

BERGEN KOMMUNE

## MILJØTEKNISKE GRUNNUNDERSØKELSER OG RISIKOVURDERING VED SLETTEBAKKEN

DEL-1

29.11.2006

**DOKUMENTINFORMASJON**

**ASPLAN VIAK AS, TRONDHEIM**  
Postboks 6723  
7031 Trondheim  
Telefon: 73 94 97 97  
Telefaks: 73 94 97 90  
www.asplanviak.no  
NO 910 209 205 MVA

Oppdragsgiver:	Bergen kommune
Oppdrag:	Slettebakken - Miljørisikovurdering
Oppdrag nummer:	510089
Rapportnavn:	Miljøtekniske grunnundersøkelser og risikovurdering ved Slettebakken Del-1 29.11.2006
Versjon:	1
Nøkkelord:	Gammel avfallsfylling, grunnundersøkelser, overvåkingsbrønner, tungmetaller, olje, PAH, PCB, risikovurdering, tiltaksvurdering
Arkiv (filnavn):	O:\510089\Leveranse\Miljøtekniske grunnundersøkelser og risikovurdering ved Slettebakken Del 1 (versjon 1).doc
Oppdragsansvarlig:	Olav Turøy
Medarbeider/Forfatter:	Rolf E. Forbord
Medarbeider/KS:	Ola Nordal
Egenkontroll:	Rolf E. Forbord
Dato, signatur:	
Sidemannskontroll:	Ola Nordal
Dato, signatur:	

**INNHOLDSFORTEGNELSE**

	Side
1	INNLEDNING ..... 1
1.1	Formål ..... 1
1.2	Bakgrunn ..... 1
1.3	Grunnlagsmateriale ..... 1
1.4	Gjennomføring ..... 2
2	PROBLEMBESKRIVELSE ..... 3
2.1	Områdebeskrivelse, eksisterende og planlagt arealbruk ..... 3
2.2	Kildebeskrivelse ..... 7
3	RESULTATER FRA GRUNNUNDERSØKELSENE ..... 10
3.1	Odex-boringer og georadarmålinger ..... 10
3.2	Etablering av overvåkingsbrønner og kartlegging av grunnvann/sigevann ..... 12
3.3	Bilder av avfallsmassene tatt under graving ved Gimlehallen ..... 17
4	ANALYSERESULTATER ..... 18
4.1	Prøvetaking, prøveomfang og analyseparametere ..... 18
4.2	Tungmetaller i jordprøver ..... 21
4.3	Hydrokarboner, PAH og PCB i jordprøver ..... 25
4.4	Tungmetaller i sedimentprøver ..... 29
4.5	Olje, PAH, PCB og klorbenzener i sedimentprøver ..... 29
4.6	Feltmålinger av elektrisk ledningsevne i grunnvann, sigevann og bekkevann ..... 30
4.7	Karakteriserende parametere i grunnvann/sigevann og bekkevann ..... 32
4.8	Tungmetaller i grunnvann/sigevann og bekkevann ..... 33
4.9	Organiske forbindelser i grunnvann/sigevann og bekkevann ..... 34
5	AREALER MED FORURENSET JORD OG MILJØMÅL FOR LOKALITETEN ..... 36
5.1	Arealer med forurenset jord ..... 36
5.2	Miljøsmål for lokaliteten ..... 36
6	RISIKOVURDERING – TRINN 1 ..... 37
7	RISIKOVURDERING – TRINN 2 ..... 38
7.1	Identifisering av uønskede hendelser på lokaliteten ..... 38
7.2	Kilde/arealanalyse ..... 39
7.3	Sprednings-/transportanalyse ..... 39
7.4	Eksponeringsanalyse ved aktuell arealbruk ..... 40
7.5	Konsekvens ..... 41
8	OPPSUMMERING ..... 43
9	KONKLUSJON ..... 45
10	AKTUELLE TILTAK ..... 46

**FIGURLISTE**

Figur 1. Oversiktskart med lokalisering av det nedlagte deponiet på Slettebakken.....	3
Figur 2. Utsnitt fra flyfoto (Bergen kommune) med dagens arealbruk samt avgrensning av avfallsplassen. ....	4
Figur 3. Kartutsnitt med aktuelle prosjekter i området ved og på den gamle avfallsplassen. ....	5
Figur 4. Kartutsnitt med deponiområdets nedbørfelt.....	6
Figur 5. Utsnitt fra flyfoto fra 1963 som viser deponiets utstrekning etter avslutning i 1961.....	7
Figur 6. Utsnitt av kart fra 1951 med deponiets totale utstrekning, opprinnelig bekkeleie og eksisterende bekkelukning. ....	8
Figur 7. Kartutsnitt med avgrensning av deponiet .....	9
Figur 8. Kartutsnitt med alle relevante boringer og brønner i området. ....	10
Figur 9. Profilbeskrivelser fra boring P1-P11 med prøvetakingsnivåer, overvåkingsbrønner og grunnvannsnivå inntegnet ....	11
Figur 10. Utforming av overvåkingsbrønner.....	12
Figur 11. Grunnvannets strømningsmønster 16. september 2006. ....	13
Figur 12. Vertikalsnitt mellom P3 og P6 med brønner, grunnvannsnivå og grunnforhold inntegnet.....	14
Figur 13. Vertikalsnitt mellom P0 i sør og P9 i nord ved Bergenshallen. ....	15
Figur 14. Kartutsnitt med grunnvannsnivå 1. november 2006 og kotehøyder for fjelloverflaten langs deponiet. ....	16
Figur 15. Bilde fra gravearbeider ved Gimlehallen. Jern, glass og organisk materiale blandet med stein, sand og jord.....	17
Figur 16. Bilde fra gravearbeider ved Gimlehallen. Teglstein, glassflasker, sand og grus. ....	17
Figur 17. Boring med uttak av masseprøver på Slettebakken – september 2006.....	19
Figur 18. Pumping av grunnvannsprøve fra P6 på Slettebakken – september 2006 .....	19
Figur 19. Kartutsnitt med prøvetakingspunkter i og ved den gamle avfallsfyllingen på Slettebakken.. ....	20
Figur 20. Konsentrasjon av bly i jordprøver fra ca. 1-3 meters dyp i området .....	22
Figur 21. Konsentrasjon av kobber i jordprøver fra ca. 1-3 meters dyp i området.....	23
Figur 22. Konsentrasjon av kvikksølv i jordprøver fra ca. 1-3 meters dyp i området.....	24
Figur 23. Konsentrasjon av olje (C <sub>12</sub> -C <sub>35</sub> ) i jordprøver fra ca. 1-3 meters dyp i området. ....	26
Figur 24. Konsentrasjon av PAH-forbindelsen fluoranten i jordprøver fra ca. 1-3 meters dyp i området.....	27
Figur 25. Konsentrasjon av PCB-7 i jordprøver fra 1-3 meters dyp i området.....	28
Figur 26. Kartutsnitt med strømningsbilde og elektrisk ledningsevne i grunnvann/sigevann og bekkevann 16 sept. 06 .....	30
Figur 27. Kartutsnitt med strømningsbilde og elektrisk ledningsevne i grunnvann/sigevann og bekkevann 1 nov.. 06 .....	31
Figur 28. Prosentandel ammonium mot total Nitrogen. ....	32
Figur 29. Areal med forurenset masse.....	36
Figur 30. Eksponeringsskjema til utvelgelse av aktuelle eksponeringsveier på lokaliteten. ....	38
Figur 31. PCB-profiler i sedimentprøver fra Tveitevatnet (NIVA), sediment fra kum/bekkelukking og jordprøver fra deponiet .44	
Figur 32. Kartutsnitt med 3 alternative plasseringer av fangdam for oppsamling av sigevann og dyp til fjell ved boringer. ....	47
Figur 33. Vertikalsnitt med plassering av fangdam, Alternativ I .....	48
Figur 34. Vertikalsnitt med plassering av fangdam, alternativ II. ....	48

**TABELLER**

Tabell 1. Tungmetaller i jordprøver (mg/kg) oppstrøms, inne i og nedstrøms deponiet. Verdier over normverdi i rødt.....	21
Tabell 2. Olje (C <sub>12</sub> -C <sub>35</sub> ), PCB og PAH i jordprøver oppstrøms, inne i og nedstrøms deponiet. ....	25
Tabell 3. Tungmetaller i sedimentprøver - klassifisering etter tilstandsklasser fra SFT 97:04.....	29
Tabell 4. Olje, PCB, PAH og klorbenzener i sedimentprøver – klassifisering etter tilstandsklasser fra SFT 97:03.....	29
Tabell 5. Karakteriserende parametere i grunnvann/sigevann og bekkevann.....	32
Tabell 6. Tungmetaller i grunnvann/sigevann og bekkevann.....	33
Tabell 7. Organiske forbindelser i grunnvann-/sigevann.....	34
Tabell 8. Målte og beregnede konsentrasjoner i vann ved spredning fra kilden.....	39
Tabell 9. Beregnede stedsspesifikke akseptkriterier for human helse (C <sub>he</sub> ) for deponiområdet ved eksisterende arealbruk ....	40
Tabell 10. Beregnede stedsspesifikke akseptkriterier for human helse og målte konsentrasjoner i jord.....	41
Tabell 11. Beregnet konsentrasjon av hydrokarboner, kvikksølv, PAH og PCB i inneluft .....	42

**VEDLEGG I SEPARAT VEDLEGGSEDEL (del-2)**

- Vedlegg 1. Koordinater, høyder med mer for overvåkingsbrønner ved Slettebakken
- Vedlegg 2. Analyserapporter fra Eurofins AS
- Vedlegg 3. Utskrift av beregninger etter SFT 99:01 (alle prøver)
- Vedlegg 4. Utskrift av beregninger etter SFT 99:01 (overflateprøver)

# 1 INNLEDNING

## 1.1 Formål

Asplan Viak AS er engasjert av Bergen kommune for å utføre miljøtekniske grunnundersøkelser ved det nedlagte avfallsdeponiet på Slettebakken.

Formålet med undersøkelsene er:

- a) Fremskaffe og kontrollere data om deponiets utbredelse og gi en status mht forurensede masser og grunnvann på arealene
- b) Foreslå miljømål og utføre stedsspesifikk risikovurdering i henhold til eksisterende og planlagt arealbruk
- c) Med utgangspunkt i miljømål for området avgjøre om og hvilke tiltak som er aktuelle
- d) Fremskaffe data for planlegging av aktuelle miljøtiltak

## 1.2 Bakgrunn

Bergen kommune har fått utarbeidet en saneringsplan for Fjøsangervassdraget. I denne planen er det satt som mål at Tveitevannet skal ha badevannskvalitet. Bunnsedimentene i Tveitevatnet har meget høye konsentrasjoner av miljøgiften PCB. I denne forbindelse er gjennomført flere større prosjekter med blant annet sanering og separering av overvann og avløp i Vilhelm Bjerknesvei og i Hagerupsvei/Nattlandsveien for å redusere vannmengden som går via overløp til Tveitevannet.

Det nedlagte avfallsdeponiet på Slettebakken er en annen forurensingskilde som drenerer til Tveitevannet. Den gamle avfallsfyllingen ble anlagt uten bunntetting eller oppsamlingssystem for sigevann. Deponiet har vært benyttet av Bergen kommune fra 1940 til 1961. I denne forbindelse har Asplan Viak AS tidligere fått i oppdrag å utarbeide et forenklet forprosjekt med foreløpig kostnads kalkyle for planlagte miljøtiltak for å redusere eller stanse lekkasjen fra deponiet.

I forbindelse med dette forprosjektet er følgende tiltak skissert av Bergen kommune:

- Etablering av avskjærende grøfter rundt deponiet for å hindre overvann inn i avfallsmassene
- Etablering av fangdam(mer) nedstrøms deponiet for å hindre ukontrollert sigevann fra deponiet til Tveitevannet.
- Vurdere bruk av eksisterende overvannsledning som drensledning for sigevannet fra deponiet.
- Eventuell tildekking av deponiet vurderes for å minske vanngjennomstrømmingen gjennom avfallsmassene.
- Sigevann fra deponiet tilknyttes kommunalt avløpsnett.
- Overvann tilknyttes eksisterende bekeledning til Tveitevannet.

De miljøtekniske grunnundersøkelsene beskrevet i denne rapport er blant annet utført for å fremskaffe datagrunnlag for dette arbeidet.

## 1.3 Grunnlagsmateriale

- Tekniske kart i målestokk 1:1000 og 1:2000
- Økonomiske kart i målestokk 1:1000 fra 1948 og 1951
- Flybilder , vertikalfoto fra 1951, 1963 og 1970 levert av TerraTec AS (Statens kartverk)
- Avrenningskart, NVE
- Grunnundersøkelser og miljøtekniske grunnundersøkelser, Bergen kommune, Storhall Slettebakken, NOTEBY 28.05.1998

## 1.4 Gjennomføring

Feltarbeidet ble utført i perioden 11. til 16 september 2006, og omfattet:

- Områdebefaring og orienterende georadarmålinger
- 11 stk. Odex-boringer med profilbeskrivelser og prøvetaking mot dypet.
- Etablering av 10 overvåkingsbrønner for måling av grunnvannsnivå og uttak av grunnvanns-/sigevannsprøver
- Renpumping, forpumping, feltmålinger og uttak av grunnvannsprøver
- Testing av massenes permeabilitet i form av Slug-tester i utvalgte brønner
- Uttak av bekkesediment og bekkeprøver oppstrøms og nedstrøms deponiet

Selve borearbeidet ble utført av Vestnorsk Brunnboring AS. Analyser på uttatte jord-, sediment og vannprøver er utført av Eurofins AS.

Bergen kommune v/ Fritz Hafner har bistått med Slugtester og uttak av prøver fra bekken oppstrøms og nedstrøms deponiet.

I risikovurderingen er alle relevante data fra både tidligere undersøkelser (NOTEBY 1998) og boringer utført i forbindelse med den planlagte bybanen gjennomgått og benyttet.

## 2 PROBLEMBESKRIVELSE

### 2.1 Områdebeskrivelse, eksisterende og planlagt arealbruk

Det undersøkte området ligger på Slettebakken i søndre del av Bergen. Den nedlagte avfallsplassen drenerer mot Tveitevatnet, som ligger 110 meter øst for deponiområdet. Selve deponiooverflaten utgjør i dag en flate mellom kote 69 og 70, mens Tveitevatnet ligger på kote 49.

Generelt er Bergensområdet preget av fjellkoller og knauser med smale løsmassefylte dalsøkk mellom. Den dominerende retning på dalsøkkene er NV-SØ. De vanligst forekommende løsmassetyper er torv eller myr over grus, sand og silt. Over fjellet finner man ofte et fast og velgradert morenelag (bergensleire). Marin grense ligger omtrent på kote 40.



Figur 1. Oversiktskart med lokalisering av det nedlagte deponiet på Slettebakken

Den gamle avfallsplassen ligger i det som opprinnelig var et N-S gående dalsøkk rett øst for Vilhelm Bjerknesvei. Langs veien ser man flere steder fjell i dagen.

Arealene som utgjorde avfallsplassen på slettebakken ble regulert til idrettsområde allerede i 1963. Man finner i dag 5 fotballbaner oppå det gamle deponiet, se figur 2. Arealene vil bli benyttet som idrettsområde, også i fremtiden.

Idrettshallene Turnkassen og Gimlehallen ligger hhv helt eller delvis inne på avfallsfyllingen, uten at man har brakt på det rene hvorvidt avfallsmassene helt eller delvis ble skiftet ut under byggene før byggeprosessen. Også klubbhuset til Idrettslaget Trane kan dels ligge inne på avfallsfyllingen.



Figur 2. Utsnitt fra flyfoto (Bergen kommune) med dagens arealbruk samt avgrensning av avfallsplassen.

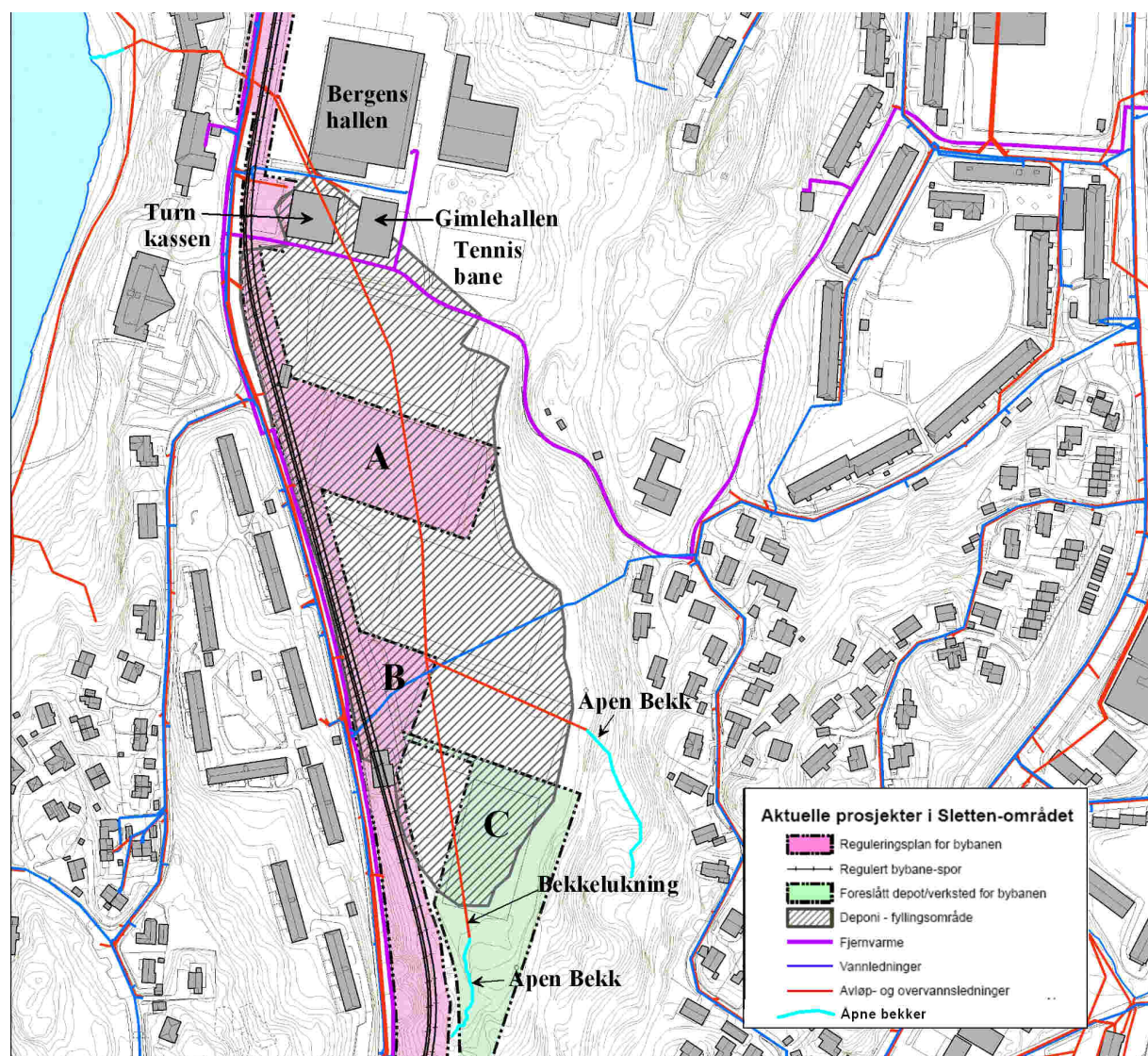
Traseen til bybanen øst for/inntil Vilhelm Bjerknesvei går i ytterkanten av det gamle deponiet, se figur 3. Det er påvist avfallsmasser i boringene langs traseen.

Reguleringsplanen for den nye bybanen omfatter også arealer inne på deponioverflaten-/fotballbanene (se rosa arealer på figur 3 neste side). Området merket A er med i planen fordi bybanen medfører at denne fotballbanen må flyttes noe østover, mens område B omfatter klubbhuset til idrettslaget Trane, som også må flyttes. I området merket C er det planlagt riggområde for selve anleggsfasen.

I tillegg ønsker bybanen å legge sprengstein fra anleggsarbeidet utover søndre del av deponioverflaten.

Etter at bybaneprojektet er sluttført vil arealene fortsatt bli brukt til idrettsformål.





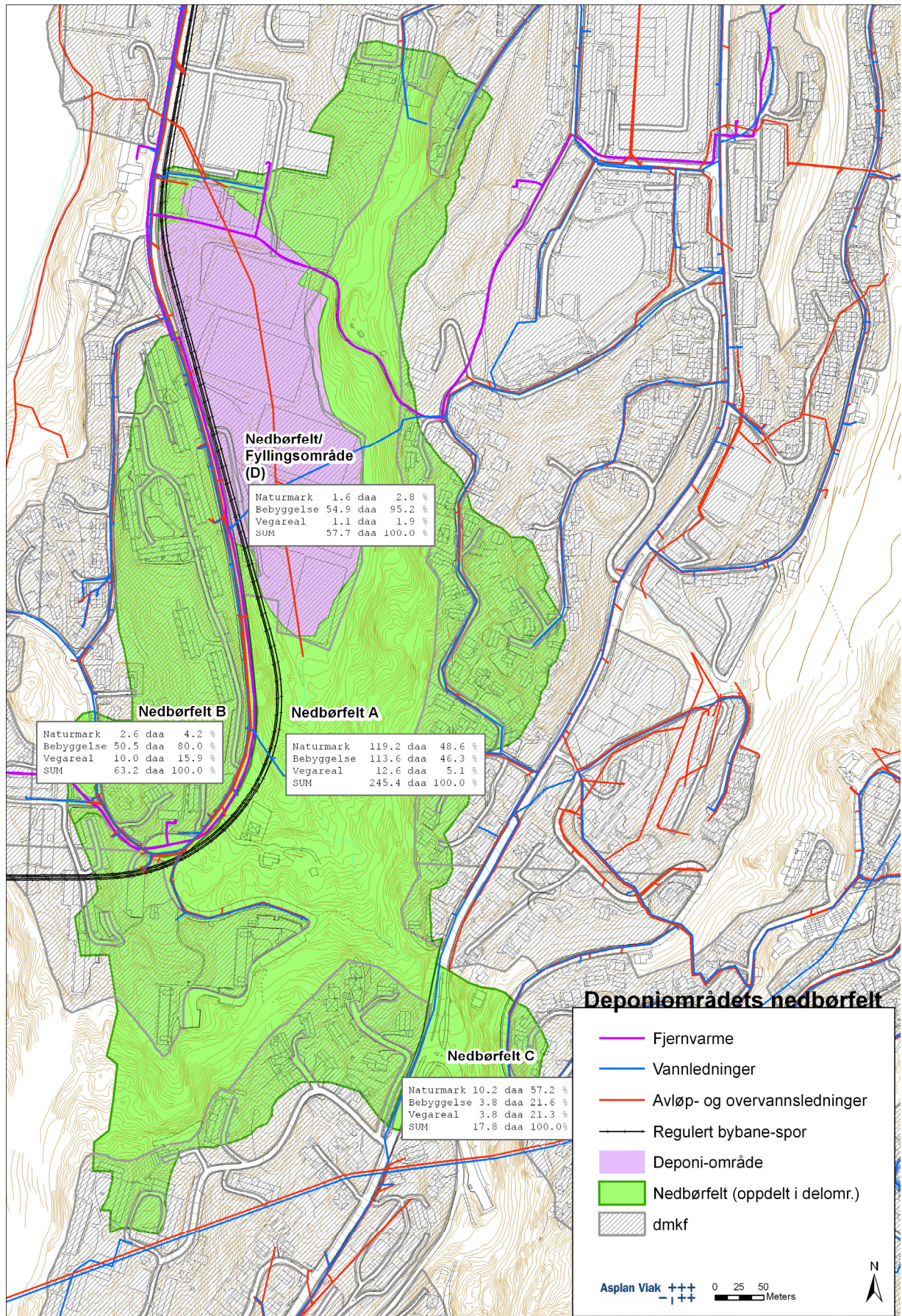
Figur 3. Kartutsnitt med aktuelle prosjekter i området ved og på den gamle avfallsplassen.

Spesifikk avrenning for området på Slettebakken er  $67 \text{ l/s km}^2(\text{NVE})$ , noe som tilsvarer en nettonedbør på  $2113 \text{ mm/år}$ .

Tveitevatnet er en del av Fjøsangervassdraget som drenerer ut i Nordåsvannet. Nedslagsfeltet er av størrelsesorden  $2 \text{ km}^2$ , og midlere vannføring ved utløpet av vannet er av størrelsesorden  $134 \text{ l/s}$ . Deponiområdets nedbørfelt inkludert selve deponioverflaten er totalt sett av størrelsesorden  $353 \text{ dekar}$ , se figur 4. neste side. Midlere avrenning fra det totale nedslagsfeltet ut i Tveitevatnet er dermed av størrelsesorden  $23 \text{ l/s}$ .

Bekkelukkingen som går gjennom fyllingen tar inn vann fra 2 bekker/vannsig i ytterkant av banene, henholdsvis sør for og på østsiden av banene (se figur 3). I tillegg er overvannssystemet på banene tilknyttet den samme ledningen. Bekkelukkingen drenerer ut i Tveitevatnet vest for Bergenshallen.

Såfremt man tar vekk bebygde områder og veiareal hvor overvann samles opp, er delnedbørfeltet som drenerer mot deponiet av størrelsesorden  $120 \text{ dekar}$ , mens selve deponioverflaten er ca.  $58 \text{ dekar}$ . Forutsetter man eksempelvis at  $75\%$  av avrenningen fra delnedbørfeltet og  $50\%$  av nettonedbøren på deponioverflaten bidrar til sigevannsdannelse, medfører dette en sigevannsmengde på  $8 \text{ l/s}$ . Eksemplet forutsetter at  $25\%$  av avrenningen fra delnedbørfeltet går via bekkelukking og  $50\%$  av nedbøren på deponioverflaten fanges opp av overvannssystemet.



Figur 4. Kartutsnitt med deponiområdets nedbørfelt.

## 2.2 Kildebeskrivelse

Avgrensningen av deponiområdet på de foregående figurer 2, 3 og 4 er basert på den totale informasjon som foreligger i dag (både våre undersøkelser, boringer utført i forbindelse med bybanen samt tidligere utførte undersøkelser). I tillegg kommer historiske data basert på intervjuer, gamle kart og flybilder som beskrives i det etterfølgende avsnitt.

### Innhenting informasjon fra historiske kilder:

Innformasjon er fremskaffet både fra gamle kart og flybilder, samt intervju og befaring med tidligere ansatt i BIR, pensjonist Gudmund Fotland (82 år). Fotland har god kunnskap om historikken rundt avfallsfyllingen på Slettebakken fra sitt arbeide i det kommunale renovasjonsvesenet i den aktuelle perioden.

Avfall fra bergensområdet ble deponert på slettebakken i perioden 1940 til 1961. Avfallet kom i hovedsak fra husholdninger, men ble ikke sortert eller kontrollert. Avfallets sammensetning kan derfor variere sterkt. Slettebakken ble anlagt fordi tyskerne minela Kvarven i 1940, og bossprammene som leverte avfall til Kollevåg på Askøy kunne ikke passere minefeltene.

I samme periode ble rent industriavfall transportert til Kollevågen eller Steinknuseverket i Fana. Dette bekrefter også BIR i en avisartikkel i Bergens Tidene den 02.08.1998. Det ble også fylt ut en mindre mengde med sikterester fra Dano-anlegget (komposteringsanlegg) på Grønneviksøren på deler av fyllingen. Dette er på den delen av området som deler av Vilhelm Bjerknesvei ligger i dag.

I følge Fotland er den delen av fyllingen som er nærmest Bergenshallen i nord eldst og dypest. Her ble avfallet fylt ut lagvis med en tykkelse opp til 4m. Når avfallet satte seg ble det etterfylt med mer avfall. Pga lett utstyr, først hester og senere lette lastebiler, ble fyllingen ikke komprimert. Det var derfor begrenset hvor tykke lag som kunne fylles ut, uten at fyllingen ble ustabil. Mot sør ble avfallet lagt ut som en lav fylling med tykkelse < 2-3m, eventuelt i flere omganger ettersom fyllingen fikk setninger.

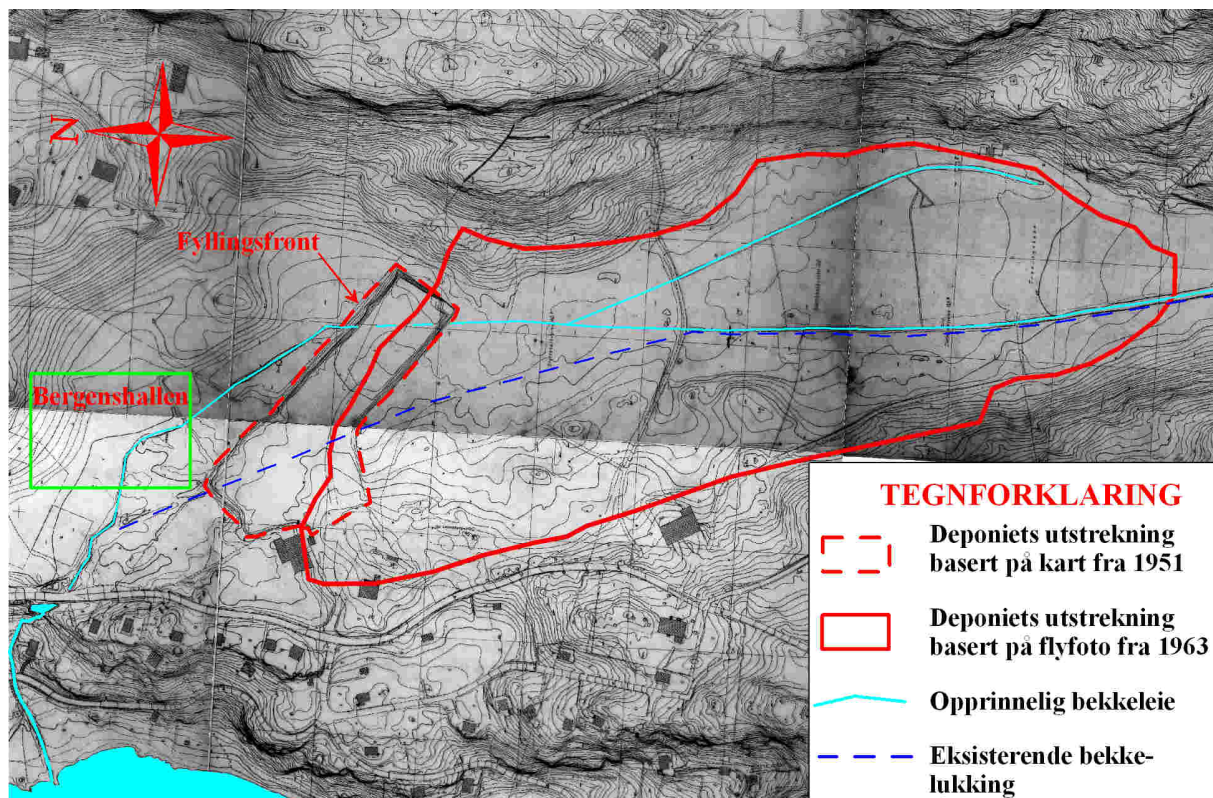
Som grunnlag for kartleggingen av deponiets utstrekning er det innhentet kart fra 1951 samt flyfoto fra 1951, 1963 og 1970. Flyfotoet fra 1963 viser ganske klart deponiets utstrekning i slutfasen, se figur 5. Det kan se ut som arbeidet med tildekking av deponiet med jord/skrotmasser er kommet i gang. Dette stemmer med at deponiet er avsluttet i 1961.

Nyere flyfoto viser ikke ytterligere utfylling/avgraving i deponiområdet enn det flyfotoet fra 1963 viser. Vi har derfor valgt å basere kartleggingen av deponiets utstrekning på flyfotoet fra 1963.



Figur 5. Utsnitt fra flyfoto fra 1963 som viser deponiets utstrekning etter avslutning i 1961.

Videre har vi benyttet kart og flyfoto fra 1951. Kartutsnittet i figur 6 er fra 1951. Her er deponiets utstrekning basert på flyfotoet fra 1963 lagt inn på dette eldre kartet. I tillegg er Bergenshallen tegnet inn til orientering.



Figur 6. Utsnitt av kart fra 1951 med deponiets totale utstrekning, opprinnelig bekkeleie og eksisterende bekkelukning.

Kartet fra 1951 viser at deler av terrenget i nordenden av deponiet er hevet og har en "skarp" kant mot omkringliggende arealer (se rød stiplet strek på figur 6). Terreng høyden er her 4m - 5m høyere enn omkringliggende områder, og det er antydning en vei opp på dette arealet. Denne Terrengformasjonen er første trinn av avfallsfyllingen på Slettebakken, noe som ble bekreftet av Fotland under befaringen. Deponiets utstrekning mot nord er derfor noe større enn det som tydelig fremgår på flybildet fra 1963.

Fyllingsfronten i denne eldste delen av deponiet lå langs det opprinnelige bekkefaret til bekken som drenerte ut mot Tveitevatnet (se figur 6). Det er derfor opplagt at man i denne perioden har hatt stor avrenning og partikkeltransport til bekken og vatnet. **I dag sees denne gamle fyllingsfronten som en markert nivåforskjell (>3 meter) mellom terrenget ved Turnkassen og de asfalterte arealene/parkeringsplassen vest for Bergenshallen.**

På figur 6 ser man tydelig hvordan terrenget (som nå er flate fotballbaner) var et N-S gående dalsøkk med enkelte fjellkoller. Bekken som rant gjennom søkket ble på et eller annet tidspunkt lagt rør i forbindelse med utvidelse av deponiet sørover. I nordre del av området følger denne bekkelukkingen ikke samme trase som den opprinnelige bekken. Den opprinnelige bekken rant ut under dagens Bergenshall og videre vestover mot Tveitevatnet. På vestsiden av veien var det også en liten dam. Det opprinnelige bekkefaret vil være det område hvor det er størst dyp til fjell i området. Det er derfor meget sannsynlig at grunnvann/sigevann fra deponiområdet drenerer denne veien ut mot vatnet.

Bekkelukkingen som går gjennom fyllingen tar inn vann fra 2 bekker/vannsig i ytterkant av banene, henholdsvis sør for og på østsiden av banene (se figur 7). I tillegg er overvannssystemet på banene tilknyttet den samme ledningen. Vest for Bergenshallen kommer bekkelukkingen inn på samme trase som det opprinnelige bekkefaret. Såfremt det finnes permeable omfyllingsmasser langs dette røret, forsterker dette dreneringen av grunnvann/sigevann ned til vatnet i dette området.

I 2003 videofilmet Bergen kommune deler av bekkelukkingen. Videoen viser at ledningen er i svært dårlig forfatning på deler av strekket, og at det lekker inn vann som antas å være sigevann fra fyllingen. Ledningen har stedvis delvis kollapset med inntregning av stein/fyllmasse og "rørtaket" er tydelig deformert.

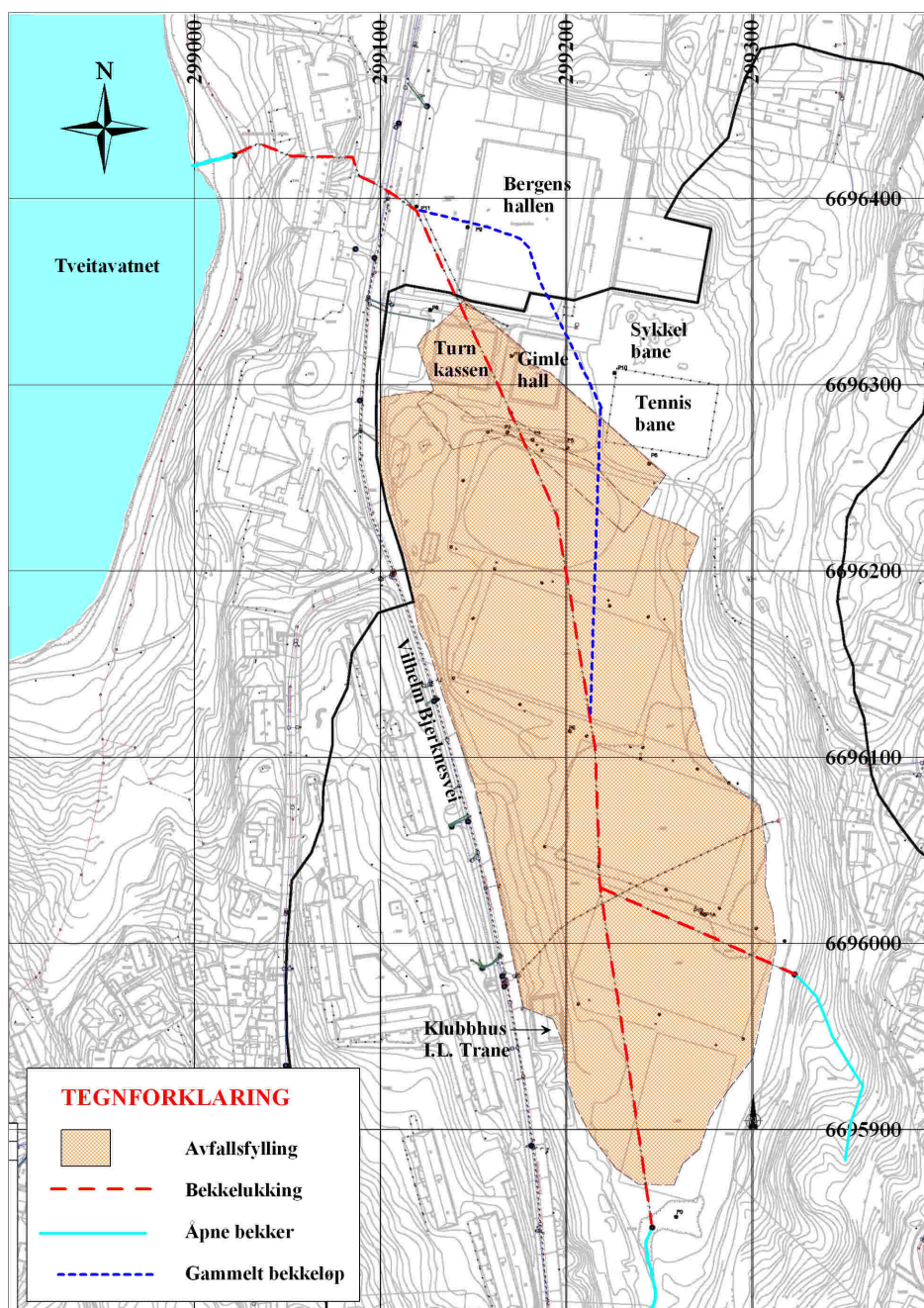
### Oppsummering – avgrensning av deponiet

Avfallsfyllingen ligger i all hovedsak på østsiden Vilhelm Bjerknesvei, med unntak av et mindre område der man fant noe avfall inne i veien i forbindelse med fjernvarme/fornying av ledningsanleggene langs veien.

Mot nord ligger hele Turnkassen og deler av Gimlehallen på gammel fylling. Man kjenner ikke til om avfallsmassene helt eller delvis er skiftet ut under byggene.

I mot sør og i øst og sørlige deler av vestsiden (sør for Trane klubbhus) antas fyllingen å være avgrenset mot terrenget der dette begynner å stige. Dette bekreftes også av flyfotoet fra 1963.

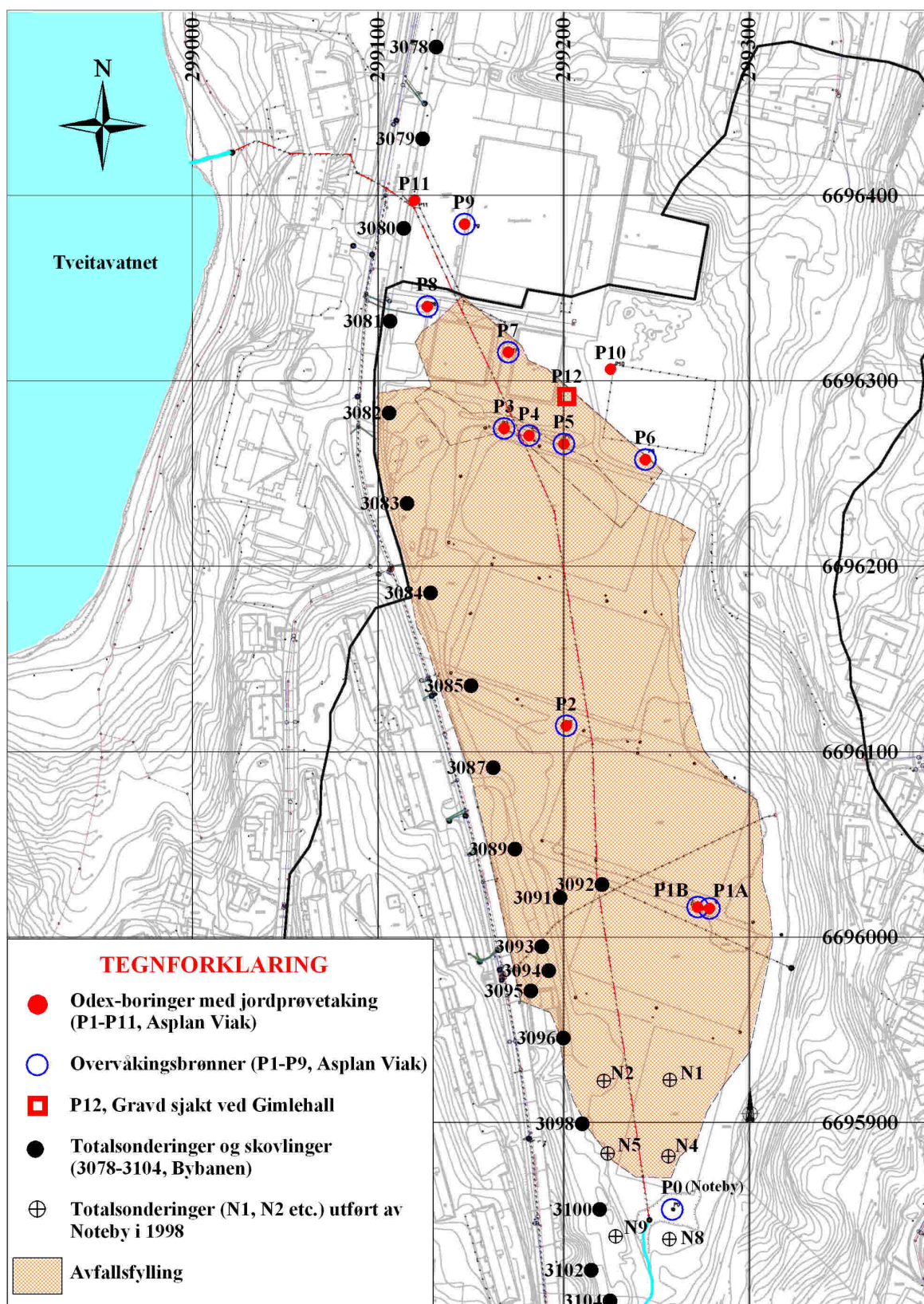
Arealene under tennisbanen og "sykkelbanen" nord for den gamle fyllingsfronten er i ettertid oppfylt av masser av ukjent opprinnelse. Under legging av strømkabel rett nord for tennisbanen er det i følge graveentreprenør påvist avfall (malingspann og akslinger) også i dette området. Dette skrot som er deponert utenfor fyllingsfronten på et senere tidspunkt.



Figur 7. Kartutsnitt med avgrensning av deponiet

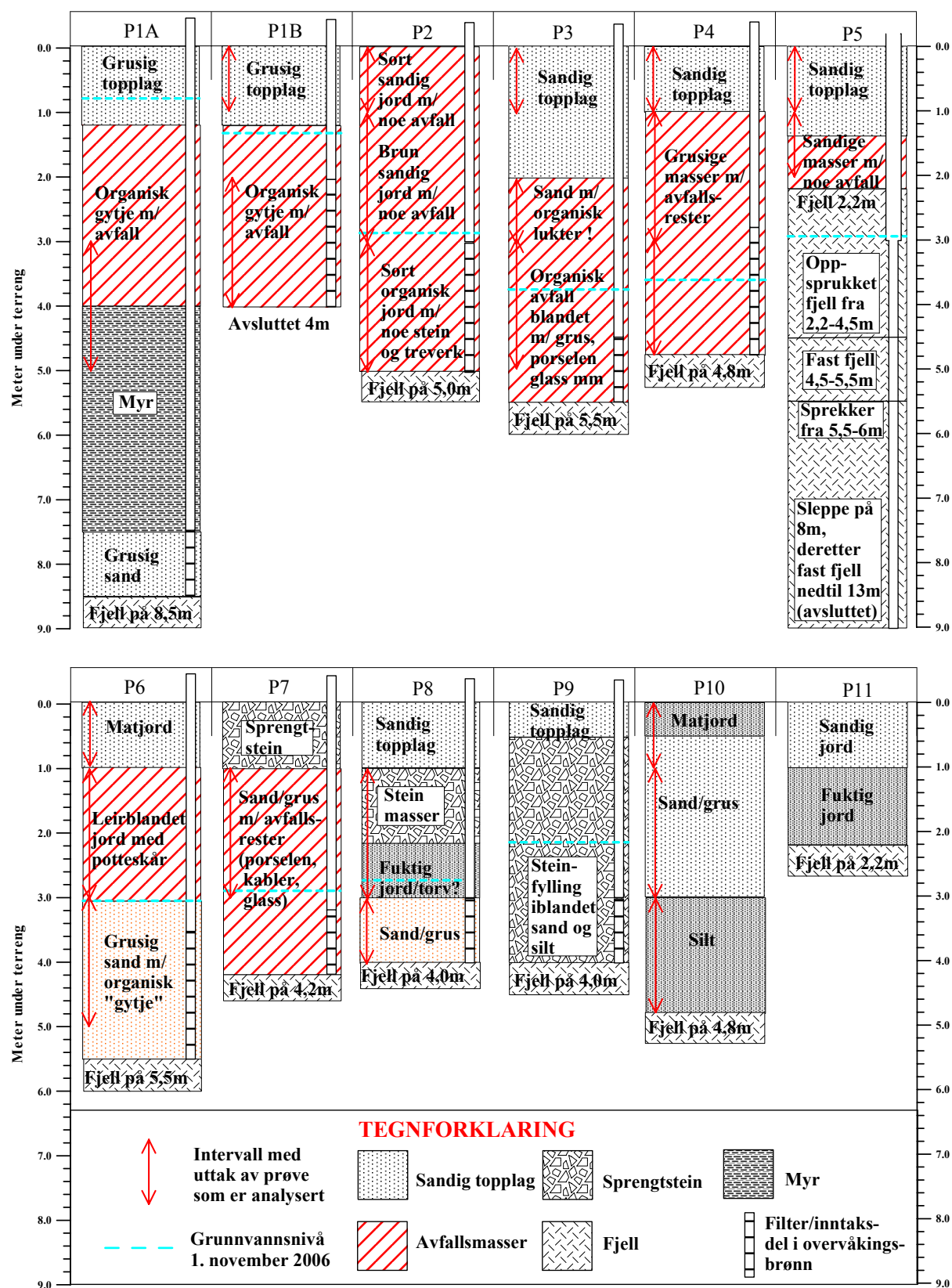
### 3 RESULTATER FRA GRUNNUNDERSØKELSENE

#### 3.1 Odex-boringer og georadarmålinger



Figur 8. Kartutsnitt med alle relevante boringer og brønner i området.

Det er utført 11 Odex-boringer inne i og nord for deponiområdet (se røde punkt på figur 8). I tillegg er informasjon fra totalsonderinger og skovlinger utført av NOTEBY i 1998 og boringer utført i samband med bybanetraseen tatt med i vurderingene. Georadarmålingene ga lite/ingen informasjon på grunn av høy ledningsevne i grunnen, og blir derfor ikke kommentert nærmere.



Figur 9. Profilbeskrivelser fra boring P1-P11 med prøvetakingsnivåer, overvåkingsbrønner og grunnvannsnivå inntegnet.

I boringene inne på det gamle deponiet er det påvist et sandig topplag av 1-1,5 meters tykkelse. Unntaket er P2, hvor man boret i avfallsmasser omtrent fra terreng. Enkelte av boringene for bybanen viste også liten overdekning over avfallsmasser.

Boring P1A lengst sør i området viser 3 meter vannfylt nedbrutt avfall over 3,5 meter med torv. Fra 7,5-8,5 meter er det påvist et gruslag over fjellet, som ble påtruffet på 8,5 meters dyp. Boringen viser samme forhold som NOTEBY sin boring N1, ca 100 meter lenger sør, og er dermed beskrivende for grunnforholdene under de 2 sørligste banene i området. Grunnvannet står her kun 0,5-1 meter under terrengoverflaten, og avfallsmassene kan beskrives som en vandig og sort organisk gytje.

I boring P2 lenger nord er det påvist 5 meter med avfallsmasser over fjell. Avfallssene er her fastere og består av sand og jord med organisk materiale, stein og treverk.

Boringene P3 til P6 er satt på en linje fra vest mot øst rett nord for den nordligste banen (fra en fjellkulle og mot lisen). Dette ble gjort fordi dette er en aktuell plassering for en eventuell fangdam for oppsamling av sigevann. I boring P3 og P4 er fjellet påtruffet på hhv 5,5 og 4,8 meters dyp. Bortsett fra sandlaget i toppen er massene gammelt avfall helt ned til fjellet. I P5 er fjellet påtruffet på 2,2 meters dyp, mens det lengst vest i P6 igjen er 5,5 meter til fjell. Også i P6 er det sannsynlig at avfallet er fylt rett på fjellet, selv om massene fra 3-5,5 meter var mer grusige. De grusige massene var iblandet sort organisk materiale med kraftig lukt.

Boring P7 er satt mellom turnkassen og Gimlehallen, for å dokumentere at disse bygningene er etablert på avfallsmasser. Boringen viser 1 meter sprengstein, deretter avfallsmasser fra 1 meter og ned til 4,2 meter, hvor fjellet ble påtruffet.

Boringene P8, P9, P10 og P11 bekrefter den historiske kartleggingen. Disse boringene er satt utenfor den gamle fyllingsfronten, og viser fyllmasser i form av sprengstein og sand/grus uten gammelt avfall.

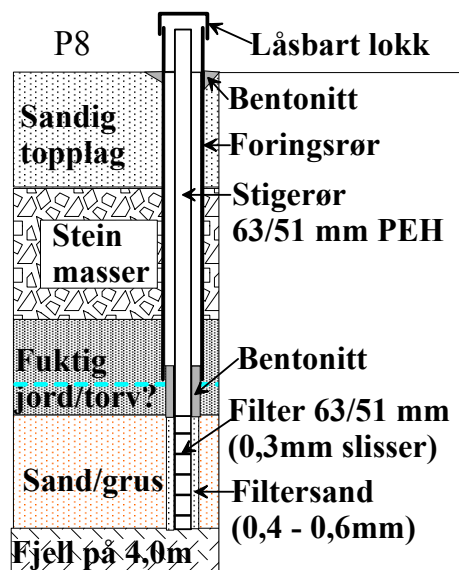
Boringen P9 er satt rett øst for Bergenshallen, omtrent der hvor det gamle bekkefaret gikk. Boringen bekrefter at det her finnes en dypere renne i fjellet. Boringen er satt mer enn 3 meter lavere i terrenget enn de øvrige boringene, men viser likevel 4 meter steinige fyllmasser over fjell på 4 meters dyp.

### 3.2 Etablering av overvåkingsbrønner og kartlegging av grunnvann/sigevann

I 10 av Odex-boringene er det satt 2" overvåkingsbrønner etter uttak av masseprøvene. Brønnene er etablert for å muliggjøre måling av grunnvannsnivå, utarbeidelse av strømningskart og uttak av grunnvanns-/sigevannsprøver.

Lokalisering av brønner fremgår av kartutsnitt i figur 8, mens vertikal plassering av brønntilte (inntaksdel) fremgår av figur 9.

Med unntak av P5 som er boret i fjell, er alle brønner er bygd opp på samme måte.



Eksempel på overvåkingsbrønn (P8) fremgår av figur 10. Brønnene har diameter 63/51mm og er av PEH-materiale. Foringsrøret er trukket 0,5-1 meter over filternivået og deretter satt igjen som beskyttelse.

Det er tettet med bentonitt over filteret og ved terrengoverflaten, og gruskastet med kvartssand rundt filterene. Filterlengden varierer fra 1-2 meter avhengig av forhold påvist under boring.

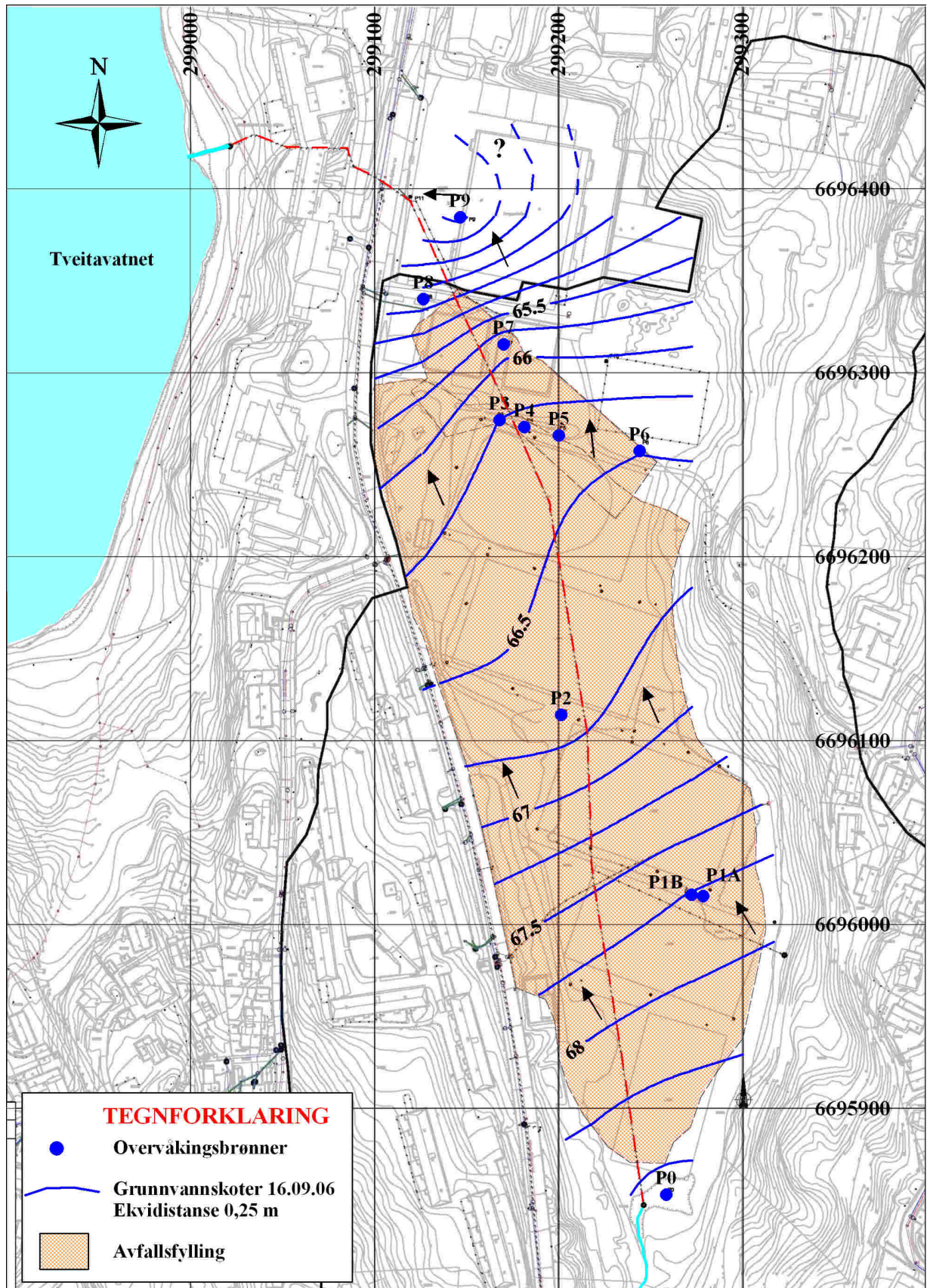
Oversikt over filterplassering og filterlengder fremgår av figur 9. Koordinater og nivellerte høyder for overvåkingsbrønnene fremgår av vedlegg 1

I P5 ble fjellet påtruffet på kun 2,2 meters dyp. Her ble foringsrøret boret 1 meter ned i fjellet, og man boret deretter videre med fjellkrone til 13 meters dyp. Brønnen muliggjør prøvetaking av overflatenært sprekkgrunnvann,

Grunnvannets strømningsmønster 16.09.2006 fremgår av figur 11.

Figur 10. Utforming av overvåkingsbrønner





Figur 11. Grunnvannets strømningsmønster 16. september 2006.

Måling av grunnvannsnivå er utført 16. september og 1. november. Målingene 1. september representerer situasjonen etter en periode med lite nedbør i Bergen, og derav lavt grunnvannsnivå (det regnet kun 65% av normalen i august). Lengst sør i området (mellom P0 og P1) står grunnvannet høyt, selv i tørre perioder. Grunnvannsnivået er målt fra 0,2 – 1,3 meter under terreng, hvilket medfører at de gamle avfallsmassene i sin helhet ligger under vannspeilet i dette området. Fra P2 og nordover til P3 ligger grunnvannspeilet fra 3 til 4 meter under terreng, slik at hhv 3 til 2 meter av avfallsmassene over fjellet vannmettet.

Målingene 1. november representerer en mer normal situasjon, etter nedbør tilsvarende 120% av normalen i oktober. Grunnvannsnivået er på dette tidspunktet 0,12-0,15 meter høyere enn i september lengst sør i området, og 0,3-0,4 meter høyere nordover ved P3 og P7. Grunnvannets strømningsmønster er likevel identisk med situasjonen vist på figur 11.

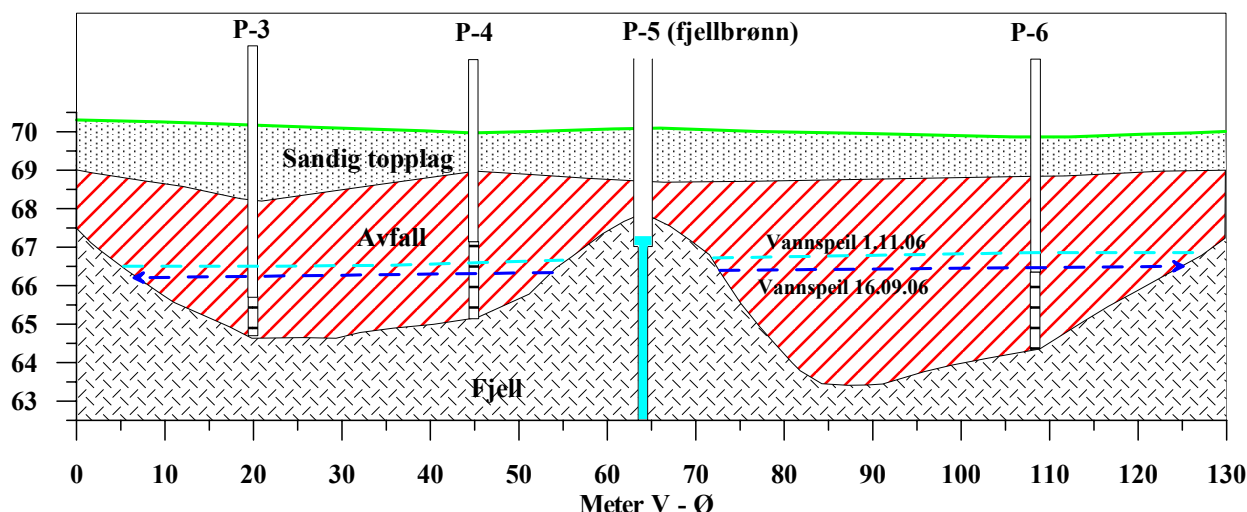
Vannet i de gamle avfallsmassene kan i større grad karakteriseres som sigevann i avfallsmasser over fjell, enn grunnvann i ordets rette forstand. Unntak fra dette er brønnene P1A og P5, som representerer grunnvann i hhv opprinnelige løsmasser og fjellsprekker. Brønn P-1A er filtersatt i et gruslag mellom fjellet og overliggende torv og avfallsmasser, mens brønn P-1B like ved er filtersatt i avfallsmassene (se figur 9 og 13). Nivåmålinger i september og november viser hhv 0,3 og 0,6 meter høyere vannstand i P-1A enn P-1B. Vannstanden i P1A representerer trykknivået i gruslaget under myra, og viser tydelig at dalsøkket under avfallsmassene utgjør et lokalt utstrømningsområde for grunnvann som mates inn høyere i terrenget øst for deponiet.

Tilsvarende situasjon er påvist i P5, som er et 13 meter dypt borehull i fjell, hvor øverste 2,5 meter av fjellet er oppsprukket. Også i P5 er vannstanden 0,7 meter høyere enn i P3 og P4 som står med filter i avfallsmasser over fjellet, se figur 12.

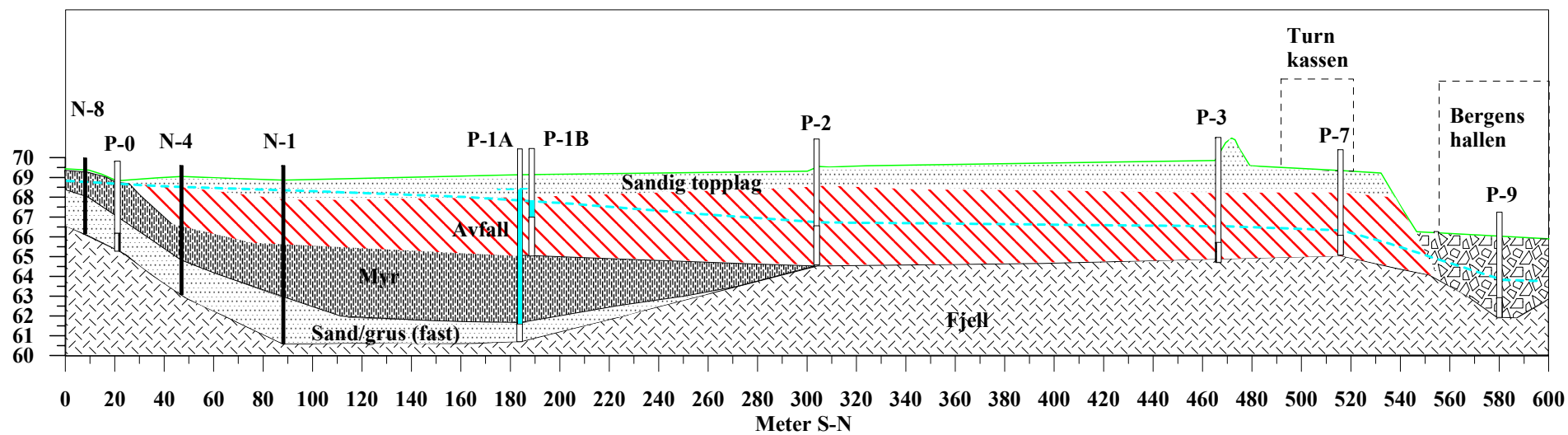
Permeabiliteten i avfallsmassene er forsøkt bestemt ved hjelp av såkalte slugteter, som medfører påfylling av vann og måling av synk etter påfylling. Permeabilitetsverdier fra brønnene P2, P3, P4 og P6 varierer mellom  $4,6E-06$  til  $3,5E-5$  m/s (0,4 til 3 m/d). Permeabiliteten ser ut til å være størst i nord, hvor det under prøvetaking ble påvist dels sandige masser. I etterfølgende beregninger har man brukt den største permeabilitetsverdien på 3 m/d.

Grunnvannet/sigevannet har klar gradient mot nord og ut langs det tidligere dalsøkket. Grunnvannsgradienten varierer mellom 0,8% i sør og 2,5% i nord. Større gradient i nord skyldes både at grunnvannets styres av fjelloverflaten, samt drenerende masser (sprengstein) rundt bergeshallen.

Fortsatt en permeabilitet av størrelsesorden 3 m/d, vannmettet mektighet på 2,5 meter, en bredde på 150 meter og hydraulisk gradient på 2,5%, er vannmengden som strømmer gjennom avfallsmassene av størrelsesorden  $10200 \text{ m}^3/\text{år}$  (0,33 l/s). Beregningene er usikre, fordi permeabiliteten kan variere med tierpotenser i slike masser. Beregningene antyder likevel et størrelsesforhold for vannstrømmen gjennom det gamle avfallet.



Figur 12. Vertikalsnitt mellom P3 og P6 med brønner, grunnvannsnivå og grunnforhold inntegnet.

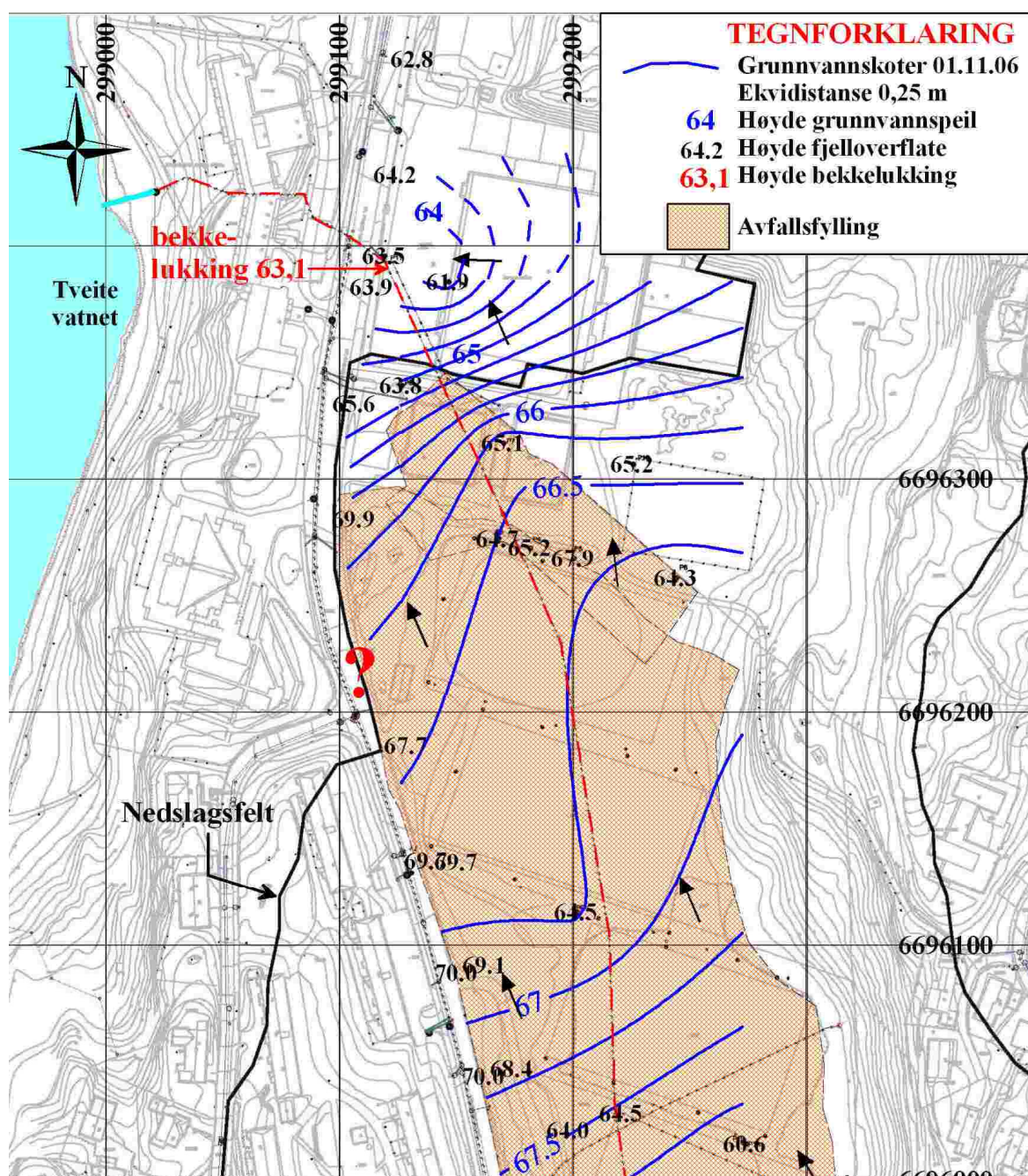


Figur 13. Vertikalsnitt mellom P0 i sør og P9 i nord ved Bergenshallen.

Ut fra fjelltopografien og strømningsmønsteret skjer utstrømningen mot Tveitevandet i all hovedsak i området vest for bergenshallen. Dette er området hvor den opprinnelige bekken fra dalsøkket rant ut mot vatnet før deponiet ble etablert. Man forutsetter da at fjellet er relativt sett tett i forhold til massene over fjell. I tillegg indikerer målinger av grunnvannsnivå i P1A og P5 at både grunnvann fra opprinnelige løsmasser og fra fjellsprekker strømmer ut i bunnen av fyllinga (utstrømningsområde).

På kartet nedenfor sees grunnvannets strømningsmønster 1. november 2006. Her fremgår høyden på vannspeilet i moh med blå skrift og kotehøyden for fjelloverflaten i borpunktene med sort skrift. I søndre del av området ligger fjelloverflaten langs Vilhelm Bjerknesvei på kote 70, mens grunnvannsnivået 1. november ligger fra kote 68 til 67 fra sør mot nord.

Nordover fra punktet hvor nedslagsfeltet følger veien, ligger fjelloverflaten langs veien på kote 67.7, 69.9 og 65.6. På samme strekning faller grunnvannet fra kote 66,5 til kote 65. Fjellet ligger også her fra 1,2 til 0,6 meter høyere enn grunnvannsspeilet. Et område hvor det ikke er boret til fjell er markert med "?". Ut fra boringene er dette det eneste området langs veien hvor grunnvannet i massene over fjell eventuelt kan drenere vestover. Dette forutsatt at det finnes et søkk i fjellet her.



I de grove fyllmassene ned ved Bergenshallen ligger grunnvannspeilet på kote 64 (både 16.09 og 1.11.06). Dette nivået stemmer med en "grunnvannskum" i nordvestre hjørne av Bergenshallen, hvor utløpet er på 63,9 moh. Dreneringssystemet rundt Bergenshallen styrer grunnvannsnivået i dette området.

Boringer sør og nord for bekkelukkingen viser fjell på hhv 63,9 og 63,5 moh. Selve bekkelukkingen ligger på kote 63,1, det vil si 0,9 meter lavere enn vannspeilet. Det foreligger en smal sone hvor grunnvannet over fjell kan dreneres vestover mot vatnet. Trolig går mye av dette i omfyllingsmasser langs overvannsrøret. Noe lenger sør ligger fjellet på kote 64,2. Man kan likevel ikke helt utelukke at deler av det sivevannspåvirkede grunnvannet drenerer nordover i omfyllingsmasser rundt rør som går nordover langs veien.

### 3.3 Bilder av avfallsmassene tatt under graving ved Gimlehallen

I forbindelse med gravearbeid ved Gimlehallen, har Asplan Viak AS tatt masseprøver og bilder. Gravearbeidet ble utført i punktet merket P12 på figur 8, og bildene gir et godt inntrykk av avfallsmassene i den eldste delen av deponiet. Gravingen viser tydelig at halvparten av hallen står inne på deponiet.



Figur 15. Bilde fra gravearbeid ved Gimlehallen. Jern, glass og organisk materiale blandet med stein, sand og jord.



Figur 16. Bilde fra gravearbeid ved Gimlehallen. Teglstein, glassflasker, sand og grus.

## 4 ANALYSERESULTATER

### 4.1 Prøvetaking, prøveomfang og analyseparametere

Analyserapporter fra Eurofins AS fremgår av vedlegg 2. Kartutsnitt med plassering av prøvepunkt fremgår av figur 19.

I tillegg til 23 jordprøver tatt i vår undersøkelse, har man tatt med data fra 2 jordprøver tatt av NOTEBY i 1998, 16 prøver tatt ved boringer i bybanetraseen og 1 prøve tatt i forbindelse med gravearbeider ved Gimlehallen. Av de totalt 42 jordprøvene er 3 prøver tatt oppstrøms deponiet, 32 innenfor deponiet og 7 nedstrøms deponiet.

I tillegg er det tatt 2 sedimentprøver fra bekken, 8 grunnvanns-/sigevannsprøver fra de nye overvåkingsbrønnene og 2 bekkevannsprøver (oppstrøms og nedstrøms deponiet).

#### Jord- og sedimentprøver

Både selve boreutstyret (borekrone, hammer etc. ) og øvrig prøvetakingsutstyr (bøtter, spader) ble rengjort så godt som mulig mellom hvert prøvetakingspunkt.

I punktene P1 til og med P10 er prøver av jord og gamle avfallsmasser hovedsakelig tatt ut i følgende 3 nivåer:

- 0 - 1m (sandig topplag)
- 1 - 3m
- 3 - 4 eller 3 - 5m avhengig av dyp til fjell.

Sedimenterprøver fra bekken er tatt oppstrøms deponiet (bekk-1) og i kum i bekkelukkingen nedstrøms deponiet (Bekk-2, vest for Bergenshallen).

Både jordprøver og sedimentprøver er analysert mht de parametere som inngår i SFT sine normverdier for mest følsom arealbruk (Normpakke, tabell 1 i SFT 99:01). Dette omfatter blant annet tungmetaller, oljekomponenter, BTEX, PAH, PCB, flyktige klorerte løsemidler, klorpesticider, klorbenzener og Cyanid

Jordprøver tatt av NOTEBY, prøver tatt ved boringer i bybanetraseen og prøve tatt i forbindelse med gravearbeider ved Gimlehallen er analysert mht tungmetaller, olje, BTEX, og PAH. Prøvene tatt av NOTEBY er i tillegg analysert mht PCB.

#### Grunnvanns-/sigevannsprøver og bekkeprøver

For å unngå krysskontaminering ble det benyttet 1 stk. 12V senkpumpe pr. overvåkingsbrønn. Pumpene er merket og lagret separat i tett emballasje for eventuell senere prøvetaking.

Samtlige overvåkingsbrønner ble renpumpet inntil brønnene ga så partikkelfritt vann som mulig før prøvene ble tatt. De fleste brønnene ga klart/partikkelfritt vann etter 15-30 minutters pumping. Dette skyldes brønnborers nøyaktige arbeid ved gruskasting av brønnene. Delprøver av grunnvannsprøver som er analysert mht til tungmetaller ble i tillegg filtrert i felt umiddelbart etter uttak. Dette for å unngå analyse på tungmetaller bundet til partikler. Det er transport via vannfasen som skal kartlegges i vannprøver fra brønnene.

Med unntak av brønnene P4, P7 og P8 ga brønnene kontinuerlig med vann ved forsiktig pumping. Brønnene P1A, P1B, P6 og P9 ga kontinuerlig med vann, selv uten at pumpa ble strupet ned. Under forpumping før prøvetaking ble vannets elektriske ledningsevne målt, og vannprøver ble tatt når ledningsevnen var stabil. Brønn P8 som ga lite vann ble tømt 2-3 ganger før prøver ble tatt.

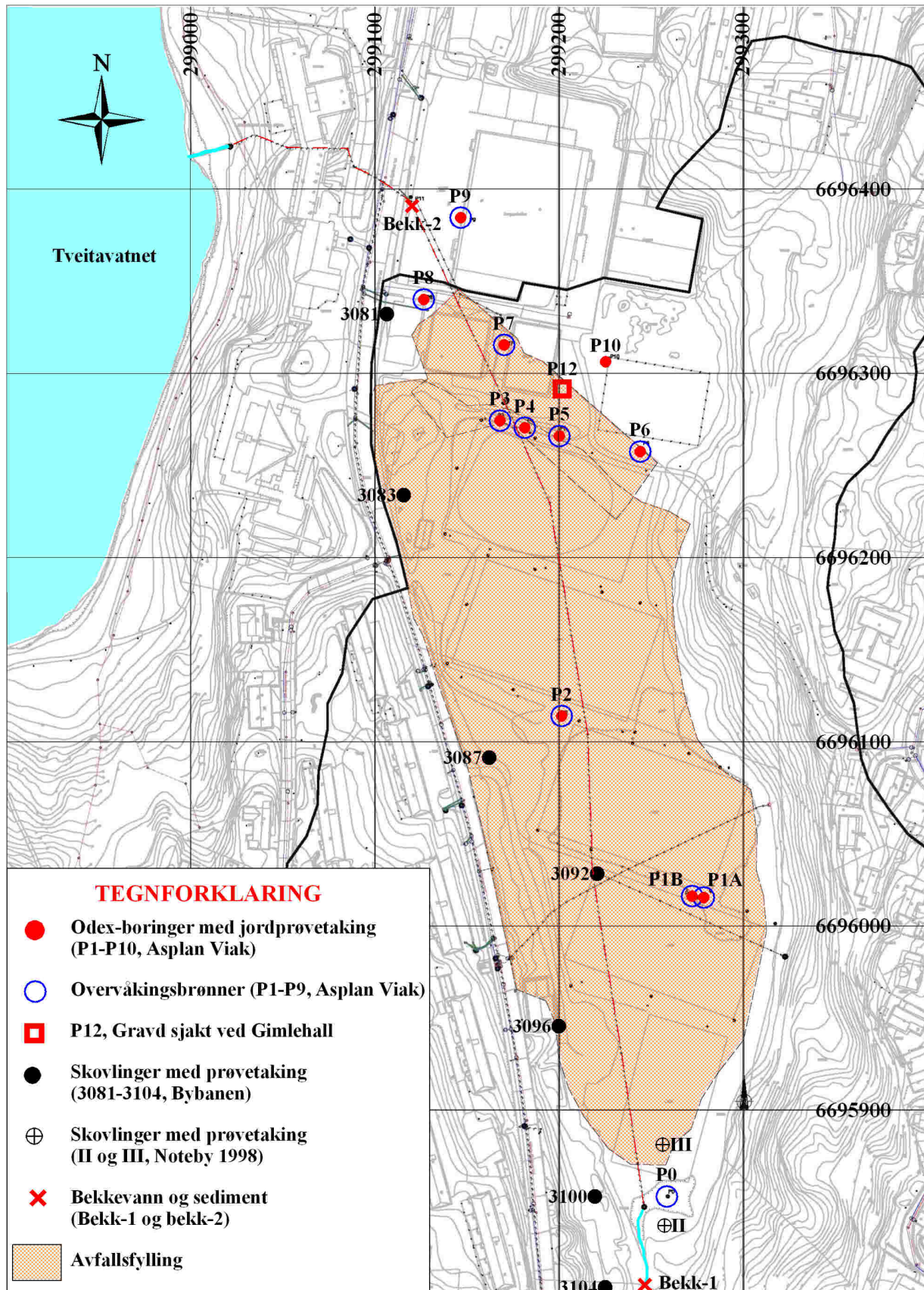
Både grunnvanns-/sigevannsprøver og bekkevann er analysert mht karakteriserende parametere og de parametere som inngår i SFT sine normverdier for mest følsom arealbruk (se avsnittet om jord- og sedimentprøver). Karakteriserende parametere er: pH, suspendert stoff, Ammoniakk + ammonium-N, Notal-N, Total-P, Klorid, TOC analysert som NVOC, BOF5, KOF, Bor og Natrium.



Figur 17. Boring med uttak av masseprøver på Slettebakken – september 2006



Figur 18. Pumping av grunnvannsprøve fra P6 på Slettebakken – september 2006



Figur 19. Kartutsnitt med prøvetakingspunkter i og ved den gamle avfallsfyllingen på Slettebakken..

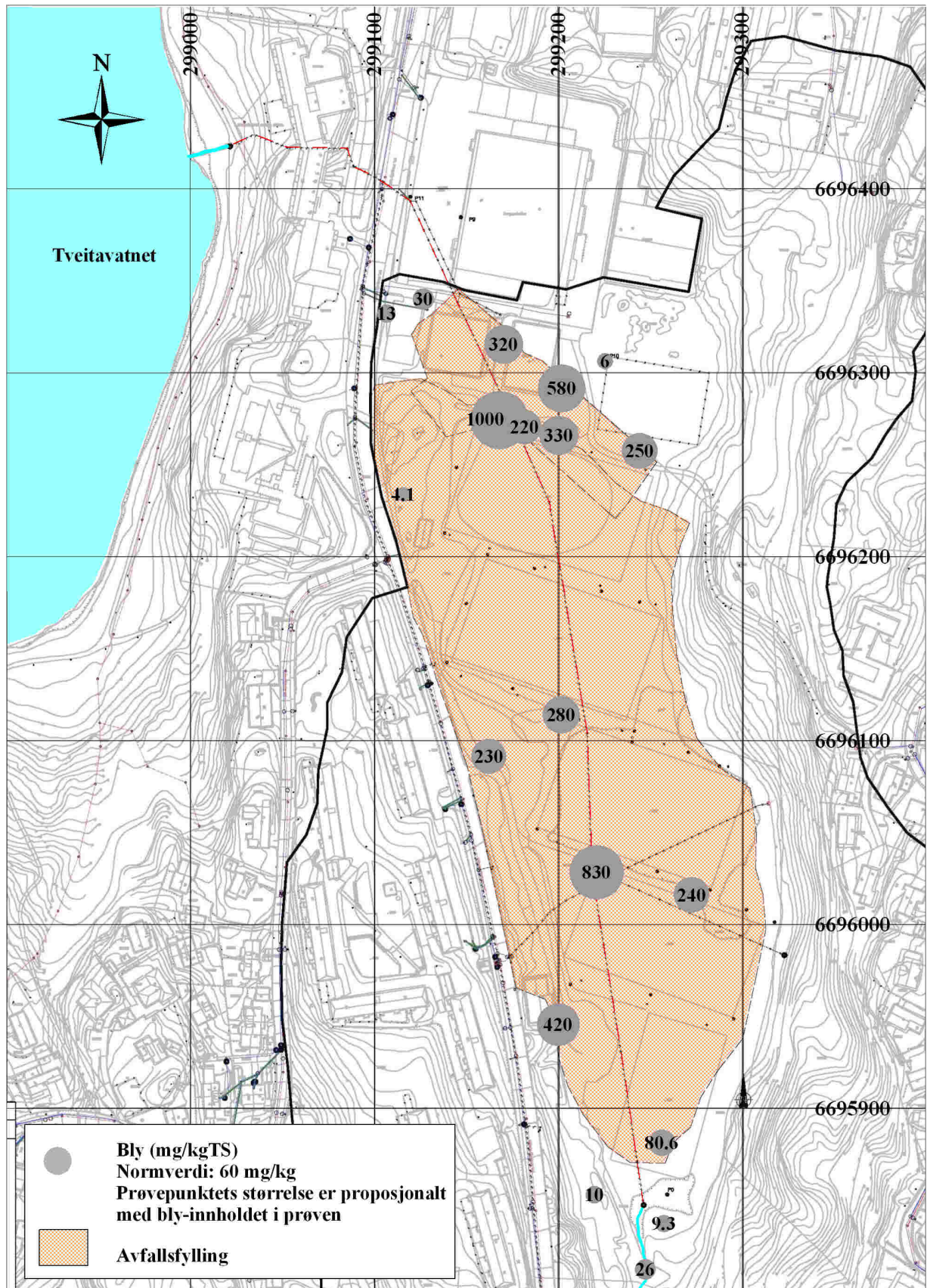


## 4.2 Tungmetaller i jordprøver

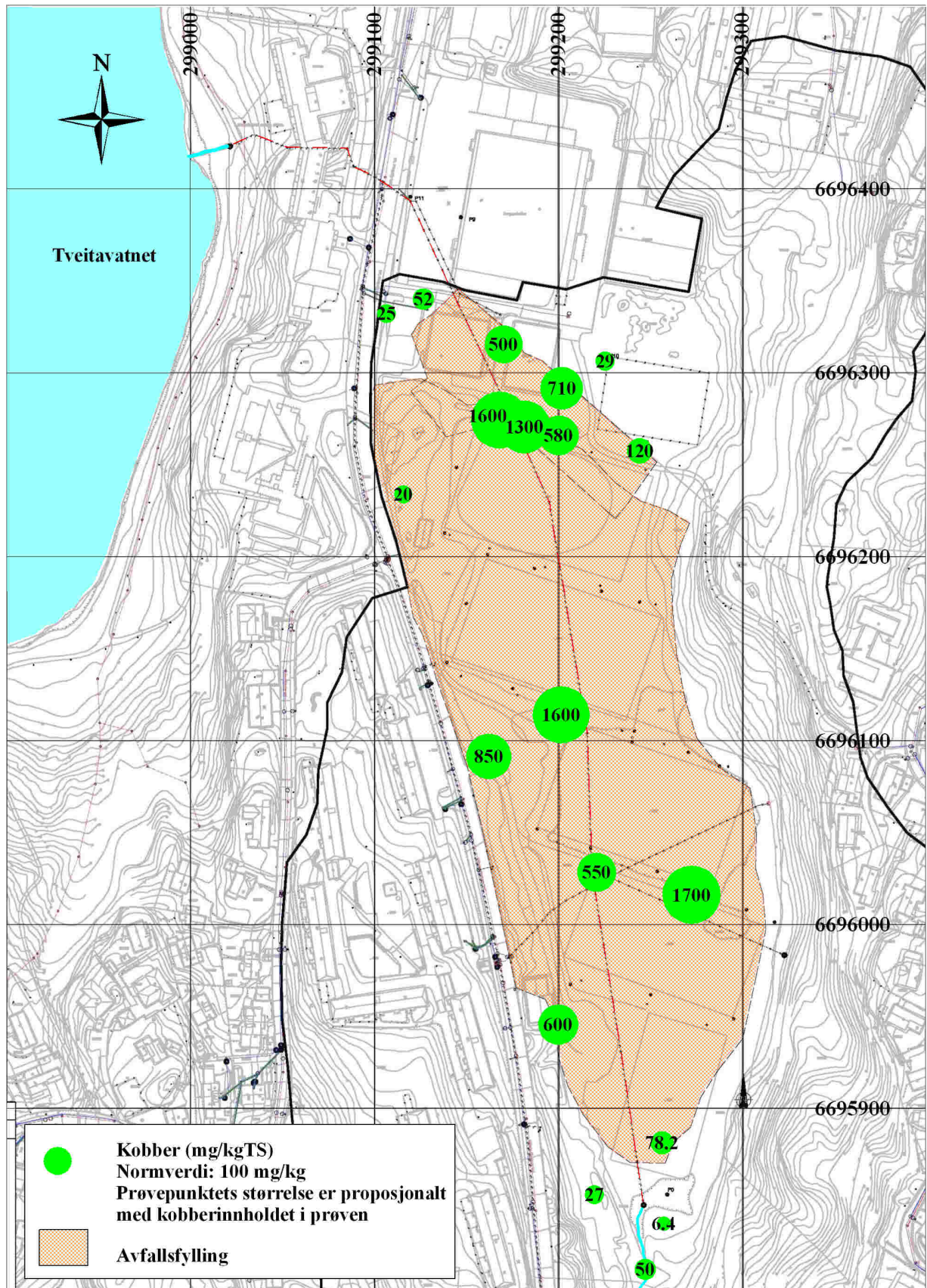
For samtlige tungmetaller ligger konsentrasjonene i mange prøver innenfor deponiområdet vesentlig over bakgrunnsverdiene (oppstrøms) og SFT's normverdier for mest følsom arealbruk. Dette gjelder spesielt bly, kobber og sink, hvor normverdiene overskrides i nesten alle prøvene. Innholdet av kvikksølv overskrider normverdien i 13 av 31 prøver tatt innenfor deponiet. Normverdiene overskrides også i prøver tatt fra topplaget (0-1m). Dette gjelder blant annet arsen, bly, kobber, krom, kvikksølv og sink. Prøver tatt nedstrøms den gamle avfallsfyllingen viser lavt innhold av tungmetaller.

Tabell 1. Tungmetaller i jordprøver (mg/kg) oppstrøms, inne i og nedstrøms deponiet. Verdier over normverdi i rødt.

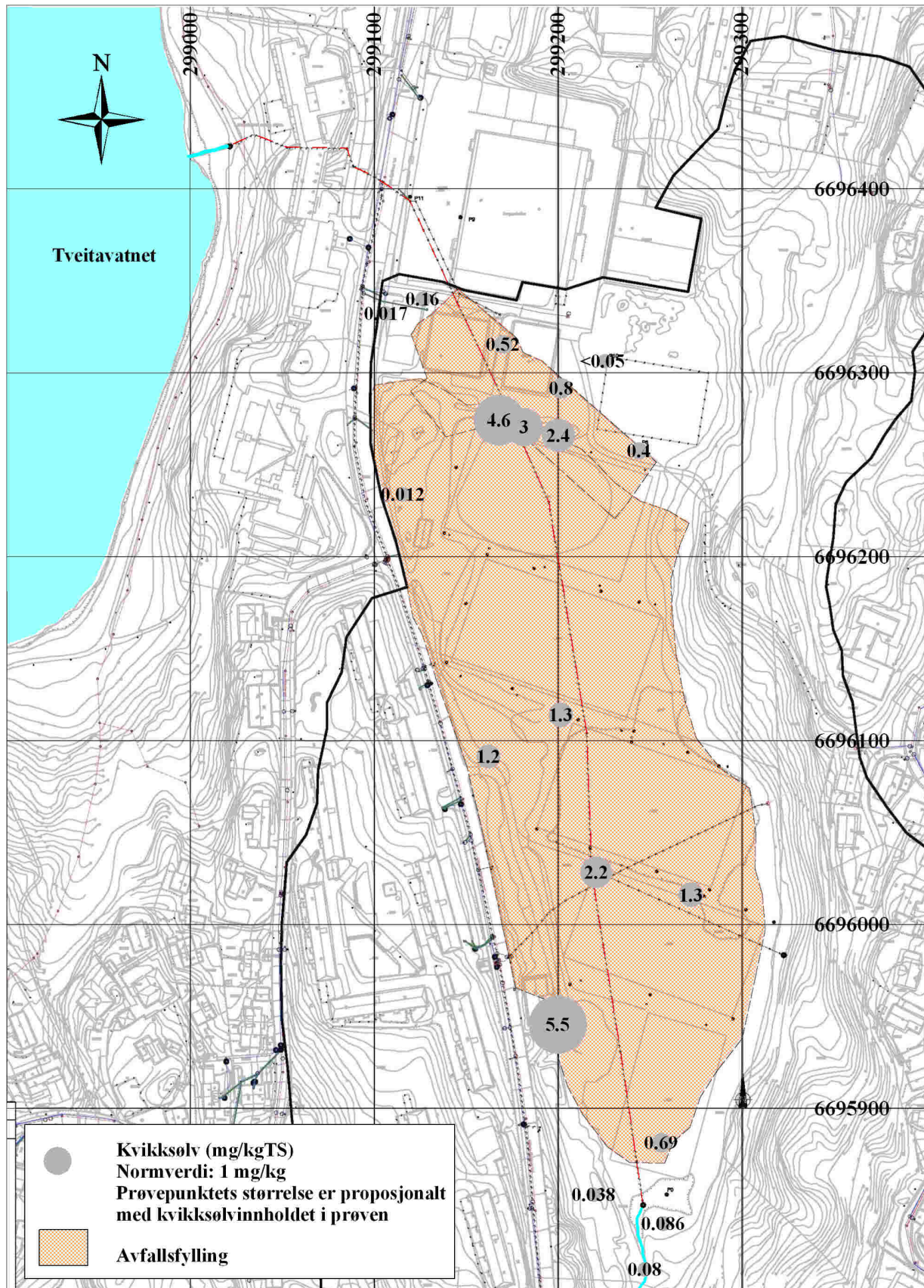
		Norm	2	60	3	100	25	1	50	100
		Dybde, m	As	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn
OPPST.	M-3100-1	0-0,5	4,5	55	0,25	120	47	0,2	31	380
	M-3100-1	0,5-1,7	1,3	10	<0,055	27	18	0,038	15	86
	Pr II	1-1,5	i.a.	9,3	<0,4	6,4	42,4	0,086	15,2	26,4
INNENFOR AVFALLSPLASSEN	Pr III	1-1,6	i.a.	80,6	<0,4	78,2	30,4	0,69	18,5	198
	P1B	0-1	13	190	1,7	260	89	1,3	47	1500
	P1B	2-4	28	240	3	1700	61	0,95	63	1600
	P1B	3-5	14	91	1	300	31	0,35	31	850
	P2	0-1	11	230	1,6	530	48	0,84	42	1200
	P2	1-3	35	280	2,2	1600	82	1,3	74	2400
	P2	3-5	11	76	1,2	330	43	0,62	46	1000
	P3	0-1	25	1000	5,7	1600	130	4,6	89	4400
	P3	2-3	<3	40	<0,3	69	71	0,18	41	210
	P3	3-5	17	360	2,9	680	93	3,2	60	3100
	P4	0-1	<3	55	<0,3	88	20	0,19	19	260
	P4	1-3	43	170	2	1300	49	3	88	3600
	P4	3-4,8	32	220	1,9	980	70	2,2	76	2100
	P5	0-1	<3	58	<0,3	120	29	0,35	21	280
	P5	1-2	20	330	1,6	580	60	2,4	48	2100
	P6	0-1	<3	47	0,4	47	30	0,21	19	190
	P6	1-3	7	81	0,6	120	38	0,4	32	600
	P6	3-5	5	250	0,7	100	75	0,28	25	400
	P7	1-3	26	320	4,8	500	58	0,52	69	2200
	P-12	1-3	22	580	3,3	710	35	0,8	20	2600
	M-3096-1	0-1	1,4	8,8	<0,055	57	73	0,041	40	140
	M-3096-2	1,1-2	42	420	3,7	600	67	4	440	3700
	M-3096-3	2,3-3	16	220	4,2	112200	96	5,5	31400	36300
	M-3092-1	0-0,5	1,3	2,7	<0,054	23	49	0,001	29	63
	M-3092-2	0,5-2	19	830	2	290	56	1	39	1300
	M-3092-3	2,1-3	37	560	3,5	550	68	2,2	63	4800
	M-3087-1	0-0,4	2,8	52	0,2	140	35	0,2	21	180
M-3087-2	0,4-1	13	100	1	310	31	1,2	35	1100	
M-3087-3	1-1,7	33	230	1,5	850	54	1	47	2600	
M-3087-4	1,7-2,1	2,8	32	0,18	29	39	0,11	16	240	
M-3087-5	2,1-2,5	1,1	7,7	<0,068	18	45	0,039	23	59	
M-3083-1	0-1	1	4,1	<0,058	20	45	0,012	24	33	
NEDSTRØMS	M-3081-1	0-1	1,7	19	<0,065	29	67	0,047	34	51
	M-3081-2	1-1,5	1,4	13	<0,060	25	48	0,017	23	39
	P8	1-3	<3	30	<0,3	52	53	0,16	36	79
	P8	3-4	<3	10	<0,3	110	71	0,07	39	130
	P10	0-1	<3	24	<0,3	49	20	0,05	16	85
	P10	1-3	<3	6	<0,3	29	37	<0,05	23	57
P10	3-4	<3	10	<0,3	53	35	<0,05	25	93	



Figur 20. Konsentrasjon av bly i jordprøver fra ca. 1-3 meters dyp i området.



Figur 21. Konsentrasjon av kobber i jordprøver fra ca. 1-3 meters dyp i området



Figur 22. Konsentrasjon av kvikksølv i jordprøver fra ca. 1-3 meters dyp i området

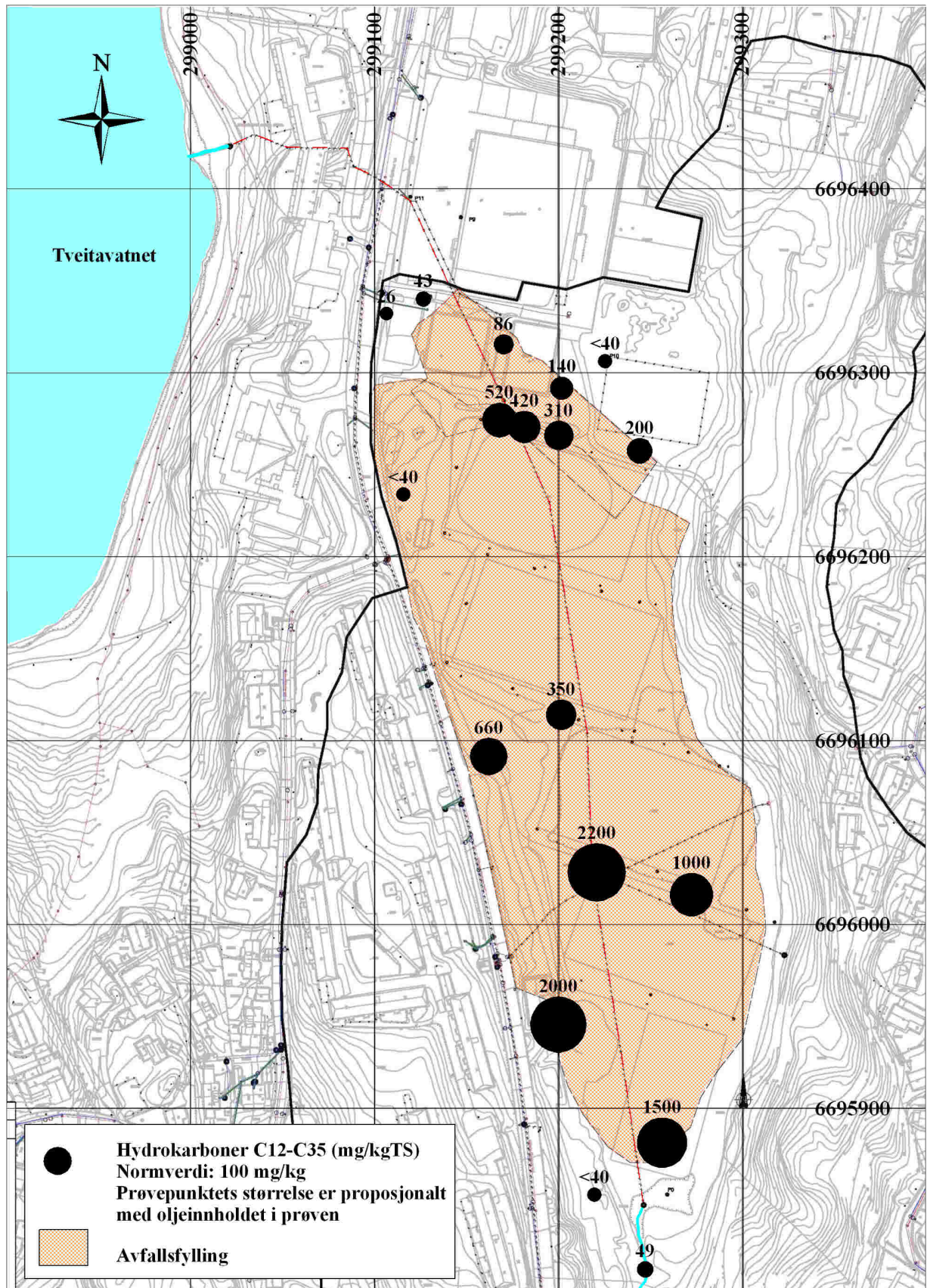
### 4.3 Hydrokarboner, PAH og PCB i jordprøver

Olje (hovedsakelig C<sub>12</sub>-C<sub>35</sub>), PCB og PAH er påvist over bakgrunnsverdiene og SFT's normverdier i de fleste av prøvene tatt inne på det gamle deponiet. PAH-innholdet utgjøres i hovedsak av stoffene Benzo(a)pyren, Fluoranten og Pyren, som også er påvist over normverdiene. Normverdiene overskrides også i prøver tatt fra topplaget (0-1m), både mht olje PCB og PAH.

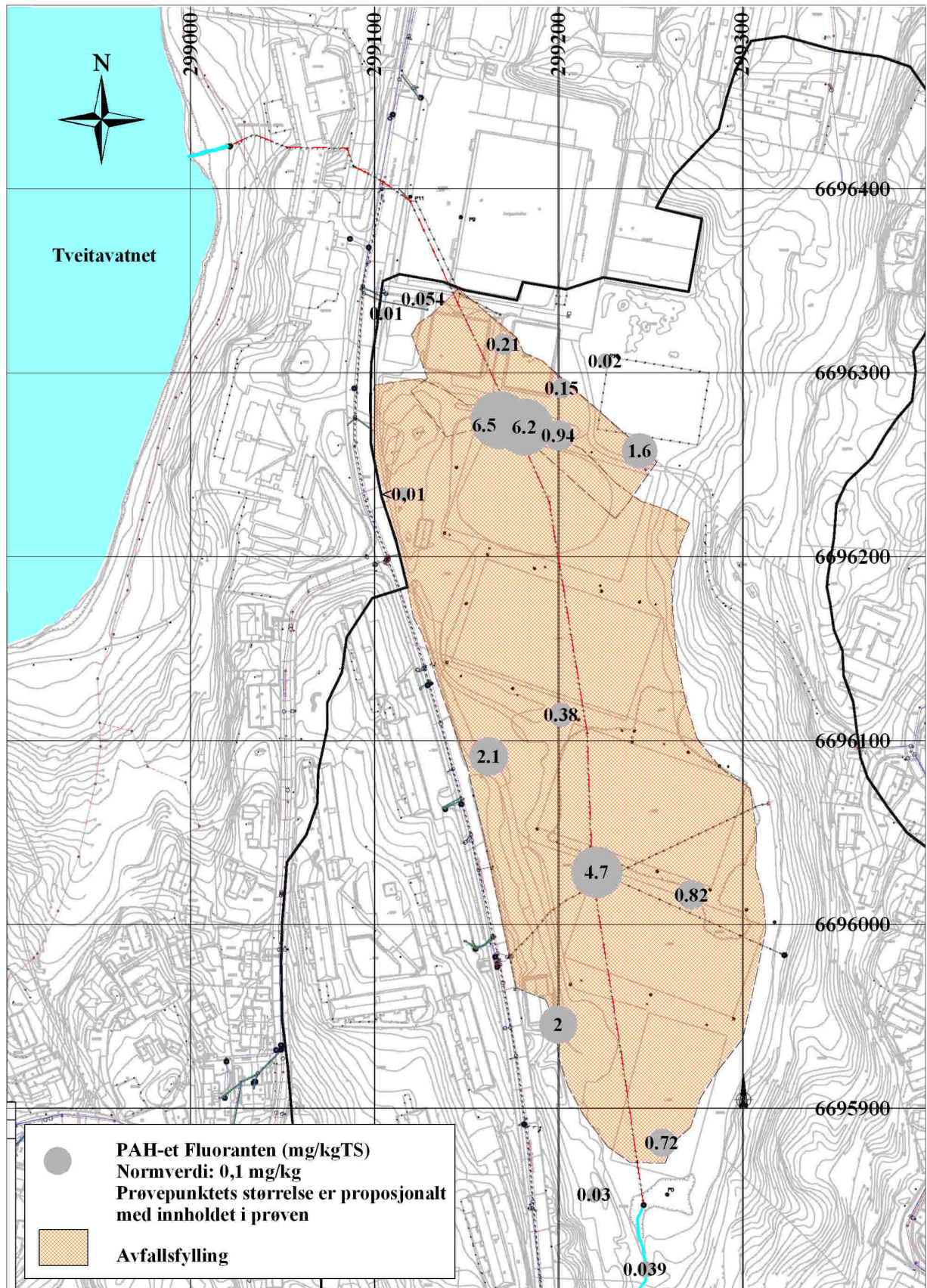
Klorerte løsemidler, klorbenzener, BTEX og andre flyktige forbindelser er ikke påvist i konsentrasjoner over normverdiene. Prøver tatt nedstrøms den gamle avfallsfyllingen viser lavt eller ikke innhold av olje, PAH og PCB.

Tabell 2. Olje (C<sub>12</sub>-C<sub>35</sub>), PCB og PAH i jordprøver oppstrøms, inne i og nedstrøms deponiet.

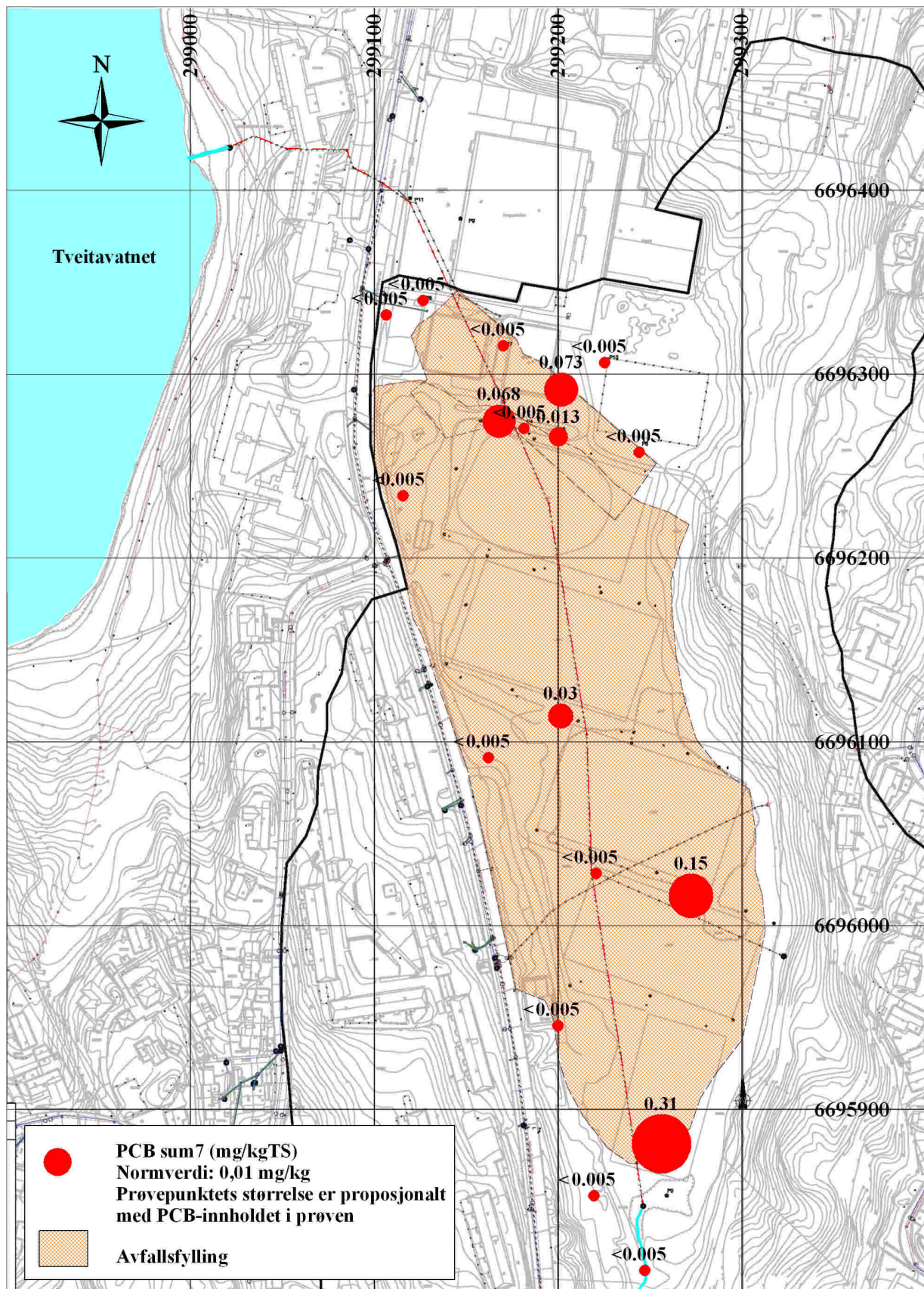
		Norm	Olje(7)	Olje(100)	0,01	2	0,1	0,6	0,1	0,1
		Dybde, m	C5-C10	C12-C35	PCB7	PAH16	Benzo(a)	Fluoren	Fluoranten	Pyren
OPP	M-3100-1	0-0,5	<5,0	<40	i.a.	1,7	0,15	<0,01	0,24	0,2
	M-3100-1	0,5-1,7	<5,0	<40	i.a.	0,23	0,02	<0,01	0,03	0,03
INNENFOR	Pr III	1-1,6	i.a.	1500	0,31	3,73	0,19	0,08	0,72	0,57
	P1B	0-1	<1,2	690	0,15	1,2	0,059	0,029	0,23	0,24
	P1B	2-4	<1,2	1000	0,018	4,8	0,26	0,13	0,82	0,69
	P1B	3-5	1,6	340	<0,005	0,019	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
	P2	0-1	<1,2	230	0,011	2,5	0,2	0,041	0,38	0,33
	P2	1-3	<1,2	350	0,03	1,2	0,11	0,0075	0,17	0,17
	P2	3-5	<1,2	200	<0,005	0,9	0,056	0,017	0,12	0,12
	P3	0-1	<1,2	520	0,068	6,9	0,54	0,13	1	0,98
	P3	2-3	<1,2	39	<0,005	28	2	0,42	6,5	4,9
	P3	3-5	<1,2	320	0,04	2,7	0,2	0,064	0,37	0,35
	P4	0-1	<1,2	59	<0,005	4	0,63	0,013	0,3	0,25
	P4	1-3	<1,2	420	<0,005	35	2,9	0,48	6,2	4,9
AVFALLSPLASSEN	P4	3-4,8	<1,2	180	<0,005	7,8	0,65	0,086	1,3	1,1
	P5	0-1	<1,2	58	<0,005	1,4	0,14	<0,005	0,24	0,2
	P5	1-2	1,7	310	0,013	5,3	0,48	0,052	0,94	0,75
	P6	0-1	<1,2	85	<0,005	0,6	0,06	<0,005	0,089	0,075
	P6	1-3	<1,2	200	<0,005	8,1	0,58	0,12	1,6	1,1
	P6	3-5	<1,2	100	<0,005	1,3	0,11	0,012	0,2	0,17
	P7	1-3	<1,2	86	<0,005	1,5	0,14	0,0056	0,21	0,2
	P12	1-3	<1,2	140	0,073	1,4	0,14	<0,005	0,15	0,14
	M-3096-1	0-1	<5,0	<40	i.a.	0,13	0,01	<0,01	0,02	0,02
	M-3096-2	1,1-2	13	2000	i.a.	10	0,74	0,13	2	1,9
	M-3096-3	2,3-3	<5,0	61	i.a.	0,63	0,04	<0,01	0,11	0,11
	M-3092-1	0-0,5	<5,0	<40	i.a.	<0,20	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
M-3092-2	0,5-2	9,8	130	i.a.	2,9	0,29	0,01	0,39	0,39	
M-3092-3	2,1-3	11	2200	i.a.	17	0,43	0,33	4,7	4,7	
M-3087-1	0-0,4	<5,0	23	i.a.	2,7	0,25	0,01	0,41	0,35	
M-3087-2	0,4-1	<5,0	290	i.a.	4	0,2	0,13	0,81	0,7	
M-3087-3	1-1,7	11	660	i.a.	8,3	0,18	0,31	2,1	1,7	
M-3087-4	1,7-2,1	<5,0	160	i.a.	0,28	0,03	<0,01	0,05	0,03	
M-3087-5	2,1-2,5	<5,0	<40	i.a.	0,07	<0,01	<0,01	0,01	0,01	
M-3083-1	0-1	<5,0	<40	i.a.	<0,20	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
NEDSTRØMS	M-3081-1	0-1	<5,0	44	i.a.	0,1	0,01	<0,01	0,01	0,01
	M-3081-2	1-1,5	<5,0	26	i.a.	0,05	<0,01	<0,01	0,01	0,01
	P8	1-3	<1,2	49	<0,005	0,076	0,006	<0,005	0,012	0,0094
	P8	3-4	<1,2	43	<0,005	0,31	0,025	<0,005	0,054	0,044
	P10	0-1	<1,2	<40	<0,005	0,46	0,03	0,0068	0,057	0,048
	P10	1-3	<1,2	<40	<0,005	0,096	0,0075	<0,005	0,02	0,015
P10	3-4	<1,2	<40	<0,005	0,067	<0,005	<0,005	0,013	0,011	



Figur 23. Konsentrasjon av olje (C<sub>12</sub>-C<sub>35</sub>) i jordprøver fra ca. 1-3 meters dyp i området.



Figur 24. Konsentrasjon av PAH-forbindelsen fluoranten i jordprøver fra ca. 1-3 meters dyp i området.



Figur 25. Konsentrasjon av PCB-7 i jordprøver fra 1-3 meters dyp i området.



#### 4.4 Tungmetaller i sedimentprøver

Sedimenterprøver fra bekken er tatt oppstrøms deponiet (bekk-1) og i kum i bekkelukkingen nedstrøms deponiet (Bekk-2, vest for Bergenshallen). Lokalisering av punkt sees på figur 19 side 21.

Analyseresultater og klassifisering etter tilstandsklasser fra SFT 97:04 (miljøkvalitet i ferskvann) er vist i tabell 3. I sedimentprøven tatt oppstrøms deponiet tilsvarer innholdet av arsen, bly, kvikksølv og nikkel tilstandsklasse I (ubetydelig forurenset, mens innholdet av kadmium, kobber og sink tilsvarer klasse II (moderat forurenset).

I sedimenter fra kummen nedstrøms tilsvarer innholdet av sink tilstandsklasse III (markert forurenset), mens innholdet av de øvrige tungmetallene tilsvarer klasse II (moderat forurenset). Innholdet av tungmetaller er høyere nedstrøms deponiet, noe som indikerer at det foregår partikkeltransport via bekkelukkingen.

Tabell 3. Tungmetaller i sedimentprøver - klassifisering etter tilstandsklasser fra SFT 97:04

Prøve		As	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn	Tørstoff
Id.		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%
Bekk-1	Oppstrøms	3	26	0,5	50	54	0,08	40	220	46,1
Bekk-2	Nedstrøms	11	50	1,2	130	46	0,19	55	1900	24,2
1)	I	<5	<50	<0,5	<30		<0,15	<50	<150	
	II	25	250	2,5	150		0,6	250	750	
	III	100	1000	10	600		1,5	1000	3000	
	IV	200	3000	20	1800		3	3000	9000	
	V	>200	>3000	>20	>1800		>3	>3000	>9000	

1) Tilstandsklasser etter SFT sitt system for ferskvannssedimenter (SFT 97:04)

#### 4.5 Olje, PAH, PCB og klorbenzener i sedimentprøver

Analyseresultater og klassifisering etter tilstandsklasser fra SFT 97:03 er vist i tabell 4. Tilstandsklassene gjelder marine sedimenter, men er tatt med som sammenligningsgrunnlag, da tilsvarende tall ikke finnes for ferskvannssedimenter.

I sedimentprøven tatt oppstrøms deponiet er PCB ikke påvist, mens sum PAH tilsvarer tilstandsklasse I (ubetydelig forurenset). Innholdet av PAH-forbindelsen benzo(a)pyren tilsvarer klasse II (moderat forurenset).

I sedimenter fra kummen nedstrøms tilsvarer innholdet av PCB tilstandsklasse III (markert forurenset), mens innholdet av PAH tilsvarer klasse II (moderat forurenset).

Innholdet av olje, PAH og PCB er høyere i sedimentet fra kummen nedstrøms deponiet, noe som viser at det foregår partikkeltransport via bekkelukkingen. PCB er til orientering påvist i konsentrasjoner varierende fra 0,011 til 0,31 mg/kg i 9 av jordprøvene fra deponiområdet. PCB-innholdet i sedimentet fra kummen er derfor av samme størrelsesorden som i avfallsmassene. Det er også påvist heksaklorbenzen og pentaklorfenol i nedstrømsprøven. Pentaklorfenol er påvist tett oppunder normverdien på 0,005 i 7 av jordprøvene fra deponiområdet (0,02-0,04 mg/kg).

Tabell 4. Olje, PCB, PAH og klorbenzener i sedimentprøver – klassifisering etter tilstandsklasser fra SFT 97:03

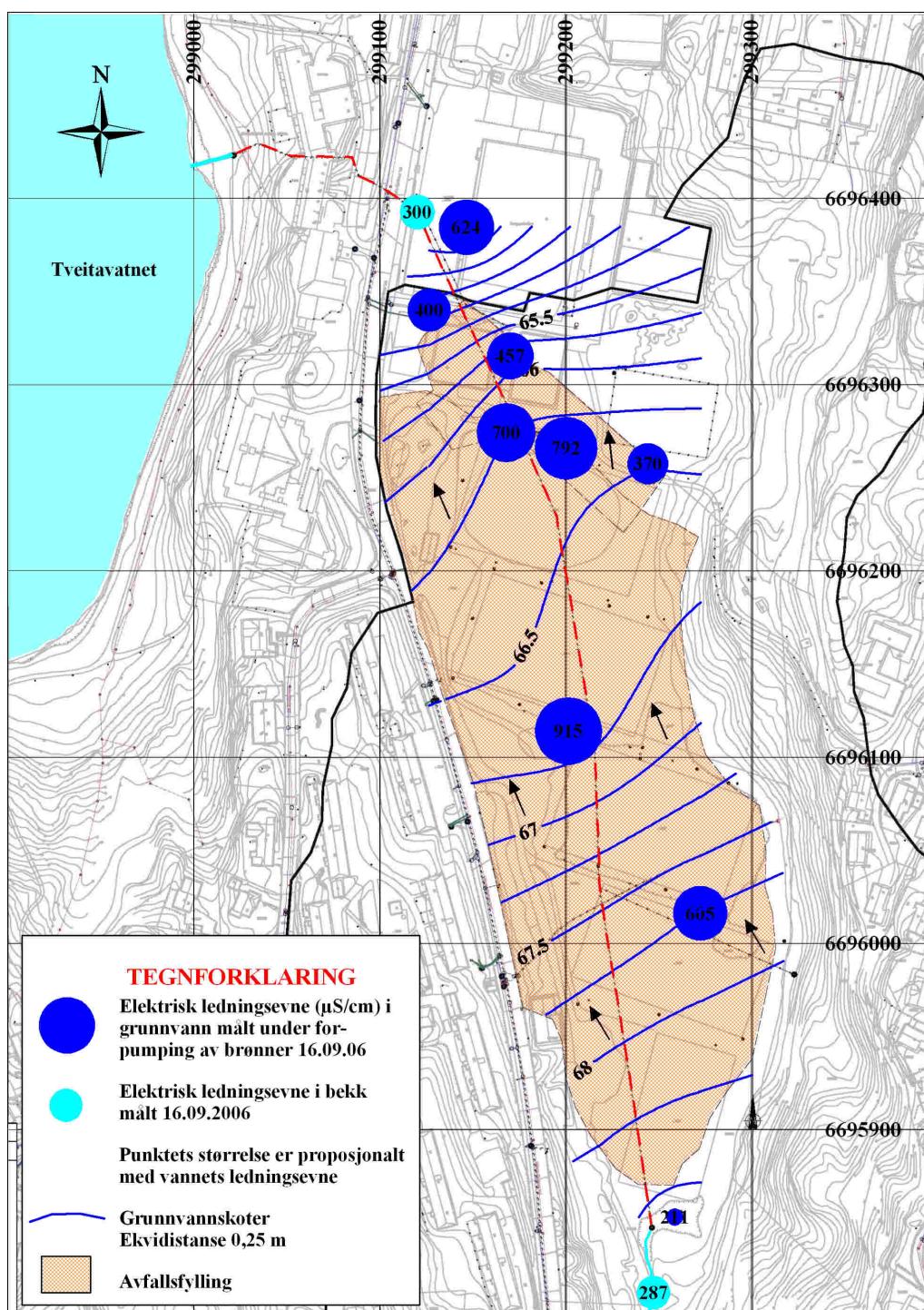
Prøve	Dybde	Olje C10-C12	Olje C12-C35	Sum 7 PCB	Sum 16 PAH	Benzo (a)pyren	Fluor anten	Pyren	heksa Klor benzen	Penta Klor fenol
Id.	(m)	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Bekk-1	Oppstrøms	<1,2	49	<0,005	0,22	0,019	0,039	0,033	--	<0,001
Bekk-2	Nedstrøms	3	560	0,13	0,52	0,032	0,074	0,08	0,0091	0,013
1)	I			0,005	0,3	0,01				
	II			0,025	2	0,05				
	III			0,1	6	0,2				
	IV			0,3	20	0,5				
	V			>0,3	>20	>0,5				

1) Til orientering: Tilstandsklasser etter SFT's system for marine sedimenter (SFT 97:03)

#### 4.6 Feltnålinger av elektrisk ledningsevne i grunnvann, sigevann og bekkevann

Ledningsevnen i grunnvann/sigevann og bekkevann ble målt i forbindelse med prøvetaking 16. september 06. I grunnvann oppstrøms deponiet (P0) er ledningsevnen målt til 211  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . I brønner inne i deponiet varierer ledningsevnen i hovedsak mellom 450 og 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Nedstrøms deponiet er ledningsevnen målt til 400 og 624  $\mu\text{S}/\text{cm}$  i hhv brønn P8 og P9 ved Bergenshallen. Økningen i ledningsevne skyldes økende innhold av salter og ioner med opprinnelse i avfallsmassene.

I bekken oppstrøms deponiet er ledningsevnen målt til 287  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , og i kummen nedstrøms til 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Kontrasten er overraskende liten, fordi videoinspeksjon har dokumentert at bekkelukkingen stedvis er i dårlig forfatning og drenerer sigevann. Ledningsevne målingene indikerer at lekkasjen må være liten, spesielt fordi målingene er utført i en tørr periode.

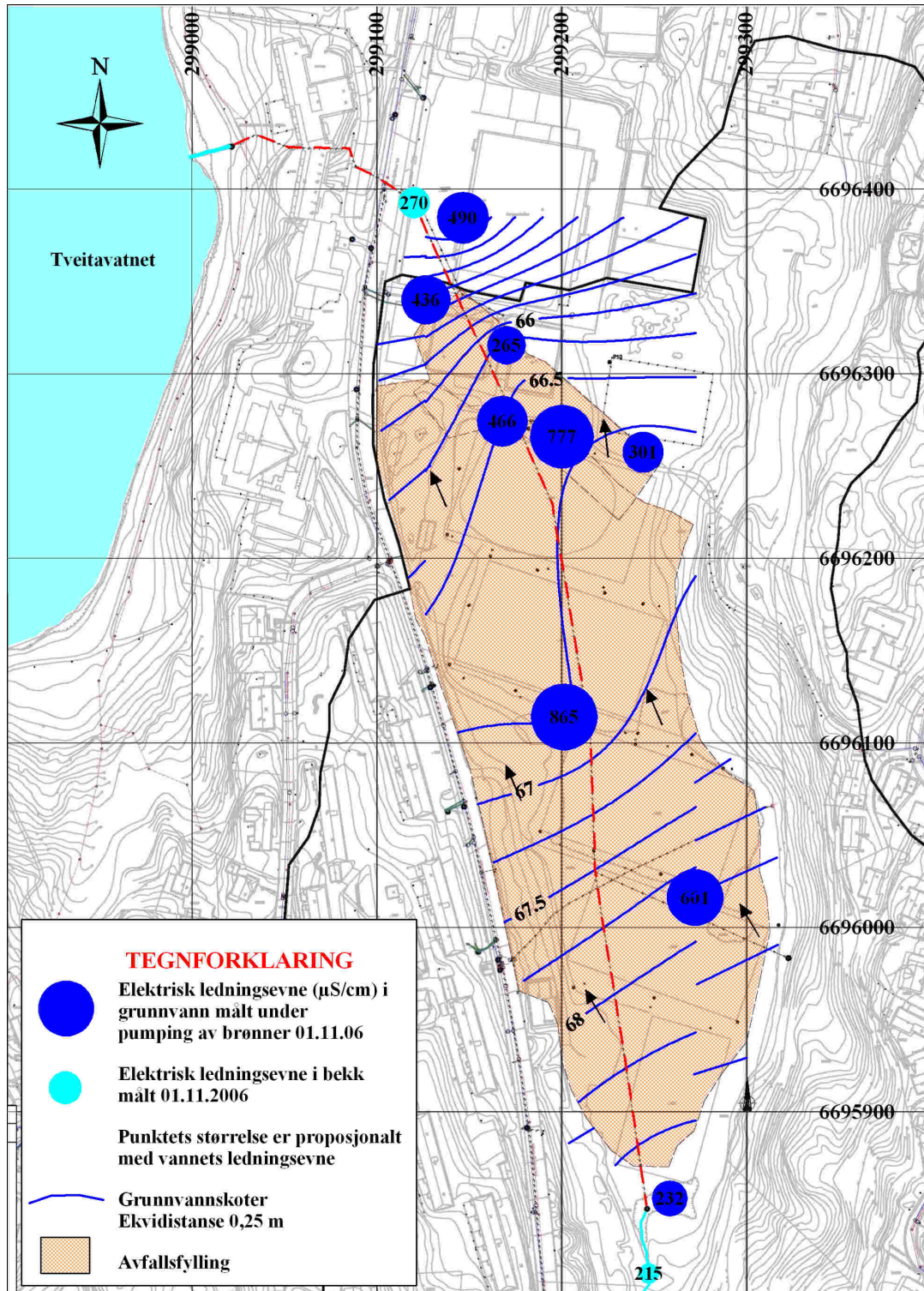


Figur 26. Kartutsnitt med strømingsbilde og elektrisk ledningsevne i grunnvann/sigevann og bekkevann 16 sept. 06

Oppfølgende pumping og måling av elektrisk ledningsevne er utført 1. november 2006. Denne runden representerer en periode med mer nedbør enn målingene i september.

Målingene viser omtrent samme situasjon som i september. Ledningsevnen i grunnvann inne i deponiområdet varierer mellom 300 og 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mens grunnvannet oppstrøm ligger på 232  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ledningsevnen i P9 ved Bergenshallen er lavere enn i september, på grunn av større fortykning med overvann fra arealene rundt hallen.

Også denne gang er kontrasten mellom ledningsevne målingene i bekkevannet oppstrøms og nedstrøms deponiet forbausende liten, med hhv 215 og 270  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



Figur 27. Kartutsnitt med strømningsskema og elektrisk ledningsevne i grunnvann/sigevann og bekkevann 1 nov.. 06

#### 4.7 Karakteriserende parametere i grunnvann/sigevann og bekkevann

På grunn av for lite prøveemballasje ble det kun pumpet og målt elektrisk ledningsevne på vann fra P0 oppstrøms deponiet. Grunnvann fra P1A representerer et oppadstrømmende grunnvann i opprinnelige løsmasser, og gir derfor en indikasjon på en mer naturlig grunnvannskvalitet.

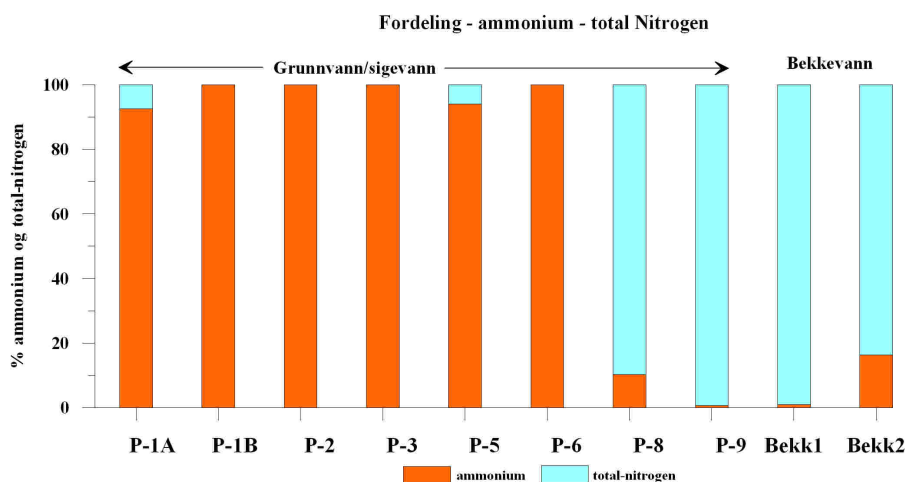
Grunnvann fra alle brønner reagerer basisk. I flere brønner er pH høyere det som er målt i P1A, noe som skyldes at CO<sup>2</sup> produksjon i deponiet gir økt løselighet av karbonater fra mineraler og avfall. Innholdet av suspendert stoff, Total fosfor og TOC er jevnt over høyere i resten av brønnene innenfor deponiet enn i P1A. Økt innhold av TOC medfører større kjemisk oksygenforbruk. Samtlige grunnvannsprøver tatt inne i deponiområdet viser et redusert/oksygenfritt vann hvor nitrogenet foreligger som ammonium, se figur 28. I brønnene nedstrøms deponiet (P8 og P9), er grunnvannet igjen oksygenholdig, både som følge av mindre innhold av organisk materiale i grunnen, og fortykning med vann infiltrert utenfor deponiet.

Et typisk sporingstoff som Bor er påvist i vesentlig lavere konsentrasjon i P1A enn i andre brønnene i deponiområdet.

Tabell 5. Karakteriserende parametere i grunnvann/sigevann og bekkevann

	pH	Susp. stoff	TOC	BOF 5	KOF	Ammonium-N	Total-N	Total-P	Bor	Cl	
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	mg/l	
Drikkevanns forskriften			5,0		5,0	0,5			1000	200	
<b>P-1A</b>	7,3	41	2,5	0,65	13	2,5	2,7	0,017	12	14	"Bakgrunnsverdi"
<b>P-1B</b>	7,2	110	6	1,3	26	11	11	0,19	62	17	
<b>P-2</b>	7,7	83	5,7	3	34	4,8	4,7	0,097	80	26	
<b>P-3</b>	7,5	120	6,7	2,6	39	16	15	0,63	91	7,5	
<b>P-5</b>	7,8	60	11	1,4	32	16	17	0,08	120	9,7	
<b>P-6</b>	7	35	7,8	2,9	18	5,4	5,3	0,14	<10	6,1	
<b>P-8</b>	7,6	270	3,9	0,71	19	0,096	0,94	0,25	11	17	Nedstrøms
<b>P-9</b>	8,1	i.a.	2,2	1,4	6,8	<0,0050	0,73	0,33	13	90	Nedstrøms
<b>Bekk1</b>	7,9	1,6	3,3	0,87	7,4	0,015	1,7	0,011	910	20	Oppstrøms
<b>Bekk2</b>	7,5	2,4	2,9	1,1	5,0	0,39	2,4	0,066	88	6	Nedstrøms

Sammenligning av resultatene fra bekkeprøver tatt oppstrøms og nedstrøms deponiet gir ikke noe entydig bilde av lekkasjeandelen fra deponiet inn i bekkelukningen. Innholdet av suspendert stoff, Total Nitrogen og fosfor er høyere i nedstrømsprøven. Man ser også at andelen nitrogen som foreligger som ammonium øker. Sammenholdt med Tilstandsklasser i SFT 97:04 representerer innholdet av suspendert stoff og TOC tilstandsklasse II (god), mens innholdet av Total Nitrogen og Total fosfor tilsvarer tilstandsklasse V (meget dårlig).



Figur 28. Prosentandel ammonium mot total Nitrogen.

#### 4.8 Tungmetaller i grunnvann/sigevann og bekkevann

I grunnvannet er innhold av tungmetaller over laboratoriets deteksjonsgrenser påvist i kun 2 prøver, se tabell 6. Dette gjelder 50 µg/l nikkel i prøve fra P5 (fjellbrønnen), og 13 µg/l sink i prøve fra P6.

Innholdet av nikkel i prøven fra P5 høyere enn Drikkevannsforskriftens krav, men lavere enn beregnet PNEC verdi på 60 µg/l. PNEC verdiene (SFT 99:01) er utarbeidet med bakgrunn i forsøk på forskjellige organismer, og skal være et konsentrasjonsnivå som med stor grad av sannsynlighet ikke vil ha noen effekt på miljøet.

Innholdet av sink i prøven fra P6 er vesentlig lavere enn både Drikkevannsforskriftens grenseverdi og beregnet PNEC verdi på 100 µg/l

At innholdet av tungmetaller i grunnvannet er lavere enn deteksjonsgrensene stemmer med tidligere erfaringer mht sigevannspåvirket grunnvann. Tungmetallene foreligger i all hovedsak bundet til partikler og organisk materiale. I snitt inneholder de gamle avfallsmassene 15% organisk materiale.

For bekkeprøvene er analyseresultater og klassifisering etter tilstandsklasser fra SFT 97:04 (miljøkvalitet i ferskvann) vist nederst i tabell 6. I bekkeprøven tatt nedstrøms deponiet (bekk-2) tilsvarer innholdet av kadmium, kobber og sink tilstandsklasse V (Meget sterkt forurenset). Det samme er imidlertid tilfellet for prøven tatt oppstrøms. Prøvene er i realiteten så like at det ikke er mulig å se noen tydelig forskjell. Dette stemmer bra med det særdeles lave innholdet av tungmetaller i grunnvannet. I den grad man har transport av tungmetaller ut fra deponiet, må dette skje som partikkeltransport.

Tabell 6. Tungmetaller i grunnvann/sigevann og bekkevann

Drikke Vanns forskrift	10	5	50	100	0,5	20	10	100
PNEC Vann 1)	6	13	70	20	0,5	60	10	100
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
P-1A	<5.0	<0.10	<1.0	<5.0	<0.050	<5.0	<5.0	<10
P-1B	<5.0	<0.10	<1.0	<5.0	<0.050	<5.0	<5.0	<10
P2	<5.0	<0.10	<1.0	<5.0	<0.050	<5.0	<5.0	<10
P3	<5.0	<0.10	<1.0	<5.0	<0.050	<5.0	<5.0	<10
P-5	<5.0	<0.10	<1.0	<5.0	<0.050	50	<5.0	<10
P-6	<5.0	<0.10	<1.0	<5.0	<0.050	<5.0	<5.0	13
P-8	<5.0	<0.10	<1.0	<5.0	<0.050	<5.0	<5.0	<10
P-9	<5.0	<0.10	<1.0	<5.0	<0.050	<5.0	<5.0	<10
Bekk-1	<2.0	<0,40	5,8	6,9	ikke analyse	5,6	<5.0	460
Bekk-2	<2.0	0,46	<5.0	6,3	Ikke analyse	<5.0	<5.0	460
2)	I	<0,04	<0,2	<0,6	<0,002	<0,5	<0,5	<5
	II	0,04-0,1	0,2-2,5	0,6-1,5	0,002-0,005	0,5-2,5	0,5-1,2	5-20
	III	0,1-0,2	2,5-10	1,5-3	0,005-0,01	2,5-5	1,2-2,5	20-50
	IV	0,2-0,4	10-50	3-6	0,01-0,02	5-10	2,5-5	50-100
	V	>0,4	>50	>6	>0,02	>10	>5	>100

1) Predicted No Effect Concentration (SFT 99:01)

2) Tilstandsklasser etter SFT sitt system for ferskvann(SFT 97:04)

#### 4.9 Organiske forbindelser i grunnvann/sigevann og bekkevann

Både grunnvanns-/sigevannsprøver og bekkeprøver er analysert mht de organiske forbindelser som fremgår i tabell 1 i SFT 99:01. Dette medfører at man har analysert mht mer enn 50 organiske forbindelser. I tabellen nedenfor er de stoffer som er påvist over deteksjonsgrensene tatt med.

Innhold av organiske forbindelser er i hovedsak påvist i brønnene P-1B, P2, P3, P5 og P6, som alle er lokalisert inne i deponiet. I brønn P-1A er det kun påvist spor av et klorert løsemiddel, mens de øvrige forbindelser ikke er påvist. P1A representerer som nevnt et oppadstrømmende grunnvann i opprinnelige løsmasser, som ut fra de foreliggende data ikke er merkbart påvirket av de gamle avfallsmassene.

Et visst overtrykk ble også registrert i P5, som er en fjellbrønn satt i en oppstikkende fjellkolle, se figur 12 side 14. Grunnvannet fra det overflatenære sprekkemagasinet er likevel merkbart påvirket, trolig som følge av godt oppsprukket fjell de øverste 2,5 meter under avfallsmassene.

I brønn P8 nedstrøms deponiet, er det påvist en organisk forbindelse (0,41 µg/l Toluen).

Tabell 7. Organiske forbindelser i grunnvann-/sigevann

	1A	1B	P2	P3	P5	P6	P8	P9	PNEC 1)	Drikkevanns forskrift
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l		
<b>Olje/alifatiske hydrokarboner</b>										
C5-C10	<5,0	<b>28</b>	<5,0	<b>15</b>	<b>16</b>	<5,0	<5,0	<5,0	-	10
C10-C12	<10	<b>94</b>	<10	<b>31</b>	<10	<10	<10	<10	-	
C12-C16	<10	<b>19</b>	<10	<10	<10	<10	<10	<10	-	
C16-C35	<20	<b>26</b>	<20	<20	<b>49</b>	<20	<20	<20	-	
Sum	#	<b>170</b>	#	<b>46</b>	<b>65</b>	#	#	#	-	
<b>Aromatiske hydrokarboner</b>										
Benzen	<0,20	<b>1,8</b>	<b>0,51</b>	<b>2,8</b>	<b>1,3</b>	<0,20	<0,20	<0,20	3,5	1,0
Toluen	<0,20	<0,20	<0,20	<b>0,26</b>	<0,20	<0,20	<b>0,41</b>	<0,20	600	
Etylbenzen	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	300	
Xylen	<0,20	<b>5,7</b>	<b>0,34</b>	<b>3,4</b>	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	11	
<b>PAH-forbindelser</b>										
Naftalen	<0,010	<b>2,4</b>	<b>0,037</b>	<b>0,82</b>	<b>0,06</b>	<0,010	<0,010	<0,010	40	
Acenaften	<0,010	<b>0,26</b>	<0,010	<b>0,094</b>	<b>0,021</b>	<b>0,031</b>	<0,010	<0,010		
Fluoren	<0,010	<b>0,12</b>	<0,010	<b>0,061</b>	<b>0,024</b>	<b>0,02</b>	<0,010	<0,010	4	
Fenantren	<0,010	<b>0,067</b>	<0,010	<b>0,029</b>	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010		
Antracen	<0,010	<b>0,018</b>	<0,010	<b>0,014</b>	<b>0,021</b>	<0,010	<0,010	<0,010		
Fluoranten	<0,010	<b>0,023</b>	<0,010	<b>0,012</b>	<0,010	<b>0,018</b>	<0,010	<0,010	0,09	
Pyren	<0,010	<b>0,013</b>	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	0,09	
Sum PAH	#	<b>2,8</b>	<b>0,037</b>	<b>1</b>	<b>0,13</b>	<b>0,068</b>	#	#		0,1
<b>Klorerte løsemidler</b>										
Diklor metan	<b>3,1</b>	<b>2</b>	<b>0,47</b>	<0,10	<b>0,3</b>	<0,10	<0,10	<0,10	200	
<b>Klorbenzener</b>										
Monoklor benzen	<0,010	<b>0,27</b>	<0,010	<0,010	<b>0,022</b>	<0,010	<0,010	<0,010	4,9	
1,2-Diklorbenz.	<0,010	<b>0,019</b>	<0,010	<b>0,012</b>	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010	26	
1,4-Diklorbenz.	<0,010	<b>0,2</b>	<0,010	<b>0,039</b>	<0,010	<b>0,01</b>	<0,010	<0,010	1,9	
Sum Klor benzen	--	<b>0,48</b>	--	<b>0,051</b>	<b>0,022</b>	<b>0,01</b>	--	--		

1) Predicted No Effect Concentration (SFT 99:01)

Både de lette og tyngre oljefraksjonene er påvist i grunnvann/sigevann, med summerte konsentrasjoner fra 46-170 µg/l. Det finnes ikke norske miljøbaserte grenseverdier for oljeinnhold i grunnvann. I Drikkevannsforskriften grenseverdien satt til 10 µg/l

Av flyktige organiske forbindelser er det påvist både Benzen, Toluen og Xylen. Innholdet er lavere enn beregnede PNEC-verdier, men påvist maksimalkonsentrasjon av Benzen på 2,8 µg/l, er i nærheten av PNEC-verdien på 3,5 µg/l

**PCB er som forventet ikke påvist i noen av grunnvannsprøvene.** PCB-forbindelser opptrer i likhet med tungmetallene partikkelbundet, og løses i liten grad i vannfasen.

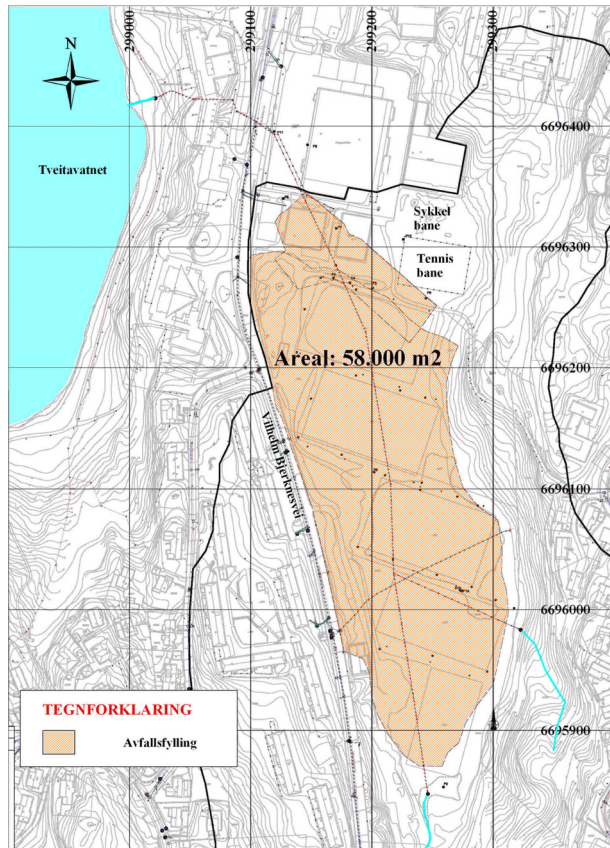
Av PAH-forbindelsene er Naftalen, Acenaften, Fluoren, Fenantren, Antracen, Fluoranten og Pyren påvist 6 av brønnene. Ingen av forbindelsene foreligger i nivåer opp mot PNEC-verdiene, men maksimalverdi for sum PAH i grunnvann/sigevann overskrider Drikkevannsforskriftens grenseverdi 28 ganger.

Av de klororganiske forbindelsene er det løsemiddelet Diklormetan påvist i 4 brønner, mens Klorbenzener er påvist i 4 brønner. Ingen av stoffene er påvist opp mot de beregnede PNEC-verdier.

I bekkeprøver tatt oppstrøms og nedstrøms deponiet er det i denne prøvetakingsrunden ikke påvist innhold av organiske forbindelser. I prøver av bekkevannet tatt av Asplan Viak i september 2005 ble det imidlertid påvist 0,34 µg/l Benzen og 9,1 µg/l olje i bekkevannet.

## 5 AREALER MED FORURENSET JORD OG MILJØMÅL FOR LOKALITETEN

### 5.1 Arealer med forurenset jord



Basert på gjennomgang av eksisterende bakgrunnsmateriale, grunnundersøkelser og analyseresultater er arealet av forurenset masse ca. 58.000 m<sup>2</sup>.

Figur 29. Areal med forurenset masse.

### 5.2 Miljøsmål for lokaliteten

Bergen kommune har etter hva vi kjenner til ikke utarbeidet lokale miljøsmål for selve lokaliteten, utover det at man i saneringsplan for Fjøsangervassdraget har satt som mål at Tveitevatnet skal ha badevannskvalitet. De mest aktuelle miljøsmål er beskyttelse av mennesker som oppholder seg på arealene, samt at det ikke skal skje negativ innvirkning på resipienten.

Det finnes to eksisterende bygg på området, hvorav det arbeides med utvidelse av ett av dem (Gimlehallen). Både i denne sammenheng og ved eventuelle fremtidige bygg medfører gravearbeider fare for at miljøgifter bundet til partikler spres med overvann til resipienten via overvannsystem. Det må derfor treffes tiltak for å beskytte miljøet som tilpasses planene.

Arbeider med forurensningsbegrensende tiltak i området må også vurderes i forhold til risikovurderingen, for at følgende miljøsmål skal oppfylles.

- Mennesker som bruker området må ikke bli påvirket av miljøgifter.
- Gassdannelser skal ikke kunne påvirke innemiljøet i eksisterende eller fremtidige bygg på området.
- Miljøgifter skal ikke kunne spres til overflateresipienten (Tveitevatnet)



## 6 RISIKOVURDERING – TRINN 1

Ser man på samtlige jordprøver tatt i området, overskrides SFT's normverdiene for følgende stoffer:

- Samtlige tungmetaller (As, Pb, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Zn)
- Alifatiske hydrokarboner (>C<sub>5</sub>-C<sub>10</sub>, >C<sub>10</sub>-C<sub>12</sub> og >C<sub>12</sub>-C<sub>35</sub>)
- Benso(a)pyren, Fluoranten og Pyren (PAH-forbindelser)
- PCB
- Cyanid fri (1 prøve fra P-1B, 3-5m)

Overskridelsene skyldes uten tvil tilført forurensning i form av deponert avfall som inneholder de nevnte forbindelser, og er ikke representativ for naturlig bakgrunnsnivå i området.

Lokaliteten ligger på et område som er regulert til idrettsområde, og vil bli benyttet til dette også i fremtiden. I SFT 99:01 (Risikovurdering av forurenset grunn), er følsomme områder definert som områder hvor det er spesielt stor risiko for at mennesker kan utsettes for helseskade. Dette vil være områder hvor det er en høy sannsynlighet for eksponering av de forurensete forbindelser, eventuelt hvor følsomheten for eksponering er spesielt høy, som for eksempel hos barn.

Eksempler på følsomme områder er boligområder, barnehager, leke- og **idrettsplasser**, badestrender samt naturreserver. Sletta er regulert til idrettsplass, hvor også barn oppholder seg. Området må derfor karakteriseres som et område med følsom arealbruk.

I og med at inntak av grønnsaker og grunnvann ikke er aktuelt ved nåværende eller planlagt arealbruk, er det likevel ikke relevant å foreta en beslutning utelukkende basert på normverdiene for mest følsom arealbruk, som forutsetter eksponering gjennom alle definerte eksponeringsveier som er beskrevet i SFT 99:01.

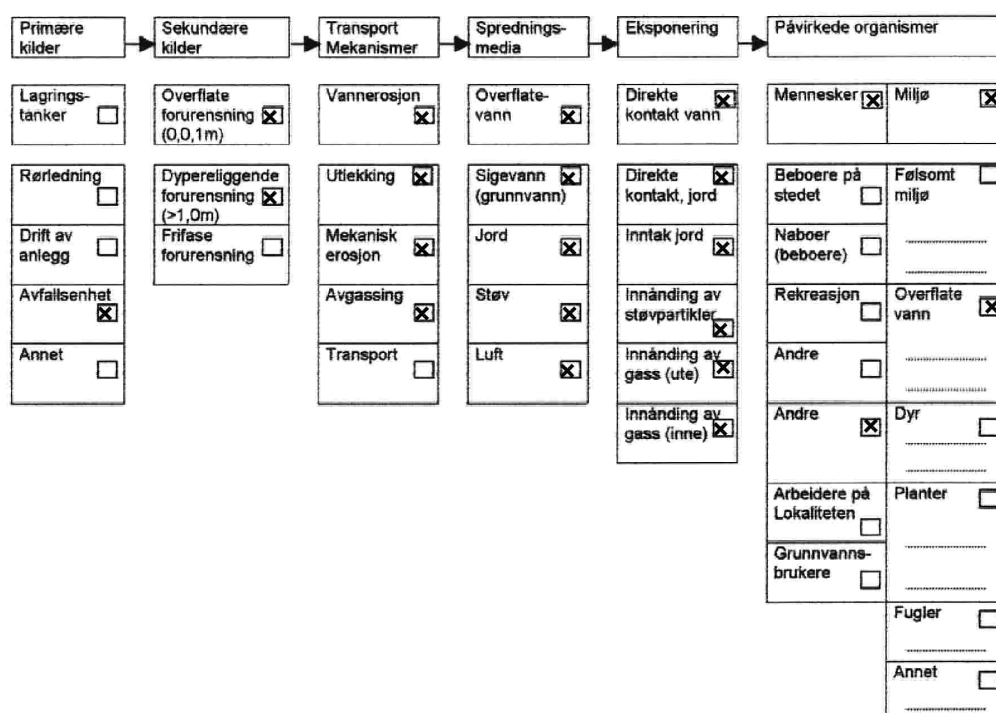
Risikovurderingen utvides derfor til trinn 2.

## 7 RISIKOVURDERING – TRINN 2

### 7.1 Identifisering av uønskede hendelser på lokaliteten

Uønskede hendelser som kan inntreffe på lokaliteten er:

- Mennesker som trener på området kan eksponeres for forurensninger. Det er påvist innhold av miljøgifter som overskrider normverdiene i jordprøver som representerer nivået 0-1 meter under terreng. Stedvis er toppdekket over de gamle avfallsmassene 0,5 meter eller mindre.
- Lengst sør står grunnvannet i partier omtrent i dagen etter lengre nedbørsperioder. Dette vannet kan være påvirket av underliggende avfallsmasser. Mennesker kan komme i kontakt med dette vannet.
- Gassdannelser kan påvirke innemiljøet i bygg på området (bygninger kan være etablert på avfallsmasser). Dette er i realiteten lite sannsynlig i dag, siden avfallet er minimum 45 år gammelt. Flyktige forbindelser har i all hovedsak gasset av tidligere. Grunnvannsprøver viser imidlertid innhold av flyktige forbindelser.
- Utlekking av forurensning til grunnvann/sigevann og videre ut i Tveitevatnet.
- Partikkeltransport av forurenset masse via bekkelukking og overvannssystem ved kraftig nedbør.



Figur 30. Eksponeringsskjema til utvelgelse av aktuelle eksponeringsveier på lokaliteten.

De viktigste spredningsveier fra påvist forurensning på lokaliteten er funnet å være:

- Partikkeltransport av forurenset masse via bekkelukking og overvannssystem ved kraftig nedbør. Det er påvist spredning i sedimenter i kum medstrøms deponiet.
- Utlekking av forurensning til grunnvann/sigevann og videre ut i Tveitevatnet. Fra 2-3 meter av avfallsmassen er vannmettet, og grunnvannet/sigevannet drenerer ut mot Tveitevatnet.

## 7.2 Kilde/arealanalyse

Basert på gjennomgang av eksisterende bakgrunnsmateriale, grunnundersøkelser og analyseresultater utgjør arealet med forurenset masse ca. 58.000 m<sup>2</sup>. Arealet er skravert på figur 29. I videreføringen av risikovurderingen fortsettes det med de komponentene som er påvist i konsentrasjoner over normverdiene for mest følsom arealbruk. Det er mennesker som skal beskyttes mot eksponering.

## 7.3 Sprednings-/transportanalyse

I og med at store deler av avfallsmassen er vannmettet, kan den påviste forurensning dels løses ut i porevann og grunnvann for deretter å transporteres til overflateresipienten. Til beregningene av fasefordeling mellom påviste konsentrasjoner i jord og porevann, samt spredning/transport er de høyeste konsentrasjoner som er påvist samt beregnet middelkonsentrasjon av forureningskomponentene benyttet. Hydrauliske overslagsberegninger indikerer en teoretisk grunnvann-/sigevannstransport på 10200 m<sup>3</sup>/år. Vannføringen i overflateresipienten er satt til 725.000 m<sup>3</sup>/år. Dette tilsvarer avrenningen fra deponiets totale nedbørfelt ut i Tveitevatnet (23 l/s).

For grunnvannet er målt innhold av oljekomponenter (alifatiske hydrokarboner) høyere enn beregnede verdier, se tabell 8. For PAH-forbindelsene er det dels godt samsvar mellom målte og beregnede verdier, mens beregnet innhold av tungmetall er vesentlig høyere enn målte verdier. Tungmetaller er omtrent ikke påvist over deteksjonsgrensene i prøver fra brønnene.

De beregnede verdier for grunnvann er benyttet til å beregne konsentrasjoner i overflateresipienten (konservativt anslag). Beregnede verdier for overflatevannet for PAH- og PCB-forbindelser ligger lavere enn PNEC-verdier, mens innholdet av tungmetallene arsen, bly, kobber, nikkel og sink ligger over. Dette er en meget konservativ vurdering basert på maksimale målte konsentrasjoner i jord. For beregnede verdier basert på midlere konsentrasjoner i jord, er det kun beregnet innhold av arsen og sink som overskrider PNEC-verdiene. PNEC-verdien overskrides også for fri Cyanid. Stoffet er imidlertid påvist over deteksjonsgrensen i kun en jordprøve.

I Grunnvann-/sigevannsprøvene er det påvist innhold av BTEX og klororganiske forbindelser (Diklormetan og Klorbenzener) i 4 brønner, uten at disse stoffer i særlig grad er påvist i jordprøvene. I tillegg viser sedimentprøve tatt i kum nedstrøms fyllingen at det foregår partikkeltransport av tungmetaller, PAH og PCB fra deponiområdet.

Tabell 8. Målte og beregnede konsentrasjoner i vann ved spredning fra kilden

Stoff	Målt kons. i jord (mg/kg)		Målt kons. i grunnvann (mg/l)		Beregnet konsentrasjon i vann (mg/l)				PNEC* (mg/l)	Drikke-Vannsnorm
	Max mg/kg	Middel mg/kg	P-1B	P-3	Grunn vann C <sub>gw, max</sub>	Grunn vann C <sub>gw, mid</sub>	Resipi ent C <sub>sw, max</sub>	Resipi ent C <sub>sw, mid</sub>		
Alifater >C5-C10	13	8,0	2,8E-02	1,5E-02	7E-02	4E-02	1E-03	6E-04		1E-02
Alifater >C10-C12	50	16	9,4E-02	3,1E-02	2E-03	6E-04	2E-05	8E-06		1E-02
Alifater >C12-C35	2200	441	4,5E-02	>2E-02	4E-03	8E-04	5E-05	1E-05		1E-02
Arsen	43	17,8	<5E-05	<5E-03	1E+00	5E-01	2E-02	7E-03	7, E-03	1E-02
Benzo(a)pyren	2,9	0,4	<1E-05	<1E-05	3E-05	4E-06	4E-07	5E-08	2, E-04	1E-05
Bly	1000	224,1	<5E-03	<5E-03	9E-01	2E-01	1E-02	3E-03	1, E-02	1E-02
Cyanid fri	1,5	1,5	<1E-03	<1E-03	1E+00	1E+00	2E-02	2E-02	1E-04	1E-02
Fluoranten	6,5	1,1	2,3E-05	1,2E-05	5E-04	9E-05	7E-06	1E-06	9, E-05	
Fluoren	0,48	0,12	1,2E-04	6,1E-05	3E-04	7E-05	4E-06	1E-06	4, E-03	
Kadmium	5,7	2	<1E-04	<1E-04	2E-01	6E-02	2E-03	8E-04	1, E-02	5E-03
Kobber	1700	505	<5E-03	<5E-03	3E+00	9E-01	4E-02	1E-02	2, E-02	1
Krom totalt	130	57,3	<1E-03	<1E-03	4E+00	2E+00	5E-02	2E-02	7, E-02	5-02
Kvikksølv	5,5	1,2	<5E-05	<5E-05	2E-02	5E-03	3E-04	8E-05	5, E-04	5E-04
Nikkel	500	70	<5E-03	<5E-03	4E+00	6E-01	6E-02	9E-03	6, E-02	2E-02
PAH totalt	35	5,5	2,8E-03	1,0E-03	3E-04	5E-05	5E-06	7E-07		1E-04
PCB-7	0,31	0,1	<1E-05	<1E-05	2E-05	4E-06	2E-07	6E-08	2, E-06	
Pyren	4,9	0,9	1,3E-05	<1E-05	4E-04	8E-05	6E-06	1E-06	1, E-04	
Sink	4800	1531	<1E-02	<1E-02	4E+01	1E+01	6E-01	2E-01	1, E-01	3E-01

\* Predicted No Effect Concentration (SFT 99:01)

#### 7.4 Eksponeringsanalyse ved aktuell arealbruk

Området benyttes i dag som treningsareal/fotballbaner, og skal benyttes til dette også i fremtiden. Siden det forurensete området er uten fast dekke og stedvis har liten overdekning, kan følgende eksponeringsveier kan være aktuelle:

- Direkte kontakt med forurenset jord ( $C_{du}$ )
- Oralt inntak av forurenset jord ( $C_{is}$ )
- Innånding av forurenset støv ( $C_{id}$ )
- Inntak av fisk er satt til 10% ( $C_{if}$ )
- Innånding av forurenset gass ( $C_{iv}$ ) (bygg på området, Turnkassen og Gimlehallen)

Dette er basert på at det stedvis er kun 0,5 meter eller mindre med sandige dekkmasser oppå det gamle avfallet. I tillegg inneholder dette topplaget også miljøgifter over SFT's normverdier. Bygningene Turnkassen og Gimlehallen er satt hhv helt og delvis inne på det gamle avfallsdeponiet, uten at man vet om massene er skiftet ut under byggene. Man har derfor vurdert innånding av forurenset gass basert på jordas innhold av stoffer.

I risikovurderingen er eksponeringstider for barn satt til 100 dager/år og 2 timer/dag. Dette for å reflektere dagens bruk av området. Området er tilgjengelig for barn, også utenom de organiserte treningsøktene.

I tabell 9 fremgår beregnede stedsspesifikke akseptkriterier ( $C_{he}$ ) for den gamle avfallsfyllingen ved eksisterende arealbruk.

Tabell 9. Beregnede stedsspesifikke akseptkriterier for human helse ( $C_{he}$ ) for deponiområdet ved eksisterende arealbruk

Stoff	Steds- spesifikk $C_{he}$	Oralt jordinntak $C_{is}$	Hudkontakt $C_{du}$	Inhalering støv $C_{id}$	Gass $C_{iv}$	Fisk $C_{if}$
Alifater > C5-C10	4,8E+03	1,5E+05	2,4E+04	1,1E+09	4,4E+04	7,2E+03
Alifater >C10-C12	5,2E+03	1,5E+05	2,4E+04	1,1E+09	2,1E+05	7,3E+03
Alifater >C12-C35	5,3E+03	1,5E+05	2,4E+04	1,1E+09	1,0E+06	7,2E+03
Arsen	2E+00	6,0E+01	5,9E+01	2,7E+03		3,3E-01
Benzo(a)pyren	8,5E-01	1,4E+01	2,1E+00	1,2E+02	3,3E+05	1,6E+00
Bly	2,2E+02	1,5E+03	8,0E+03	5,3E+05		2,7E+02
Cyanid fri	2,0E+02	1,8E+04	1,9E+03	4,2E+07	2,3E+04	2,3E+02
Fluoranten	3,3E+03	5,8E+04	9,6E+03	1,4E+08	1,4E+09	5,6E+03
Fluoren	3,4E+03	5,8E+04	9,6E+03	1,4E+08	4,7E+07	5,9E+03
Kadmium	3E+00	1,5E+03	3,4E+02	6,0E+03		1,7E+00
Kobber	4,6E+03	7,3E+05		1,8E+09		4,7E+03
Krom totalt (III + VI)	3,2E+02	1,5E+06	5,3E+05	3,2E+02		5,2E+05
Kvikksølv	5,6E+01	6,9E+02	4,5E+02	1,2E+06	5,2E+02	8,2E+01
Nikkel	5,6E+02	7,3E+03	6,8E+02	1,3E+04		8,7E+03
PAH totalt	1,4E+01	2,2E+02	3,3E+01	1,9E+03	5,3E+06	2,6E+01
PCB CAS1336-36-3	1,6E-01	1,3E+01	5,8E+00	4,6E+03	1,4E+05	1,6E-01
Pyrene	2,5E+03	4,4E+04	7,2E+03	1,1E+08	1,5E+09	4,2E+03
Sink	3,4E+04	1,5E+06	2,4E+06	3,5E+09		3,5E+04

## 7.5 Konsekvens

I spredningsanalyser som er utført basert på beregnede verdier i grunnvann/sigevann, indikerer en viss økotoksikologisk miljørisiko i forhold til overflatevannet mht innholdet av arsen, bly, kobber, nikkel og sink. I prøver av grunnvann/sigevann viser analysene ikke innhold av tungmetaller over deteksjonsgrensene. Tungmetallene foreligger i all hovedsak bundet til partikler og organisk materiale.

I grunnvanns-/sigevannsprøvene er det imidlertid påvist innhold av BTEX og klororganiske forbindelser (Diklormetan og Klorbenzener) i 4 brønner, uten at disse stoffer i særlig grad er påvist i jordprøvene. I tillegg viser sedimentprøve tatt i kum nedstrøms fyllingen at det foregår partikkeltransport av tungmetaller, PAH og PCB fra deponiområdet

Det er beregnet stedsspesifikke akseptkriterier for human helse ( $C_{he}$ ) for lokaliteten ved eksisterende arealbruk. Videre er gassdiffusjon fra det definerte kildeområdet og inn i bygninger på området vurdert i forhold til administrative normer for arbeidsatmosfære. Resultatene som danner grunnlaget for konklusjon og anbefalinger er presentert i de påfølgende tabeller.

Tabell 10. Beregnede stedsspesifikke akseptkriterier for human helse og målte konsentrasjoner i jord

STOFF	Antall prøver	Målte konsentrasjoner i jordprøver (mg/kg ts)		Sammenligningsgrunnlag (mg/kg ts)	
		$C_{s, max}$ (mg/kg)	$C_{s, middel}$ (mg/kg)	Normverdi	Stedsspesifikk $C_{he}$ (mg/kg ts)
Alifater > C5-C10	6	13	8,02	7	4773
Alifater >C10-C12	8	50	15,9	30	5231
Alifater >C12-C35	28	2200	441	100	5332
Arsen	27	<b>43</b>	<b>17,7</b>	2	2
Benzo(a)pyren	29	<b>2,9</b>	0,40	0,1	0,85
Bly	32	<b>1000</b>	<b>224,06</b>	60	219
Cyanid fri	1	1,5	1,5	1	203
Fluoranten	29	6,5	1,1	0,1	3346
Fluoren	22	0,48	0,118	0,6	3443
Kadmium	25	<b>5,7</b>	2,039	3	3
Kobber	32	1700	505,7	100	4646
Krom totalt	30	130	57,34	25	320
Kvikksølv	32	5,5	1,23	1	56
Nikkel	32	500	70,10	50	558
PAH totalt	30	<b>35</b>	5,47	2	13
PCB7	9	<b>0,31</b>	0,079	0,01	0,16
Pyren	29	4,9	0,93	0,19	2516
Sink	32	4800	1531	100	33535

Midlere innhold av arsen og bly, samt maksimalkonsentrasjoner av PAH total, Benzo(a)pyren og PCB overskrider de beregnede stedsspesifikke akseptkriterier for human helse ved eksisterende arealbruk.

Samme vurdering utført med kun verdier fra overflateprøver (0-1 meter) viser helseisiko mht midlere innhold av arsen og bly. Av prøver tatt fra 0-1 meters dyp overskrides den stedsspesifikke akseptkriteriet for bly (219 mg/kg) i 2 av 11 prøver.

Det foreligger derfor ikke noen umiddelbar risiko ved eksisterende arealbruk. Topplagets mektighet varierer innenfor området. Frostprosesser, setninger og eventuell jordbearbeiding kan medføre at dypereliggende forurensning blandes ytterligere i topplaget. **Dette må med bakgrunn i risikovurderingen unngås.**

Tabell 11. Beregnet konsentrasjon av hydrokarboner, kvikksølv, PAH og PCB i inneluft

Stoff	Beregnet $C_{ia, max}$ Inneluft (mg/l)	Beregnet $C_{ia, middel}$ Inneluft (mg/l)	Akseptkriterium* (mg/l)
Alifater > C5-C10	1E-04	8E-05	5E-02
Alifater >C10-C12	1E-05	4E-06	5E-02
Alifater >C12-C35	1E-04	2E-05	5E-02
Benso(a)pyren	5E-14	7E-15	Ikke tilgj.
Fluoranten	2E-11	3E-12	Ikke tilgj.
Fluoren	4E-11	1E-11	Ikke tilgj.
Pyren	1E-11	2E-12	Ikke tilgj.
PAH totalt	4E-10	6E-11	4E-05
Cyanid fri	9E-08	9E-08	5E-03
Kvikksølv	6E-07	1E-07	5E-05
PCB-7	3E-13	8E-14	1E-05

\* Tall hentet fra Adm. Normer for forurensning i arbeidsatmosfære, 2003

Ingen av de beregnede konsentrasjoner i inneluft overstiger de administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfære.

## 8 OPPSUMMERING

Det er meget godt samsvar mellom innsamlet informasjon om det gamle avfallsdeponiets plassering og utbredelse og resultater fra utførte grunnundersøkelser og analyser.

### Jordprøver

Ser man på samtlige jordprøver tatt innenfor deponiområdet, overskrides SFT's normverdier for følsom arealbruk i mange prøver mht tungmetaller, alifatiske hydrokarboner (olje), PCB og PAH-forbindelsene benzo(a)pyren, fluoranten og pyren.

Klorerte løsemidler, klorbenzener, BTEX og andre flyktige forbindelser er ikke påvist i konsentrasjoner over SFT's normverdier i jordprøvene. Normverdiene overskrides også i prøver tatt fra topplaget (0-1m), både mht tungmetaller, olje PCB og PAH.

### Grunnvann/sigevann

Grunnvannet har klar gradient mot nord og ut langs det tidligere dalsøkket. Ut fra fjelltopografien og strømningsmønsteret skjer utstrømningen mot Tveitevatnet i all hovedsak via løsmasser i området vest for bergenshallen. Dette er området hvor den opprinnelige bekken fra dalsøkket rant ut mot vatnet før deponiet ble etablert. Grove omfyllingsmasser og drenerings-system rundt bergenshallen fungerer i stor grad som en oppsamling for sigevannet, og styrer grunnvannsnivået i dette området. Dreneringsystemet rundt hallen er koplet til 400mm røret som går gjennom deponiet og videre ut i Tveitevatnet.

Overlagberegninger basert på hydrauliske parametere fra undersøkelsene indikerer at vannmengden som strømmer gjennom avfallsmassene er av størrelsesorden 10 200 m<sup>3</sup>/år (0,33 l/s). Beregningene er usikre fordi permeabiliteten kan variere mye i avfallsmassene. Vannmengder basert på arealer og nettonedbør tilsier en sigevannsmengde på 8 l/s. Dette betyr i så fall at storparten av overvann og nedbør som drenerer inn mot deponiet drenerer ut via overvannssystemet på banene. Overvannssystemet er koplet til bekkelukkingen gjennom avfallsmassene. Dette er for så vidt i tråd med at vannmengden i bekkelukkingen nedstrøms deponiet ble anslått til 2,3 l/s 1. november 2006 (Hafner, Bergen kommune).

I grunnvannet i og nedstrøms deponiet varierer elektriske ledningsevne mellom 450 og 800 µS/cm, mens målinger på grunnvann fra P0 oppstrøms viser 211-232 µS/cm. Den økende ledningsevnen skyldes økende innhold av blant annet kalium, kalsium, bikarbonat, klorid og nitrogen. Samtlige grunnvannsprøver fra deponiområdet viser et redusert/oksygenfritt vann hvor nitrogenet foreligger som ammonium.

I grunnvannet er tungmetaller knapt påvist over laboratoriets deteksjonsgrenser. Tungmetallene foreligger i all hovedsak bundet til partikler og organisk materiale. PCB er heller ikke påvist i noen av grunnvannsprøvene. I likhet med tungmetallene opptrer PCB-forbindelser partikkelbundet og løses i liten grad i vannfasen.

Organiske forbindelser er i hovedsak påvist i brønner lokalisert inne i deponiet. Både de lette og tyngre oljefraksjonene er påvist, med summerte konsentrasjoner fra 46-170 µg/l. I Drikkevannsforskriften grenseverdien satt til 10 µg/l.

Av flyktige organiske forbindelser er det påvist Benzen, Toluen og Xylen. Innholdet er lavere enn beregnede PNEC-verdier, men påvist maksimalkonsentrasjon av Benzen på 2,8 µg/l, er i nærheten av PNEC-verdien på 3,5 µg/l. Av de klororganiske forbindelsene er løsemiddelet Diklormetan og Klorbenzener påvist i 4 brønner. Ingen av stoffene er påvist opp mot de beregnede PNEC-verdier.

PAH-forbindelsene Naftalen, Acenaften, Fluoren, Fenantren, Antracen, Fluoranten og Pyren påvist i 6 av brønnene. Ingen av forbindelsene foreligger i nivåer opp mot PNEC-verdiene, men maksimalverdi for sum PAH i grunnvann/sigevann overskrider Drikkevannsforskriftens grenseverdi 28 ganger.

Analysesultatene bekrefter at brønn P1A representerer et oppadstrømmende grunnvann i opprinnelige løsmasser, som ut fra de foreliggende data ikke er merkbart påvirket av de gamle avfallsmassene. Grunnvannet fra det overflatenære sprekkemagasinet i P5 er påvirket, trolig som følge av godt oppsprukket fjell de øverste 2,5 meter under avfallsmassene.

### Bekkevann

Målinger av elektrisk ledningsevne i bekken oppstrøms og nedstrøms deponiet 16.09.05 viser hhv 287 og 300 µS/cm. Kontrasten er overraskende liten, da videoinspeksjon har dokumentert at bekkelukkingen stedvis er i dårlig forfatning og drenerer sigevann. Ledningsevнемålingene indikerer at lekkasjen må være liten, spesielt fordi målingene er utført i en tørr periode.

Sammenligning av øvrige analysesresultater fra bekkeprøver tatt oppstrøms og nedstrøms deponiet gir heller ikke noe entydig bilde av lekkasjeandelen fra deponiet inn i bekkelukkingen. Man ser at innholdet av suspendert stoff, Total Nitrogen og fosfor er høyere i nedstrømsprøven, og at andelen nitrogen som foreligger som ammonium øker noe.

I nedstrømsprøven tilsvarer innholdet av kadmium, kopper og sink tilstandsklasse V (Meget sterkt forurenset). Det samme er imidlertid tilfelle for prøven tatt oppstrøms. Med hensyn til tungmetaller er prøvene er i realiteten så like at det ikke er mulig å se noen tydelig forskjell. Dette stemmer bra med det særdeles lave innholdet av tungmetaller i grunnvannet. I den grad man har transport av tungmetaller ut fra deponiet, må dette skje som partikkeltransport.

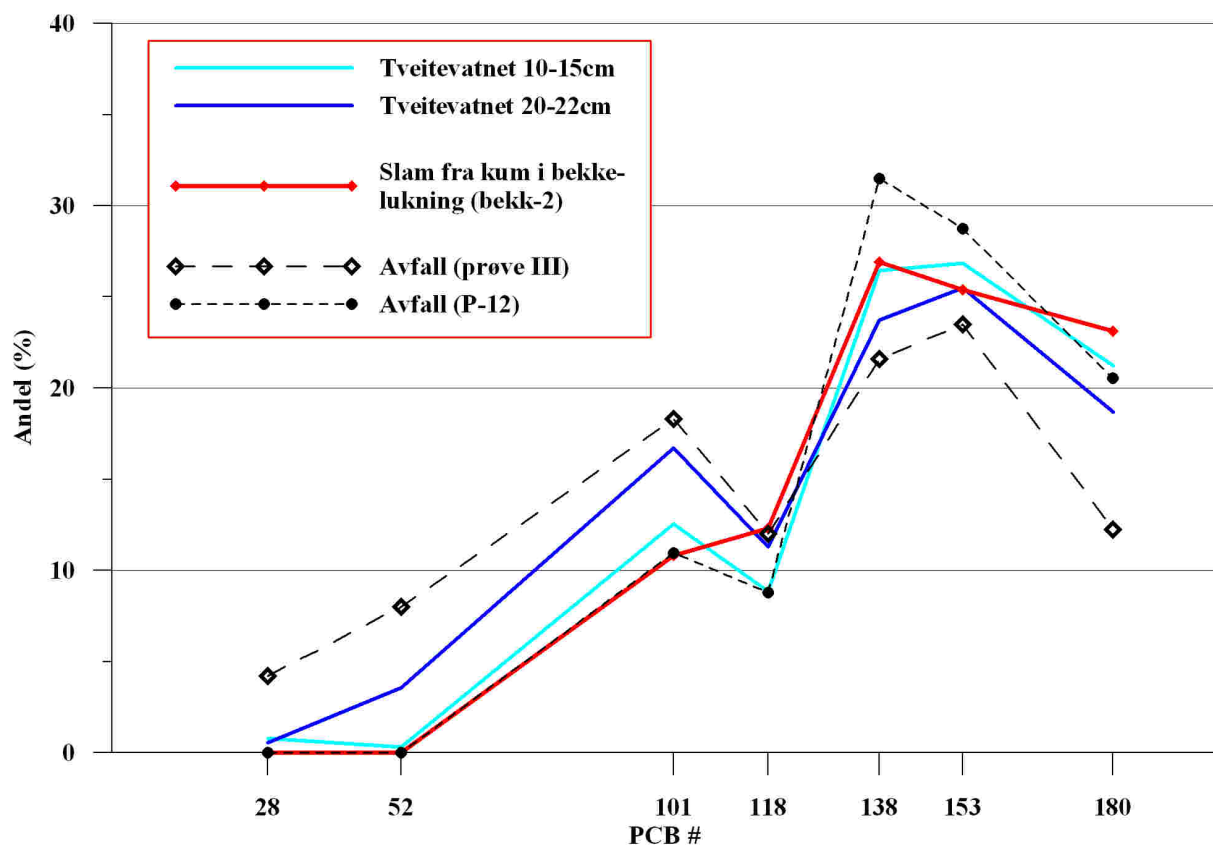
I bekkeprøver tatt oppstrøms og nedstrøms deponiet er det høsten 2006 ikke påvist innhold av organiske forbindelser. I prøver tatt av Asplan Viak i september 2005, ble det påvist 0,34 µg/l Benzen og 9,1 µg/l olje i bekkevannet.

### Sedimentprøver

I sedimenter fra kummen nedstrøms deponiet tilsvarer innholdet av sink tilstandsklasse III (markert forurenset), mens innholdet av de øvrige tungmetallene tilsvarer klasse II (moderat forurenset). Innholdet av tungmetaller er høyere nedstrøms deponiet enn i prøven tatt oppstrøms, noe som indikerer partikkeltransport via overvannssystem og bekkelukking.

Også innholdet av olje, PAH og PCB er høyere i sedimentet fra kummen enn i bekken oppstrøms. Innholdet av PCB er analysert til 0,13 mg/kg, mens PCB ikke er påvist over deteksjonsgrensen oppstrøms. Det er også påvist heksaklorbenzen og pentaklorfenol i nedstrømsprøven. Pentaklorfenol er påvist tett oppunder normverdien i 7 av jordprøvene fra deponiområdet.

Som ytterligere dokumentasjon på partikkeltransport ut fra deponiet er PCB-profilen for 2 sedimentprøver fra Tveitevatnet, sedimentprøve fra kum og jordprøver fra deponiet plottet i figur 31.



Figur 31. PCB-profiler i sedimentprøver fra Tveitevatnet (NIVA), sediment fra kum/bekkelukking og jordprøver fra deponiet

PCB-profilen i sedimentprøven fra kummen (Bekk-2, rød kurve) er lik profilen i prøver tatt fra avfallsmassene (sorte kurver). Dette bekrefter langt på vei at PCB-innholdet i kummen stammer fra partikkeltransport, enten via den uttette bekkelukkingen eller fra overvannssystemet ute på banene.

Sammenlignes PCB-profiler i prøver tatt fra bunnsedimentene i Tveitevatnet (blå kurver) med de øvrige, ser man at disse ligner veldig på prøven tatt i kummen (rød kurve).

Dette er en god indikasjon på partikkeltransport av PCB fra det gamle avfallsdeponiet og ut på Tveitevatnet. Usikkerheten her er at det kan finnes andre forurensningskilder med tilnærmet samme PCB-profil i vannets nedslagsfeltet.



## 9 KONKLUSJON

Spredningsanalysen indikerer en viss økotoksikologisk miljørisiko i forhold til overflatevannet basert på innholdet av tungmetaller i de gamle avfallsmassene. Dette er en konservativ vurdering, spesielt med tanke på at tungmetallene ikke er påvist over deteksjonsgrensene i grunnvannsprøvene.

Grunnvannet som strømmer ut mot overflateresipienten inneholder imidlertid både olje, BTEX, klororganiske forbindelser og PAH-forbindelser. I tillegg er partikkeltransport av tungmetaller, PAH og PCB dokumentert. **Det må derfor ut fra de beskrevne miljømål gjennomføres tiltak for å hindre at miljøgifter spres til resipienten.**

Området benyttes i dag som treningsareal/fotballbaner uten fast dekke, og skal benyttes til dette også i fremtiden. Midlere innhold av arsen og bly, samt maksimalkonsentrasjoner av PAH total, Benzo(a)pyren og PCB overskrider de beregnede steds spesifikke akseptkriterier for human helse ved eksisterende arealbruk. Samme vurdering utført med kun verdier fra Topplaget (0-1m) viser helseisiko mht midlere innhold av arsen og bly.

Middelverdier for arsen i topplaget ligger på 7 mg/kg. Nye grenseverdier for arsen vil etter hva vi kjenner til bli satt til 8 mg/kg fra SFT sin side. Det er dermed lite aktuelt med tiltak på grunn av arsen alene. Det steds spesifikke akseptkriteriet for bly overskrides i kun 2 av 11 prøver fra topplaget. Det foreligger derfor ikke noen umiddelbar risiko ved eksisterende arealbruk. Topplagets mektighet varierer. I tillegg kan frostprosesser, setninger og eventuell jordbearbeiding medføre at dypereliggende forurensning blandes ytterligere i topplaget. Dette må med bakgrunn i risikovurderingen unngås.

Det må vises aktsomhet ved senere gravearbeider på arealene. Gravearbeider medfører fare for at miljøgifter bundet til partikler spres med overvann til resipienten via overvannsystem. Overskuddsmasser må leveres til godkjent mottakssted.

I samband med etablering av bybanen forbi området, vurderer man å legge sprengstein fra anleggsarbeidet utover søndre del av deponioverflaten. I dette området finner man opp til 3 meter med vannholdig avfall over 3 meter med gamle myrmasser. Med bakgrunn i de observerte grunnforhold anbefales ikke deponering av slike masser uten en nærmere geoteknisk og miljømessig utredning først.

Det anbefales at man fortsetter med både målinger av grunnvannsnivå og ledningsevne i grunnvann/sigevann og bekken oppstrøms og nedstrøms deponiet. I tillegg bør man vurdere uttak av grunnvann og bekkeprøver ved høyt grunnvannsnivå.

## 10 AKTUELLE TILTAK

Miljøgifter kan spres til Tveitevatnet, både som partikkeltransport via eksisterende overvannssystem og bekkelukking, og med forurenset grunnvann.

Følgende tiltak er aktuelle for å hindre at miljøgifter spres til resipienten:

### a) Tiltak for å redusere sigevannsdannelsen:

- 1) Etablering av avskjærende grøfter rundt deponiet for å hindre overvann inn i deponiet
- 2) Dekke til/tette overflaten for å unngå nedbørsinfiltrasjon og ytterligere redusere vanngjennomstrømningen i avfallsmassene.

Begge disse tiltak vil i stor grad redusere grunnvanns-/sigevannsdannelsen i deponiet. Tildekking av deponiet og separering av overvannssystemet fra både avfallsmasser og eksisterende bekkelukking vil i tillegg stanse partikkeltransporten ut fra deponiet.

Redusert grunnvannsdannelse medfører lavere grunnvannsnivå i avfallsmassene. **Dette vil med sikkerhet medføre store setninger, spesielt i den sørlige delen av området.** Her finner man opp til 3 meter med vannholdig avfall over 3 meter med torv. En ukjent faktor her er innstrømmende grunnvann i bunnen av deponiet. Dette er dokumentert i brønn P-1A.

### b) Tiltak for å samle opp forurenset grunn/sigevann

- 3) Bruke eksisterende bekkelukking som drenering for sigevannet
- 4) Etablere fangdam nedstrøms deponiet for å hindre ukontrollert spredning av sigevann/forurenset grunnvann nedstrøms og ut til Tveitevatnet.

Med bakgrunn i de foreliggende data har man liten tro på at eksisterende bekkelukking gjennom deponiet vil fungere som drenering for sigevannet. De foreliggende feltmålinger og analyseresultater i bekken oppstrøms og nedstrøms deponiet tilsier at lekkasjeandelen fra deponiet inn i ledningen er liten. Selv om ledningen utbedres, vil avfallsmassenes sammensetning variere over korte avstander, slik at effekten av en ledning gjennom et så stort volum med avfall trolig vil være begrenset.

Etablering av fangdam nord for deponiet medfører at man i hovedsak vil samle opp det forurensete grunnvannet og lede dette inn på kommunalt avløpsnett. **I tillegg kan en fangdam utformes slik at problemet med setninger reduseres.** Dette kan gjøres ved at overløpet fra fangdammen legges så høyt at vannstanden i avfallsmassene til en viss grad opprettholdes, selv om sigevannsdannelsen reduseres.

Etablering av fangdam kan ut fra de foreliggende data utføres på 3 forskjellige steder, se figur 32 neste side.

#### Alternativ I:

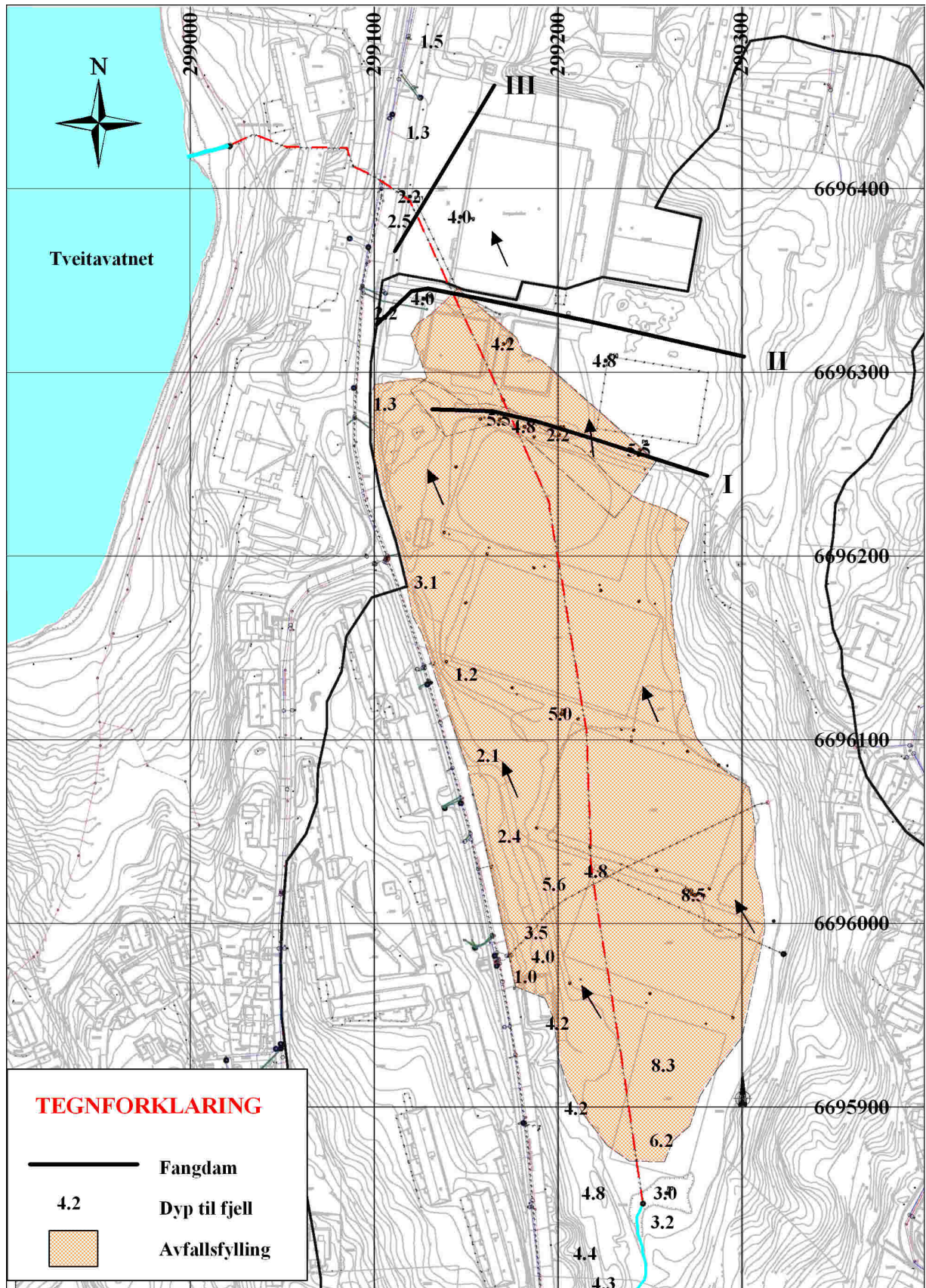
Fangdam plasseres fra vest mot øst i samme trase som boringene P3, P4, P5 og P6. Dette er trolig det enkleste alternativet rent plassmessig. Alternativet medfører at man dels kan styre vann-nivået for å unngå for store setninger sør i området. Såfremt det ikke er utført masseutskifting til fjell under Turnkassen og Gimlehallen, kan alternativet medføre større setninger her. Dette fordi grunnvannet i beste fall vil bli borte nedstrøms fangdammen, se figur 33.

#### Alternativ II:

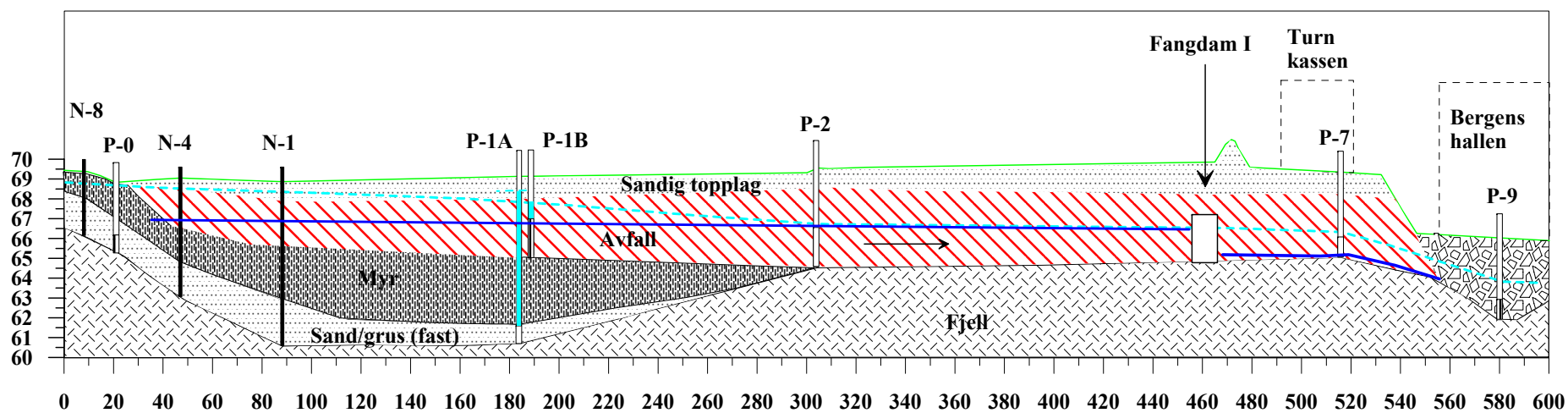
Fangdam plasseres fra vest mot øst mellom Turnkassen/Gimlehallen og Bergenshallen. Alternativet medfører at dammen etableres nedstrøms hele deponiet, og muliggjør samtidig at vann-nivået kan styres for å redusere setninger, se figur 34. Alternativet er vanskelig rent teknisk, både på grunn av liten plass mellom byggene og rørledninger som går i samme trase.

#### Alternativ III

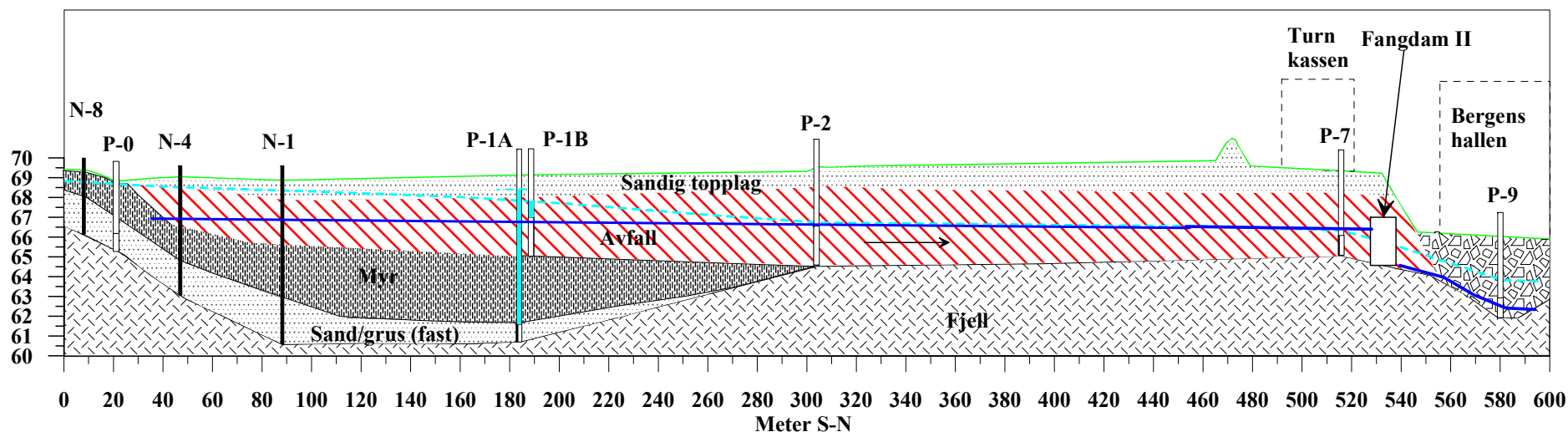
Fangdam plasseres på parkeringsplassen vest for Bergenshallen. Dette alternativet er trolig enklest og økonomisk gunstig på grunn av liten mektighet over fjell. Man kan imidlertid ikke styre grunnvannsnivået sørover på samme måte som de to andre alternativer. Maksimal høyde på overløpet styres av dreneringen rundt Bergenshallen. I tillegg vil alternativet medføre at overvann fra arealene rundt hallen samles opp sammen med sigevannet.



Figur 32. Kartutsnitt med 3 alternative plasseringer av fangdam for oppsamling av sigevann og dyp til fjell ved borer.



Figur 33. Vertikalsnitt med plassering av fangdam, Alternativ I



Figur 34. Vertikalsnitt med plassering av fangdam, alternativ II

