

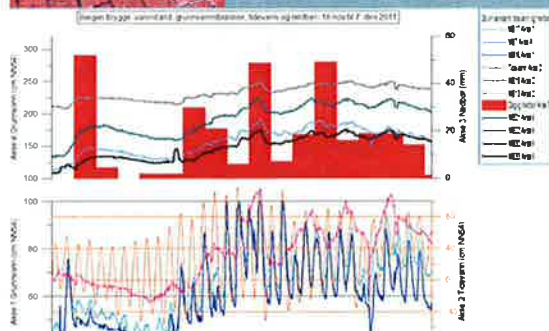
Statsbygg

Bryggen i Bergen

Grunnvannsrestaurering

Sporstoff-forsøk høst 2011

2011-12-09 Oppdragsnr.: 5110650



01	09.12.2011	Rapport for oversendelse	LBA <i>[Signature]</i> 12.12.11	KJT <i>[Signature]</i>	KJT
Rev.	Dato:	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontroll	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Innhold

1	Innledning	5
2	Drens- og rørsystem under SAS hotellet.	6
3	Grunnvannsdrenering under SAS hotellet	8
4	Spuntveggen	10
5	Observasjonsbrønner	11
6	Sporstoff-forsøket	12
7	Anbefalinger	18

Sammendrag

Norconsult AS er engasjert som fagrådgiver av Statsbygg for å vurdere tiltak som skal iverksettes for å hindre en videre setning av Bryggen i Bergen ved en grunnvannsrestaurering omkring SAS hotellet.

Norconsult er positive til de forslag og arbeider som Bergen VAV utfører med separering av overvann og spillevann, samt tetting av spillvannsledninger og kum. Når spillevannsledningene under SAS-hotellet er skilt og dreneringer som ligger mellom spuntten og SAS hotellet er klart definert vil det være mulig å måle hvor mye vann som rent faktisk drener gjennom spuntveggen/massene/berggrunnen direkte under SAS hotellet.

Norconsult er positive til Bergen VAV sitt forslag om å lede takvann ned i grunnen, idag så går takvannet i hovedsak i stikkledninger som kobler rett på overvannsystemet og drener hurtig til Vågen.

Basert på de presenterte tall så er det svært lav permeabilitet i kulturlagene, noe som gjør at kun små mengder vann vil kunne renne gjennom disse lagene. Kulturlagene ligger typisk over en finsandavsetning med lav konduktivitet. Det er trolig at fyllmassene på utsiden av spuntten som ligger vedsiden av kulturlagene fungerer som en effektiv drenering av kulturlagene under Bugården.

Morene avsetningene som typisk ligger under finsandlaget og over fjell har høy konduktivitet og er direkte påvirket av trykkforskjeller i Vågen og har evne til å lede større vannmengder.

Det ble utført to sporstoff forsøk hvor sporstoff ble injisert i uke 40 og målt i uke 49. Basert på resultatene fra sporstoff forsøket så er det tydelig at rhodamine som ble injisert i nordøstre hjørne av SAS hotellet beveger seg i fyllmasser på utsiden av spuntten og mot Vågen. Grunnvann og nedbør oppstrøms som mater grunnvannet ved SAS hotellet ser ut til å drenerer til fyllmassene på utsiden av spuntveggen. Det vil også være en effektiv drenering av vann fra kulturlagene under Bugården.

Sporstoffet uranine ble injisert på innsiden av spuntveggen og i denne brønnen ble det ikke funnet rhodamine. Uranine derimot ble funnet i flere brønner på utsiden av spuntveggen i små konsentrasjoner som kan tyde på at det er noe kontakt over spuntveggen og at det er utveksling begge veier ved store innslag av flo i Vågen som forplanter seg inn under hotellet.

Målingene tyder på at sporstoffet injisert oppstrøms hotellet og spuntveggen, strømmer på utsiden av spuntveggen, i fyllingsmassene mellom spuntveggen og kulturlagene, ned mot Vågen. Grunnvannet i de øvre kulturlagene ved spuntveggen langs Bugården, drenerer først og fremst til fyllingsmassene langs spuntveggen, og ikke gjennom spuntveggen. Ved de høyeste flo-nivåene i Vågen, vil grunnvann under hotellet oversvømme spuntveggen, og mate fyllmassene på utsiden av spuntveggen.

Foreløpige målinger kan tyde på at det er noe sporstoff som har kommet til drenerkummen på sydvestre hjørnet av hotellet, men konsentrasjonene er for lave for en entydig tolkning.

1 Innledning

Statsbygg har engasjert Norconsult AS som fagrådgiver i et oppdrag som har til formål å komme frem til ett sett tiltak som skal sikre Bryggen i Bergen mot videre skade som følge av setninger. Dette sporstoff forsøket er et ledd i å bedre forståelsen av grunnvannstrømningen i området slik at de foreslåtte tiltak er fundert i en god forståelse av prosessene som leder til senket grunnvannstand og de observerte setninger. Forsøket ble utført i av uke 40 og 48, 2011, og det vil være en oppfølgende målekampanje i uke 4, 2012. Forsøket er begrenset til området rett utenfor og på innsiden av spuntvegg anlagt rundt SAS hotellet og utføres for å bekrefte om det er direkte kontakt mellom grunnvannet på utsiden av spuntveggen og innsiden av spuntveggen.

I rapporten så er det en gjennomgang av dagens forståelse av prosesser som påvirker grunnvannstrømninger ved SAS hotellet på Bryggen i Bergen.

Hovedmål

- Påvise om drenering av masser under SAS hotellet påvirker grunnvannstanden utenfor SAS hotellet.

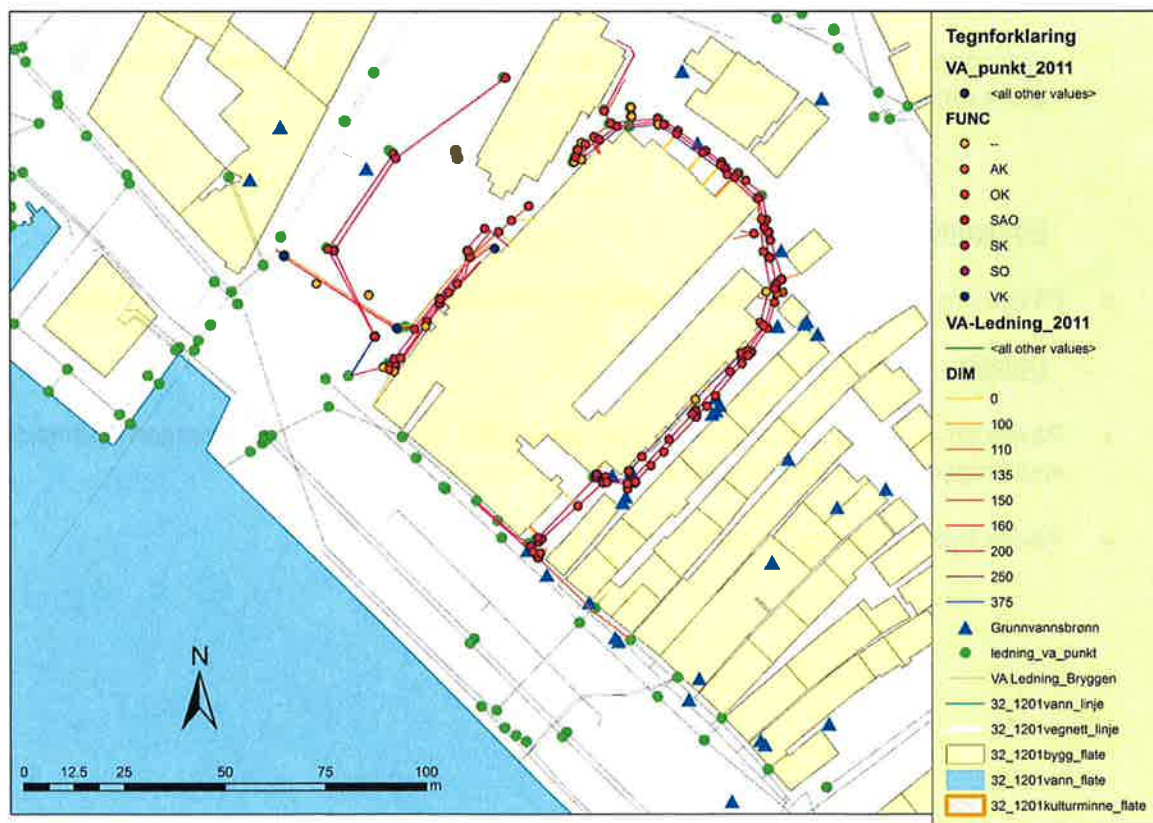
Delmål

- Påvise om det er direkte kontakt mellom grunnvann på utsiden av spuntveggen og innsiden av spuntveggen under SAS hotellet på Bryggen i Bergen.
- Påvise hvordan vannet under/rundt SAS hotellet drener.

2 Drens- og rørsystem under SAS hotellet.

Det er to hovedsystemer for drenering av massene mellom spunt og SAS hotellet. Ledningene er vist i figur 1 som inkluderer både overvanns-, spillvanns- og drens-ledninger.

I vest er det et drens-system som før setninger lå på kote 0,45m. Dette systemet drener gjennom grunnvannskum innenfor sydvestre hjørne av spuntveggen til hotellet. Fra grunnvannskummen går det en ledning gjennom spuntveggen og ut i Vågen. Spillvann og overvann fra SAS hotellet føres sammen på utsiden av spuntveggen før den kobler på Bergen VAV sitt system.



Figur 1. Drens-system SAS hotellet og grunnvannsbrønner (AK-avløpskum, OK-overvannskum, SAO-spillvann og avløp, SK-spillvann, SO-overvann, VK-vannkum).

Fra det nordvestre hjørnet streker det seg et rørsystem rundt hotellet på innsiden av spuntveggen til det sydøstre hjørnet av hotellet. Dette systemet består av spillevann-, overvann- og drensledninger som lå på kote ~1 før setninger. Dette system kobler på spillevanns- og overvannskummer i det sydøstlige hjørne gjennom spuntveggen (se figur 1). I dette systemet går

det lite vann. Det er usikkert hvordan dette systemet drener videre men det antas at hotellets spillvann er koblet på ledning til Bergen VAV som samler opp spillvann fra system i øst. Overvann og drensvann (grunnvann) antas å være koblet til ledning til Bergen VAV for overvann som føres vestover foran Bryggen. Bergen VAV har rehabilitert ledninger i dette området og skilt kloakk og overvann slik at overvann skal drenere ut i Vågen mot nordvest mens kloakk skal gå til pumpestasjon i sydøst (stasjonen er ikke vist i figur 1).

3 Grunnvannsdrenering under SAS hotellet

Det er etablert pumpesumper under SAS hotellet i gulvkonstruksjonen. Disse har kun vært i drift 200 timer siden etablering, noe som indikerer at vann ikke trenger inn i gulv-konstruksjonen. Over fundamenteringspilarene er det en betongplate (70cm tykk) som har drenering til 4 pumpesumper, en i hvert hjørne av hotellet. Det ligger et dreneringslag på toppen av betongen. Bunnplaten ligger mellom ca. kote -2,6 og -1,9 mens topplaten ligger på ca kote 1 og 1,2 og er 20 cm tykk. Det er betongvegger rundt og konstruksjonen skal være vanntett opp til kote 1-1,5m.

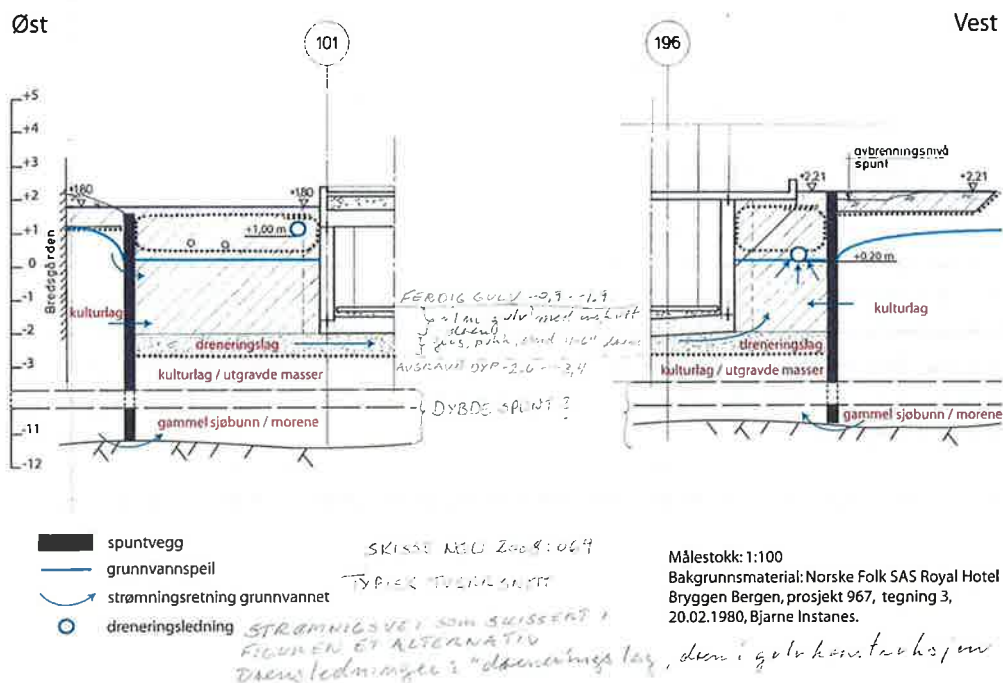
Tidligere har forståelsen av drensyttem under kjellergulvet på SAS hotellet, forenklet, gått ut på at det er et pukklag som grunnvannet hurtig har kunnet drenere gjennom og ut til Vågen via grunnvannskum i vest. Siden spunt i øst ikke skulle værere helt tett så kunne dette ha ledet til en senkning av grunnvannsstanden utenfor spunten, se figur 2.

Den antagelsen ble støttet av hvordan forsøk med heving av vannspeilet i grunnvannskummen i 2010 ble tolket. Forsøk med heving av grunnvannsspeilet i 2011 indikerer et mer sammensatt bilde. Sporstoff-forsøket indikerer tydelig at vann drener langs spuntveggen på utsiden.

Fra graveplan (Norske Folk 967-009 rev b) er det gravd to fordypninger (trau) som går parallelt med SAS hotellets langside og faller fra kote -2,95 i bakkant til kote -3,25 ved bryggefronten.

Det foreslås at fyllmassene på utsiden av spunten er hovedgrunnen til at vannstanden i de lavpermeable kulturlagene senkes. Figur 2 kan så modifiseres slik at den østre side ikke har direkte kontakt gjennom spunten som antydde fra kote -2 og opp, men vannstrømning er i stedet langs spuntveggen på utsiden mot Vågen. Gammel sjøbunn og morene som ligger under kulturlag/finsandlag har kontakt med vanntrykket i Vågen. Det er tydelig at vanntrykket i dype brønner fluktuerer med tidevannsstanden, det gjør også brønn på innsiden av spunten som står delvis i fyllmasser og finsandlaget, og måler innslag av sjøvann inn under hotellet ved høyt havnivå i Vågen.

Tversnitt dagens situasjon ved SAS hotellet.
 Profil 297.



Figur 2. Tidligere antatt grunnvannsdrenering ved SAS hotellet (Tegning Bjarne Instanes modifisert av NGU, 2008 med kommentarer).

Forsøk i 2011 med heving av vannspeil viste at det etter stund sluttet å renne vann inn i grunnvannskummen i det vestre hjørne og vannstandstigningen stagnerte i brønnene utenfor spuntene på østre side. Dette indikerer at et sekundært dreneringssystem er aktivisert. Dette sekundære dren system ble visuelt anslått til å være overvannsledning/spillvannsledning som var koblet til kummen nedstrøms grunnvannskummen. Når SAS hotellet har samlet drenskummen og overvannskummen til et felles overløp på kote 0,75m og spillvannssystemet til hotellet er tettet, samt at flere utsparinger i spuntveggen tettet, vil grunnvannstanden under hotellet forhåpentligvis stige til kote 0,75m. Dette vil bidra i å redusere grunnvannets strømningsgradient inn mot hotellet. Dette vil kunne bistå dreneringen av grunnvannet fra oppstrømsområdet av hotellet, men vil ikke bistå med den direkte dreneringen av kulturlagene som fyllmassene på utsiden av spuntveggen utgjør.

4 Spuntveggen

Dokumenter og tegninger som beskriver spunting og drenering av området rundt og under SAS hotellet er fra tidligfase og anbudsdokumenter. Det er ingen dokumenter som beskriver ferdigbygd tilstand. Fra anbudsdokumentene spesifiseres det at spunt skal drives til morene eller fjell, samtidig beskrives problemer når prøvespunt ble drevet. Flere av prøvespuntene måtte avsluttes på kote -5 eller høyere.

Uten ytterligere informasjon er det trolig at dette problemet også har vært et problem når spunten ble drevet og at det flere steder er kontakt mellom masser på begge sider av spunten.

Det er også informasjon som tilsier at spunten bare var midlertidig og kun satt ned for byggingen. Hvis det var meningen at spunten skulle fjernes i ettertid styrker det mistanken om at spunten er avsluttet før fjell.

At det er vannstrømningen gjennom spunten flere steder virker sannsynlig, både steder hvor det har vært problemer med å drive spunten og steder hvor det er utskjæringer for gjennomføring av rør. Om denne vannstrømningen er så betydelig at den påvirker vannstanden er mer uvisst. Sporstoff-forsøket tyder på at det ikke strømmer nevneverdig gjennom spunten, og dermed ikke er den primære dreneringsvei og hovedgrunn til det senkende grunnvannsspeil i kulturlaget. Fra sporstoff-forsøket så virker det mest sannsynlig at fyllmasser på utsiden av spunten senker grunnvannstanden i kulturlaget og drener vannet ut til Vågen langs utsiden av spunten. Det er imidlertid sannsynlig at det er en større lekkasje forbi/under spuntveggen under kulturlagene, der byggegropen er gravet ned under kulturlagene. Det vil si at der byggegropen ble gravet ned til de permeable massene og berggrunnen under hotellet, der er det sannsynligvis en grunnvannsdrenering fra hotelltomten.

5 Observasjonsbrønner

Det er etablert flere observasjonsbrønner i området, se figur 3.



Figur 3. Oversikt og grunnvannsbrønner rundt SAS hotellet.

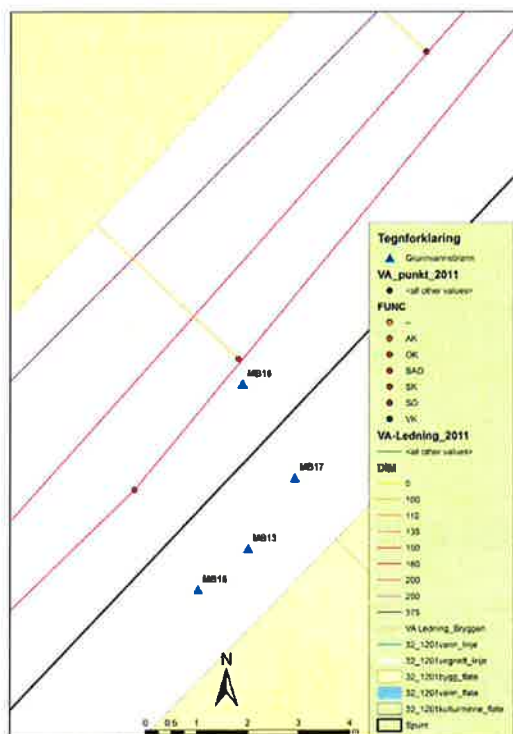
6 Sporstoff-forsøket

Det ble utført to sporstoff forsøk hvor det ble injisert rhodamine i MB7 og uranine i MB16 (se figur 3). Sporstoffene ble tilført brønnene 4. og 5. oktober (Uke 40), og de presenterte konsentrasjonene ble målt i felt 2. desember, 2011 (Uke 48).

Fra tolkning av grunnvannsdata så virket det som det var direkte kontakt mellom MB16 og MB 17. Derfor ble det pumpet i MB 17 for å måle pumpeeffekten i nabobrønnene (se figur 3 og 4 for plassering), og for å om sporstoffet som ble tilsatt MB16 kunne måles i MB17 etter pumpingen. MB17 ble pumpet i 6.5 timer med en rate på ~2l/min. I alt ble ca. 900 liter vann pumpet opp. Det ble forsøkt å injisere vannet ned i MB 16 for å sette opp en kunstig høy gradient. MB16 hadde ikke stor nok kapasitet så vannet ble ledet bort i overvannsledningen. Brønnen MB16, MB 13 og MB15 var alle helt upåvirket av pumpingen og hadde samme trykk ved start og slutt av forsøket. Det ble ikke registrert noe uranine i MB17 etter pumpeforsøket.

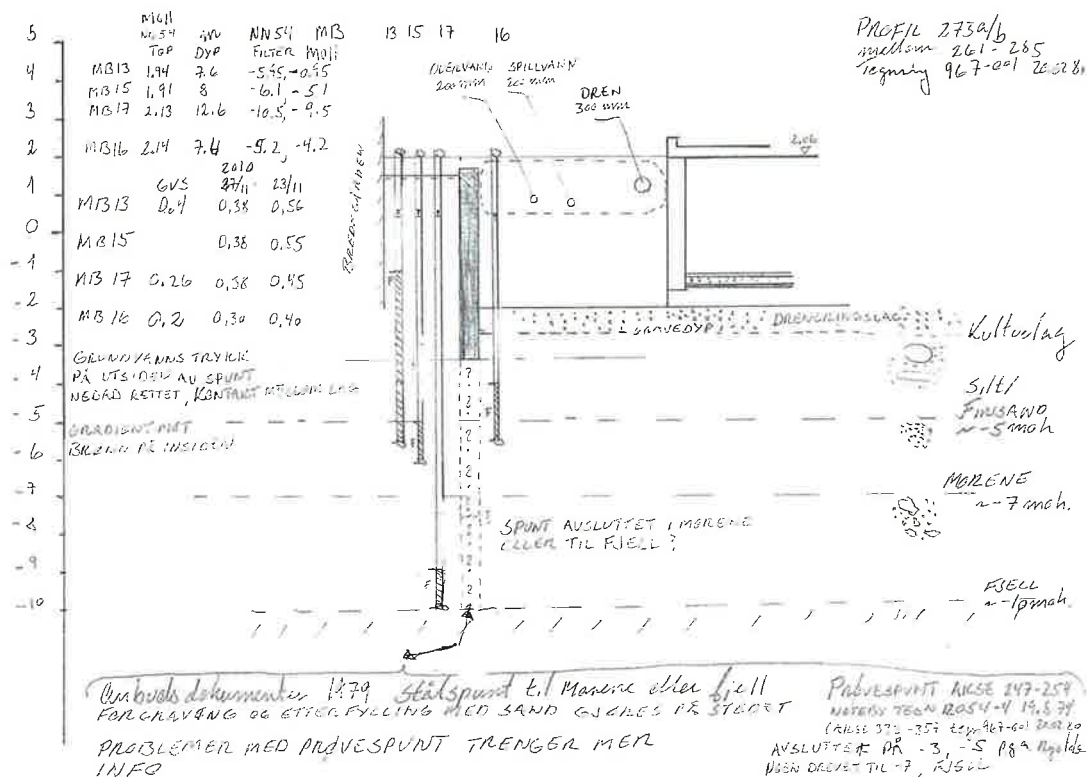
Tabell 1. Tilsatte uranine-konsentrasjoner i MB16

Dato	Sporstoff	Mengde	Konsentrasjon	Gjennomstrømnings-vannmengde nødvendig for å forklare målt fortykning 2. desember 2011
04.10.11	Uranine	18,5g - injisert		
05.10.11	Uranine	20g - injisert		
02.12.11	Uranine		1057 ppb	38 500 l



Figur 4 Oversikt brønner på begge sider av spuntvegg østsiden av SAS hotellet (sort linje mellom MB16 og de andre brønnene er antatt plassering av spuntveggen).

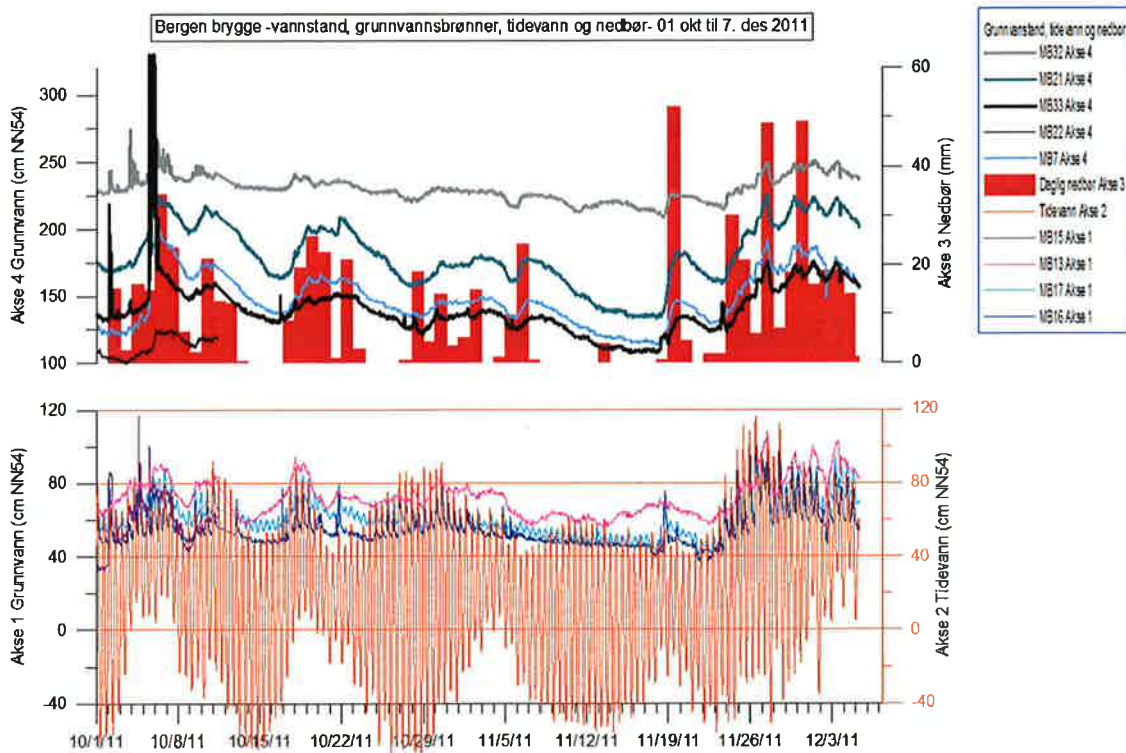
Fra forsøket var det tydelig at den dype brønn MB17 trekker vann fra den formasjonen den står i og at kontakten med de overliggende brønner er liten. Dette kan skyldes spuntvegg (mht. MB16) og at brønnene med unntak av MB17 har filter plassert i formasjoner med liten permeabilitet (se figur 5).



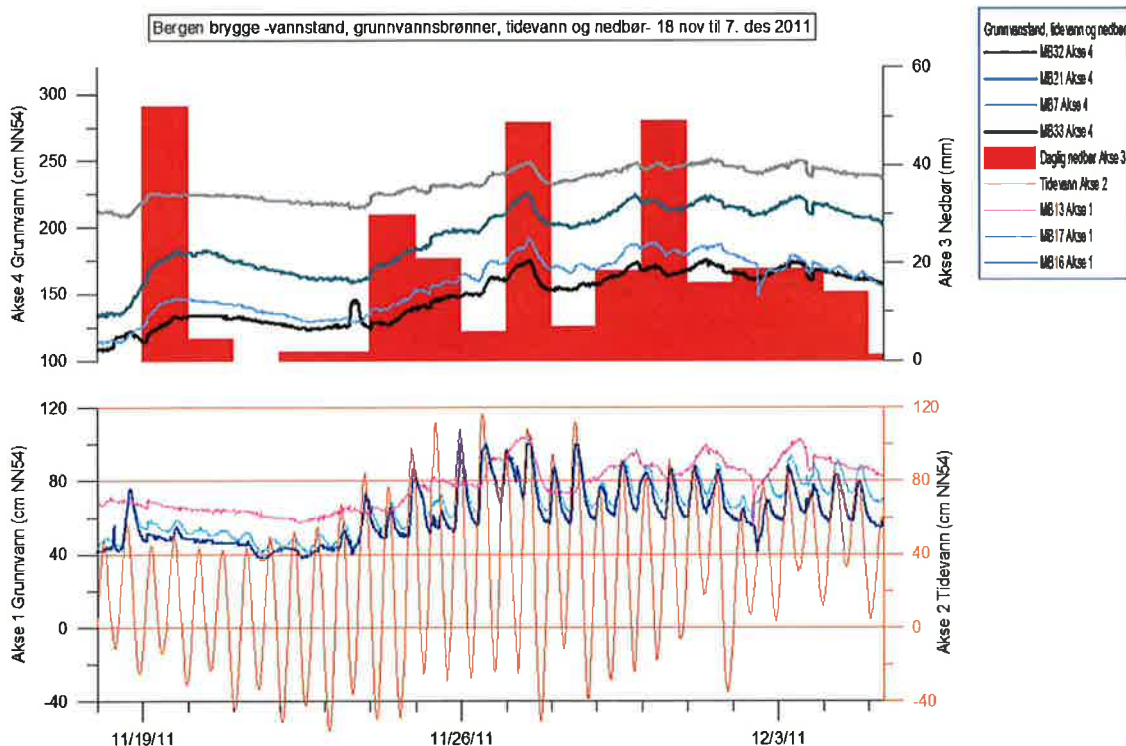
Figur 5 Filterdyp av brønn hvor sporstoff ble injisert (MB16) og brønner hvor sporstoff detekteres (MB13, MB15, og MB17) og hydrogeologiske lag, kjellergulv og dreneringslag. Geologiske grenser beskrevet ved toppen av det aktuelle laget (f. eks. «Morene ~ -7 moh.» står ved øvre grense til morenen).

Etter 2 måneder ble vannprøver hentet fra MB5, MB13, MB17 og IT3 (ny brønn plassert 10 meter nord for MB17, mellom MB17 og MB7). Det ble funnet uranine (fra MB16) med henholdsvis 5,4 og 10ppb i MB17 og MB13, noe som tyder på at det er kontakt over/gjennom spuntet lokalt. Det ble funnet spor av uranine i andre prøver, men konsentrasjoner under 5 ppb er ikke tolket. Selv om deteksjonsgrensen for måleapparatet er 0,02 ppb, så er det enkelte prøver som har høy turbiditet (mulig feilkilde til målingene). Det er kun helt sikre resultater som er inkludert i diskusjonen.

For å få til en transport av uranine fra MB16 til MB13 og MB17, så må det ha vært en gradient fra MB16 mot utsiden av spuntveggen til MB13 og MB17. Generelt, så ser det ut til at grunnvannsnivået i MB13 er høyere enn både MB17 og MB16 (se figur 6). Under stormen «Berit», så ser vi at MB16 har høyere vannstand enn MB13, og når et nivå som ville kunne medført til at vannet fra innsiden av spuntveggen kunne renne over toppen, og over til MB13 (se figur 7).



Figur 6. Grunnvannstand, nedbør og havvannstand ved Bryggen i Bergen, 1. okt. til 5. desember 2011. Legg merke til nedre graf, der MB13 har stort sett alltid høyere vannstand enn de andre nabo-brønnene.

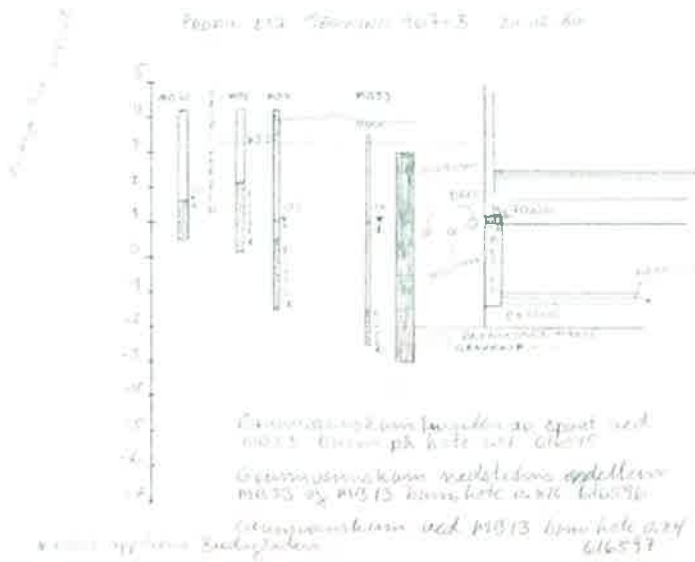


Figur 7. Grunnvannstand i MB16 har et høyere vannstand enn i MB13 under stormen «Berit», rundt 26. november 2011. Under slike omstendigheter kan vann fra insiden av spuntveggen renne ut til utsiden av spuntveggen, slik at uraniner fra MB16 ville ha kunne blitt transportert til MB13.

Resultatene fra pumping av MB17 i uke 40 var overraskende. Det ble så gjort et forsøk for å se om det er en strømningsvei langs utsiden av spuntveggen på østsiden av SAS hotellet. 20g rhodamine ble injisert i MB7 (se tabell 2 og figur 8) og det ble plassert aktivt kull (passive prøvetakere) i Brønn MB16 og MB5.

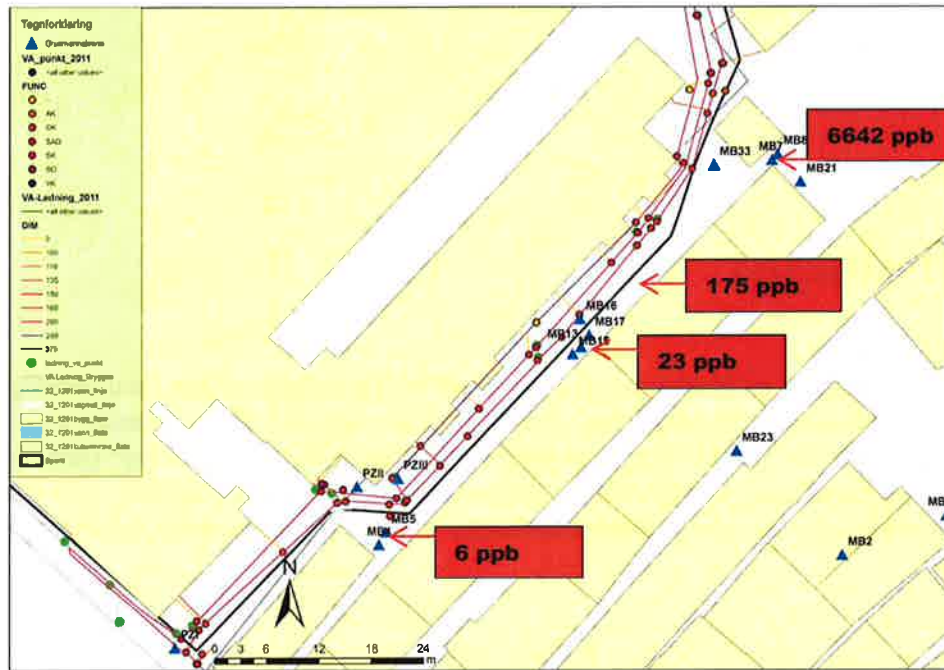
Tabell 2 Rhodamine konsentrasjoner i MB7

Dato	Sporstoff	Mengde	Konsentrasjon	Gjennomstrømnings-vannmengde nødvendig for å forklare målt fortynning 2. desember 2011
05.10.11	Rhodamine	20g - injisert		
02.12.12	Rhodamine		6640 ppb	3 500 l



Figur 8. Brønner MB21, MB8, MB7, og MB33 med filter dyp i forhold til spunt og kjellergulvkonstruksjon. Rhodamine ble injisert i MB7.

I uke 49 ble det detektert rhodamine i den nye brønn IT3 (mellom MB7 og MB13, installert i fyllmassene på utsiden av spuntveggen), MB13 og MB5 med henholdsvis 175, 23 og 6ppb. Dette er en klar indikasjon på at det er en strømningsvei langs utsiden av spuntveggen. Det ble ikke funnet rhodamine i MB16, men det var fremdeles rhodamine i MB7 med en konsentrasjon på 6642 ppb (se figur 9).



Figur 9. Konsentrasjoner rhodamine målt uke 48 i brønner utenfor spuntveggen

7 Anbefalinger

De drenerende masser på utsiden av spunten langs SAS hotellet er viktige for drenering av kulturlaget. Vi foreslår at massene langs utsiden av spuntveggen skiftes ut masser med lav konduktivitet. Dette kan gjøres i kombinasjon med terskler og strømningshinder. Dette sammen med tiltak som foreslått og som utføres av Bergen VAV med separering av spill-, Over- og drens-vann og infiltrasjon av takvann vil være tilstrekkelig for å heve grunnvannet i kulturlaget under Bugården.