

Utvikling av kartprodukter for  
fremstilling av setningsutfordringer i  
urbane områder - med eksempel fra  
Majorstua in Oslo

**Live Næss Andresen**

Tekniske geofag

Innlevert: juni 2014

Hovedveileder: Randi Kalskin Ramstad, IGB

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for geologi og bergteknikk





# Forord

Oppgaveteksten til denne masteroppgaven er formulert av Randi Kalskin Ramstad, Førsteamanuensis II ved Institutt for geologi og bergteknikk ved NTNU, Ingelöv Eriksson, prosjektleder for Undergrunnsprosjektet i Oslo kommune og undertegnede.

Masteroppgaven er gjennomført ved studiet tekniske geofag på Norges teknisk-naturvitenskapelig universitet. Randi Kalskin Ramstad har vært hovedveileder i masteroppgaven. Masteroppgaven er gjennomført sammen med Undergrunnsprosjektet. Undergrunnsprosjektet er et prosjekt for økt kunnskap om undergrunnen i Oslo kommune. Arbeidet er utført på Plan- og bygningsetaten i Oslo kommune. I Undergrunnsprosjektet har hovedkontakten vært Ingelöv Eriksson.

Hjertelig takk til:

- Randi Kalskin Ramstad for alltid gode råd og svært hjelpsom veiledning underveis.
- Ingelöv Eriksson for hjelp, råd og inkludering i Undergrunnsprosjektet.
- Plan- og temakartenheten ved Avdeling for Geodata, Plan- og bygningsetaten, Oslo kommune for bruk av arbeidsplass, bruk av nødvendig datamateriale, og ellers gode innspill til masteroppgaven.
- Undergrunnsprosjektets deltagere, og særlig Grunnvannsgruppen, for ideer og drøftinger om masteroppgaven.
- Vann- og Avløpsetaten i Oslo kommune, og spesielt Bjørg Matre, for å ha gitt adgang til Undergrunnsarkivet og svar på alle spørsmål knyttet til det.
- Byantikvaren i Oslo kommune for å oversende data med informasjon om murgårdsbebyggelsen fra 1800-tallet i Oslo
- NGI og Multiconsult for å tillate bruk av deres geotekniske boringer for fremstilling av kvartærgeologiske profiler.

# Sammendrag

I denne masteroppgaven er det utarbeidet kartprodukter som viser geologi og grunnvannsforhold på Majorstua i Oslo. Disse produktene kombineres med informasjon om bebyggelse slik at det er mulig å lokalisere bygninger som er i fare for setningsskader.

Opgaven retter et særlig fokus på 1800-talls murgårdsbebyggelse. Gjennom oppgaven er det utarbeidet et dybde til fjell-kart som viser at 2 murgårdsbygninger trolig står delvis på fjell og delvis på treflåter i løsmassene. 1800-talls murgårdsbebyggelse ble fundamentert på treflåter dersom det ikke var fjell ved kjellergulvet (ca. 3 meter under terrenget). Ved grunnvannssenkning og setninger vil den delen av murgården som er fundamentert på treflåter synke. Det vil skape ustabilitet og skader på bygningen.

Analyser av grunnvannets variasjoner er gjennomført med målinger fra 43 poretrykksmålere på Majorstua. De tidligste målingene er fra 1973, og de siste fra 2013. Det er et utviklet kart over estimerte variasjoner i poretrykk i to mindre områder. Det er i tillegg laget og analysert grafer for alle poretrykksmålerne. Resultatet viser at variasjoner i poretrykk i størst grad er knyttet til menneskelig påvirkning. Dette viser at det er viktig å overvåke grunnvannet i nærheten av setningsutsatt bebyggelse på Majorstua ved arbeid eller anlegg i grunnen.

Områdets geologi er presentert gjennom 9 kvartærgeologiske profiler. Alle profilene viser at området domineres av leire. Ved grunnvannssenkning er leire svært setningssensitivt. Dybde til fjell-kartet viser at det i den sørvestlige delen av studieområdet er opp til 47 meters dyp til fjell. Her er det forutsetninger for store setninger. Men oppgaven har ikke påvist at det foregår skjevsetninger. Skjevsetninger, og påfølgende skader, skjer der setningshastigheten er ujevn langs en bygning. Colosseum kino er i den dypeste delen av studieområdet. Tidligere gjennomførte InSAR-undersøkelser av Dehls og Nordgulen (2004) viser at Colosseum kino sank 10 cm i løpet av 10 år (1992-2002). Denne størrelsen er ikke funnet gjennom poretrykksanalysene i denne oppgaven. Derfor anbefales det at de utviklede produktene brukes i kombinasjon med InSAR-teknologi for å kunne skaffe presise setningsrater.

Masteroppgaven er gjennomført i samarbeid med Undergrunnsprosjektet i Oslo Kommune. Poretrykksdatabasen og Undergrunnsarkivet til Oslo kommune er benyttet som datagrunnlag. Til dybde til fjell-kartet har i tillegg boringer som er registrert i NADAG blitt benyttet. NADAG er en nasjonal geoteknisk database som driftes av Norges Geologiske Undersøkelse.

# Abstract

In this master thesis maps that show the geology and groundwater situation in Majorstua in Oslo have been designed. By combining information about the buildings in the study area it is possible to localize buildings that are in danger of damages caused by ground subsidence.

The thesis is especially focusing on brick buildings from the 19<sup>th</sup> century. Through the work of the thesis there has been developed a thickness of soil-map. This shows that 2 brick buildings presumably are founded partly by bedrock and partly by timber rafts. Timber rafts in the soil usually founded brick buildings in the 19th century, if the thickness of soil were greater than 3 meters. Ground subsidence will force the part of the building that is founded on timber rafts to subside. This creates instability and damages on the building.

Analysis of the groundwater variation has been performed with measurements of hydraulic head. The measurements are recorded from 43 piezometers from 1973 to 2013. It has been created maps showing time series of estimated hydraulic head. Graphs have been created for every piezometer. The result shows that variation in hydraulic head mainly happens because of human activity. This shows that it is important to keep monitoring groundwater close to exposed buildings in Majorstua in connection with underground constructions.

The geology in the area is presented through 9 quaternary geological profiles. All 9 profiles show domination of clay. Clay is sensitive to lowering of groundwater and is likely to subside. The thickness of soil-map shows that the southeastern parts of the study area have a thickness of soil up to 47 meters. Great ground subsidence might happen here. But it has not been shown that there is differential ground subsidence in this area. Differential subsidence happens when the subsidence rate is different along a building. The Colosseum Cinema is located in this area. InSAR-monitoring by Dehls and Nordgulen (2004) has shown that the cinema has subsided 10 cm in 10 years (1992-2002). This rate has not been found in the analysis of hydraulic head. Because of this it is recommended that the developed maps are used in combination with InSAR-technology to achieve precise ground subsidence rates.

The master thesis is performed in cooperation with the Underground Project in the City of Oslo. The City of Oslo has databases with recorded hydraulic heads and geotechnical data that have been used to create the maps. Data from NADAG have been included in the thickness of soil map. NADAG is a national geotechnical database that is operated by the Norwegian Geological Survey.

# Innhold

Forord .....	I
Sammendrag .....	II
Abstract .....	III
1. Innledning .....	1
1.1. Bakgrunn .....	1
1.2. Oppgavens formål og oppbygning .....	2
1.3. Informasjonsinnhenting .....	2
2. Teori .....	3
2.1. Hydrogeologiske betraktninger .....	3
2.1.1. Grunnvann .....	3
2.1.2. Poretrykk og hydrostatisk trykkfordeling .....	4
2.1.3. Hydrogeologi i urbane strøk og setningsproblematikk .....	6
2.1.4. Metoder for overvåkning og måling av poretrykk og grunnvann .....	7
2.2. Beskrivelse av studieområdet på Majorstua .....	9
2.2.1. Bebyggelse .....	10
2.2.2. Infrastruktur .....	12
2.2.3. Berggrunnsgeologi .....	14
2.2.4. Løsmassegeologi .....	16
2.2.5. Eksempler på setningshendelser og bruk av infiltrasjonsbrønner på Majorstua .....	19
2.3. Eksempler fra annet arbeid knyttet til grunnvanns- og setningsutfordringer .....	22
2.3.1. Grunnvannsovervåkning i Helsingfors .....	22
2.3.2. Grunnvannskartlegging i Glasgow .....	24
2.3.3. Masteroppgave om bygårder i tegl fra 1800-tallet .....	25
2.3.4. Setningsovervåkning med InSAR .....	25
3. Data, programvare og metoder .....	29
3.1. Beskrivelse av programvare og analysemetoder .....	29
3.1.1. Geostatistisk analysemetode .....	30
3.2. Gjennomgang og utvelgelse av datagrunnlag .....	31
3.2.1. Poretrykksdatabasen .....	32
3.2.2. Undergrunnsarkivet .....	35

3.2.3. GRANADA.....	40
3.2.4. NADAG .....	41
3.2.5. Nedbørsdata.....	43
3.3. Fremstilling av dybde til fjell.....	44
3.3.1. Utarbeidelse av digital terrengmodell for å beregne ukjent borelengde .....	45
3.3.2. Utarbeidelse av dybde til fjell-kart.....	46
3.4. Fremstilling av poretrykksdata .....	48
3.4.1. Statistiske analyser .....	48
3.4.2. Grafisk fremstilling .....	49
3.4.3. Analyse av områdets trykkfordeling .....	50
3.5. Fremstilling av kartserie med estimert gjennomsnittlig poretrykksnivå.....	51
3.6. Fremstilling av kvartærgeologiske profiler.....	52
4. Resultater .....	58
4.1. Dybde til fjell .....	58
4.1.1. Terrengmodell .....	58
4.1.2. Resultat av geografiske, matematiske og geostatistiske analyser .....	59
4.1.3. Dybde til fjell -kart.....	61
4.1.4. Bygningsanalyse med dybde til fjell-kart.....	64
4.2. Presentasjon av statistiske og grafiske analyser av poretrykksdata .....	66
4.2.1. Innledende statistikk for hver poretrykksmåler.....	66
4.2.2. Punktgraf .....	69
4.2.3. Boksplott .....	71
4.2.3. Resultat av analyse for områdets trykkfordeling.....	81
4.3. Kartserie med estimert gjennomsnittlig poretrykksnivå .....	85
4.3.1. Kartserie for nordøstlig område .....	88
4.3.2. Kartserie for sørvestlige område .....	90
4.4. Kvartærgeologiske profiler .....	92
4.4.1. Presentasjon av profiler.....	93
5. Diskusjon .....	105
5.1. Innledning til diskusjonen.....	105
5.2. Produktenes evne til å oppdage hendelser knyttet til endringer i poretrykk.....	105
5.2.1. Poretrykkssituasjonen etter installasjon VEAS-tunnelen.....	105
5.2.2. Poretrykksituasjonen etter installasjon av infiltrasjonsbrønner i 1991/92 og i 2002 og i forbindelse med kraterdannelsen i 2002.....	106

5.2.3. Poretrykkssituasjonen etter tetting av tunnelstrekninger i 2012. ....	108
5.2.4. Sammenheng mellom nedbør og poretrykk .....	108
5.3. Produktenes evne til å oppdage og vise setningsutsatt geologi .....	109
5.4. Produktenes evne til å vise setningsutsatt bebyggelse .....	111
5.4.1. Vurdering av setningsutsatt 1800-talls murgårdsbebyggelse.....	111
5.4.2. Vurdering av bebyggelse over dyprenner .....	112
5.4.3. Vurdering av bebyggelse i tilknytning til VEAS-tunnelen. ....	113
5.4.4. Øvrige betraktninger knyttet til skader på bebyggelse .....	114
5.5. Produktenes usikkerhet. ....	114
5.6. Sammenligning av produktenes resultat med tidligere utførte InSAR-undersøkelser. ....	115
5.7. Mulighet for nyttiggjørelse av produktene i urbane områder, med Oslo Kommune og Undergrunnsprosjektet som utgangspunkt.....	117
6. Konklusjon.....	119
7. Forslag til videre arbeid.....	120
Referanser .....	121
Vedleggsliste .....	126

## Figurliste

**Figur 2.1.** Grafen illustrerer hvordan grunnvannsnivået varierer med årstiden i ulike områder i Norge (Kirkhusmo og Sønsterud 1988). Oslo som ligger i lavlandet, har to topper, en på sen-våren og en på sen-høsten. s.4

**Figur 2.2.** Figuren er en prinsippskisse som viser hvordan fundamentering på treflåter ble gjort på 1800-tallet og tidlig 1900-tallet (Hauge og Bjørberg 2010). s.7

**Figur 2.3.** Skisse over hvordan en hydraulisk poretryksbrønn ser ut. Figuren er tegnet og forklart etter Norsk Geoteknisk Forening (1989). Måleinstrumentet blir ført ned i slangen og måler av høyden på vannsøylen som tilsvarer poretrykket i spissen av røret s.9

**Figur 2.4.** Kartutsnittet viser studieområdets plassering i bydelen Frogner i Oslo og avgrensningen på Majorstua. s.10

**Figur 2.5.** Kartutsnittet viser murgårdsbebyggelsen i studieområdet. Det er kun i de sørøstlige-områdene at det er registrert bebyggelse fra 1800-tallet. s.11

**Figur 2.6.** Flyfoto over Majorstua. I det nordøstlige området er det typisk bygårdsbebyggelse fra 1920-30-tallet, mens i den sørvestlige delen er det nyere bebyggelse. Unntaket er Colosseum kino som man ser kuppelen på ved Fridtjof Nansens vei. T-banområdet er av stor utstrekning i nordvest. Flyfotoet er gjengitt med tillatelse fra plan- og bygningsetaten, Oslo kommune. s.12

**Figur 2.7.** Kartet viser T-banestrekningen fra Majorstua til Nationaltheatret. Den røde

rammen viser studieområdet på Majorstua, mens den rosa rammen viser området der Valkyrie stasjon ble til på grunn av kollaps av grunnen (Gjerland 2013). s.13

**Figur 2.8.** Kartet viser VEAS-tunnelen sin trasé og hvilke deler som er utstøpt (markert med svart linje). Konturene til VEAS-tunnelen er tegnet inn etter Brendbekken (2011) sin rapport utført for Vann- og avløpsetaten i Oslo Kommune. s.14

**Figur 2.9.** Berggrunnskart over området rundt Majorstua (NGU 2014b). Det røde rektangelet viser studieområdet med Majorstua T-banestasjon omtrent i midten. Området preges av skifer, kalkstein og knollekalk. De områder hvor det er registret knollekalk og skifer er markert med klar grønn, mens de lysegrønne områdene representerer siltig til sandig skifer, og kalkstein, skifer og knollekalk. Det lyse, nesten hvite området representerer skifer og kalkstein i veksling, samt knollekalk og skifer. Den nesten loddrette streken som går gjennom de østre delene av studieområdet indikerer et kartbladskille. Den rosa prikken indikerer området hvor Åsmund Eggestad (1973) og Oslo kommune gjennomførte kjerneboringer. s.16

**Figur 2.10.** NGU (2014e) sin løsmassekartlegging av Oslo viser at områdene rundt Majorstua domineres av fyllmasse, forvittringsmateriale og hav- og fjordavsetninger. Figuren viser også at Majorstua ligger lavere enn marin grense som i de nordlige deler av Oslo ligger 221 m.o.h. Det røde rektangelet viser studieområdets beliggenhet. s.18

**Figur 2.11.** Figuren viser NGU (2014e) sin kartlegging av løssmassene innenfor studieområdet. Området domineres i høy grad av fyllmasse, men i nord og særlig i øst er det kartlagt hav- og fjordavsetninger. I tillegg er det sørøstlige området kartlagt som forvittringsmateriale. s.19

**Figur 2.12.** Kartet viser de aktive (blå) og avsluttede (røde) infiltrasjonsbrønnene på Majorstua. Brønn 2 er utenfor studieområdet, men inkludert i figuren, Bare poretrykkmålere fra studieområdet er illustrert. Det er også indikerte en pil til området i bygården hvor krateret oppstod. Dette er nærme brønn 1. Figuren i høyre hjørne viser med blå ramme hvor området på bildet er i forhold til studieområdet som er vist med rød ramme. s.21

**Figur 2.13.** I kartløsningen til Helsingfors kommunes vises geotekniske boringer som røde sirkler, grunnvannsmålinger som blå sirkler og bygninger fundamentert på treflåter som bygning med omriss (Helsingin kaupunki 2014a). s.23

**Figur 2.14.** Utsnittet viser de punkter i Helsingfors som måler nedre grunnvannsstand. Når man klikker på punktene, kommer tilhørende grafer opp. I utsnittet vises graf fra en grunnvannsmåler som måler i nedre grunnvannsnivå og en som måler i øvre grunnvannsnivå (Helsingin kaupunki 2014b. s. 23

**Figur 2.15.** En geologisk profil fra kartleggingen i Glasgow. Den røde linjen viser grunnvannsnivået i det øverste laget som er fyllmasse. Profilen er laget i GSI3D (Bosnor et al. 2010). s. 24

**Figur 2.16.** Bildet og grafen er hentet fra Dehls og Nordgulen (2004). Bildet viser området rundt Colosseum kino. Objektet som er målt inn på Colosseum kino, viser stort setningsforløp. Endring i høyde er vist i den tilhørende grafen, og viser at objektet har endret seg omtrent 10 cm nedover fra 1992 til slutten av 2001. Dato- og millimeterakse er forenklet i forhold til grafen i kilden. s. 27

**Figur 2.17.** Figuren viser InSAR-data over Majorstuen målt mellom 2009 og 2012 fra NGU. Undergrunnsprosjektet får disponere disse bildene. Fargeskalaen på venstre side viser setningshastigheten Colosseum kino, i det sørvestlige av området, viser en hastighet på

nedsynkning til opptil 9 mm. s. 28

**Figur 3.1.** Figuren viser en semivariogrammodell (Ellefmo 2011). Begrepene er redigert inn i den originale tegningen. s. 31

**Figur 3.2.** Grafen viser antall målinger som er målt per poretrykksmåler s. 33.

**Figur 3.3.** Figuren viser hvordan fordeling av poretrykksmålere og antall målinger er i studieområdet. De brune rektanglene representerer poretrykksmålere som ikke lenger er aktive. s. 34

**Figur 3.4.** Figuren viser hvilke poretrykksmålerne som har informasjon om dybde til fjell (blå med trekant). Poretrykksmålerne som er merket med rødt har ingen informasjon om dybde til fjell s. 35

**Figur 3.5.** Figuren gir en oversikt over alle registrerte prøvepunkt og borepunkt på Majorstua som finnes i Undergrunnsarkivet. Tegnforklaringen forteller hvilken type boring det er. Antallet registreringer av de ulike typene er oppgitt i parentes. s.

**Figur 3.6.** Figuren viser hvordan man deler inn og registrerer en boring i Undergrunnsarkivet s.39

**Figur 3.7.** Kartet viser alle fjellboringer (blå) og sonderboringer (rosa) som er utført i de sentrale delene av Oslo. Det rosa rektangelet markerer studieområdet på Majorstua. Det viser at ingen boringer fra GRANADA er registrert i studieområdet. Oversikten er hentet fra GRANADA sin [kartløsning](#) (NGU 2014c). s.41

**Figur 3.8.** Bildet viser en skjermdump fra NADAG sin nettversjon, hentet 21.04.2013 (NGU 2014f). Bildet viser at man kan se tettheten av målinger før man zoomer inn til ønsket område s. 42

**Figur 3.9.** Bildet er en skjermdump fra NADAG sin foreløpige nettversjon, hentet - 21.04.2013 (NGU 2014f). Bildet viser boringer som er sortert etter leverandør. s.42

**Figur 3.10.** Figuren viser studieområdet og boringer der Statsbygg er oppdragsgiver. Boringene har informasjon om dybde til fjell og registrert i NADAG (NGU 2014f). s. 43

**Figur 3.10.** Figuren viser studieområdet og boringer der Statsbygg er oppdragsgiver. Boringene har informasjon om dybde til fjell og registrert i NADAG (NGU 2014f). s.43

**Figur 3.11.** Grafen viser den årlige nedbøren i millimeter på Blindern, 1km nord for Majorstua. s.44

**Figur 3.12.** Prinsippiskisse som viser fremgangsmåten ved utarbeidelse av dybde til fjell. Nødvendige data til dybde til fjell-estimatet kommer fra Undergrunnsarkivet, Poretrykksdatabasen og Statsbygg sine boringer. Noen boringer fra Undergrunnsarkivet behøver først informasjon om terrenghøyden. Til slutt estimeres et kart ved hjelp av geostatistisk estimering i ArcGIS. s.44

**Figur 3.13.** Figuren viser høydekurvene, og de borepunkt og poretrykksmålere fra Undergrunnsarkivet og Poretrykksdatabasen som brukes til terrengmodellen. s.46

**Figur 3.14.** Figuren viser en oversikt over de ulike boringerne og poretrykksmålerne som er brukt til dybde til fjell-estimatet. Antallet er spesifisert i parentes. s.48

**Figur 3.15.** Figuren viser hvordan en punktgraf med trendlinje kan se ut. s.49

**Figur 3.16.** Figuren viser et boksploott med forklaring. Illustrasjonen er hentet fra Midtgård et al. (2007). s.50



**Figur 3.17.** Figuren viser de to områdene som benyttes til å estimere en kartserie som viser hvordan poretrykket endres med tiden. s.52

**Figur 3.18.** Figuren viser de tre hovedstegene som gjennomføres for å lage kvartærgeologiske profiler. s.53

**Figur 3.19.** Figuren viser de 9 profillinjene hvor det lages geologiske profiler. Tegnforklaringen spesifiserer i hvilken retning profilene blir laget. B1 og C3 går ikke over hele området fordi det mangler informasjon om fjellterrenget i det nordvestlige hjørnet. Figuren viser profilene sammen med NGU sin kartlegging av løsmasser. s.57

**Figur 4.1.** Kartet viser den ferdige terrengmodellen med punkter og konturer som er benyttet i estimatet. Området på Majorstua stiger mot nordøst, og har på det meste en høydeforskjell på 12-13 meter. s.58

**Figur 4.2.** Figuren viser histogrammet til boredybde dataene. Ved normalfordeling vises symetri, og det skal være mulig å tegne en bjelleform over histogrammet. I dette tilfellet viser dataene en tilnærmet normalfordeling, men med en større spredning av data med høye verdier. s.60

**Figur 4.3.** Figuren viser semivariogrammodellen til estimatet. Det ble valgt en gaussiansk modell og korrigert for anisotropi. Det ga en influensavstand på 120 meter. s. 60

**Figur 4.4.** Figuren viser punktene som er benyttet til å estimere dybde til fjell. Fargen indikerer deres registrerte dybde til fjell innenfor valgt dybdeintervall. s.62

**Figur 4.5.** Kartet viser den estimerte dybden til fjell med indikerte boredybde på boringer avsluttet i løsmasse. De viser at estimeringen virker å være ganske korrekt. Det eneste punktet som ikke stemmer overens med dybdeintervallet er punktet som er målt ved Sørkedalsveien på 20,2 m. Det er registrert som minimum løsmassedybde på 20,2 m, men ligger i et dybdeintervall på 15-20 meters dyp til fjell. s.62.

**Figur 4.6.** Kartet viser det estimerte standardavviket og borepunkter som er brukt i analysen for dybde til fjell. Kartet viser at de områdene som ikke har borepunkt, har stort standardavvik og stor usikkerhet, dette gjelder særlig i kantene av studieområdet. s.63.

**Figur 4.7.** Kartet viser NGU sin kartlegging av løsmassegeologi for området sammenlignet med dybden til fjell. Tallene i kotelinjene angir maksimal estimert dybde til fjell. s.63.

**Figur 4.8.** Figuren viser estimatet av dybde til fjell med bebyggelsens plassering. Murgårdsbebyggelsen fra 1800-tallet er markert med rosa. s.65.

**Figur 4.9.** Kartet gir et nærmere bilde av murgårdsbebyggelsen som ligger delvis på fjell og delvis løsmasse. De to byggene er streket rundt med turkis. Potensielt sett kan deler av det nordligste bygget ha en løsmassedybde på 15 meter. Det sørligste bygget kan ha en løsmassetykkelse på 10 meter (innenfor studieområdet). s. 65.

**Figur 4.10.** Boksene viser hvordan målingene til de ulike målerne fordeles seg. Grafen viser også antall poretrykksmålinger og terrenghøyde for hver poretrykksmåler. s.68

**Figur 4.11.** Kartet viser hvilke områder som viser en positiv trend og hvilke som viser en negativ trend basert på utregnet stigningstall fra første måling til siste måling. s.68

**Figur 4.12.** Grafen viser hvordan måler 593 sine målepunkt er fordelt. Den rosa linjen viser gjennomsnittet og den grønne viser trenden. Trenden viser seg å være negativ. Måleren ligger i det nordøstlige området. I 2011 er det målt et veldig lavt punkt som kan påvirke trenden

negativt. s.70

**Figur 4.13.** Grafen viser hvordan måler 553 sine målepunkt er fordelt. Den rosa linjen viser gjennomsnittet og den grønne viser trenden. Trenden er positiv, men i 1991-92 og 1997-98 er det lave verdier. Måleren ligger i det sørvestlige området. s.70

**Figur 4.14.** Figuren viser plottet til 449. 449 måler inn poretrykket på 33,36 m.o.h. s.74

**Figur 4.15.** Figuren viser plottet til 450. 450 måler inn poretrykket på 42,69 m.o.h. s.74

**Figur 4.16.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 451. 451 måler inn poretrykket på 47,69 m.o.h. s.74

**Figur 4.17.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 452. 452 måler inn poretrykket på 25,36 m.o.h. s.74

**Figur 4.18.** Figuren viser boksploत्tskjemaet for poretrykksmåler 454. Alle poretrykksmålerne har et boksploत्tskjema i vedlegg 10. Målingene til 454 korresponderer med drenering til VEAS-tunnel på 80-tallet (poretrykksreduksjon) installasjon av infiltrasjonsbrønn i 1991 og 2002 (poretrykksøkning), og utstøpning av VEAS-tunnel i 2012 (poretrykksreduksjon). Nederst sees en sammenligning med årlig nedbørsmengde i millimeter. Her er det ingen sammenheng. s.75

**Figur 4.19.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 453. 453 måler inn poretrykket på 47,24 m.o.h. s.76

**Figur 4.20.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 475. 475 måler inn poretrykket på 45,04 m.o.h. s.76

**Figur 4.21.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 476. 476 måler inn poretrykket på 31,95 m.o.h. s.76

**Figur 4.22.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 478. 478 måler inn poretrykket på 31,06 m.o.h. s.76

**Figur 4.23.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 480. 480 måler inn poretrykket på 26,26 m.o.h. s.77

**Figur 4.24.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 481. 481 måler inn poretrykket på 27,04 m.o.h. s.77

**Figur 4.25.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 591. 591 måler inn poretrykket på 28,76 m.o.h. s.77

**Figur 4.26.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 571 sammenlignet med nedbørsdata. 571 måler inn poretrykket på 36,78 m.o.h. s.77

**Figur 4.27.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 556. 556 måler inn poretrykket på 40 m.o.h. s.78

**Figur 4.28.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 555. 555 måler inn poretrykket på 15 m.o.h. s.78

**Figur 4.29.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 552. 552 måler inn poretrykket på 19,2 m.o.h. s.78

**Figur 4.30.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 553. 553 måler inn poretrykket på 7,9 m.o.h. s.78

**Figur 4.31.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 592. 592 måler inn poretrykket på 49 m.o.h. s.79

**Figur 4.32.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 536. 536 måler inn poretrykket på 49 m.o.h. s.79

**Figur 4.33.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 536. 536 måler inn poretrykket på 49 m.o.h. s.79

**Figur 4.34.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 549. 549 måler inn poretrykket på 49 m.o.h. s.79

**Figur 4.35.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 570. 570 måler inn poretrykket på 49 m.o.h. s.80

**Figur 4.36.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 596. 596 måler inn poretrykket på 33,69 m.o.h. s.80

**Figur 4.37.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 967. 967 måler inn poretrykket på 30,02 m.o.h. s.80

**Figur 4.38.** Figuren viser plottet til poretrykksmåler 554. 554 måler inn poretrykket på 21,5 m.o.h. s.80

**Figur 4.39.** Figuren viser områdene som er analysert for hydrostatisk trykkfordeling. Resultatet er basert på det gjennomsnittlige stigningstallet. s.83

**Figur 4.40.** Figuren viser hvordan stigningstallet mellom 450 og 451 fordeler seg i forhold til stigningstallet for hydrostatisk fordeling. Resultatet viser at stigningstallet mellom 450 og 451 (nesten) alltid viser poreundertrykk, men at det ligger veldig stabilt mellom -0,1 og - 0,11 . s.84

**Figur 4.41.** Grafen viser hvordan poretrykksfordelingen er med dybden i forhold til gjennomsnittlig, størst og minst verdi. I dette tilfellet tilsvarer det største stigningstallet også hydrostatisk trykkfordeling. s.84.

**Figur 4.42.** Grafen viser en sammenligning av årsmedianen, årlig nedbør til poretrykksmålerne som skal brukes til å lage tidsserie i det nordøstlige området. Grafen viser også antall aktive målere og antall målinger som er gjennomført per år. s.86

**Figur 4.43.** Grafen viser en sammenligning av årsmedianen, årlig nedbør til poretrykksmålerne som skal brukes til å lage tidsserie i det sørvestlige området. Grafen viser også antall aktive målere og antall målinger som er gjennomført per år. s.87

**Figur 4.44.** Kartene viser hvordan den gjennomsnittlige poretrykkshøyden endres i det nordøstlige området fra 1992 til 2012. s.89

**Figur 4.45.** Kartene viser hvordan den gjennomsnittlige poretrykkshøyden endres i det sørvestlige området fra 1992 til 2012. s.91

**Figur 4.46.** Figuren viser en sammenstilling av alle profilene. Krysningspunktene er markert omtrentlig. VEAS- og T-banetunnelen har ukorrekt høyde. s.95

**Figur 4.47.** Figuren viser profil A1-A1 og tilhørende tegnforklaring. Nederst i høyere hjørne er det indikert hvor profilet går. s.96

**Figur 4.48.** Figuren viser profil A2-A2 og tilhørende tegnforklaring. Nederst i høyere hjørne er det indikert hvor profilet går s.97

**Figur 4.49.** Figuren viser profil A3-A3 og tilhørende tegnforklaring. Nederst i høyere hjørne er det indikert hvor profilet går. s.98

**Figur 4.50.** Figuren viser profil B1-B1 og tilhørende tegnforklaring. Nederst i høyere hjørne er det indikert hvor profilet går. s.99

**Figur 4.51.** Figuren viser profil B2-B2 og tilhørende tegnforklaring. Nederst i høyere hjørne er det indikert hvor profilet går. s.100

**Figur 4.52.** Figuren viser profil B3-B3 og tilhørende tegnforklaring. Nederst i høyere hjørne

er det indikert hvor profilet går. s.101

**Figur 4.53.** Figuren viser profil C1-C1 og tilhørende tegnforklaring. Nederst i høyere hjørne er det indikert hvor profilet går s.102

**Figur 4.54.** Figuren viser profil C2-C2 og tilhørende tegnforklaring. Nederst i høyere hjørne er det indikert hvor profilet går. s.103

**Figur 4.55.** Figuren viser profil C3-C3 og tilhørende tegnforklaring. Nederst i høyere hjørne er det indikert hvor profilet går. s.104

## Tabelliste

**Tabell 3.1.** Tabellen gir en oversikt over alt relevant datamateriale som bruk i oppgaven s. 31

**Tabell 3.2.** Oversikt over relevante egenskapsfelt i Poretrykksdatabasen. s.33

**Tabell 3.3.** Relevant informasjon som i filen ”Majorstua\_prover”. s.38

**Tabell 3.4.** Relevant informasjon i filen ”Majorstua\_borpunkt”. s.38

**Tabell 3.5.** Oversikt over relevant informasjon som hører til boringene i GRANADA s.40

**Tabell 3.6.** Tabellen viser hvilke løsmassene er delt inn i, i de geologiske profilene. SOSI-standard er brukt som utgangspunkt (Statens Kartverk 2011). s.55

**Tabell 4.1.** Tabellen viser en oversikt over de dataene som ble benyttet til å estimere dybde til fjell i studieområdet s.61

**Tabell 4.2.** Tabellen gir en oversikt over ved hvilken dybde til fjell de fleste murgårdbygningene ligger. s.64

**Tabell 4.3.** Tabellen viser beskrivende statistikk for hver poretrykksmåler. s. 67

**Tabell 4.4.** Tabellen viser resultatet fra den hydrostatiske trykkfordelingsanalysen.

Stigningstallet er beregnet mellom sammenligningspunktene. I tilfeller med flere nivåer er stigningstallet oppgitt mellom alle nivåene, samt ett i fra topp til bunn. s.82

**Tabell 4.5.** Tabellen gir en oversikt over de kartlagte profillinjene sin lengde, retning og hvor mange poretrykksmåler og geotekniske boringer som de inkluderer. s.92

# 1. Innledning

---

## 1.1. Bakgrunn

Høsten 2013 ble det gjennomført en prosjektoppgave med tittel: ”Tilrettelegging av informasjon om undergrunnen for effektiv planlegging, utvikling og bygging i urbane strøk – eksempel fra Undergrunnsprosjektet i Oslo” (Andresen 2013). Hovedkonklusjonen i denne oppgaven var følgende:

”Det bør utvikles et produkt som kombinerer informasjon om dybde til fjell, grunnvannsnivå og setninger. Dette må gjøres i et område hvor det avstands- og tidsmessig er tett og jevn dekning av data. Majorstua har vist seg å være det beste området i Oslo for det formålet”.

Bakgrunnen for prosjektoppgaven og den videreutviklede masteroppgaven er at det i senere tid er satt fokus på grunnvannets rolle i det urbane samfunnet. Urbane områder opplever en stor grad av inngrep i grunnen som fører til endring av grunnvannets naturlige tilstand. Det kan føre til blant annet skade på bebyggelse ved at grunnvannet synker. Bebyggelsen i Oslo er i faresonen for grunnvannsenkning fordi bebyggelsen i stor grad er bygd på leire, som er sensitiv for grunnvannssenkninger.

I Oslo kommune ble det i 2013 startet opp et 4-årig undergrunnsprosjekt med visjon om en trygg byutvikling der man har effektive virkemidler for sikker forvaltning av undergrunnen. Dette innebærer et ønske om økt kunnskap om undergrunnen i Oslo. Det fokuseres bl.a. på å få en samlet oversikt over hva som finnes i undergrunnen, og hvordan Oslo kommune skal planlegge for fremtidig (økt) bruk av undergrunnen på en helhetlig måte som ivaretar både den enkelte borgers og fellesskapets interesser. Undergrunnsprosjektet gjennomføres i regi av Plan- og bygningsetaten og har i tillegg prosjektdeltagelse fra Byantikvaren, Bymiljøetaten, Eiendoms- og byfornyelsesetaten og Vann- og avløpsetaten (Plan- og bygningsetaten 2013).

Denne masteroppgaven er gjennomført på bakgrunn av konklusjonene i prosjektoppgaven i 2013 og Undergrunnsprosjektets visjon om økt kunnskap om undergrunnen i Oslo.

## **1.2. Oppgavens formål og oppbygning**

Denne oppgave har som hensikt å utvikle kartprodukter som viser setningsutfordringer på Majorstua i Oslo. Disse produktene skal vise geologien og grunnvannsforholdene i området, og bebyggelse som er i faresonen for setnings-skader. Produktene skal være intuitive og brukervennlige, og bygge på eksisterende data. I tillegg skal metodikken for utarbeidelse av produktene beskrives grundig. I vedlegg 1 er oppgaveteksten og detaljer fra Masterkontrakten vedlagt.

Denne oppgaven er valgt gjennomført og oppbygd i 7 deler:

Del 1 og del 2 gir en introduksjon til oppgavens bakgrunn, og en gjennomgang av problemer knyttet til grunnvann og setninger, en introduksjon til studieområdet på Majorstua og en gjennomgang av annet relevant arbeid. Dette er gjennomført for å etablere en oversikt over hvilke kjennetegn produktene bør vise, samt for å kartlegge spesifikke utfordringer for Majorstua.

I del 3 gis en detaljert beskrivelse av det eksisterende datagrunnlag som benyttes (gjort disponibelt av hovedsakelig Oslo kommune og NGU). Her gjennomgås også fremgangsmåten som er benyttet til å utvikle kartprodukter. Dataprogrammet ArcGIS er benyttet til å lage kart, og nøyaktige fremgangsmåter og datamodeller for analyser og kartlegging i ArcGIS er lagt ved som vedlegg.

Del 4 presenterer de utviklede produktene. Resultatene innebefatter ett dybde til fjell-kart, grafisk, statistisk og estimert fremstilling av poretrykksmålinger og 9 kvartærgeologiske profiler.

I del 5 diskuteres produktenes evne til å vise setningsutsatte områder og bebyggelse som er i fare for setnings-skader. Her evalueres bebyggelsens grad av setningsfare. Del 6 og 7 består av konklusjon og anbefalinger for videre arbeid.

## **1.3. Informasjonsinnhenting**

Informasjonsinnhenting til denne oppgaven har vært konsentrert rundt informasjon om grunnvann og setninger i urbane områder. Det har også vært fokus på å undersøke setningshistorikk på Majorstua. Mye informasjon om undergrunnen i Oslo er blitt kjent gjennom møter og samtaler med deltagere i Undergrunnsprosjektet.

## 2. Teori

---

### 2.1. Hydrogeologiske betraktninger

Hydrogeologi omfatter underjordisk vann og geologien som omslutter det. Vann i undergrunnen er en fundamental del i jordens oppbygning. I urbane områder, som Oslo, der det hyppig forekommer utbygginger og konstruksjoner i jorden, er det viktig å forstå og overvåke de hydrogeologiske forholdene.

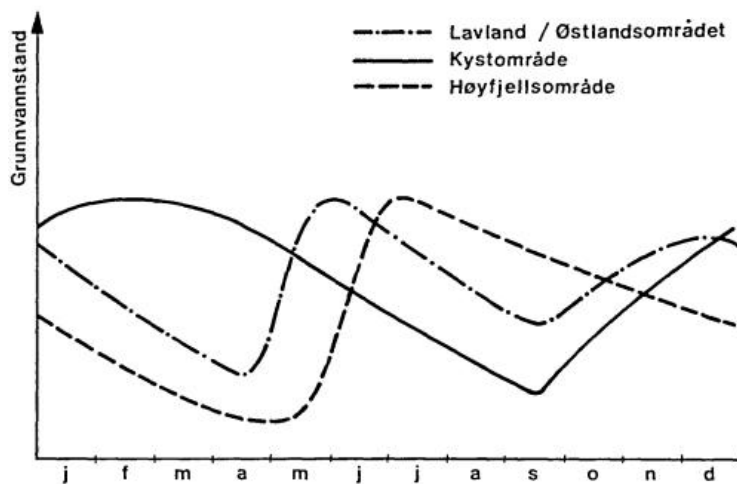
#### 2.1.1. Grunnvann

Grunnvann opptrer som fritt bevegelig vann som fyller alle porer. Undergrunnen har to hovedsoner, den umettede sone og den mettede sonen. Grunnvann finnes i den mettede sonen. Det kan forekomme vann også i umettet sone, men her er ikke porene helt fylt. Skillet mellom umettet og mettet sone i et punkt kalles grunnvannsnivået. Grunnvannsnivået i ulike punkt danner en flate som kalles grunnvannsspeilet. I enkelte tilfeller kan tette leirelag, i ellers lett gjennomstrømmelige avsetninger, danne en tett sone, slik at overflatevann som infiltreres i bakken, kun vil bli liggende på toppen av det tette laget. Da dannes en mettet sone over det egentlige grunnvannsspeilet. Dette kalles hengende grunnvann (Brattli 2009).

Grunnvannsspeilets høydenivå vil variere avhengig av områders topografi. Det er vanlig at grunnvannet i stor grad følger topografien. I Norge er som regel grunnvannsspeilet kun få meter under overflaten på grunn av det fuktige klimaet. I naturlige omgivelser er klima hovedårsaken til variasjon i grunnvannsspeilet. I urbane områder vil også menneskeskapte årsaker påvirke. Regn og smeltevann vil påvirke grunnvannsnivået, men med en viss forsinkelse. Lengden på forsinkelsen vil være avhengig av løsmassemektingen og evnen til å transportere vann vertikalt i den umettede sonen. Finkornige sedimenter forsinkes påvirkning fra nedbør mer enn grovkornige sedimenter (Brattli 2009). Leire har lavere gjennomstrømmingsegenskapen enn grus, sand og silt. Typisk vil leire frakte vann mellom 0,0003-0,3 m/år. Sand vil kunne frakte vann opp til flere kilometer per år (Karlsen 2006).

Det er tre hovedfluktasjoner i grunnvannsstanden som resultat av klimavariasjoner (Brattli 2009):

- **Årstidsfluktasjoner** skjer som resultat av de naturlige variasjoner i temperatur og nedbør i løpet av året. Figur 2.1. viser hvordan årstidsfluktasjonene er i de ulike områdene i Norge. Oslo som ligger i lavlandet, vil ha to topper der grunnvannsnivået er på sitt høyeste. Dette er på sen-vår og på sen-høst og skyldes henholdsvis snøsmelting på våren og mye nedbør på høsten. Siden temperaturen er relativt mild i Oslo, fryser ikke jorden så tidlig på høsten at den ikke slipper gjennom noe vann.
- **Flerårsfluktasjoner** skyldes flere nedbørsfattige eller nedbørsrike år etter hverandre. Da vil variasjon i grunnvannsspeilet endres over flere år.
- **Korttidsfluktasjoner** kan skyldes flere ting. For eksempel varierende lufttrykk i nedsatte brønner.



Figur 2.1. Grafen illustrerer hvordan grunnvannsnivået varierer med årstiden i ulike områder i Norge (Kirkhusmo og Sønsterud 1988). Oslo som ligger i lavlandet, har to toppe, en på sen-våren og en på sen-høsten

### 2.1.2. Poretrykk og hydrostatisk trykkfordeling

Poretrykket,  $u$ , definerer vanntrykket på et lokalt punkt i bakken. Poretrykket oppgis som kraft pr. flateenhet, eller som trykkpotensialet,  $h_t$ , i det lokale punktet i bakken uttrykt i meter (Karlsrud et al. 2003). Trykkpotensialet vil videre bli referert til som poretrykkshøyden. Formel 1.1 viser hvordan man kan regne mellom poretrykkshøyden og poretrykket

$$h_t = h + \frac{u}{\gamma_w} \quad (\text{formel 2.1})$$



h tilsvarer høydenivået til spissen av røret og  $\gamma_w$  er vannets tyngdetetthet (Karlsruud et al. 2003). Ved en hydrostatisk trykkfordeling vil det punktet som tilsvarer et poretrykk på 0 tilsvare det lokale grunnvannsnivået (Norsk Geoteknisk Forening 1989). Ved hydrostatisk trykkfordeling øker trykket lineært med dybden, og er gitt ved:

$$p = \gamma_w d = \rho_w g d \quad (\text{formel 2.2})$$

der  $\rho_w$  er vannets tetthet,  $g$  er tyngdens akselerasjon og disse to danner vannets tyngdetetthet,  $\gamma_w$  (Norsk Geoteknisk Forening 1989).

Hydrostatisk trykkfordeling eksisterer ikke alltid i hydrogeologiske forhold. Dersom det ikke er hydrostatisk trykkfordeling betyr det at det strømmer vann gjennom ett eller flere løsmasselag i dybden. Det er mest sannsynlig å finne hydrostatisk fordeling i lett gjennomtrengelige løsmasser, som sand- og grusavsetninger uten tette leirelag. I slike avsetninger kan man undersøke om trykkfordelingen er hydrostatisk ved å sette ned standrør i samme sted til ulike dybder. Et standrør er et vertikalt rør som i nedre ende er gjennomhullet og som regel utstyrt med filter, og som i øvre ende er åpen mot fri luft. Dersom vannstanden stiller seg i ulik høyde i de ulike standrørene, er trykkfordelingen ikke gjennomgående hydrostatisk (Norsk Geoteknisk Forening 1989).

Vannstanden som måles i et åpent hull som er boret mange titallsmeter ned i løsmasser eller berg, kan det måle et vannstands nivå som avviker betydelig fra det som representerer det virkelige grunnvannsspeilet (Karlsruud et al. 2003). Den representerer da ikke grunnvannsstanden, men det lokale poretrykk i grunnen (Karlsruud et al. 2003).

Poretrykksmålinger brukes ofte i forbindelse med overvåkning av hydrogeologiske forhold rundt tunnelkonstruksjoner. Dersom poretrykket reduseres inn mot tunnelen, kan det tyde på en lekkasje av grunnvann inn til tunnelen. En poretrykksreduksjon vil føre til mindre porevann i løsmassene og jorden kan sette seg (Lindstrøm og Kveen 2005). En poretrykksreduksjon vil si at poretrykket er lavere enn det det hydrostatisk fordeling vil tilsi, og kalles poreundertrykk. Man kan også ha en situasjon der poretrykket er høyere enn det en hydrostatisk fordeling ville tilsi. Dette kalles poreovertrykk (Norsk Geoteknisk Forening 1989). Langvarig poreovertrykk kan føre til svekket stabilitet og fasthet i øvre lag av jordprofilen (Janbu 1970).

### 2.1.3. Hydrogeologi i urbane strøk og setningsproblematikk

I urbane områder påvirkes jordens naturlige prosesser og balanse av menneskeskapte inngrep. Dette forstyrrer grunnvannets naturlige tilstand, og kan føre til setninger. Setninger vil si at grunnen synker (Karlsen 2006). Det kan forekomme når grunnvannsnivået av ulike grunner senkes. Årsakene til dette kan blant annet være:

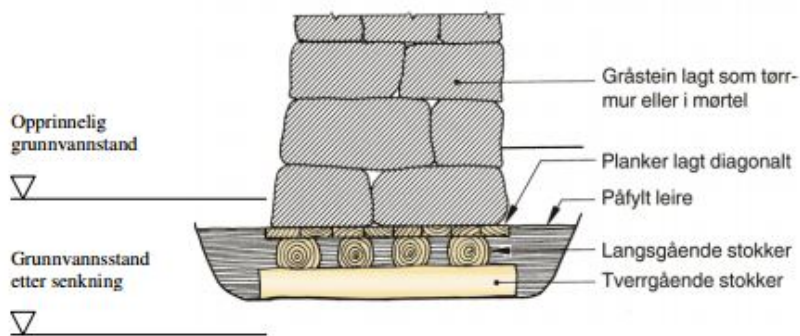
- Landeheving som naturlig reduserer grunnvannets nivå i forhold til overflaten (Hauge og Bjørberg 2010).
- Alle menneskeskapte inngrep i grunnen kan påvirke grunnvannet. Det innebærer blant annet bevisst drenering ved gravearbeid, men også ubevisst eller uønsket drenering i etterkant av installasjon av anlegg i grunnen (Hauge og Bjørberg 2010). Tuneller i fjell kan gi ringvirkninger i kilometers avstand (Karlsen 2006). I tillegg skaper asfaltering ugjennomtrengelige flater som forhindrer naturlig påfyll av overflatevann (Hauge og Bjørberg 2010).

Setninger kan føre til skader på bebyggelse som ikke er fundamentert på fjell. Bygninger som er fundamentert på fjell kan også oppleve problemer ved at påbygg som trapp eller tilhørende infrastruktur som kabler er lagt i løsmasser og synker mens huset står fast. Dersom en bygning utsettes for setninger og synker litt, men like mye langs hele bygget, oppstår det sjelden skader. Men dersom setningene er ujevne kan det oppstå alvorlige skader på bygningene. Dette kalles skjevsetninger og kan forekomme der det er ulik dybde til fjell (Karlsen 2006). Setningsskader på bygg kan innebære at bjelker eller trappeløp trekkes ut av sine opplegg (Hauge og Bjørberg 2010).

I Oslo er særlig murgårdsbebyggelse fra 1800-tallet og begynnelsen av 1900-tallet utsatt for setninger. Grunnen til dette er at disse bygningene er fundamentert på treflåter. Prinsippskisse for fundamenteringsmetoden kan sees i figur 2.2. Da bygningene ble bygd, ble treflåtene lagt minimum 40 cm under grunnvannsstanden og pakket inn i leire for å unngå oksygen. Men dersom grunnvannsstanden synker, blir treflåtene utsatt for oksygen, og råtner slik at byggene mister sin stabilitet. I noen tilfeller er murgårdsbebyggelsen fundamentert delvis på fjell og delvis på treflåter (Hauge og Bjørberg 2010). I de tilfeller er bygningene ekstra utsatt for skader ved setninger fordi bare deler av bygget vil synke.

Bløte marine leireavsetninger har særlig potensial for setninger (Karlsrud et. al 2003). Store deler av Oslos bebyggelse er i områder med mye leire. Fra dype leireavsetninger i Oslo har det pågått drenasje av grunnvann inn til tuneller (Magnussen og Kveldsvik 2003).

Erfaringstall fra disse dype områdene viser at et poretrykksfall på 1-3 meter normalt vil gi små setninger på maksimalt noen få centimeter, og det er liten fare for betydelig skade (Karlsruud et al. 2003). En poretrykksreduksjon i dype lag vil kunne pågå i lang tid før bygningene på toppen skades (Hauge og Bjørberg 2010).



Figur 2.2. Figuren er en prinsippskisse som viser hvordan fundamentering på treflåter ble gjort på 1800-tallet og tidlig 1900-tallet (Hauge og Bjørberg 2010).

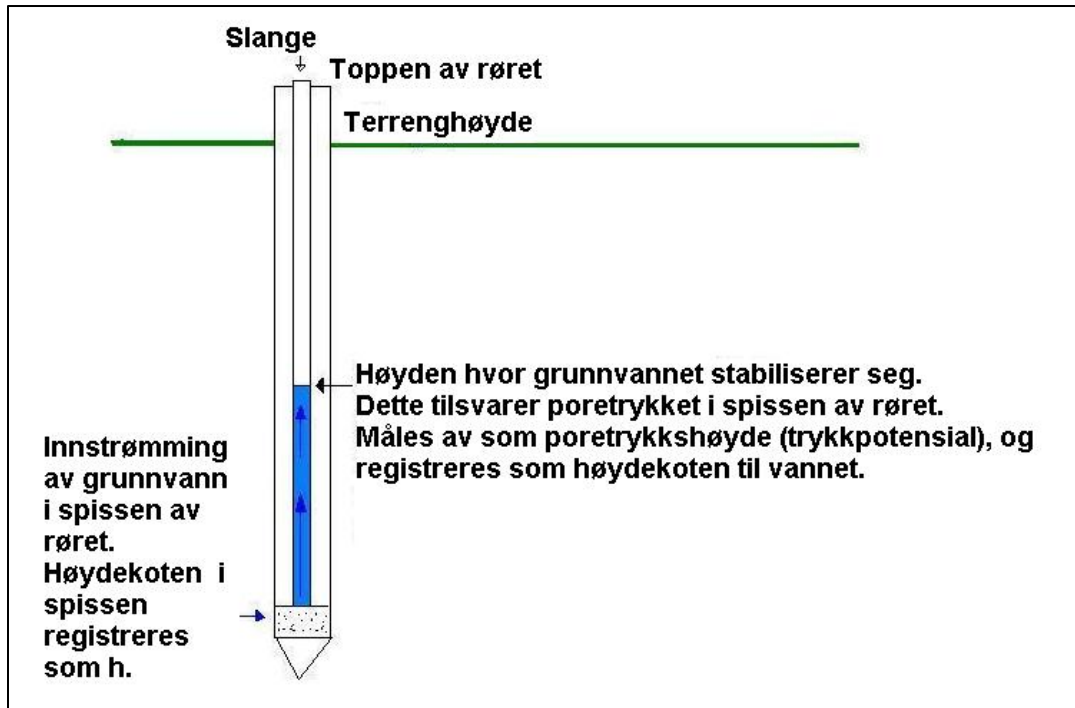
#### 2.1.4. Metoder for overvåkning og måling av poretrykk og grunnvann

For å kontrollere de hydrogeologiske forholdene, og unngå setninger, er det nødvendig med overvåkning av forholdene. Ved overvåkning av grunnvannet har USGS (U.S. Geological Survey) rapportert om 4 forhold som må optimaliseres (Taylor og Alley 2001):

1. **Valg av observasjonsbrønner:** Alle brønner skal ideelt sett representere de variasjoner som finnes av topografi, geologi, klima og arealanvendelse.
2. **Bestemmelse av målehyppighet:** Ideelt sett bør målinger samles inn over minimum et tiår for å finne en trend som ser bort fra naturlige variasjoner.
3. **Gjennomføring av målinger:** Det er viktig å etablere et permanent og nøyaktig høydereferansepunkt og å notere nøyaktig høydeinformasjon fra brønnene. Innmålinger bør skje systematisk og med jevne mellomrom, og brønnstrukturen bør inspiseres jevnlig. Skader på brønnen kan påvirke nøyaktigheten på innmålinger.
4. **Datarapportering:** USGS anbefaler at man bruker dataene til å lage grafer over endring i vannivå over tid. Fra disse kan det være mulig å se trender. Dersom målingene er gjennomført ofte og jevnlig kan grafen brukes til å tolke hva eventuelle variasjoner skyldes. Dataene bør gjøres tilgjengelig via elektroniske databaser.

Det er flere forskjellige metoder som kan benytte for å få informasjon om grunnvannsstanden. Standrør, som forklares i avsnitt 2.1.2., er en metode som kan brukes i områder der man vet at det ikke er noen tette lag av leire (Norsk Geoteknisk Forening 1989).

I områder med leire som det ofte er i Oslo, velges gjerne hydrauliske poretrykksmålere. Poretrykksmålere kalles også piezometer (Norsk Geoteknisk Forening 1989). En skisse av en hydraulisk poretrykksmåler kan sees i figur 2.3. og forklaringen videre vil baseres på Brendbekken (2011). Poretrykksmålerne består av et tett rør som er ført ned til det nivået der poretrykket skal måles. Dette høydenivået må registreres. I spissen av poretrykksmåleren er det et filter som har kontakt til løsmassene. Inne i røret er det montert en plastslange ned til spissen hvor vannet føres opp. Når man leser av poretrykksmålingene, føres et lengdemål med to atskilte strømledere ned i målerøret. Strømlederne er tilknyttet et batteri og gir et lyd/lyssignal når ledningene kommer i kontakt med vann. Den høyden som vannet står i registreres som vannets høydekote, og vil tilsvare grunnvannsnivået dersom området er hydrostatisk fordelt. For å undersøke om poretrykksfordelingen er hydrostatisk, bør det installeres poretrykksmålere i flere nivåer.

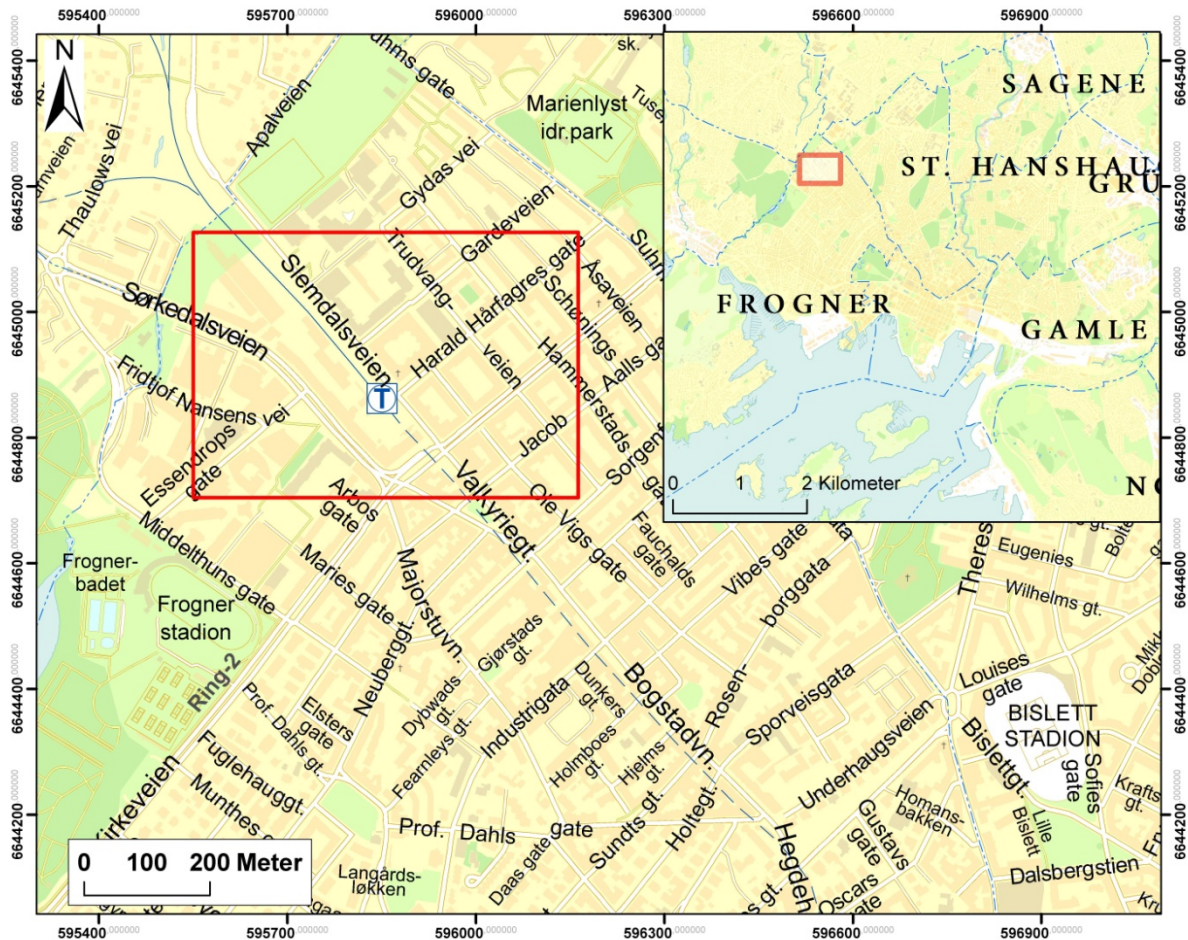


Figur 2.3. Skisse over hvordan en hydraulisk poretrykksbrønn ser ut. Figuren er tegnet og forklart etter Norsk Geoteknisk Forening (1989). Måleinstrumentet blir ført ned i slangen og måler av høyden på vannsøylen som tilsvarer poretrykket i spissen av røret.

## 2.2. Beskrivelse av studieområdet på Majorstua

Et studieområde på Majorstua på ca. 0,26 km<sup>2</sup> er valgt ut. Området er illustrert med rød ramme i figur 2.4. og har en lengde på 610 meter og en bredde på 420 meter. Området har mange poretrykksmåliger sammenlignet med øvrige deler av Oslo, noe som også er bakgrunnen for valg av område. Årsaken til dette er at det i området har vært utfordringer knyttet til et kryssende avløpsrør som drenerte grunnvannet.

Majorstua, som ligger i de vestlige deler av Oslo, inngår i de nordlige områder av bydelen Frogner. Frogner er en bydel som preges av tett bebyggelse, og er den bydelen i Oslo med lavest prosentandel av grøntområder. Per 1. januar 2012 var Frogner den bydelen i Oslo med flest innbyggere (Utviklings- og kompetanseetaten 2012). Majorstua T-banestasjon ligger 47,7 m.o.h., og området preges av relativt flatt terreng.



Figur 2.4. Kartutsnittet viser studieområdets plassering i bydelen Frogner i Oslo og avgrensningen på Majorstua.

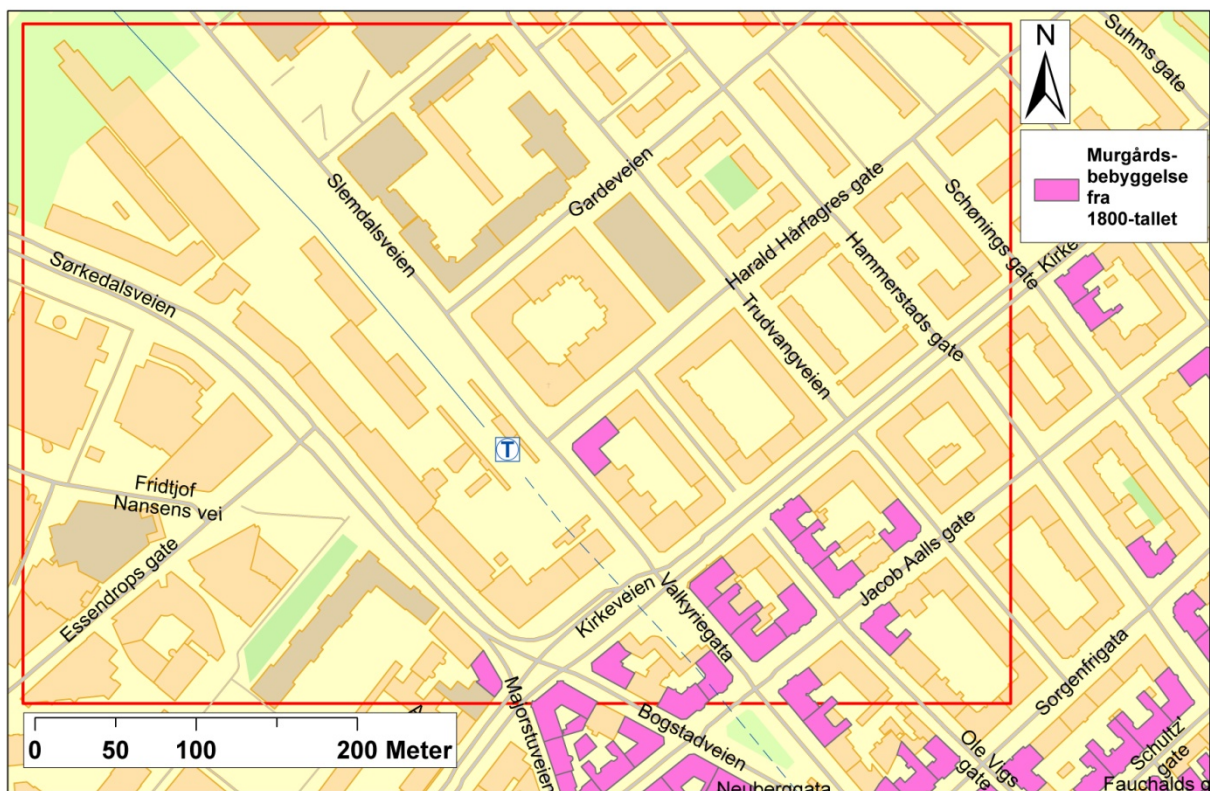
### 2.2.1. Bebyggelse

Den første store byggeperioden på Majorstuen kom i 1890-årene i forbindelse med utbygging av trikkelinjer fra Jernbanetorget langs Bogstadveien til Majorstua (Tvedt 2010). I 1898 stod også Majorstuen stasjon klar i forbindelse med Holmenkollbanen mellom Besserud og Majorstua. Byantikvaren i Oslo har en oversikt over murgårdsbebyggelse som ble oppført i Oslo fra 1800- til 1900-tallet. Oversikten kan mangle enkelte bygninger (Barmen 2014). Den registrerte murgårdsbebyggelsen i studieområdet er stort sett bygd i 1898 og 1899, og inneholder 17 bygg. Murgårdsbebyggelsen er markert inn i figur 2.5., og er hovedsakelig i de sørøstlige deler av studieområdet. Det vil si rundt Bogstadveien, Valkyriegata og Jacob Aalls gate.

Helt øverst i Bogstadveien, hvor veien endrer navn til Sørkedalsveien, ligger Majorstuen skole som i sin første versjon ble oppført i 1908. Langs Kirkeveien ble det tett bebyggelse



rundt 1914. Fra 1920-tallet til 1939 pågikk også stor byggeaktivitet hvor blant annet den gamle T-banestasjon ble oppført på nytt. De fleste bygningene på oversiden av Sørkedalsveien, samt bebyggelsen innenfor Kirkeveien og Slemdalsveien, er fra denne tiden. Det sørvestlige hjørnet av studieområdet, dvs. området rundt Fridtjof Nansen vei, Essendrops gate og sørvest for Sørkedalsveien, preges av ny bebyggelse. Her finnes store moderne blokker og kontorbygg, de fleste fra 1980,-90 og 2000-tallet. Unntaket er Colosseum kino kino, som ble åpnet i 1928. Colosseum kino har fått tilbygg og oppgraderinger i nyere tid, sist i 1987 (Tvedt 2010). Øverst i Sørkedalsveien er det nye boligkompleks som er oppført mellom 2005 og 2009. I figur 2.6. sees området som et flybilde fra 2012. Bildet viser den typiske bygårdsbebyggelsen i nordøst og de mer moderne forretningslokaler i sørvest.



Figur 2.5. Kartutsnittet viser murgårdsbebyggelsen i studieområdet. Det er kun i de sørøstlige områdene at det er registrert murgårdsbebyggelse fra 1800-tallet.



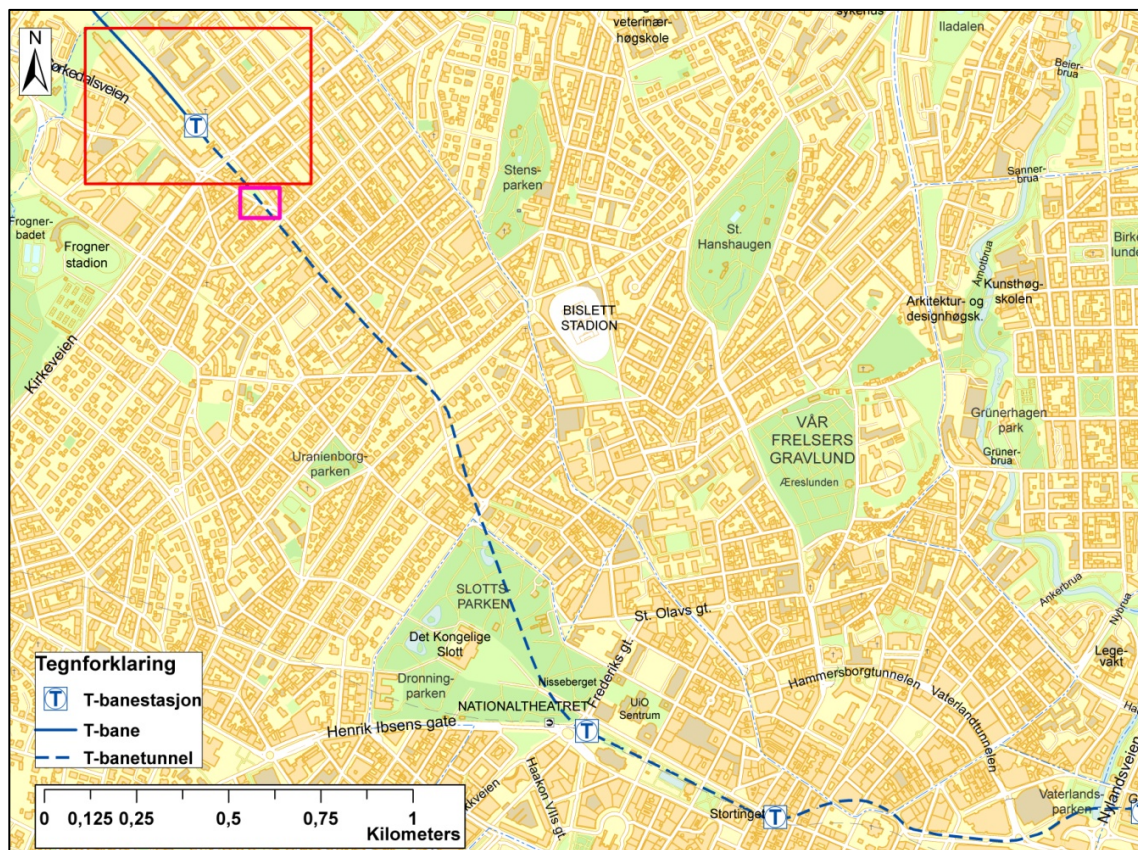
*Figur 2.6. Flyfoto over Majorstua. I det nordøstlige området er det typisk bygårdsbebyggelse fra 1920-30-tallet, mens i den sørvestlige delen er det nyere bebyggelse. Unntaket er Colosseum kino som man ser kuppelen på ved Fridtjof Nansens vei. T-baneområdet er av stor utstrekning i nordvest. Flyfotoet er gjengitt med tillatelse fra plan- og bygningsetaten, Oslo kommune.*

### **2.2.2. Infrastruktur**

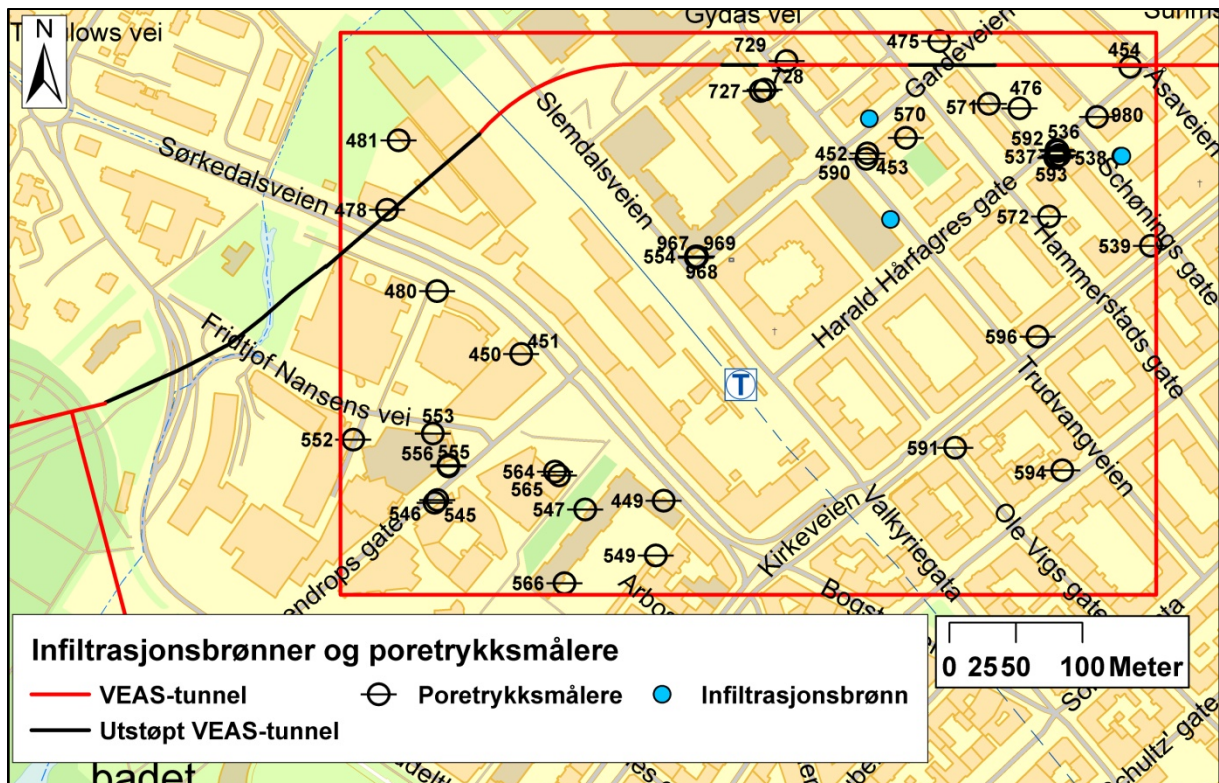
Majorstua er ett av de store knutepunkt for kollektivtrafikk i Oslo. Linjekart over kollektivtrafikken i Oslo viser at seks t-banelinjer, samt tre trikker og fem busser har stoppested på Majorstua (Ruter 2014a; 2014b; 2014c). Ringvei 2 krysser Majorstua, og er i den sørøstlige delen av studieområdet med lokalt navn Kirkeveien. Det går ingen biltunnel eller tog tunnel under Majorstua, men T-banen går inn i tunnel rett sørøst for Majorstua stasjon som ligger omtrent midt i studieområdet. I nordvestlig retning fra Majorstua stasjon går T-banen i dagen. Den sørøstlige delen som går i tunnel, fortsetter i retning Nationaltheatret. Litt mer enn 300 meter sørøst fra Majorstua stasjonen, rett utenfor studieområdet, ligger en nedlagt undergrunnsstasjon, Valkyrie Plass. Under utbyggingen av T-banetunellen i 1912 kollapset et område på 800 m<sup>3</sup> og raste ned i tunnelen. Det ble et 12 meter lang hull ned i grunnen ved Valkyrie Plass i Bogstadveien (Gjerland 2013). Området hvor kollapsen skjedde, er indikert med rosa ramme i figur 2.7. Her ble det derfor valgt å opprette en underjordisk T-banestasjon



Under de nordlige deler av studieområdet går en VEAS-tunnel. VEAS står for Vestfjorden Avløpsselskap og eies av de tre kommunene Oslo, Asker og Bærum. Tunnelen er tegnet inn i figur 2.8. Tunnelen går gjennom Oslo og ut til Slemmestad, og behandler ca. 60 % av Oslos avløpsvann (Skanska 2013). Tunneldelen på Majorstua er fullprofilboret og 3 meter i diameter, og ble satt i drift på slutten av 1970-tallet (Skanska 2013; Skanska 2012). Tunnelen har vært problematisk på Majorstua fordi den ikke har vært tett, noe som har ført til innlekkasje og setninger i grunnen (Skanska 2012). Dette utgreies mer i avsnitt 2.4. Oslo kommune besluttet i 2010 å gjennomføre en permanent tetting av tunnelen (Breisnes 2012). Skanska fikk oppdraget med å gjennomføre tettingen. De foret tunnelen med rør og støpte ut med betong imellom tunnelen og røret. 3 strekninger på henholdsvis 332 meter, 40 meter og 45 meter ble tettet (Skanska 2012). Disse er markert med svart i figur 2.9. Arbeidet tok i overkant av et år, og var ferdig 1.april 2012 (Skanska 2012).



Figur 2.7. Kartet viser T-banestrekningen fra Majorstua til Nationaltheatret. Den røde rammen viser studieområdet på Majorstua, mens den rosa rammen viser området der Valkyrie stasjon ble til på grunn av kollaps av grunnen (Gjerland 2013).



Figur 2.8. Kartet viser VEAS-tunnelen sin trasé og hvilke deler som er utstøpt (markert med svart linje). Konturene til VEAS-tunnelen er tegnet inn etter Brendbekken (2011) sin rapport utført for Vann- og avløpsetaten i Oslo Kommune.

### 2.2.3. Berggrunnsgeologi

Berggrunnen i Oslo er preget av en ujevn overflate med rygger og forsenkninger.

Forsenkningene kalles dyprenner. I følge Bjørlykke (1914) skal dyprennene være hyppigst i de vestre bydeler. Dyprennene er ikke synlige i dagen da de som regel er fylt med løsmasser.

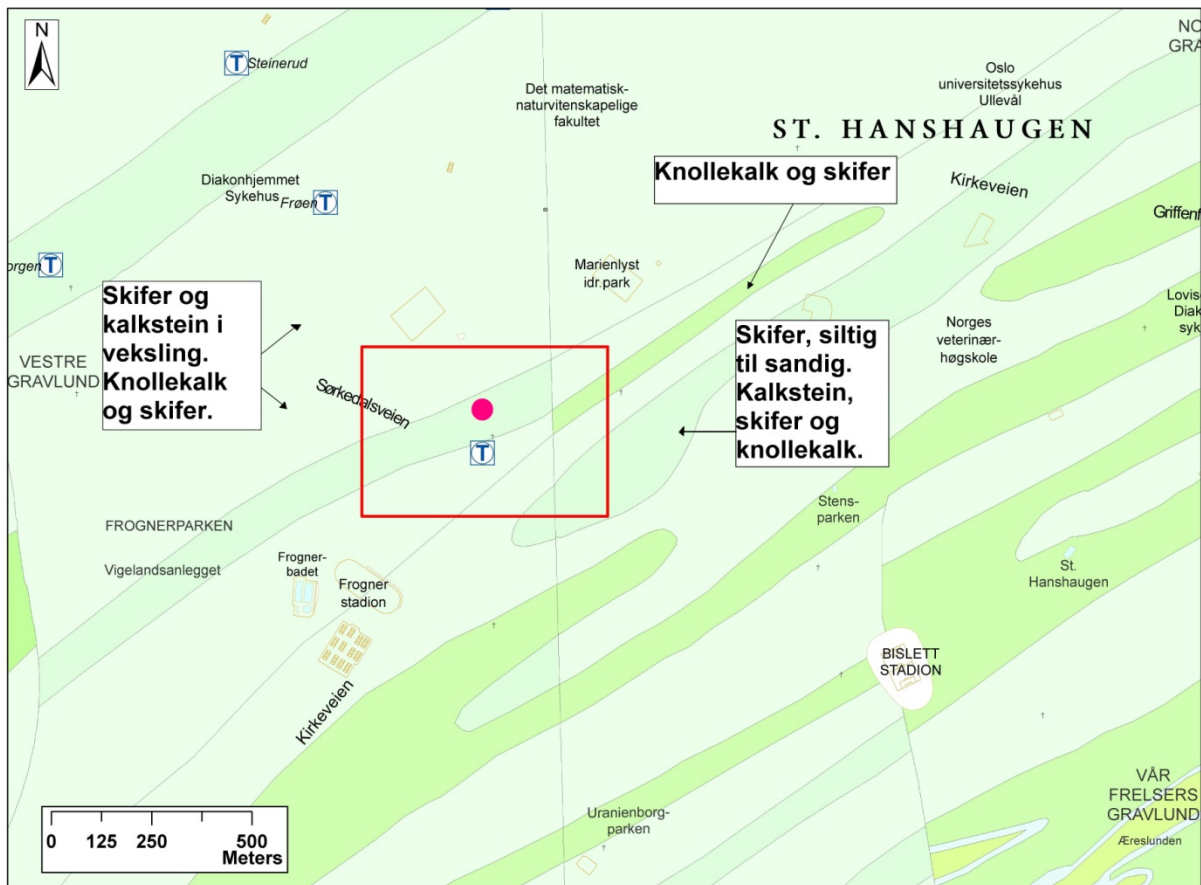
NGU har kartlagt bergartssammensetningen i Oslo, i blant annet målestokk 1:50 000 (NGU 2013a). Kartleggingen i området rundt Majorstua kan sees i figur 2.9., og kan sees digitalt via NGU sin [berggrunnsdatabase](#) (NGU 2014b). Berggrunnsdatabasen er hovedsakelig digitalisert fra analoge kartblad (NGU 2013a), noe som gjør at grenser i blant avviker ved kartbladsgrenser. Berggrunnen rundt Majorstua preges av vekselvis skifer, kalkstein og knollekalk. De forskjellige sonene av lyst grønt i figur 2.10. representerer forskjellige sammensetning mellom disse tre bergartsformene. Knollekalk er en type kalkstein som inneholder kalklinser eller knoller som opptrer som runde til avlange inneslutninger i skifer. Knollene opptrer i ulik form og hyppighet. Det kan være isolerte knoller langs laget, eller i en slik hyppighet at de representerer sammenhengende kalksteinslag (Ramberg et al. 2007). En



kartbladgrense skjærer gjennom de østre delene av studieområdet noe som gir et skille mellom enkelte av bergartsinndelingene.

NGU har også kartlagt faresoner for alunskifer som er tilgjengelig via NGU sine [karttjenester](#) (NGU 2014a). Tjenesten viser med målestokk 1:250 000 at det er kartlagt fare for alunskifer innenfor deler av Majorstua. Men i berggrunnskartet med målestokk 1:50 000 er det ikke kartlagt alunskifer innenfor studieområdet. Derfor antas ikke studieområdet å inneholde alunskifer. Det er viktig å ha oversikt over mulig alunskifer fordi det kan svulle ved utsettelse for oksygen, og har et uvanlig surt grunnvann (Dons og Bockelie 1996).

I forbindelse med undersøkelser av området ved utbygging av VEAS-tunnelen ble det gjennomført 3 kjerneboringer og en seismisk profil i den delen av Gardeveien som ligger mellom Trudvangveien og Slemdalsveien. Området hvor kjerneboringene ble utført er markert inn med rosa sirkel i figur 2.9. Prøvene ble utført av Oslo Kommune og rapportert inn av Åsmund Eggestad (1973). Rapporten konkluderte med at bergarten her var leirskifer med varierende forekomster av kalk og leire. I tillegg viste 2 av kjerneboringene dårlig berg med mye oppsprekking, mens den tredje var av noe bedre kvalitet. Det ble anslått at det var en svakhetssone der fjelloverdekningen var lavest på ca. 20 meters bredde. Innlekkasje av grunnvann ble anslått til potensielt problem for en eventuell tunnel.



Figur 2.9. Berggrunnskart over området rundt Majorstua (NGU 2014b). Det røde rektangelet viser studieområdet med Majorstua T-banestasjon omtrent i midten. Området preges av skifer, kalkstein og knollekalk. De områder hvor det er registret knollekalk og skifer er markert med klar grønn, mens de lysegrønne områdene representerer siltig til sandig skifer, og kalkstein, skifer og knollekalk. Det lyse, nesten hvite området representerer skifer og kalkstein i vekslng, samt knollekalk og skifer. Den nesten lodderette streken som går gjennom de østre delene av studieområdet indikerer et kartbladskille. Den rosa prikken indikerer området hvor Åsmund Eggestad (1973) og Oslo kommune gjennomførte kjerneboringer.

#### 2.2.4. Løsmassegeologi

NGU har også [kartlagt](#) løsmassene i Oslo, og resultatet sees i figur 2.10. (NGU 2014e).

Kartleggingen viser den øverste og mest dominerende jordarten (NGU 2013b). I Oslo gjelder dette vekselvis hav- og fjordavsetninger, forvitningsmateriale og fyllmasse. Figur 2.11. viser fordelingen av løsmasser innenfor det avgrensede studieområdet. En kartbladkant skjærer området i nordøst, der det er et skille mellom fyllmasse og hav- og fjordavsetninger.

Fyllmasse som dominerer området, består ofte av tilført materiale. I noen tilfeller, spesielt i tettbebygde strøk, er løsmassene så sterkt påvirket av menneskelig aktivitet at det ikke lenger

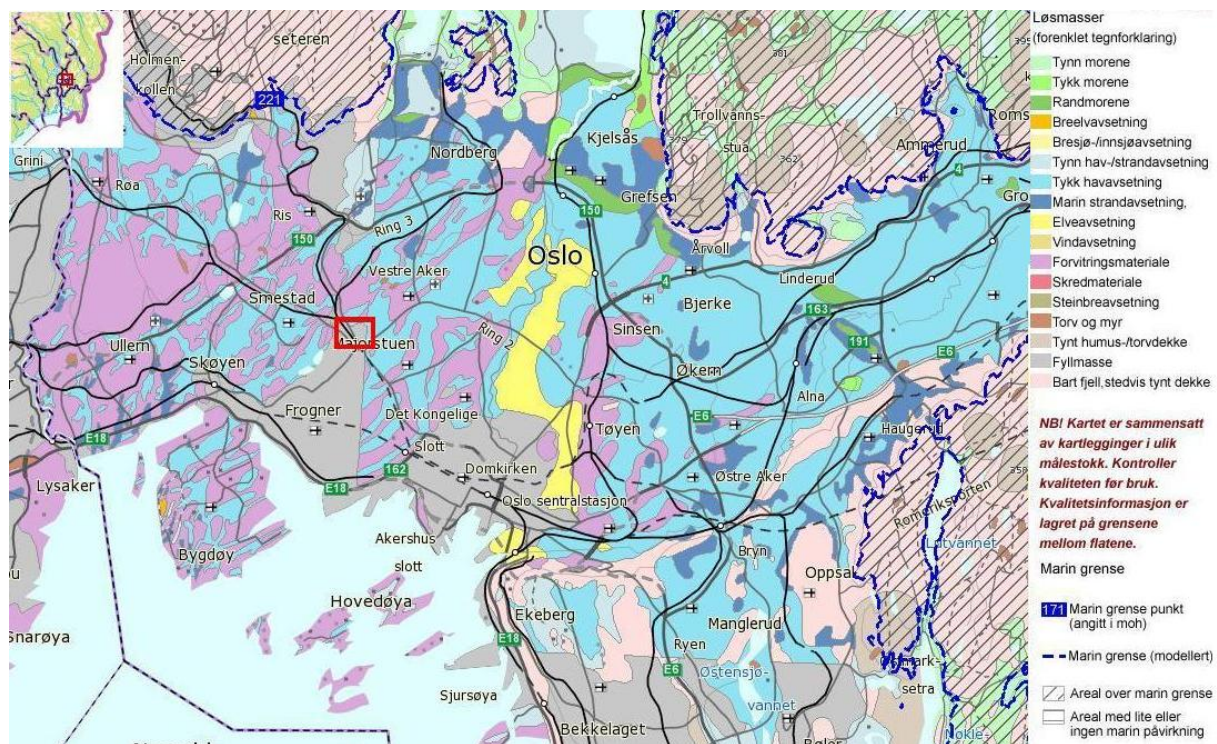
er mulig å avgrense ulike avsetningstyper. I de tilfeller karakteriseres det også som fyllmasse (Reite 1996).

Området viser ingen blotninger av bart fjell, men i det sørøstlige hjørnet er det innslag av forvittringsmateriale. Forvittringsmateriale er skarpkantete fragmenter som er dannet ved mekanisk eller kjemisk nedbryting av berggrunnen. Dette gjør at overgangen mellom bergart og løsmasser ofte er gradvis. Som regel er ikke forvittringsmaterialet tykt, men unntak finnes ved bunnen av skråninger hvor det kan bli opp mot 5 meter (Reite 1996).

Hav- og fjordavsetninger som er kartlagt i østre del, består hovedsakelig av silt og leire. Silt og leire er finstoff som danner tette og kompakte avsetninger. De avsettes på sjøbunnen der de legger seg som et teppe over andre avsetninger. I områder der det er forsenkning i terrenget, kan mektigheten bli svært tykk (Thoresen 2009). Denne avsetningstypen finnes kun under marin grense. Med marin grense menes det øvre nivået som havflaten har stått i (Reite et al 1999). Denne, og de marine avsetningene, er over dagens havnivå fordi smelting av isen etter forrige istid førte til at landet hevet seg (Reite 1996). I figur 2.10. er den antatte marine grense i Oslo, som er kartlagt og [tilgjengelig](#) gjennom NGU (2014e), markert inn. Grensen er rundt 220 m.o.h. Dette er høyere enn Majorstua, som ligger rundt 50 m.o.h.

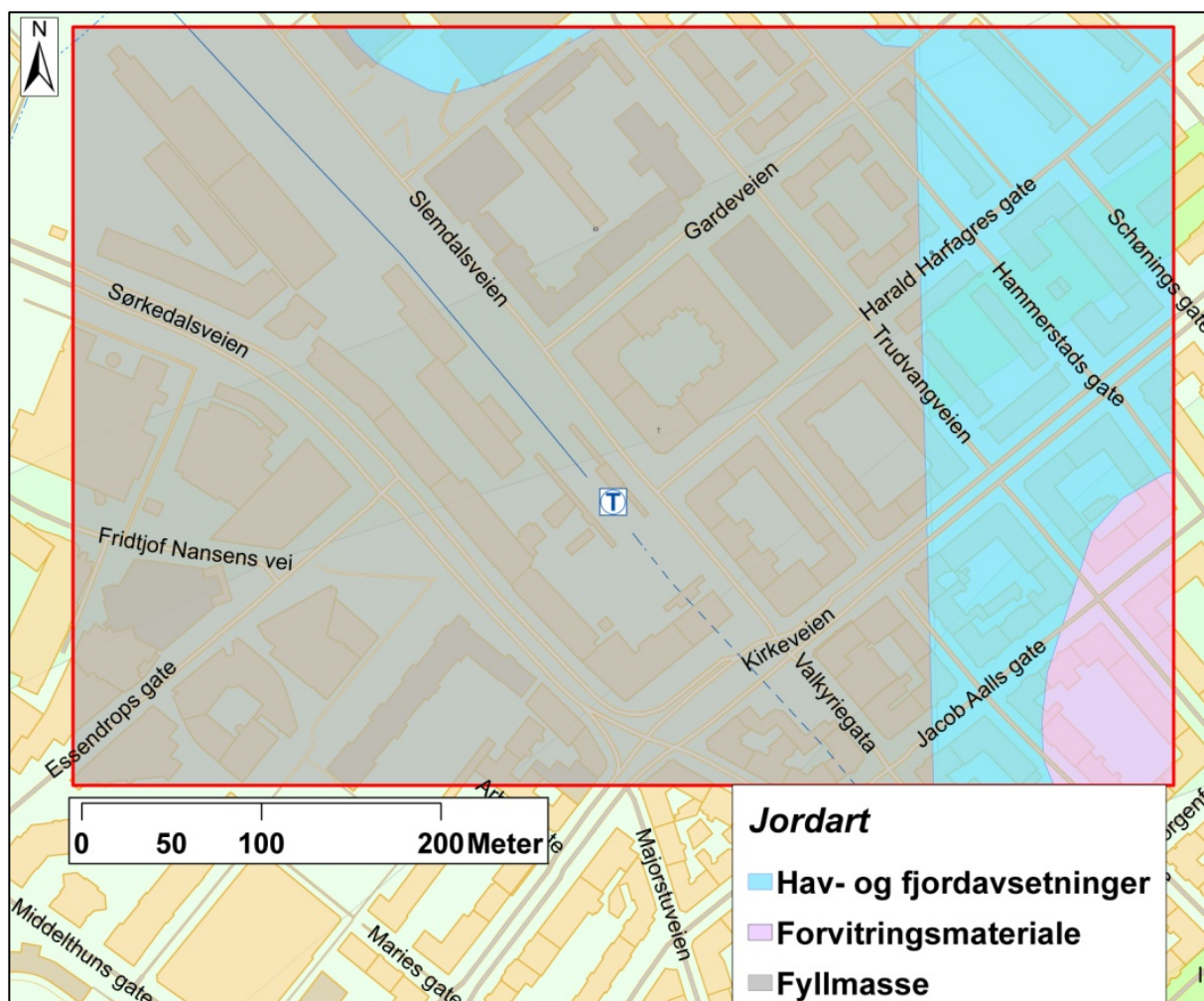
Vann- og avløpsetaten i Oslo disponerer et undergrunnsarkiv som inneholder rapporter med geotekniske boringer utført i Oslo. Dette arkivet er åpent for innsyn og inneholder mye informasjon om fordelingen av løsmasser i dybden. Gjennomgang av rapporter og borelogger fra studieområdet viser at området i stor grad er preget av leire. Boreloggene viser relativt lik fordeling med dybden. En typisk jordprofil består av fyllmasse og tørrskorpeleire de øverste 4-5 meterne. Derunder er det stort sett leire ned til fjell. Beskrivelsen av leira kan variere fra siltig til grov. I blant er det innslag av sandkorn eller sandlag og sandlinsjer. Konsistensen til leira beskrives ofte som bløt med vanninnhold rundt 30-40 %. I noen rapporter er det også indikert kvikkleire, gjerne mer enn 10 meter under overflaten. En lignende beskrivelse av et typisk jordprofil i Oslo finnes også i en artikkel av Bjørlykke i Teknisk Ukeblad (1913).

Tørrskorpeleire er tørr og hard fordi den ikke har fullstendig vannfylte porer. Dette har sammenheng med at øvre del av en jordprofil avgir vann til fordampning. Leira nedenfor tørrskorpen er fullstendig vannmettet og bløt, og skillet gir en indikasjon på grunnvannsstanden. Leire har ofte en evne til å oppta og holde på mye vann. I Oslo har prøver vist at leira kan oppta opp mot 52-54 volumprosent av vann. Generelt øker vanninnholdet og bløthet med dybden (Bjørlykke 1914).



Figur 2.10. NGU (2014e) sin løsmassekartlegging av Oslo viser at områdene rundt Majorstua domineres av fyllmasse, forvittringsmateriale og hav- og fjordavsetninger. Figuren viser også at Majorstua ligger lavere enn marin grense som i de nordlige deler av Oslo ligger 221 m.o.h. Det røde rektangelet viser studieområdets beliggenhet.





Figur 2.11. Figuren viser NGU (2014e) sin kartlegging av løssmassene innenfor studieområdet. Området domineres i høy grad av fyllmasse, men i nord og særlig i øst er det kartlagt hav- og fjordavsetninger. I tillegg er det sørøstlige området kartlagt som forvittringsmateriale.

### 2.2.5. Eksempler på setningshendelser og bruk av infiltrasjonsbrønner på Majorstua

Den store dominansen av leire i studieområdet fører til at det er potensial for setninger ved en senkning av grunnvannsstand. Det har vært hendelser i området hvor setninger er påvist. Det er blant annet rapportert om setningsskader på bygg ved Essendropsgate i forbindelse med bygging av Kredittkassens lokaler i 1991. Det ble blant annet skader på Colosseum kino, som på siden inn mot byggegropen sank 12 cm (Fuglehaug 1991). Men de to hendelser som i særlig grad har berørt området, er utbyggingen av T-banen og VEAS-tunnelen.

På samme tid som utbyggingen av T-banen fra Majorstua til Nationaltheateret startet i 1912, økte sprekkdannelsen på byggene rundt Majorstua blant annet i Valkyriegaten i de sørøstlige områder av studieområdet (Bjørlykke 1913;1914). Bakgrunnen for setningsskadene ble lenge

diskutert, blant annet av Bjørlykke (1914). Han var svært uenig i Oslo kommune sin konklusjon om at uttapping av vann fra dyprennenes leirmasse til undergrunnstunnelen til dels var medvirkende til skadene. Bjørlykke gjennomførte en rekke egne undersøkelser av leira og konkluderte at skadene skyldtes en bløtlegging og senkning av bæreevne i tørrskorpeleiren på grunn av mye nedbør mellom 1907 og 1912. I 1923 ga Einar Corneliussen (1923) ut en gjennomgang av alle til da ulike teoriene knyttet til setningshendelsene. På dette tidspunktet var det ingen enighet om å gi T-banetunnelen skylden. I dag virker den generelle oppfatning i ulike rapporter og avisartikler å være at setningsskadene oppstod som et resultat av drenering fra leira til tunnelen (Alstad 1991; Gjerland 2013; Hay 2011; Heltzen 1997; Magnussen og Kveldsvik 2003).

På 80-tallet ble det rapportert om setningsskader på bebyggelse rundt VEAS-tunnelen på Majorstua (Aftenposten 1983; Monsen 1986). Det var også registrert et sakte synkende poretrykk på 0,2-0,3 meter per år rundt tunnelen (Magnussen og Kveldsvik 2003). I 1991 ble det installert tre infiltrasjonsbrønner for å øke poretrykket (Magnussen og Kveldsvik 2003; Brendbekken 2011). Infiltrasjonsbrønnene fungerer slik at vann infiltreres inn i fjellet hvor det finner sprekkesystemer og sprer seg oppover mot løsmassene (Alstad 1991). Infiltrasjonsbrønnene kan sees i figur 2.11. Brønn 1, 2 og 3 ble installert i 1991, mens brønn 4 og 5 ble installert i 2002. Hver brønn ble etablert med en vinkel fra 35 til 40° i forhold til horisontalplanet. De tre infiltrasjonsbrønnene som ble installert i 1991, ga med en gang et positivt resultat på poretrykket. Men virkningen avtok med tiden, noe som også skyldtes at lekkasjen inn til tunnelen økte (Magnussen og Kveldsvik 2003).

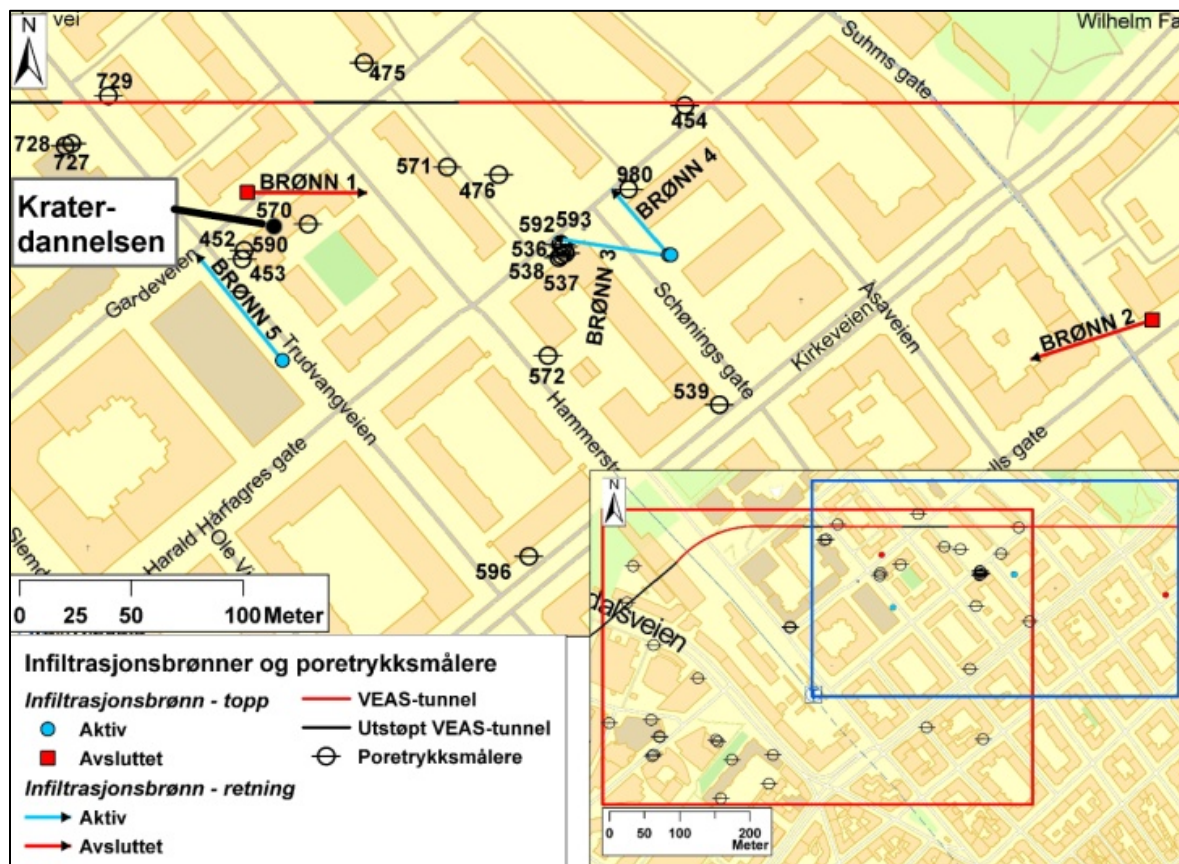
Den 9. oktober i 2002 ble det dannet et krater i en kjeller Trudvangveien 27 som resultat av en kollaps i grunnen. Krateret hadde en flate på ca. 30 m<sup>2</sup> og et volum på 60 m<sup>3</sup> (Magnussen og Kveldsvik 2003). Området hvor krateret oppstod, er markert inn i Figur 2.11. Hendelsene ble vurdert av Magnussen og Kveldsvik (2003), og hovedpunktene fra deres rapport var:

- Krateret antas å være forårsaket av brønn 1 som i minste horisontalavstand kun er 10 meter fra krateret. Undersøkelser i etterkant viste at det var dypere til fjell enn antatt. Det betyr at det sannsynligvis har blitt injisert vann direkte inn i løsmassene eller svært nær løsmassene. Vannet har strømmet i retning av bygården og erodert bort massene under kjellergulvet. Massene har videre blitt transportert vekk gjennom bygårdens drenasjesystem, langs selve brønnen.



- Vanntrykket i brønnen var stabilt frem til omtrent 2000 hvor det avtok noe. Men vanninngangen økte kraftig i 1995, noe som betyr at vannet strømmet lettere ut av brønnen. Det antas at dette var tidspunktet hvor erosjonen startet.
- Tidligere på året var det observert vann i kjelleren. Infiltrasjonsbrønn 1 ble stengt 8 dager før hendelsen på grunn av observert strømmende vann i en inspeksjonsgrøp.
- Utførte setningsmålinger på huset i forkant av kraterdannelsen viste ingen indikasjoner på dramatisk eller unormalt setningsforløp.

I 2003 ble det utført etterinjeksjon i tunnelen som reduserte lekkasjer inn til tunnelen noe (Magnussen og Kveldevik 2003). Da Oslo kommune i 2010 besluttet å tette tunnelen. Det ble blant annet satt som krav at det skulle være fullstendig tett både radialt og langsgående og holde i 100 år (Skanska 2013). Utførelsen er beskrevet i avsnitt 2.2. I følge Skanska (2013) som hadde i oppgave å tette tunnelen, skal tunnelen nå være tett.



Figur 2.12. Kartet viser de aktive (blå) og avsluttede (røde) infiltrasjonsbrønnene på Majorstua. Brønn 2 er utenfor studieområdet, men inkludert i figuren, Bare poretrykksmålere fra studieområdet er illustrert. Det er også indikerte en pil til området i bygården hvor krateret oppstod. Dette er nærme brønn 1. Figuren i høyre hjørne viser med blå ramme hvor området på bildet er i forhold til studieområdet som er vist med rød ramme.

## 2.3. Eksempler fra annet arbeid knyttet til grunnvanns- og setningsutfordringer

### 2.3.1. Grunnvannsovervåkning i Helsingfors

Helsingfors kommune ("Helsingin kaupunki") har en gratis [kartløsning](#) for publikum med mange ulike tema (Helsingin kaupunki 2014a). Et ytsnitt av kartløsningen kan sees i figur 2.13. I tillegg til vanlige berggrunns- og løsmassekart kan følgende relevante tema vises:

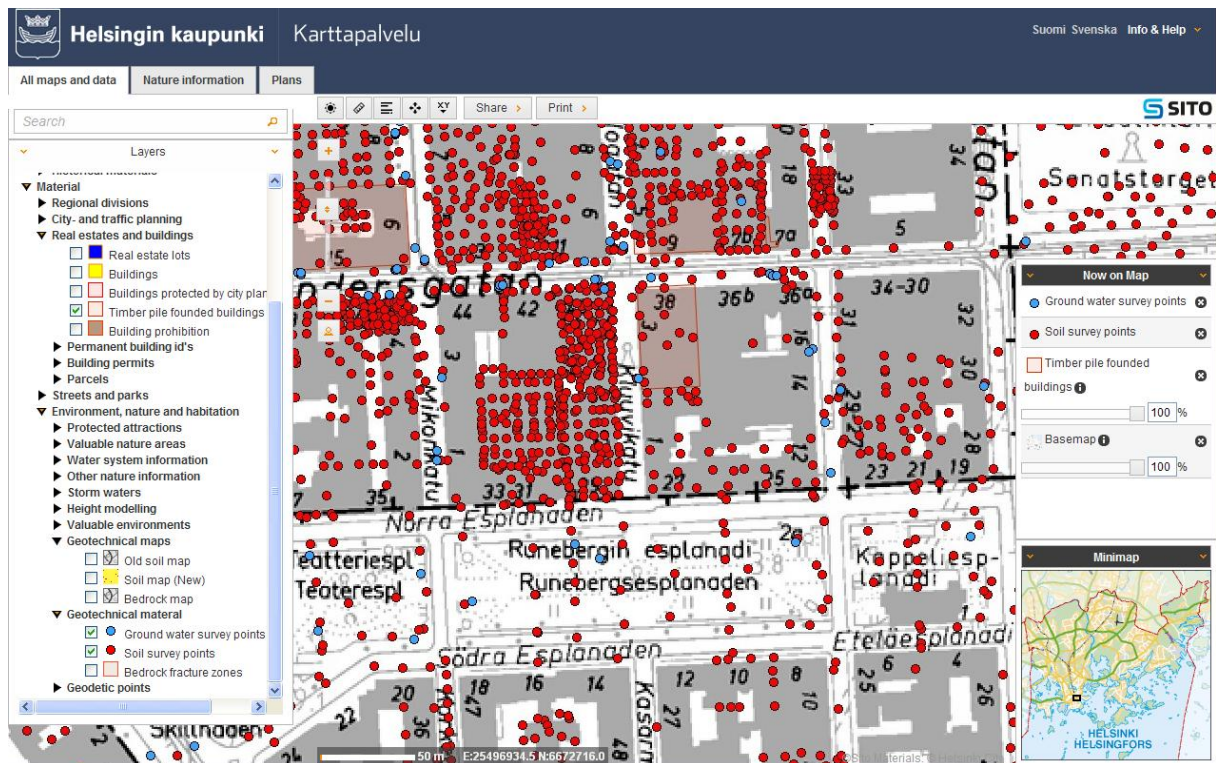
- Svakhetssoner er indikert inn med omriss.
- Bygninger som er fundamentert på treflåter vises med omriss rundt bygningene.
- Geotekniske boringer vises med punkter.
- Grunnvannsmålere er markert med punkter og det oppgis informasjon om første og siste dato for målinger og øvre og nedre grunnvannsnivå i det innmålte tidsrommet.

Helsingfors kommune drifter i tillegg en [kartløsning](#) med mer informasjon om grunnvannsmålerne (Helsingin kaupunki 2014b). Et utsnitt fra kartsiden kan sees i figur 2.14. Hver grunnvannsmåler er markert inn og har en tilhørende graf med markert grunnvannsstand i måleperioden. Nivået vises i høyde i forhold til havet, og i forhold til det gjennomsnittlige grunnvannsnivået i perioden. Enkelte målere måler både et øvre og et nedre grunnvannsnivå i samme punkt, noe som kan tyde på at enkelte områder har hengende grunnvann.

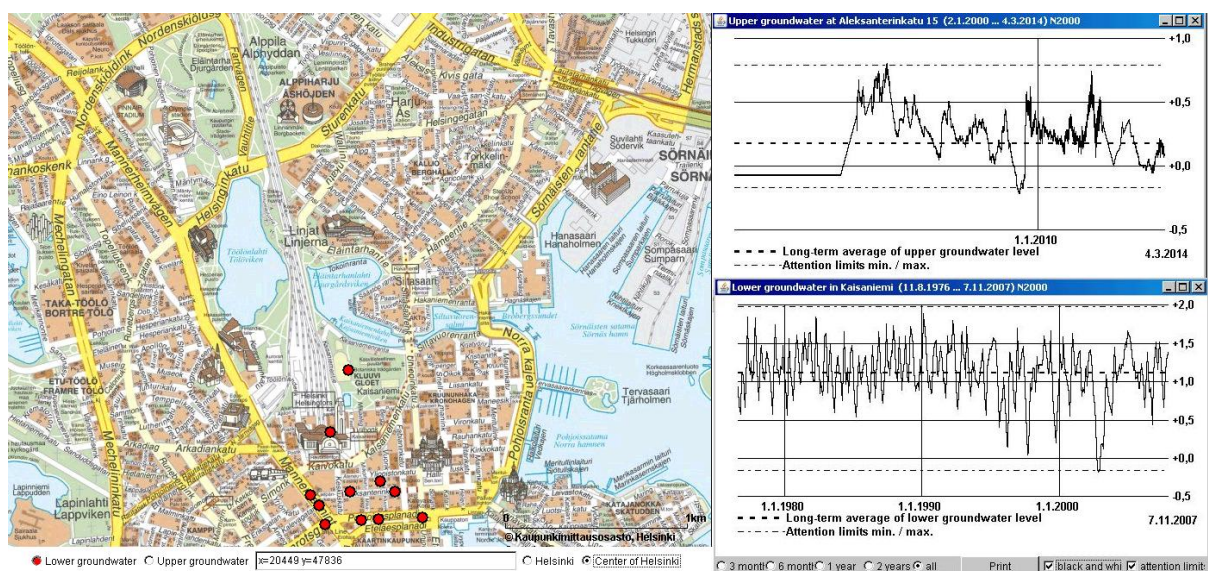
Å holde oversikt over grunnvannsnivå og fundamenteringsmetoder har vært en av hovedprioriteringene til Helsingfors kommune helt fra 70-tallet. I forbindelse med bygging av metroen startet en grunnvannsovervåkning og utforskning av fundamenteringsmetoder på bygg i området. På grunn av en hendelse i 1977 hvor det forekom grunnvannssenkning i forbindelse med konstruksjon av en tunnel, ble det bestemt at den kommunale geotekniske avdelingen skulle overvåke grunnvannssituasjonen i sentrum. På initiativ av geoteknisk avdeling undersøkte og rapporterte bygningseiere fundamenteringsmetodene på bygningene sine. Det skapte en bevissthet om problemet blant bygningseierne, samtidig som det ga den geotekniske avdeling bedre informasjon om grunnvannsnivå og utsatte bygninger (Vähäaho et al. 2004).

Det er lovfestet at i planleggingsfasen for hvert utviklingsprosjekt skal informasjon fra grunnundersøkelser gis til myndighetene i Helsingfors. De har en geoteknisk database med ca. 200 000 borehull og 4000 lokaliteter med grunnvannsovervåkning. Databasen kan blant annet benyttes av konsulenter og bygningsfirma som lager tredimensjonale modeller over grunnforholdene (Paul et al. 2002).





Figur 2.13. I karttløsningen til Helsingfors kommunes vises geotekniske boreringer som røde sirkler, grunnvannsmålinger som blå sirkler og bygninger fundamentert på treflåter som bygning med omriss (Helsingin kaupunki 2014a).



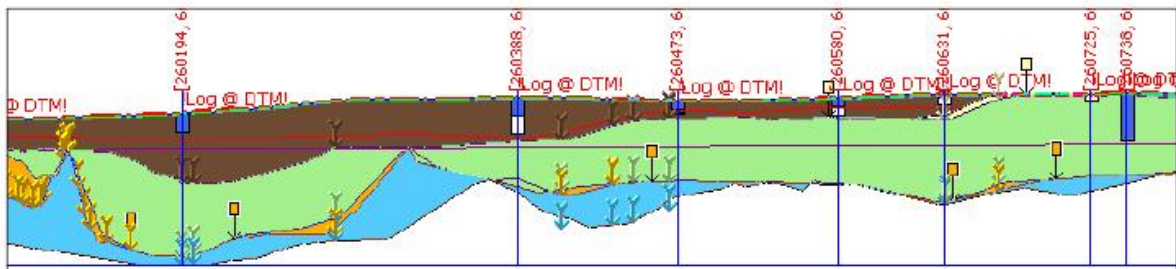
Figur 2.14. Utsnittet viser de punkter i Helsingfors som måler nedre grunnvannsstand. Når man klikker på punktene, kommer tilhørende grafer opp. I utsnittet vises graf fra en grunnvannsmåler som måler i nedre grunnvannsnivå og en som måler i øvre grunnvannsnivå (Helsingin kaupunki 2014b).

### 2.3.2. Grunnvannskartlegging i Glasgow

Sammen med BGS ("British Geological Survey") startet Glasgow i 2009 opp et lignende prosjekt som Undergrunnsprosjektet i Oslo. Oppsummering av arbeidet frem til 2010 er nøye beskrevet Bosnor et al. (2010). Dette vil bli oppsummert her.

BGS ønsket å utvikle en database for grunnvannsovervåkning. For å sikre data av en viss kvalitet utelot de blant annet data hvor innmålingsdatoen eller målerens lokalitet var ukjent. Til grunnvannskartlegging ble det bestemt at hvert område behandles individuelt avhengig av mengde og type data, fordi forskjellige analysemetoder kan være bra for forskjellige områder. Følgende steg ble benyttet i tolkningsfasen av kartleggingen av grunnvannsforholdene:

1. **Datavalidering:** Data fjernes eller gis en vurdering basert på kvalitet.
2. **Bestemme geologien:** En utviklet geologisk 3Dmodell for Glasgow ble benyttet til å bestemme geologien for borehullet. Det er nødvendig fordi to nærliggende brønner med ulik dybde kan overvåke helt forskjellige geologiske forhold.
3. **Innledende analyser:** Grunnvannsmålingene ble fremstilt i grafer over tid og sammenlignet med daglig regnmengde. Sammenligninger viste at kvartalsvise verdier ikke på samme måte som daglige og månedelige verdier klarte å fange opp årstidsvariasjonene. Kvartalsvis tolkning kan derfor føre til signifikant underestimering av både maks og minimums grunnvannsnivå.
4. **Konturkart over grunnvannsnivået:** Etter en beregning av grunnvannsgjennomsnittet for hvert borehull ble et dataprogram og en metode som heter "IDW" (metoden forklares i kapittel 3.1.) benyttet til å lage et konturkart for grunnvannsnivået.
5. **Geologisk profil med grunnvannsnivå:** Grunnvannsnivået ble tegnet inn i den aktuelle geologien fra 3d-modellen slik som profilet i figur 2.15.



Figur 2.15. En geologisk profil fra kartleggingen i Glasgow. Den røde linjen viser grunnvannsnivået i det øverste laget som er fyllmasse. Profilen er laget i GSI3D (Bosnor et al. 2010).

### **2.3.3. Masteroppgave om bygårder i tegl fra 1800-tallet**

I en tidligere masteroppgave laget Anders Henjum Høstmælingen (2007) en oversikt over hvilke bygninger i Oslo fra 1800-tallet som er fundamentert på treflåter, en kombinasjon av treflåter og fjell og bare fjell. Oversikten ble basert på informasjon om at man på 1800-tallet ikke gravde lenger ned enn til kjellergulvet når bygningene skulle fundamenteres. Det betydde at kun bygninger med en dybde på 3 meter eller mindre ble fundamentert på fjell. Var dybden til fjell dypere, ble bygningene fundamentert på treflåter.

### **2.3.4. Setningsovervåkning med InSAR**

InSAR er en teknikk der satellitt og radar benyttes til å sende ut radiobølger til jordens overflate som reflekteres og registreres til et kart som viser overflatens høyde. Ved å gjennomføre dette to eller flere ganger over samme område kan man lage et bilde som sammenligner overflatehøyden ved ulike tidspunkt. Man kan sammenstille dette til et bilde som viser differansen mellom høyden i de to bildene. Hvor små endringer det er mulig å oppdage, er avhengig av bølgelengden til radarenergien (Marshak 2008).

Ved kartlegging av setningsendringer i urbane strøk benyttet en InSAR-teknikk, kalt PSInSAR. Ved denne teknikken identifiseres varige objekter, som for eksempel bygninger. De kan gjenkjennes over flere bilder i en lengere tidsperiode og sammenlignes for å undersøke om de utsettes for høydeendringer. I byer kan man danne et tett nettverk av objekter på opp mot 400 per km<sup>2</sup>. Det gjør det mulig å måle høydeendringer med en nøyaktighet innenfor 1 mm/år. For best resultat bør minimum 25-30 bilder tatt over tid sammenlignes (Dehls og Nordgulen 2004).

På oppdrag fra Oslo Kommune gjennomførte NGU fra 1992 til 2002 en analyse med bruk av InSAR for å overvåke setninger i Oslo-regionen. Målingene ble analysert og presentert av Dehls og Nordgulen (2004). Resultatet viste at områder hvor det forekommer betydelige setninger, var rundt Bjørvika og Grønland, deler av Grünerløkka, Majorstua, Ullevål, Bislet, Alnabruområdet samt i noen lokaliteter langs fjorden. Resultatet ble sammenlignet med et dybde til fjell-kart som var laget av Oslo Kommune. Sammenligningen viste at de områder hvor InSAR-målingene viste høyest hastighet på setninger, også var de områder hvor det var kartlagt dypest til fjell.

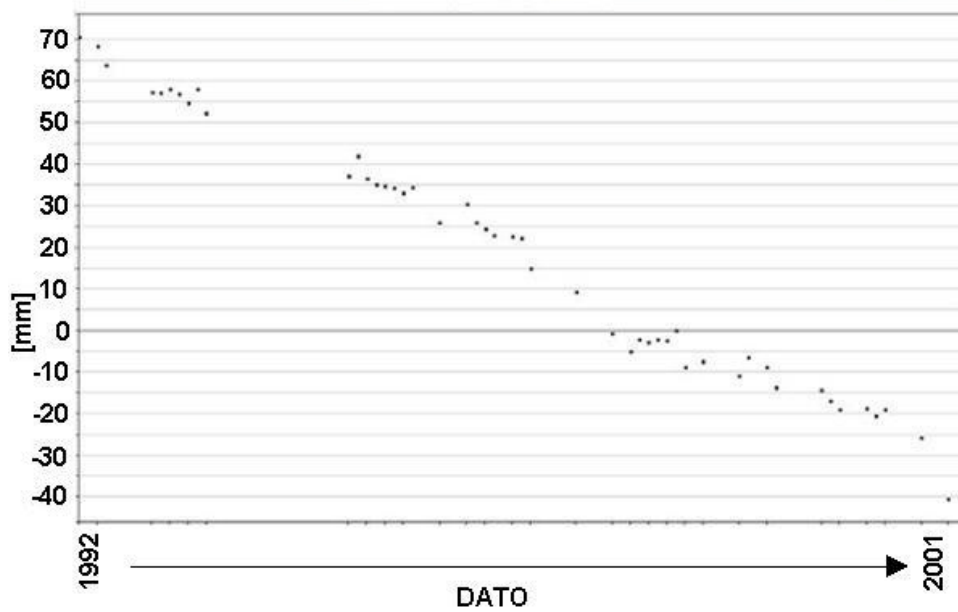
En del av analysen viste området for Majorstua. Også her ble de dype områder kartlagt som setningsaktive, mens de grunne visste ingen tegn til store setninger. De fleste identifiserte objektene viste en setningshastighet fra 0 til 3 mm/år. Noen objekter med stor deformasjon

rundt omkring i Oslo ble fremstilt med grafer som viser objektets endring i høyde over tid. Dette gjelder blant annet Colosseum kino. Grafen kan sees i figur 2.16. og viser en høydeendring i opp mot 10 cm på en 10 års-periode. Det er også laget en graf for Kirkeveien 44 som ligger rett sør for studieområdet. Denne viser en setning på bortimot 4 cm på 10 år.

Undergrunnsprosjektet har fra NGU fått tilgjengelige InSAR-data for noen områder av Oslo, blant annet Majorstua. Dataene er av samme tidsintervall og type som InSAR-dataene beskrevet i Strøm et al. (2014) for Skøyen og Bjørvika. Dataene er målt fra 2009 til 2013, og resultatet for studieområdet på Majorstua kan sees i figur 2.17. Dataene viser at hastigheten av nedsynking ved Colosseum kino fremdeles er stor sammenlignet med det øvrige området. Området ved Colosseum kino viser en hastighet på setninger opptil 9 mm per år. Øvrige områder viser stort sett en setningshastighet på 1 mm per år.

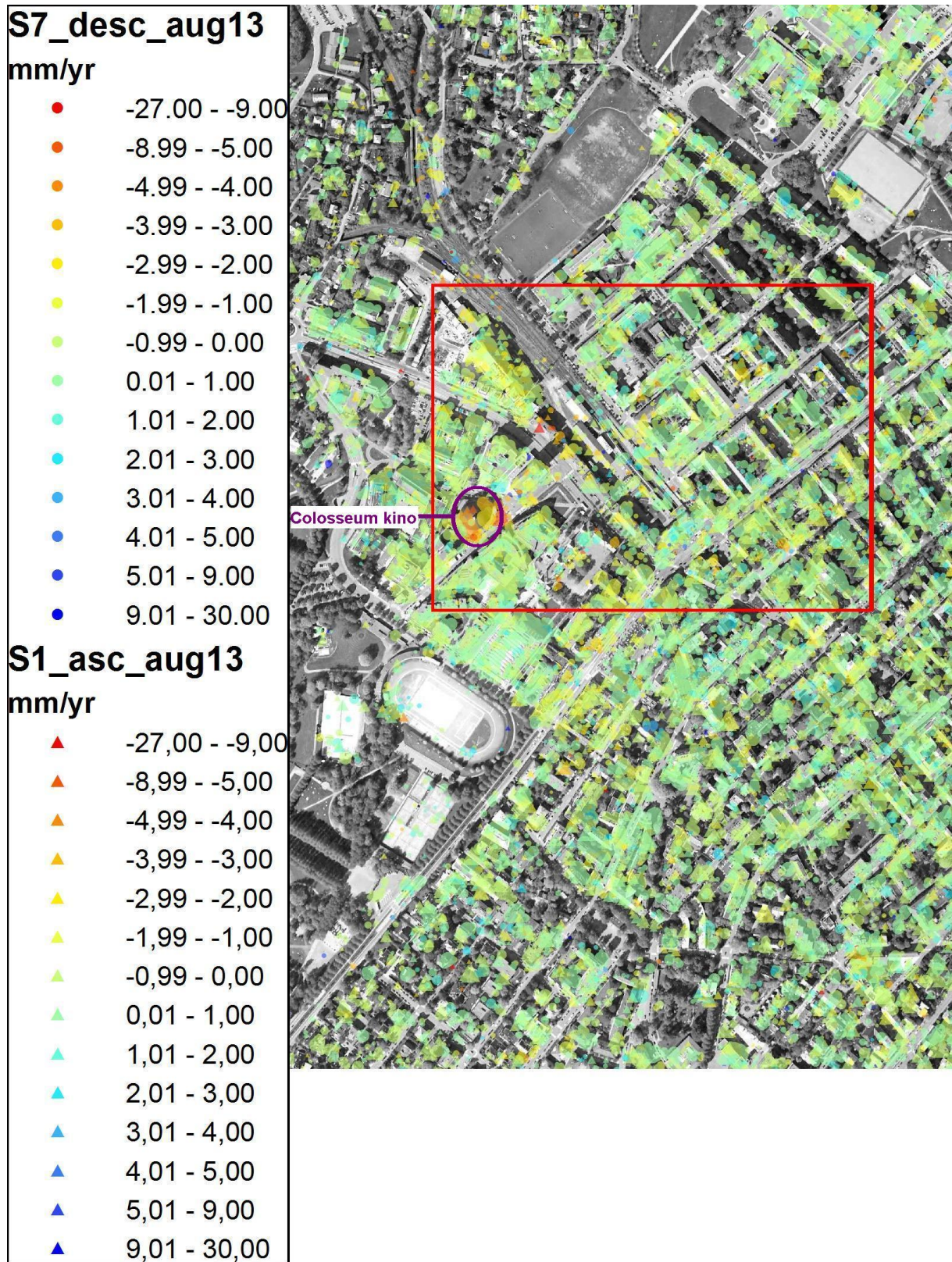
Nylig har det skjedd et frislipp av gratis satellittdata, med bedre oppløsning enn de som tidligere var tilgjengelige. Dette gjør bruk av InSAR i fremtiden kan bli billigere og med tydeligere bilder (Nikolaisen 2014).





Figur 2.16. Bildet og grafen er hentet fra Dehls og Nordgulen (2004). Bildet viser området rundt Colosseum kino. Objektet som er målt inn på Colosseum kino, viser stort setningsforløp. Endring i høyde er vist i den tilhørende grafen, og viser at objektet har endret seg omtrent 10 cm nedover fra 1992 til slutten av 2001. Dato- og millimeterakse er forenklet i forhold til grafen i kilden.





Figur 2.17. Figuren viser InSAR-data over Majorstuen målt mellom 2009 og 2012 fra NGU. Undergrunnsprosjektet får disponere disse bildene. Fargeskalaen på venstre side viser setningshastigheten Colosseum kino, i det sørvestlige av området, viser en hastighet på nedsynkning til opptil 9 mm.



## 3. Data, programvare og metoder

---

### 3.1. Beskrivelse av programvare og analysemetoder

I noen tilfeller vil Excel benyttes til analyse og til å lage grafer. Men i størst grad vil ArcGIS benyttes til å utvikle kartproduktene. ArcGIS er et komplett datasystem for å analysere, presentere, forvalte og dele geografisk informasjon (Esri 2012). I ArcGIS presenteres data som regel som vektordata. Vektordata har en geometrisk form (punkt, linje eller polygon), et koordinatsystem og en egenskapstabell. En egenskapstabell gjør det mulig å sortere og symbolisere dataenes egenskaper og forhold (Esri 2012). Data kan også representeres ved overflater. Overflatene settes sammen av som regel små ruter, hvor hver rute representerer én verdi. Ved slik type data kobles egenskapene til ruter istedenfor objekter. (Grinderud et al. 2010).

ArcGIS har verktøy som forenkler, automatiserer og muliggjør analyser og bearbeiding av data. I denne oppgaven vil blant annet estimeringsverktøy i ArcGIS bli benyttet til å lage overflater. Ved estimering av overflater brukes kjente verdier i kjente punkt til å estimere verdier i ukjente punkt. Resultatet skaper en overflate med estimerte verdier. Det vil bli brukt geostatistisk analyse, men i noen tilfeller brukes andre estimeringsmetoder:

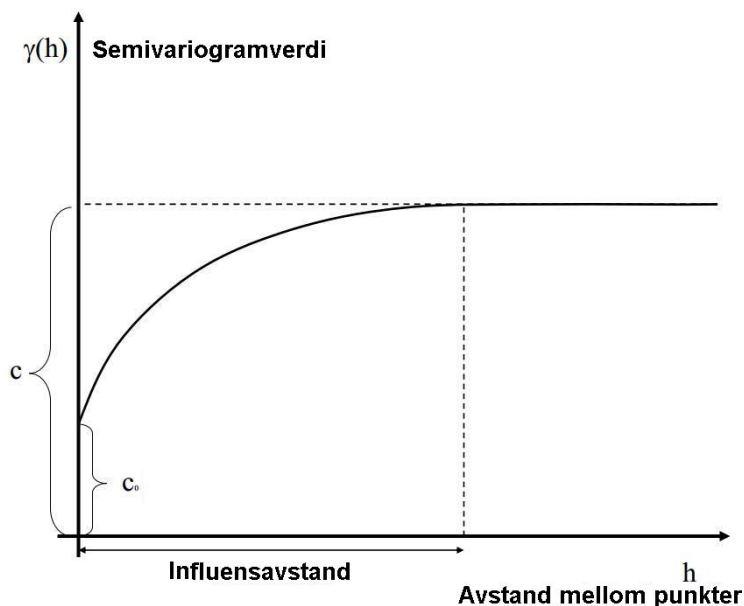
- Triangulering brukes å lage en fjelloverflate til de geologiske profilene. Metoden velges til fjellflateestimatet, fordi estimatet skal brukes som en liten del av et større produkt (geologisk profil). Det ikke nødvendig med like store, og tidskrevende analyser som ved utarbeidelse av dybde til fjell-kart. Ved triangulering deles en overflate i trekanter hvor hver enkelt trekant går gjennom 3 definerte punkt. Metoden er god til å få frem store variasjoner over små avstander (Grinderud et al. 2010).
- ”Topo to raster” er et verktøy i ArcGIS som brukes til å lage en terrengmodell fordi det kan estimerere en overflate basert både på data fra høydekurver og fra boringer.
- IDW, som betyr invers distansevektning benyttes til å estimere kart med poretrykkshøyden når dataene ikke passer i en geostatistisk analyse. Metoden antar at punkt nærmere hverandre har mer like verdier enn de som er lengre unna. Nære punkt gis større betydning ved estimatet (Johnston 2004).

### 3.1.1. Geostatistisk analysemetode

Geostatistiske metoder antar også at punkt nærmere hverandre har mer like verdier enn punkt lengre unna hverandre (Ellefmo og Larsen 2013). Men i geostatistikk inkluderes informasjon om usikkerhet, som skiller det fra ”IDW” (Johnston 2004). Derfor foretrekkes denne analysemetoden ved estimering av kart med dybde til fjell og poretrykkshøyde. Geostatistikk fungerer best med normalfordelt data uten noen spesiell trend (Johnston 2004). Dataenes fordeling må derfor undersøkes først. Når dataene oppfyller kravene vil estimatmetoden ordinær kriging benyttes. Metoden baserer seg på et ukjent men konstant gjennomsnitt over estimeringsområdet (Ellefmo og Larsen 2013).

Estimatmetoden brukes til å modellere et semivariogram. Dette er den viktigste delen av en geostatistisk analyse og en slik modell sees i figur 3.1. Semivariogrammet viser dataenes variasjon langs en retning. En modell (linje) tilpasses variasjonen. Når punktene ikke lenger har sammenheng med hverandre flates modellen ut. Dette kalles influensavstanden (Ellefmo og Larsen 2013). Når dataenes variasjon er ulik i ulike retninger brukes en anisotropimodell.

Etter at semivariogrammet er modellert, oppgis veiledende statistikk som gir indikasjoner på sannsynligheten på estimatet. Dette brukes til å sammenligne ulike modeller for best estimat. Resultatet vil vise den ferdige flaten med de estimerte verdiene, men kan også endres til å vise verdienes standardavvik. I ArcGIS brukes geostatistisk analyse ved hjelp av et tilleggsprodukt som heter ”Geostatistical analyst”.



Figur 3.1. Figuren viser en semivariogrammodell (Ellefmo 2011). Begrepene er redigert inn i den originale tegningen.

## 3.2. Gjennomgang og utvelgelse av datagrunnlag

I tabell 3.1. gis en oversikt over alt datagrunnlag som er benyttet til å lage kartproduktene. I de neste avsnittene vil noen av de viktigste dataene bli presentert og vurdert. I denne oppgaven er koordinatsystemet ”ETRS89, UTM sone 32N” benyttet, og alle koordinater presenteres i dette systemet. De data som leveres i andre koordinatsystem, er ved hjelp av ArcGIS transformert til felles koordinatsystem.

Tabell 3.1. Tabellen gir en oversikt over alt relevant datamateriale som bruk i oppgaven

Navn på data	Innhold	Eiere	Programvare og format
<b>Poretrykksdata</b>	Punktdata med måleserier fra poretrykksmålere i Oslo.	Vann- og avløpsetaten, Oslo kommune	ArcGIS, vektordata. Excel.
<b>Geotekniske data fra Undergrunnsarkivet</b>	Punktdata og rapporter fra registrerte geotekniske boringer som er utført i Oslo.	Vann- og avløpsetaten, Oslo kommune	ArcGIS, vektordata og Digitalt arkiv med PDF-filer.
<b>Geotekniske boringer med Statsbygg som oppdragsgiver i NADAG</b>	Database som er under utvikling av NGU med geotekniske boringer, blant annet fra Statsbygg. Data som er offentliggjort i NADAG kan fritt benyttes.	Statsbygg/NGU	ArcGIS, vektordata
<b>GRANADA</b>	Nasjonal grunnvannsdatabase som blant annet inneholder boringer med informasjon om dybde til fjell.	NGU	ArcGIS, vektordata
<b>Infiltrasjonsbrønner</b>	Punktdata som viser infiltrasjonsbrønner med informasjon om brønnummer, oppdragsnummer og adresse.	Vann- og avløpsetaten, Oslo kommune	ArcGIS, vektordata
<b>Murgårdsbebyggelse fra 1800-tallet</b>	Omriss av murgårdsbebyggelse fra ca. 1850 til 1900 i Oslo. Noen bygninger kan mangle. Dataene inneholder blant annet informasjon om byggeår og funksjon.	Byantikvaren, Oslo kommune	ArcGIS, vektordata
<b>Løsmassekart</b>	Kartlegging av løsmasser i Oslo, basert på det øverste dominerende løsmasselaget	NGU	ArcGIS, vektordata
<b>Bakgrunnskart</b>	Kart over Oslos bebyggelse, veier, parker, T-banelinjer og lignende.	Plan- og bygningsetaten, Oslo kommune	ArcGIS, kartfil
<b>Nedbørsdata</b>	Informasjon om nedbørsmengde.	Meteorologisk institutt	Excel

### 3.2.1. Poretrykksdatabasen

Poretrykksdatabasen består av grunnvannsmålinger som er utført og registrert i Oslo kommune. Dette er det eneste av datagrunnlaget som har informasjon om grunnvann. I tabell 3.2. vises og forklares relevant informasjon om poretrykksmålerne i databasen. Hele databasen består av i underkant av 80 000 registrerte målinger, fordelt på 974 målere. Dataene for området på Majorstua inneholder målinger fra 16.mai 1973 til 6.august 2013. Dette er 10 639 målinger, fordelt på 45 målere. Men ikke alle disse ble vurdert pålitelige eller nødvendige for produktene i oppgaven. Følgende målinger og målere ble fjernet:

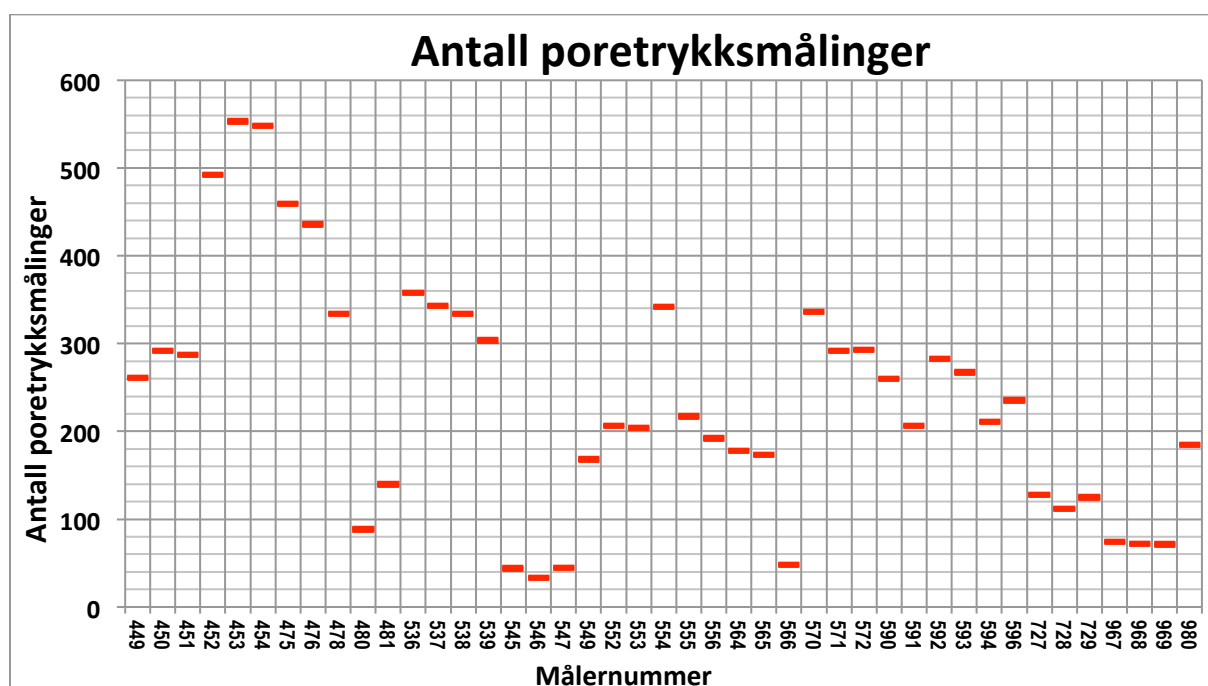
- **Feilmålinger og uoverensstemmelse:** Alle målinger som har en registrert poretrykkshøyde på under -900. eller over 900 fjernes. Dette er verdier som typisk registreres ved mislykkede målinger. Verdiene er ulogiske fordi de tilsier at poretrykkshøyden enten er over 900 m.o.h. eller 900 m.u.h. Andre målinger som skiller seg i så stor grad fra de andre at de umulig kan være korrekt fjernes også. For eksempel målinger med 100 meters høydeforskjell fra tidligere målinger i samme lokalitet.
- **Målinger med feil eller ulogisk dato:** For å kartlegge poretrykkets variasjoner over tid er det nødvendig å vite når målingen utføres. Målinger som har registrert feil dato, som for eksempel årstall 100, kan ikke brukes. I tillegg er en del målinger registrert med målte verdier på et tidligere tidspunkt enn målerens installerte dato. I de tilfeller gjøres en logisk vurdering på om det er den installerte dato eller måledato som er feil. I alle tilfeller der det antas at den målte datoen er feil slettes registreringene.
- **Målere uten kontinuerlige målinger:** Det er ønskelig å kartlegge poretrykkets variasjon over et lengre tidsperspektiv for å kunne se trender. Til dette prosjektet fjernes poretrykksmålere som målere i kortere enn i ett år.

Til sammen 408 målepunkter ble slettet, derav to hele måleserier. De to måleseriene ble kun målt i 3 måneder. Dataene som skal benyttes til å utvikle kartprodukt består av 10 231 målinger fordelt på 43 målernummer. I figur 3.2. vises antall målinger per poretrykksmåler. I figur 3.3. er de 43 målerne vist med plassering i studieområdet. Figuren viser hvilke poretrykksmålere som har flest registrerte målinger. De fleste poretrykksmålerne er i sørvest og i nordøst. I området langs T-banen er det svært få.

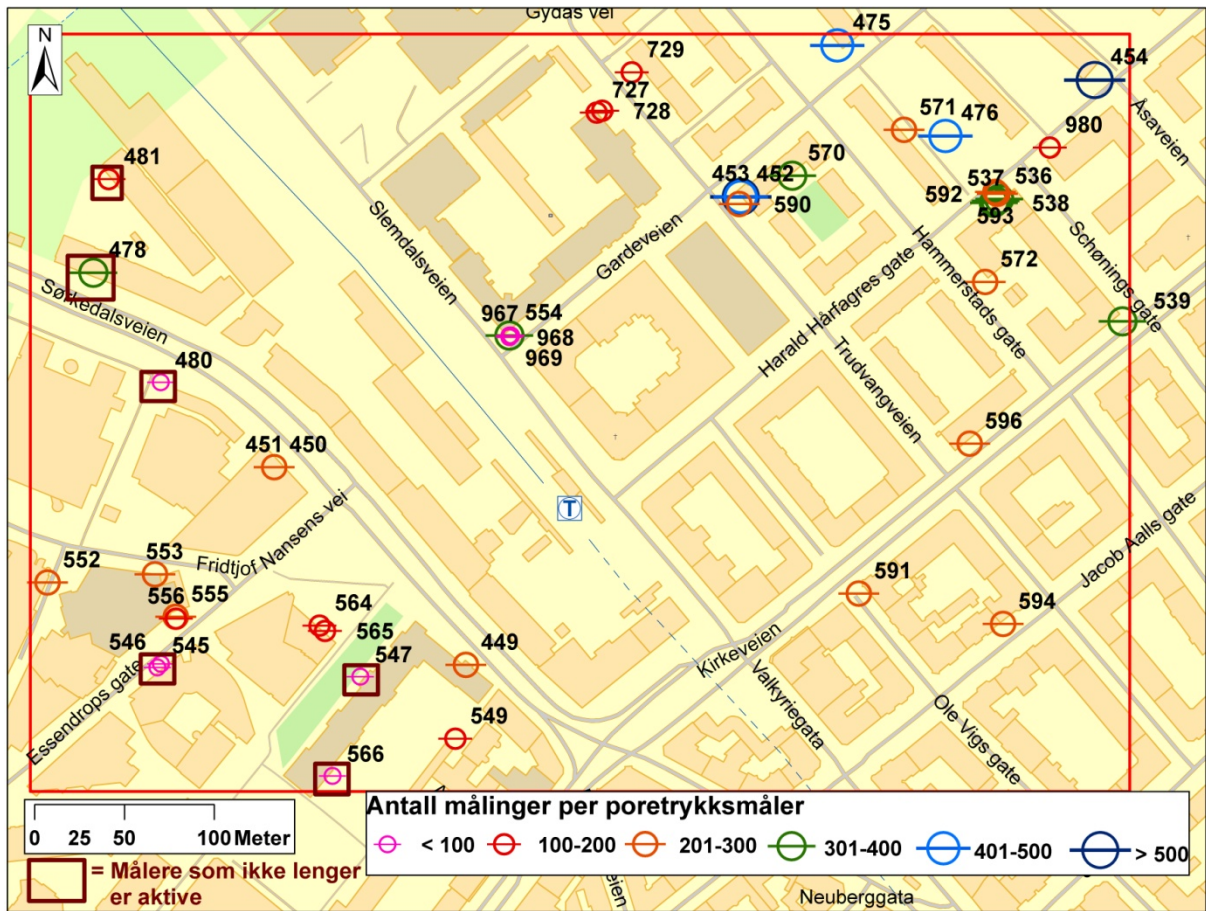
26 poretrykksmålere har også informasjon om fjellhøyden. Disse dataene inkluderes i dybde til fjell-estimat. Figur 3.4 viser hvilke poretrykksmålere dette gjelder.

Tabell 3.2. Oversikt over relevante egenskapsfelt i Poretrykksdatabasen.

Navn	Forklaring
Målnummer	Det unike ID-nummeret til hver måler.
Dato	Datoen som målingen utføres.
Kotevann	Høyden, i meter over havet, hvor poretrykksnivået måles. Dette er det viktigste feltet i forhold til kartlegging av grunnvannets variasjoner.
Kotespiss	Høyden, i meter over havet, ved bunnen av røret. Dette er høydenivået som poretrykket representerer.
Koteterreng	Høyden, i meter over havet, ved terrenget der målingene utføres
Kotetoppør	Høyden, i meter over havet, ved toppen av røret som benyttes til måling.
Kotefjell	Høyden, i meter over havet, på grunnfjell. Dette registreres ikke alltid.
Merknader	Kommentarer til målinger, for eksempel om det er frosset, om de ikke finner målerpunktet, om det er fjernet, dekket av snø, defekt, bøyd, ødelagt og lignende.
Måling	Avstand som måles i meter. Det vil si avstand fra kotespiss til kotevann.
Kvann-Kterreng	Differansen mellom Kotevann – koteterreng. Altså dybden i forhold til terrenget i meter.
X	Målerens x-koordinater
Y	Målerens y-koordinater
Type	Hvilken type måling som er utført. På Majorstua er det kun hydrauliske poretrykksmålinger.
Gate	I hvilken gate måleren er plassert
Husnr	Ved hvilket husnummer måleren er plassert
Plassering	Beskrivelse av plasseringen, for eksempel "ved et tre" eller "i et gårdsrom"
Instdato	Dato som måleren er blitt installert.
Fjerndato	Dato som måleren er fjernet, dersom den er fjernet..
Kommentar	Flere kommentarer om for eksempel plassering.
Kommentar_ Opprydning	Felt som er lagt til høsten 2013 om eventuelle endringer som er utført.

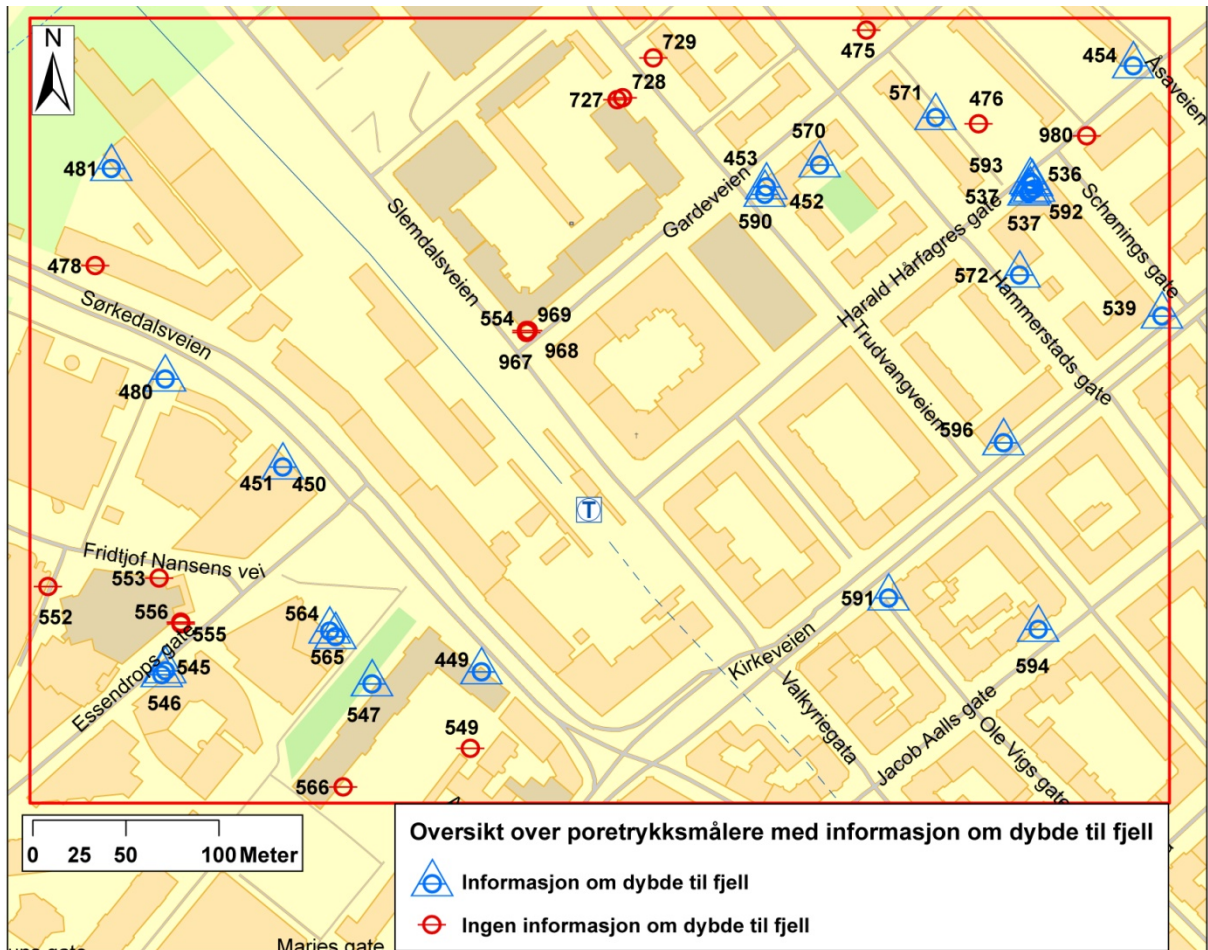


Figur 3.2. Grafen viser antall målinger som er målt per poretrykksmåler.



Figur 3.3. Figuren viser hvordan fordeling av poretrykksmålere og antall målinger er i studieområdet. De brune rektanglene representerer poretrykksmålere som ikke lenger er aktive.





Figur 3.4. Figuren viser hvilke poretrykksmålerne som har informasjon om dybde til fjell (blå med trekant). Poretrykksmålerne som er merket med rødt har ingen informasjon om dybde til fjell.

### 3.2.2. Undergrunnsarkivet

Undergrunnsarkivet er et arkiv med geotekniske borer og tilhørende rapporter for undersøkelser utført i Oslo. Arkivet har opprinnelse fra Oscar Large sitt grunnboringsfirma Ing. Large AS (Sekne 2008). Han var en av de første som jobbet med grunnboringer og registrering av dette i Oslo. Large døde i 1939, og arbeidet hans ble overtatt av Oslo Oppmålingsvesen. I 1954, da det kommunale Geoteknisk Kontor ble opprettet, overtok de arbeidet (Høstmælingen 2007). Geoteknisk kontor ble etter hvert underlagt Vann- og avløpsetaten, og i 2006 nedlagt. Derfor er det i dag Vann- og avløpsetaten som forvalter arkivet med over 200 000 borer (Hauge og Bjørberg 2010).

I oppgaven vil Undergrunnsarkivet bli benyttet til å gjennomføre en dybde til fjell-analyse og til å lage geologiske profiler. Bjørg Matre, som jobber med arkivet på Vann- og avløpsetaten, har vært behjelpelig med informasjon om Undergrunnsarkivet og med å gjøre data tilgjengelig. Dataene er delt inn to ulike filer:

- **”Majorstua\_prover”**: Denne filen inneholder 150 prøvepunkt fra studieområdet. Prøvepunktene har informasjon om referanser til supplerende rapporter i Undergrunnsarkivet. Relevante informasjonsfelt fra denne filen kan sees i tabell 3.3.
- **”Majorstua\_borpunkt”**: Denne filen inneholder informasjon om 1440 borepunkt i studieområdet. Borepunktene har informasjon om fjellhøyde. Derfor vil denne filen bli benyttet i dybde til fjell-analysen. Oversikt over relevante informasjonsfelt kan sees i tabell 3.4. Informasjonsfeltet ”borelengde” benyttes til å oppgi dybde til fjell. Av de 1440 borepunktene er 37 % utført av Oscar Large sitt firma, 32 % har ukjent årstall og resterende er utført etter Oscar Large sin død.

De boringene som ikke har informasjon om årstall (430 stykker), er registrert med kvalitet 0. Det vil si at dataene ikke har blitt tematisert, og kun har informasjon om fjellhøyde og type boring (”temkode”). Da disse dataene ble digitalisert, var det bare mulig å legge inn egenskaper for type boring og fjellkote. Da det senere ble et mer avansert datasystem tilgjengelig, ble alle nye boringer lagt inn med flere egenskaper, som for eksempel terrenghøyde og borelengde. Dette kalles fulltematisering. Det ble påbegynt en prosess der de gamle rapportene skulle brukes til å fylle ut egenskapene for de eldre boringene, men her er det fremdeles et etterslep som gjør at noen data fortsatt har kvalitet 0 (Matre 2014). Til denne oppgaven er det likevel vurdert å inkludere også disse dataene da man kan bruke distansen mellom den registrerte fjellhøyden og informasjon om terrengnivå (fra andre kilder) til å bestemme dybden til fjell.

Dataene fra Undergrunnsarkivet i området kan sees i figur 3.5. Boringene og prøveseriene er relativt jevnt fordelt, men med noe lavere tetthet i de østlige områder. Ved fremstilling av dybde til fjell ønskes mange, jevnt fordelte data av god kvalitet. Derfor ble en vurdering av dataenes kvalitet gjennomført før utvikling av produktene. Av de 1440 boringene ble 72 forkastet fra å være med i en dybde til fjell-analyse. Vurderingsprosessen, begrunnelser og fremgangsmåte i ArcGIS for slettede punkt er nøye beskrevet i vedlegg 2 og hovedtrekkene fra vurderingen gjengis her:

- Boringer som er avsluttet i løsmasser, ble skilt vekk fra dybde til fjell-boringene. Dette gjaldt 55 boringer.
- 4 boringer som var registrert som skråboring, ble fjernet. Disse var boret med forhold på 2,2:1 og 2,7:1 i lengder mellom 16 og 31 meter. Det betyr at de kan avvike på



mellom 10 og 14 meter i horisontalplanet fra borepunktet. Det er ikke oppgitt hvilke retninger som de er boret i. Dette kunne derfor gi upresis informasjon

- Det ble gjennomført en kontroll av om registrert borelengde var korrekt. Sammenhengen mellom registrering av borelengde, terrenghøyde og fjellhøyde i Undergrunnsarkivet er illustrert i figur 3.6. Det **skal ikke** være noen differanse mellom boret lengde og avstanden fra terrenghøyde og fjellhøyde. Dersom det bores videre i fjell, som ofte kan være lurt for å bekrefte at det ikke bare er en steinblokk, skal det registreres i et eget ”dybde\_i\_fjell”-felt. Men bare 82 borepunkter har registrert dette. Ved beregning av differansen mellom borelengden og avstanden mellom terrenghøyde og fjellhøyde ble 13 boringer med avvik på mer enn 1 meter fjernet. En feilmargin på 1 meter benyttes på grunn av mulige avrundingsfeil.

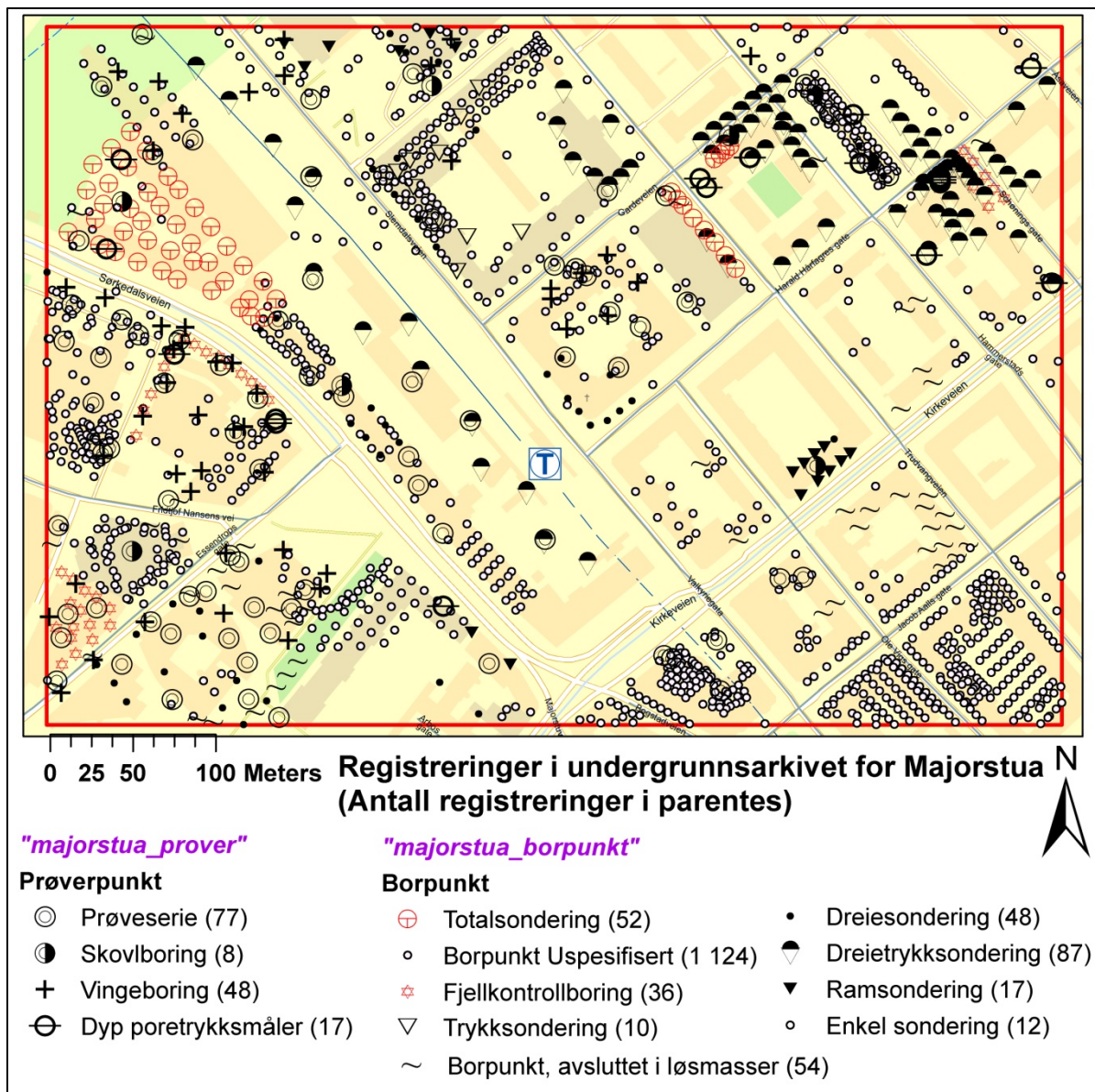
Prøvseriene brukes til å finne rapporter i Undergrunnsarkivet som har informasjon om løsmassefordelingen. Disse skal brukes til å lage geologiske profiler. Av de prøveserier som har tilhørende rapporter, er mange eid av private konsulentselskap. De private rapportene er åpne for tilsyn, og Oslo kommune har fått tillatelse til å benytte dataene til å kartlegge dybde til fjell. Men rapportene kan ikke uten tillatelse av eierne benyttes i en kartlegging av geologiske lag. Alle rapporter i studieområdet fra Oscar Large, Oslo Geotekniske kontor, Vann- og avløpsetaten og NSB ble gjort tilgjengelig og gjennomgått. I tillegg ble det etterspurt tre rapporter både fra Multiconsult og NGI som ble tillatt å benytte. Rapportene omfatter år 1925 til 2003.

Tabell 3.3. Relevant informasjon som i filen "Majorstua\_prover".

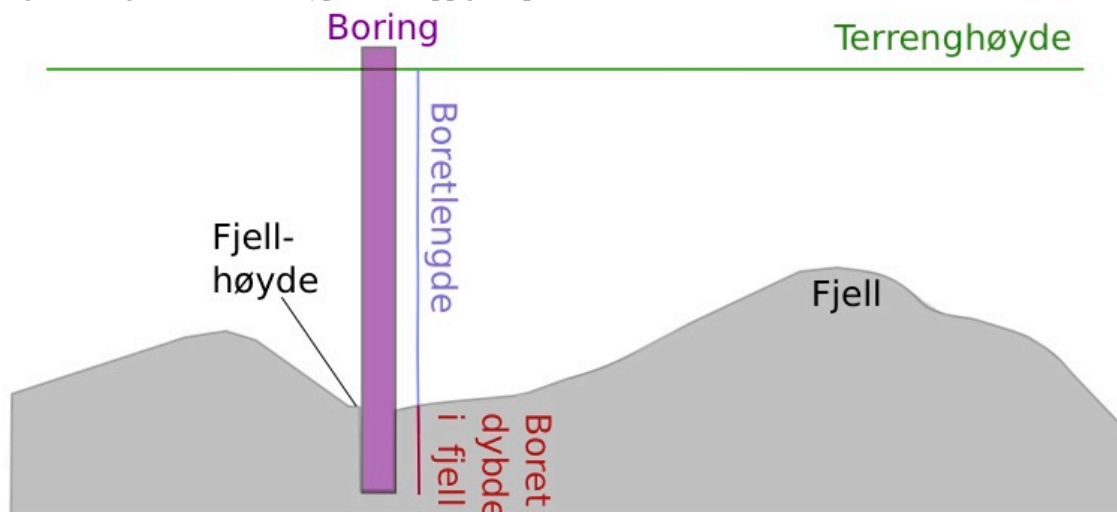
Navn	Hva det betyr
<b>Ptema</b>	Kode for type borepunkt: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1112 ("prøveserie")</li> <li>• 1113 ("skovlboring")</li> <li>• 1115 ("Vingeboring")</li> <li>• 1121 ("Dype poretrykkmåler")</li> </ul>
<b>Aarstall</b>	Hvilket år som prøvene er utført. Prøvepunktene omfatter år 1925 til 2003. Prøvene som er registrert med temakode 1121 er ikke registrert med årstall.
<b>Firma</b>	Hvilket firma som har utført boringene. Disse er: <ul style="list-style-type: none"> <li>• GK (Geoteknisk kontor)</li> <li>• Grøner AS</li> <li>• Haukelid AS</li> <li>• Large</li> <li>• NGI</li> <li>• Noteby AS</li> <li>• NSB</li> <li>• NVK Terraplan AS</li> </ul>
<b>Eier</b>	Registrert eier av prøveseriene. 16 av punktene er registrert med Oslo Kommune som eier.
<b>X_euref</b>	X-koordinat
<b>Y_euref</b>	Y-koordinat
<b>PDF</b>	Eventuell PDF kobling til rapporter med PDF-nummer til Undergrunnsarkivet.

Tabell 3.4. Relevant informasjon i filen "Majorstua\_borpunkt".

Navn	Hva det betyr
<b>Ptema</b>	Kode for type borepunkt: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1230 ("totalsondering")</li> <li>• 1231 ("enkel sondering")</li> <li>• 1232 ("Fjellkontrollboring")</li> <li>• 1233 ("Borepunkt, avsluttet i løsmasser")</li> <li>• 1234 ("Trykksondering")</li> <li>• 1235 ("Dreiesondering")</li> <li>• 1236 ("Dreietrykksondering")</li> <li>• 1237 ("Ramsondering")</li> <li>• 1238 ("Enkel sondering")</li> </ul>
<b>Aar</b>	Hvilket år som boringene er utført. Omfatter år 1898 til 2006. Noen er registrert uten år.
<b>Kvalitet</b>	Hvilken kvalitet som er på dataene. Det er to verdier: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 0 ("ikke vært gjenstand for fulltematisering")</li> <li>• 50 ("punktet er trykt for hånd etter boreplan eller tegnet manuelt")</li> </ul>
<b>Referanset</b>	Referanse til borepunkt i tilhørende rapporter.
<b>Kommentar</b>	Diverse kommentarer, som for eksempel "skråboret".
<b>Fjellhoyde</b>	Høyden, i meter over havet, hvor fjell er registrert.
<b>Terrenghoyde</b>	Terrenghøyden, i meter over havet der, boringen utføres.
<b>Losmassehoy</b>	Høyden, i meter over havet, der borer som ikke når fjell avsluttet.
<b>Boredybde</b>	Hvor mange meter ned man borer før man treffer fjell (eventuelt stopper i løsmasser).
<b>Dybde i fjell</b>	Hvor mange meter ned i fjell man borer
<b>Eier</b>	Registrer eier av borepunktene. 417 er registrert med Oslo Kommune som eier. Resterende borepunkt er uten informasjon om eier.
<b>PDF</b>	Eventuell PDF kobling til rapporter med PDF-nummer til Undergrunnsarkivet.



Figur 3.5. Figuren gir en oversikt over alle registrerte prøvepunkt og borepunkt på Majorstua som finnes i Undergrunnsarkivet. Tegnforklaringen forteller hvilken type boring det er. Antallet registreringer av de ulike typene er oppgitt i parentes.



Figur3.6. Figuren viser hvordan man deler inn og registrerer en boring i Undergrunnsarkivet.

### 3.2.3. GRANADA

GRANADA er den nasjonale grunnvannsdatabasen i Norge, og forvaltes av NGU. Denne databasen kan benyttes i dybde til fjell-analyser. Men det er ingen registreringer fra GRANADA i studieområdet. Dette kan sees i figur 3.7. Det vil likevel bli gitt en gjennomgang av databasen da den vurderes som relevant for bruk av metodikken i andre områder av Oslo.

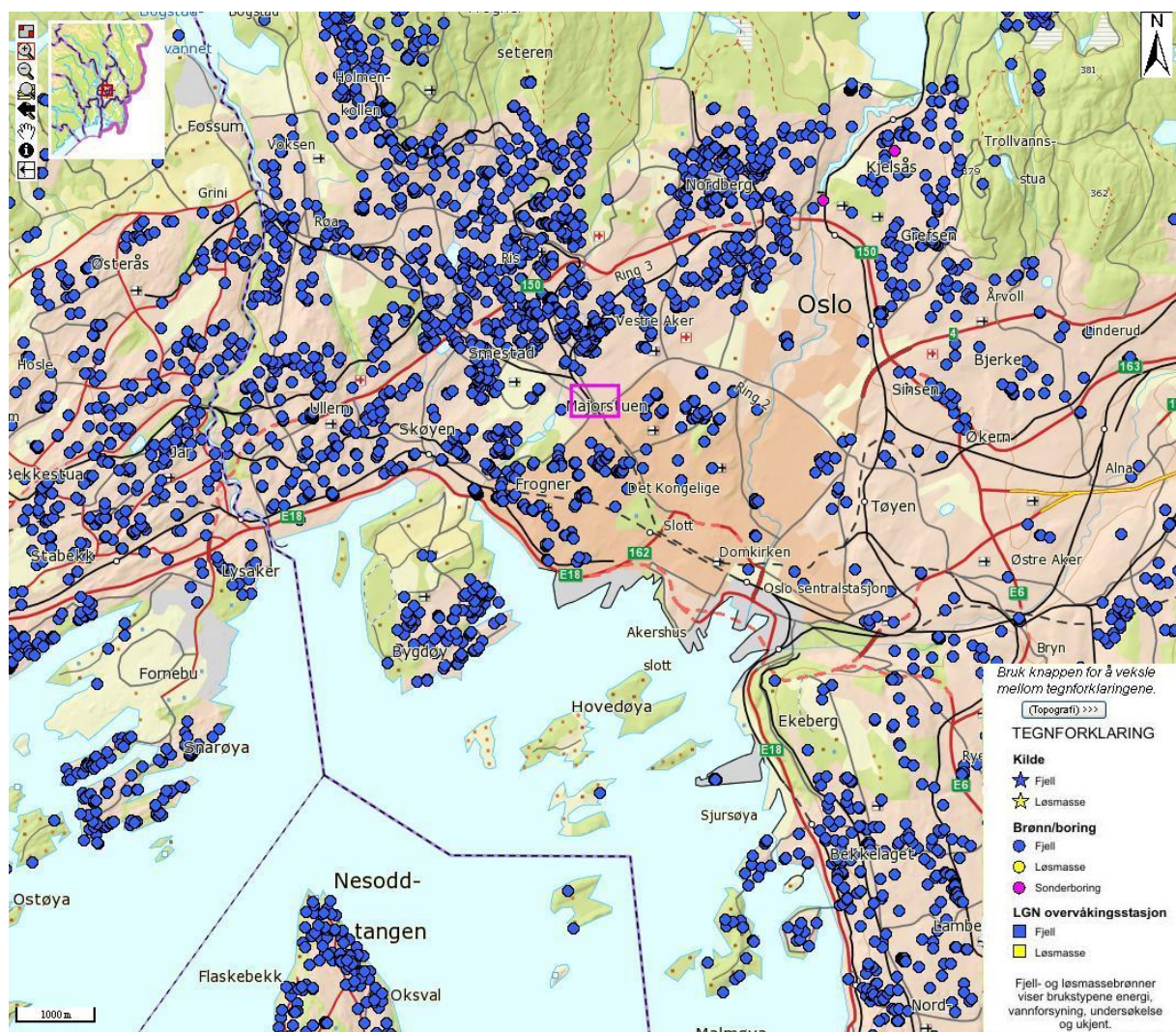
GRANADA er stort sett bygd opp av innrapportert data fra brønnfirmaer og konsulenter (NGU 2014d). Databasen har informasjon om sonderboringer, løsmassebrønner og fjellbrønner. For en dybde til fjell-analyse er sonderboringer og fjellbrønner mest relevant. Relevant tilhørende informasjon for disse to typene kan leses i tabell 3.5. Feltet ”dyp\_til\_fjell” ville blitt benyttet i en dybde til fjell-analyse. Følgende steg burde gjennomføres før en slik analyse:

- Steg 1: Skille ut de data som ikke har informasjon om dybde til fjell.
- Steg 2: Fjerne skråboringer som ikke har opplysninger om boreretning og borevinkel.
- Steg 3: Undersøke informasjonsfeltet ”NGU\_kommentar”. NGU har ansvar for kvalitetssikring av data (NGU 2014d). Dersom det er spesielle ting de har påpekt, skal det stå i dette feltet.

Tabell 3.5. Oversikt over relevant informasjon som hører til boringene i GRANADA

Navn	Type informasjon
<b>Brukstype</b>	Hva lokaliteten benyttes til. For eksempel energi eller vannforsyning.
<b>Brønntype</b>	Informasjon om brønntype, for eksempel fjellbrønn.
<b>Boredato</b>	Dato som boringene er utført.
<b>Brøndyp</b>	Informasjon om brønnens dyp
<b>Dyp til fjell</b>	Informasjon om dybde til fjell
<b>Boring</b>	Om det er skråboring eller loddrett
<b>Skråboringavvik</b>	Med hvilken vinkel det er boret skrått i forhold til vertikallinjen
<b>Skråboringretning</b>	I hvilken retning det er boret skrått i forhold til nord
<b>Brønnrørlengde</b>	Lengde på brønnrøret
<b>Andre opplysninger</b>	Diverse observasjoner og faktorer som preget boringen
<b>Stedfestelsesmetode</b>	Hvilken metode som er benyttet for å stedfeste punktet
<b>NGU-kommentar</b>	Dersom NGU har oppdaget noe spesielt under registrering oppgis det her.





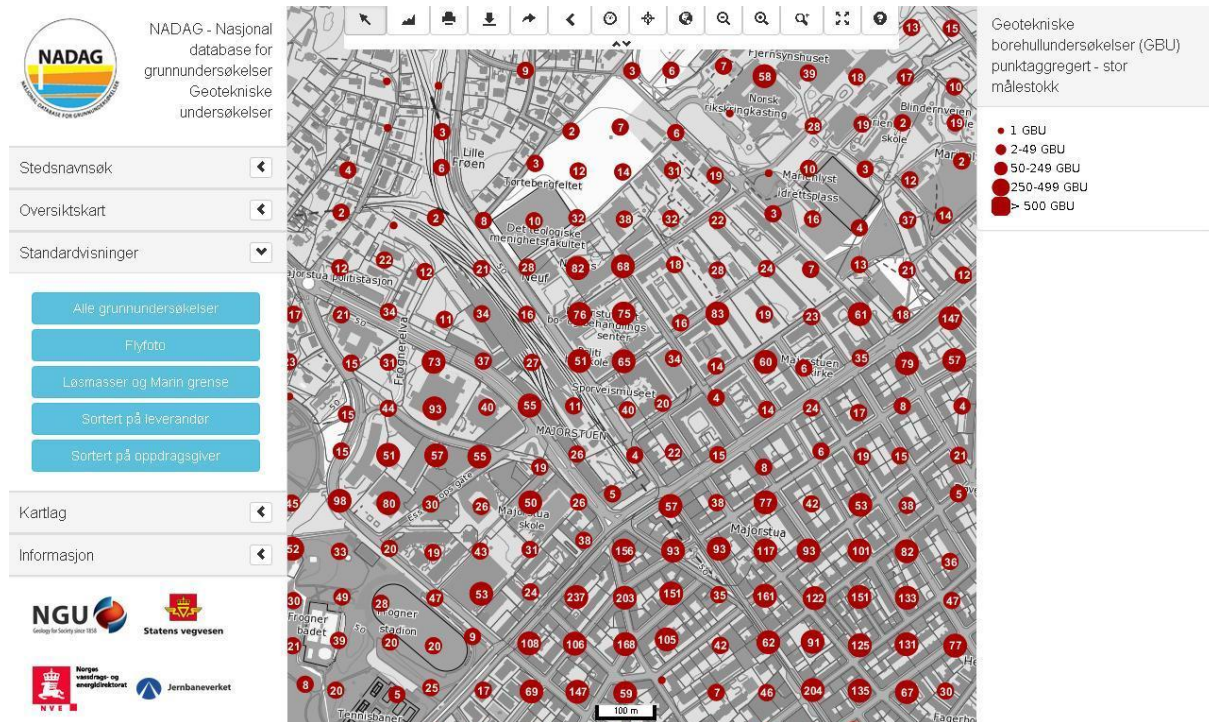
Figur 3.7. Kartet viser alle fjellboringer (blå) og sonderboringer (rosa) som er utført i de sentrale delene av Oslo. Det rosa rektangelet markerer studieområdet på Majorstua. Det viser at ingen boringer fra GRANADA er registrert i studieområdet. Oversikten er hentet fra GRANADA sin kartløsning (NGU 2014c).

### 3.2.4. NADAG

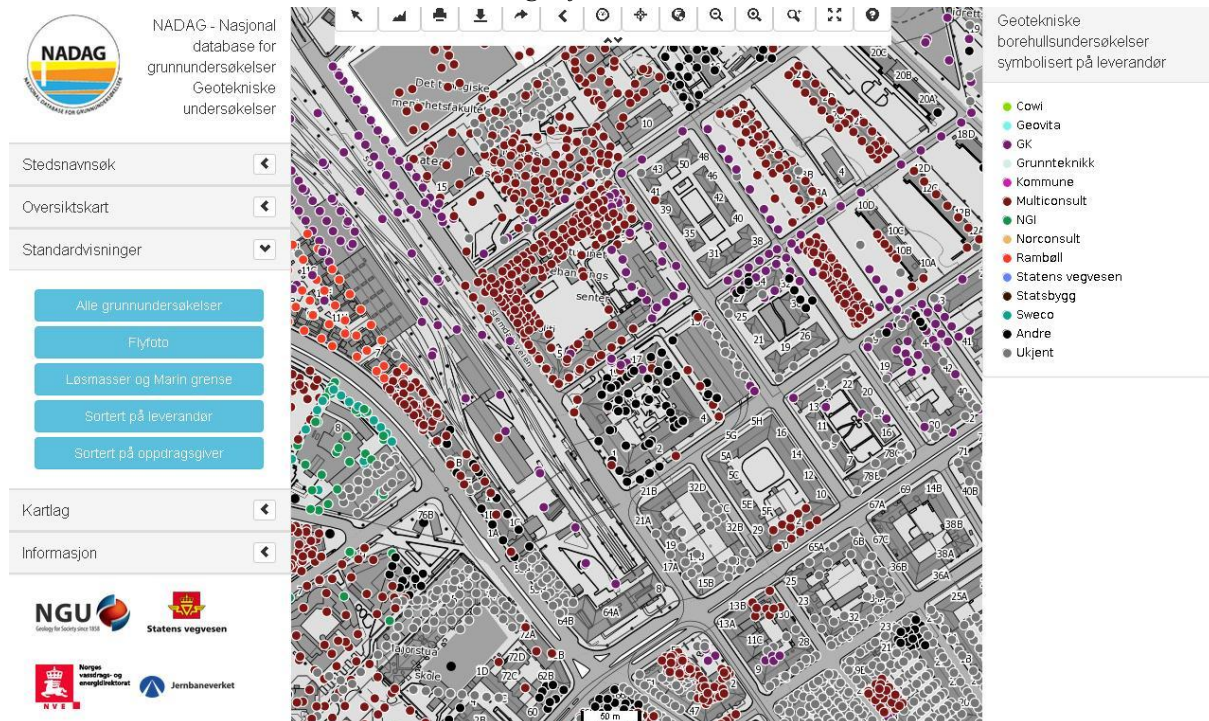
NADAG er den nasjonale databasen for grunnundersøkelser i Norge. Databasen er under utvikling, men en [versjon 1.0](#) fungerer via NGU sine nettsider (NGU 2014f). Foreløpig er det kun data fra Oslo som er tilgjengelig. Eksempler på utseendet i nettsiden kan sees i figur 3.8. og 3.9. Informasjon som er publisert i NADAG, kan fritt benyttes. NADAG har boringer fra flere kilder, blant annet Oslo Kommune sitt Undergrunnsarkiv. I området på Majorstua er det i tillegg registrerte boringer som Statsbygg har vært oppdragsgiver for. 108 av disse har informasjon om boret lengde til fjell, og brukes i en dybde til fjell-analyse. Boringene er



markert i Figur 3.10., og har i tillegg til informasjon om metode, borefirma, oppdragslengde og koordinater.

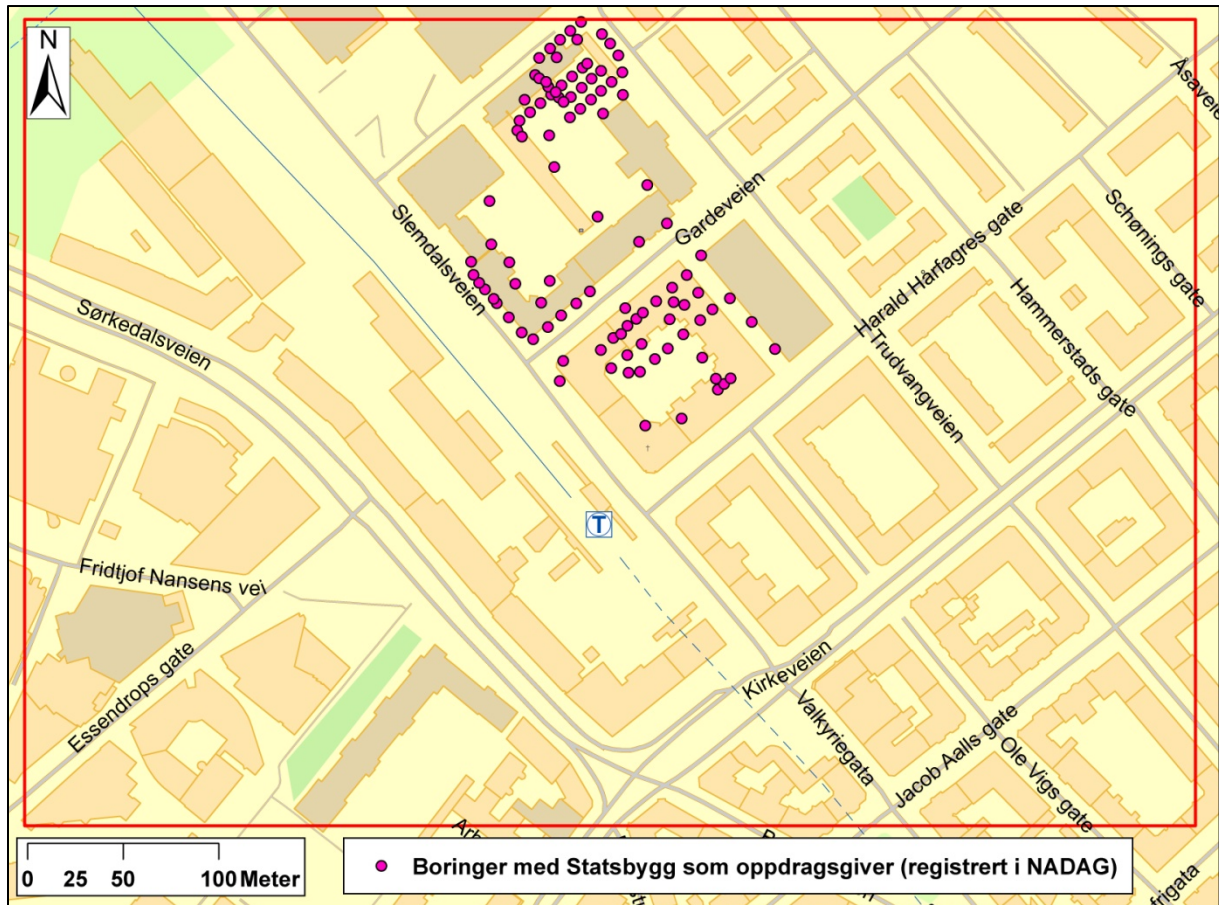


Figur 3.8. Bildet viser en skjermdump fra NADAG sin nettversjon, hentet 21.04.2013 (NGU 2014f). Bildet viser at man kan se tettheten av målinger før man zoomer inn til ønsket område.



Figur 3.9. Bildet er en skjermdump fra NADAG sin foreløpige nettversjon, hentet 21.04.2013 (NGU 2014f). Bildet viser boringer som er sortert etter leverandør.

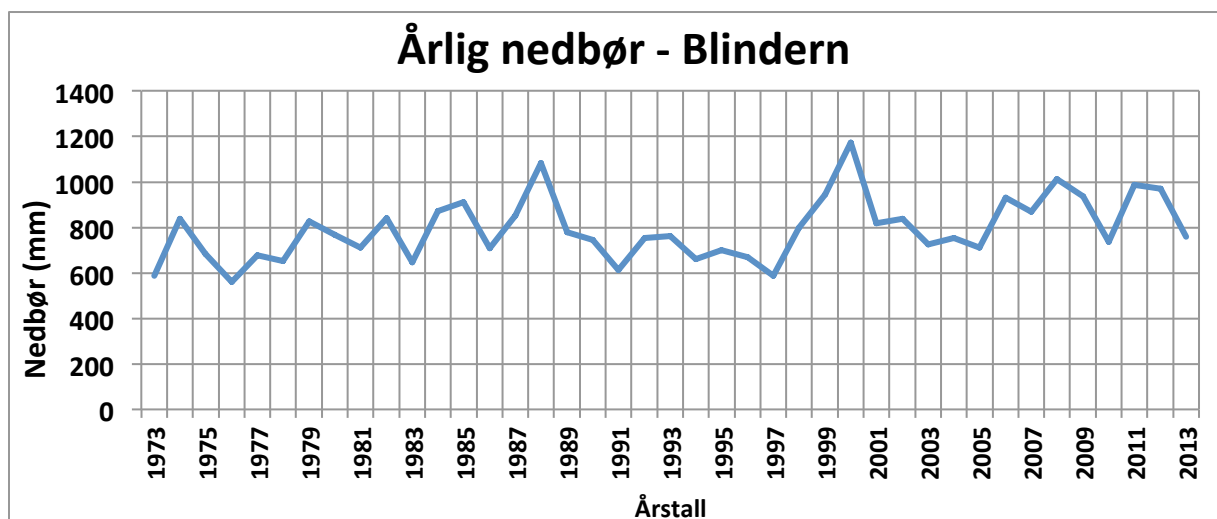




Figur 3.10. Figuren viser studieområdet og boringer der Statsbygg er oppdragsgiver. Boringene har informasjon om dybde til fjell og registrert i NADAG (NGU 2014f).

### 3.2.5. Nedbørsdata

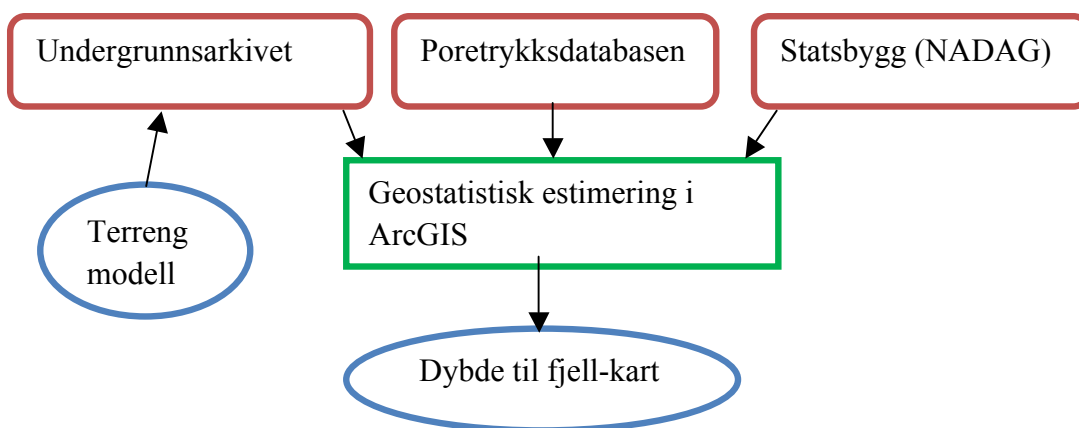
Meteorologiske institutt (2014) har en gratis internettside [e-Klima](#) med tilgjengelige historiske nedbørsmengder. Til denne oppgaven ble det hentet månedlige nedbørsdata for perioden 1.januar 1973 til 1.januar 2014. Nedbøren er målt på Blindern (stasjon med kode 18700), ca. 1 km nord for Majorstua. Den årlige nedbørsmengde (i millimeter) er vist i figur 3.11. Dataene benyttes til å sammenligne med poretrykkets variasjoner, for å se om de påvirkes av nedbøren. År med mye nedbør er 1988 og 2000. År med lite nedbør er 1976, 1983, 1991 og 1997, 2010 og 2013.



Figur 3.11. Grafen viser den årlige nedbøren i millimeter på Blindern, 1km nord for Majorstua.

### 3.3. Fremstilling av dybde til fjell.

Et kart som viser dybde til fjell i studieområdet er nyttig for å bestemme hvilken bebyggelse som står på ujevn fjelldybde, delvis på fjell og delvis på løsmasser og hvilken bebyggelse som befinner seg over dyprenner. Ved hjelp av borer med informasjon om boreddybde til fjell kan man bruke det geostatistiske verktøy i ArcGIS (avsnitt 3.1.1) til å estimere en overflate som viser dybden til fjell. I figur 3.12. vises et diagram over data og prosesser som trengs for å utvikle dette. Prosessen vil videre bli forklart i de neste avsnittene. I vedlegg 3 er all metodikk nøye beskrevet for fremgangsmåte i ArcGIS.



Figur 3.12. Prinsippiskisse som viser fremgangsmåten ved utarbeidelse av dybde til fjell. Nødvendige data til dybde til fjell-estimatet kommer fra Undergrunnsarkivet, Poretrykksdatabasen og Statsbygg sine borer. Noen borer fra Undergrunnsarkivet behøver først informasjon om terrenghøyden. Til slutt estimeres et kart ved hjelp av geostatistisk estimering i ArcGIS.

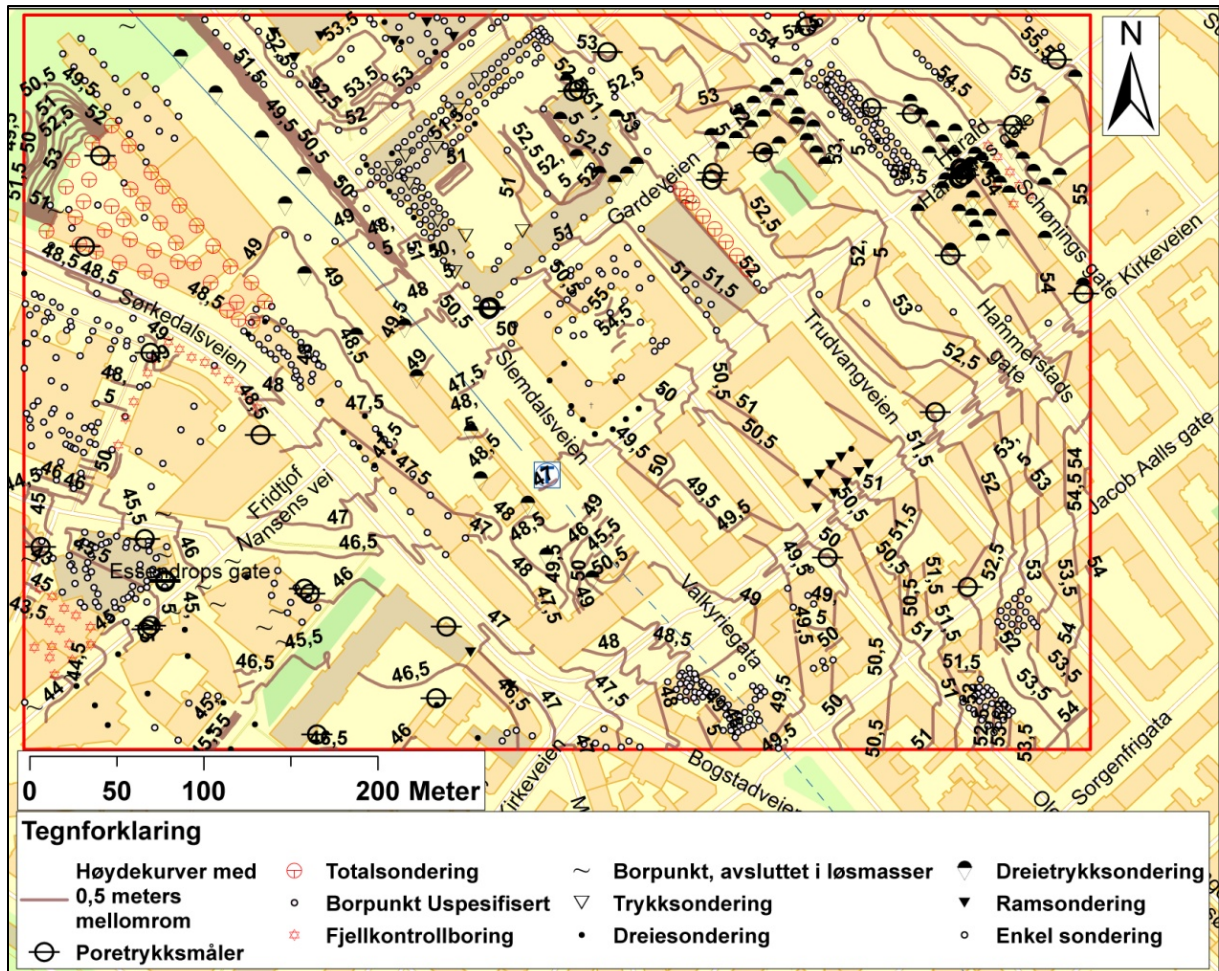
### **3.3.1. Utarbeidelse av digital terrengmodell for å beregne ukjent borelengde**

Fordi 429 av borepunktene i Undergrunnsarkivet som skal brukes i dybde til fjell-analysen ikke har informasjon om terrenghøyde, utarbeides en terrengmodell. ArcGIS har verktøy for automatisk å gi punkter en terrengverdi fra en terrengmodell. Det er enklere enn å gå gjennom punktene manuelt én for én og gi verdi fra nærmeste høydekote. Terrengmodellen vil også brukes senere til å vise overflaten i kvartærgeologiske profiler.

Verktøyet ”topo to raster” i ArcGIS ble benyttet til å lage terrengmodellen. Dette verktøyet ble valgt fordi det kan benytte både kurver og punktdata. Verktøyet gir en terrengverdi til alle deler av området. En første versjon som viste feilverdier og førte til at noen punkter ble slettet fra videre bruk, også i dybde til fjell-analysen, er redegjort for i vedlegg 4. Her vises også et bilde av verktøyet ”topo to raster”, og det gjøres en vurdering av terrengmodellens kvalitet. Data som ble benyttet i den ferdige digitale terrengmodell kan sees i figur 3.13, og omfatter:

- 498 høydekurver som har et mellomrom på 0,5 meter. Disse er gjort tilgjengelige av Plan- og bygningsetaten i Oslo kommune.
- 1005 punkter i undergrunnsarkivet og poretryksdatabasen som har registrert informasjon om terrenghøyde.





Figur 3.13. Figuren viser høydekurvene, og de borepunkt og poretrykksmålere fra Undergrunnsarkivet og Poretrykksdatabasen som brukes til terrengmodellen.

### 3.3.2. Utarbeidelse av dybde til fjell-kart

De borepunkt og poretrykksmålere som har informasjon om fjellhøyden i er registrert i Undergrunnsarkivet Poretrykksdatabasen og NADAG (Statsbygg). Dataene som brukes til å lage et dybde til fjell-kart kan sees i figur 3.14.

Dataene fra de ulike databasene slås sammen til én fil i ArcGIS. I egenskapstabellen plasseres da boreddybden fra de ulike databasene i samme kolonne. Boreddybden brukes fordi det er dybde til fjell som skal fremstilles. Terrengmodellen som er forklart i avsnitt 3.3.1., ble benyttet til å gi 429 borepunkt som manglet informasjon om boreddybde og terrenghøyde, en terrengverdi. For disse punktene benyttes differansen mellom den estimerte terrenghøyden og den kjente fjellhøyden til å beregne boreddybden. Øvrige borer har registrert boreddybde.

Det ble gjennomført en enkel analyse i ArcGIS av dataenes geografiske fordeling i området. Dette er viktig å undersøke at dataene ikke er fordelt med en sterk trend. Det kan gi ikke-representative verdier ved estimering. Selv om studieområdet kan studeres med øyet, er

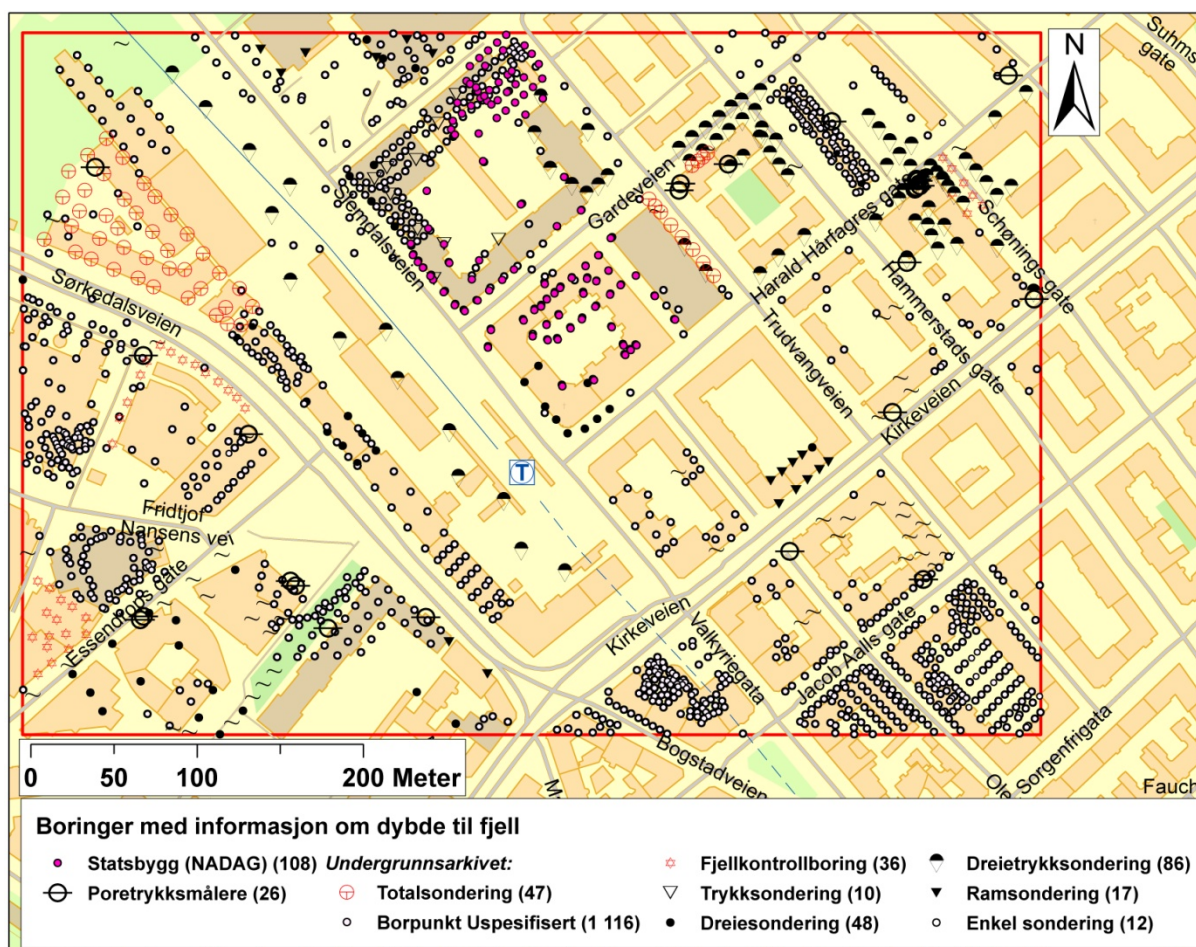
metodik for å undersøke fordelingen beskrevet (i vedlegg 3) fordi det er nyttig hvis metodikken skal brukes i større områder enn studieområdet.

Det ble også gjennomført en analyse av dataenes matematiske fordeling. I avsnitt 3.1.1. forklares det at geostatistiske metoder fungerer best for normalfordelte data. Derfor må det bekreftes at dataene følger en slik fordeling. Det geostatistiske verktøyet har funksjoner som gjør det mulig å fremstille blant annet et histogram over dataene. Dette ble i hovedsak benyttet for å undersøke om dataene viser normalfordeling.

Ved en situasjon der ett eller flere av punktene har samme koordinater, kan man spesifisere om man ønsker å bruke alle data, gjennomsnitt, minimum eller maksimum. Til kartleggingen ble det benyttet maksimal boreddybde for ikke å underestimere fjelldybden. Ulike estimater ble prøves i det geostatistiske verktøyet. til man finner det beste estimatet. Det beholdes som dybde til fjell-kartet.

Etter at estimeringen av dybde til fjell er gjennomført, benyttes kartet til å bestemme hvilken løsmassetykkelse de ulike bygningene står på. Den estimerte flaten vil i hvert punkt ha en dybdeverdi. Verdiene kan deles i ulike intervall for å visualisere hvilke bygg som ligger på hvilke dyp. Hvert bygg kan ved hjelp av verktøy i ArcGIS registreres i en tabell som viser bygningene og deres dybdeintervall. Noen bygg vil få flere rader med ulike dybdeintervall fordi de spenner over flere intervall. Tabellen kan sorteres avansert ved først å sortere etter navn og deretter etter intervall for optimal oversikt. Man kan også bruke selekteringsverktøy i ArcGIS for å velge ut bebyggelse som står på et visst intervall.





Figur 3.14. Figuren viser en oversikt over de ulike boringene og poretrykksmålerne som er brukt til dybde til fjell-estimatet. Antallet er spesifisert i parentes.

### 3.4. Fremstilling av poretrykksdata

Poretrykksdataene består av 43 målere med til sammen over 10 000 målinger. Det er mye data som er analysert og presentert. I arbeidet har forskjellige fremstillingsmåter vært utprøvd.

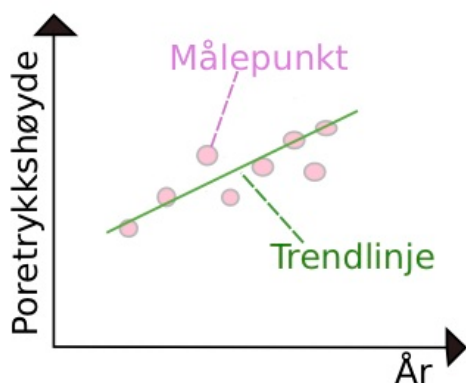
#### 3.4.1. Statistiske analyser

En innledende statistisk analyse der det beregnes median, gjennomsnitt, maksimums- og minimumsverdi og standardavvik for hver måler ble gjennomført. Det gir en oversikt over hvilke målere som preges av store variasjoner. Det ble også valgt å beregne stigningstallet til trenden for hver enkelt måler. Stigningstallet viser om målingene, beregnet fra start til slutt i målerperioden, viser en poretrykksøkning eller -reduksjon. Stigningstallet ble estimert ved hjelp av ”minste kvadraters metode” beskrevet i Walpole et al (2012).

### 3.4.2. Grafisk fremstilling

Ved å plotte alle målepunkt mot en tidsakse kan man få et kontinuerlig bilde over poretrykksituasjonen, både med tanke på dataenes spredning og frekvens. Det er valgt å benytte to metoder for å fremstille grafene.

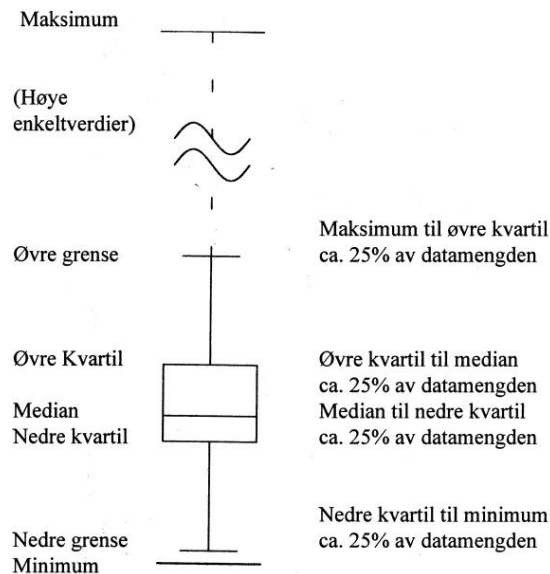
- 1.) **Punktgraf i ArcGIS:** I ArcGIS kan punkter plottes i en graf ("scatter plot"). Normalt sett vil fremgangsmåten være å plotte én og én graf av gangen. Men for et område med mange poretrykksmålere har det i denne oppgaven blitt utviklet en modell i ArcGIS som automatisk plottes grafer for alle poretrykksmålerne. Hver graf blir lagret som bildefil. Fremgangsmåten og modellen kan sees i vedlegg 5. Gjennomsnittslinje og trendlinje inkluderes i grafen for å ha et holdepunkt å sammenligne punktene opp mot. Ved hjelp av "minste kvadraters metode" (Walpole et al. 2012) ble trendlinjen, med stigningstallet fra avsnitt 3.4.1., beregnet. Dataen plottes på x-aksen og poretrykkshøyden på y-aksen. I figur 3.15 vises en prinsippskisse for hvordan en punktgraf med trendlinje ser ut.



Figur 3.15. Figuren viser hvordan en punktgraf med trendlinje kan se ut.

- 2.) **Boksplott i Excel:** Boksplott er en grafisk metode som passer til å presentere mange data. Boksplott forklares i Midtgård et al. (2007), hvor også illustrasjonen i figur 3.16. er hentet fra. Én boks representerer 50 % av dataene. Størrelsen på boksen gir derfor et godt bilde på dataenes spredning. En avlang boks viser data med stor spredning, mens en kort boks viser data med verdier som er svært nære hverandre. Boksens øvre verdi tilsvarer den grense hvor 75 % av dataene har lavere verdi (3.kvartil). Boksens nedre verdi representerer den verdien hvor 25 % av dataene har lavere verdi (1.kvartil). Strekene inne i boksen representerer i tillegg medianen. Medianen viser hvor 50 % av dataene er henholdsvis over og under. Øvrige verdier som er innenfor 1,5 ganger lengden av boksen kan plottes innenfor en feillinje til øvre og nedre grense (se figur 3.16.). Verdier utenfor

dette plottes som enkeltpunkt, og kalles gjerne slengene. Fordi boksplott bør ha minimum 5 data per boks, plottes serier med færre målinger enn 5 som enkeltpunkt. Plottingen av måledataene gjøres i Excel. I Excel samles data kolonnevis langs det ønskede tidsintervallet, og plottes som redigert søylediagram som baseres på de ulike grensene (1. og 3.kvartil og median).



Figur 3.16. Figuren viser et boksplott med forklaring. Illustrasjonen er hentet fra Midtgård et al. (2007).

### 3.4.3. Analyse av områdets trykkfordeling

I kapittel 2.1.2 ble det beskrevet hva som kjennetegner en hydrostatisk trykkfordeling. Ved å bruke Excel kan det analyseres om områder i studieområdet viser hydrostatisk trykkfordeling, eventuelt poreovertrykk eller poreundertrykk. En slik analyse ble gjennomført der hvor poretrykksmålere er installert i ulike høydenivåer på samme lokalitet. I studieområdet gjelder dette 8 områder.

Alle målinger som er utført på lik dato ble samlet i ett excelark. Deretter ble den registrerte poretrykks høyden i hver måling regnet om til poretrykk i  $\text{kN/m}^3$ . Dette gjøres ved å snu formel 2.1., slik at man får:

$$u = (h_t - h) * \gamma_w \quad (\text{formel 3.1.})$$

Som vist i formel 2.2 i avsnitt 2.1.2 har hydrostatisk trykkfordeling en lineær form. For hver meter i dyp vil poretrykket øke med vannets tyngdetetthet ( $\gamma_w$ ). Vannet har en tetthet på  $1000 \text{ kg/m}^3$  og tyngdens akselerasjon er tilnærmet  $10 \text{ m/s}^2$  (Norsk Geoteknisk Forening 1989).

Dette betyr at vannets tyngdetetthet er tilnærmet  $10 \text{ kN/m}^3$ . Det betyr at på én meters dybde skal trykket øke med  $10 \text{ kN/m}^3$ , noe som gir et stigningstall på  $-0,1$ .

Ved å bruke poretrykket som er målt på samme dato, men fra poretrykksmålere med ulike høydenivåer, ble stigningstallet mellom punktene beregnet. Dersom stigningstallet er  $-0,1$  viser poretrykket, i den aktuelle datoen, hydrostatisk trykkfordeling. Dersom stigningstallet er større enn  $-0,1$  viser området poreovertrykk, og hvis det er mindre enn  $-0,1$  viser det poreundertrykk. Dersom man har en måling nærme overflaten og en måling nærme fjellgrunnen, representeres hele området.

Fra de utregnede stigningstallene ble gjennomsnittlig verdi, største verdi og laveste verdi undersøkt. Poretrykket fra datoer med disse stigningstallene velges ut til å lage grafer som viser trykket med dybden. Kurvene sammenlignes med den hydrostatiske kurven. Der det er poretrykksmålere i mange nivåer ble verdiene for gjennomsnitt, størst og minst valgt ut mellom topp og bunn. Men det ble også gjennomført stigningstallsanalyser for hvert nivå. Det kan vise hvor i dybde det eventuelt er stor avvik fra hydrostatisk trykkfordeling.

### **3.5. Fremstilling av kartserie med estimert gjennomsnittlig poretrykksnivå.**

I ArcGIS kan poretrykksdataene benyttes til å estimere poretrykksnivået i de ukjente områdene. Ved å estimere poretrykksnivået for flere år kan man vise poretrykksendringer som todimensjonale kart. Prinsippet ved estimatet er å bruke årsgjennomsnittet av poretrykksnivået til hver poretrykksmåler i studieområdet. Estimatverktøyet vil bruke disse verdiene til å estimere verdier for de ukjente områdene. Poretrykksmålerne måler nivået i ulike høyder, og fra avsnitt 2.1.2. er det kjent at de nedre poretrykksmålingene ikke nødvendigvis representerer grunnvannsstanden. Derfor skal estimatet ikke anses som et estimat av grunnvannsstanden, med mindre området er analysert til å være hydrostatisk fordelt.

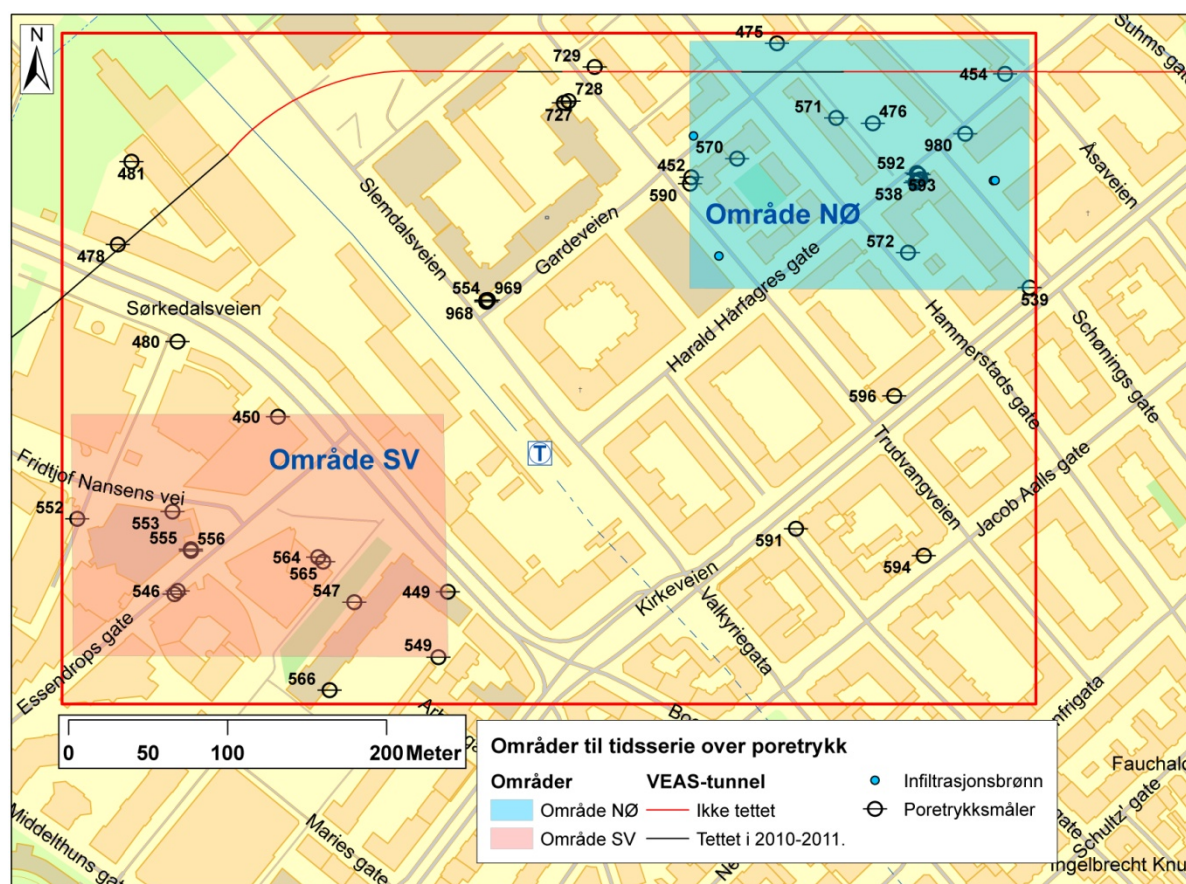
Kartet kan vise i hvilken retning poretrykket eventuelt dreneres. Hensikten er også å få en visuelt god oversikt over poretrykksnivået ved bygninger. Dersom det foregår poretrykksreduksjon over tid, i nærheten av en bygning kan dette oppdages i kartserien. Metoden passer i de områder hvor det er tett med poretrykksmålere. I studieområdet gjelder dette to områder, ett i nordøst og ett i sørvest. Disse kan sees i figur 3.17.

For å spare tid velges mindre tidsintervall. Følgende forventninger settes til bestemmelse av tidsintervall:



1. Å kunne oppdage år der det er typisk maksimums- og minimumsverdier. Dette undersøkes ved å sammenligne årsmedian og årsnedbør.
2. Benytte år med spesielle hendelser, slik som for eksempel kraterdannelsen i 2002 (jmf. 2.2.5.) som skjedde på grunn av økende vanninnang i infiltrasjonsbrønnene.
3. Benytte år der det er god dekning av data både i antall målinger og antall målere.

Til estimeringsmetode benyttes geostatistisk analyse dersom kravene fra avsnitt 3.1.1. er oppfylt. Hvis ikke anvendes "IDW" (beskrevet i kapittel 3.1.).



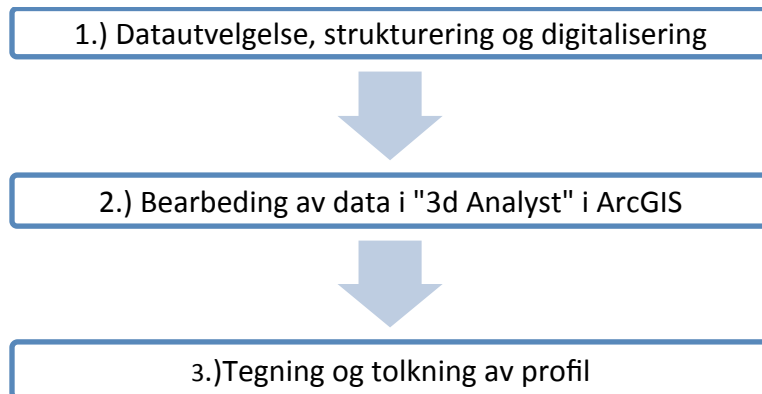
Figur 3.17. Figuren viser de to områdene som benyttes til å estimere en kartserie som viser hvordan poretrykket endres med tiden.

### 3.6. Fremstilling av kvartærgeologiske profiler

Med kvartærgeologiske profiler menes profiler som viser løsmassefordelingen i dybden langs utvalgte profillinjer. Gjennom de tilgjengelige geotekniske rapportene i Undergrunnsarkivet fås en oversikt over hvilke jordartstyper som dominerer studieområdet. Men for et helhetlig bilde er det hjelpsomt å fremstille geologiske profiler. I vedlegg 6 er det gitt en detaljert



beskrivelse av fremgangsmåten i ArcGIS. I dette kapittelet gis en generell oppsummering av de tre hovedstegene som gjennomføres og som sees i figur 3.18.



*Figur 3.18. Figuren viser de tre hovedstegene som gjennomføres for å lage kvartærgeologiske profiler.*

### **1.) Innledende datautvelgelse og -strukturering:**

Alle geotekniske rapporter for studieområdet ble samlet fra Undergrunnsarkivet for å avgjøre hvilke profillinjer det var mulig å lage. Det ble registrert hvilke borepunkt som hadde tilhørende rapporter og om rapportene var tolkbare. Kun de boreloggene hvor det var registrert lagdeling, ble benyttet. Dette gjaldt 78 borepunkt. Det ble etterspurt og tilgjengeliggjort 3 rapporter fra henholdsvis Multiconsult og NGI for å utfylle profilene. Det ble likevel satt en inkluderende grense på 2,5 meter fra profillinjen til borepunktene. Det vil si at borepunkt som var innenfor 2,5 meter fra profillinjen, ble med i profilet. Dette var nødvendig for å danne profillinjer med mer enn 1 eller 2 borepunkt. De utvalgte profillinjene kan sees i figur 3.19.

Etter at det var avgjort hvor profilene skulle gå, ble de aktuelle boreloggene digitalisert ved hjelp av Excel. Rapportene har varierende detaljbeskrivelser, fra forskjellige årstall. Derfor er det lurt å forsøke å standardisere dataene mest mulig, for eksempel ved å benytte kjente standarder. I Norge er det via Statens Kartverk tilgjengelige standarder for deling av geografisk informasjon, såkalte SOSI-standarder. En slik standard finns blant annet for geotekniske boringer (Statens Kartverk 2011). For digitalisering av de geologiske profilene ble denne brukt som mal for klassifisering av hovedlag. I de tilfeller der det er spesifisert et hovedlag i boreloggene, for eksempel "sand og grus", velges det minste hovedlaget. Dette

gjøres fordi de mindre lagene gjerne er mest utsatt for setninger. Inndelingen i hovedlag kan sees i tabell 3.6. Ved digitalisering av boreloggende ble følgende kolonner laget i Excel:

- **ID:** Dette er et unikt ID-nummer som ble laget til utviklingen av de geologiske profilene basert på PDF-nummer og borehullsnummer. De samme ID-nummer ble også registrert i egenskapstabellen til borepunktene i ArcGIS. ID-nummeret er nødvendig for å koble exceltabellen til punktene i ArcGIS.
- **Z:** Dette tilsvarer høydekoten ved hvert lagskille, inkludert topp og bunn av boringen.
- **Navn:** Her ble navnet på hovedlaget til jordarten, basert på SOSI-standarden (Statens Kartverk 2011) sin inndeling, registrert. Se tabell 3.6. for detaljer.
- **Kode:** I SOSI-standarden har hvert hovedlag en unik tallkode som brukes. Disse sees i tabell 3.6. Nivået for slutten av boringen settes til 999.
- **Beskrivelse på jordarten:** I de fleste boreloggene er det oppgitt en beskrivelse av jordartene, for eksempel siltig eller bløt.
- **Terrengstart, boringslutt og intervallslutt:** Disse har ingen betydning for selve kartleggingen, men ble brukt som kontroll ved digitaliseringen.

Excelarkene ble gitt navn som tilsvarte profilen de representerte. De ble importert til ArcGIS og koblet til borepunktene ved hjelp av ID-nummer.

Poretrykksdata inkluderes også i profilene. På grunn av begrenset antall poretrykksmålere og et relativt flatt terreng ble det inkludert poretrykksmålere innenfor 20 meter fra profillinjen. Poretrykksmålerne har flere høyderegristreringer. De har informasjon om høydenivået på poretrykket fra alle utførte målinger, i tillegg til høyderegristreringer om topp og bunn på brønnen. For å kunne si noe om poretrykksforholdene er det viktig å vite i hvilken høyde og i hvilken geologisk enhet som poretrykket måles. Derfor sees informasjon om brønnens bunn som viktigst å visualisere. Brønnens bunn ble derfor registrert som z-verdi.

I tillegg til borepunktene og poretrykksmålerne trengs informasjon om overflate og fjellflate. Overflateinformasjonen finnes fra terrengmodellen (avsnitt 3.3.1.), mens fjellinformasjon skapes med estimering av fjellflaten. Til dette formålet kan de samme dataene som ble benyttet i dybde til fjell-analysen benyttes. Det vil si de data fra Undergrunnsarkivet, Statsbygg og Poretrykksdatabasen som har informasjon om fjellhøyde. Triangulering, som er forklart i avsnitt 3.1.1., benyttes til dette og gjøres ved hjelp av verktøy i ArcGIS.

Tabell 3.6. Tabellen viser hvilke løsmassene er delt inn i, i de geologiske profilene. SOSI-standard er brukt som utgangspunkt (Statens Kartverk 2011).

Lagnavn	Kode
Leire	11
Matjord	12
Fyllmasse	13
Sand	20
Silt	21
Grus	32
Tørskorpeleire	33
Kvikkleire	34
Morene	35
Slutt	999

## 2) Utarbeidelse av 3D profil-data.

Profilene skal fremstilles todimensjonalt med henholdsvis en x-verdi tilsvarende avstanden fra profilstarten og en Z-verdi som tilsvarer høyden. For å gi dataene disse verdiene benyttes verktøyet "3d-analyst" i ArcGIS. Til profilene brukes verktøyet på følgende data:

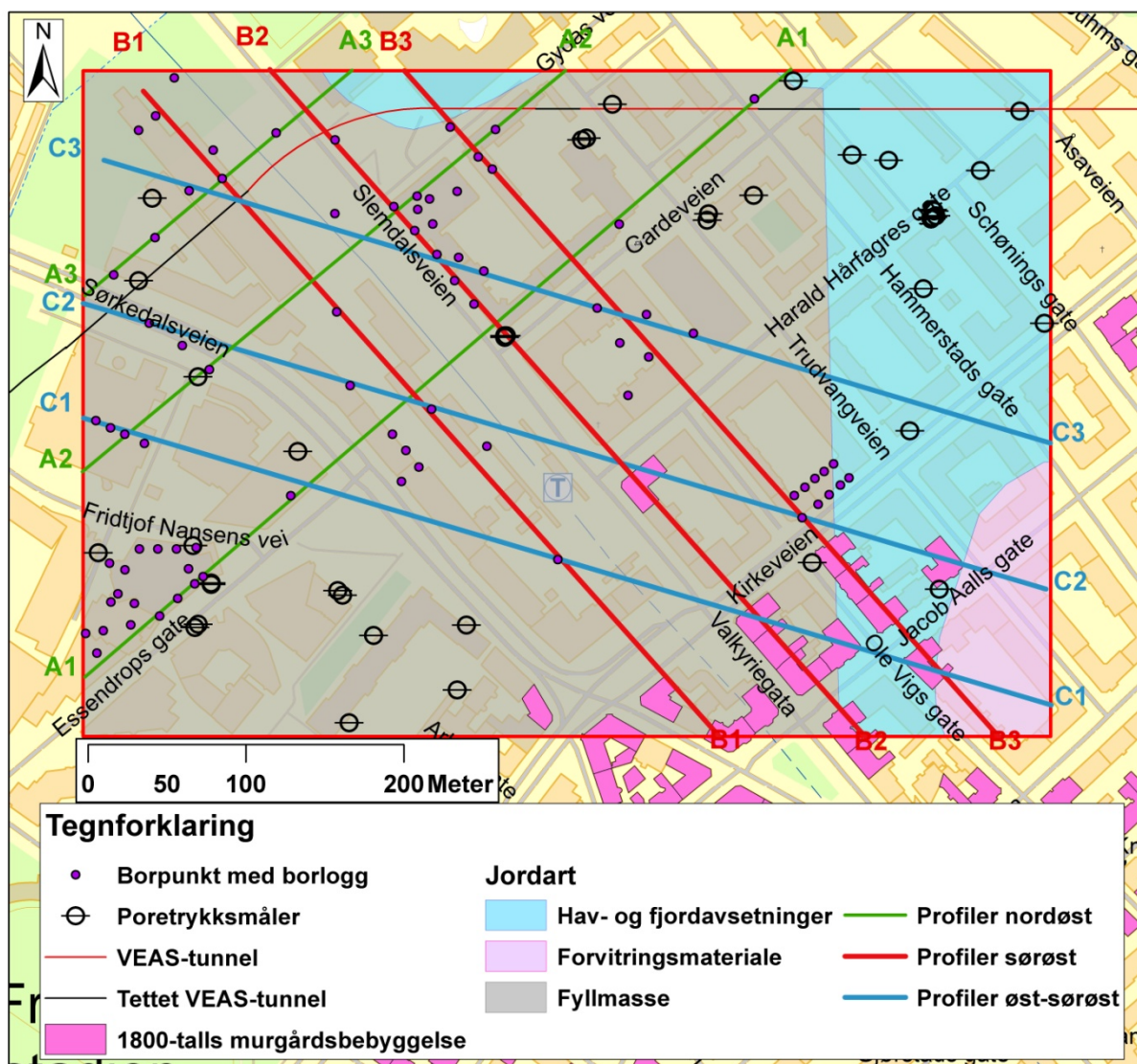
- **Terrengmodellen:** Fremstilles som tette punkter som senere kan gjøres om til linje ved hjelp av verktøyet "point to line".
- **Fjellflaten:** Fremstilles som tette punkter som senere kan gjøres om til linje siden ved hjelp av verktøyet "point to line"
- **Borepunkt:** Fremstiller hvert skille mellom løsmasselagene i boreloggen basert på den registrerte z-verdien fra boreloggene.
- **Poretrykk:** Fremstilles med punktet der poretrykket måles inn basert på den registrerte høydeverdien til bunnen av poretrykksmåleren.
- **Bebyggelse:** Fremstiller alle punkter langs terrenglinjen hvor profillinjen krysser bebyggelse.
- **Murgårdsbebyggelse fra 1800-tallet:** Fremstiller alle punkter langs terrenglinjen hvor profillinjen krysser murgårdsbebyggelse fra 1800-tallet.
- **T-bane og vei:** Fremstiller alle punkter langs terrenglinjen hvor profillinjen krysser t-bane eller vei.

- T-banetrasé som går i tunnel og VEAS-tunnelen markeres inn med riktig x-verdi, men da deres høydeplassering er ukjent, plasseres høyden vilkårlig.

### **3.) Fremstilling og tegning av profilene:**

De nye verdiene ble importert inn i et tomt kartdokument i ArcGIS. Fordi dataene mister sine opprinnelige egenskaper ved bearbeidelse i "3d Analyst", må de kobles sammen på nytt. Det ble gjort ved å legge inn ID-nummeret på nytt og bruke verktøy i ArcGIS til å koble punktene til de opprinnelige egenskapene ved hjelp av felles ID-nummer og felles høyde. I tillegg ble de poretrykksmålinger som hører til de poretrykksmålere som er med i profilen importert inn ved hjelp av felles målnummer. Den importerte filen gis samme x-verdi som poretrykkspunktet i profilet, og høydeverdien på vannkotene i målingene spesifiseres som høydeverdi. Det gjør det mulig å vise poretrykkmålingenes høyde i profilet. Det ble valgt bare å vise maksimums- og minimumshøyde og høyden som representerer sist registrerte måling.

Når alle data var hentet inn ble profilene ferdiggjort ved å tolke, tegne og symbolisere geologien og poretrykket.



Figur 3.19. Figuren viser de 9 profillinjene hvor det lages geologiske profiler. Tegnforklaringen spesifiserer i hvilken retning profilene blir laget. B1 og C3 går ikke over hele området fordi det mangler informasjon om fjellterrenget i det nordvestlige hjørnet. Figuren viser profilene sammen med NGU sin kartlegging av løsmasser.

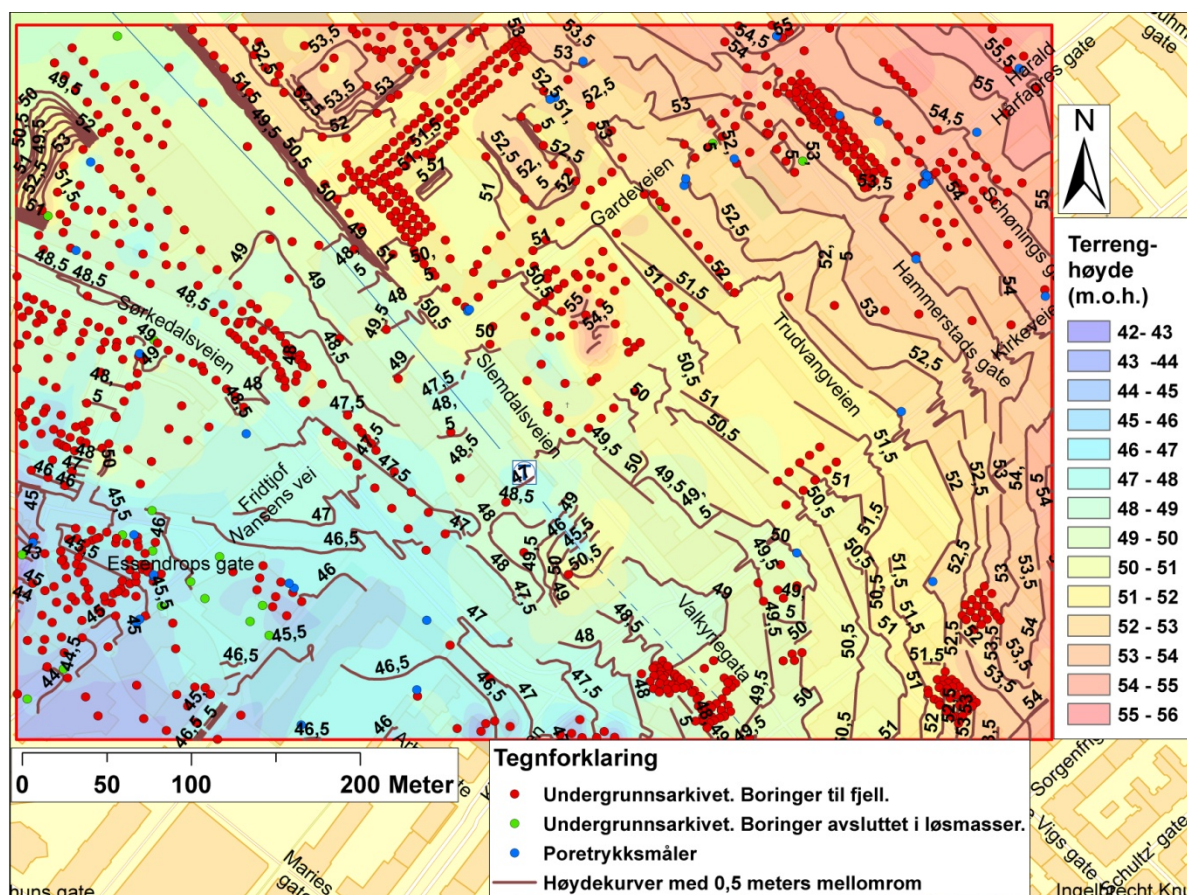


## 4. Resultater

### 4.1. Dybde til fjell

#### 4.1.1. Terrengmodell

Den ferdige terrengmodellen med de benyttede dataene kan sees i figur 4.1. Resultatet gir et bilde av det relativt flate terrenget i studieområdet. Den største estimerte høyden er på 55,6 m.o.h. og den minste er på 42,5 m.o.h. Av de 429 punktene som ble gitt en terrenghøyde fra terrengmodellen fordi de ikke hadde informasjon om verken terrenghøyde eller boreddybde, fikk 6 punkter en negativ verdi innenfor 1 meter. De ble fjernet fra videre dybde til fjellanalyse. Men metoden ble vurdert som pålitelig (validering ble gjennomført i vedlegg 3). Standardavviket på estimatet er 2,8 meter.



Figur 4.1. Kartet viser den ferdige terrengmodellen med punkter og konturer som er benyttet i estimatet. Området på Majorstua stiger mot nordøst, og har på det meste en høydeforskjell på 12-13 meter.

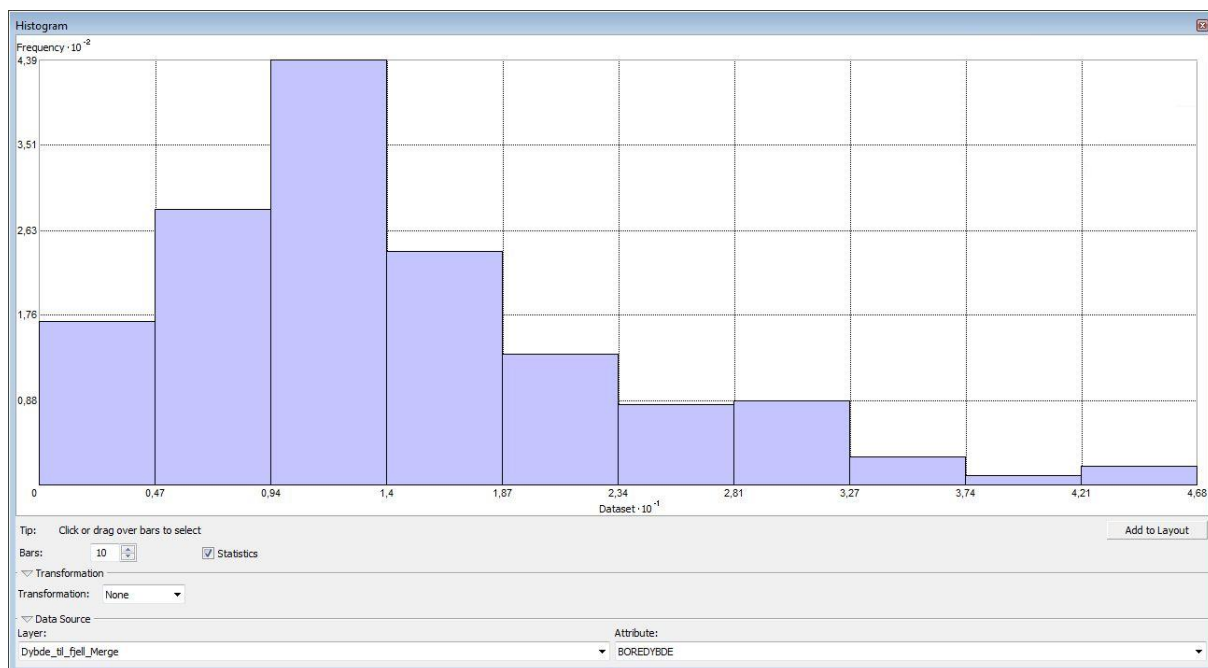
#### **4.1.2. Resultat av geografiske, matematiske og geostatistiske analyser**

Dataenes geografiske fordeling ble undersøkt. Fremgangsmåte og illustrasjon for dette finnes i vedlegg 3. Resultatet viste at dataens geografiske gjennomsnitt og geografiske median er nærme hverandre, og sentrert omtrent i midten av studieområdet. Analysen viste også at det var lengst mellom punktene i retning  $105^\circ$  og nærmest i retning  $15^\circ$ .

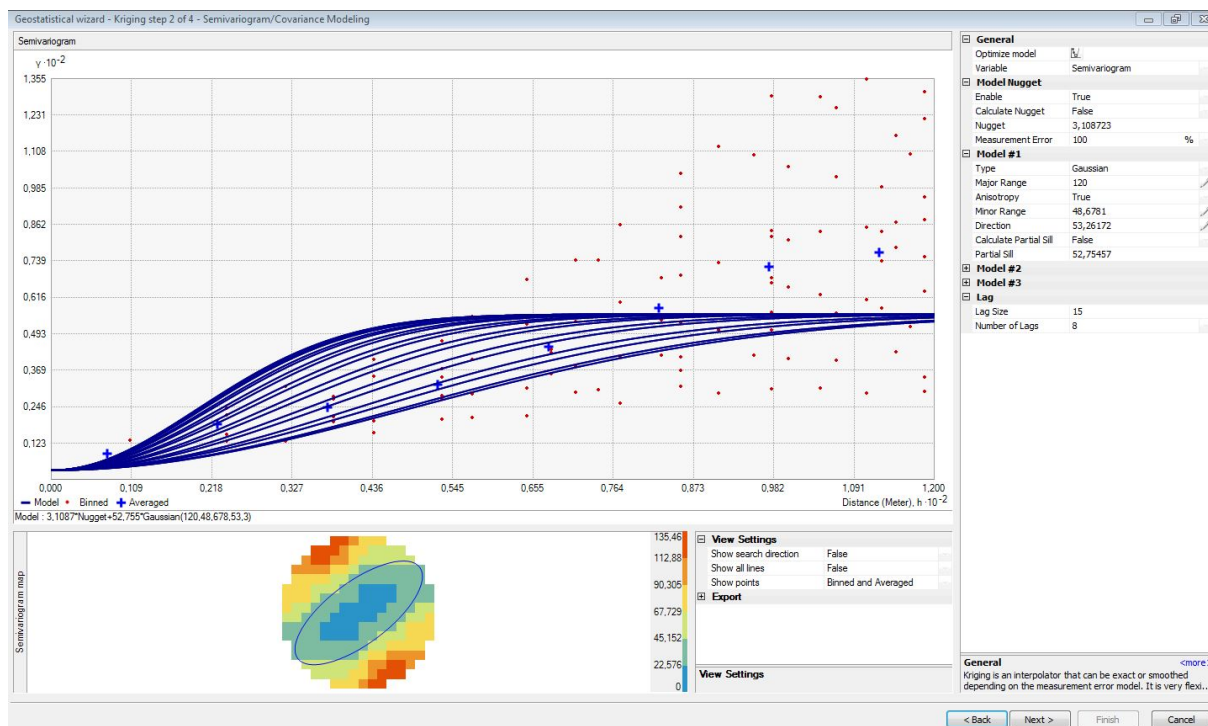
Den matematiske fordelingen viste en tilnærmet normalfordeling. I figur 4.2. vises dataenes fordeling i et histogram. Dataene er litt forskjøvet mot høyre. Ulike transformasjoner ble prøvd, men ingen bedret normalfordelingen. Fordi dataene er tilnærmet normalfordelt, ble de vurdert til å benyttes til et geostatistisk estimat. Dataenes gjennomsnitt er 14,24 meter og medianen er 12,45 meter. Verdiene er nærme hverandre noe som er et kjennetegn på normalfordeling. Den lengste registrerte boringen er 46,8 m og den korteste 0,01 m.

Ved estimering av semivariogrammet ble en gaussiansk semivariogrammodell valgt. I figur 4.3. kan semivariogrammodellen sees. Denne modellen var nærmeste dataenes gjennomsnittlige variasjon. Dataene ble rettet for anisotropi fordi semivariogrammet endret seg med retningen. Det vil si at dataene i områder varierer ulikt i de ulike retningene. Modellen har en influensavstand på 120 meter. Ved utarbeidelse av overflate antar modellen at det er en sammenheng mellom variasjonen til borepunktene på 120 meters avstand. Hensikten med å bruke geostatistiske analyse er å kunne velge det beste dybde til fjell-estimatet basert på statistikk, og ulike modeller ble utprøvd. En liste over ede parameter som ble benyttet i den ferdige geostatistiske analysen, kan sees i vedlegg 7.

I tabell 4.1 gis en oversikt over dataene som ble benyttet til å estimere dybde til fjell. Dette inkluderer de som er blitt tilegnet en verdi fra terrengmodellen



Figur 4.2. Figuren viser histogrammet til boreddybdedataene. Ved normalfordeling vises symetri, og det skal være mulig å tegne en bjelleform over histogrammet. I dette tilfellet viser dataene en tilnærmet normalfordeling, men med en større spredning av data med høye verdier.



Figur 4.3. Figuren viser semivariogrammodellen til estimatet. Det ble valgt en gaussiansk modell og korrigert for anisotropi. Det ga en influensavstand på 120 meter.

### 4.1.3. Dybde til fjell -kart

I figur 4.4. sees de lokaliteter (borepunkt og poretryksmålere) som er benyttet til å estimere dybde til fjell-overflaten. Punktene er indikert med farge som representerer i hvilket bore-dybdeintervall boreddybden deres er registrert. En oversikt over dataene som er inkludert er også gitt i tabell 4.1. Den ferdige estimerte versjonen av dybde til fjell kan sees i figur 4.5. Der vises også 18 borepunkt fra Undergrunnsarkivet som er avsluttet i løsmasser. Disse boringene er ikke benyttet til å estimere dybde til fjell og kan derfor brukes som en sjekk på at estimat er rimelig riktig. Disse boringene angir minimum løsmassetykkelse og må derfor ikke ligge i et intervall som har kortere dybde til fjell enn løsmassetykkelsen. Én måling utmerker seg ved å ligge utenfor riktig intervall. Det gjelder boringen ved Sørkedalsveien på 20,2 meter, som ligger i estimatet 15-20 meter. I beste fall er det kun snakk om et feilestimat på litt over 20 cm. De borepunkt som er avsluttet i løsmasse og som ligger innenfor riktig estimat, har uansett opp til 5 meters usikkerhet på grunn av dybdeinndelingen i kartet.

Kartet viser at området er preget av stor variasjon. Én markert dyprenne går fra vest-sørvest til nord-nordøst. Det dypeste punktet ligger ved Fridtjof Nansen vei i nærheten av Colosseum kino og er 47 meter dypt. Det er også dypt til fjell i det nordvestlige hjørnet og rundt Hammerstadgate. De fleste løsmassetykkelsen er mellom 5 og 20 meter. Store, grunne områder finnes noen steder i sørøst og nordvest.

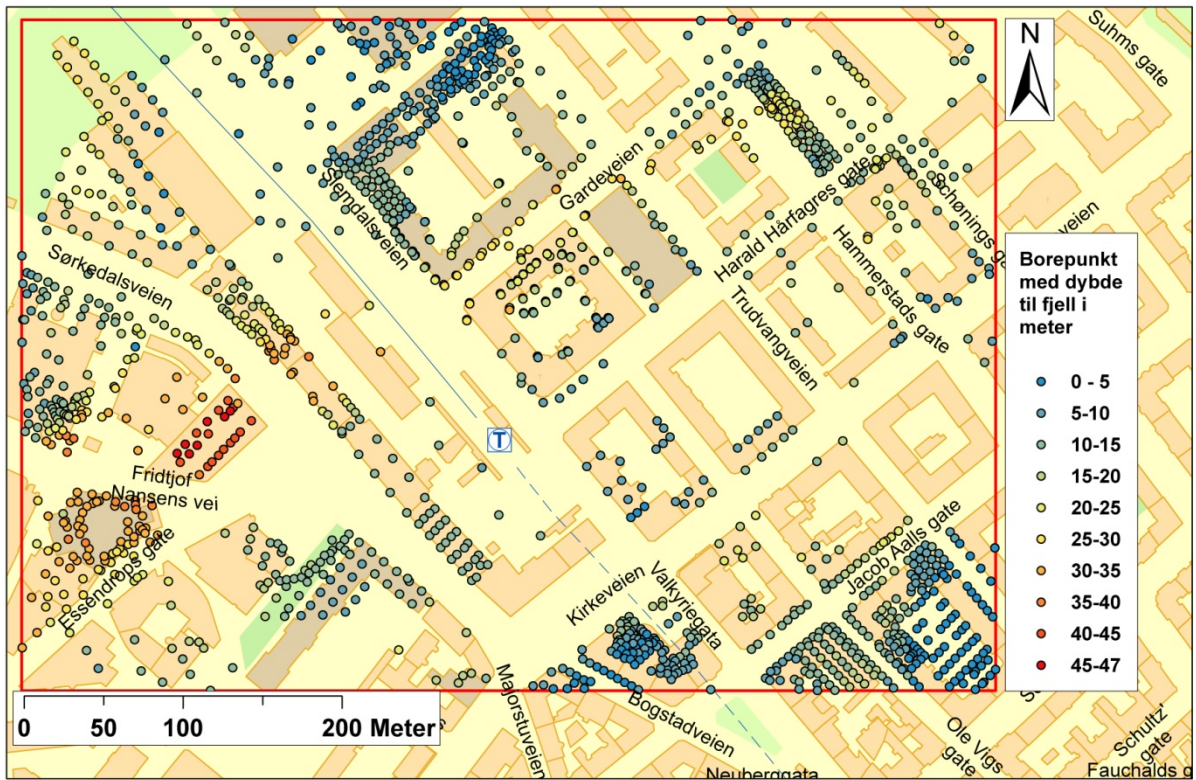
I figur 4.6. sees standardavviket til den estimerte flaten. Kartet viser at området stort sett har relativt lavt standardavvik på 0 til 2 meter, mens det er noen områder langs Kirkeveien, Trudvangveien og i utkanten av studieområdet som har høy usikkerhet opp mot 9 meter.

I figur 4.7. sammenlignes dybde til fjell kartleggingen med overflategeologien som er kartlagt av NGU. Sammenligningen viser at de dypeste områdene er der hvor NGU har kartlagt fyllmasse.

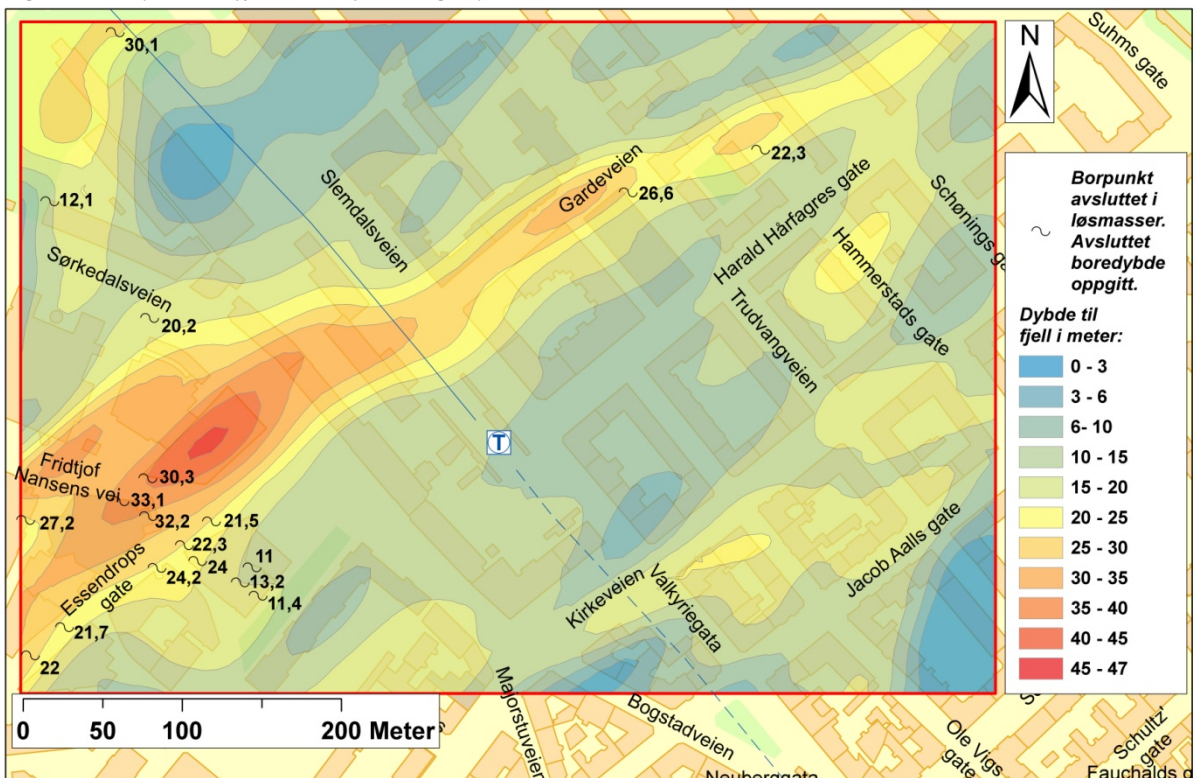
Tabell 4.1. Tabellen viser en oversikt over de dataene som ble benyttet til å estimere dybde til fjell i studieområdet

Navn	Kilde	Antall
Undergrunnsarkivet	Dybde til fjell	1372 punkt
Poretryksdatabasen	Dybde til fjell	26 punkt
Statsbygg fra NADAG	Dybde til fjell	108 punkt



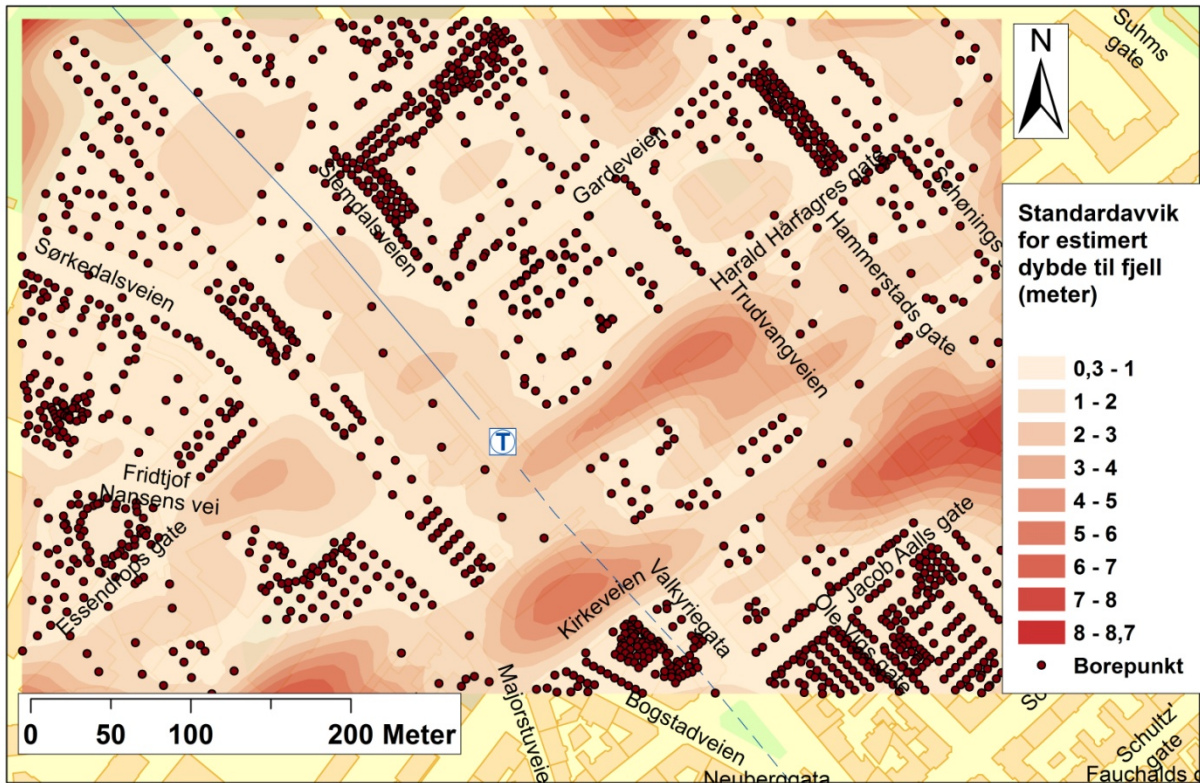


Figur 4.4. Figuren viser punktene som er benyttet til å estimere dybde til fjell. Fargen indikerer deres registrerte dybde til fjell innenfor valgt dybdeintervall.

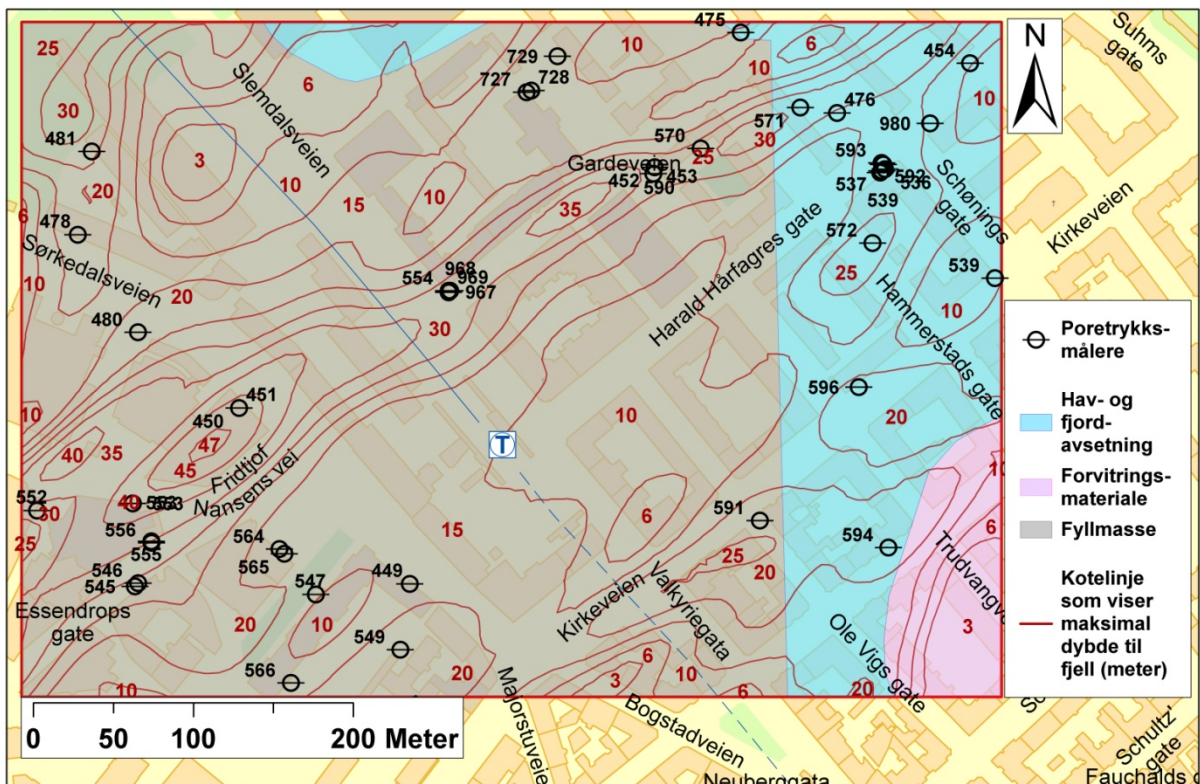


Figur 4.5. Kartet viser den estimerte dybden til fjell med indikerte boreddybde på boringer avsluttet i løsmasse. De viser at estimeringen virker å være ganske korrekt. Det eneste punktet som ikke stemmer overens med dybdeintervallet er punktet som er målt ved Sørkedalsveien på 20,2 m. Det er registrert som minimum løsmassedybde på 20,2 m, men ligger i et dybde intervall på 15-20 meters dyp til fjell.





Figur 4.6. Kartet viser det estimerte standardavviket og borepunkter som er brukt i analysen for dybde til fjell. Kartet viser at de områdene som ikke har borepunkt, har stort standardavvik og stor usikkerhet, dette gjelder særlig i kantene av studieområdet.



Figur 4.7. Kartet viser NGU sin kartlegging av løsmassegeologi for området sammenlignet med dybden til fjell. Tallene i kotelinjene angir maksimal estimert dybde til fjell.

#### 4.1.4. Bygningsanalyse med dybde til fjell-kart

Formålet med dybde til fjell-kartet er å lokalisere hvilke hus som er i faresonen for setningsskader basert bare på fjelltopografien. Fokuset i bygningsanalysen har særlig vært på murgårdsbebyggelse fra 1800-tallet fordi byggene er fundamentert på treflåter som kan være utsatt for setningsskader (avsnitt 2.1.3. og 2.3.3.). Det er spesielt kritisk der bygningen er delvis fundamentert på fjell og delvis på treflåter i løsmassene.

I figur 4.8. er all bebyggelse i studieområdet lagt på dybde til fjell-kartet. Dybdeintervallet i dybde til fjell-kartet er delt inn i 0-3 m, 3-6 m, 6-10 m, og deretter ved hver 5.meter opp til 45 – 47 m. Intervallet 0-3 meter kan på bakgrunn av informasjonen i 2.3.3 klassifiseres som fjell. Ved hjelp av selekteringsverktøy i ArcGIS ble det undersøkt hvilken murgårdsbebyggelse fra 1800-tallet som står på hvilken dybde. Resultatet er oppsummert i tabell 4.2. Av de 17 bygningen i studieområdet ligger ingen kun på fjell. Derfor kan ingen av murgårdsbygningene fra 1800-tallet sies å være utenfor risiko for setningsskader.

2 bygninger er lokalisert delvis på fjell og delvis på antatte treflåter på løsmasser. Disse bygningene er forstørret og markert i figur 4.9. Den sørligste bygningen ligger delvis utenfor studieområdet, men de deler av bygningen som ligger innenfor, omfatter en potensiell løsmassedybde fra 0 til 10 meter. Den nordligste bygningen ligger fullstendig innenfor studieområdet og kan potensielt sett omfatte dybde på 0 til 15 meter.

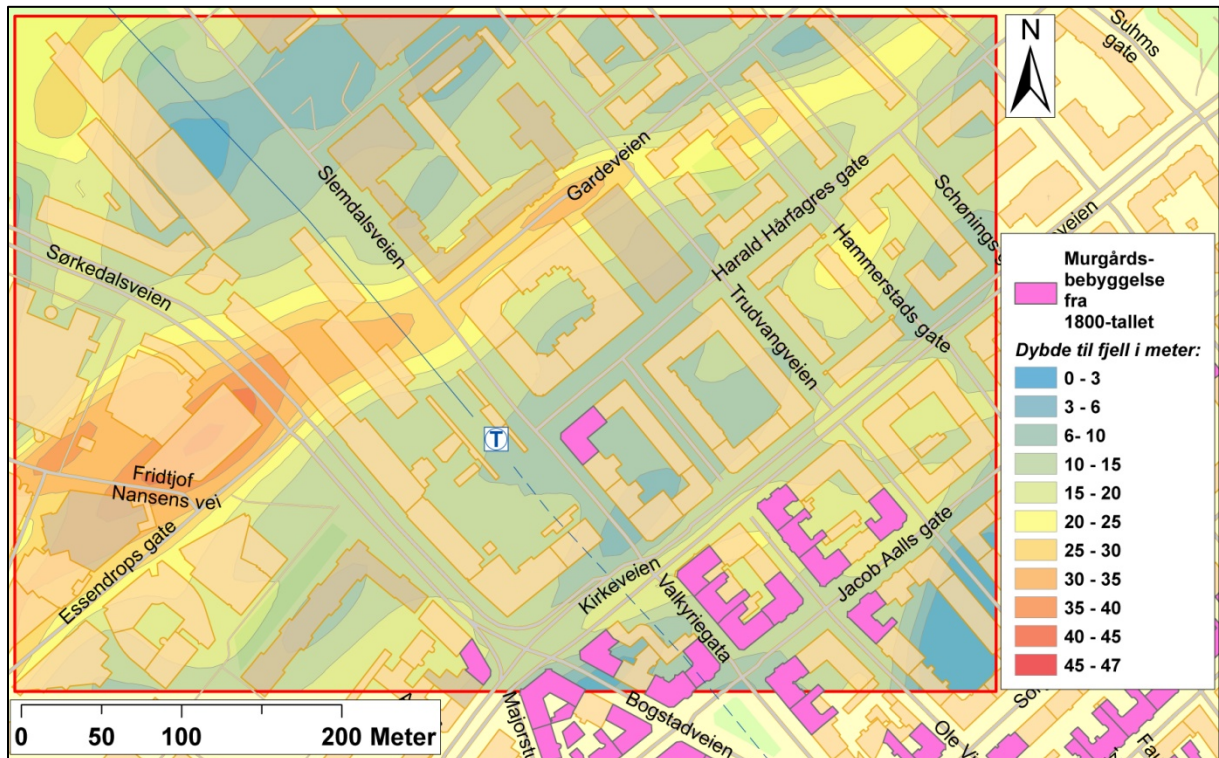
I vedlegg 8 finnes en tabell som er utført med sammenslåingsverktøy i ArcGIS og som gir en oversikt over hvilken murgårdsbebyggelse som ligger over hvilke dybdeintervaller.

For øvrig viser resultatet at bebyggelsen rundt Sørkedalsveien er lokalisert over en dyprenne. Det inkluderer blant annet Colosseum kino som ligger på sørvestlig side av krysset mellom Essendrops gate og Fridtjof Nansens vei. Det er områder der det potensielt sett kan foregå store setninger.

Tabell 4.2. Tabellen gir en oversikt over ved hvilken dybde til fjell de fleste murgårdbygningene ligger.

Bebyggelse i områder hvor avstanden mellom terreng- og fjelloverflaten er minimum:	Antall registrert murgårdsbebyggelse
3 m	15
6 m	14
10 m	11
15 m	3
20 m	0





Figur 4.8. Figuren viser estimatet av dybde til fjell med bebyggelsens plassering. Murgårdsbebyggelsen fra 1800-tallet er markert med rosa.



Figur 4.9. Kartet gir et nærmere bilde av murgårdsbebyggelsen som ligger delvis på fjell og delvis løsmasse. De to byggene er streket rundt med turkis. Potensielt sett kan deler av det nordligste bygget ha en løsmassedybde på 15 meter. Det sørligste bygget kan ha en løsmassetykkelse på 10 meter (innenfor studieområdet).

## **4.2. Presentasjon av statistiske og grafiske analyser av poretrykksdata**

### **4.2.1. Innledende statistikk for hver poretrykksmåler**

Den innledende statistiske analysen over de 43 poretrykksmålerne i studieområdet er oppsummert i tabell 4.3. Dataene for hver poretrykksmåler er også plottet i et boksplokk i figur 4.10. Noen av poretrykksmålerne viser målinger over terrenghøyde. Det vil bli videre presentert i avsnitt 4.2.3.

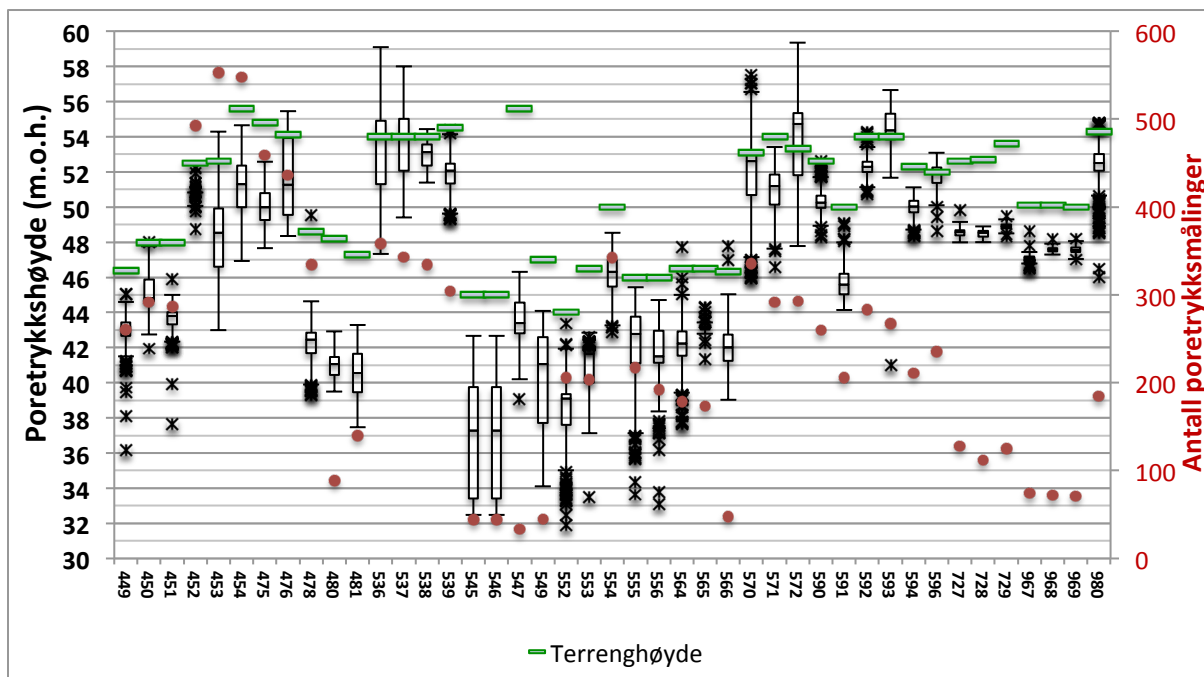
Resultatet i tabell 4.3. viser at det er store forskjeller i største årlige variasjon, noe som kan ha lokale årsaker. 13 poretrykksmålere (453, 454, 476, 536, 537, 554, 570, 571, 590, 594, 596, 969 og 980) har sin største variasjon i år 2002. Dette er samme år som kraterdannelsen (jmf. 2.2.5.). Dette året ble også én infiltrasjonsbrønn avviklet, mens to andre etter hvert ble installert. De nevnte poretrykksmålerne er alle i det nordøstlige hjørnet, og viser en maksimal variasjon opp mot 10 meter på ett år. Målerne 968, 728 og 729 viser liten maksimal variasjon på under 1 meter.

Stigningstallet ble beregnet fra start til slutt på målingene, og representerer sånn sett ulike tidsintervall. Stigningstallet viser om trenden er positiv eller negativ (henholdsvis poretrykksøkning eller poretrykksreduksjon) og viser gradienten til trenden. 12 målinger viser negativ trend, men 5 av disse er ikke lenger aktive. Figur 4.11. gir oversikt over hvordan den negative og positive trenden fordeler seg. Måler 545 og 547 viser i særklasse mest negativ trend, men disse har kort måleperiode med poretrykksregistreringer kun fra 1989 til henholdsvis 1991 og 1992. Det samme gjelder for måler nummer 547 som også viser negativ trend. Av de som er aktive i dag viser måler 593 mest negativ trend. Mest positiv trend viser poretrykksmåler nr. 553 og nr. 980. Trenden vil bli videre presentert i neste avsnitt.

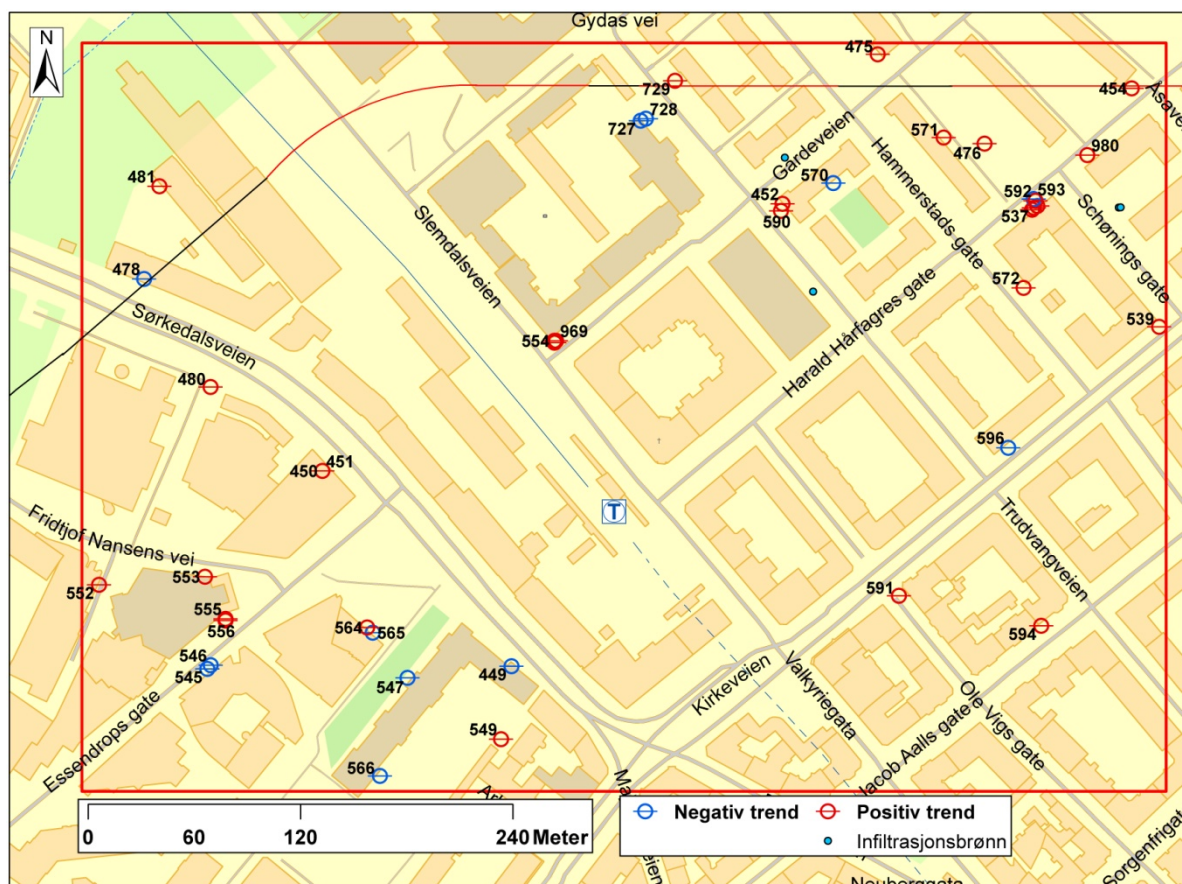
Tabell 4.3. Tabellen viser beskrivende statistikk for hver poretryksmåler.

Måler- nr	Start måle- periode (år)	Siste måling (år=)	Totalt antall målinger	Terr- eng- høyde (m.o.h)	Poretrykk (m.o.h.)				Største variasjon per år (m)	Stan- dard- avvik (m)	Stig- nings- tall
					Min	Maks	Median	Gjennom- snitt			
449	1975	2013	261	46,4	36,2	45,1	43,19	42,93	7,45 (1976)	0,93	-0,0002
450	1975	2013	292	48	42	47,97	44,8	45,09	3,47 (1998)	0,71	0,04
451	1975	2013	287	48	37,7	45,91	43,78	43,64	6,48 (1976)	0,76	0,02
452	1975	2013	492	52,5	48,8	52,29	50,44	50,46	3,17 (2012)	0,24	0,009
453	1975	2013	553	52,6	43	54,29	48,53	48,54	8,82 (2002)	2,46	0,12
454	1975	2013	548	55,6	46,9	54,64	51,31	51,22	4,37 (2002)	1,54	0,02
475	1978	2013	459	54,8	47,7	52,56	49,99	50,01	3,53 (1979)	1,04	0,05
476	1978	2013	436	54,1	48,4	55,45	51,26	51,75	4,52 (2002)	2,33	0,14
478	1973	2005	334	48,6	39,3	49,56	42,47	42,22	6,49 (1973)	1,04	-0,009
480	1979	1987	89	48,2	39,5	42,92	41,06	40,97	3,43 (1980)	0,72	0,04
481	1979	2005	140	47,3	37,5	43,27	40,55	40,46	4,38 (1982)	1,47	0,13
536	1990	2013	358	54	47,3	59,1	54	53,26	10,05 (2002)	2,68	0,06
537	1990	2013	343	54	49,4	58	54	53,58	5,45 (2002)	2,05	0,002
538	1990	2013	334	54	51,4	54,45	53,14	52,96	2,61 (1994)	0,79	0,03
539	1990	2013	304	54,4	49,3	54,37	52,06	51,84	3,12 (1992)	0,97	0,07
545	1989	1991	44	45	32,5	42,67	37,28	39,69	8,82 (1990)	3,2	-4,09
546	1989	1991	33	45	39,1	46,3	43,4	45,57	7,24 (1990)	1,47	-0,07
547	1989	1992	45	55,6	34,1	44,1	41,07	39,91	6,59 (1994)	3,19	-3,31
549	1990	2013	168	47	40,9	44,82	43,3	43,33	2,69 (1997)	0,67	0,05
552	1990	2013	206	44	31,9	43,35	39,12	38,28	10,06 (1990)	2	0,16
553	1990	2013	204	46,5	33,5	42,85	41,66	40,59	6,77 (1990)	2,15	0,18
554	1990	2013	342	50	42,9	48,53	46,33	46,21	4 (2002)	1,15	0,09
555	1980	2013	217	46	33,6	45,45	42,78	41,96	9,74 (1990)	2,41	0,15
556	1980	2013	192	46	33,1	44,72	41,51	46,21	4,6 (1997)	1,82	0,09
564	1990	2013	178	46,5	37,7	47,68	42,24	41,89	6,77 (1990)	1,57	0,1
565	1990	2013	173	46,5	41,4	44,3	43,12	43,12	1,89 (1991)	0,27	-0,006
566	1990	1993	48	46,3	39	47,75	42,02	42,18	6,58 (1990)	1,62	-0,03
570	1991	2013	336	53,1	45,9	57,52	52,63	51,84	10,95 (2002)	2,22	-0,02
571	1991	2013	292	54	46,6	53,41	51,20	50,99	5,44 (2002)	1,2	0,02
572	1991	2013	293	53,3	47,8	59,35	54,74	53,86	6,97 (1991)	2,47	0,02
590	1991	2013	260	52,6	48,3	52,62	50,23	50,41	2,47 (2002)	0,67	0,007
591	1992	2013	206	50	44,1	49,08	45,58	45,72	4,57 (1992)	0,89	0,07
592	1992	2013	283	54	50,7	54,3	52,28	52,3	3,49 (1994)	0,49	0,02
593	1991	2013	267	54	41	56,67	54,35	54,97	13 (2011)	1,23	-0,06
594	1991	2013	211	52,3	48,3	51,12	50,01	49,97	2,71 (2002)	0,49	0,02
596	1991	2013	235	52	48,6	53,09	52,01	51,89	4,47 (2002)	0,75	-0,03
727	1996	2013	128	52,6	48	49,8	48,56	48,54	1,39 (2012)	0,23	-0,0003
728	1996	2013	112	52,7	48	48,9	48,52	48,49	0,59 (2011)	0,24	-0,01
729	1996	2013	125	53,6	48	49,48	48,90	48,89	0,67 (2012)	0,17	0,006
967	2001	2013	74	50,1	46,5	48,63	47,13	47,08	1,58 (2012)	0,29	0,03
968	2001	2013	72	50,1	47,3	48,17	47,58	47,57	0,7 (2013)	0,14	0,01
969	2001	2013	71	50	47	48,2	47,56	47,56	1,21 (2002)	0,25	0,02
980	12002	2013	185	54,3	46	54,77	52,5	52,25	6,47 (2002)	1,55	0,22





Figur 4.10. Boksene viser hvordan målingene til de ulike målerne fordeler seg. Grafen viser også antall poretrykksmålinger og terrenghøyde for hver poretrykksmåler.



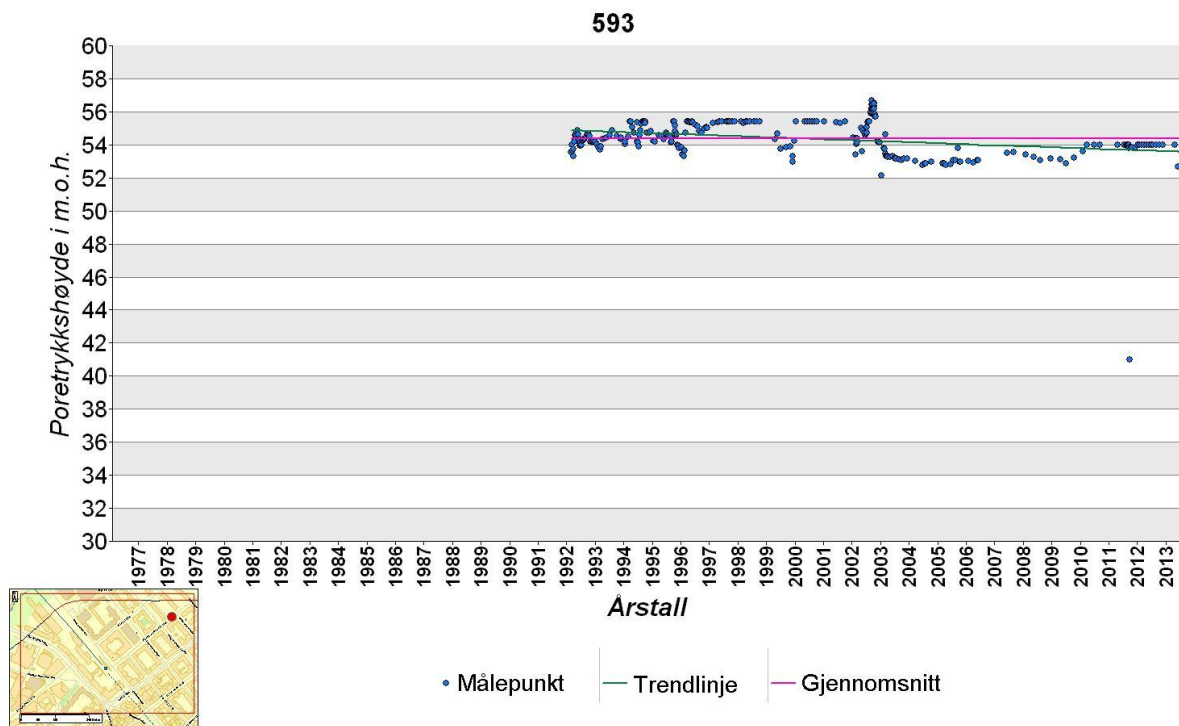
Figur 4.11. Kartet viser hvilke områder som viser en positiv trend og hvilke som viser en negativ trend basert på utregnet stigningstall fra første måling til siste måling.

### 4.2.2. Punktgraf

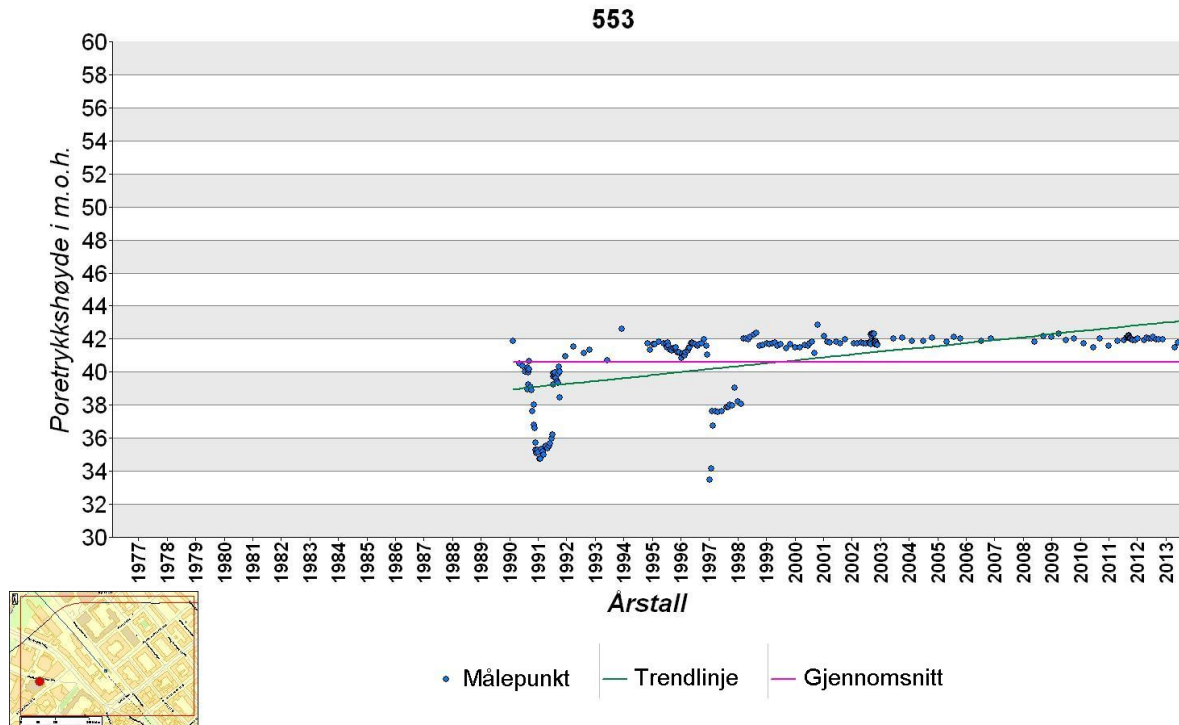
Det er blitt plottet én punktgraf per poretrykksmåler. Punktene i grafen representerer alle målinger som er utført. Y-aksen viser hvilken poretrykkshøyde per innmåling. Alle plottene har lik y-akse med inndeling fra 30 til 60 m.o.h. X-aksen viser årstallet som målingene er utført. Alle plottene har også lik x-akse som går fra 1977 til 2013. Hensikten er at det skal være lett å sammenligne dem visuelt. Trendlinjen, som baseres på stigningstallet som ble beregnet i avsnitt 4.3.1., og som fremgangsmåten for i ArcGIS er forklart i vedlegg 5, inkluderes også i alle grafene. Det gjør også en beregnet gjennomsnittslinje. Punktgraf for hver poretrykksmåler er presentert i vedlegg 9.

I dette avsnittet er det valgt å presentere grafene til de to poretrykksmålerne med henholdsvis høyest og lavest trend. Fra avsnitt 4.3.1. ble poretrykksmåler 593 beregnet til å ha mest negativ trend av de poretrykksmålerne som er målt over flere år. Grafen til poretrykksmåler 593 kan sees i figur 4.12. Grafen viser at målingene er relativt jevne. Men fra 1995 til 2002 er målingene jevnt høye, og etter 2002 er de jevnt lave. Poretrykksmåler 593 ligger i nærheten av brønn 3 som ble installert i 1991, og i nærheten av brønn 4 som ble installert i 2002. Det er heller ikke så langt til infiltrasjonsbrønn 1 som det fra avsnitt 2.2.5. ble kjent hadde stor utføring av vann mellom 1995 og 2002. I 2011 er det målt inn ett nivå som er svært lavt. Det er ikke kjent hva dette skyldes. Punktet bidrar til å gi en negativ trend.

Den poretrykksmåler med nest mest positiv trend, 553, kan sees i figur 4.13. Denne er valgt istedenfor 980 som har høyere trend, fordi 553 måler inn helt fra 1990, mens 980 kun måler fra 2002. Grafen viser at poretrykksmåleren har relativt jevne data, men voldsomme poretrykksreduksjonene i 1990 og 1991 har gjort at den positive trenden blir stor. De lave verdiene i 1990 og 1991 er målt inn samtidig med byggingen av Kredittkassen (jmf. 2.2.5.). I 1997 og 1998 vises også lave verdier, men det er ikke kjent hvorfor.



Figur 4.12. Grafen viser hvordan måler 593 sine målepunkt er fordelt. Den rosa linjen viser gjennomsnittet og den grønne viser trenden. Trenden viser seg å være negativ. Måleren ligger i det nordøstlige området. I 2011 er det målt et veldig lavt punkt som kan påvirke trenden negativt.



Figur 4.13. Grafen viser hvordan måler 553 sine målepunkt er fordelt. Den rosa linjen viser gjennomsnittet og den grønne viser trenden. Trenden er positiv, men i 1991-92 og 1997-98 er det lave verdier. Måleren ligger i det sørvestlige området.

### 4.2.3. Boksplott

Det har blitt laget ett boksplott per poretrykksmåler. Disse kan sees i vedlegg 10. Hvert boksplott er plassert på et eget boksplottskjema med informasjon om poretrykkmålerens koordinater, terrenghøyde, fjellhøyde (hvis oppgitt) og innmålingshøyde. Med innmålingshøyde menes det høydenivået hvor poretrykket måles. Boksplottskjemaet skal kunne kobles til poretrykksmålerne i et digitalt kart.

Hver boks representerer dataene fra ett år. I de år hvor det er målt inn 4 eller færre målinger, er målingene plottet punktvis. I de tilfeller der det er målt inn flere enn 4 målinger, men ett eller flere kvartal, mangler er det oppgitt under grafen. Y-aksen viser poretrykkshøyde, mens X-aksen representerer årstallene. Y-aksen er i alle tilfeller delt inn i 17 meters høydeforskjell, men med ulike topp- og bunnverdier. Boksplottene gir en oversikt over hvilke poretrykksmålere som har store variasjoner i poretrykksnivå. I boksplottskjemaet følger i tillegg en mindre versjon hvor årlig nedbørsmengde sammenlignes med boksplottet. I dette avsnittet vil de viktigste punktene, med eksempler, bli presentert.

- Poretrykksmålere med målnummer på 400-tallet har lengst tidsintervall på boksplottet fordi de er målt inn siden 70-tallet. Disse er presentert i figur 4.14 - 4.24.
- Poretrykksmåler 454 som måler inn fra 1975 til 2013 viser et forløp som er i overensstemmelse med hendelsene knyttet til setningsproblemene og infiltrasjonsbrønnene i den nordøstlige delen av studieområdet. Denne poretrykksmåleren ligger rett over VEAS-tunnelen. Grafen til 454 kan sees i figur 4.18 (gjengitt som boksplottskjemaet i vedlegg 10). Fra 1975 til 1990 vises en nedadgående kurve. I 1991 blir 3 infiltrasjonsbrønner installert (jmf. 2.2.5). Dette året og i 1992 økes poretrykket og variasjonen i poretrykk kraftig. Poretrykket avtar deretter frem til 2002 da det igjen økes. Dette er samme år som to nye infiltrasjonsbrønner blir installert (jmf. 2.2.5.). Poretrykket holder seg generelt høyt frem til 2012 hvor det igjen økes voldsomt. Dette er samme år som tettingen av VEAS-tunnelen er ferdig. Fordi figur 4.18. viser boksplottskjemaet, er det inkludert en sammenligning med værdata. Det virker ikke å være noen sammenheng med årlig nedbørsmengde.
- Poretrykksmåler 453 utpeker seg som den poretrykksmåler som viser største variasjoner per år over lang tid. Grafen til 453 kan sees i figur 4.19.
- I det sørøstlige området med murgårdsbebyggelsen (jmf. 2.2.1) er det to poretrykksmålere 591 og 594. De er ikke preget av variasjoner, men 591 utmerker seg

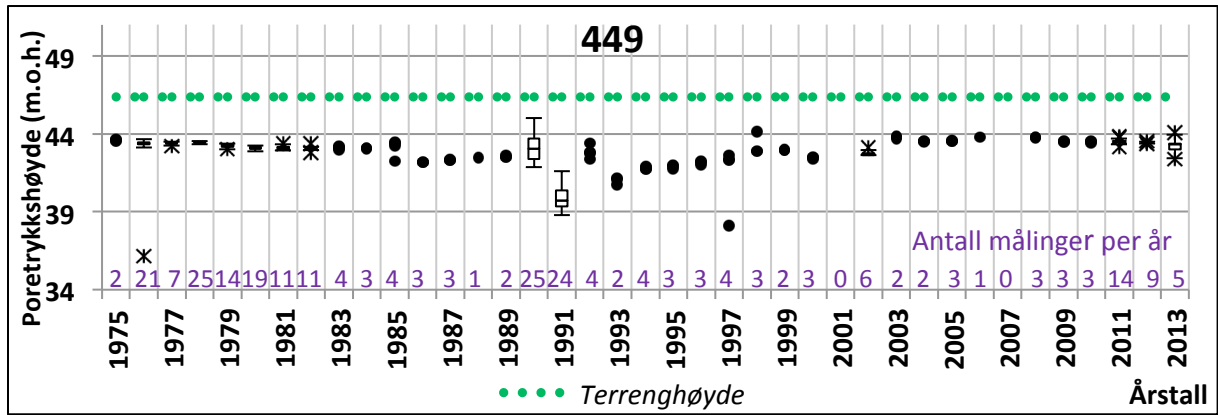
med en økning av poretrykksnivå fra og med 2002. Dette året ble to infiltrasjonsbrønner installert nord for området hvor 591 måler poretrykket. Grafen til poretrykksmåler 591 er illustrert i figur 4.25.

- Poretrykksmåler 571 er den måleren som viser best overensstemmelse med nedbørmengden. Sammenligningen kan sees i figur 4.26.
- I den sørvestlige del av studieområdet måler flere poretrykksmålere inn poretrykket i samme lokalitet men i ulike dybde (545 og 546, 555 og 556 og 564 og 565). Ingen sammenhengende variasjon eller trend har vært synlig mellom disse. 555 og 556 er valgt ut som eksempel på dette. De er målt inn ved 25 meters høydeforskjell og boksploottene kan sees i figur 4.27. og figur 4.28.
- I det sørvestlige området utmerker 1990 og 1991 seg som år med store variasjoner. Dette vises i plottene til poretrykksmåler 556, 555, 552 og 553 i figur 4.27-4.30. Dette er samme årene som byggingen av Kredittkassen (jmf. 2.5.2.).
- Ved en sammenligning av dype og grunne målere i det nordøstlige området viser de dypeste målerne mest variasjon. Dette gjelder lokaliteten med poretrykksmålere 593, 592, 538, 537 og 536. Den øverste målingen (592) viser mer stabilitet enn den nederste (536). Dette er illustrert i figur 4.31. og 4.32. Poretrykksmåler 452, 453 og 590 som ligger 150 meter vest for disse, viser motsatt situasjon. Den grunneste, 453 (figur 4.19) er mer stabil enn den dypeste, 452 (figur 4.17). Poretrykksmåler 590 (figur 4.33.) måler poretrykkshøyden i nivå mellom disse. Den viser mindre variasjon enn 453, men større enn 452.
- Fire poretrykksmålere som er grunnere enn 7 meter fra terreng høyden, er 450 (figur 4.16.), 549 (figur 4.34.), 565 og 969. Disse viser en poretrykkshøyde på mellom 1 og 5 meter under terrenget. Poretrykksmåler 549 illustrerer dette i figur 4.37. De andre poretrykksmålerne som er grunnere enn 7 meter fra terreng høyde, er 453 og 556. Disse viser i blant verdier lavere enn sin registrerte høyde (ned til 10 meter under terreng høyde). Her kan det være feil registrert høyde. Poretrykksmåler 453 er illustrert i figur 4.19. og poretrykksmåler 556 i figur 4.27.
- Poretrykksmåler 453 (figur 4.19.), 476 (figur 4.21), 536 (figur 4.32), 537, 570 (figur 4.35), 572, 593, 596 (figur 4.36) og i mindre tidsperioder 538 og 980 viser i løpet av måleperioden poretrykksnivå som ligger over terreng høyden. Av disse er 453 og 593 grunnest. De måler poretrykket 5 meter under terrenget. De ligger begge i tilknytning

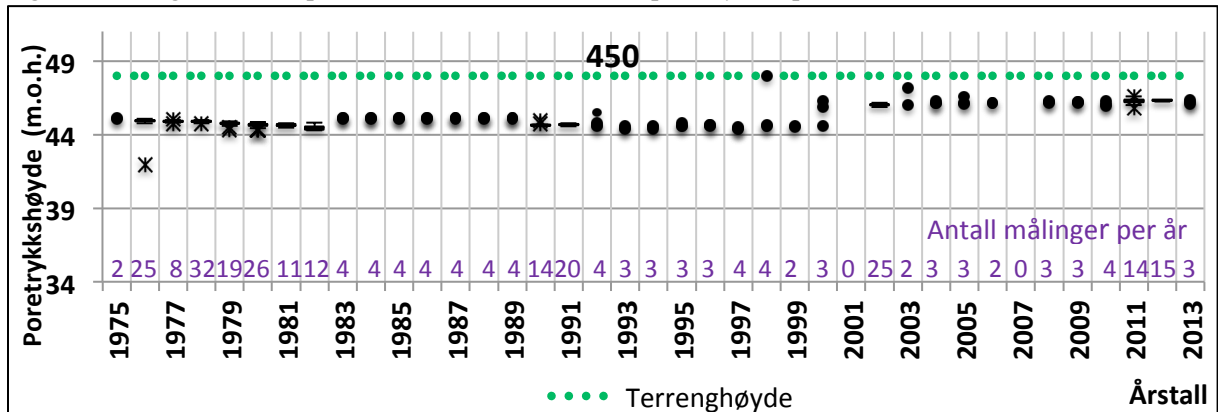


til infiltrasjonsbrønner. Poretrykksmåler 980 måler inn på 10 meters dybde og resterende av disse poretrykksmålerne måler inn på mellom 17 og 25 meter dybde. Alle disse poretrykksmålerne er i området nordøst. Dette betyr at dette området har poreovertrykk. I dette området har det fra 1991 og til i dag vært infiltrasjon av vann (jmf. 2.2.5.). Poretrykksmåler 570 i nordøst og 596 i øst er vist som eksempler i figur 4.35 og figur 4.36.

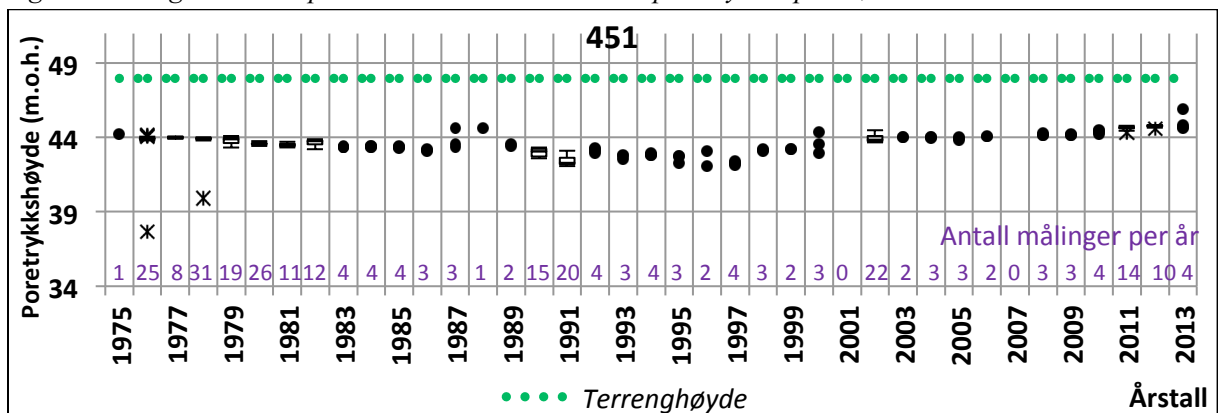
- De nyeste poretrykksmålerne, med unntak av 980, utmerker seg som målerne med minst variasjon. Poretrykksnivået varierer i hovedsak innenfor 1 meter. Disse ligger samlet i to lokaliteter. 727, 728 og 729 måler i nord i nærheten av VEAS-tunnelen. 967, 968 og 969 måler i krysset mellom Slemdalsveien og Gardeveien. Poretrykksmåler 967 vises som eksempel i figur 4.36. I figur 4.37. I figur 4.38. vises også poretrykksmåler 554 som måler inn på samme lokalitet som 967, 968 og 969. Denne poretrykksmåleren viser også stabile målinger fra 2003, som er året etter at 967, 968 og 969 ble installert.



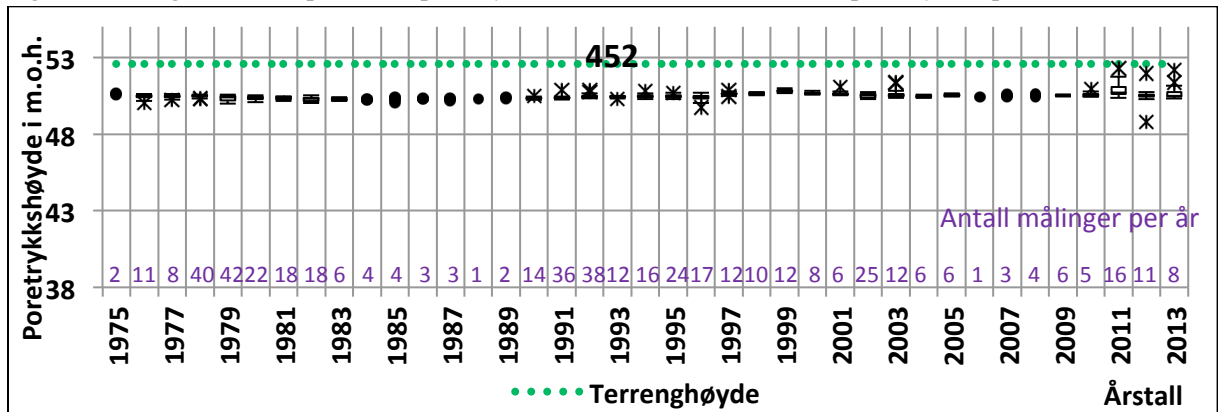
Figur 4.14. Figuren viser plottet til 449. 449 måler inn poretrykket på 33,36 m.o.h.



Figur 4.15. Figuren viser plottet til 450. 450 måler inn poretrykket på 42,69 m.o.h.

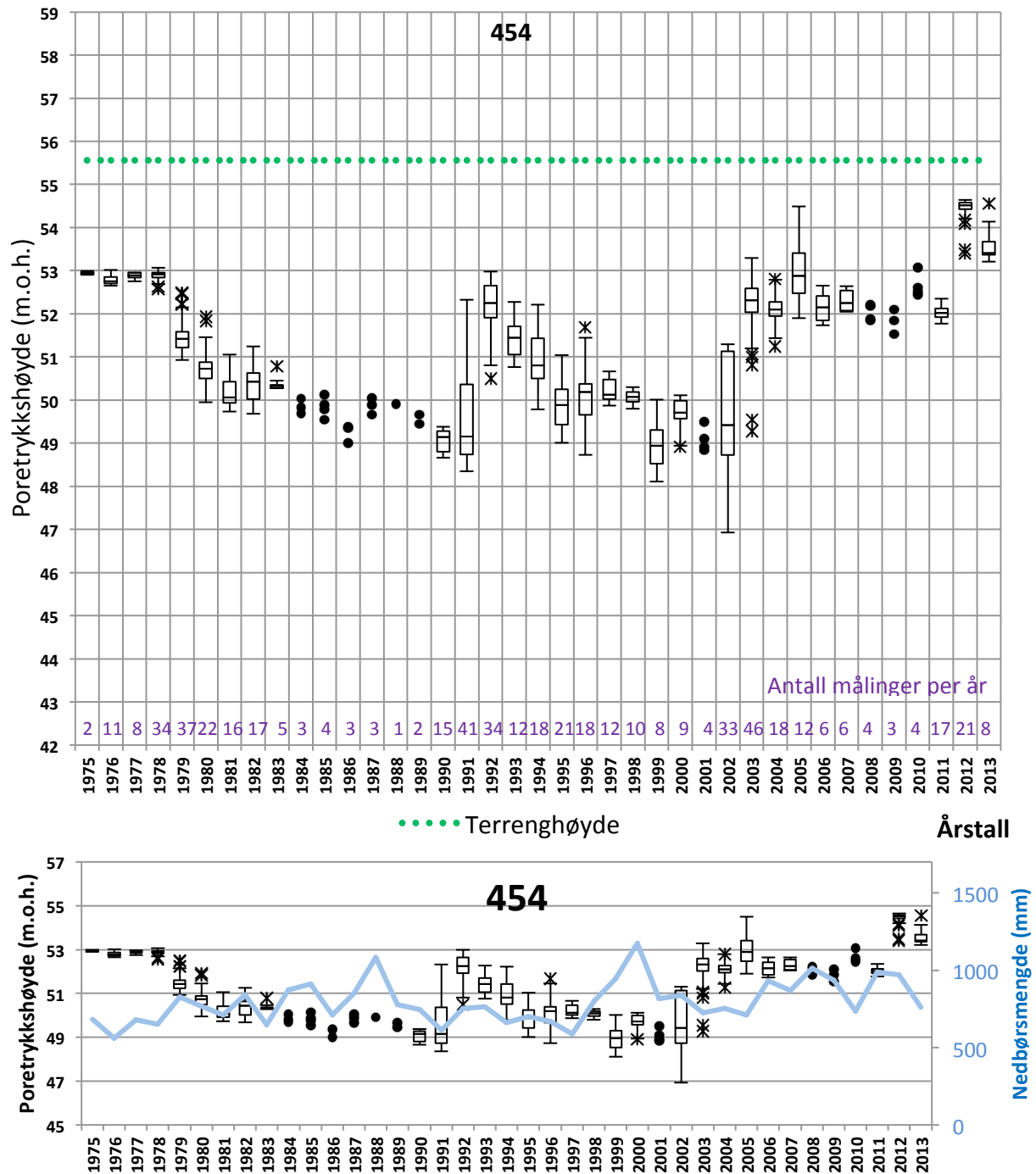


Figur 4.16. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 451. 451 måler inn poretrykket på 47,69 m.o.h.

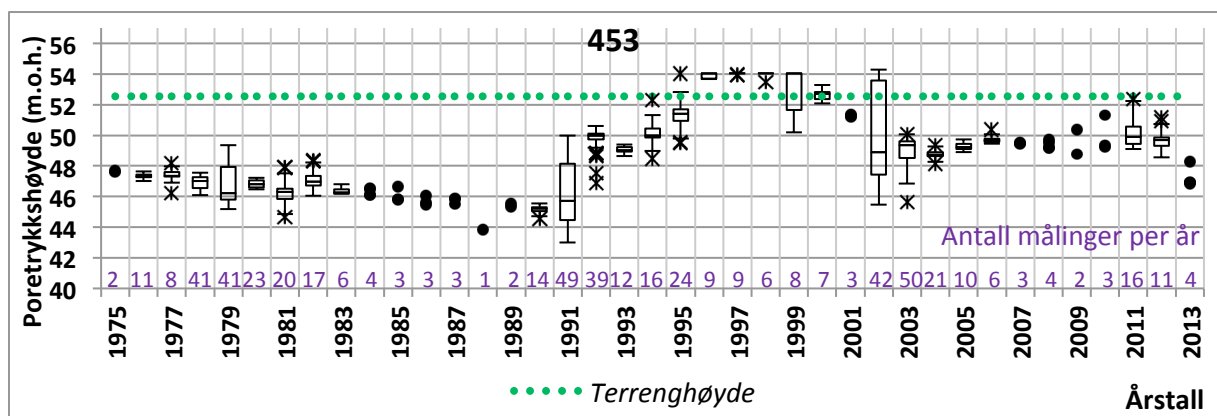


Figur 4.17. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 452. 452 måler inn poretrykket på 25,36 m.o.h.

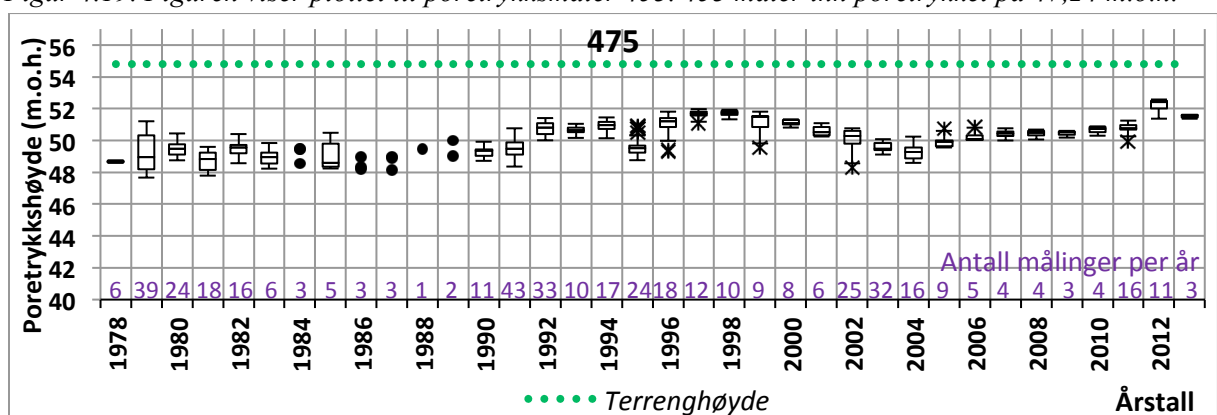
Poretrykksmåler nummer 454					
x-koordinat	596143,345	y-koordinat	6645101,144	Antall målinger	537
Terrenghøyde	55,56 m.o.h.	Fjellhøyde	44,86 m.o.h.	Innmålingshøyde	44,86 m.o.h.



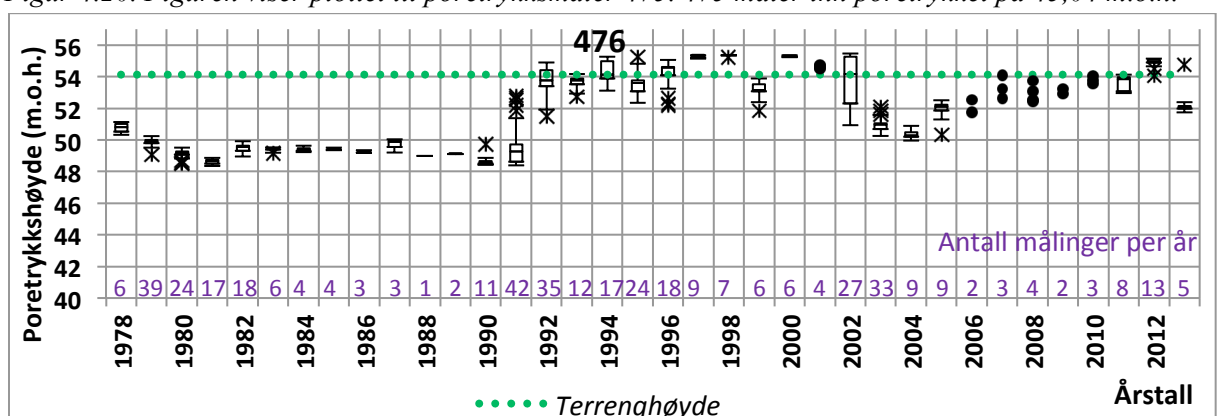
Figur 4.18. Figuren viser bokplottskjemaet for poretrykksmåler 454. Alle poretrykksmålerne har et bokplottskjema i vedlegg 10. Målingene til 454 korresponderer med drenering til VEAS-tunnel på 80-tallet (poretrykksreduksjon) installasjon av infiltrasjonsbrønn i 1991 og 2002 (poretrykksøkning), og utstøpning av VEAS-tunnel i 2012 (poretrykksreduksjon). Nederst sees en sammenligning med årlig nedbørsmengde i millimeter. Her er det ingen sammenheng.



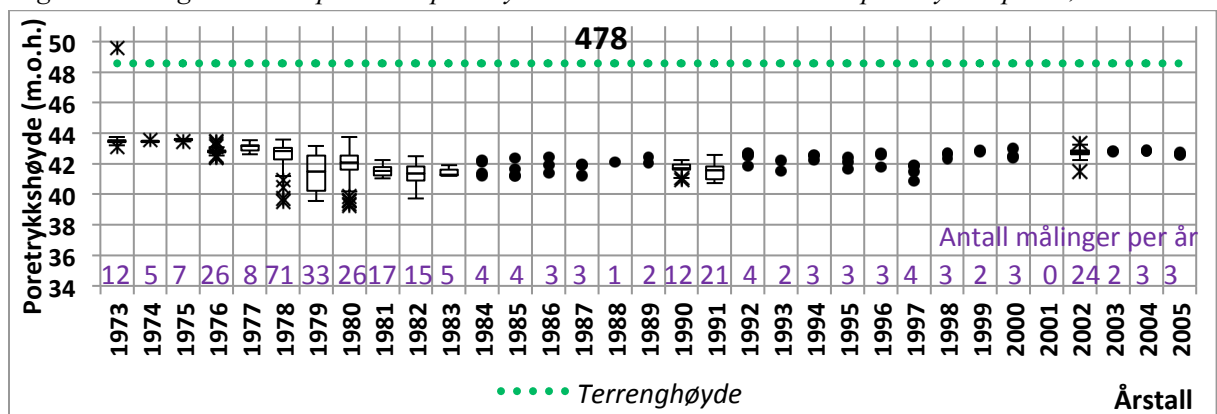
Figur 4.19. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 453. 453 måler inn poretrykket på 47,24 m.o.h.



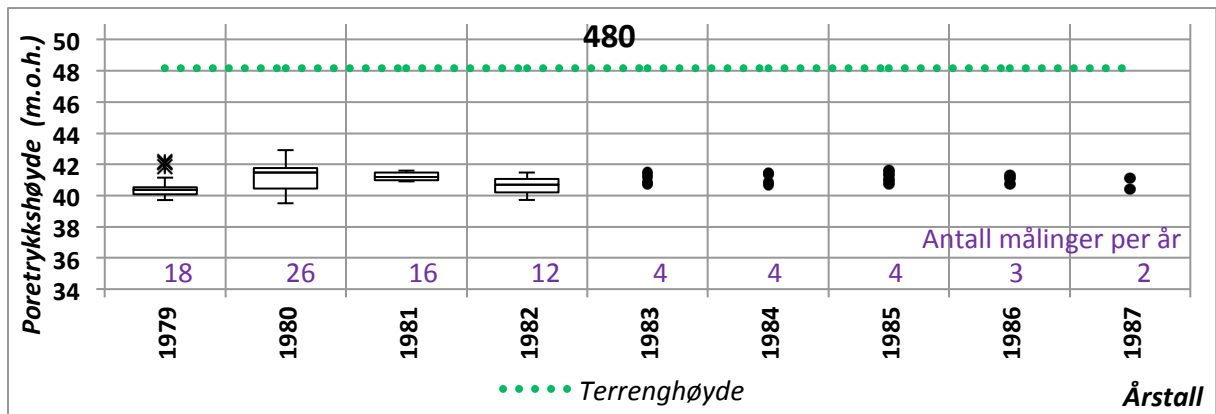
Figur 4.20. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 475. 475 måler inn poretrykket på 45,04 m.o.h.



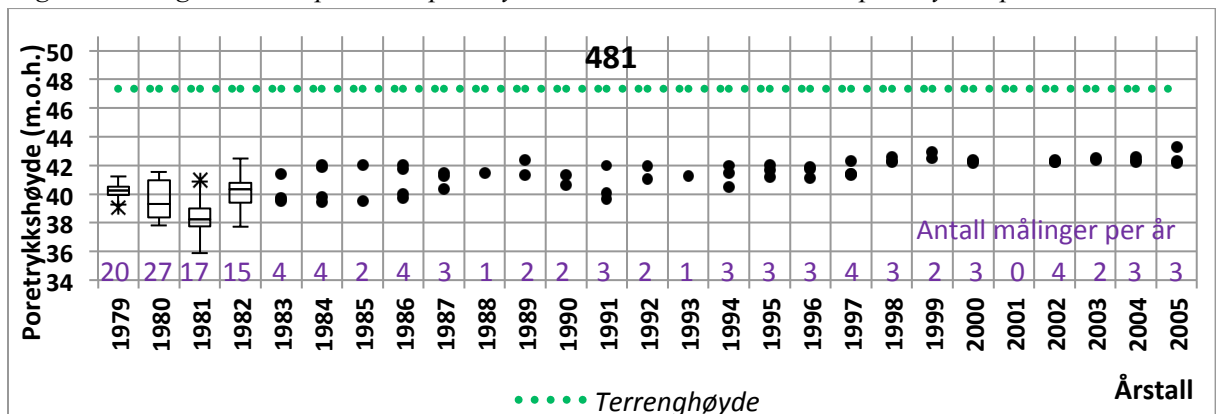
Figur 4.21. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 476. 476 måler inn poretrykket på 31,95 m.o.h.



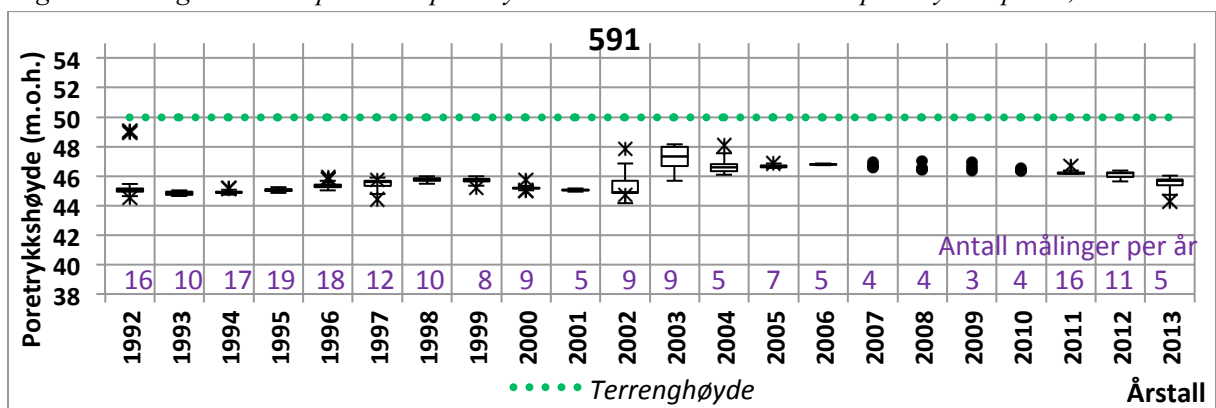
Figur 4.22. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 478. 478 måler inn poretrykket på 31,06 m.o.h.



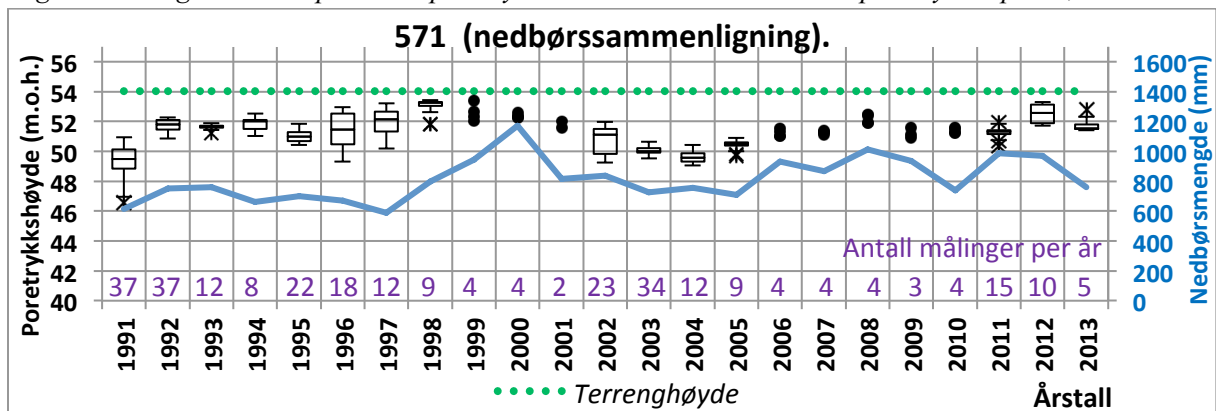
Figur 4.23. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 480. 480 måler inn poretrykket på 26,26 m.o.h.



Figur 4.24. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 481. 481 måler inn poretrykket på 27,04 m.o.h.

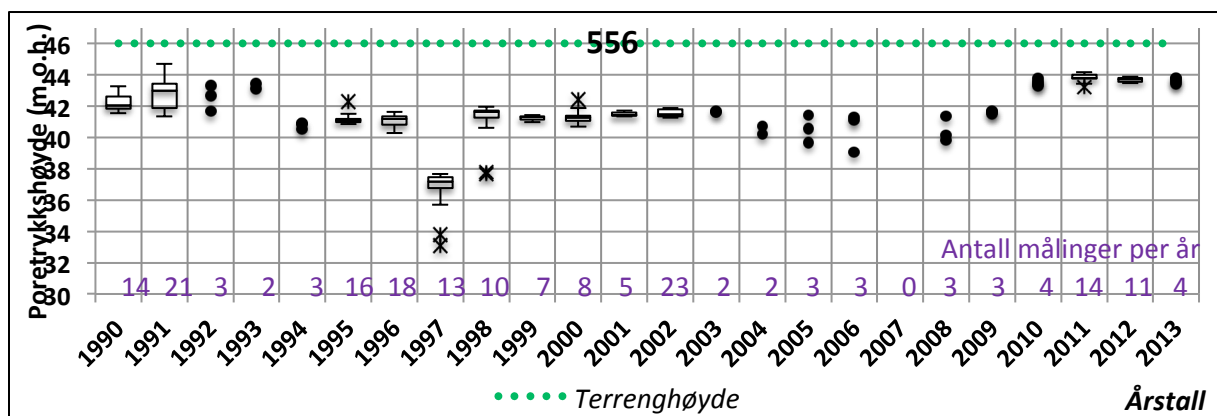


Figur 4.25. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 591. 591 måler inn poretrykket på 28,76 m.o.h.

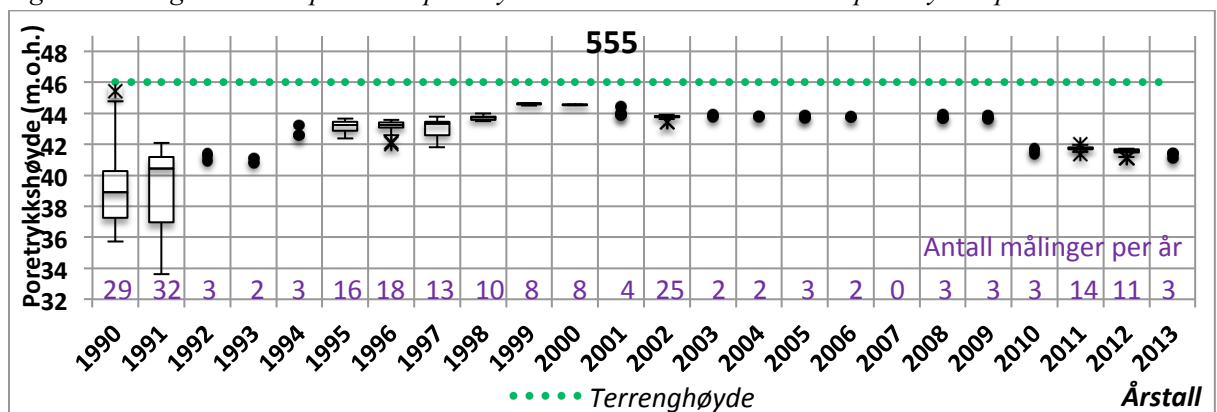


Figur 4.26. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 571 sammenlignet med nedbørsdata. 571 måler inn poretrykket på 36,78 m.o.h.

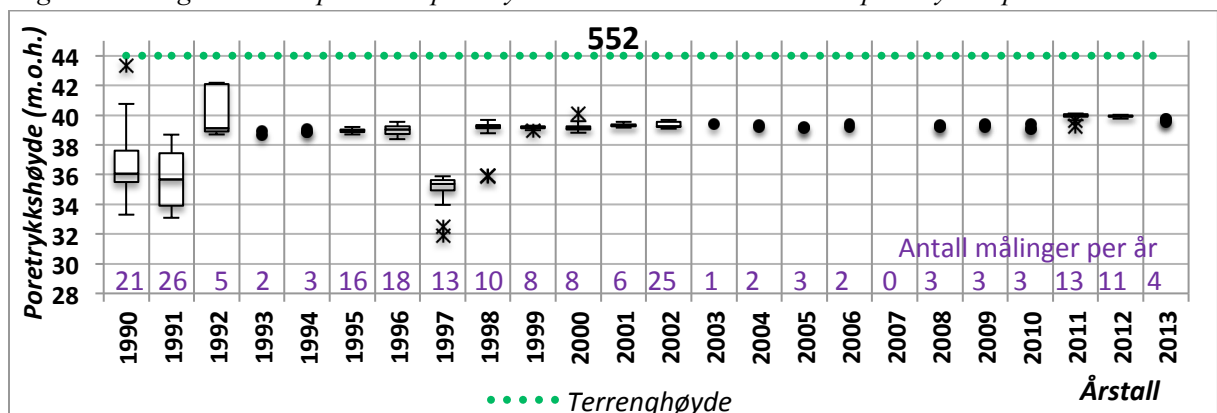




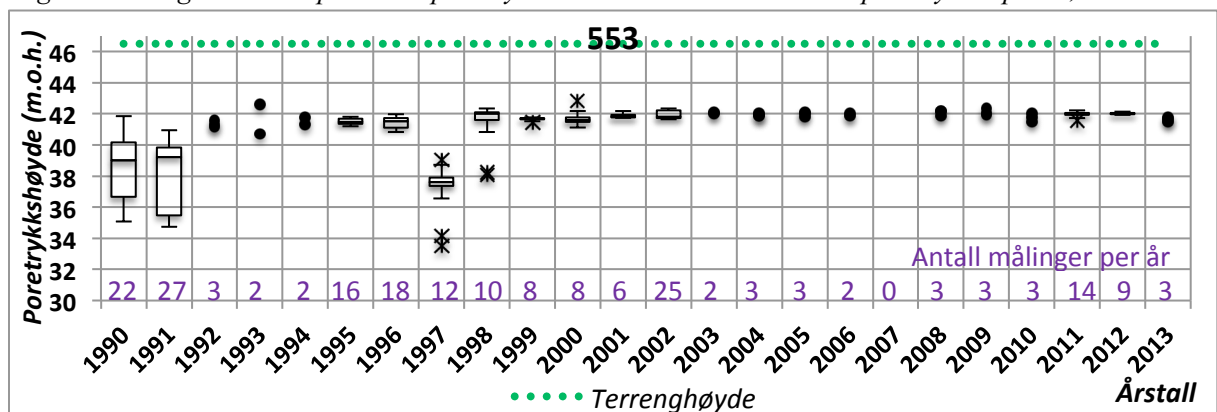
Figur 4.27. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 556. 556 måler inn poretrykket på 40 m.o.h.



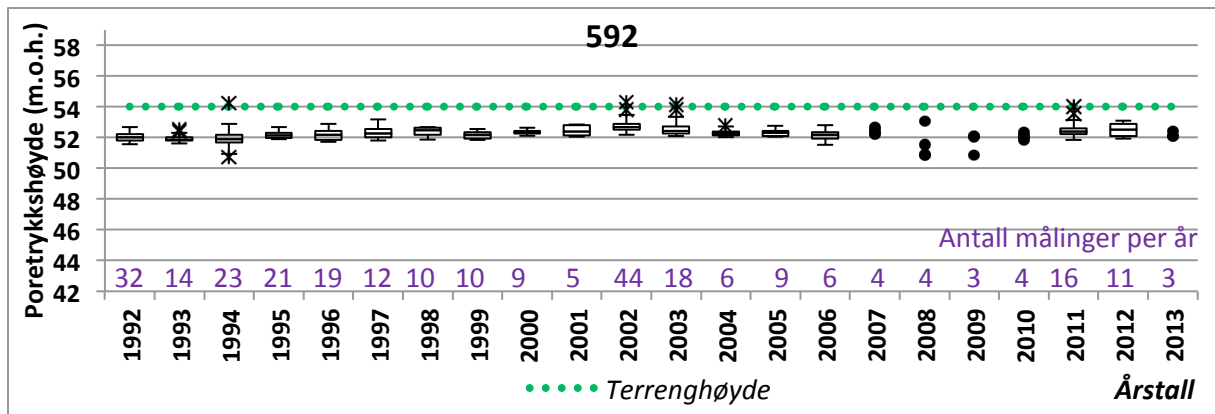
Figur 4.28. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 555. 555 måler inn poretrykket på 15 m.o.h.



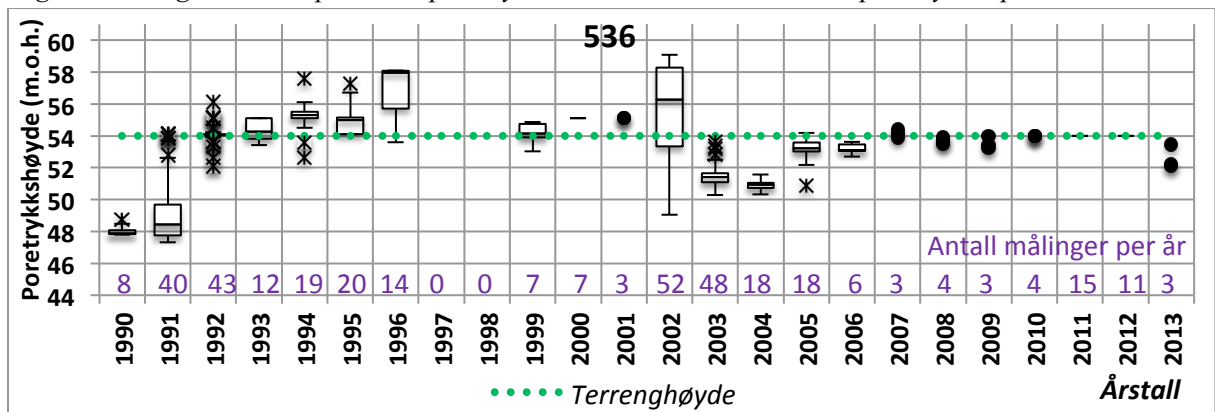
Figur 4.29. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 552. 552 måler inn poretrykket på 19,2 m.o.h.



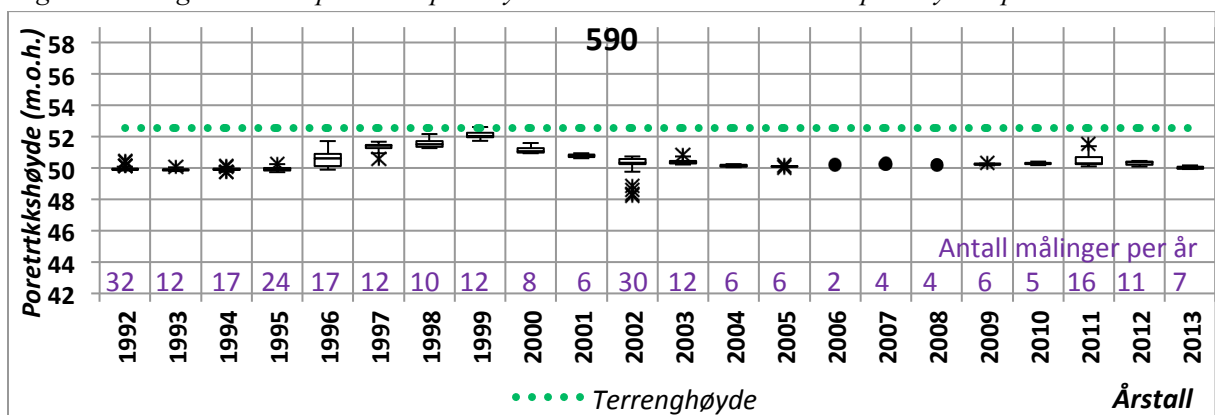
Figur 4.30. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 553. 553 måler inn poretrykket på 7,9 m.o.h.



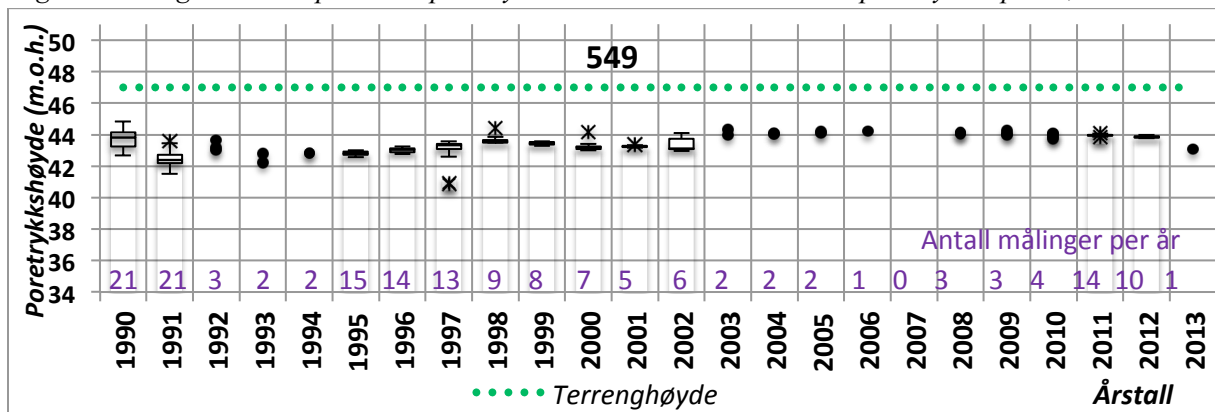
Figur 4.31. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 592. 592 måler inn poretrykket på 49 m.o.h.



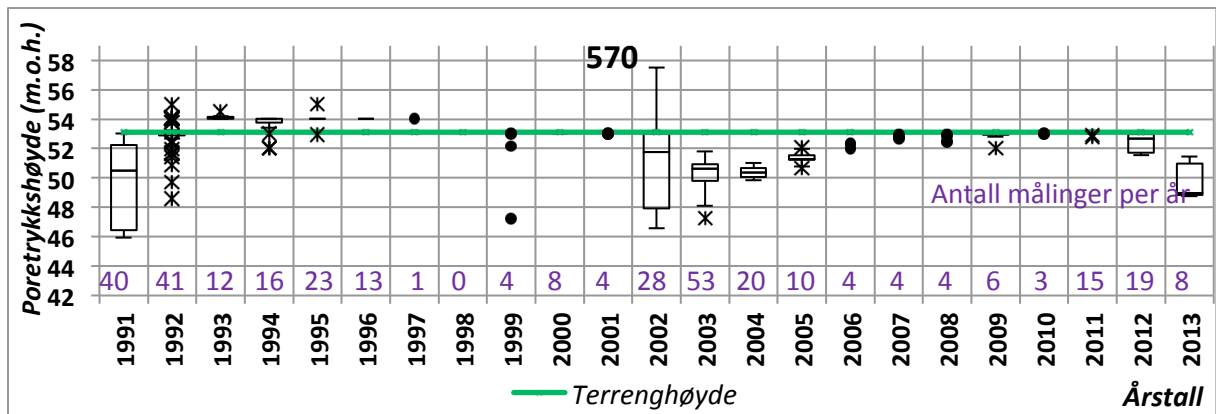
Figur 4.32. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 536. 536 måler inn poretrykket på 49 m.o.h.



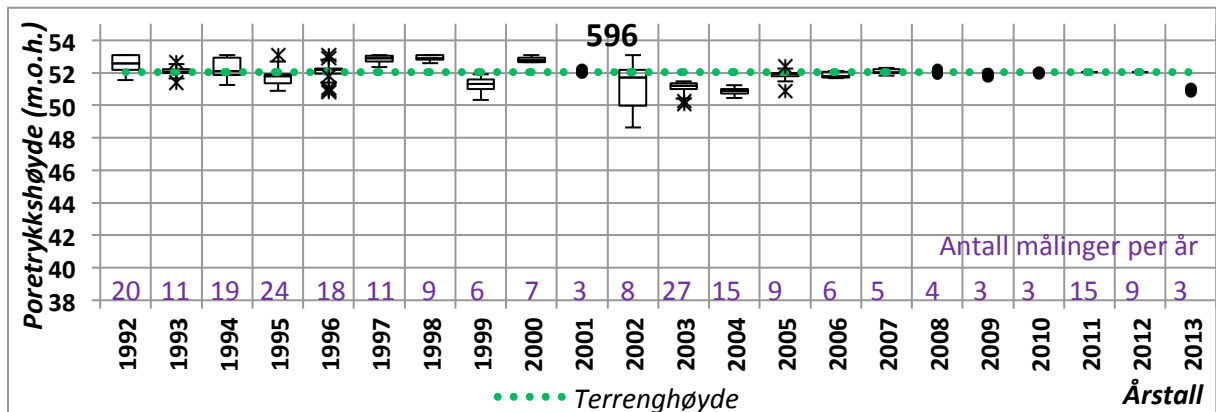
Figur 4.33. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 590. 590 måler inn poretrykket på 42,56 m.o.h.



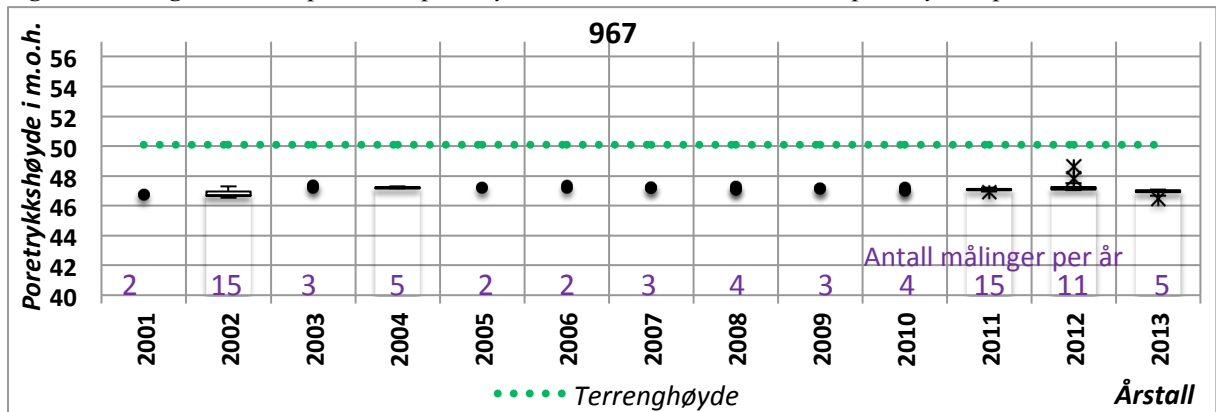
Figur 4.34. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 549. 549 måler inn poretrykket på 49 m.o.h.



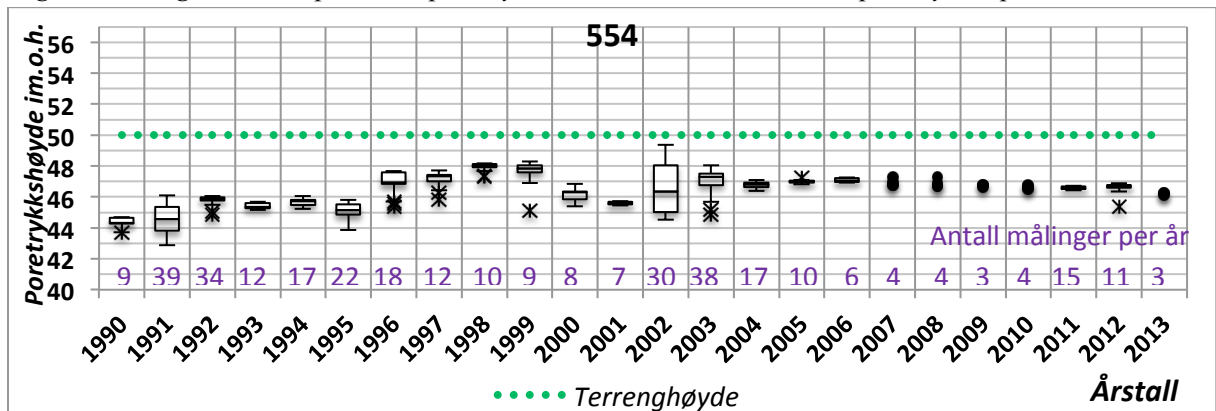
Figur 4.35. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 570. 570 måler inn poretrykket på 49 m.o.h.



Figur 4.36. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 596. 596 måler inn poretrykket på 33,69 m.o.h.



Figur 4.37. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 967. 967 måler inn poretrykket på 30,02 m.o.h.



Figur 4.38. Figuren viser plottet til poretrykksmåler 554. 554 måler inn poretrykket på 21,5 m.o.h.

### 4.2.3. Resultat av analyse for området trykkfordeling

Det ble gjennomført en analyse av områder hvor poretrykket måles inn på ulike dybder på samme lokalitet, viste en hydrostatisk trykkfordeling. Fra avsnitt 2.1.2 ble det kjent at en hydrostatisk trykkfordeling betyr at trykket øker jevnt med dybden. En trykkfordeling som skiller seg fra hydrostatisk, vil si at det foregår en inn- eller utstrømning av (grunn)vann i områder av jordprofilen. Utstrømning representeres ved poreundertrykk. Det kan føre til setninger. I analysen vises dette ved et gjennomsnittlig stigningstall som er mindre enn -0.1. Dersom det foregår en innstrømning av vann vil det representeres ved poreovertrykk, som kan redusere bæreevnen i øverste lag. I analysen vises dette ved gjennomsnittlig stigningstall som er mer enn -0,1.

Områdene ble undersøkt ved å sammenligne poretrykkdifferansen mellom alle målinger som er utført på samme dato. I tabell 4.4. gis i tillegg en oppsummering over største, minste og gjennomsnittelige stigningstall i sammenligningsområdene. Den grunneste poretrykksmåleren står alltid øverst i sammenligningen. På bakgrunn av de utvalgte stigningstallene er alle områdene fremstilt grafisk med 2 grafer per sammenlignet området, ett som viser området fordeling av stigningstall over tid og ett som viser hvordan trykket øker med dybden. Disse er vedlagt i vedlegg 11.

Det gjennomsnittelige resultatet av poretrykksdifferansene til hver av de 8 analyserte områdene er illustrert i figur 4.39. Resultatet av analysen viser at tre områder har gjennomsnittlig hydrostatisk fordeling (555 og 556; 967, 968, 969 og 554; 452, 453 og 590). Men trykkfordelingen i alle disse områdene varierer over tid, slik at ingen av områdene har alltid vært hydrostatisk. 555 og 556 er det av områdene med størst variasjon med et sprang på 0,09 mellom største og minste stigningstall. Området varierer på begge sider av den hydrostatiske kurve.

Området med poretrykksmåler 536, 537 538, 592 og 593 viser et gjennomsnittlig poreovertrykk. I dette området foregår det infiltrasjon av vann.

Fire områder viser poreundertrykk. Slike områder bør ha en ekstra oppmerksomhet fordi det kan føre til setningsskader. Poretrykksmålerne er:

- Poretrykksmåler 450 og 451 viser en liten, men langvarig tendens til poreundertrykk. Dette sammenligningsområdet er illustrert i figur 4.40 (stigningstall) og figur 4.41 (poretrykket med dybden). Dette er ett eksempel fra grafene i vedlegg 11. Eksempelet

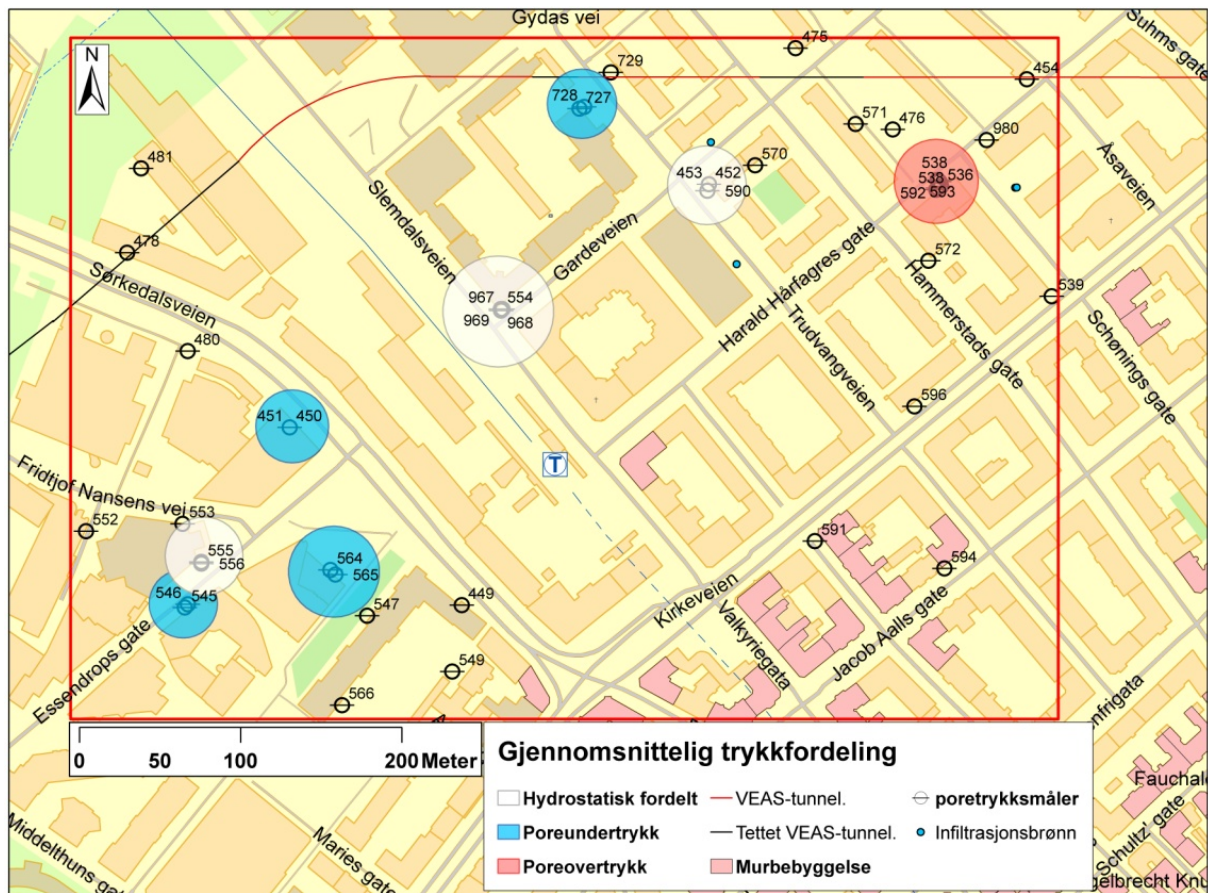
er valgt fordi det er det eneste av sammenligningsområdene som viser poreundertrykk hele måleperioden. Stigningstallet i området ligger stort sett jevnt rundt -0,11.

- Poretrykksmåler 545 og 546 viser det laveste stigningstallet, altså mest poreundertrykk. Men disse målerne var kun aktive mellom 1989 og 1991. Dette er på samme tid og i samme området som byggingen av Kredittkassen (jmf. 2.2.5.).
- Poretrykksmåler 727 og 728 viser også poreundertrykk, men området måles bare inn med 1 meters avstand. Verdiene er dessuten svært ustabile verdier, med en variasjon på 0,21 innenfor stigningstallet, og viser tidvis også poreovertrykk.
- Poretrykksmåler 564 og 565 viser et gjennomsnittlig relativt stort poreundertrykk, med et gjennomsnittlig stigningstall på -0,14. Men området preges av store variasjoner og viser tidvis også poreovertrykk.

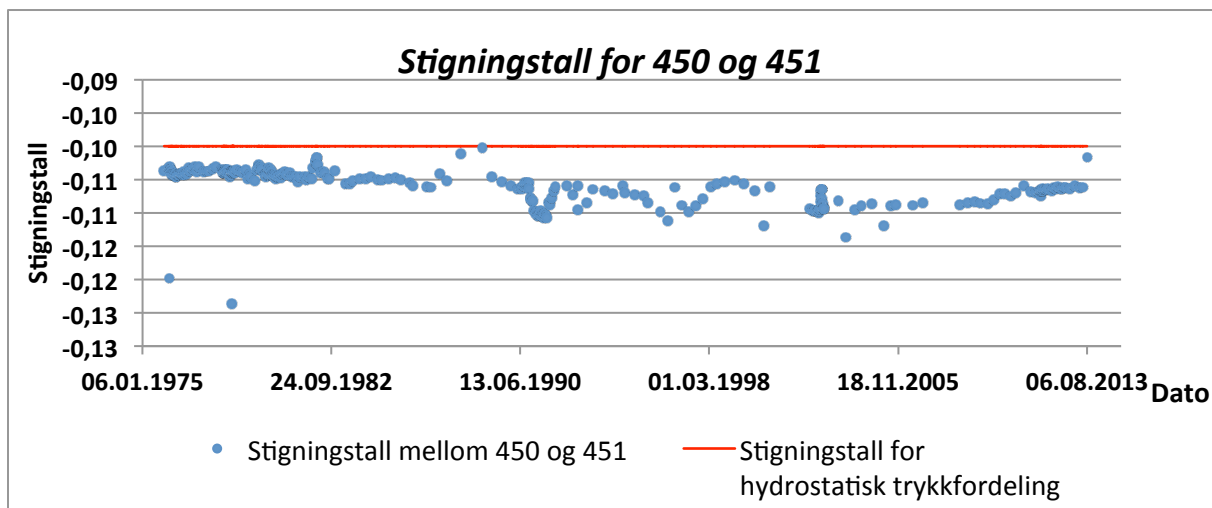
Tabell 4.4. Tabellen viser resultatet fra den hydrostatiske trykkfordelingsanalysen. Stigningstallet er beregnet mellom sammenligningspunktene. I tilfeller med flere nivåer er stigningstallet oppgitt mellom alle nivåene, samt ett i fra topp til bunn.

Måle r-nr	Innmålings-høyde i	Terreng-høyde	Fjell-høyde	Gjennom-snitt	Høyest stigningstall	Lavest stigningstall	Maks Variasjon			
450	52,69 m.o.h.	48 m.o.h.	14,46 m.o.h.	-0,11	-0,1	-0,12	0,02			
451	16,66 m.o.h.									
546	37,7 m.o.h.	45 m.o.h.	23,7 m.o.h.	-0,24	-0,11	-0,56	0,45			
545	23,7 m.o.h.									
555	37,7 m.o.h.	46 m.o.h.	Ikke oppgitt	-0,1	-0,07	-0,16	0,09			
556	23,7 m.o.h.									
565	41,5 m.o.h.	46,5 m.o.h.	34,5 m.o.h.	-0,14	-0,06	-0,47	0,41			
564	34,5 m.o.h.									
727	38,6 m.o.h.	52,65 m.o.h.	Ikke oppgitt	-0,12	-0,06	-0,39	0,33			
728	37,7 m.o.h.									
453	47,24 m.o.h.	52,5 m.o.h.	25,36 m.o.h.	-0,1	-0,08	-0,12	0,04			
590	42,56 m.o.h.							-0,08	-0,05	-0,34
452	23,56 m.o.h.							-0,1	-0,1	-0,1
969	44,97 m.o.h.	50 m.o.h.	Ikke oppgitt	-0,1	-0,09	-0,11	0,02			
968	40 m.o.h.							-0,1	-0,1	-0,1
967	30,02 m.o.h.							-0,1	-0,1	-0,1
554	21,5 m.o.h.							-0,1	-0,08	-0,1
592	49 m.o.h.	54 m.o.h.	33,5 m.o.h.	-0,1	-0,07	-0,12	0,05			
538	44 m.o.h.							-0,11	-0,08	-0,11
593	39 m.o.h.							-0,11	-0,07	-0,08
537	37 m.o.h.							-0,08	-0,08	0,57
536	33,4 m.o.h.							-0,09	-0,07	-0,12

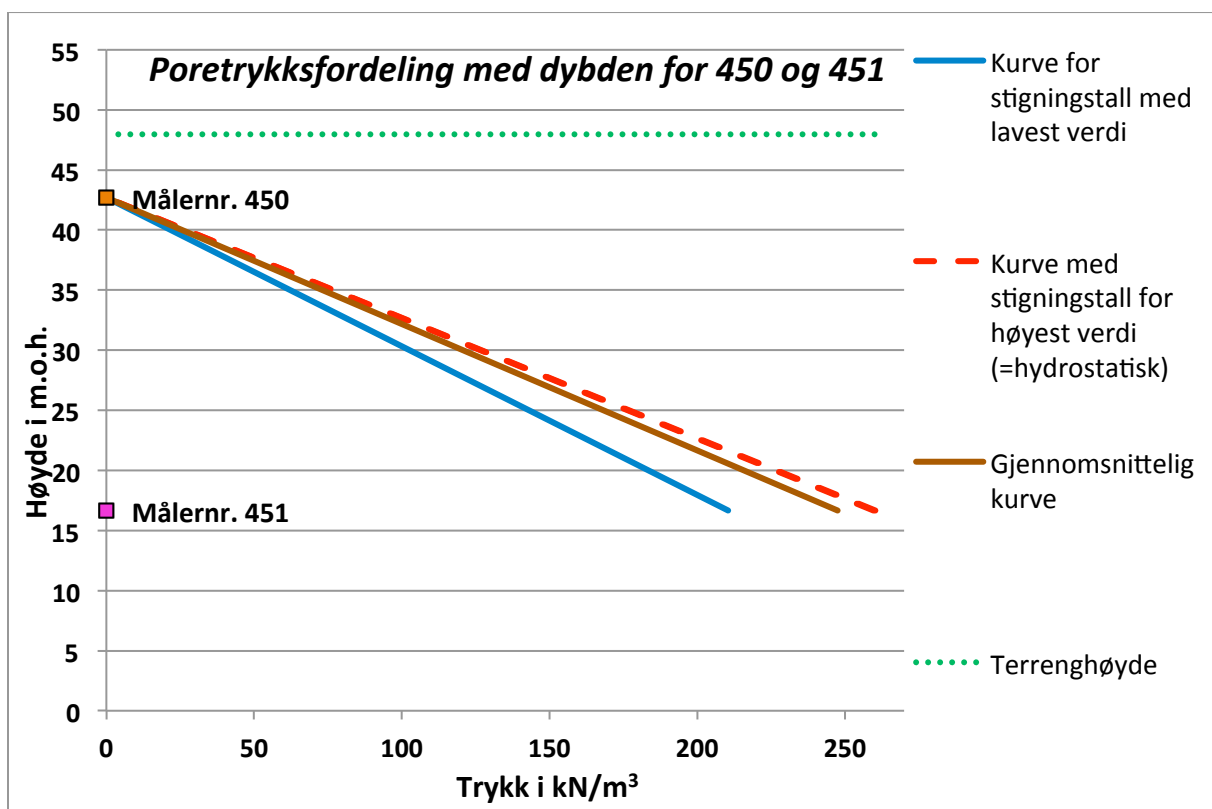




Figur 4.39. Figuren viser områdene som er analysert for hydrostatisk trykkfordeling. Resultatet er basert på det gjennomsnittlige stigningstallet.



Figur 4.40. Figuren viser hvordan stigningstallet mellom 450 og 451 fordeler seg i forhold til stigningstallet for hydrostatisk fordeling. Resultatet viser at stigningstallet mellom 450 og 451 (nesten) alltid viser poreundertrykk, men at det ligger veldig stabilt mellom -0,1 og - 0,11



Figur 4.41. Grafen viser hvordan poretrykksfordelingen er med dybden i forhold til gjennomsnittlig, størst og minst verdi. I dette tilfellet tilsvarer det største stigningstallet også hydrostatisk trykkfordeling.

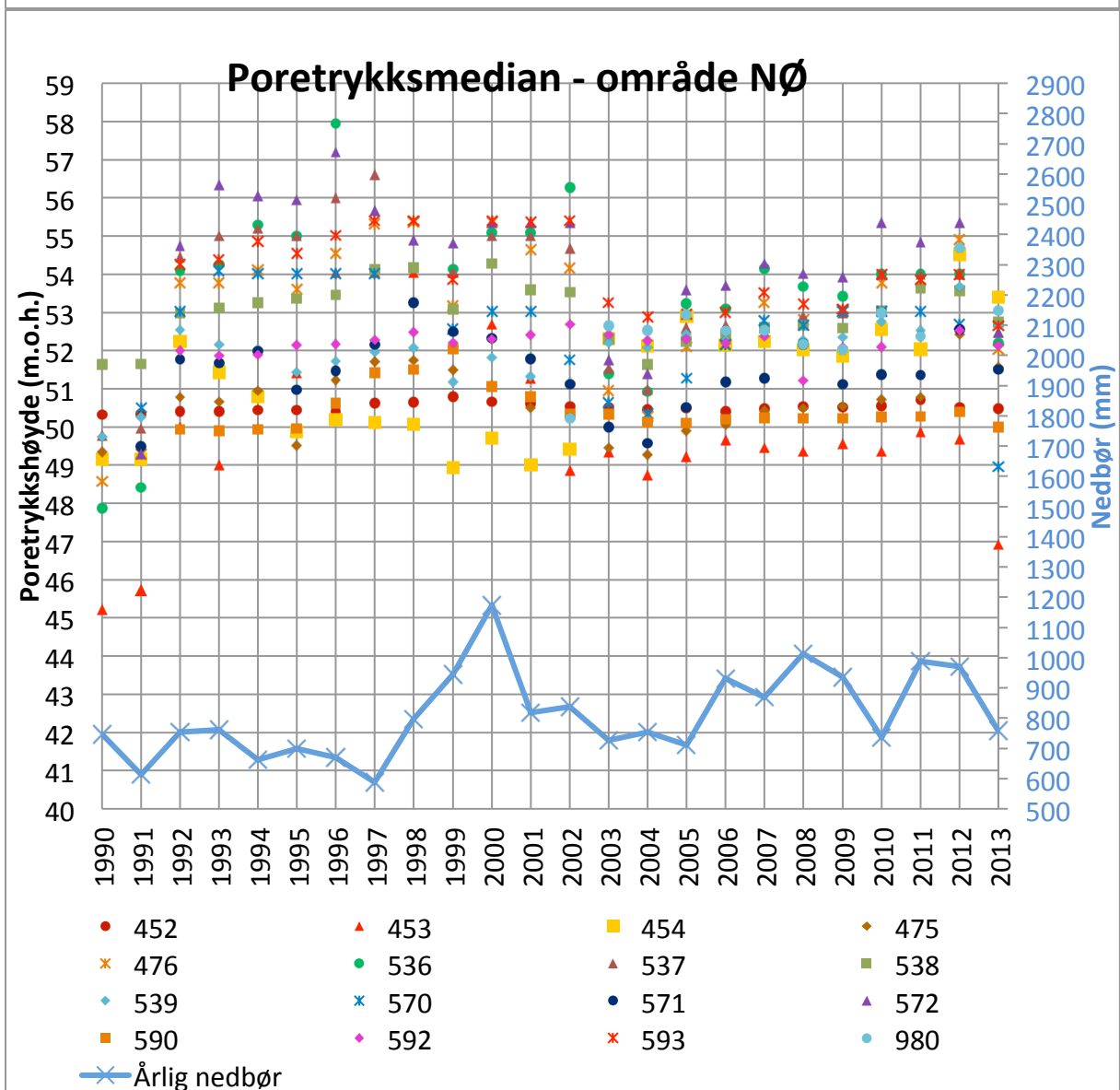
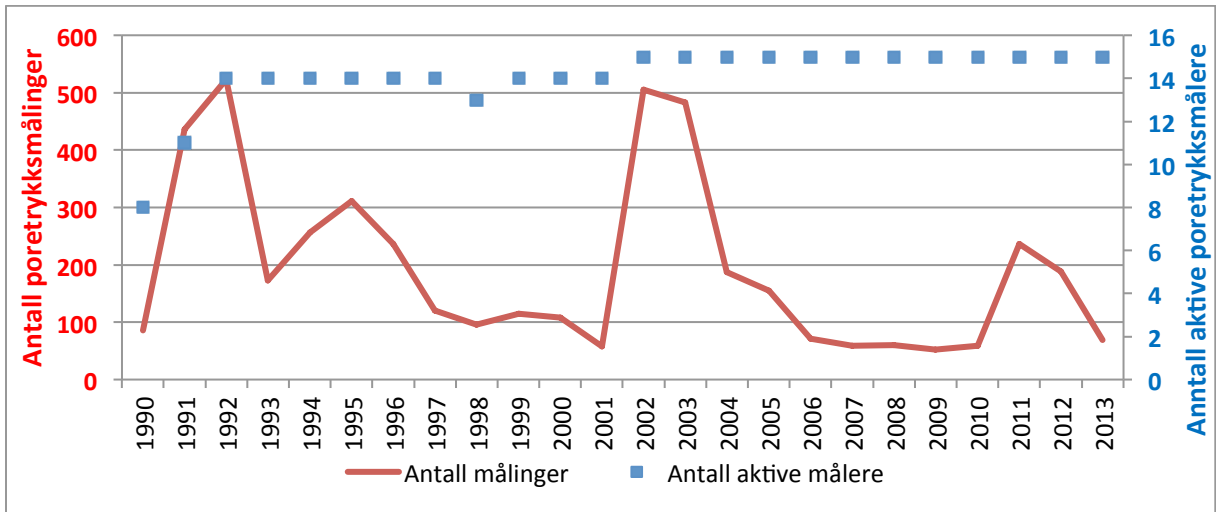
### 4.3. Kartserie med estimert gjennomsnittlig poretrykksnivå

I metodedelen ble to områder, ett i nordøst og ett i sørvest, valgt til å estimere poretrykket i. Områdene hadde stor tetthet av poretrykksmålere. Det ble også satt opp en rekke kriterier for å avgjøre tidsintervallet til estimatet. For å avgjøre dette har det blitt gjennomført en grafisk sammenligning som kan sees i figur 4.42. (nordøstlig område) og i figur 4.43. (sørvestlig område). I begge figurene viser den øverste grafen en sammenligning av antall aktive poretrykksmålere og antall registrerte målinger per måler for hvert område. I den nederste grafen vises årsmedianen til hver poretrykksmåler i området, og også en sammenligning med årlig nedbør. På bakgrunn av sammenligningen mellom disse ble det bestemt å gjøre et estimat for hvert 4. år, og med følgende årstall: 1992 – 1996 – 2000 – 2004 – 2008 og 2012. Følgende vurderinger ble gjort for denne avgjørelsen:

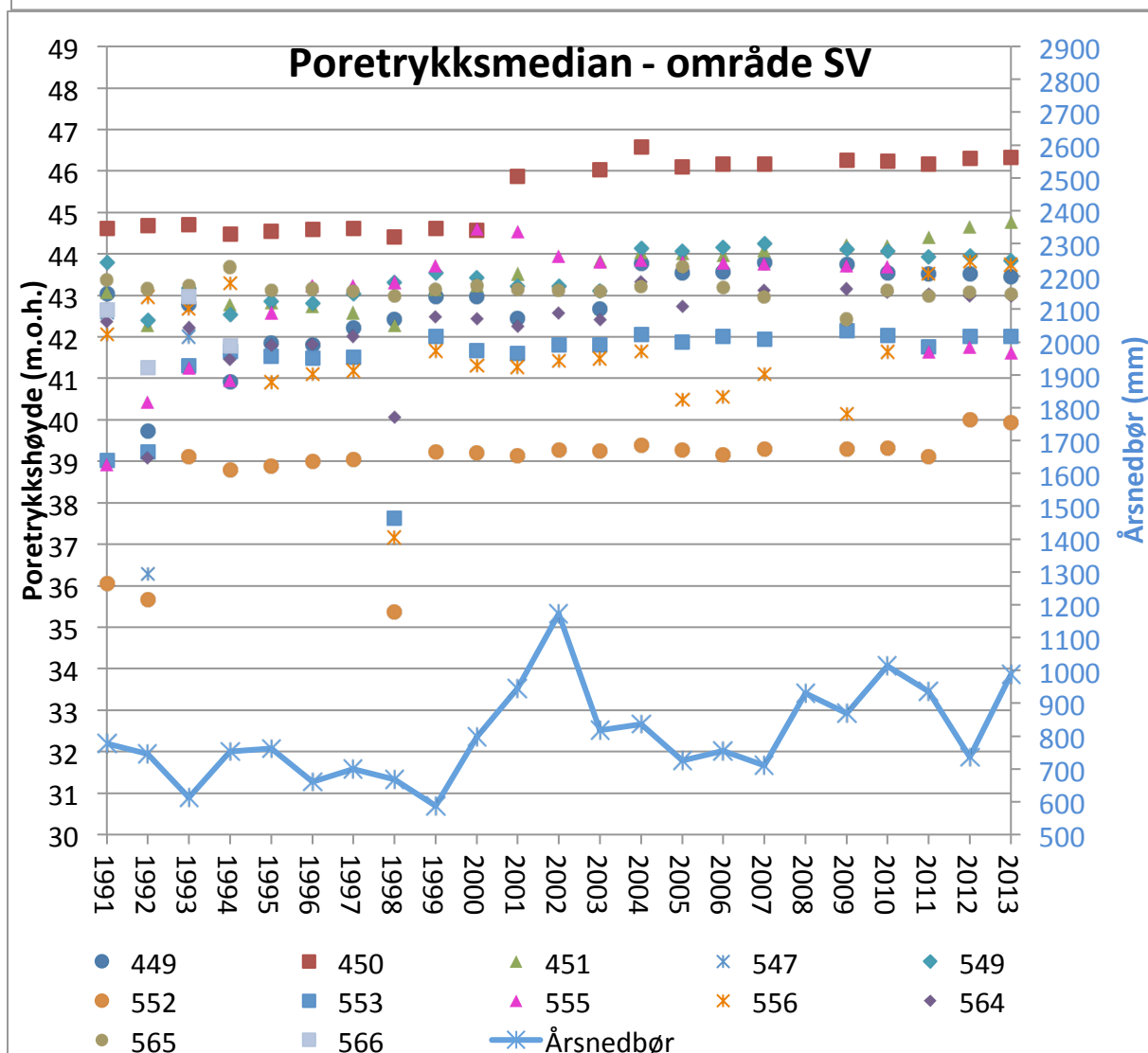
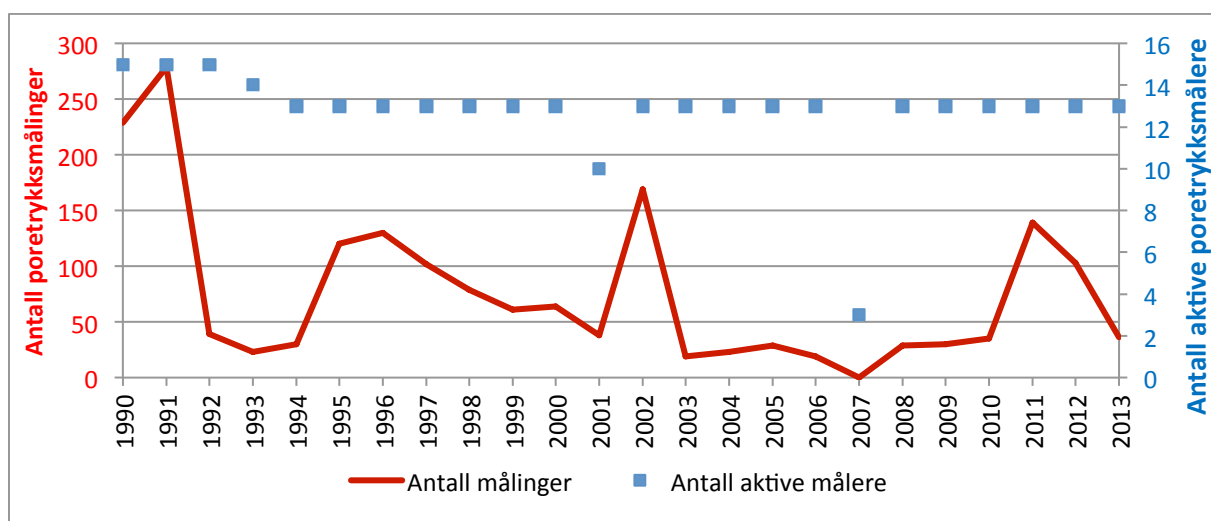
- År 1992 skal benyttes som startår fordi dette året fordi mange poretrykksmålere ble installert i 1991.
- År 2012 skal brukes som sluttår år fordi det representere de nyeste målingene (år 2013 har kun registreringer frem til 6.august og representerer sånn sett ikke hele året).
- År 2007 har i det sørvestlige området svært få poretrykksmålere og skal unngås.
- År 2000 skal inkluderes fordi det er det året med høyest nedbørsmengde.
- Det nordøstlige området har maksimumsår 1996, 2002 og 2012 og minimumsår 2003, 2004 og 2013. Minst ett år fra hver av tilfellene skal inkluderes. Det sørvestlige området er mer stabilt uten maksimums- og minimumsår, men 1992 og 1998 har mye variasjon, og en av disse skal inkluderes.

For estimatet i nordøst ble det også valgt å inkludere årstall 2002 som et ekstra estimat på bakgrunn av kraterhendelsen i 2002 (jmf. 2.2.5.). Poretrykksdataene i det nordøstlige området viste ikke normalfordelt data. Kartserien er derfor estimert med IDW. Det sørøstlige området viste normalfordelt data, og er gjennomført med geostatistisk analyse.

Området i nordøst er ca. 220 meter bredt og 160 meter langt. Området i sørvest er ca. 230 meter bredt og 150 meter langt.



Figur 4.42. Grafen viser en sammenligning av årsmedianen, årlig nedbør til poretrykksmålere som skal brukes til å lage tidsserie i det nordøstlige området. Grafen viser også antall aktive målere og antall målinger som er gjennomført per år.



Figur 4.43. Grafen viser en sammenligning av årsmedianen, årlig nedbør til poretrykksmålerne som skal brukes til å lage tidsserie i det sørvestlige området. Grafen viser også antall aktive målere og antall målinger som er gjennomført per år.



### 4.3.1. Kartserie for nordøstlig område

Figur 4.44. viser det estimerte området i nordøst. Tidsserien er til en hver tid oppdatert med antall infiltrasjonsbrønner og poretrykksmålere. Frem til 2002 er det 15 aktive poretrykksmålere. I 2002 blir også poretrykksmåler 980 installert slik at estimatet fra og med 2002 baseres på 16 poretrykksmålere. Den nordvestlige infiltrasjonsbrønnen avvikles i 2002, mens den sørvestlige og en av de østlige blir installert i 2002. Den utstøpte delen av VEAS-tunnelen er markert som tettet i 2012 (jmf. 2.2.2.).

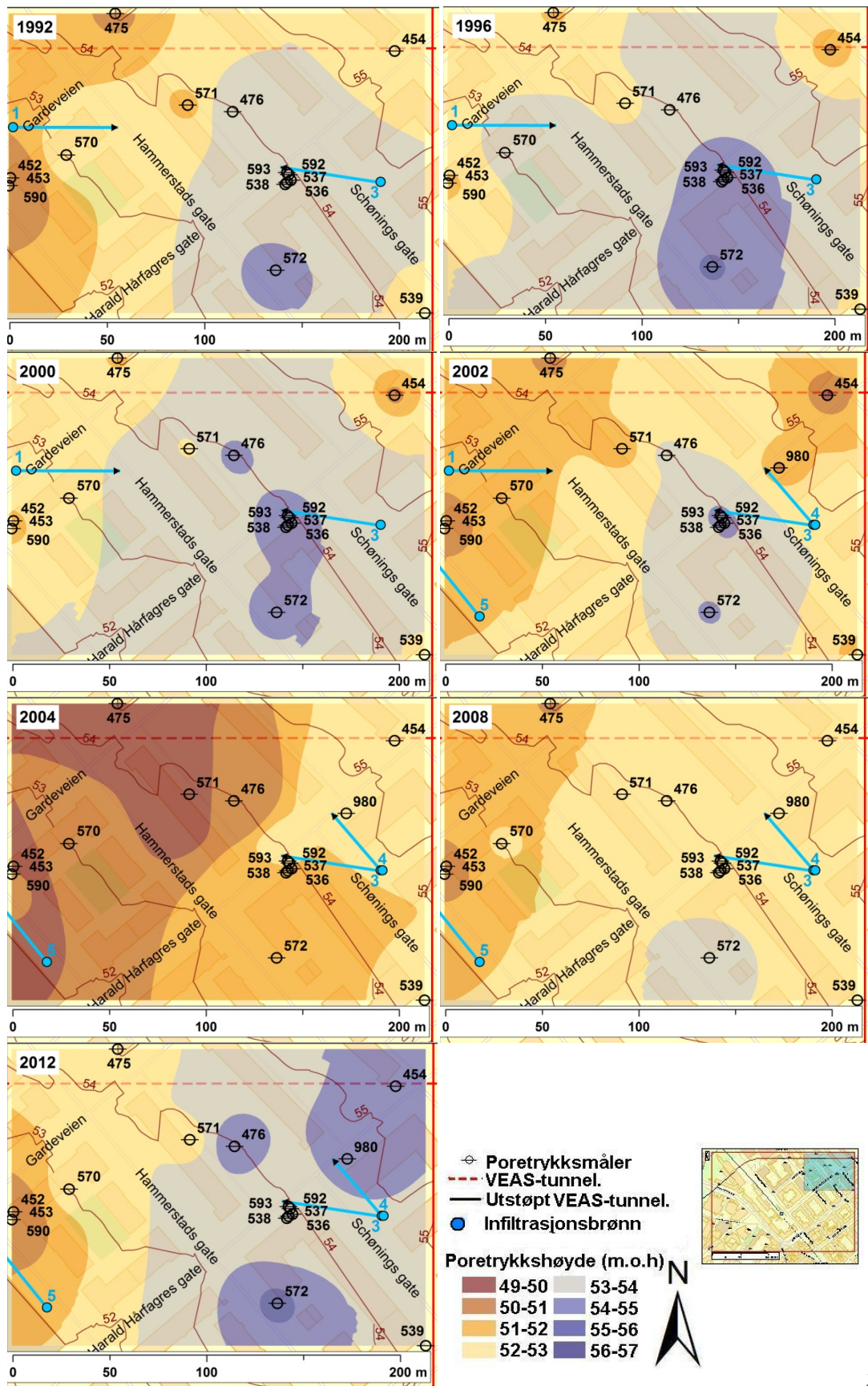
Området viser varierende gjennomsnittlige poretrykkshøyde. Spesielt i poretrykksmålerne 536, 537, 538, 592 og 593 og i 572. Den største potensielle poretrykksreduksjonen er på 6 meter, og gjelder i området rundt 572 fra 1996 til 2004 og 454 fra 2002 til 2012.

I alle årene er det en tendens til at det gjennomsnittlige poretrykket avtar mot vest eller nordvest. Dette stemmer ikke helt med terrenget som avtar mot sørvest. Ingen poretrykksmålere er representert i det sørvestlige området. Dreneringen inn mot nordvest virker å gå inn mot den delen av VEAS-som i 2012 ble utstøpt. Den strekningen er markert med svart i estimeringen til 2012. I årene frem til og med 2002 foregår det også en reduksjon av poretrykk inn mot VEAS-tunnelen i nordøst og mot områder i sørøst. Generelt har poretrykksmålere 536, 537, 538, 592 og 593 høye verdier disse årene sammenlignet med de andre. I 2002 reduseres poretrykksnivået rundt disse målerne. Dette er samme år som infiltrasjonsbrønnen i vest som har retning mot dem fjernes.

Poretrykket viser ingen gjennomgående sammenheng med nedbør. 2004 utmerker seg som et år med svært lave poretrykkshøyder. Av årstallene som er inkludert er dette året med nest minst nedbør. Minst nedbør var det i 1996, som viser en høy gjennomsnittlig poretrykksverdi i estimatet. Året viser lignende verdier som år 2000 som er året med mest nedbør.

År 2002 er tatt med i tidsserien på grunn av kraterdannelsen, som skjedde i nærheten av poretrykksmåler 570, dette året. Fra tidsserien viser ikke året annerledes forløp enn andre år. I årene 1996 og 2000 er det generelt høye verdier i området nordvest. Fra avsnitt 2.2.5. ble det kjent at mengden vann ut fra den nærliggende brønnen var stor mellom år 1995 og år 2002.

År 2012 viser høye verdier. Dette er året hvor VEAS-tunnelen ble ferdig utstøpt. 475, som ligger nærmest den utstøpte delen, har sin høyeste verdi i 2012. Målnummer 980 og 454, i det nordøstlige hjørnet, viser også at 2012 er året med høyest gjennomsnittlig trykkhøyde. De ligger begge i nærheten av VEAS-tunnelen, men nærmest den delen som ikke er tettet.



Figur 4.44. Kartene viser hvordan den gjennomsnittlige poretrykshøyden endres i det nordøstlige området fra 1992 til 2012.

### 4.3.2. Kartserie for sørvestlige område

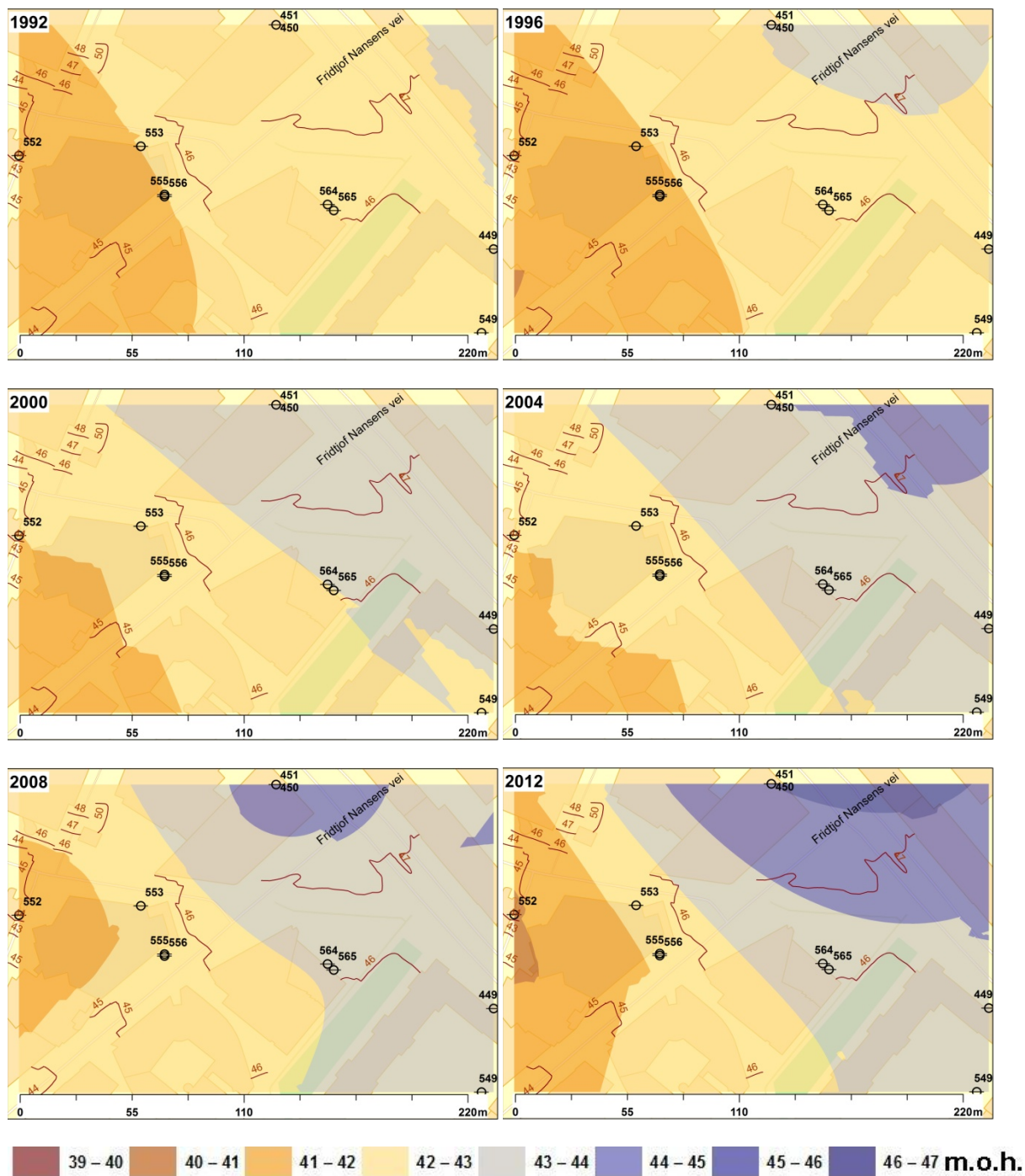
Den estimerte tidsserien i sørøst kan sees i figur 4.45. 10 poretrykksmålere er inkludert. Fra oversiktsbildet i figur 3.17. så man at også poretrykksmålerne 545 og 546 er i området, men disse er utenfor tidsserien fordi de ble avsluttet i 1991. 547 er ekskludert da den ble avsluttet i 1992, og kun ville blitt inkludert i ett kart.

Resultatet viser at de gjennomsnittlige poretrykkhøydene varierer med tiden, men mindre enn i nordøst. Størst variasjon viser poretrykksmåler 451 og 450 som fra 1992 til 2012 øker med potensielt 5 meter. De andre poretrykksmålerne varierer bare med 2 meter.

Generelt øker den gjennomsnittlige poretrykkshøyden fra 1992 til 2013. Det er illustrert med økning av høye verdier i det nordøstlige området rundt målnummer 450 og 451. Samtidig blir det dypeste poretrykkshøydeområdet i sørvest stadig grunnere, og har bunnår spesielt mellom 2000 og 2008. I 2012 er det dypeste poretrykksområdet noe større igjen, men ikke som i 1992 og 1996. I 2012 utmerker poretrykksmåler 552 seg med sin laveste poretrykkshøyde gjennom tidsserien, samtidig som 450 og 451 viser sin høyeste. Det gjør at 2012 er året hvor det er størst lokal variasjon i området. Fra nordøst til vest kan det gjennomsnittlige poretrykket potensielt sett ha 7 meters høydeforskjell. Det er ikke kjent hvorfor dette skjer i 2012. Nedbørsmengden i 2012 er mindre enn 2000 og 2008.

Området er generelt flatt, men noen områder har innslag av helning mot sørvest og noen mot sørøst. Poretrykksreduksjonen i området virker å gå i retning vest og sørvest.





Figur 4.45. Kartene viser hvordan den gjennomsnittlige poretrykshøyden endres i det sørvestlige området fra 1992 til 2012.

#### 4.4. Kvartærgeologiske profiler

37 unike borepunkt ble brukt til å lage de 9 kvartærgeologiske profilene. I tabell 4.5. gis en oppsummering av antall borepunkt og poretrykksmålere som ble benyttet per profil, samt i hvilken retning profilene går. Generelt har A-profilene en retning på 50 grader nordøst, B-profilene en retning 138 grader sørøst og C-profilene en retning på 107 grader øst-sørøst. De digitaliserte boreloggene fra Excel for hvert profil er vedlagt i vedlegg 12.

Fjellhøydemodellen ble fremstilt ved triangulering og kan sees i vedlegg 13. På grunn av mangel på borepunkt i hjørnene dekker ikke fjellhøydemodellen disse områdene. Dette er grunnen til at profilene C3-C3 og B1-B1 (figur 3.19.) begynner litt innenfor rammen som avgrenser studieområdet i det nordvestlige området.

Profilene ble fremstilt med en y-akse fem ganger så stor som x-aksen. Bygningene ble markert inn med riktig x-verdi, men høyden ble ikke undersøkt. Derfor er høydeinformasjonen ikke korrekt. VEAS-tunnelen og T-banetunnelen er også kun markert inn med kjent lengdeverdi, men ukjent høydeverdi. Poretrykksmålerne viser poretrykkshøyden i den siste utførte målingen. I områder hvor det er flere poretrykksmålere, er det valgt å vise poretrykkshøyden på den siste felles måledatoen. Ut fra dette er det markert inn en antydning grunnvannsstand for denne datoen. Den poretrykksmåleren som er plassert nærmest terrengflaten, er brukt som basis for å tolke grunnvannstanden. I de områdene hvor det kun er grunnvannsmålere som står nærme fjell, er nivået i disse brukt til å estimere grunnvannstanden, selv om dette ikke nødvendigvis representerer grunnvannstanden korrekt (jmf. 2.1.2.). I tillegg er maksimum- og minimumsporetrykkshøyde i alle poretrykksmålere markert. Det er bare poretrykksmålere som har informasjon om grunnvann. Geologien er tolket, men den er alltid korrekt fremstilt i de geotekniske borepunktene.

Tabell 4.5. Tabellen gir en oversikt over de kartlagte profillinjene sin lengde, retning og hvor mange poretrykksmålere og geotekniske borer som de inkluderer.

Profil	Lengde	Retning	Antall poretrykksmålere	Antall geotekniske borer
A1 - A1	590 meter	49° NØ	8	7
A2 - A2	398 meter	50° NØ	1	4
A3 - A3	221 meter	49° NØ	2	4
B1 - B1	548 meter	138° SØ	0	4
B2 - B2	567 meter	138° SØ	4	6
B3 - B3	566 meter	138° SØ	1	4
C1 - C1	639 meter	107° Ø-SØ	2	4
C2 - C2	636 meter	107° Ø-SØ	1	4
C3 - C3	626 meter	107° Ø-SØ	2	4



#### 4.4.1. Presentasjon av profiler

Figur 4.46. viser alle profilene samlet, mens figur 4.47 – figur 4.55 viser hver og en profil i større målestokk og med spesifiserte detaljer. Resultatet kan oppsummeres som følger:

##### 1. Geologien og topografi:

- Profilene viser variert fjelltopografi. Ingen områder er spesielt grunne over lange strekninger. Profil C1-C1, C2-C2 og B3-B3 viser svært grunne områder i enden av profillinjen. Det samme gjelder A2-A2 og B1-B1, men i disse profilene blir fjellforløpet dypere igjen rett før profillinjen avsluttes.
- Leire dominerer området i alle profilene. I B1-B1 er det kvikkleire i stor utstrekning, men mindre områder med kvikkleire finnes også i A2-A2, A3-A3, C1-C1 og C3-C3. Profilene som krysser B1-B1 har ikke kartlagt kvikkleire i krysningpunktene. Unntaket er C1-C1 som har felles borpunkt med B1-B1 i krysningpunktet.
- Øverste lag varierer mellom tørrskorpe, leire og matjord. I alle profilene utenom A3-A3 og B1-B1 er det små soner med sand eller grus. Disse kan være vanskelig å oppdage i profilene, men de står i boreloggene i vedlegg 12. Øverste lag er ofte ikke i overensstemmelse med krysningpunktene.

##### 2. Poretrykket:

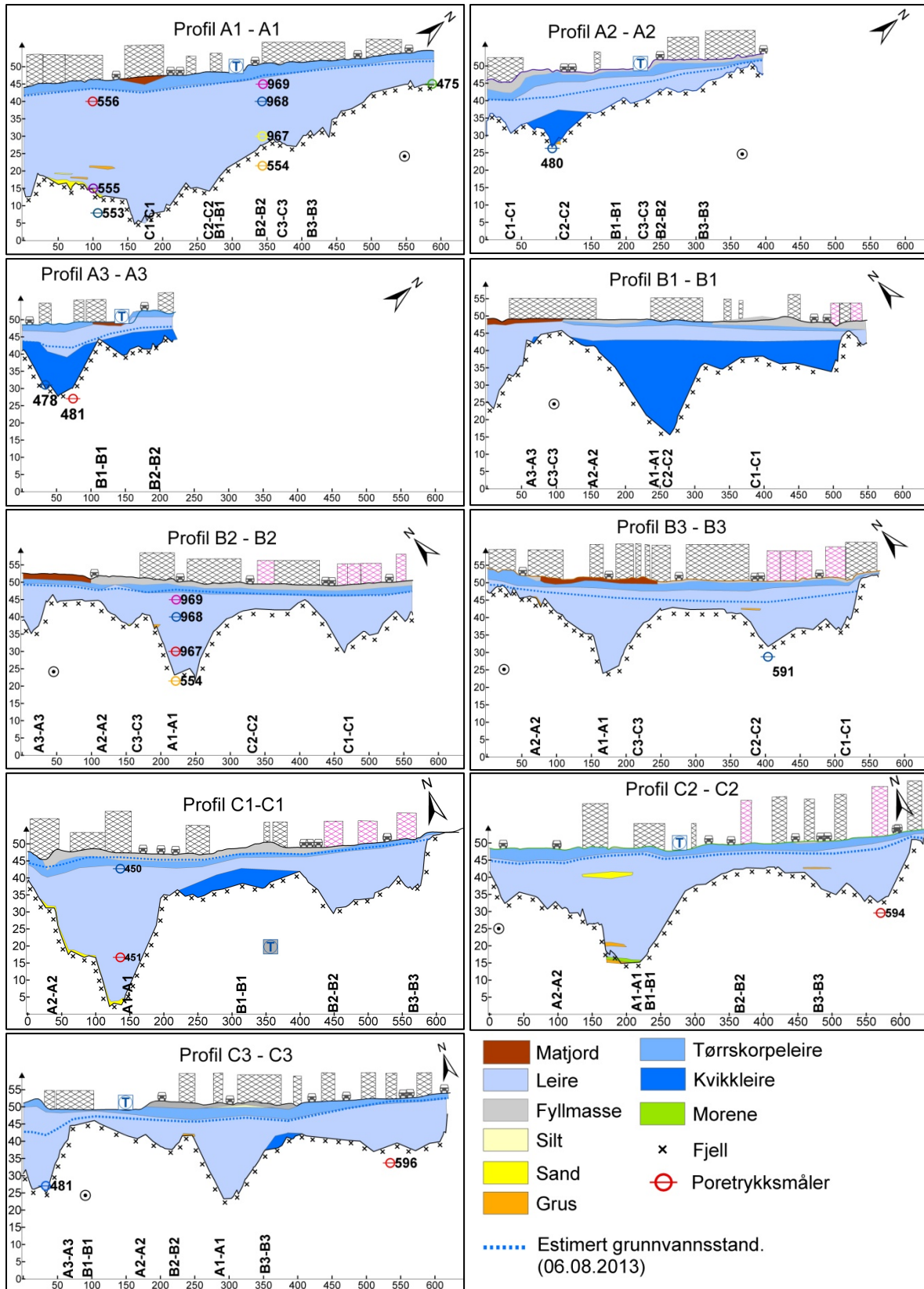
- Den tolkede grunnvannstanden er basert på siste måledato. For de fleste profilene er dette 6.august 2013, men for tre profiler er det en senere dato: A2-A2 (05.06.1987), A3-A3 (14.10.2005) og C3-C3 (14.10.2005). Disse representerer ikke nødvendigvis dagens situasjon.
- I A1-A1, B2-B2 og C1-C1 er grunnvannstanden tolket ut fra målinger som er utført nær terreng høyden. I disse tre profilene er poretrykkshøyden målt til å være 2-3 meter under bakken, som i profilene er tolket som dybde til grunnvannsstand.
- I resterende profiler er grunnvannsstanden tolket fra dypere poretrykksmålere fordi det ikke har vært grunne poretrykksmålere i profilet. I disse tilfellene er grunnvannsstanden tolket til å være 6-7 meter under terrengnivå. Unntaket er C3-C3 som på sørøstlig side av profilet viser poretrykkshøyde på bare 1 meter under terreng høyden. Men i den nordvestlige siden ligger det 7 meter under terreng høyden. Tolkningen av grunnvannsstanden i disse tilfellene har usikkerhet knyttet til om

målingene viser den reelle grunnvannstanden. Det er avhengig av områdets hydrostatiske trykkfordeling.

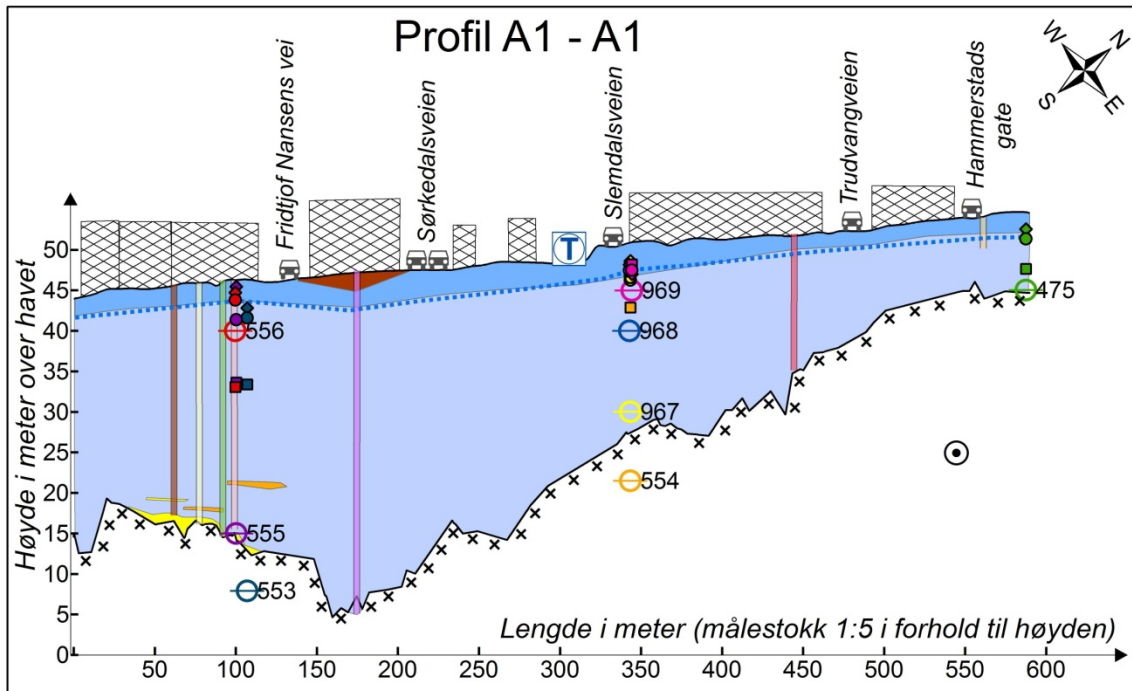
- A1 – A1 og A3 – A3 viser de laveste målte poretrykkshøydene i forhold til terreng høyden. Dette var i henholdsvis 1997 og 1981 og poretrykkshøyden ble målt ned mot 13 meter under terreng høyden.
- B1-B1 har ingen poretrykksmålere og har derfor ingen informasjon om grunnvannet.
- Måleren 556, som er i profil A1-A1 viser flere målinger over tid som er lavere enn høyden. Poretrykksmåleren kan ha feilregistrert høyde i poretrykksdatabasen.

### **3. Bebyggelse og infrastruktur:**

- Kombinasjonen mellom den varierende, ofte dype fjellgrunnen og dominansen av leire gjør at hele området i utgangspunkt vil være utsatt for setninger ved grunnvannssenkning (jmf avsnitt 2.1.3.). Hvorvidt dette kan føre til skade på bebyggelsen, avhenger av deres fundamentering.
- Murgårdsbebyggelsen kan være utsatt for setningsskader ved plassering delvis på fjell (mindre enn 3 meter til fjell fra terrenget) og delvis på løsmasser (jmf. 2.1.3. og 2.3.3.). Ingen av profilene viser et slikt tilfelle, men murbygningen lengst sørøst i B1-B1 står på skrående fjell, med 4 meters dybde til fjell på det grunneste.
- Murgårdsbebyggelsen i profil B3-B3, C1-C1 og C2-C2 ligger over omtrent 15 meters dype områder. I profil C1-C1 er grunnvannet tolket til å være bare et par meter under murgårdsbebyggelsen. Hvis tolkningen er korrekt, vil det bety at treflåtene per 6. august 2013 ikke ligger over grunnvannsstanden, fordi treflåtene antageligvis ligger under kjelleren, 3 meter ned i løsmassene (jmf. avsnitt 2.3.3). Det vil si at treflåtene ikke utsettes for oksygen og sånn sett ikke er i fare for setningsskader. I C2-C2 er grunnvannsstanden kartlagt mellom 3 og 4 meter under bebyggelsen. Her kan flåtene tidvis være utsatt for oksygen, og råtne. I profil B3-B3 ligger det tolkede grunnvannet ca. 6 meter under. Dette kan være kritisk. Men denne poretrykksmåleren ligger ca. 15 meter unna i horisontalplanet og måler inn poretrykket ved fjell.
- VEAS-tunnelen krysser profil A1-A1, A2-A2, B1-B1, B2-B2, B3-B3, C2-C2 og C3-C3. I tillegg går A3-A3 parallelt med tunnelen på nordvestlig side. Det gis ikke noen informasjon om høyden på VEAS-tunnelen. Den er plassert ca. 25 m.o.h. i profilene.
- Profil C1-C1 krysser en T-banetunnel. Det gis ikke informasjon om høyden, men plasseringen i forhold til lengdeaksen er korrekt.



Figur 4.46. Figuren viser en sammenstilling av alle profilene. Krysningspunktene er markert omtrentlig. VEAS- og T-banetunnelen har ukorrekt høyde.



### Tegnforklaring

- Gate
- T-bane
- Veas-tunnel.
- Ukorrekt høyde.
- Bebyggelse.
- Ukorrekt bygghøyde.
- Jordart**
- Leire
- Matjord
- Sand
- Grus
- Tørrskorpeleire
- Fjell
- Estimert grunnvannsstad (06.08.2013)

### Malernr

- 475
- 553
- 554
- 555
- 556
- 967
- 968
- 969

### Målinger fra poretrykksmålere:

- 475 (ca. 6,4 m SØ for profillinjen)**
  - 52,56 m.o.h. (Maksimumsmåling. 30.04.2012)
  - 51,36 m.o.h. (06.08.2013)
  - 47,66 m.o.h. (Minimumsnivå. 05.03.1979)
- 553 (ca. 19,3 m NV for profillinjen)**
  - 42,85 m.o.h. (Maksimumsmåling. 18.10.2000)
  - 41,65 m.o.h. (06.08.2013)
  - 33,48 m.o.h. (Minimumsmåling. 08.01.1997)
- 554 (ca. 9,9 m SØ for profillinjen)**
  - 48,53 m.o.h. (Maksimumsmåling. 06.09.2002)
  - 46,27 m.o.h. (06.08.2013)
  - 42,88 m.o.h. (Minimumsmåling. 23.05.1991)
- 555 (ca. 7,3 m SØ for profillinjen)**
  - 45,45 m.o.h. (Maksimumsmåling. 10.05.1990)
  - 41,37 m.o.h. (06.08.2013)
  - 33,62 m.o.h. (Minimumsmåling. 04.02.1991)
- 556 (ca. 8 m SØ for profillinjen)**
  - 44,72 m.o.h. (Maksimumsmåling. 18.04.1991)
  - 43,82 m.o.h. (06.08.2013)
  - 33,07 m.o.h. (Minimumsmåling. 08.01.1997)

### 967 (ca. 9,9 m SØ for profillinjen)

- 48,63 m.o.h. (Maksimumsmåling 31.08.2012)
- 46,49 m.o.h. (Minimumsmåling. 06.08.2013)

### 968 (ca. 10,4 m SØ for profillinjen)

- 48,17 m.o.h. (Maksimumsmåling. 06.06.2013)
- 47,47 m.o.h. (06.08.2013)
- 47,28 m.o.h. (Minimumsmåling. 17.10.2002)

### 969 (ca. 10,2 m SØ for profillinjen)

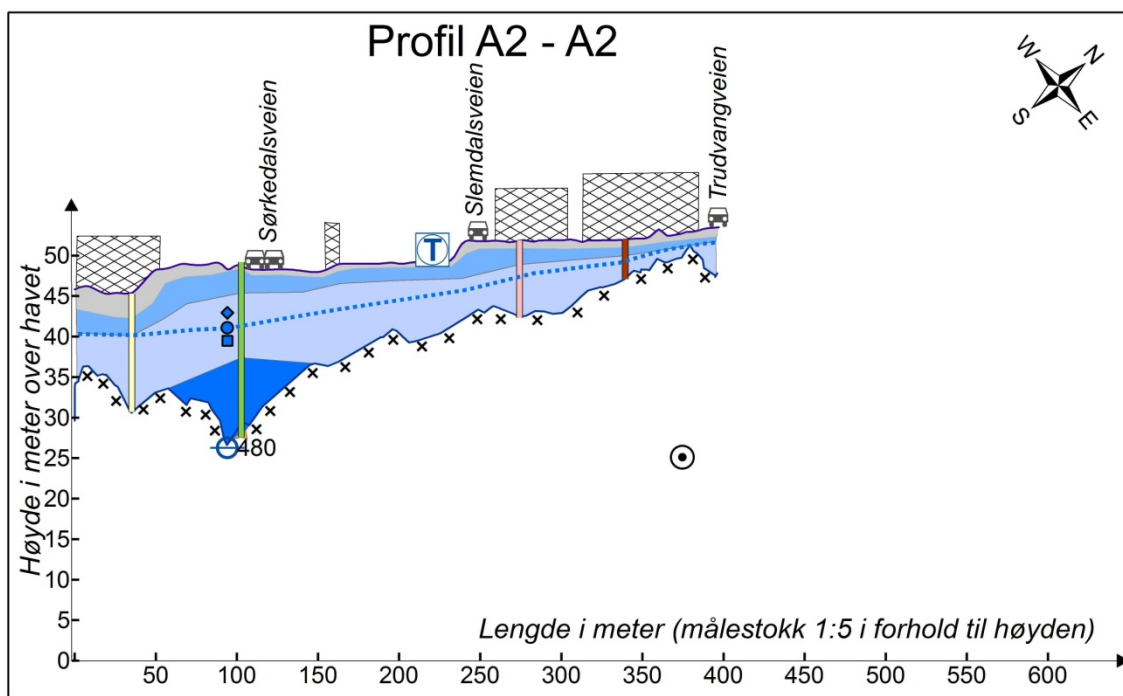
- 48,2 m.o.h. (Maksimumsmåling. 05.11.2002)
- 47,51 m.o.h. (06.08.2013)
- 46,99 m.o.h. (Minimumsmåling. 09.09.2002)

### Geoteknisk borpunkt med ID-nummer

- 4994
- 4993
- 4992
- 4991
- 83741
- 83343
- 83303233



Figur 4.47. Figuren viser profil A1-A1 og tilhørende tegnforklaring. Nederst i høyere hjørne er det indikert hvor profilet går.



### Tegnforklaring

- Gate
- T-bane
- VEAS-tunnel. Ukorrekt høyde.
- Bebyggelse.
- Ukorrekt bygghøyde.

#### Jordart

- Leire
- Fyllmasse
- Sand
- Grus
- Tørreskorpeleire
- Kvikkleire
- Fjell
- Estimert grunnvannsstand (05.06.1987)

#### Poretrykksmåler

480



#### Målinger fra poretrykksmåler:

480 (ca. 0,6 m SØ for profillinjen)

- 42,92 m.o.h. (Maksimumsmåling, 23.06.1980)
- 41,09 m.o.h. (05.06.1987)
- 39,49 m.o.h. (Minimumsmåling 14.02.1980)

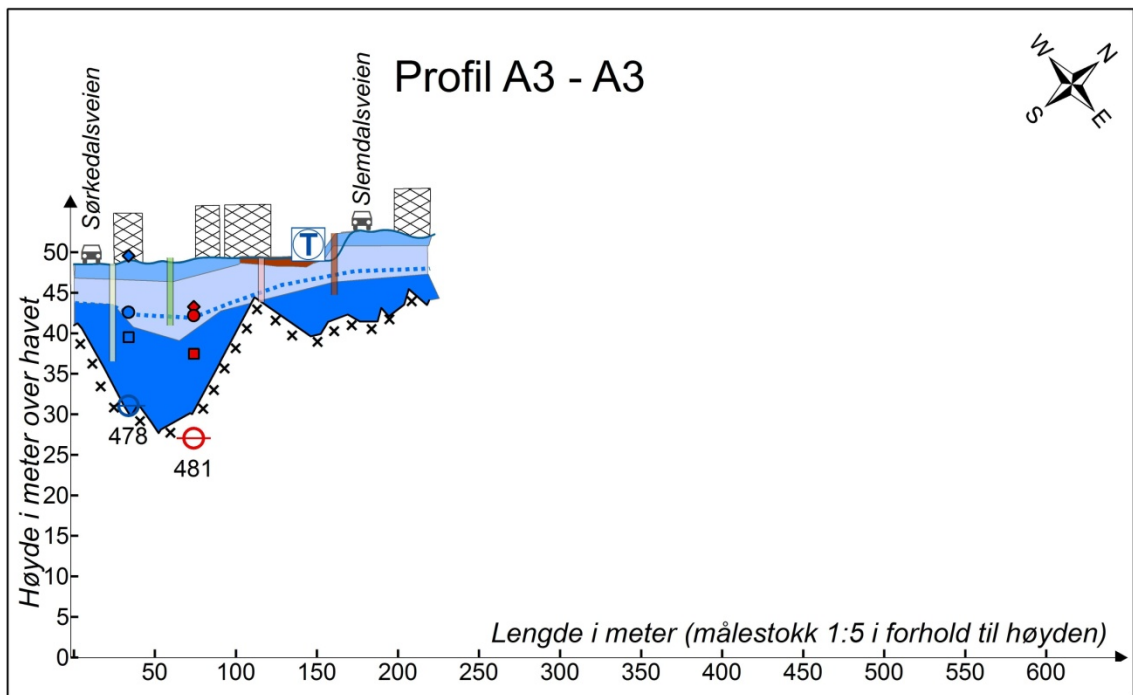
#### Geoteknisk borpunkt med ID-nummer

- 55311
- 8376103
- 47121
- 47152



Figur 4.48. Figuren viser profil A2-A2 og tilhørende tegnforklaring. Nederst i høyere hjørne er det indikert hvor profilet går.





### Tegnforklaring

- Gate
- T-bane
- Bebyggelse.
- Ukorrekt bygghøyde.

#### Jordart

- Leire
- Matjord
- Tørrskorpeleire
- Kvikkleire
- fjell
- Estimert grunnvannsstand. (14.10.2005)

#### Poretrykksmålere

478 481

#### Målinger fra poretrykksmåler:

##### 478 (ca. 14,6 m SØ for profillinjen)

- 49,56 m.o.h. (Maksimumsmåling 16.05.1973)
- 42,6 m.o.h. (14.10.2005)
- 39,51 m.o.h. (Minimumsmåling 14.02.1980)

##### 481 (ca. 19,4 m NV for profillinjen)

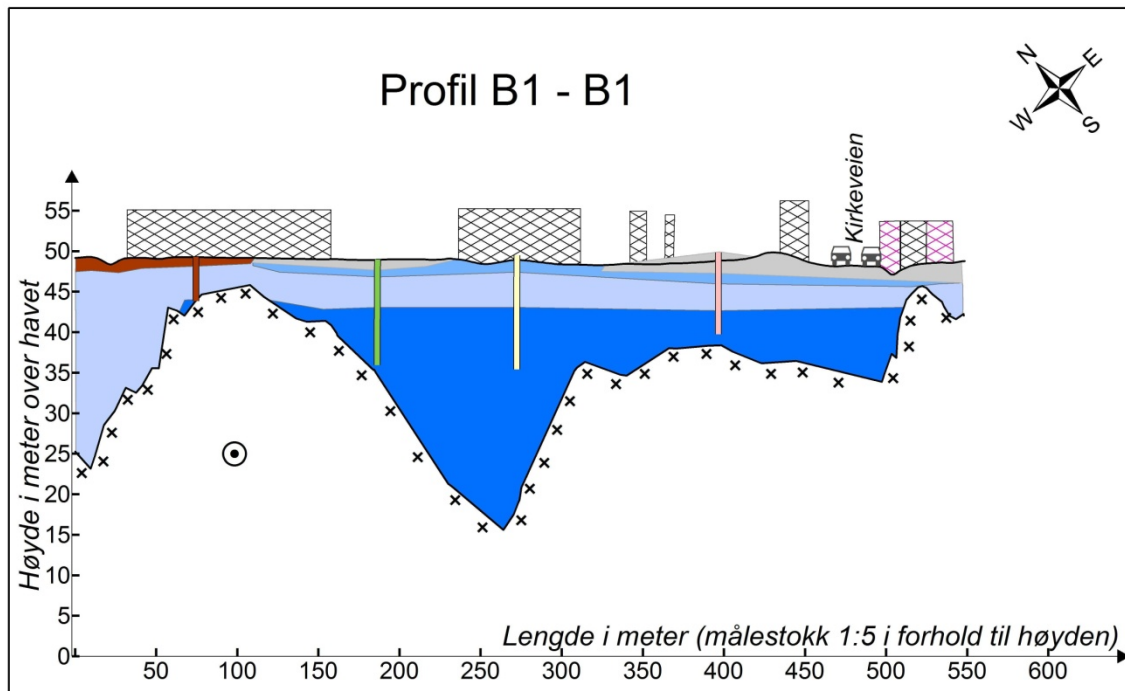
- 43,27 m.o.h. (Maksimumsmåling 19.04.2005)
- 42,19 m.o.h. (14.10.2005)
- 37,47 m.o.h. (Minimumsmåling 14.09.1981)

#### Geoteknisk borpunkt med ID-nummer

- 833054
- 833076
- 8330103
- 833012115



Figur 4.49. Figuren viser profil A3-A3 og tilhørende tegnforklaring. Nederst i høyere hjørne er det indikert hvor profilet går.

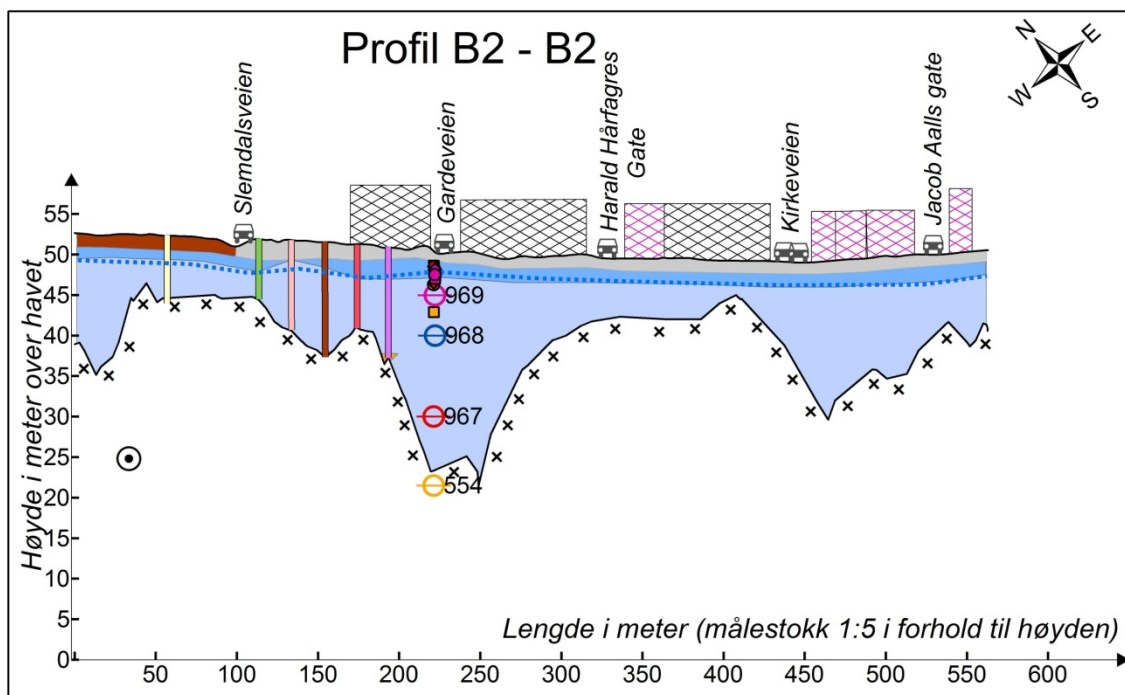


#### Tegnforklaring

	Gate	<b>Geoteknisk borpunkt med ID-nummer</b>
	VEAS-tunnel. Ukorrekt høyde	8349
	Bebyggelse. Ukorrekt høyde.	832616
	Murbebyggelse fra 1800-tallet. Ukorrekt bygghøyde.	832623
<b>Jordart</b>		8330103
	Leire	
	Matjord	
	Fyllmasse	
	Tørrskorpeleire	
	Kvikkleire	
	Fjell	



Figur 4.50. Figuren viser profil B1-B1 og tilhørende tegnforklaring. Nederst i høyre hjørne er det indikert hvor profilet går.



### Tegnforklaring

- Gate
- VEAS-tunnel.
- Ukorrekt høyde.
- Bebyggelse.
- Ukorrekt bygghøyde.
- Murbebyggelse fra 1800-tallet.
- Ukorrekt bygghøyde.
- Jordart**
- Leire
- Matjord
- Fyllmasse
- Sand
- Grus
- Tørreskorpeleire
- fjell
- Estimert grunnvannsstand (06.08.2013)

### Poretryksmålere

969 968 967 554

### Målinger fra poretryksmålere:

#### 969 (ca. 0,5 m SV fra profillinjen)

- 48,2 m.o.h. (Maksimumsmåling. 05.11.2002)
- 47,51 m.o.h. (06.08.2013)
- 46,99 m.o.h. (Minimumsmåling 09.09.2002)

#### 968 (ca. 4,3 m SV fra profillinjen)

- 48,17 m.o.h. (Maksimumsmåling 06.06.2013)
- 47,47 m.o.h. (06.08.2013)
- 47,28 m.o.h. (Minimumsmåling 17.10.2002)

#### 967 (ca. 1,2 m SV fra profillinjen)

- 48,63 m.o.h. (Maksimumsmåling. 31.08.2012)
- 46,49 m.o.h. (Minimumsmåling. 06.08.2013)

#### 554 (ca. 1,2 m SV fra profillinjen)

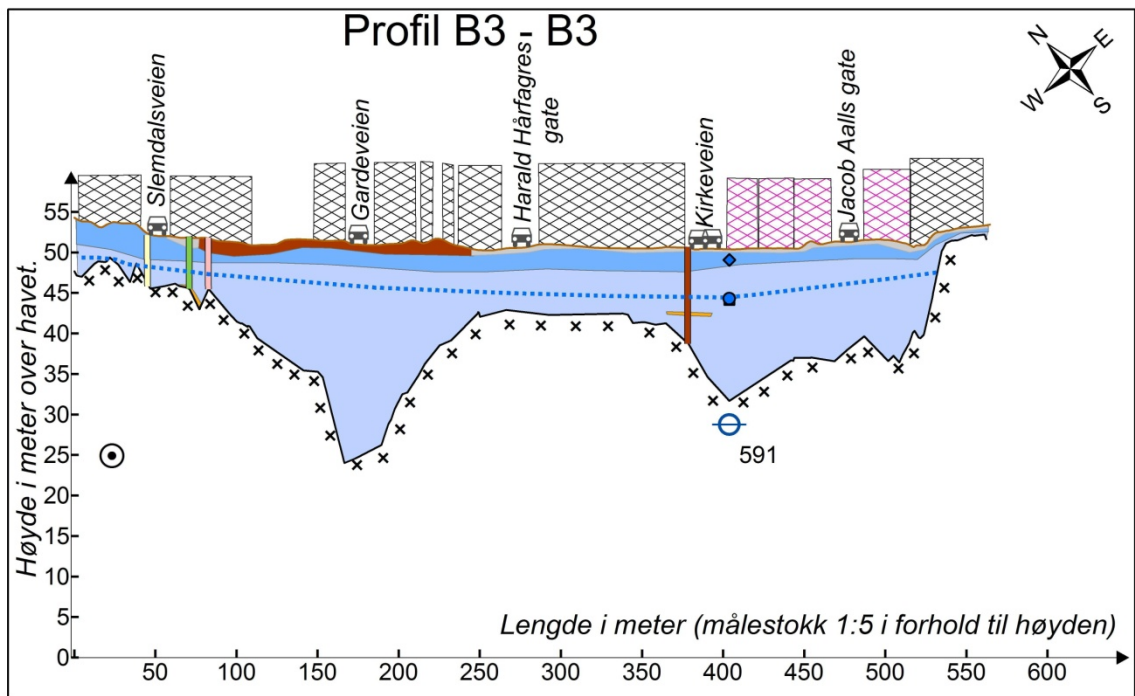
- 48,53 m.o.h. (Maksimumsmåling 06.09.2002)
- 46,27 m.o.h. (06.08.2013)
- 42,88 m.o.h. (Minimumsmåling 23.05.1991)

### Geoteknisk borpunkt med ID-nummer

- 8330147
- 47116
- 47111
- 4717
- 4713
- 471106



Figur 4.51. Figuren viser profil B2-B2 og tilhørende tegnforklaring. Nederst i høyre hjørne er det indikert hvor profilet går.

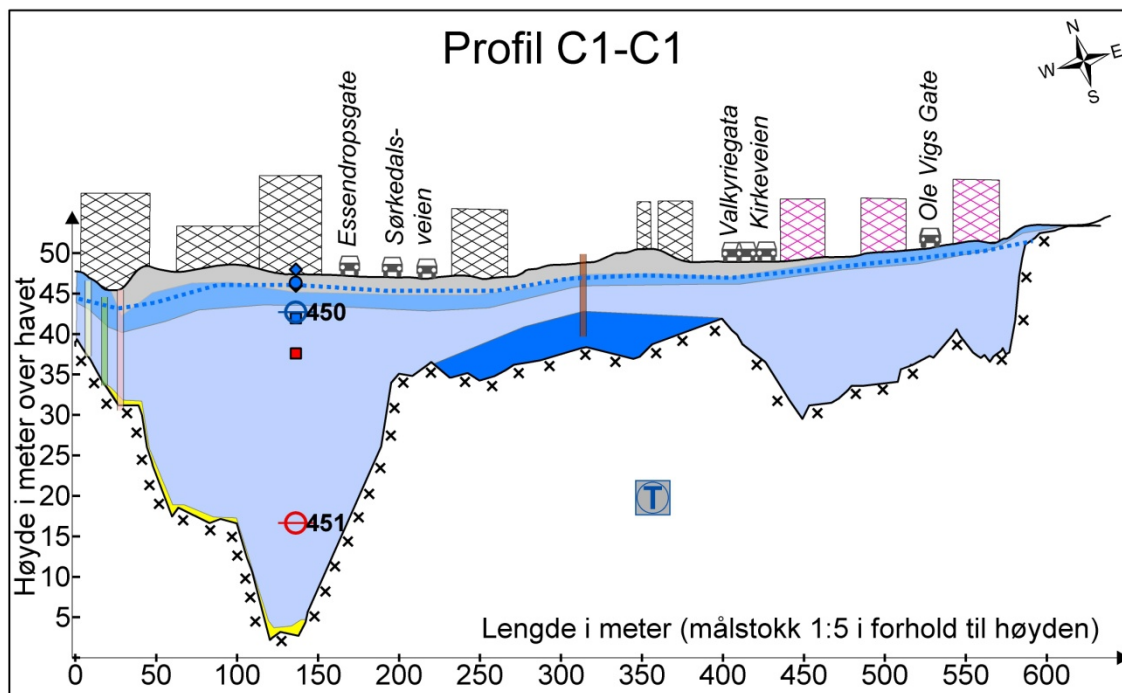


### Tegnforklaring

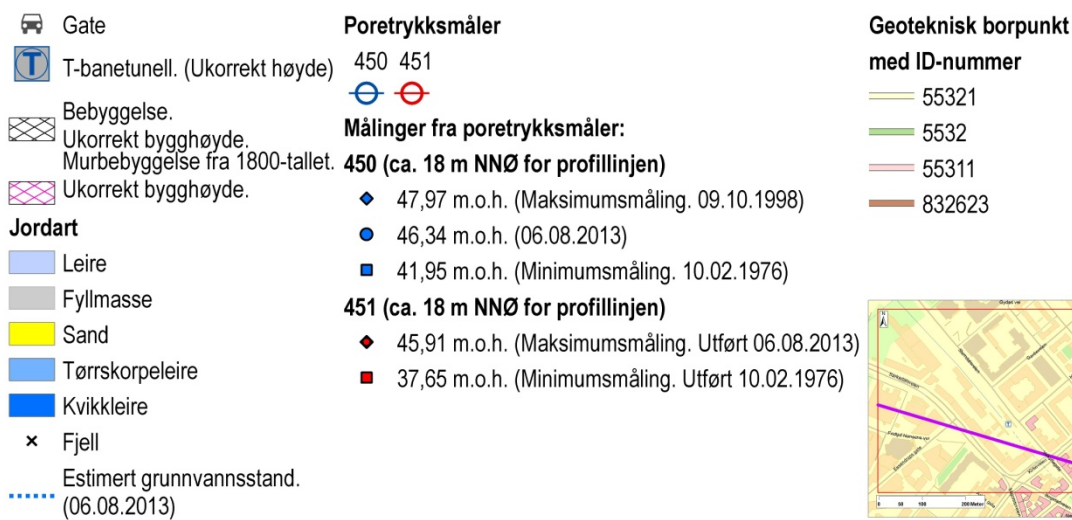
- |   |   |  |
|---|---|--|
| Gate  | Poretrykksmåler<br>591  | <b>Geoteknisk borpunkt med ID-nummer</b> |
| VEAS-tunnel.<br>Ukorrekt høyde.                       | 591   | 83301920                                 |
| Bebyggelse.<br>Ukorrekt bygghøyde                     | <b>Målinger fra poretrykksmåler:<br/>591 (ca. 14,6 m SV fra profillinjen)</b> | 47182                                    |
| Murbebyggelse fra 1800-tallet.<br>Ukorrekt bygghøyde. | 49,08 m.o.h. (Maksimumsmåling. 30.04.1992)                                    | 47184                                    |
| <b>Jordart</b>  | 44,3 m.o.h. (06.08.2013)  | 3971                                     |
| Leire   | 44,14 m.o.h. (Minimumsmåling. 15.11.2002)                                     |  |
| Matjord   |   |  |
| Fyllmasse   |   |  |
| Grus  |   |  |
| Tørrskorpeleire                                       |   |  |
| Fjell   |   |  |
| Estimert grunnvannsstand.<br>(06.08.2013)             |   |  |



Figur 4.52. Figuren viser profil B3-B3 og tilhørende tegnforklaring. Nederst i høyre hjørne er det indikert hvor profilet går.

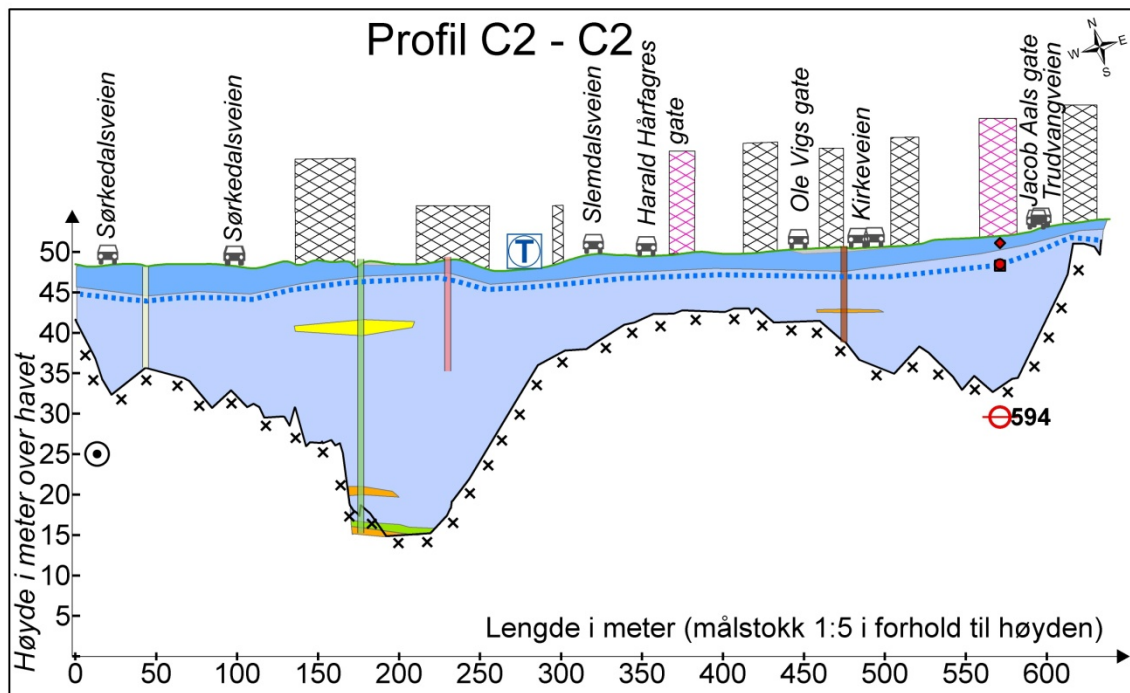


### Tegnforklaring

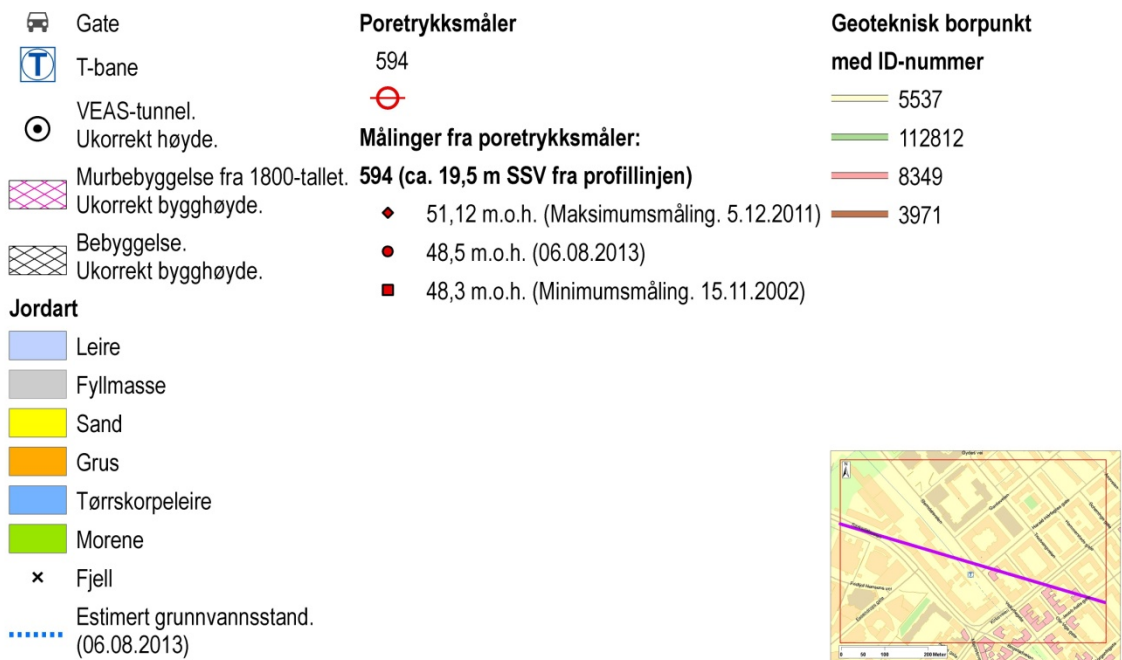


Figur 4.53. Figuren viser profil C1-C1 og tilhørende tegnforklaring. Nederst i høyere hjørne er det indikert hvor profilet går.

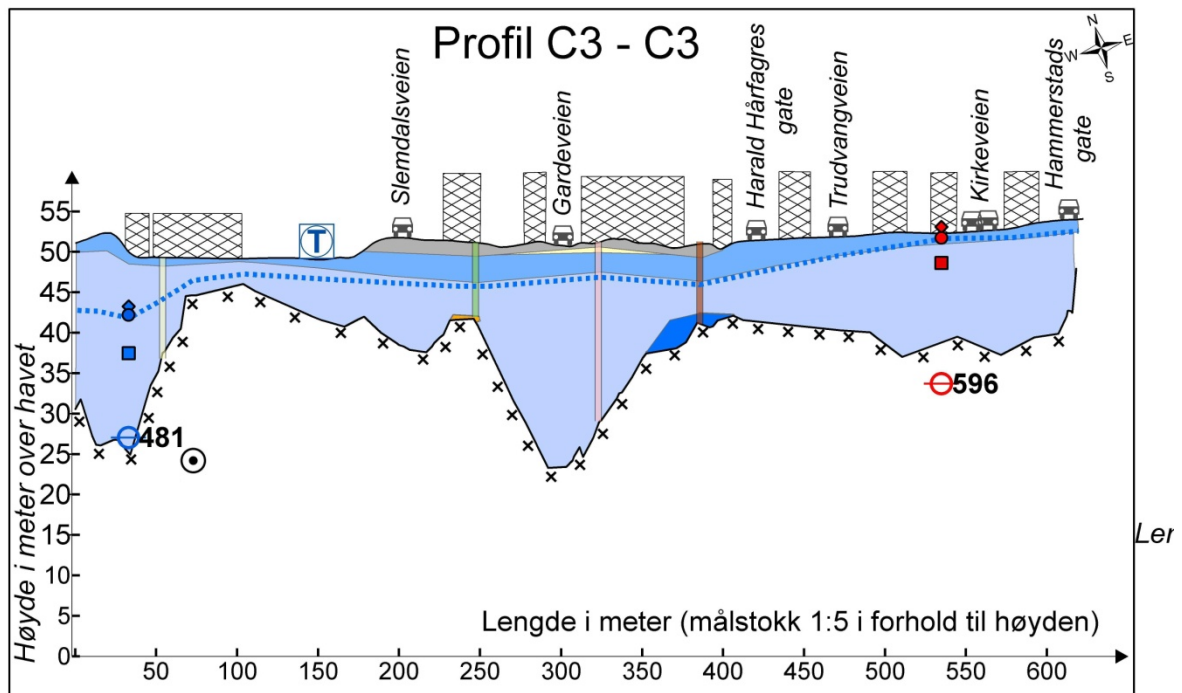




### Tegnforklaring



Figur 4.54. Figuren viser profil C2-C2 og tilhørende tegnforklaring. Nederst i høyere hjørne er det indikert hvor profilet går.



### Tegnforklaring

- Gate
- T-bane
- VEAS-tunnel.
- Ukorrekt høyde.
- Bebyggelse.
- Ukorrekt bygghøyde.
- Jordart**
  - Leire
  - Fyllmasse
  - Silt
  - Grus
  - Tørreskorpeleire
  - Kvikkleire
  - Fjell
  - Estimert grunnvannsstand. (14.10.2005)

### Poretrykksmåler

481 596



### Målinger fra poretrykksmåler:

#### 481 (ca. 14,2 m SSV fra profillinjen)

- 43,27 m.o.h. (Maksimumsmåling. 19.04.2005)
- 42,19 m.o.h. (14.10.2005)
- 37,47 m.o.h. (Minimumsmåling. 14.09.1981)

#### 596 (ca. 18 m SSV fra profillinjen)

- 53,09 m.o.h. (Maksimumsmåling. bl.a. 10.10.2002)
- 51,74 m.o.h. (14.10.2005)
- 48,62 m.o.h. (Minimumsmåling. 15.11.2002).

### Geoteknisk borpunkt med ID-nummer

- 832216
- 471100
- 836012
- 83603



Figur 4.55. Figuren viser profil C3-C3 og tilhørende tegnforklaring. Nederst i høyere hjørne er det indikert hvor profilet går.

## 5. Diskusjon

---

### 5.1. Innledning til diskusjonen

Hensikten med de utviklede produktene er å kunne fremstille geologien og grunnvannssituasjonen på Majorstua på en slik måte at det er mulig å oppdage områder og bebyggelse som er i fare for setningsskader. I kommende kapitler vil produktene ha evne til å oppdage setningsutsatte områder og bebyggelse gjennomgå. Det vil også bli diskutert hvordan urbane områder, med et fokus på Oslo kommune, kan ta nytte av produktene.

### 5.2. Produktenes evne til å oppdage hendelser knyttet til endringer i poretrykk.

For at poretrykksgrafene og tidsserien i kapittel 4.2. og 4.3. skal oppnå sin hensikt, bør de ha evne til å vise kritiske trender og variasjoner i poretrykket som kan forårsake setninger. Om dette er mulig, vil bli analysert med deres evne til å spore historiske hendelsene knyttet til setninger i studieområdet (historikk er gjennomgått i avsnitt 2.2.5.). Fokuset er på om det er mulig ved hjelp av produktene i fremtiden å kunne oppdage/forutse lignende situasjoner.

#### 5.2.1. Poretrykkssituasjonen etter installasjon VEAS-tunnelen.

Installasjonen av VEAS-tunnelen på slutten av 70-tallet førte til poretrykksreduksjon og setningsskader på bygg (jmf. 2.2.5.). De målerne med målnummer på 400-tallet er de som er installert på 1970-tallet og viser forløpet fra åpningen av VEAS fram til 1990-tallet hvor installasjonen av infiltrasjonsbrønnen og økningen av antall poretrykksmålere skjedde.

Ved å sammenligne boksploottene til de poretrykksmålerne som måler inn poretrykket i nærheten av tunnelen fra slutten av 1970-tallet frem til 1990, kan følgende oppsummeres:

- De to poretrykksmålere som ligger rett over tunnelen, 454 (figur 4.18.) og 478 (figur 4.22.) viser poretrykksreduksjoner fra 70-tallet frem til 1990. Den årlige poretrykkshøydemedianen i poretrykksmåler 454 reduseres med ca. 4 meter og i poretrykksmåler 478 med ca. 2 meter. 454 måler inn poretrykket ved fjellflaten. Ved 478 er ikke fjellhøyden oppgitt, men den måler inn 17,5 meter under terrenghøyden. I følge figur 4.7. som viser poretrykksmåleren med dybde til fjellkoter, befinner poretrykksmåleren seg i dybdeintervallet 15-20 meter og kan antas ligge nært fjell.

- Poretrykksmåler 480 (figur 4.23.) og poretrykksmåler 452 (figur 4.17.) ligger begge ca. 70 m i horisontaldistanse fra tunnelen. Disse måler inn poretrykket ved fjell, og viser svært stabile målinger. 453 (figur 4.19) som også ligger omtrent 70 meter unna, viser svært ustabile målinger uten noen spesiell trend. Denne måleren ble også presentert i avsnitt 4.2.3. som det boksploppet som viste mest variasjon i målingene. Men denne poretrykksmåleren er svært grunn, og måler poretrykket i et nivå som er 22 meter høyere enn fjellflaten.
- Poretrykksmålerne 476 (figur 4.22.) og 481 (figur 4.24.) som ligger litt nærmere tunnelen (55-60 meter unna), viser variasjoner, men uten noen klar trend. Poretrykksmåler 481 måler poretrykket ved fjell. Fjellhøyden ved poretrykksmåler 476 er ikke kjent, men den måles inn 22 meter under terrenghøyden. I følge figur 4.7. som viser poretrykksmåleren på dybde til fjell-kart, befinner poretrykksmåleren seg på grensen mellom dybdeintervallet 15-20 meter og 20-25 meter. Så det kan antas at det er nærme fjell.

Dette viser at boksploppene har evne til å oppdage innlekkasjer til fjell ved at poretrykksmålere rett over tunnelen viser nedadgående trend. Poretrykksmålere, som 476 og 481, som er lenger unna men fremdeles i nærheten, viser ikke på samme måte trenden. Men de kjennetegnes ved at de har mye variasjon, i motsetning til 476 og 481 som ikke har noe variasjon og ligger enda lenger unna. Det kan tyde på at området som påvirkes av tunnelen går ut til mellom 60 og 70 meter. Dette gjelder kun de poretrykksmålere som måler poretrykket ved fjellflaten.

### **5.2.2. Poretrykks situasjonen etter installasjon av infiltrasjonsbrønner i 1991/92 og i 2002 og i forbindelse med kraterdannelsen i 2002.**

I 1991/92 ble tre infiltrasjonsbrønner installert med hensikt om å øke poretrykket (jmf. 2.2.5). Fra boksploppene i avsnitt 4.2.3. vises det at dette gir klart utslag på mange av poretrykksmålerne som er installert på 70-tallet. Det ene unntak er poretrykksmåler 452 (figur 4.17.) som også her er svært stabil. De to andre unntakene er poretrykksmålerne 481 (figur 4.24.) og 478 (figur 4.22) som heller ikke viser noen klar reaksjon ved 1991/92, men disse ligger i avstand på 500 meter til nærmeste infiltrasjonsbrønn (480 som også ligger i denne avstanden, ble avsluttet i 1987).

Når det gjelder hendelsen med kraterdannelsen i 2002, så ble det sagt at utstrømningen fra infiltrasjonsbrønnene økte i 1995 (jmf. 2.2.5). Dette startet en pågående erosjon frem til dannelsen av krateret i 2002. Siden dette var en alvorlig hendelse med en prosess som pågikk

over lang tid før ulykken inntraff, er det interessant å se hvordan det ga utslag på poretrykksgrafene. Dette er interessant for å se etter karakteristiske trekk slik at en sårn situasjon om mulig kan oppdages på forhånd i et eventuelt senere tilfelle. Poretrykksmålerne som ligger i en nær tilknytning til kraterdannelsen er 452, 453, 590, 570 og 571, men poretrykksmåler 570 har få målinger mellom 1996 og 2002. Som tidligere er det i særlig grad 453 som viser variasjoner. Poretrykksmåler 453 reagerte voldsomt på installasjonen av infiltrasjonsbrønnene i 1991 og har økende poretrykk frem til 1995. Da stabiliserer det seg svært høyt frem til 2002. Man ser i grafen at poretrykket er så høyt at det overstiger bakken. Dette gjelder en poretrykksmåler som kun er 5,3 meter under bakken. Fra avsnitt 2.1.2 er det kjent at poreovertrykk kan føre til reduksjon av stabilitet i det bærende laget. Poretrykksmåler 452 som ligger i samme posisjon, men dypere, er helt stabil. Det viser at i dette tilfellet er det andre grunner enn utlekkasje ved fjell og poreundertrykk i dypet som får 453 til å variere i så stor grad. Poretrykksmåler 590 som ligger i omtrent samme lokalitet, men i en mellomhøyde, viser at målingene har større variasjon, og generelt høyere verdier mellom 1995 og 2003 enn øvrige år. Men det er likevel lite i forhold til 453. Fra værdataene i avsnitt 3.2.4., vises det at det generelt er lite årsnedbør fra 1989 til 1997. Derfor kan det ikke være det som har forårsaket det voldsomt høye poretrykket i måler 453. To ting kan karakterisere denne situasjonen:

- Når en måler som tidligere har hatt poretrykksverdier under terrengnivå får høye poretrykksnivå som overstiger terrenget over lengre tid, bør man være observant på bebyggelsen i området fordi det kan føre til senket bæreevne i øverste lag, og eventuelle kraterdannelser.
- Når det øverste laget skiller seg så mye fra nedre lag, og det ikke har noen sammenheng med nedbør, kan det være et tegn på at infiltrasjonsbrønnene ikke fungerer slik det har til hensikt (øke poretrykket gradvis fra fjell og oppover). I slike situasjoner bør infiltrasjonsbrønnen, og dybden der vann infiltreres ut, undersøkes.

I avsnitt 4.2.3. ble det ramset opp poretrykksmålere som i blant viste en poretrykkshøyde som var høyere enn terrengnivået. Alle disse lå i det nordøstlige området. Hvis man undersøker disse i etterkant av 2002 og frem til i dag, viser 4 stykker en slik situasjon i denne tidsperioden: dette gjelder 476, 572, 596 og 980. 476 og 980 ligger ved infiltrasjonsbrønnen, mens 572 og 596 ligger sør for brønnene. Alle, utenom 596, viser en slik situasjon minst ett år i løpet av de siste 3 årene. Dette kan være et område der man kan undersøke infiltrasjonsbrønnen.



### **5.2.3. Poretrykkssituasjonen etter tetting av tunnelstrekninger i 2012.**

Etter at deler av VEAS-tunnelen ble utstøpt i 2012, skal det ha hindret innlekkasje til tunnelen og poretrykket ha økt (jmf 2.2.5.). Det bør synes på målingene fra store deler av 2012 og målingene frem til 6.august 2013. De tre målerne, 727, 728 og 729 er i nærheten av der det er tettet. De har vært svært stabile hele måleperioden med omtrent en helt horisontal trend (jmf. tabell 4.3.). 454, som ligger over VEAS-tunnelen men et stykke unna tettingen, viser i boksplottet (figur 4.18.) helt klar økning i 2012 og det som er målt inn av 2013. 453 (figur 4.19), 476 (4.21) og 571 (4.26) viser også økende tendenser. Generelt virker det som at målingene viser oppadgående poretrykk fra og med 2012, men det bør måles over flere år før dette kan konkluderes.

### **5.2.4. Sammenheng mellom nedbør og poretrykk**

Av poretrykksgrafene er det ikke oppdaget noen klar sammenheng mellom årlig nedbørsmengde og poretrykk. Målerne virker i større grad å vise store variasjoner i forbindelse de med menneskeskapt inngrepene, som spesielt infiltrasjonsbrønnene. Dette kan være naturlig da Majorstua er et tett bebygde område med få grøntområder.

Værdataene (jmf. 3.2.5.) viste at år med særlig mye nedbør var 1988 og 2000. Hvis man sammenligner de geologiske profillinjene der de kartlagte poretrykksmålerne viser maksimums- og minimumsverdier, er det kun 1 måler som har toppmåling i ett av de nevnte årene eller etterfølgende år (etterfølgende år undersøkes også på grunn av mulige forsinkelser i jordprofilet, jmf. avsnitt 2.1.1). Poretrykksmåler 555 (figur 4.28.) har sin toppmåling i 2000, men fra boksplottet ser man at det er en verdi utenfor boksen, og at boksen i seg selv ikke skiller seg spesielt fra de andre. Dette betyr at maksimumsverdien dette året kun er målt inn ett tilfelle og ikke er trend for hele året. Ved å studere boksplottene ser man at noen poretrykksmålere, 450 (figur 4.15.), 476 (figur 4.21.), 481 (figur 4.24.) og 596 (figur 4.36.), har høye verdier i 2000. Men plottene viser at disse poretrykksmålerne i tidligere eller senere år også har like høy poretrykkshøyde selv om nedbørsmengden da har vært mindre. Altså påvirker ikke store nedbørsmengder poretrykket i området mer enn andre faktorer.

Nedbørsfattige år har vært 1976, 1983, 1991, 1997, 2010 og 2013. Noen poretrykksmålere viser lave målinger dette året, gjerne i år 1991. Men 1991 er et år med stor menneskelig aktivitet i begge ender av området. I det nordlige området pågikk installering av poretrykksbrønner på grunn av reduksjon i poretrykk rundt VEAS-tunnelen frem til dette året, og i det sørøstlige området var det arbeid i grunnen ved Kredittkassens tomt. Ved å studere

poretrykksmålerne i de geologiske profilene viser for eksempel poretrykksmåler 553 (figur 4.47.) lav verdi i 1997. Ved å sammenligne med boksplottet (figur 4.30.) ser man at året generelt har lave verdier, men det er veldig mye lavere enn andre år med liten nedbørsmengde (1976, 1983, 1991, 2010, 2013). Dette tyder på at det i 1997 kan ha vært lokale inngrep i grunnen, og at år med liten nedbørsmengde heller ikke påvirker poretrykkssituasjonen på Majorstua i noen betydelig grad.

Grunne poretrykksmålere burde i utgangspunktet være mest påvirket av nedbørsdata, men det har ikke vært mulig å finne noen eksempler på et at dette skulle være tilfelle i området. I avsnitt 4.2.3. ble 571 (figur 4.26.) presentert som poretrykksmåleren med poretrykksvariasjon som i størst grad stemmer overens med nedbørsvariasjonene. Denne poretrykksmåleren måler inn ved fjell ca. 17 meter under terreng høyden. Poretrykksmåleren ligger i nærheten av infiltrasjonsbrønn 3 og 4. Poretrykksmåleren ser ut som den blir påvirket av infiltrasjonsbrønnen fra 1991 til 1992, hvor poretrykket i etterkant er relativt høyt. Men når poretrykket igjen synker inn mot 2002, reagerer ikke poretrykksmåleren på samme måte på infiltrasjonsbrønn 4 som ble installert i 2002. Først i 2005 starter en økning i poretrykk igjen. Et lignende forløpet kan også sees igjen i 456 som ligger på andre siden av Schöningsgate enn 571. Om dette skyldes årlig nedbør eller andre årsaker er ukjent. Ingen hendelser er kjent fra 2005.

### **5.3. Produktenes evne til å oppdage og vise setningsutsatt geologi**

Fra avsnitt 2.1.3. ble det fastslått at setningsutsatt geologi er marin leire, ujevn fjelltopografi og dyprenner. Dybde til fjell kartet (figur 4.5.) gir en god oversikt over fjelltopografien og dyprenner. I Oslo hvor fjelltopografien er svært varierende (jmf 2.2.3), kan en risiko ved dybde til fjell-estimering være å overse en eller flere dyprenner. Studieområdet har god dekning av fjellboringer som er relativt jevnt fordelt i alle retninger (figur 4.4). Derfor antas kartleggingen i dette området å inkludere de dyprennene som eksisterer i området.

Usikkerheten er knyttet til de områder hvor standardavviket er høyt (figur 4.6.)

Profilene gir et godt bilde av både fjelltopografi og løsmassefordeling. De er valgt ut der det har vært mulig å krysse profiler over hele området. Geologien mellom borepunktene består kun av tolkning og antagelser. Ved å sammenligne profilenes krysningspunkt ser man at særlig to geologiske usikkerheter utmerker seg:

- Øverste lag er ofte ikke i samsvar. Tolkning av fyllmasse, matjord og tørrskorpe går over i hverandre.
- B1-B1 er et profil der store deler av området er tolket til kvikkleire. Av de 6 kryssende profillinjene, er det kun C1-C1 som gir samme kvikkleireresultat og det er fordi de benytter felles borepunkt i krysningpunktet. A2-A2 har tolket kvikkleire i nærhetene av krysningpunktet, mens øvrige ikke har kvikkleire tolket inn i det hele tatt.

Profilene stemmer ikke helt overens med løsmassekartleggingen til NGU som ble gjennomgått i avsnitt 2.2.4. Av A-profilene, som i NGU sitt kart (figur 3.19.) kun består av fyllmasse i øverste lag, er det kun A2-A2 som viser fyllmasse som øverste lag. De to andre har vekselvis matjord og tørrskorpeleire. Lignende problematikk går igjen i de andre profilene. C1-C1 er det profilet som er nærmest å ligne kartleggingen av NGU. Dette er naturlige avvik da profilkartleggingen er gjort i en mer detaljert form enn NGU sin overflatekartlegging som dekker mye større områder.

Det er spesielt interessant med de geologiske profilene at man kan se i hvilken geologi som poretrykksmålerne måler inn poretrykket. Det er relevant i forhold til jordartenes forskjellige strømmingsegenskaper, og er en faktor som BGS ser på som helt nødvendig i forhold til grunnvannskartlegging (jmf. 2.3.2). Hvis man sammenligner alle profilene, så ser man at bare målnummer 555 som er tolket til å måle inn i et sandlag (figur 4.47.). Ellers ligger alle de andre poretrykksmålere i leire eller kvikkleire. Noen er lokalisert i fjell. Det gjelder i hovedsak poretrykksmålerne som er opptil 20 meter unna profillinjen, da de ikke i alle tilfeller viser korrekt fjellhøyde for den aktuelle poretrykksmåleren i profilet. Dette sees blant annet i profil A1-A1 (figur 4.47) der poretrykksmåler 553 er lokalisert i fjell.

Informasjon om poretrykksmålerens geologi er interessant ved analyser over hydrostatisk trykkfordeling, slik som det er gjennomført i avsnitt 4.2.4. Poreovertrykk kan føre til redusert stabilitet i øverste lag og poreundertrykk kan føre til setninger (jmf. 2.1.3.). Poreundertrykk kan skyldes innlekkasje til undergrunnsanlegg, men avvik fra hydrostatisk trykkfordeling kan også være på grunn av endrede geologiske forhold. For eksempel et sandlag hvor vannet enklere strømmer gjennom. Derfor er det interessant å undersøke om de områder som viser avvik fra hydrostatisk fordeling, også viser ulik geologi. Poretrykksmåler 450 og 451 viste poreundertrykk ved kartlegging av trykkfordelingen (jmf 4.2.4.). Disse to er tegnet inn i profillinjen C3-C3 i figur 4.55. 451 er ikke tolket til å måle inn poretrykket i en annen type

geologi enn 450. Begge er kartlagt i leire Det betyr at poreundertrykket (selv om det er veldig lite) i det her tilfellet kan skyldes en utlekkasje ved fjell eller feilkartlagt geologi, eventuelt feilregistrerte poretrykkshøyder eller målerhøyde.

Ut fra forutsetningene er det geologiske produktet tilfredsstillende og gir et visuelt enkelt bilde av geologien. Profilene viser at hele området domineres av leire, og preges i så måte av setningsutsatt geologi.

## **5.4. Produktenes evne til å vise setningsutsatt bebyggelse**

En del av produktenes hensikt er å vise hvilke bygninger som er i fare for setningsskader. I avsnitt 2.1.3. sies det at det i hovedsak gjelder bebyggelse som utsettes for ujevnt setningsforløp. Det er det fare for der hvor dybden til fjell varierer langs bygninger. Til å lokalisere slike bygninger gir dybde til fjell-kartet en god oversikt. Fra avsnitt 2.1.3 er det kjent at den mest setningsutsatte geologien er bløte leiravsetninger. I de tilfeller hvor det er tett med geotekniske boringer, gir de kvartærgeologiske profilene et godt bilde av løsmassefordelingen og topografien under hver enkelt bygning. I profilene fremstilles også estimert grunnvannsnivå og maksimum- og minimumsverdier, som kan si noe om grunnvannets variasjon og nivå under bebyggelsen. I dette kapitlet vil det reflekteres over hvilken bebyggelse, som ut fra produktene, viser seg setningsutsatt.

### **5.4.1. Vurdering av setningsutsatt 1800-talls murgårdsbebyggelse.**

Oppgaven har i særlig grad fokusert på 1800-talls murgårdsbebyggelse, fordi denne bebyggelsen har hatt en karakteriserende fundamenteringsmetode, som man vet at gjør den ekstra utsatt for setninger ved grunnvannssenkning (jmf. 2.1.3). Av de 17 murgårdene fra 1800-tallet som er innenfor studieområder, viste bygningsanalysen med dybde til fjell-kart (avsnitt 4.1.4.) at ingen murgårdsbebyggelse stod trygt på fjell. Det betyr at ingen av bygningene fra 1800-tallet i studieområdet kan regnes som utenfor faresonen for setningsskader.

To bygninger, som ble vist i figur 4.9., ligger delvis på fjell og delvis fundamentert på løsmasser. Disse bygningene kan pekes ut som i faresonen for setningsskader, fordi det nesten helt sikkert vil føre til skade på bebyggelsen hvis setninger inntreffer. For å analysere faren for setningsskader ytterligere benyttes de andre utviklede produktene. Første utgangspunkt er de geologiske profilene. Det mest nordøstlige av de to setningsutsatte bygningene, som ligger i krysset mellom Bogstadveien og Kirkeveien, er med i profilene B1-B1 (figur 4.50.). Det

gjelder den delen av bygningen som står på løsmasser. I profilet er området tolket til å inneholde leire, altså utsatt for setninger. Med bakgrunn i leiredominansen i de geologiske profilene over hele området, antas det at samme forhold også gjelder den utsatte bygningen som ikke er inkludert i profilene.

I avsnitt 2.1.3 ble det fortalt at treflåtene under murgårdsbebyggelsen ble lagt minimum 40 cm under daværende grunnvannsstand. Dersom man antar at daværende grunnvannsstand ikke var lavere enn dagens nivå, og antar et verst tenkelig tilfelle der treflåtene ble lagt akkurat 40 cm under grunnvannsstanden, kan man bruke poretrykkgrafene til å undersøke om poretrykkshøyden reduseres med mer enn 40 cm. Det vil i så fall kunne føre til at flåtene utsettes for oksygen og råtner slik at setningsskader oppstår. Ved fortsatt å fokusere på de bygningene som er delvis på fjell og delvis på løsmasser, ser man at det ikke er noen poretrykksmåler i direkte tilknytning til de. Den nærmeste poretrykksmåleren 549, på vestlige side er mellom 90 og 115 meter unna de to byggene. Poretrykksmåleren måler inn poretrykket 7 meter under terrengnivå. Boksplottet (figur 4.34.) viser i blant variasjoner innenfor 3 meter, men sett fra 1990 til 2013 finns det ingen langvarig negativ trend. Poretrykksmåler 591 er nærmeste måler på nordøstlig side og ligger mellom 115 og 160 meter unna. Målern måler inn poretrykket 21,2 meter under terrengnivå, noe som tilsvarer fjellnivå. Boksplottet til denne poretrykksmåleren viser omtrent likt variasjonsforløp som poretrykksmåler 549 fra 1992 frem til 2002 (figur 4.25). Da økes poretrykkshøyden kraftig. Det kan tyde på at den har blitt påvirket av den nyinstallerte infiltrasjonsbrønnen. I 2012 og 2013 synker poretrykket igjen og beveger seg mot nivået fra før 2002. Fra maksimummålingen i 2012 til minimummålingen i 2013 skiller det over 2 meter. Hvis trenden fortsetter slik at poretrykket blir lavere enn målingene før 2002, vil dette området utsettes for grunnvannsenkning som muligens går under treflåtenivået. I tillegg til de to utsatte murgårdsbygningene, er det i dette området generelt mye murgårdsbebyggelse. Med unntak av 2012 og 2013 er det ikke mulig å spore noen spesiell negativ trend på poretrykksmålerne i tilknytning til de to kritiske bygningene. Men generelle svingninger på mellom 1 og 3 meter gjør at treflåtene tidvis kan ligge høyere enn grunnvannsstanden. Ut fra det kan man si at de to utsatte bygningen er i faresonen for skjevsetninger. Resterende murgårdsbebyggelse kan også utsettes for setninger, men med en mindre fare for skjevsetninger.

#### **5.4.2. Vurdering av bebyggelse over dyprenner**

Med bakgrunn i den tidligere utførte InSAR-undersøkelsen (jmf. 2.3.4.) som viste at det pågikk størst setningsaktivitet i dyprennene, er det interessant å undersøke bebyggelsen i



tilknytning til dyprennene. I avsnitt 2.1.3. ble det gjengitt at erfaringstall som viste at poretrykksfall på 1-3 meter i bunn av dyprenner med marin leire i tilknytning til tunneler, kun gir setninger på noen få centimeter. En slik setningsstørrelse gir ingen stor fare for betydelige skader. I studieområdet er det interessant å kartlegge bebyggelse ovenfor de dypeste områdene for å undersøke om området viser en poretrykksreduksjon på mer enn 3 meter.

I den sørvestlige delen av studieområdet er det en markant dyprenne. Dette kan sees i figur 4.5. Bebyggelsen langs Fridtjof Nansens vei, Essendrops gate og deler av bebyggelsen langs Sørkedalsveien og Gardeveien ligger i tilknytning til denne dyprennen. Det går ingen tunnel under, men VEAS-tunnelen går nordvest for dyprennen. Hydrostatisk trykkfordelingsanalyse i området viser hydrostatisk trykkfordeling i noen punkt, og små poreundertrykk i andre (avsnitt 4.2.4).

Den kvartærgeologiske profilen A1-A1 (figur 4.47.) går langs dyprennen og viser at geologien består av leire, med antydning til enkelte sand- og gruslag. Det vil si at de geologiske forutsetningene for setninger er tilstede (jmf. 2.1.3.). Av de dypeste målerne; 451 (figur 4.16.), 552 (figur 4.29), 553 (figur 4.30.), 554 (figur 4.38.), 555 (figur 4.28.), er det kun 555 som viser en tilnærmet poretrykksreduksjon på mer enn 3 meter. Det gjelder fra poretrykksnivået i 1999 og frem til 2013. Poretrykksmåler 556 (figur 4.27.) som måler på samme lokalitet, men mye grunnere, viser ikke samme forløp. 556 viser høye verdier de siste 4 årene, men relativt lave årene før. Dette tilfellet, og den generelle manglende sammenhengen mellom grunne og dype målere, ble også påpekt i avsnitt 4.2.3. De andre poretrykksmålerne i dyprenne viser tendens til store variasjoner og reduksjoner på mer enn 3 meter innenfor årene 1990-91 og 1997. I 1990 og 1991 er det sannsynligvis forårsaket av arbeidet med Kredittkassen, mens i 1997 er årsaken ukjent.

Generelt, basert på en vurdering av alle poretrykksmålinger, virker det vanskelig å si at det foregår poretrykksreduksjoner i dyprenna på mer enn 3 meter. I så fall er ikke bebyggelsen være spesielt skadeutsatt. Bebyggelsen på tvers av dyprennen går over svært ulike fjelldybder. Dette gjelder for eksempel bebyggelsen langs Sørkedalsveien. Avhengig av fundamentering kan disse være utsatt for skader ved mindre enn 3 meter poretrykksfall. Oppgaven har ikke inkludert undersøkelser av fundamenteringsmetoder.

#### **5.4.3. Vurdering av bebyggelse i tilknytning til VEAS-tunnelen.**

I avsnitt 2.2.5. er det vist til at det oppstod skader på bebyggelsen rundt VEAS-tunnelen på 80-tallet. Det er ikke nevnt hvilken bebyggelse, men analyse av poretrykksmåler 454 (figur

4.18.) viser at det foregikk en poretrykksreduksjon på opp til 4 meter frem til 1991. Poretrykksmåleren ligger på et relativt grunt område med mellom 10 og 15 meters dyp til fjell (figur 4.7.). Men bygningen på nordsiden av poretrykksmåleren spenner over et dyp mot 25 meter, og var antageligvis utsatt for setninger på 80-tallet. Om det oppstod skader på bygningene, er avhengig av fundamenteringen. Men området viser at det har potensial for poretrykksreduksjon. Det betyr at dersom tunnelen viser seg ikke å være tett i fremtiden, vil bebyggelsen her kunne være utsatt for setninger. Ingen av murgårdsbygningene i studieområdet er i nærheten av VEAS-tunnelen.

Bebyggelsen som er i tilknytning til poretrykksmåler 478, som også viste negativ trend på 80-tallet, er oppført på 2000-tallet, og vurderes derfor ikke.

#### **5.4.4. Øvrige betraktninger knyttet til skader på bebyggelse**

Oppgaven har ikke innebefattet en analyse av de ulike fundamenteringsmetodene, med unntak av informasjon om 1800-talls murgårdsbebyggelse. Men samme type analyse kan i utgangspunktet brukes på hvilken som helst bebyggelse ved kunnskap om fundamenteringsmetoder. Hvis man samlet informasjon om fundamenteringsmetoder på ulike bygg, kunne man på en mye mer presis måte peke ut setningsutsatte bygg. For eksempel kunne man klassifisere de bygg som står fundamentert på fjell som utenfor risiko for setningsskader. Selv om det også i de tilfeller kan oppstå skader knyttet til tilbygg, trapper eller bygningsinfrastruktur (kabler og ledninger) som ligger i løsmasser. Fordi fundamenteringsmetodene i denne oppgaven ikke er undersøkt (med unntak av 1800-talls murgårds bebyggelse) og geologien i området er setningsutsatt (leire og variert fjellgrunn), kan man ikke ut fra studiematerialet si at noen bygninger er utenfor fare for setningsskader. Men ingen poretrykksmåler viser i dag noen særlig langvarig, negativ trend, så ingen bygning kan heller pekes som umiddelbart setningsskadeutsatt (med unntak av murgårdsbebyggelsen diskutert i 5.4.1.).

### **5.5. Produktenes usikkerhet.**

Et optimalt resultat burde vise pålitelige enkeltprodukter som kan gi sammenhengende resultat ved kombinasjon. En del usikkerhetspunkt er knyttet til enkeltproduktene:

- Det er en usikkerhet knyttet til fremstilling av boksplokk ved at boksene ikke alltid representerer et likt antall målinger like jevnt fordelt over året. For eksempel er 2002 et år der svært mange poretrykksmålinger er utført i tilknytning til hendelsen med

kraterdannelsen på høsten. Som en indikasjon på frekvensen er det på boksplottskjemaene i vedlegg 10 er oppgitt antall målinger. I tillegg opplyses det om årstall hvor målingene ikke er utført hvert kvartal, slik at man får noe informasjon om om frekvensen.

- Stigningstallet og trenden som fremstilles i punktgrafene (tabell 4.3. og avsnitt 4.2.2) behøver ikke nødvendigvis vise dagens trend da de er analysert fra første måledag til siste. For mer sikkerhet om dagens situasjon burde mindre intervall vært, for eksempel fra 2003 da siste infiltrasjonsbrønn var installert. Men metodikken kan brukes til å velge ut kortere tidsperioder.
- De estimerte overflatene (dybde til fjell, gjennomsnittlig poretrykksnivå, terrengmodell og fjellflate) er kun estimater og ikke fullstendig pålitelige. De overflatene som er utført med geostatistisk analyse opplyser i tillegg om usikkerheten.
- Det kan ha forekommet menneskelige feilregistreringer ved poretrykksmålinger eller geotekniske boringer.
- Noen av de geotekniske boringenes er svært gamle som gjør at de øverste lag i dag kan være endret både av løsmasseinnhold og høyde. I tillegg ble det ved gjennomgang av dataene fra Undergrunnsarkivet i avsnitt 3.2.2. bestemt å inkludere boringer med en dybde til fjell-feilmargin på 1 meter.
- Det er usikkerhet knyttet til tolkningene i de geologiske profilene. Dette er diskutert i kapittel 5.3.

## **5.6. Sammenligning av produktenes resultat med tidligere utførte InSAR-undersøkelser**

I avsnitt 2.3.4 ble det beskrevet hvordan Oslo kommune tidligere har samarbeidet med NGU for å kartlegge setninger ved hjelp av InSAR. Generelt viste bygninger på Majorstua fra 0 til 3 mm setning per år. Colosseum kino, ble pekt ut som en av bygningene i Oslo med mest setningsaktivitet, med omtrent 10 cm på 10 år (1992-2002). Det behøver ikke bety at Colosseum kino er utsatt for skjevsetninger som fører til skader, men det er uansett interessant å sammenligne resultatet med de utviklede produktene for å se om produktene evner å fange opp samme endring.

Colosseum kino kan sees i figur 4.8., som bygningen på sørsiden av krysset mellom Essendrops gate og Fridtjof Nansens gate. Området ble diskutert i avsnitt 5.4.2. Der ble det påpekt at det viste noen dramatisk setningsaktivitet sett over hele måleperioden. I dette

avsnittet vil perioden 1992 til 2002 vurderes nærmere. Colosseum kino ligger plassert over en dyprenne, og som diskutert i avsnitt 5.4.2. er dyprennen tolket til å bestå av marin leire med enkelte sand- og gruslag. Hvis man sammenligner med påstanden fra avsnitt 2.1.3. hvor det sies at et poretrykksfall på 1-3 meter typisk gir noen få centimeter synking, burde man mellom 1992 og 2002 forvente seg et poretrykksfall på mer enn 3 meter rundt Colosseum kino.

Ser man på perioden 1992-2002 i boksplokkene er det 556 (figur 4.28.) som viser mest negative målinger. 555 (figur 4.27.) viser generelt høye poretrykksverdier i tidsperioden 1992-2002 sammenlignet med årene før og etter. Som diskutert tidligere utmerker 1997 seg som et år med lavt poretrykk i 556, 553 og 552. Trendanalysen som er gjennomført, viser positiv trend for alle poretrykksmålere rundt Colosseum kino (jmf.tabell 4.3.), men den er analysert fra start til slutt i måleperioden, og representerer et større tidsrom enn 1992-2002.

Tidsserien som ble laget med det gjennomsnitteige poretrykksnivået og presentert i avsnitt 4.3.2. inneholder Colosseum kino. Ved å studere tidsserien virker det som om det er en generell poretrykkssenkning rundt Colosseum kino fra 1992 til 2004 (ikke kartlagt for 2002). Det viser at det gjennomsnittlige poretrykket i deler av området rundt Colosseum kino kan det ha sunket med i potensielt sett 2 meter fra 1992 til 2004.

Ut fra antagelsen om at poretrykkssenkninger på 1-3 meter ikke fører til stort mer enn et par cm setninger over dyprenner, kommer ikke setningsaktiviteten til Colosseum kino frem på samme måte i poretrykksmålingene som på InSAR-målingene. Usikkerhet her kan være knyttet til dybden på dyprenner som erfaringstallene er hentet fra eller ulike lag med ulik poretrykksforhold i dyprennen under Colosseum kino som ikke har kommet frem i profilene. Det at heller ingen poretrykksmålere enkeltvis skiller seg ut i noen spesiell negativ trend, kan bety at området ikke har skjevsetninger.

InSAR er en meget bra metode for å oppdage setninger siden den registrerer den faktiske høydebevegelsen. Tilgang på InSAR data vil gi et bra utgangspunkt for kartlegging og overvåking. Ved utsatte områder kan de utviklede produktene supplere med geologi-informasjon og poretrykksmålinger som eventuelt kan brukes til å analyse og oppdage skjevsetninger.

## **5.7. Mulighet for nyttiggjørelse av produktene i urbane områder, med Oslo Kommune og Undergrunnsprosjektet som utgangspunkt.**

Hensikten i denne masteroppgaven har vært å utvikle kartprodukter som kan brukes for å vise setningsskadeutsatt bebyggelse i urbane områder. Oppgaven er gjennomført i samarbeid med Undergrunnsprosjektet i Oslo kommune, og bruker Majorstua (Oslo) som eksempel på urbant område. Gjennom Undergrunnsprosjektet ønsker Oslo kommune å analysere, tilgjengeliggjøre og kommunisere informasjon om undergrunnen. Undergrunnsprosjektet ønsker å etablere prosedyrer for produkter som kan benyttes på et detaljert nivå internt i kommunen, og et mer generelt produkt som på en enkel måte kan kommuniseres til og forstås enkelt av byens innbyggere og beslutningstagere (dette er en del Undergrunnsprosjektets videre arbeid høsten 2014 og 2015). Med utgangspunkt i dette vil relevante erfaringer fra masteroppgaven gis i dette avsnittet.

Masteroppgaven har vist hvordan kartproduktene kan peke ut setningsutsatt 1800-talls murgårdsbebyggelse på Majorstua fra dybde til fjell-kart, som videre blir analysert ved hjelp av poretrykksmålere og geologiske profil. Ekstra oppmerksomhet bør rettes mot 1800-talls murgårdsbebyggelse på grunn av fundamenteringsmetoden. Her vil overvåkningsprogram ved hjelp av InSAR og kontinuerlige innmålinger av poretrykk gi økt kunnskap om grunnvannssituasjonen rundt murgårdsbebyggelsen.

En kartlegging og registrering av fundamentering på bebyggelse vil gi mer detaljerte kart med mulighet til å peke ut utsatte bygninger. Men en utpeking av setningsutsatt bebyggelse kan redusere markedsverdien på bygningen. En ideell situasjon ville være hvis bygningseiere på eget initiativ kunne undersøke og rapportere fundamentering på sine bygg, mens kommunen kan bistå med geologiske og hydrogeologiske data. Det kan skape en gjensidig utveksling og kommunisering av kunnskap (mellom beslutningstagere og innbyggere), på lignende måte som er gjennomført i Helsingfors (jmf. 2.3.1.).

Resultatene av poretrykksgrafene viser at variasjonene i poretrykket i størst grad påvirkes av menneskelige inngrep. Derfor kan det anbefales å benytte overvåkning av poretrykk ved store inngrep i grunnen. Jevnlige målinger må tas for å unngå betydelige setningsskader på bygg. En automatisering av poretrykksovervåkningsprogram i kombinasjon med InSAR-data vil være en effektiv måte for kommunen (internt) å få oversikt over grunnvannssituasjonen. En



tilgjengeliggjøring av Poretrykksdatabasen i form av en kartside, ala Helsingfors (jmf 2.3.1), der byens innbyggere kan følge med på aktive poretrykksgrafer, vil kunne føre til økt kunnskap om grunnvannssituasjonen i Oslo. Her kan man vurdere å bruke punktgrafene eller boksplottene. Disse bør oppdateres jevnlig for hver måling som foretas. Prosedyrer for å automatisere innmåling, registrering og oppdatering av graf vil forenkle denne prosessen.

Majorstua er valgt som studieområdet fordi det er et av de områdene i Oslo med flest poretrykksmålere. I områder hvor det ikke er etablert poretrykksmålere anbefales det å ta i bruk InSAR-data, sammen med dybde til fjell-kart og utarbeidelse av geologiske profiler ved hjelp av Undergrunnsarkivet.

I masteroppgaven er det ikke utviklet ett, men flere kartprodukter som er tenkt å kombineres. Et forslag for fremgangsmåte for best mulig utnyttelse av produktene innad i kommunen er:

1. Å skape et samarbeid med NGU om bruk og tolkning av InSAR-data. Det gjør at man kan peke ut bygninger hvor det foregår stor setningsaktivitet.
2. For nærmere analyse av områder utvikles dybde til fjell-kart. Det visualiserer eventuelle dyprenner eller hellende fjellforløp. Det gjøres for å se hvor det er fare for skjevsetninger. Et dybde til fjell-kart bør jevnlig oppdateres med nye boringer, for eksempel hvert kvartal.
3. Poretrykksgrafer i nærheten av utsatt bebyggelse bør lages og analyseres for å se om det nylig har vært variasjoner poretrykkssituasjonen. Dette gjelder de områder hvor det er poretrykksmålere.
4. I alle områder, og særlig de med få poretrykksmålere eller de som viser negativ trend, er det viktig å kartlegge løsmassene. Geologiske profiler bør utarbeides fordi de gir gode visuelle bilder av den geologiske situasjonen.
5. Fundamenteringsmetoder registreres og kartlegges.

## 6. Konklusjon

---

- De utviklede kartproduktene viser at området på Majorstua er utsatt for setninger ved grunnvannssenkning fordi området er preget av variert, dyp fjelltopografi som på det dypeste er 47 meter under terrenget. Løsmassene er dominert av leire.
- Dybde til fjell-kart viser at ingen murgårdsbebyggelse fra 1800-tallet i studieområdet på Majorstua er utenfor fare for setninger. To bygninger ligger både på fjell og løsmasser og er i særlig grad utsatt for skader ved grunnvannssenkning. Det anbefales å ha ekstra fokus på murgårdsbebyggelse fra 1800-tallet ved setningskartlegging.
- Poretrykksgrafene viser at det i større grad er menneskelige påvirkninger, slik som infiltrasjon av vann, bygningsarbeider eller tunneler som fører til endringer i poretrykkssituasjonen som igjen fører setninger. Derfor anbefales det å benytte poretrykksgrafer hyppig ved store inngrep i grunnen.
- Produktene viser ikke nøyaktige setninger på bygg i like stor grad som InSAR. Det anbefales i urbane områder som Oslo å ta i bruk InSAR-data som utgangspunkt for undersøkelser fordi det kan gi svært nøyaktig oversikt over store, urbane områder.
- Det anbefales Undergrunnsprosjektet i Oslo Kommune, i tillegg til InSAR-data, å benytte de utviklede produktene (dybde til fjell, poretrykksgrafer og geologiske profiler) til å oppdage og overvåke kritiske områder i Oslo by.
- En oversikt over fundamenteringsmetoder på bygg vil i større grad kunne peke ut utsatt bebyggelse. På grunn av manglende oversikt over fundamenteringsmetoder (med unntak av 1800-talls murgårdsbebyggelse) kan ingen bygg sies å være utenfor fare for setningsskader. Men ingen poretrykksmålere viser per i dag stor negativ trend.

## 7. Forslag til videre arbeid

---

- Utarbeide prosedyrer for etablering av samarbeid med NGU for å bruke og tolke InSAR-data. Dette vil gi et godt utgangspunkt for undersøkelser av setningsutsatte områder og bebyggelse.
- Å skaffe en oversikt over fundamenteringsmetoder til bebyggelse og registrere i et detaljert kart. Det kan først og fremst konsentreres rundt bebyggelse som er lokalisert over setningsutsatt geologi, som over dyprenner eller områder med hellende fjellterreng. Dette gjelder spesielt i områder i nærheten av menneskeskapt objekter, som tunneler i grunnen. Byarkivet og Byantikvaren kan være et utgangspunkt for informasjon. Det anbefales også å ha en dialog og kommunikasjon med bygningseiere for utveksling av informasjon.
- Gjøre videre analyser av poretryksdata for å forsikre om at målingene i boksplottet er representativt fordelt over året.
- Lage et automatisk overvåkningsprogram som registrerte og plotter poretryksdata.
- De geologiske profilene er laget som detaljerte todimensjonale kart. For kartlegging i større områder bør det utvikles videre til 3d-model, for eksempel ved hjelp av ArcScene.

# Referanser

- Aftenposten** (1983). "Kloakktunnel skadet hus." *Aftenposten* 10.juni, notis, s.1
- Alstad, I.J.** (1991). "Sørger for nytt grunnvann". *Aftenposten*, 22. November, s. 13.
- Andresen, L.N.** (2013). *Tilrettelegging av informasjon om Undergrunnen for effektiv planlegging, utvikling og bygging i urbane strøk – eksempel fra Undergrunnsprosjektet i Oslo*. Prosjektoppgave ved Institutt for geologi og bergteknikk, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Barmen, H.** Byantikvar, Byantikvaren, Oslo kommune. Personlig kommunikasjon.
- Bjørlykke, K.O.** (1914). "Om Aarsaken til Sprækkedannelsen i Husene i Kristiania By." *Teknisk Ukeblad* 51. s. 620-622.
- Bjørlykke, K.O.** (1913). "Undergrunden i Kristiania". *Teknisk Ukeblad* 43. s. 461-464.
- Bonsor, H.C., Bricker, S.H., Dochartaigh, B.E. og Lawrie, K.I.** (2010). *Project progress report 2010-11: Groundwater monitoring in urban areas – a pilot study in Glasgow, UK*. Nottingham: BGS. 59 s. Tilgjengelig fra: <http://nora.nerc.ac.uk/15773/1/IR10087.pdf>
- Brattli, B.** (2009). *Fysisk og kjemisk hydrogeologi*. 3.utgave. Trondheim: NTNU. 232 s.
- Breisnes, K.** (2012). *Planlegging av investeringsprosjekter i Vann- og avløpsetaten*. Rapport 06/2012. Oslo: Kommunerevisjonen, Oslo kommune. 60 s. Tilgjengelig fra: [http://www.kommunerevisjonen.oslo.kommune.no/getfile.php/kommunerevisjonen%20\(KRV\)/Internett%20\(KRV\)/Dokumenter/dokument/forvrxvrxrapp/Rapport%2006v2%20-%202012.pdf](http://www.kommunerevisjonen.oslo.kommune.no/getfile.php/kommunerevisjonen%20(KRV)/Internett%20(KRV)/Dokumenter/dokument/forvrxvrxrapp/Rapport%2006v2%20-%202012.pdf)
- Brendbekken, G.** (2011). *System og rutiner for oppfølging av vanninfiltrasjon i grunnen, poretrykk og setninger, på Majorstuen*. Rapport nr. 01. Oslo: Optimal Geoteknikk AS. 22 s.
- Corneliusen, E.** (1923). *Husbeskadeligelserne i Kristiania II. Fællesindlæg nr 2 i erstatningssaker anlagt mod aktieselskabet Holmenkolbanen*. Kristiania: Marius Stamnes Boktrykkeri. 160 s.
- Dehls, J.F. og Nordgulen, Ø.** (2004). *Evaluation of the use of PSInSAR for the monitoring of subsidence in Oslo region*. Rapport 2003.105. Trondheim: NGU. 45 s. Tilgjengelig fra: [http://www.ngu.no/FileArchive/165/2003\\_105.pdf](http://www.ngu.no/FileArchive/165/2003_105.pdf)
- Dons, J.A. og Bockelie, J.F.** (1996). *Oslo-traktenes geologi med 25 turbeskrivelser*. Nesbru: Vett & Viten. 245 s.
- Eggestad, Å.** (1973). *Hovedkloakktunnel. Festningen – Lysaker*. R-1066. Oslo: Geoteknisk Kontor, Oslo Kommune. 9 s.

- Ellefmo, S.L.** (2011). Evaluering av data – geostatistikk/kriging. Presentasjon fra forelesing i *TGB 4215 - GIS for mineralressursforvaltning*, 11.oktober.
- Ellefmo, S.L. og Larsen, E.** (2013). *Innføring i geostatistikk*. Trondheim: Institutt for geologi og bergteknikk, NTNU. 49 s.
- Esri** (2012). *ArcGIS 2: Grunnleggende arbeidsprosesser*. Oslo: Geodata
- Fuglehaug, W.** (1991). ”K-bank får nabo-bank.” *Aftenposten*, 8. November, s. 12.
- Gjerland, L.** (2013). ”Stasjonen som kom... og forsvant.” *Aftenposten*, 22. oktober, s.4.
- Grinderud, K., Rasmussen, H., Nilsen, S., Lillethun, A., Holten, A. og Sanderud, Ø.** (2010). *GIS. Geografiens språk i vår tidsalder*. Trondheim: Tapir Akademiske Forlag. 212 s.
- Hauge, E. og Bjørberg, S.** (2010). *Murgårder og grunnvannsproblematikken i Oslo*. (Revidert utgave). Oslo: Multiconsult AS. 19 s.
- Hay, T.** (2011). ”Kald og varm på grunnvann”. *Aftenposten* 15. Oktober. Tilgjengelig fra: <http://www.aftenposten.no/fakta/innsikt/Kald-og-varm-pa-grunnvann-5564910.html#.U2odltJQY2c> (Hentet 7.mai 2014.)
- Helsingin kaupunki.** (2014a). ”Karttapalvelu”. Tilgjengelig fra: <http://kartta.hel.fi/> (Hentet 5.mai 2014.)
- Helsingin kaupunki.** (2014b). ”Pohjavesi”. Tilgjengelig fra: <http://www.hel.fi/static/kv/Geo/Vesi/VesiKuvaENG.htm> (Hentet 5.mai 2014).
- Heltzen, A.A.** (1997). ”Feilaktig om norsk tunnelteknologi”. *Aftenposten* 29.oktober, s.15.
- Høstmælingen, A.H.** (2007). *Bygårder i tegl fra 1800-tallet i Oslo. Tekniske og økonomiske utfordringer ved sopp- og fundamenteringsproblemer*. Masteroppgave ved Institutt for bygg, anlegg og transport, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. 78 s.
- Janbu, N.** (1970). *Grunnlag i geoteknikk*. Trondheim: Tapir forlag. 426 s.
- Johnston, K.** (2004). *ArcGIS 9: Using ArcGIS geostatistical analyst*. Redlands, USA: Esri Press. 204 s.
- Karlsen, J.** (2006). *Geoteknikkboka: geotekniske arbeider for byggesaken*. Oslo: BYGGDATA kompetanse. 248 s.
- Karlsruud, K., Erikstad, L. og Snilsberg, P.** (2003). *Miljø – og samfunnstjenlige tunneler. Undersøkelser og krav til innlekkasje for å ivareta ytre miljø*. Publikasjon nr 103. Oslo: Statens vegvesen. 98 s. Tilgjengelig fra: [http://www.vegvesen.no/\\_attachment/61904/binary/15126?fast\\_title=Unders%C3%B8kelser+og+krav+til+innlekkasje+for+%C3%A5+ivareta+ytre+milj%C3%B8](http://www.vegvesen.no/_attachment/61904/binary/15126?fast_title=Unders%C3%B8kelser+og+krav+til+innlekkasje+for+%C3%A5+ivareta+ytre+milj%C3%B8)



- Kirkhusmo, L.A. og Sønsterud, R.** (1988). *Overvåking av grunnvann. Landsomfattende grunnvannsnnett (LGN)*. Rapport 88.046. Trondheim: NGU. 74 s. Tilgjengelig fra: [http://www.ngu.no/FileArchive/223/88\\_046.pdf](http://www.ngu.no/FileArchive/223/88_046.pdf)
- Lindstrøm, M., og Kveen, A.** (2005). *Tunnel investigation and groundwater control*. Oslo/Trondheim: Statens vegvesen. 34 s. Tilgjengelig fra: <http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/191622/Publication%20107.pdf?sequence=1>
- Magnussen, A.W. og Kvelde, V.** (2003). *Miljø – og samfunnstjenlige tunneler. Vanninfiltrasjon – erfaringer og anbefalinger*. Rapport nr. 30. Statens vegvesen/NGI. 75 s. Tilgjengelig fra: [http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/190424/1/intern\\_rapport\\_2324.pdf](http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/190424/1/intern_rapport_2324.pdf)
- Marshak, S.** (2008). *Earth. Portrait of a planet*. 3. utgave. New York: W.W. Norton & Company, Inc. 832 s.
- Matre, B.** (2014). Ing. I. Vann- og avløpsetaten, Oslo kommune. Personlig kommunikasjon.
- Meteorologisk institutt** (2014) "eKlima. Gratis tilgang til Meteorologisk institutts vær- og klimadata fra historiske data til sanntidsobservasjoner." Tilgjengelig fra: [http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?\\_pageid=73,39035,73\\_39049&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL) (Hentet 26.mars 2014).
- Midtgård, Aa.K., Frengstad, B., Banks, D., Krog, J.R., Siewes, U., Strand, T. og Lind, B.** (2007). *Fordeling av sporelementer i grunnvann fra 476 borebrønner i fast fjell, analysert med ICP-MS*. Rapport 99.099. Trondheim: NGU. 169 s. Tilgjengelig fra: [http://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/1999/99\\_099.pdf](http://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/1999/99_099.pdf)
- Monsen, T.** (1986). "Oslo Ap. vil granske dyr kloakktunnel." *Aftenposten* 25. Februar, s. 13.
- Nikolaisen, P.I.** (2014). "InSAR - Her ser romradaren at bygningene synker." *Teknisk Ukeblad* 19 mai. Tilgjengelig fra: <http://www.tu.no/bygg/2014/05/19/her-ser-romradaren-at-bygningene-synker> (Hentet: 26.mai 2014)
- NGU** (2014a). "Arealinformasjon. Norge og Svalbard med havområder." Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/arealis/> (Hentet 22.april 2014).
- NGU** (2014b). "Berggrunn. Nasjonal berggrunnsdatabase." Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/> (Hentet 22.april 2014).
- NGU** (2014c). "GRANADA. Nasjonal grunnvannsdatabase." Tilgjengelig fra: <http://geo.ngu.no/kart/granada/> (Hentet 26.mai 2014).
- NGU** (2014d). "Grunnvannsdatabasen" Tilgjengelig fra: <http://www.ngu.no/no/hm/Georessurser/Grunnvann/Grunnvannsdatabasen/> (Hentet 31.mai 2014).

- NGU (2014e). "Løsmasser. Nasjonal løsmassedatabase." Tilgjengelig fra:  
<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/> (Hentet 21.april 2014).
- NGU (2014f). "NADAG – Nasjonal database for grunnundersøkelser." Versjon 1.0.  
Tilgjengelig fra: <http://tempgeo.ngu.no/kart/nadag/> (Hentet 21.april 2014).
- NGU (2013a). *Produktkart: Berggrunn N50*. Trondheim: NGU. 2 s. Tilgjengelig fra:  
[http://www.ngu.no/upload/Aktuelt/Produktark\\_BerggrunnN50\\_NGU.pdf](http://www.ngu.no/upload/Aktuelt/Produktark_BerggrunnN50_NGU.pdf)
- NGU (2013b). *Produktark: Løsmasser N50/N250*. Trondheim: NGU. 2 s. Tilgjengelig fra:  
[http://www.ngu.no/upload/Aktuelt/Produktark\\_LosmasseN50N250\\_NGU.pdf](http://www.ngu.no/upload/Aktuelt/Produktark_LosmasseN50N250_NGU.pdf)
- Norsk Geoteknisk Forening** (1989). *Veiledning for måling av grunnvannstand og poretrykk*. 40 s. Tilgjengelig fra:  
<http://folk.ntnu.no/emdal/ngf/informasjon/downloads/NGFMeldinger/06/NGFMelding06.pdf>
- Paul, T., Chow, F. og Kjekstad, O.** (2002). *Hidden aspect of urban planning – surface and underground development*. Suffolk, UK: Lavernham Press Ltd. 85 s.
- Plan- og bygningsetaten** (2013). *Hovedprosjekt for økt kunnskap om undergrunn i Oslo. Prosjektplan*, Oslo: Plan- og bygningsetaten, Oslo kommune. 36 s.
- Ramberg, I.B., Bryhni, I. og Nøttvedt, A.** (2007). *Landet blir til*. 2.utgave. Trondheim: Norges Geologiske Forening. 608 s
- Reite, A. J.** (1996). *Sør-Trøndelag fylke. Kvartærgeologisk kart, M 1:250.000. Veiledning til kartet*. Trondheim: NGU. 39 s.
- Reite, A.J., Sveian, H. og Erichsen, E.** (1999). *Trondheim fra istid til nåtid – landskapshistorie og løsmasser*. Gråsteinen 5. Trondheim: NGU. 40 s.
- Ruter** (2014a). "Linjekart med T-banens stasjoner." Tilgjengelig fra:  
<https://ruter.no/reiseplanlegger/rutetabeller/tbane/> (Hentet 31.mai 2014)
- Ruter** (2014b). "Linjekart med trikkens stoppsteder." Tilgjengelig fra:  
<https://ruter.no/reiseplanlegger/rutetabeller/trikk/> (Hentet 31.mai 2014)
- Ruter** (2014c). Linjekart over busslinjene i Indre Oslo.. Tilgjengelig fra.  
<https://ruter.no/reiseplanlegger/rutetabeller/buss/> (Hentet 31.mai 2014)
- Sekne, I.** (2008). *Hundre års oppfinnsomhet. Historien om Multiconsult 1908-2008*. Multiconsult og Stiftelsen Multiconsult. Tilgjengelig fra:  
[http://www.multiconsult.no/Documents/2008-10-10\\_Hundre\\_aars\\_oppfinnsomhet.pdf](http://www.multiconsult.no/Documents/2008-10-10_Hundre_aars_oppfinnsomhet.pdf)
- Skanska** (2013). VEAS-tunnelen – 35 år og endelig tett. Presentert på SSTT – Nordisk konferanse 29-30.mai 2013 i Oslo. Tilgjengelig fra:  
<http://www.sstt.dk/Portals/71/Dokumenter/2013-05-29%20Presentasjon%20p%C3%A5%20NoDig%20Oslo%202013.pdf>

- Skanska** (2012). "Under Frognerparken.". *Cement Nå*. 1/12. s. 10-11. Tilgjengelig fra:  
[http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/8E707E60-E837-40CD-ADF6-C01D56769AF1/0/5170CementN%C3%85\\_1\\_2012\\_web.pdf](http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/8E707E60-E837-40CD-ADF6-C01D56769AF1/0/5170CementN%C3%85_1_2012_web.pdf)
- Statens Kartverk** (2011). *Fagområde: Geotekniske Undersøkelser. SOSI-standard – generell objektkatalog. Versjon 4.0*. Tilgjengelig fra:  
[http://www.statkart.no/Documents/Standard/SOSI-standard%20del%201%20og%202/SOSI%20standarden/GeotekniskeUnderskelser\\_v40.pdf](http://www.statkart.no/Documents/Standard/SOSI-standard%20del%201%20og%202/SOSI%20standarden/GeotekniskeUnderskelser_v40.pdf)
- Strøm, G.D., Moldestad, D.A., Øydvin, E.K., Dehls, J., Bjordahl, H. og Fevang, P.A.** (2014). *Kartlegging og overvåking av skredfare og infrastruktur ved bruk av radarsatellitter og InSAR-metodikk*. NRS-rapport(2014)2. Norsk Romsenter. 52 s.
- Taylor, C.J. og Alley, W.M.** (2001). *Ground-Water-Level Monitoring and the Importance of Long-Term Water-Level Data*. U.S. Geological Survey Circular 1217. Denver, Colorado, USA: USGS. 68 s. Tilgjengelig fra:  
<http://pubs.usgs.gov/circ/circ1217/pdf/circular1217.pdf>
- Thoresen, M.K.** (2009). *Kvartærgeologisk kart over Norge. Tema: Jordarter*. Trondheim: NGU. 64 s.
- Tvedt, K.A.** (2010). *Oslo byleksikon*. 5. Utgave. Oslo: Kunnskapsforlaget. 693 s.
- Utviklings- og kompetanseetaten** (2012). *Statistisk årbok for Oslo 2012*. Oslo: Utviklings- og kompetanseetaten, Oslo kommune. 299 s.
- Vähäo, I., Korpi, J. og Anttikoski U.** (2004). *Use of Underground Space and Geo-Information in Helsinki. Helsinki: City of Helsinki Geotechnics*. Tilgjengelig fra:  
[http://www.ctta.org/fileupload/ita/2004/data/abs\\_c30.pdf](http://www.ctta.org/fileupload/ita/2004/data/abs_c30.pdf)
- Walpole, E.R., Myers, R.H., Myers, S.L., og Ye, K.** (2012). *Probability & Statistics for Engineers & Scientists*. 9.utgave. Boston, USA: Pearson Education, Inc. 791 s.

# Vedleggsliste

**Vedlegg 1:** Masterkontrakt

**Vedlegg 2:** Stegvis metodikk for utvelgelse av boringer fra Undergrunnsarkivet til dybde til fjell-analyse i ArcGIS.

**Vedlegg 3:** Nøyaktig beskrivelse av fremgangsmåte for fremstilling av dybde til fjell i ArcGIS

**Vedlegg 4:** Første versjon av digital terrengmodell og følgende fjerning av data.

**Vedlegg 5:** Metodikk for fremstille punktgraf med gjennomsnitt og trend automatisk i ArcGIS.

**Vedlegg 6:** Nøyaktig beskrivelse av metodikk for fremstilling av geologiske profiler i ArcGIS.

**Vedlegg 7:** Geostatistiske parameter benyttet i dybde til fjell-estimat

**Vedlegg 8:** "Spatial join" mellom murbebyggelse og løsmasedybdeintervall

**Vedlegg 9:** Punktgraf med målepunkt, gjennomsnittslinje og trendlinje for alle poretrykksmålerne.

**Vedlegg 10:** Boksplott for alle poretrykksmålere

**Vedlegg 11:** Analyse av områders trykkfordeling: grafisk fremstilling

**Vedlegg 12:** Digitaliserte borelogger til geologiske profiler

**Vedlegg 13:** Fjellterrengmodell til bruk ved kvartærgeologiske profiler

# MASTERKONTRAKT

## - uttak av masteroppgave

### 1. Studentens personalia

Etternavn, fornavn <b>Andresen, Live Næss</b>	Fødselsdato <b>07. apr 1989</b>
E-post <b>livenass@stud.ntnu.no</b>	Telefon -----

### 2. Studieopplysninger

Fakultet <b>Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi</b>	
Institutt <b>Institutt for geologi og bergteknikk</b>	
Studieprogram <b>Tekniske geofag</b>	Studieretning <b>Miljø- og hydrogeologi</b>

### 3. Masteroppgave

Oppstartsdato <b>14. jan 2014</b>	Innleveringsfrist <b>10. jun 2014</b>
Oppgavens (foreløpige) tittel <b>Utvikling av kartprodukter for fremstilling av setningsutfordringer i urbane områder - med eksempel fra Majorstua i Oslo</b>	
Oppgavetekst/Problembeskrivelse Masteroppgaven skal utvikle kartprodukter som fremstiller setningsutfordringene på Majorstua i Oslo. Produktene skal bygge på eksisterende data, og i tillegg til setningsutfordringene fremstille geologi og grunnvannsforhold, samt vise hvilke bygninger som er i faresonen for setningsskader. Kartproduktene skal være intuitive og ha høy brukervennlighet. Benyttet kartleggingsmetodikk skal beskrives grundig.	
Hovedveileder ved institutt <b>Førsteamanuensis II Randi Kalskin Ramstad</b>	Medveileder(e) ved institutt
Merknader <b>1 uke ekstra p.g.a påske.</b>	



## Vedlegg 2 – Stegvis metodikk for utvelgelse av boringer fra Undergrunnsarkivet til dybde til fjell-analyse i ArcGIS.

- **Steg 1 - Skille boringer som avsluttes i løsmasser og målinger som går til fjell i hver sine tabeller.** Dette gjøres ved hjelp av ”select by attribute”-verktøyet. Først velges alle data som tilsvarer dybde til fjell = 0 og eksporteres til egen shapefil. Denne shapefilen kalles ”avsluttet\_i\_losmasser” og inneholder 55 boringer. Utvalget inverteres deretter og eksporterer som shapefil med navn ”dybde\_til\_fjell” og inneholder 1385 boringer. Denne filen vurderes i de videre stegene.
- **Steg 2 - Vurdering av skråboringer:** 4 målinger som er registrert med skråboring. Disse er boret med forhold på 2,2:1 og 2,7:1, og i lengder mellom 16 og 31 meter. Det betyr at de kan avvike på mellom 10 og 14 meter i horisontalplanet fra borepunktet. Siden det ikke er oppgitt hvilke retninger som det er boret i, kan disse gi upresis informasjon, derfor slettes disse. Man står nå igjen med 1381.
- **Steg 3 - Sjekk av riktig registrert borelengde:** Ideelt sett skal det ikke være noen differanse mellom boret lengde og avstanden fra terrenghøyde og fjellhøyde. For å være sikker på at man har truffet fjell og ikke bare en blokk, bør man bore lenger enn bare til man treffer det man tror er fjell. Denne lengden skal registreres som ”dybde\_i\_fjell”. Men kun 82 punkter har informasjon om dybde i fjell. Utrengninger viser at disse ikke har noen sammenheng mellom boret lengde. Av de med dybde til fjell har 76 stykker tilnærmet 0 i differanse. For disse varierer boret dybde i fjell typisk mellom 1 og 3 m, men også et par verdier på 12,2 og et på 0,7 og et på 0,3. De resterende punkt har differanse (med dybde i fjell i parentes) på -0,5 (1,5), -1 (2,1), -2 (2,5), 2 (3), 2 (3) , 19,6 (22,6).

Som en verifisering på at det ikke er blitt registrert store feil beregnes differansen mellom borelengden og avstanden mellom terrenghøyde og fjellhøyde. Dette gjøres ved å kalkulere en ny kolonne i attributetabellen i ArcGIS. En oversikt over dette kan sees i tabell 1.

Dersom differansen er positiv betyr det at det er registrert en boret lengde som er kortere enn avstanden fra terreng til fjell. Her må man kunne regne med en liten feilmargin, for eksempel som et resultat av avrunding. 1 meters feilmargin bør godkjennes. 6 punkter har større differanse enn 1 m og slettes.

Dersom differansen er negativ betyr det at det registrert en boret lengde lenger enn avstanden til dybde til fjell. Dette kunne ha korrespondert med registrert dybde i fjell, men det gjør det ikke. Her kan feilregistreringer også skyldes avrundinger eller at man har valgt å bore lenger i fjell, men ikke har registrert det som dybde i fjell. Det bør likevel vurderes som usikker verdi fordi attributfeltet ”borelengde” i utgangspunktet krever at det tilsvarer dybden til fjell. Dette gjelder 7 punkter. De 430 boringer som er av kvalitet 0, det vil si at det ikke er registrert terrenghøyde eller borelengde, vil automatisk få fjellhøyden som negativ differanse. Disse boringene er ikke inkludert i vurderingen.

Ved start av vurdering var det 1440 boringer, mens det etter at dette er gjennomført er 1368 boringer fra Undergrunnsarkivet som vil benyttes i en dybde til fjell-analyse.

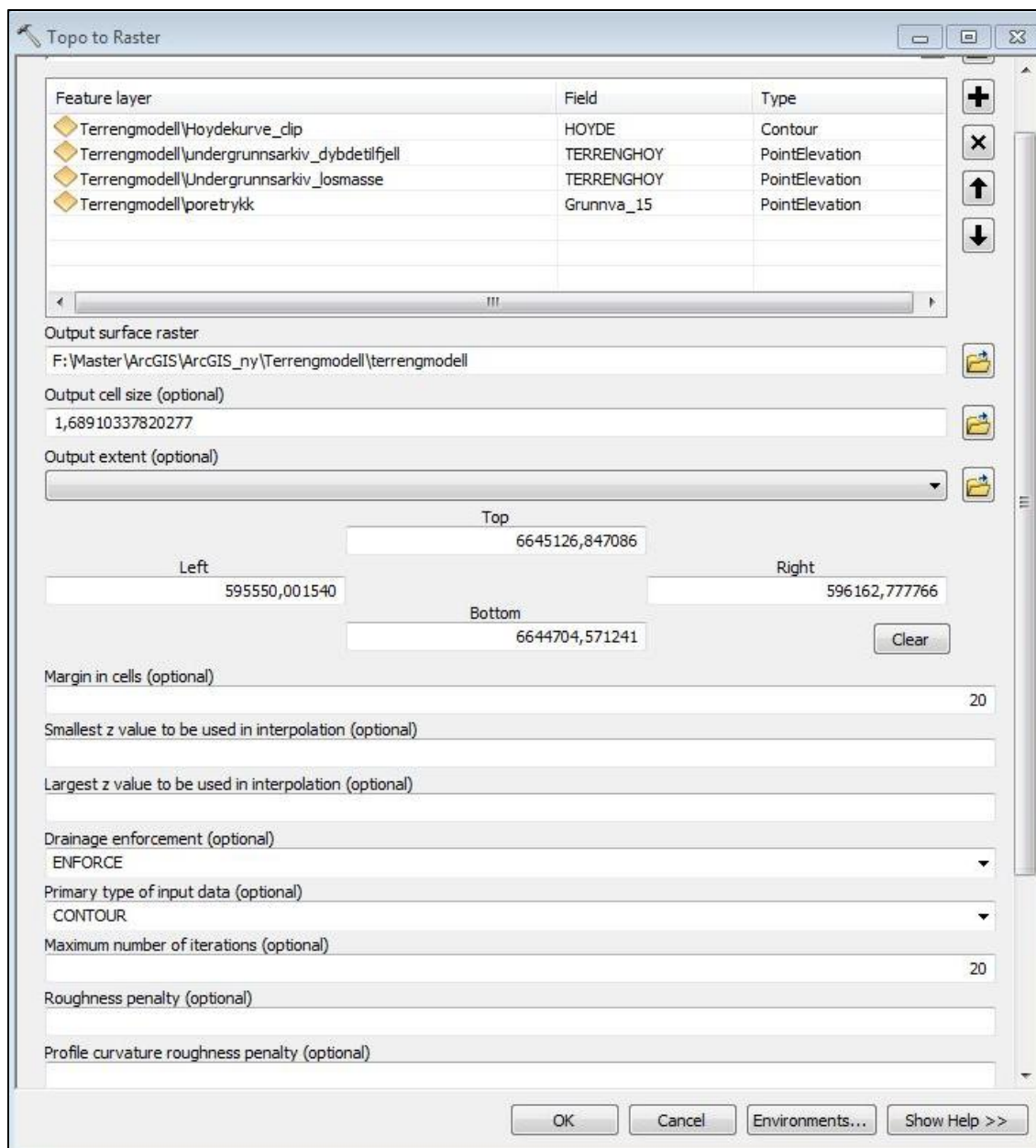
**Tabell 1 - Tabell som viser hvilke antall som har hvilke differanser og spesifikke verdier for feilverdier.**

Differanse i m	Antall boringer med kvalitet 50	Terreng-høyde	Fjell-høyde	Bore-dybde	Dybde i fjell	Differanse	Slettes eller beholdes?
<b>3 m</b>	2	25,4	25,6	3	22,6	19,6	Slettes
		16	16	16	0	14	
<b>1 og &lt;3</b>	4	49,1	43,1	3,1	0	2,9	Slettes
		49	15,6	31,4	3	2	
		48,9	10,7	36,2	3	2	
		49	40,2	7	0	1,8	
<b>&gt;0 og &lt;1</b>	306						Beholdes
<b>0</b>	331						Beholdes
<b>&lt;0 og &gt;1</b>	301						Beholdes
<b>-1 og &gt;3</b>	1	46,7	33	15,7	2,5	-2	Slettes
<b>-3 m</b>	6	38,8	53,5	19,7	0	-5	Slettes
		41,6	53,8	17,7	0	-5,5	
		11,2	3	0	0	-8,2	
		42	44,5	12,5	0	-10	
		42,8	42,8	11	0	-11	
		<b>21,3</b>	<b>0</b>	<b>27,4</b>	<b>0</b>	<b>-48,7</b>	

## Vedlegg 3 – Nøyaktig beskrivelse av fremgangsmåte for fremstilling av dybde til fjell i ArcGIS

### **Steg 1:Fremstilling av terrengmodell**

I de tilfeller der man har mye data uten informasjon om borelengde og terrenghøyde benyttes digital terrengmodell for å tilegne dataene en terrengverdi. For å fremstille en digital terrengmodell i ArcGIS ble verktøyet "Topo to Raster" benyttet. Verktøyet ligger i verktøyboksen "Spatial Analyst". I figur 1 vises verktøyets utseende. I verktøyet tar man inn de datasettene man ønsker å bruke ("Feature layer"). Videre spesifiser hvilket felt fra egenskapstabellen ("Field") man ønsker å bruke og hvorvidt typen av høydedata er i form av punkt eller linjer.



Figur 1- Skjermbilde av verktøyet "topo to raster" i ArcGIS. De 4 datakildene tas inn, og man spesifiser hvilket felt og hvilken type data det er.

## Steg 2: Dataforberedning og -validering

Det andre steget i analysen er å koble sammen de tre filene som har informasjon om dybde til fjell. Det gjøres med verktøyet "Merge". Verktøyet kombinerer egenskapsfelt med like navn og inkluderer alle unike kolonner fra de ulike shapefilene. Poretrykksdataene har registrert bodedybden under attributtnavn "dybde\_til\_fjell", mens Statsbygg og Undergrunnsarkivet har registrert det som "boredybde". For å få all informasjon om boredybde i samme kolonne i kan man bruke verktøyet "calculate field" i feltet "boredybde", og spesifisere:

- "boreddybde" = "dybde\_til\_fjell"

Alle datapunktene har informasjon om fjellhøyde, men noen mangler informasjon om boreddybde og terrenghøyde. Disse punktene må tilegnes en høydeverdi. Det gjøres fra terrengmodellen ved hjelp av verktøyet "Extract Values to Points". Verktøyet skaper ett nytt felt, "Rastervalue", i attributt Tabellen hvor hvert punkt gis en terrenghøtde fra terrengmodellen. Dette gjelder også de som allerede har en kjent terrengverdi. Figur 2 viser ArcGIS modellen for gangen i den innledende dataanalysen.

For å stole på den tilegnede høydeverdien sammenlignes den nye estimerte terrengverdien i de punktene der terrengverdien allerede er kjent. Datapunktene har registrert terrengverdien i feltet "Terrenghoy". I et nytt felt, "test\_diffe" kan følgende kalkuleres:

- "test\_diffe" = "Terrenghoy" – "Rastervalue"

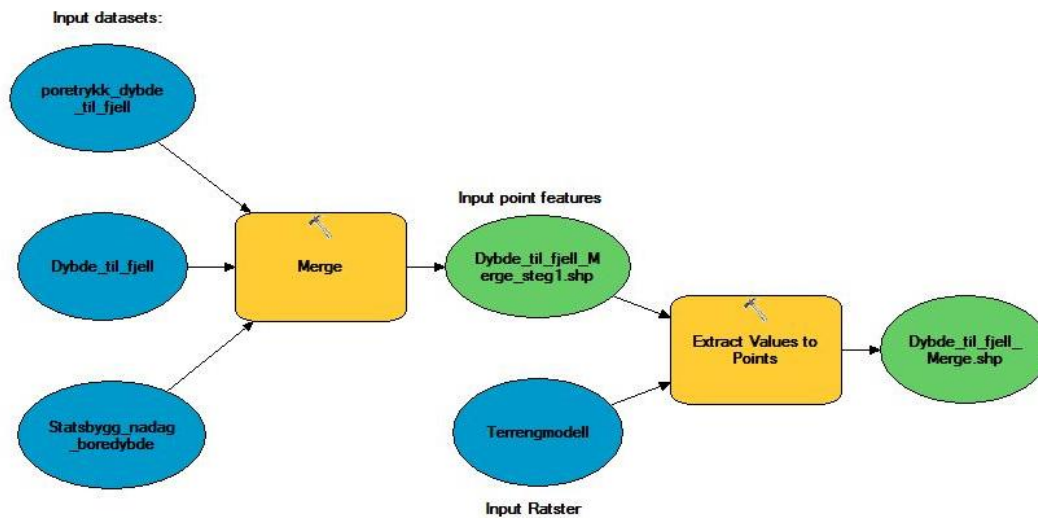
I tabell 1 sees resultatet for utregninge ved dybde til fjell-analysen. Dersom majoriteten av dataene er nær 0, anses terrengmodellen pålitelig. I så tilfelle benyttes de nye terrengverdiene til å regne boreddybden for de ukjente verdiene. Dette gjøres ved å bruke "select by attribute"-verktøyet til å velge "boreddybde = 0". For de selekterte dataene spesifiseres:

- "boreddybde" = "rastervalue" – "fjellhoyde".

**Tabell 1- Tabellen viser en oversikt over hvilke differanser som det er mellom terrengverdier fra den digitale terrengmodellen og verdier som er registrert**

Differanse	Antall
>1	5
0,5-0,99	14
0,01-0,49	345
0	448
-0,01- -0,49	223
-0,5- -1	28
< -1	17





Figur 2 - Modellen viser dataforberedelsene som må gjøres før dataene kan brukes til estimering av dybde til fjell. Datasettene som skal brukes slås sammen og tillegnes en terrenghøyde fra terrengmodellen.

**Steg 3: Undersøkelse av dataenes fordeling:** For å velge riktig interpolasjonsmetode undersøkes dataenes geografiske og matematiske fordeling.

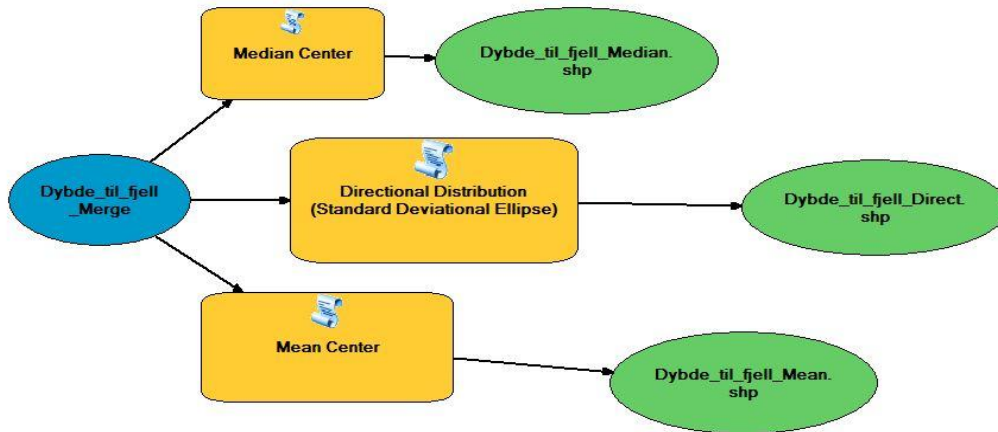
### **Steg 3a: Kontroll av dataenes geografiske fordeling**

Dersom dataene er fordelt med en sterk trend kan det gi urepresentable verdier for området. Man kan enkelt se om det finnes spesielt konsentrerte eller mangelfulle områder. Men man kan også benytte verktøy fra ArcGIS for å analysere datafordelingen. Tre enkle verktøy som kan brukes kan sees i figur 3, beskrives her:

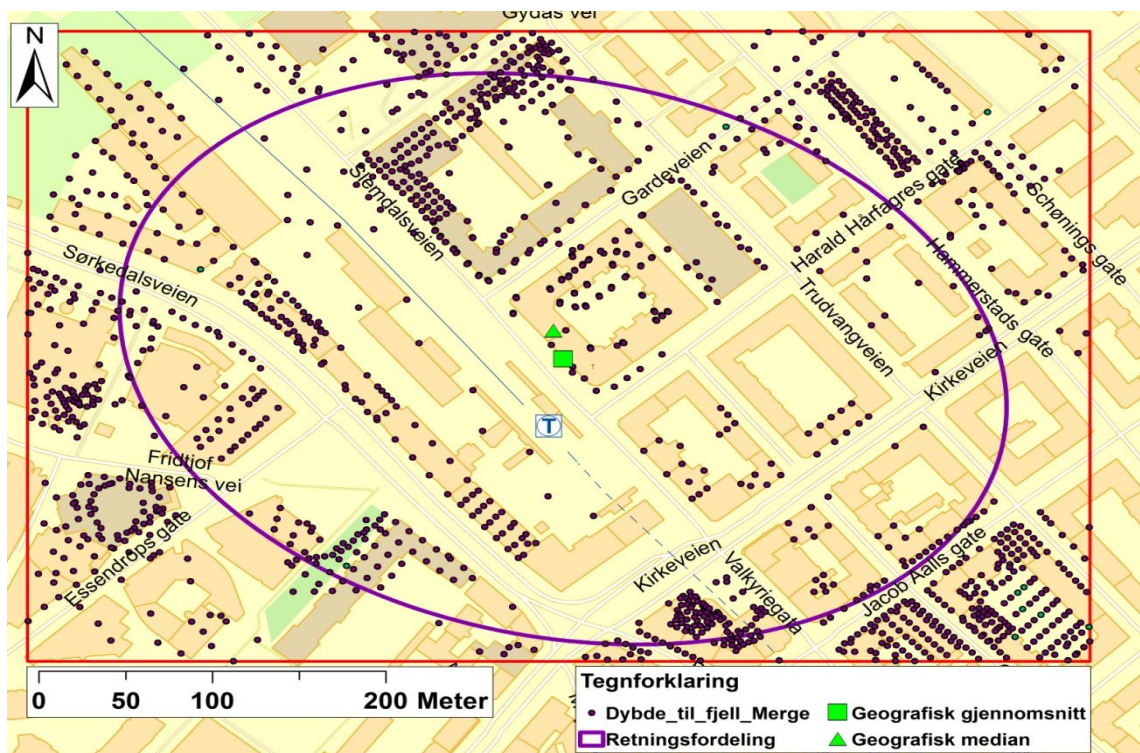
- ”Mean Center”: Regner ut det geografiske gjennomsnittet. Det vil si punktet som utgjør gjennomsnittet av x og y-verdier for alle punktene. For en bra romlig fordeling bør gjennomsnittet ligge omtrent i midten av området.
- ”Median Center”: Regner ut den geografiske medianen. Dette er en metode som plasserer x og y-verdiene i rekkefølge, og finner medianen til disse.
- ”Directional Distribution”: Dette verktøyet skaper en ellipse som viser orienteringen til datafordeling. Man kan velge ulike størrelser på ellipsen ettersom hvor stor mengde

data som skal inkluderes. Dersom ikke annet spesifiseres, benyttes "1\_standard\_deviation" som tilsvarer 68 % av dataene.

Resultatet kan sees i figur 4.



Figur 3 - Modell som viser hvordan man kan få ut forskjellige geografiske egenskaper fra dataene som skal brukes til dybde til fjell-kartet



Figur 4- Kartet viser også den geografiske medianen og gjennomsnittet som er tilnærmet i midten av området. Retningen på dataene har en svak nordvestlig trend.

### **Steg 3b: Kontroll av dataenes matematiske fordeling**

Dersom man ønsker å benytte en geostatistisk interpolasjonsanalyse er det nødvendig å undersøke hvilken matematisk fordeling dataverdiene har. Det geostatistiske verktøyet i ArcGIS har verktøy for å undersøke fordelingen. Verktøyet kan blant annet plote histogram basert på boreddybden i ”Dybde\_til\_fjell\_Merge”-filen. Ved en situasjon der ett eller flere av punktene har samme koordinater sier verktøyet ifra, og man kan spesifisere om man ønsker å bruke alle data, gjennomsnitt, minimum eller maksimum. Til kartleggingen brukes maksimal boreddybde, med bakgrunn i at dypt løsmassedeckle er risikofullt i forhold til store setninger.

### **Steg 4: estimering av dybde til fjell i det geostatistiske verktøyet.**

Så lenge dataene viser normalfordeling prøves en geostatistisk interpolasjon. Alle stegene gjennomføres gjennom det geostatistiske verktøyet i ArcGIS, som også oppgir statistikk som brukes til å sammenligne de ulike modellene som estimeres. Det bør prøves flere ulike sammensetninger for optimalt resultat, og det viktigste steget er tilpasning til semivariogram.

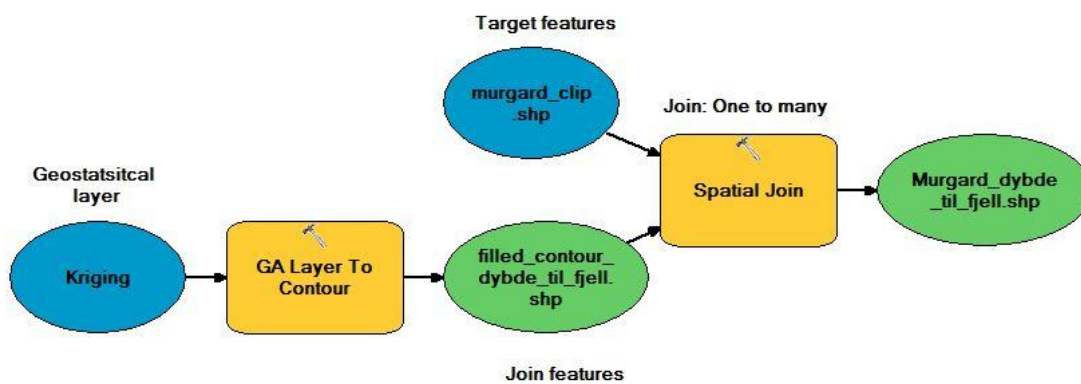
### **Steg 5: Analyse av dybde til fjell i sammenheng med bebyggelse**

Dette steget er illustrert i med modell i figur 5. Etter estimatet er gjennomført benyttes dybde til fjell-flaten til å bestemme hvilke bygninger som står på hvilke løsmassetykkelse. Den estimerte flaten danner et geostatistisk lag, som i dette tilfellet eksporteres til vektordata før gjennomføring av analyser. Vektordata, som viser dybden som polygon eller konturer, eksporteres i samme dybdeintervaller som man benytter til fremvising i det geostatistiske laget i. Selve eksporten gjøres ved å høyreklikket på det geostatistiske laget og velge ”data → export to vector data”, eller man kan bruke verktøyet. Dataene blir da delt inn i dybdeklasser. Hvordan dette er gjort sees i tabell 2.

For å få en oversikt for hvert enkelt bygg kan man gjennomføre en ”en til mange”-sammenkobling. Det gjøres ved verktøyet ”spatial join”, og man spesifiserer at man ønsker å koble alle dybdeklasser fra dybdeanalysen til hvert bygg som det inneholder. Det vil si at noen bygg vil få flere rader med ulike klasser fordi de spenner over flere intervall. Best oversikt vil en slik tabell gis ved å sortere etter den avanserte sorteringsmetoden i ArcGIS, først på navn og deretter på klasse.

For å få en generell oversikt over dybden rundt bygg i området kan man velge dybdeintervallet i attributt Tabellen, og benytte ”select by location”. Tre ting kan undersøkes:

- **Hvilken bebyggelse som ligger kun på fjell:** velge bebyggelsen som mållag og selektere det dybde til fjell-intervallet hvor man regner med at bygg står rett på fjell som kildelag, og bruke ”are completely within the source layer”
- **Hvilken bebyggelse som står delvis på antatt fjell og delvis på antatt løsmasser:** velge bebyggelsen som mållag og selektere det dybde til fjell-intervallet hvor man regner med at bygg står rett på fjell som kildelag, og bruke ”Intersects”.
- **Undersøke dybdeintervall forøvrig:** Selekttere de intervallene man er interessert i som kildelag og velge bebyggelsen som mållag, og velge ”Intersects the source layer feature”



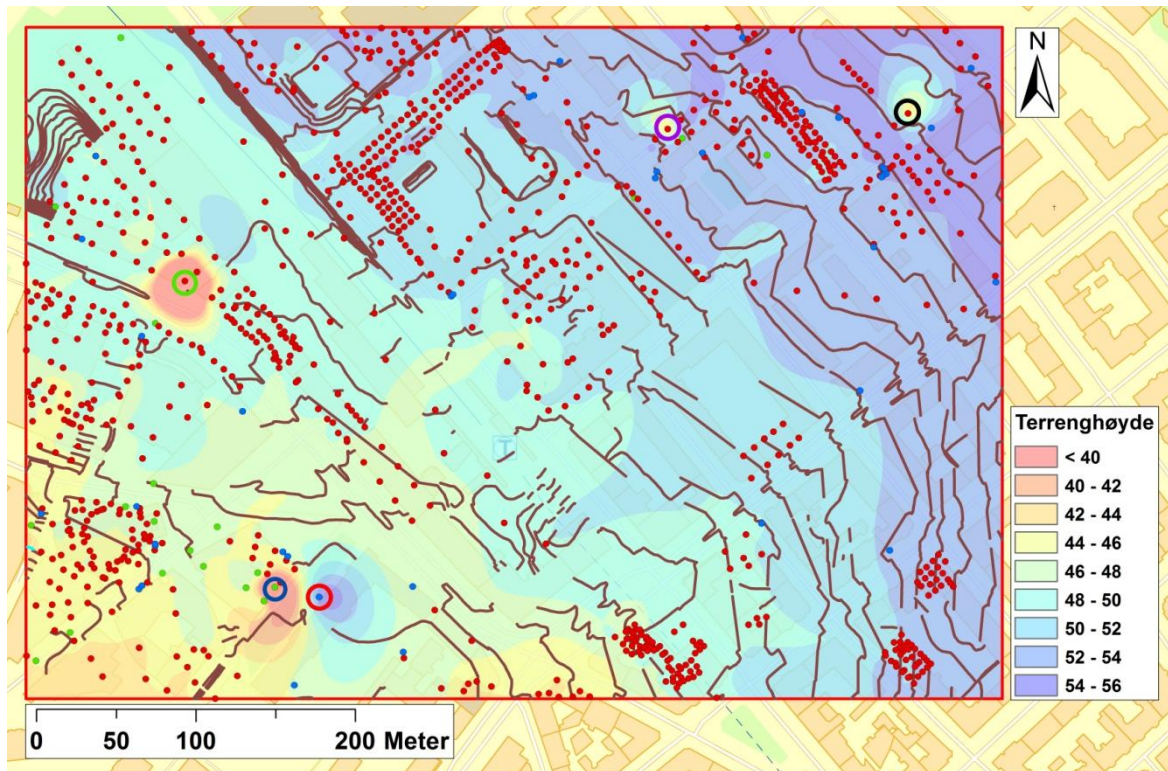
Figur 5- Figuren viser modell for omgjøring av geostatistisk lag til vektordata og hvordan man kan slå sammen informasjon om vektordata sammen med informasjon murbebyggelsen.

Tabell 2 - Tabellen viser hvordan vektordataene er klassifisert og hvilket intervall som hører til hver klasse

Intervall	Klasse ("classes")
0 - 3 m	0
3 - 6 m	1
6 - 10 m	2
10 - 15 m	3
15 - 20 m	4
20 - 25 m	5
25 - 30 m	6
30 - 35 m	7
35 - 40 m	8
40 - 45 m	9
45 - 47 m	10



## Vedlegg 4 – Første versjon av digital terrengmodell og følgende fjerning av data.



Figur 1 – Figuren viser den første versjonen av den digitale terrengmodellen. Verdiene er oppgitt i m.o.h. Her har alle de planlagte dataene blitt brukt, og flaten angis i meter over havet. Kartet viser at noen punkter gir åpenbare feil. Blant annet i vest langs Sørkedalsveien (grønn sirkel), og i sørvest (markert med blå sirkel, og rød sirkel), i nord (lilla sirkel) og i nordøst (svart sirkel). Fargeskalaen er motsatt av den endelige versjonen.

Tabell 1 - Tabellen viser en oversikt over de slettede punktene.

Kilde	Plassering	Årsak
Undergrunnsarkivet _dybdetilfjell	Sørkedalsveien (grønn sirkel)	Dette punktet viser en åpenbar feil i terrengregistrering, da fjellhøyde er registrert som 11,2 m.o.h. og terrenghøyde som 3 m.o.h.
Undergrunnsarkivet _losmasse	Øst for Essen- drops gate (blå sirkel)	Dette punktet viser en åpenbar feil i terrengregistrering, da terrenghøyde er registrert som 16,1 m.o.h., og løsmassehøyde som 34,4 m.o.h.
Undergrunnsarkivet _dybdetilfjell	Nordvestlig hjørne (svart sirkel)	Dette punktet er ca 10 meter lavere enn omkringliggende punkt. Da verken høydekurver eller flyfoto tilsier at det skal være noen dyp grop i området anses terrenghøyden for feilregistrert og punktet tas ut av terrengmodellen.
Undergrunnsarkivet _dybdetilfjell	Nordnordvestlig hjørne (lilla sirkel)	Dette punktet er ca 10 meter lavere enn omkringliggende punkt. Da verken høydekurver eller flyfoto tilsier at det skal være noen dyp grop i området anses terrenghøyden for feilregistrert og punktet tas ut av terrengmodellen.
Poretrykk	Vest for Essendrops gate (rød sirkel)	Dette punktet skiller seg ut fra de omkringliggende med rundt 10 meters høydeforskjell. I dette punktet er kotetopprør registrert med 45,3 m.o.h., mens terrenget er registrert 55,6 m.o.h. Det er over 10 meter høyere. Det er naturlig å anta at terrenghøyden er registrert feil.

## Vedlegg 5 – Metodikk for fremstille punktgraf med gjennomsnitt og trend automatisk i ArcGIS.

I ArcGIS kan punkter plottes via "scatter plot". I stedene for å plotte én og én graf manuelt er det blitt utviklet en modell som arbeider gjennom alle poretrykksmålerne og plotter automatisk én og én graf per poretrykksmåler, og eksporterer hver graf som bildefil. Modellen sees i figur 1.

For å gjennomføre modellen lages en mal ("template") for hvordan grafen skal se ut. Den lages i grafverktøyet i ArcGIS, og lagres som en .tee-fil. I malen spesifiseres antall og type serier som skal fremvises, farger, skriftstørrelse og stil. Trendlinje og gjennomsnittslinje settes i malen som tomme linjeplott.

For å inkludere gjennomsnitts- og trendlinje i grafen må følgende 7 hovedsteg gjennomføres:

1. Legg til følgende felt i egenskapstabellen:
  - a. "Helår\_1900": ta helårsverdien i attributt Tabellen, og adderer med 1900 slik at verdien representerer året.
  - b. "xy": kalkulerer "helår\_1900"\*"kotevann"
  - c. "x^2": kalkulerer "helår\_1900"^2
  - d. "b0": las være blank
  - e. "b1": las være blank
  - f. "trend": las være blank
  - g. "gjennomsnitt": las være blank
2. Verktøyet "dissolve" benyttes til å lage en ny fil. I verktøyet velges det at følgende skal beregnes og oppsummeres per poretrykksmåler:
  - a. Antall innmålinger
  - b. Summen av alle kotevann-målingene
  - c. Summen av alle helårene
  - d. Summen av alle xy
  - e. Summen av x^2
  - f. Gjennomsnittet av kotevann-målingene
3. Benytt verktøyet "Add join" til å koble den nye filen som er laget med "dissolve"-verktøyet til den originale filen ved hjelp av felles målnummer.
4. Feltet "gjennomsnitt" i den originale filen settes lik det beregnede gjennomsnittet



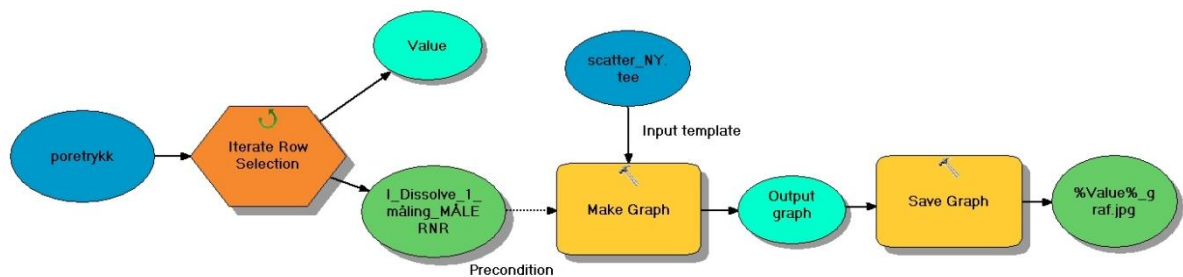
5. "b1" og "b0" beregnes ved hjelp av de utregnede summene som stigningstall etter minste kvadraters metode. X er "Helår\_1900" og y er "kotevann".

$$b_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i y_i) - \sum_{i=1}^n (x_i) \sum_{i=1}^n (y_i)}{n \sum_{i=1}^n (x_i^2) - \sum_{i=1}^n (x_i)^2} \quad b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b_1 \sum_{i=1}^n x_i}{n} = \bar{y} - b_1 * \bar{x}$$

6. Trend beregnes ved hjelp av b1 og b0 etter minste kvadraters metode som formel 1 nedenfor.

$$y_i = b_0 + b_1 x_1$$

I grafverktøyet kan man da plote målepunktene, gjennomsnittslinjen og trendlinjen langs x-aksen Y-aksen representerer henholdsvis registrert poretrykkshøyde, utregnede gjennomsnittsverdier og trendverdier. Siste steg i modellen lagrer grafen som bildefil. I modellen er det valgt å sette navnet til %Value%\_graf.jpg. Det lagrer hver graf som en bildefil med poretrykksmålerens nummer som navn.



**Figur 1 - Figuren viser en modell som automatisk plottes grafen til alle målerne.**

## Vedlegg 6 – Nøyaktig beskrivelse av metodikk for fremstilling av geologiske profiler i ArcGIS.

### **1. Klargjøring av borepunktstilene**

I ArcGIS er de geotekniske rapportene delvis knyttet til filen "majorstua\_borpunkt" og delvis til filen "majorstua\_prover". Derfor ble de slått sammen ved hjelp av verktøyet "Merge". Den sammenslåtte filen ble gitt et nytt attributfelt; "ID". Hvert borepunkt som ble inkludert ble tildelt et unikt ID-nummer basert på PDF-nummer og hullnummer. Dataene som skulle benyttes ble eksportert videre til en egen fil; "borepunkt\_rapporter". Fordi filen senere i kartleggingen skal kobles til en tabell, er det viktig at disse dataene har kolonner med nedskrevne koordinater. For å gjennomføre det velges ønsket kolonne i attributtabelen og verktøyet "Calculate geometry" brukes.

### **2. Importering av boreloggene fra Excel**

Boreloggene som er digitalisert i Excel gis navn som tilsvarer profilen de representerer. De kan importeres til ArcGIS ved verktøyet "create feature class from XY". Tilfeldige felt velges som X og Y da filene ikke har informasjon om X og Y ennå. Informasjonen fra excelarkene skal kobles til borepunktene i filen "borpunkt\_rapport", slik at man har all informasjon i ett sett med punktdata. Dette gjøres ved å eksporteres filen videre til en type tabell som benyttes i ArcGIS. Deretter, ved hjelp av verktøyet "Join field", kobles "borpunkt\_rapport" til tabellen ved å slå sammen ID-feltene. Ved å gjøre om denne tabellen igjen, med "create feature class from XY", kan man spesifisere X og Y verdien fra "borpunkt\_rapport". I tillegg spesifiseres en Z verdi som er grensen for intervallene i boreloggen, og kolonne Z.

### **3. Spesifisering av høydeverdi for poretrykksdata**

For poretrykksdataene velges verktøyet "feature to 3d" i 3d analyst til å spesifiserer bunnen av poretrykksmåleren som poretrykksdataene sin Z-verdi. Selve vannmålingene kan på et senere tidspunkt kobles til filen igjen.

### **4. Utarbeidelse av fjellflate**

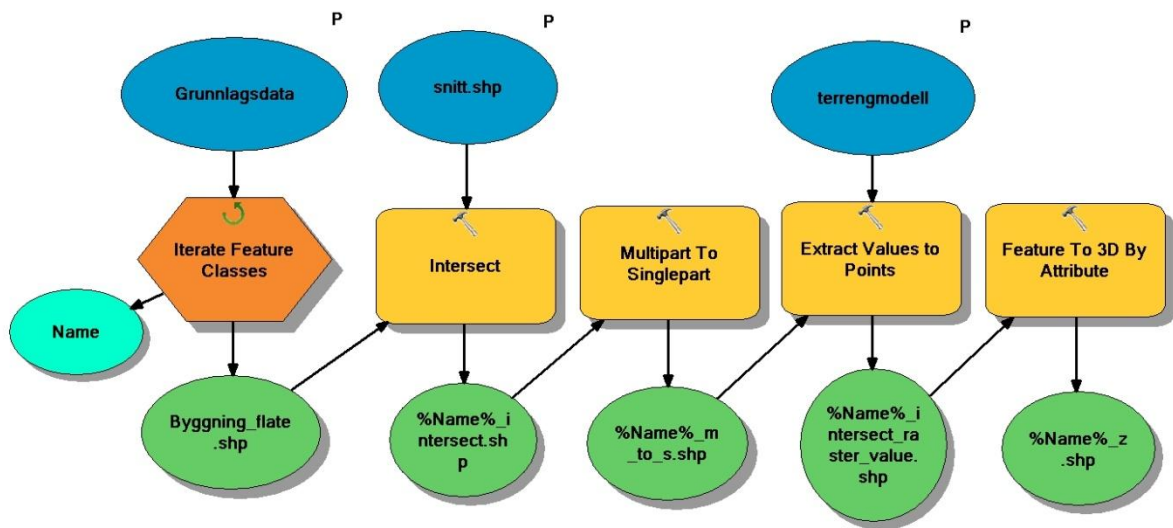
I tillegg til borepunktene og poretrykksmålerne ønsker man informasjon om overflate og fjellflate. Overflateinformasjonen finnes fra terrengmodellen, mens fjellinformasjon skapes med interpolasjon av fjellflaten. Til dette formålet kan de samme dataene som ble benyttet til

dybde til fjell-analysen benyttes. Det vil si de data fra Undergrunnsarkivet, Statsbygg og Poretrykksdatabasen som har informasjon om fjellhøyde. For å samle fjellhøydene i samme kolonne velges ”Select by attributes” med fjellhøyde = <null>, deretter calculate field: fjellhøyde = fjellkote. Triangulering benyttes til dette og gjøres i verktøyboksen ”3d analyst” med ”create TIN”.

### **5. Utarbeiding av profildata i ”3d-analyst”**

Profilene skal fremstilles i 2D-format med henholdsvis en X-verdi tilsvarende avstanden fra profilstarten og en Z-verdi som tilsvarer høyden i meter i forhold til havet. For å tilegne dataene disse verdiene benyttes 3d-analyst i ArcGIS på følgende måte;

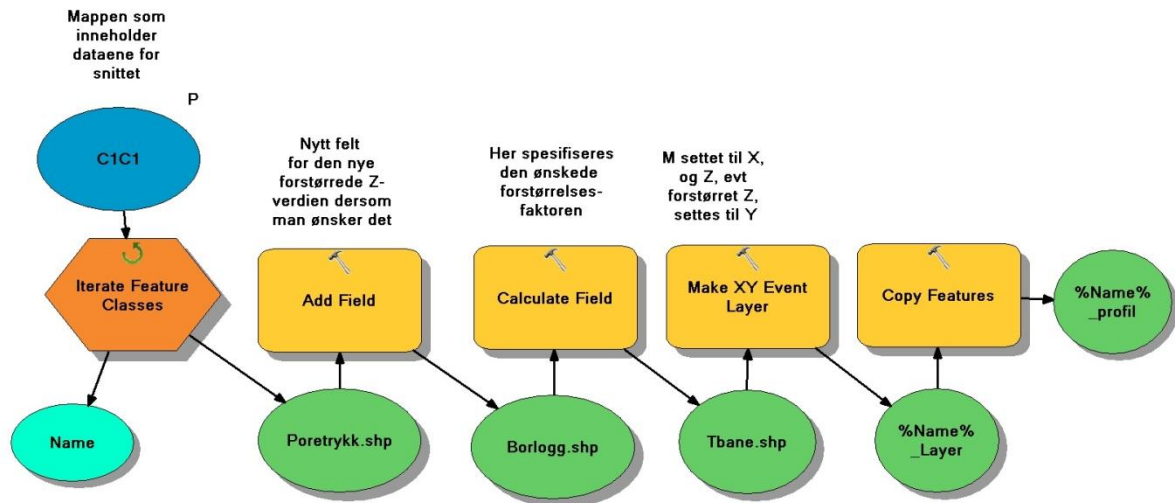
1. Overflaten- og fjellflaten interpoleres langs en linje som følger profillinjen. Dette gjøres ved verktøyet ”interpolate line” og ”profile graph”. Dette verktøyet lagrer linjene som punktdata med tette punkter.
2. Borepunktene og poretrykksmålerne som ønskes inkludert i profilene eksporteres med verktøyet ”point graph”. Verktøyet eksporterer punktdata til og M- og Z-verdien innenfor en ønsket avstand fra profillinjen. I dette tilfellet er det 2,5 og 20 meter henholdsvis for borepunkt og poretrykksmålere.
3. Eventuelle andre objekter på overflaten som man ønsker å ha med på profilen kan samles i en mappe ”grunnlagsdata” og kjøres igjennom modellen i figur 1. Denne modellen lager punkt i alle kryssninger mellom de ønskede objekt og profillinjene. Punktene gis en høydeverdi fra terrengmodellen og registrerer denne som z-verdi. Deretter bruker man samme metode som for borepunktne og poretrykksmålerne ved å bruke ”point graph” langs profillinjene og eksportere dataene med M og Z-verdi. I dette tilfellet gjelder objektene bygg, murbebyggelse fra 1800-tallet, t-bane og vei.



Figur 1 - Modell for å klargjøre data som vei, bygg og T-bane til å lage graf til geologisk profil. Modellen tar inn en mappe med dataene og skaper punkt alle steder der dataene krysser profillinjene. Disse gis en høydeverdi fra terrengmodellen som lagres som z-verdien.

## 6. Førstørring av Y-akse

Siden profilene er svært lange i forhold til lenden mellom terreng og fjell, førstørrer Y-aksen. Dette gjøres ved å gange Z-verdien med ønsket førstørringsfaktor, og spesifisere den nye høyere Z-verdien som Y-verdi. For likevel å fremstille Y-aksen med korrekt verdi lages en punktfil med punkt hvor man i attributtabelen har informasjon om både den originale Z-verdien og den førstørrede Z-verdien. Man bruker den førstørrede Z-verdien til å representere Y-verdien, men man bruker "label"-alternativet i ArcGIS til å skrive ut den opprinnelige Z-verdien slik at man forholder seg til den. Man legger også inn en X-akse på ønsket nivå. Prosessen kan gjøres på en enkel måte ved å bruke en modell som i figur 2. Hvert sett med punktdata fra 3d analyst blir da førstørret med ønsket faktor og eksportert til en ny fil med navnet sitt og endelsen "\_profil". De nye verdiene tas inn i et tomt ArcMAP-dokument hvor de spesifiserte X og Y-verdiene danner utgangspunkt som koordinatsystem.

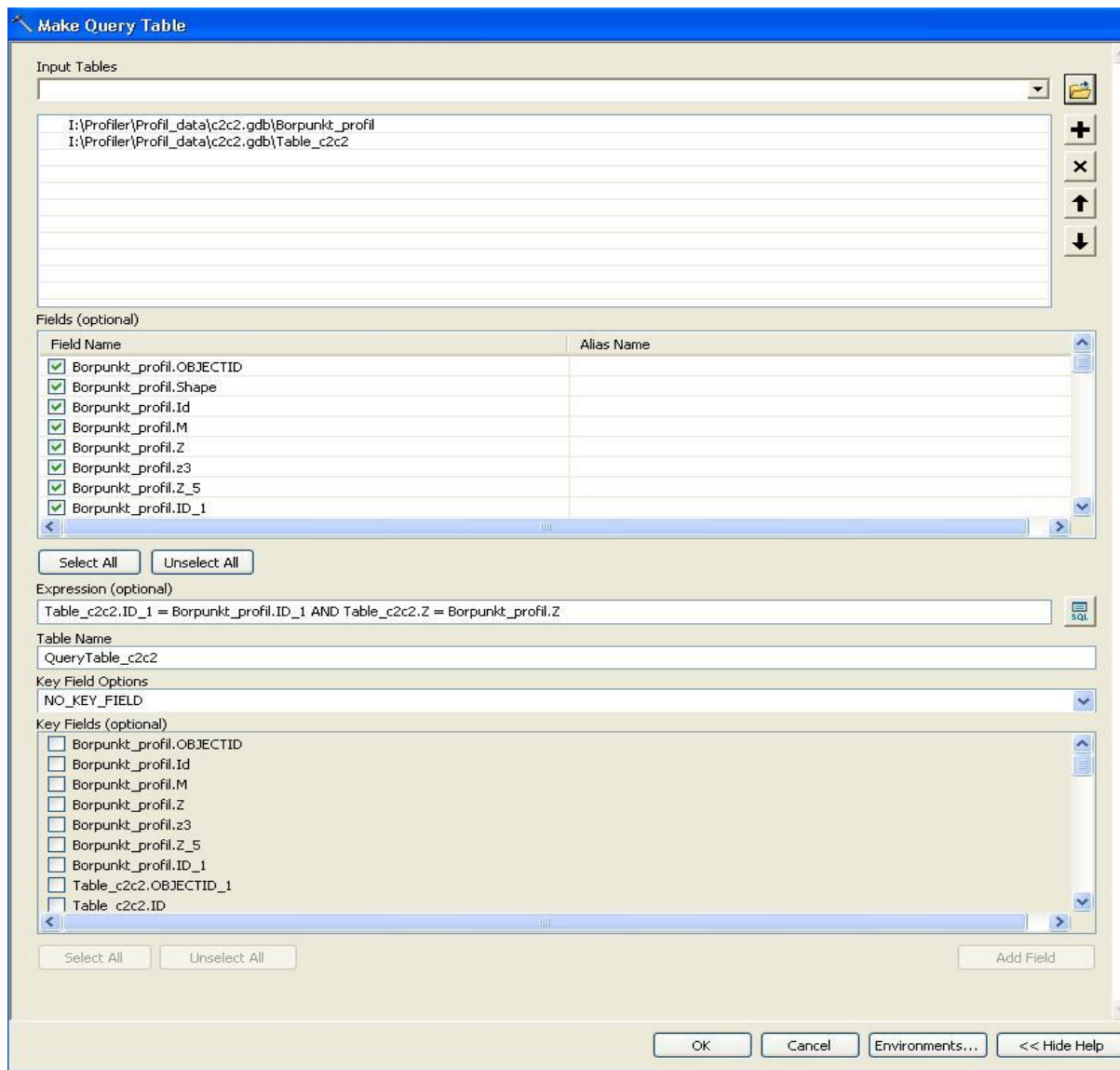


Figur 2 - Figuren viser hvordan man gjør profildataene, som er skapt i 3d-analyst, klar for bruk til tegning av profiler. I dette tilfellet gjøres det for snittet C1-C1. Z-verdien forstørres med valgt verdi, deretter eksporteres M og den ny Z-verdien om til X og Y, og lagres som fil med navnet og endelsen ”\_profil”. For eksempel ”Borlogg\_profil”.

## 7. Sammenkobling av de bearbejdede dataene med de opprinnelige egenskapene

For de nye borepunktdataene legges ID-nummeret inn i attributt Tabellen slik at man kan koble det med den opprinnelige filen. Det gjøres med ”make query table” verktøyet. For å gjøre dette må den nye og gamle filen ligge i en felles geodatabase. Man kobler de nye borepunkt ID-ene med de gamle, og den nye Z-verdien med den gamle. En skjermdump fra verktøyet kan sees i figur 3. Man får da opp en tabell som kan omgjøres til punktdata, og som kan brukes til å symbolisere lagdelingene.





Figur 3 – Figuren viser hvordan man bruker verktøyet "Make Query Table" til å koble de originale egenskapene til dataene som ble laget i 3d-analyst.

## 8. Importering av poretrykksmålinger til poretrykksmåler i profil

Til de poretrykksmålerne som er med i profilet importeres tilhørende poretrykksmålinger inn fra den originale filen med poretrykksdata. De tilegnes samme x-verdi som poretrykkspunktet i profilet og y- verdien spesifiseres til høydeverdien på vannkotene som er målt inn. Dersom man har forstørret Y-aksen må det også gjøres med vannkoten.

## 9. Omgjøring av punktdata for terreng og fjellinje til linjedata

Fjell- og terrengdataene, (samt X og Y-akse data), kan gjøres om til linje ved verktøyet "points to line". Mellom de ulike geologiske lagene må det tolkes og tegnes inn manuelt.

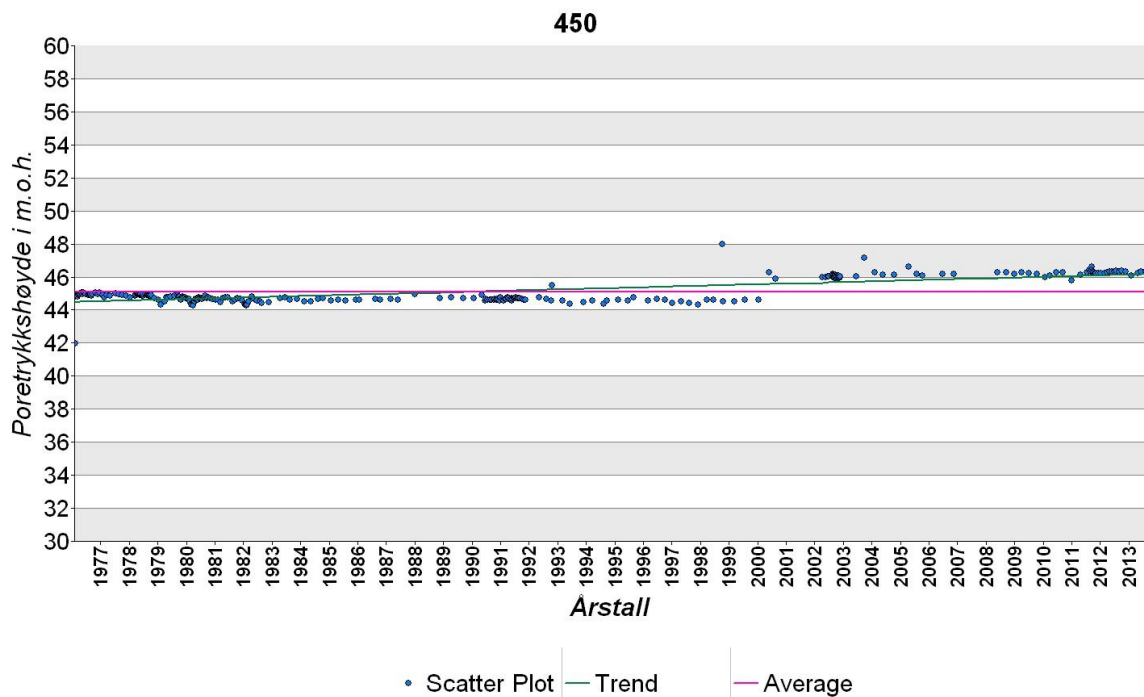
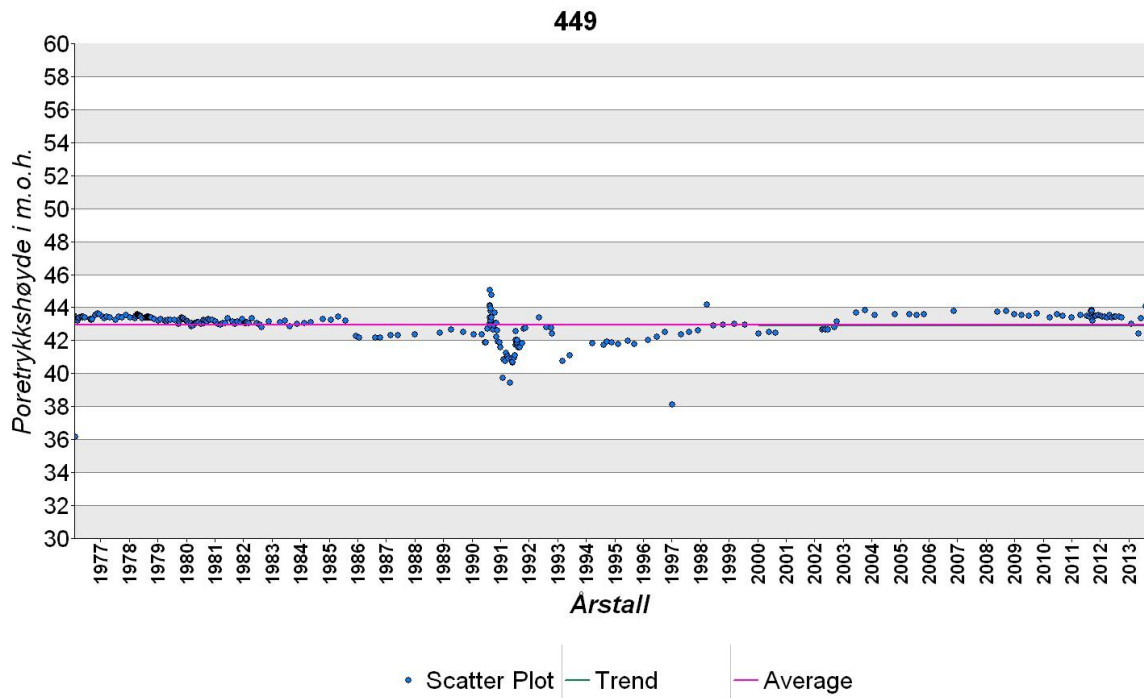
## Vedlegg 7 – Geostatistiske parameter benyttet i dybde til fjell-estimat

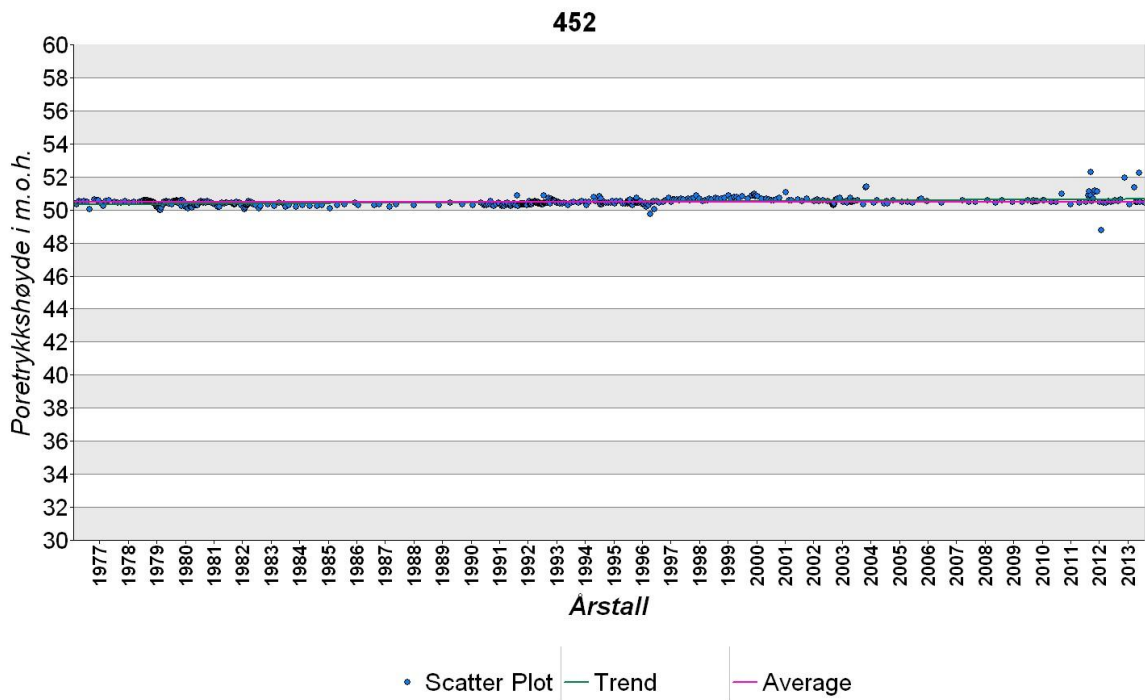
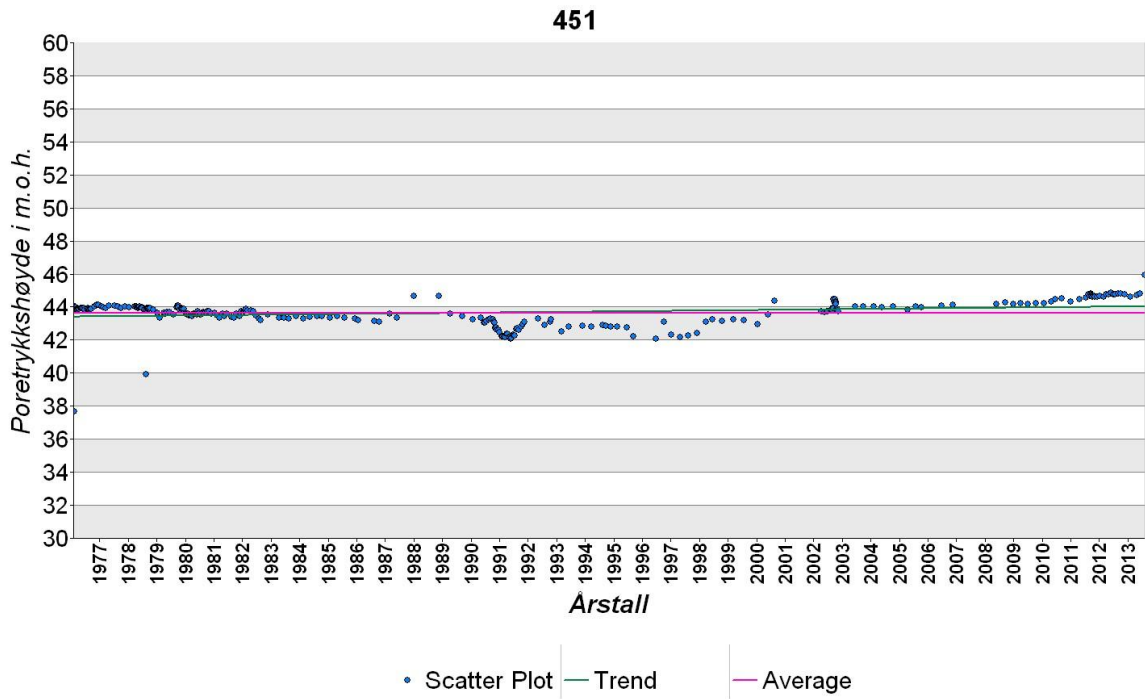
<b>Metode</b>	<b>Kriging</b>
Type	Ordinary
Output type	Prediction
<b>Dataset #</b>	1
Trend type	None
<b>Searching neighborhood</b>	Smooth
Smoothing factor	0.1
Major semiaxis	120
Minor semiaxis	47,35
Angle	53,79
<b>Variogram</b>	Semivariogram
Number of lags	8
Lag size	15
Nugget	3,14
Measurement error %	100
<b>Model type</b>	Gaussian
Range	120
Anisotropy	Yes
Minor range	47,35
Direction	53,79
Partial sill	52,08

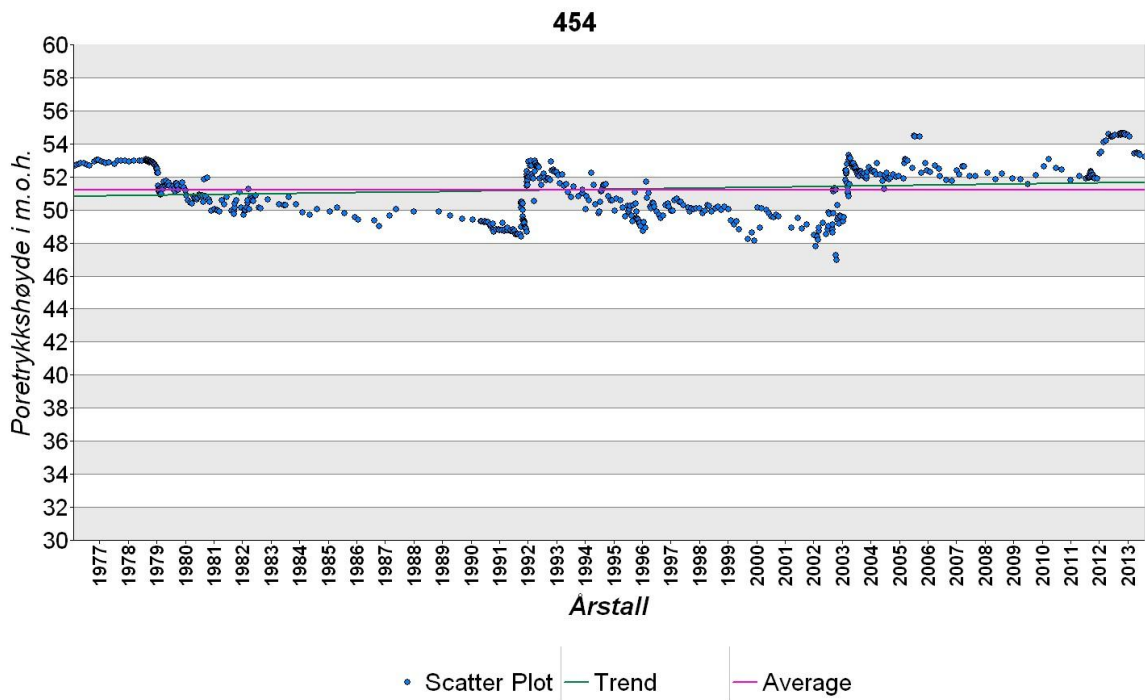
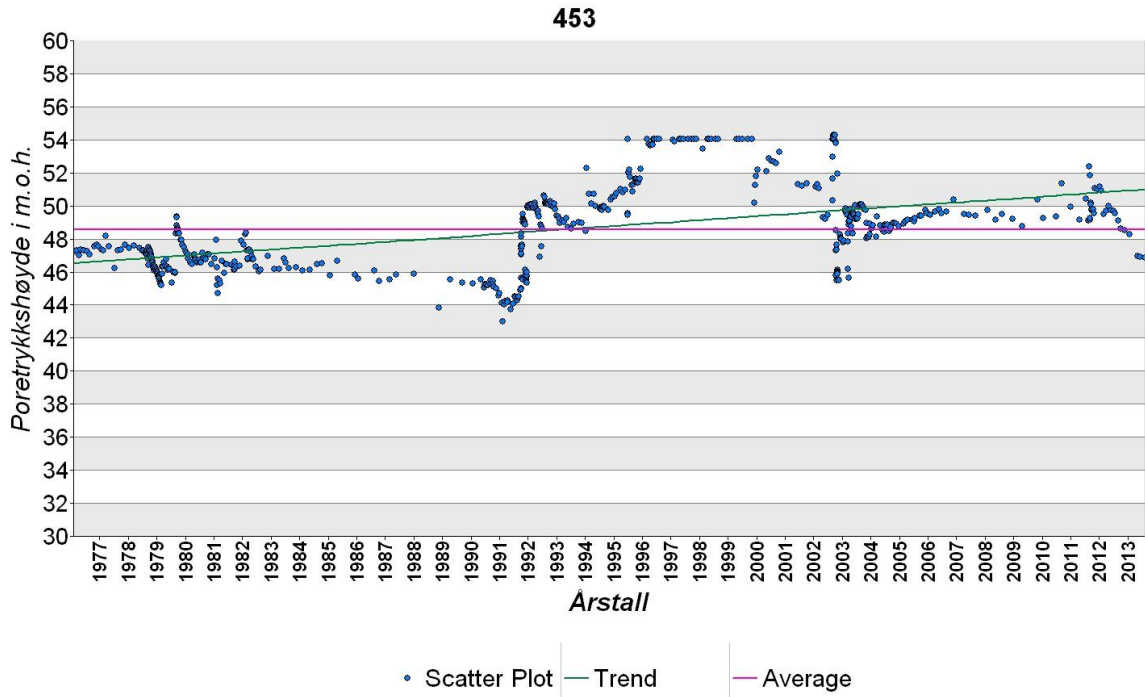
## Vedlegg 8 - "Spatial join" mellom murbebyggelse og løsmmasedybdeintervall

NAVN	Nåværende funksjon	Datering	Eksakt år	Minste dybde til fjell	Største dybde til fjell
Bygård - Bogstadveien 66	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1898	0	3
Bygård - Bogstadveien 66	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1898	3	6
Bygård - Bogstadveien 66	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1898	6	10
Bygård - Bogstadveien 51	(ikke registrert)	1800 tallet,4.kvartal	1898	0	3
Bygård - Bogstadveien 51	(ikke registrert)	1800 tallet,4.kvartal	1898	3	6
Bygård - Bogstadveien 51	(ikke registrert)	1800 tallet,4.kvartal	1898	6	10
Bygård - Bogstadveien 51	(ikke registrert)	1800 tallet,4.kvartal	1898	10	15
Bygård - Valkyriegata 2	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1898	6	10
Bygård - Valkyriegata 2	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1898	10	15
Bygård - Bogstadveien 47	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1898	3	6
Bygård - Bogstadveien 47	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1898	6	10
Bygård - Valkyriegata 7	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1899	6	10
Bygård - Valkyriegata 7	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1899	10	15
Bygård - Jacob Aalls gate 19	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1899	10	15
Bygård - Kirkeveien 62	(ikke registrert)	1800 tallet,4.kvartal	ca. 1898	10	15
Bygård - Kirkeveien 62	(ikke registrert)	1800 tallet,4.kvartal	ca. 1898	15	20
Bygård - Valkyriegata 5	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1898	10	15
Bygård - Ole Vigs gate 25	Bolig, bosetning	1800-tallet	ca. 1870-1900	15	20
Bygård - Jacob Aalls gate 30	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1899	10	15
Bygård - Jacob Aalls gate 30	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1899	15	20
Bygård - Valkyriegata 13	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1899-1901	10	15
Bygård - Valkyriegata 13	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1899-1901	15	20
Bygård - Valkyriegata 13	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1899-1901	20	25
Bygård - Valkyriegata 21	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1899-1901	6	10
Bygård - Ole Vigs gate 23	(ikke registrert)	1800-tallet	ca. 1870-1900	15	20
Bygård - Jacob Aalls gate 28	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1899	10	15
Bygård - Jacob Aalls gate 28	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1899	15	20
Bygård - Valkyriegata 9	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1898-1900	10	15
Bygård - Valkyriegata 9	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1898-1900	15	20
Bygård - Valkyriegata 11	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1899	10	15
Bygård - Valkyriegata 11	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1899	15	20
Bygård - Jacob Aalls gate 34	Bolig, bosetning	1800 tallet,4.kvartal	1899	15	20

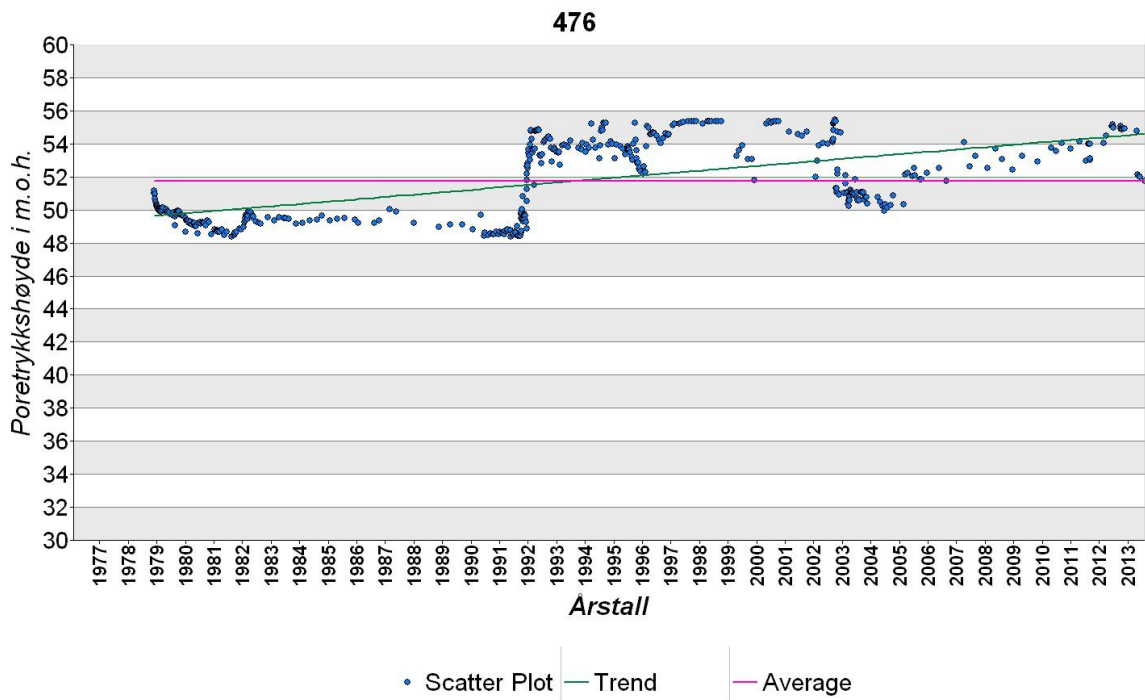
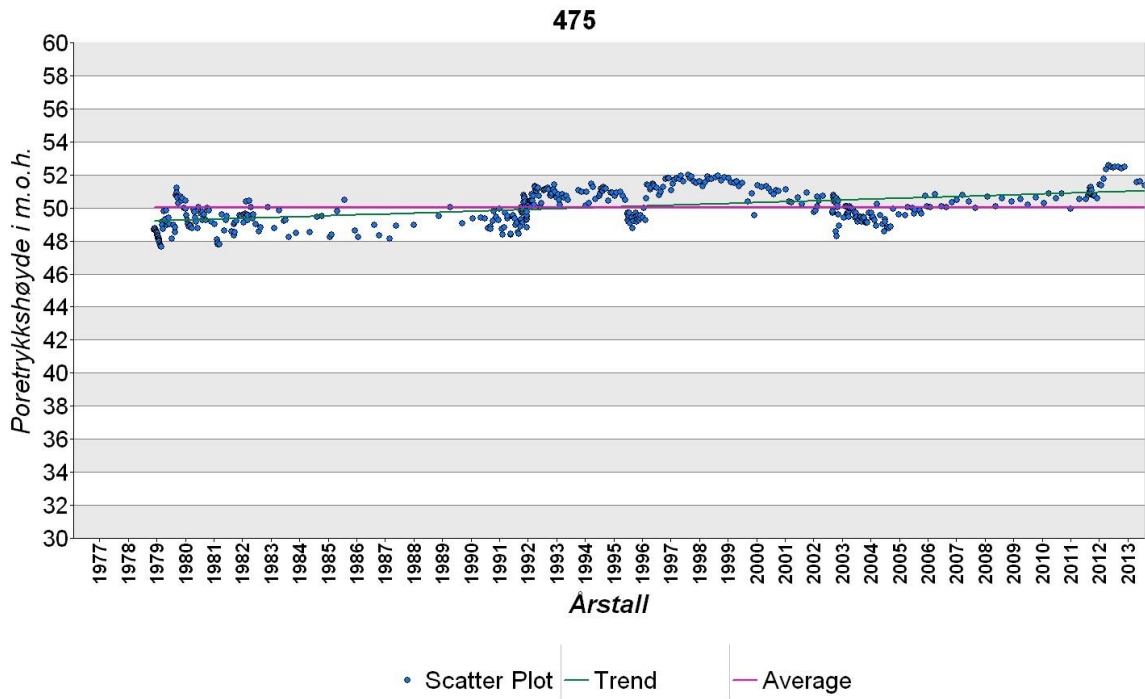
Vedlegg 9 – Punktgraf med målepunkt, gjennomsnittslinje og trendlinje for alle poretrykksmålerne.

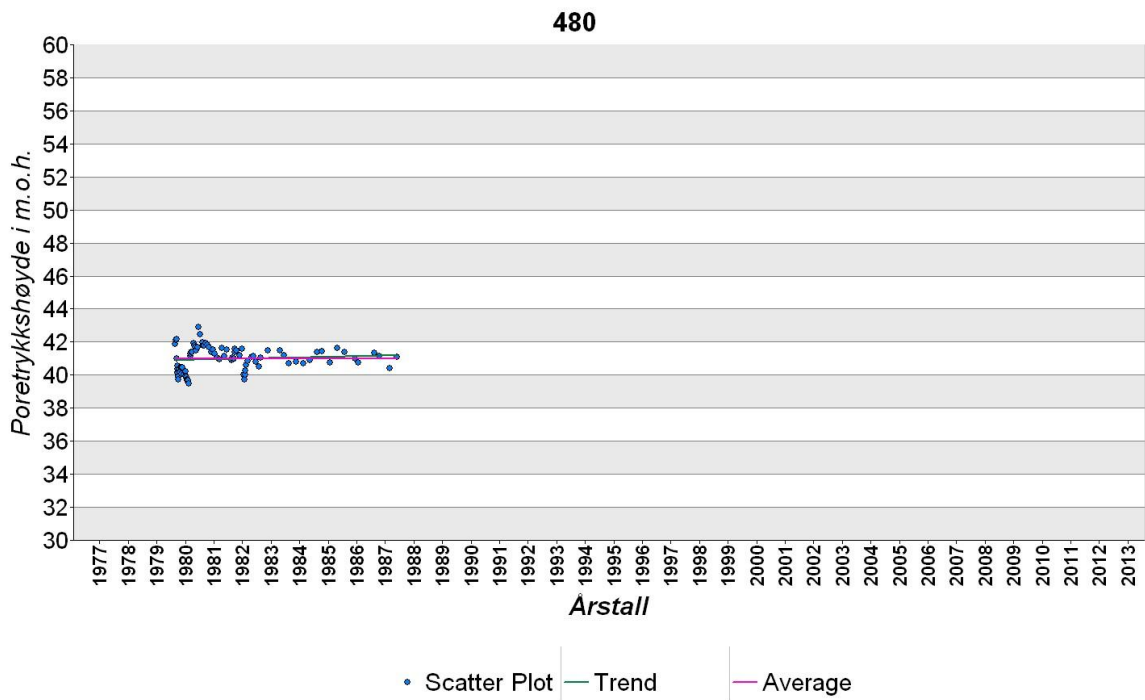
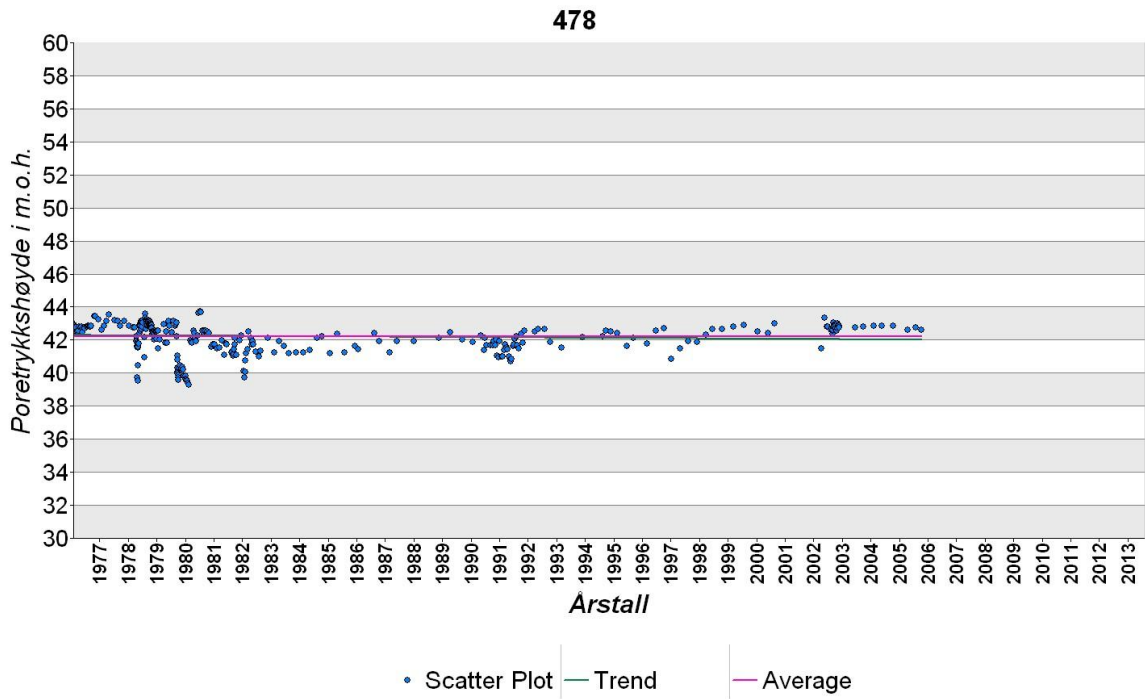




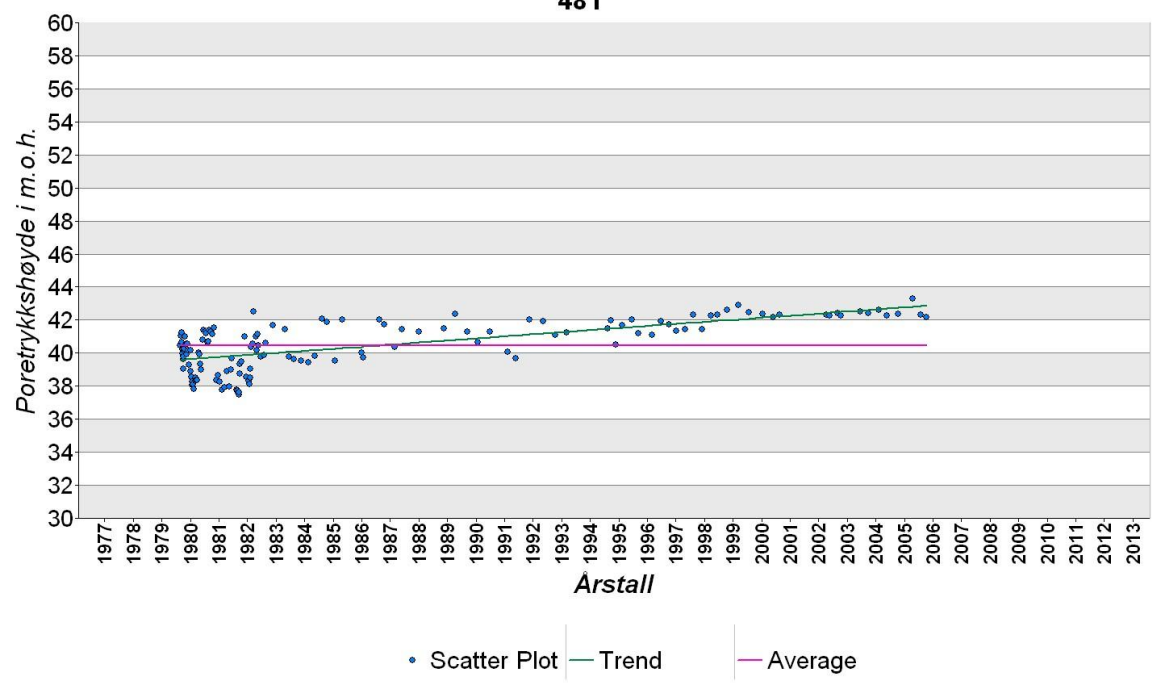




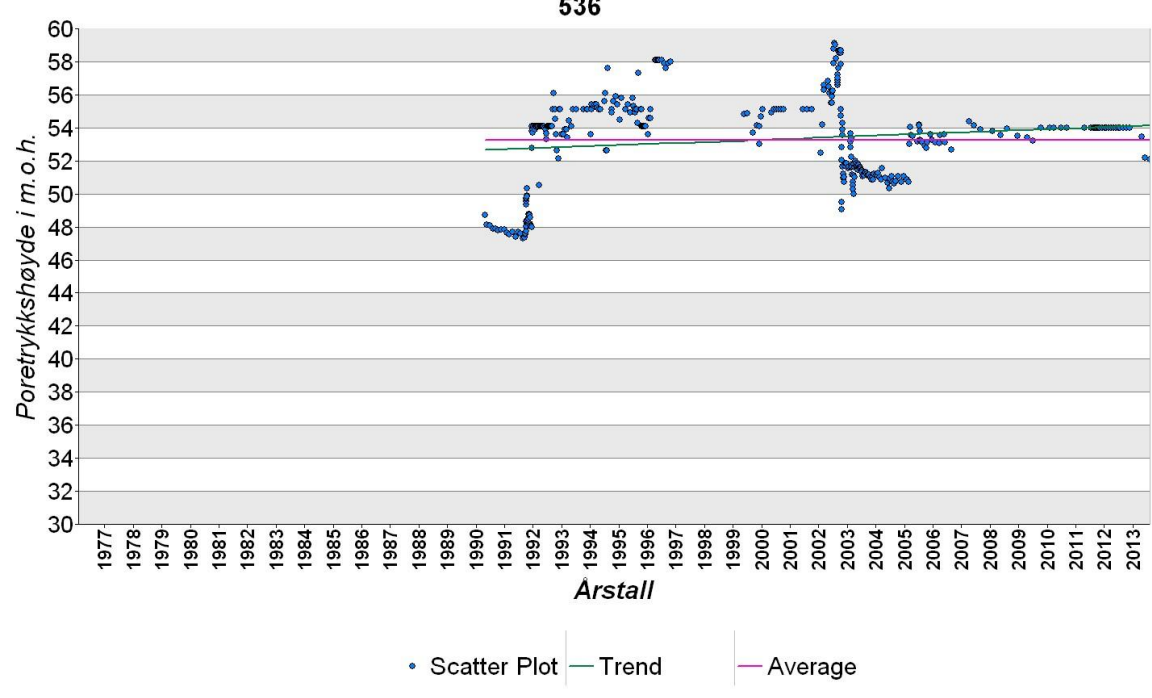


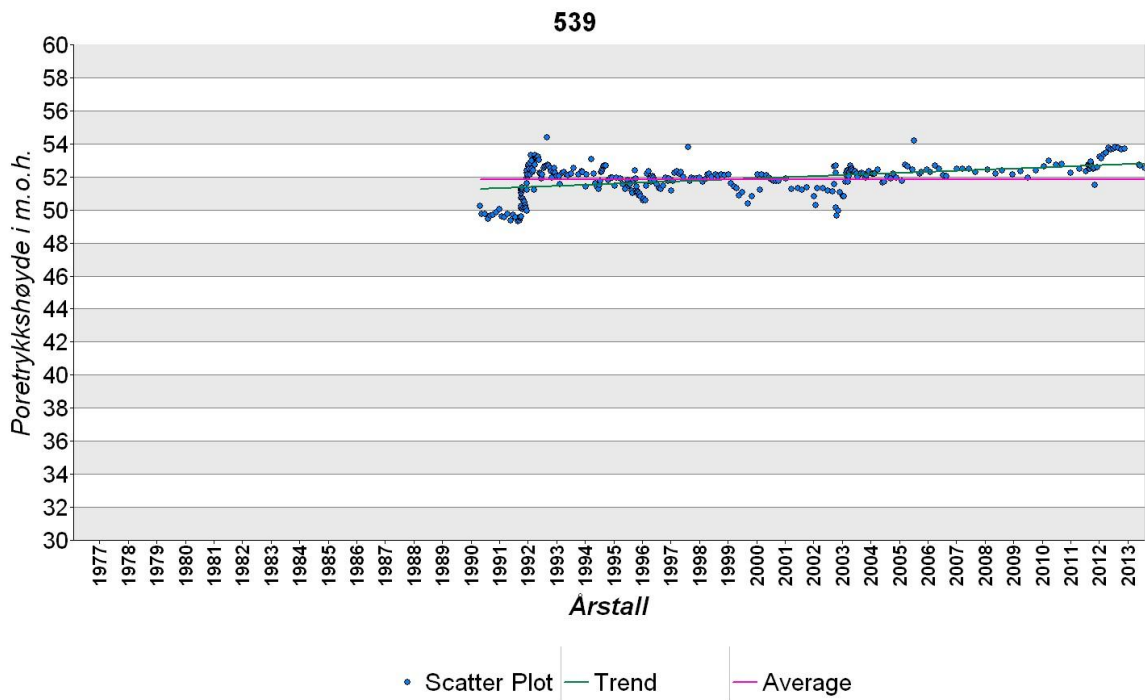
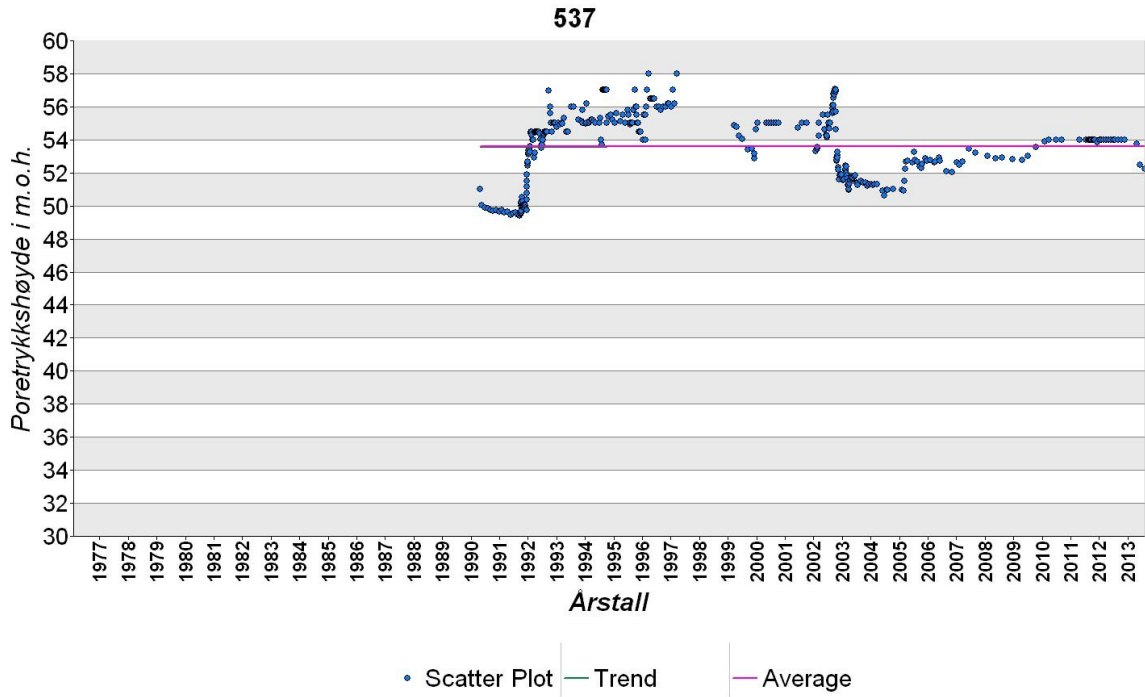


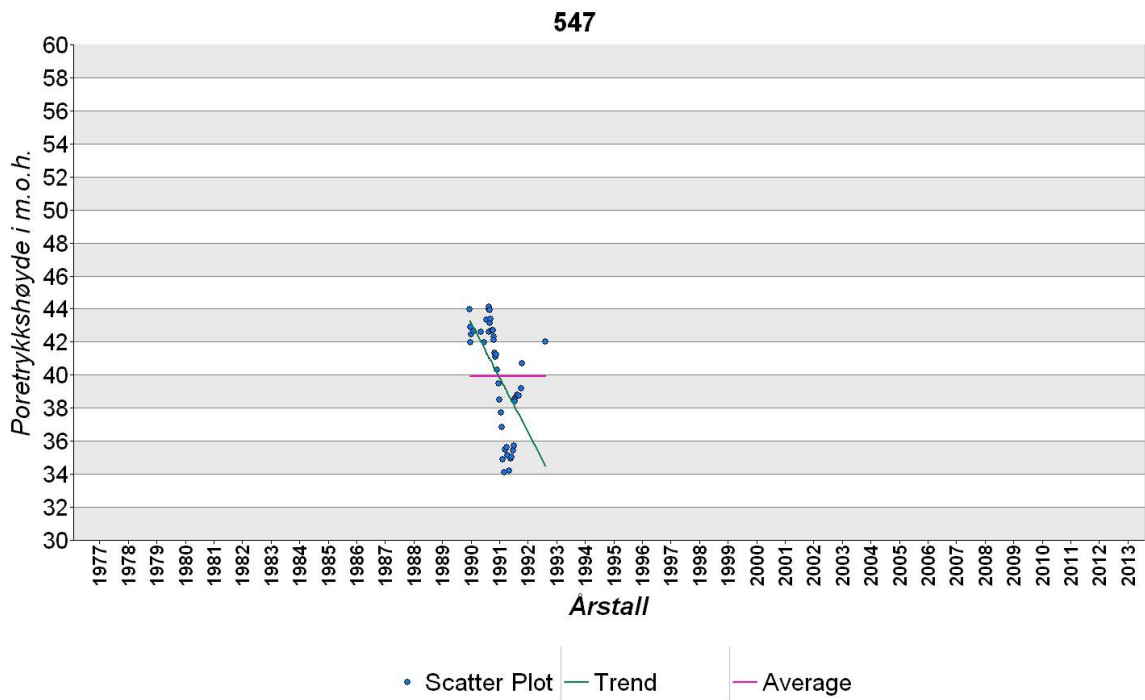
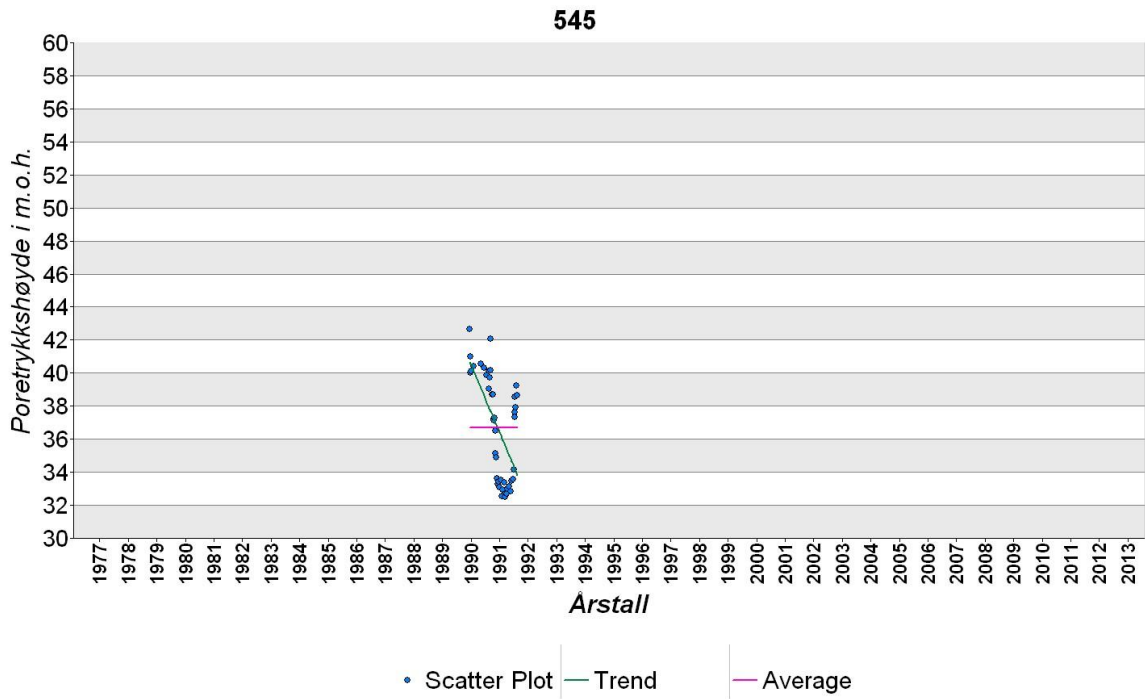
481

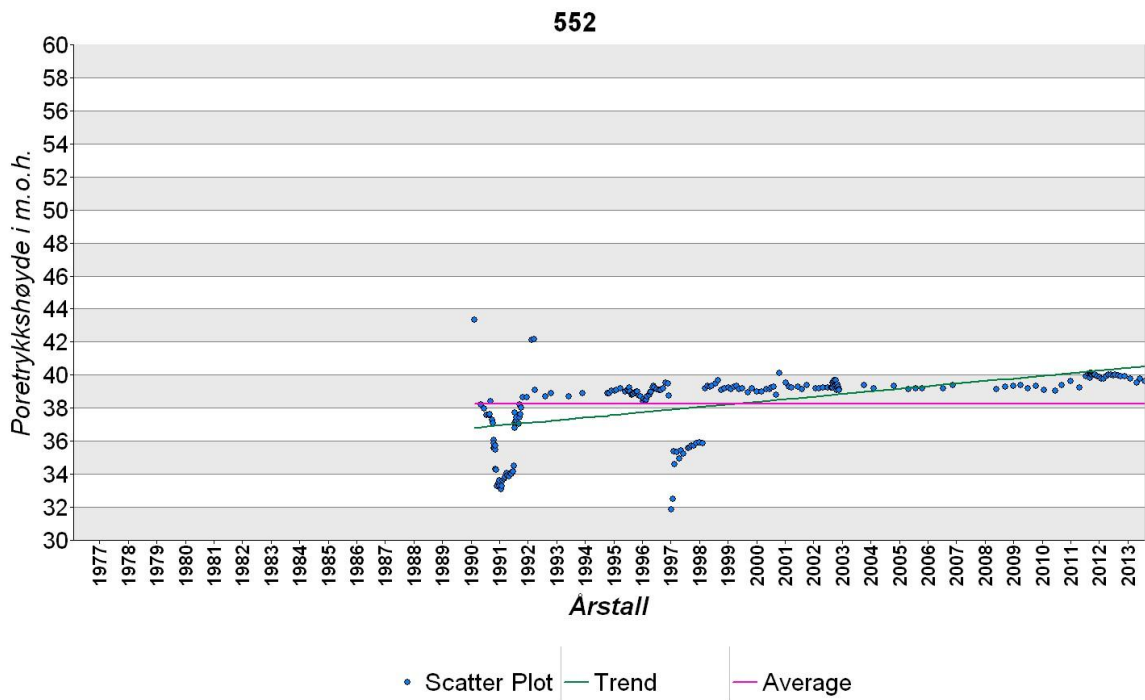
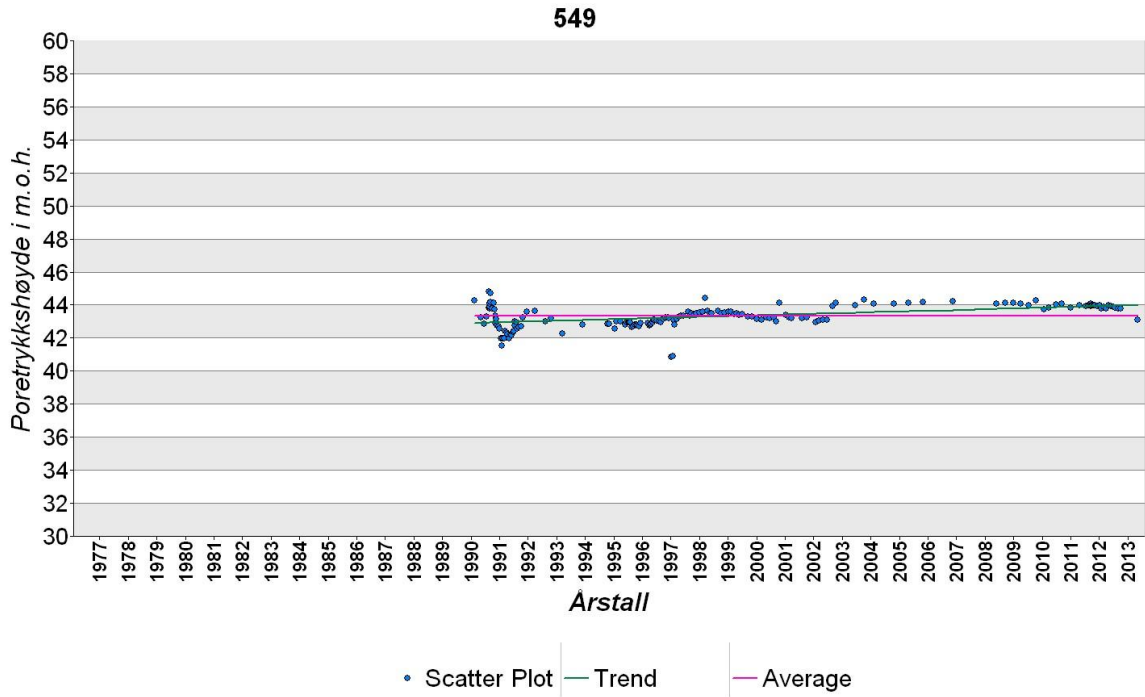


536



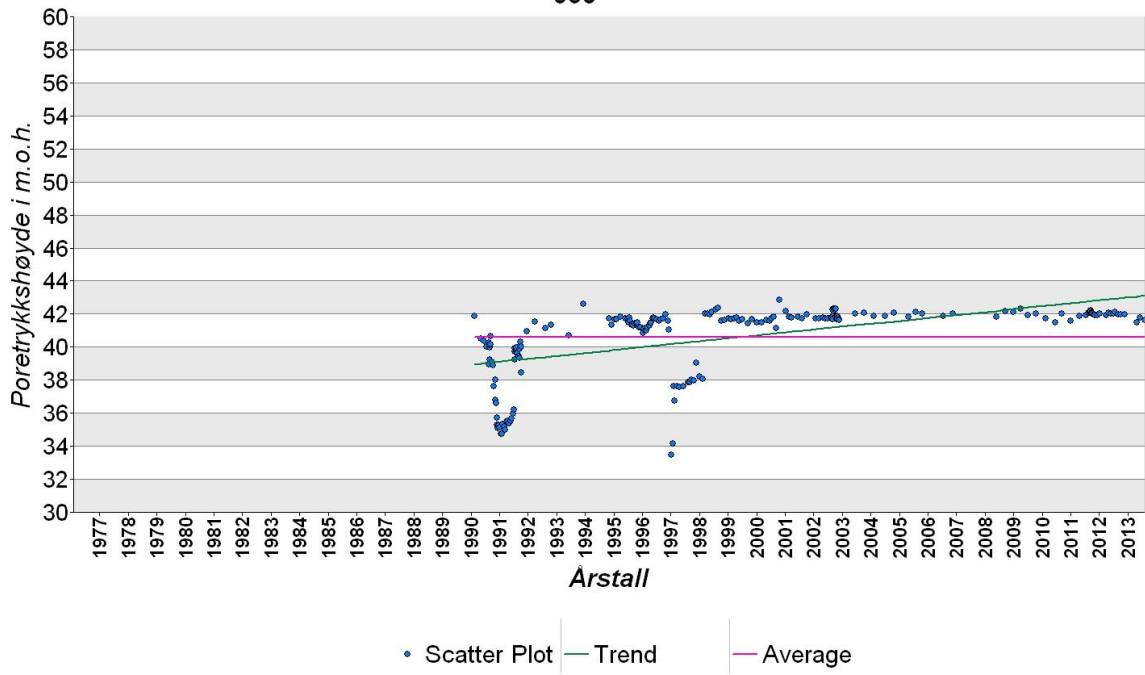




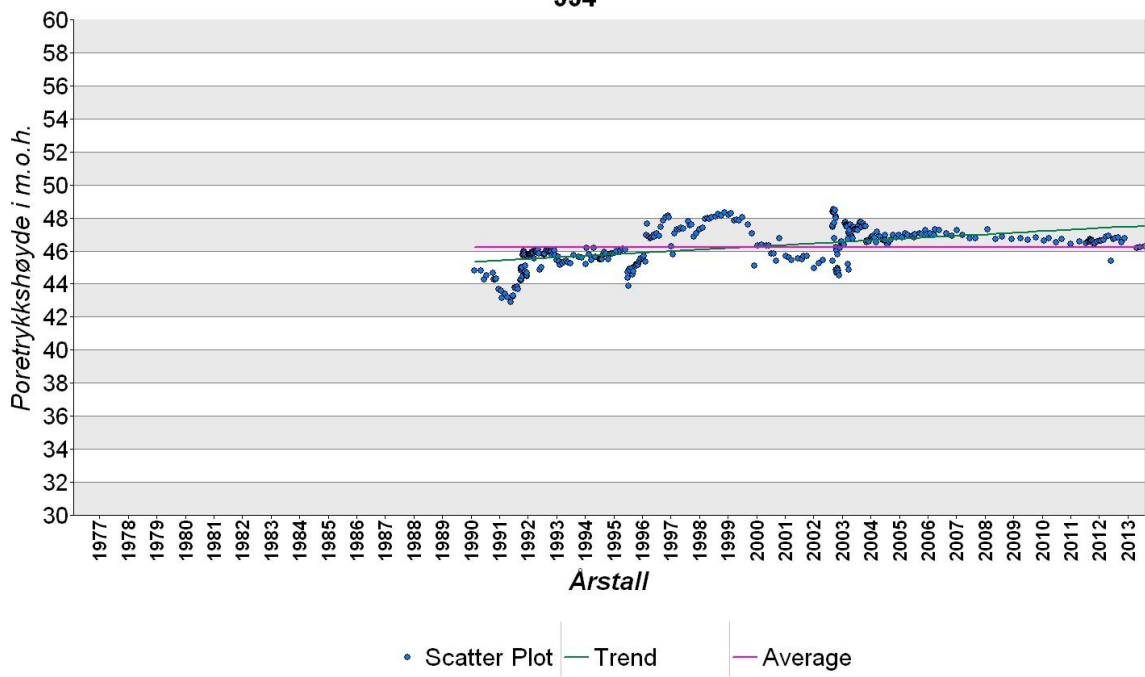




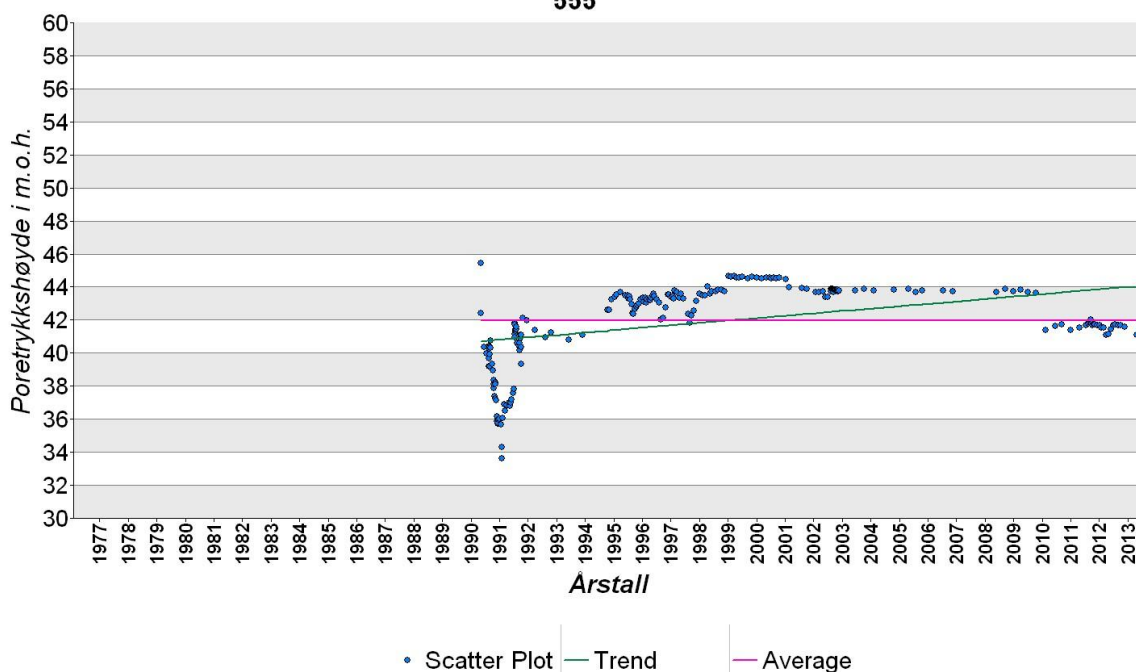
553



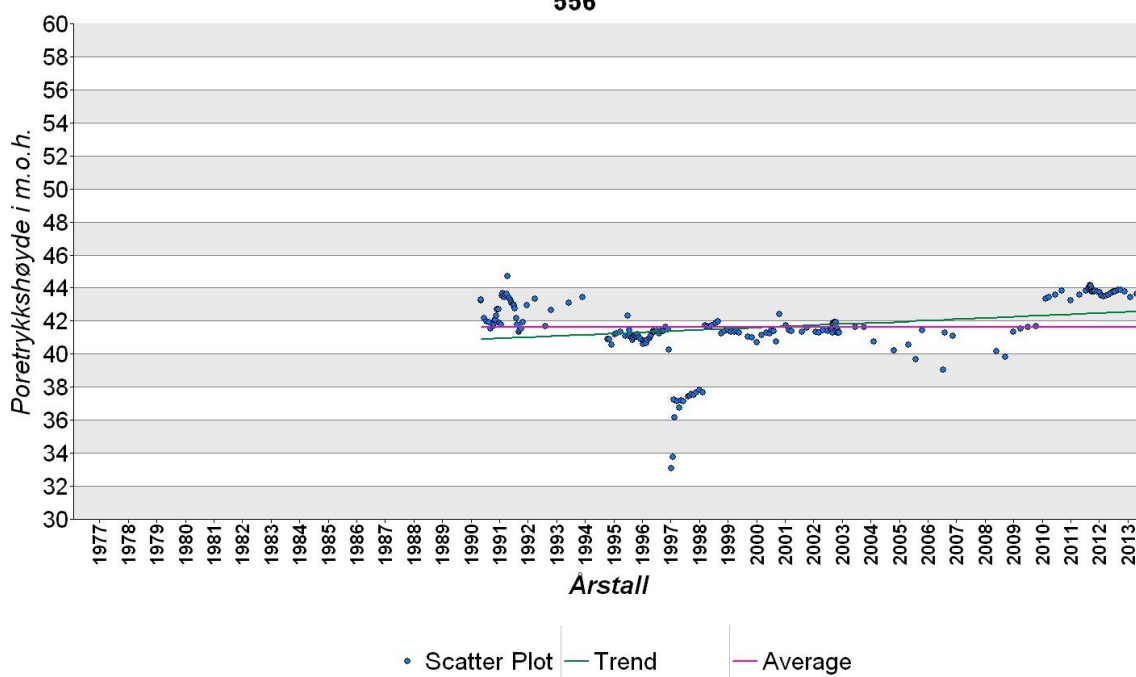
554



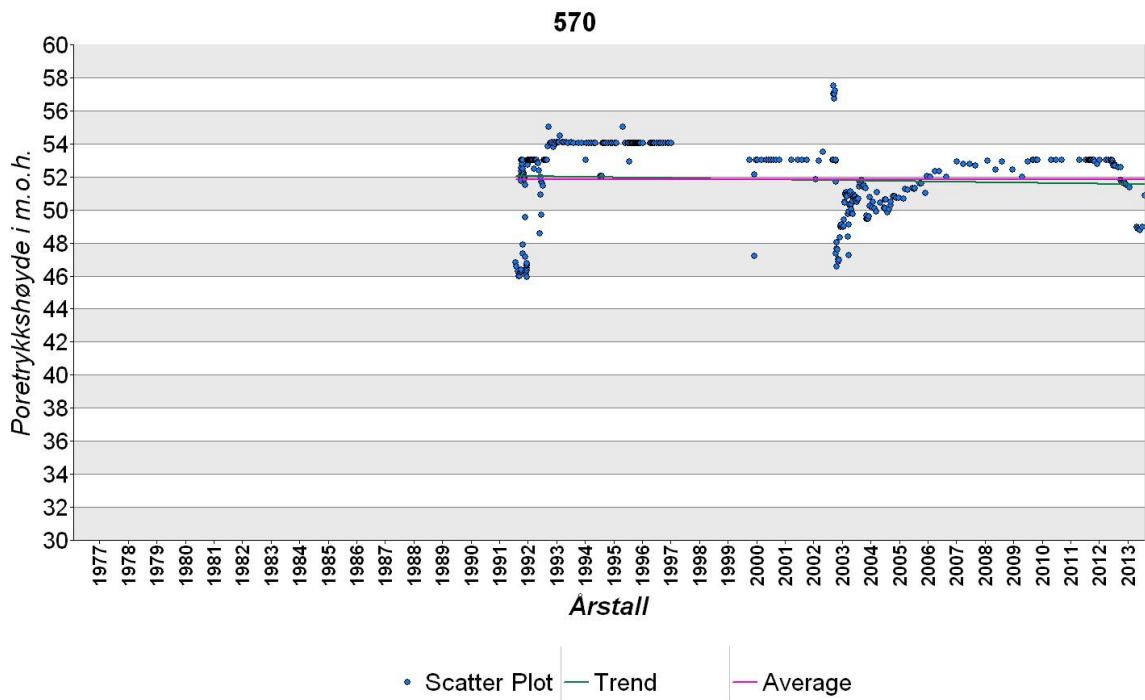
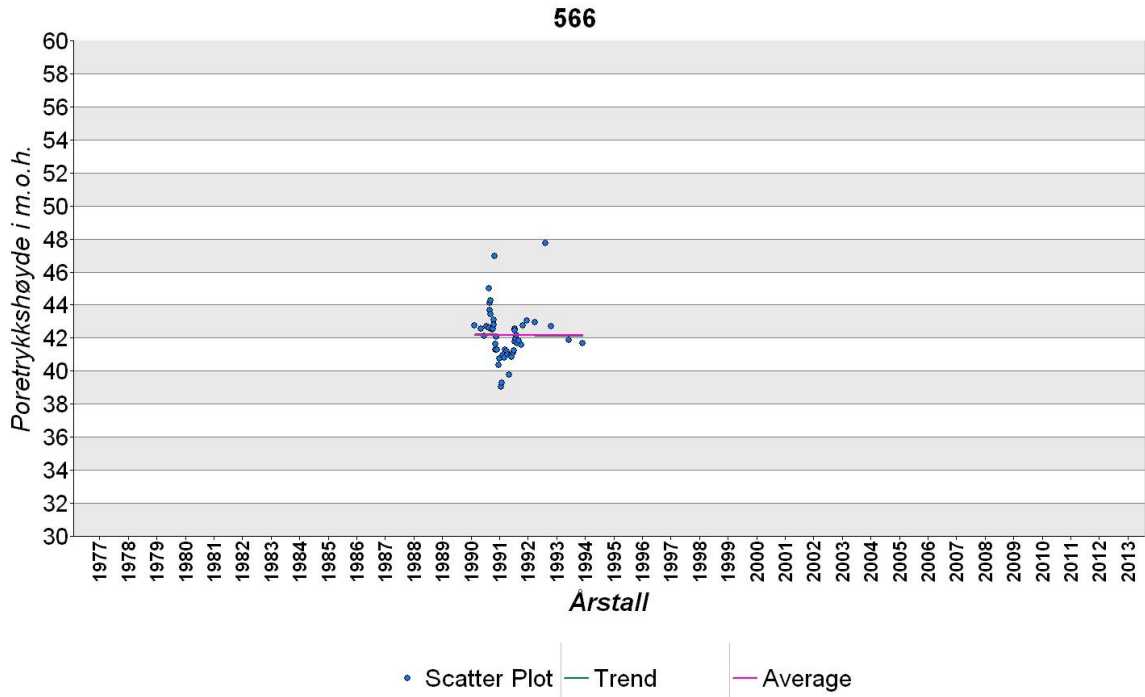
555

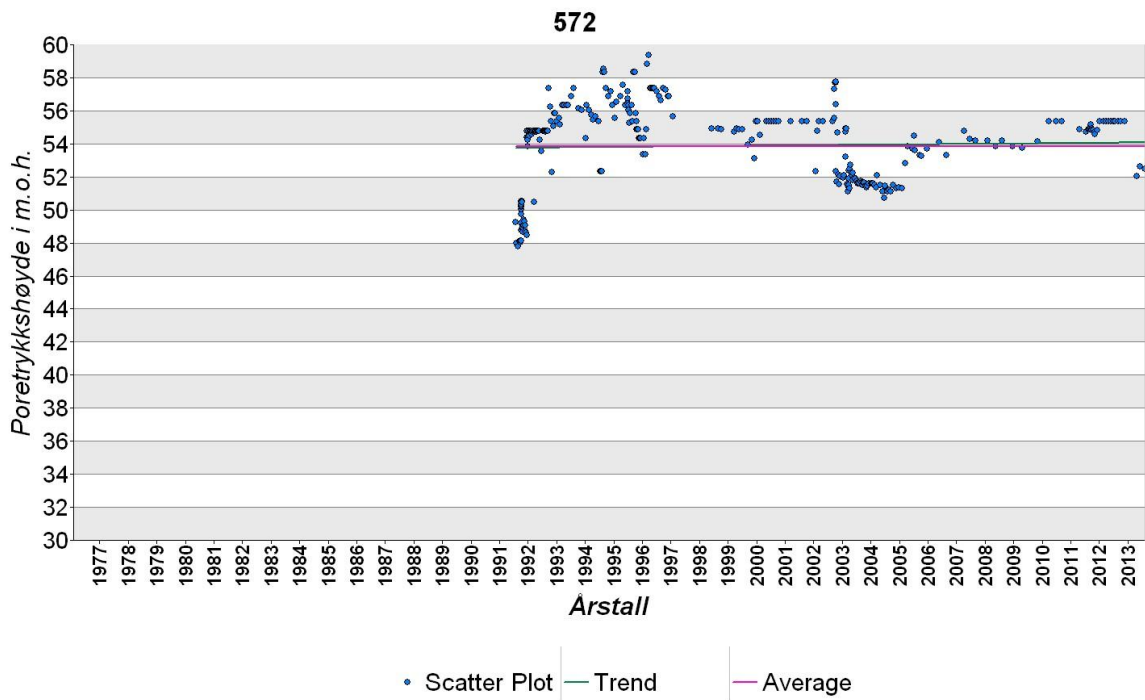
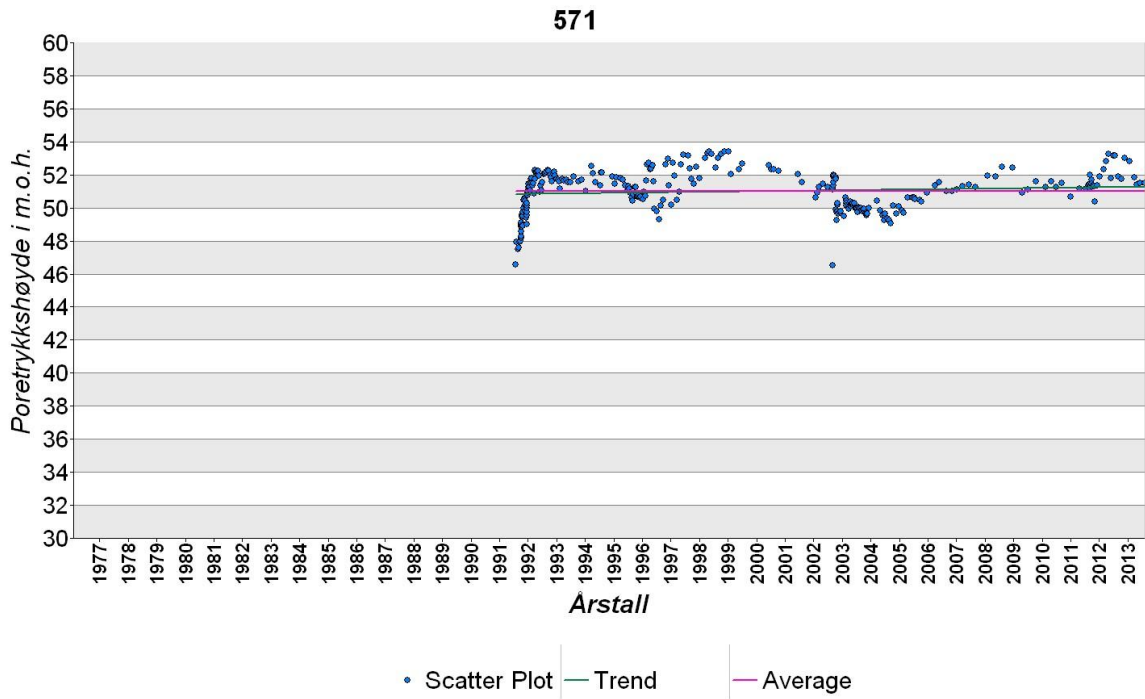


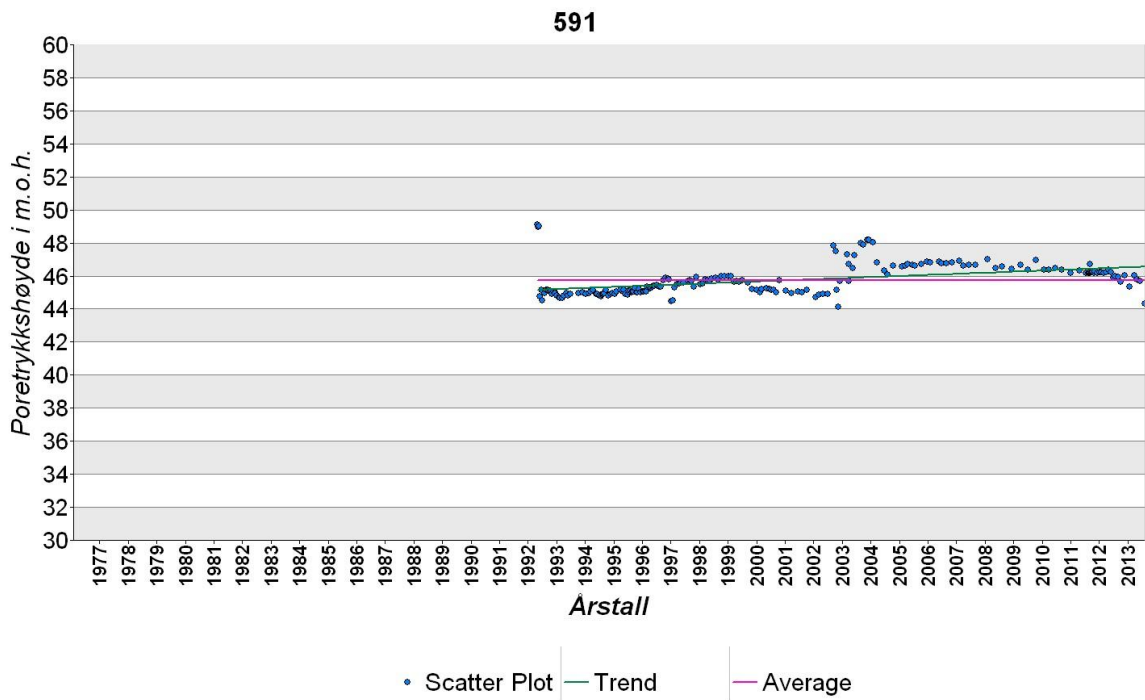
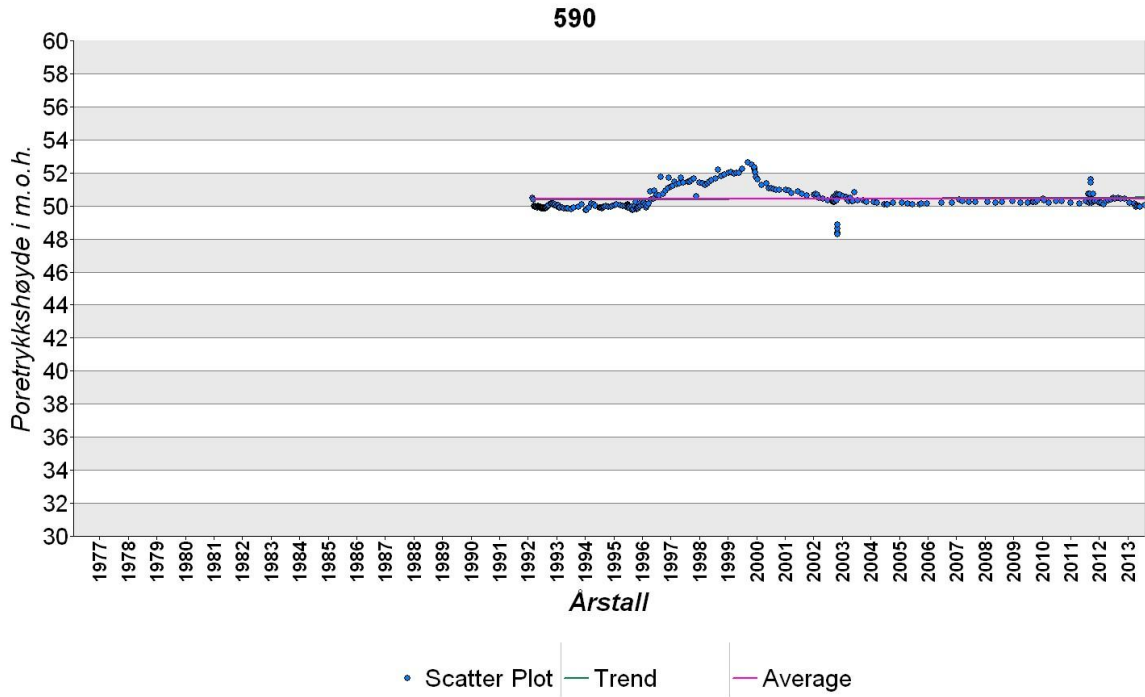
556



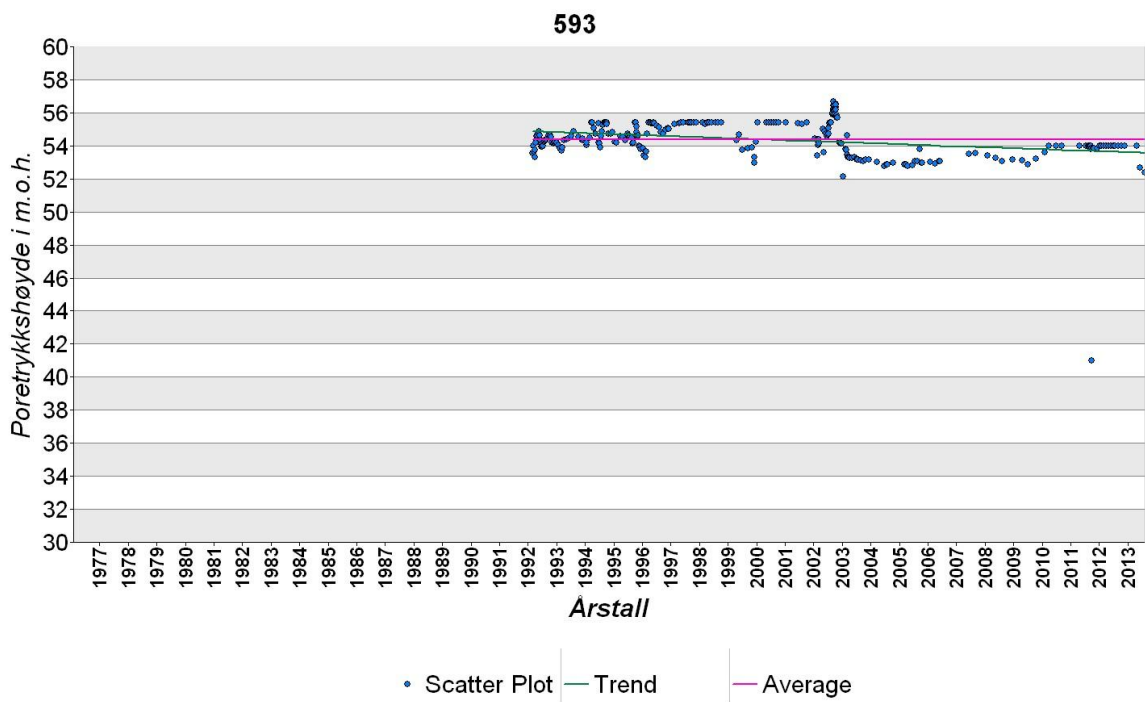
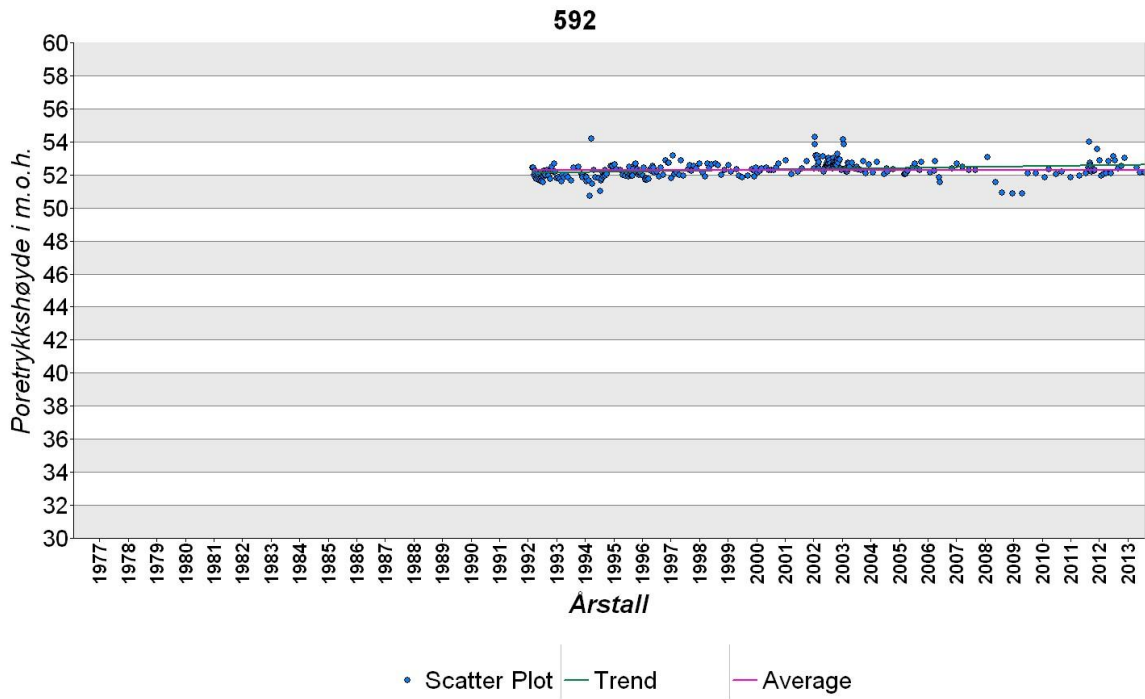


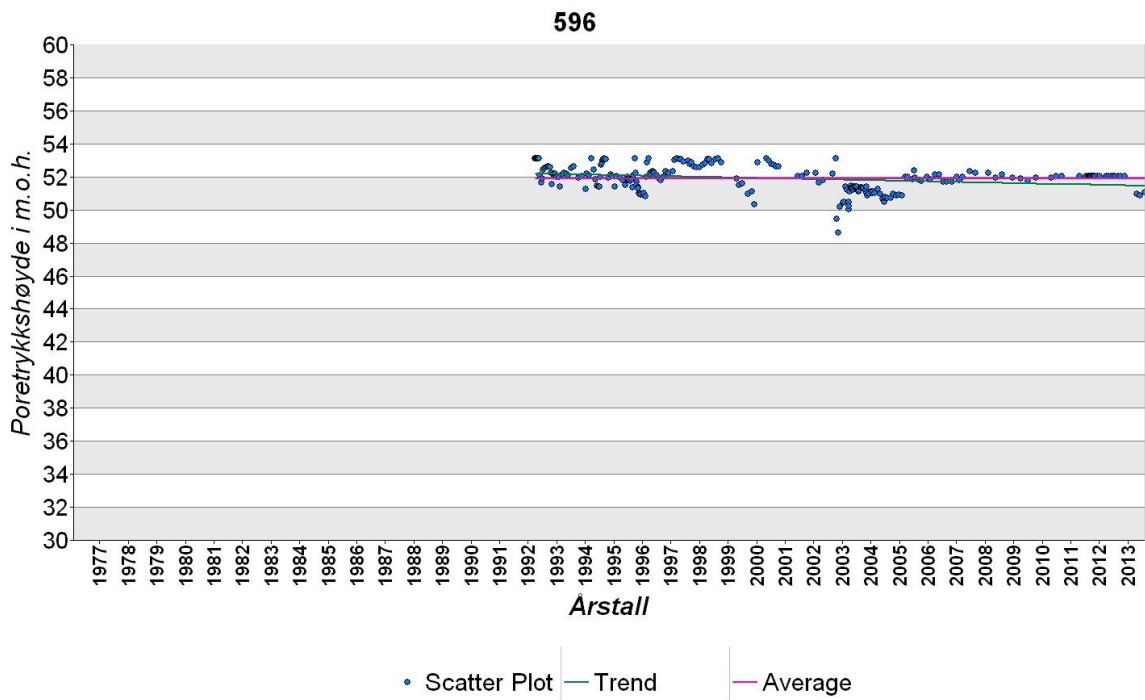
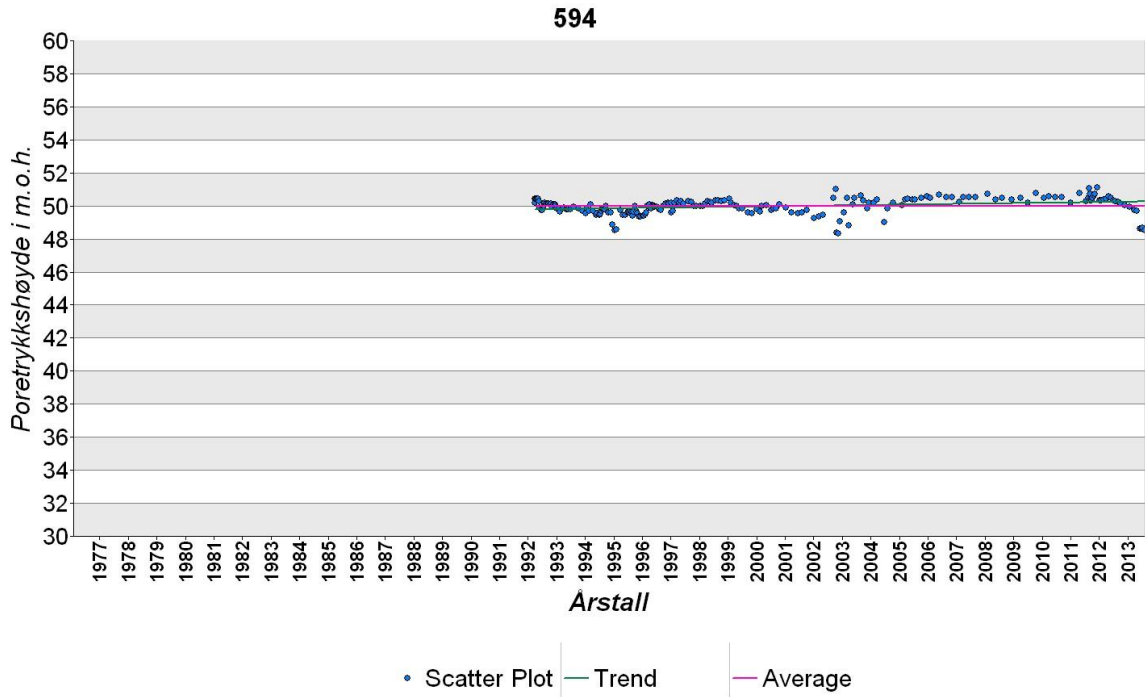


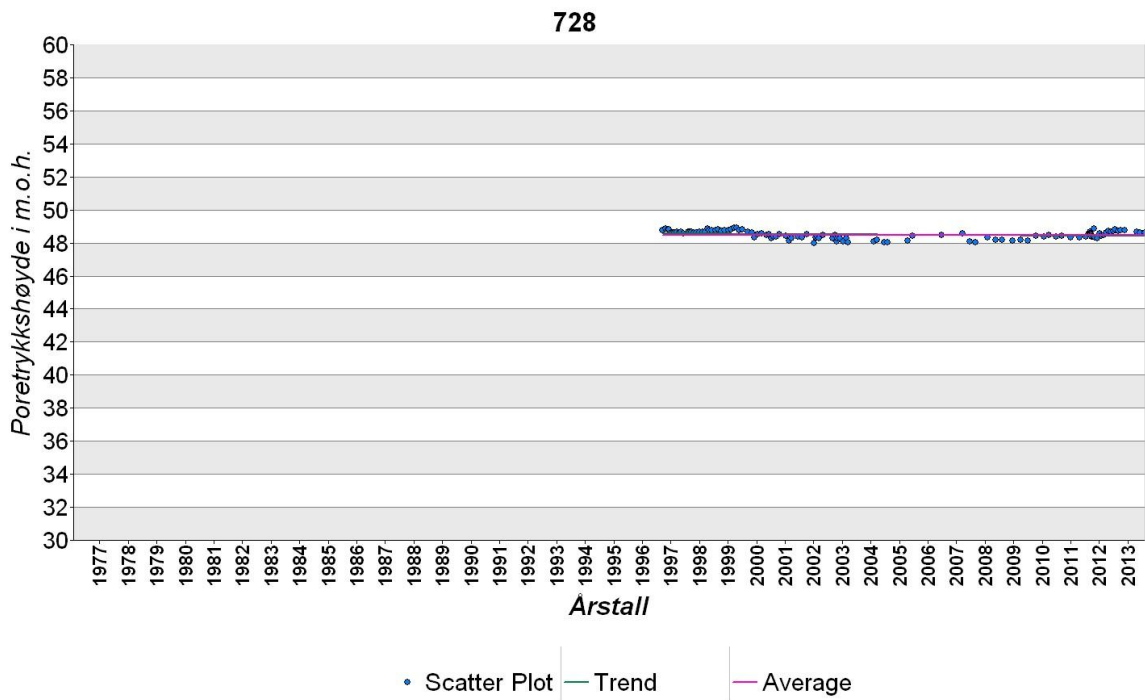
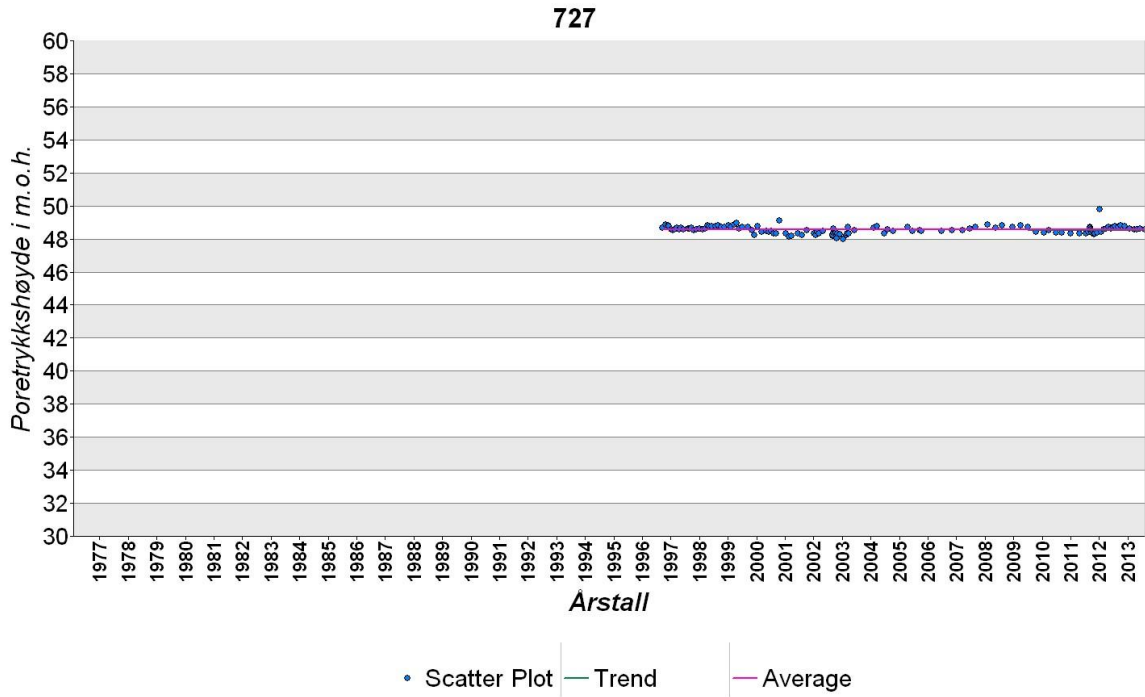


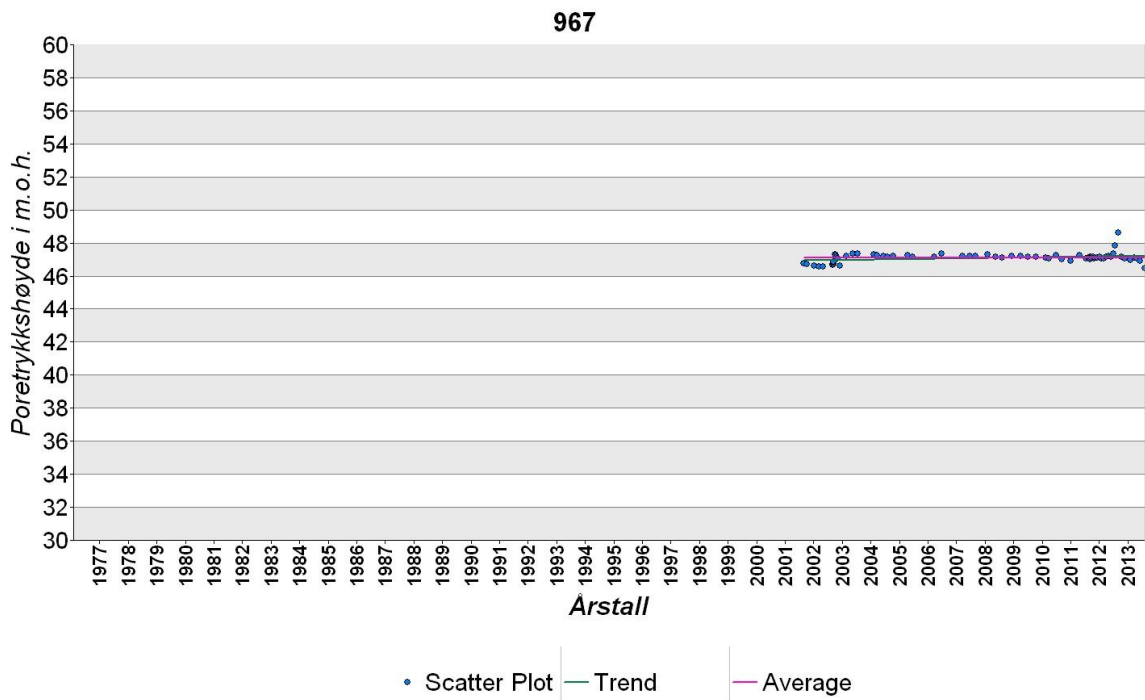
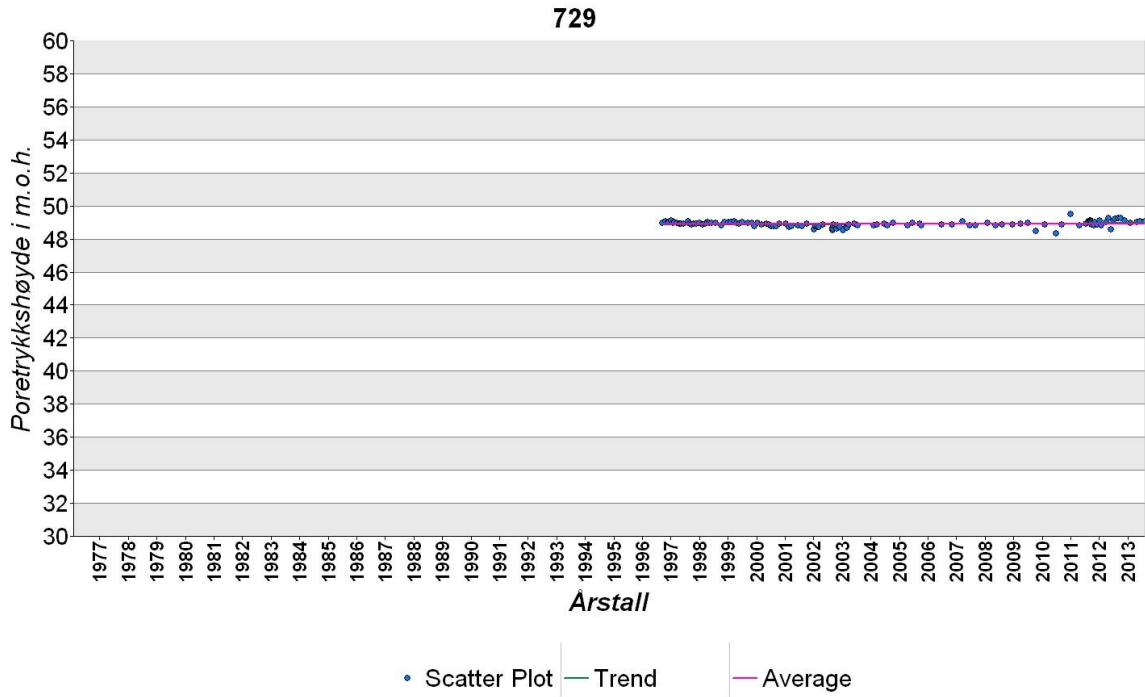


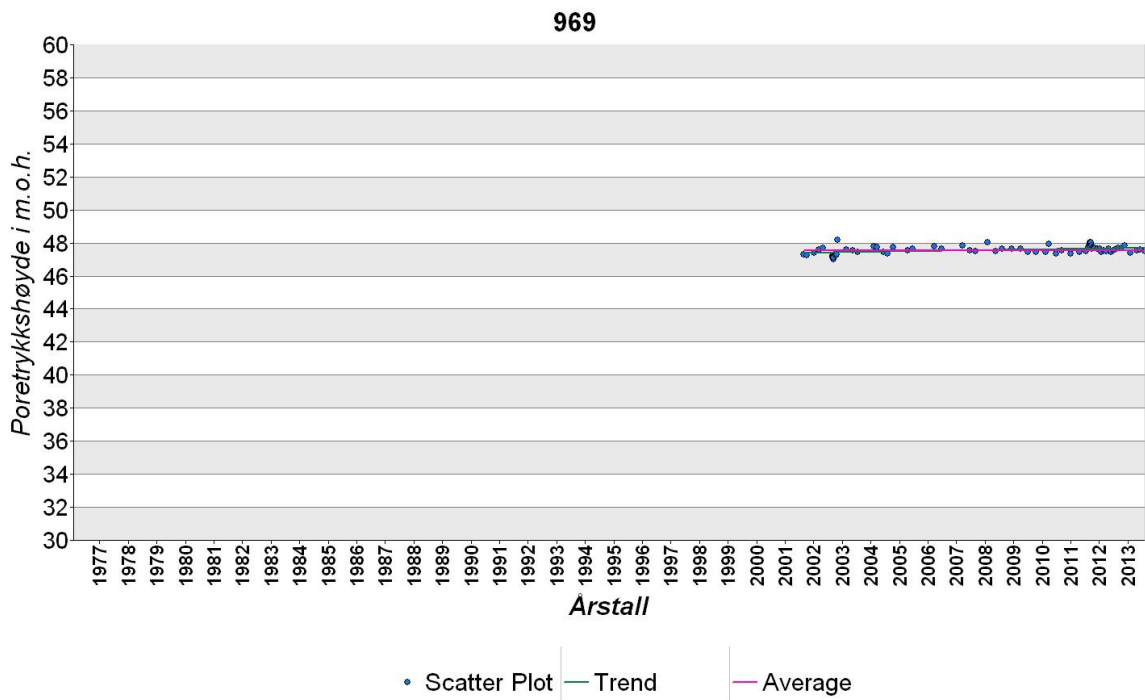
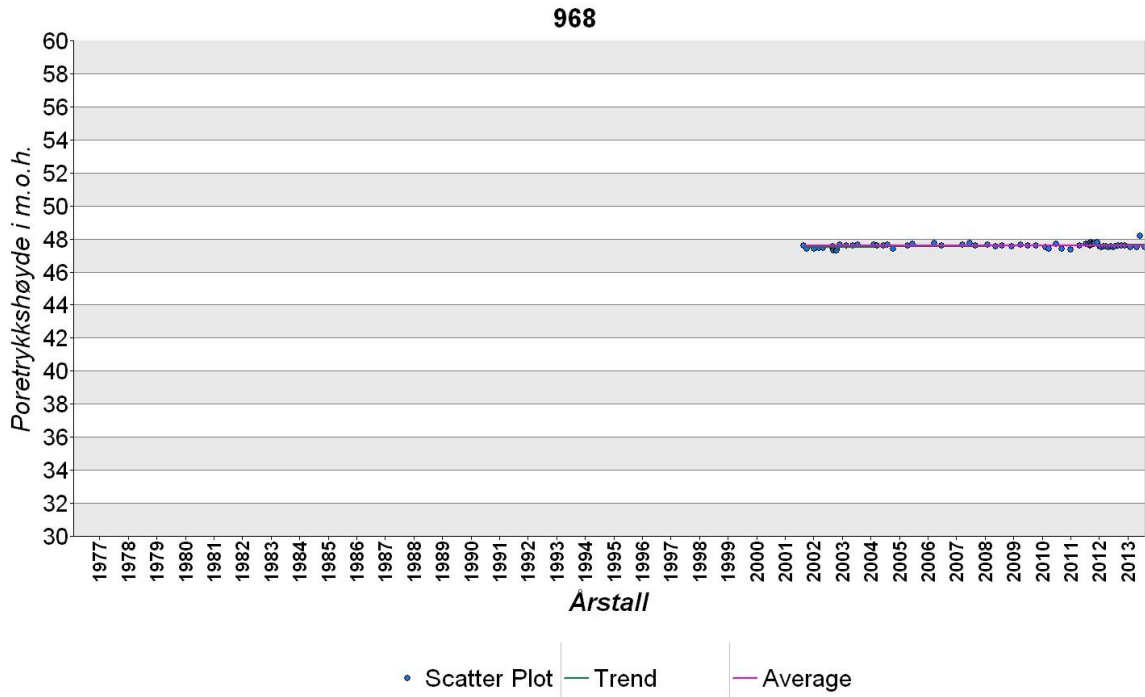


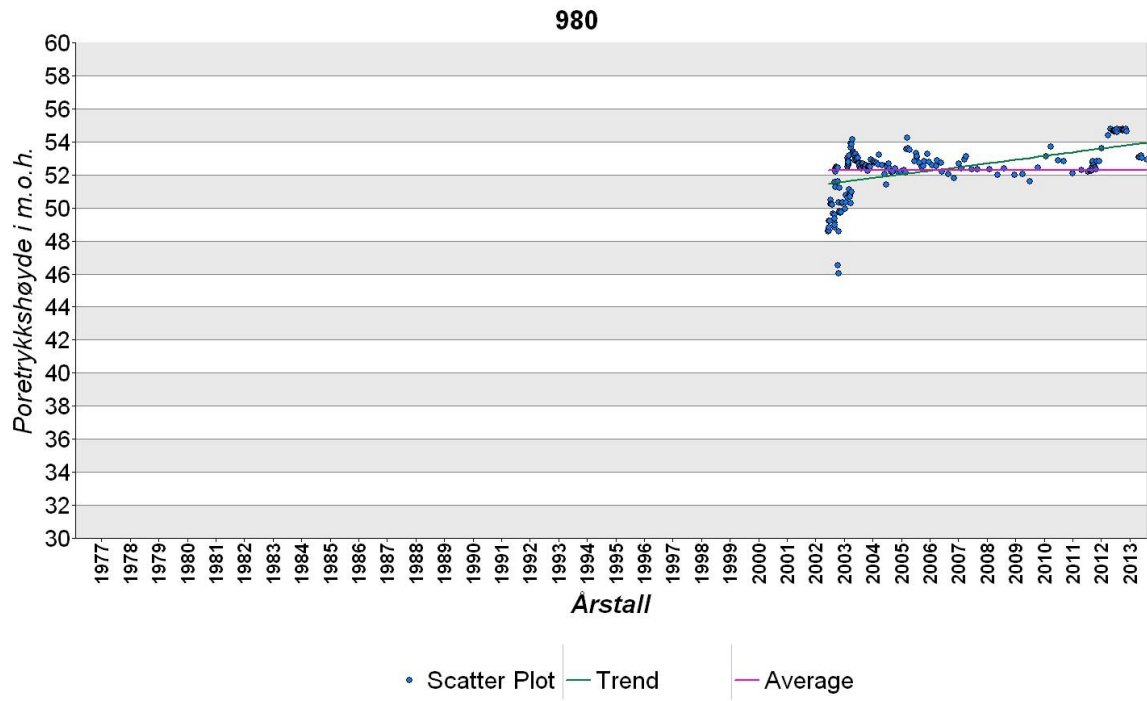








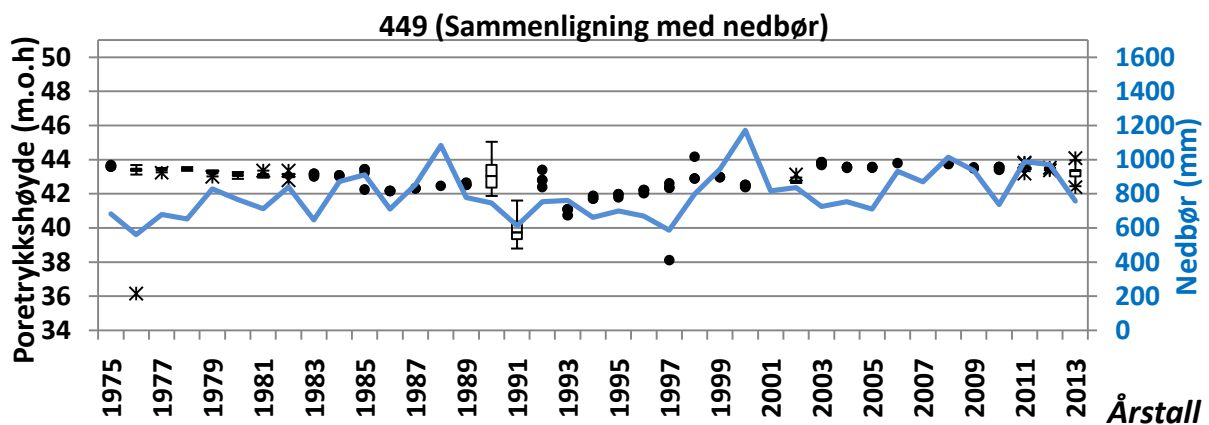
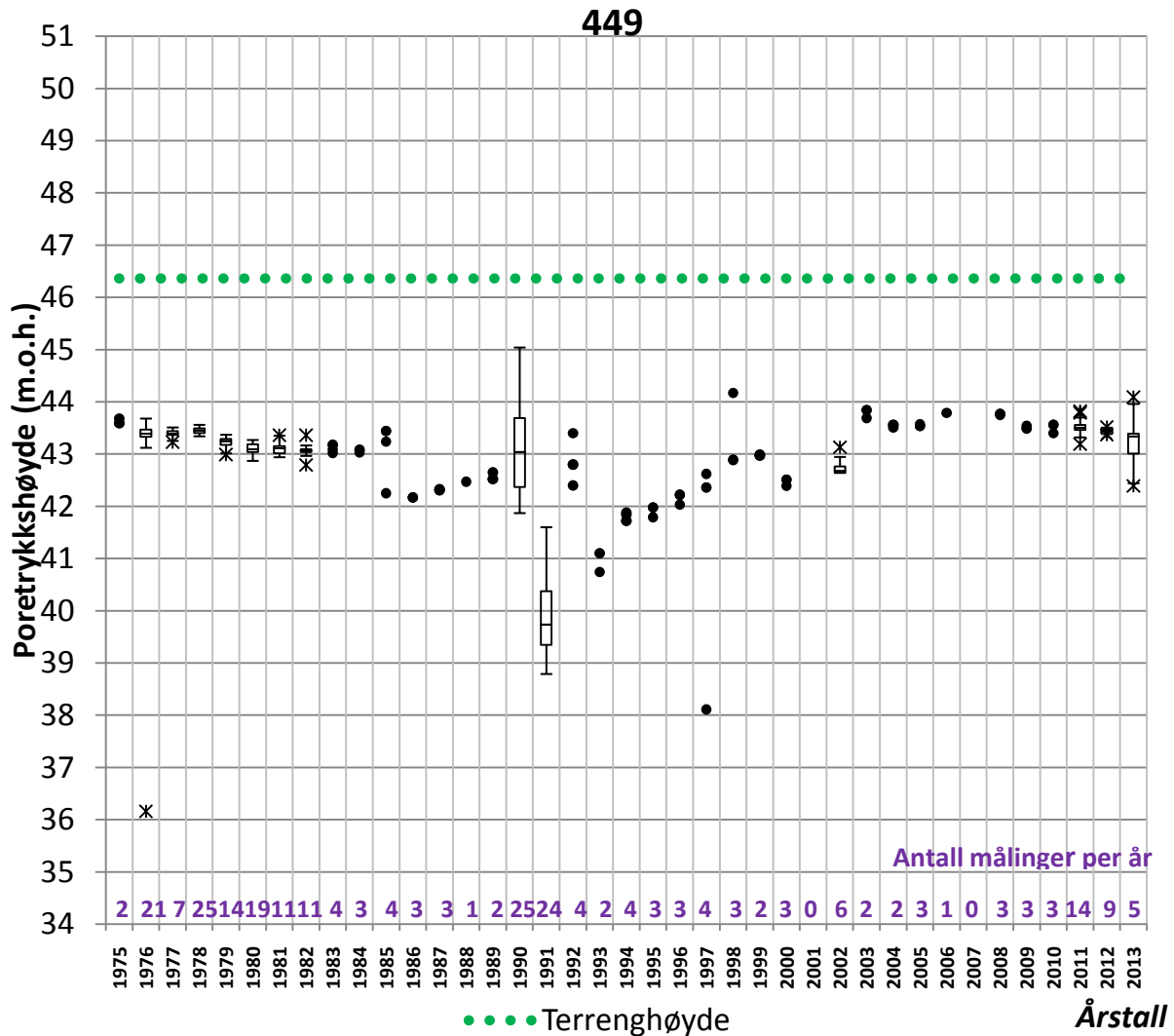




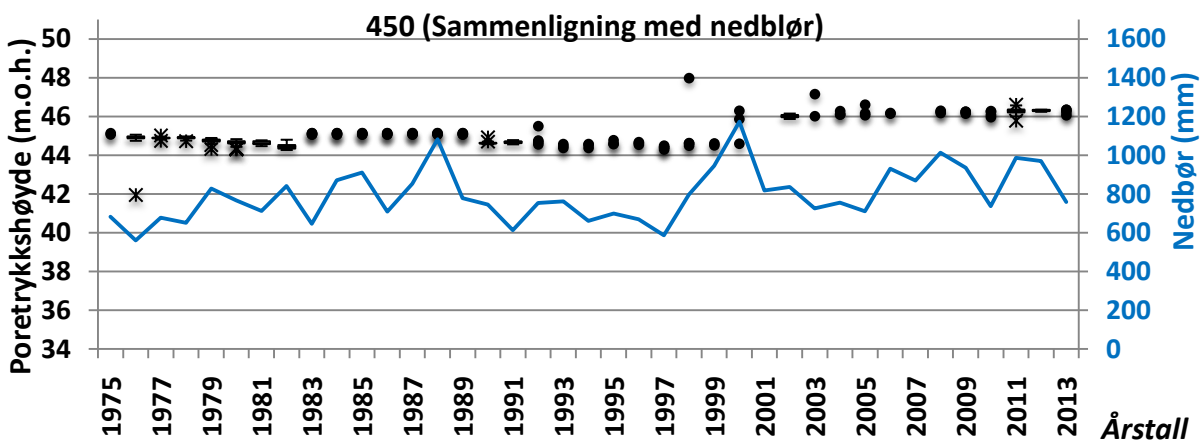
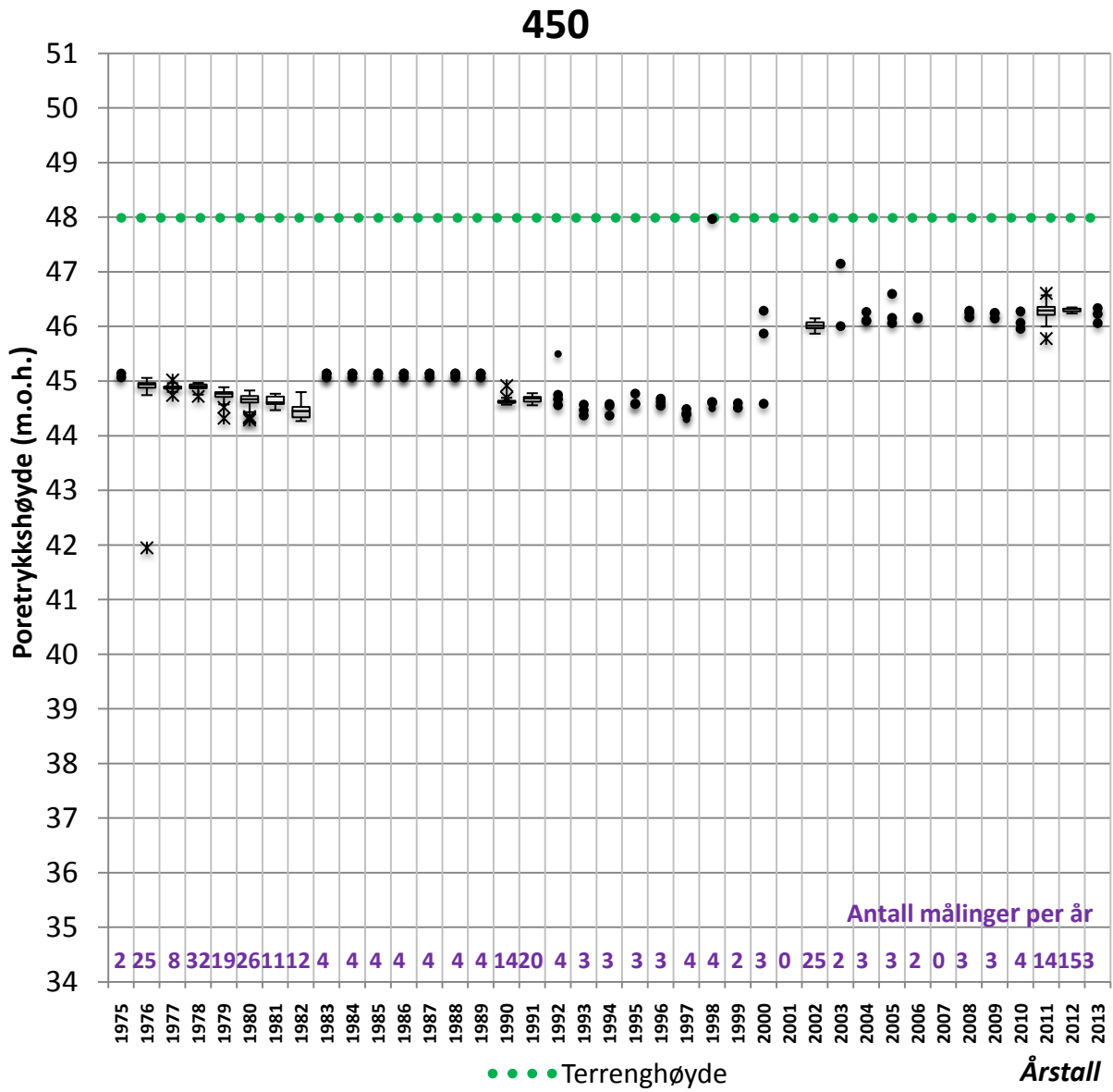


## Vedlegg 10 – Boksplokk for alle poretrykksmålere

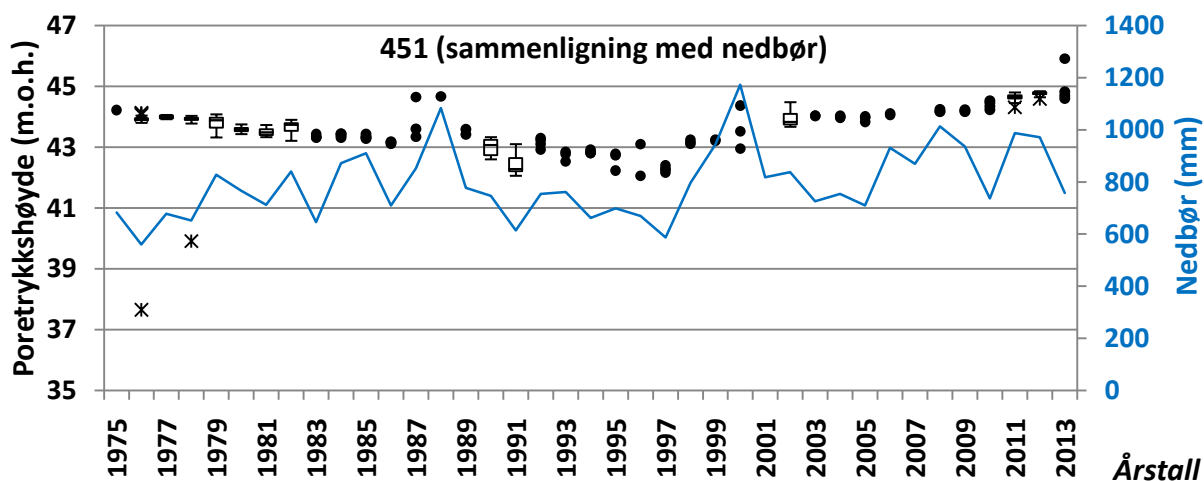
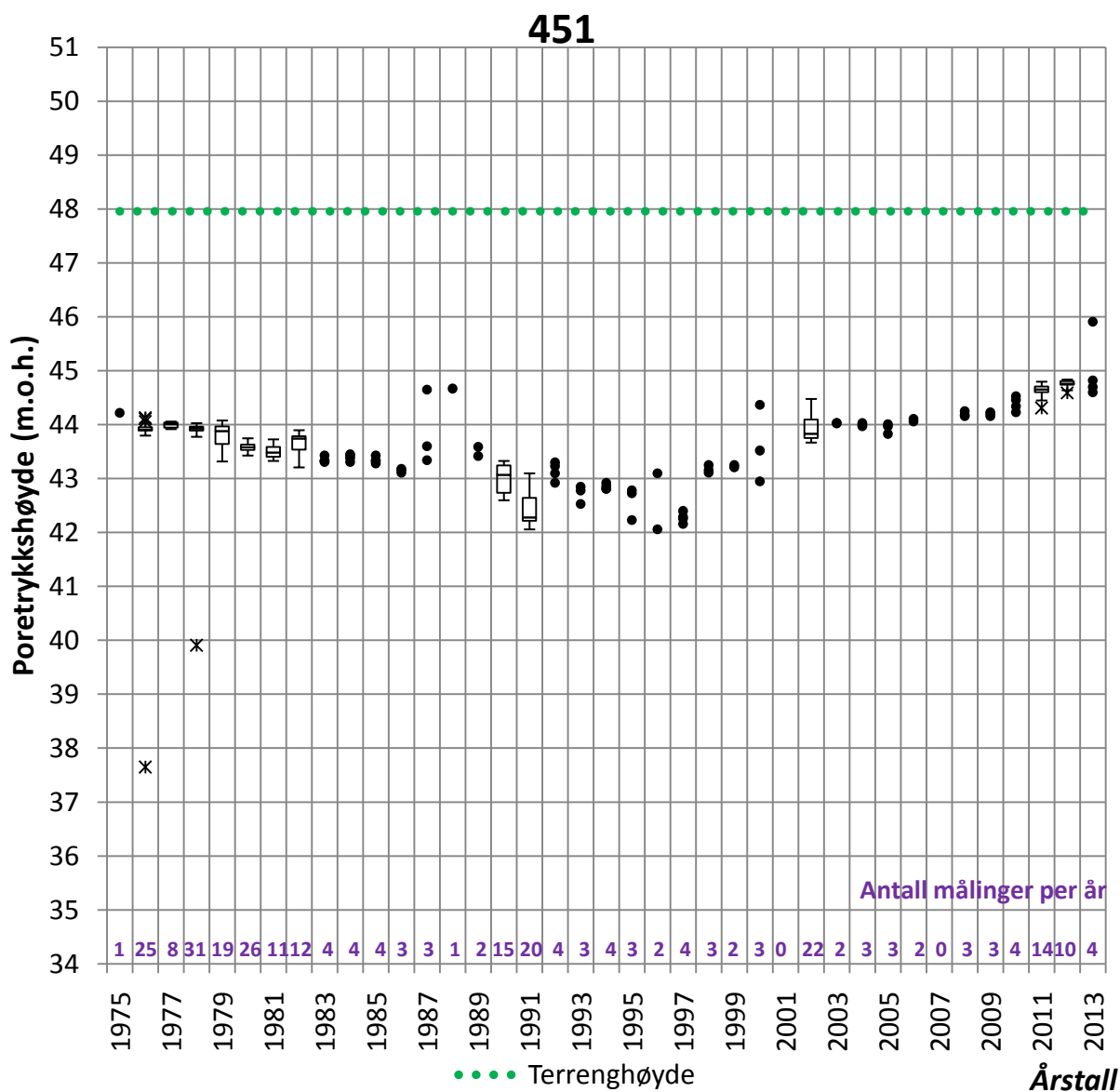
Poretrykksmåler 449					
x-koordinat	595792,832	y-koordinat	6644775,124	Antall målinger	258
Terrenghøyde	46,36 m.o.h	Fjellhøyde	33,36 m.o.h	Innmålingshøyde	33,36 m.o.h



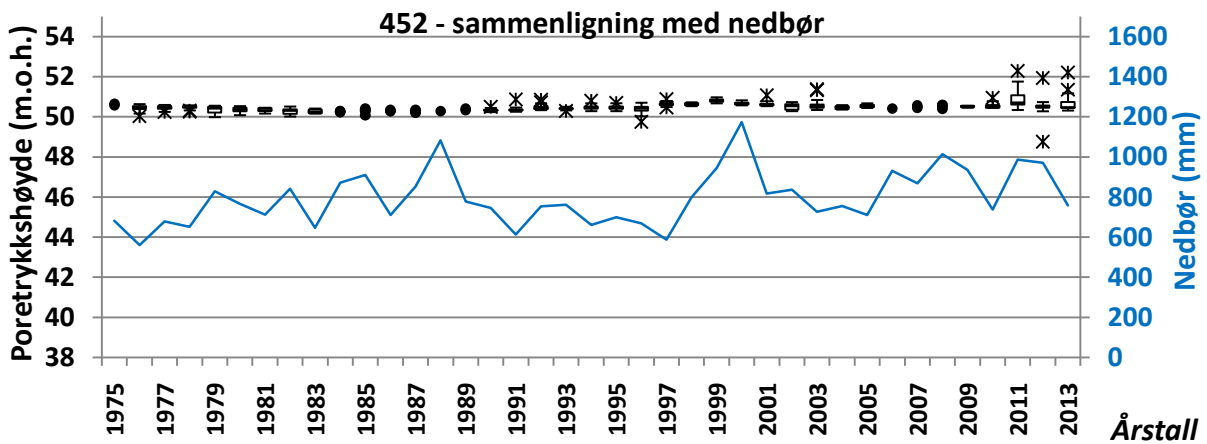
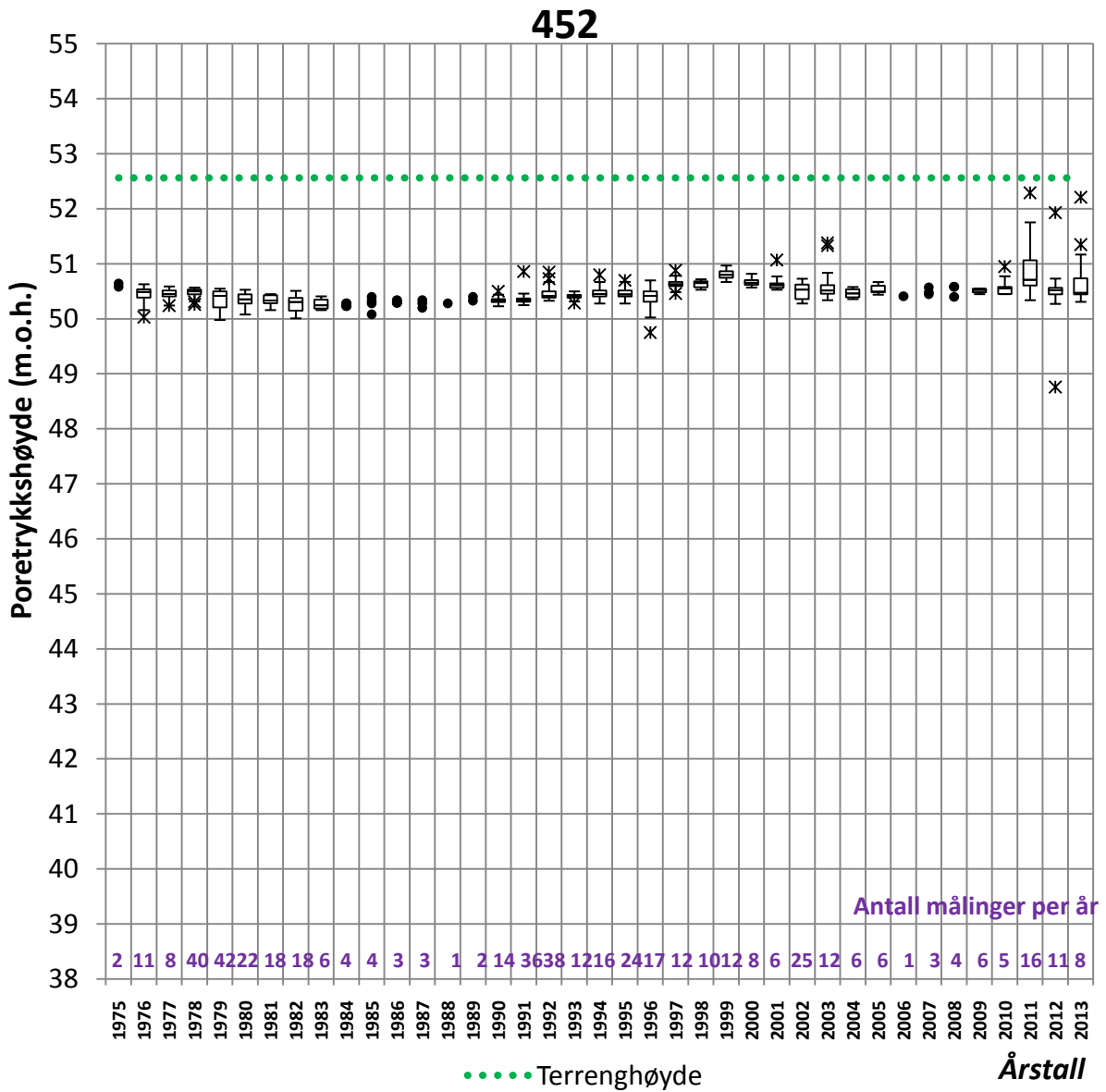
Poretrykksmåler 450					
x-koordinat	595685,967	y-koordinat	6644885,315	Antall målinger	299
Terreng høyde	47,99 m.o.h.	Fjellhøyde	14,46 m.o.h.	Innmålingshøyde	42,69 m.o.h.



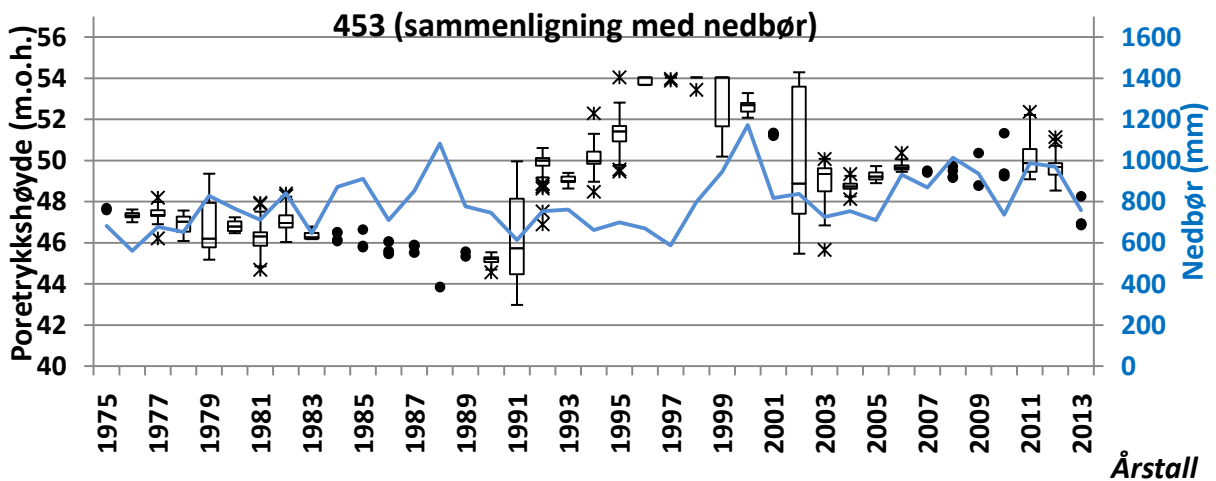
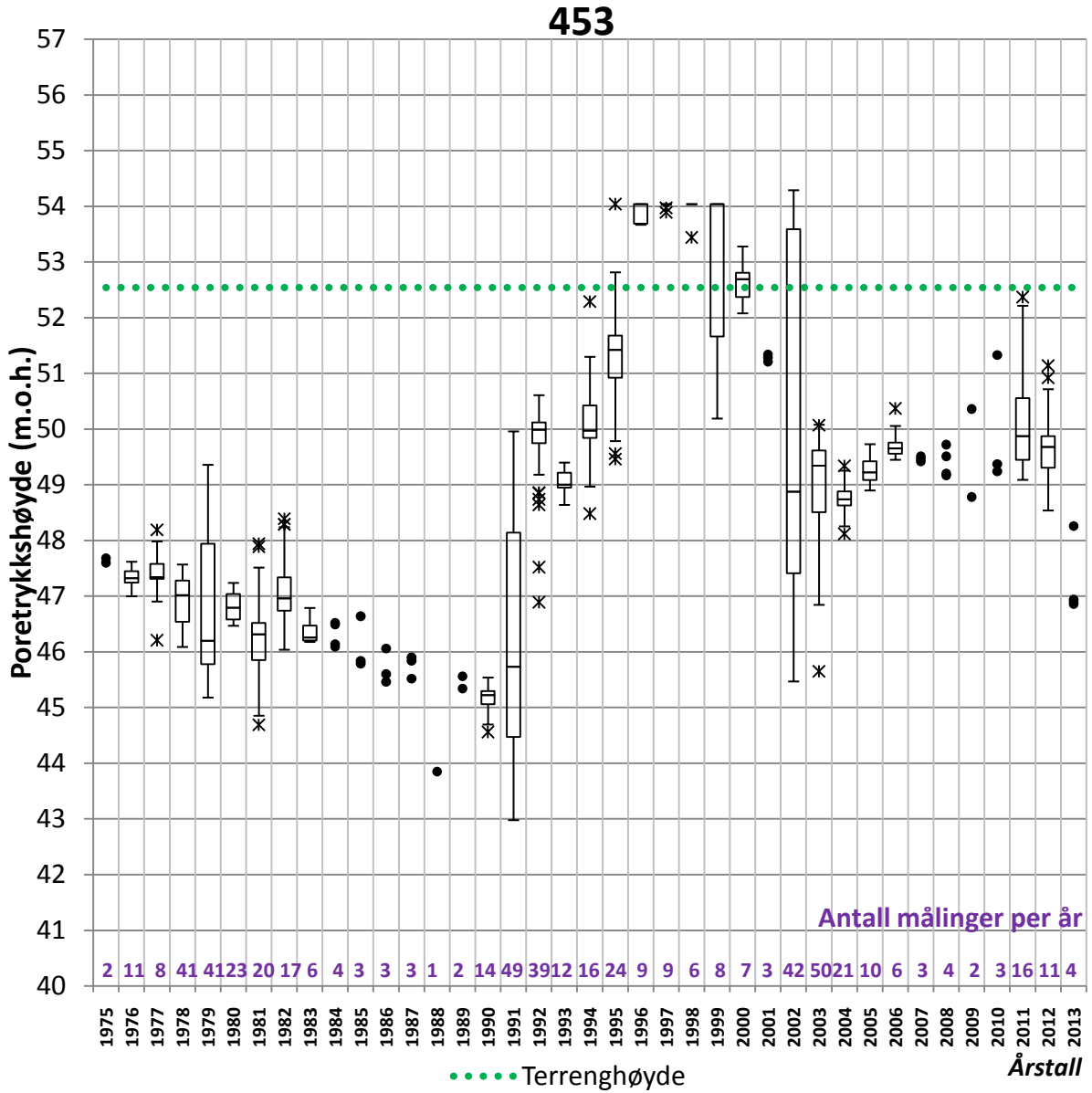
Poretrykksmåler nummer 451					
x-koordinat	595685,967	y-koordinat	6644885,315	Antall målinger	287
Terrenghøyde	47,96 m.o.h.	Fjellhøyde	14,46 m.o.h.	Innmålingshøyde	16,66 m.o.h.



Poretrykksmåler 452					
x-koordinat	595946,03	y-koordinat	66445036,04	Antall målinger	492
Terrenghøyde	52,56 m.o.h.	Fjellhøyde	25,36 m.o.h.	Innmålingshøyde	25,36 m.o.h.

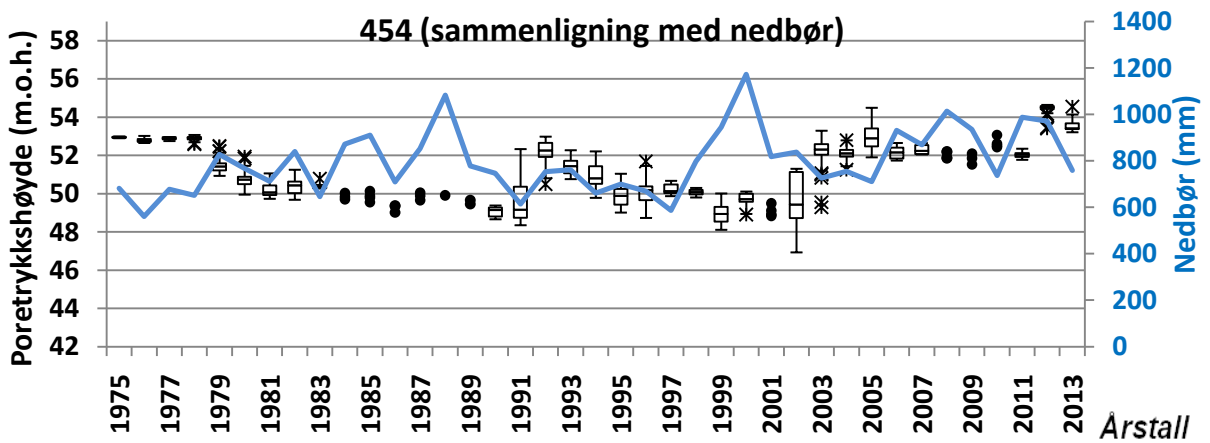
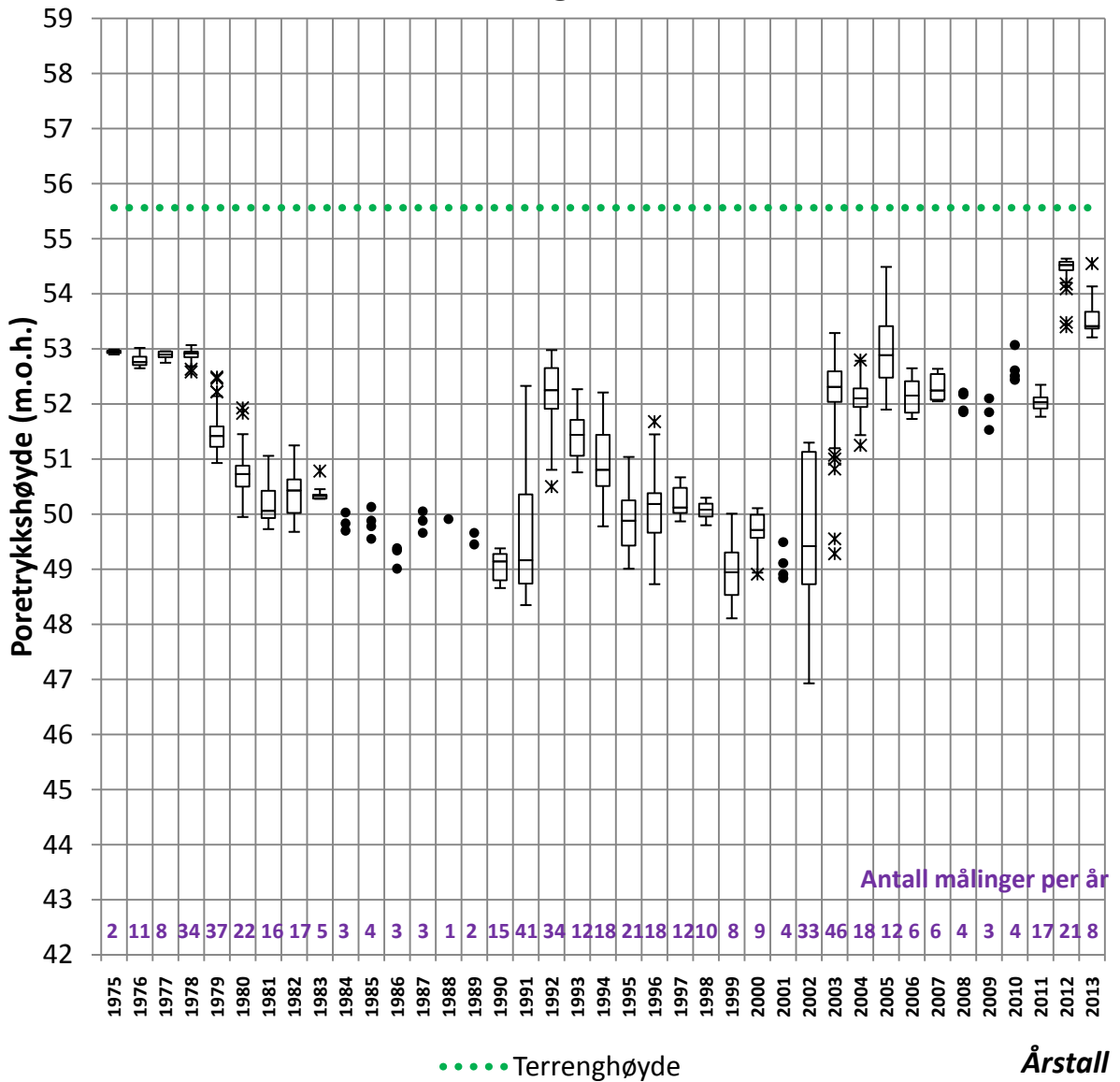


Poretrykksmåler 453					
x-koordinat	595946,03	y-koordinat	66445036,04	Antall målinger	553
Terrenghøyde	52,54 m.o.h.	Fjellhøyde	25,36 m.o.h.	Innmålingshøyde	47,24 m.o.h.



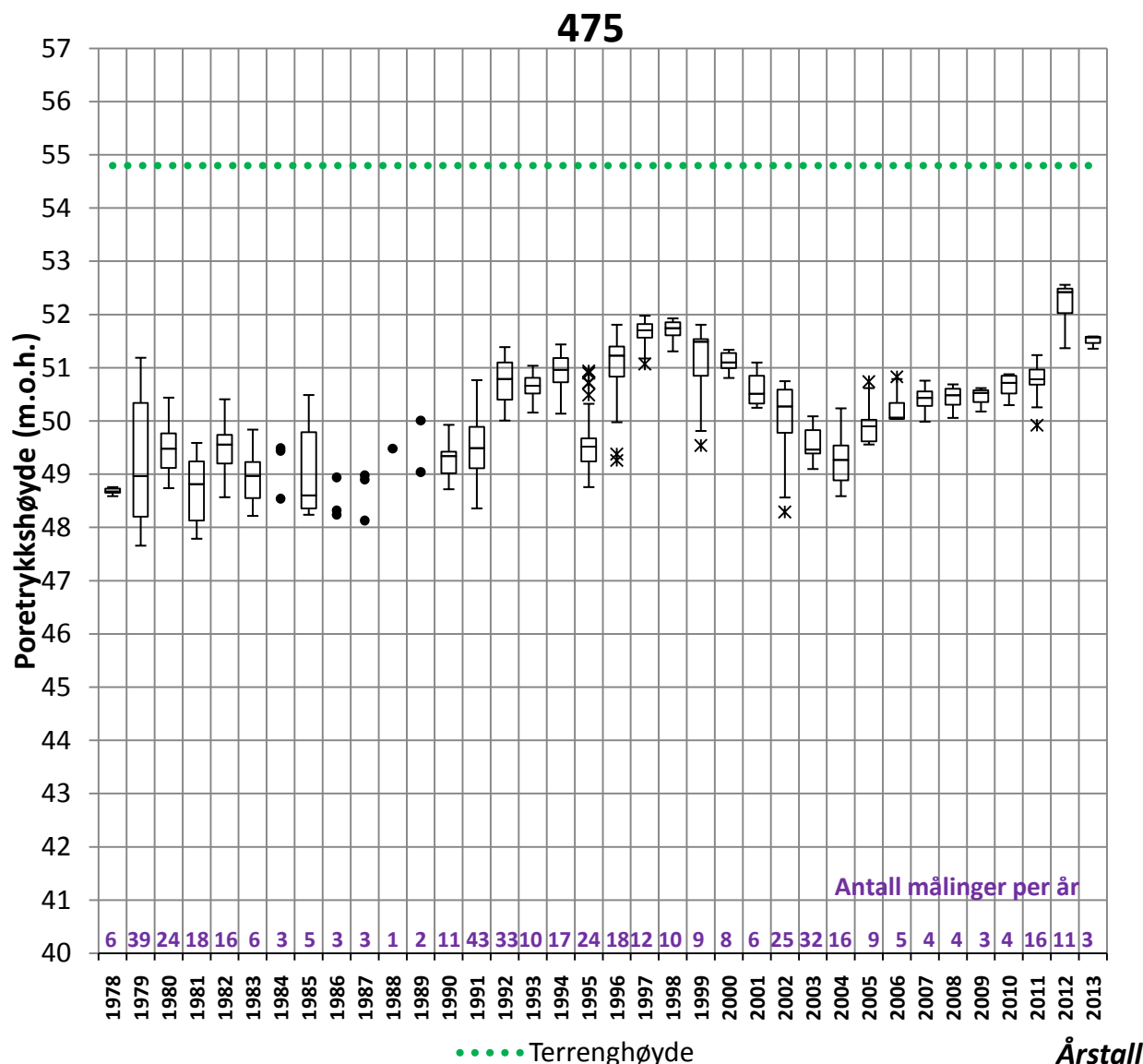
Poretrykksmåler 454					
x-koordinat	596143,345	y-koordinat	6645101,144	Antall målinger	537
Terrenghøyde	55,56 m.o.h.	Fjellhøyde	44,86 m.o.h.	Innmålingshøyde	44,86 m.o.h.

### 454

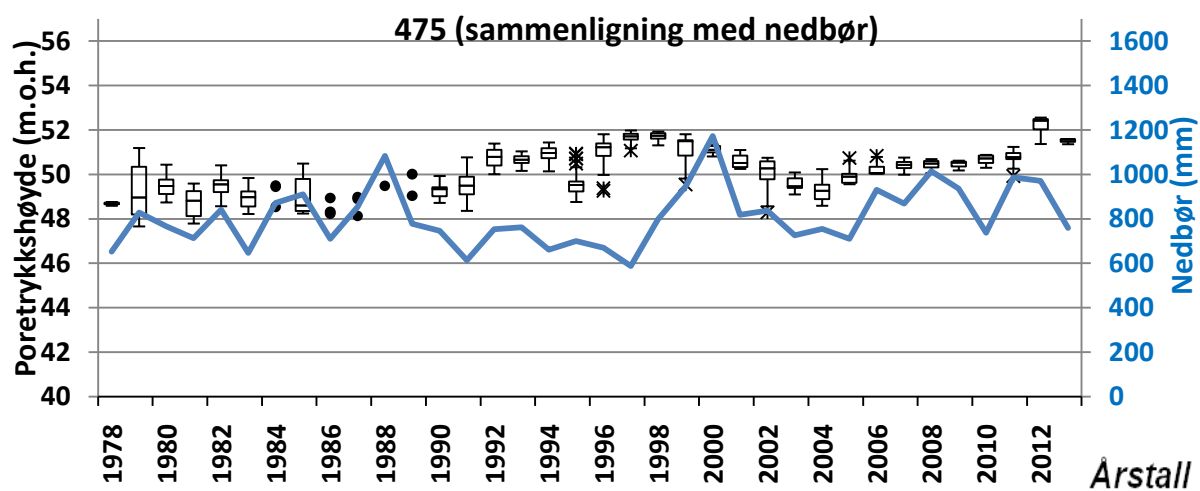




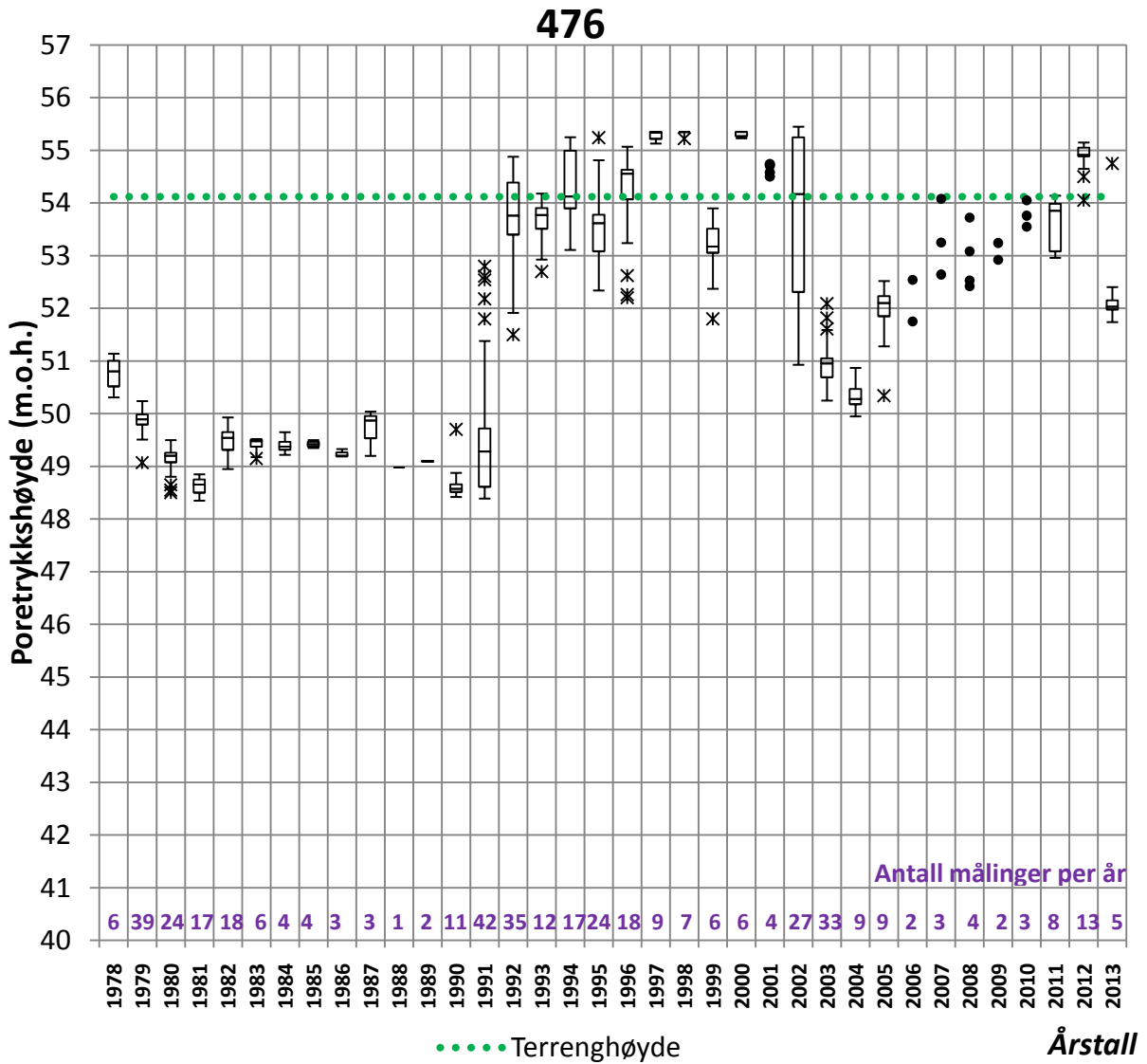
Poretrykksmåler 475					
x-koordinat	595817,049	y-koordinat	6645120,407	Antall målinger	459
Terrenghøyde	54,8 m.o.h.	Fjellhøyde	Ikke oppgitt.	Innmålingshøyde	45,04 m.o.h.



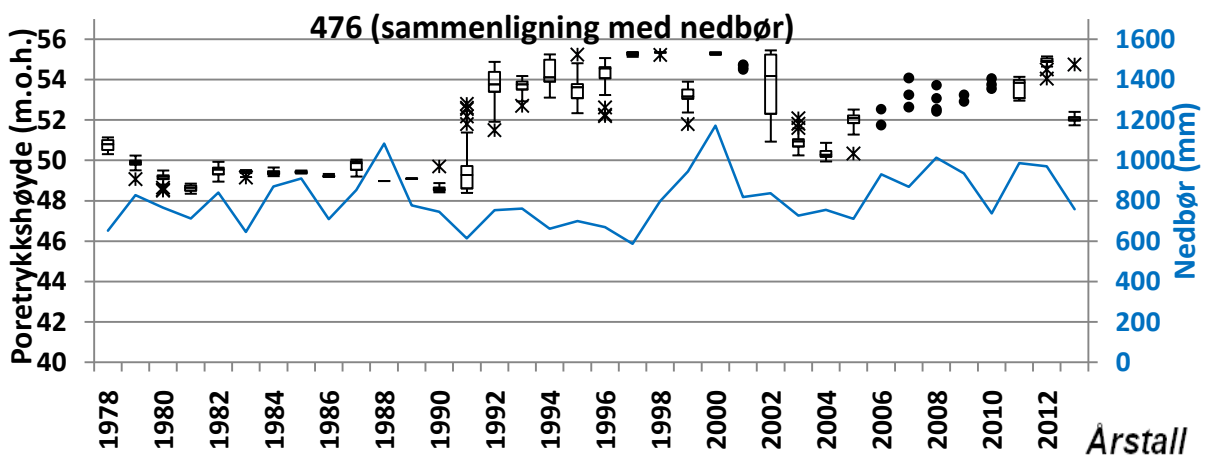
Obs. Målingene for 2013 er målt inn kun fram til 6.august. Boksen representerer derfor ikke hele året.



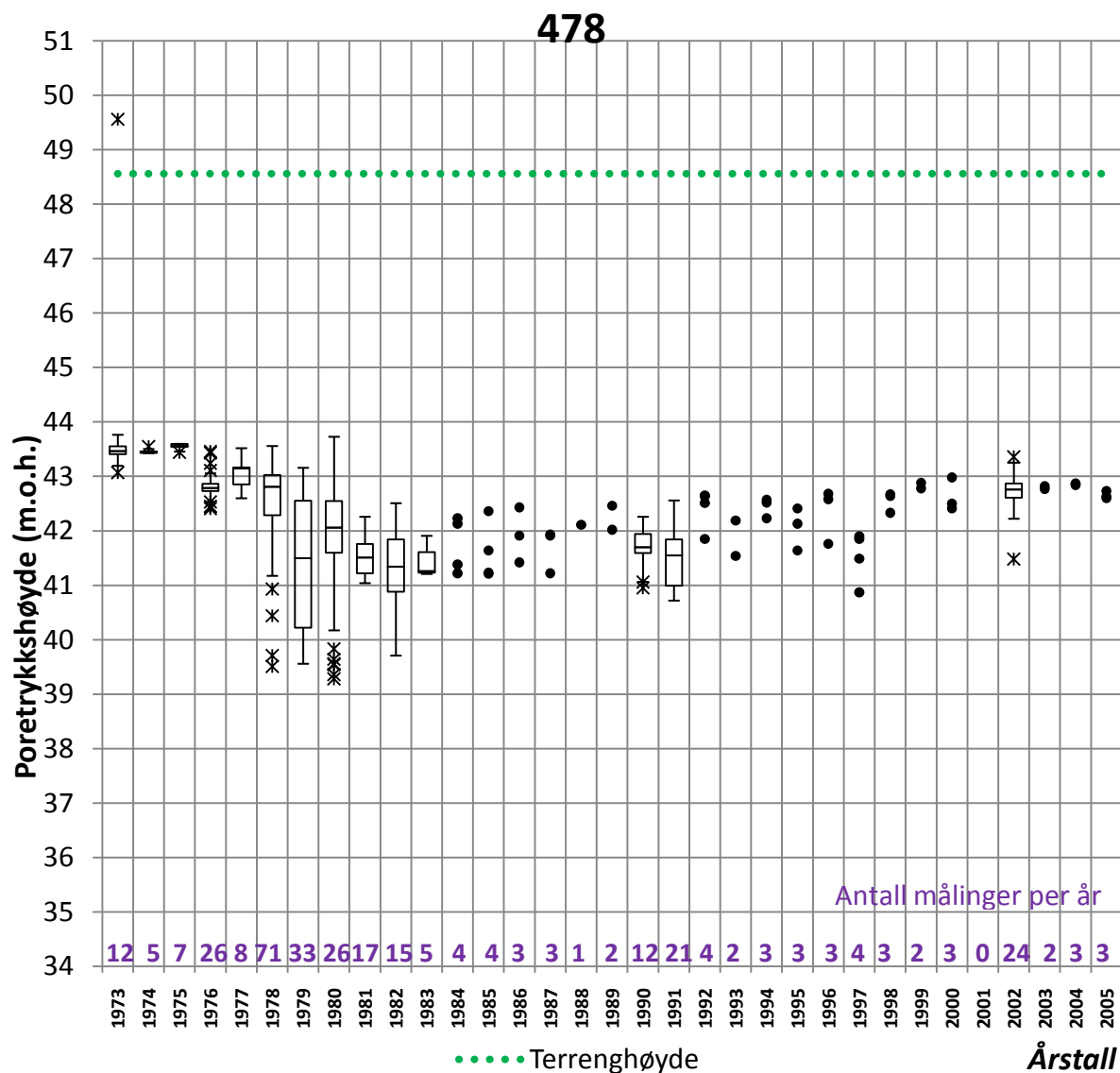
Poretrykksmåler 476					
x-koordinat	596060,148	y-koordinat	6645069,992	Antall målinger	436
Terrenghøyde	54,12 m.o.h.	Fjellhøyde	Ikke oppgitt.	Innmålingshøyde	31,95 m.o.h.



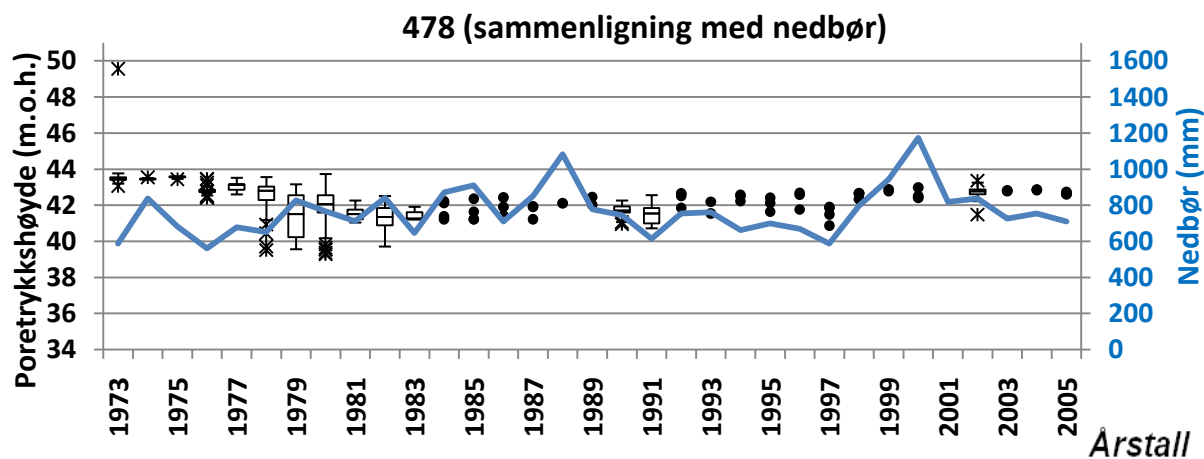
Obs. Målingene for 1978 kun er målt mellom 28.11.1978 og 27.12.1978. Målingene for 2013 er målt inn kun frem til 6.august. Disse boksene representerer derfor ikke hele året.



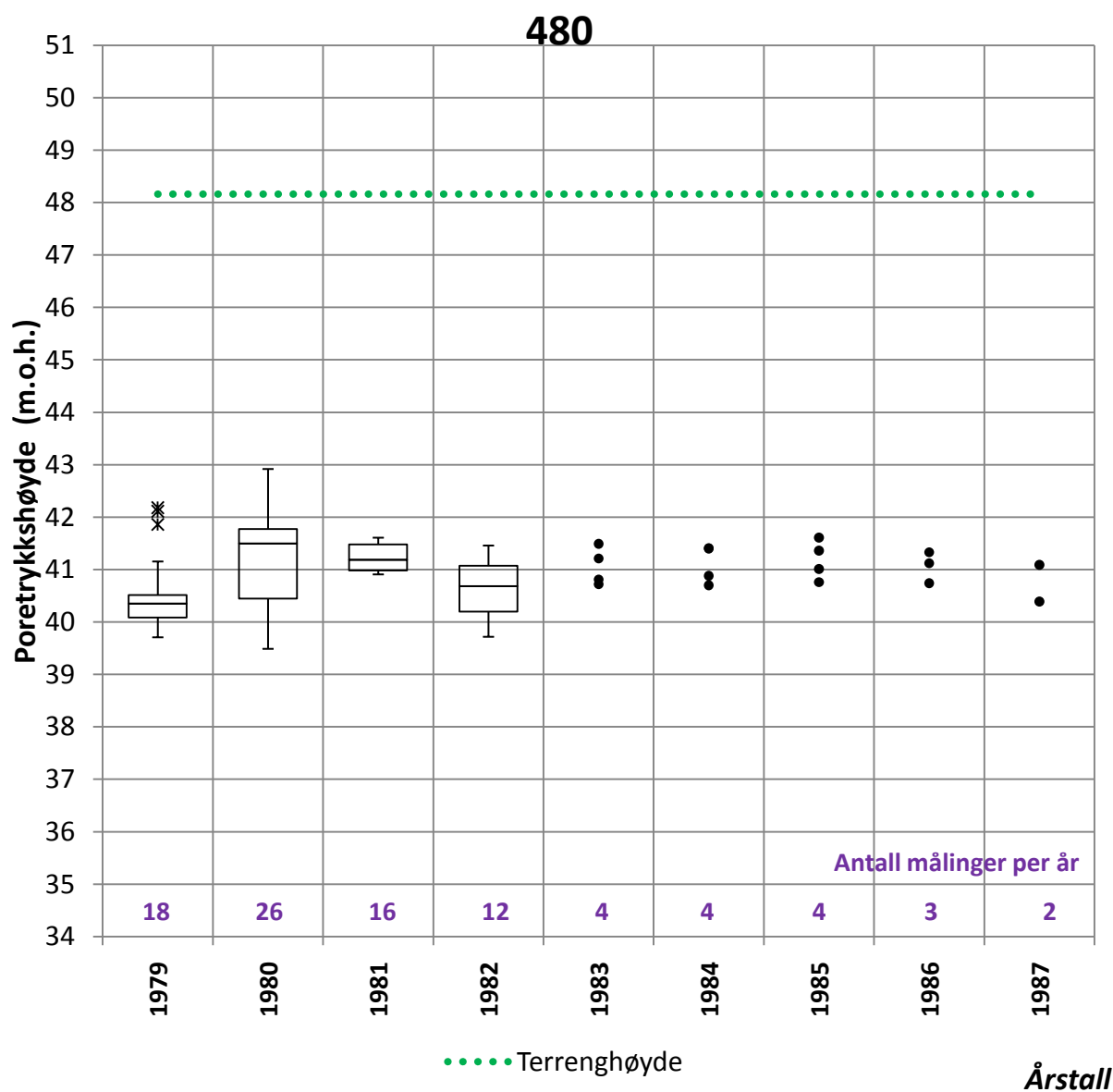
Poretrykksmåler 478					
x-koordinat	595585,144	y-koordinat	6644993,677	Antall målinger	334
Terrenghøyde	48,56 m.o.h.	Fjellhøyde	Ikke oppgitt.	Innmålingshøyde	31,06 m.o.h.



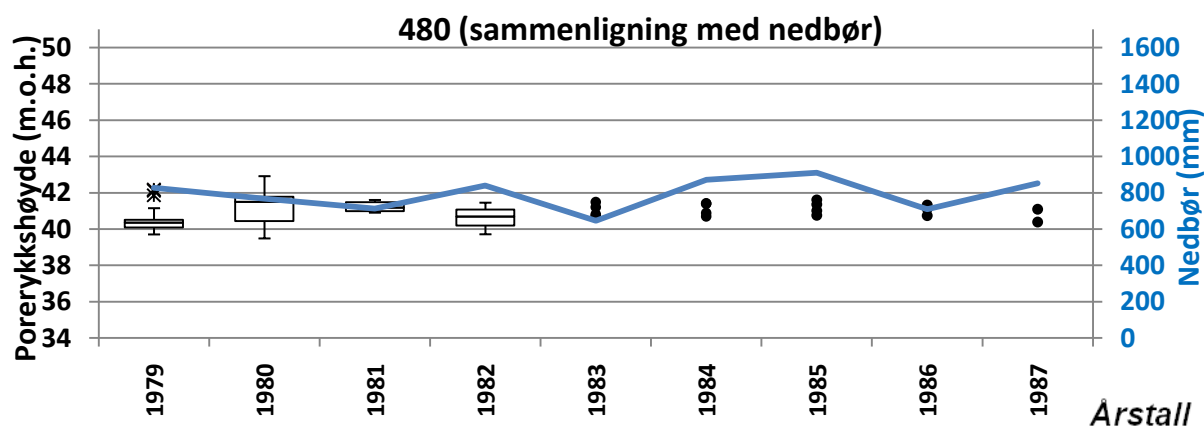
Obs. Målingene fra 1979 er kun målt f.o.m. 29.august. Boksen representerer derfor ikke hele året.



Poretrykksmåler 480					
x-koordinat	595622,734	y-koordinat	6644932,661	Antall målinger	89
Terrenghøyde	48,16 m.o.h.	Fjellhøyde	26,26 m.o.h.	Innmålingshøyde	26,26 m.o.h.

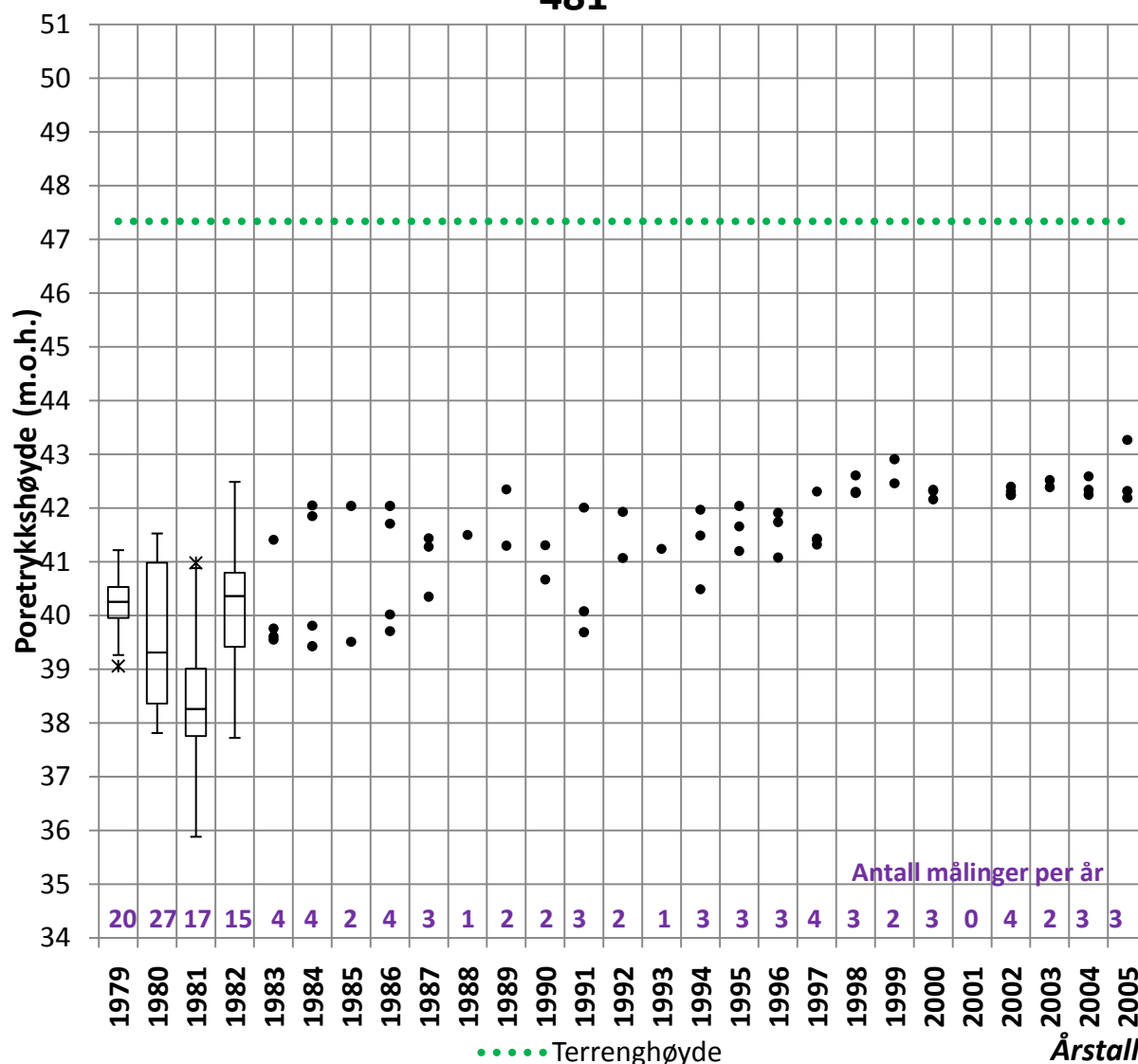


Obs. Målingene fra 1979 er kun målt f.o.m. 29.august. Boksen representerer derfor ikke hele året.

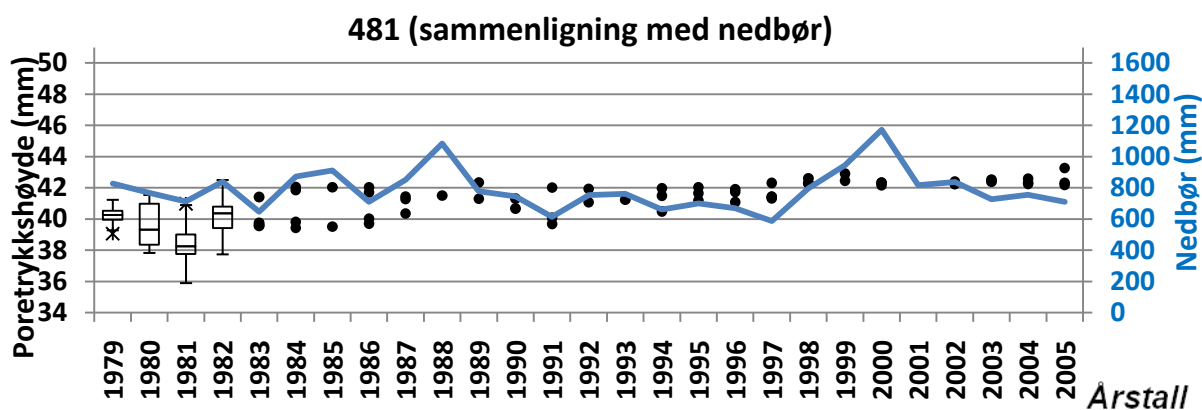


Poretrykksmåler 481					
x-koordinat	595593,783	y-koordinat	6645045,897	Antall målinger	140
Terrenghøyde	47,34 m.o.h.	Fjellhøyde	26,84 m.o.h.	Innmålingshøyde	27,04 m.o.h.

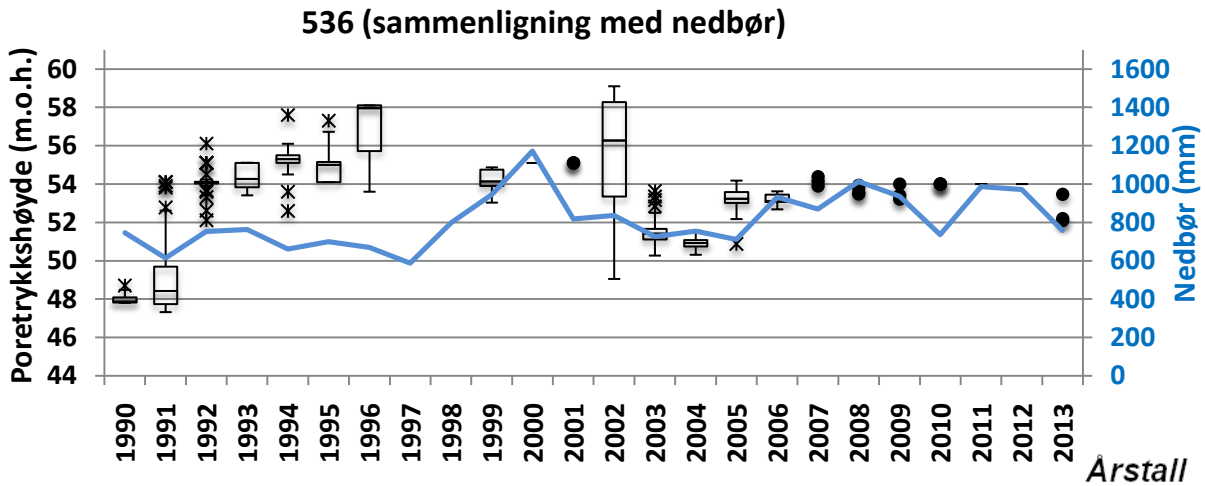
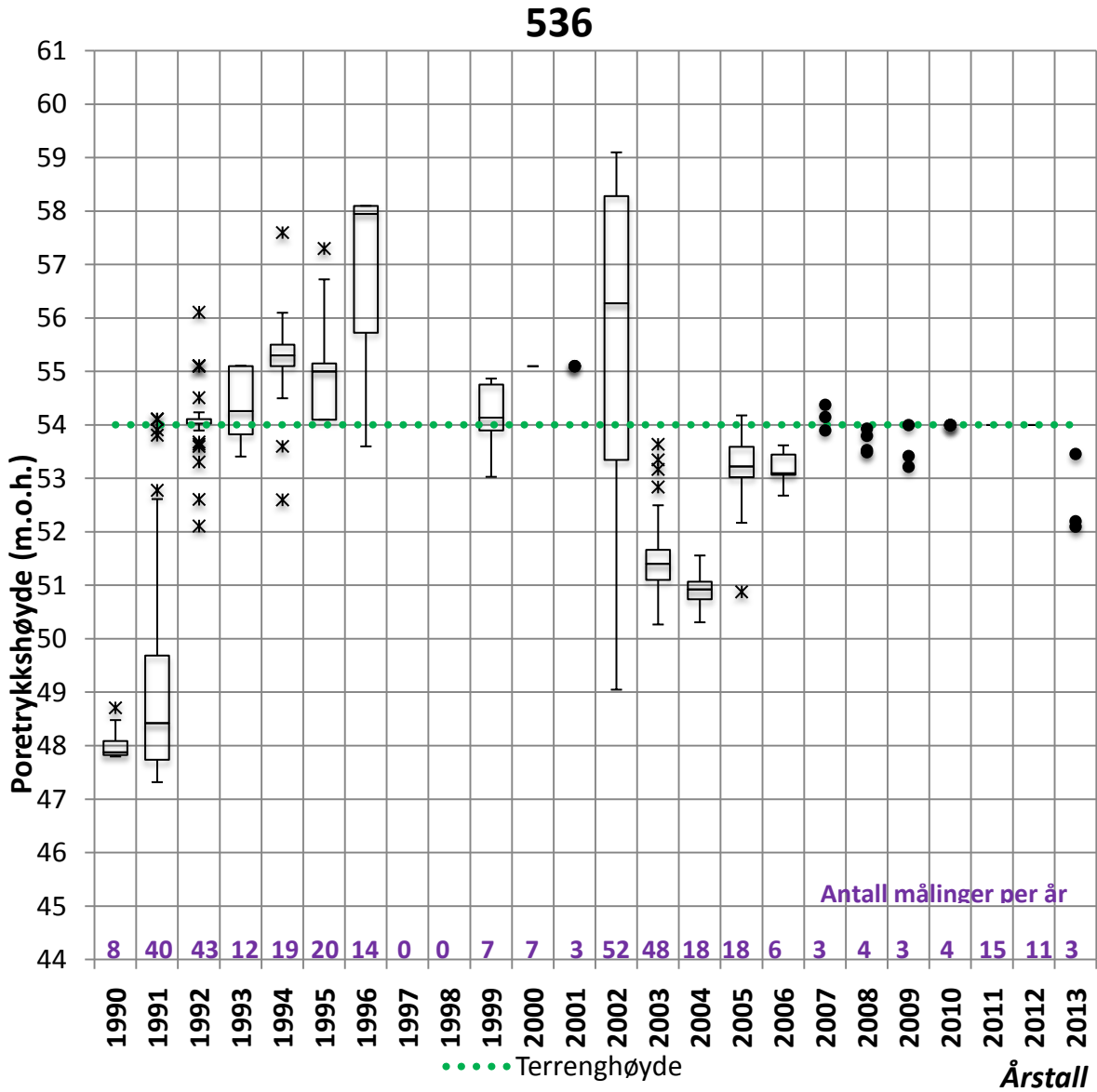
## 481



Obs. Målingene fra 1979 er kun målt f.o.m. 29.august. Boksen representerer derfor ikke hele året



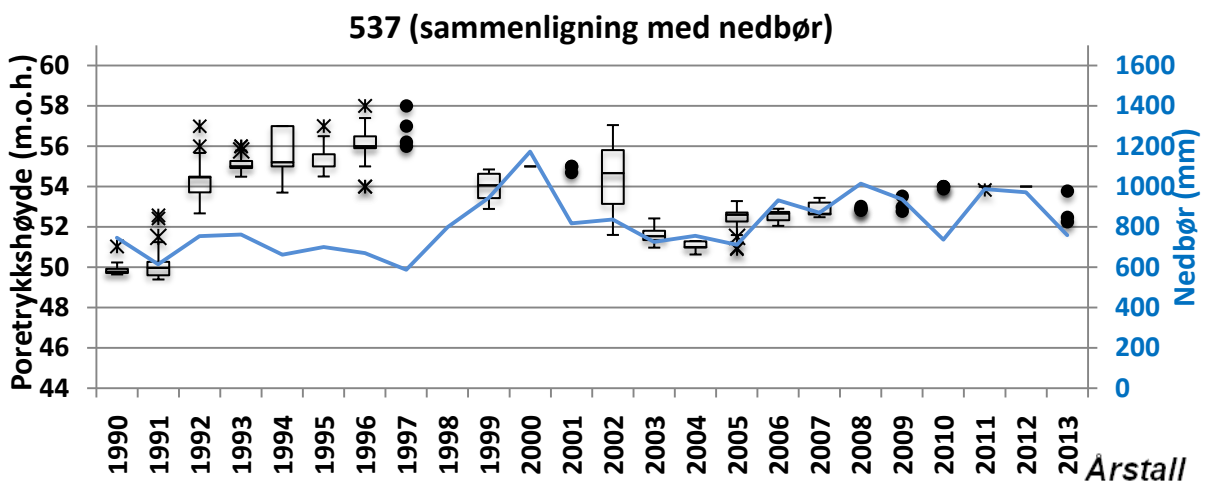
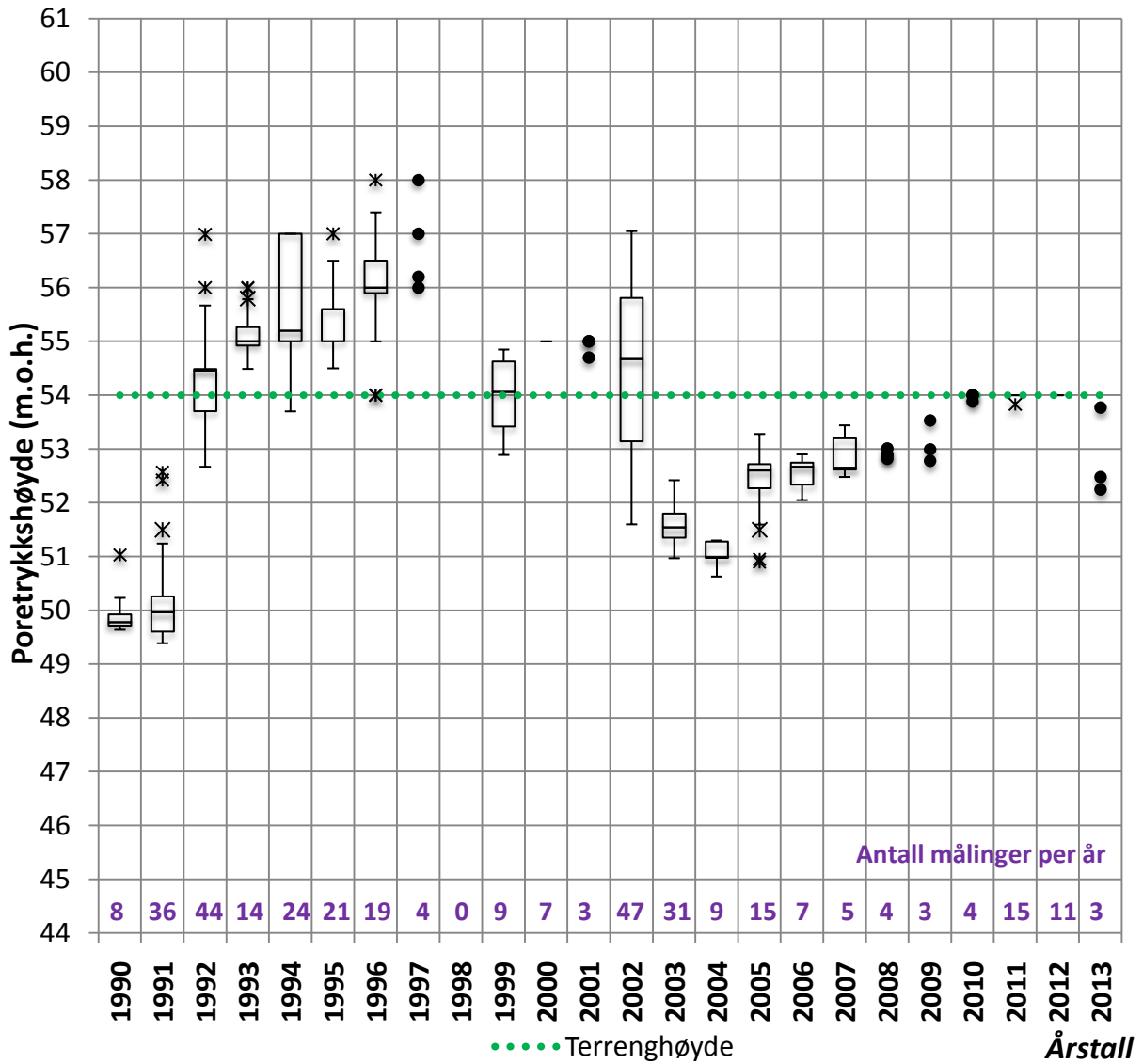
Poretrykksmåler 536					
x-koordinat	596090,063	y-koordinat	6645034,78	Antall målinger	358
Terrenghøyde	54 m.o.h.	Fjellhøyde	33,4 m.o.h.	Innmålingshøyde	33,4 m.o.h.



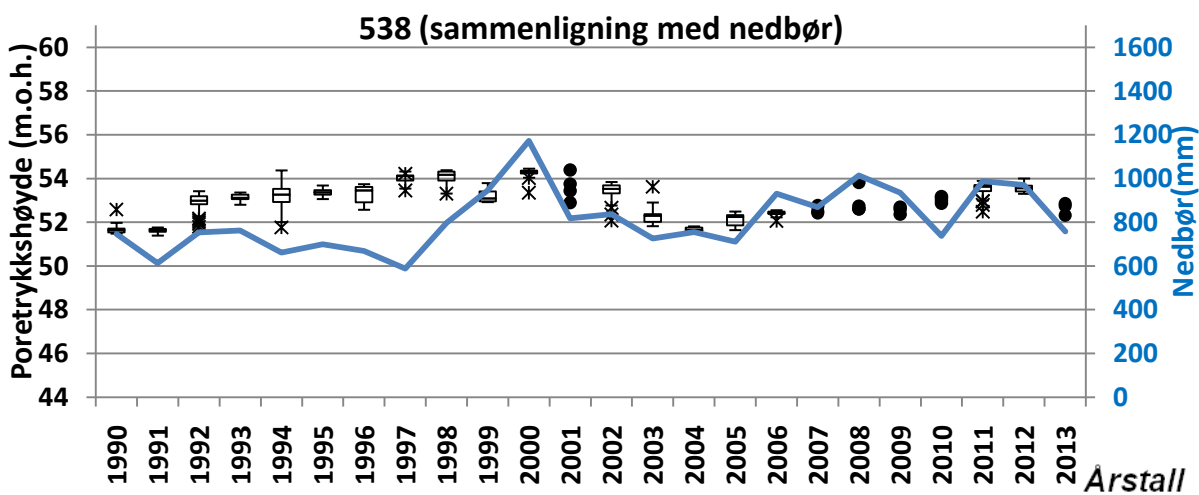
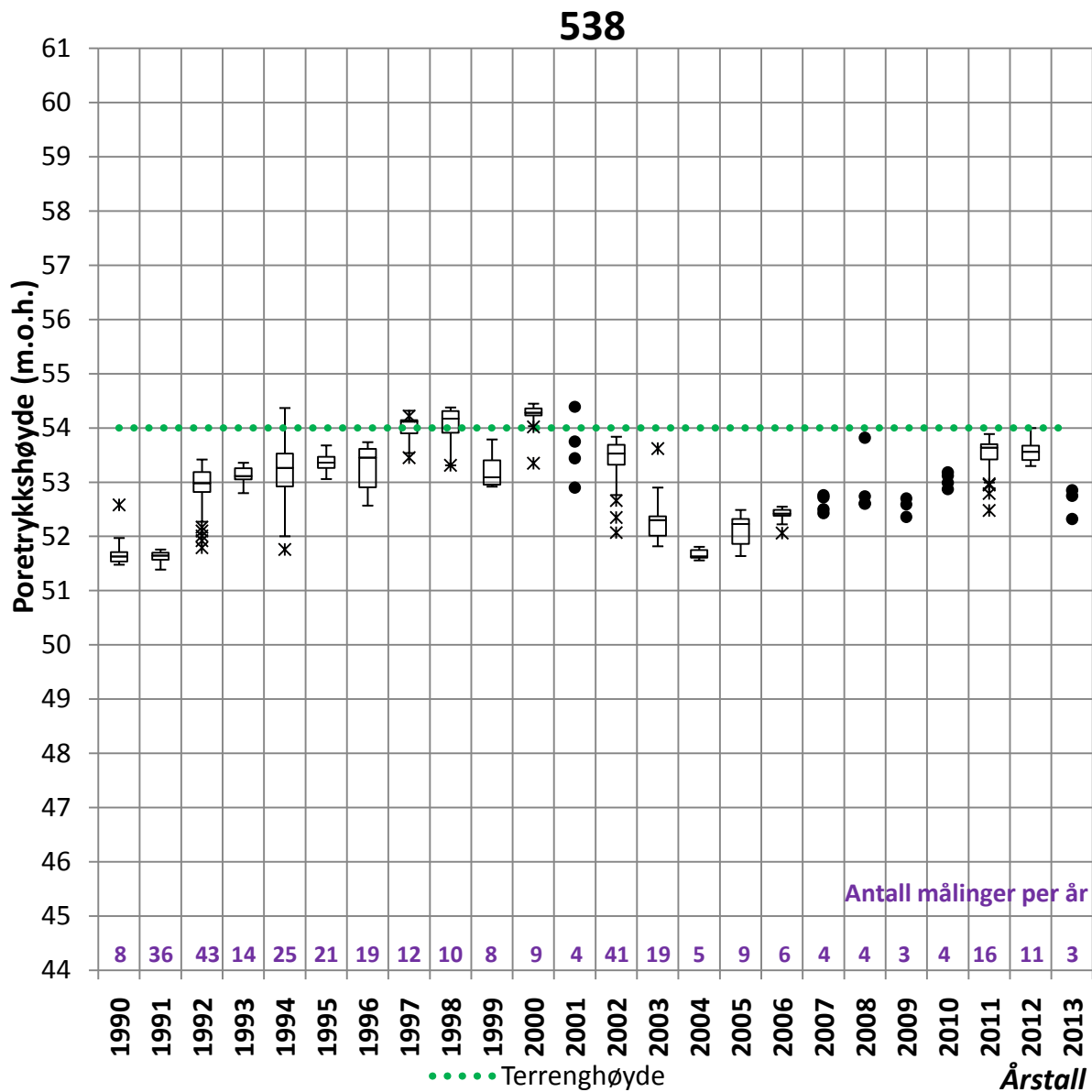


Poretrykksmåler 537					
x-koordinat	596088,09	y-koordinat	6645033,733	Antall målinger	343
Terrenghøyde	54 m.o.h.	Fjellhøyde	33,4 m.o.h.	Innmålingshøyde	37 m.o.h.

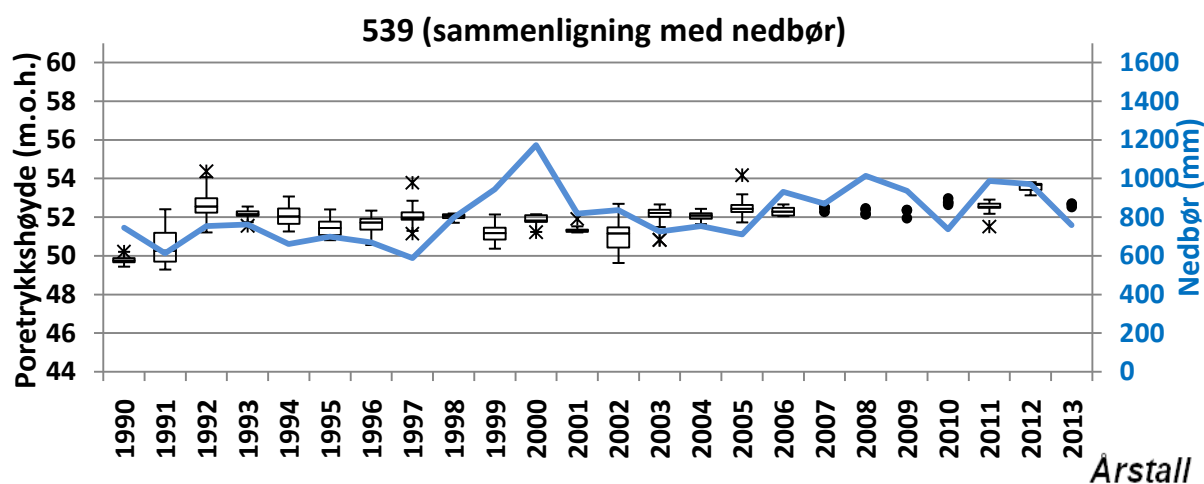
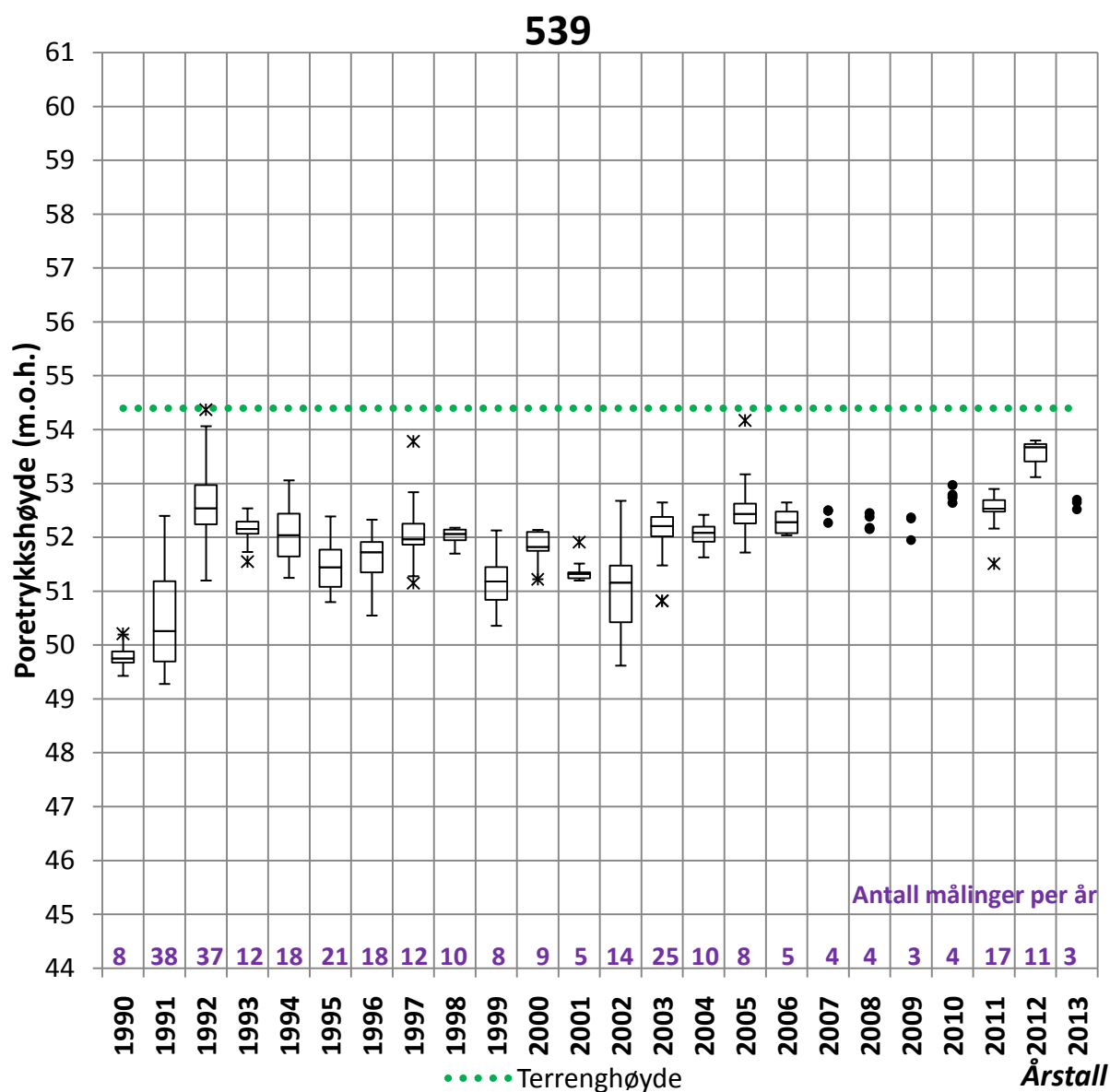
### 537



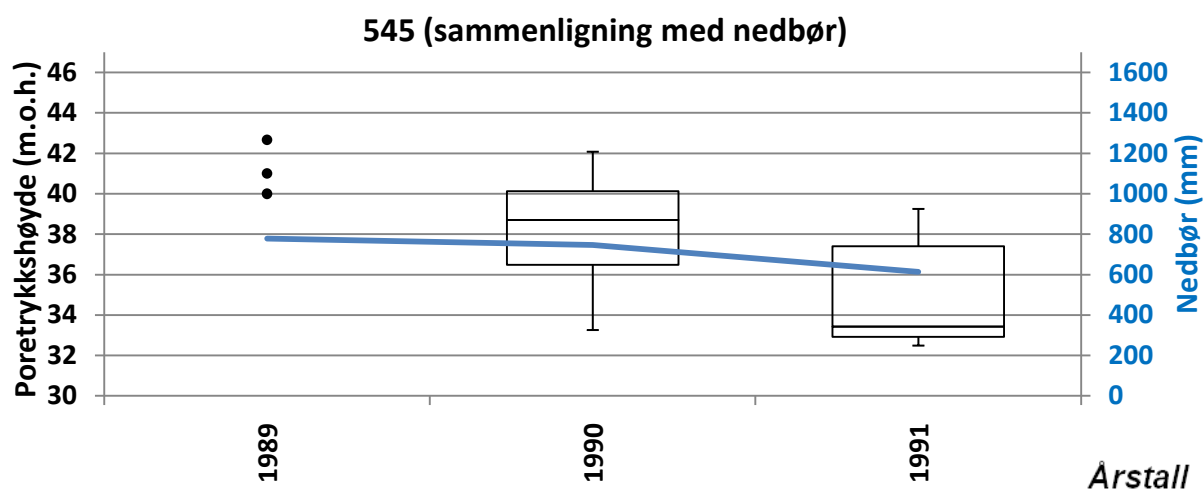
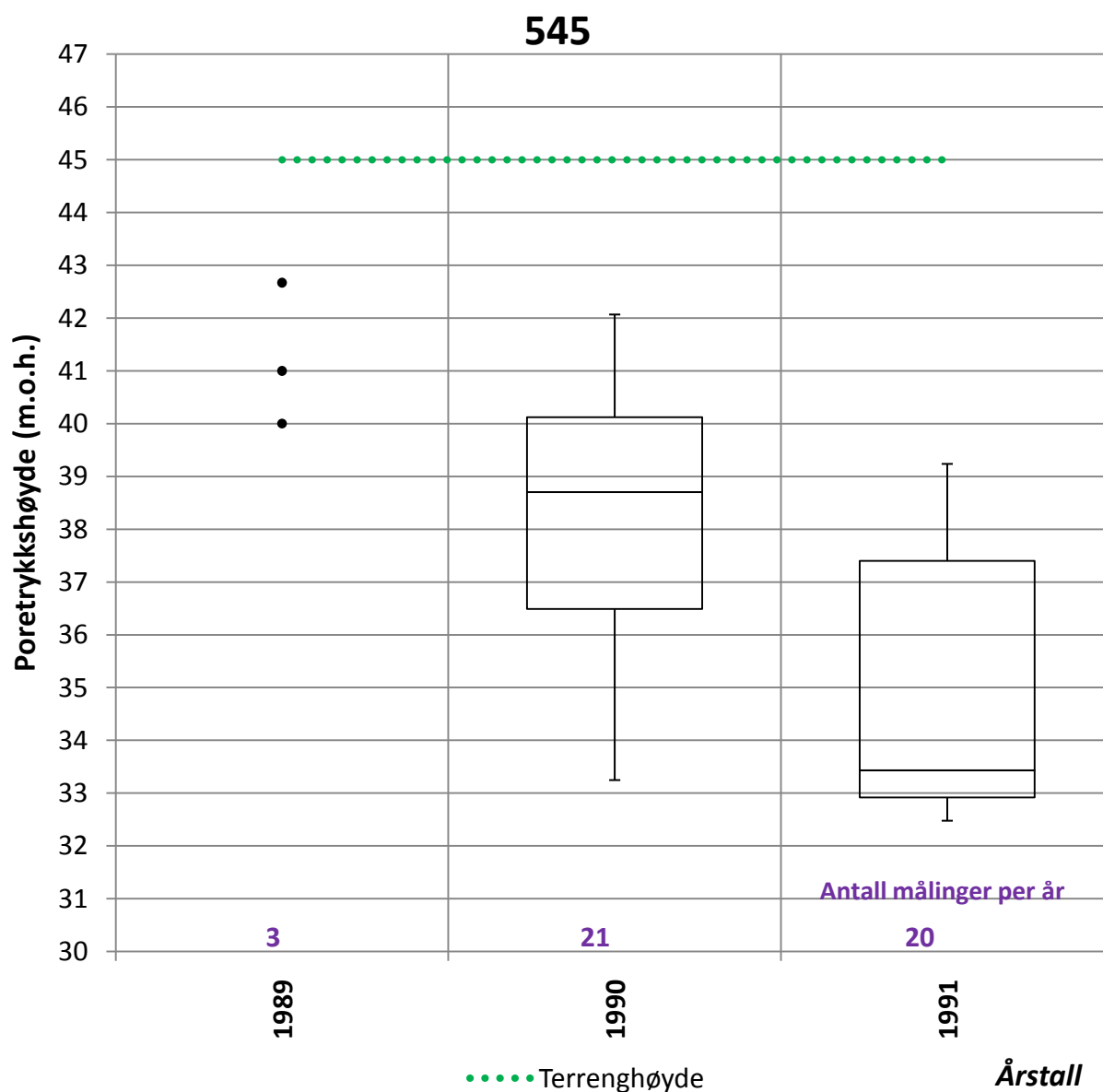
Poretrykksmåler 538					
x-koordinat	596087,117	y-koordinat	6645032,708	Antall målinger	334
Terrenghøyde	54 m.o.h.	Fjellhøyde	33,4 m.o.h.	Innmålingshøyde	44 m.o.h.



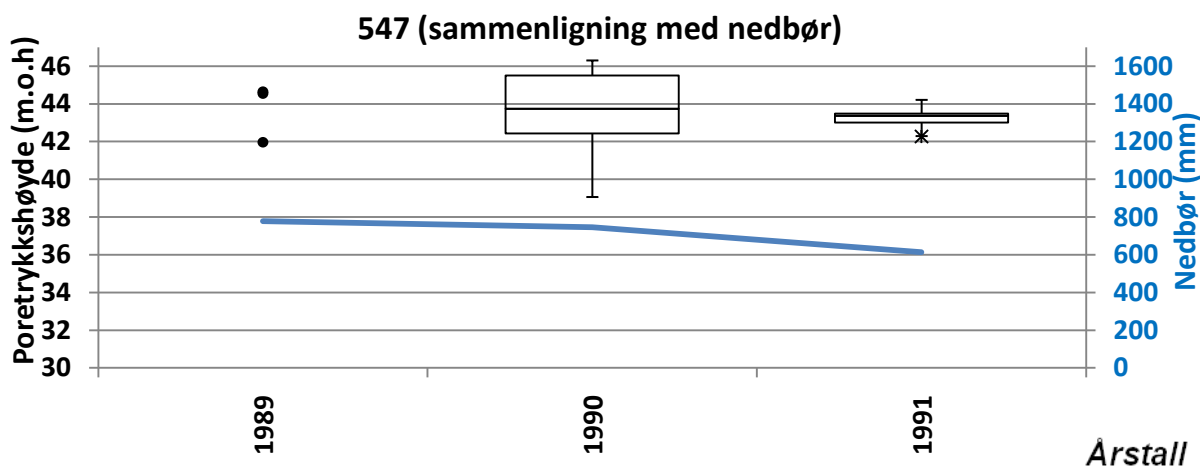
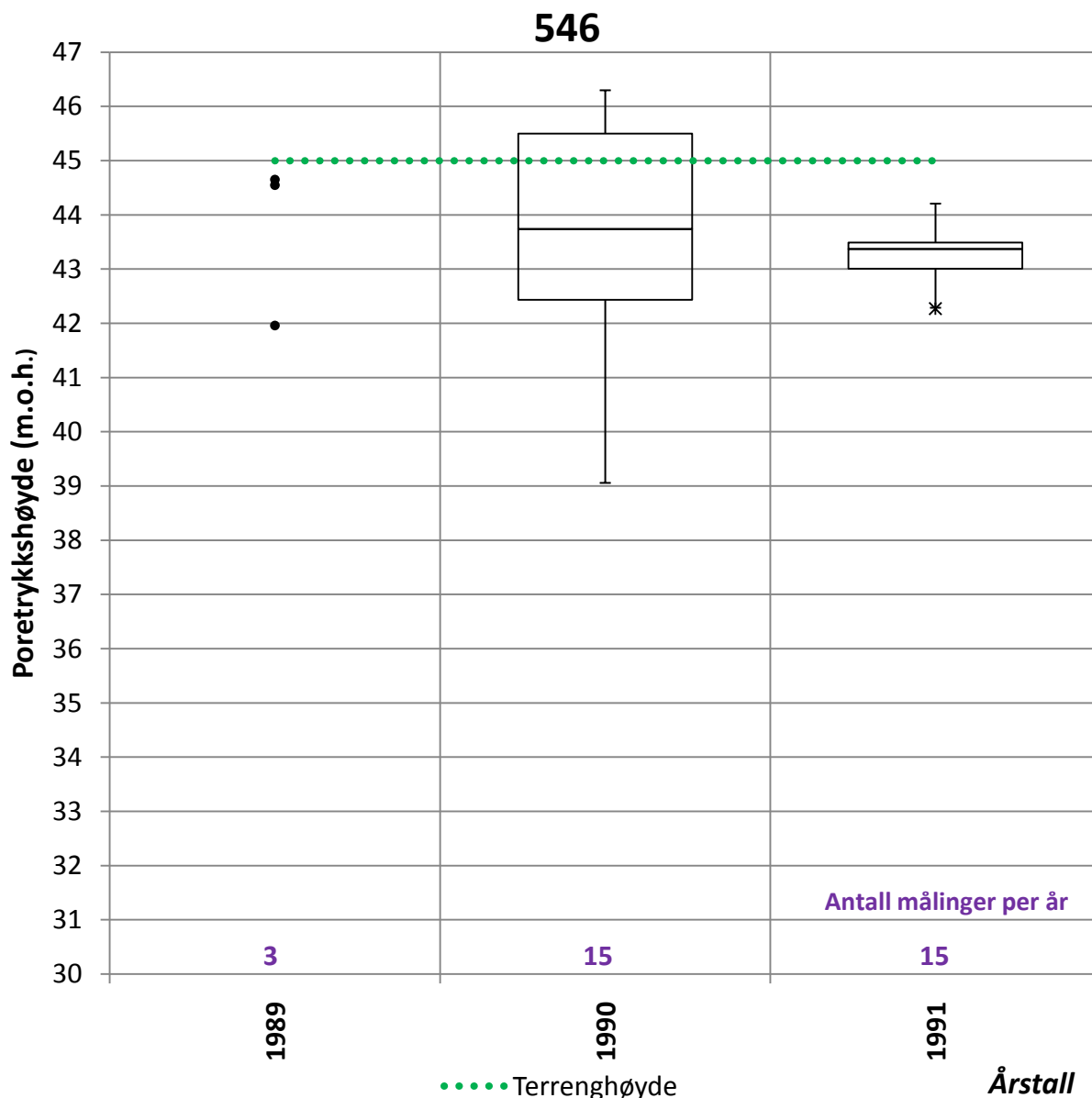
Poretrykksmåler 539					
x-koordinat	596158,833	y-koordinat	6644966,604	Antall målinger	304
Terrenghøyde	54,4 m.o.h.	Fjellhøyde	45,1 m.o.h.	Innmålingshøyde	45,1 m.o.h.



Poretrykksmåler 545					
x-koordinat	595620,883	y-koordinat	6644773,633	Antall målinger	44
Terrenghøyde	45 m.o.h.	Fjellhøyde	23,7 m.o.h.	Innmålingshøyde	23,7 m.o.h.

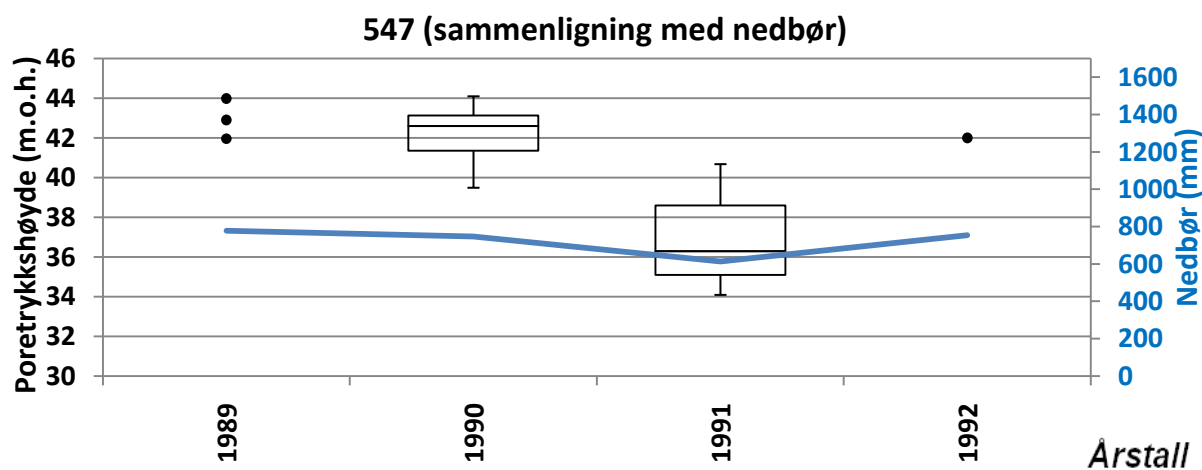
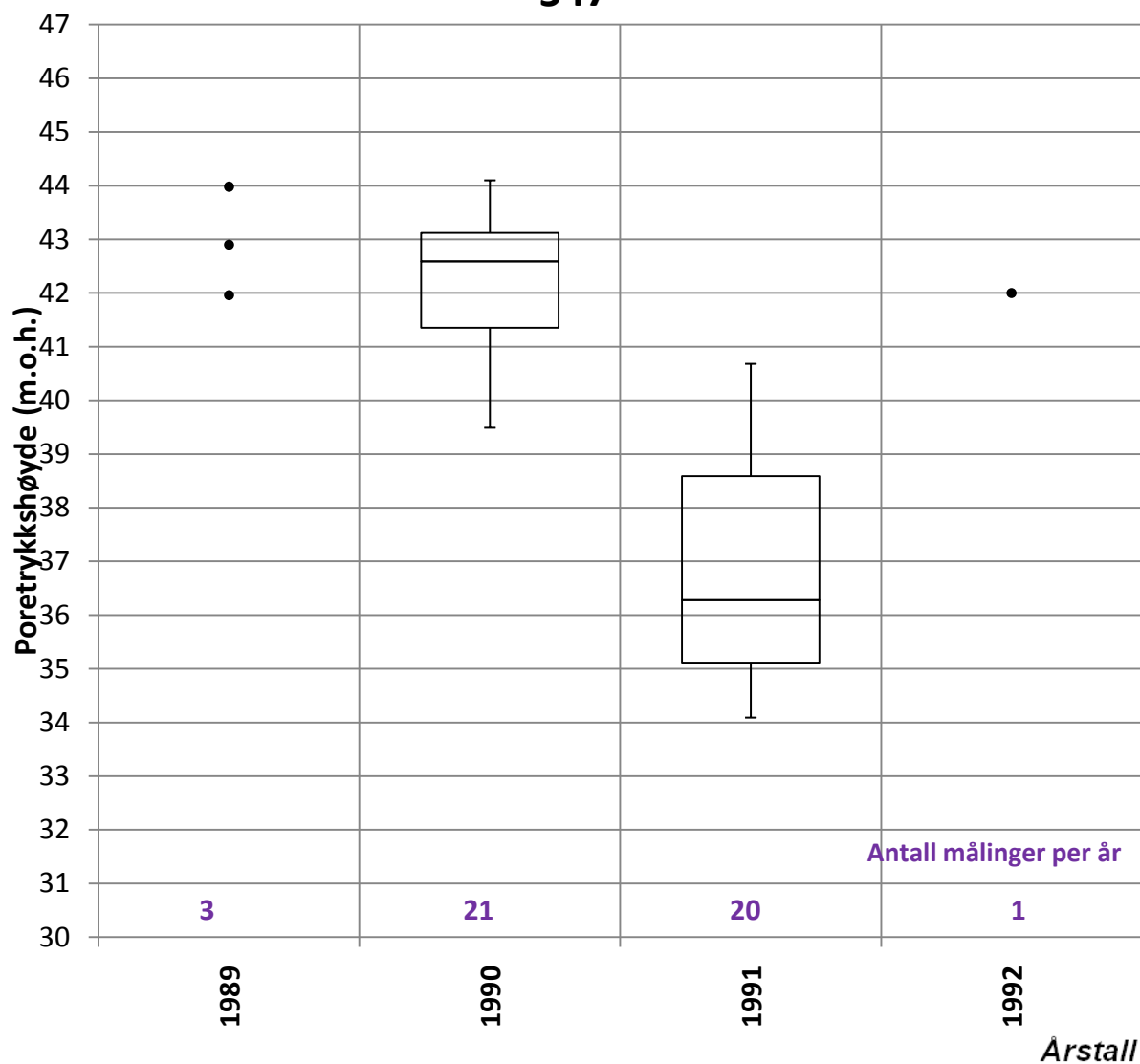


Poretrykksmåler nummer 546					
x-koordinat	595622,829	y-koordinat	6644775,683	Antall målinger	33
Terrenghøyde	45 m.o.h.	Fjellhøyde	23,7 m.o.h.	Innmålingshøyde	37,3 m.o.h.



Poretrykksmåler 547					
x-koordinat	595734,008	y-koordinat	6644768,590	Antall målinger	45
Terrenghøyde	Ukorrekt terrenghøyde registrert	Fjellhøyde	28,8 m.o.h.	Innmålingshøyde	28,8 m.o.h.

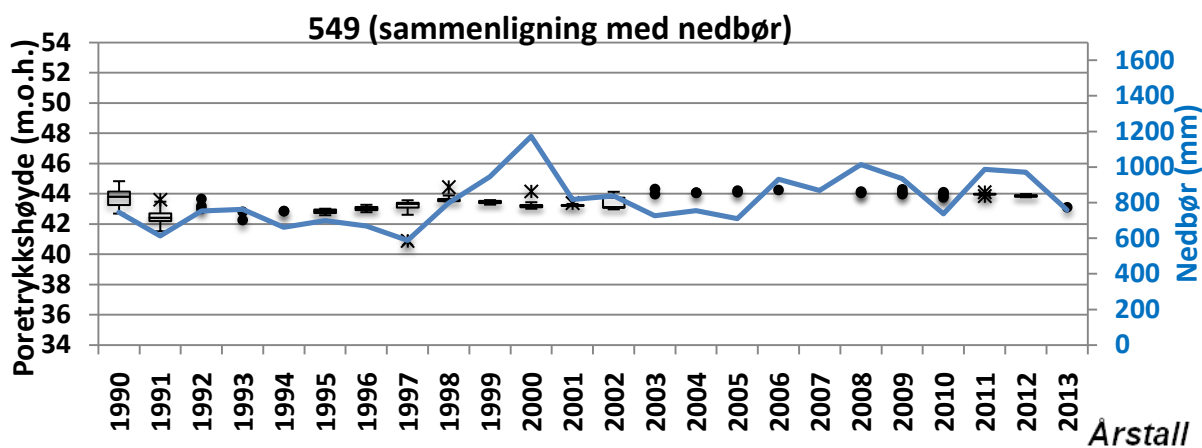
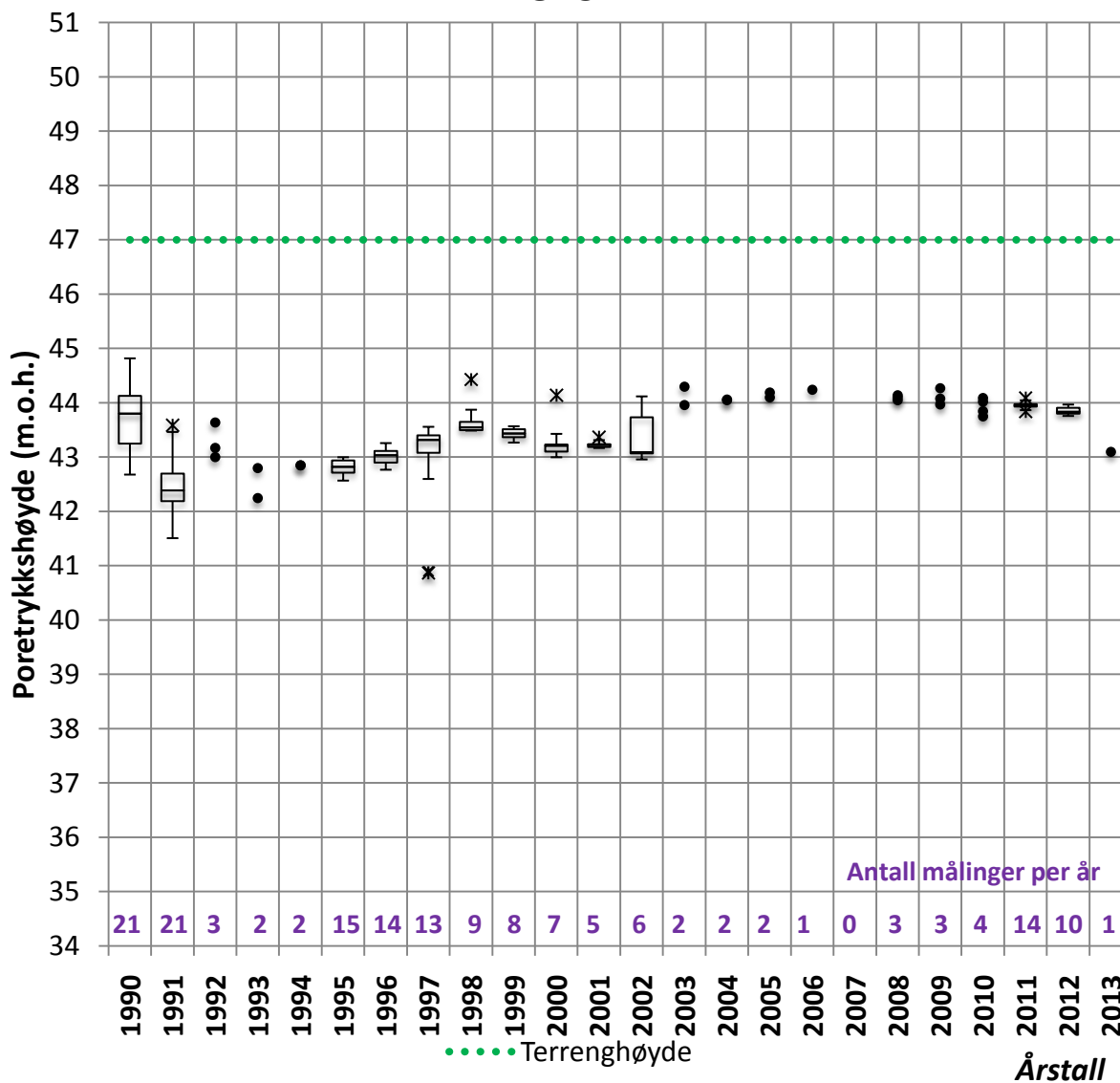
### 547



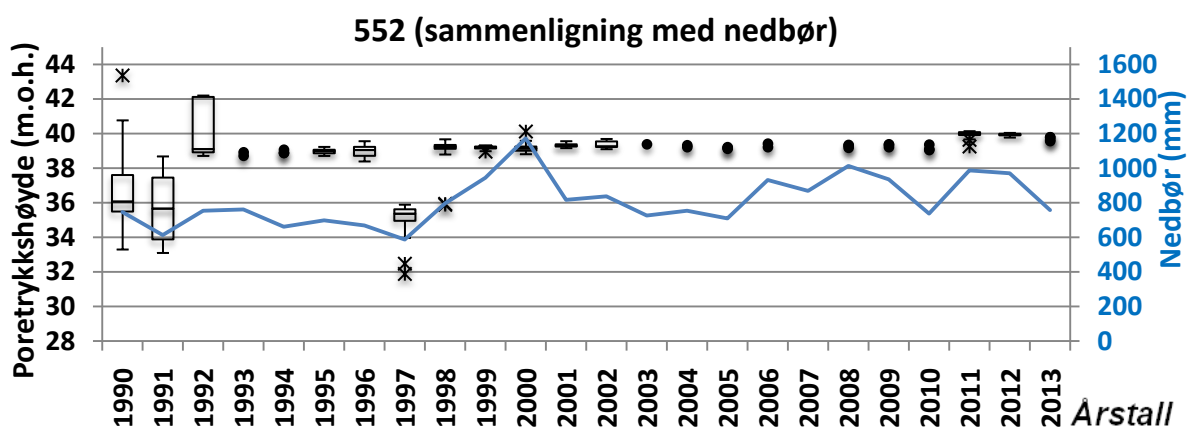
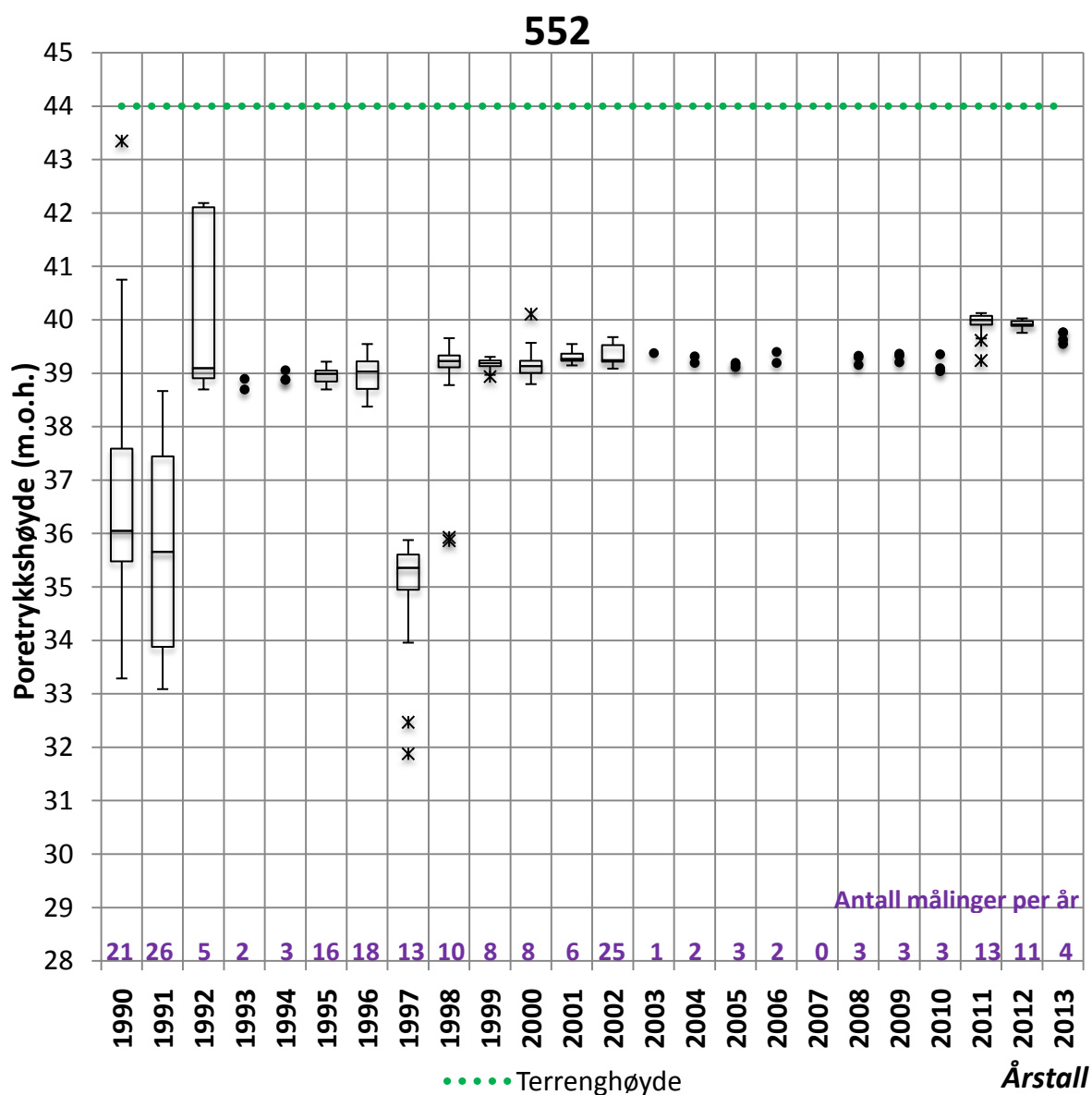


Poretrykksmåler 549					
x-koordinat	595786,904	y-koordinat	6644733,976	Antall målinger	168
Terrenghøyde	47 m.o.h.	Fjellhøyde	Ikke oppgitt	Innmålingshøyde	40 m.o.h.

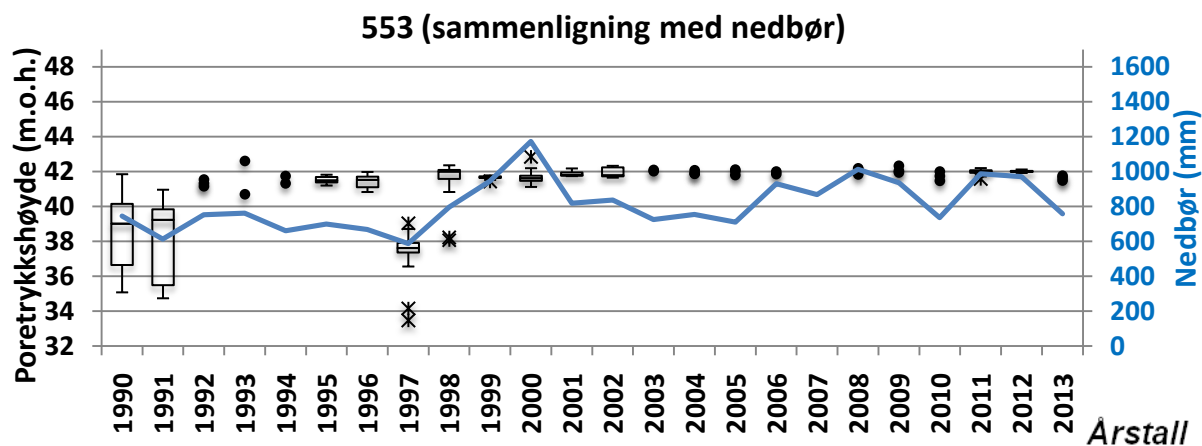
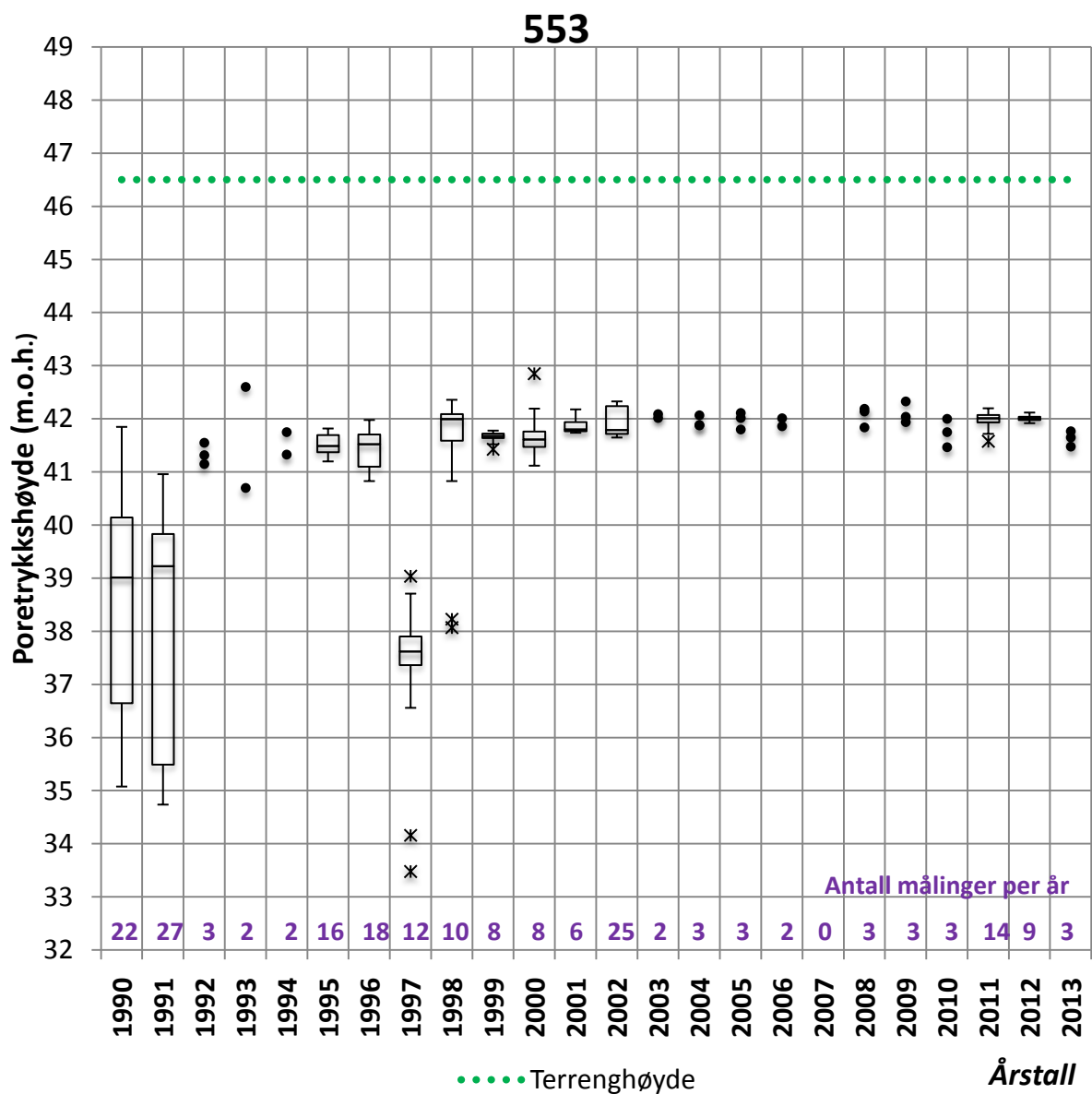
## 549



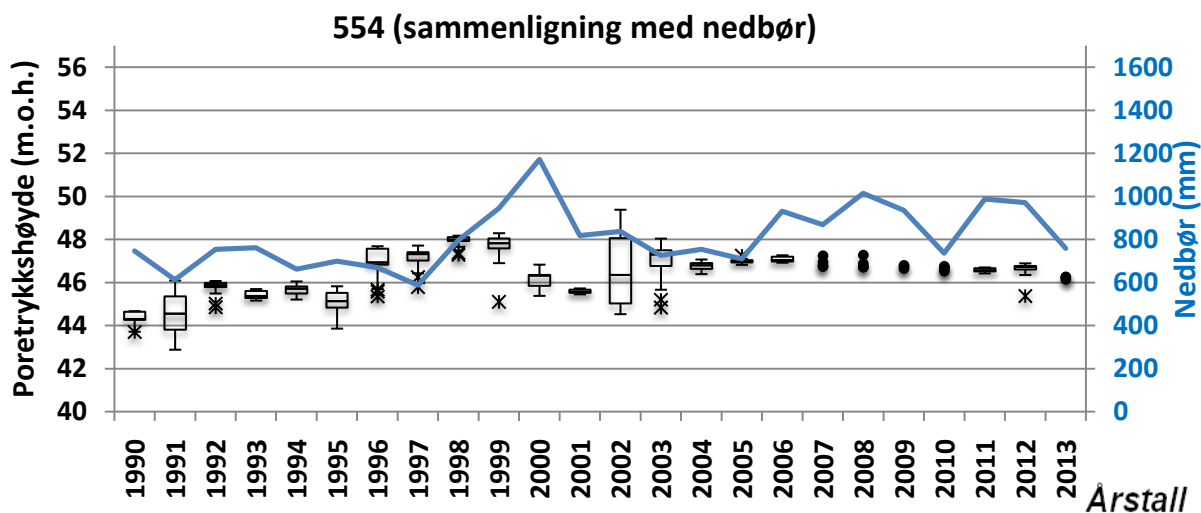
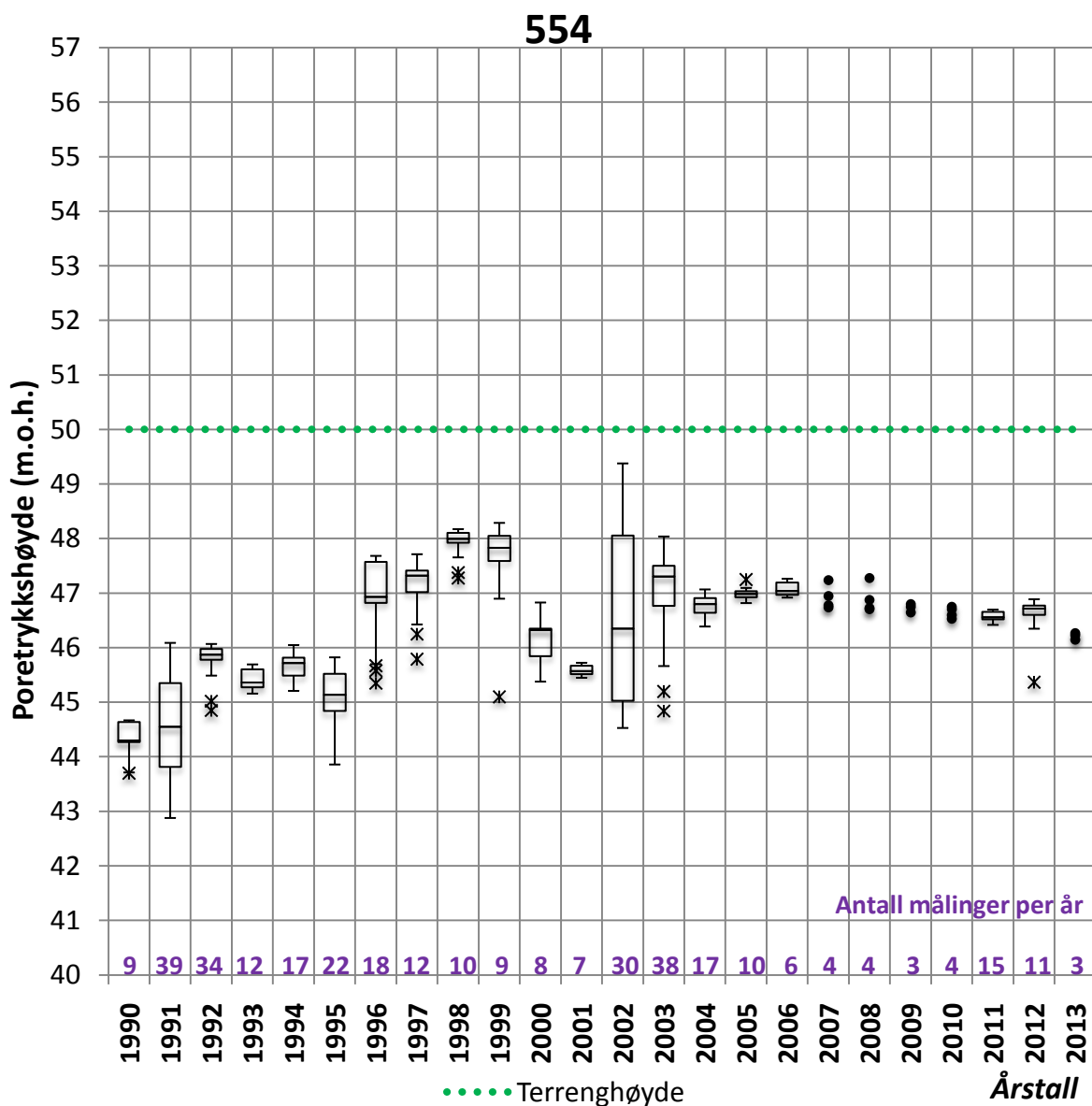
Poretrykksmåler 552					
x-koordinat	595559,647	y-koordinat	6644821,032	Antall målinger	206
Terrenghøyde	44 m.o.h.	Fjellhøyde	Ikke oppgitt	Innmålingshøyde	19,2 m.o.h.



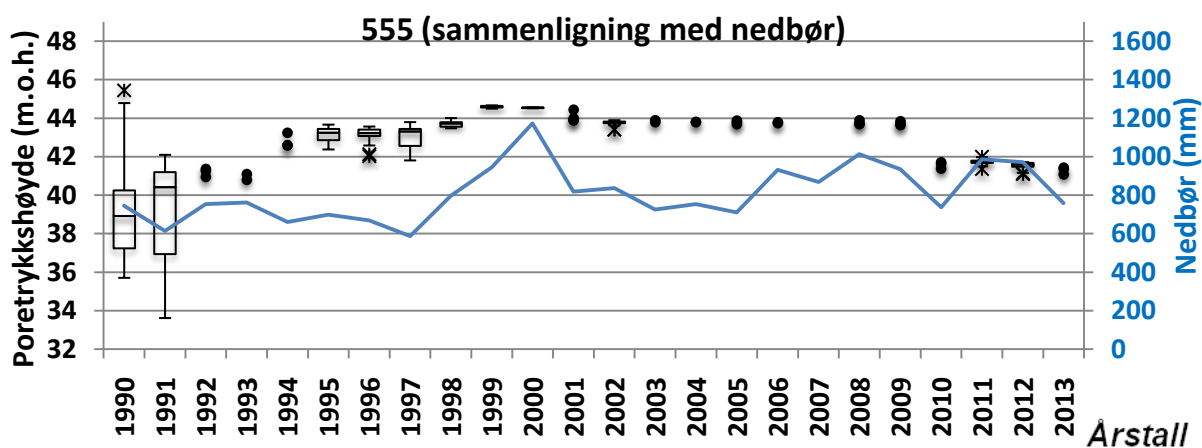
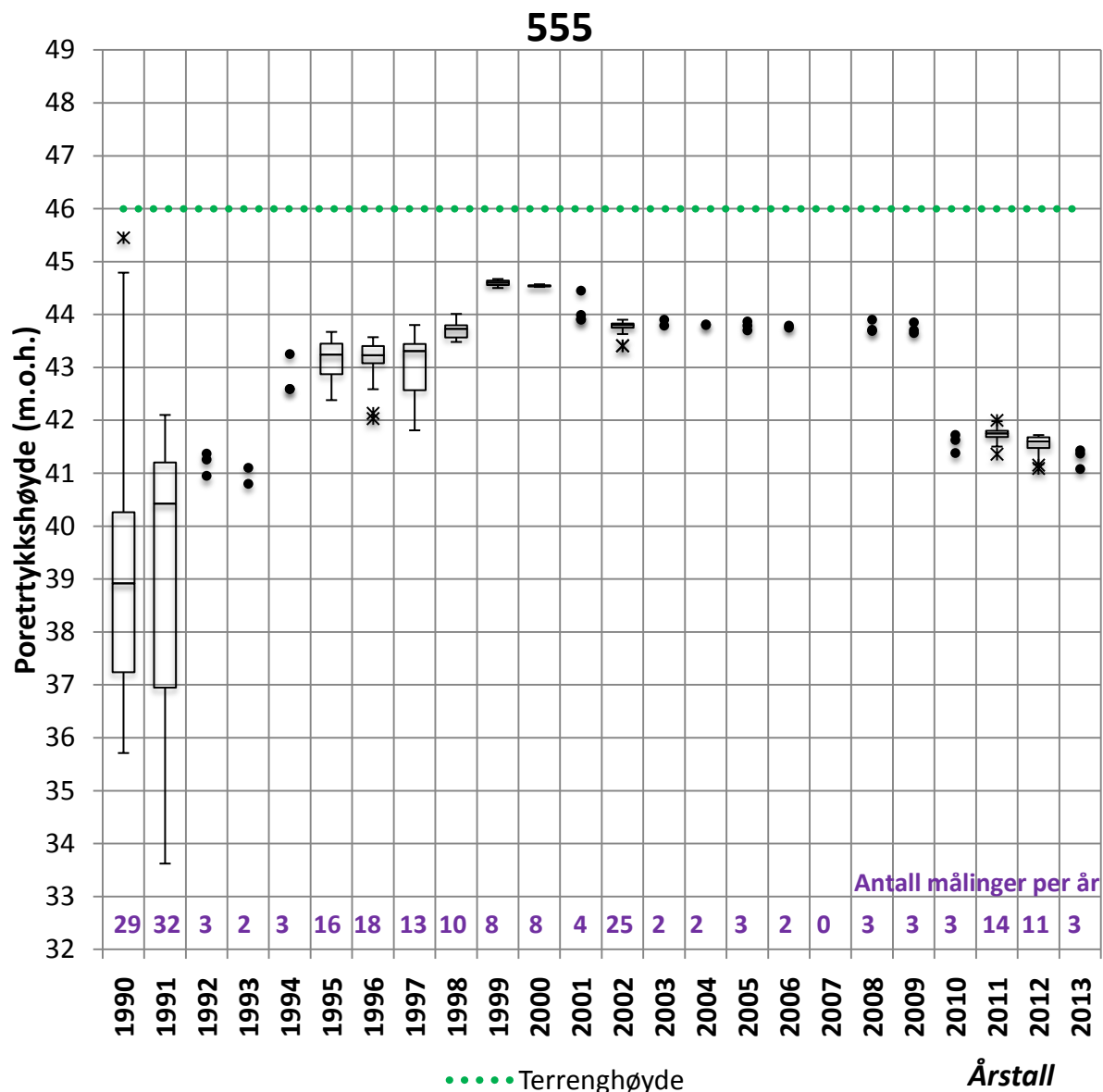
Poretrykksmåler 553					
x-koordinat	595619,528	y-koordinat	6644825,593	Antall målinger	204
Terrenghøyde	46,5 m.o.h.	Fjellhøyde	Ikke oppgitt	Innmålingshøyde	7,9 m.o.h.



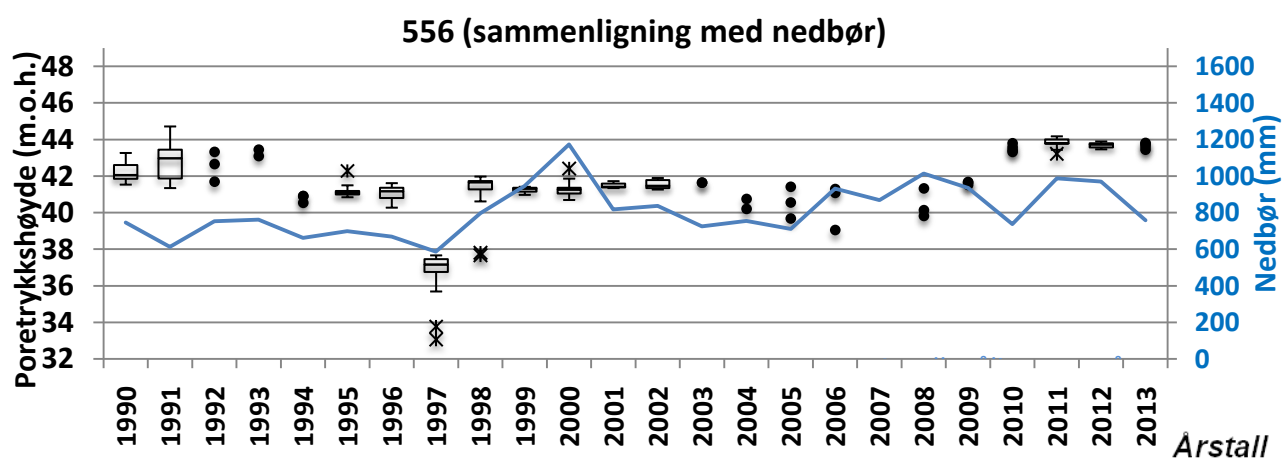
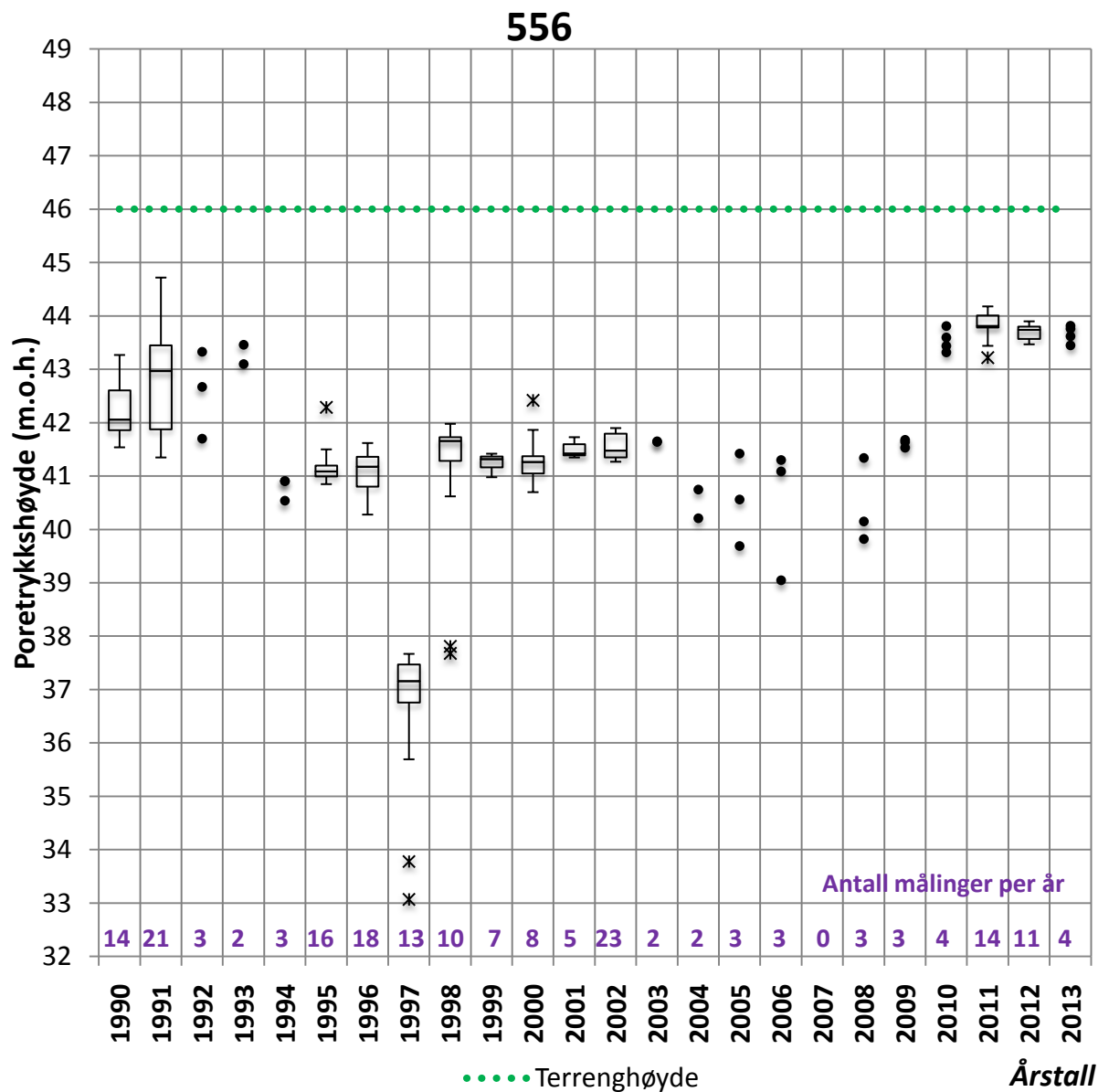
Poretrykksmåler 554					
x-koordinat	595817,049	y-koordinat	6644958,713	Antall målinger	342
Terrenghøyde	50 m.o.h.	Fjellhøyde	Ikke oppgitt	Innmålingshøyde	21,5 m.o.h.



Poretrykksmåler 555					
x-koordinat	595631,145	y-koordinat	6644801,899	Antall målinger	217
Terrenghøyde	46 m.o.h.	Fjellhøyde	Ikke oppgitt	Innmålingshøyde	15 m.o.h.



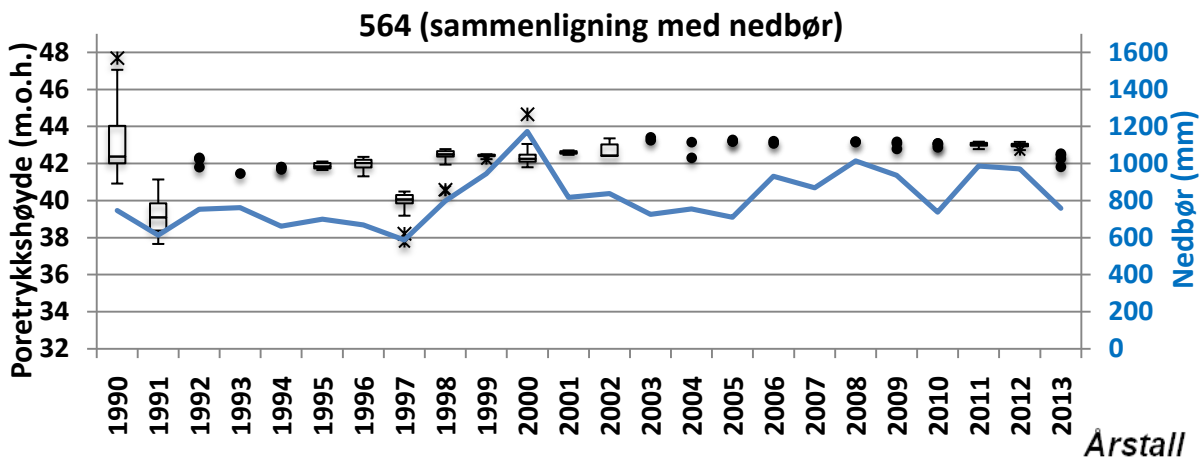
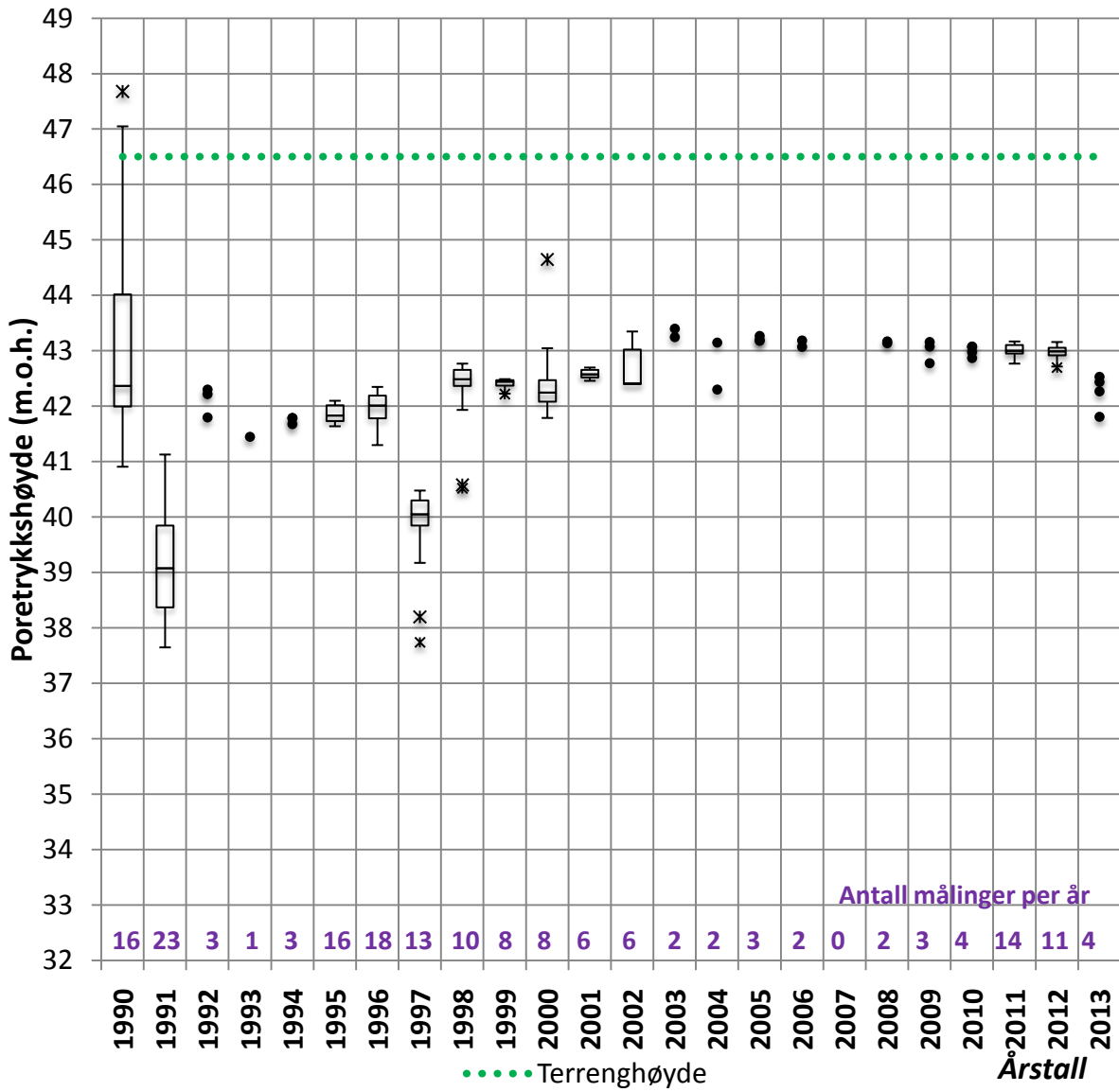
Poretrykksmåler 556					
x-koordinat	595631,171	y-koordinat	6644800,900	Antall målinger	192
Terrenghøyde	46 m.o.h.	Fjellhøyde	Ikke oppgitt	Innmålingshøyde	40 m.o.h.





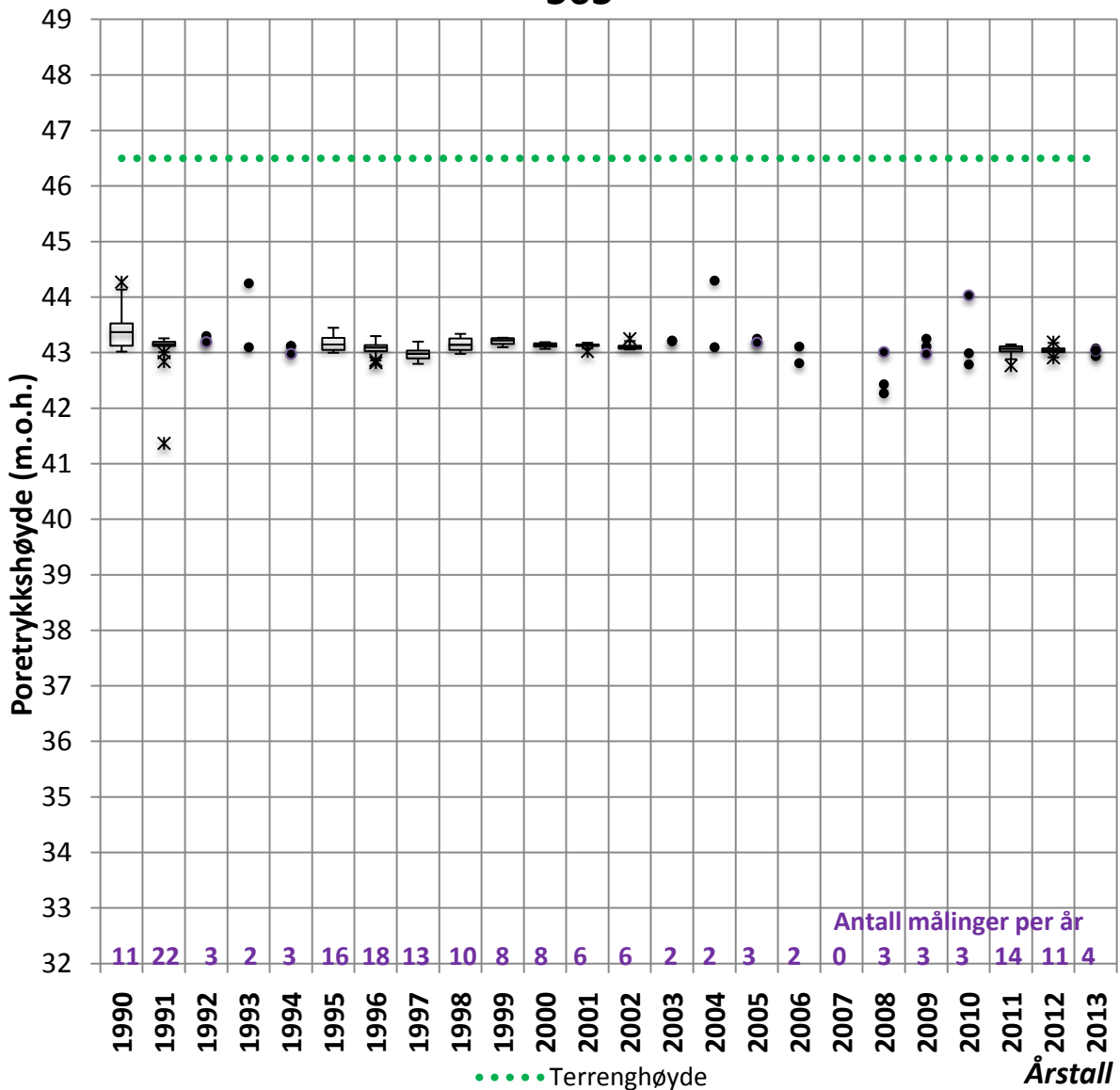
Poretrykksmåler nummer 564					
x-koordinat	595711,269	y-koordinat	6644796,993	Antall målinger	178
Terrenghøyde	46,5 m.o.h.	Fjellhøyde	34,5 m.o.h.	Innmålingshøyde	34,5 m.o.h.

## 564

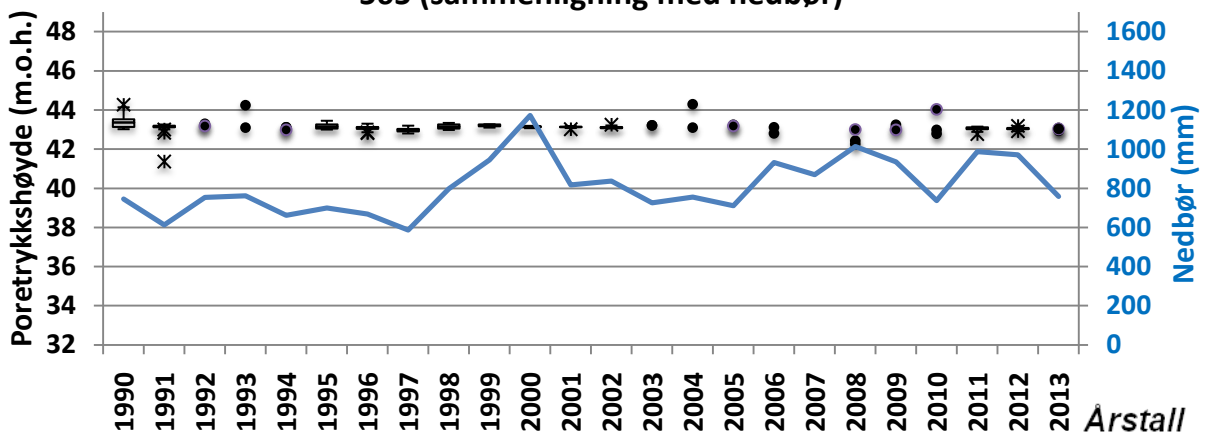


Poretrykksmåler 565					
x-koordinat	595711,269	y-koordinat	6644794,074	Antall målinger	173
Terrenghøyde	46,5 m.o.h.	Fjellhøyde	34,5 m.o.h.	Innmålingshøyde	41,5 m.o.h.

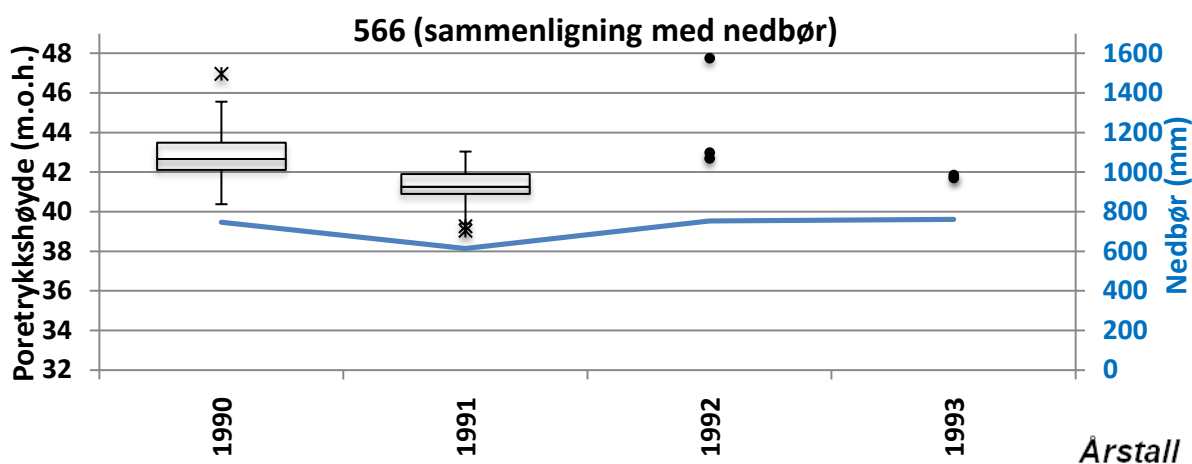
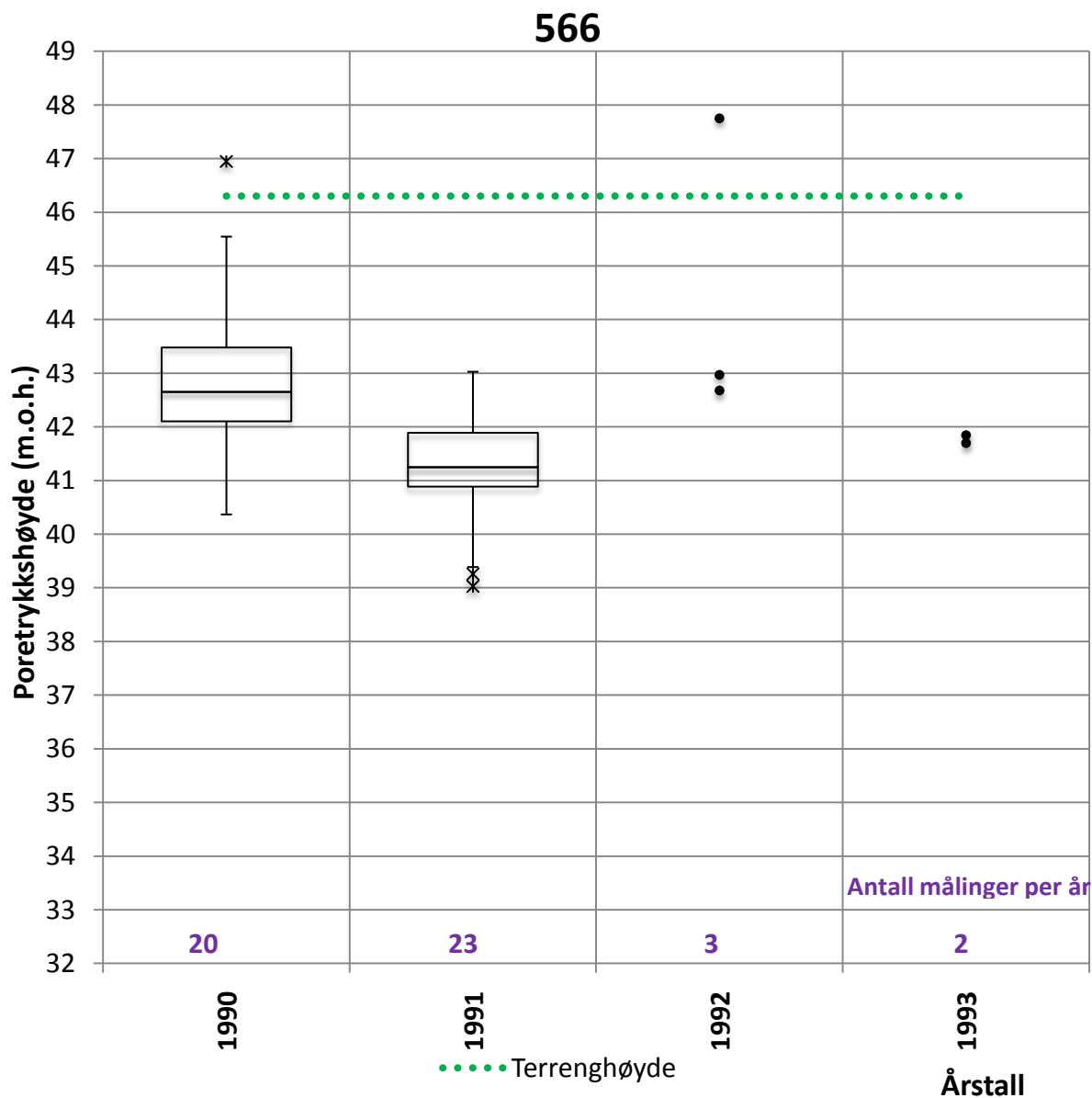
### 565



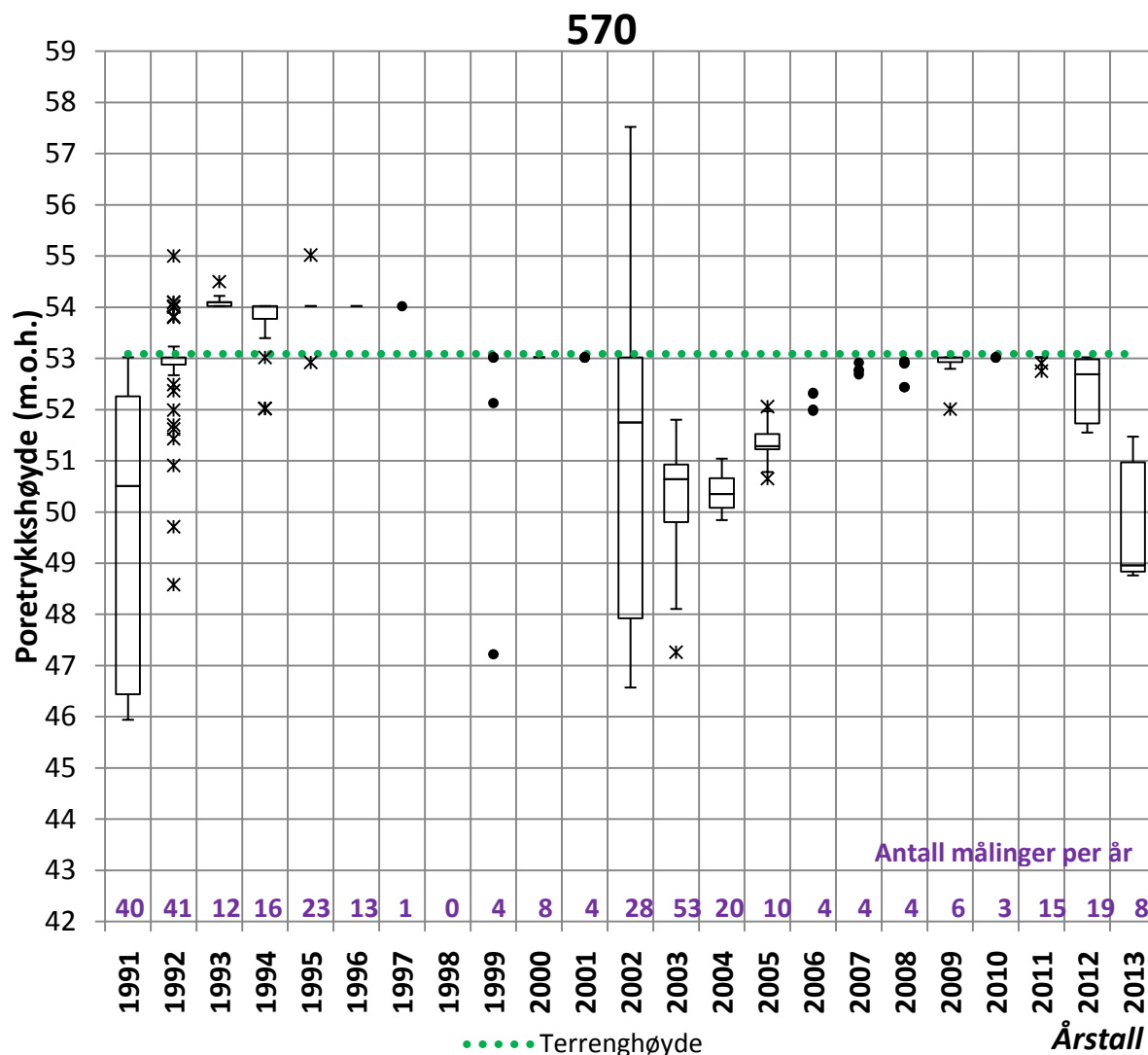
### 565 (sammenligning med nedbør)



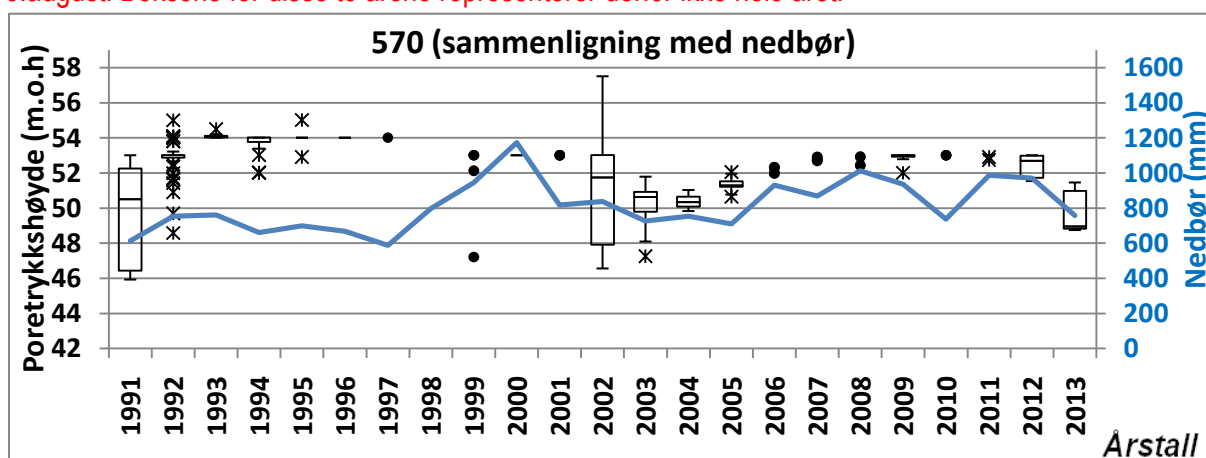
Poretrykksmåler 566					
x-koordinat	595718,450	y-koordinat	6644713,189	Antall målinger	48
Terrenghøyde	46,3 m.o.h.	Fjellhøyde	Ikke oppgitt	Innmålingshøyde	38,8 m.o.h.



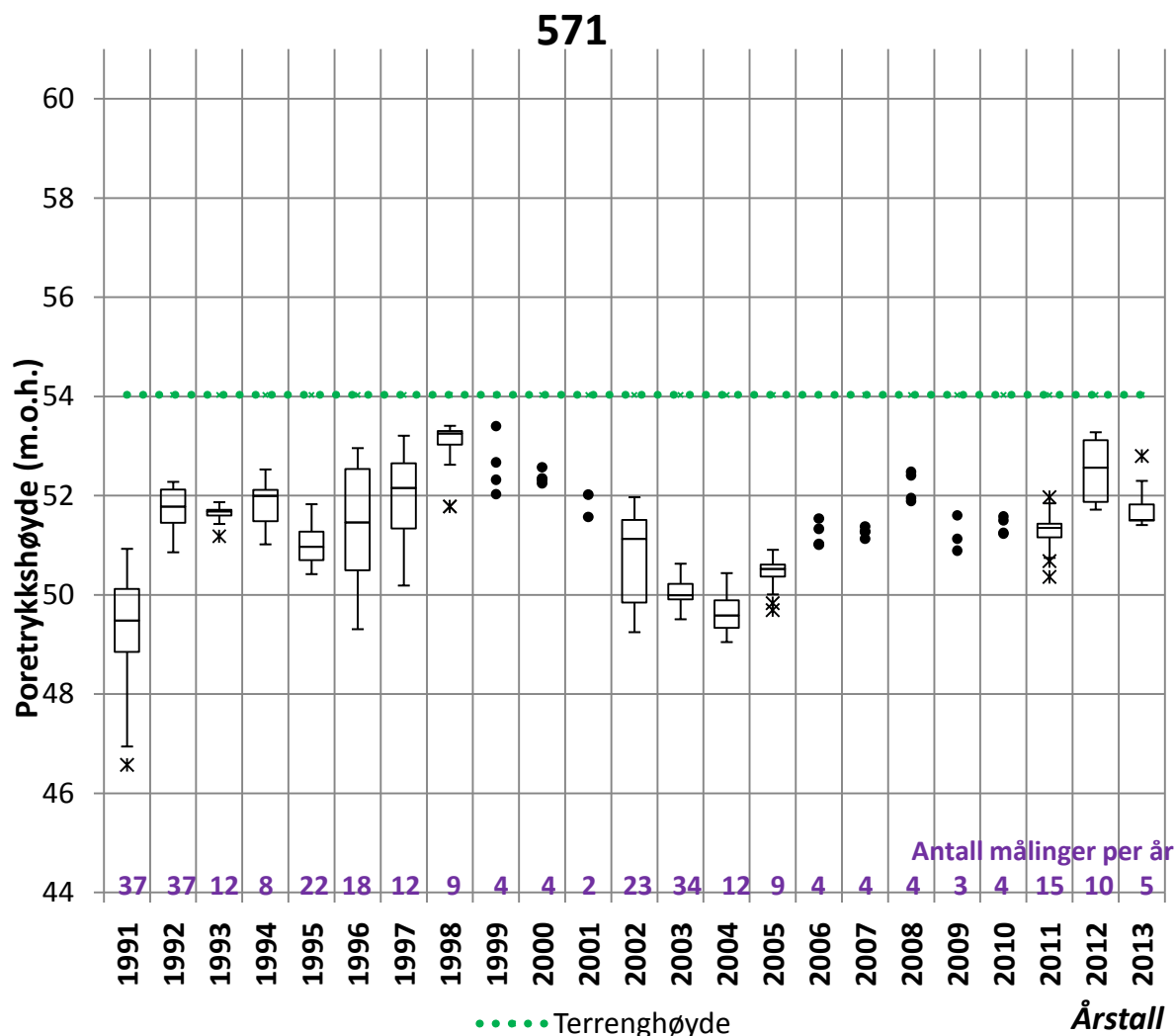
Poretrykksmåler 570					
x-koordinat	595974,723	y-koordinat	6645047,781	Antall målinger	336
Terrenghøyde	53,09 m.o.h.	Fjellhøyde	33,59 m.o.h.	Innmålingshøyde	33,59 m.o.h.



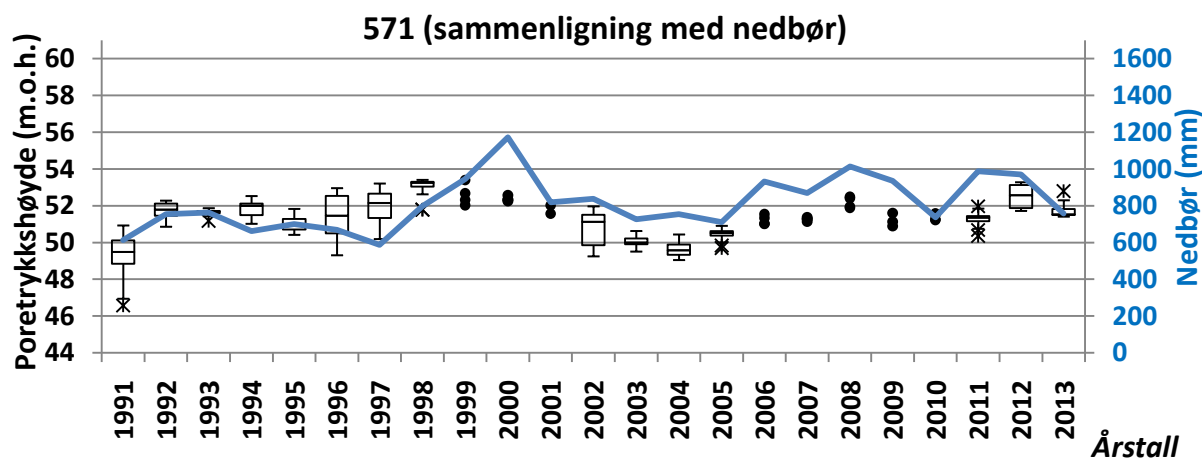
Obs. Målingene i 1991 er kun målt fra 29.juni og utover. Målingene i 2013 er kun målt inn frem til 6.august. Boksene for disse to årene representerer derfor ikke hele året.



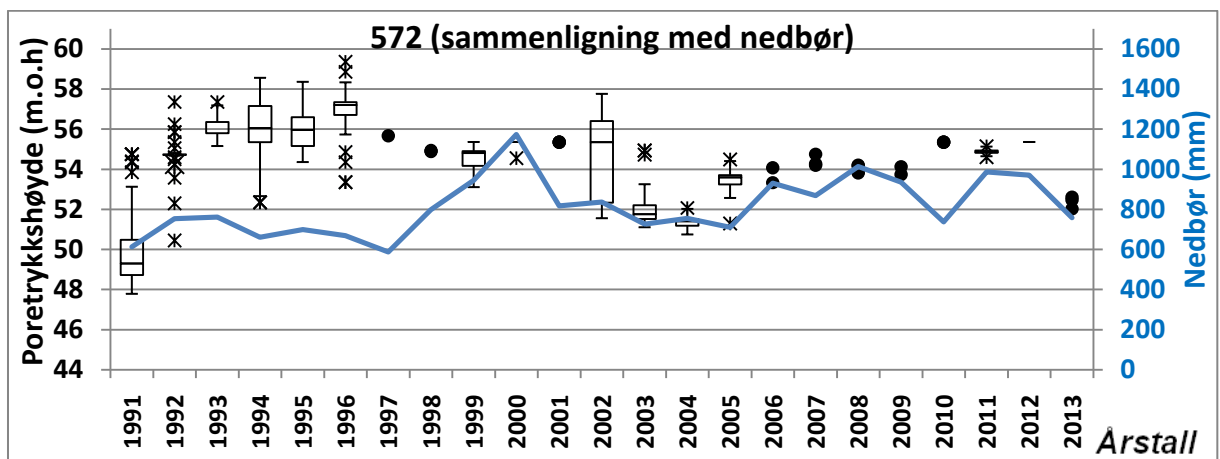
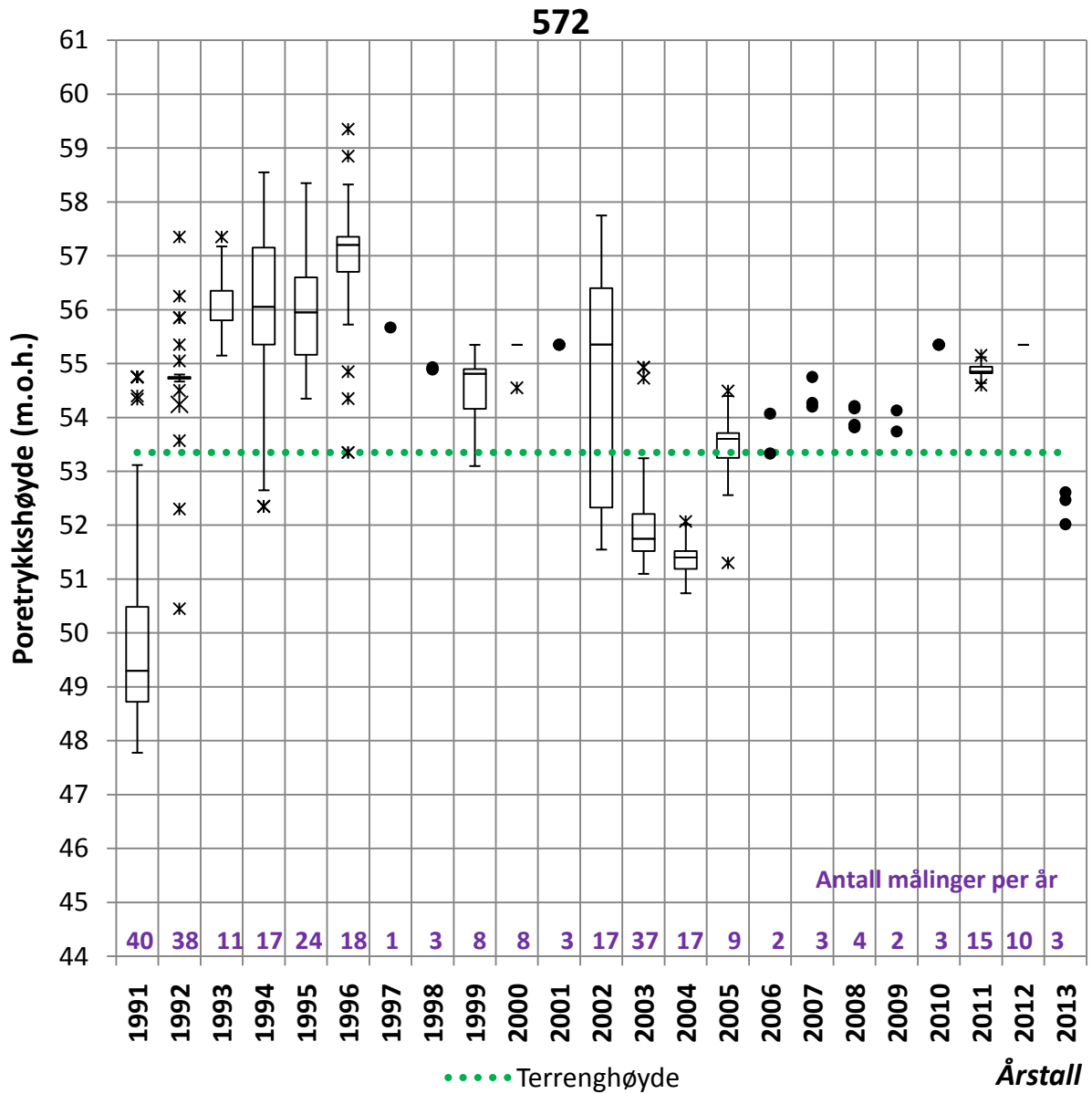
Poretrykksmåler 571					
x-koordinat	596037,06	y-koordinat	6645073,389	Antall målinger	292
Terrenghøyde	54,03 m.o.h.	Fjellhøyde	36,78 m.o.h.	Innmålingshøyde	36,78 m.o.h.



Obs. Målingene 1991 startet først 29.juli. Målingene i 2013 er kun målt frem til 06.08.2013. Boksene i disse to årene representerer derfor ikke hele året.

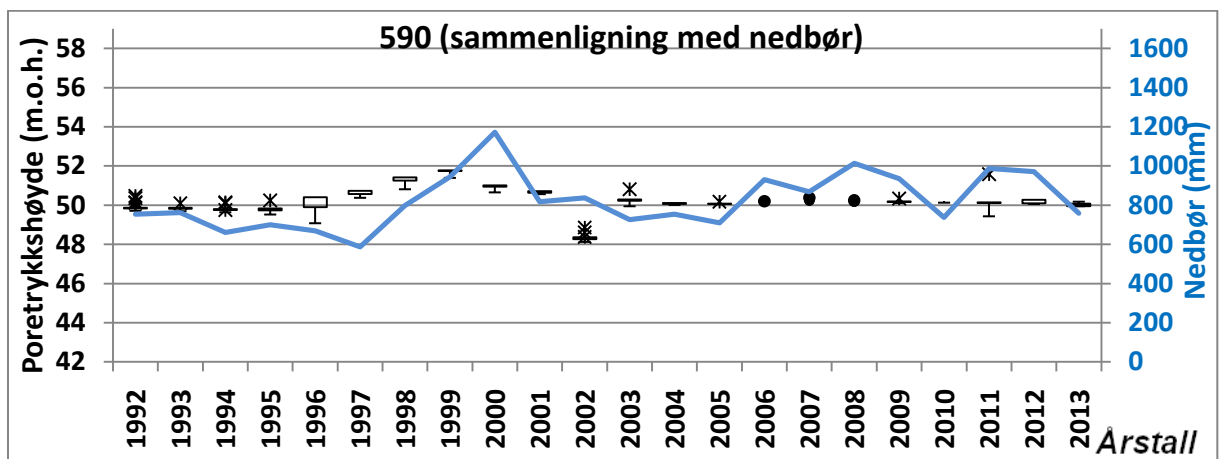
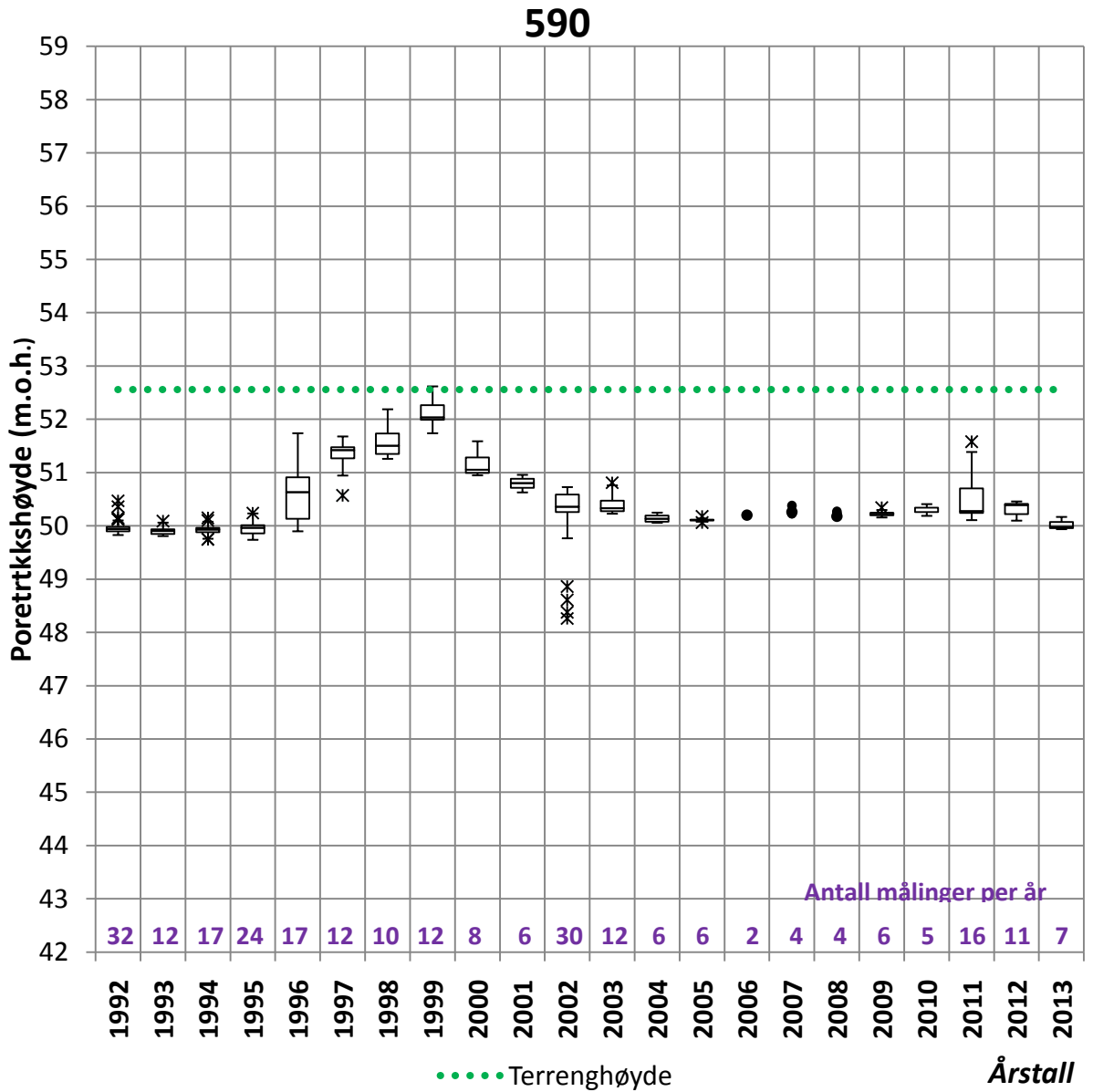


Poretrykksmåler 572					
x-koordinat	596082,265	y-koordinat	6644988,599	Antall målinger	293
Terrenghøyde	53,35 m.o.h.	Fjellhøyde	28,24 m.o.h.	Innmålingshøyde	28,24 m.o.h.



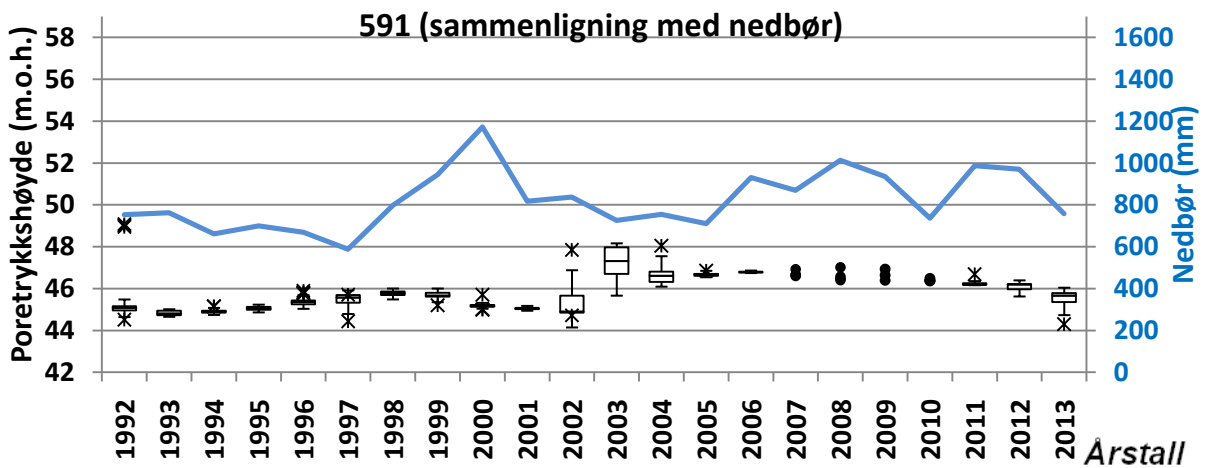
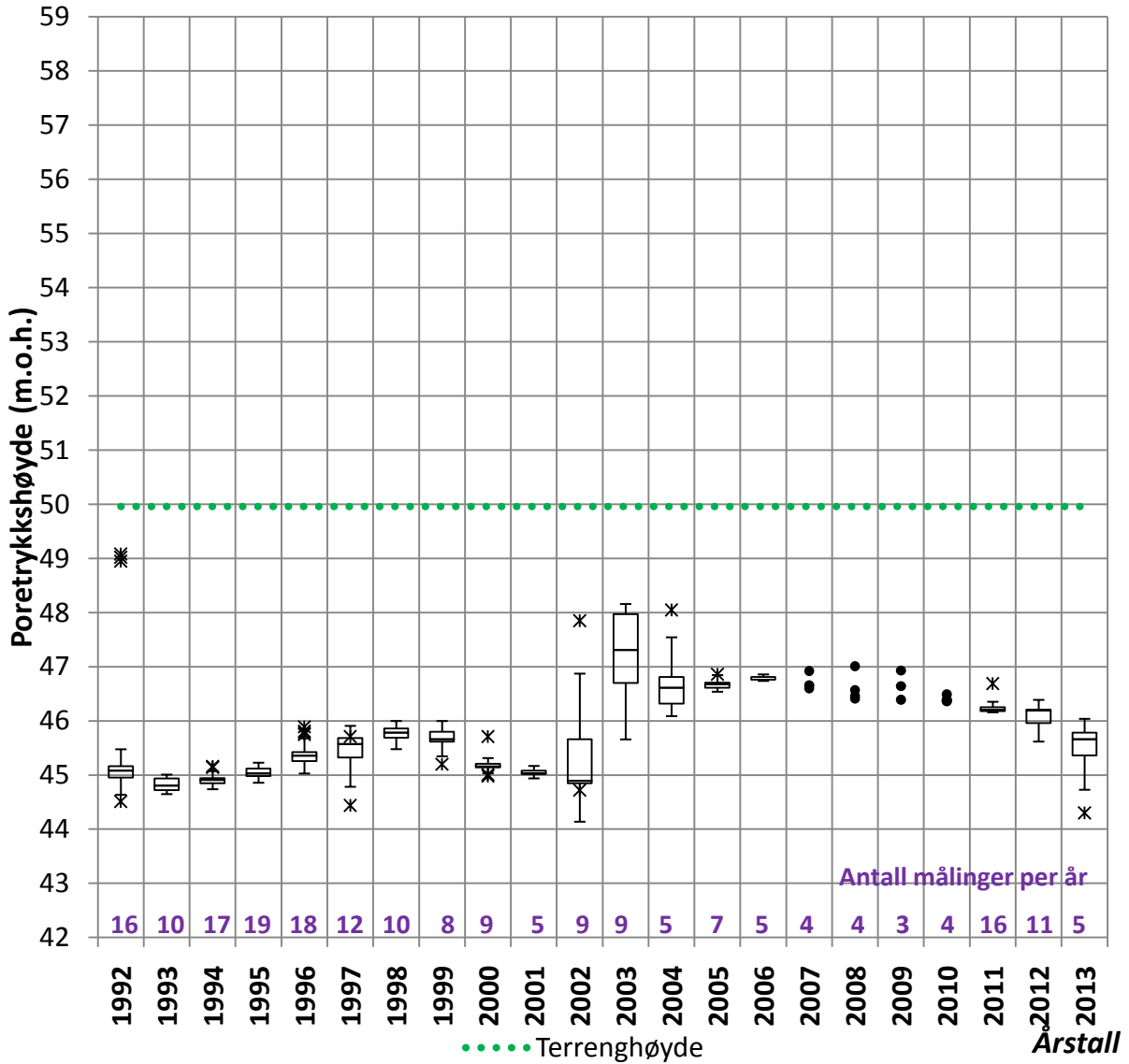


Poretrykksmåler 590					
x-koordinat	595945,13	y-koordinat	6645032,07	Antall målinger	259
Terrenghøyde	52,56 m.o.h.	Fjellhøyde	25,36 m.o.h.	Innmålingshøyde	42,56 m.o.h.

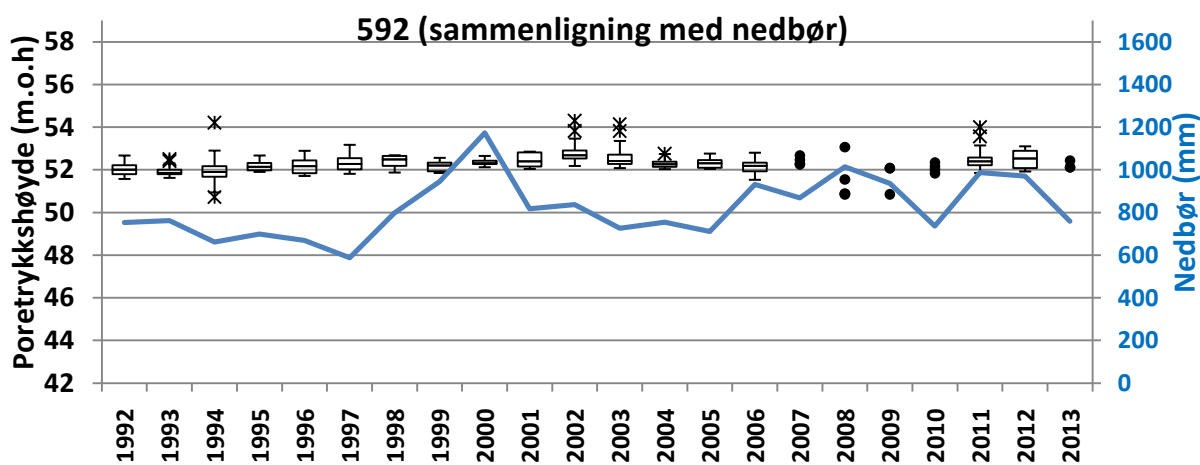
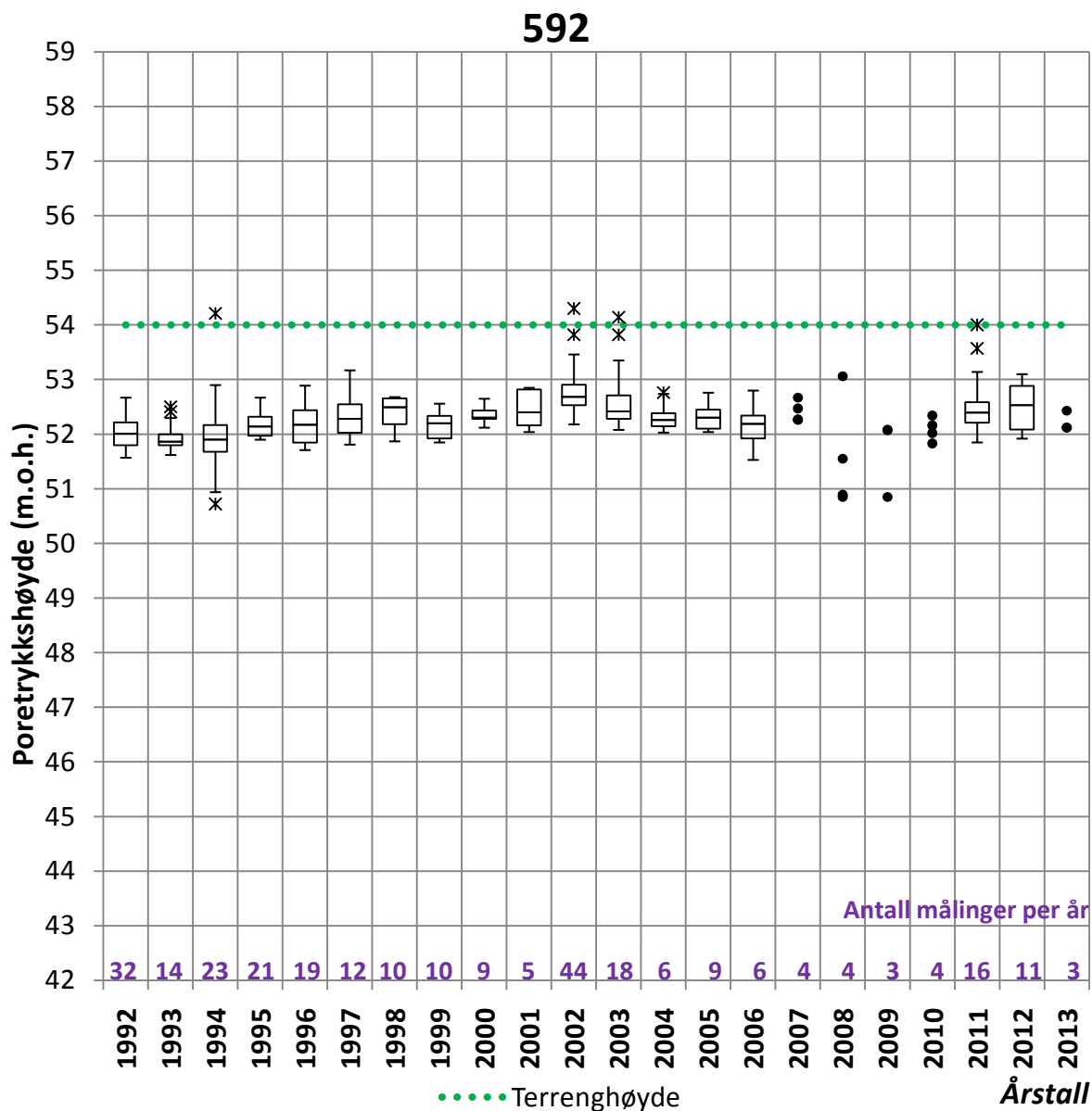


Poretrykksmåler nummer 591					
x-koordinat	596011,789	y-koordinat	6644814,831	Antall målinger	206
Terrenghøyde	49,96 m.o.h.	Fjellhøyde	28,76 m.o.h.	Innmålingshøyde	28,76 m.o.h.

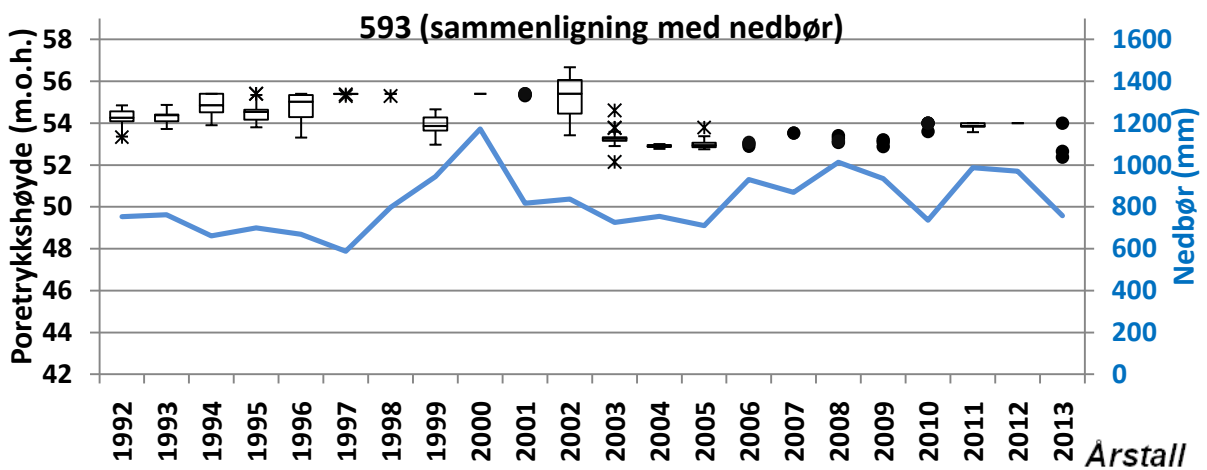
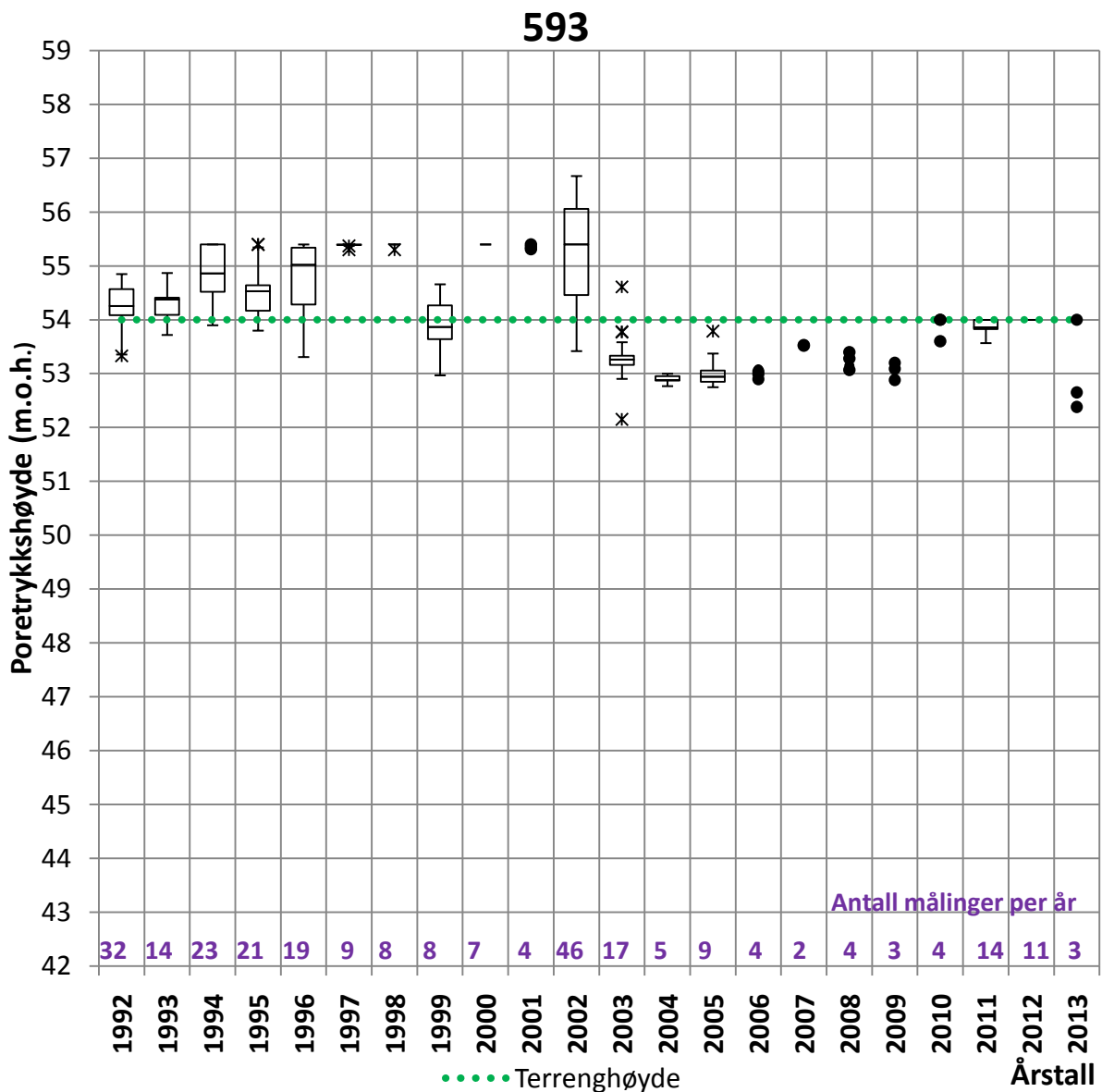
## 591



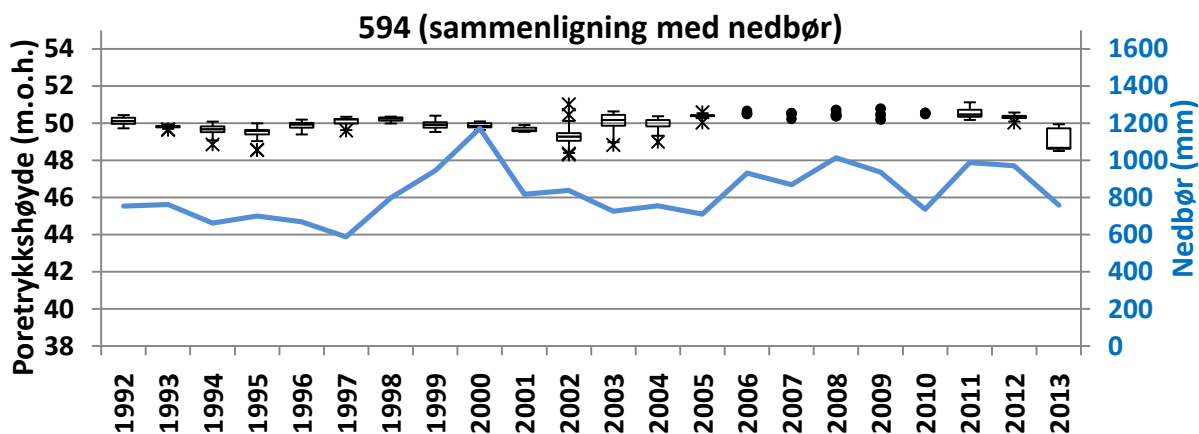
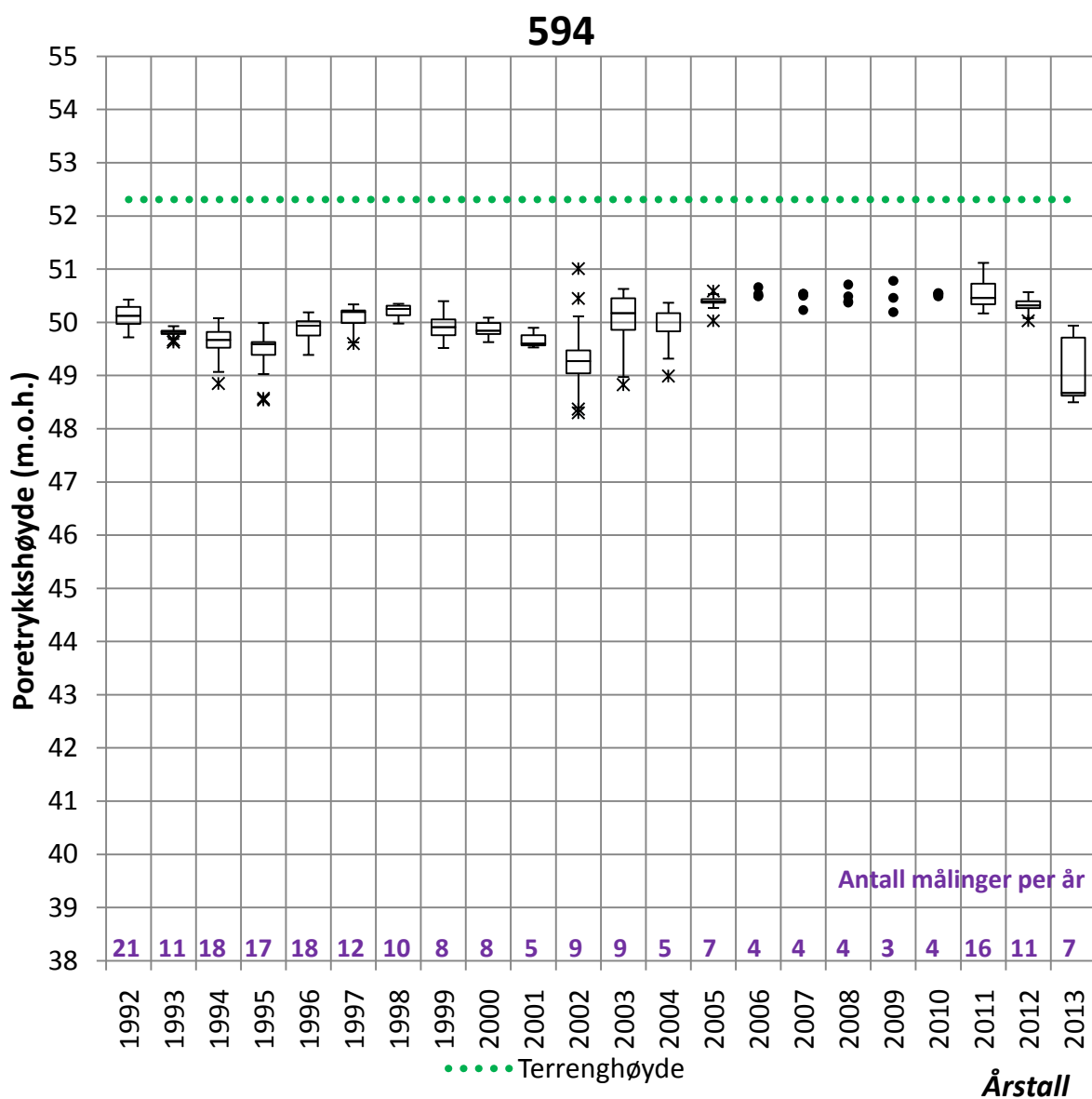
Poretrykksmåler 592					
x-koordinat	596088,986	y-koordinat	6645037,755	Antall målinger	283
Terrenghøyde	54 m.o.h.	Fjellhøyde	33,4 m.o.h.	Innmålingshøyde	49 m.o.h.



Poretrykksmåler 593					
x-koordinat	596087,961	y-koordinat	6645038,728	Antall målinger	267
Terrenghøyde	54 m.o.h.	Fjellhøyde	33,9 m.o.h.	Innmålingshøyde	39 m.o.h.

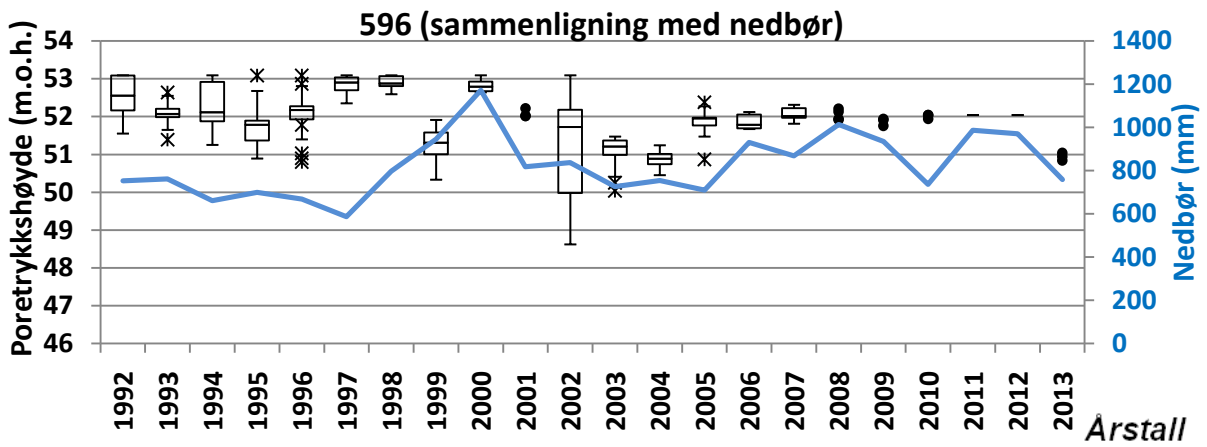
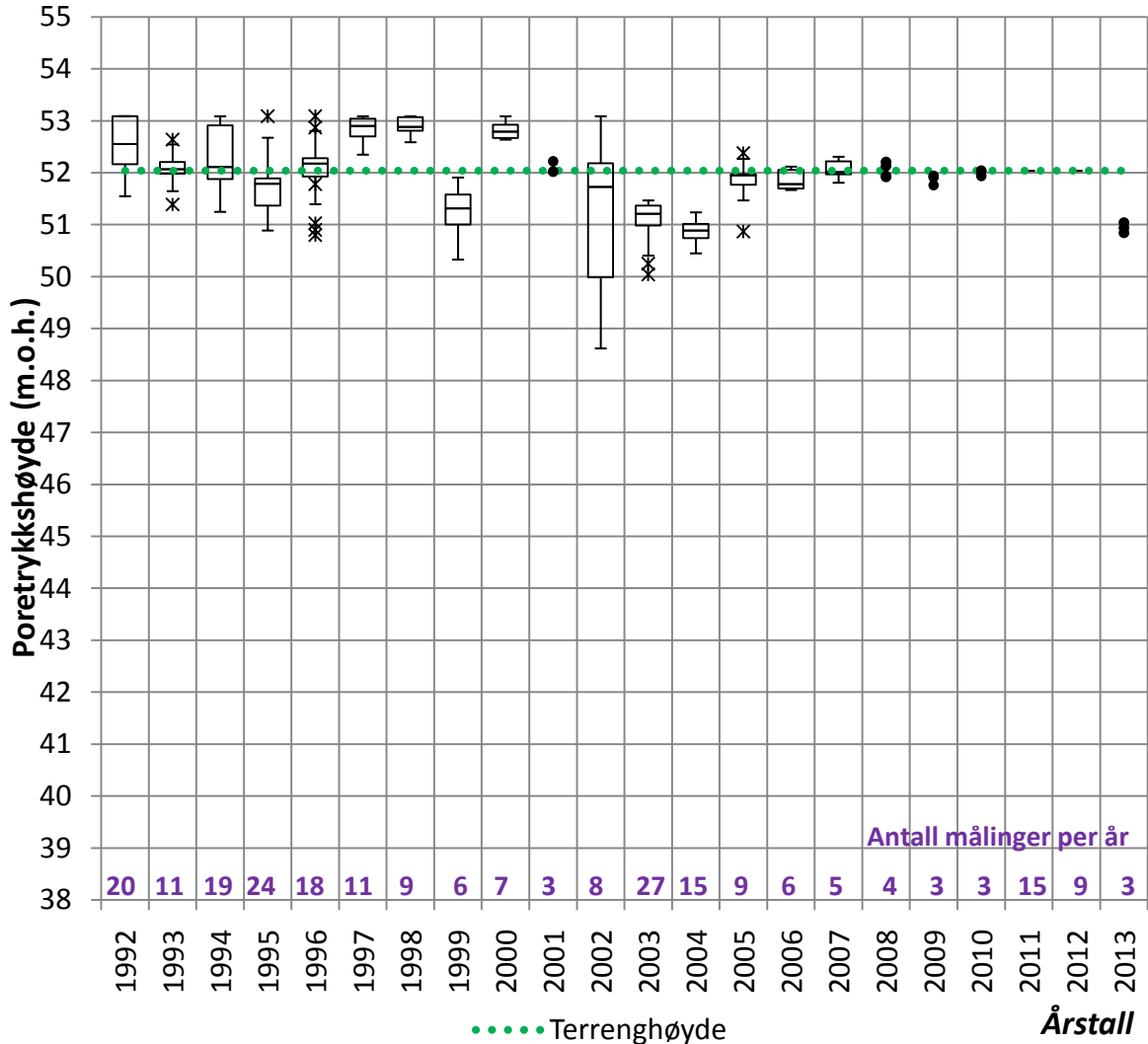


Poretrykksmåler 594					
x-koordinat	596092,224	y-koordinat	6644797,924	Antall målinger	211
Terrenghøyde	52,31 m.o.h.	Fjellhøyde	29,57 m.o.h.	Innmålingshøyde	29,57 m.o.h.



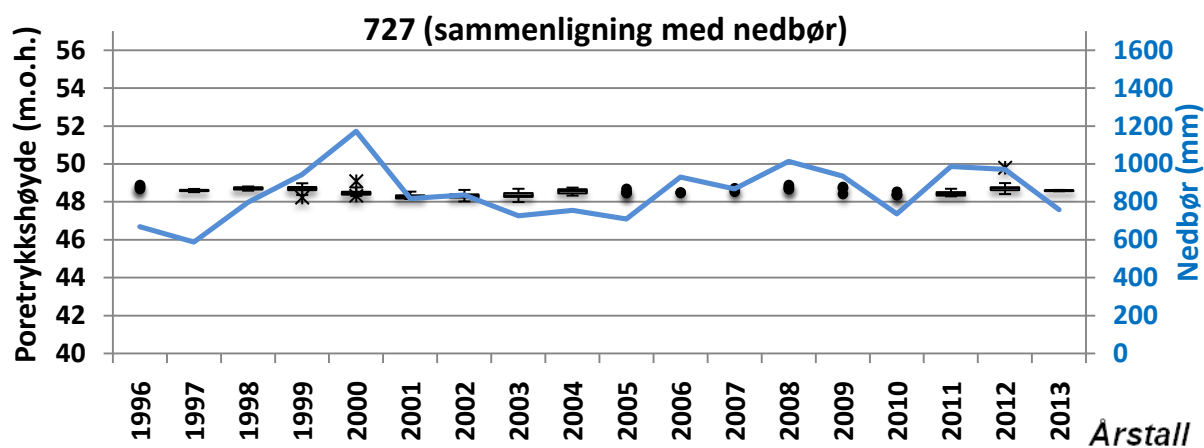
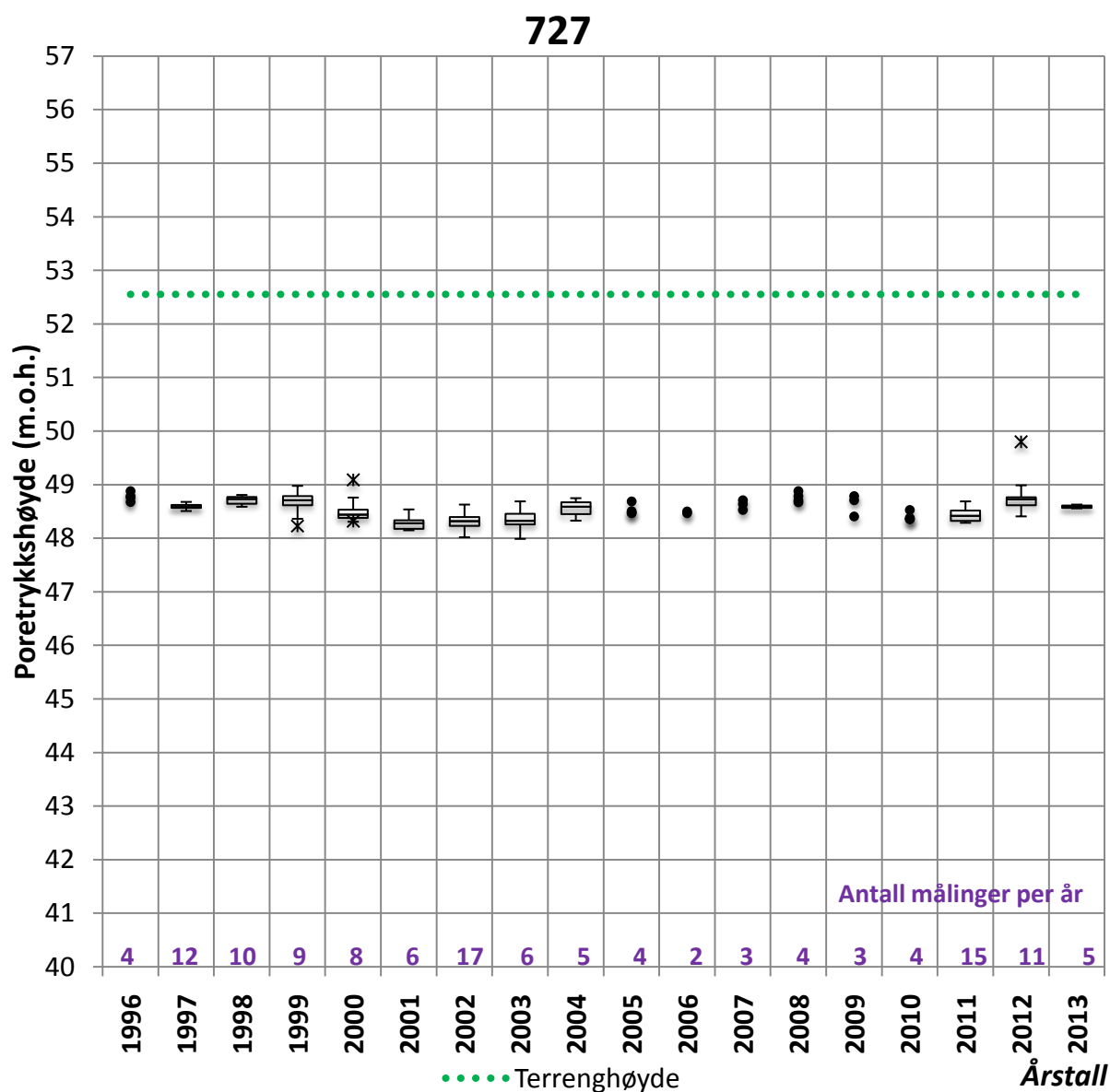
Poretrykksmåler 596					
x-koordinat	596073,608	y-koordinat	6644898,408	Antall målinger	235
Terrenghøyde	52,04 m.o.h.	Fjellhøyde	33,69 m.o.h.	Innmålingshøyde	33,69 m.o.h.

## 596



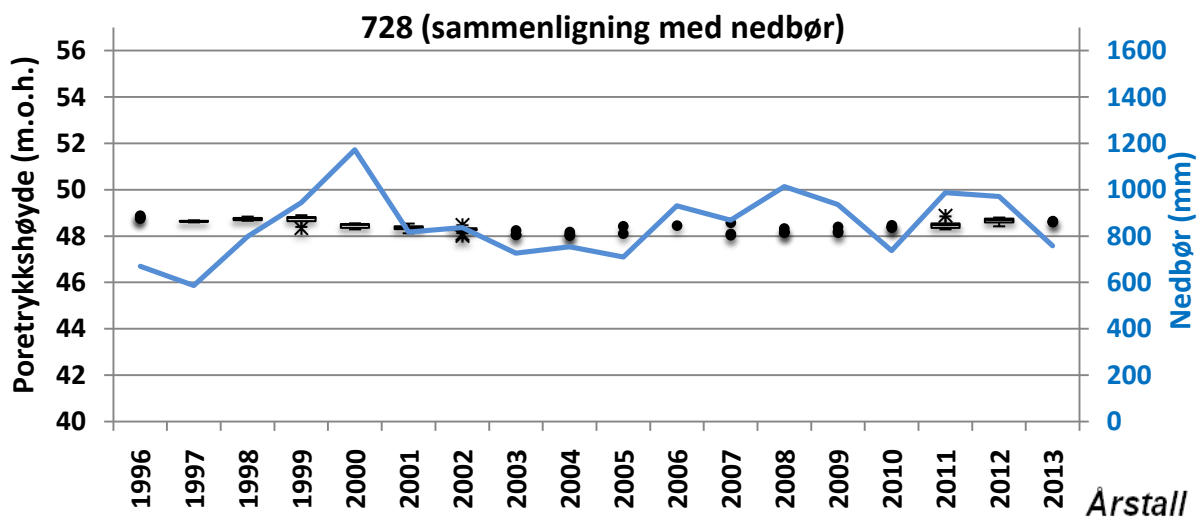
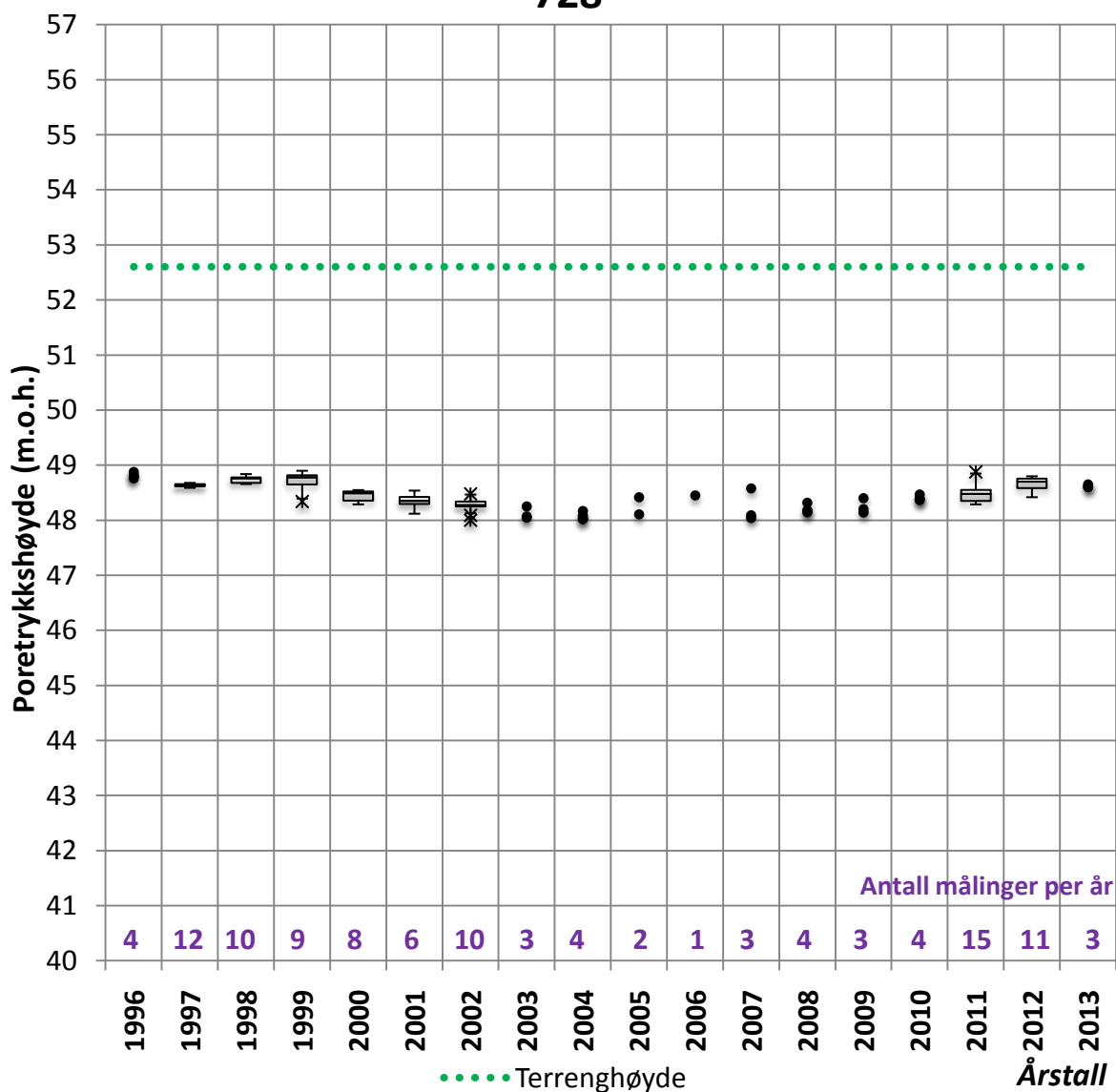


Poretrykksmåler 727					
x-koordinat	595865,807	y-koordinat	6645082,948	Antall målinger	128
Terrenghøyde	52,55 m.o.h.	Fjellhøyde	Ikke oppgitt	Innmålingshøyde	38,6 m.o.h.



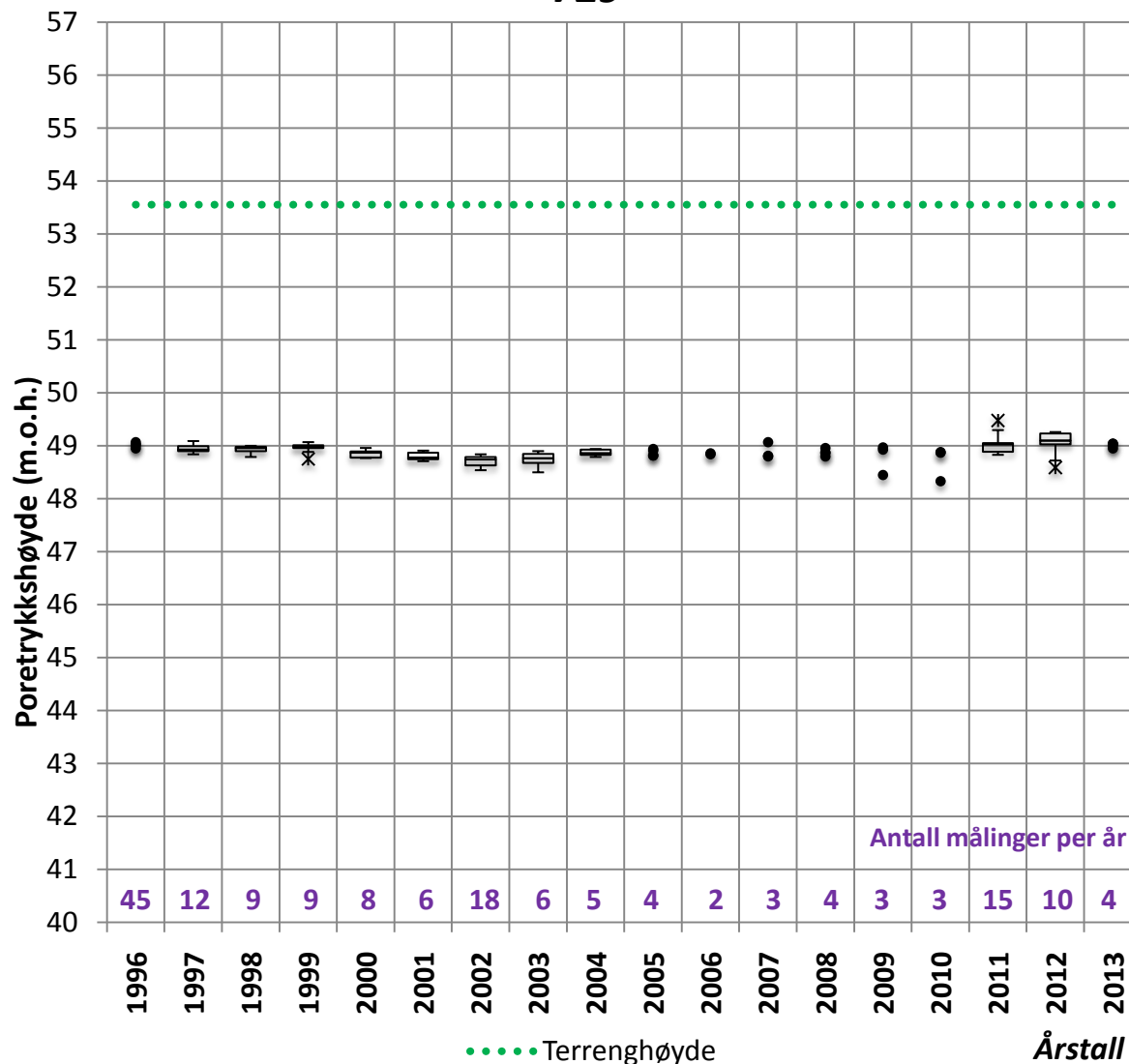
Poretrykksmåler 728					
x-koordinat	595868,779	y-koordinat	6645084,025	Antall målinger	112
Terrenghøyde	52,6 m.o.h.	Fjellhøyde	Ikke oppgitt	Innmålingshøyde	37,7 m.o.h.

## 728

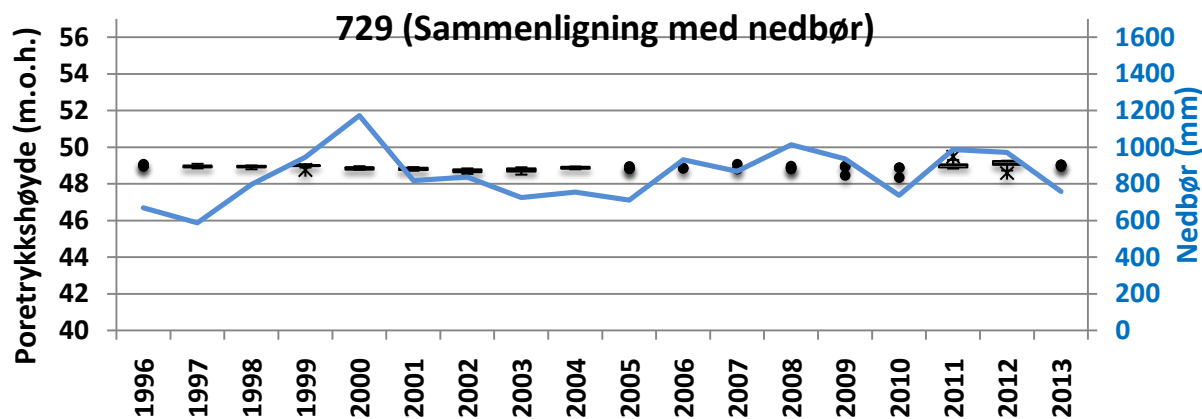


Poretrykksmåler 729					
x-koordinat	595885,221	y-koordinat	6645105,445	Antall målinger	125
Terrenghøyde	53,55 m.o.h.	Fjellhøyde	Ikke oppgitt	Innmålingshøyde	40,8 m.o.h.

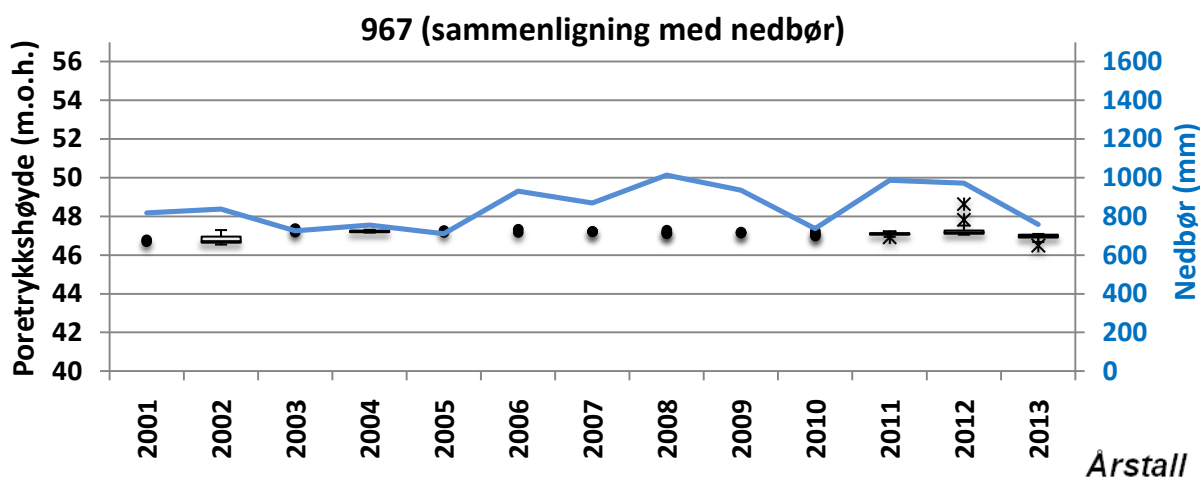
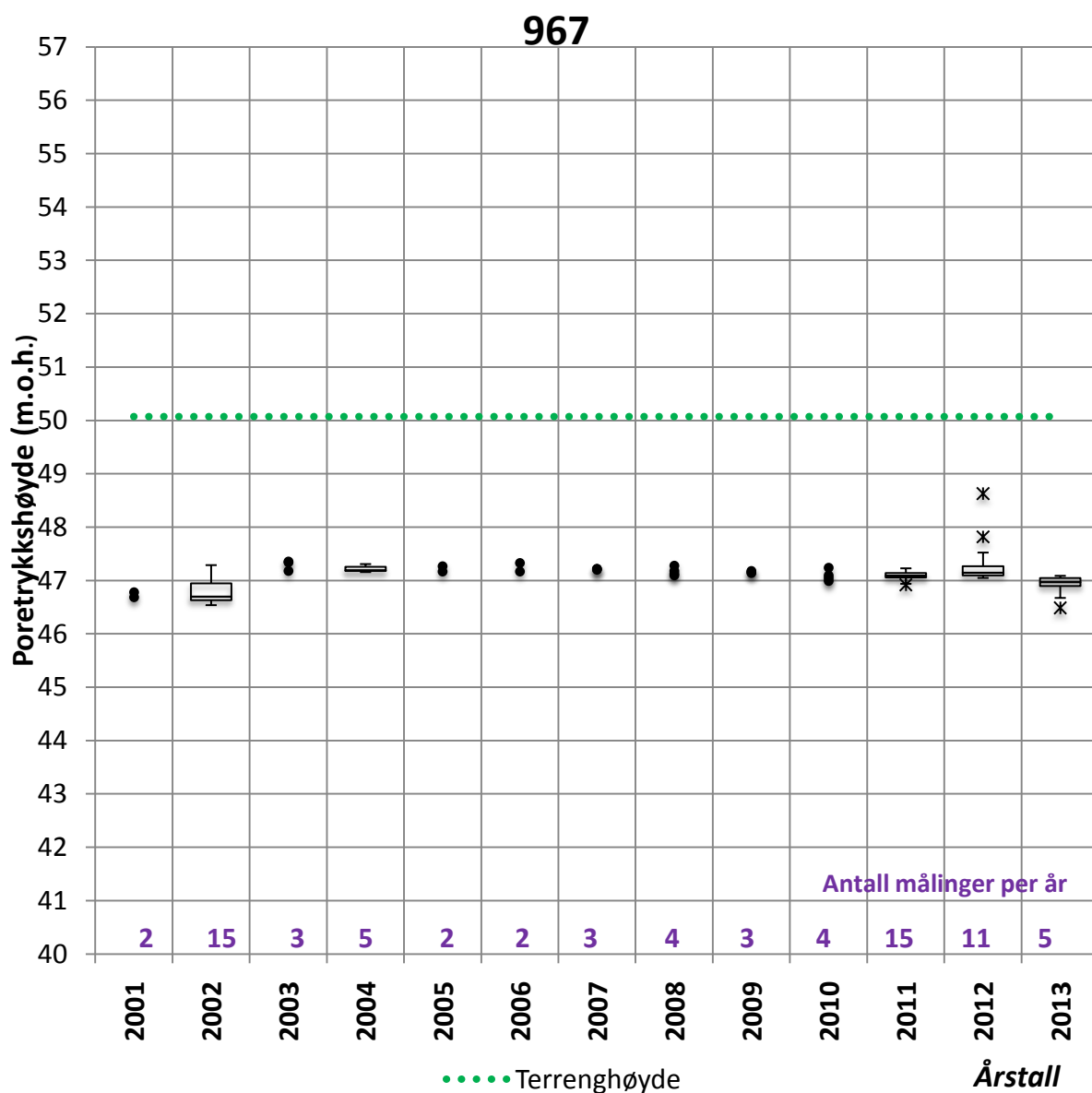
## 729



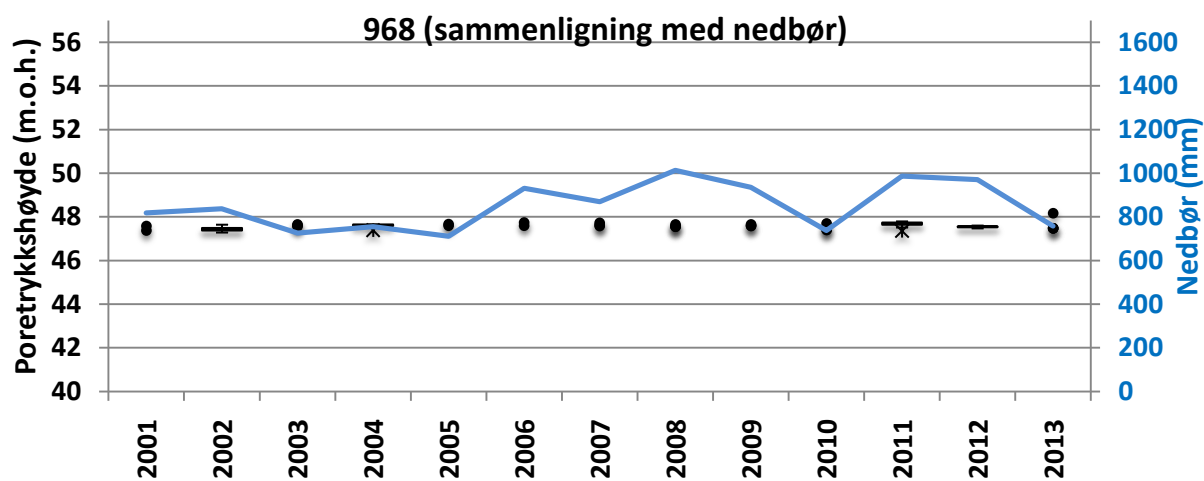
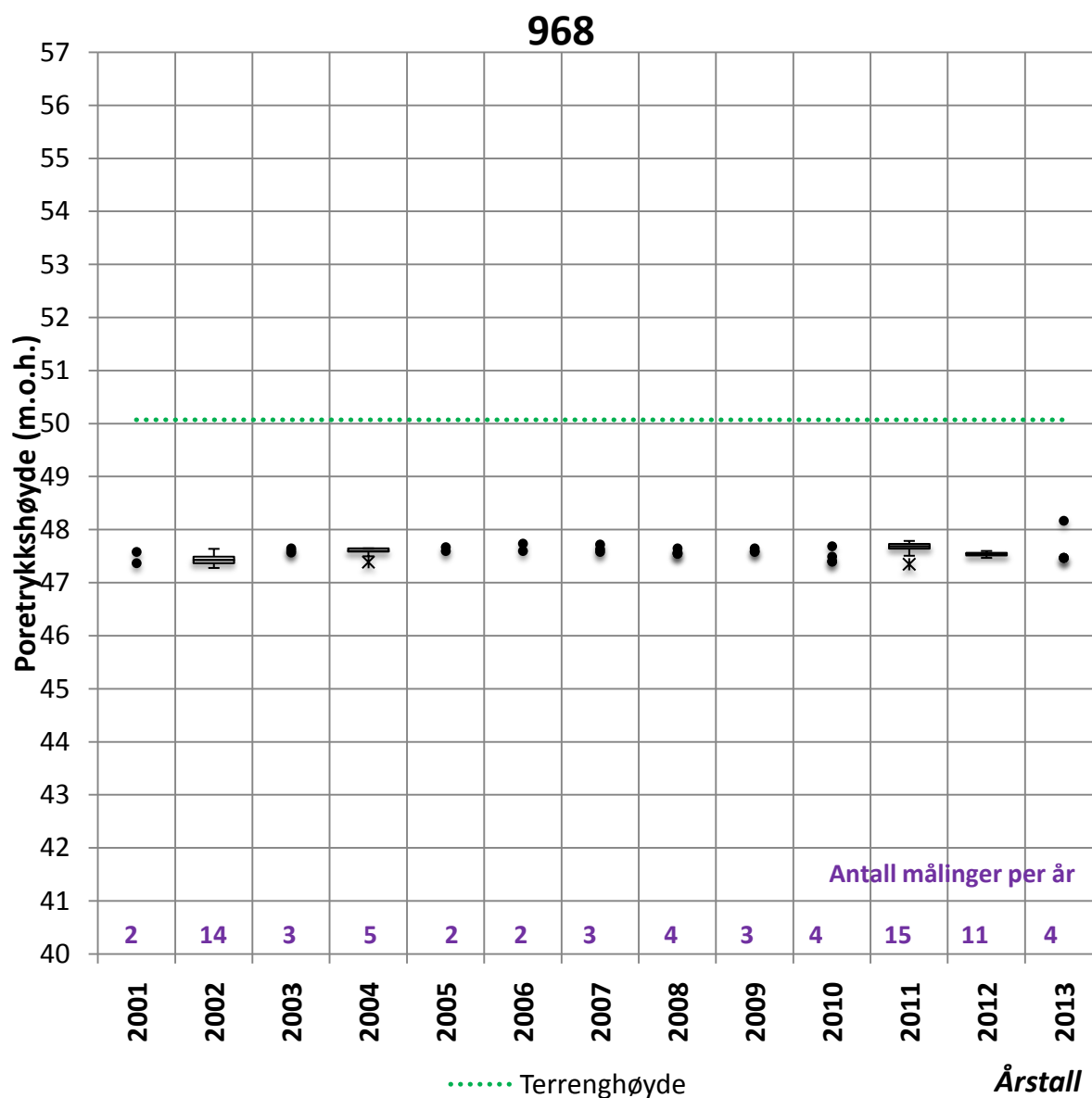
Obs. I 2003 er det kun målt mellom 10.01 og 22.07. Boksen representerer derfor ikke hele året.



Poretrykksmåler 967					
x-koordinat	595817,049	y-koordinat	6644958,713	Antall målinger	74
Terrenghøyde	50,07 m.o.h.	Fjellhøyde	Ikke oppgitt	Innmålingshøyde	30,02 m.o.h.

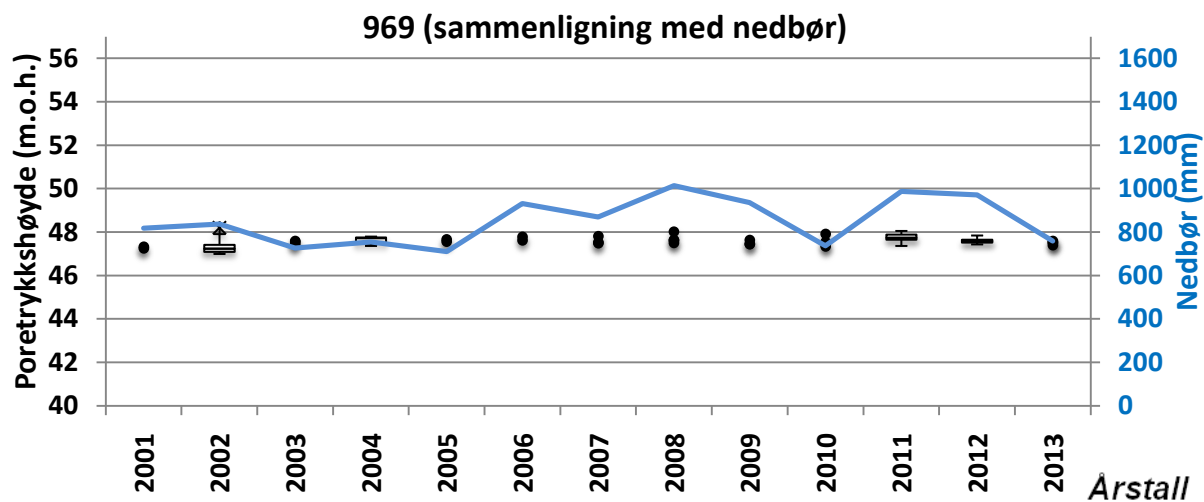
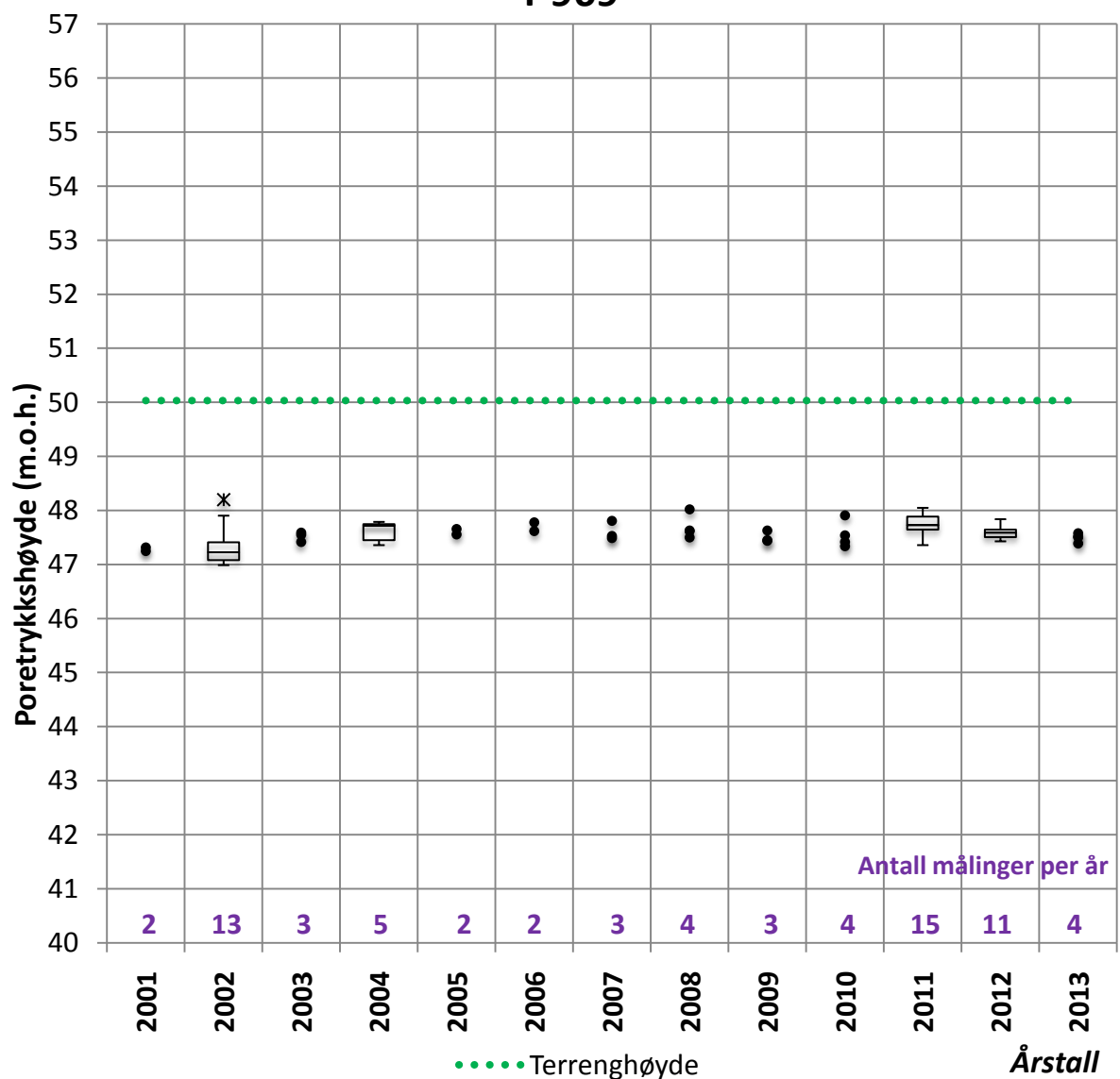


Poretrykksmåler 968					
x-koordinat	595817,075	y-koordinat	6644957,714	Antall målinger	72
Terrenghøyde	50,07 m.o.h.	Fjellhøyde	Ikke oppgitt	Innmålingshøyde	40 m.o.h.

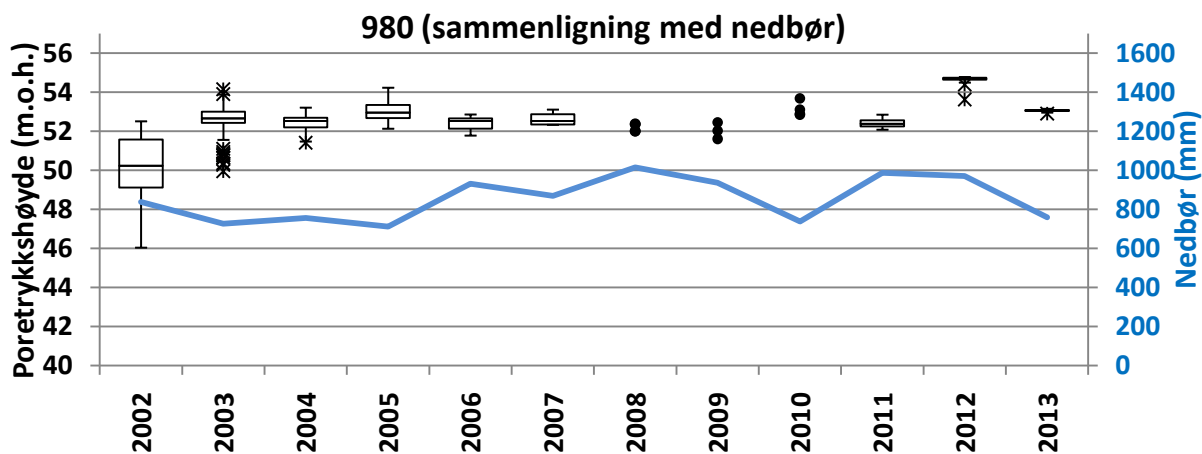
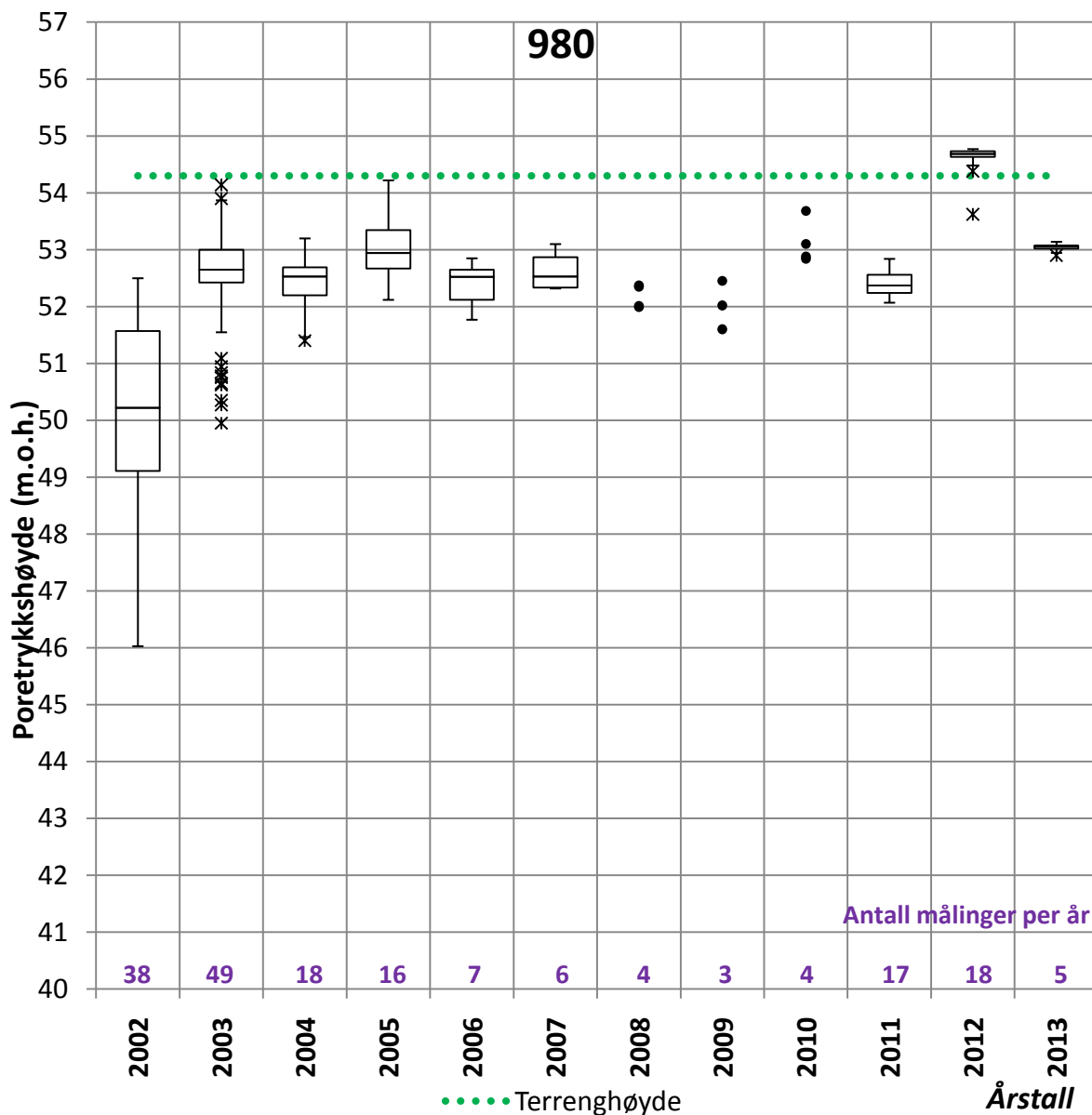


Poretrykksmåler 969					
x-koordinat	595818,049	y-koordinat	6644958,739	Antall målinger	71
Terrenghøyde	50,03 m.o.h.	Fjellhøyde	Ikke oppgitt	Innmålingshøyde	44,97 m.o.h.

### r 969



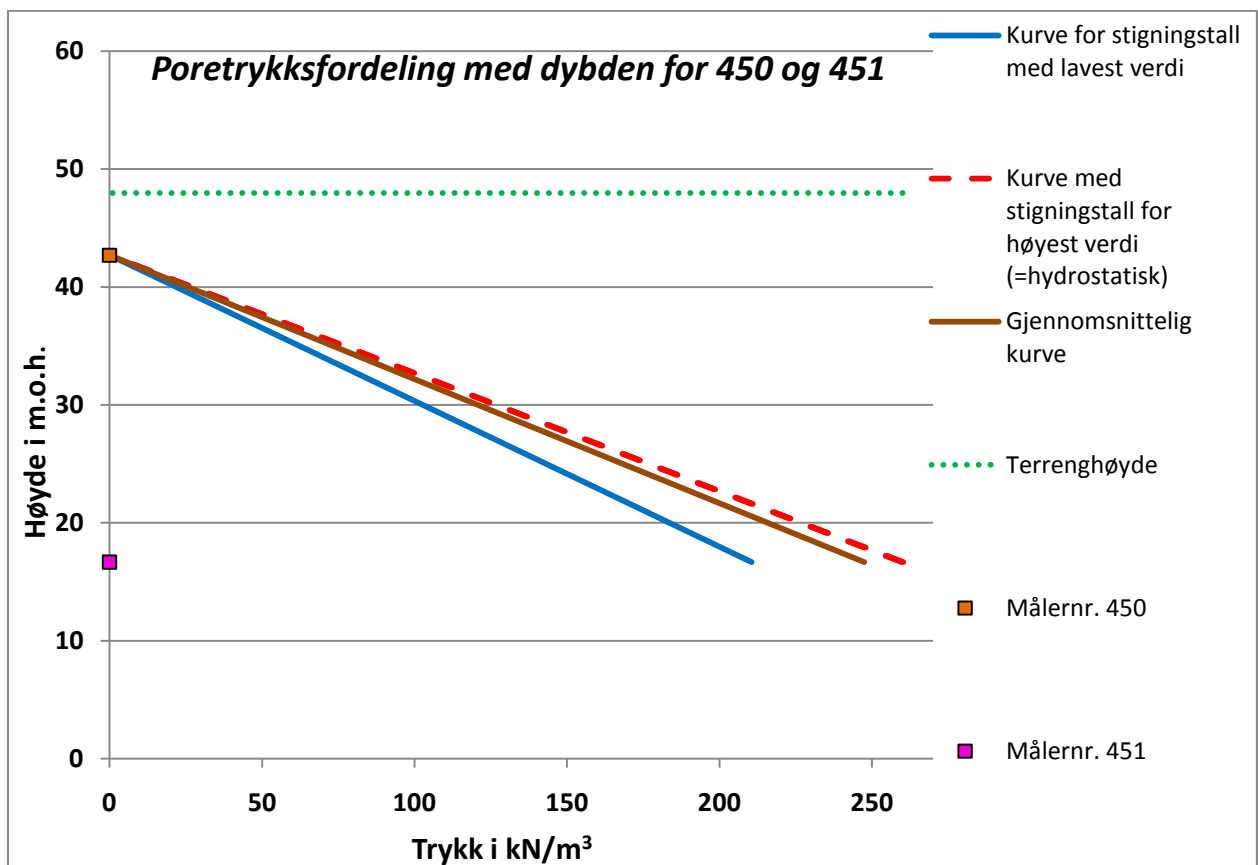
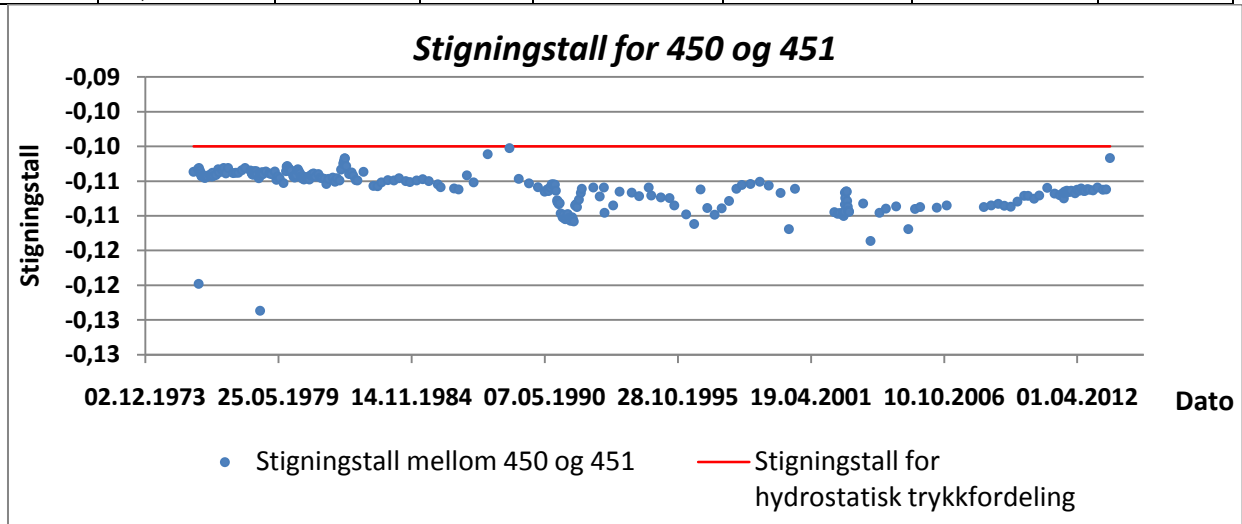
Poretrykksmåler 980					
x-koordinat	596118,319	y-koordinat	6645063,508	Antall målinger	185
Terrenghøyde	54,3 m.o.h.	Fjellhøyde	Ikke oppgitt	Innmålingshøyde	Ikke oppgitt.



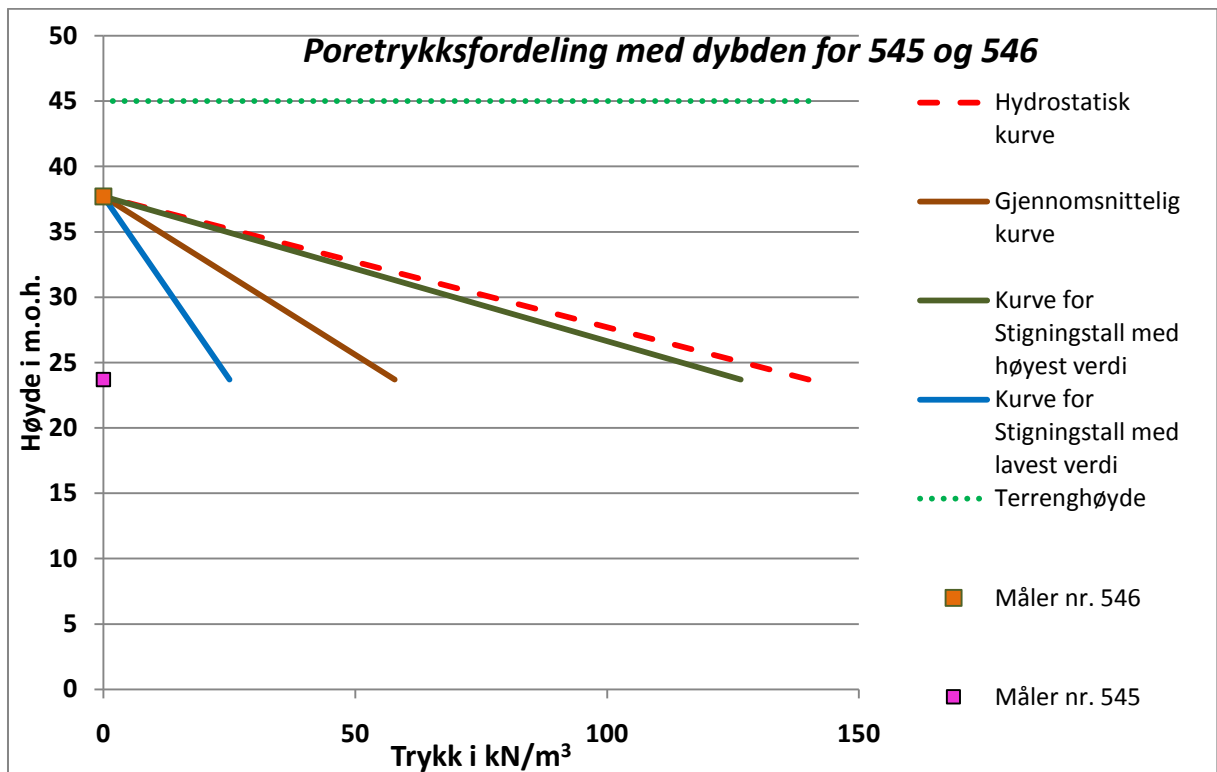
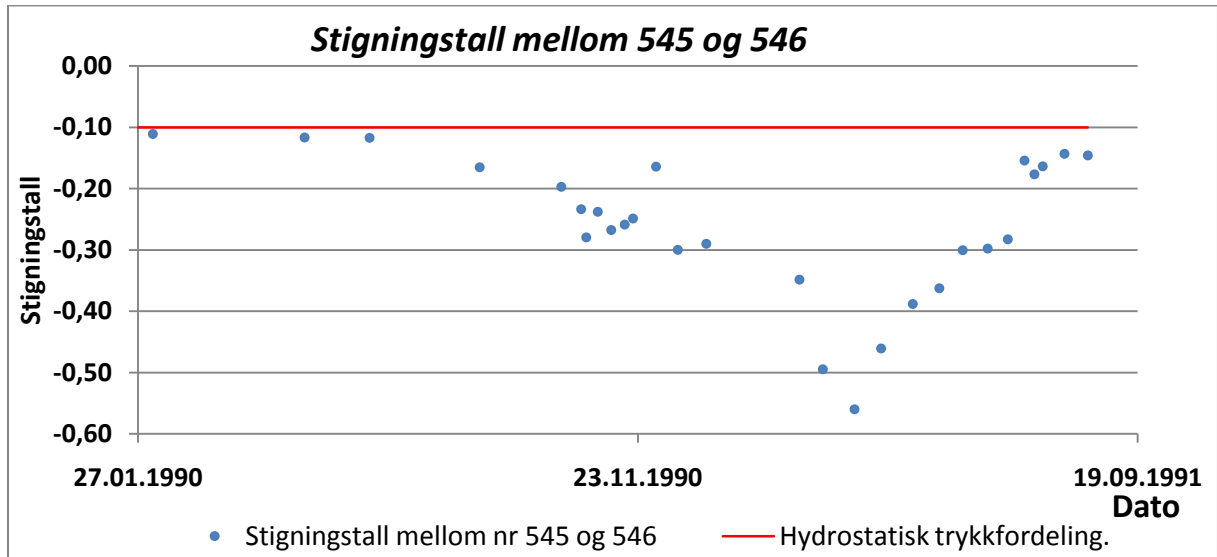


## Vedlegg 11 – Analyse av områders trykkfordeling: grafisk fremstilling

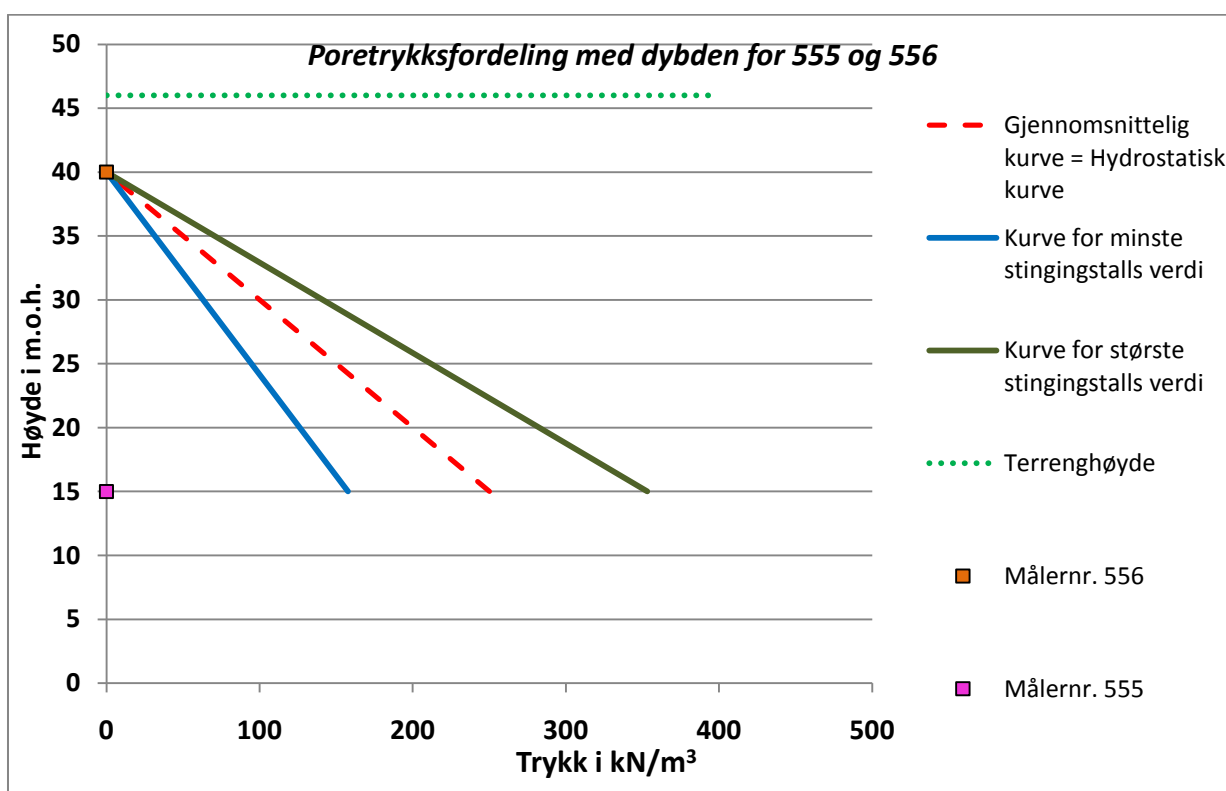
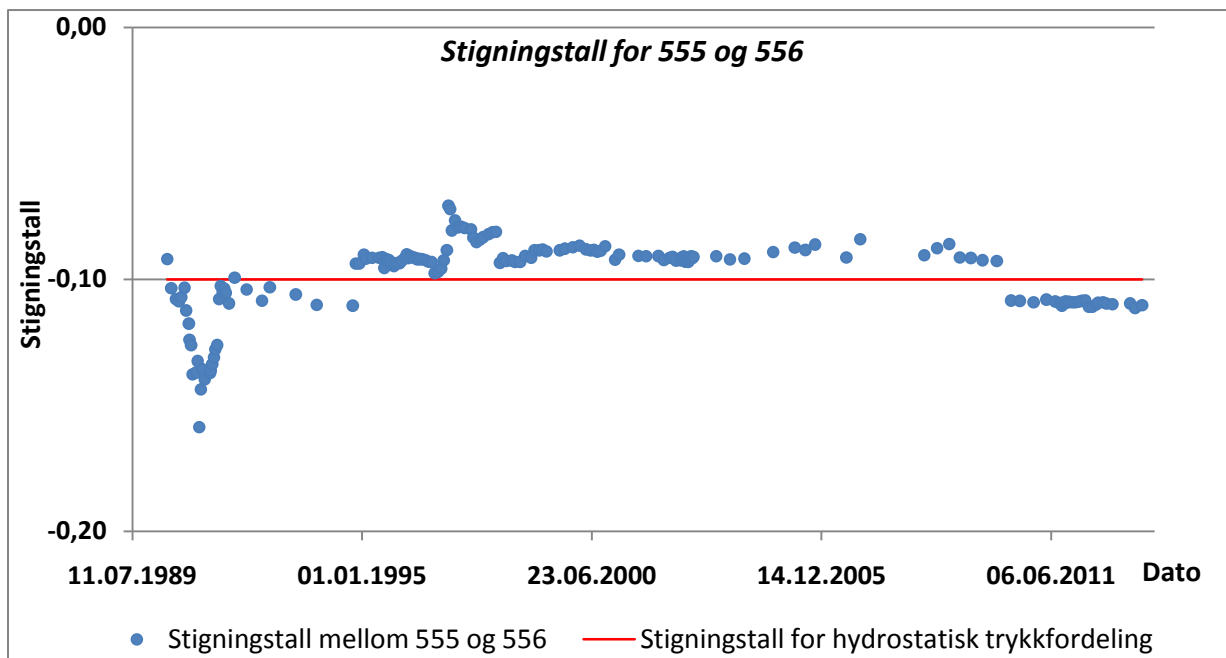
	Innmålings- høyde	Terreng- høyde	Fjell- høyde	Gjennomsnitt (06.06.2013)	Stigningstall med høyest verdi (06.08.2013)	Stigningstall med lavest verdi (10.02.1979)	Maks Variasjo n
450	42,69 m.o.h.	48 m.o.h.	14,46 m.o.h.	-0,11	-0,1	-0,12	0,02
451	16,66 m.o.h.						



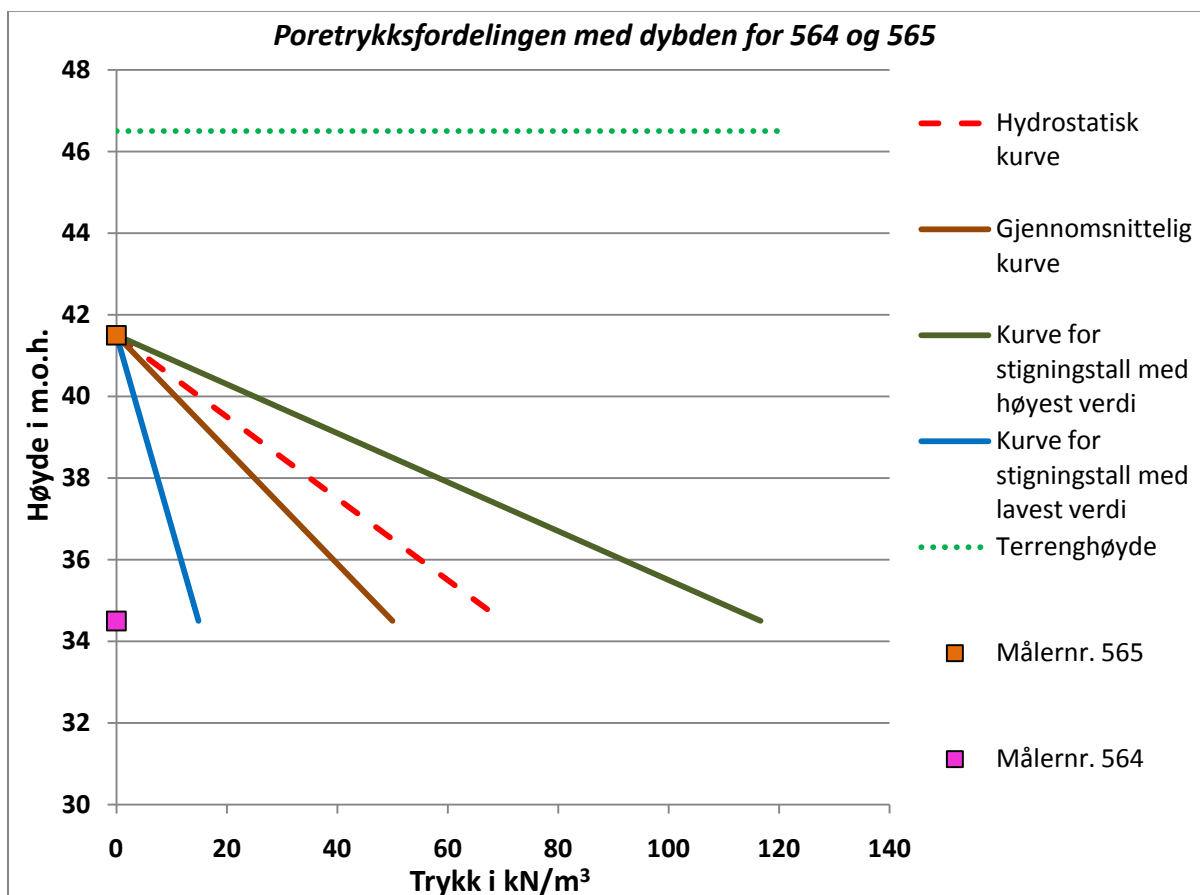
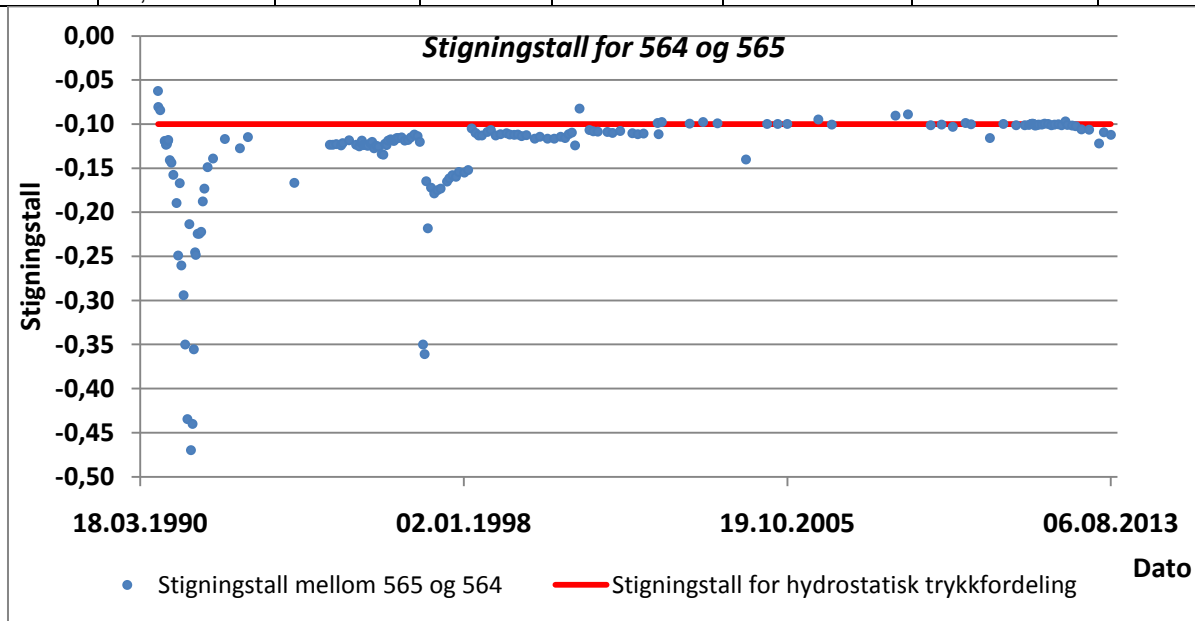
	Innmålings- høyde	Terreng- høyde	Fjell- høyde	Gjennom- snitt (30.10.1990)	Stigningstall med høyest verdi (05.02.1990)	Stigningstall med lavest verdi (02.04.1991)	Maks Varia- sjon
546	37,7 m.o.h.	45 m.o.h.	23,7 m.o.h.	-0,24	-0,11	-0,56	0,45
545	23,7 m.o.h.						



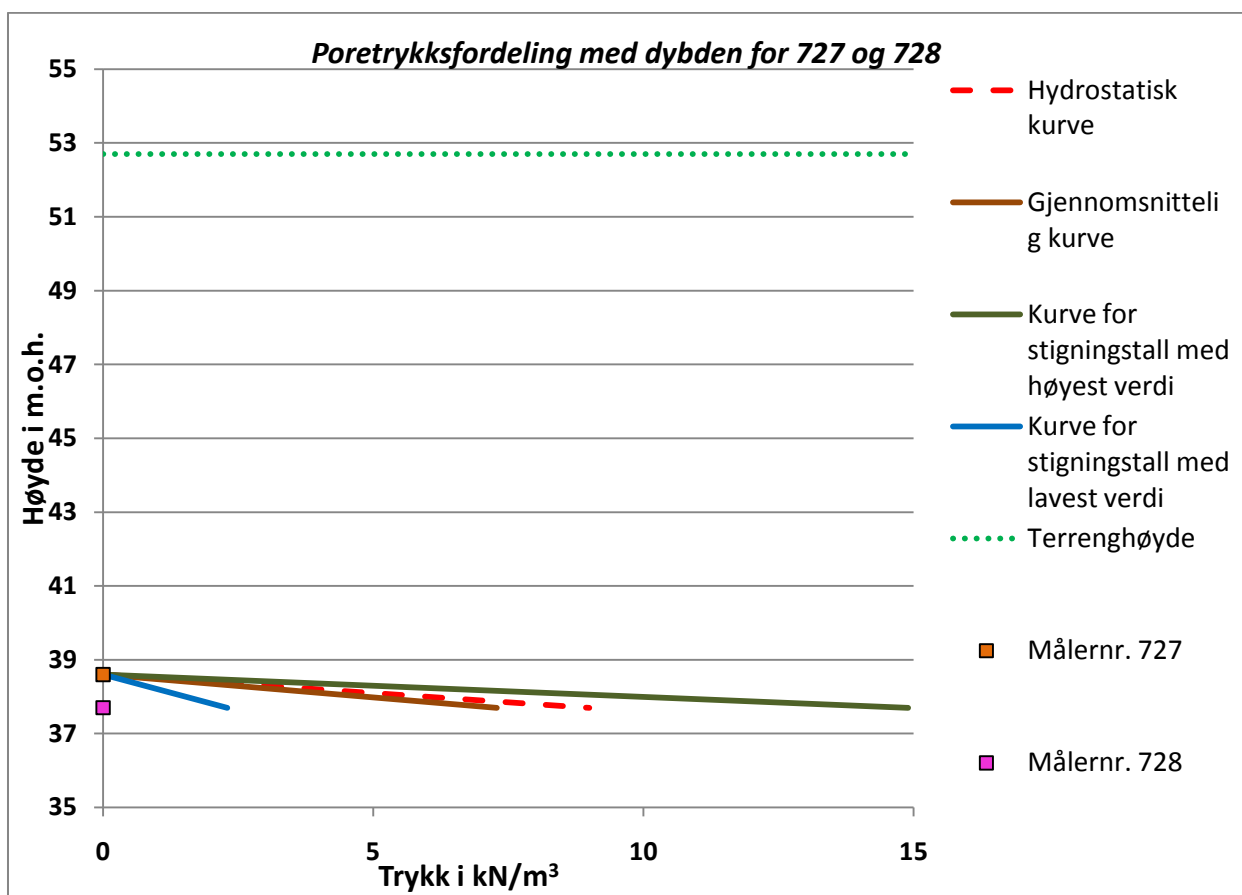
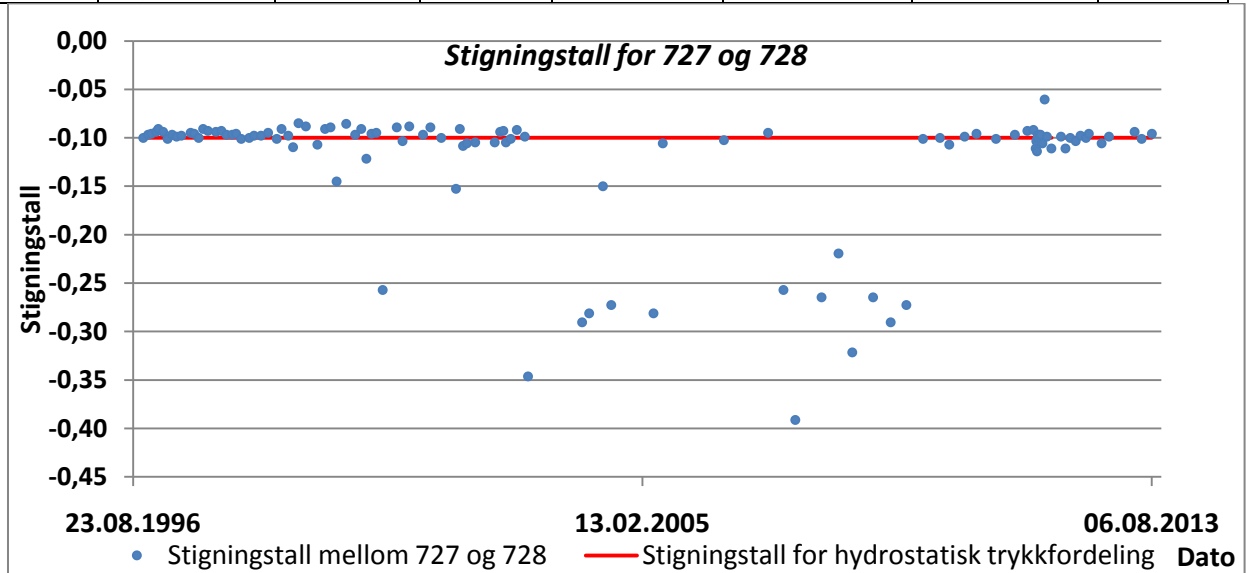
	Innmålings- høyde	Terreng- høyde	Fjell- høyde	Gjennomsnitt (23.10.1996)	Stigningstall med høyest verdi (31.01.1991)	Stigningstall med lavest verdi (22.01.1997)	Maks Variasjo n
555	37,7 m.o.h.	46 m.o.h.	Ikke oppgitt	-0,1	-0,16	-0,07	0,09
556	23,7 m.o.h.						



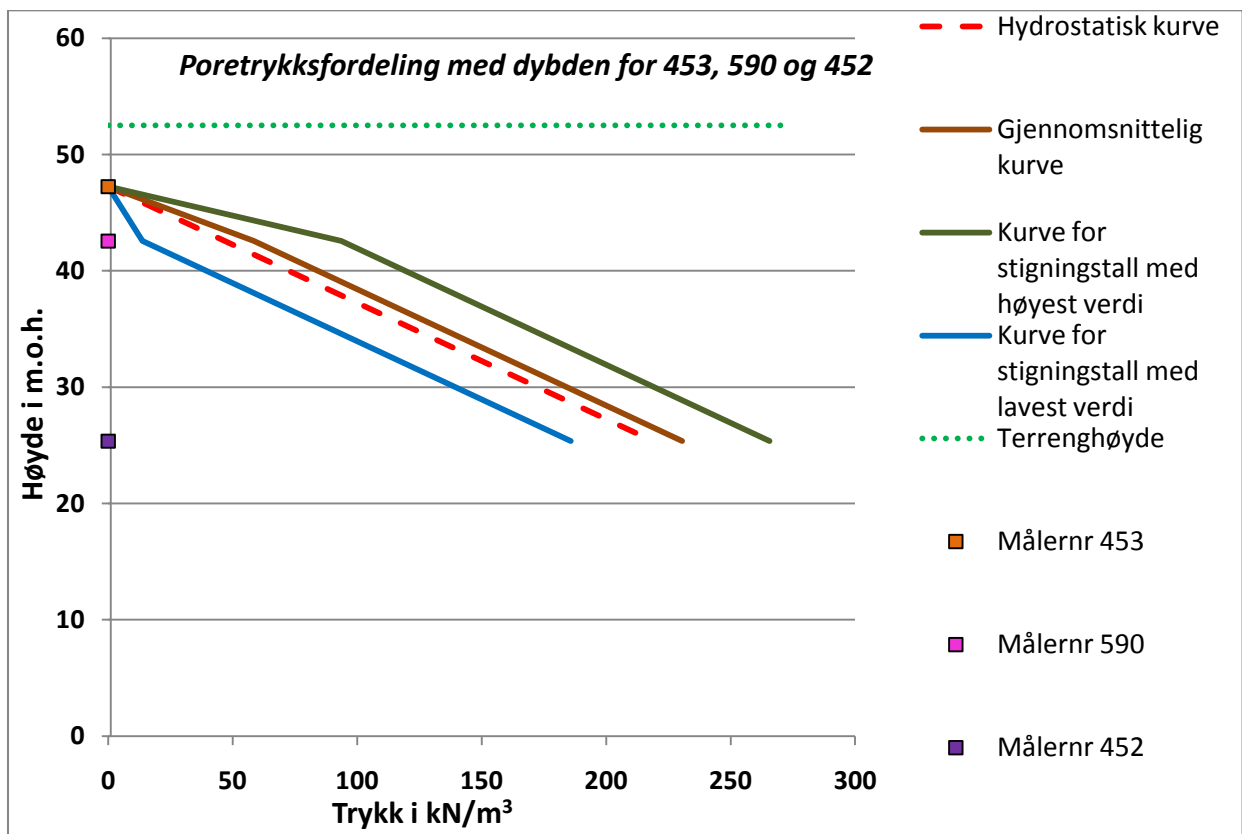
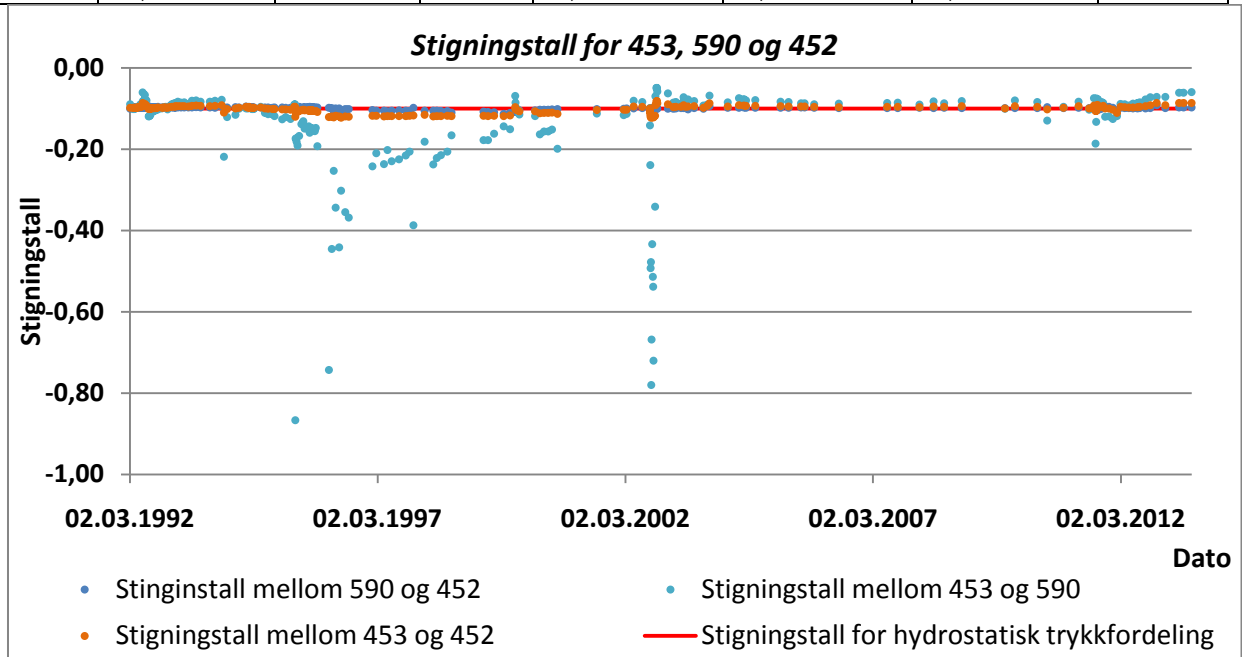
	Innmålings- høyde i meter over havet	Terreng- høyde	Fjell- høyde	Gjennom- snitt	Stigningstall med høyest verdi	Stigningstall med lavest verdi	Maks varia- sjon
565	41,5 m.o.h.	46,5 m.o.h.	34,5 m.o.h.	-0,14	-0,47	-0,06	0,41
564	34,4 m.o.h.						



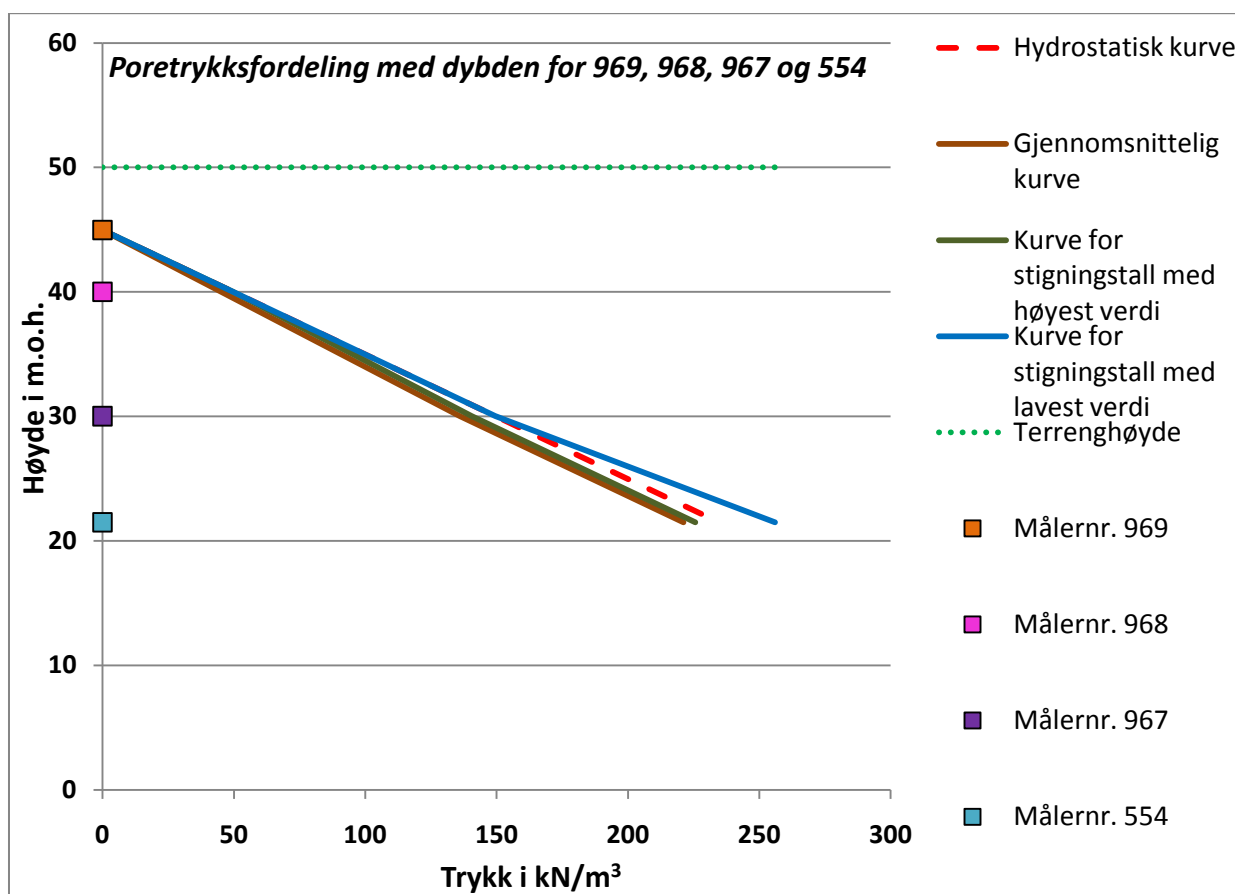
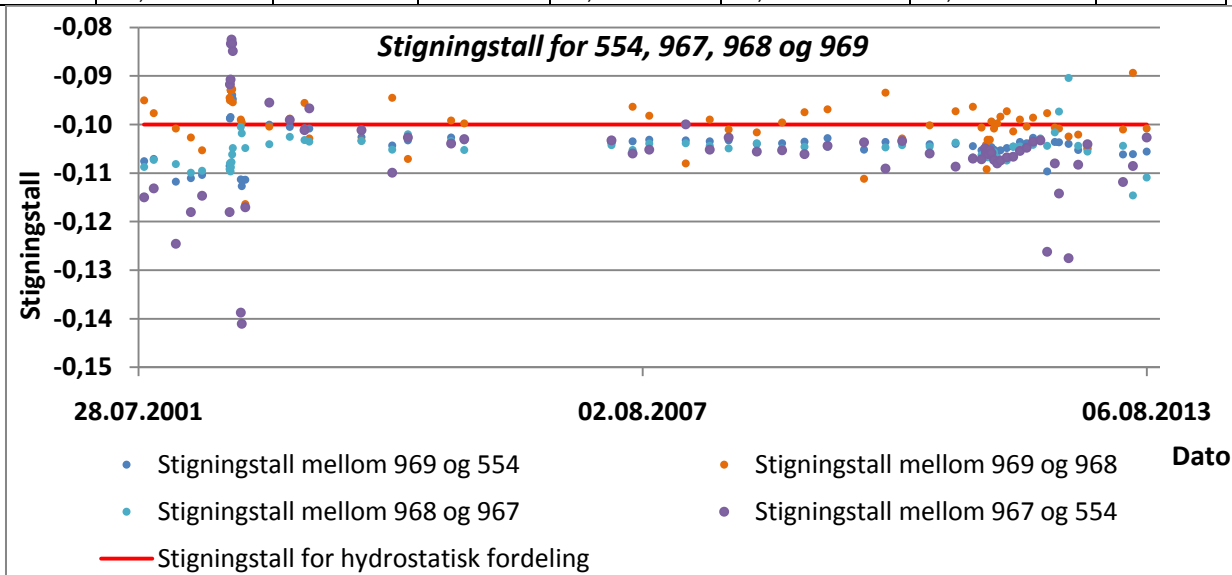
	Innmålings- høyde i meter over havet	Terreng- høyde	Fjell- høyde	Gjennomsni- tt (11.07.2000)	Stigningstall med høyest verdi (31.08.2007)	Stigningstall med lavest verdi (24.10.2011)	Maks Variasjo n
727	38,6 m.o.h.	52,65 m.o.h.	Ukjent	-0,12	-0,39	-0,06	0,33
728	37,7 m.o.h.						



	Innmålings- høyde i meter over havet	Terreng- høyde	Fjell- høyde	Gjennomsnitt (19.07.2012)	Stigningstall med høyest verdi (21.10.2002)	Stigningstall med lavest verdi (07.10.2002)	Maks Variasjo n
				-0,1	-0,08	-0,12	
453	47,24 m.o.h.	52,55 m.o.h.	25,36 m.o.h.				0,04
590	42,56 m.o.h.			-0,08	-0,05	-0,34	
452	25,56 m.o.h.			-0,1	-0,1	-0,1	



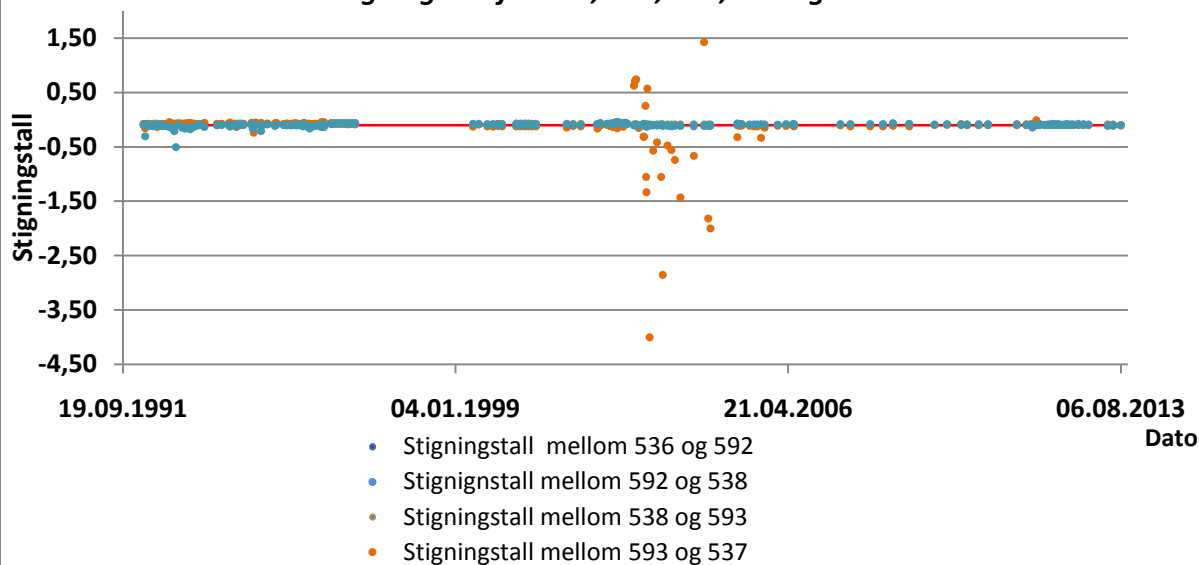
	Innmålings- høyde i meter over havet	Terreng- høyde	Fjell- høyde	Gjennom- snitt (20.11.2012)	Stigningstall med høyest verdi (06.08.2013)	Stigningstall med lavest verdi (12.09.2002)	Maks varia- sjon
				-0,1	-0,11	-0,09	
969	44,97 m.o.h.	50 m.o.h.	Ikke oppgitt				0,02
968	40 m.o.h.			-0,11	-0,1	-0,1	
967	30,02 m.o.h.			-0,11	-0,11	-0,1	
554	21,5 m.o.h.			-0,1	-0,1	-0,08	



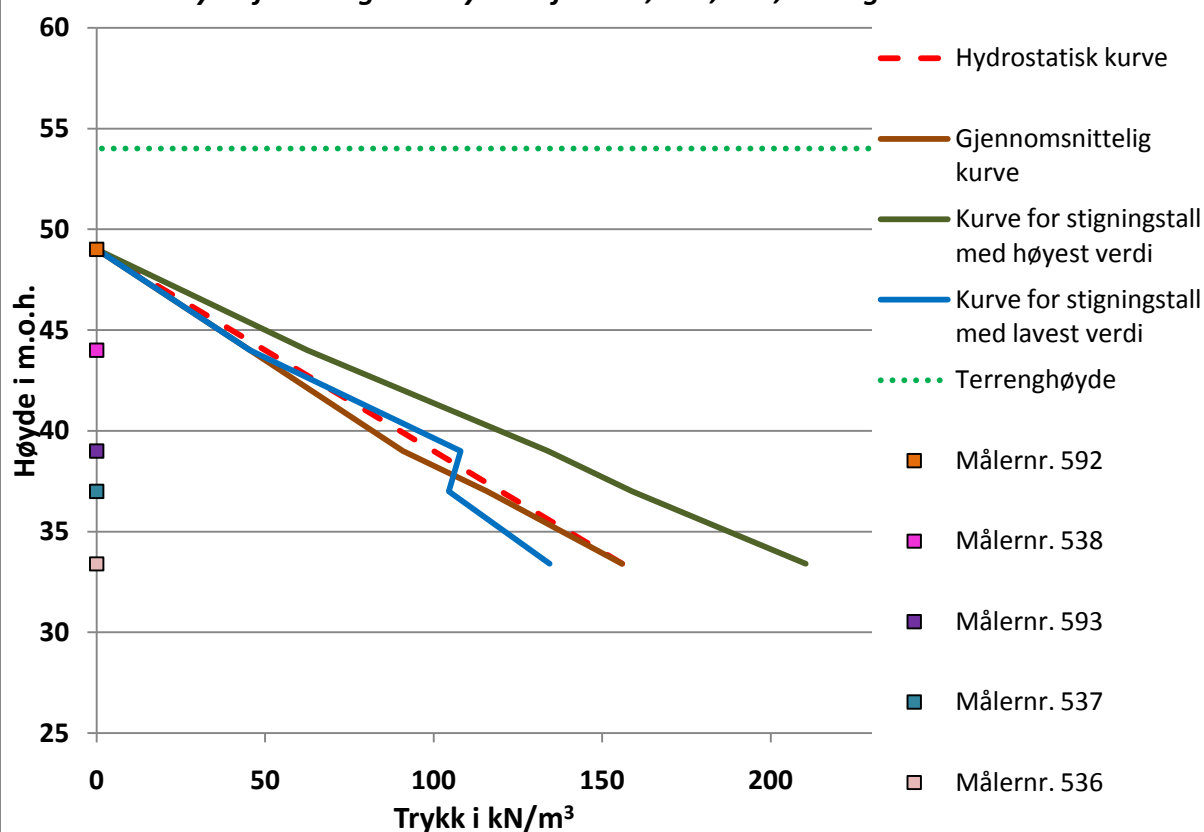


	Innmålings- høyde i meter over havet	Terreng- høyde	Fjell- høyde	Gjennom- snitt (24.04.2013)	Stigningstall med høyest verdi (24.03.2003)	Stigningstall med lavest verdi (20.03.2003)	Maks Varia- sjon
				-0,09	-0,07	-0,12	
592	49 m.o.h.	54 m.o.h.	33,5 m.o.h.				0,05
538	44 m.o.h.			-0,11	-0,08	-0,11	
593	39 m.o.h.			-0,11	-0,07	-0,08	
537	37 m.o.h.			-0,08	-0,08	0,57	
536	33,4 m.o.h.			-0,09	-0,07	-0,12	

**Stigningstall for 536, 537, 538, 592 og 593**



**Poretrykksfordeling med dybden for 536, 537, 538, 592 og 593**



# Vedlegg 12 - Digitaliserte borelogger til geologiske profiler

## A1-A1

ID	Terreng-start (m.o.h.)	Boring-avsluttet (m.o.h.)	Lengde (m)	Z (m.o.h.)	Intervall-slutt (m.o.h.)	Navn	Kode	Beskrivelse av jordarten
4991	46,20	15,60	2,50	46,20	43,70	Tørrskorpeleire	33	
4991	46,20	15,60	4,50	43,70	39,20	Leire	11	Middels bløt
4991	46,20	15,60	0,10	39,20	39,10	Sand	20	Sandlag
4991	46,20	15,60	0,50	39,10	38,60	Leire	11	Seig bløt
4991	46,20	15,60	0,15	38,60	38,45	Sand	20	Sandlag
4991	46,20	15,60	17,05	38,45	21,40	Leire	11	Bløt
4991	46,20	15,60	0,30	21,40	21,10	Grus	32	Gruslag og grov stein
4991	46,20	15,60	5,50	21,10	15,60	Leire	11	Bløt
4991	46,20	15,60		15,60		Slutt	999	
4992	46,20	14,60	2,50	46,20	43,70	Tørrskorpeleire	33	
4992	46,20	14,60	4,30	43,70	39,40	Leire	11	Middels bløt
4992	46,20	14,60	0,10	39,40	39,30	Sand	20	Sandlag
4992	46,20	14,60	15,50	39,30	23,80	Leire	11	Seig bløt
4992	46,20	14,60	0,10	23,80	23,70	Sand	20	Sandlag
4992	46,20	14,60	5,70	23,70	18,00	Leire	11	Bløt
4992	46,20	14,60	0,30	18,00	17,70	Grus	32	Gruslag og grov stein
4992	46,20	14,60	2,70	17,70	15,00	Leire	11	Bløt
4992	46,20	14,60	0,40	15,00	14,60	Sand	20	Sand på fjell
4992	46,20	14,60		14,60		Slutt	999	
4993	45,90	16,20	2,50	45,90	43,40	Tørrskorpeleire	33	
4993	45,90	16,20	25,20	43,40	18,20	Leire	11	Middels bløt
4993	45,90	16,20	0,20	18,20	18,00	Grus	32	
4993	45,90	16,20	1,00	18,00	17,00	Leire	11	Bløt
4993	45,90	16,20	0,80	17,00	16,20	Sand	20	Sand på fjell
4993	45,90	16,20		16,20		Slutt	999	
4994	45,40	17,25	2,50	45,40	42,90	Tørrskorpeleire	33	
4994	45,40	17,25	23,80	42,90	19,10	Leire	11	Middels bløt,
4994	45,40	17,25	0,10	19,10	19,00	Sand	20	Sandlag
4994	45,40	17,25	1,50	19,00	17,50	Leire	11	Bløt
4994	45,40	17,25	0,25	17,50	17,25	Sand	20	Sand på fjell
4994	45,40	17,25		17,25		Slutt	999	
83343	51,90	35,20	2,00	51,90	49,90	Tørrskorpeleire	33	
83343	51,90	35,20	14,70	49,90	35,20	Leire	11	Delvis siltlag ved 5 og 9 meters høyde
83343	51,90	35,20		35,20		Slutt	999	
83303233	54,00	50,10	2,00	54,00	52,00	Tørrskorpeleire	33	
83303233	54,00	50,10	1,90	52,00	50,10	Leire	11	
83303233	54,00	50,10		50,10		Slutt	999	
83471	47,40	5,10	0,50	47,40	46,90	Matjord	12	
83471	47,40	5,10	2,00	44,90	42,90	Tørrskorpeleire	33	
83471	47,40	5,10	39,80	42,90	5,10	Leire	11	Lag av mjele og mo, med skjellerester og til dels stein, grus og sand

## A2 - A2

ID	Terreng- start (m.o.h.)	Boring- avsluttet (m.o.h.)	Lengde (m)	Z (m.o.h.)	Intervall- slutt (m.o.h.)	Navn	Kode	Beskrivelse av jordarten
47152	52,00	47,10	1,00	52,00	51,00	Fyllmasse	13	
47152	52,00	47,10	1,00	51,00	50,00	Tørrskorpeleire	33	
47152	52,00	47,10	2,90	50,00	47,10	Leire	11	
47152	52,00	47,10		47,10		Slutt	999	
47121	51,90	42,30	1,00	51,90	50,90	Fyllmasse	13	
47121	51,90	42,30	2,00	50,90	48,90	Tørrskorpeleire	33	
47121	51,90	42,30	6,60	48,90	42,30	Leire	11	Bløt
47121	51,90	42,30		42,30		Slutt		
55311	45,30	30,70	3,10	45,30	42,20	Fyllmasse	13	
55311	45,30	30,70	2,10	42,20	40,10	Tørrskorpeleire	33	Fast stolpeler
55311	45,30	30,70	9,10	40,10	31,00	Leire	11	Bløt
55311	45,30	30,70	0,30	31,00	30,70	Sand	20	Bløt
55311	45,30	30,70		30,70		Slutt	999	
8376103	49,20	21,60	0,80	49,20	48,40	Fyllmasse	13	
8376103	49,20	21,60	3,00	48,40	45,40	Tørrskorpeleire	33	
8376103	49,20	21,60	8,00	45,40	37,40	Leire	11	Siltig
8376103	49,20	21,60	9,50	37,40	27,90	Kvikkleire	34	
8376103	49,20	21,60	0,30	27,90	27,60	Grus	32	Stein og grus
8376103	49,20	21,60		27,60	999,00	Slutt		

## A3-A3

ID	Terreng-start (m.o.h.)	Boring-avsluttet (m.o.h.)	Lengde (m)	Z (m.o.h.)	Intervall-slutt (m.o.h.)	Navn	Kode	Beskrivelse av jordarten
833054	48,60	36,50	1,90	48,60	46,70	Tørrskorpeleire	33	Silt, humus, oks.flekker, sandkorn
833054	48,60	36,50	0,30	46,70	46,40	Leire	11	Siltig, oks.flekker
833054	48,60	36,50	0,80	46,40	45,60	Leire	11	Siltig, sandig, enkelte gruskorn
833054	48,60	36,50	2,00	45,60	43,60	Leire	11	Siltig, enkelte sandkorn, humusflekker
833054	48,60	36,50	2,10	43,60	41,50	Kvikkleire	34	Siltig, enkelte sandkorn, humusflekker
833054	48,60	36,50	1,00	41,50	40,50	Kvikkleire	34	Siltig, sandig, gruskorn
833054	48,60	36,50	2,00	40,50	38,50	Kvikkleire	34	Siltig, skjellrester, humusflekker
833054	48,60	36,50	1,00	38,50	37,50	Kvikkleire	34	Siltig, enkelte gruskorn, humusflekker
833054	48,60	36,50	1,00	37,50	36,50	Kvikkleire	34	Siltig, sandig, enkelte gruskorn, stein
833054	48,60	36,50		36,50		Slutt	999	
833076	49,20	41,00	1,90	49,20	47,30	Tørrskorpeleire	33	
833076	50,20	42,00	1,00	47,30	46,30	Tørrskorpeleire	33	Leire, siltig, oks.flekker
833076	51,20	43,00	1,00	46,30	45,30	Leire	11	Siltig
833076	52,20	44,00	2,00	45,30	43,30	Leire	11	Siltig, enkelte sandkorn
833076	53,20	45,00	1,00	43,30	42,30	Leire	11	Siltig, enkelte sandkorn, enkelte gruskorn
833076	54,20	46,00	1,30	42,30	41,00	Leire	11	Siltig, enkelte sandkorn
833076	55,20	47,00		41,00		Slutt	999	
8330103	49,23	43,73	1,20	49,23	48,03	Matjord	12	Matjord, sand- og gruskorn, planterester
8330103	49,23	43,73	1,00	48,03	47,03	Leire	11	Siltig, oksiderende flekker, sandkorn, vannhull
8330103	49,23	43,73	2,00	47,03	45,03	Leire	11	Siltig, humusflekker, vannhull
8330103	49,23	43,73	1,00	45,03	44,03	Leire	11	Siltig, enkelte sand og gruskorn
8330103	49,23	43,73	0,30	44,03	43,73	Kvikkleire	34	Siltig, sandig, enkelte gruskorn, stein (kvikk)
8330103	49,23	43,73		47,03		Slutt	999	
833012115	52,20	44,70	1,40	52,20	50,80	Tørrskorpeleire	33	
833012115	53,20	45,70	0,10	50,80	50,70	Leire	11	Siltig, enkelte sandkorn
833012115	54,20	46,70	4,50	50,70	46,20	Leire	11	Siltig oks.stolpeler
833012115	55,20	47,70	1,00	46,20	45,20	Kvikkleire	34	Siltig oks.stolpeler
833012115	56,20	48,70	0,50	45,20	44,70	Kvikkleire	34	Siltig, sandig, gruskorn, stein
833012115	57,20	49,70		44,70		Slutt	999	

## B1-B1

ID	Terreng-start (m.o.h.)	Boring-avsluttet (m.o.h.)	Lengde (m)	Z (m.o.h.)	Intervall-slutt (m.o.h.)	Navn	Kode	Beskrivelse av jordarten
8330103	49,23	43,73	1,20	49,23	48	Matjord	12	Matjord, sand- og gruskorn, planterester
8330103	49,23	43,73	1,00	48,03	47	Leire	11	Siltig, oksiderende flekker, sandkorn, vannhull
8330103	49,23	43,73	2,00	47,03	45	Leire	11	Siltig, humusflekker, vannhull
8330103	49,23	43,73	1,00	45,03	44	Leire	11	Siltig, enkelte sand og gruskorn
8330103	49,23	43,73	0,30	44,03	44	Kvikkleire	34	Siltig, sandig, enkelte gruskorn, stein (kvikk)
8330103	49,23	43,73		47,03		Slutt	999	
832616	48,90	36,00	1,30	48,90	48	Fyllmasse	13	Pukk
832616	48,90	36,00	0,90	47,60	47	Tørrskorpeleire	33	
832616	48,90	36,00	2,10	46,70	45	Leire	11	
832616	48,90	36,00	0,30	44,60	44	Leire	11	Litt sand
832616	48,90	36,00	1,30	44,30	43	Leire	11	
832616	48,90	36,00	6,20	43,00	37	Kvikkleire	34	
832616	48,90	36,00	0,20	36,80	37	Kvikkleire	34	Sandig
832616	48,90	36,00	0,60	36,60	36	Kvikkleire	34	Litt grus
832616	48,90	36,00		36,00		Slutt	999	
8349	49,30	35,30	2,00	49,30	47	Tørrskorpeleire	33	
8349	49,30	35,30	12,00	47,30	35	Leire	11	
8349	49,30	35,30		35,30		Slutt	999	
832623	49,80	39,80	2,50	49,80	47	Fyllmasse	13	
832623	49,80	39,80	1,40	47,30	46	Tørrskorpeleire	33	
832623	49,80	39,80	1,10	45,90	45	Leire	11	Tørrskorpeklumper
832623	49,80	39,80	2,20	44,80	43	Leire	11	
832623	49,80	39,80	1,40	42,60	41	Kvikkleire	34	
832623	49,80	39,80	0,30	41,20	41	Kvikkleire	34	Noe sand
832623	49,80	39,80	0,40	40,90	41	Kvikkleire	34	
832623	49,80	39,80	0,70	40,50	40	Kvikkleire	34	Sandig, noe grus
832623	49,80	39,80		39,80		Slutt	999	

## B2-B2

ID	Terreng-start (m.o.h.)	Boring-avsluttet (m.o.h.)	Lengde (m)	Z (m.o.h.)	Intervall-slutt (m.o.h.)	Navn	Kode	Beskrivelse av jordarten
8330147	52,40	44,00	1,90	52,40	50,50	Matjord	12	Med skifer, sand og gruskorn
8330147	52,40	44,00	1,00	50,50	49,50	Tørrskorpeleire	33	
8330147	52,40	44,00	0,20	49,50	49,30	Tørrskorpeleire	33	Siltig oks.flekker
8330147	52,40	44,00	1,90	49,30	47,40	Leire	11	Siltig oks.flekker, vannhold
8330147	52,40	44,00	1,00	47,40	46,40	Leire	11	Siltig, sand- og gruskorn, skjellrester
8330147	52,40	44,00	2,00	46,40	44,40	Leire	11	Siltig, sandig, gruskorn
8330147	52,40	44,00	0,40	44,40	44,00	Leire	11	Blanding av leire og sand med enkelte gruskorn.
8330147	52,40	44,00		44,00		Slutt	999	
47116	51,90	44,50	2,50	51,90	49,40	Fyllmasse	13	
47116	51,90	44,50	1,50	49,40	47,90	Tørrskorpeleire	33	Stolpeler
47116	51,90	44,50	1,00	47,90	46,90	Leire	11	
47116	51,90	44,50	2,40	46,90	44,50	Leire	11	Bløt
47116	51,90	44,50		44,50		Slutt	999	
47111	51,80	40,60	2,50	51,80	49,30	Fyllmasse	13	Sten-fylling
47111	51,80	40,60	2,50	49,30	46,80	Leire	11	
47111	51,80	40,60	6,20	46,80	40,60	Leire	11	Bløt
47111	51,80	40,60		40,60		Slutt	999	
4717	51,50	37,40	2,00	51,50	49,50	Fyllmasse	13	
4717	51,50	37,40	1,00	49,50	48,50	Tørrskorpeleire	33	
4717	51,50	37,40	1,00	48,50	47,50	Leire	11	
4717	51,50	37,40	10,00	47,50	37,50	Leire	11	Bløt
4717	51,50	37,40	0,10	37,50	37,40	Sand	20	Fin
4717	51,50	37,40		37,40		Slutt	999	
4713	51,20	40,90	2,00	51,20	49,20	Fyllmasse	13	Fylling og omgravet
4713	51,20	40,90	2,00	49,20	47,20	Tørrskorpeleire	33	
4713	51,20	40,90	6,30	47,20	40,90	Leire	11	
4713	51,20	40,90		40,90		Slutt	999	
471106	51,00	37,30	1,50	51,00	49,50	Fyllmasse	13	
471106	51,00	37,30	2,50	49,50	47,00	Tørrskorpeleire	33	
471106	51,00	37,30	9,60	47,00	37,40	Leire	11	Bløt
471106	51,00	37,30	0,10	37,40	37,30	Grus	32	
471106	51,00	37,30		37,30		Slutt	999	

### B3-B3

ID	Terreng-start (m.o.h.)	Boring-avsluttet (m.o.h.)	Lengde (m.o.h.)	Z (m.o.h.)	Intervall-slutt (m.o.h.)	Navn	Kode	Beskrivelse av jordarten
83301920	52,10	45,90	2,00	52,10	50,10	Tørrskorpeleire	33	
83301920	52,10	45,90	1,00	50,10	49,10	Tørrskorpeleire	33	Siltig, humus, oks.flekker
83301920	52,10	45,90	1,00	49,10	48,10	Leire	11	Siltig, enkelte oks.flekker, sand- og gruskorn
83301920	52,10	45,90	1,00	48,10	47,10	Leire	11	Siltig, enkelte sandkorn, bløt
83301920	52,10	45,90	1,20	47,10	45,90	Leire	11	Siltig, enkelte sandkorn, enkelte gruskorn, bløt
83301920	52,10	45,90		45,90		Slutt	999	
47182	51,90	45,50	1,50	51,90	50,40	Fyllmasse	13	
47182	51,90	45,50	1,50	50,40	48,90	Tørrskorpeleire	33	Fast
47182	51,90	45,50	3,30	48,90	45,60	Leire	11	
47182	51,90	45,50	0,10	45,60	45,50	Grus	32	
47182	51,90	45,50		45,50		Slutt	999	
47184	51,80	45,50	2,00	51,80	49,80	Fyllmasse	12	
47184	51,80	45,50	1,00	49,80	48,80	Tørrskorpeleire	33	
47184	51,80	45,50	3,30	48,80	45,50	Leire	11	Bløt
47184	51,80	45,50		45,50		Slutt	999	
3971	50,60	38,80	0,50	50,60	50,10	Fyllmasse	13	
3971	50,60	38,80	2,50	50,10	47,60	Tørrskorpeleire	33	
3971	50,60	38,80	3,00	47,60	44,60	Leire	11	Middels bløt
3971	50,60	38,80	1,00	44,60	43,60	Leire	11	Bløt
3971	50,60	38,80	1,00	43,60	42,60	Leire	11	Meget bløt
3971	50,60	38,80	0,20	42,60	42,40	Grus	32	Grov
3971	50,60	38,80	3,60	42,40	38,80	Leire	11	Meget bløt
3971	50,60	38,80		38,80		Slutt	999	



## C1-C1

ID	Terreng-start (m.o.h.)	Boring-avsluttet (m.o.h.)	Lengde (m)	Z (m.o.h.)	Intervall-slutt (m.o.h.)	Navn	Kode	Beskrivelse av jordarten
55311	45,30	30,70	3,10	45,30	42,20	Fyllmasse	13	
55311	45,30	30,70	2,10	42,20	40,10	Tørrskorpeleire	33	
55311	45,30	30,70	9,10	40,10	31,00	Leire	11	Bløt
55311	45,30	30,70	0,30	31,00	30,70	Sand	20	Bløt
55311	45,30	30,70		30,70		Slutt	999	
5532	44,50	33,70	3,40	44,50	41,10	Tørrskorpeleire	33	Fast stolpeler
5532	45,50	34,70	7,20	41,10	33,90	Leire	11	Bløt
5532	46,50	35,70	0,20	33,90	33,70	Sand	20	Grov
5532	47,50	36,70		33,70		Slutt	999	
55321	46,40	37,20	3,30	46,40	43,10	Tørrskorpeleire	33	Fast stolpeler
55321	46,40	37,20	5,90	43,10	37,20	Leire	11	
55321	46,40	37,20		37,20		Slutt	999	
832623	49,80	39,80	2,50	49,80	47,30	Fyllmasse	13	
832623	49,80	39,80	1,40	47,30	45,90	Tørrskorpeleire	33	
832623	49,80	39,80	1,10	45,90	44,80	Leire	11	Tørrskorpeklumper
832623	49,80	39,80	2,20	44,80	42,60	Leire	11	
832623	49,80	39,80	1,40	42,60	41,20	Kvikkleire	34	
832623	49,80	39,80	0,30	41,20	40,90	Kvikkleire	34	Noe sand
832623	49,80	39,80	0,40	40,90	40,50	Kvikkleire	34	
832623	49,80	39,80	0,70	40,50	39,80	Kvikkleire	34	Sandig, noe grus
832623	49,80	39,80		39,80		Slutt	999	

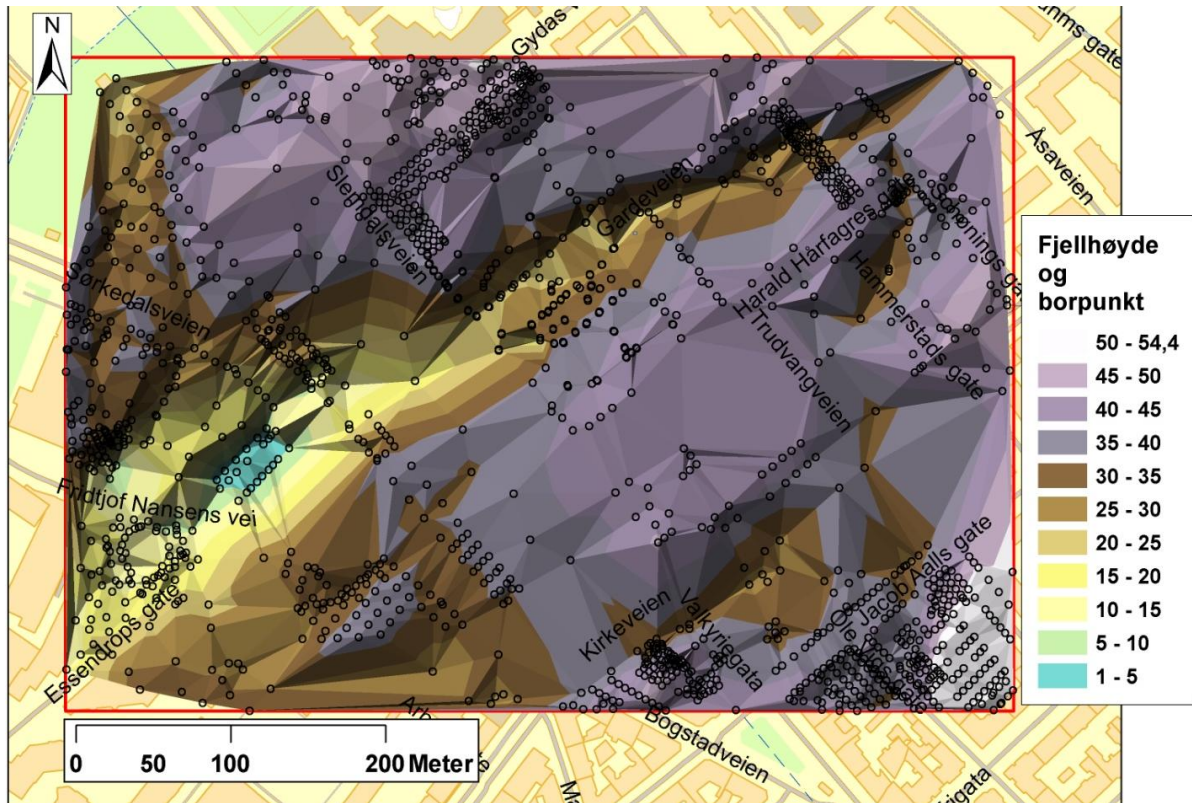
## C2-C2

ID	Terreng-start (m.o.h.)	Boring-avsluttet (m.o.h.)	Lengde (m)	Z (m.o.h.)	Intervall-slutt (m.o.h.)	Navn	Kode	Beskrivelse av jordarten
5537	48,10	35,70	3,40	48,10	44,70	Tørrskorpeleire	33	Stolpeler (noget bløtere)
5537	48,10	35,70	8,95	44,70	35,75	Leire	11	Bløt
5537	48,10	35,70	0,05	35,75	35,70	Sand	20	
5537	48,10	35,70		35,70		Slutt	999	
112812	49,00	15,30	0,50	49,00	48,50	Fyllmasse	13	
112812	49,00	15,30	1,50	48,50	47,00	Tørrskorpeleire	33	Fast stolpeler
112812	49,00	15,30	4,50	47,00	42,50	Leire	11	Halvfast
112812	49,00	15,30	1,00	42,50	41,50	Leire	11	Leire med sandlag
112812	49,00	15,30	2,00	41,50	39,50	Sand	20	Sand med leirlag
112812	49,00	15,30	2,50	39,50	37,00	Leire	11	Fin, halvfast
112812	49,00	15,30	16,00	37,00	21,00	Leire	11	
112812	49,00	15,30	1,00	21,00	20,00	Grus	32	Gruslag
112812	49,00	15,30	3,40	20,00	16,60	Leire	11	
112812	49,00	15,30	0,80	16,60	15,80	Morene	35	
112812	49,00	15,30	0,50	15,80	15,30	Grus	32	Grusblanding
112812	49,00	15,30		15,30		Slutt	999	
8349	49,30	35,30	2,00	49,30	47,30	Tørrskorpeleire	33	
8349	49,30	35,30	12,00	47,30	35,30	Leire	11	
8349	49,30	35,30		35,30		Slutt	999	
3971	50,60	38,80	0,50	50,60	50,10	Fyllmasse	13	
3971	50,60	38,80	2,50	50,10	47,60	Tørrskorpeleire	33	
3971	50,60	38,80	3,00	47,60	44,60	Leire	11	Middels bløt
3971	50,60	38,80	1,00	44,60	43,60	Leire	11	Bløt
3971	50,60	38,80	1,00	43,60	42,60	Leire	11	Meget bløt
3971	50,60	38,80	0,20	42,60	42,40	Grus	32	Grov
3971	50,60	38,80	3,60	42,40	38,80	Leire	11	Meget bløt
3971	50,60	38,80		38,80		Slutt	999	

## C3-C3

ID	Terreng-start (m.o.h.)	Boring-avsluttet (m.o.h.)	Lengde (m)	Z (m.o.h.)	Intervall-slutt (m.o.h.)	Navn	Kode	Beskrivelse av jordarten
832216	49,30	36,80	1,00	49,30	48,30	Tørrskorpeleire	33	
832216	49,30	36,80	3,20	48,30	45,10	Leire	11	
832216	49,30	36,80	0,40	45,10	44,70	Leire	11	Sand
832216	49,30	36,80	2,60	44,70	42,10	Leire	11	
832216	49,30	36,80	0,40	42,10	41,70	Leire	11	Grus
832216	49,30	36,80	0,60	41,70	41,10	Leire	11	
832216	49,30	36,80	2,80	41,10	38,30	Leire	11	Noe silt
832216	49,30	36,80	1,20	38,30	37,10	Leire	11	Grus
832216	49,30	36,80	0,30	37,10	36,80	Leire	11	Sandlag - grus
832216	49,30	36,80		36,80		Slutt	999	
471100	51,10	42,00	1,50	51,10	49,60	Fyllmasse	13	
471100	51,10	42,00	3,50	49,60	46,10	Tørrskorpeleire	33	Stolpeler
471100	51,10	42,00	4,00	46,10	42,10	Leire	11	Bløt
471100	51,10	42,00	0,10	42,10	42,00	Grus	32	
471100	51,10	42,00		42,00		Slutt	999	
836012	51,10	29,00	0,70	51,10	50,40	Fyllmasse	13	Fyllmasser med stein
836012	51,10	29,00	0,50	50,40	49,90	Silt	21	Oksydert
836012	51,10	29,00	2,60	49,90	47,30	Tørrskorpeleire	33	Oksydert
836012	51,10	29,00	0,70	47,30	46,60	Leire	11	Siltig, enkelte skjellrester
836012	51,10	29,00	1,50	46,60	45,10	Leire	11	Siltig, enkelt oks. flekker
836012	51,10	29,00	3,00	45,10	42,10	Leire	11	Siltig, enkelte gruskorn og stein
836012	51,10	29,00	0,10	42,10	42,00	Leire	11	Siltig, siltlag
836012	51,10	29,00	5,90	42,00	36,10	Leire	11	Siltig, enkelte gruskorn og stein
836012	51,10	29,00	4,60	36,10	31,50	Leire	11	Siltig, enkelte gruskorn
836012	51,10	29,00	1,40	31,50	30,10	Leire	11	Sandig
836012	51,10	29,00	1,10	30,10	29,00	Leire	11	Siltig, sandig, med stein
836012	51,10	29,00		29,00		Slutt	999	
83603	51,20	41,00	2,00	51,20	49,20	Fyllmasse	13	
83603	51,20	41,00	2,00	49,20	47,20	Tørrskorpeleire	33	
83603	51,20	41,00	0,90	47,20	46,30	Tørrskorpeleire	33	Fast, delvis oksydert
83603	51,20	41,00	4,00	46,30	42,30	Leire	11	
83603	51,20	41,00	1,10	42,30	41,20	Kvikkleire	34	Grusholdig.
83603	51,20	41,00	0,20	41,20	41,00	Kvikkleire	34	Grus- og sandholdig.
83603	51,20	41,00		41,00		Slutt	999	

## Vedlegg 13 – Fjellterrengmodell til bruk ved kvartærgeologiske profiler



Figur 1. Figuren viser fjellterrengmodellen som er brukt til kvartærgeologiske profiler. De boringer som er benyttet er markert inn. Modellen er laget ved hjelp av triangulering i ArcGIS.