfor travbane	182	100
21	Fra Lågen, forbi travbanen, til flystripa	607	100
22	Frya vannverk nordover	37	100
23	Frya vannverk østover	68	100
24	Mellom deponi og meieri, sørover	228	100
25	Nord for meieri, fra Fryavegen	80	100
26	Sørover på østlig del av Frya leir	158	100
27	Sørover på vestlig del av Frya leir	145	100

<b>28</b>	Østover langs Fryavegen	848	100
<b>29</b>	Rundt brønnområde Tine	70	100
<b>30</b>	Samme som P4 (kortere lengde på grunn av lengre antenner)	415	50
<b>31</b>	Deler av P5, langs jordene	199	50
<b>32</b>	Flystripe fram til Tine meieri	440	50
<b>33</b>	Samme som P4	430	100
<b>34</b>	Samme som P4	432	250
<b>35</b>	Flystripe fram til Tine meieri (lengre enn P32 på grunn av antennelengden)	447	250
Samlet lengde:		12571 m	

I all hovedsak ble 100 MHz-antennen brukt, dette på grunn av dens allsidighet/evne til å plukke opp både grunne og dypere refleksjoner. På så vis kunne man kartlegge både grunnvannsnivået og løsmassesammensetningen over hele Frya samtidig. På de røde profilene i kartet, P4 og P15, ble 50 MHz og 250 MHz antenne benyttet i tillegg. Dette for å se om de andre frekvensene kunne gi et bedre bilde eller mer informasjon av grunnen enn 100 MHz gjorde. P4 går langs NGU sine to undersøkelsesbrønner fra 1997 (Klemetsrud, 1997), som gjør at disse profilene kan tolkes opp mot de eksisterende sonderingsloggene. P15 går langs flystripa, og er gått normalt på retningen P4 er gått. Det samme gjelder profil 31 (blått profil i kartet), og dette er for å undersøke om det er noen forskjell i avsetningsretningen mot dypet.



## 5.1 Målinger av grunnvannsnivå

Nedenfor vises tabell over grunnvannsnivåmålingene som ble utført i tilgjengelige grunnvannsuttak og peilebrønner rundt studieområdet på Frya.

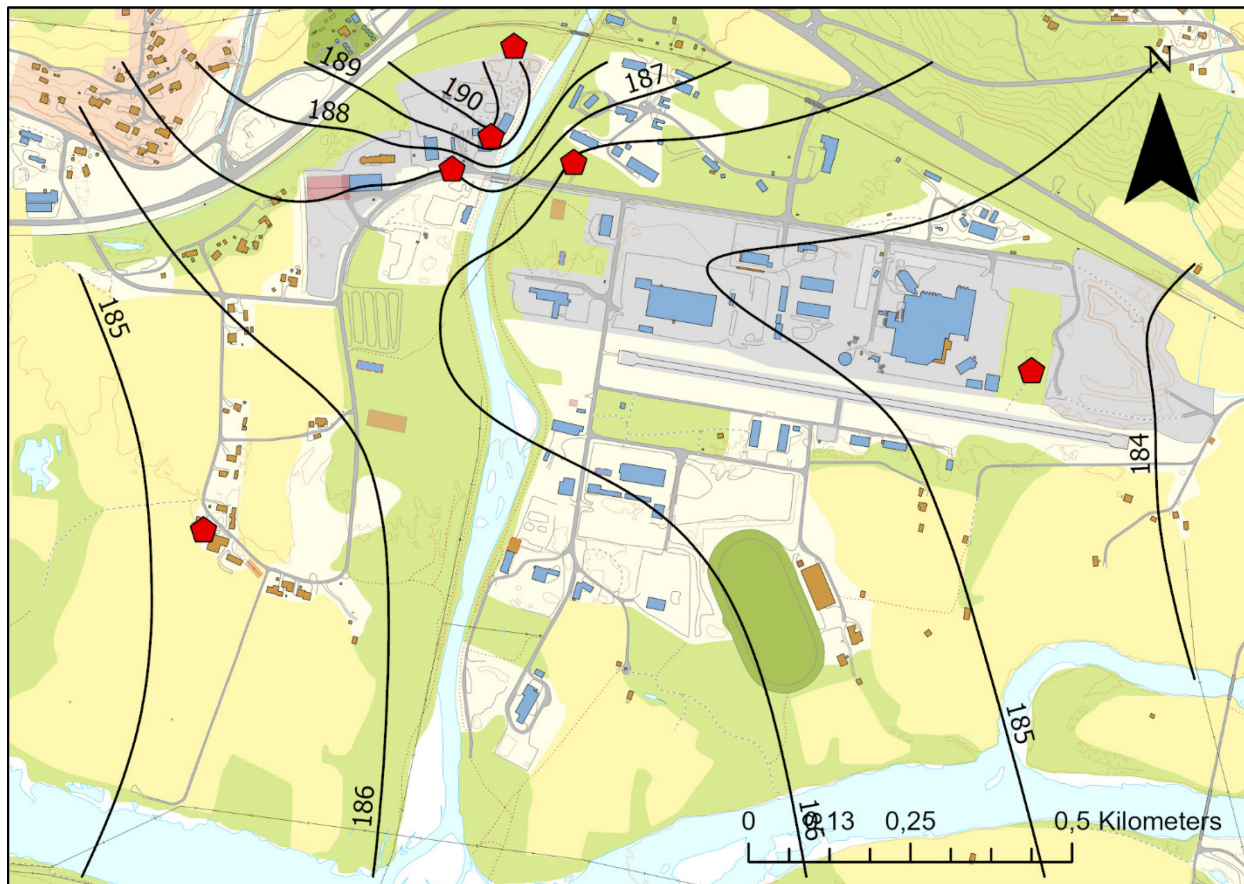
Tabell 7: Målte grunnvannstander på Frya.

<b>Brønn</b>	<b>X-koordinat (UTM 32)</b>	<b>Y-koordinat (UTM 32)</b>	<b>Meter over havet</b>	<b>Målt grunnvanns- nivå</b>	<b>Potensial</b>
<b>Frya vannverk</b>	556076.2877	6824363.294	196.38	10.56	185.82
<b>Miljøstasjon 1</b>	555888.1615	6824352.996	197.18	10.15	187.03
<b>Miljøstasjon 2</b>	555948.5518	6824403.374	193.72	3.81	189.91
<b>Miljøstasjon 3</b>	555983.834	6824542.994	199.06	10.14	188.92
<b>Gårdsbruk</b>	555503.867	6823794.759	189.78	4.55	185.23
<b>Tine peilerør</b>	556784.1431	6824041.087	191.55	7.02	184.53

Figur 33 viser plassering av utførte målinger, samt et ekvipotensialkart basert på disse målingene. For å gi et bedre bilde av grunnvannsstrømmen skulle en helst hatt målinger mer sentralt og sør i studieområdet, da de som er tilgjengelige i hovedsak kun dekker de ytre og øvre delene av studieområdet. Ved å hente ut grunnvannsnivået fra georadarmålingene vil man kunne dekke disse hullene, og skape en enda bedre modell.

Der brua ved miljøstasjonen krysser elva Frya ligger elva på 192,9 meter over havet. Basert på målingene på miljøstasjonen og Frya vannverk ligger grunnvannsnivået under elva, som betyr at elva Frya må mate akviferen/ har influente egenskaper i dette området. Om elva henger over grunnvannsnivået eller om det er direkte hydraulisk kontakt er vanskelig å tolke basert på peilebrønnene alene. Målingen i brønn nr 2 på miljøstasjonen har det høyeste potensialet av alle

målingene, og det er denne målingen som er plassert nærmest elva Frya. Dermed kan det se ut til å være en hydraulisk gradient på grunnvannet som går normalt ut fra elva. Elva forhøyer grunnvannsnivået på grunn av elveinfiltrasjonen, og skaper et lokalt grunnvannsskille som presentert under teori (se figur 2). Hvor stort influensområde denne gradienten vil ha, dvs. hvor langt ut fra elva Frya før grunnvannsspeilet flater ut, kan indikeres med georadar så fremt grunnvannsreflektoren kommer tydelig fram på disse aktuelle profilene.



*Figur 33: Ekvipotensialkart med 1 meters koter basert på målingene av grunnvannsnivået i de seks røde punktene i kartet. Potensialet gitt i meter over havet.*

Peilebrønnen mellom Tine sitt meieri og sprengsteinsdeponiet har det laveste potensialet av alle målingene. På grunn av dette kan det tenkes en regional grunnvannsstrøm som følger høyden til Gudbrandsdalslågen. Ekvipotensialkartet viser også tegn til at elva Frya skaper et kontinuerlig grunnvannsskille, men det skulle helst vært flere brønnmålinger til å konkludere med dette.

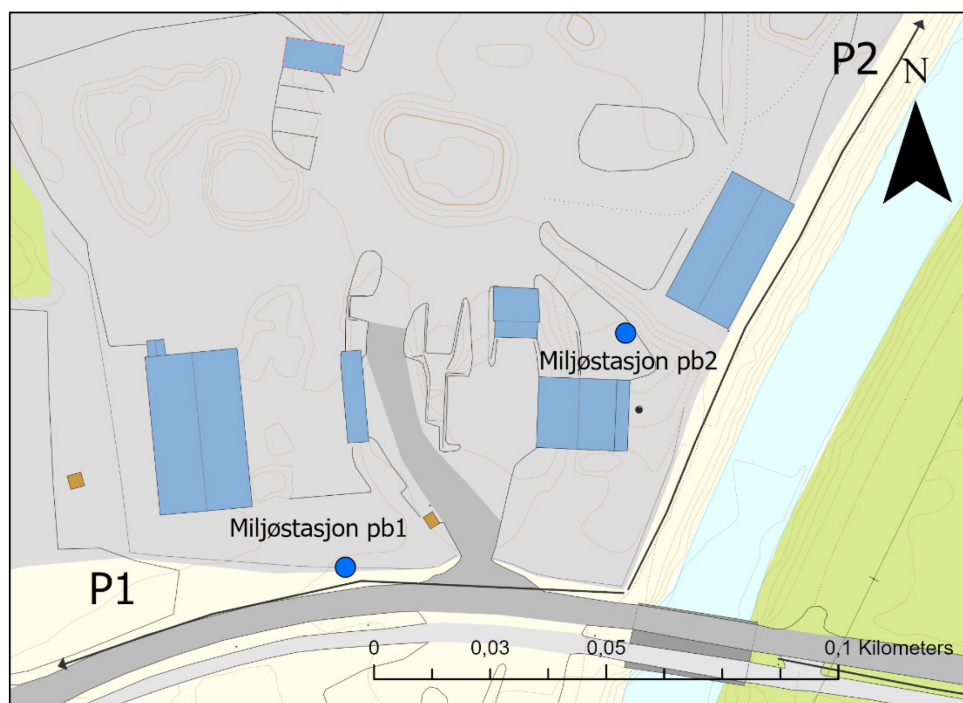
Figuren har også sine åpenbare feil, blant annet at potensialet går nedover fra 186 til 185 meter over havet når en går oppstrøms Gudbrandsdalslågen sør-vest på kartet.

## 5.2 Hastighetskalibrering av umettet sone

For å plukke ut grunnvannsnivået til riktig dybde med georadar må en ha et godt estimat på bølgehastigheten til radarbølgene i umettet sone. Denne kan variere rundt om på studieområdet, hastighetskalibreringer vil derfor utføres ved flere punkt for å få best mulig estimat av bølgehastighet. Grunnvannsstanden i 6 forskjellige brønner ble målt under feltarbeidet, og det er blitt gått med georadar forbi disse som gjør at man kan plukke ut refleksjonene fra en kjent dybde. I tillegg blir det utført hyperboltilpasninger i programvaren ReflexW 2D-dataanalysis i profiler hvor man har diffraksjoner fra større stein, blokker, VA-rør mm. Dette gjør at man også kan få estimater på bølgehastigheten på profiler som ikke kan knyttes til en spesifikk måling av grunnvannsnivået.

I profilene som vises under er gangtiden til radarbølgene i nanosekund på venstre akse og dybde i meter på høyre akse.

### 5.2.1 Profil 1 og 2

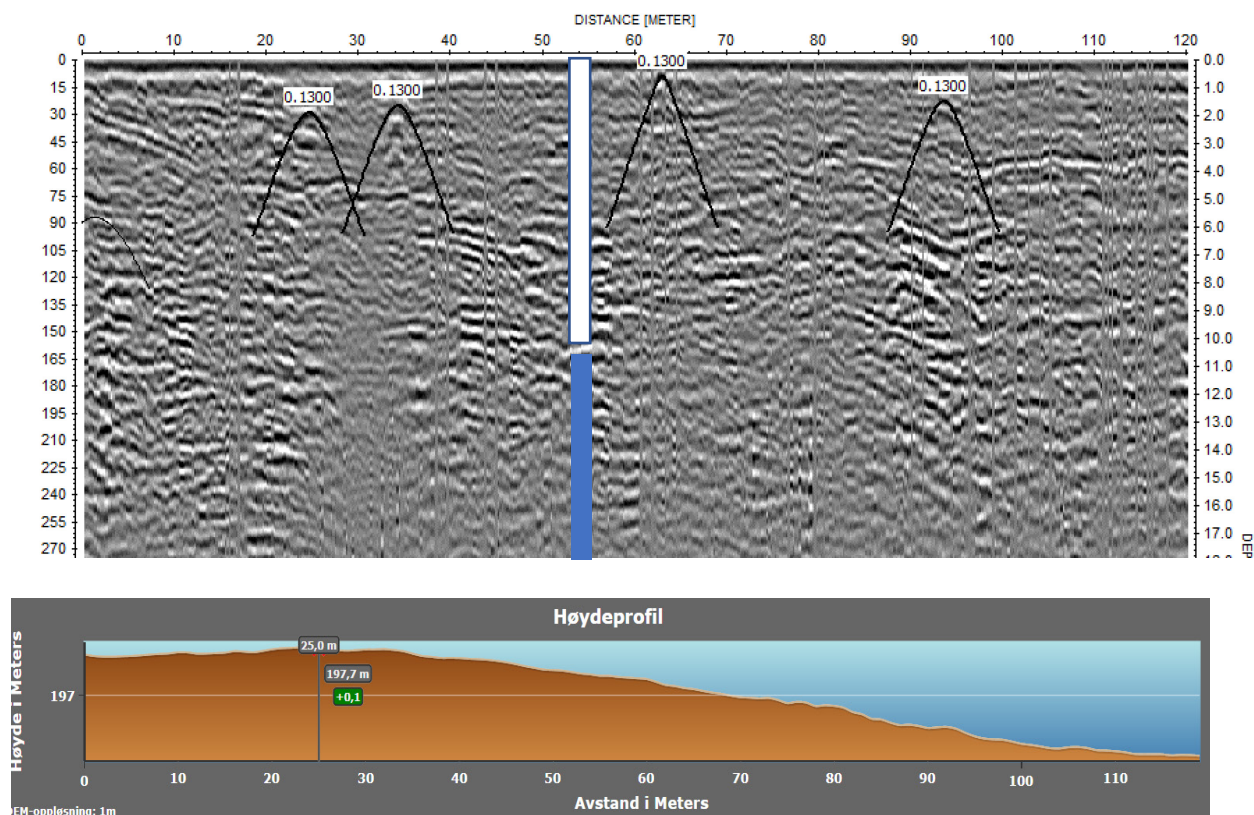


Figur 34: Plassering av profil 1, 2 og peilebrønnene på miljøstasjonen.

Profil 1 og 2 starter i samme punkt, som gjør at grunnvannsreflektoren må starte ved samme gangtid i begge profilene. Av nivåmålingene i peilebrønnene vet en at grunnvannsnivået blir

lavere jo lengre normalt ut fra elva man går. Grunnvannsnivået må derfor i profil 1 ses som en skrå refleksor og i profil 2, som holder samme avstand til elva, må den være flat/følge terrenghøyden.

I profil 1 passerer man peilebrønn 1 54 meter ut i profilet, der grunnvannsnivået ble målt til 10,02 meter. Nedenfor vises profil 1, og ved 54 meter i profilet er det to refleksjoner som skiller seg ut. En ved 75 ns og en ved 155 ns gangtid. Hvis en hendelse med gangtid på 75 ns skulle kommet fra 10,02 meters dyp måtte hastigheten vært på 0,26 m/ns. Dette er en urimelig hastighet til å være en elveavsetning (Reynolds, 2011). Dette kan derimot være en refleksjon fra bunnen av et nedgravd gammelt elveløp.

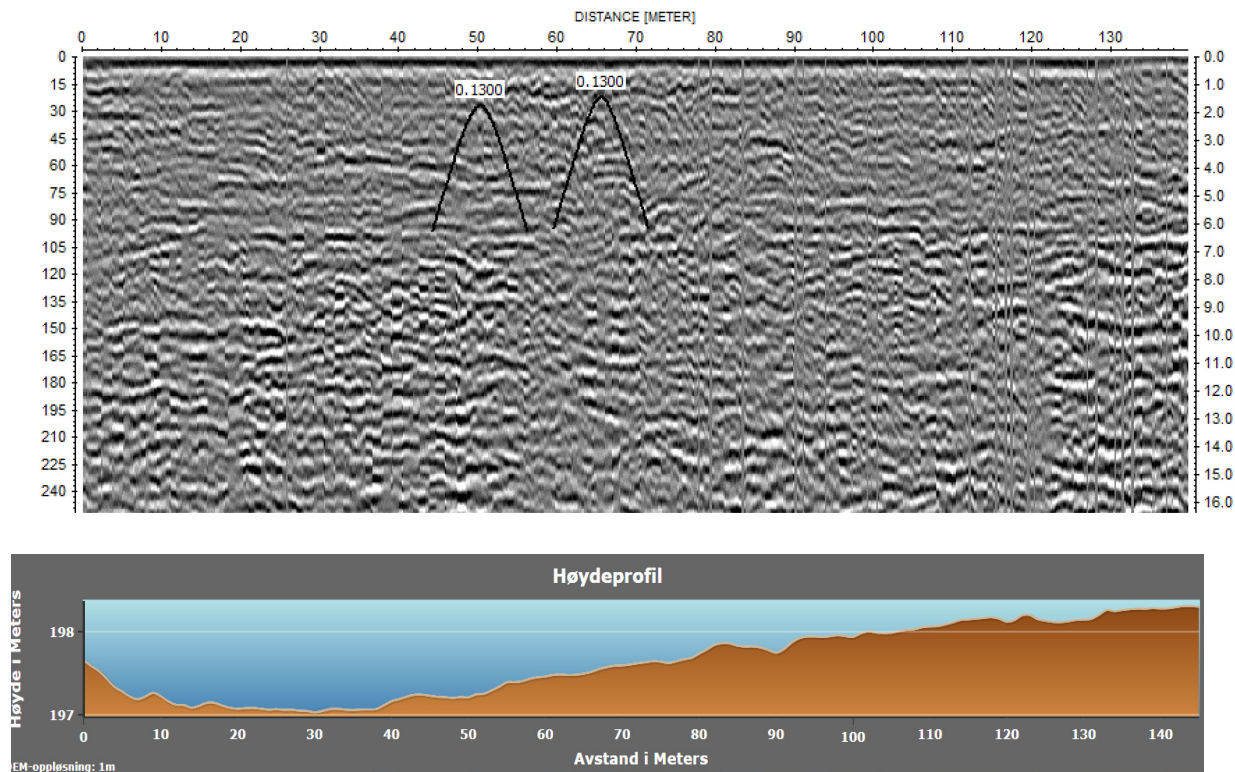


Figur 35: Profil 1 med innlagt plassering av peilebrønn 1, høydeprofil for terrenget hentet fra <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/> og hastighetskalibrering ved hyperbolttilpasning.

Hendelsen ved 155 ns kan korreleres til en bølgehastighet på 0,13 m/ns for at den skal stamme fra grunnvannsnivået målt i brønnen. I profilet er det også flere diffraksjoner fra stein/blokker i topplaget. Disse blir godt tilpasset ved å benytte 0,13 m/ns, noe som er med på å støtte opp om tolkningen. Følger man refleksjonen fra 54 meter og ut kan en se at den går svakt oppover og



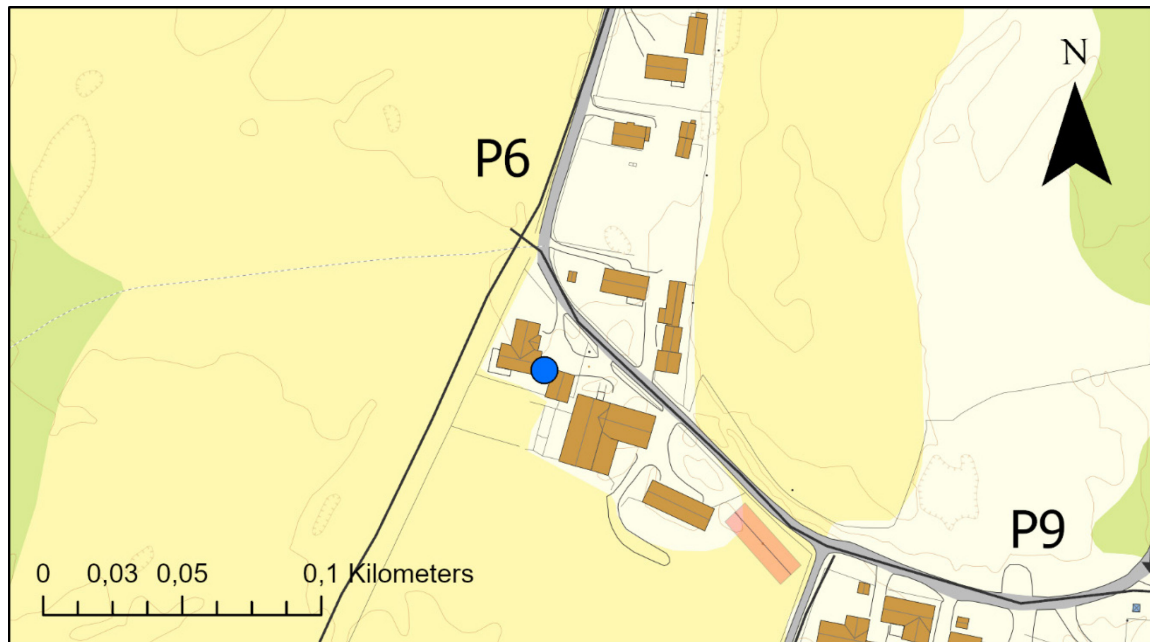
avslutter ved om lag 9 meter, som tilsvarer et flatt grunnvannsspeil fra 54 meter og ut da den følger høydeprofilen. Refleksjonen fra 54 meter og ut er litt svakere, dette kan skyldes flere faktorer, deriblant mer finkornede løsmasser. Følger man refleksjonen fra 54 meter til starten av profilet ser man den hydrauliske gradienten elva skaper på grunn av matingen. Refleksjonen ender ved 117 ns som tilsvarer et dyp på 7,6 meter. Dette betyr at elva henger omtrent tre meter over grunnvannsnivået ved dette punktet.



Figur 36: Profil 2 med vedlagt høydeprofil hentet fra <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/> og innlagt hastighetskalibrering med hyperboltilpasning.

I profil 2 (figur 36) starter samme reflektoren ved 117 ns. Følger man denne refleksjonen i profilet så går den opp de første 10 meterne i profilet. Dette gjør at grunnvannsspeilet blir flatt i og med man her går ned fra bruoppbyggingen i terrenget, se høydeprofilen over. Deretter flater reflektoren ut og følger gradienten til elva og ender opp på omtrent 6,5 meter. I dette profilet ble det også tilpasset to hyperboler fra to tydelige diffraksjoner i umettet sone, og 0,13 m/ns ga i dette tilfellet en god overlapp.

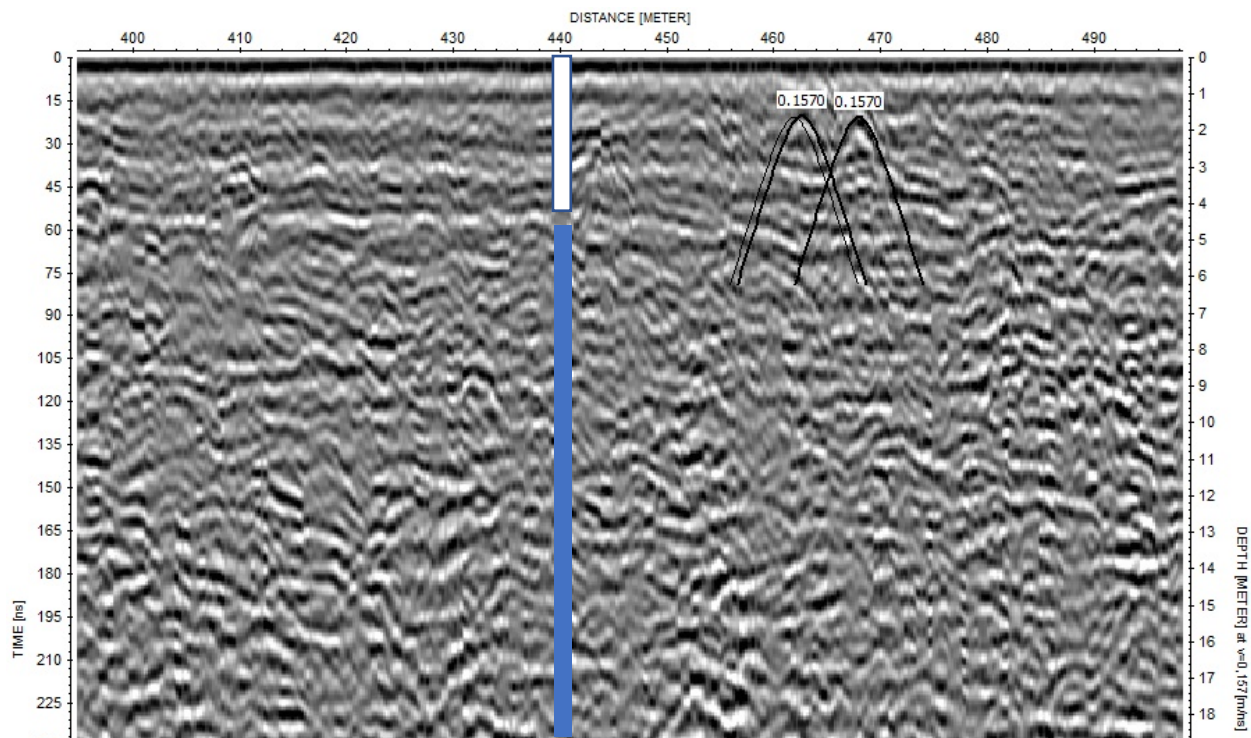
## 5.2.2 Profil 6 og 9



*Figur 37: Oversikt over profil 6, 9 og plasseringen av brønnen på gården.*

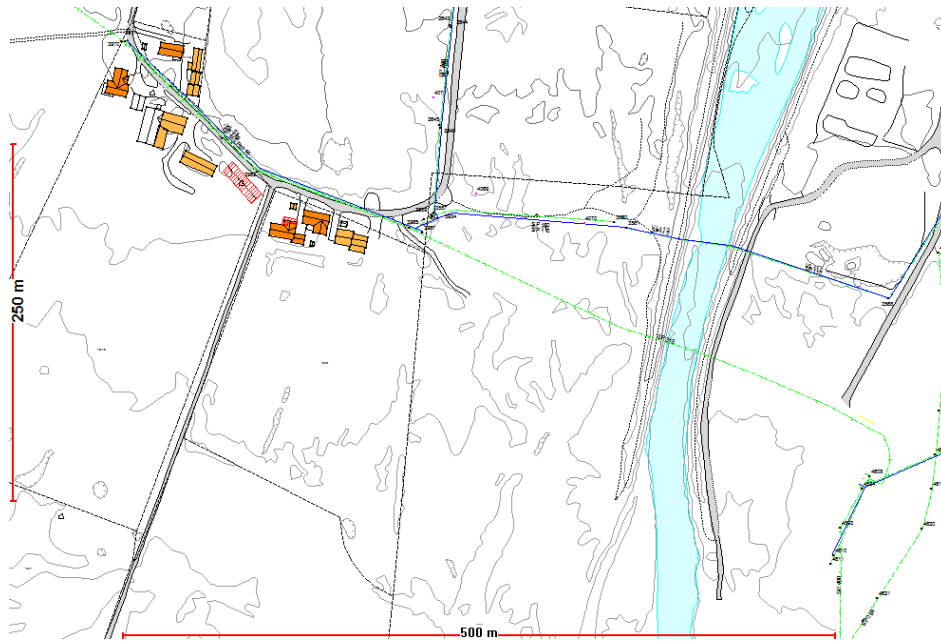
Profil 6 og 9 går begge forbi gårdsbruket i Sør-Fron der grunnvannsnivået ble målt til 4,55 meter under bakken, plassering vises i figuren over.

Profil 6 vises nedenfor. Grunnvannsreflektoren kommer tydelig frem som en horisontal reflektor som bryter andre strukturer i profilet. Ved 440 meter går profil 6 forbi brønnen, og grunnvannsreflektoren kommer her fram ved 58 ns gangtid. Dette gir en bølgehastighet på 0,157 m/ns. I tillegg ble hastigheten justert mot diffraksjonene fra to avløpsrør som profilet går forbi ved 465 meter, og disse hyperbolene gir en god overenstemmelse ved å benytte denne hastigheten.

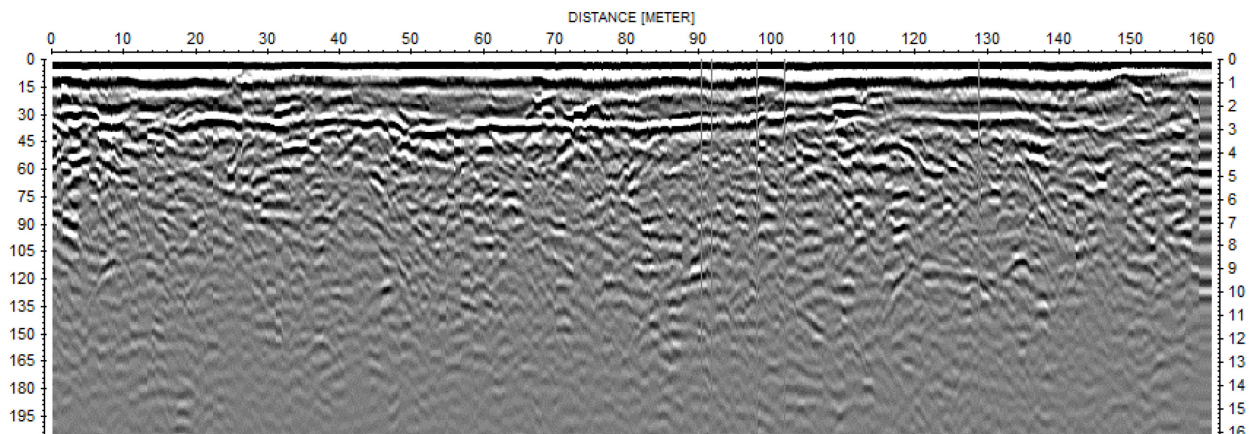


*Figur 38: Profil 6 med innlagt grunnvannsnivå ved gårdsbruket, samt hyperbol-tilpasning av diffraksjonene fra to avløpsrør profilet krysser ved 465 m.*

Først i ettertid av feltarbeidet ble undertegnede klar over VA-rørene som profil 6 krysser ved 465 meter. Figur 39 viser den nøyaktige plasseringen av disse rørene, de har dimensjon på Ø315mm og er plassert 2-2,5 meter under bakken (personlig meddelelse, Åge Øverjordet), og som en ser av kartet følger VA-rørene nøyaktig traseen til profil 9.



Figur 39: Tilsendt kart av VA-rør som går inn til Frya rensanlegg (personlig meddelelse, Åge Øverjordet). VA-rørene er de grønne og blå markeringene i kartet.



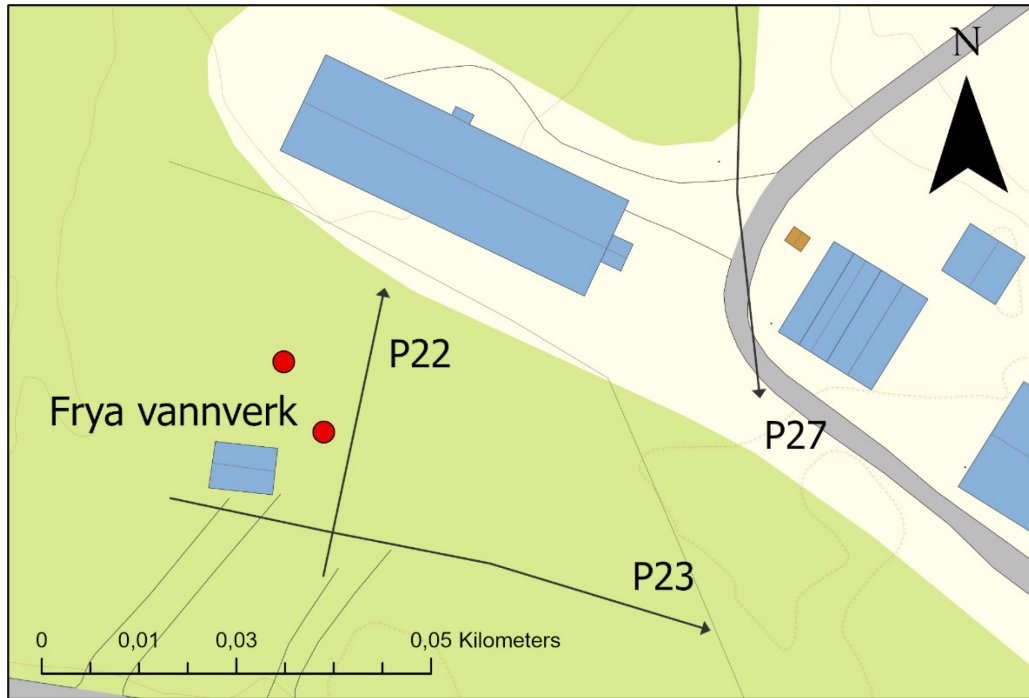
Figur 40: De første 160 meterne av profil 9, med en benyttet hastighet på 0,157 m/ns.

Som en ser på profil 9 kommer det en kontinuerlig sterk reflektor langs profilet etter omtrent 30 ns gangtid. Ved å benytte samme hastighet som profil 6, på 0,157 m/ns, dukker denne reflektoren opp mellom 2 til 2,5 meter under bakken. Dette overlapper med dybden VA-røret er plassert på. Skulle denne reflektoren ved 30ns vært grunnvannsnivået måtte hastigheten vært 0,29 m/ns, som er høyst usannsynlig da dette omtrent er hastigheten EM-bølger har i vakuum. Om denne reflektoren er selve VA-røret eller overgangen fra fyllmassen til løsmassene er ikke sikkert, men



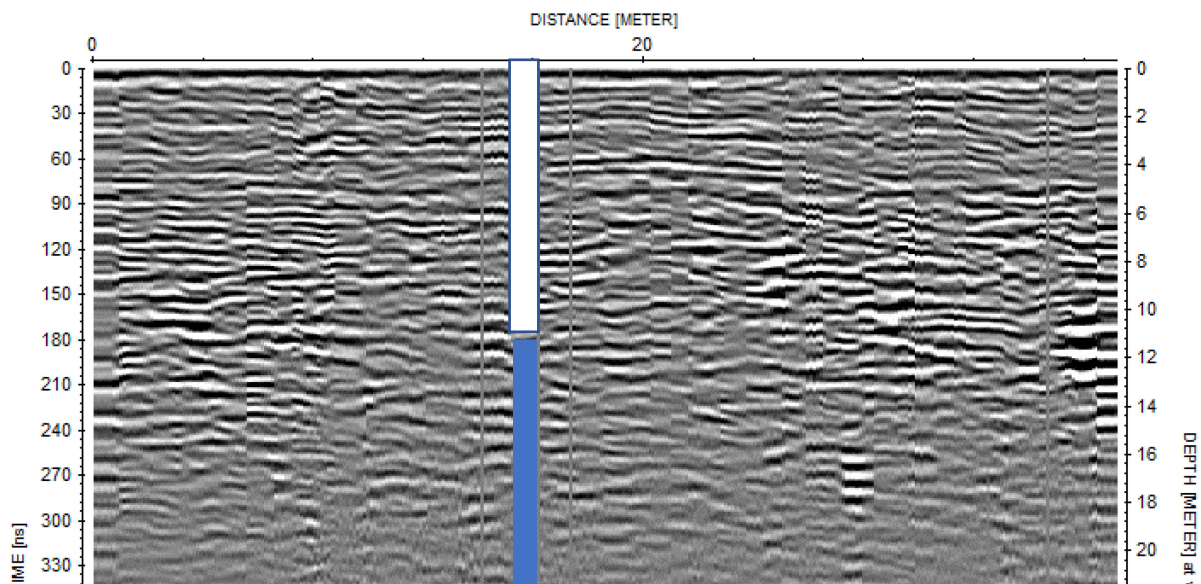
den overskygger og gjør grunnvannsreflektoren som kommer like under vanskelig å plukke ut. Profil 9 blir dermed uegnet til å benytte i videre kartlegging av grunnvannsnivået.

### 5.2.3 Profil 22, 23 og 27



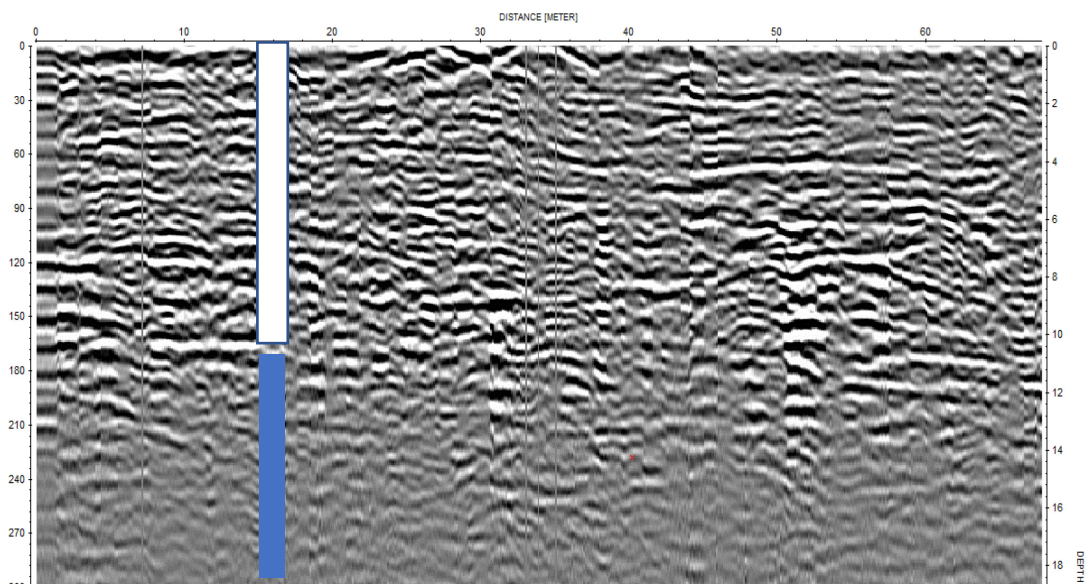
*Figur 41: Plassering av profil 22, 23 og 27 og brønnene på Frya vannverk.*

På Frya vannverk ble grunnvannsnivået målt til 10,56 meter under bakken. Her kan man korrigere bølgehastigheten både fra profil 22, 23 og 27 for å konvertere hendelser i tid over til riktig dybde.



Figur 42: Profil 22 med innlagt plassering av grunnvannsmåling fra Frya vannverk.

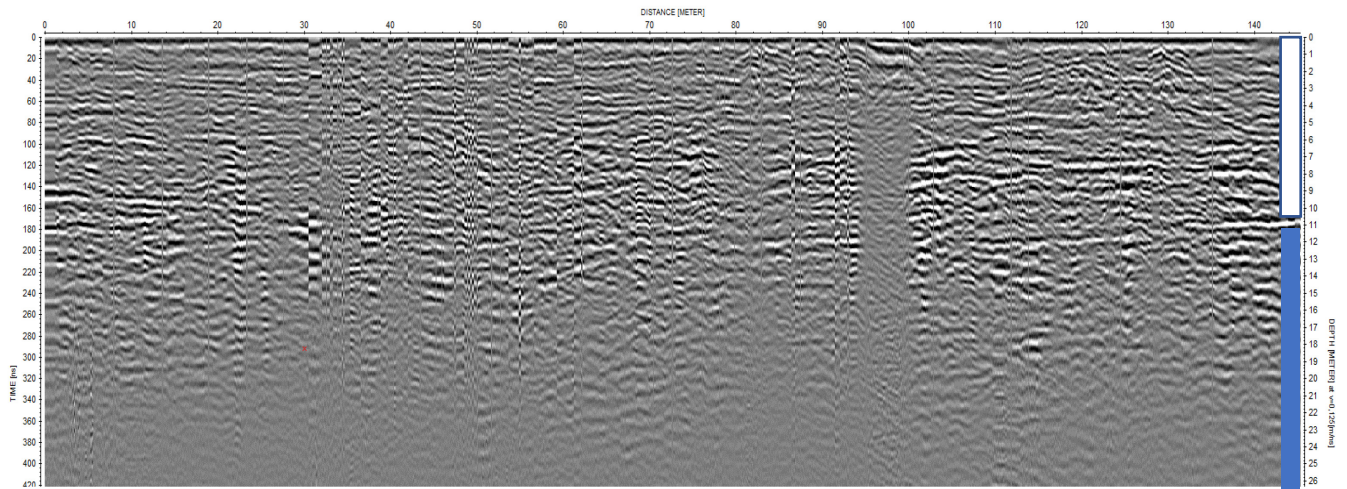
Ved 17 meter krysser profil 22 brønnen til vannverket. Den refleksjon med størst amplitude i intervallet refleksjonen kan komme fra er ved 165 ns gangtid. Denne refleksjonen kan ses tvers gjennom profilet som en svak, men kontinuerlig horisontal refleksjon. Dette gir en hastighet på 0,125 m/ns for at refleksjonen skal stamme fra 10,56 meters dyp under bakken.



Figur 43: Profil 23 med innlagt plassering av grunnvannsmåling fra Frya vannverk.

Ovenfor vises profil 23. Ved samme gangtid som profil 22, på 165 ns, dukker den samme horisontale reflektoren opp og følger profilet med en svakt nedadgående trend. Dette gir mening

da topografien i denne retningen går svakt oppover. 0,125 m/ns kan dermed benyttes for dette profilet også.

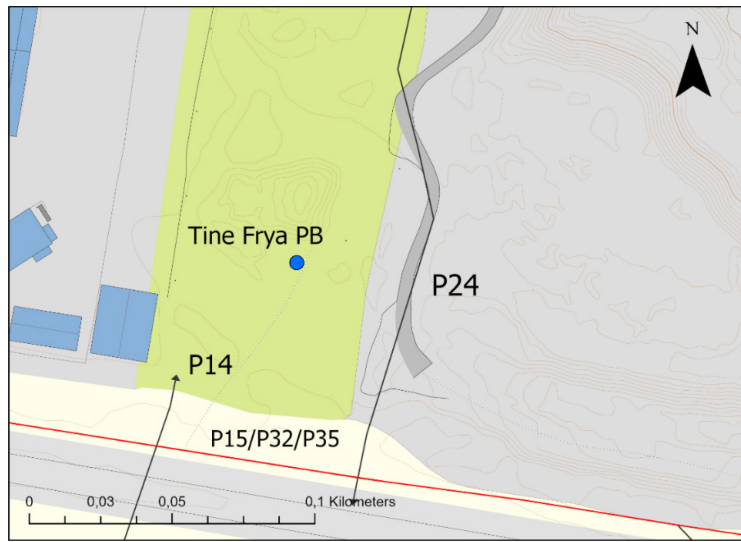


*Figur 44: Profil 27 med grunnvannsnivået ved Frya vannverk innlagt i enden av profilet.*

Profil 27 viser grunnvannsreflektoren tydeligere gjennom hele profilet sammenlignet med profil 22 og profil 23. Profil 27 var dermed veldig nyttig når en skulle tolke de tre profilene sammen. Den viser også hvordan grunnvannsnivået varierer i avstand ut fra elva slik også profil 1 gjør. Ved å benytte samme hastighet som i profil 22 og 23 kommer grunnvannsreflektoren fram ved 173 ns og 10,8 meter under bakken i enden av profilet, som samsvarer godt da profilet ender omtrent 0,2 meter høyere i terrenget enn brønnens plassering.

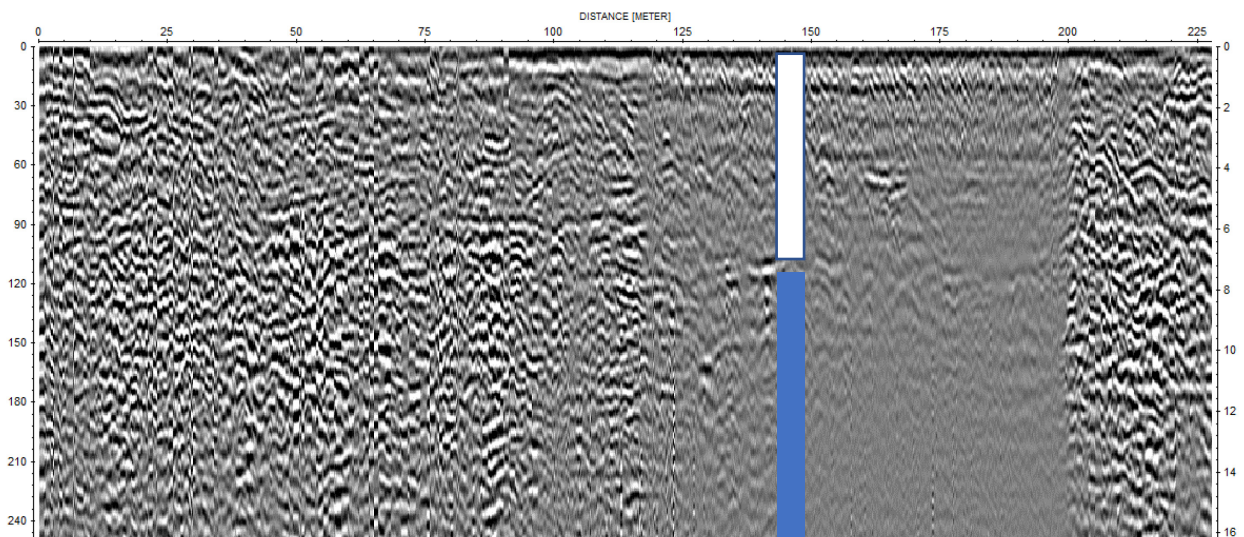


## 5.2.4 Profil 14 og 24



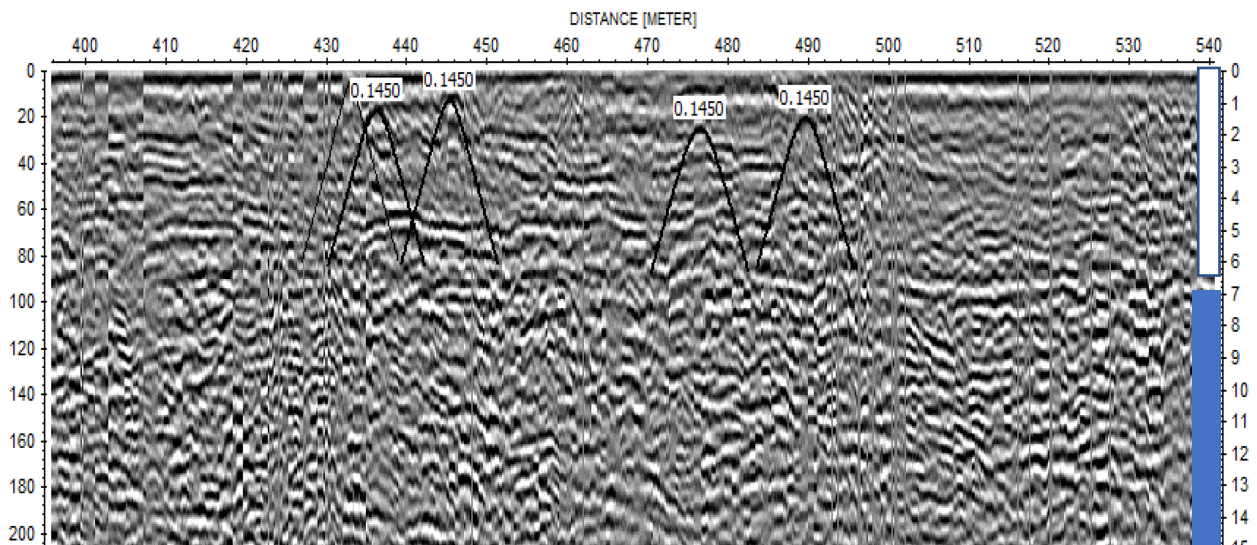
*Figur 45: Plassering av profil 14, 24 og peilebrønnen mellom Tine og sprengsteinsdeponiet.*

I peilerøret mellom Tine og sprengsteinsdeponiet ble grunnvannsnivået målt til 7,02 meter under bakken. Både profil 14 og 24 kan benyttes til å korrigere bølgehastigheten til denne målingen. De punktene i profilet som er nærmest peilerøret må en anta vil ha likt hydraulisk potensial med brønnen. Peilerøret ligger 191,5 meter over havet, så grunnvannsnivået må justeres mot høyden til de nærliggende punktene.



*Figur 46: Profil 24 med inntegnet grunnvannsnivå fra peilebrønnen.*

Figur 46 viser profil 24. Ved 147 meter har P24 peilerøret normalt på sin side. Dette punktet er på 191,8 meter over havet, som gjør at grunnvannsreflektoren skal komme 7,3 meter under terrenget for at det skal være likt hydraulisk potensial som i brønnen. Grunnvannsreflektoren tolkes til å komme ved omtrent 85 ns i starten av profilet. Den er flat i begynnelsen, og ved 115 meter i profilet hvor en går opp på anleggsveien kommer refleksjonen dypere. Når man går ned fra anleggsveien ved 200 meter i profilet kommer refleksjonen grunnere. Dette gjør at grunnvannsreflektoren blir flat hvis en hadde korrigert for topografien. Fra profilet ser en for øvrig også tydelig forskjell på dempingen det hardpakkede topplaget på anleggsveien gir kontra de naturlige løsmassene på starten og slutten av profilet. Grunnvannsreflektoren kommer ved 106 ns i dette tilfellet, dette gir en hastighet på 0,137 m/ns.



*Figur 47: Profil 14 med inntegret grunnvannsnivå fra peilebrønnen i enden av profilet og hyperboltilpasninger.*

Figur 47 viser profil 14. Enden av profil 14 er på 191,3 meter over havet, som gjør at grunnvannsreflektoren skal komme på 6,8 meter under terreng gitt antakelsen om at likt hydraulisk potensial som i peilebrønnen. I enden av profilet kommer grunnvannsreflektoren på 94 ns gangtid, som gir en hastighet på 0,145 m/ns. Dette gir en god overensstemmelse med diffraksjonene som ble tilpasset i ettertid.

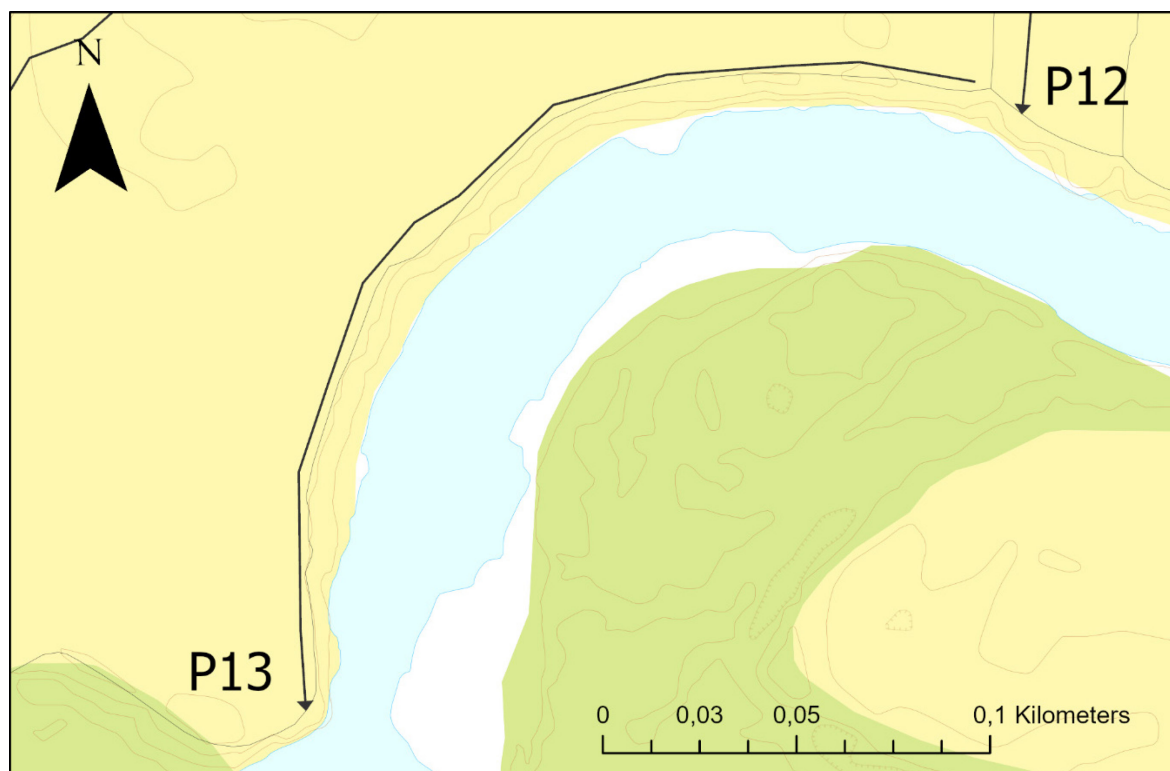
For begge disse profilene antas 0,14 m/ns som et godt nok estimat på hastighet, selv om 0,145 m/ns ga et godt estimat på hyperboltilpasningene. Dette fordi det allerede er en feilmargin i

antagelsen om at potensialet er helt likt i punktene som er nærmest peilebrønnen, og den generelle usikkerheten ved å plukke ut refleksjonen til riktig gangtid.

### 5.2.5 Profil 13

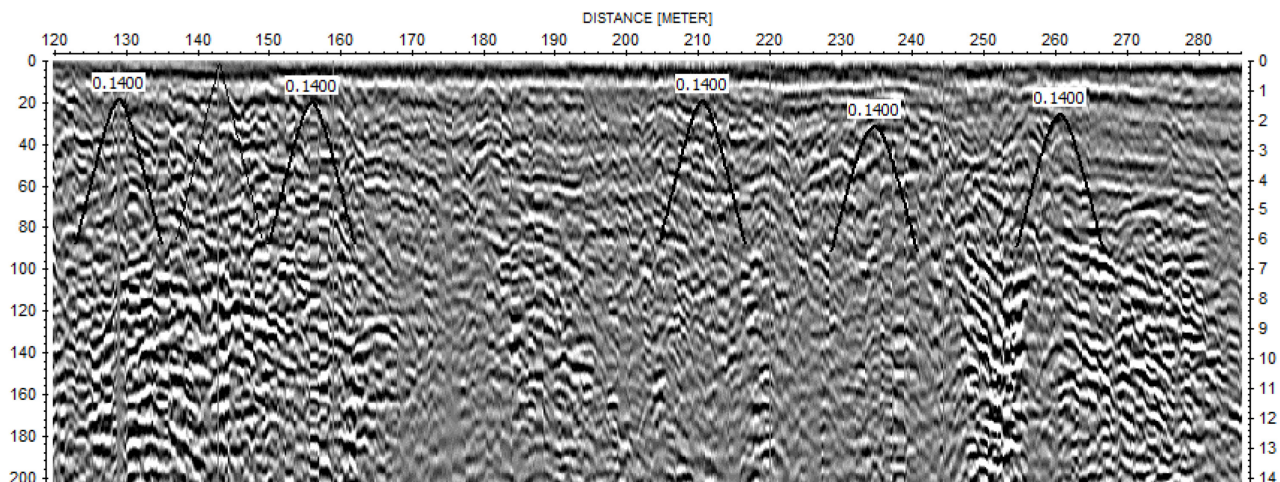
Profil 13 følger et lite sideløp i Gudbrandsdalslågen, se figur 48. Ved befaring var dette en av de eneste delene av elva som ikke var islagt. Dette tyder på at det er et utslag av grunnvann i dette sideløpet. Grunnvannsnivået kan dermed korreleres mot høyden til Gudbrandsdalslågen, som lå omtrent 3 meter under profilet. Det var vanskelig å gi et bedre estimat på høydeforskjellen, da det ikke finnes tilgjengelige høydedata så djupt ned i elva.

Av denne observasjonen vil det være naturlig å tolke en regional grunnvannsstrømning som går sør-østover, i og med det i all hovedsak var islagt på sørsiden av elveløpet.



*Figur 48: Profil 13 som følger sideløpet til Gudbrandsdalslågen, hvor grunnvannet slår direkte ut i elva.*



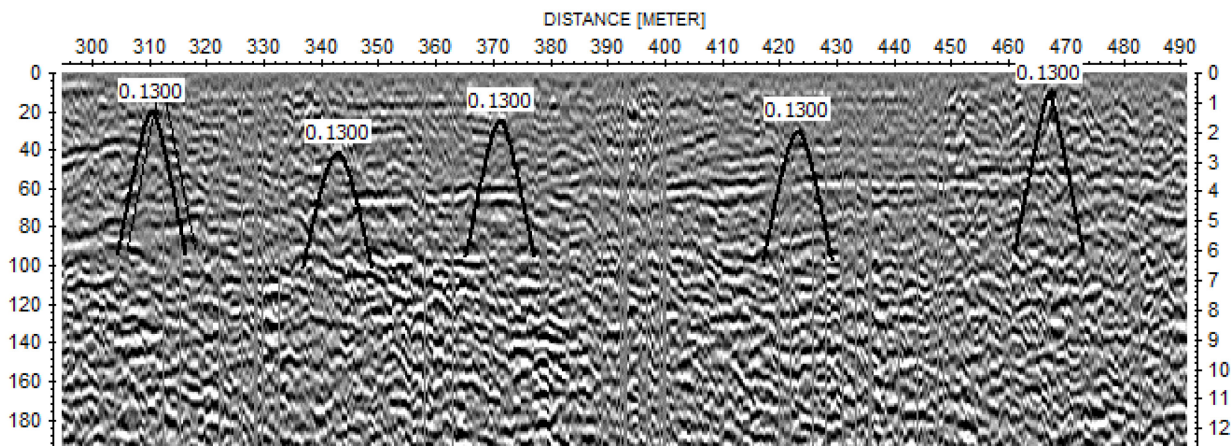


Figur 49: Profil 13 inkludert hyperboltilpasninger med en benyttet hastighet på 0,14 m/ns.

Selv om en ikke vet den nøyaktige dybden til grunnvannsnivået langs dette profilet, kan hyperboltilpasningene gi gode estimater for å plassere grunnvannsnivået. Figuren ovenfor viser profil 13, og der ble 0,14 m/ns benyttet i kalibreringen, som et grovt estimat som tilpasser diffraksjonene bra nok. Grunnvannsspeilet blir tolket til refleksjonen som starter på 40 ns, som gir et dyp som varierer mellom 2 og 3 meter i dette utsnittet av profilet.

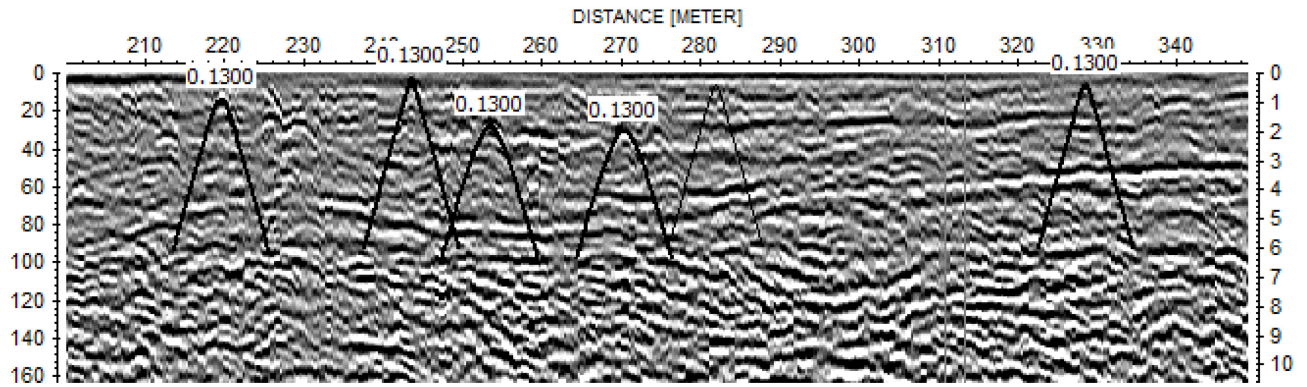
### 5.2.6 Andre hyperboltilpasninger

Nedenfor vises noen av hyperboltilpasningene som ble gjort på profiler som ikke kunne knyttes til en spesifikk måling av grunnvannsnivået. Ikke alle profilene var egnet til dette dessverre.

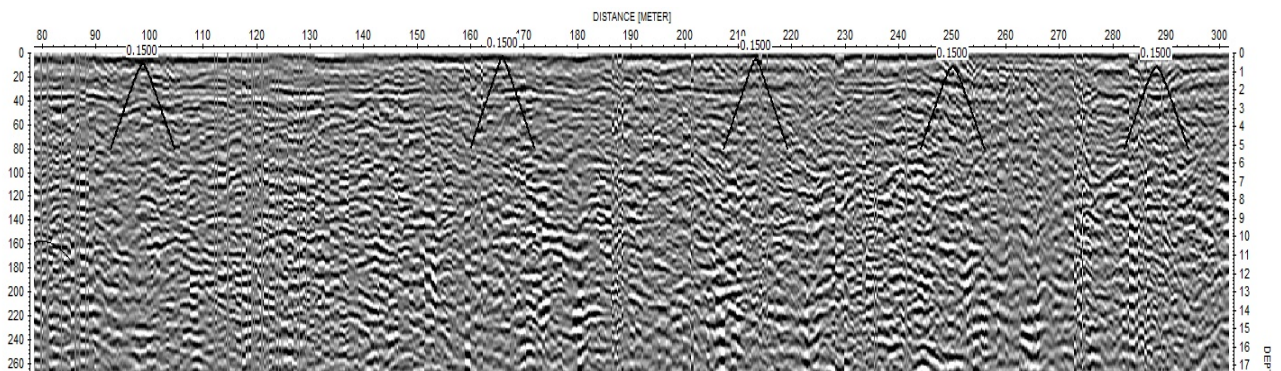


Figur 50: Profil 3 med hyperboltilpasninger til 0,13 m/ns.

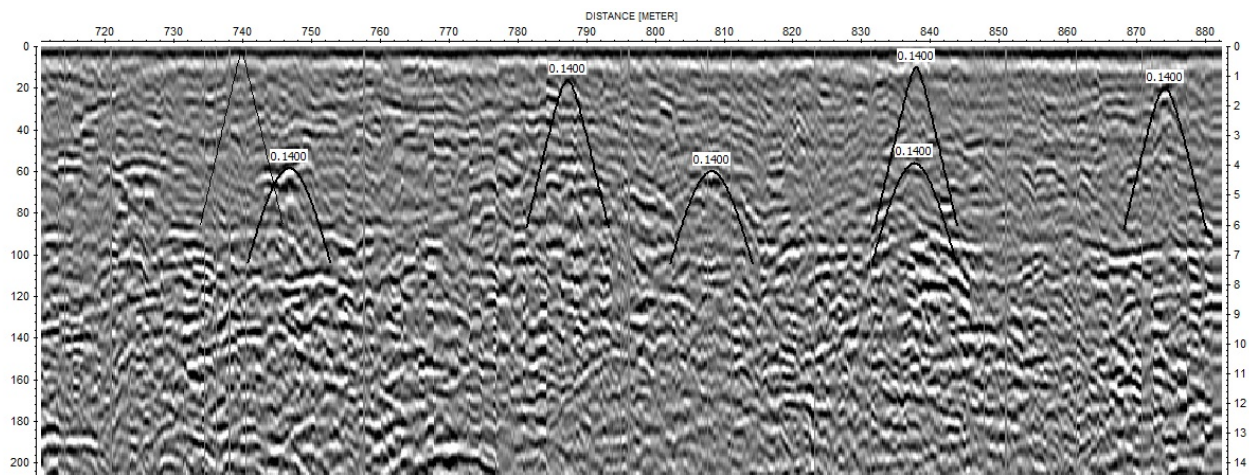




Figur 51: Profil 8 med hyperboltilpasninger til 0,13 m/ns.

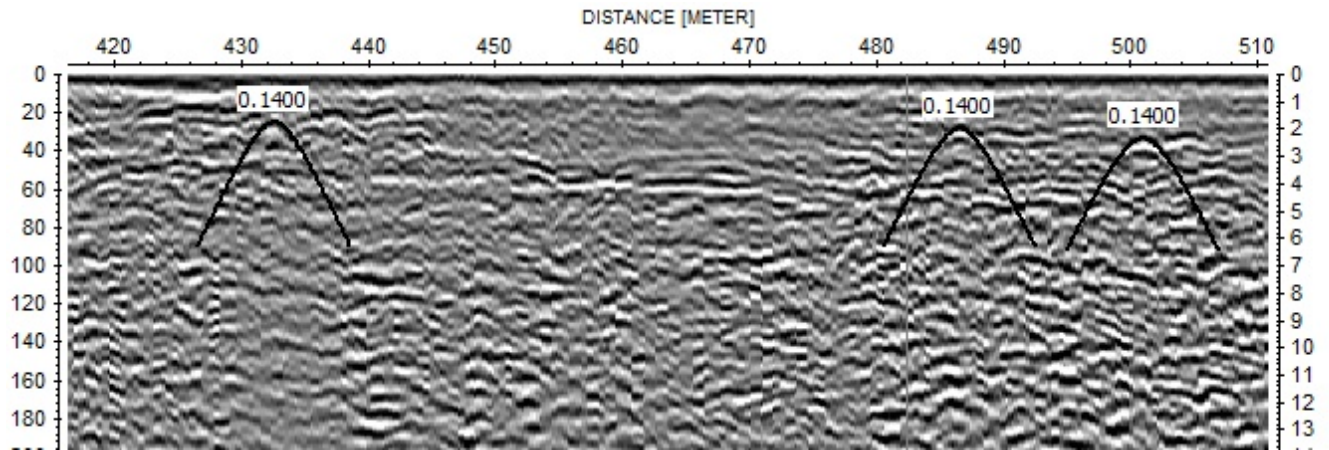


Figur 52: Profil 10 med hyperboltilpasninger til 0,15 m/ns.

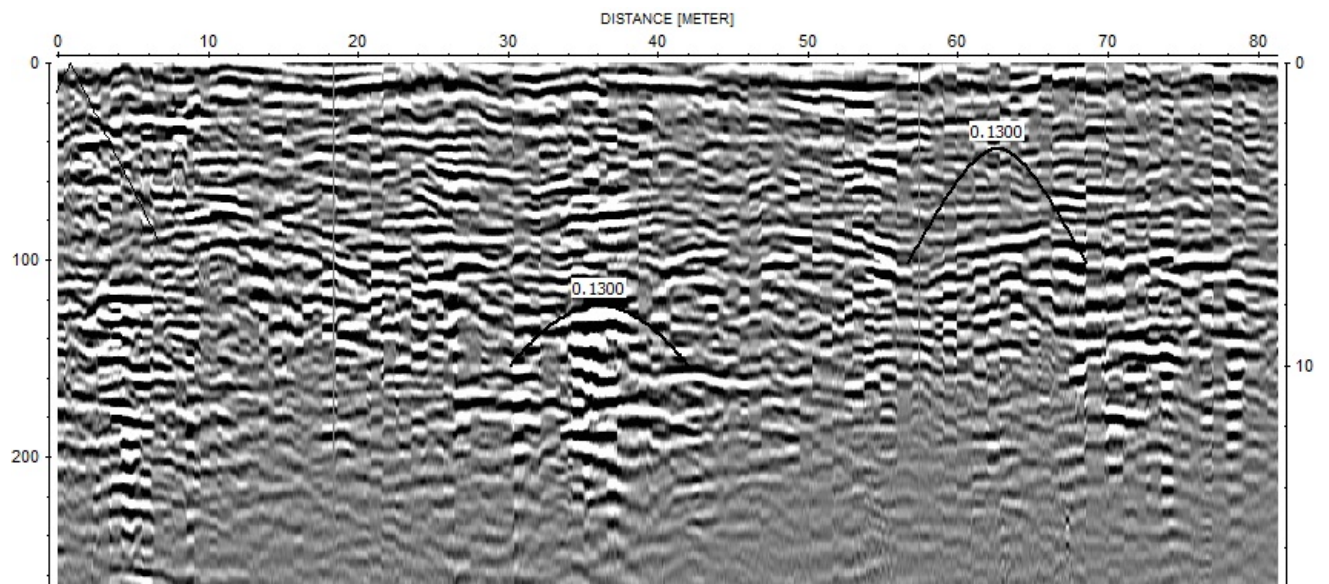


Figur 53: Profil 15 med hyperboltilpasninger til 0,14 m/ns.

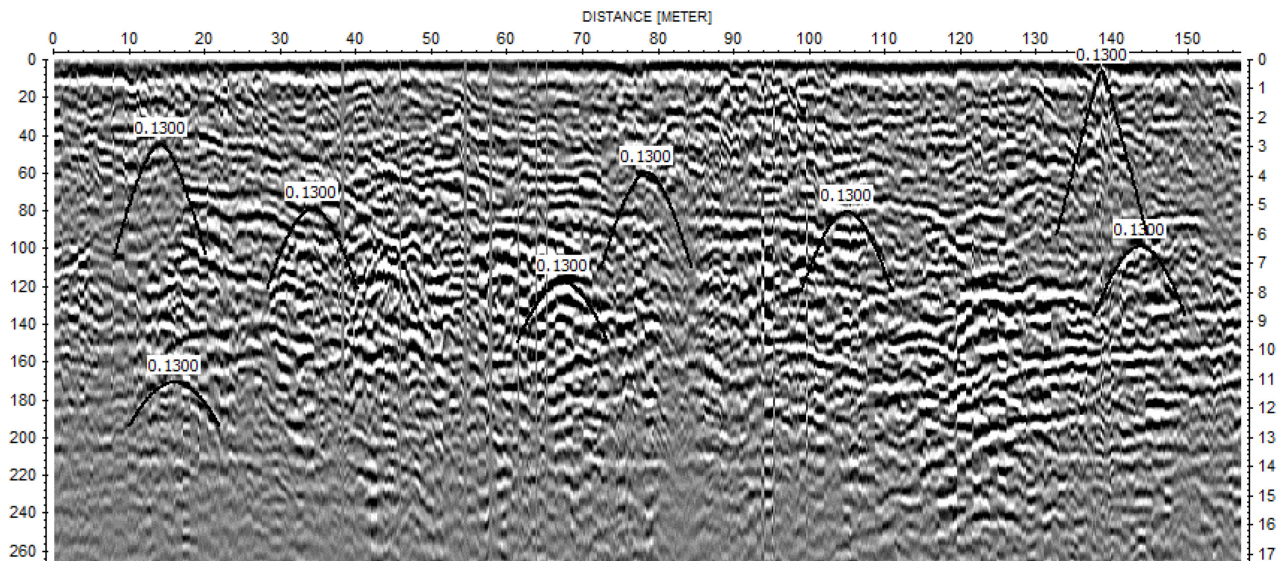




*Figur 54. Profil 21 med hyperboltilpasninger til 0,14 m/ns.*



*Figur 55: Profil 25 med hyperboltilpasninger til 0,13 m/ns.*

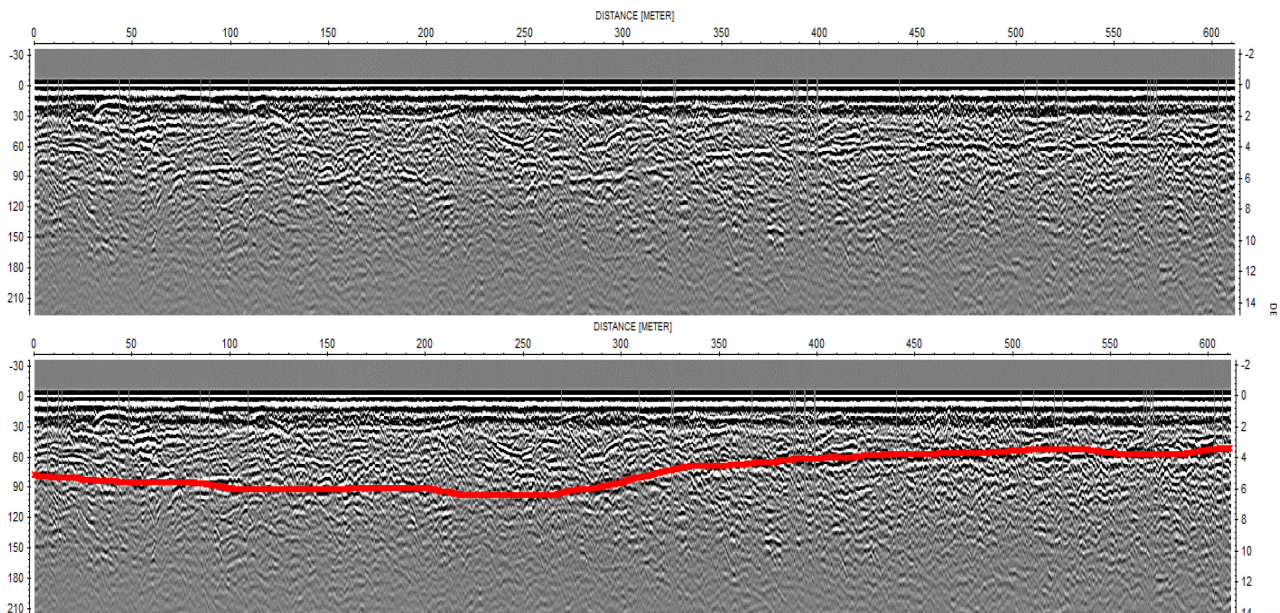


*Figur 56: Profil 26 med benyttet hastighet 0,13 m/ns.*

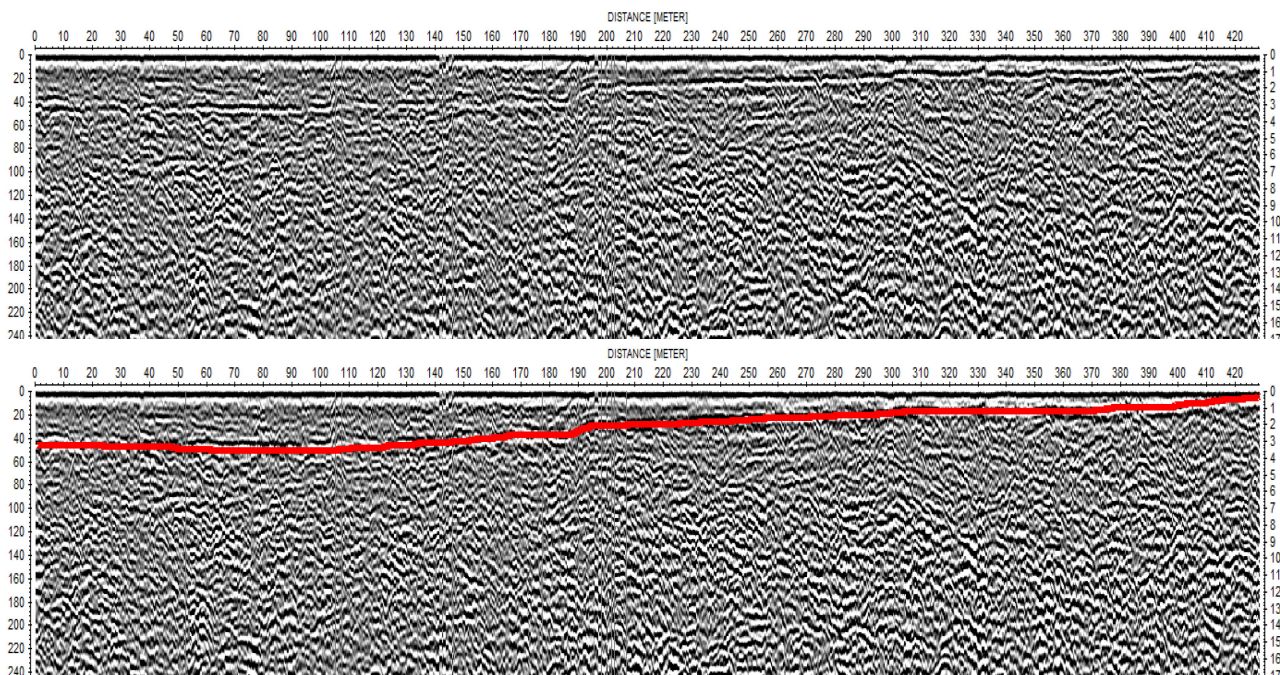
### **5.3 Tolkning av grunnvannsnivå**

I dette delkapittelet presenteres noen av tolkningene av grunnvannsnivået. Da det ble gått 35 profil er det ikke hensiktsmessig å vise tolkningene av alle sammen. Profilene under er valgt så de er spredt på studieområdet. Målinger fra profil 9, 28 og deler av profil 18 ble ekskludert, da det var vanskelig å plukke ut refleksjonen i disse profilene. Mange av profilene nedenfor er veldig komprimerte, men de viser likevel trendene og grunnvannsreflektoren som en kontinuerlig sterk refleksjon gjennom profilene.



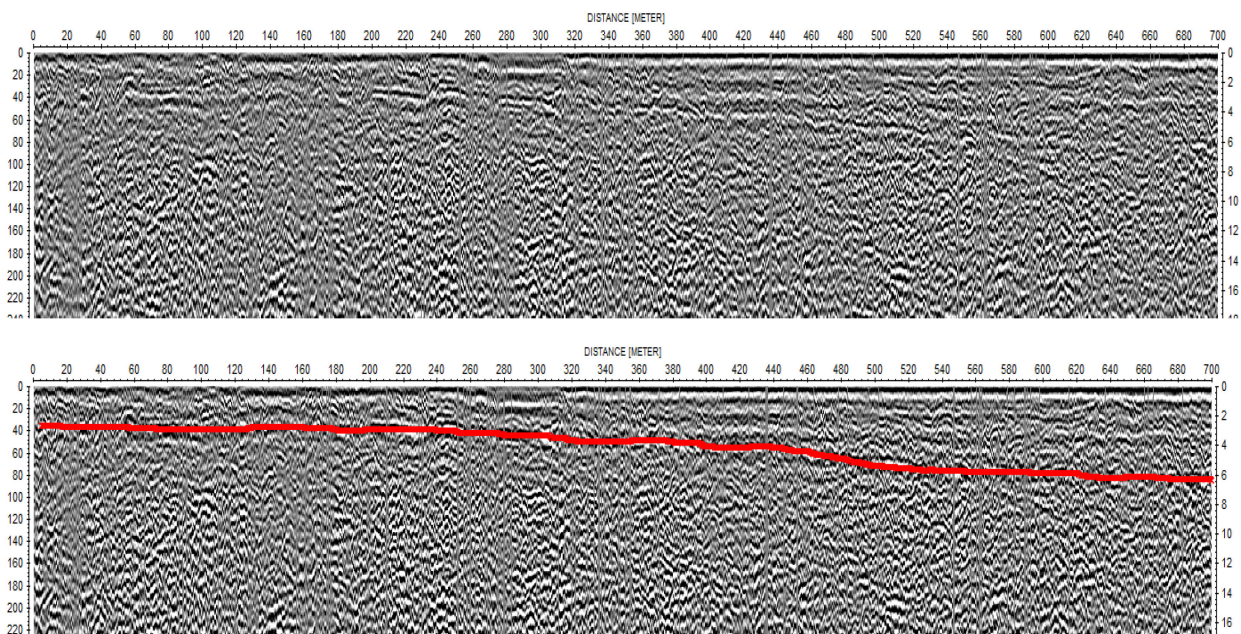


*Figur 57: Profil 3 (se figur 32 for lokalisering). Øvre uten tolkning og nedre med innlagt tolkning av grunnvannsnivå.*

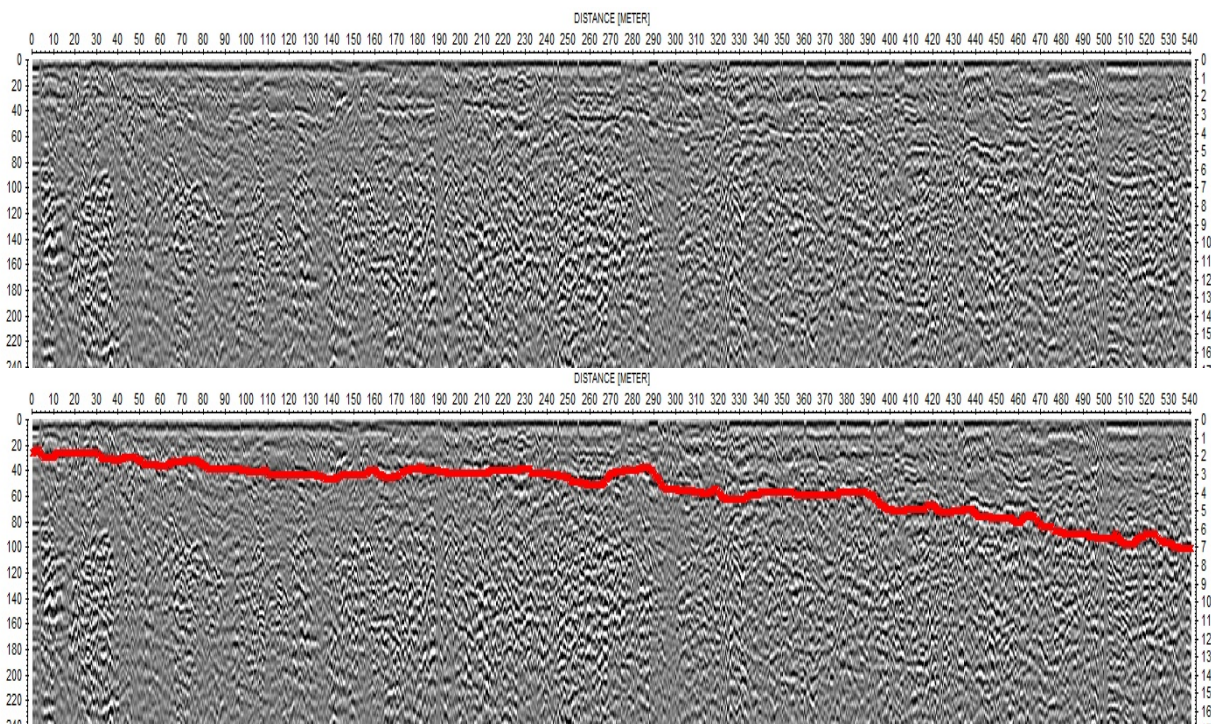


*Figur 58: Profil 4 (se figur 32 for lokalisering). Øvre uten tolkning og nedre med innlagt tolkning av grunnvannsnivå.*



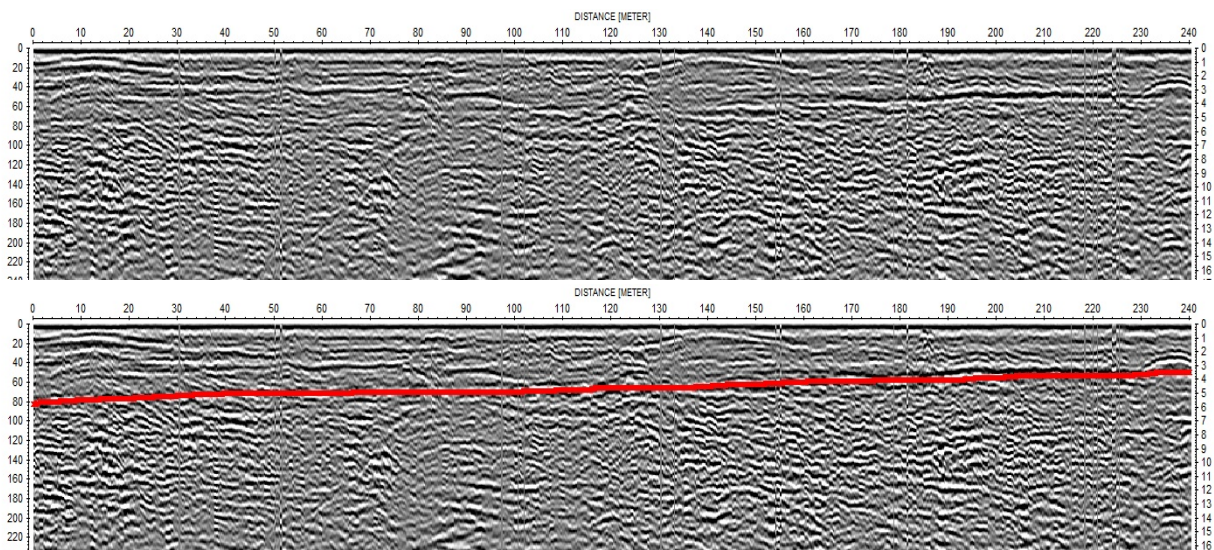


*Figur 59: Profil 6 (se figur 32 for lokalisering). Øvre uten tolkning og nedre med innlagt tolkning av grunnvannsnivå.*

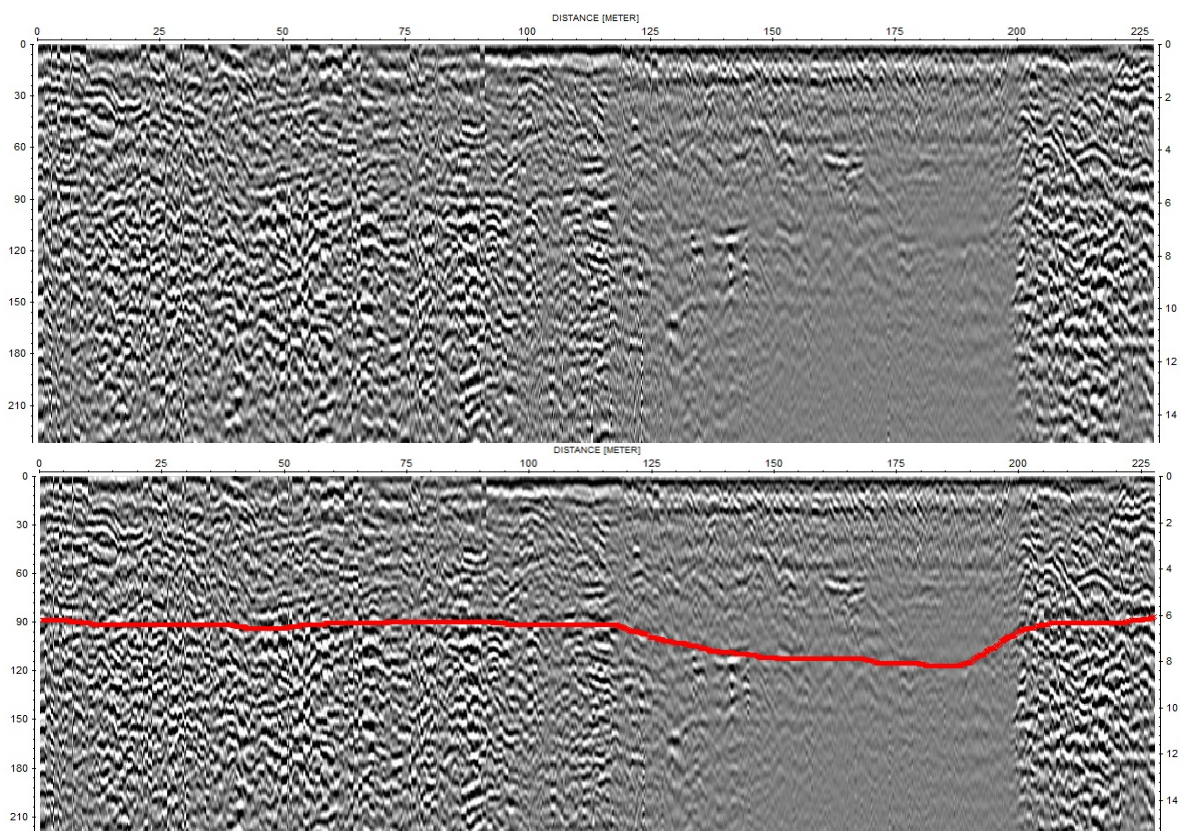


*Figur 60: Profil 14 (se figur 32 for lokalisering). Øvre uten tolkning og nedre med innlagt tolkning av grunnvannsnivå.*



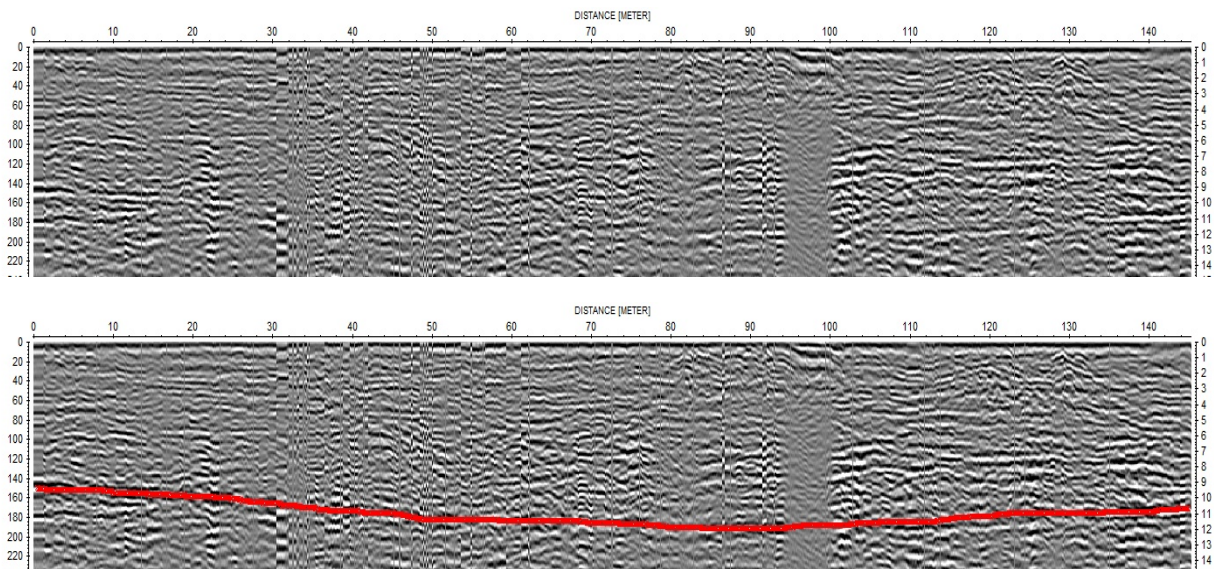


*Figur 61: Profil 17 (se figur 32 for lokalisering). Øvre uten tolkning og nedre med innlagt tolkning av grunnvannsnivå.*

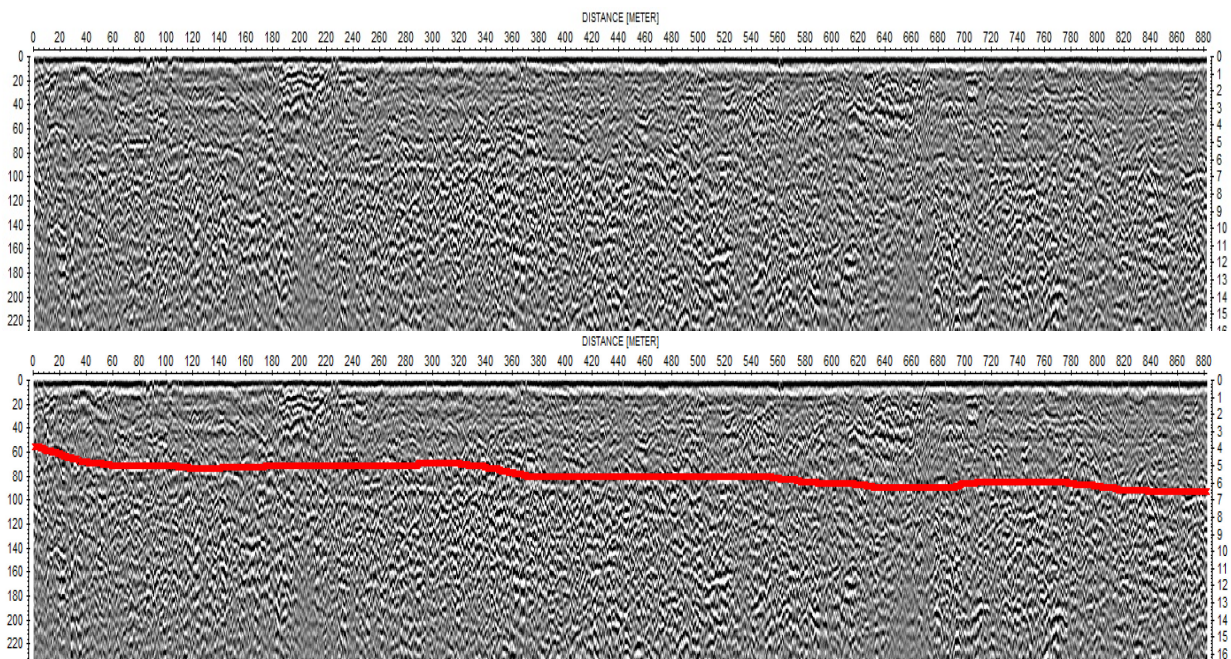


*Figur 62: Profil 24 (se figur 32 for lokalisering). Øvre uten tolkning og nedre med innlagt tolkning av grunnvannsnivå.*





*Figur 63: Profil 27 (se figur 32 for lokalisering). Øvre uten tolkning og nedre med innlagt tolkning av grunnvannsnivå.*

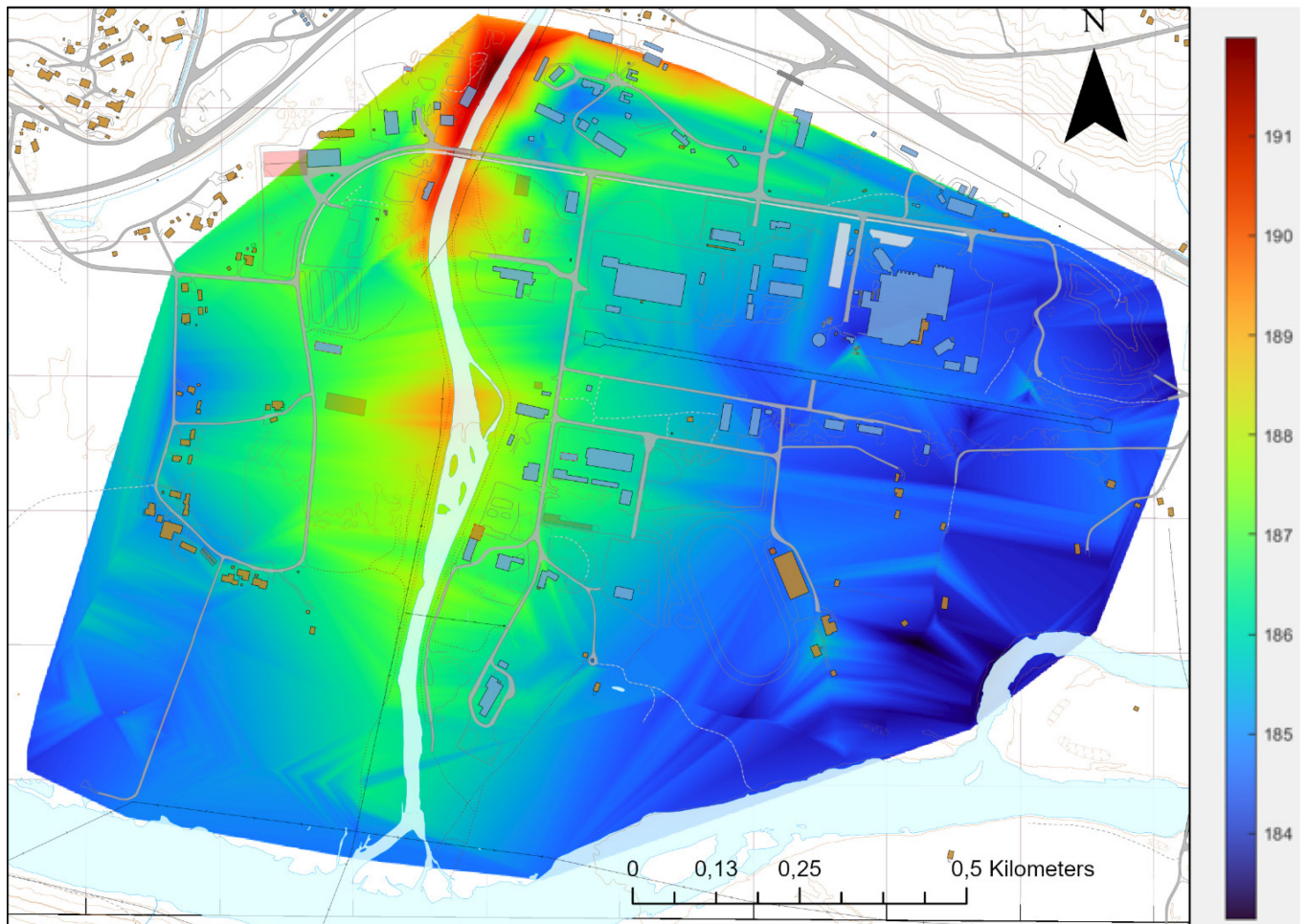


*Figur 64: Profil 15 (se figur 32 for lokalisering). Øvre uten tolkning og nedre med innlagt tolkning av grunnvannsnivå.*



## 5.4 Modell av grunnvannsspeilets overflate

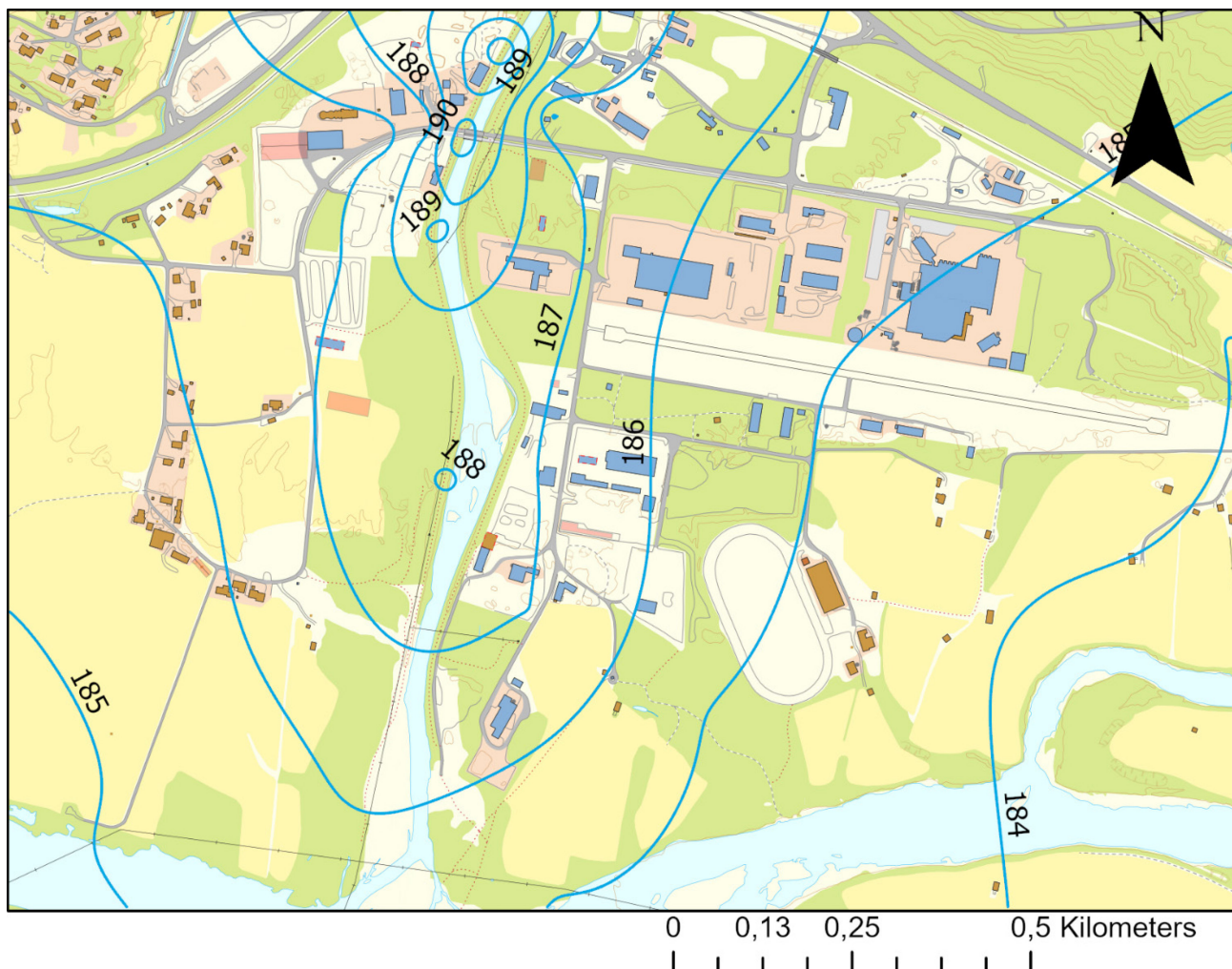
Sammen med målingene i tilgjengelige brønner og tolkningene fra georadar ble ekvipotensialkartet som vises nedenfor produsert. Reflexw 2D-dataanalyse eksporterte en verdi per tiende meter i profilene som ble gått, og overflaten ble visualisert ved Delauney-triangulering (se vedlegg B og D for skript og excel-ark).



*Figur 65: Ekipotensialkart over Frya basert på kontinuerlige georadarmålinger og målinger i brønner. Fargeskalaen viser det hydrauliske potensialet til grunnvannet, og er gitt som meter over havet.*

Modellen får frem trender av grunnvannsspeilet godt, men der grunnvannsspeilet er forholdsvis flatt er det små unøyaktigheter i fargekartet. Det ble derfor seende kaotisk ut når en skulle visualisere det som et kotekart. Derfor ble det benyttet færre punkter i inngangsdataene for å presentere grunnvannsoverflaten som et kotekart, se figur 66 (se vedlegg C for data).

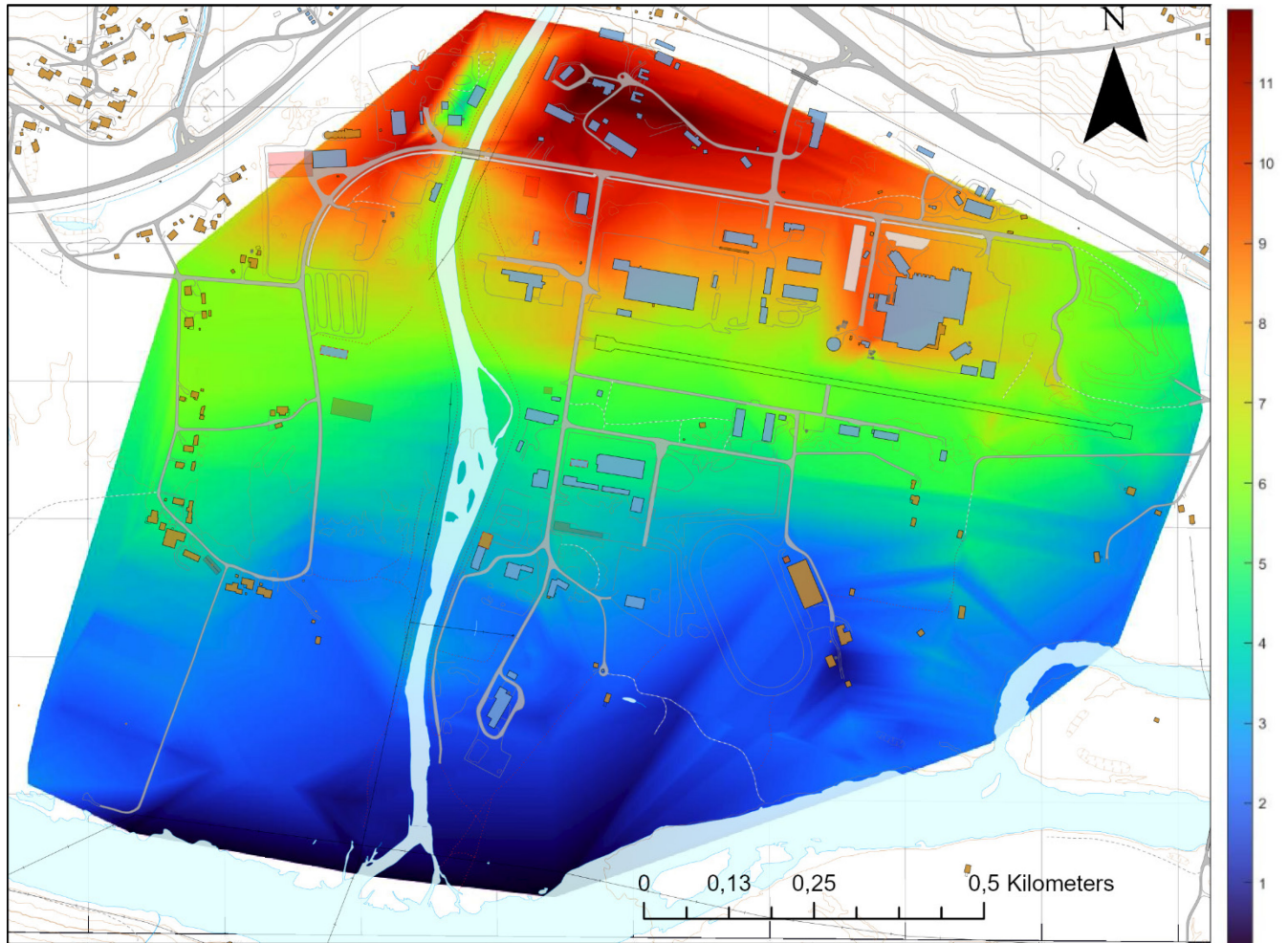




*Figur 66: Ekvipotensialkart over Frya med koter, basert på færre utplukkede punkter per georadarprofil for å frem trendene.*

Ekvipotensialkartet med koter og fargekartet viser de samme trendene for grunnvannsspeilets høyde, men kotekartet er mer oversiktlig. Ut fra dette kan grunnvannsstrømmen utledes, som vil gå normalt på ekvipotensiallinjene.

## 5.5 Mektighet på umettet sone



*Figur 67: Mektighet på umettet sone på Frya. Fargeskalaen på siden er i meter.*

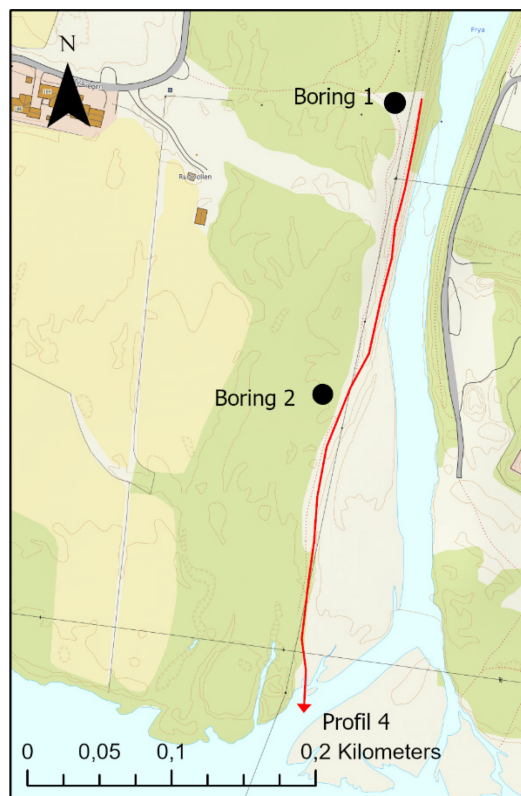
Kartet over ble produsert for å indikere områder med best potensiale for infiltrasjon og minst sårbarhet for overflateforurensning. Det ble konstruert på samme måte som figur 65, der fargeskalaen på siden er tykkelsen på umettet sone i meter og ikke det hydrauliske potensialet. Figuren er basert på interpoleringer mellom punktene det er gått med georadar, og har derfor sine feil. Med andre ord antar modellen at det er helt lineær topografi mellom punktene den interpolerer, noe som tidvis ikke stemmer. Blant annet får den ikke med topografien til grustakene der det er gravd ut masser ned til grunnvannsnivået, samt flomoppbyggingene rundt flere av byggene, som blant annet ved renseanlegget, og andre forsenkninger/forhøyninger i terrenget. Den viser dog trendene godt, og ikke overraskende er mektigheten på umettet sone og infiltrasjonspotensialet høyere i nordlige deler av studieområdet der topografien er høyere.

## 5.6 Løsmassesammensetning

NGU-boringene, Statens vegvesen/Geovita sine totalsonderinger, grunnvannsuttakene på Frya og undersøkelsene på Risøya gir samlet sett et godt bilde av løsmassesammensetningen på Frya. I all hovedsak virker ikke mektigheten av løsmasser å være en begrensende faktor for grunnvannsuttak, da ingen av boringene indikerer fjell, og det dypeste det er boret til er 36 meter under bakkenivå. Undersøkelsene indikerer dog at løsmassesammensetningen varierer mot dypet. NGU-boringene indikerer tre forskjellige lagpakker; øverst et lag av sand/grus/stein, etterfulgt av et tre meters tykt finsand/silt-lag henholdsvis 10 og 12 meter under bakken, og deretter et mektig sandlag med god vanngiverevne. Geovita sine totalsonderinger indikerer de samme lagpakkene, med elveavsetning av grusig sand, løst lagret sand/finsand og nederst et mektig sandlag. Undersøkelsene på Risøya viser på den andre siden en mektighet av sand og grus ned til 20 meter før en får en overgang til finsand/silt.

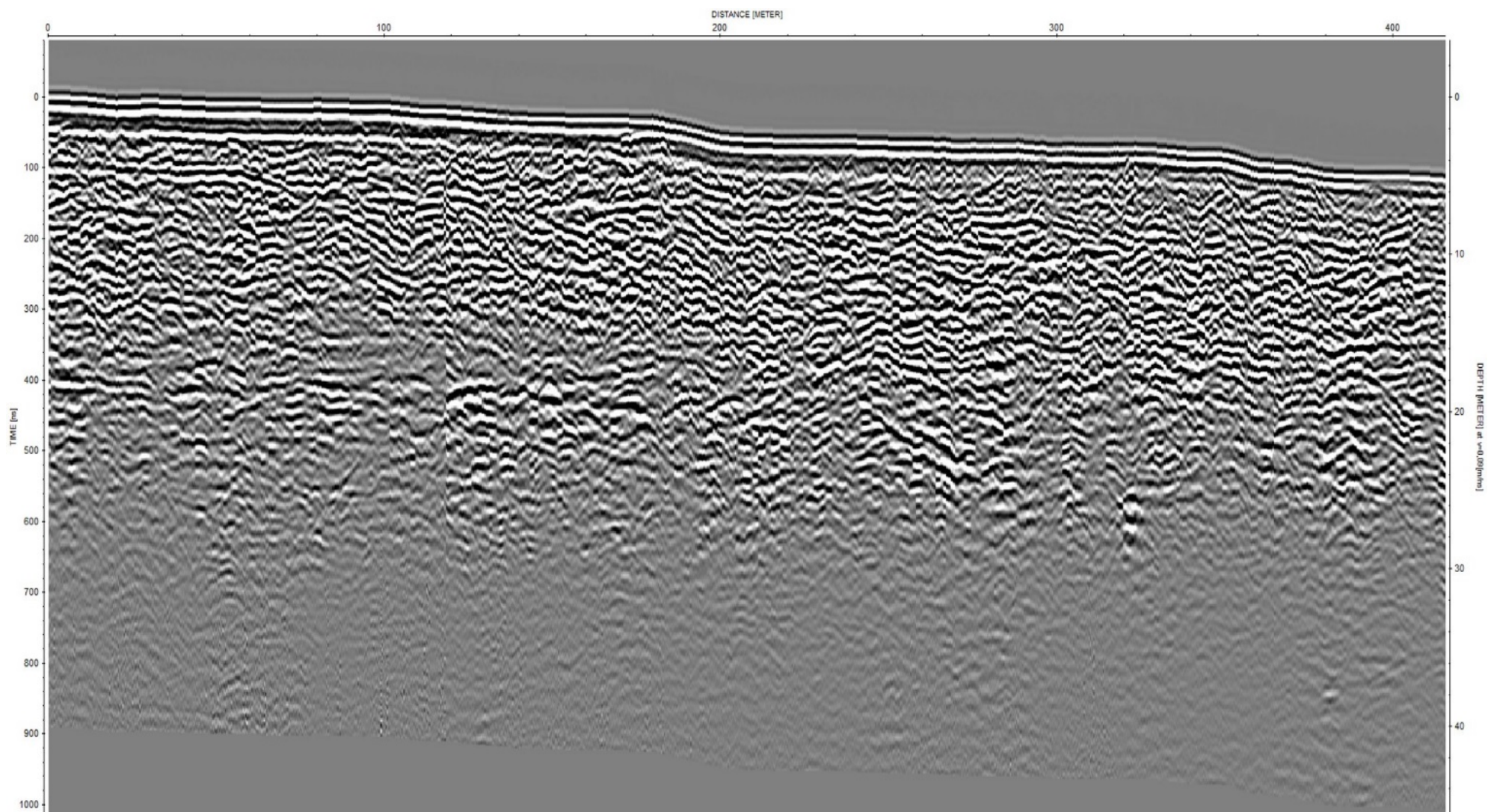
### 5.6.1 Tolkning av profil 4 med 50 MHz, 100 MHz og 250 MHz

Nedenfor vises profil 4 med henholdsvis 50 MHz-, 100 MHz- og 250 MHz-antenne. Profil 4 går forbi begge boringene til NGU fra 1997, det er derfor et praktisk radarprofil for å definere forskjellige refleksjonskonfigurasjoner som kan knyttes opp mot de forskjellige lagpakkene. På siden vises plassering av boringene og profil 4. I profilene under er det benyttet en bølgehastighet på 0,09 m/ns, dette gir et grovt estimat på dybder til forskjellige lagpakker under grunnvannsnivået.



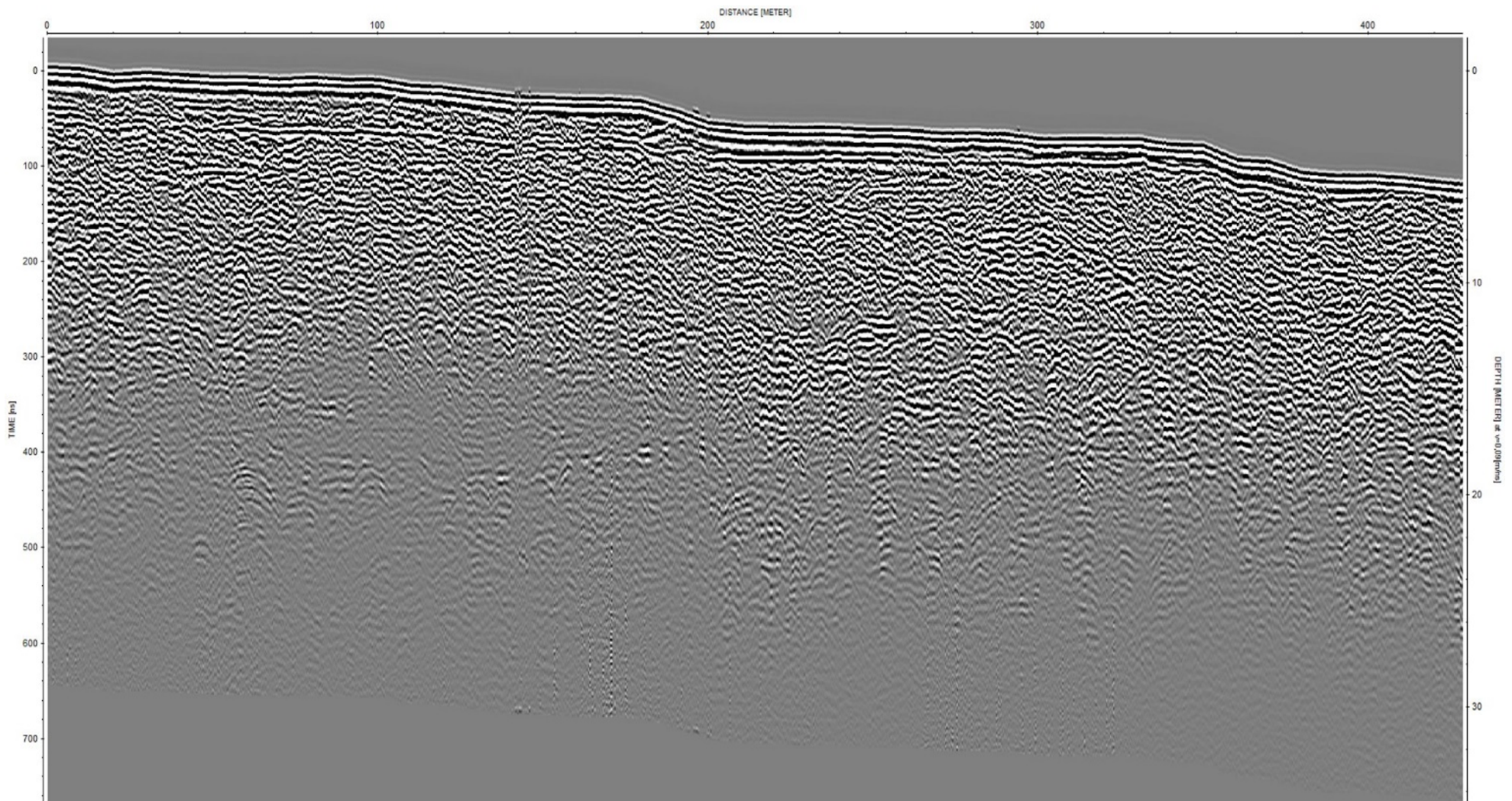
*Figur 68: Kart over profil 4 og NGU-boringene som ble utført på Frya.*





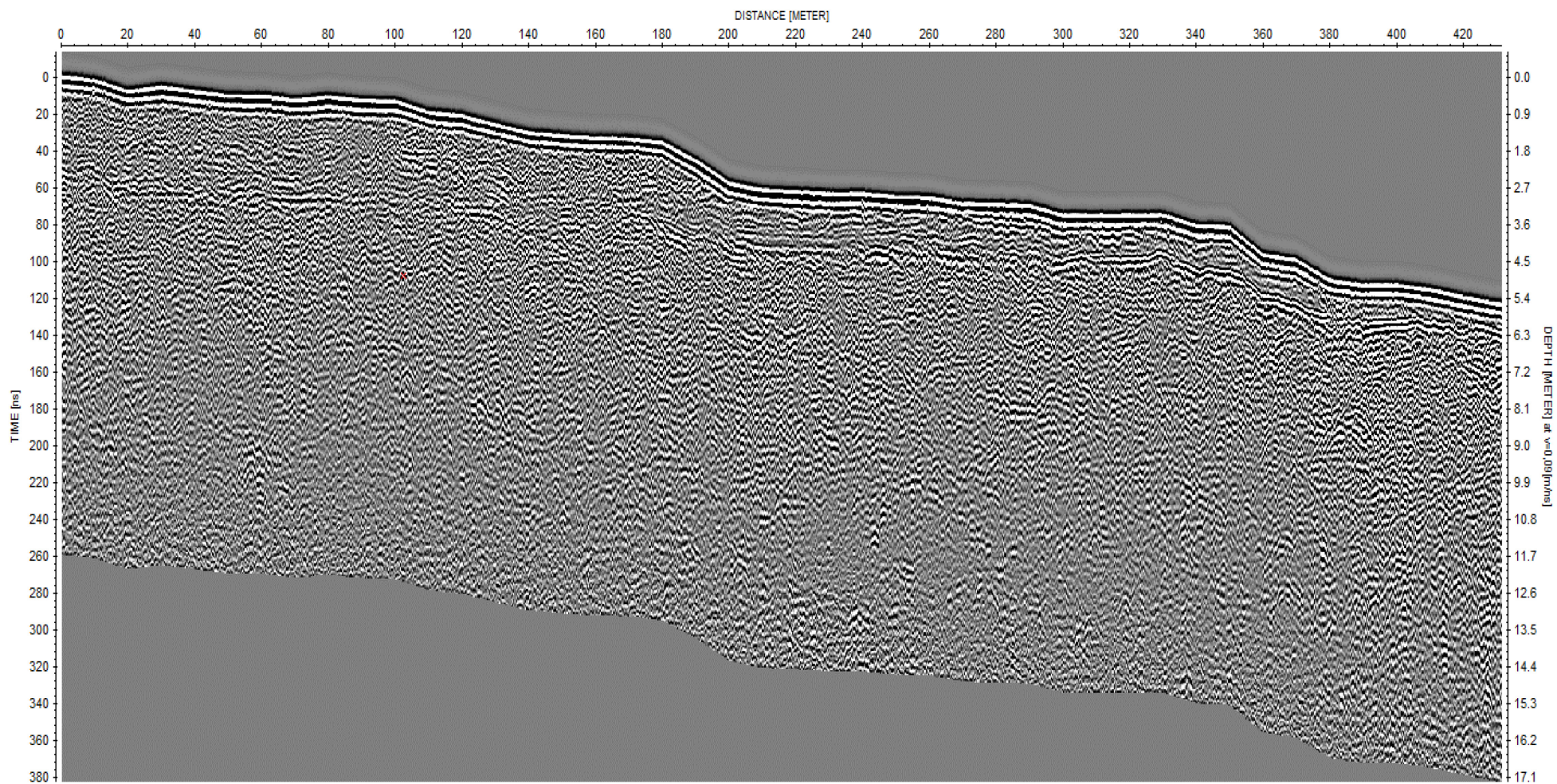
*Figur 69: Profil 4 med 50 MHz antenne.*





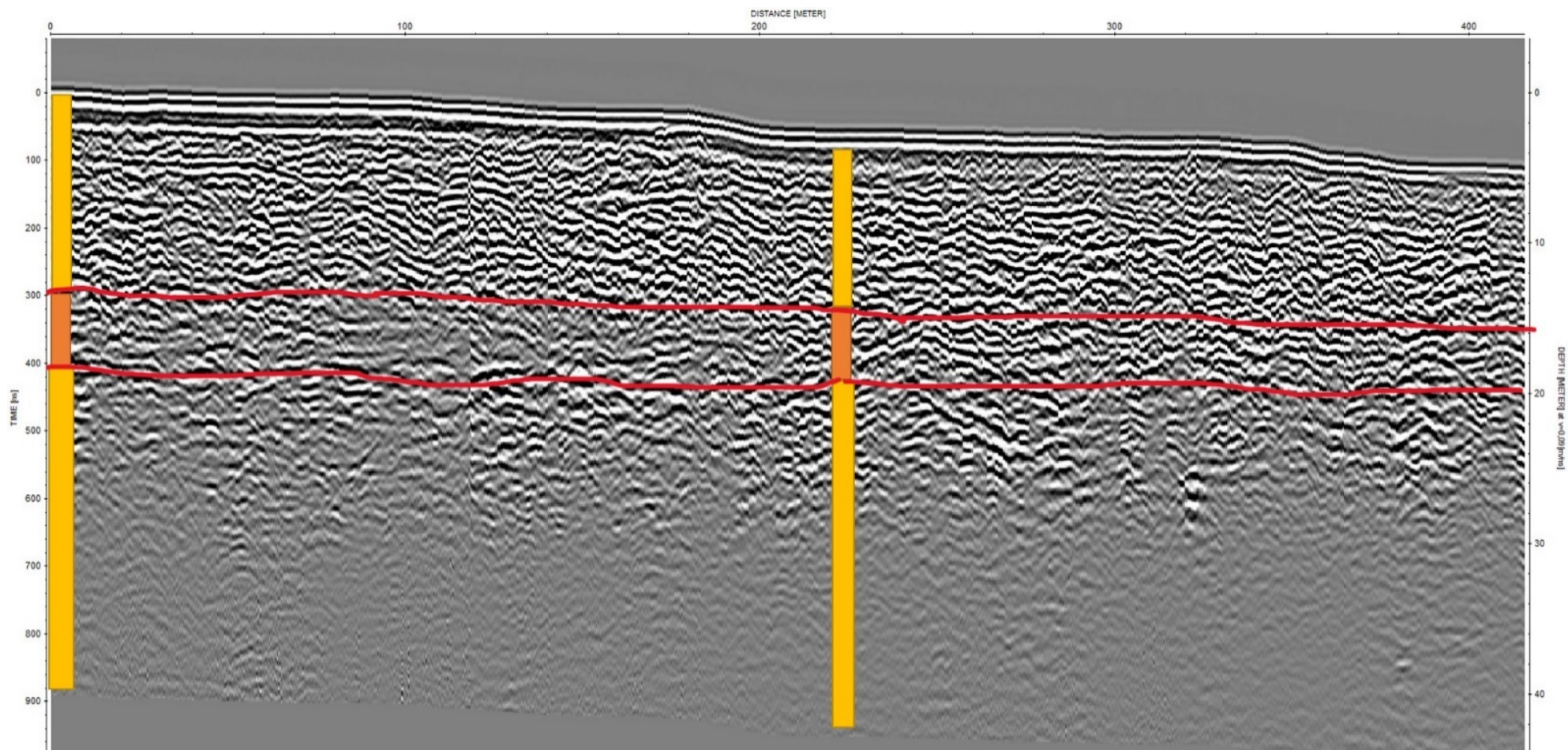
*Figur 70: Profil 4 med 100 MHz-antenne.*





*Figur 71: Profil 4 med 250 MHz-antenne.*





*Figur 72: Profil 4 med 50 MHz-antenne med tolkning og innlagte boringer fra NGU i 1997. Gul farge er sand/grus og brun finsand/silt.*

Figur 69,70 og 71 viser forskjellene en får frem ved å benytte de forskjellige antennefrekvensene.

Der det er benyttet 50 MHz-antenne vises ikke detaljer like tydelig i profilet, grunnvannsspeilet blir blant annet vanskelig å plukke ut fordi det kommer for tett opp mot overflatebølgen, samt at den inneholder færre diffraksjoner fra stein sammenliknet med de andre antennene. Den viser derimot tendensene i overganger i refleksjonskonfigurasjoner tydeligere enn de andre antennene, spesielt mot dypet når en skal tolke løsmassesammensetningen.

Profilet med 250 MHz-antenne får frem detaljene godt, men det er begrenset hvor dypt en kan se på grunn av dempingen og valgte tidsvindu. Denne antennen blir dermed ikke like interessant til tolkningen av sammensetningen av løsmassene. Grunnvannsspeilet kommer her tydeligere og er mer presist plassert enn det blir ved å benytte 100 MHz-antennen. Samtidig viser profilet flere diffraksjoner sammenliknet med de andre antennene, som tyder på at det er et betydelig innhold av stein i den øverste lagpakken.

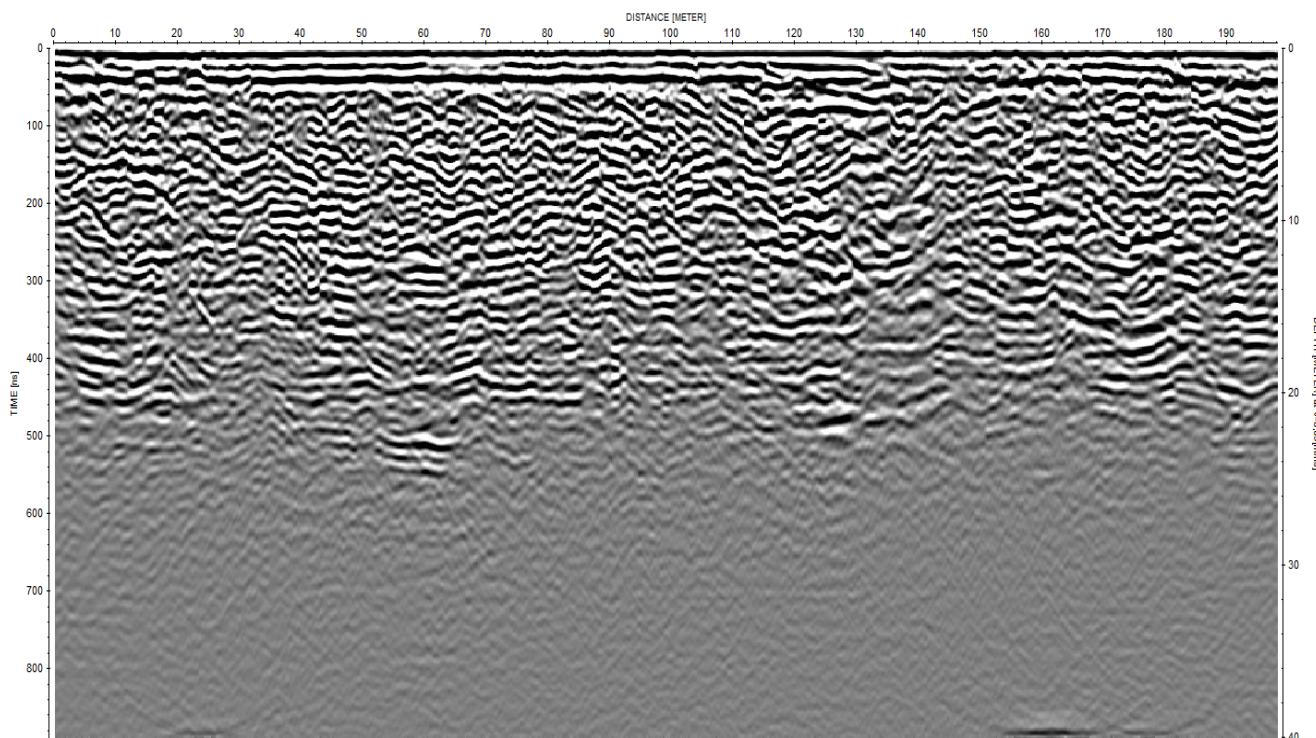
100 MHz-antennen får frem de geologiske strukturene godt, men det blir nærmest en litt for stor grad av detalj som vises i profilet som gjør at det blir vanskelig å se tydelige endringer i strukturene mot dypet sammenliknet med 50 MHz-antennen. Dette fordi det på generell basis er en kaotisk refleksjonskonfigurasjon med mye diffraksjoner fra stein i de fleste lagpakken.

I figur 72 er boringene fra NGU-undersøkelsen fra 1997 lagt inn i profilet gått med 50-MHz-antenne (Klemetsrud, 1997). I profilet kan det registreres tre forskjellige refleksjonskonfigurasjoner. De øverste 10-12 meterne er dominert av skrå refleksjoner og indikerer vifteavsatt sand og grus. Etter profilet er korrigert for topografien kommer det en overgang i refleksjonskonfigurasjon som er tilnærmet horisontal. Denne refleksjonskonfigurasjonen er mer parallell, undulerende og lagdelt (mellom de røde markeringene). Dette indikerer finere sand/silt avsatt i mer stillestående vann (Mauring et al., 1994), og overlapper med finsandlaget fra boringsloggene til NGU. Under finsandlaget kommer en mer kaotisk refleksjonskonfigurasjon, som kan tolkes til kryss-sjiktet sand og grus (Mauring et al., 1994). Ved å prøve å gjenkjenne disse refleksjonskonfigurasjonene i andre profil kan en forsøke å tolke profiler som ikke er knyttet til noen boringer.

## 5.6.2 Tolkning av andre profiler

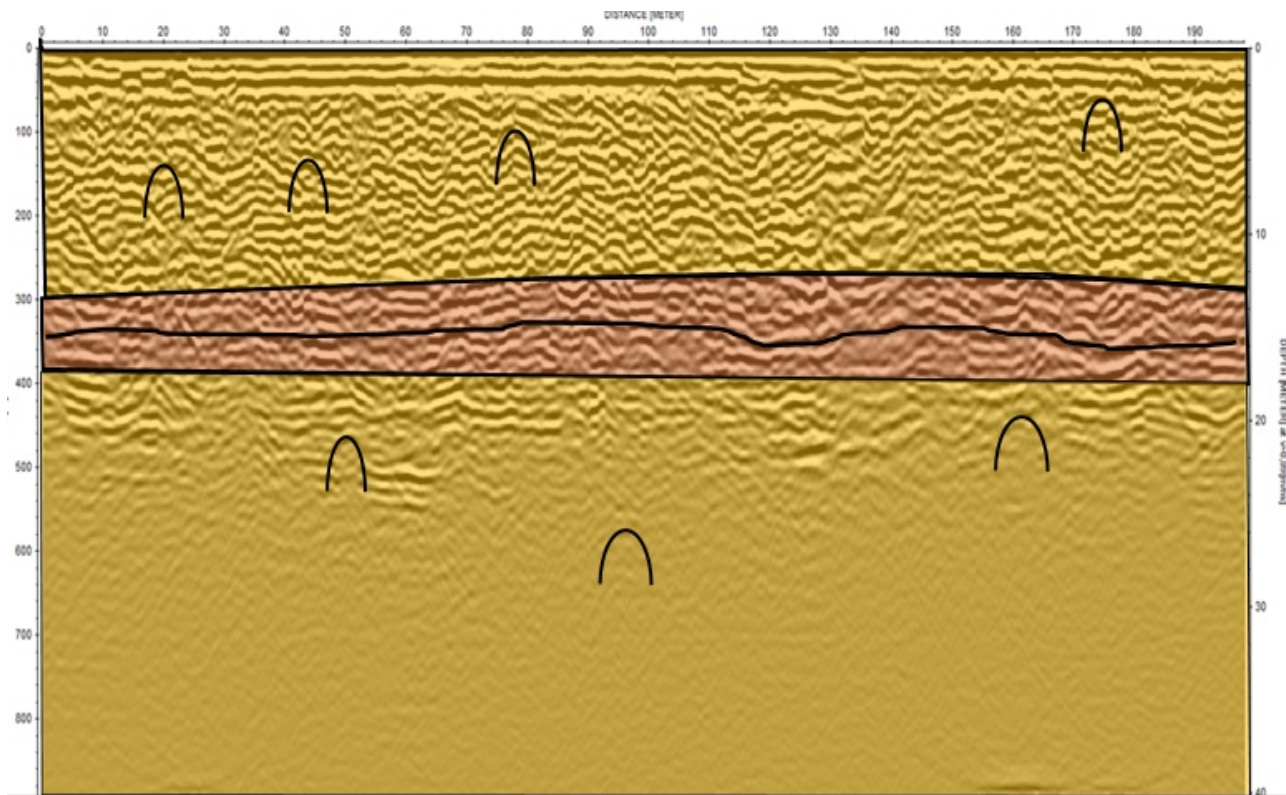
I dette delkapittelet forsøkes det å identifisere de tre forskjellige refleksjonskonfigurasjonene fra profil 4 i andre profil rundt på Frya. Disse tolkningene er usikre og gir kun indikasjoner på om alle disse lagpakkene er kontinuerlige rundt om på Frya. Enkelte refleksjoner er fremhevet i de innlagte profilene, dette for å vise tolkningene. De forskjellige lagpakkene er farget med gult og brunt, der gul er sand/grus og brun er finsand/silt. Det skal også nevnes at det vil være betydelig lettere å se radarprofilene digitalt, hvor det er større oppløsning og en har muligheter til å zoome inn på profilene, sammenlignet med utskriftsform og på papir.

Nedenfor vises profil 31 (se figur 32 for plassering). I dette profilet er det også brukt 50 MHz-antenne, og det er gått normalt på avsetningsretningen til Frya. En ser dermed ingen skrålagsstruktur i øvre del av profilet, men en mer kaotisk refleksjonskonfigurasjon på grunn av diffraksjoner fra større stein. Ved cirka 350 ns gangtid er det en overgang til en mindre kaotisk og mer parallell/lagdelt refleksjonskonfigurasjon, som kan tolkes til finsandlaget. Under dette laget er refleksjonene blitt kraftig dempet, men en kan skimte en mer kaotisk refleksjonskonfigurasjon med diffraksjoner fra potensielt grovere avsetninger under.



Figur 73: Profil 31 (se figur 32 for plassering) gått med 50 MHz-antenne.

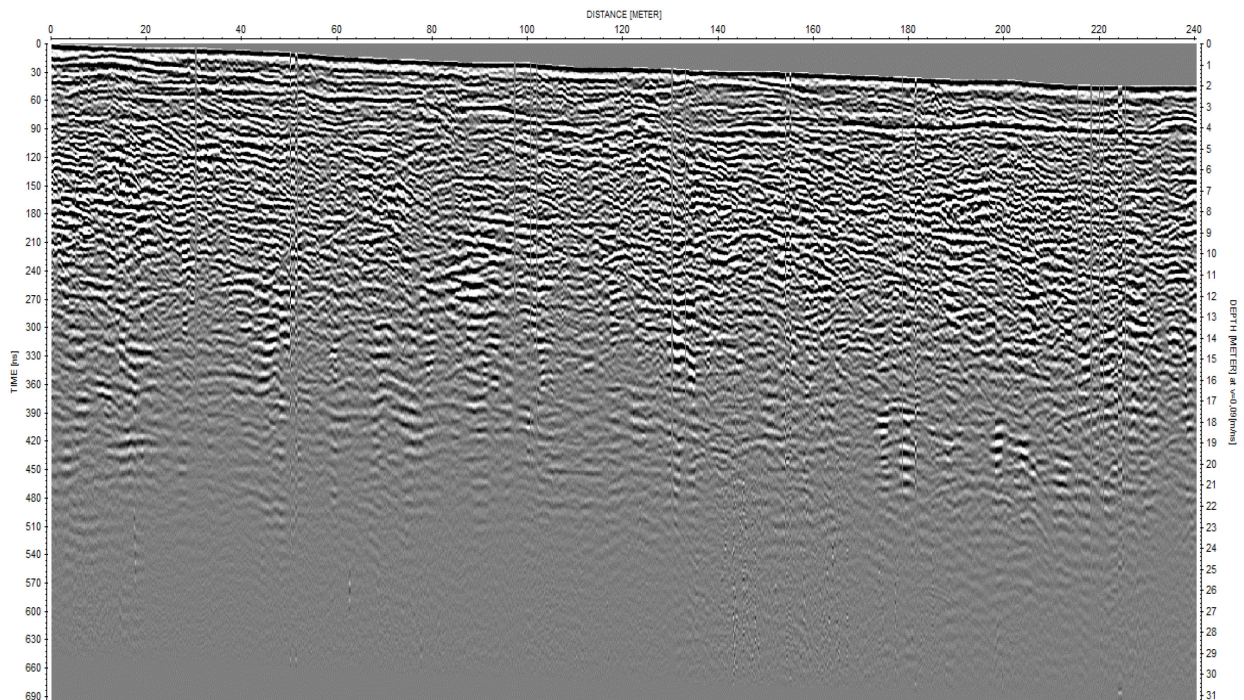




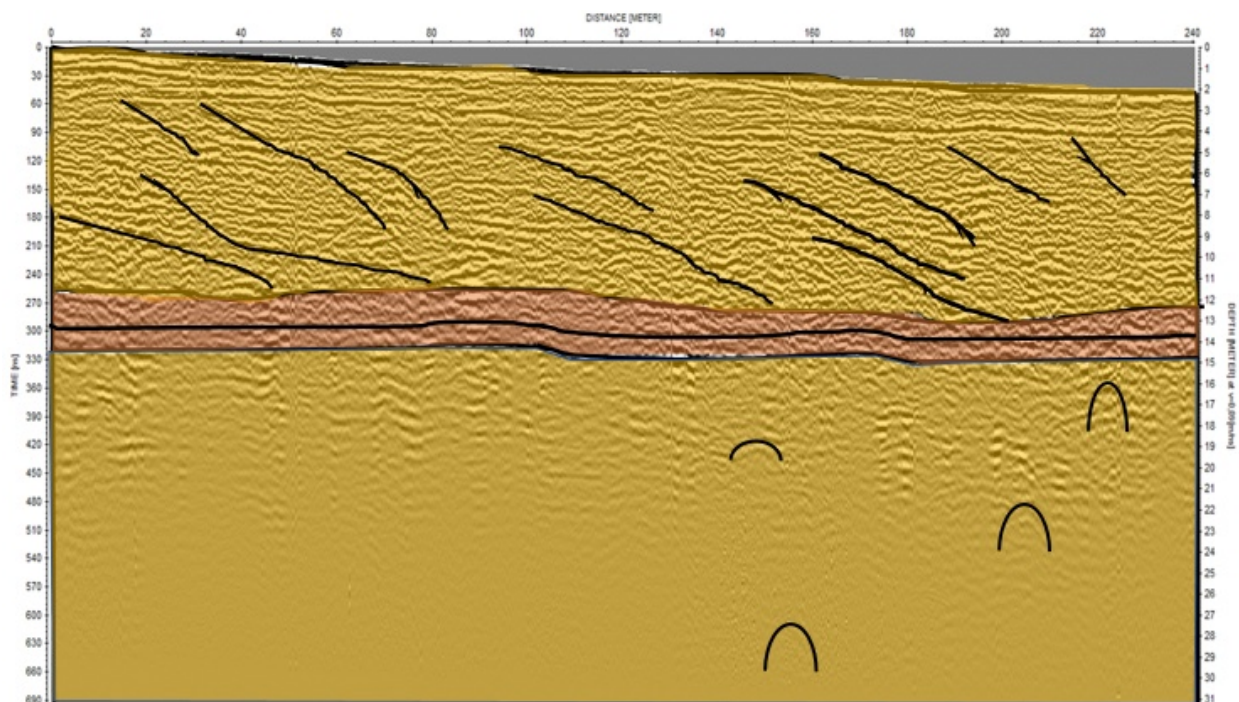
*Figur 74: Profil 31 med fremhevet tolkning av refleksjonskonfigurasjoner og lagpakker, der gul er sand/grus og brun mulig finsand/silt.*

Profil 17 nedenfor går langs avsetningsretningen til elva Frya (se figur 32 for plassering). Her kan skrålagsstrukturene tolkes ned til 240 ns gangtid. Ved 240 ns gangtid kan samme overgang til parallell, lagdelt konfigurasjon tolkes som i profil 4. Brønnen til Frya renseanlegg er plassert i nærheten av enden til dette profilet, der er det masser med god hydraulisk konduktivitet fra 18-21 meters dyp. Det er en overgang til sterkere refleksjoner mot dypet i enden av profilet, som kan vitne om grovere løsmasser og passer med filterplasseringen til brønnen.





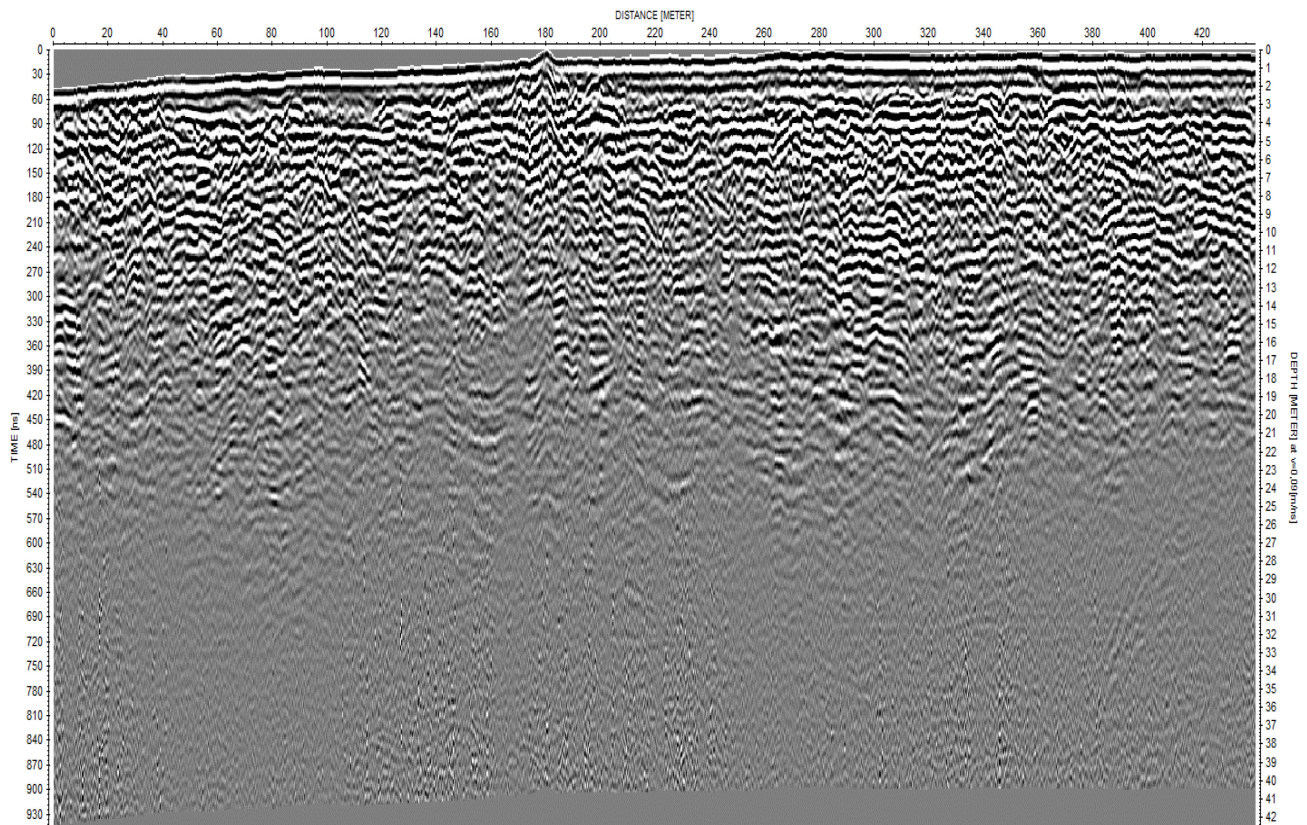
Figur 75: Profil 17 gått sørover langs Flyplassvegen med 100 MHz-antenne, korrigert for topografien (se figur 32 for plassering).



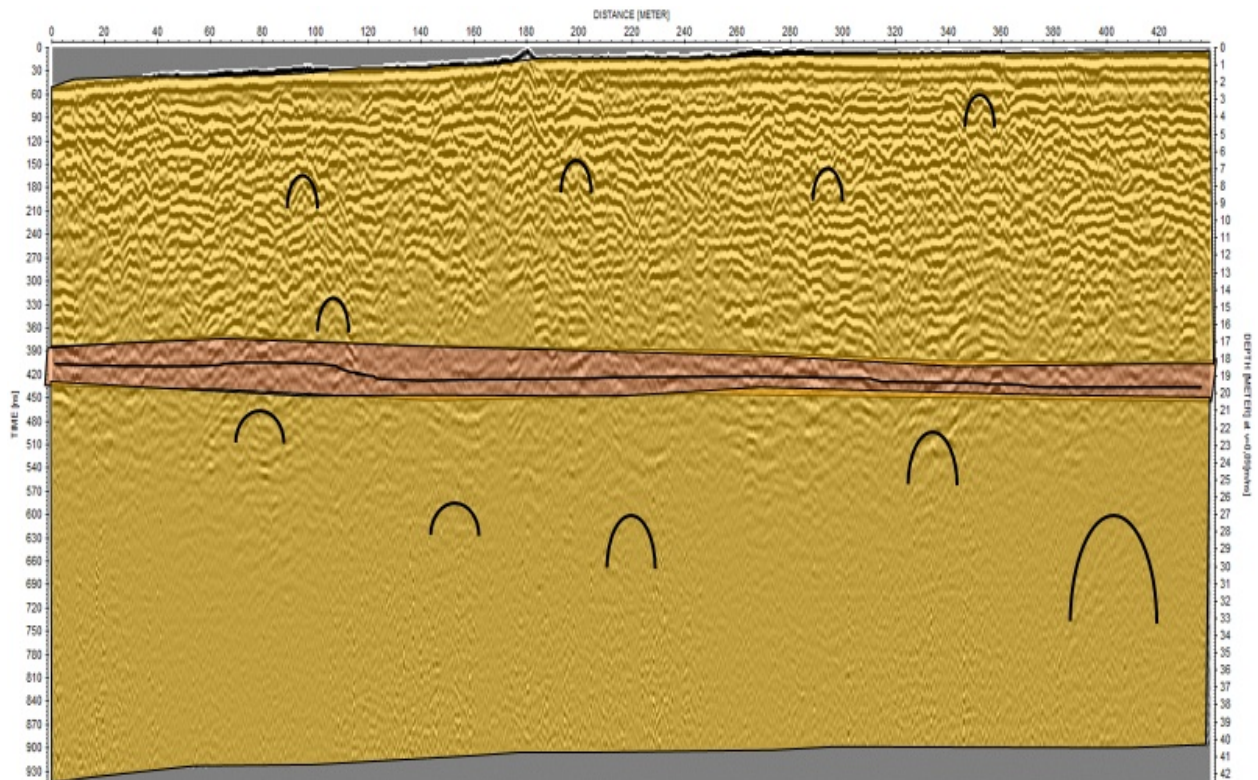
Figur 76: Profil 17 med fremhevet tolkning av refleksjonskonfigurasjoner og lagpakker, der gul er sand/grus og brun mulig finsand/silt.



Nedenfor vises profil 32 som er gått langs flystripa, på dette profilet er det benyttet 50 MHz-antenne (se figur 32 for plassering). Profilet er gått normalt på avsetningsretningen til Frya, så det er ingen skrålagsstruktur å se i den øvre lagpakken. En overgang til en horisontal lagdelt pakke som demper mye av bølge-energien kan tolkes ved 390 ns. Brønnområdet til Tine Frya er ved enden av profilet, hvor en vet det er løsmasser med god vanngiverevne ned til 36 meter under bakken. Mot dyppet i profilet kan en se svake diffraksjoner som kan vitne om disse grove løsmassene.



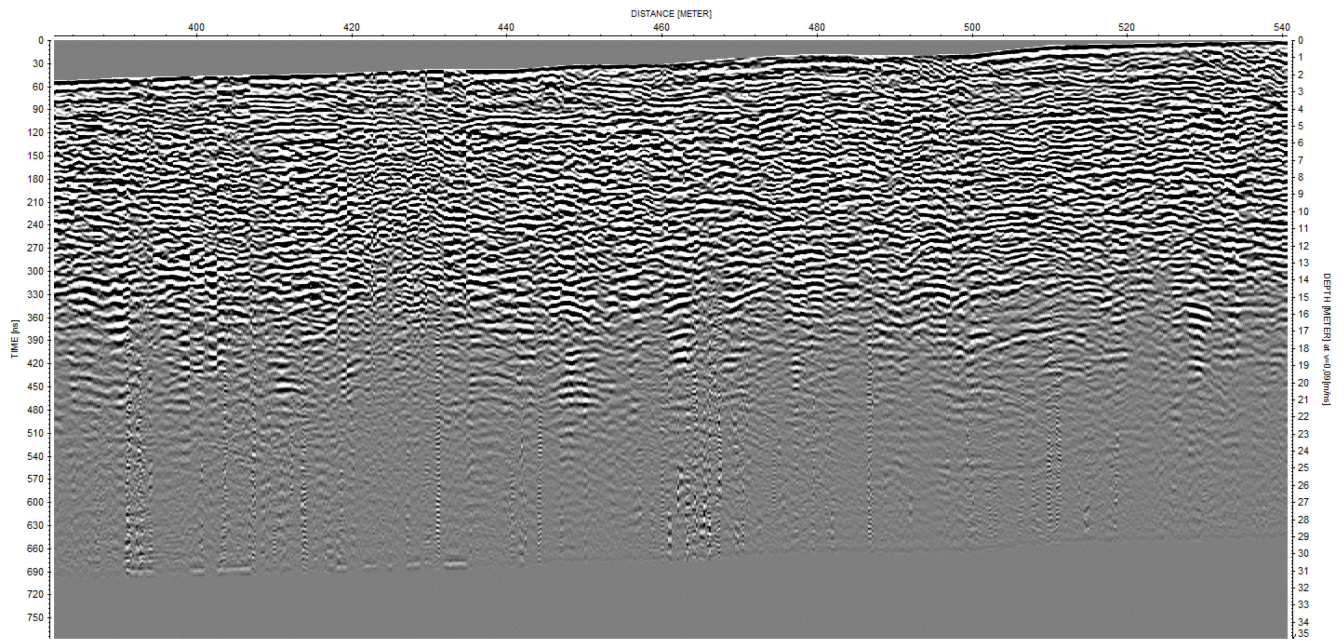
*Figur 77: Profil 32 gått langs flystripa med 50 MHz-antenne, korrigert for topografien (se figur 32 for plassering).*



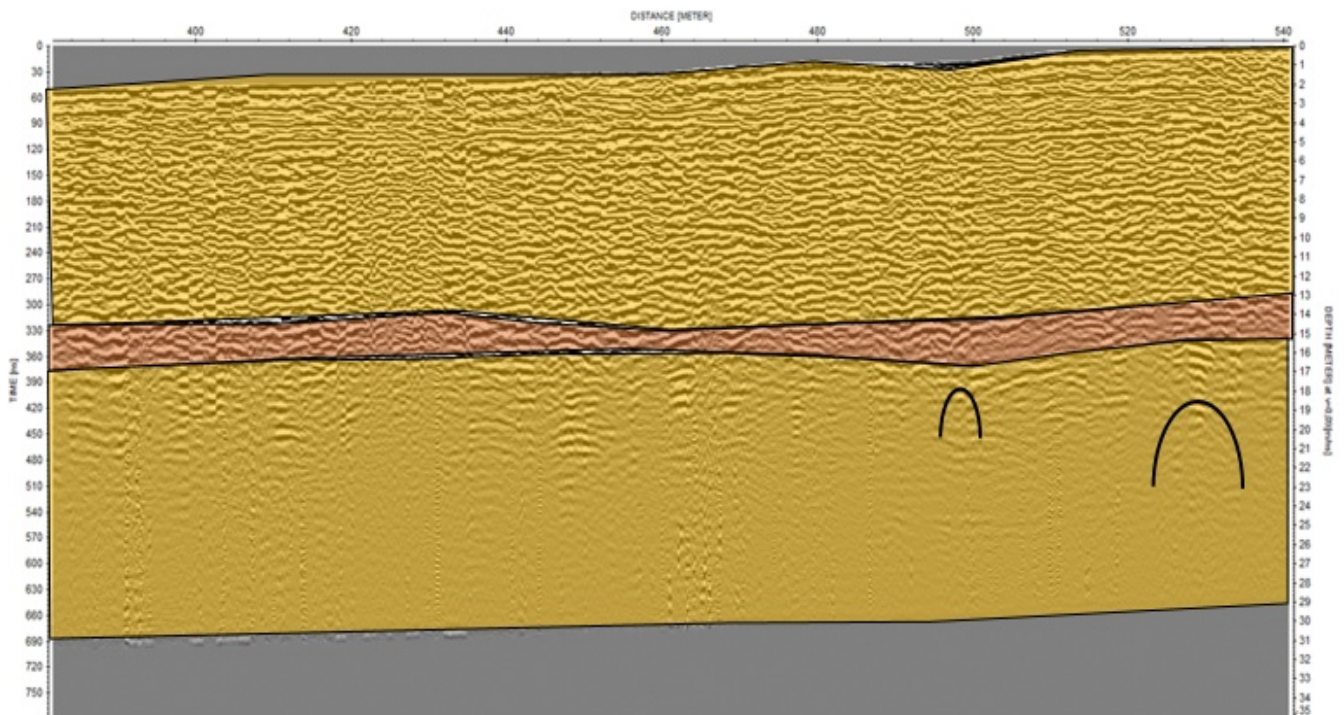
Figur 78: Profil 32 med fremhevet tolkning av refleksjonskonfigurasjoner og lagpakker, der gul er sand/grus og brun mulig finsand/silt.

Nedenfor vises profil 14. Det krysser profil 32 ved 520 meter, og er gått mot avsetningsretningen til Frya med 100 MHz-antenne (se figur 32 for plassering). I dette profilet er skrålagsstrukturen mindre tydelig, samt overgangen til den horisontale lagpakken mindre tydelig enn i profil 32. Det er en lagpakke som demper signalene ved omtrent 370 ns som på profil 32, og kan knyttes til et finsand/silt-lag. Mot dypet kan en også her se en svak men kaotisk refleksjonskonfigurasjon.



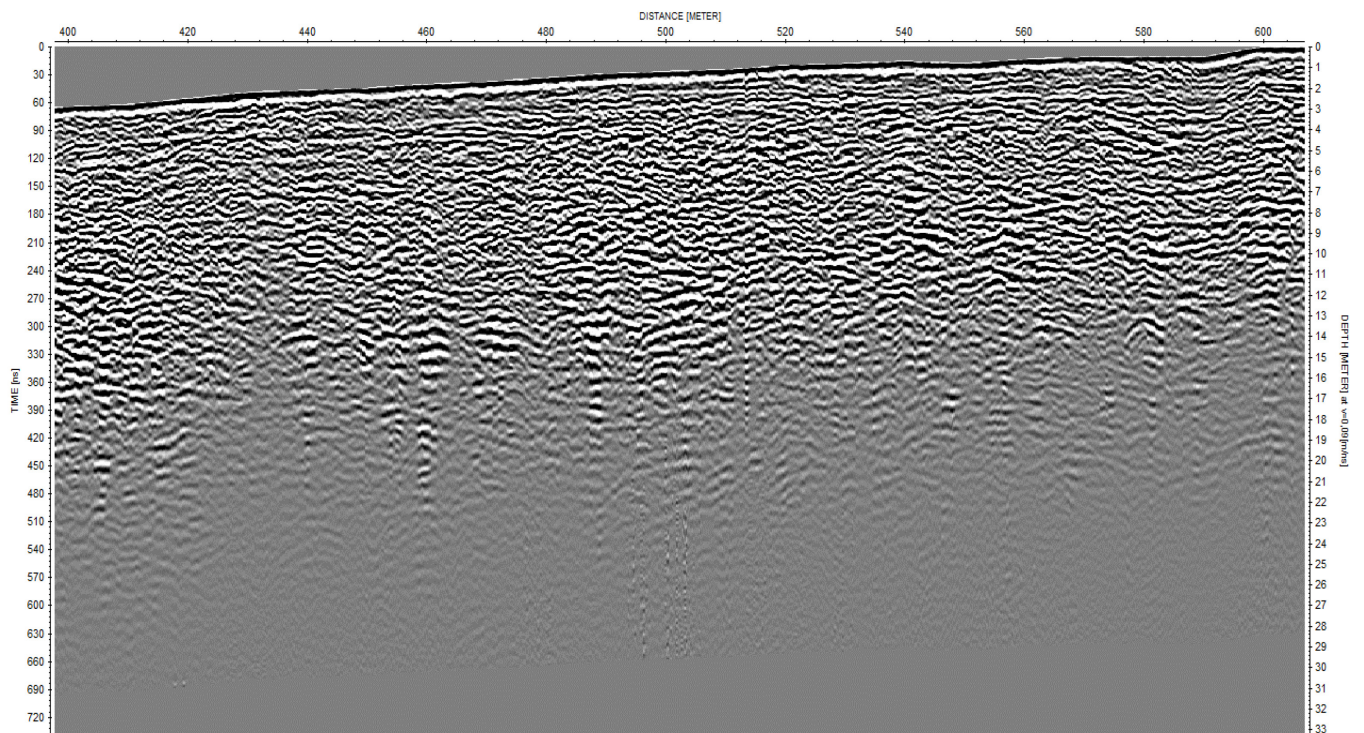


Figur 79: Profil 14 gått nordover mot flystripa med 100 MHz antenne, korrigert for topografien (se figur 32 for plassering).



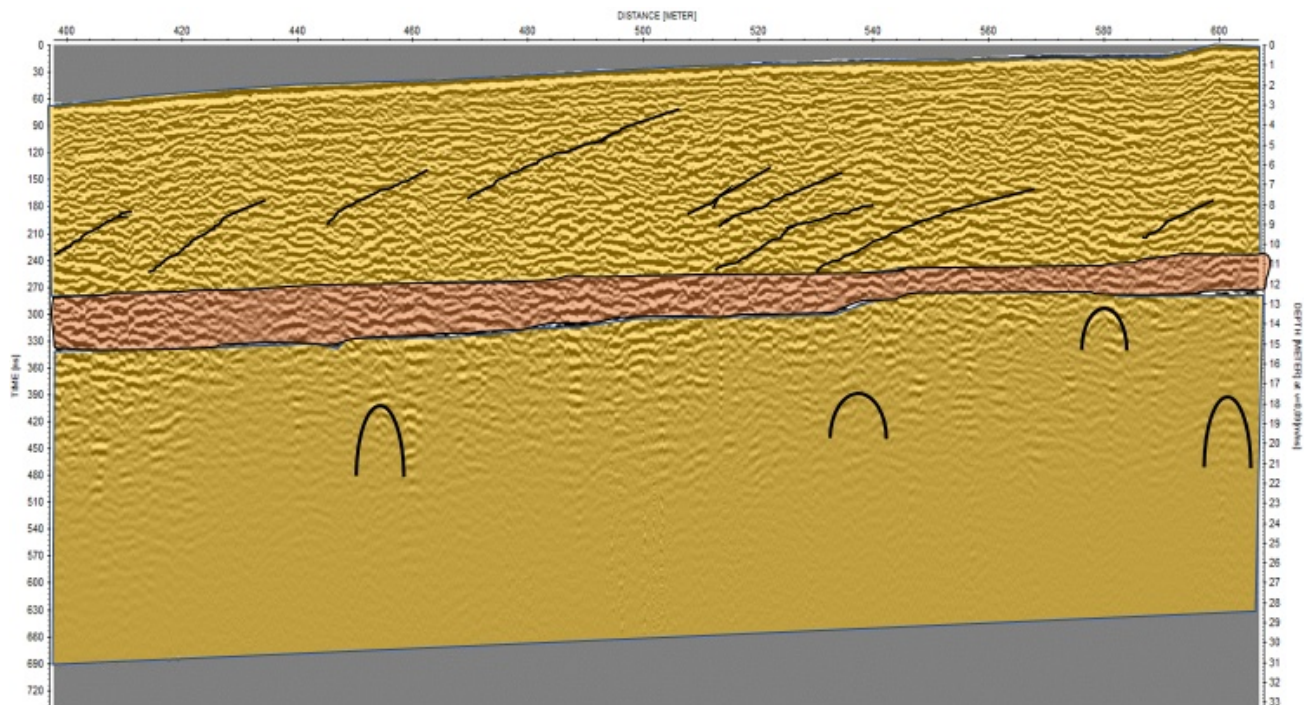
Figur 80: Profil 14 med fremhevet tolkning av refleksjonskonfigurasjoner og lagpakker, der gul er sand/grus og brun mulig finsand/silt.

Profil 21 vises nedenfor, og er gått parallelt med profil 14 lengre vest på studieområdet, denne også med 100 MHz-antennen. En ser på profilet at signalamplituden dempes kraftig etter rundt 300 ns, og at refleksjonene i dette området er mer horisontale og parallelle, i motsetning til refleksjonene over som er mer kaotiske. Profilet ender like ved Tine Frya sin brønn hvor en vet det er løsmasser med god hydraulisk konduktivitet ned til 36 meter under bakkenivå. Mot dypet i enden av dette profilet kan en igjen skimte en kaotisk refleksjonskonfigurasjon under den dempende lagpakken, dette passer med filterplasseringen i denne brønnen.



*Figur 81: Profil 21 gått med 100 MHz-antenne, korrigert for topografien (se figur 32 for plassering).*





*Figur 82: Profil 21 med fremhevet tolkning av refleksjonskonfigurasjoner og lagpakker, der gul er sand/grus og brun finsand/silt.*

Det er vanskelig å plukke ut en horisontal overgang til finsand/silt blant horisontalt lagdelt elvesand og grus. Mange profiler gir indikasjoner på en konfigurasjon som minner om refleksjonskonfigurasjonene til profil 4, og på mange av profilene mister en betydelig energi og amplituden på signalene blir betydelig svakere mellom 10 til 20 meters dybde. Overgangene er dog ikke tydelige, og tolkningene ikke sikre.

Om det er et kontinuerlig avsatt finsand-lag på hele Frya bør derfor utredes videre med sonderboringer og/eller undersøkelsesbrønner for å kontrollere tolkningene gjort med georadar. Er det en kontinuerlig avsetning med finsand/silt på Frya, kan denne gi en bedre beskyttelse mot forurensning fra arealbruken for dypere grunnvannsmagasin, og bør derfor utredes videre, da georadarmålinger alene ikke gir gode nok indikasjoner på at dette er tilfelle. Hvis laget stammer fra en gammel bresjø-avsetning vil det kunne ha blitt avsatt over hele vifta, men at laget finnes kontinuerlig over hele elvevifta i dag er derimot mindre sannsynlig. Elva Frya eller Gudbrandsdalslågen vil antakelig på et tidspunkt stedvis ha erodert i finsand/silt-laget og punktert dette laget. Finsand-laget kan også være et resultat av en flomavsetning eller en bak- evje i elvene, og det behøver dermed ikke å bli avsatt over hele Frya.

Generelt viser de fleste profilene en kaotisk refleksjonskonfigurasjon mot dypet, og ingen av georadarprofilene klarer å indikere grunnfjell i bunn. Fra brønnene som eksisterer i dag og boringene som er gjort vet en at det er vannførende masser helt ned til 36 meters dybde, og de svake kaotiske refleksjonene i bunn må stamme fra dette.

## 6 DISKUSJON

I følgende kapittel vil først usikkerheter rundt resultater, modeller og tolkninger bli diskutert. Deretter vil georadar som metode for kartlegging av grunnvannsstrømmer bli diskutert og sammenlignet med mer tradisjonelle metoder med målinger i peilebrønner. Til slutt diskuteres resultatene, og basert på diskusjonen vil en foreslå en strategi for etablering av akvakulturanlegget på Frya.

### 6.1 Gyldighet for tolkninger og resultater

#### 6.1.1 Ekvipotensialkart

Kartet kun basert på målinger i brønner gir ikke et godt nok bilde av grunnvannsstrømmen. Ideelt sett skulle flere målinger blitt utført, da målingene som ble utført dekker kun ytre og øvre deler av studieområdet. Blant annet ble det forsøkt målt i NGU sine undersøkelsesbrønner fra 1997, men rørene var dessverre tette og avbøyde. Det samme gjelder også andre grunnvannsuttak rundt studieområdet hvor det ikke lot seg komme til med måleutstyr.

Det er flere usikkerheter knyttet til ekvipotensialkartet hvor det er benyttet data fra georadarprofilene. Kartet sin funksjon er å gi et bilde av den regionale grunnvannsstrømmen kontra å vise nøyaktig hvordan grunnvannet strømmer i detalj.

Valg av bølgehastighet for georadarmålingene, for å kunne knytte en hendelse i tid til riktig dybde, er en større usikkerhet. Det optimale hadde vært om avsetningen var helt homogen og isotrop, slik at man kunne benytte samme hastighet på alle profil. Dette var ikke tilfelle, og det ble valgt forskjellige bølgehastigheter rundt om på studieområdet. Dette vil være en mulig feilkilde. Bølgehastigheten i det geologiske mediet styres av dens dielektriske egenskaper, og den vil variere avhengig av porøsiteten og innholdet av luft, vann, snø og is samt løsmassekornene sine dielektriske egenskaper (Roth et al., 1990; Reynolds, 2011). Øverste dekket av Frya-avsetningen er en flomavsetning (Sletten et al, 2020), og under dette laget er det grove masser av grusig sand/sandig grus med innslag av stein (Klemetsrud, 1997; Geovita, 2010). Det må derfor forventes naturlige variasjoner i både porøsitet, vanninnhold og teledypet i bakken som gir varierende bølgehastigheter. Generelt var det kun stedvis tynne lag av snø og is under feltkartlegging på Frya, dens påvirkning på bølgehastigheten vil dermed anses som liten, men er allikevel en feilkilde som er verdt å nevne. Bølgehastigheten kan også variere langs

mange av profilene, samt at den kan variere mot dypet avhengig av løsmassenes pakningsgrad, dette var det vanskelig å ta høyde for.

Hastighetskalibreringene som ble utført viste en variasjon fra 0,125 m/ns til 0,157 m/ns, alle disse hastigheten er innenfor de foreslåtte verdiene fra teorien (se tabell 1). Dette er en hastighetsforskjell på omtrent 25%, som vil gi større utslag jo dypere refleksjonen kommer fra. Fra grunne refleksjoner med f.eks. 50 ns i gangtid vil denne hastighetsforskjellen plassere hendelsene på henholdsvis 3,125 og 3,925 meter under bakken, et utslag på 0,8 meter. For dypere refleksjoner, med f.eks. 150 ns gangtid, vil hendelsene plasseres på henholdsvis 9,375 meter og 11,775 meter, et utslag på 2,4 meter. Å benytte feil hastighet gir dermed rom for feil i modellen.

Ideelt sett skulle det blitt utført flere hastighetskalibreringer mot grunnvannsnivåer i brønner spredt rundt på Frya, men dette var dessverre ikke mulig. På den andre siden var det faktisk mulig å utføre hastighetskalibreringer på mange profiler som ikke kunne knyttes til en måling av grunnvannsnivået, dette på grunn av et vesentlig innhold av større stein i den øverste lagpakken på Frya. Diffraksjonene fra steinene ga mange hastighetsestimater, dette var et verdifullt verktøy som ofte ble benyttet, og det minsker graden av feilkilder i modellen. Hyperboltilpasningene ga gode estimater på bølgehastigheter med to desimalers nøyaktighet, det ble utfordrende å få det mer nøyaktig enn det.

En annen feilkilde er nøyaktigheten til selve georadarmålingene og utplukking av hendelser. Pulsbredden/størrelsen og skarpheten på refleksjonen i radargrammene gjør at man ikke kan plukke ut en hendelse til en nøyaktig gangtid, det vil være en feilmargin med flere nanosekund avhengig av hvor i refleksjonen man plukker ut hendelsen. Det mest optimale hadde vært å benyttet 250 MHz-antennen til kartlegging av grunnvannsnivåene, med denne vil pulsbredden bli mindre og den vertikale oppløsningen bedre (Neal, 2004), men under feltkartleggingen var ikke kartlegging av grunnvannsnivået eneste fokus, da en også ønsket å kartlegge løsmasseutbredelsen og sammensetningen. Hvis det var kun mektigheten på umettet sone og grunnvannsnivå som var av interesse, ville det vært mer hensiktsmessig å benytte 250 MHz-antennen framfor 100 MHz, sett i ettertid

En annen feilkilde var bruk av trådsnelle og manuelle gps-innmålinger av profilene. På flere profiler var det forskjellig lengde på innmålte gps-profil og det som ble registrert på georadaren,



dette gjør georefereringen i ettertid utfordrende. På noen profiler var det opp mot 5% forskjell i lengde mellom innmålte gps-profil og georadaren, og er en feilkilde da man i ettertid kan ha plassert grunnvannsnivåer på feil koordinater. Terrenget på Frya er i hovedsak ganske flatt, og det samme er grunnvannsspeilet, og eventuelle feilplasseringer gir trolig ikke store utslag på bilde av grunnvannsstrømmen og mektigheten på umettet sone. I modellen hvor færre punkter ble det benyttet var punktene som ble brukt mer sikre, både med tanke på grunnvannsnivået og georefereringen. Ved å bruke GPS istedenfor trådsnelle til opptak av georadarprofil kunne man redusert feilkilden på georefereringen. I tillegg må det tas høyde for en liten feilmargin i høydemodellen, men denne vil (i dette tilfellet) være lite utslagsgivende.

Feil hendelser kan ha blitt plukket ut i radarprofilene, dette er også en feilkilde. Området bærer preg av horisontalt lagdelt sand og grus, som gjør grunnvannsreflektoren langs enkelte profil vanskelig å plukke ut, spesielt når grunnvannsreflektoren kommer fra dybder på rundt 10 meter eller mer. I disse tilfellene er det lite amplitude igjen på signalene som gjør det vanskeligere å sammenligne refleksjonene mot hverandre, og en kan ikke utelukke at en har plukket ut en grunnvannsrefleksjon fra radarprofilene som egentlig er en horisontal geologisk lagdeling. På enkelte profil kan grunnvannsnivået vært skjult på grunn av løsmassenes kapillærsug og en gradvis overgang til full vannmetning. I profil 9, 28 og 18 (som til dels ikke ble benyttet) var det vanskelig å plukke ut grunnvannsreflektoren sammenhengende, og det er mulig at det er på grunn av faktorene nevnt over.

Generelt ligger grunnvannsnivået på Frya i grove løsmasser med lite kapillærsug, som gjør at grunnvannsreflektoren kommer tydelig fram og gjør den mulig å plukke ut. Profiler er gått på kryss av hverandre, og tolket sammen for å sikre at man følger og ser samme refleksjonen i flere profil. Georadarprofilene er også korrelert mot flere målinger av grunnvannsnivået, og selv om det er mange profiler som ikke kan knyttes direkte til en måling av et grunnvannsnivå, vil de indirekte kunne det i og med man har knyttet profilene sammen.

Hvor representativ ekvipotensialkartet er for grunnvannsstrømmen gjennom året er også uvisst. Ekvipotensialkartet fanger kun et øyeblikksbilde i mars, etter en kald vinter med lite nedbør og en vannstand i Gudbrandsdalslågen som lå under 25-75 persentilen (se kap 3.2). I følge Colleuille et al., 2005, og Winter et al., 1998, har vannstanden i elva liten påvirkning på grunnvannsstrømmen og utvekslingen mellom vassdrag og grunnvannsmagasin. Høyere

vannstand i elva fører kun til temporær lagring i elvebankene, hvor det infiltrere elvevannet vil returnere til vassdraget etter kort tid. Hvis dette er tilfelle for grunnvannsmagasinet på Frya, vil ikke vannstanden innvirke på den regionale grunnvannsstrømmen i stor grad. Strømningsbildet kan fort bli annerledes ved store flomperioder og/eller perioder om sensommeren, hvor det er større nedbørmengder (se kap 3.2.4) og selvmatingen av grunnvann er større. Nøyaktig hvordan strømningsbildet ser ut i en slik situasjon må eventuelt utredes ved en annen anledning. Fra Fetter, 2001, sies det også at målingene bør tas til omtrent samme tid for å representere strømningsbildet så godt som mulig. I dette tilfellet ble målingene utført i en periode over fire dager (16.-19. mars). I løpet av disse fire dagene var det oppholdsvær og vannstanden i Gudbrandsdalslågen stabilt lav. En antar derfor at dette ikke har særlig innvirkning og at målingene representerer strømningsbildet godt nok. På grunn av lite nedbør og lav vannstand antar en at målingene viser et potensielt minimumsnivå for Frya, og at det sjelden vil bli lavere grunnvannsspeil og større mektighet på umettet sone enn det var under feltkartleggingen.

Studieområdet på Frya var stort, det ble gått 12,5 km med georadar, og da dekket man området i et rutenett med 300-500 meter avstand mellom profilene. Med andre ord er det blitt interpolert mellom lange avstander. Denne interpoleringen er utført lineært, og det er ikke gitt at er det korrekt i alle situasjoner på Frya. Ideelt sett kunne en gått enda tettere, men på grunn av inngjerdede områder, industri og anleggsarbeid var ikke dette gjennomførbart. Hadde studieområdet vært mindre ville det vært hensiktsmessig å gå i et tettere rutenett, men for kartleggingen som ble gjort på Frya vurderes tettheten til å være god nok.

Som diskutert er det en del usikkerheter knyttet til modellen, som medfører at den delvis er unøyaktig. Samtidig viser modellen kanskje det mest sannsynlige utfallet, og sammenligner man med kartet som ble produsert kun med målinger fra brønner bryter ikke modellen noen av tendensene man ser fra det kartet.

### **6.1.2 Løsmassetolkning basert på georadar**

Det ble forsøkt å tolke løsmassesammensetningen rundt om på Frya basert på refleksjonskonfigurasjonene man så i profil 4, der man hadde god kontroll på geologien mot dypet. Dessverre ga ikke profilene noen entydige svar, og det beste vil være å knytte flere boringer opp mot profilene for å kontrollere tolkningene. Radarprofilene på Frya er generelt kaotiske på grunn av grove løsmasser som gir mye diffraksjoner, dette vises spesielt på profilene

med 100 MHz-antenne. Det ble derfor vanskelig å identifisere refleksjonskonfigurasjonene og finne tydelige overganger.

Mye tyder på at det er noe som demper en del av amplituden til radarbølgene 10-20 meter under bakken, men om det kan knyttes til et kontinuerlig finsand-/siltlag er usikkert. Fra tabell 1 kan en se at det typisk vil være en høyere ledningsevne i siltige masser som vil være med å dempe signalene og dybderekkevidden (Neal, 2004), men det kan også være en frekvensavhengig demping som gjør at det er vanskelig å se dypere enn man gjør. Den frekvensavhengige dempingen styres av at mye energi blir reflektert ut i andre retninger enn direkte tilbake til antennen (Reynolds, 2011), og man kan se av mange av profilene som ble gått at dette var et hyppig fenomen på Frya. Fra vannprøvene til Tine vet en at ledningsevnen i grunnvannet mot dypet er lav, på kun 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (se kap 3.6.2). Det kan dermed utelukkes at grunnvannets ledningsevne mot dypet skaper dempingen, det må knyttes til et eventuelt lag med høyere ledningsevne eller en frekvensavhengig demping.

På grunn av dempingen er det vanskelig å tolke geologien som ligger under, men fra boringene og brønnene som er utført på studieområdet vet en at det er en stor mektighet av løsmasser, og at de mot dypet er grove og svært vannførende. De svake tendensene en ser til et kaotisk refleksjonsmønster må dermed knyttes til dette.

For å få et komplett bilde av løsmassesammensetningen vil det derfor anbefales å gjøre sonderboringer, sette undersøkelsesbrønner for å ta løsmasseprøver og teste kornfordeling mot dypet på massene. Blir dette gjort flere plasser rundt på Frya vil man finne hva det er som demper signalene som de gjør. Å kun utføre sonderboringer og sette undersøkelsesbrønner vil ikke gi et komplett bilde, men å kombinere disse to verktøyene kan gi et godt bilde av løsmassenes utbredelse i tre dimensjoner.

## **6.2 Georadar som metode for kartlegging av grunnvannsstrømmen**

Tradisjonelt produseres ekvipotensialkart basert på målinger i peilerør, som blir plassert strategisk rundt på studieområdet. Studieområdet er stort, og for å kartlegge interaksjonen mellom elva Frya og grunnvannsmagasinet i detalj ville dette ha krevd mange peilerør. Dette ville for det første krevd mye tid, og for det andre vært langt mer kostbart.

Med georadar vil en få en høyere datatetthet, målingene kan gjennomføres over kort tid og av en person. På andre siden er det en høyere usikkerhet i målingene, slik tidligere diskutert, dette blant annet på grunn av:

- hastighetskalibrering
- georeferering
- pulsbredden og antenneegenskaper

På grunn av unøyaktighetene vil georadar være mer uegnet til å kartlegge flate grunnvannsspeil, hvor det er små endringer i hydraulisk potensial som styrer grunnvannsstrømmen. I områder med veldig flatt grunnvannsspeil vil det kanskje være tilstrekkelig å benytte færre peilerør for å få oversikt over grunnvannsstrømmen. I områder med større endringer i hydraulisk potensial får derimot georadar fram mer detaljer og kan gi en høyere datatetthet og informasjon over større områder sammenlignet med målinger i brønner.

Samtidig er kartlegging av grunnvannsnivå med georadar en lokasjonsspesifikk metode. Grunnvannsnivået kan ikke være for høyt, slik at det blir forstyrret og overdøvet av overflate- og luftbølgen, det må være grove nok løsmasser med lavt kapillærsug slik at overgangen fra umettet til mettet sone er tydelig, det krever kjennskap til referanseverdier og/eller stein/blokker/rør/andre diffraksjoner som en kan tilpasse bølgehastigheten mot, og det kreves tilgang på en detaljert terrengmodell. Den vil også kun være egnet til å kartlegge åpne akviferer.

### **6.3 Løsmassesammensetning**

Generelt er det mye grove løsmasser på Frya. Dette er indikert i flere av boringene som er gjort, og alle grunnvannsuttakene som er der i dag. Den spesifikke kapasiteten på anleggene hos Frya vannverk og Tine Frya vitner om masser med høy vanngiverevne, og at avsetningen på Frya er en egnet lokalitet for grunnvannsuttak.

Fra både NGU-boringene og totalsonderingene gjennomført ved E6 er det tegn på løsere lagret finsand 10-15 meter under bakken. Mange av georadarmålingene som ble utført på Frya mistet en stor andel av amplituden mellom 10-20 meter under bakken, med andre ord er det noe som stjeler energi. Det kan tenkes at det er et finsand/silt-lag med høyere ledningsevne som gjør at det er vanskeligere å se refleksjonene som kommer under, men det kan også være en



frekvensavhengig dempning som skjer på grunn av spredning av energi fra alle diffraksjonene. Uansett vet en fra boringene som er utført og brønnplasseringene at det er høyst vannførende løsmasser mot dypet på Frya, selv om det ikke er lett å se med georadar. En teori er at dette mektige sandlaget stammer fra en stor sandur fra en av interstadialene fra forrige istid (Vorren & Mangerud, 2013).

Hvis det er et lag med finsand/silt som skiller et øvre og nedre grunnvannsmagasin, vil dette ha betydning for sårbarheten for forurensing fra arealbruken på Frya. Hvis det er avsatt et finsand/silt-lag, kan det knyttes mot en lakustrin avsetning. Disse avsetningene vil i utgangspunktet være kontinuerlige, men det er vanskelig å konkludere med dette basert på kunnskapsgrunnlaget fra denne masteroppgaven. Det eventuelle finsandlaget kan fort ha blitt erodert bort og punktert av elva Frya eller Gudbrandsdalslågen under avsetningen av elvevifta på Frya.

## **6.4 Umettet sone og sårbarhet mot forurensning**

### **6.4.1 Infiltrasjonspotensial**

Fra figur 67 ser en at øvre deler av Frya er best egnet til infiltrasjon på grunn av størst mektighet på umettet sone. Grunnvannsspeilet vises tydelig i georadarprofilene i dette området, og det vil derfor kunne knyttes til en grov løsmasse med lavt kapillærsug. Fra både Geovita, 2010, og Klemtsrud, 1997, vet en at den øvre lagpakken består av velgradert materiale med sand, grus og stein, og ifølge Gaut, 2009, vil et velgradert materiale ha bedre rensningsegenskaper enn ensgradert materiale. De nedre delene av Frya er flomutsatte (se figur 11) i tillegg til å ha en liten mektighet på umettet sone. Dette gjør nedre deler av avsetningen på Frya uegnet for infiltrasjon av avløpsvann, både i form av åpne infiltrasjonsbasseng og infiltrasjonsbrønner.

### **6.4.2 Akviferens sårbarhet**

Hvor sårbar akviferen er for forurensning og hvor god naturlig beskyttelse akviferen har mot forskjellig arealbruk må også diskuteres. Figur 83 viser umettet sone og plassering av de mest uønskede arealbrukene som ble nevnt i kapittel 3.5. Det legges vekt på at den faktiske forurensningen ikke er blitt kartlagt, men at potensialet for forurensning diskuteres.

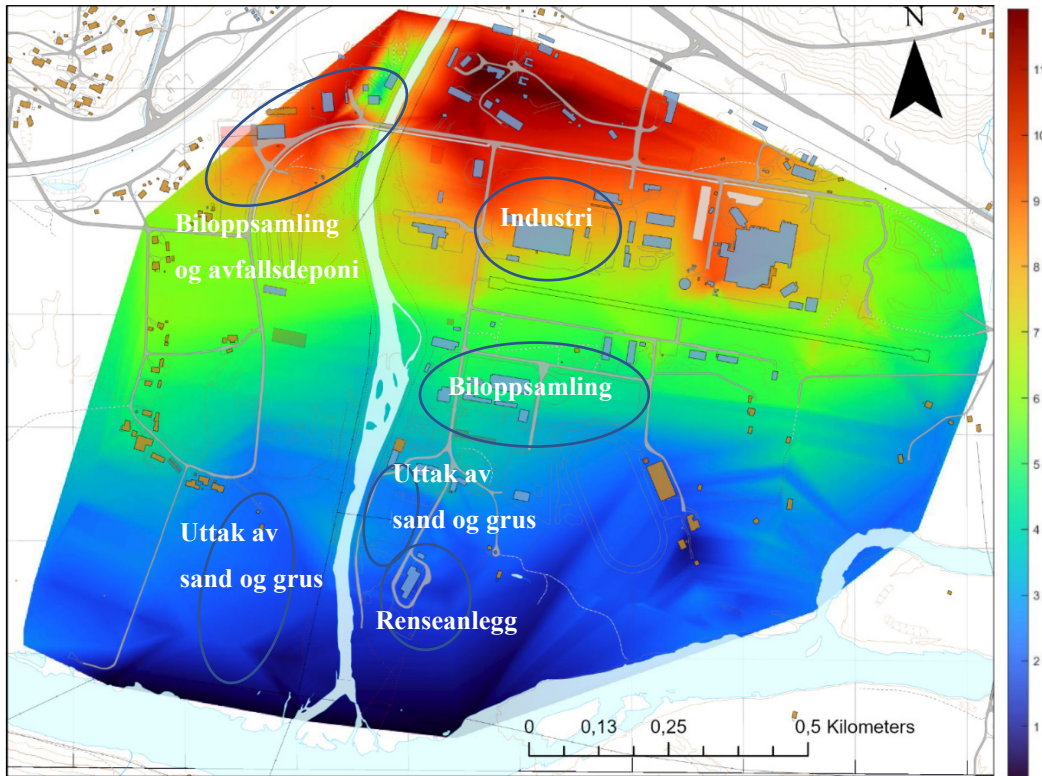
Avfallsdeponiet er lokalisert i et av de områdene av Frya med størst mektighet på umettet sone. Om det dermed gjør akviferen godt beskyttet er ikke sikkert. Det er uvisst hvor dypt bunnen av

de gamle askedeponiene og grovavfallsdeponiet ligger, og dermed umulig å konkludere på mektigheten av umettet sone og løsmassenes rensesegenskaper av potensielt sigevann.

Askedeponicellene har membran i bunn, og er nå dekket med asfalt. Grovavfallsdeponi på miljøstasjonen er også dekket med asfalt, men der er det ikke installert membran i bunn. Trolig vil dette medføre en liten tilførsel av sigevann til akviferen på grunn av lite infiltrasjon av nedbørsvann. Dette vil uansett være en potensiell forurensningskilde og det vil ikke være ønskelig med et vannuttak i et tilsigsområde fra denne arealbruken.

Industrien på Frya har en ukjent status på forurensningsproblematikken, og de mulige forurensingene som ble nevnt i kap 3.5 vil også ha en varierende nedbrytningstid i umettet sone. Der de fleste industrilokalene er plassert var mektigheten på umettet sone mellom 7 og 9 meter.

Det er to områder med biloppsamling på Frya, et ved avfallsdeponiet der umettet sone er 8-10 meter, og flere sør for flystripa, der mektigheten på umettet sone er 4-6 meter (se figur 83). Det er strenge krav til håndtering av forurensing for biloppsamlingsanlegg (Miljødirektoratet, 2015), men om disse kravene er fulgt og alle bilene er fullstendig miljøsanerte er uvisst. På biloppsamlingsanleggene sør for flystripa er bilene ikke lagret på fast dekke, så om det er væskelekkasje eller annen avrenning vil det kunne påvirke akviferen. I og med dette området har en mindre mektighet på umettet sone vil akviferen ha en dårligere naturlig beskyttelse mot forurensning fra biloppsamlingen sør for flystripa.



Figur 83: Plassering av potensiell problematisk arealbruk mot mektigheten på umettet sone på Frya. Fargeskalaen er i meter.

Ved rensanlegget er mektigheten på umettet sone i figuren misvisende. Dette anlegget er bygd opp 2 meter på grunn av flomsikring, så umettet sone vil være på omtrent 4 meter. Lagring av avløpslam og eventuelle lekkasjer på avløpsledninger inn til rensanlegget er mulige forurensningskilder, og da er det i hovedsak fekal forurensning som er bekymringen. Fekale forurensninger vil brytes ned i geologiske materialer, både ved desimering og filtrering, men prosessene er avhengig av flere faktorer (Gaut, 2009). Da det er en liten mektighet på umettet sone i området rundt rensanlegget, vil tilsigsområdene til rensanlegget anses som sårbare for forurensning, spesielt under flomhendelser.

Det er to uttak av sand og grus på Frya, et på vestsiden av utløpet til Gudbrandsdalslågen og et rett nord for rensanlegget (se figur 83). Uttakene går ned til mettet sone, dette vises ikke i modellen av umettet sone. Dette gir akviferen liten til ingen naturlig beskyttelse mot overflateforurensning i disse områdene, som gjør områdene rundt løsmasseuttakene utsatt og sårbare, spesielt under flomsituasjoner.

Det er også flere landbruksområder på Frya, og bruken av sprøytemidler og plantevernmidler på områdene er ukjent. Generelt vil den naturlige beskyttelsen til akviferen være lavere på landbruksområdene nærmest Lågen på grunn av mindre mektighet av umettet sone, den større mektigheten på områdene lengre nord gir en bedre naturlig beskyttelse.

Ekspløsjonen og brannen på Frya fra 1960 utgjør trolig liten til ingen forurensningsproblematikk, men det kan være verdt å vite om i tilfelle det finnes rester fra ammunisjonen på Frya som har gitt forurenset grunn. Akkurat hvor dette kan utgjøre et problem er vanskelig å vite i og med eksplosjonen spredde ammunisjonsrester over hele Frya (Dølen, 2018). Fordi det er over 60 år siden hendelsen, og det ikke er indikert noen forurensing på noen av vannprøvene, antas det at denne hendelsen har liten påvirkning på grunnvannskvaliteten på Frya i dag.

Trafikkulykker og avsporingshendelser på E6 og Dovrebanen kan også utgjøre en sårbarhet for grunnvannsmagasinet på Frya, og eventuell beredskap ved slike hendelser vil være viktig for å fange opp og unngå større lekkasjer av olje, drivstoff og andre miljøgifter fra gods eller biltrafikk.

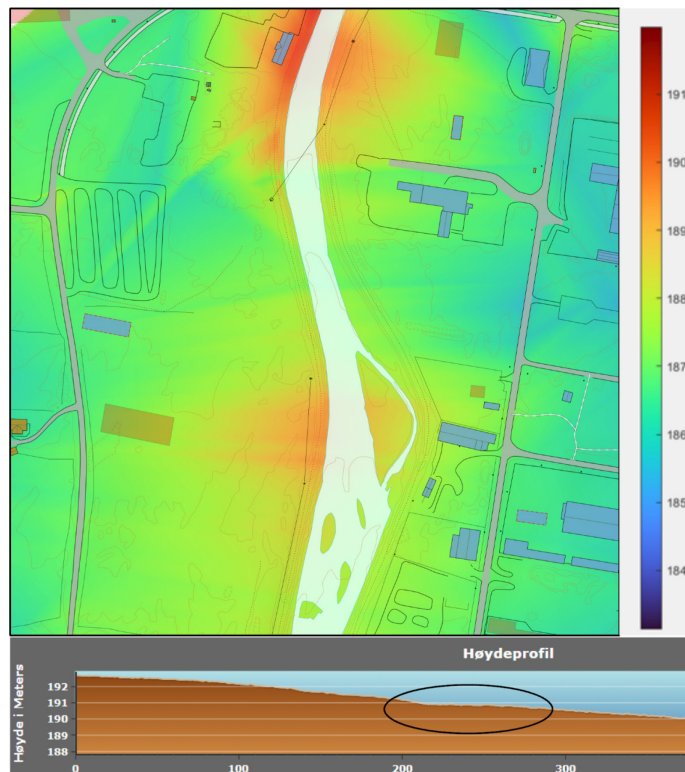
## **6.5 Strømningsbilde og spredning av potensielle forurensningskilder**

### **6.5.1 Strømningsretning og interaksjon mellom vassdrag og grunnvannsmagasin**

Sammen viser figur 65 og 66 de generelle strømmingstrendene på Frya. Elva Frya er influent og henger over grunnvannsnivået som i figur 2 (fra teori). Dette samsvarer med målingene som ble gjort i brønnene på avfallsdeponiet og Frya vannverk. På grunn av matingen fra elva Frya danner den et grunnvannsskille, og grunnvannet strømmer i all hovedsak ut normalt fra elva Frya og mot Gudbrandsdalslågen. På østsiden av Frya ser grunnvannsstrømmen ut til å gå mer parallelt med Gudbrandsdalslågen før den har utslag i elva, mens den på vestlige sider av Frya går i en sør-vestlig retning. I all hovedsak er grunnvannsspeilet forholdsvis flatt, med unntak av gradienten som går ut fra elva Frya. Det at grunnvannsspeilet er så flatt vitner om løsmasser med høy hydraulisk konduktivitet .

Modellen av grunnvannsstrømmen viser også at det er en forhøyning i hydraulisk potensial langs elva Frya. Området der forhøyningen oppstår samsvarer godt med at gradienten på elva blir slakere, dette kan ses av figuren nedenfor. Om endringen i gradienten på elva er årsaken til

forhøyningen av grunnvannsnivået, eller om det er løsmasser med bedre permeabilitet som gir høyere infiltrasjon av elvevann er ikke sikkert. Det kan ikke utelukkes at forhøyningen er forårsaket av en feil i modellen.



Figur 84: Figur som viser utsnitt fra grunnvannsmodellen øverst, og elva Frya sin høydeprofil nederst som er hentet fra <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>. Området hvor det hydrauliske potensialet til grunnvannsnivået stiger langs elva, samsvarer med det svarte området markert i høydeprofilen, hvor gradienten på elva Frya blir slakkere. Fargeskalaen på siden er i meter over havet.

### 6.5.2 Spredning av potensiell forurensning

Basert på ekvipotensialkartet og modellen av strømningsretningen til grunnvannet kan en indikere hvor potensiell forurensning fra arealbruken kan spre seg når den er kommet ned til mettet sone. De to mekanismene som styrer spredningen er hydrodynamisk dispersjon og adveksjon (Gaut, 2009). Spredning ved adveksjonen er fokuset i dette tilfellet.

Da elva Frya skaper et grunnvannsskille vil ikke sigevann fra det nedlagte avfallsdeponiet spre seg til østsiden av Frya. Av denne årsaken har Frya vannverk god vannkvalitet på sine utvidede vannanalyser til tross for dens nærhet til deponiet. Den eventuelle forurensningen og sigevannet fra deponiet vil påvirke grunnvannskvaliteten på vestsida av Frya, og vil spre seg langs

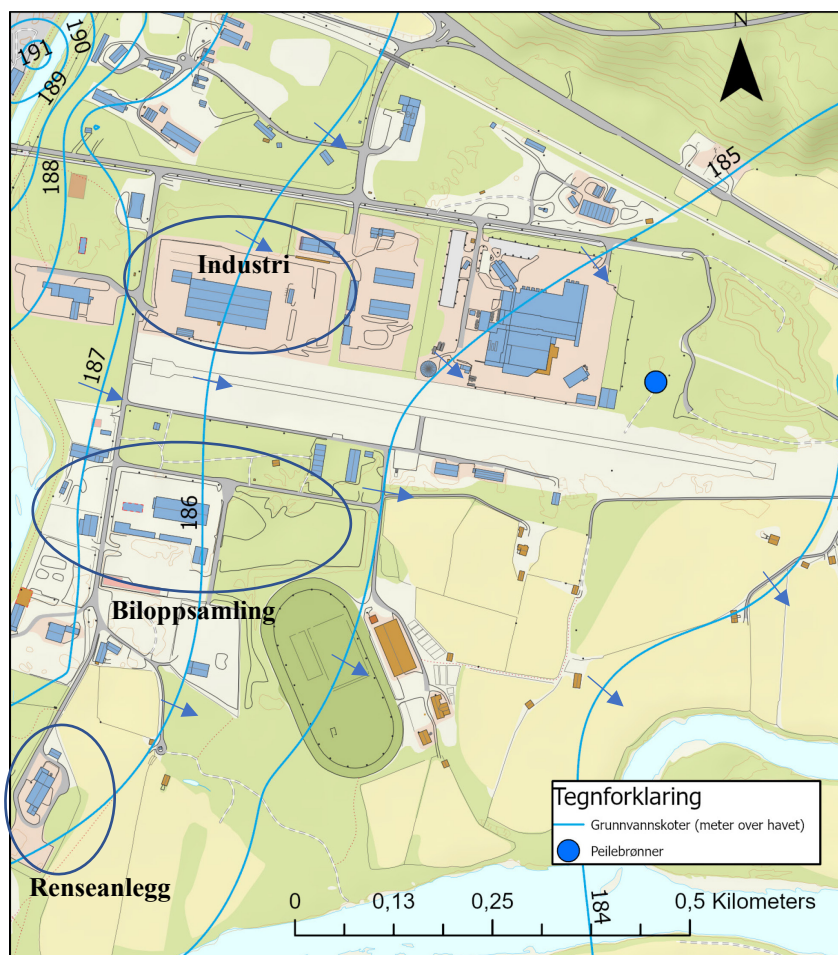


strømningsretningen til grunnvannet som går sør-vestover mot Gudbrandsdalslågen. Det samme vil gjelde avrenning og spredning fra biloppsamlingen like ved avfallsdeponiet, dette illustreres i figur 85.



*Figur 85: Spredningsveier for forurensning på vest-siden av elva Frya, piler indikerer strømningsretning. Øverst er avfallsdeponiet og biloppsamlingen markert.*

Den potensielle forurensningen fra VA-rørproduksjonen, biloppsamlingene og renseanlegget vil som indikert fra modellen gå øst/sør-øst parallelt med Gudbrandsdalslågen til det når sitt utløp i Gudbrandsdalslågen. Dette virker sannsynlig basert på det isfrie sideløpet i Gudbrandsdalslågen som ble observert i felt (se figur 48). Dette sideløpet var vendt mot øst/sør-øst og gir indikasjoner på at det er utslag av grunnvann i elva. Ettersom vannanalysene fra sprengsteinsdeponiet ikke indikerte noen alvorlig forurensning er tre scenarier sannsynlige:



Figur 86: Spredningsveier for forurensning på øst-siden av elva Frya, piler indikerer strømningsretning og den blå sirkelen peilebrønnen ved Tine Frya. De markerte områdene er arealbruk med forurensningspotensial.

1. At brønnen ved sprengsteinsdeponiet ikke er i tilsigsområdet til industriområdet.
2. At det ikke er noen forurensning knyttet til industrien på Frya.
3. At det er en forurensning knyttet til industrien på Frya, men oppholdstiden er tilstrekkelig nok til å ikke påvirke grunnvannskvaliteten ved prøvetakningsbrønnen.

Det kan ses tendenser til scenario 1 fra figur 86, men med en begrenset nøyaktighet på modellen er det vanskelig å være sikker på at dette er tilfellet. At det ikke er noen forurensning knyttet til industrien, eller at forurensningen ikke vil spres så langt fra industriområdet til brønnen ved sprengsteinsdeponiet er også mulige tilfeller. Det er tross alt snakk om en avstand på omtrent 500 meter som gir en lang oppholdstid på grunnvannet. Det skal nevnes at det har vært en forhøyning

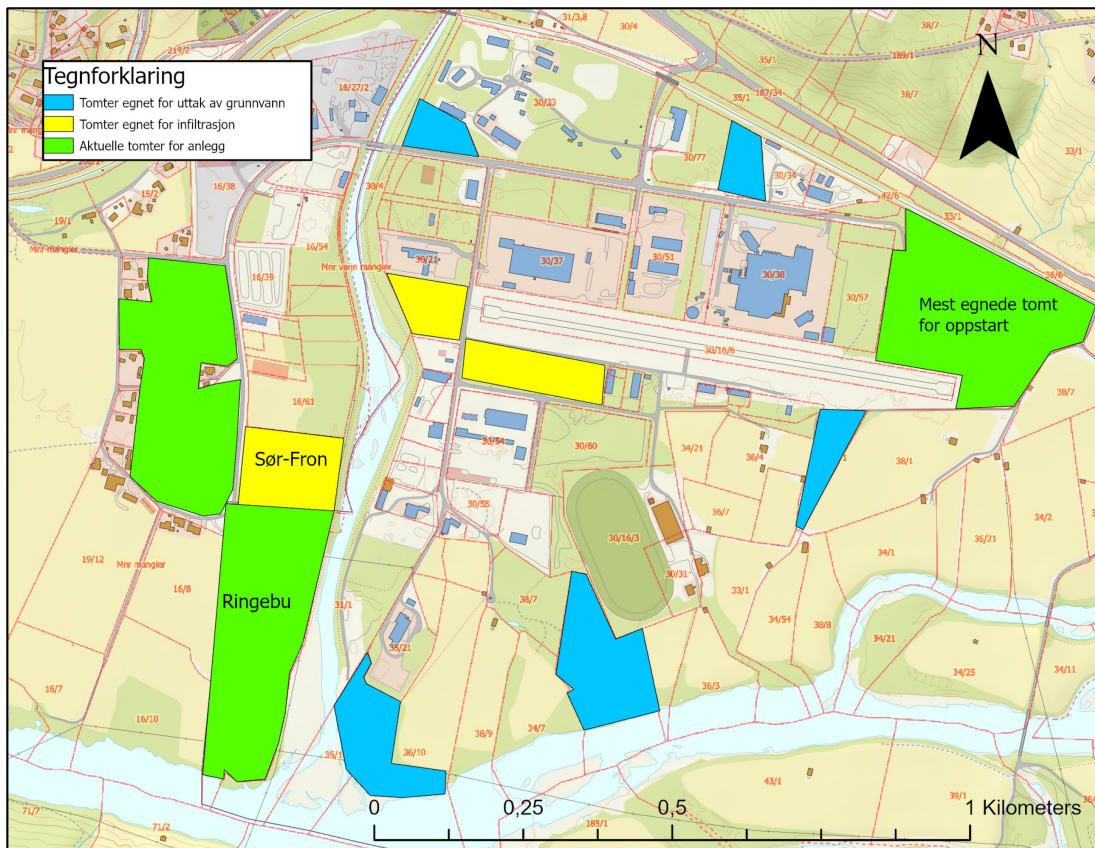
av total nitrogen og nitrat i denne brønnen de siste årene, men verdien er under kravet fra drikkevannsforskriften.

Det er også tenkelig at brønnen mellom sprengsteinsdeponiet og Tine Frya ikke fanger opp påvirkningen sprengsteinsdeponiet har på grunnvannskvaliteten, ettersom brønnen er plassert oppstrøms sprengsteinsdeponiet (se figur 86). Den faktiske påvirkningen til sprengsteinsdeponiet bør derfor videre utredes.

Det er ikke bare i mettet sone forurensning kan spre seg på Frya. Ved større flomsituasjoner vil flomvatnet kunne ta med seg og spre overflateforurensning til grunn som ikke er påvirket av forurensning eller har problematisk arealbruk. Basert på Winter et al., 1998, og Colleuille et al., 2005, vil flomvatnet infiltreres gjennom umettet sone, og returnere til vassdraget via grunnvannsstrømmen etter en lengre periode. Hvis slike flomsituasjoner skaper en forhøyning i grunnvannsnivået vil mektigheten på umettet sone gå ned, og grunnvannsmagasinet naturlige beskyttelse mot forurensning bli dårligere. I tillegg vil løsmassenes renseevne være dårligere enn elvebunnens (Kvitsand & Østerhus, 2014). Det vil derfor være ønskelig å sette grunnvannsuttaget til et område som ikke er flombelastet. Hvis området er flombelastet, skal brønntoppen sikres mot 1000-årsflom og det anbefales å hente ut grunnvann fra større dyp med lengre oppholdstid. Flomsituasjoner vil spesielt være kritiske i de områdene hvor det er tatt ut sand og grus ned til grunnvannsnivået, der vil forurensning kunne spre seg fritt i grunnvannet.

## 6.6 Vurdering av lokasjon for videre utredning

Figuren nedenfor viser tomter som var ledige og pekt ut som aktuelle for oppstart av RAS-anlegget før feltkartleggingen og arbeidet med oppgaven var påbegynt.



Figur 87: Foreslåtte tomter for undersøkelsesstart. Grønne områder er tomter akvakulturanlegget kunne plasseres på, der det var tenkt mulig med både infiltrasjon og uttak av grunnvann. De gule områdene var tomter tiltenkt for infiltrasjon. De blå tomtene er tomter tiltenkt for uttak av grunnvann. Den grønne tomten nord-øst er den som vurderes best egnet.

I figuren over ble det foreslått å ta ut grunnvann nærmere Lågen, flomsikre brønntoppene og infiltrere lengre inn på Frya der det ble antatt en større mektighet på umettet sone. Å benytte to tomter, en til grunnvannsuttak og en til infiltrasjon vil ikke avskrives da det vil kreves en viss avstand mellom et infiltrasjonsbasseng eller infiltrasjonsbrønn og et grunnvannsuttak for å oppnå lang nok oppholdstid og god vannkvalitet. På andre siden vil det også føre til dyrere utbyggingskostnader av en slik løsning.

Kartleggingen indikerte at tomtene på vest-siden av Frya er i tilsigsområdet til avfallsdeponiet og biloppsamlingen. I tillegg vil vest-siden av Frya være mer sårbar for forurensning fra

flomsituasjoner og annen overflateforurensning, på grunn av det store grusuttaket på tomten til Ringebu på vest-siden hvor det ikke er noen mektighet på umettet sone. Tomtene på vest-siden av elva Frya vil derfor frarådes for videre utredning.

Etter feltarbeidet og kartleggingen er det også indikert at de tre nedre blå tomtene på øst-siden av Frya er i tilsigsområdet til renseanlegget og/eller biloppsamlingsplassene. Da disse tomtene også er flomutsatte, vurderes sårbarheten og den naturlige beskyttelsen til grunnvannet i disse områdene til å være for dårlig til å vurderes som mulige grunnvannsuttak.

På tross av arealbruken er det god vannkvalitet både ved Frya vannverk, Tine Frya og prøvetakningsbrønnen mellom Tine Frya og sprengsteinsdeponiet. Dette indikerer at øvre deler av øst-siden på Frya er egnet til grunnvannsuttak. På bakgrunn av dette foreslås utredninger for følgende alternativ:

- Utbygging på den aktuelle tomten der sprengsteinsdeponiet er i dag, med infiltrasjon og grunnvannsuttak på egen tomt.
- Utbygging på den aktuelle tomten der sprengsteinsdeponiet er i dag, med infiltrasjon på egen tomt, og et samarbeid med kommunen om uttak av vann, enten ved Frya vannverk eller på Risøya.
- Utbygging på den aktuelle tomten der sprengsteinsdeponiet er i dag, med infiltrasjon på egen tomt, og uttak av grunnvann på en av tomtene nord for Tine Frya.

Vannanalysene fra brønnen ved sprengsteinsdeponiet indikerer lite tegn til forurensning, kun forhøyede verdier av nitrat og total nitrogen som ikke er på et kritisk nivå. Dette er også et område som er lite belastet av arealbruk i tilsigsområdet samt at mektigheten på umettet sone er tilfredsstillende (omtrent 7 meter på vest-siden av tomten og ned til 4 meter på øst-siden av tomten). En fordel med infiltrasjon på denne tomten er at det ikke er noen grunnvannsuttak nedstrøms tomten og det er dermed liten risiko for påvirkning av andre grunnvannsuttak. Tomten er stor, omtrent 350 meter bred, og det kan tenkes at det er plass til både et infiltrasjonsanlegg og et grunnvannsuttak samtidig som man oppnår minst 60 døgners oppholdstid innad tomten. Dette bør undersøkes videre. Hvis oppholdstiden er tilstrekkelig vil det anbefales utredninger for et grunnvannsuttak på vest-siden av tomten og infiltrasjon på østsiden slik at infiltrasjonen skjer nedstrøms et eventuelt grunnvannsuttak.



Østlige deler av den aktuelle tomten er flomutsatt ved en 200-årsflom (Naserzadeh & Larsen, 2004). For å løse dette kan tomten flomsikres ved å benytte sprengsteinen som allerede er på tomten. Dette vil også øke mektigheten på umettet sone og bedre infiltrasjonskapasiteten.

På grunn av grunnvannsskillet elva Frya skaper er Frya vannverk en av de bedre plasseringene for grunnvannsuttak på Frya. Dette understøttes av vannverkets vannkvalitetsanalyser. Det har en gunstig lokasjon basert på arealbruken i tilsigsarealet, i tillegg til at vannverket ikke er utsatt for flomsituasjoner (Naserzadeh & Larsen, 2004). Vannverket har i dag et lite grunnvannsuttak, men løsmassene har en høy vanngiverevne og en høy spesifikk kapasitet (se kap 3.6.1). Et uttak på denne tomten kan derfor trolig økes, og det kan være fordelaktig å inngå et samarbeid med kommunen. Det har også blitt utredet muligheter for ny drikkevannskilde på Risøya (Allen, 2010), og om disse planene videreføres bør det undersøkes om det er mulig med et samarbeid om vannuttak på en av disse lokasjonene.

En annen mulighet er å benytte den markerte tomten nord for Tine Frya til grunnvannsuttak. Her er det lite problematisk arealbruk i tilsigsområdet, og tomten kan derfor være egnet hvis de to forslagene over ikke lar seg gjennomføre. Å benytte flere tomter vil derimot føre til større utbyggings- og oppstartskostnader.

En annen løsning som kan dempe behovet for infiltrasjon vil være å benytte avløpsvannet til vanning av jordbruksarealer. Det næringsrike avløpsvannet fra oppdrettsanlegget er desinfisert og har et innhold av organiske stoffer, nitrogen og fosfor. Dette vil redusere behovet for infiltrasjon av avløpsvann sommerstid hvor Frya er mest flomutsatt, og mektigheten på umettet sone muligens er minst. Det vil også gagne jordbruksarealene på Frya og føre til en mer sirkulær bruk av grunnvann som ressurs.

Georadarundersøkelsene og arealbruksvurdering har gitt et godt kunnskapsgrunnlag, og man har kunne utelukket flere områder basert på dette. Det er vanskelig å fatte en konklusjon på beste løsning kun basert på georadarundersøkelser og arealbruksvurdering. I neste trinn vil det anbefales å utføre supplerende grunnundersøkelser. Dette for å teste vanngiverevne, infiltrasjonskapasitet, løsmassesammensetning ved kornfordelingsanalyser og vannkvalitet for å stadfeste den faktiske forurensningsproblematikken fra arealbruken på Frya.

## 7 KONKLUSJON

I denne masteroppgaven er et større grunnvannsmagasin på Frya i Gudbrandsdalen blitt kartlagt ved hjelp av georadar og målinger av grunnvannsnivå i tilgjengelige grunnvannsbrønner og peilerør.

Det var langt billigere og mindre ressurskrevende å lage et ekvipotensialkart basert på georadarmålinger sammenliknet med å sette peilerør for å måle grunnvannsnivå på det store studieområdet. Det var egnet å benytte georadar på Frya fordi grunnvannsspeilet kom tydelig fram grunnet grove løsmasser med et lavt kapillærsug, det var flere brønner en kunne korrigere bølgehastighet mot og det var et betydelig innhold av store stein i den øverste lagpakken som en kunne utføre hyperboltilpasninger på. Det er dog usikkerheter i metoden, både knyttet til valg av bølgehastighet, pulsbredden og muligheten en har til å plukke ut en refleksjon til en nøyaktig gangtid og georefereringen av radarprofilene. Ekvipotensialkartet bør derfor kun benyttes til å tolke trender av grunnvannsstrømmen.

Ekvipotensialkartet viser at elva Frya skaper et grunnvannsskille, den er influent, henger over grunnvannsspeilet og mater grunnvannet gjennom en umettet sone. Dette ble det indikert av målingene i brønnene på Frya miljøstasjon og Frya vannverk, og bekreftet av georadarkartleggingen. Dette gjør at Gudbrandsdalslågen mates av grunnvannsmagasinet på begge sidene av Frya. På øst-siden av Frya ser den regionale grunnvannsstrømmen ut til å gå mer parallelt med Gudbrandsdalslågen, og på vest-siden av Frya går grunnvannsstrømmen i sør-vestlig retning. Ekvipotensialkartet ble produsert basert på data innhentet i en periode med kaldt og tørt vær, og en vannstand i Gudbrandsdalslågen under 25-75 persentilen. Trolig viser derfor ekvipotensialkartet et potensielt minimumsnivå på Frya.

Løsmassene på Frya er generelt grove og egnet for uttak av grunnvann. Den øverste lagpakken er et resultat av elva Frya sin erosjon i en større breelavsetning oppstrøms Frya, og er blitt kategorisert som grusig sand og sand, grus og stein (Geovita, 2010; Klemetsrud, 1997). I Klemetsrud sine undersøkelser ble det funnet et finsandlag med siltinnhold under dette laget, og det samme laget kan indikeres i Geovita sine undersøkelser. Fra georadarkartleggingen ble radarsignalene hyppig dempet mellom 10-20 meter under bakken, og en tolkning er at dempningen kommer fra en gammel bresjø-avsetning som er avsatt kontinuerlig på Frya. Dette

laget kan fungere som en barriere og beskyttelse mot overflateforurensning, men kontinuiteten av dette laget er usikkert, da georadarmålingene ikke gir entydige svar og det er sannsynlig at bresjøavsetningen stedvis er blitt erodert bort av elva Frya og/eller Gudbrandsdalslågen. Den nederste lagpakken på Frya vitner om en massiv sand-avsetning med høy permeabilitet, det er i denne lagpakken alle grunnvannsuttakene på Frya er plassert i. Denne lagpakken kan stamme fra en større sandur fra en av interstadialene under forrige istid (Vorren & Mangerud, 2013).

Sårbarhetsvurderingen basert på mektigheten av umettet sone, arealbruk og spredning av potensielle forurensningskilder medførte at vest-siden av Frya ble sett på som uegnet. Øvre deler av øst-siden av Frya så ut til å være minst belastet av forurensningen på grunn av arealbruk og har en bedre naturlig beskyttelse mot forurensning. På bakgrunn av arealbruksvurderingen, spredningen fra potensielle forurensningskilder, grunnvannsmagasinet naturlige beskyttelse mot forurensning og infiltrasjonspotensial virker en ledig kommunal tomt nord-øst på Frya mest aktuell for plassering av RAS-anlegget, der sprengsteinsdeponiet i dag er plassert. Det er her tre muligheter, enten ha både grunnvannsuttak og infiltrasjon på samme tomt, inngå et samarbeid med kommunen om vannuttak på enten Frya vannverk eller Risøya eller benytte en annen tomt til uttak av grunnvann, hvor blant annet en ledig tomt på nordsiden av Fryavegen ser ut til å være lite belastet av arealbruk og egnet.

Avløpsvannet som skal infiltreres i grunnen er næringsrikt og desinfisert og kan benyttes til vanning av jordbruksområdene på Frya. Dette senker behovet for infiltrasjon om sommeren, da mektigheten på umettet sone vil være minst og Frya kan være mest belastet av flom, samt at det fører til en mer sirkulær bruk av grunnvannsressurser.

Videre arbeid vil være å utrede løsmassenes egenskaper og sammensetningen for å kontrollere georadartolkningene. En vil måtte teste løsmassenes vanngiverevne, spesifikke kapasitet, infiltrasjonskapasitet, vannkvaliteten, samt utrede oppholdstiden grunnvannet vil ha på den utpekte tomten, for å kunne konkludere om det er mulig med infiltrasjon og uttak av grunnvann på samme tomt.

# REFERANSER

- Allen, J., 2010. *Grunnundersøkelser med etablering og testing av pilotbrønner. Forslag til sikringssoner. Risøya, Ringebu kommune.* Norconsult AS.
- Annan, A., 2001. *Ground penetrating radar workshop notes*, Ontario, Canada: Sensors & Software Inc.,
- Annan, A. P., 2005. GPR methods for hydrogeological studies.. I: *Hydrogeophysics*. Dodrecht: Springer, pp. 185-213.
- Archie, G. E., 1942. The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir. *Transactions of the AIME*, pp. 54-62.
- Ashby, M. & Jones, D., 2012. Wet Corrosion of Materials. I: *Engineering Materials 1 (Fourth Edition)*.. Elseiver., pp. 385-400.
- Banks, D. et al., 2000. Grunnvann - ikke bare vann. I: *Gråsteinen*. 6. red. Trondheim: Norges Geologiske undersøkelse (NGU), p. 60.
- Berhane, D., 2015. *Determination of losing and gaining reaches in Arid and Semi-Arid environments of NSW*. Sidney: University of Sydney, Faculty of Agriculture and Environment.
- Brattli, B., 2016. *Grunnvann*. Forelesning på TBA4100 Innføring i geologi og geoteknikk, NTNU.
- Byggteknisk forskrift, 2017. *Forskrift om tekniske krav til byggverk*, [Internett] Tilgjengelig fra: [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840#KAPITTEL\\_7](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840#KAPITTEL_7)
- Bækken, T., 1998. *Avrenning av nitrogen fra tunnelmasse*, Oslo: Norsk institutt for vannforskning.
- Childs, E., 1967. Soil moisture theory. *Advances in hydroscience*, pp. 73-117.
- Colleuille, H., Dimakis, P. & Wong, W., 2005. *Elv og grunnvann. Sluttrapport - Oppsummering og anbefalinger. Rapport 8- Miljøbasert vannføring*, s.l.: Norges vassdrags og energidirektorat.
- Colleuille, H., Pedersen, T., Dimakis, P. & Frengstad, B., 2004. *Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma på Rena, Hedmark (002.Z). Rapport 2.*

*Materiale og feltmålinger. Rapport 2-2004 i rapportserien Miljøbasert vannføring*, s.l.: Norges vassdrags- og energidirektorat.

Drikkevannsforskriften, 2016. *Forskrift om vannforsyning og drikkevann*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-12-22-1868>

[Funnet 1 mars 2021].

Dølen, 2018. *Da det eksploderte i arsenalet på Frya i 1960*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://www.dolen.no/nyheter/2018/07/15/Da-det-eksplo-derte-i-arsenalet-p%C3%A5-Frya-i-1960-17126796.ece>

[Funnet 20 Februar 2021].

Eckholdt, E. & Snilsberg, P., 1992. *Grunnvann. Beskyttelse av drikkevannskilder. GiN-veileder nr 7*, Trondheim: Norges geologiske undersøkelse.

Eckholdt, E. & Wahl, S., 2005. *Ringebu vannverk - reservevannkilde. Grunnundersøkelser på Risøya*, Miløgeologi AS.

Englund, J. O. & Siedlecka, A., 2003. *RINGEBU 1818 III. Berggrunnskart, 1:50 000 FORELØPIG UTGAVE*, Trondheim: Norges geologiske undersøkelse.

Fetter, C., 2001. *Applied Hydrogeology*. 4. red. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.

Fisher, S., Stewart, R. & Jol, H., 1996. Ground penetrating radar (GPR) data enhancement using seismic techniques. *Journal of environmental and engineering geophysics*, pp. 89-96.

Follestad, B. A., 2007. *RINGEBU. Kvartærgeologisk kart - M 1:50 000. 1818 III*, Trondheim: Norges geologiske undersøkelse (NGU).

Fossen, H., Pedersen, R., Bergh, S. & Andersen, A., 2013. En fjellkjede blir til. I: I. Ramberg, I. Bryhni, A. Nøttvedt & K. Rangnes, red. *Landet blir til - Norges geologi*. 2. red. Trondheim: Norsk geologisk forening, pp. 180-234.

Fron historielag, 2018. *Da Frya gjekk i lufta*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://fronhistorielag.com/2018/07/15/da-frya-gjekk-i-lufta/>

[Funnet 20 Februar 2021].



Fylkesmannen i Oppland, 2017. *Utkast til tillatelse til virksomhet etter forurensningsloven for TINE SA avd. Frya (TINE Meieriet Frya) Frya, Ringeby kommune.* [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://www.statsforvalteren.no/siteassets/utgatt/fm-oppland/dokument-fmop/miljo-og-klima/forurensning/meierier/utkast-utslippstillatelse-tine-meieriet-frya.pdf>  
[Funnet April 2021].

Gaut, S., 2009. Naturlige avsetninger som rensedium. Hvilke mekanismer gjør at tilstrøket oppholdstid i umettet sone utgjør 2 hygieniske barrierer?. *VANN*, pp. 116-124. Tilgjengelig fra: [https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2009\\_779330.pdf](https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2009_779330.pdf)

Geovita, 2010. *E6 Ringeby - Otta, Sør-Fron kommune. Grunnundersøkelser for Brunummer K210. Frya kulvert. Datarapport, revisjon 1.*

Jørgensen, P., Sørensen, R. & Prestvik, O., 2013. Norske jordarter. *Norsk jordforening.*

Klemetsrud, T., 1997. *Nytt vannverk på Frya*, Trondheim: Norges geologiske undersøkelse (NGU).

Kvitsand, H. & Østerhus, S., 2014. Grunnvannsforsyning fra løsmasser som hygienisk barriere - styrker og svakheter i et klima i endring. *VANN*, pp. 361-373. Tilgjengelig fra: [https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2014\\_910124.pdf](https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2014_910124.pdf)

Lee, D. & Schachter, B., 1980. Two algorithms for constructing a Delaunay triangulation. *International Journal of Computer & Information Sciences*, p. 219.242.

Margat, J. & Van der Gun, R., 2013. *Groundwater around the world: a geographic synopsis.* Crc Press.

Martins, C. et al., 2010. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural engineering*, pp. 83-93.

Mauring, E. et al., 1994. *Målinger med georadar. Teori, anvendelse, teknikker og eksempler på opptak.*, Trondheim: Norges geologiske undersøkelse.

Miljødirektoratet, 2015. *Krav til behandlingsplasser for kasserte kjøretøy.* [Internett]  
Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m327/m327.pdf>  
[Funnet 1 Mai 2021].

- Miljødirektoratet, 2017. *Grunnforurensing - Bransjer og stoffer*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M813/M813.pdf>  
[Funnet 2 Mai 2021].
- Myrstad, L., Nordheim, C. & Einan, B., 2014. *Vannrapport 121. Rapport fra vannverksregisteret. Drikkevannsstatus (data 2009 og 2010)*, ISSN 1503-2167
- Naserzadeh, A. R. & Larsen, C. K., 2004. *Flomsonekart. Delprosjekt Ringebu/fåvang*, Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).
- Neal, A., 2004. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems. *Earth-science reviews*, pp. 261-330.
- Ness, A. F., 2020. Det fysiske grunnlaget for bruk av georadar og dens anvendelse til hydrogeologiske undersøkelser. *TGB4570 Ingeniørgeologi, fordypningsprosjekt*, 15 Desember, p. 74.
- NGU, 2020. *Berggrunn*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/emne/berggrunn>  
[Funnet 2 Februar 2021].
- NGU, 2021a. *G R A N A D A - Nasjonal grunnvannsdatabase*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: [http://geo.ngu.no/kart/granada\\_mobil/](http://geo.ngu.no/kart/granada_mobil/)  
[Funnet 8 Februar 2021].
- NGU, 2021b. *Nasjonal Berggrunnsdatabase: Norges Geologiske Undersøkelse*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: [http://geo.ngu.no/kart/berggrunn\\_mobil/](http://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/)  
[Funnet 8 Februar 2021].
- NGU, 2021c. *Nasjonal Løsmassedatabase: Norges Geologiske Undersøkelse*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: [http://geo.ngu.no/kart/losmasse\\_mobil/](http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/)  
[Funnet 8 Februar 2021].
- NVE, 2021a. *NEVINA Nedbørfelt-Vannføring-INdeks-Analyse*. [Internett]  
Tilgjengelig fra: <http://nevina.nve.no/>  
[Funnet 12 Februar 2021].

NVE, 2021b. *Sildre*. [Internett]

Tilgjengelig fra: [https://sildre.nve.no/station/2.460.0?2.460.0\\_tab=2](https://sildre.nve.no/station/2.460.0?2.460.0_tab=2)

[Funnet 12 Februar 21].

Nye Veier AS, 2021. *E6 Øyer - Otta. Vurdering av alternative løsninger ved Ringebru*, Hamar: Nye Veier AS.

Ramberg, I., Bryhni, I., Nøttvedt, A. & Rangnes, K., 2013. *Landet blir til - Norges geologi*. 2 red. Trondheim: Norsk geologisk forening.

Reynolds, J., 2011. *An introduction to applied and environmental geophysics*. 2. red. John Wiley & Sons.

Rimstidt, J. D., 1997. Quartz solubility at low temperatures. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, pp. 2553-2558.

Roth, K., Schulin, R., Flühler, H. & Attinger, W., 1990. Calibration of time domain reflectometry for water content measurement using a composite dielectric approach.. *Water resources research*, pp. 2267-2273.

Shi, G., 2014. Kriging. I: *Data Mining and Knowledge Discovery for Geoscientists*. s.l.:Elsevier, pp. 238-274.

Sletten, K., Eilertsen, R. & Hilger, P., 2020. *Foreløpig Kvartærgeologisk kart, M 1:10 000, Sør-Fron kommune*, Trondheim: Norges geologiske undersøkelse (NGU).

Statens kartverk, 2021. *Høydedata*. Tilgjengelig fra: <https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>

Statens vegvesen Region øst, 2008. *E6 Ringebru sør – Frya, konsekvensutredning og kommunedelplan*, Lillehammer: Statens vegvesen.

Statistisk sentralbyrå, 2019. *Vann- og grunnforurensning fra samferdsel*. [Internett]

Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/vann-og-grunnforurensning-fra-samferdsel--398116>

[Funnet 2 mai 2021].

Sørensen, J., 1998. *Massedeponering av sprengstein i vann: forurensningsvirkninger*, Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.

Terratec, 2018. *LASERSKANNING FOR NASJONAL DETALJERT HØYDEMODELL. NDH Ringebru-Fron-Gausdal 5pkt 2017*. [Internett]

Tilgjengelig fra:

[https://hoydedata.no/LaserInnsyn/ProsjektRapport?filePath=%5C%5Cstatkart.no%5Choydedata\\_orig%5Cvol7%5C916%5Cmetadata%5CNDH%20Ringebru-Fron-Gausdal%205pkt%202017\\_Projektrapport.pdf](https://hoydedata.no/LaserInnsyn/ProsjektRapport?filePath=%5C%5Cstatkart.no%5Choydedata_orig%5Cvol7%5C916%5Cmetadata%5CNDH%20Ringebru-Fron-Gausdal%205pkt%202017_Projektrapport.pdf)

[Funnet 4 Mai 2021].

Topp, G., Davis, J. L. & Annan, A., 1980. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines.. *Water resources research*, pp. 574-582.

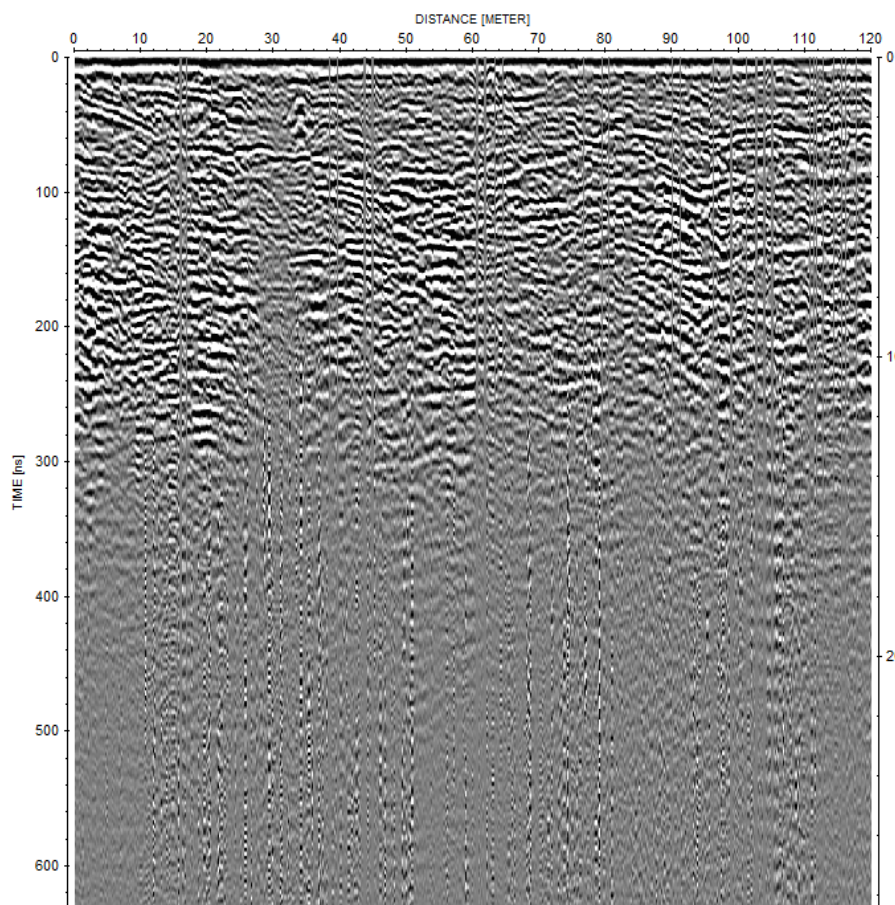
Vorren, T. & Mangerud, J., 2013. Istider kommer og går. I: I. Ramberg, I. Bryhni, A. Nøttvedt & K. Rangnes, red. *Landet blir til - Norges geologi*. Trondheim: Norsk geologisk forening, pp. 494-548.

Winter, T., Harvey, J., Franke, O. & Alley, W., 1998. *Ground Water and Surface Water A Single Resource*. Denver, Colorado: USGS.

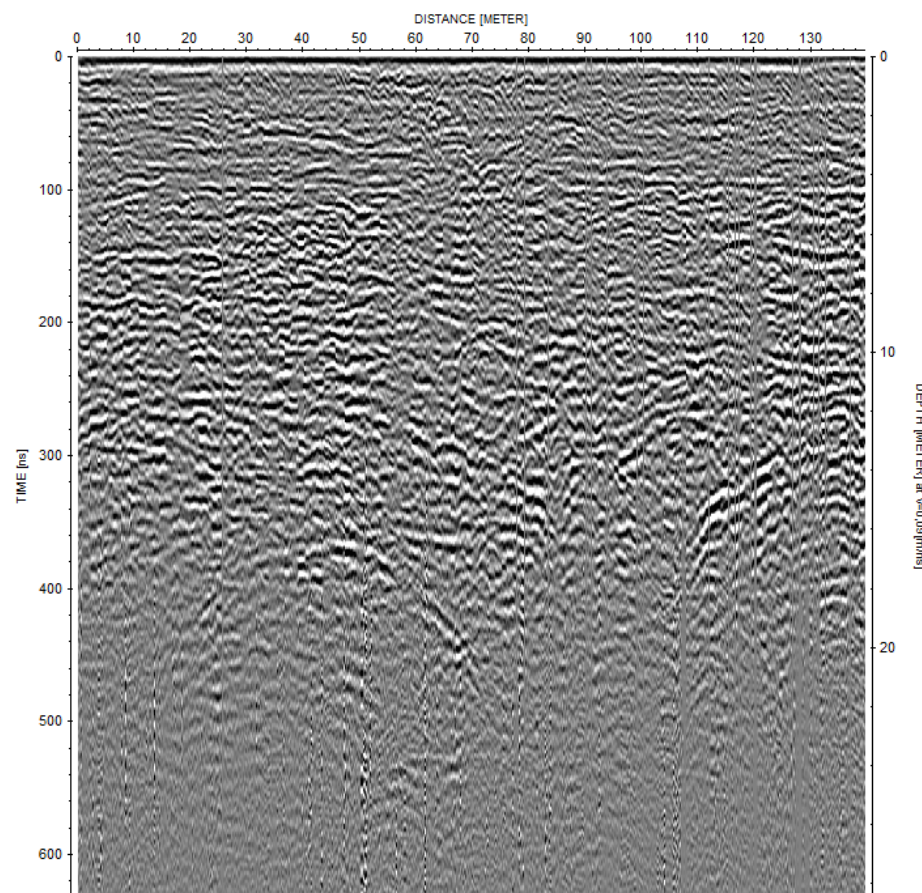
Woessner, W., 2000. Stream and Fluvial Plain Ground Water Interactions: Rescaling Hydrogeologic Thought. *Ground Water*, pp. 423-429.

# VEDLEGG A

For tilgang på rådata – ta kontakt med forfatter.

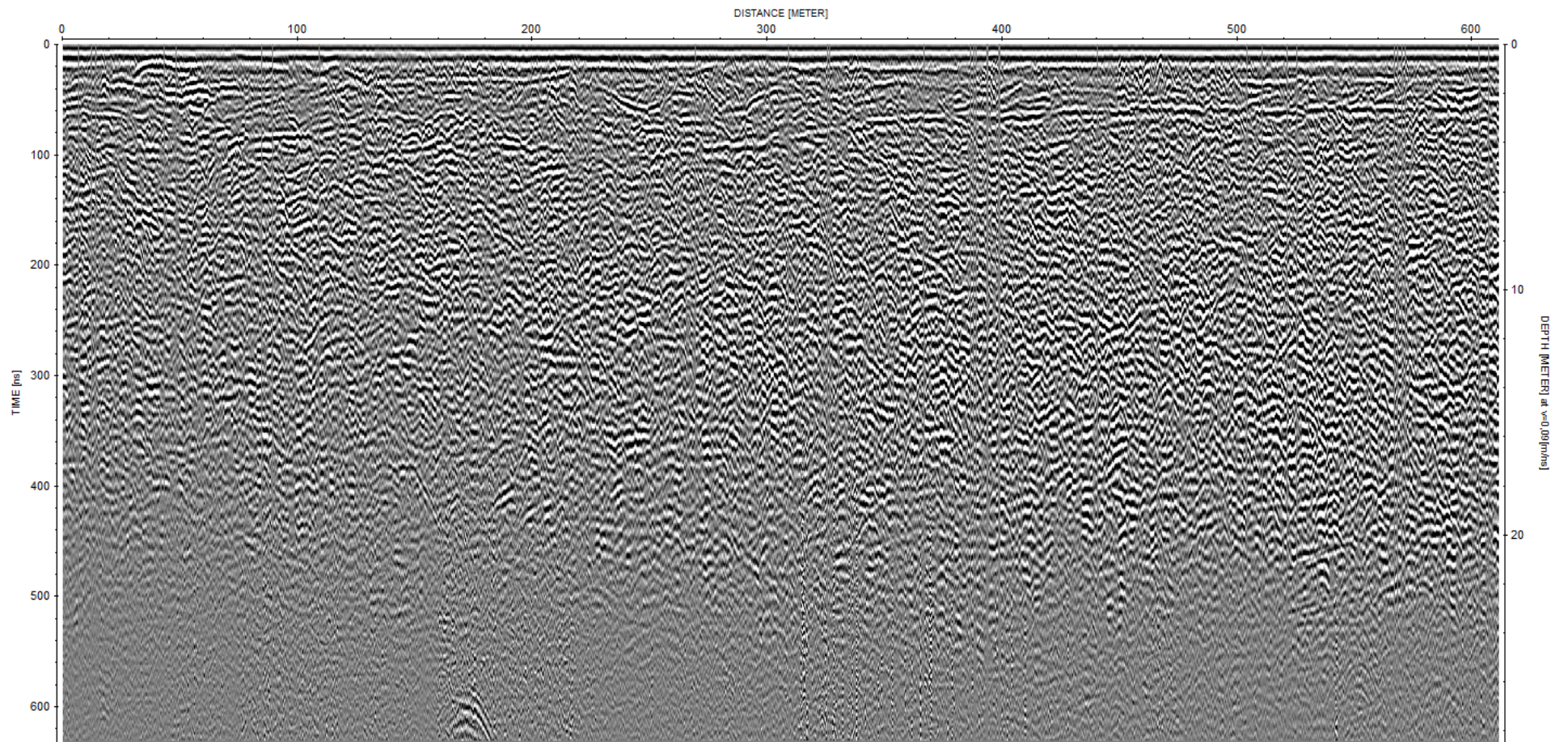


*Profil 1*



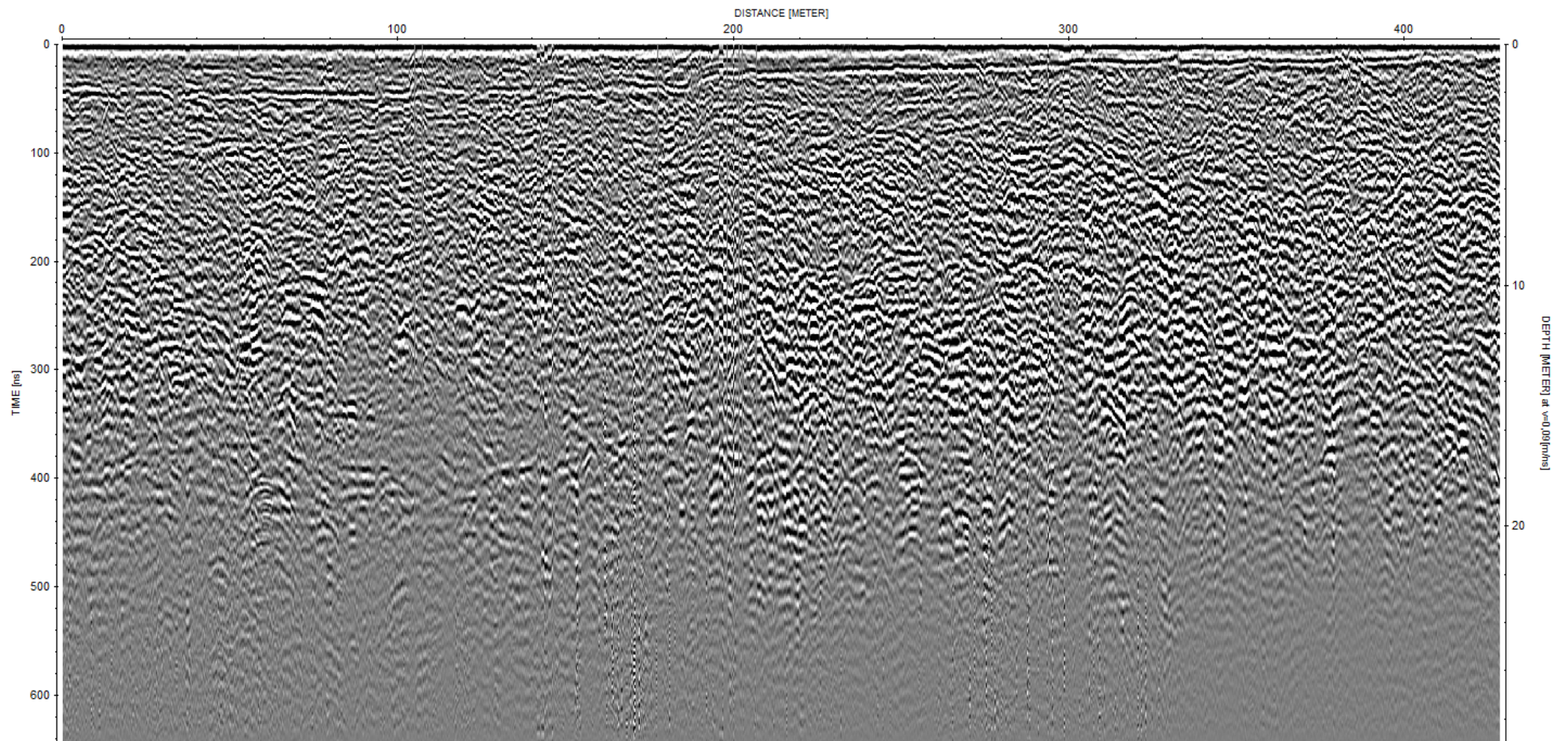
*Profil 2*





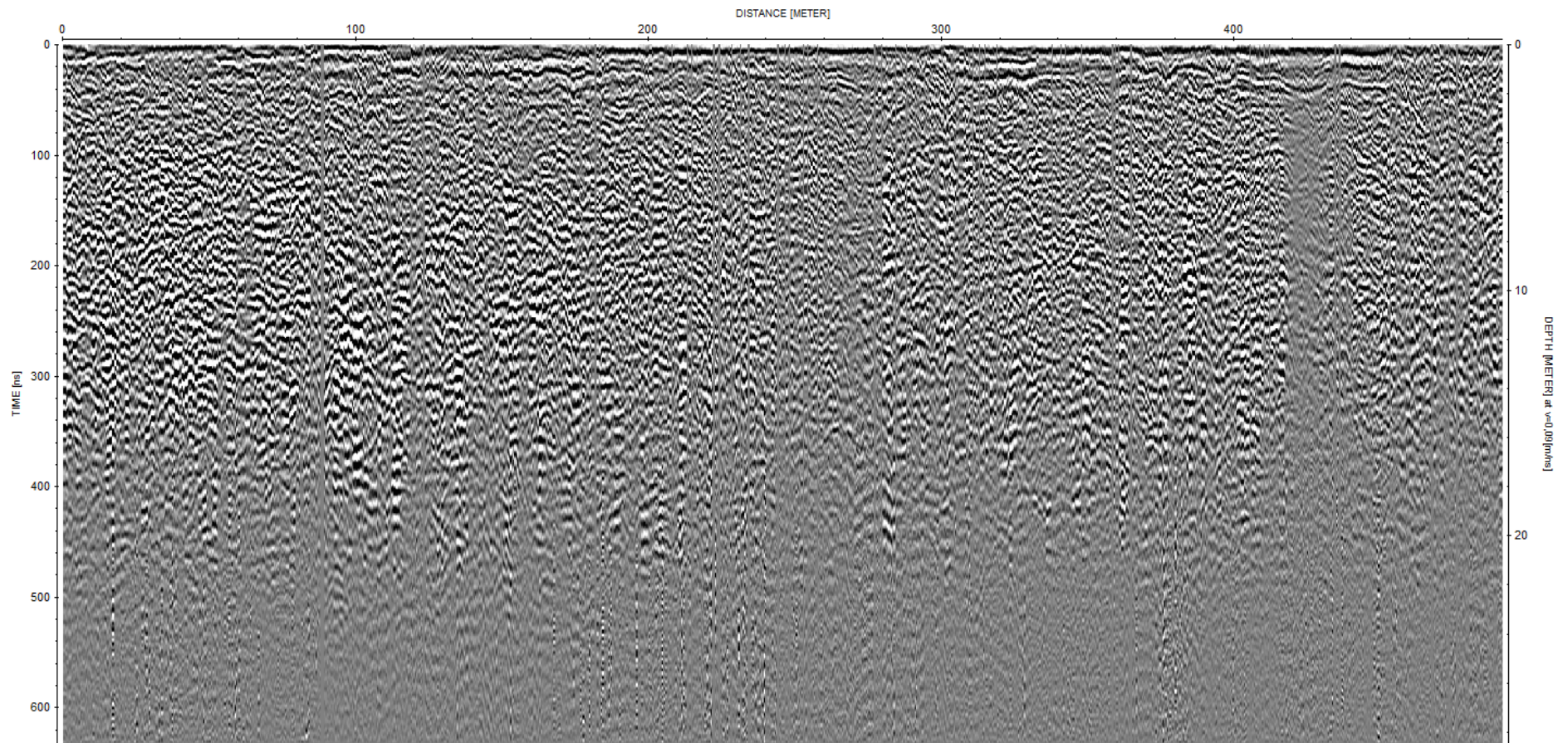
*Profil 3*





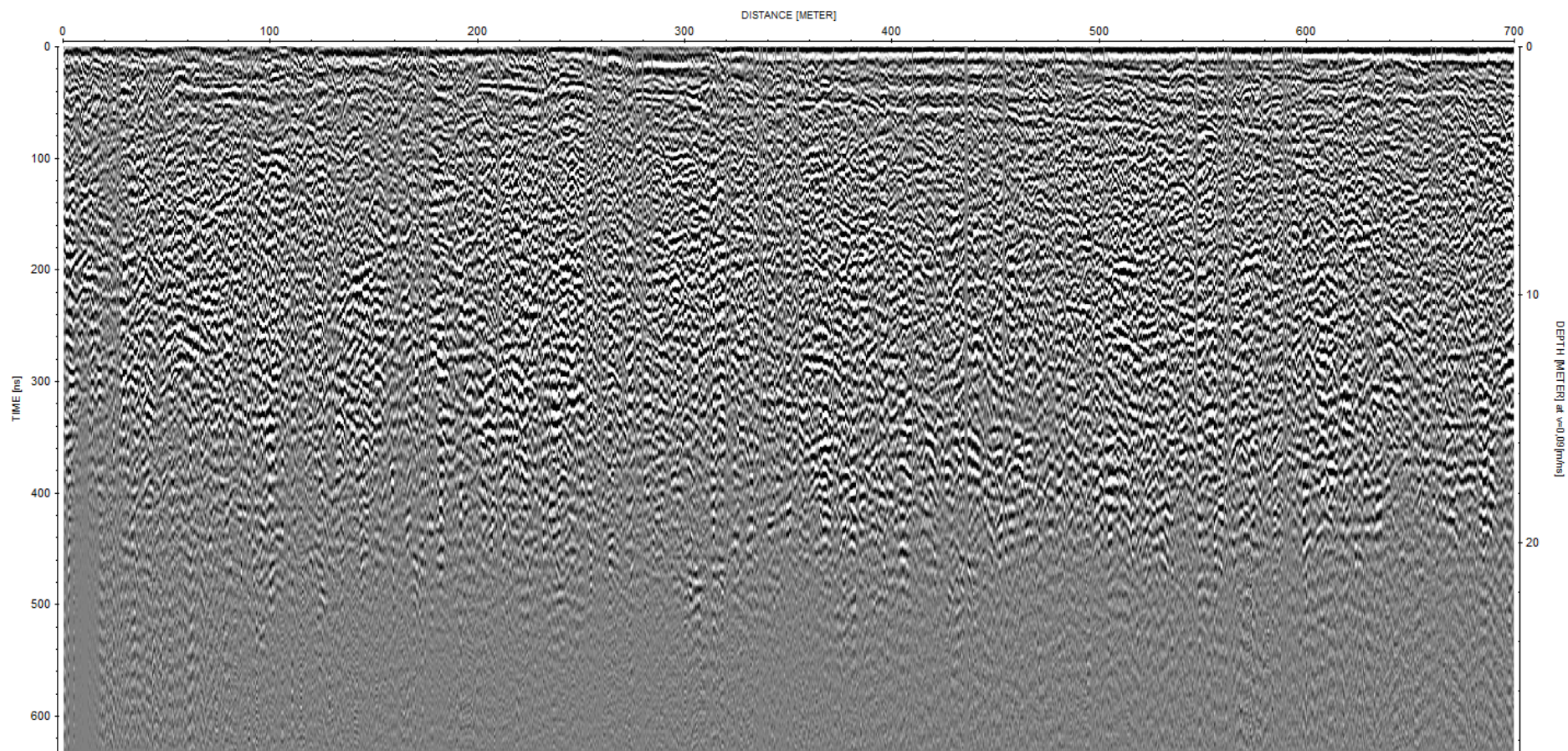
*Profil 4*





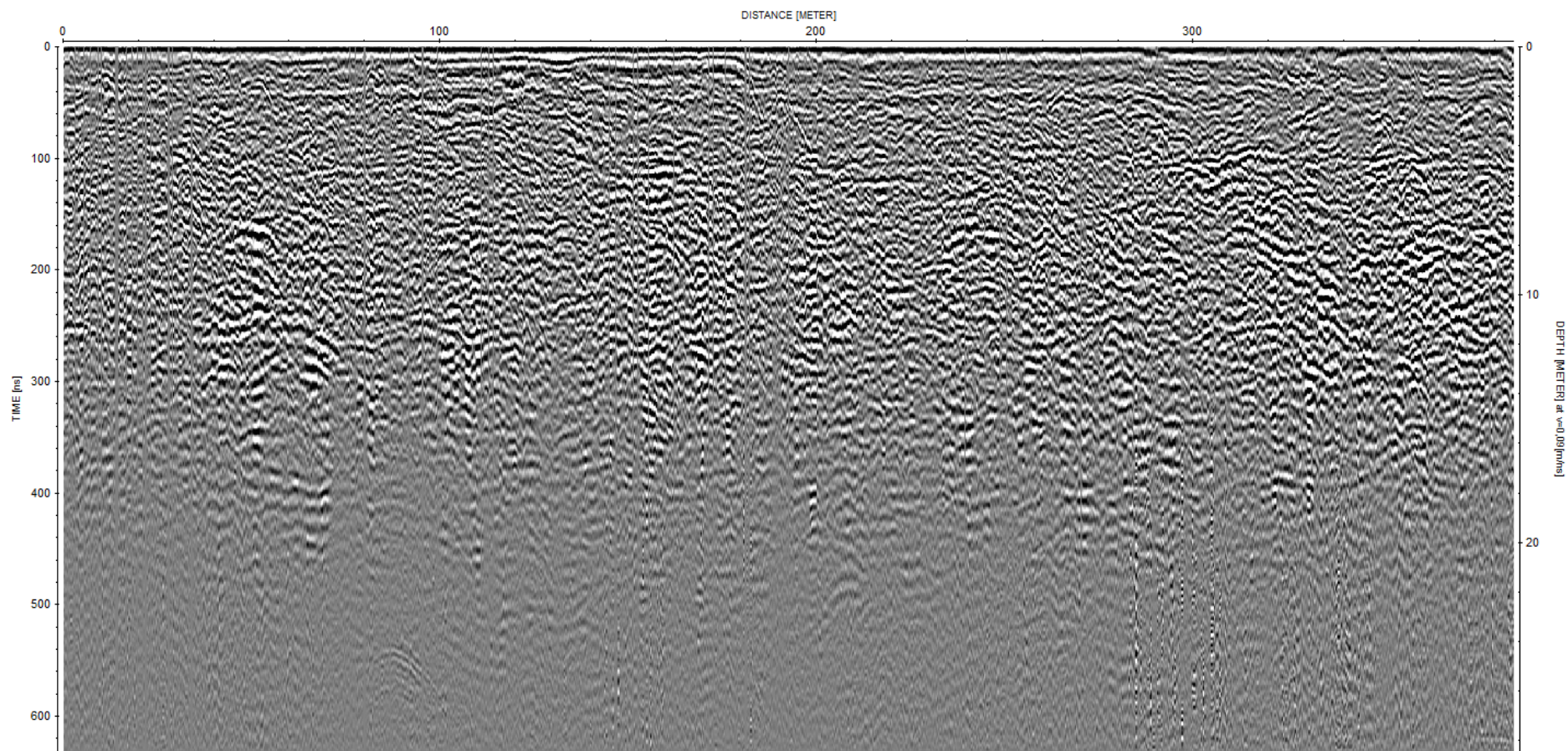
*Profil 5*





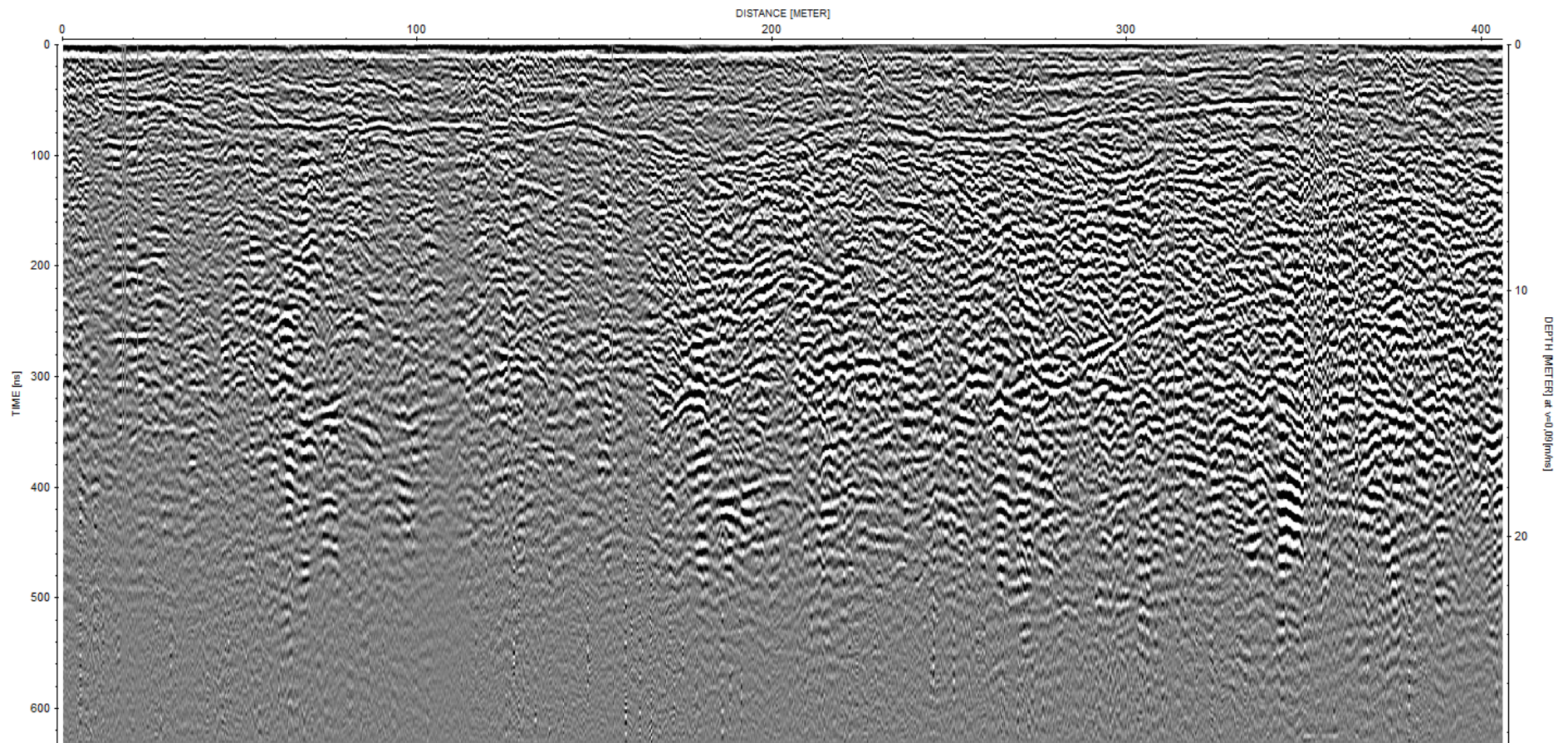
*Profil 6*





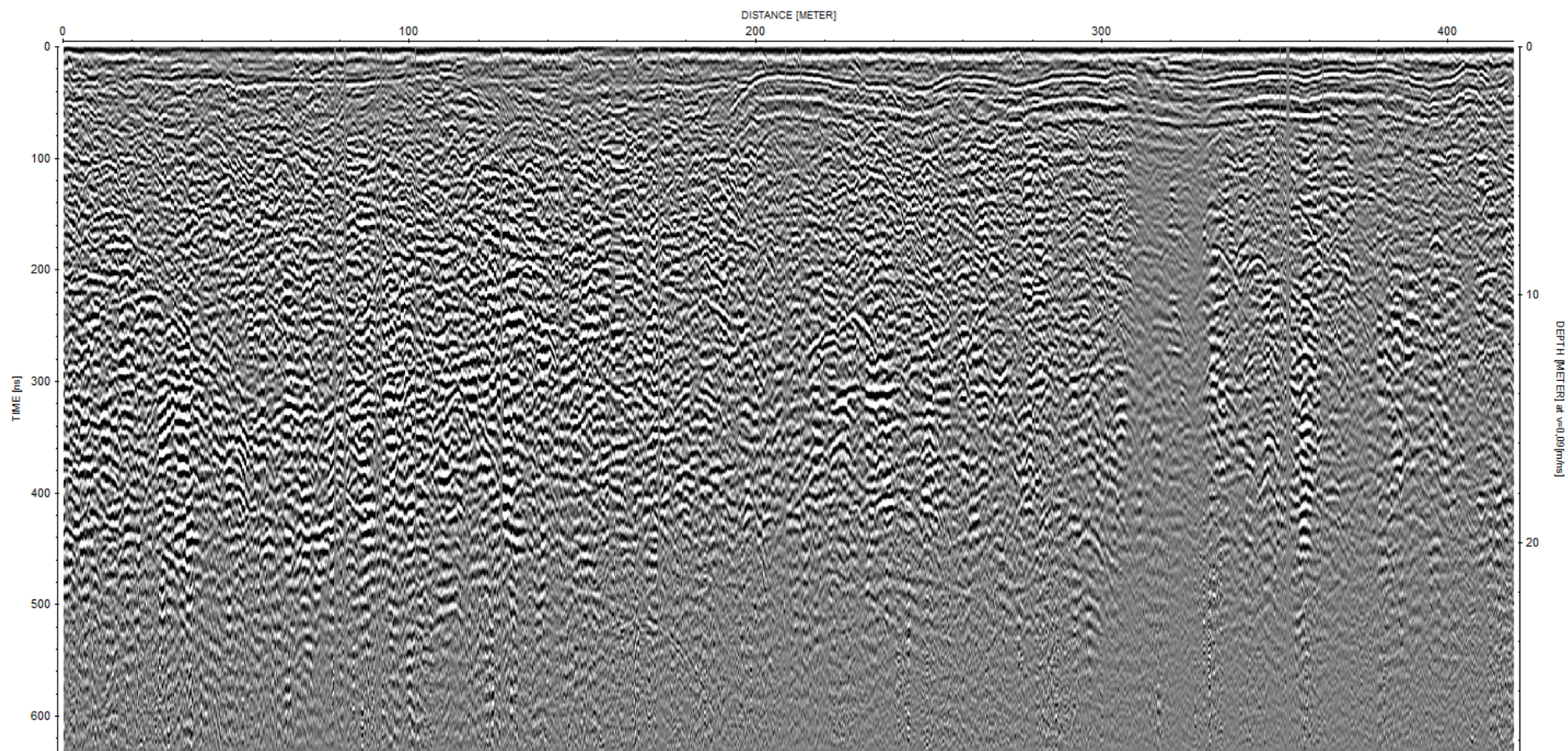
*Profil 7*





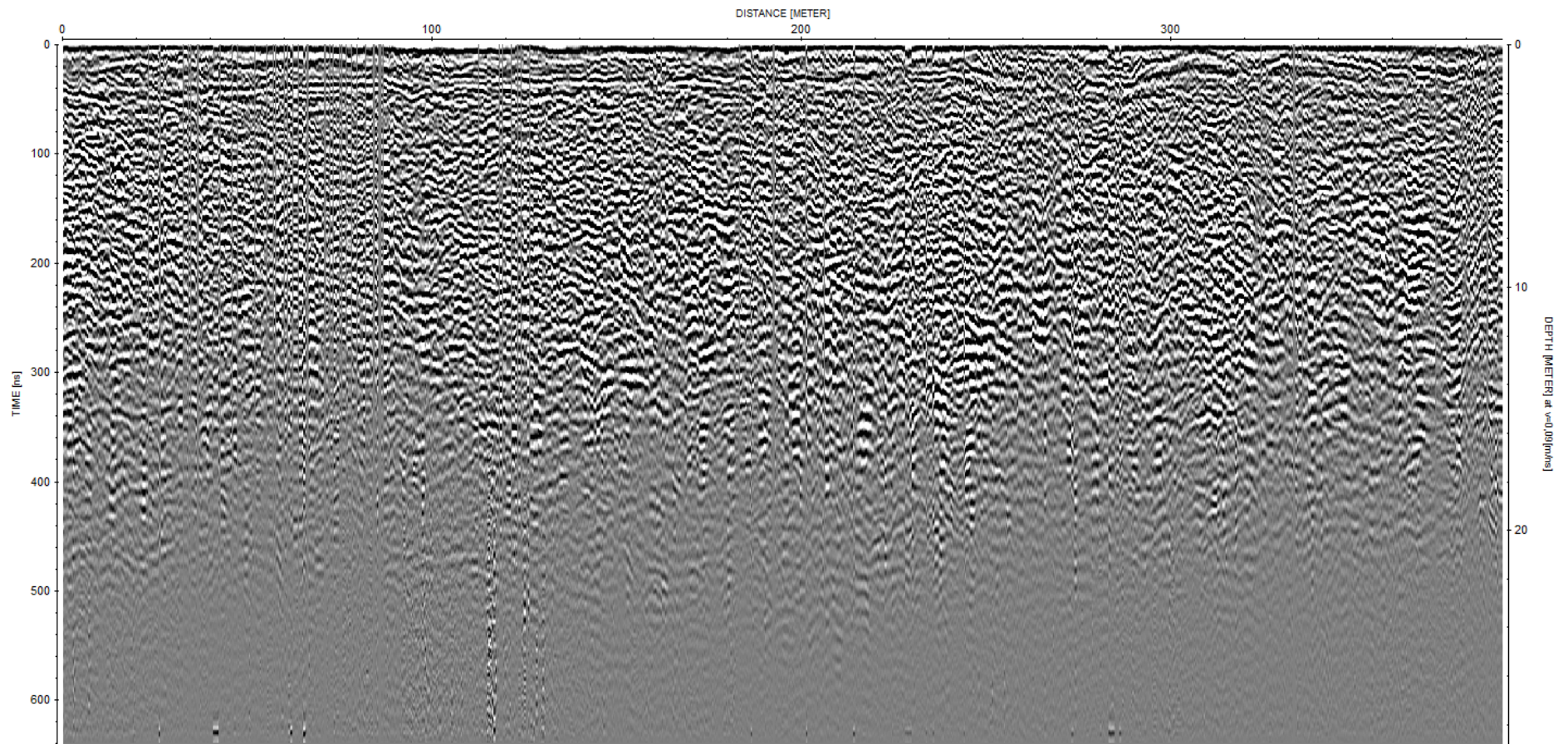
*Profil 8*





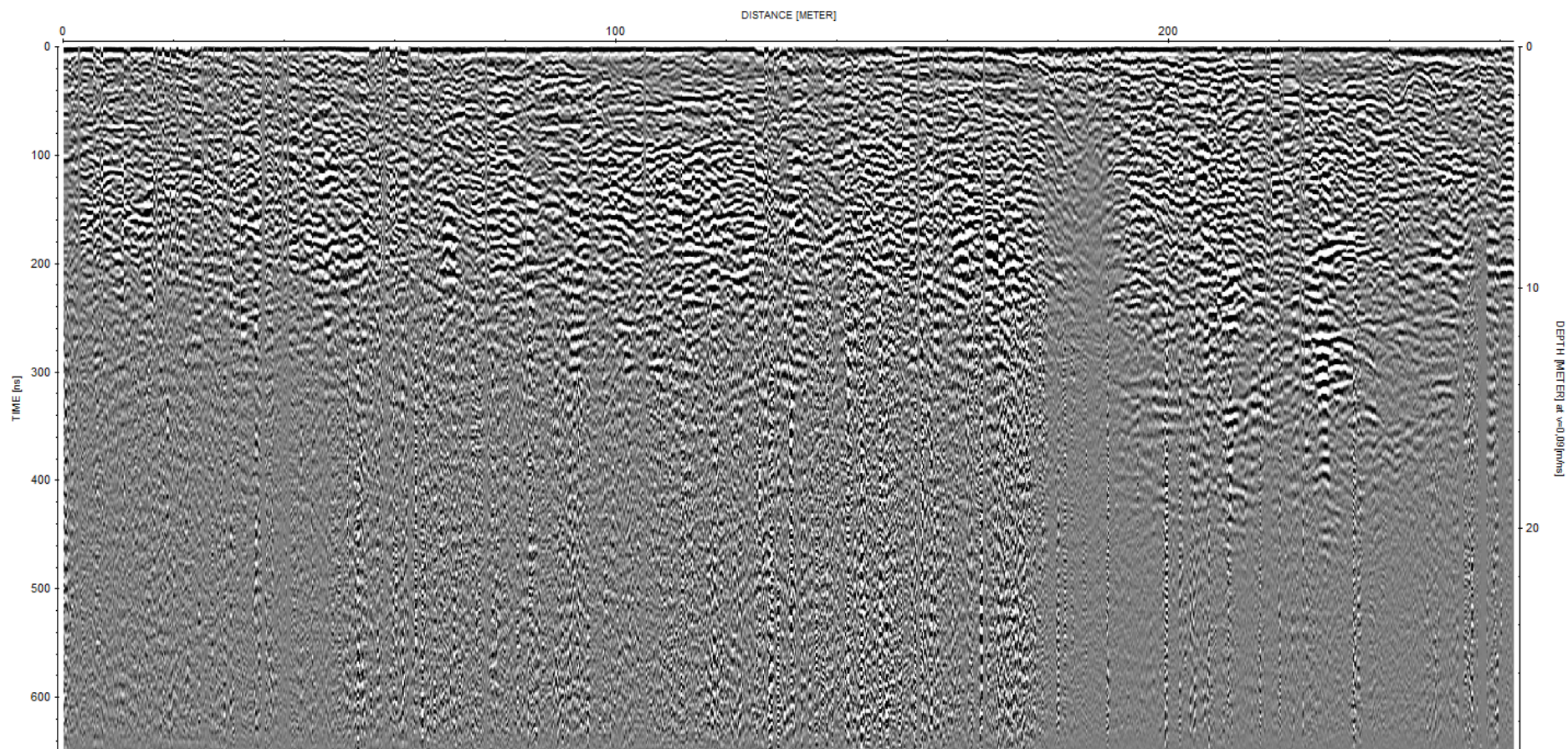
*Profil 9*





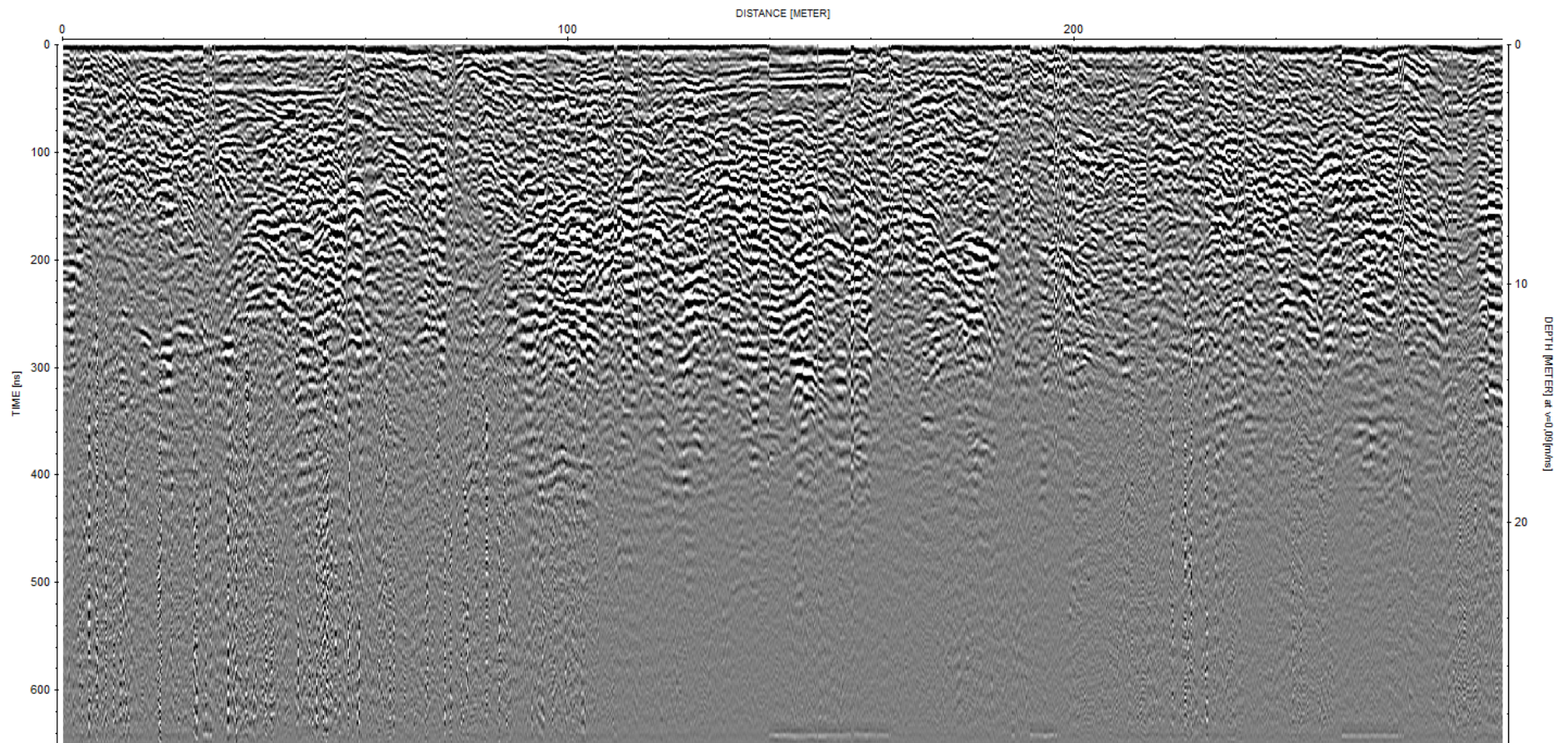
*Profil 10*





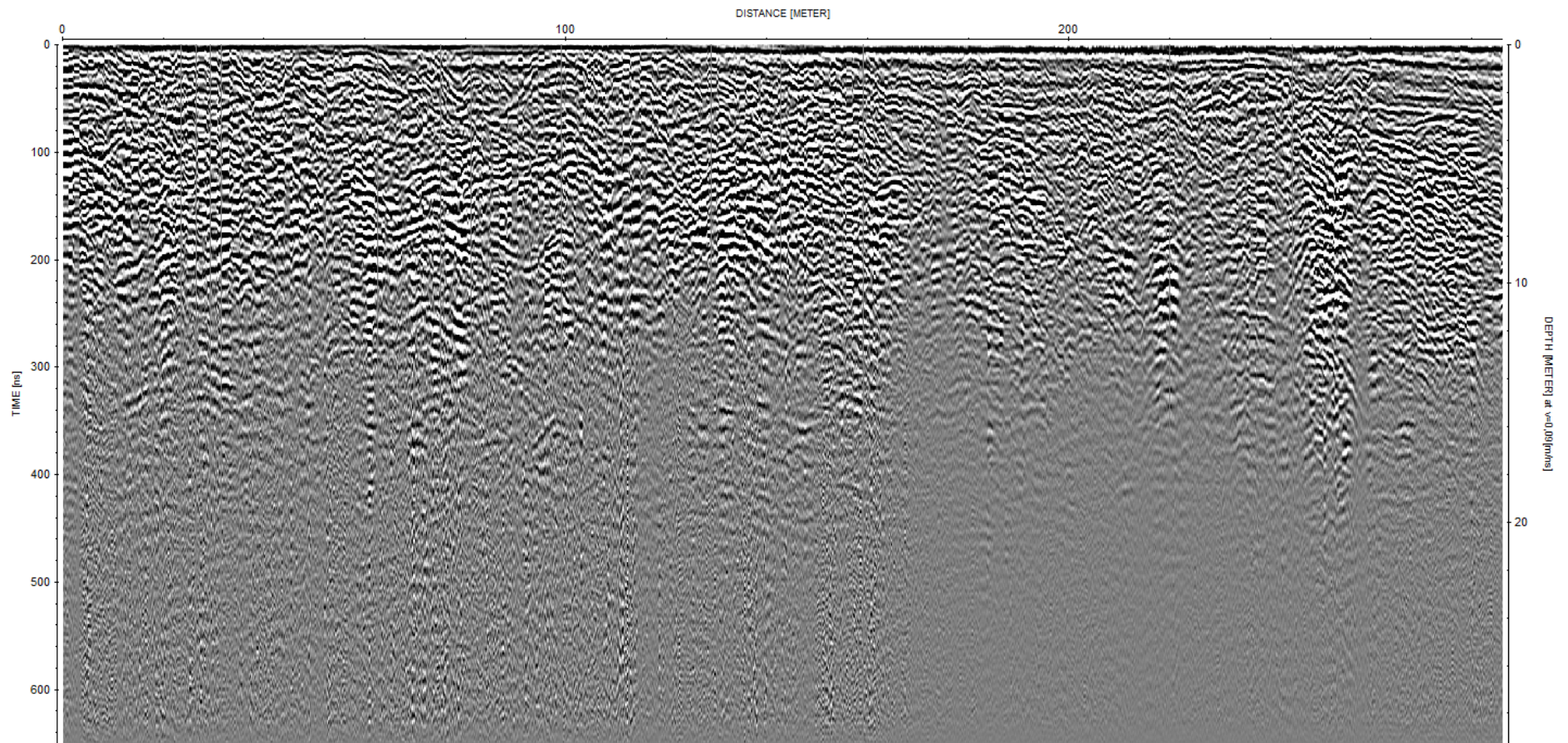
*Profil 11*





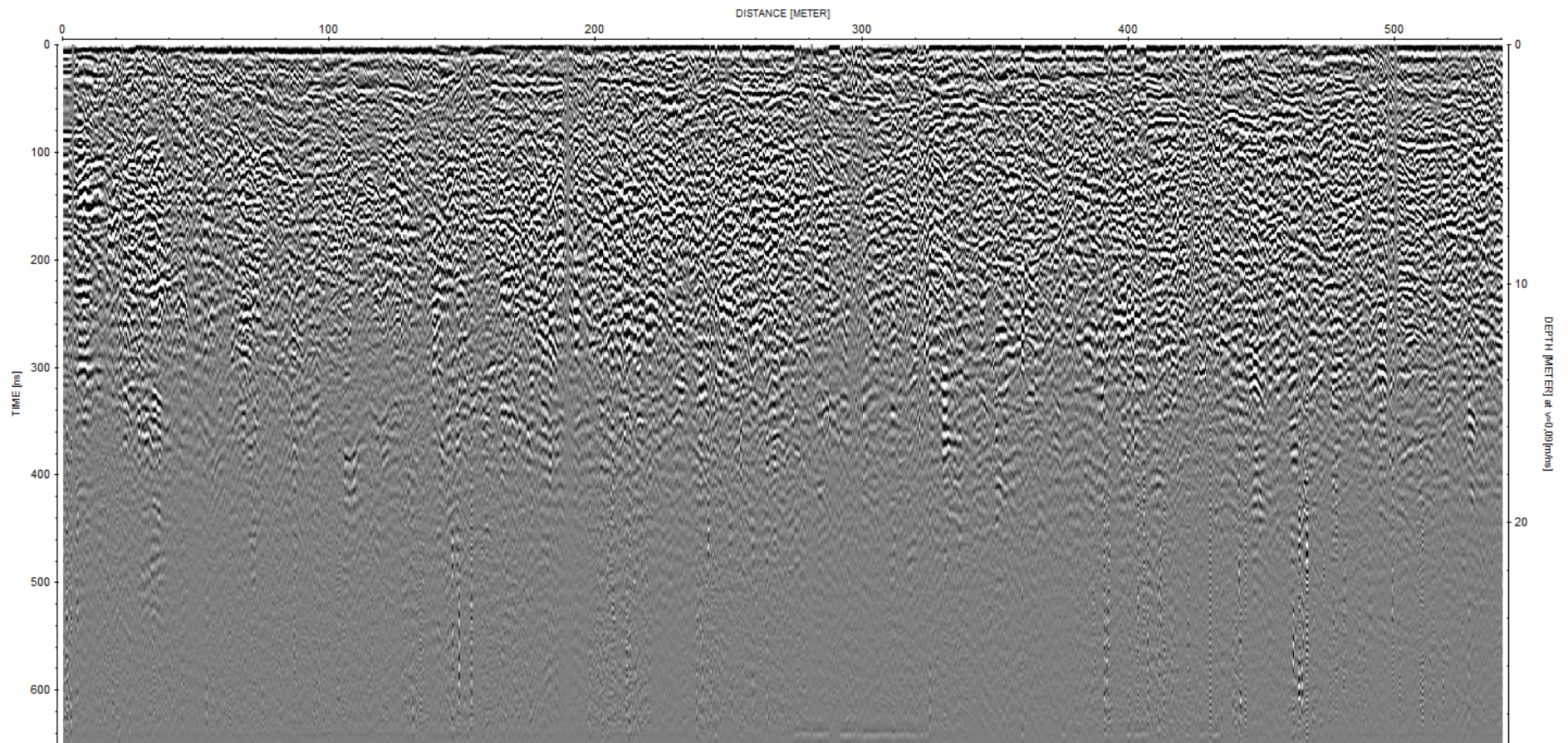
*Profil 12*





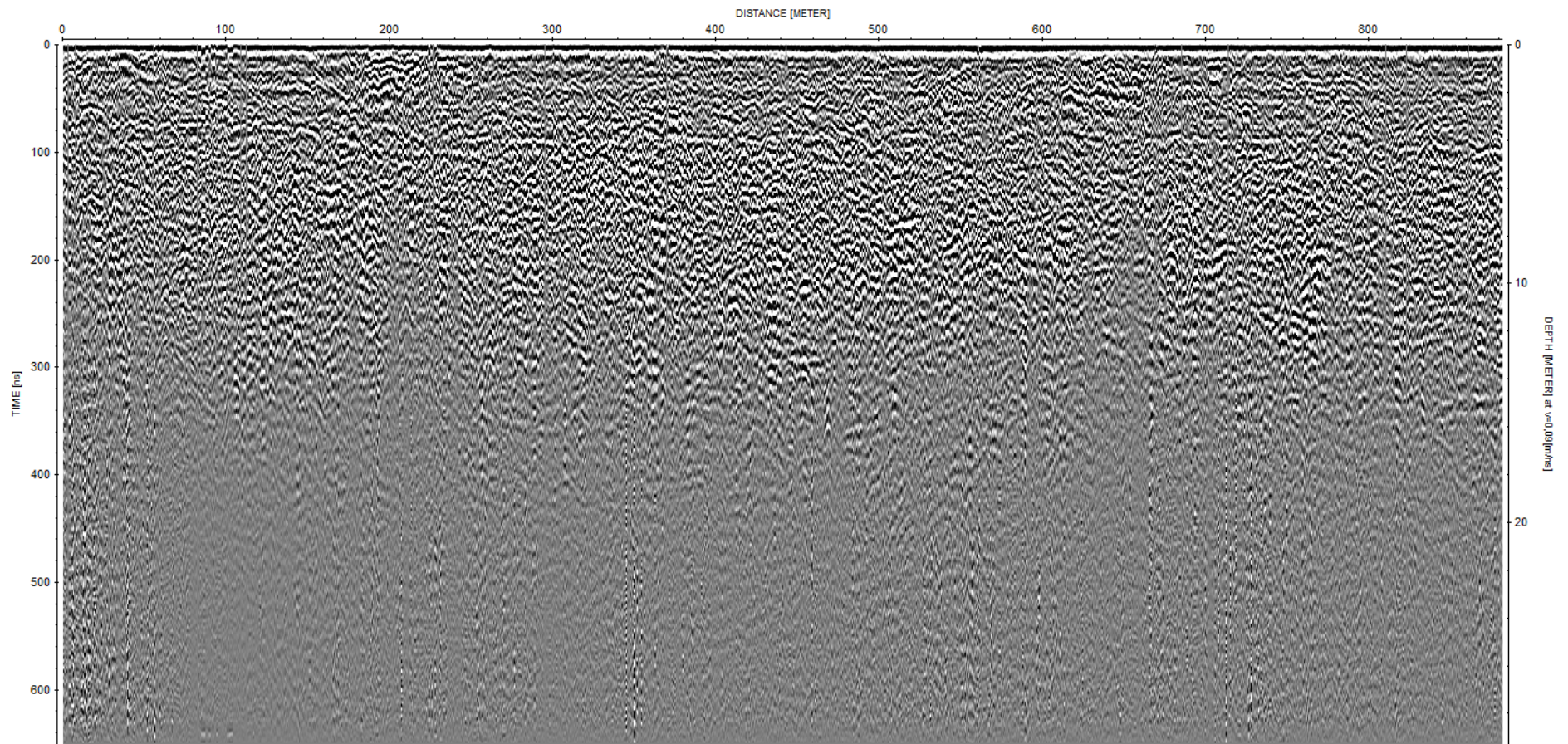
*Profil 13*





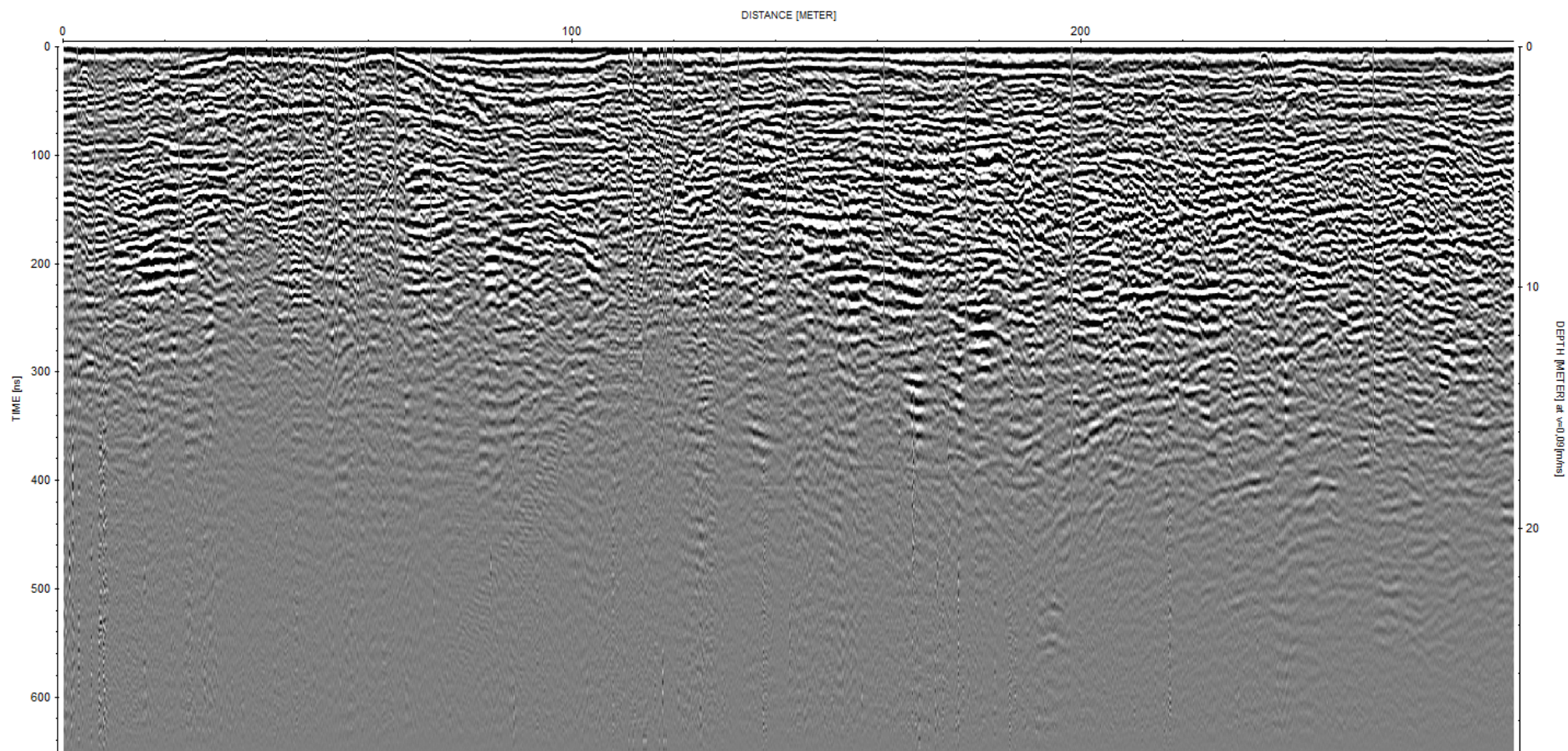
*Profil 14*



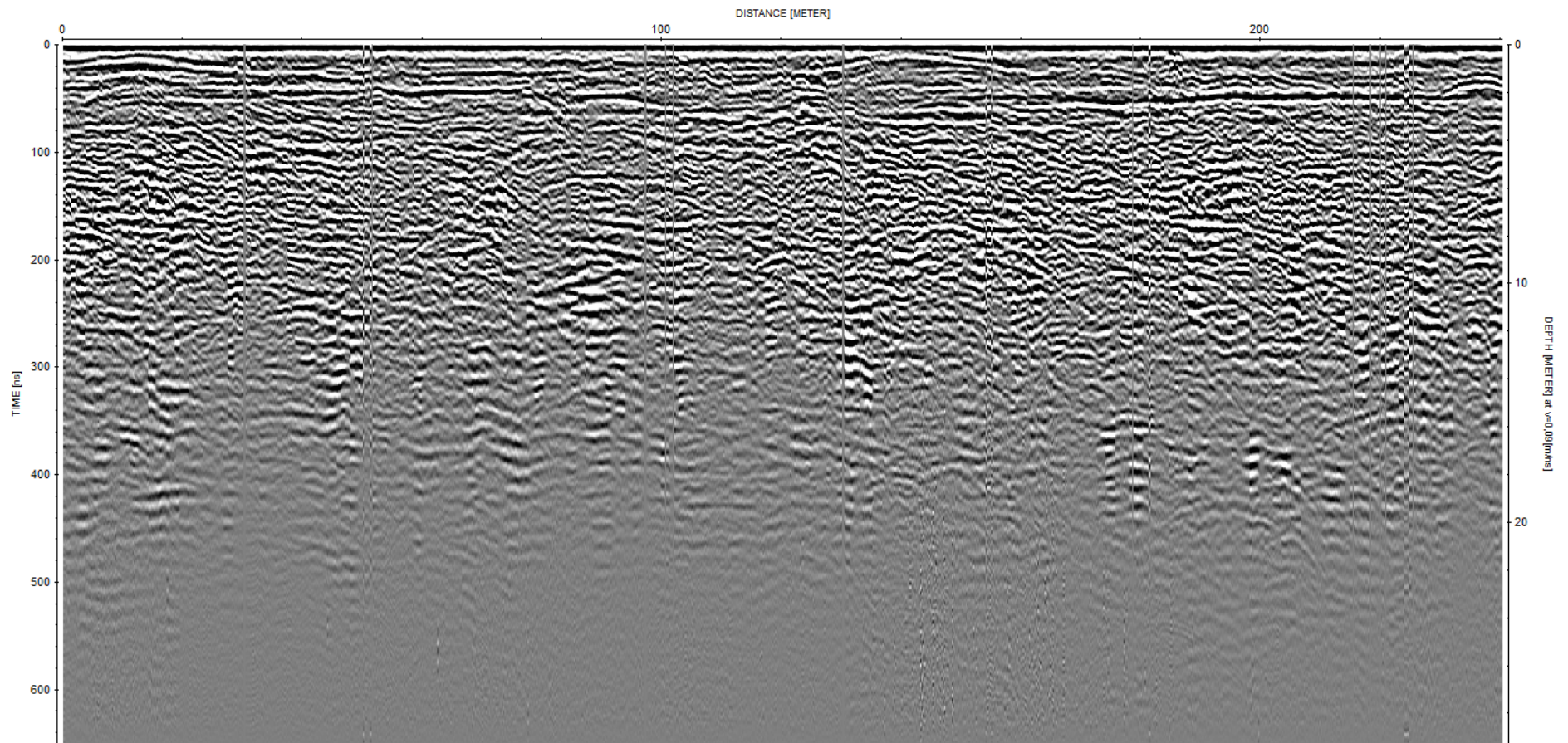


*Profil 15*



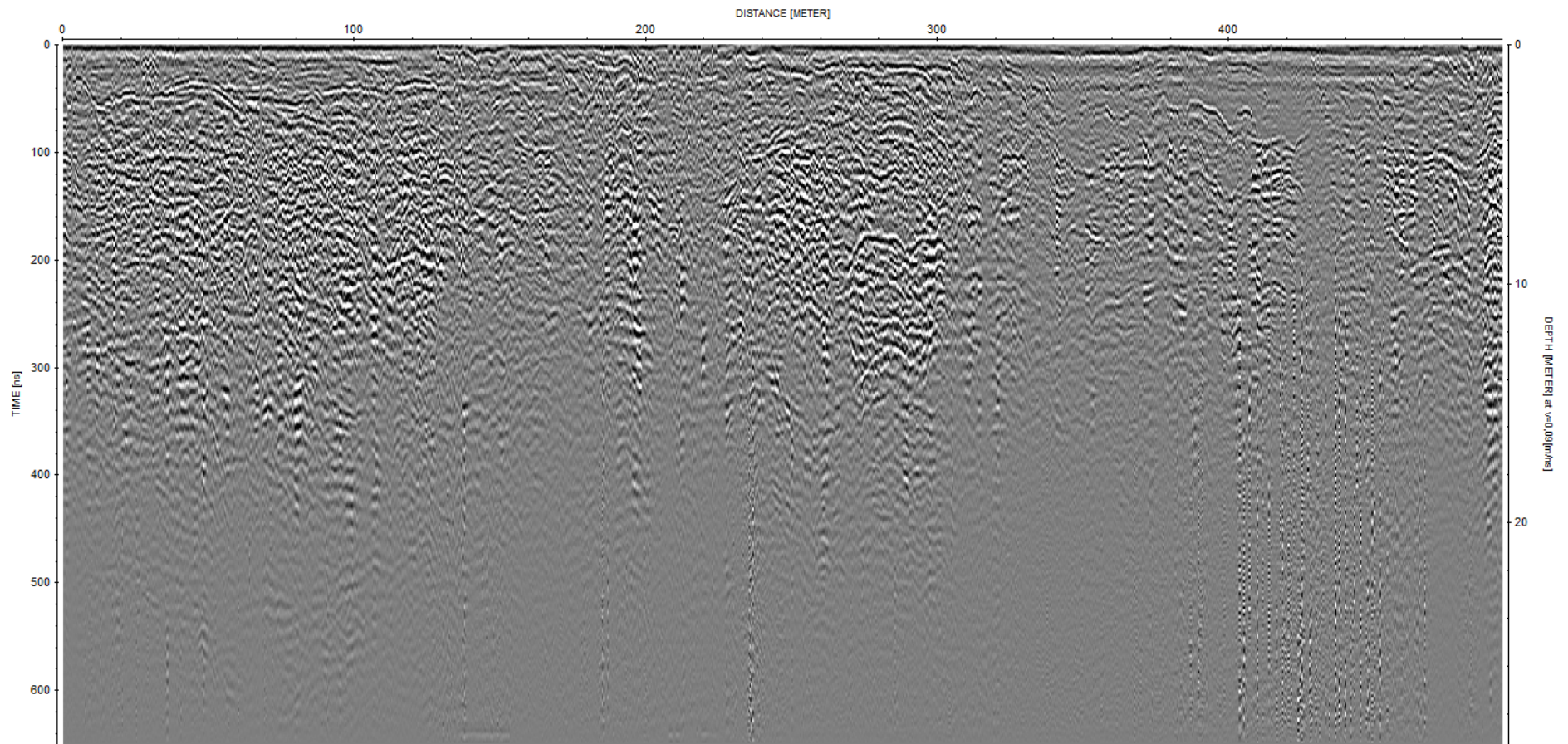


*Profil 16*

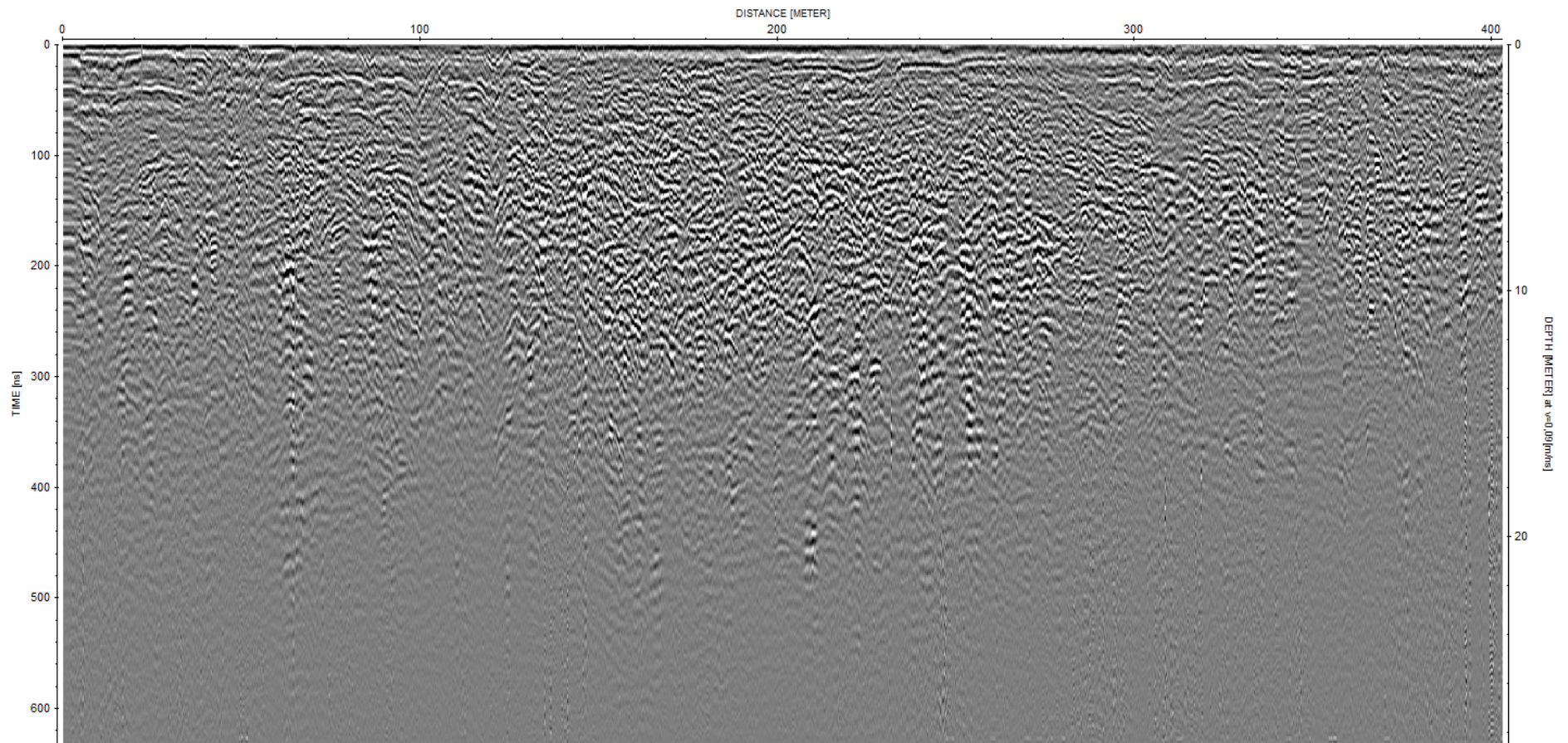


*Profil 17*



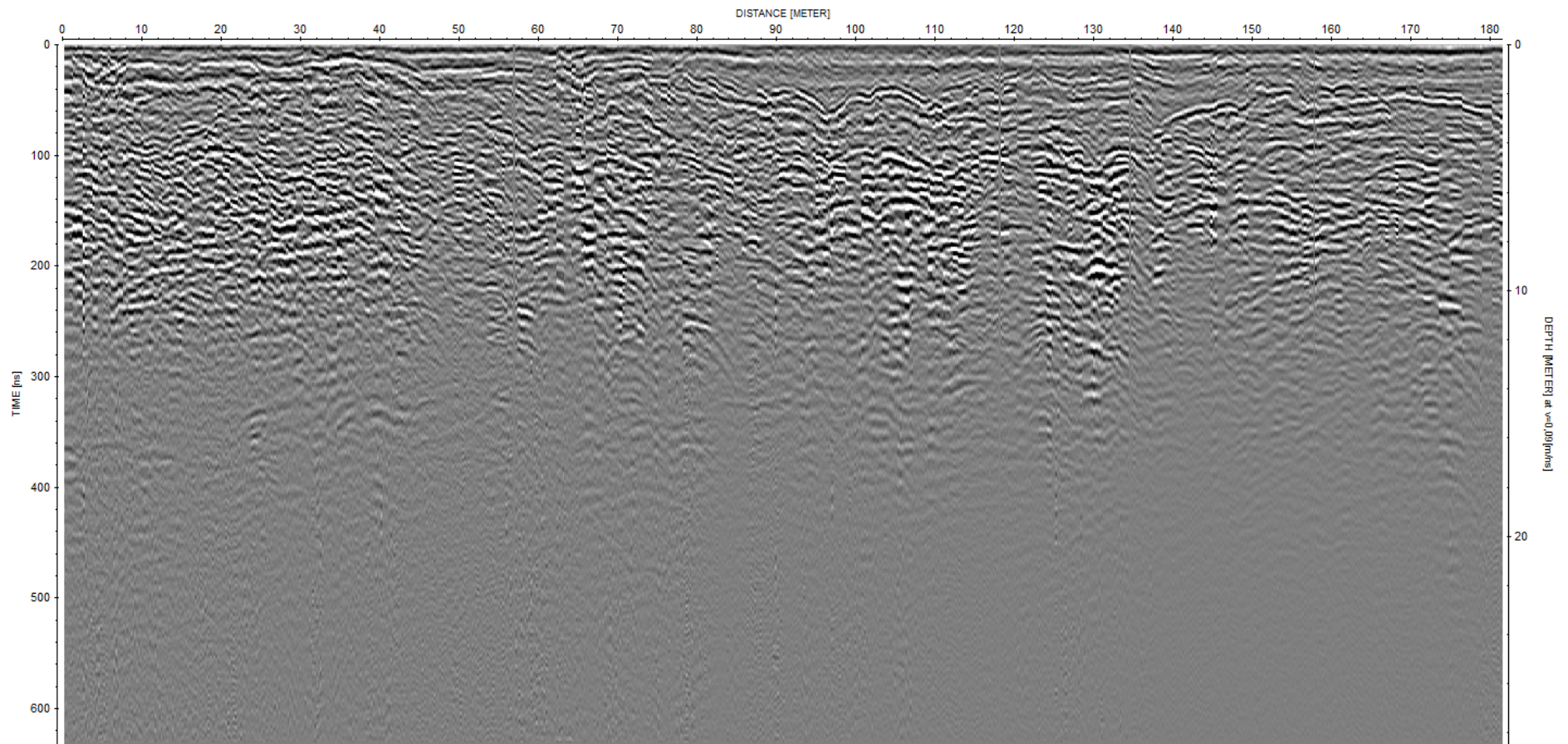


*Profil 18*

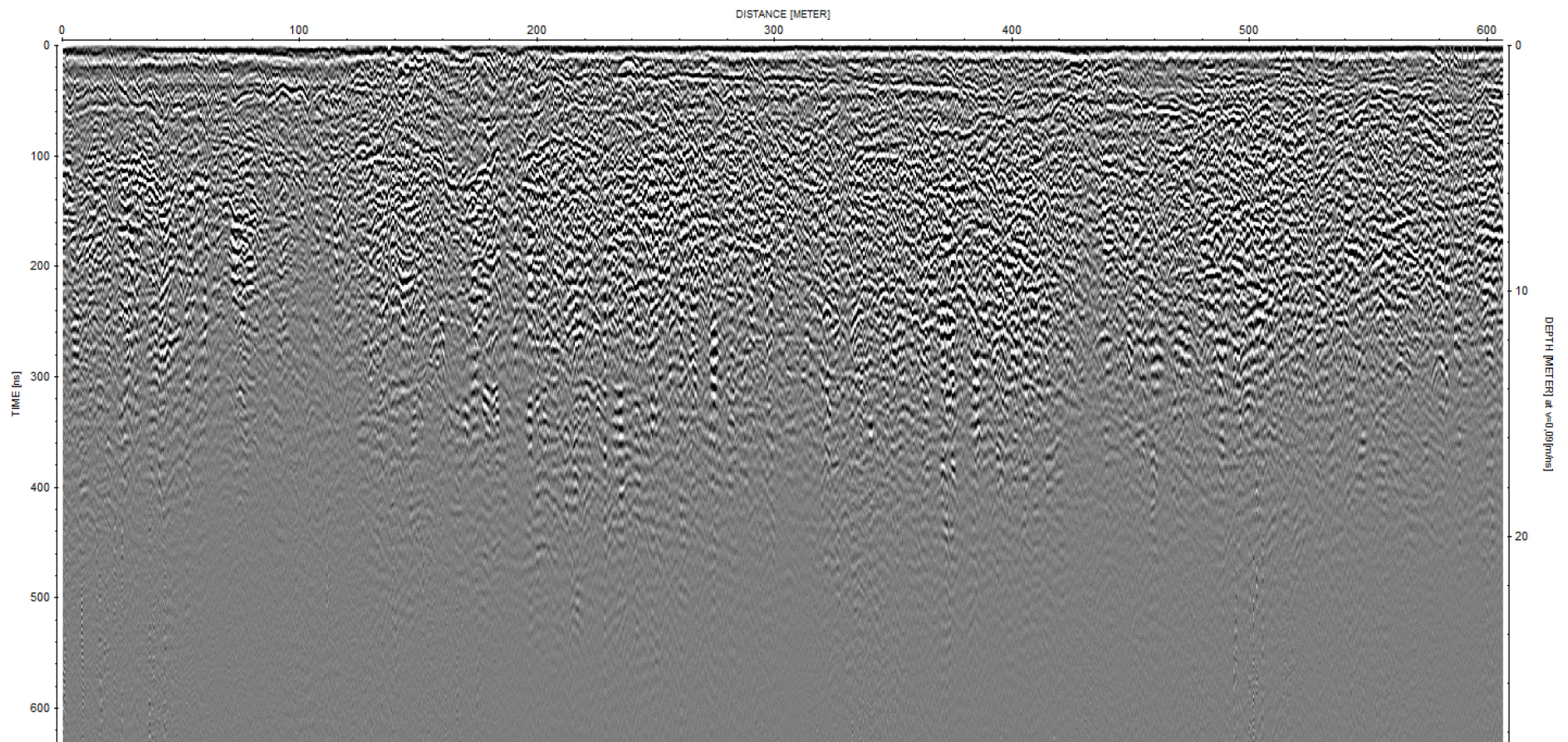


*Profil 19*



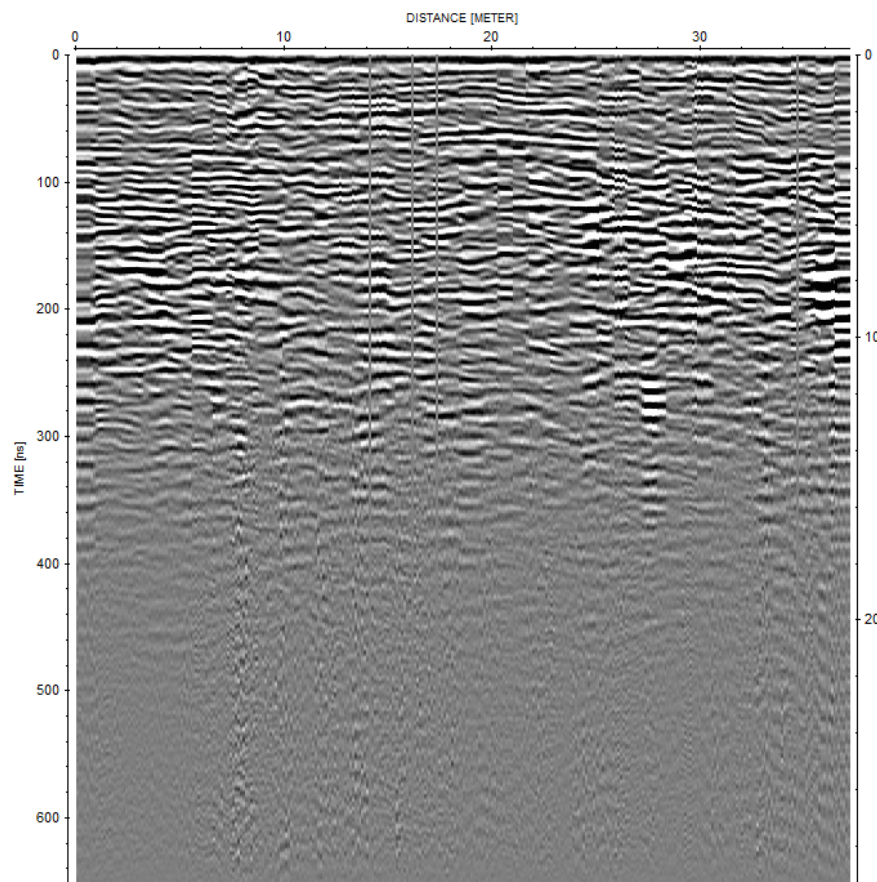


*Profil 20*

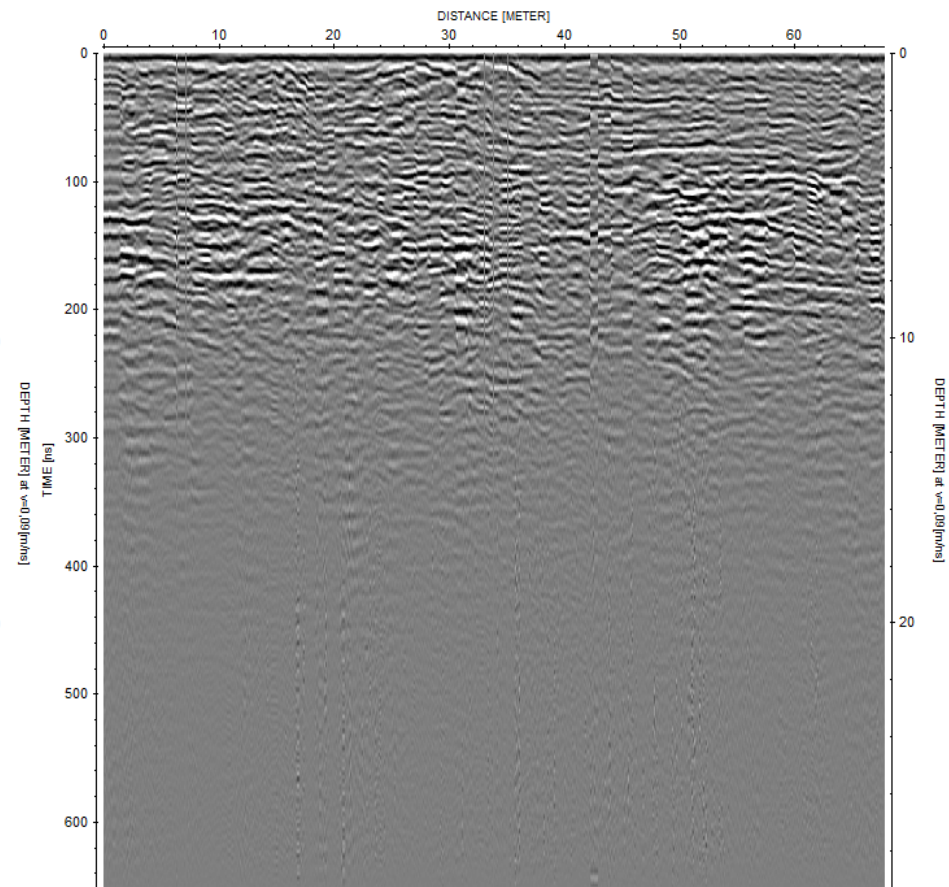


*Profil 21*

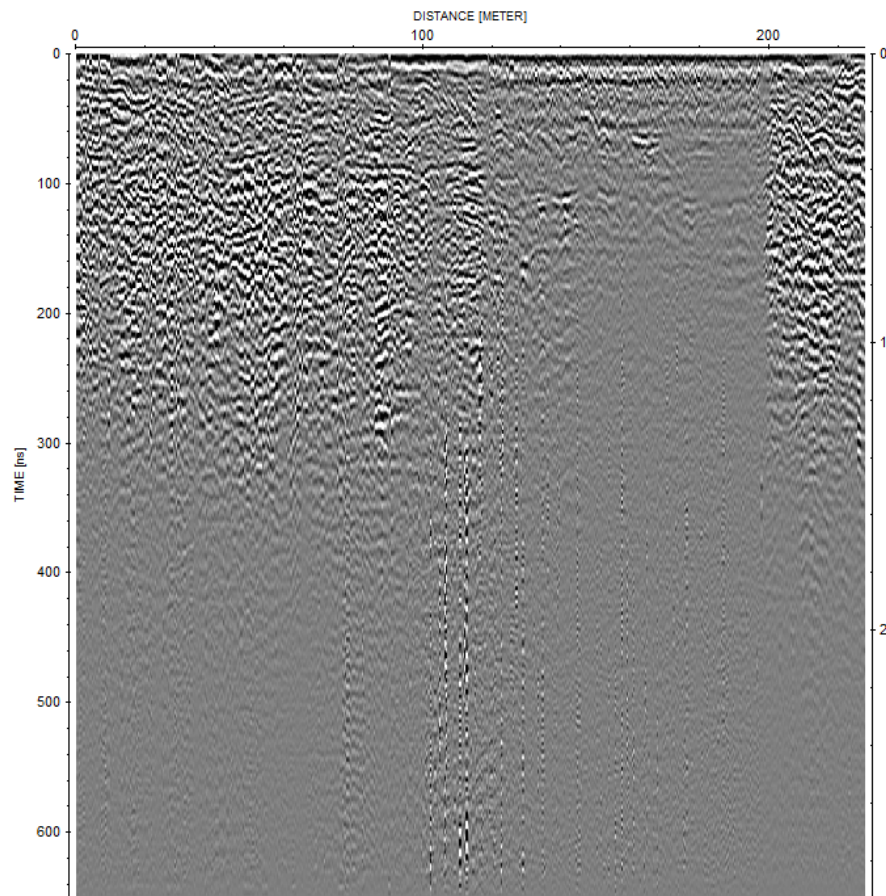




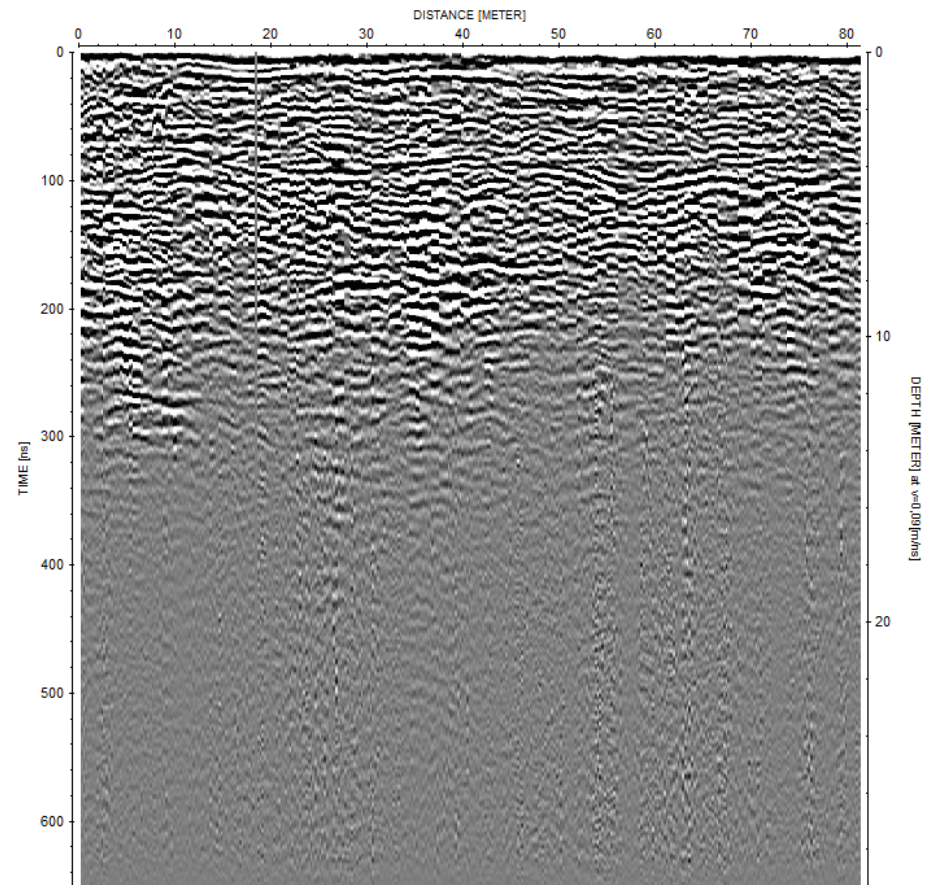
*Profil 22*



*Profil 23*

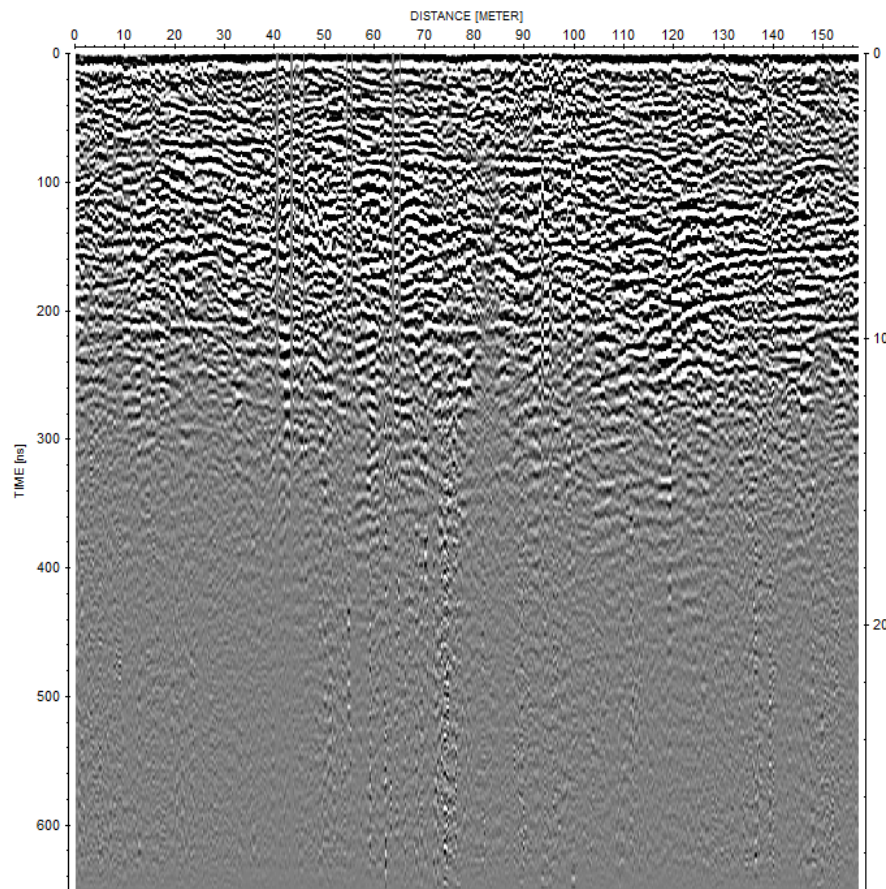


*Profil 24*

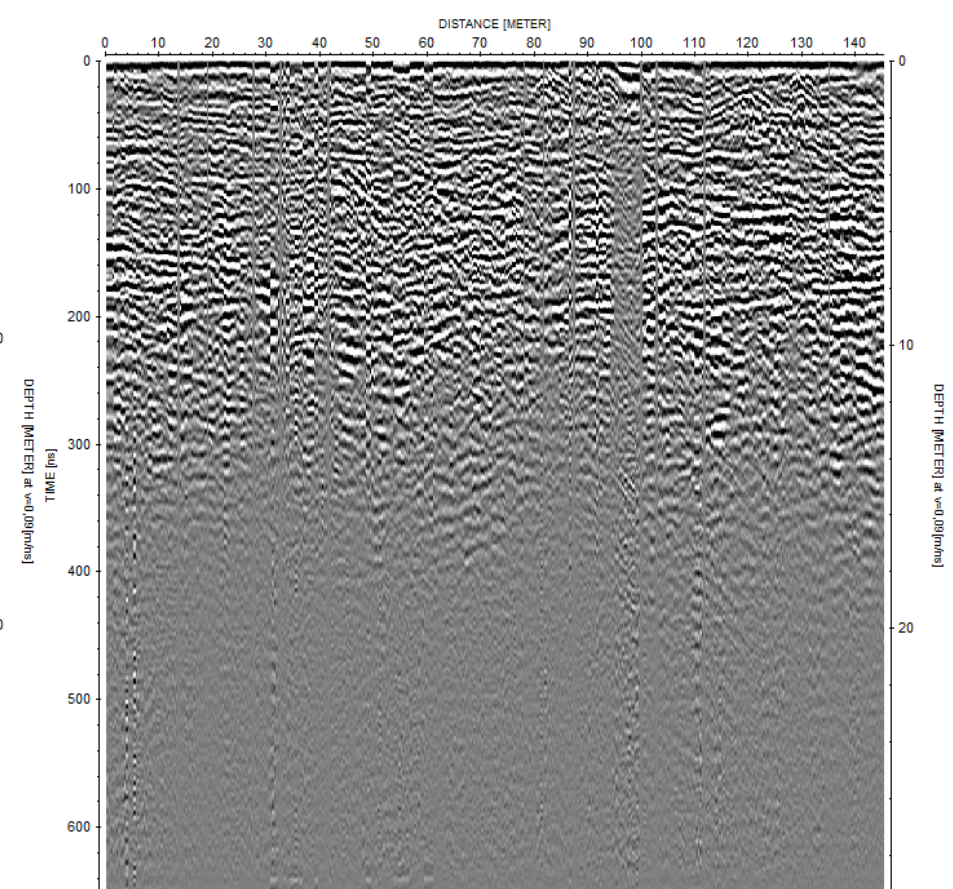


*Profil 25*



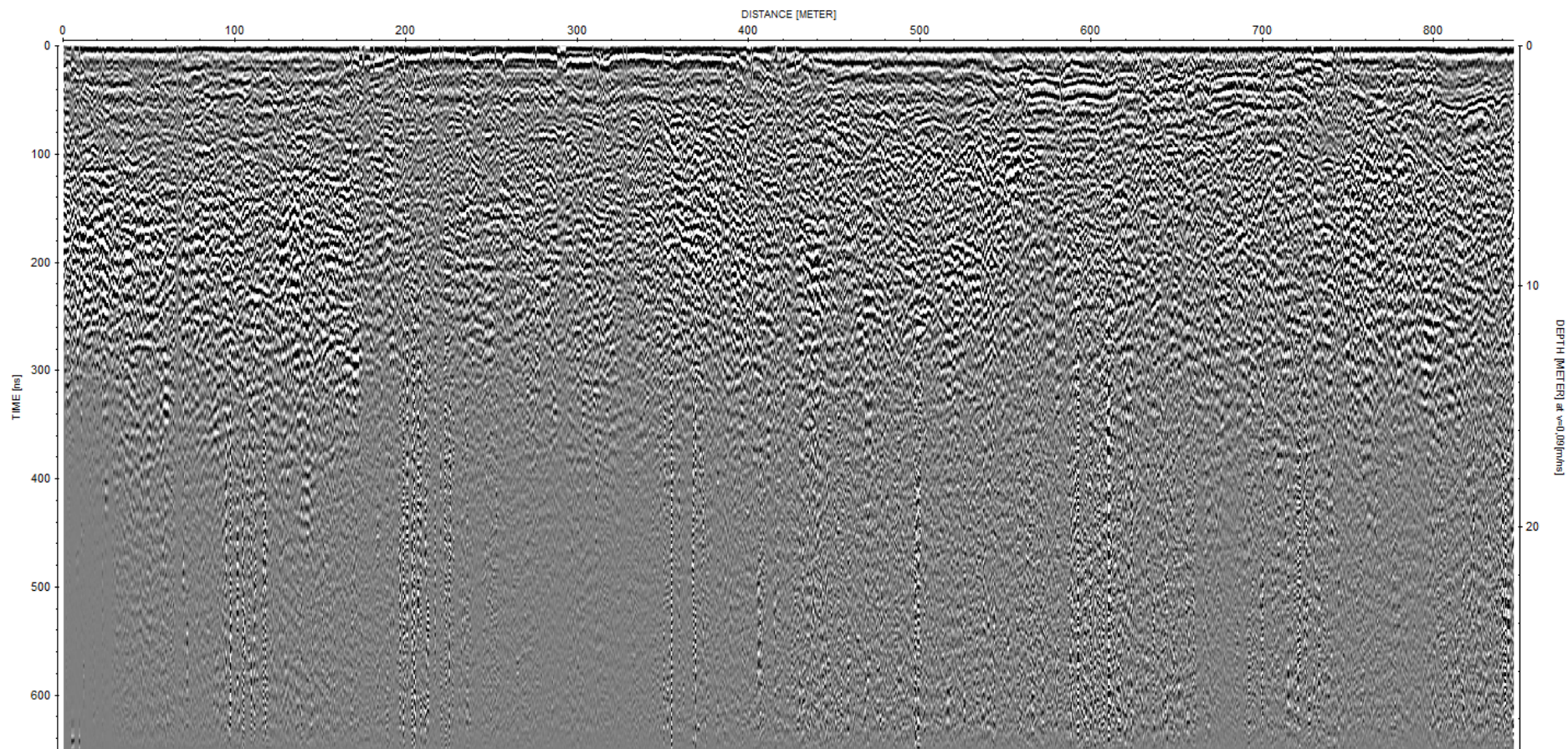


*Profil 26*



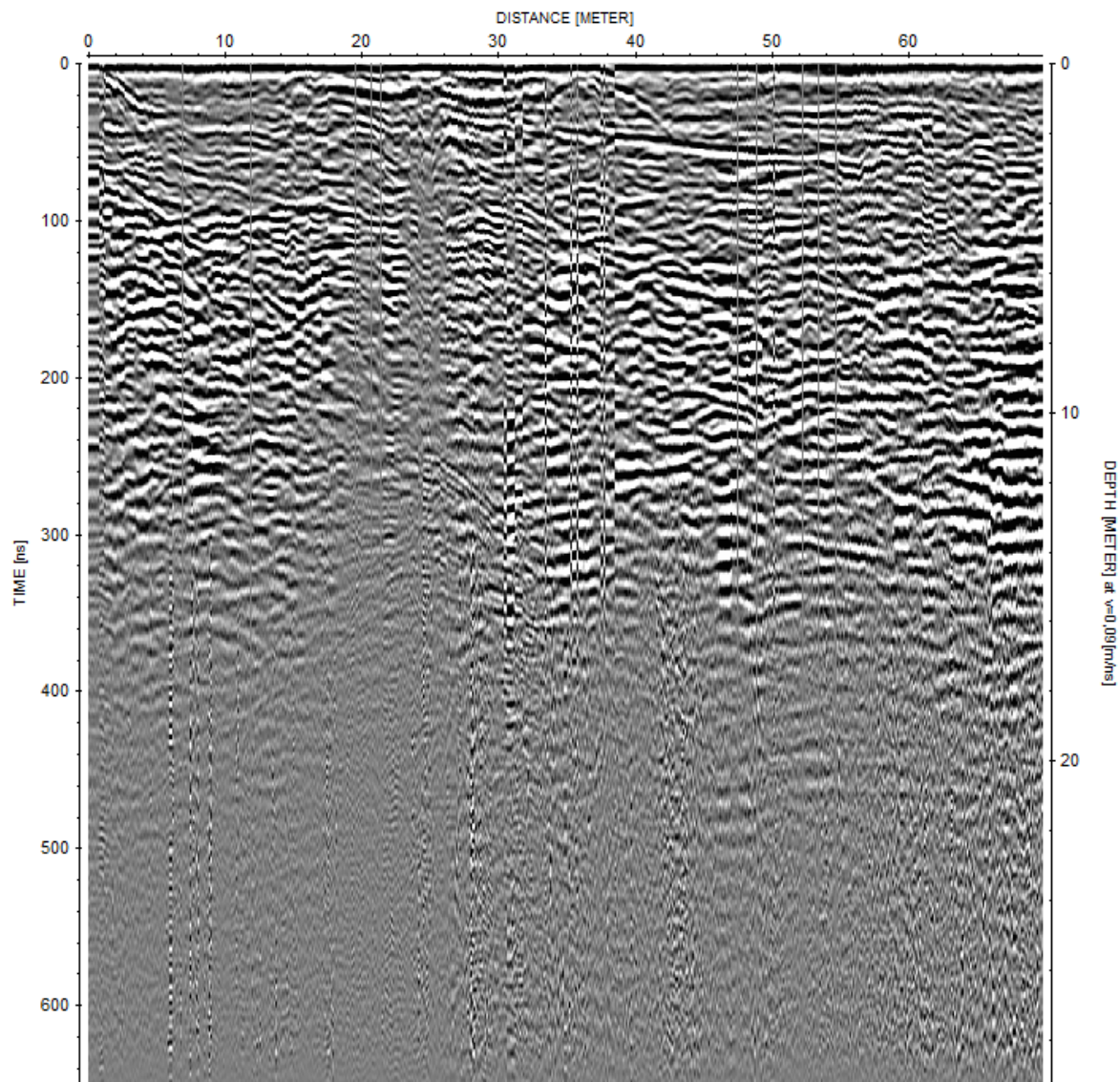
*Profil 27*



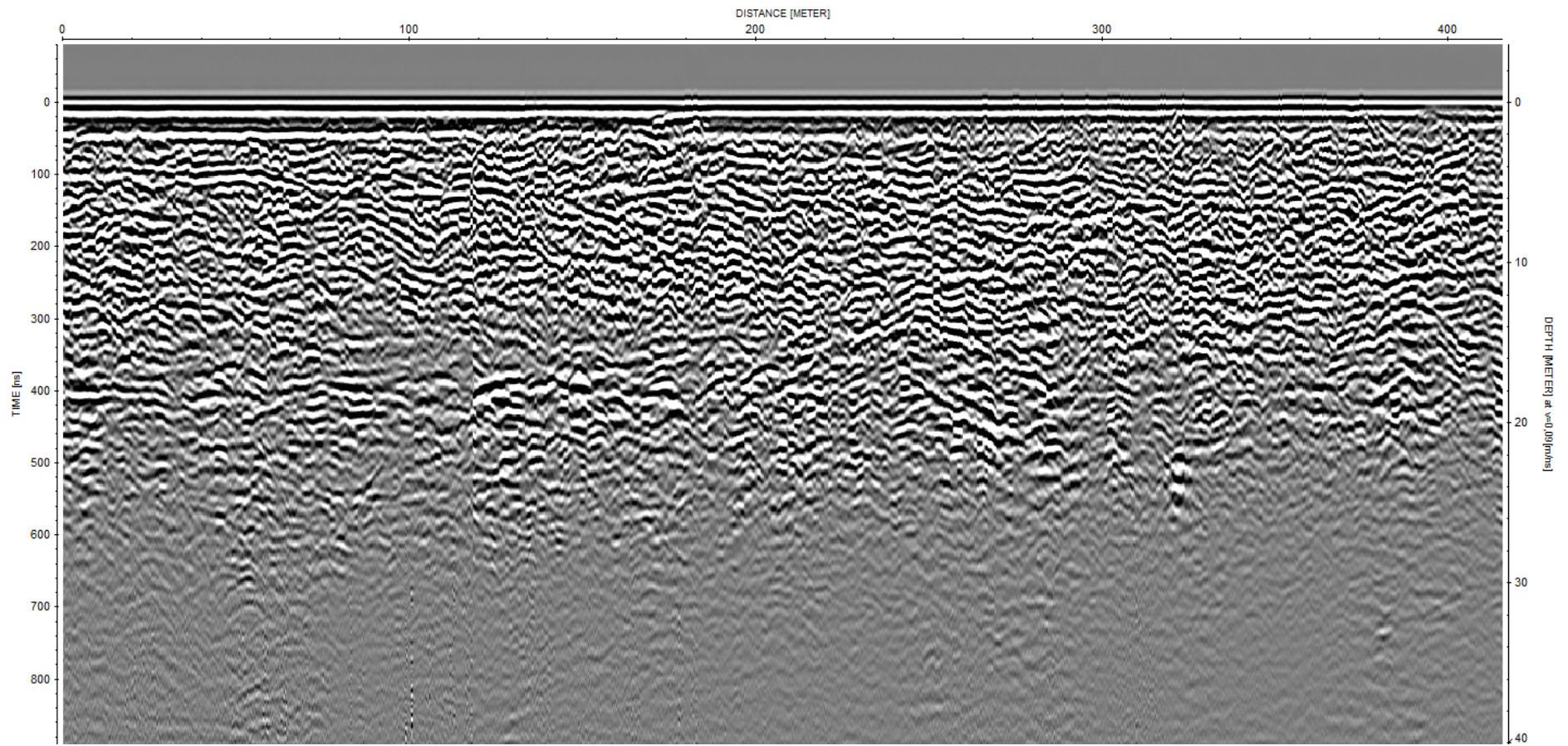


*Profil 28*



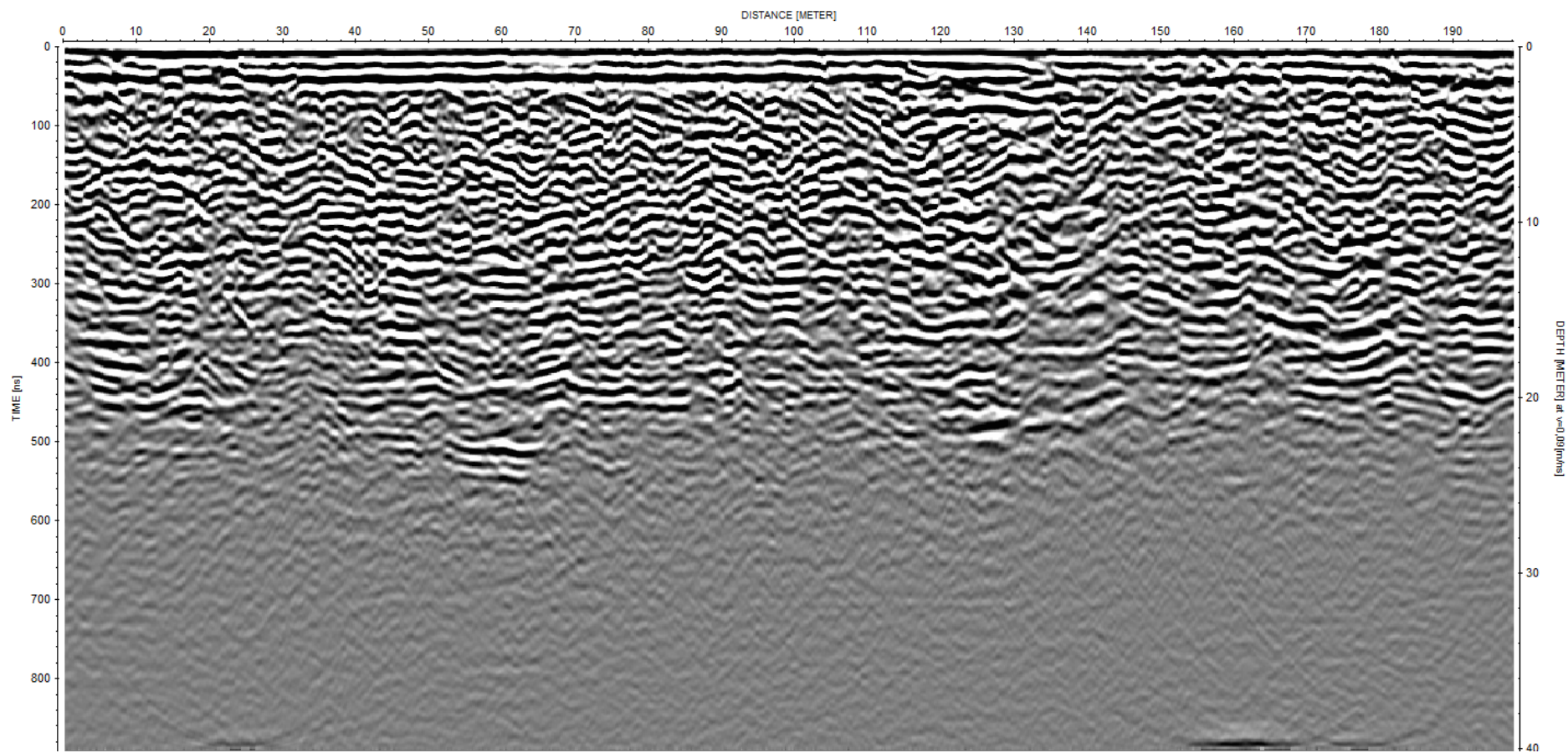


*Profil 29*

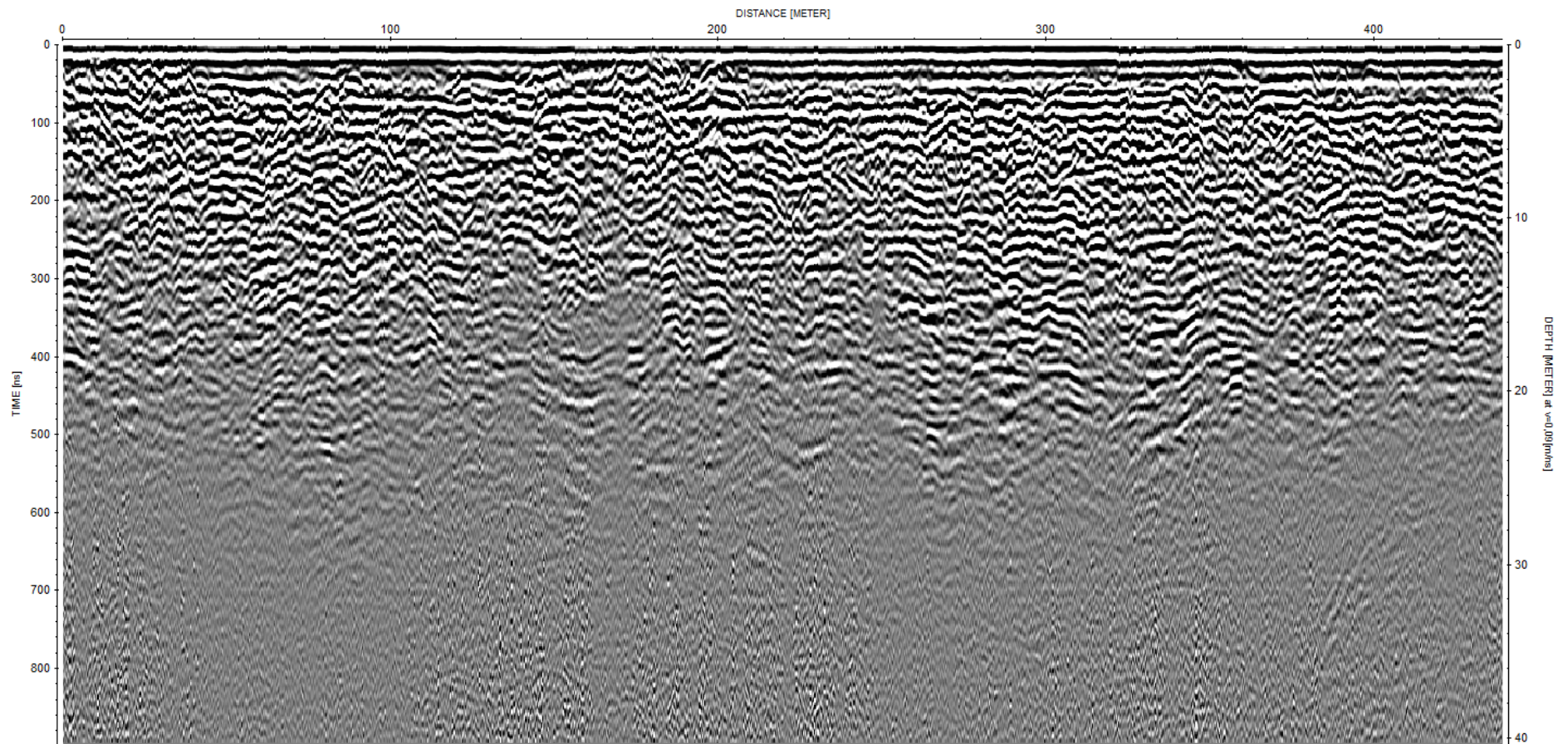


*Profil 30*



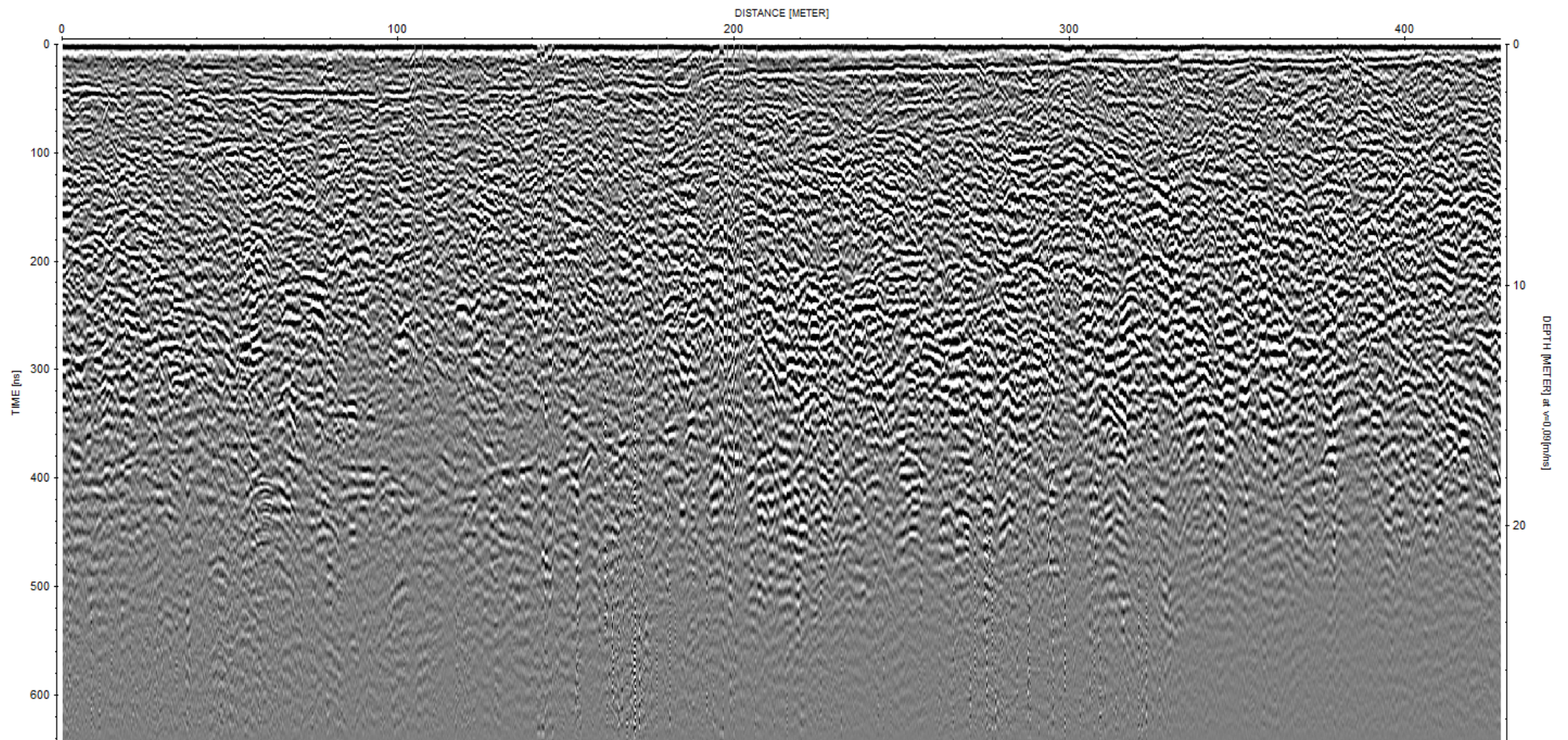


*Profil 31*



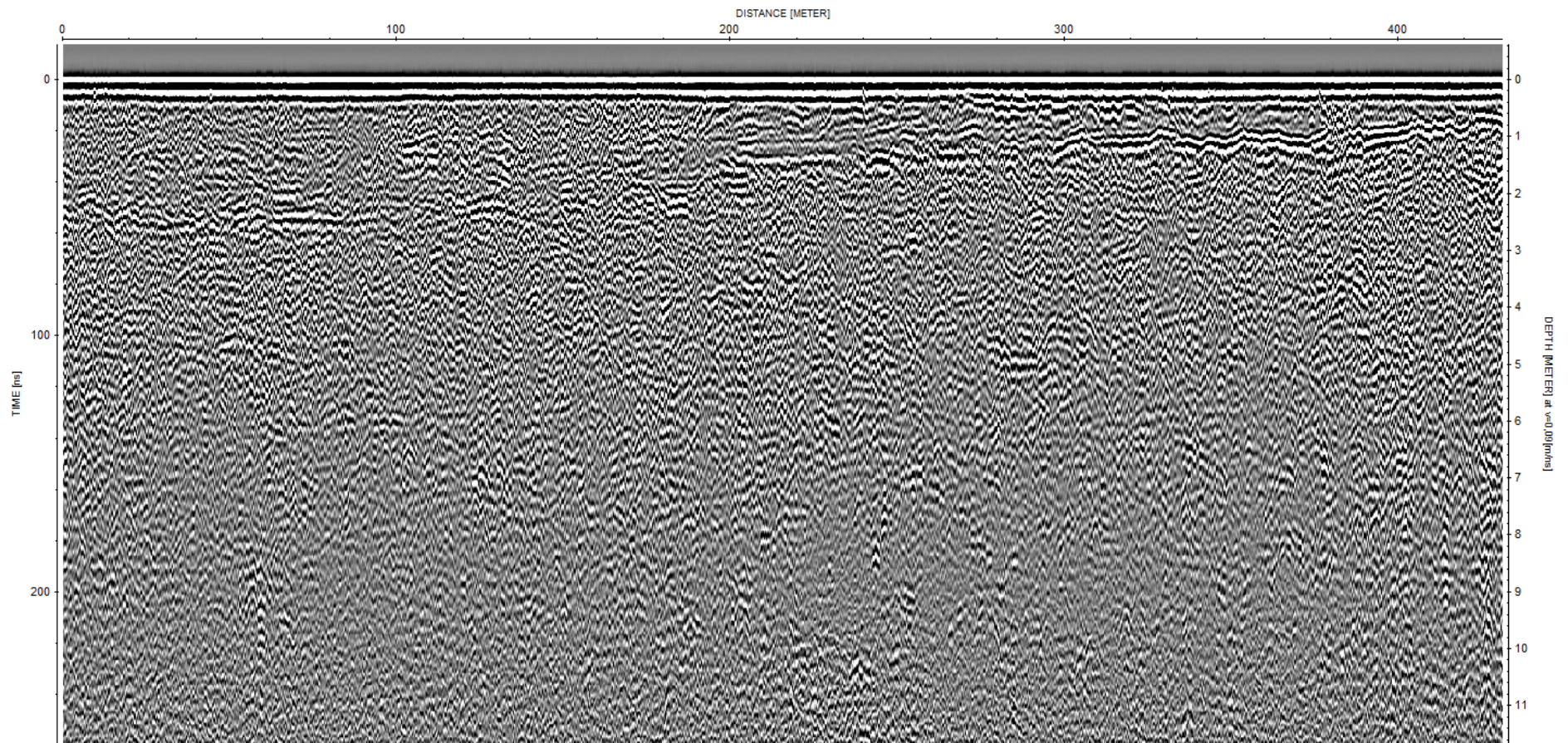
*Profil 32*





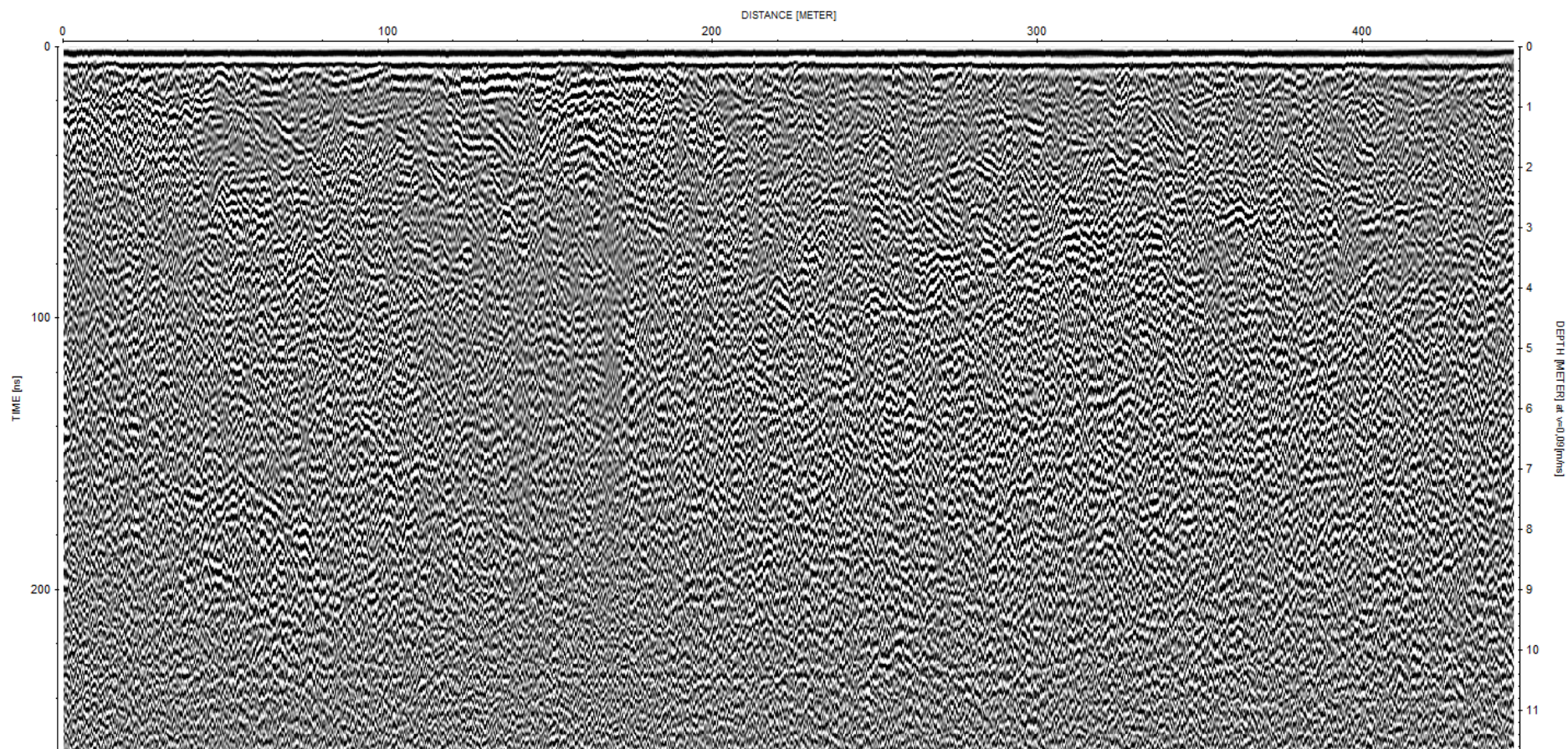
*Profil 33*





*Profil 34*





*Profil 35*

## Vedlegg B

Script benyttet til modellering av figur 65 og 67.

```
clc
clear
%Fjerner gamle kommandoer og variabler

data = xlsread('Potensialhøyder.xlsx');
%Leser inn data fra excel-ark

x = data(:,1) ; y = data(:,2) ; z = data(:,3) ;
%Lagrer kolonne 1,2 og 3 som x,y og z som Nx1-kolonner

dt = delaunayTriangulation(x,y) ;
%Lager 2-D delaunay-triangler ut fra x- og y-koordinatene

tri = dt.ConnectivityList ;
%Lager en matrise hvor hver rad representerer et triangel, og
hvert element
%i matrisen tilsvarer en ID til hjørnene i trianglene

xi = dt.Points(:,1) ; yi = dt.Points(:,2) ;
%lager vektorer av x- og y-koordinater til trianglene

F = scatteredInterpolant(x,y,z);
%Lager en lineær interpolering mellom alle x-,y- og z-
koordinater

zi = F(xi,yi) ;
%lager en Z-vektor basert på interpoleringen og x- og y-
vektorene

trisurf(tri,xi,yi,zi)
%Plotter overflaten basert på delaunaytrianglerne, og tilhørende
x-,y- og
%z-vektorer

view(2)
shading interp
xlabel('X','fontweight','b'), ylabel('Y','fontweight','b');
zlabel('meter','fontweight','b');
title('Overflatemodell av grunnvannsnivået på
Frya','fontweight','b');
```

## Vedlegg C

Punkter benyttet til figur 66. Grunnen til at reisetid og dybde av og til ikke stemmer helt overens etter likning 8 er at gangtiden er plukket for hver 10ende meter, og dybden er et gjennomsnitt over 1 meter rundt punktet, generert av ReflexW 2D-dataanalysis.

	X (UTM 32)	Y (UTM 32)	Z	Gangtid (ns)	V (m/ns)	GVN	Potensial
<b>Frya vannverk</b>	556076.288	6824363.29	196.376889	-	-	10.56	185.8
<b>Miljøstasjon 1</b>	555888.162	6824353	197.182943	-	-	10.15	187.0
<b>Miljøstasjon 2</b>	555948.552	6824403.37	193.724725	-	-	3.81	189.9
<b>Tine pb</b>	556784.143	6824041.09	191.548184	-	-	7.02	184.5
<b>Gård</b>	555503.867	6823794.76	189.784597	-	-	4.55	185.2
<b>Miljøstasjon 3</b>	555983.834	6824542.99	199.063386	-	-	10.14	188.9
<b>P1</b>	555948.251	6824347.46	197.674642	121.682	0.13	7.389	190.3
<b>P1</b>	555830.687	6824333.22	196.416532	151.302	0.13	9.923	186.5
<b>P2</b>	556003.148	6824454.99	198.135018	95.463	0.13	6.153	192.0
<b>P3</b>	555940.582	6824321.77	196.627285	111.158	0.13	6.078	190.5
<b>P3</b>	555906.292	6824197.41	195.515689	116.756	0.13	6.293	189.2
<b>P3</b>	555924.565	6823853.61	191.853272	55.979	0.13	3.691	188.2
<b>P4</b>	555887.972	6823683.95	190.532486	47.194	0.13	3.019	187.5
<b>P4</b>	555818.473	6823424.78	187.731163	19.555	0.13	1.324	186.4
<b>P4</b>	555809.695	6823285.61	185.332822	3.7	0.13	0.3	185.0
<b>P5</b>	555646.1	6823425.09	187.203315	28.819	0.15	1.821	185.4
<b>P6</b>	555310.866	6823414.82	187.224036	36.471	0.15	2.863	184.4
<b>P6</b>	555743.281	6824165.69	193.5362	93	0.15	6.975	186.6
<b>P10</b>	555462.468	6823345.33	185.431242	4	0.15	0.3	185.1
<b>P11</b>	556997.22	6824154.78	189.576434	71.541	0.14	5.00787	184.6
<b>P11</b>	557021.982	6824048.76	188.683795	67.429	0.14	4.72003	184.0
<b>P12</b>	556923.325	6823691.5	186.416215	35.359	0.14	2.47513	183.9
<b>P13</b>	556776.427	6823606.92	186.439192	41.157	0.14	2.708	183.7
<b>P15</b>	556326.537	6824044.01	191.192809	86.43	0.14	6.0501	185.1
<b>P17</b>	556087.744	6823874.88	191.282499	65.852	0.14	4.60964	186.7
<b>P18</b>	556055.18	6823664.87	189.483851	35.813	0.14	2.50691	187.0
<b>P18</b>	556084.551	6823257.24	185.129763	3	0.14	0.2	184.9
<b>P19</b>	556303.485	6823521.95	186.961397	29.66	0.14	2.0762	184.9
<b>P20</b>	556457.208	6823486.55	186.509092	33.587	0.14	2.079	184.4
<b>P24</b>	556835.879	6824190.29	191.067204	88.809	0.14	6.21663	184.9
<b>P27</b>	556129.601	6824497.65	197.981044	160.35	0.13	9.868	188.1
<b>P25</b>	556536.374	6824353.9	195.168405	146.7	0.13	9.536	185.6

## Vedlegg D

Punkter benyttet til figur 65.

	X (UTM 32)	Y (UTM 32)	Z	Gangtid (ns)	V (m/ns)	GVN	POTENSIAL
<b>Frya vannverk</b>	556076.288	6824363.29	196.376889	-	-	10.56	185.817
<b>Miljøstasjon 1</b>	555888.162	6824353	197.182943	-	-	10.15	187.033
<b>Miljøstasjon 2</b>	555948.552	6824403.37	193.724725	-	-	3.81	189.915
<b>Tine pb</b>	556784.143	6824041.09	191.548184	-	-	7.02	184.528
<b>Gård</b>	555503.867	6823794.76	189.784597	-	-	4.55	185.235
<b>Miljøstasjon 3</b>	555983.834	6824542.99	199.063386	-	-	10.14	188.923
<b>P1</b>	555948.251	6824347.46	197.674642	121.682	0.13	7.389	190.286
	555938.262	6824347.92	197.658328	128.887	0.13	8.091	189.567
	555928.272	6824348.38	197.634898	133.69	0.13	8.586	189.049
	555918.283	6824348.84	197.630298	142.496	0.13	9.002	188.628
	555908.293	6824349.3	197.562802	149.701	0.13	9.548	188.015
	555898.304	6824349.75	197.431261	159.307	0.13	10.199	187.232
	555888.389	6824349.35	197.24723	158.506	0.13	10.251	186.996
	555878.626	6824347.19	197.155435	158.506	0.13	10.303	186.852
	555868.863	6824345.02	197.000946	161.709	0.13	10.407	186.594
	555859.112	6824342.82	196.733617	157.706	0.13	10.417	186.317
	555840.136	6824336.5	196.621067	152.903	0.13	10.116	186.505
	555830.687	6824333.22	196.416532	151.302	0.13	9.923	186.494
<b>P2</b>	555949.022	6824348.14	197.627349	109.903	0.13	7.457	190.170
	555953.494	6824357.08	197.220506	98.672	0.13	6.7	190.521
	555957.868	6824366.07	197.091331	98.672	0.13	6.414	190.677
	555961.647	6824375.33	196.995262	99.474	0.13	6.414	190.581
	555965.543	6824384.54	197.178628	100.276	0.13	6.518	190.661
	555969.551	6824393.7	197.219257	102.683	0.13	6.599	190.620
	555973.56	6824402.86	197.489741	101.881	0.13	6.622	190.868
	555978.517	6824411.53	197.589993	100.276	0.13	6.527	191.063
	555983.682	6824420.09	197.680939	98.672	0.13	6.518	191.163
	555988.463	6824428.87	197.741189	98.672	0.13	6.414	191.327
	555992.935	6824437.81	197.935975	97.068	0.13	6.309	191.627
	555997.824	6824446.52	198.055474	95.463	0.13	6.205	191.850
	556003.148	6824454.99	198.135018	95.463	0.13	6.153	191.982
	556008.381	6824463.51	198.07355	97.87	0.13	6.257	191.817
	556012.471	6824470.72	198.24764	97.87	0.13	6.257	191.991
<b>P3</b>	555940.582	6824321.77	196.627285	111.158	0.13	6.078	190.549
	555937.133	6824312.38	196.468423	107.959	0.13	6.078	190.390



	555933.683	6824302.99	196.336877	113.786	0.13	6.15	190.187
	555930.233	6824293.61	196.270029	116.756	0.13	6.221	190.049
	555926.055	6824284.53	196.289372	116.756	0.13	6.221	190.068
	555921.778	6824275.49	196.347495	112.758	0.13	6.293	190.054
	555918.097	6824266.24	196.280483	114.357	0.13	6.293	189.987
	555915.756	6824256.52	196.214727	115.956	0.13	6.293	189.922
	555913.416	6824246.79	195.914574	118.355	0.13	6.293	189.622
	555911.516	6824236.99	195.673686	119.955	0.13	6.221	189.453
	555910.009	6824227.1	195.379163	123.953	0.13	6.221	189.158
	555908.502	6824217.21	195.113765	122.354	0.13	6.245	188.869
	555906.995	6824207.33	195.57348	119.155	0.13	6.293	189.280
	555906.292	6824197.41	195.515689	116.756	0.13	6.293	189.223
	555906.912	6824187.43	195.245593	118.355	0.13	6.364	188.882
	555907.532	6824177.44	195.10165	118.355	0.13	6.436	188.666
	555908.152	6824167.46	195.130432	119.955	0.13	6.507	188.623
	555909.353	6824157.57	195.013642	119.955	0.13	6.579	188.435
	555911.669	6824147.84	194.688853	119.955	0.13	6.579	188.110
	555913.985	6824138.11	194.597916	119.155	0.13	6.579	188.019
	555916.218	6824128.37	194.290559	115.956	0.13	6.507	187.784
	555918.425	6824118.61	194.251055	115.956	0.13	6.507	187.744
	555920.74	6824108.88	193.866324	111.691	0.13	6.507	187.359
	555923.056	6824099.16	193.920697	107.959	0.13	6.579	187.342
	555925.371	6824089.43	193.97275	104.761	0.13	6.579	187.394
	555927.686	6824079.7	193.738577	100.762	0.13	6.507	187.232
	555930.001	6824069.97	193.921126	95.164	0.13	6.151	187.770
	555932.316	6824060.24	193.817769	91.166	0.13	5.935	187.883
	555934.631	6824050.51	193.53435	89.566	0.13	5.72	187.814
	555936.946	6824040.79	193.554697	86.368	0.13	5.506	188.049
	555939.261	6824031.06	193.411885	82.369	0.13	5.469	187.943
	555941.576	6824021.33	193.114666	76.771	0.13	5.098	188.017
	555942.965	6824011.43	193.246786	71.653	0.13	4.94	188.307
	555944.352	6824001.52	192.907807	69.574	0.13	4.574	188.334
	555945.347	6823991.58	192.976549	66.375	0.13	4.332	188.645
	555945.901	6823981.6	193.411758	65.575	0.13	4.262	189.150
	555945.477	6823971.63	193.384164	63.976	0.13	4.262	189.122
	555944.564	6823961.67	193.29192	63.976	0.13	4.158	189.134
	555943.652	6823951.71	193.326541	62.377	0.13	4.106	189.221
	555942.412	6823941.79	192.859931	59.977	0.13	3.918	188.942
	555940.875	6823931.91	193.080009	59.977	0.13	3.899	189.181
	555939.253	6823922.05	192.646612	58.378	0.13	3.899	188.748
	555937.257	6823912.25	192.297482	56.779	0.13	3.743	188.554
	555935.129	6823902.48	192.011986	53.58	0.13	3.587	188.425
	555933.001	6823892.71	191.9567	56.779	0.13	3.656	188.301

	555930.874	6823882.94	192.017016	56.779	0.13	3.691	188.326
	555928.746	6823873.17	192.06921	56.779	0.13	3.691	188.378
	555926.619	6823863.39	191.920081	56.779	0.13	3.691	188.229
	555924.565	6823853.61	191.853272	55.979	0.13	3.691	188.162
	555922.627	6823843.8	191.685054	55.179	0.13	3.587	188.098
	555920.689	6823833.99	191.615646	55.179	0.13	3.587	188.029
	555918.752	6823824.18	191.632856	56.779	0.13	3.643	187.990
	555916.757	6823814.38	191.449481	56.779	0.13	3.691	187.758
	555914.601	6823804.61	191.557362	55.179	0.13	3.691	187.866
	555912.444	6823794.85	191.439582	53.58	0.13	3.483	187.957
	555910.287	6823785.08	191.320139	53.58	0.13	3.483	187.837
	555908.174	6823775.31	191.281305	51.98	0.13	3.483	187.798
	555906.538	6823765.45	191.064587	51.98	0.13	3.379	187.686
	555904.903	6823755.58	190.634848	51.181	0.13	3.379	187.256
	555903.267	6823745.71	190.268455	47.182	0.13	3.223	187.045
	555901.632	6823735.85	190.112719	46.383	0.13	3.015	187.098
<b>P4</b>	555891.26	6823703.68	190.885527	46.442	0.13	3.019	187.867
	555889.616	6823693.81	190.802698	46.442	0.13	3.019	187.784
	555887.972	6823683.95	190.532486	47.194	0.13	3.019	187.513
	555886.208	6823674.11	190.639579	47.257	0.13	3.072	187.568
	555884.247	6823664.3	190.53189	47.257	0.13	3.072	187.460
	555882.286	6823654.5	190.425569	48.886	0.13	3.176	187.250
	555880.325	6823644.69	190.422597	50.516	0.13	3.178	187.245
	555877.947	6823634.98	190.321536	50.516	0.13	3.284	187.038
	555875.402	6823625.31	190.402478	50.516	0.13	3.284	187.118
	555872.858	6823615.64	190.311978	50.516	0.13	3.284	187.028
	555871.691	6823605.72	190.288051	50.244	0.13	3.284	187.004
	555870.696	6823595.77	190.020177	48.072	0.13	3.161	186.859
	555868.589	6823586.02	189.929985	46.442	0.13	3.125	186.805
	555866.055	6823576.34	189.724153	43.998	0.13	2.966	186.758
	555863.522	6823566.67	189.522522	43.59	0.13	2.86	186.663
	555861.22	6823556.94	189.453526	40.739	0.13	2.754	186.700
	555859.072	6823547.17	189.386275	37.661	0.13	2.569	186.817
	555856.923	6823537.41	189.378863	37.48	0.13	2.436	186.943
	555854.774	6823527.64	189.276884	36.665	0.13	2.436	186.841
	555850.188	6823518.79	188.838127	29.332	0.13	2.109	186.729
	555845.399	6823510.01	188.288045	29.332	0.13	1.907	186.381
	555840.843	6823501.12	188.119099	27.702	0.13	1.835	186.284
	555837.101	6823491.85	188.079278	27.159	0.13	1.801	186.278
	555833.36	6823482.57	188.032096	26.073	0.13	1.748	186.284
	555829.618	6823473.3	188.030732	24.443	0.13	1.642	186.389
	555825.876	6823464.03	187.945804	22.814	0.13	1.536	186.410
	555823.662	6823454.31	187.930635	21.999	0.13	1.483	186.448

	555821.819	6823444.48	187.783167	21.184	0.13	1.406	186.377
	555819.977	6823434.65	187.766851	20.369	0.13	1.324	186.443
	555818.473	6823424.78	187.731163	19.555	0.13	1.324	186.407
	555817.777	6823414.8	187.51182	17.11	0.13	1.165	186.347
	555817.081	6823404.82	186.84046	17.11	0.13	1.112	185.728
	555816.243	6823394.86	186.868171	17.11	0.13	1.112	185.756
	555814.828	6823384.96	187.50668	17.11	0.13	1.112	186.395
	555813.414	6823375.06	187.251673	16.295	0.13	1.059	186.193
	555812.155	6823365.14	187.212544	16.295	0.13	1.059	186.154
	555810.977	6823355.21	186.527152	16.295	0.13	1.059	185.468
	555809.799	6823345.28	186.405148	14.304	0.13	1.016	185.389
	555808.621	6823335.35	185.905667	13.851	0.13	0.9	185.006
	555808.411	6823325.43	185.785145	13.036	0.13	0.9	184.885
	555809.732	6823315.52	185.789232	9.777	0.13	0.723	185.066
	555810.67	6823305.59	185.682146	6.693	0.13	0.562	185.120
	555810.183	6823295.6	185.4959	5.207	0.13	0.414	185.082
	555809.695	6823285.61	185.332822	3.7	0.13	0.3	185.033
<b>P5</b>	555812.642	6823394.12	187.28912	14.41	0.13	0.989	186.300
	555802.652	6823394.58	187.023485	12.809	0.13	0.845	186.178
	555792.663	6823395.04	186.798504	12.809	0.13	0.833	185.966
	555782.674	6823395.51	186.710269	12.809	0.13	0.833	185.877
	555772.76	6823396.81	186.497411	12.809	0.13	0.833	185.664
	555762.845	6823398.12	186.437592	13.459	0.15	0.833	185.605
	555752.931	6823399.42	186.951688	14.41	0.15	0.937	186.015
	555743.21	6823401.59	186.676244	16.011	0.15	0.985	185.691
	555733.698	6823404.67	186.397896	17.612	0.15	1.041	185.357
	555724.163	6823407.68	186.579515	19.48	0.15	1.145	185.435
	555714.466	6823410.12	187.075515	22.415	0.15	1.372	185.704
	555704.755	6823412.51	187.092175	25.317	0.15	1.507	185.585
	555695.045	6823414.9	187.090498	27.218	0.15	1.746	185.344
	555685.235	6823416.83	187.41931	27.218	0.15	1.769	185.650
	555675.425	6823418.77	187.25214	27.218	0.15	1.769	185.483
	555665.65	6823420.87	187.195435	28.019	0.15	1.813	185.382
	555655.875	6823422.98	187.108683	28.019	0.15	1.821	185.288
	555646.1	6823425.09	187.203315	28.819	0.15	1.821	185.382
	555636.325	6823427.2	187.256418	29.62	0.15	1.925	185.331
	555626.55	6823429.31	187.159059	29.62	0.15	1.925	185.234
	555616.775	6823431.42	187.176761	29.62	0.15	1.925	185.252
	555607.177	6823434.21	187.086463	28.819	0.15	1.925	185.161
	555597.621	6823437.15	186.982211	27.218	0.15	1.787	185.195
	555588.065	6823440.1	186.961873	26.127	0.15	1.717	185.245
	555578.509	6823443.05	186.86446	25.617	0.15	1.665	185.199
	555568.953	6823445.99	186.865742	24.817	0.15	1.613	185.253

	555559.41	6823448.97	186.846126	24.817	0.15	1.613	185.233
	555550.289	6823453.07	186.695567	24.817	0.15	1.613	185.083
	555541.168	6823457.17	186.747769	24.817	0.15	1.613	185.135
	555532.047	6823461.27	186.689694	24.817	0.15	1.613	185.077
	555522.926	6823465.37	186.540088	25.617	0.15	1.613	184.927
	555513.806	6823469.47	186.761016	26.418	0.15	1.717	185.044
	555504.465	6823473	186.999603	28.019	0.15	1.717	185.283
	555494.933	6823476.02	187.011489	28.819	0.15	1.873	185.138
	555485.401	6823479.04	187.15972	29.62	0.15	1.925	185.235
	555475.868	6823482.07	187.208572	29.62	0.15	1.925	185.284
	555466.336	6823485.09	187.243385	29.62	0.15	1.925	185.318
	555456.804	6823488.11	187.132869	29.62	0.15	1.925	185.208
	555447.271	6823491.13	187.027734	29.62	0.15	1.925	185.103
	555437.739	6823494.16	186.541332	29.62	0.15	1.925	184.616
	555428.462	6823497.85	186.633314	30.42	0.15	1.977	184.656
	555419.341	6823501.95	187.238448	30.42	0.15	1.977	185.261
	555410.22	6823506.05	187.374151	30.42	0.15	1.977	185.397
	555401.099	6823510.15	187.348811	30.42	0.15	1.977	185.372
	555391.948	6823514.17	187.344319	30.42	0.15	1.977	185.367
	555382.605	6823517.74	187.386942	30.42	0.15	1.977	185.410
	555373.261	6823521.3	186.993586	30.42	0.15	1.977	185.017
	555363.918	6823524.87	186.723535	30.42	0.15	1.977	184.747
<b>P6</b>	555310.866	6823414.82	187.224036	36.471	0.15	2.863	184.361
	555310.866	6823424.82	187.145935	36.471	0.15	2.863	184.283
	555310.866	6823434.82	187.237944	34.261	0.15	2.689	184.549
	555311.094	6823444.79	186.896539	34.261	0.15	2.689	184.208
	555313.319	6823454.54	187.123306	33.155	0.15	2.689	184.434
	555315.544	6823464.29	187.128627	32.05	0.15	2.516	184.613
	555317.77	6823474.04	187.193556	32.05	0.15	2.516	184.678
	555319.995	6823483.79	187.161604	32.05	0.15	2.516	184.646
	555322.22	6823493.54	187.37248	32.05	0.15	2.516	184.856
	555324.446	6823503.29	187.327134	32.05	0.15	2.516	184.811
	555326.671	6823513.04	187.398201	32.05	0.15	2.516	184.882
	555328.897	6823522.78	187.199899	32.05	0.15	2.516	184.684
	555332.138	6823532.16	187.23564	32.05	0.15	2.516	184.720
	555336.771	6823541.02	187.177525	32.05	0.15	2.516	184.662
	555341.403	6823549.88	187.35368	34.261	0.15	2.603	184.751
	555346.036	6823558.75	187.589547	34.261	0.15	2.689	184.901
	555350.668	6823567.61	187.656597	34.261	0.15	2.689	184.968
	555356.84	6823575.44	187.418921	34.261	0.15	2.689	184.730
	555363.272	6823583.1	187.645202	34.261	0.15	2.689	184.956
	555369.704	6823590.75	187.722766	34.261	0.15	2.689	185.034
	555376.136	6823598.41	187.819506	35.366	0.15	2.776	185.044



	555381.77	6823606.57	188.003502	35.366	0.15	2.776	185.228
	555385.924	6823615.67	188.121787	35.366	0.15	2.776	185.346
	555390.078	6823624.77	188.189971	35.366	0.15	2.776	185.414
	555394.232	6823633.86	188.347021	33.155	0.15	2.607	185.740
	555398.386	6823642.96	188.406766	33.155	0.15	2.603	185.804
	555402.541	6823652.05	188.236665	33.155	0.15	2.603	185.634
	555406.695	6823661.15	188.401008	37.576	0.15	2.603	185.798
	555410.845	6823670.25	188.583309	39.786	0.15	3.049	185.534
	555414.995	6823679.35	188.794256	41.997	0.15	3.297	185.497
	555419.145	6823688.44	188.760899	44.207	0.15	3.409	185.352
	555423.295	6823697.54	188.887793	44.207	0.15	3.47	185.418
	555427.445	6823706.64	188.999867	44.207	0.15	3.47	185.530
	555431.747	6823715.66	189.195001	44.207	0.15	3.47	185.725
	555436.809	6823724.28	189.306425	44.207	0.15	3.47	185.836
	555441.871	6823732.91	189.372058	45.312	0.15	3.47	185.902
	555446.428	6823741.8	189.369815	48.628	0.15	3.59	185.780
	555450.781	6823750.81	189.449622	50.049	0.15	3.817	185.633
	555455.134	6823759.81	189.659756	51.943	0.15	4.077	185.583
	555459.487	6823768.81	189.733716	51.943	0.15	4.078	185.656
	555463.823	6823777.82	189.745969	51.943	0.15	4.078	185.668
	555467.91	6823786.95	189.755919	51.943	0.15	4.078	185.678
	555471.998	6823796.07	189.825455	51.943	0.15	4.078	185.747
	555476.086	6823805.2	189.777645	54.154	0.15	4.251	185.527
	555480.174	6823814.33	189.897553	55.259	0.15	4.251	185.647
	555484.456	6823823.36	189.922203	58.574	0.15	4.51	185.412
	555489.405	6823832.04	190.193747	58.574	0.15	4.598	185.596
	555494.353	6823840.73	189.933266	58.574	0.15	4.598	185.335
	555499.302	6823849.42	190.116697	58.574	0.15	4.598	185.519
	555503.598	6823858.41	190.596296	58.574	0.15	4.598	185.998
	555506.976	6823867.83	190.449644	61.89	0.15	4.772	185.678
	555510.355	6823877.24	190.593464	62.995	0.15	4.945	185.648
	555513.734	6823886.65	190.875872	64.1	0.15	4.945	185.931
	555517.112	6823896.06	190.98024	68.521	0.15	5.157	185.823
	555520.491	6823905.47	190.978194	69.626	0.15	5.379	185.599
	555523.665	6823914.96	191.072599	70.731	0.15	5.466	185.607
	555526.75	6823924.47	191.125102	70.731	0.15	5.552	185.573
	555527.701	6823934.4	191.03584	72.942	0.15	5.662	185.374
	555528.44	6823944.37	190.964391	74.047	0.15	5.813	185.151
	555529.179	6823954.34	190.969531	75.626	0.15	5.813	185.157
	555529.917	6823964.32	191.076207	77.362	0.15	5.986	185.090
	555530.656	6823974.29	191.167778	78.652	0.15	6.073	185.095
	555531.395	6823984.26	191.186046	79.573	0.15	6.246	184.940
	555532.133	6823994.24	191.181198	79.573	0.15	6.246	184.935

	555532.872	6824004.21	191.187072	79.573	0.15	6.246	184.941
	555533.5	6824014.19	191.289096	79.573	0.15	6.246	185.043
	555533.666	6824024.18	191.47265	79.573	0.15	6.246	185.227
	555533.832	6824034.18	191.466008	78.468	0.15	6.246	185.220
	555533.997	6824044.18	191.495338	77.362	0.15	6.073	185.422
	555534.163	6824054.18	191.570987	77.362	0.15	6.073	185.498
	555534.66	6824084.18	192.052164	83.28	0.15	6.246	185.806
	555534.826	6824094.17	192.128126	83.28	0.15	6.246	185.882
	555535.06	6824104.17	192.252389	83.28	0.15	6.246	186.006
	555535.666	6824134.16	192.504096	83.28	0.15	6.246	186.258
	555533.504	6824154.04	192.814855	83.28	0.15	6.246	186.569
	555532.424	6824163.98	192.523885	83.28	0.15	6.246	186.278
	555531.343	6824173.92	192.400654	80.973	0.15	6.073	186.328
<b>P7</b>	555580.374	6824154.8	193.069976	82.369	0.13	6.118	186.952
	555590.339	6824153.96	193.119092	83.169	0.13	6.238	186.881
	555600.303	6824153.12	193.089462	83.169	0.13	6.238	186.851
	555610.264	6824152.24	193.14788	83.169	0.13	6.238	186.910
	555620.225	6824151.36	193.179531	83.968	0.13	6.238	186.942
	555630.187	6824150.48	193.232455	84.768	0.13	6.355	186.877
	555640.148	6824149.6	193.260366	86.368	0.13	6.414	186.846
	555650.109	6824148.72	193.317159	87.167	0.13	6.506	186.811
	555660.071	6824148.02	193.365576	87.967	0.13	6.598	186.768
	555670.037	6824148.85	193.539716	87.967	0.13	6.598	186.942
	555689.973	6824148.19	193.562423	87.967	0.13	6.598	186.964
	555699.943	6824147.41	193.297889	87.967	0.13	6.598	186.700
	555708.49	6824150.48	193.363638	89.566	0.13	6.598	186.766
	555723.471	6824163.7	193.643591	89.566	0.13	6.717	186.927
	555733.314	6824164.89	193.596448	89.566	0.13	6.717	186.879
	555743.281	6824165.69	193.5362	89.566	0.13	6.717	186.819
	555753.26	6824166.34	193.546337	89.966	0.13	6.717	186.829
	555763.238	6824167	193.413165	93.565	0.13	6.934	186.479
	555773.211	6824166.77	193.382413	93.565	0.13	7.017	186.365
	555783.181	6824166	193.405206	94.464	0.13	7.019	186.386
	555793.151	6824165.22	193.443706	96.764	0.13	7.197	186.247
	555803.055	6824166.01	193.444805	97.563	0.13	7.317	186.128
	555812.926	6824167.61	193.863327	97.563	0.13	7.317	186.546
	555822.914	6824167.45	194.142943	97.563	0.13	7.317	186.826
	555832.908	6824167.1	193.467552	97.563	0.13	7.317	186.151
	555842.893	6824166.56	193.741275	97.563	0.13	7.317	186.424
	555880.884	6824164.61	194.478943	90.766	0.13	7.018	187.461
	555890.29	6824166.54	194.372304	110.723	0.13	7.197	187.175
	555899.554	6824170.2	194.218794	107.969	0.13	7.018	187.201
	555909.357	6824170.64	194.345999	105.185	0.13	6.837	187.509

<b>P8</b>	555718.358	6824159.43	193.746765	92.765	0.13	6.082	187.665
	555716.503	6824149.61	193.766167	94.364	0.13	6.108	187.658
	555714.649	6824139.78	193.685905	95.964	0.13	6.186	187.500
	555714.56	6824129.92	193.45574	95.964	0.13	6.238	187.218
	555716.104	6824120.04	193.389529	95.964	0.13	6.238	187.152
	555717.648	6824110.16	193.254322	95.964	0.13	6.238	187.016
	555719.191	6824100.28	193.142451	95.164	0.13	6.23	186.912
	555720.735	6824090.4	193.038214	94.364	0.13	6.134	186.904
	555722.279	6824080.52	192.954502	94.303	0.13	6.134	186.821
	555723.815	6824070.64	192.885538	92.765	0.13	6.071	186.815
	555725.344	6824060.76	192.801198	91.486	0.13	6.025	186.776
	555726.873	6824050.88	192.684851	91.166	0.13	5.926	186.759
	555728.403	6824041	192.601162	91.166	0.13	5.926	186.675
	555729.732	6824031.09	192.525547	89.566	0.13	5.874	186.652
	555730.953	6824021.16	192.480831	89.566	0.13	5.822	186.659
	555732.175	6824011.24	192.434408	89.566	0.13	5.822	186.612
	555733.396	6824001.31	192.385235	88.98	0.13	5.822	186.563
	555734.618	6823991.38	192.261152	86.509	0.13	5.671	186.590
	555735.839	6823981.46	192.115325	83.169	0.13	5.481	186.634
	555736.686	6823971.5	192.075114	81.798	0.13	5.386	186.689
	555737.31	6823961.52	191.906761	78.98	0.13	5.222	186.685
	555737.933	6823951.54	191.826389	74.795	0.13	5.03	186.796
	555738.557	6823941.56	191.780608	73.572	0.13	4.782	186.999
	555739.181	6823931.58	191.709741	72.773	0.13	4.73	186.980
	555739.29	6823921.59	191.641152	71.973	0.13	4.678	186.963
	555738.811	6823911.61	191.489312	70.374	0.13	4.574	186.915
	555738.331	6823901.62	191.377454	68.774	0.13	4.573	186.804
	555737.852	6823891.63	191.29598	65.575	0.13	4.379	186.917
	555737.373	6823881.64	191.324543	64.776	0.13	4.262	187.063
	555736.893	6823871.65	191.212031	64.776	0.13	4.21	187.002
	555736.134	6823861.68	191.08495	61.577	0.13	4.158	186.927
	555735.261	6823851.72	190.905675	59.977	0.13	3.919	186.987
	555734.388	6823841.76	190.754631	58.378	0.13	3.847	186.908
	555733.515	6823831.8	190.63728	55.979	0.13	3.743	186.894
	555732.642	6823821.83	190.542261	52.158	0.13	3.587	186.955
	555731.769	6823811.87	190.415989	48.72	0.13	3.327	187.089
	555730.896	6823801.91	190.302036	46.383	0.13	3.118	187.184
	555730.023	6823791.95	190.143183	42.384	0.13	3.118	187.025
	555729.151	6823781.99	189.976244	40.785	0.13	3.118	187.277
	555726.149	6823762.22	189.674207	41.523	0.13	2.699	186.975
	555724.56	6823752.35	189.362156	41.523	0.13	2.699	186.663
	555722.972	6823742.47	189.216041	41.523	0.13	2.699	186.517
	555722.128	6823732.52	189.061251	41.523	0.13	2.699	186.362

	555721.603	6823722.53	188.934542	40.046	0.13	2.603	186.332
<b>P10</b>	555608.184	6823728.36	188.962069	48.382	0.15	3.62865	185.333
	555603.804	6823719.37	189.446883	46.965	0.15	3.522375	185.925
	555599.424	6823710.38	189.36178	45.65	0.15	3.42375	185.938
	555595.624	6823701.14	189.095125	43.726	0.15	3.27945	185.816
	555592.126	6823691.78	188.856552	43.726	0.15	3.27945	185.577
	555588.619	6823682.41	188.958166	43.726	0.15	3.27945	185.679
	555585.048	6823673.07	188.678787	43.726	0.15	3.27945	185.399
	555581.477	6823663.73	188.474657	43.726	0.15	3.27945	185.195
	555577.905	6823654.39	188.258537	42.107	0.15	3.158025	185.101
	555574.334	6823645.05	188.338581	41.297	0.15	3.097275	185.241
	555570.763	6823635.71	188.247967	40.487	0.15	3.036525	185.211
	555567.191	6823626.37	188.146961	40.487	0.15	3.036525	185.110
	555563.701	6823617	188.192249	39.678	0.15	2.97585	185.216
	555560.448	6823607.54	188.17811	38.868	0.15	2.9151	185.263
	555557.195	6823598.09	188.06979	38.868	0.15	2.9151	185.155
	555553.581	6823588.76	188.013774	38.058	0.15	2.85435	185.159
	555549.855	6823579.48	187.902379	38.058	0.15	2.85435	185.048
	555546.129	6823570.2	187.849118	38.058	0.15	2.85435	184.995
	555542.403	6823560.92	187.876752	38.058	0.15	2.85435	185.022
	555538.677	6823551.64	187.939339	38.058	0.15	2.85435	185.085
	555534.951	6823542.36	187.824833	37.248	0.15	2.7936	185.031
	555531.236	6823533.08	187.695866	36.439	0.15	2.732925	184.963
	555527.83	6823523.68	187.6144	36.439	0.15	2.732925	184.881
	555524.424	6823514.28	187.480518	35.006	0.15	2.62545	184.855
	555521.018	6823504.87	187.388014	33.2	0.15	2.49	184.898
	555517.612	6823495.47	187.295398	33.2	0.15	2.49	184.805
	555514.206	6823486.07	187.081295	31.58	0.15	2.3685	184.713
	555510.8	6823476.67	187.069174	29.961	0.15	2.247075	184.822
	555507.395	6823467.27	187.050503	29.151	0.15	2.186325	184.864
	555503.989	6823457.86	186.962537	29.151	0.15	2.186325	184.776
	555500.583	6823448.46	187.020071	29.151	0.15	2.186325	184.834
	555497.177	6823439.06	187.114028	28.341	0.15	2.125575	184.988
	555493.771	6823429.66	187.226402	28.341	0.15	2.125575	185.101
	555490.365	6823420.25	187.179415	28.341	0.15	2.125575	185.054
	555487.13	6823410.79	187.15728	28.341	0.15	2.125575	185.032
	555466.348	6823354.55	185.455432	4	0.15	0.3	185.155
	555462.468	6823345.33	185.431242	4	0.15	0.3	185.131
<b>P11</b>	556997.22	6824154.78	189.576434	71.541	0.14	5.00787	184.569
	557001.783	6824145.88	189.256611	71.541	0.14	5.00787	184.249
	557006.346	6824136.98	189.18103	69.074	0.14	4.83518	184.346
	557009.881	6824127.72	189.024702	68.252	0.14	4.77764	184.247
	557011.995	6824117.94	188.982987	64.962	0.14	4.54734	184.436



	557014.108	6824108.17	188.955157	61.673	0.14	4.31711	184.638
	557016.138	6824098.38	189.028322	64.14	0.14	4.4898	184.539
	557017.171	6824088.43	188.764372	71.541	0.14	5.00787	183.757
	557018.205	6824078.49	188.842116	71.541	0.14	5.00787	183.834
	557019.238	6824068.54	188.718904	71.541	0.14	5.00787	183.711
	557020.272	6824058.59	188.691525	71.541	0.14	5.00787	183.684
	557021.982	6824048.76	188.683795	67.429	0.14	4.72003	183.964
	557024.32	6824039.04	188.542677	64.962	0.14	4.54734	183.995
	557026.657	6824029.32	188.316991	60.029	0.14	4.20203	184.115
	557028.924	6824019.58	188.359807	60.029	0.14	4.20203	184.158
	557031.07	6824009.81	188.187828	61.673	0.14	4.31711	183.871
	557033.217	6824000.04	188.302277	60.851	0.14	4.25957	184.043
	557034.785	6823990.18	188.039745	61.673	0.14	4.31711	183.723
	557036.012	6823980.25	188.611632	59.206	0.14	4.14442	184.467
	557037.238	6823970.33	188.890126	60.029	0.14	4.20203	184.688
	557034.355	6823960.76	188.506354	58.877	0.14	4.12139	184.385
	557031.426	6823951.2	188.772071	53.45	0.14	3.7415	185.031
	557028.497	6823941.64	188.438827	51.805	0.14	3.62635	184.812
	557025.567	6823932.08	188.440871	50.983	0.14	3.56881	184.872
	557022.638	6823922.52	188.284729	51.805	0.14	3.62635	184.658
<b>P12</b>	557015.801	6823896.36	188.36078	49.339	0.14	3.45373	184.907
	557010.417	6823887.93	187.933937	50.161	0.14	3.51127	184.423
	557005.033	6823879.5	188.101385	49.339	0.14	3.45373	184.648
	556982.705	6823846.33	187.90518	45.227	0.14	3.16589	184.739
	556976.938	6823838.16	187.711418	45.227	0.14	3.16589	184.546
	556950.54	6823808.18	187.811319	40.293	0.14	2.82051	184.991
	556947.705	6823798.76	187.806201	40.293	0.14	2.82051	184.986
	556945.529	6823789	187.755811	40.293	0.14	2.82051	184.935
	556943.352	6823779.24	187.614299	40.293	0.14	2.82051	184.794
	556941.175	6823769.48	187.551891	40.293	0.14	2.82051	184.731
	556938.998	6823759.72	187.366056	40.293	0.14	2.82051	184.546
	556936.822	6823749.96	187.02357	40.293	0.14	2.82051	184.203
	556934.62	6823740.21	186.726939	40.293	0.14	2.82051	183.906
	556932.361	6823730.46	186.677326	40.293	0.14	2.82051	183.857
	556930.102	6823720.72	186.686819	37.826	0.14	2.64782	184.039
	556927.843	6823710.98	186.514954	35.359	0.14	2.47513	184.040
	556925.584	6823701.24	186.318992	35.359	0.14	2.47513	183.844
	556923.325	6823691.5	186.416215	35.359	0.14	2.47513	183.941
	556921.066	6823681.76	186.582288	35.359	0.14	2.47513	184.107
	556918.929	6823671.99	186.631194	38.648	0.14	2.70536	183.926
	556916.823	6823662.21	186.623864	38.648	0.14	2.70536	183.919
	556912.747	6823632.55	186.569669	38.648	0.14	2.70536	183.864
<b>P13</b>	556899.44	6823626.38	186.681355	38.042	0.14	2.708	183.973

	556889.581	6823628.05	186.695531	37.042	0.14	2.593	184.103
	556879.721	6823629.72	186.921044	35.395	0.14	2.535	184.386
	556869.861	6823631.39	186.91185	36.218	0.14	2.512	184.400
	556859.878	6823630.96	186.61695	33.749	0.14	2.531	184.086
	556849.892	6823630.43	186.646597	31.28	0.14	2.362	184.285
	556839.919	6823629.69	186.770816	32.514	0.14	2.19	184.581
	556829.946	6823628.96	186.703057	35.395	0.14	2.478	184.225
	556819.973	6823628.23	186.716003	35.395	0.14	2.478	184.238
	556810.305	6823625.68	186.856239	35.395	0.14	2.478	184.378
	556800.64	6823623.11	186.783685	37.59	0.14	2.478	184.306
	556790.975	6823620.54	186.603709	38.688	0.14	2.651	183.953
	556783.633	6823613.85	186.555027	38.688	0.14	2.708	183.847
	556776.427	6823606.92	186.439192	41.157	0.14	2.708	183.731
	556769.221	6823599.99	186.339284	41.157	0.14	2.881	183.458
	556761.247	6823594.06	186.361818	39.511	0.14	2.823	183.539
	556753.132	6823588.37	186.463292	38.688	0.14	2.708	183.755
	556746.643	6823580.76	186.657333	38.688	0.14	2.708	183.949
	556740.687	6823572.85	186.813004	37.042	0.14	2.674	184.139
	556737.428	6823563.39	186.682015	38.688	0.14	2.651	184.031
	556734.168	6823553.94	186.558729	41.98	0.14	2.766	183.793
	556730.941	6823544.47	186.609442	41.706	0.14	2.939	183.670
	556727.779	6823534.99	186.657331	38.688	0.14	2.823	183.834
	556724.671	6823525.49	186.670016	38.688	0.14	2.708	183.962
	556724.784	6823515.49	186.333356	39.511	0.14	2.766	183.567
	556724.896	6823505.49	186.37568	38.688	0.14	2.766	183.610
	556725.008	6823495.49	186.335101	38.688	0.14	2.708	183.627
	556725.121	6823485.49	186.821951	41.157	0.14	2.708	184.114
<b>P14</b>	556592.643	6823483.78	185.962656	28.077	0.14	1.902	184.061
	556596.091	6823493.16	185.851727	26.473	0.14	2.055	183.797
	556599.539	6823502.55	185.776055	25.671	0.14	1.919	183.857
	556602.987	6823511.94	185.684604	30.484	0.14	1.932	183.753
	556606.379	6823521.34	186.401915	29.682	0.14	2.268	184.134
	556609.598	6823530.81	186.663817	35.297	0.14	2.326	184.338
	556612.817	6823540.28	186.772559	33.693	0.14	2.617	184.156
	556616.036	6823549.75	186.791659	32.088	0.14	2.368	184.424
	556619.455	6823559.14	186.716669	38.506	0.14	2.614	184.103
	556623.116	6823568.45	186.981469	38.506	0.14	2.792	184.189
	556626.778	6823577.75	187.010341	40.913	0.14	2.94	184.070
	556630.439	6823587.06	186.93055	42.517	0.14	3.082	183.849
	556634.1	6823596.36	186.922734	42.517	0.14	3.082	183.841
	556638.843	6823605.14	186.734654	45.726	0.14	3.082	183.653
	556643.962	6823613.73	186.505463	43.319	0.14	3.373	183.132
	556649.08	6823622.32	186.590017	41.715	0.14	3.141	183.449

	556654.198	6823630.91	186.908948	45.726	0.14	3.022	183.887
	556662.776	6823635.34	187.284148	39.308	0.14	3.141	184.143
	556671.498	6823639.91	187.368566	40.111	0.14	2.734	184.635
	556679.024	6823646.49	186.941028	41.715	0.14	2.966	183.975
	556676.527	6823654.99	186.8441	41.715	0.14	3.024	183.820
	556671.954	6823663.88	187.005421	39.308	0.14	3.024	183.981
	556667.38	6823672.78	187.240051	40.111	0.14	2.908	184.332
	556667.38	6823682.78	187.303075	41.715	0.14	2.792	184.511
	556667.38	6823692.78	187.620174	44.122	0.14	3.125	184.495
	556669.326	6823702.55	187.698928	49.737	0.14	3.461	184.238
	556671.63	6823712.28	187.962221	49.737	0.14	3.664	184.298
	556673.895	6823722.02	188.089137	40.111	0.14	3.005	185.084
	556675.135	6823731.94	188.154289	37.704	0.14	2.85	185.304
	556676.376	6823741.86	188.413238	53.748	0.14	3.276	185.137
	556678.044	6823751.66	188.633602	55.353	0.14	4.013	184.621
	556682.325	6823760.7	188.779879	56.155	0.14	4.129	184.651
	556686.606	6823769.74	188.549159	61.77	0.14	4.359	184.190
	556690.567	6823778.87	188.621701	59.364	0.14	4.478	184.144
	556692.168	6823788.74	188.682774	56.155	0.14	4.129	184.554
	556693.769	6823798.61	188.869202	58.561	0.14	4.071	184.798
	556695.301	6823808.5	188.884294	59.364	0.14	4.304	184.580
	556696.74	6823818.39	188.855564	56.957	0.14	4.304	184.552
	556698.18	6823828.29	188.949424	56.957	0.14	4.129	184.820
	556699.619	6823838.18	189.106563	67.787	0.14	4.346	184.761
	556701.209	6823848.05	189.178761	71.129	0.14	5.176	184.003
	556702.998	6823857.89	189.273903	68.188	0.14	5.118	184.156
	556704.814	6823867.73	189.429586	72.199	0.14	5.15	184.280
	556707.91	6823877.23	189.642454	70.595	0.14	5.176	184.466
	556711.006	6823886.74	189.63713	77.012	0.14	5.506	184.131
	556714.102	6823896.25	189.912526	78.617	0.14	5.583	184.330
	556716.448	6823905.96	189.86591	76.21	0.14	5.561	184.305
	556718.544	6823915.74	190.273434	87.441	0.14	6.049	184.224
	556720.311	6823925.58	190.53871	89.848	0.14	6.504	184.035
	556722.077	6823935.43	190.415383	93.057	0.14	6.572	183.843
	556724.188	6823945.18	190.490691	95.463	0.14	6.734	183.757
	556727.435	6823954.64	190.958926	91.452	0.14	7.037	183.922
	556730.682	6823964.1	191.100775	95.864	0.14	6.514	184.587
	556740.24	6823992.52	191.213544	95.864	0.14	6.514	184.700
<b>P15</b>	556993.638	6823907.77	188.571458	55.974	0.14	3.91818	184.653
	556983.774	6823909.41	188.717277	60.09	0.14	4.2063	184.511
	556973.911	6823911.06	188.991767	63.691	0.14	4.45837	184.533
	556964.047	6823912.7	189.193104	67.498	0.14	4.72486	184.468
	556954.183	6823914.34	189.380358	69.144	0.14	4.84008	184.540

	556946.17	6823919.49	189.650517	69.967	0.14	4.89769	184.753
	556939.251	6823926.71	189.91139	70.791	0.14	4.95537	184.956
	556932.332	6823933.93	189.95777	70.791	0.14	4.95537	185.002
	556925.413	6823941.15	189.812387	70.791	0.14	4.95537	184.857
	556918.494	6823948.37	189.595964	71.614	0.14	5.01298	184.583
	556909.063	6823950.81	189.723025	71.614	0.14	5.01298	184.710
	556899.192	6823952.41	189.777022	72.437	0.14	5.07059	184.706
	556889.321	6823954.01	189.841694	73.26	0.14	5.1282	184.713
	556879.45	6823955.61	190.006316	73.26	0.14	5.1282	184.878
	556869.578	6823957.21	189.931828	72.437	0.14	5.07059	184.861
	556859.688	6823958.68	189.931759	72.437	0.14	5.07059	184.861
	556849.776	6823960.01	190.046156	74	0.14	5.18	184.866
	556839.864	6823961.33	190.055908	75	0.14	5.25	184.806
	556829.951	6823962.65	190.17934	76	0.14	5.32	184.859
	556820.039	6823963.97	190.272201	77	0.14	5.39	184.882
	556810.128	6823965.3	190.421811	78	0.14	5.46	184.962
	556800.249	6823966.85	190.529844	80	0.14	5.6	184.930
	556790.37	6823968.4	190.499063	80	0.14	5.6	184.899
	556780.491	6823969.95	190.510973	80	0.14	5.6	184.911
	556770.611	6823971.5	190.463861	80	0.14	5.6	184.864
	556760.732	6823973.05	190.591732	80	0.14	5.6	184.992
	556750.853	6823974.6	190.636044	82	0.14	5.74	184.896
	556740.974	6823976.15	190.660057	82	0.14	5.74	184.920
	556731.095	6823977.7	190.629886	81	0.14	5.67	184.960
	556721.216	6823979.25	190.711038	81	0.14	5.67	185.041
	556711.337	6823980.8	190.781525	82	0.14	5.74	185.042
	556701.458	6823982.35	190.866872	82	0.14	5.74	185.127
	556691.579	6823983.9	190.771423	82	0.14	5.74	185.031
	556681.7	6823985.45	190.731752	80	0.14	5.6	185.132
	556671.821	6823987	190.718085	80	0.14	5.6	185.118
	556661.941	6823988.55	190.706347	80	0.14	5.6	185.106
	556652.062	6823990.1	190.691815	80	0.14	5.6	185.092
	556642.183	6823991.66	190.776245	79.845	0.14	5.58915	185.187
	556632.304	6823993.21	190.822332	79.845	0.14	5.58915	185.233
	556622.425	6823994.76	190.848178	79.845	0.14	5.58915	185.259
	556612.548	6823996.32	190.808094	79.845	0.14	5.58915	185.219
	556602.69	6823998	190.716521	79.845	0.14	5.58915	185.127
	556592.831	6823999.67	190.681682	79.845	0.14	5.58915	185.093
	556582.973	6824001.35	190.659446	79.845	0.14	5.58915	185.070
	556573.114	6824003.02	190.675129	80.668	0.14	5.64676	185.028
	556563.256	6824004.7	190.703864	80.668	0.14	5.64676	185.057
	556553.397	6824006.38	190.672969	80.668	0.14	5.64676	185.026
	556543.539	6824008.05	190.652144	80.668	0.14	5.64676	185.005



	556533.68	6824009.73	190.779288	80.668	0.14	5.64676	185.133
	556523.822	6824011.41	190.640738	80.668	0.14	5.64676	184.994
	556513.964	6824013.08	190.711011	79.845	0.14	5.58915	185.122
	556504.108	6824014.78	190.727947	79.845	0.14	5.58915	185.139
	556494.257	6824016.5	190.785216	79.845	0.14	5.58915	185.196
	556484.405	6824018.21	190.79648	79.845	0.14	5.58915	185.207
	556474.554	6824019.93	190.708788	79.845	0.14	5.58915	185.120
	556464.703	6824021.65	190.720777	81.491	0.14	5.70437	185.016
	556454.851	6824023.37	190.669841	83.138	0.14	5.81966	184.850
	556444.998	6824025.07	190.790351	84.784	0.14	5.93488	184.855
	556435.126	6824026.67	190.737335	84.784	0.14	5.93488	184.802
	556425.255	6824028.27	190.729887	86.43	0.14	6.0501	184.680
	556415.383	6824029.86	190.705601	86.43	0.14	6.0501	184.656
	556405.511	6824031.46	190.795253	87.19	0.14	6.1033	184.692
	556395.633	6824033.01	190.960502	88.312	0.14	6.18184	184.779
	556385.716	6824034.3	190.888214	89.017	0.14	6.23119	184.657
	556375.799	6824035.58	190.899436	89.723	0.14	6.28061	184.619
	556365.881	6824036.87	191.043171	89.723	0.14	6.28061	184.763
	556355.989	6824038.3	191.121546	89.723	0.14	6.28061	184.841
	556346.171	6824040.2	191.156056	89.723	0.14	6.28061	184.875
	556336.354	6824042.11	191.173612	89.723	0.14	6.28061	184.893
	556326.537	6824044.01	191.192809	86.43	0.14	6.0501	185.143
	556316.72	6824045.91	191.242909	85.413	0.14	5.97891	185.264
	556306.903	6824047.82	191.378707	84.784	0.14	5.93488	185.444
	556297.085	6824049.72	191.434011	84.784	0.14	5.93488	185.499
	556287.264	6824051.6	191.517892	84.784	0.14	5.93488	185.583
	556277.387	6824053.16	191.401213	84.784	0.14	5.93488	185.466
	556267.509	6824054.72	191.468766	84.784	0.14	5.93488	185.534
	556257.631	6824056.28	191.554816	84.784	0.14	5.93488	185.620
	556247.754	6824057.84	191.707098	85.607	0.14	5.99249	185.715
	556237.876	6824059.4	191.714901	87.253	0.14	6.10771	185.607
	556227.998	6824060.96	191.718224	88.077	0.14	6.16539	185.553
	556218.121	6824062.52	191.945475	89.481	0.14	6.26367	185.682
	556208.243	6824064.08	192.075347	91.369	0.14	6.39583	185.680
	556198.437	6824066.03	192.046179	92.192	0.14	6.45344	185.593
	556188.651	6824068.09	192.185277	93.015	0.14	6.51105	185.674
	556178.866	6824070.15	192.356833	93.015	0.14	6.51105	185.846
	556169.08	6824072.21	192.551751	93.015	0.14	6.51105	186.041
	556159.221	6824073.84	192.767975	93.015	0.14	6.51105	186.257
	556149.311	6824075.17	192.859669	93.015	0.14	6.51105	186.349
<b>P16</b>	556151.605	6824302.47	196.922403	139.798	0.14	9.78586	187.137
	556150.122	6824292.58	196.871678	136.642	0.14	9.56494	187.307
	556148.638	6824282.69	196.703981	136.642	0.14	9.56494	187.139

	556147.155	6824272.8	196.474095	137.74	0.14	9.6418	186.832
	556145.64	6824262.92	196.292658	139.112	0.14	9.73784	186.555
	556144.043	6824253.04	196.122405	139.112	0.14	9.73784	186.385
	556142.446	6824243.17	195.941919	139.112	0.14	9.73784	186.204
	556140.883	6824233.3	195.760408	139.112	0.14	9.73784	186.023
	556139.59	6824223.38	195.584005	139.112	0.14	9.73784	185.846
	556138.296	6824213.46	195.426808	136.551	0.14	9.55857	185.868
	556137.003	6824203.55	195.253585	132.526	0.14	9.27682	185.977
	556135.709	6824193.63	195.115814	128.319	0.14	8.98233	186.133
	556134.416	6824183.72	194.908166	123.472	0.14	8.64304	186.265
	556133.123	6824173.8	194.698843	118.533	0.14	8.29731	186.402
	556131.829	6824163.88	194.51791	114.966	0.14	8.04762	186.470
	556130.425	6824153.98	194.345768	111.948	0.14	7.83636	186.509
	556128.96	6824144.09	194.217753	111.948	0.14	7.83636	186.381
	556127.494	6824134.2	194.093119	110.987	0.14	7.76909	186.324
	556126.029	6824124.31	193.951866	107.832	0.14	7.54824	186.404
	556124.473	6824114.43	193.803135	107.832	0.14	7.54824	186.255
	556122.906	6824104.55	193.652422	107.832	0.14	7.54824	186.104
	556121.338	6824094.68	193.586343	107.832	0.14	7.54824	186.038
	556119.838	6824084.79	193.495872	107.832	0.14	7.54824	185.948
	556118.342	6824074.9	193.423236	108.93	0.14	7.6251	185.798
	556116.846	6824065.01	193.30738	108.655	0.14	7.60585	185.702
	556115.349	6824055.13	193.166941	104.54	0.14	7.3178	185.849
	556113.853	6824045.24	193.054907	101.247	0.14	7.08729	185.968
	556112.357	6824035.35	192.941629	100.149	0.14	7.01043	185.931
<b>P17</b>	556106.533	6824003.52	192.468639	79.845	0.14	5.58915	186.879
	556105.128	6823993.62	192.372664	77.376	0.14	5.41632	186.956
	556103.724	6823983.72	192.259782	75.112	0.14	5.25784	187.002
	556102.32	6823973.82	192.252224	72.437	0.14	5.07059	187.182
	556100.915	6823963.91	192.164657	71.614	0.14	5.01298	187.152
	556099.511	6823954.01	192.053985	71.614	0.14	5.01298	187.041
	556098.106	6823944.11	191.939749	70.791	0.14	4.95537	186.984
	556096.664	6823934.22	191.832201	69.967	0.14	4.89769	186.935
	556095.177	6823924.33	191.730583	69.967	0.14	4.89769	186.833
	556093.689	6823914.44	191.628964	69.967	0.14	4.89769	186.731
	556092.201	6823904.55	191.572572	69.144	0.14	4.84008	186.732
	556090.714	6823894.66	191.445362	67.498	0.14	4.72486	186.721
	556089.227	6823884.77	191.352588	65.852	0.14	4.60964	186.743
	556087.744	6823874.88	191.282499	65.852	0.14	4.60964	186.673
	556086.26	6823864.99	191.196961	62.559	0.14	4.37913	186.818
	556084.777	6823855.11	191.151827	60.09	0.14	4.2063	186.946
	556083.224	6823845.23	191.083764	58.443	0.14	4.09101	186.993
	556081.593	6823835.36	190.97523	57.62	0.14	4.0334	186.942

	556079.962	6823825.49	190.883184	57.62	0.14	4.0334	186.850
	556078.331	6823815.63	190.8208	55.974	0.14	3.91818	186.903
	556076.7	6823805.76	190.766898	53.504	0.14	3.74528	187.022
	556075.07	6823795.9	190.638031	53.504	0.14	3.74528	186.893
	556073.878	6823785.97	190.539591	52.681	0.14	3.68767	186.852
	556074.353	6823776.07	190.454583	50.212	0.14	3.51484	186.940
<b>P18</b>	556091.815	6823746.88	189.967632	53.72	0.14	3.7604	186.207
	556087.343	6823737.94	190.133326	50.735	0.14	3.55145	186.582
	556082.871	6823728.99	190.271128	46.259	0.14	3.23813	187.033
	556078.556	6823719.98	190.100926	45.513	0.14	3.18591	186.915
	556075.394	6823710.5	189.979566	49.989	0.14	3.49923	186.480
	556072.232	6823701.01	189.937703	49.989	0.14	3.49923	186.438
	556068.553	6823691.73	189.903521	49.989	0.14	3.49923	186.404
	556064.125	6823682.76	189.822186	48.497	0.14	3.39479	186.427
	556059.653	6823673.82	189.663528	41.533	0.14	2.90731	186.756
	556055.18	6823664.87	189.483851	35.813	0.14	2.50691	186.977
	556050.27	6823656.19	189.357567	35.813	0.14	2.50691	186.851
	556044.535	6823648	189.192292	35.813	0.14	2.50691	186.685
	556038.801	6823639.81	189.035239	35.813	0.14	2.50691	186.528
	556036.399	6823630.64	188.925368	35.067	0.14	2.45469	186.471
	556038.123	6823620.89	188.808918	32.829	0.14	2.29803	186.511
	556041.236	6823611.38	188.770078	32.829	0.14	2.29803	186.472
	556044.349	6823601.88	188.649641	32.456	0.14	2.27192	186.378
	556047.138	6823592.28	188.439286	33.575	0.14	2.35025	186.089
	556049.769	6823582.63	188.448988	35.813	0.14	2.50691	185.942
	556052.733	6823573.09	188.407318	35.813	0.14	2.50691	185.900
	556055.941	6823563.61	187.980433	32.829	0.14	2.29803	185.682
	556059.149	6823554.14	187.806957	30.59	0.14	2.1413	185.666
	556061.491	6823544.45	187.77862	29.844	0.14	2.08908	185.690
	556063.169	6823534.59	187.808085	26.114	0.14	1.82798	185.980
	556065.323	6823524.85	187.724361	23.129	0.14	1.61903	186.105
	556068.276	6823515.3	187.529832	21.637	0.14	1.51459	186.015
	556071.229	6823505.74	187.398396	23.129	0.14	1.61903	185.779
	556072.629	6823495.89	187.349396	23.875	0.14	1.67125	185.678
	556073.443	6823485.92	187.388665	25.368	0.14	1.77576	185.613
	556074.256	6823475.95	187.416306	25.5	0.14	1.785	185.631
	556084.551	6823257.24	185.129763	3		0.2	184.930
<b>P19</b>	556035.642	6823616.97	188.768163	36.786	0.14	2.57502	186.193
	556045.183	6823613.98	188.829357	39.185	0.14	2.74295	186.086
	556054.725	6823610.99	188.763103	39.185	0.14	2.74295	186.020
	556064.298	6823608.11	188.674519	36.786	0.14	2.57502	186.099
	556074.067	6823605.97	188.415326	33.587	0.14	2.35109	186.064
	556083.716	6823603.41	188.371478	31.988	0.14	2.23916	186.132

	556093.174	6823600.16	187.912726	30.389	0.14	2.12723	185.785
	556102.632	6823596.91	187.631571	29.589	0.14	2.07123	185.560
	556112.029	6823593.5	187.564078	29.589	0.14	2.07123	185.493
	556121.382	6823589.96	187.497804	29.589	0.14	2.07123	185.427
	556130.735	6823586.42	187.655635	31.188	0.14	2.18316	185.472
	556140.089	6823582.88	187.805218	32.788	0.14	2.29516	185.510
	556149.341	6823579.14	187.658982	33.587	0.14	2.35109	185.308
	556157.834	6823573.86	188.091398	32.788	0.14	2.29516	185.796
	556187.598	6823570.52	187.368918	31.988	0.14	2.23916	185.130
	556257.289	6823539.97	186.402965	18.393	0.14	1.28751	185.115
	556266.005	6823535.06	186.19284	17.593	0.14	1.23151	184.961
	556274.854	6823530.51	185.745331	17.593	0.14	1.23151	184.514
	556284.641	6823528.46	186.55338	28.042	0.14	1.96294	184.590
	556303.485	6823521.95	186.961397	29.66	0.14	2.0762	184.885
	556312.975	6823519	187.000462	29.66	0.14	2.0762	184.773
	556322.753	6823517.16	186.881668	29.66	0.14	2.0762	184.503
	556331.602	6823512.51	186.890641	31.817	0.14	2.22719	184.777
	556340.742	6823508.58	186.621211	33.974	0.14	2.37818	184.545
	556350.358	6823505.83	186.315934	30.199	0.14	2.11393	184.240
	556359.987	6823503.15	186.515978	29.66	0.14	2.0762	184.440
	556369.931	6823502.1	186.078887	29.66	0.14	2.0762	184.003
	556379.875	6823501.05	186.044677	29.66	0.14	2.0762	183.780
	556389.567	6823498.7	186.927545	29.66	0.14	2.0762	184.210
	556399.293	6823496.7	187.326483	32.356	0.14	2.26492	184.609
	556409.273	6823496.74	186.672917	38.828	0.14	2.71796	184.594
	556419.154	6823498.28	186.569655	38.828	0.14	2.71796	184.387
<b>P20</b>	556419.539	6823499.98	186.42046	33.587	0.14	2.079	184.237
	556428.864	6823496.38	186.599906	33.587	0.14	2.183	184.469
	556438.312	6823493.11	186.745405	31.531	0.14	2.131	184.770
	556447.76	6823489.83	186.61346	30.389	0.14	1.975	184.534
	556457.208	6823486.55	186.509092	33.587	0.14	2.079	184.222
	556474.544	6823476.64	186.295474	35.187	0.14	2.287	184.008
	556483.7	6823472.92	186.19956	34.387	0.14	2.287	184.121
	556522.661	6823463.86	187.015679	31.988	0.14	2.079	184.873
	556532.402	6823461.59	187.049051	35.187	0.14	2.143	184.703
	556542.142	6823459.33	187.107251	38.386	0.14	2.346	184.560
	556551.889	6823457.1	186.939748	38.386	0.14	2.547	184.445
	556561.815	6823455.89	186.91371	38.386	0.14	2.495	184.419
	556571.741	6823454.67	187.011157	38.386	0.14	2.495	184.442
	556601.518	6823451.03	187.045059		0.14	2.569	184.476
<b>P21</b>	556539.207	6823439.58	187.001797	38.938	0.14	2.72566	184.276
	556536.124	6823449.09	187.09322	35.823	0.14	2.50761	184.586
	556533.296	6823458.68	187.177652	34.266	0.14	2.39862	184.779



	556530.396	6823468.25	186.941856	34.266	0.14	2.39862	184.543
	556527.111	6823477.7	187.013176	35.044	0.14	2.45308	184.560
	556524.082	6823487.21	186.918143	36.602	0.14	2.56214	184.356
	556522.082	6823497.01	186.934728	37.381	0.14	2.61667	184.318
	556520.081	6823506.81	186.878443	38.938	0.14	2.72566	184.153
	556518.08	6823516.61	186.935958	39.717	0.14	2.78019	184.156
	556516.08	6823526.4	186.96555	35.044	0.14	2.45308	184.512
	556514.079	6823536.2	186.978521	28.036	0.14	1.96252	185.016
	556512.682	6823546.1	186.964705	23.363	0.14	1.63541	185.329
	556511.296	6823556.01	186.893873	23.363	0.14	1.63541	185.258
	556509.91	6823565.91	186.157235	21.416	0.14	1.49912	184.658
	556508.525	6823575.81	186.039268	14.797	0.14	1.03579	185.003
	556507.139	6823585.72	186.060054	14.797	0.14	1.03579	185.024
	556505.753	6823595.62	186.492848	13.239	0.14	0.92673	185.566
	556503.589	6823605.34	186.463089	13.239	0.14	0.92673	185.536
	556500.314	6823614.79	186.848068	14.191	0.14	0.99337	185.855
	556497.038	6823624.23	187.053803	19.469	0.14	1.36283	185.691
	556493.763	6823633.68	187.28253	25.894	0.14	1.81258	185.470
	556491.155	6823643.21	187.160609	28.814	0.14	2.01698	185.144
	556492.006	6823653.18	187.038603	29.593	0.14	2.07151	184.967
	556492.856	6823663.14	187.064208	29.593	0.14	2.07151	184.993
	556490.823	6823672.91	187.039348	29.593	0.14	2.07151	184.968
	556488.666	6823682.68	187.083742	31.151	0.14	2.18057	184.903
	556485.687	6823692.2	187.084311	28.814	0.14	2.01698	185.067
	556482.163	6823701.56	187.192851	29.593	0.14	2.07151	185.121
	556478.274	6823710.76	187.284044	32.708	0.14	2.28956	184.994
	556473.833	6823719.72	187.331505	33.487	0.14	2.34409	184.987
	556469.393	6823728.68	187.350761	33.487	0.14	2.34409	185.007
	556464.916	6823737.62	187.393273	33.487	0.14	2.34409	185.049
	556458.794	6823745.52	187.453555	32.708	0.14	2.28956	185.164
	556452.672	6823753.43	187.632424	36.602	0.14	2.56214	185.070
	556444.265	6823758.75	187.497003	36.602	0.14	2.56214	184.935
	556438.215	6823766.64	187.455841	37.381	0.14	2.61667	184.839
	556432.228	6823774.65	187.690185	38.938	0.14	2.72566	184.965
	556429.082	6823783.51	187.854562	39.717	0.14	2.78019	185.074
	556429.462	6823793.5	188.010973	41.275	0.14	2.88925	185.122
	556430.244	6823803.46	188.129855	46.336	0.14	3.24352	184.886
	556431.804	6823813.34	188.295197	50.62	0.14	3.5434	184.752
	556433.363	6823823.21	188.390767	53.086	0.14	3.71602	184.675
	556434.621	6823833.13	188.741007	56.071	0.14	3.92497	184.816
	556435.787	6823843.06	188.969243	56.071	0.14	3.92497	185.044
	556436.915	6823853	189.131328	58.407	0.14	4.08849	185.043
	556437.746	6823862.97	189.206269	58.407	0.14	4.08849	185.118

	556438.576	6823872.93	189.38112	66.844	0.14	4.67908	184.702
	556439.407	6823882.9	189.469429	69.31	0.14	4.8517	184.618
	556440.237	6823892.86	189.672255	70.868	0.14	4.96076	184.711
	556441.039	6823902.83	189.854884	73.204	0.14	5.12428	184.731
	556441.819	6823912.8	189.982703	75.54	0.14	5.2878	184.695
	556442.599	6823922.77	190.134667	81.77	0.14	5.7239	184.411
	556443.379	6823932.74	190.305306	83.328	0.14	5.83296	184.472
	556444.159	6823942.71	190.413128	83.328	0.14	5.83296	184.580
	556444.808	6823952.69	190.455165	83.328	0.14	5.83296	184.622
	556445.413	6823962.67	190.371008	84.107	0.14	5.88749	184.484
	556446.018	6823972.65	190.567068	84.107	0.14	5.88749	184.680
	556447.267	6823982.57	190.718861	84.107	0.14	5.88749	184.831
	556448.524	6823992.49	190.689895	84.107	0.14	5.88749	184.802
	556452.325	6824022.25	190.699218	84.107	0.14	5.88749	184.812
	556453.597	6824032.17	191.237316	84.107	0.14	5.88749	185.350
<b>P22</b>	556076.216	6824344.71	196.077637	171.389	0.13	10.588	185.490
	556078.299	6824354.49	196.240903	176.332	0.13	10.563	185.678
	556080.382	6824364.27	196.32958	175.508	0.13	11.072	185.258
	556082.465	6824374.05	196.735746	172.212	0.13	10.872	185.864
<b>P23</b>	556056.512	6824354.82	196.29993	174.684	0.13	10.82	185.480
	556066.295	6824352.74	196.197094	169.741	0.13	10.746	185.451
	556076.078	6824350.67	196.09978	170.565	0.13	10.609	185.491
	556085.888	6824348.73	196.261323	168.093	0.13	10.609	185.652
	556095.7	6824346.8	196.805525	168.917	0.13	10.506	186.300
	556105.318	6824344.09	196.624173	174.684	0.13	10.697	185.927
	556114.888	6824341.19	196.464093	181.276	0.13	10.918	185.546
<b>P24</b>	556835.879	6824190.29	191.067204	88.809	0.14	6.21663	184.851
	556834.041	6824180.46	190.763695	91.276	0.14	6.38932	184.374
	556832.203	6824170.63	190.924846	91.276	0.14	6.38932	184.536
	556830.365	6824160.8	190.870097	91.276	0.14	6.38932	184.481
	556826.688	6824141.14	190.580166	91.276	0.14	6.38932	184.191
	556824.597	6824131.37	190.472649	90.454	0.14	6.33178	184.141
	556822.427	6824121.6	190.73285	89.632	0.14	6.27424	184.459
	556820.258	6824111.84	190.624381	89.632	0.14	6.27424	184.350
	556821.263	6824102.13	190.67736	91.276	0.14	6.38932	184.288
	556823.757	6824092.45	190.557154	91.276	0.14	6.38932	184.168
	556826.251	6824082.77	190.931865	91.276	0.14	6.38932	184.543
	556816.37	6824005.8	192.06706	103.775	0.14	7.26425	184.803
	556813.396	6823996.25	191.961262	91.276	0.14	6.38932	185.572
	556810.423	6823986.71	190.702913	90.454	0.14	6.33178	184.371
	556807.858	6823977.05	190.31606	87.987	0.14	6.15909	184.157
	556803.872	6823957.46	190.661363	87.9	0.14	6.15	184.511
<b>P25</b>	556502.496	6824260.57	194.848635	139.112	0.13	9.042	185.807

	556503.57	6824270.51	195.000261	141.581	0.13	9.2	185.800
	556505.281	6824280.33	195.299531	136.642	0.13	9.027	186.273
	556508.319	6824289.82	195.000417	143.227	0.13	9.123	185.877
	556512.737	6824298.79	195.14193	143.227	0.13	9.417	185.725
	556517.156	6824307.76	195.209515	143.227	0.13	9.152	186.058
	556521.467	6824316.78	195.178247	144.051	0.13	9.429	185.749
	556525.181	6824326.06	194.80012	147.343	0.13	9.536	185.264
	556536.374	6824353.9	195.168405	147.343	0.13	9.536	185.632
<b>P26</b>	556313.425	6824460.51	198.74928	143.81	0.13	9.195	189.554
	556308.996	6824451.55	198.219634	143.81	0.13	9.348	188.872
	556304.567	6824442.58	198.082089	146.075	0.13	9.421	188.661
	556300.138	6824433.61	198.131258	149.472	0.13	9.716	188.415
	556295.876	6824424.58	198.05635	158.045	0.13	9.806	188.250
	556292.751	6824415.08	197.640654	166.457	0.13	10.525	187.116
	556289.626	6824405.58	197.559141	176.649	0.13	11.159	186.400
	556286.502	6824396.08	197.390791	177.781	0.13	11.482	185.909
	556282.528	6824386.92	197.439719	176.649	0.13	11.556	185.884
	556278.317	6824377.85	197.524844	172.325	0.13	11.335	186.190
	556274.323	6824368.69	197.492871	167.59	0.13	10.893	186.600
	556271.208	6824359.19	197.605924	161.928	0.13	10.761	186.845
	556268.092	6824349.69	197.454136	161.928	0.13	10.525	186.929
	556265.217	6824340.11	197.097242	158.531	0.13	10.443	186.654
	556262.57	6824330.47	197.046408	155.134	0.13	10.266	186.780
	556260.651	6824320.72	196.534508	148.442	0.13	10.022	186.513
<b>P27</b>	556132.72	6824517.4	198.797385	151.305	0.13	9.354	189.443
	556131.161	6824507.52	197.954304	156.239	0.13	9.628	188.326
	556129.601	6824497.65	197.981044	160.35	0.13	9.868	188.113
	556129.305	6824487.71	197.982016	170.218	0.13	10.33	187.652
	556129.901	6824477.72	197.909014	175.883	0.13	10.818	187.091
	556130.497	6824467.74	197.796727	182.552	0.13	11.41	186.387
	556129.399	6824457.84	198.04903	183.375	0.13	11.461	186.588
	556127.819	6824447.97	197.876972	186.664	0.13	11.609	186.268
	556127.77	6824438.03	197.250119	190.776	0.13	11.872	185.378
	556128.509	6824428.06	196.939941	189.405	0.13	11.923	185.017
	556129.248	6824418.08	196.805942	185.842	0.13	11.718	185.088
	556129.726	6824408.11	196.526481	180.908	0.13	11.512	185.014
	556129.477	6824398.11	196.529361	175.152	0.13	11.101	185.428
	556130.025	6824388.15	196.49954	174.329	0.13	10.947	185.553
<b>P29</b>	556547.058	6824033.77	192.392086	96.21	0.14	6.7347	185.657
	556550.006	6824043.32	192.750324	94.565	0.14	6.61955	186.131
	556552.955	6824052.88	192.813464	97.855	0.14	6.84985	185.964
	556555.528	6824062.43	193.003715	115.123	0.14	8.05861	184.945
	556548.842	6824068.75	193.078952	127.458	0.14	8.92206	184.157

# Vedlegg E

## MjøsLab



FAGLIG BISTAND OG AKKREDITERTE ANALYSER

Næringsmidler • Hygiene • Vann • Miljø • Avløpsvann

Statens vegvesen  
Region Øst, Regionlaboratoriet  
Postboks 1010  
2605 LILLEHAMMER

Dato: 13.12.2013  
Prove ID: 2013-3291  
vr 1

### ANALYSERESULTATER

Prosjekt: Prosjekt: 106470, Ansvarskode: 13200

Provemottak: 02.12.13

Analyseperiode: 02.12.13 - 12.12.13

Provetanker: Leverandør

2013-3291-1

Grunnvann

Tatt ut: 02.12.13 Kl. 09:00

Parameter	Resultat	Enhet	Metode	Måleusikkerhet
pH, surhetsgrad	7,3		NS-EN ISO 10523	±0,2
Konduktivitet	8,39	mS/m	NS 7888	±0,84
Total nitrogen	1,00	mg/l	NS ISO 13395	±0,130
Nitrat	0,187	mg/l	NS ISO 13395	±0,024
Ammoniumnitrogen, NH <sub>4</sub>	0,019	mg/l	NS 4746	±0,002
Sulfid	<sup>2)</sup> 0,10	mg/l	Intern	±0,01
Hydrokarboner, olje i vann	<sup>1)</sup> Ikke påvist	µg/l	ISO 9377-2	
Aluminium (Al)	<sup>1)</sup> 1,840	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Arsen (As)	<sup>1)</sup> <0,05	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Barium (BA)	<sup>1)</sup> 46,30	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Kalsium (Ca)	<sup>1)</sup> 9420,00	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Kadmium Cd	<sup>1)</sup> 0,0040	µg/l	ICP-MS	
Kobolt (Co)	<sup>1)</sup> 0,04	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Krom (Cr)	<sup>1)</sup> 0,12	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Kobber (Cu)	<sup>1)</sup> 0,42	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Jern (Fe)	<sup>1)</sup> Ikke påvist	mg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Kvikksolv (Hg)	<sup>1)</sup> <0,0020	µg/l	SS-EN 17852	
Kalium (K)	<sup>1)</sup> 1,050	mg/l	DN-EN ISO 17294-2	±20%
Magnesium (Mg)	<sup>1)</sup> 3320,00	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Mangan (Mn)	<sup>1)</sup> 0,004	mg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Molybdat (Mo)	<sup>1)</sup> 0,09	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Natrium (Na)	<sup>1)</sup> 3430	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Nikkel (Ni)	<sup>1)</sup> 0,46	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Total fosfor	0,185	mg/l	NS ISO 6878	±0,019
Bly (Pb)	<sup>1)</sup> <0,0100	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Silisium	<sup>1)</sup> 2780,00	µg/l		
Strontium (Sr)	<sup>1)</sup> 66,8	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Sink (Zn)	<sup>1)</sup> 8,35	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Vanadium (V)	<sup>1)</sup> 0,04	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	

- betyr: Mindre enn

- <sup>2)</sup> Analysen er ikke akkreditert men kvalitetsikret.  
<sup>1)</sup> Utført av akkreditert underleverandør, ALS. Rapport fås ved forespørsel.

Side 1 av 2

Postadresse / Besøksadresse  
Ringveien 11  
2815 GJØVIK

Telefon: +47 61 13 62 20  
Telefaks: +47 61 13 62 29

E-post: [firmapost@mjoslab.no](mailto:firmapost@mjoslab.no)  
Hjemmeside: [www.mjoslab.no](http://www.mjoslab.no)

Organisasjonsnummer  
982 796 253 MVA



Statens vegvesen  
Region Øst, Regionlaboratoriet  
Postboks 1010  
2605 LILLEHAMMER

Dato: 07.04.2016  
Prove ID: 2016-769  
ver 1

## ANALYSERESULTATER

Prosjekt: P: 106470, Ansv: 13200, Knut Roland

Provemottak: 29.03.16

Analyseperiode: 29.03.16 - 07.04.16

Provetaker: Leverandør

2016-769-1

DR) Borebrønn/grunnvann

Tatt ut: 29.03.16

### Referanse: Grunnvannsprøve Industriområdet Frya

Parameter	Resultat	Enhet	Grenseverdi	Veil.	Metode	Målesikkerhet
pH, surhetsgrad	6.9		6,5 - 9,5		NS-EN ISO 10523	±0,2
Konduktivitet	7.52	mS/m	250		NS-ISO 7888	±1,13
Total nitrogen	0.689	mg/l			NS ISO 13395	±0,090
Nitrat (NO <sub>3</sub> )	2) <0.5	mg/l			Intern	±0,00
Ammoniumnitrogen, NH <sub>4</sub>	0.058	mg/l	0,50		NS 4746	±0,007
Sulfid	2) 0.02	mg/l			Intern	±0,00
Aluminium (Al)	1) 121.0	µg/l	200		ICP-AES / ICP-SFMS	
Arsen (As)	1) 0.10	µg/l			ICP-AES / ICP-SFMS	
Barium (Ba)	1) 41.90	µg/l			ICP-AES / ICP-SFMS	
Kalsium (Ca)	1) 8.93	mg/l			ICP-AES / ICP-SFMS	
Kadmium Cd	1) <0.002	µg/l	5		ICP-AES / ICP-SFMS	
Kobolt (Co)	1) 0.17	µg/l			ICP-AES / ICP-SFMS	
Krom (Cr)	1) 0.41	µg/l			ICP-AES / ICP-SFMS	
Kobber (Cu)	1) 2.66	µg/l			ICP-AES / ICP-SFMS	
Jern (Fe)	1) 0.2310	mg/l			ICP-AES / ICP-SFMS	
Kvikksølv (Hg)	1) <0.002	µg/l			SS-EN 17852	
Kalium (K)	1) 0.871	mg/l			DIN-EN ISO 17294-2	
Magnesium (Mg)	1) 2.62	mg/l			ICP-AES / ICP-SFMS	
Mangan (Mn)	1) 0.0095	mg/l			ICP-AES / ICP-SFMS	
Molybden (Mo)	1) 0.08	µg/l			ICP-AES / ICP-SFMS	
Natrium (Na)	1) 2.72	mg/l			ICP-AES / ICP-SFMS	
Nikkel (Ni)	1) 0.36	µg/l			ICP-AES / ICP-SFMS	
Total fosfor	1) 0.060	mg/l			ICP-AES / ICP-SFMS	±0,006
Bly (Pb)	1) 1.1	µg/l	10		ICP-AES / ICP-SFMS	
Silisium	1) 2.68	mg/l			ICP-AES / ICP-SFMS	
Strontium (Sr)	1) 58.9	µg/l			ICP-AES / ICP-SFMS	
Sink (Zn)	1) 4.9	µg/l			ICP-AES / ICP-SFMS	
Vanadium (V)	1) 0.23	µg/l			ICP-AES / ICP-SFMS	
Hydrokarboner, olje i vann	1) Ikke påvist	µg/l	10		ISO 9377-2	

< betyr: Mindre enn

2) Analysen er ikke akkreditert men kvalitetssikret.

1) Utført av underleverandør, ALS. Rapport fås ved henvendelse.

DR) Forskrift for vannforsyning og drikkevann, Helse og Sos.dep. 4/12-2001

Statens vegvesen  
Region Øst, Regionlaboratoriet  
Postboks 1010  
2605 LILLEHAMMER

Dato: 03.04.2019  
Prove ID: 2019-825  
ver 1

## ANALYSERESULTATER

Prosjekt: P: 106470, Ansv:13200, Roar Holten

Provemottak: 22.03.19

Analyseperiode: 22.03.19 - 03.04.19

Provetaker: Leverandør

2019-825-1

Grunnvann

Tatt ut: 22.03.19 Kl 11:15

### Referanse: Industriområdet Frya

Parameter	Resultat	Enhet	Metode	Målesikkerhet
pH, surhetsgrad	6.9		NS-EN ISO 10523	±0.2
Konduktivitet	12.05	mS/m	NS-ISO 7888	±1.81
Provens temperatur ved analyse	22.9	°C		
Total nitrogen	7.46	mg/l	DS/ISO 11905	
Nitrat (NO <sub>3</sub> -N)	8.5	mg/l	Intern	±0.85
Ammoniumnitrogen, NH <sub>4</sub>	<0.010	mg/l	NS 4746	
Sulfid	<0.020	mg/l	Intern	
Aluminium (Al)	64.70	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Arsen (As)	0.12	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Barium (Ba)	67.5	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Kalsium (Ca)	12.5	mg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Kadmium (Cd)	0.00282	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Kobolt (Co)	0.2660	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Krom (Cr)	0.2340	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Kobber (Cu)	14.10	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Jern (Fe)	0.1280	mg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Kvikksølv (Hg)	<0.002	µg/l	ISO 17852	
Kalium (K)	1.27	mg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Magnesium (Mg)	3.55	mg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Mangan (Mn)	4.64	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Molybden (Mo)	<0.05	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Natrium (Na)	2.95	mg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Nikkel (Ni)	0.5570	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Total fosfor	21.9	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Bly (Pb)	2.1	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Silisium	3.19	mg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Strontium (Sr)	93.800	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Sink (Zn)	12.5	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Vanadium (V)	0.14	µg/l	ICP-AES / ICP-SFMS	
Hydrokarboner, olje i vann	Ikke påvist	µg/l	ISO 9377-2	

< betyr: Mindre enn

- 8) I høyt standard skal temperatur måles samtidig ved måling av pH/konduktivitet. Ikke akkreditert men kvalitetsikkert.  
1) Utført av underleverandør, ALS. Rapport med akkrediterings-status og målesikkerhet fås ved henvendelse.  
2) Analysen er ikke akkreditert, men kvalitetsikkert.

Side 1 av 2

Postadresse / Besøksadresse  
Ringveien 11

Telefon: +47 61 13 62 20  
Telefaks: +47 61 13 62 29

E-post: firmapost@mjoslab.no  
Hjemmeside: www.mjoslab.no

Organisasjonsnummer  
982 796 253 MVA

