



Oslo

Fornebu base og stasjon – Grunnvannshåndtering

Dok.nr.: PF-P-721-RB-0009

Revisjon: 03G



OFFENTLIG

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 2 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

Dokumentet er utarbeidet av



Rev.	Dato	Utgitt for	Utarbeidet av	Kontrollert av	Godkjent av
01G	07.01.2022	For gjennomsyn	Christian Helweg	Lise Lotte Aune	Hans Ole Haugen
02G	24.05.2022	Gjennomsyn	Christian Helweg m. flere	Lise Lotte Aune	Hans Ole Haugen
03G	16.06.2022	Godkjenning	Lise Lotte Aune	Hans Ole Haugen	Hans Ole Haugen

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 3 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

Innhold:

1.	INNLEDNING	4
1.1	Hensikt	4
1.2	Sammendrag.....	4
2.	ENDRINGSLOGG	6
3.	PORETRYKK I OMGIVELSENE.....	6
3.1	Grunnvannsnivåer - generelt	6
3.2	Området før byggestart.....	7
3.3	Påvirkning/endring i anleggsfase	8
4.	GRUNNARBEIDER OG ANLEGGSFASE	10
4.1	Tiltak i anleggsfase	10
4.2	Oppfølging	12
5.	PROSJEKTERTE LØSNING	12
5.1	Drenssystem	13
5.1.1	Tetteskott/barrierer mellom dretnivå	14
5.1.2	Drenssystemets mulige påvirkning av poretrykk i omgivelsene	16
5.2	Hydrauliske barrierer	17
5.2.1	Injeksjon i berg.....	20
5.2.2	Vanntett yttervegg.....	21
5.2.3	Leirpropper	21
6.	FORUTSETNINGER FOR PERMANENT FASE	22
6.1	Utbyggers drenssystem	22

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 4 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

1. INNLEDNING

1.1 Hensikt

Hensikten med dette dokument er å beskrive en filosofi for hvordan grunnvannshåndteringen er planlagt håndtert i byggefase og i permanent fase.

1.2 Sammendrag

Fornebu stasjon og base skal bygges på Fornebu, og er et stort byggverk. Generelt bunnivå i byggegropen for konstruksjonen ligger på omkring kote -4. Det skal også etableres en langsgående kulvert under bunnen med bunnivå på utsprengt berg på kote -8. I kulverten vil det i tillegg være lokale groper sprengt ned til rundt kote -10. Terreng i området ved Basen er for det meste rundt kote +12 i nordlige del, og lavere på rundt kote +5/+6 i sydvestlig ende, og rundt kote +3 på østsiden nord for avfallsentralen. Bergoverflaten og poretrykk i løsmasser og vannspeil i berg varierer i området rundt basen. Planlagt bunnivå for basen ligger lavere enn opprinnelig poretrykk i omgivelsene over hele området.

Det er tidligere vurdert poretrykksnivåer og dretnivåer ut fra en løsning med en konstruksjon som hadde tett bunnplate. Det er besluttet i mai 2022 at prosjektet skal gå videre med løsningen uten bunnplate. På bakgrunn av resultater i forbindelse med evaluering av løsning uten bunnplate endres konseptet noe i forhold til barrierer og dretnivåer. For å få dokumentet mer lesbart er det nå valgt å bare beskrive den valgte løsningen uten bunnplate.

For at konstruksjonen skal kunne håndtere vanntrykket fra omgivelsene er det besluttet at det skal legges dretnledninger rundt konstruksjonen, for å ha kontroll på maks poretrykket mot konstruksjonen og på vannspeilet rundt basen sine yttervegger. Dretnrørene legges på kote +5 i den nordlige delen og +4 i den sørlige delen. For å håndtere innsig av vann i bunnen av base- og stasjonsområdet etableres det et selvstendig dretnsystem under bunn og kulvert. Her dreneres vannet til konstruksjonens bunnivå på kote -4 og videre til laveste punkt under kulvert på kote -10 hvor vannet pumpes ut.

Konstruksjonens dretnsystemer vil i noen områder ha et lavere grunnvannsspeil og poretrykk enn poretrykket i nærliggende omgivelser. Det er derfor planlagt tiltak for å begrense poretrykksfall i omgivelsene.

På nåværende tidspunkt er etablering av byggegropen påbegynt, hvor store deler av gropen er utsprengt og gravd ut. Det er i forbindelse med etableringen av byggegropen registrert betydelig poretrykksfall i enkelte av piezometerne i nærhet til byggegropen i byggegropens nordlige ende, mot Snarøyveien. Det er igangsatt to tiltak for å øke poretrykket i dette området: Injeksjonsskjerm mellom byggegrop og området med registrert poretrykksfall og midlertidige vanninfiltrasjonsbrønner i det samme området.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 5 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

Tre viktige tiltak for å redusere reduksjon av poretrykket i permanent fase er:

- Vanntett yttervegg rundt hele basen. Denne sonen tettes ytterligere med injeksjonsskjerm i berget under hele ytterveggens lengde, med injeksjon gjennom fundamentet og ned i berg og med injeksjonsslanger under fundamentet.
- Injisering av bunn byggegrøp der det er synlig innsig av vann
- Dersom man ikke skulle lykkes i å gjenopprette og opprettholde poretrykksnivået i omgivelsene, må det vurderes å etablere et system for permanent vanninfiltrasjon.

For å sikre kvaliteten på tiltakene registreres og logges følgende data:

- Mengde utpumping av vann ut fra byggegrøpen
- Poretrykk og grunnvannsnivå
- Setninger
- Infiltrasjonsmengder i infiltrasjonsbrønner

Disse registrerte dataene vil også danne grunnlag for pågående og fremtidige vurderinger av poretrykksnivåer, mulige setninger og tiltak.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 6 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

2. ENDRINGSLOGG

Rev.	Rev.dato	Kapittel/side	Beskrivelse av endring
01G	07.01.2022		Første utgave
02G	24.05.2022		Hele rapporten er omstrukturert og skrevet om som en følge av at det er besluttet at basens konstruksjon bygges uten tett bunnplate.
03G	16.06.2022	Kapittel 1.2/ side 4 Kapittel 5 og 6.1	Rapporten er oppdatert som følger iht. kommentarer fra FOB Mindre justeringer av tekst etter kommentarer fra FOB Plassering av pil til Basens sidedrenssystem oppdatert på Figur 5-1, Figur 5-6, Figur 5-7, Figur 6-1 og Figur 6-2.

3. PORETRYKK I OMGIVELSENE

3.1 Grunnvannsnivåer - generelt

Ved etablering av byggegrøper med grave-/sprengningsplanum under naturlig grunnvannstand må man forvente at grunnvannstanden i området påvirkes dersom det ikke etableres noen tiltak. Åpen graving med utpumping av vann i planum vil senke grunnvannstanden i omgivelsene rundt byggegroppen mot nivået for planum. For å begrense senkning av grunnvannstand i byggefasen må det etableres vanntetting. I løsmasser vil en tett spunt bidra til å redusere påvirkningen på grunnvannstand i omgivelsene. For å holde mest mulig vann ute smøres eksempelvis spuntlåsene, og de må eventuelt også sveises ved behov. Staggjennomføringer må også tettes. Spuntfot tettes med betongdrager og injeksjon. For å unngå lekkasje via berget må berget injiseres dersom det har vannførende sprekker. Dette kan det være vanskelig å lykkes med i praksis.

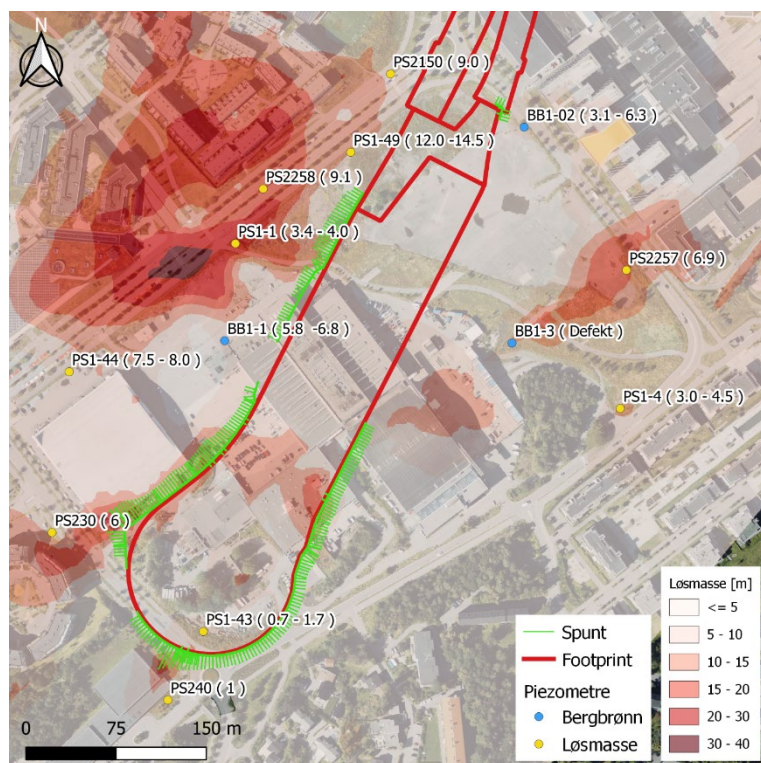
For permanent fase etableres en tilnærmet vanntett konstruksjon ved hjelp av vanntette yttervegger, med injeksjon gjennom fundamentet og i berg, en dyptgående underliggende injeksjonsskjerm og tetting av lekkasjesoner i sålen av byggegroppen. Det vil kontinuerlig være innsig av vann og det skal etableres et drenssystem med pumpenivå på ca. 2 m (ca. kote -10) under UK bunnplate i kulvert. Utenfor konstruksjonen, langs ytterveggene vil det bli etablert et drenssystem på kote +5 i nordenden og +4 i sør for å ha kontroll på maks grunnvannsstand rundt hele basens yttervegg.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 7 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

Hvilket poretrykk omgivelsene får vil være avhengig av hvor godt man klarer å tette berget under yttervegger og i planum. Poretrykket rett utenfor byggegropen vil med den planlagte dreneringen uansett ikke kunne bygge seg opp til høyere nivå enn kote +5 i nord og +4 i sør.

3.2 Området før byggestart

Poretrykk kan forenklet beskrives som vanntrykket i løsmasser eller i berg, og ved et fall av poretrykk vil det kunne forekomme setninger i løsmasser, dette gjelder særlig bløt leire. I torv som går fra neddykket til å ligge over grunnvannstand, vil det også kunne oppstå nye setninger i forbindelse med nedbryting av torven. På bakgrunn av dette gjennomføres derfor målinger av poretrykk i løsmasser med piezometre i flere ulike posisjoner rundt basen. Dette ble satt i gang i oktober 2018. Samtidig ble det også boret en rekke bergbrønner. En bergbrønn er et boret hull i berget som står åpent. I den måles vannspeilet, altså der grunnvannet står i brønnen. De gjennomførte målingene som har pågått siden 2018 viser at poretrykket i løsmassene og vannspeilet i bergbrønnene varierer i området rundt basen. Det opprinnelige poretrykket i området før utgravning av byggegropen varierte fra kote +1 og opp til +14,5. Forskjellene i poretrykk kan tyde på at det er dårlig hydraulisk kontakt mellom en del av områdene, og observasjoner i forbindelse med infiltrasjon har også vist at det er dårlig hydraulisk kontakt mellom en del av områdene.



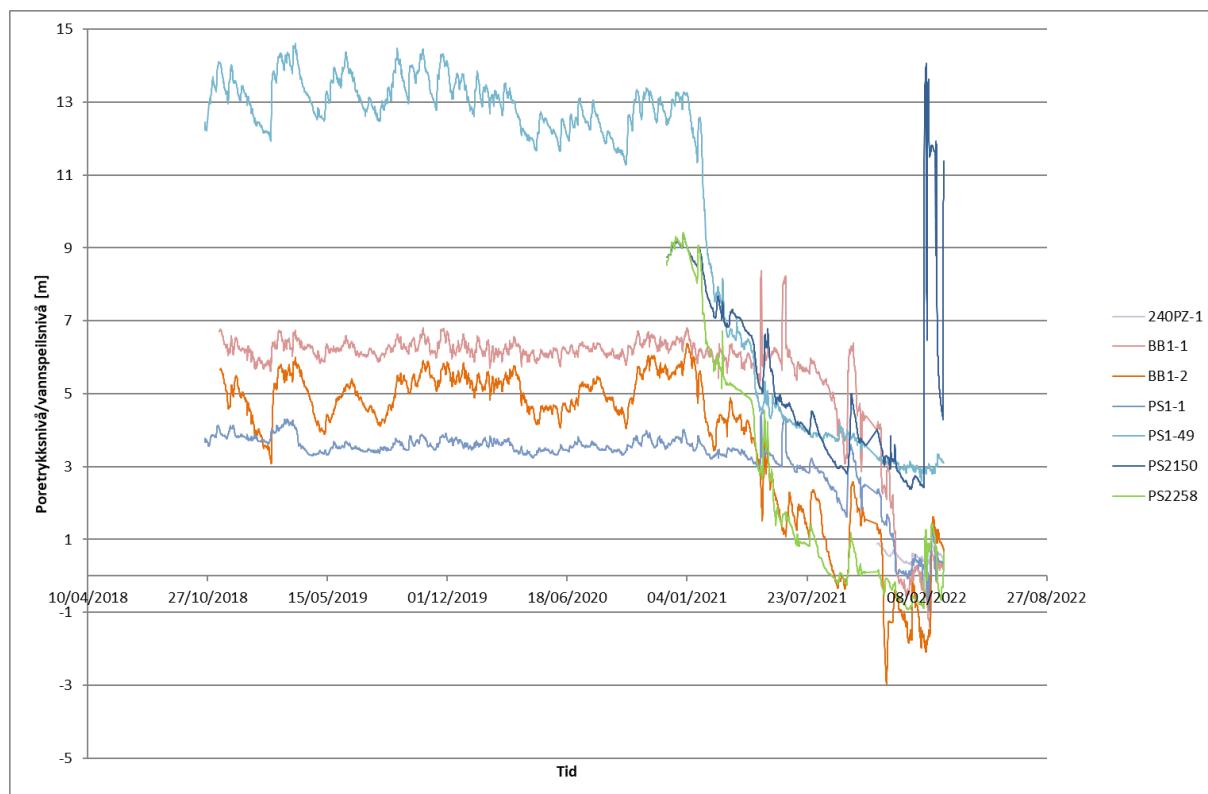
Figur 3-1 Opprinnelig poretrykksnivå/vannspeil [m] registrert av Geonor siden okt. 2018. For korte tidsserier er det bare vist et enkelt nivå. Figuren viser også antatt løsmassemektighet.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 8 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

3.3 Påvirkning/endring i anleggsfase

Utgravning av byggegropen til basen ble påbegynt rundt januar 2021. Basen har generell bunn på ca. kote -4, men i enkelte områder graves/sprenges det ned til kote -10, f.eks. ved lokale groper i kulvert og ved tunnelpåhugg tilsvarende opp til omkring 20 meter under det opprinnelige vannspeil/poretrykk. Byggegrope tørrholdes ved enkel lensing fra pumpesump plassert i lavpunkter.

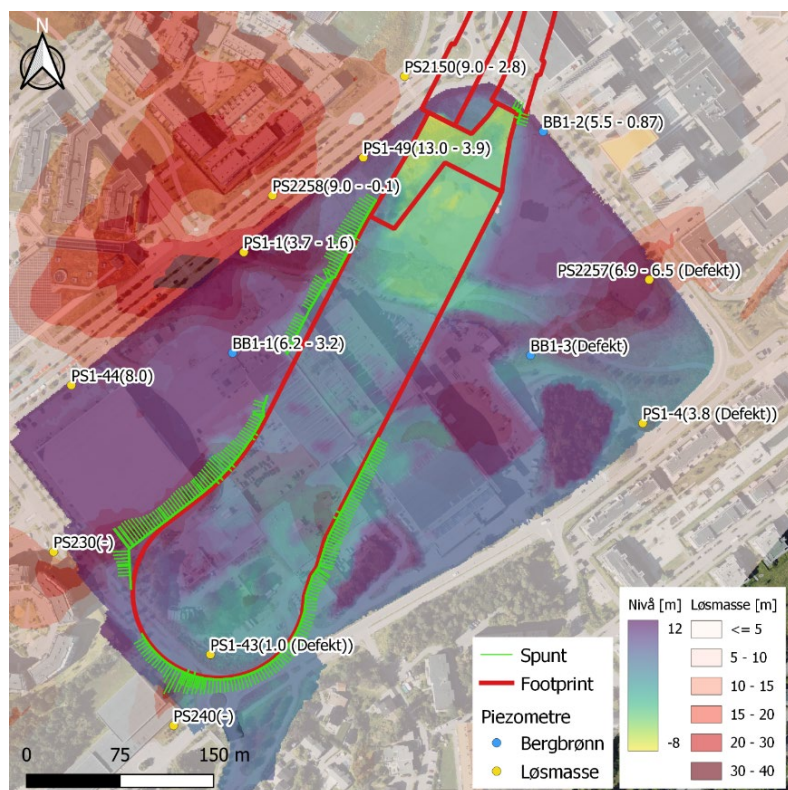
Siden utgravningen begynte er det registrert poretrykksfall i en del piezometre rundt basen, opp imot 9-10 meter i området med størst endring, som det ses på Figur 3-2. Fallet begynner etter utgravningen er startet.



Figur 3-2 Poretrykk/vannspeil i piezometre/bergbrønner som viser fall etter januar 2021. I februar ble infiltrasjon i infiltrasjonsbrønn nr. 2 startet, noe som har god effekt på PS2150.

Poretrykksfallene er størst mot nord, der utgravningen startet og der grope er dypest per i dag, se Figur 3-3. Poretrykket før utgravning er i Figur 3-3 vist sammen med poretrykket registrert i september 2021 og utgravningen som den så ut i september 2021.

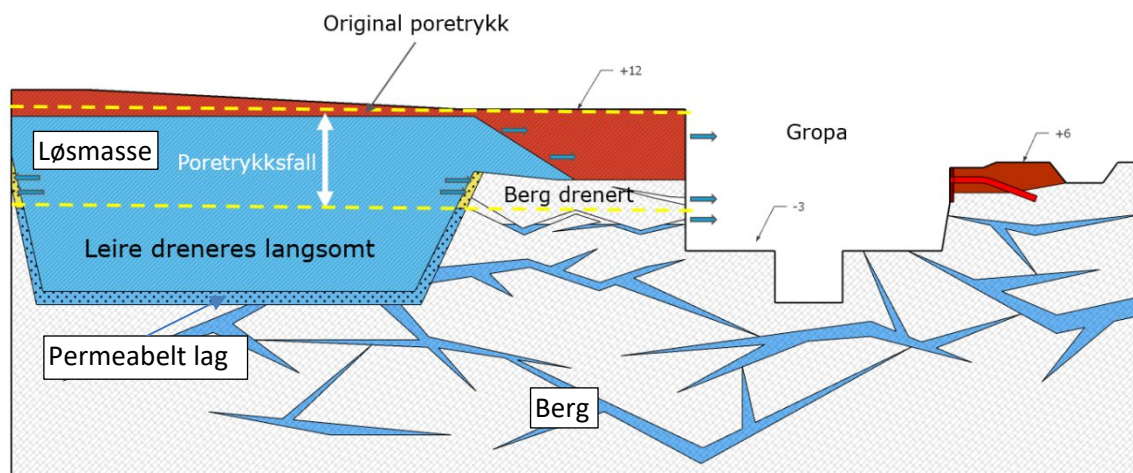
Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 9 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 3-3 Poretrykk/vannspeil [m] jan. 2021 – sept. 2021, sammen med terrengnivå aug. 2021 og antatt løsmassemektighet.

Inntil desember 2021 har det vært observert lite innsig til byggegropa og en sammenligning mellom pumping ut fra gropa og nedbør tyder på at innsig har vært begrenset. Det store poretrykksfallet i nordenden vurderes altså å skyldes drenering av relativt lite vann. Dette kan muligens forklares med at piezometrene er plassert rett over berg, ofte i et tynt lag av noe permeable masser, med impermeabel leire over. Om det bare er det permeable laget som tømmes, kan det svare til stort observert poretrykksfall ved lite innsig, se Figur 3-4. Mens poretrykksfallet i de permeable massene rett over berg skjer raskt, så reduseres poretrykket i leiren langsommere på grunn av leirens lave permeabilitet.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 10 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 3-4 Prinsipp for poretrykksfall forårsaket av drenering i nordlig ende av basen.

De hydrogeologiske forholdene varierer mye langs basen og situasjonen lengre mot sør, der det ennå ikke er gravd til full dybde vil trolig være annerledes da det opprinnelige poretrykket er lavere og dybde til berg kan være større.

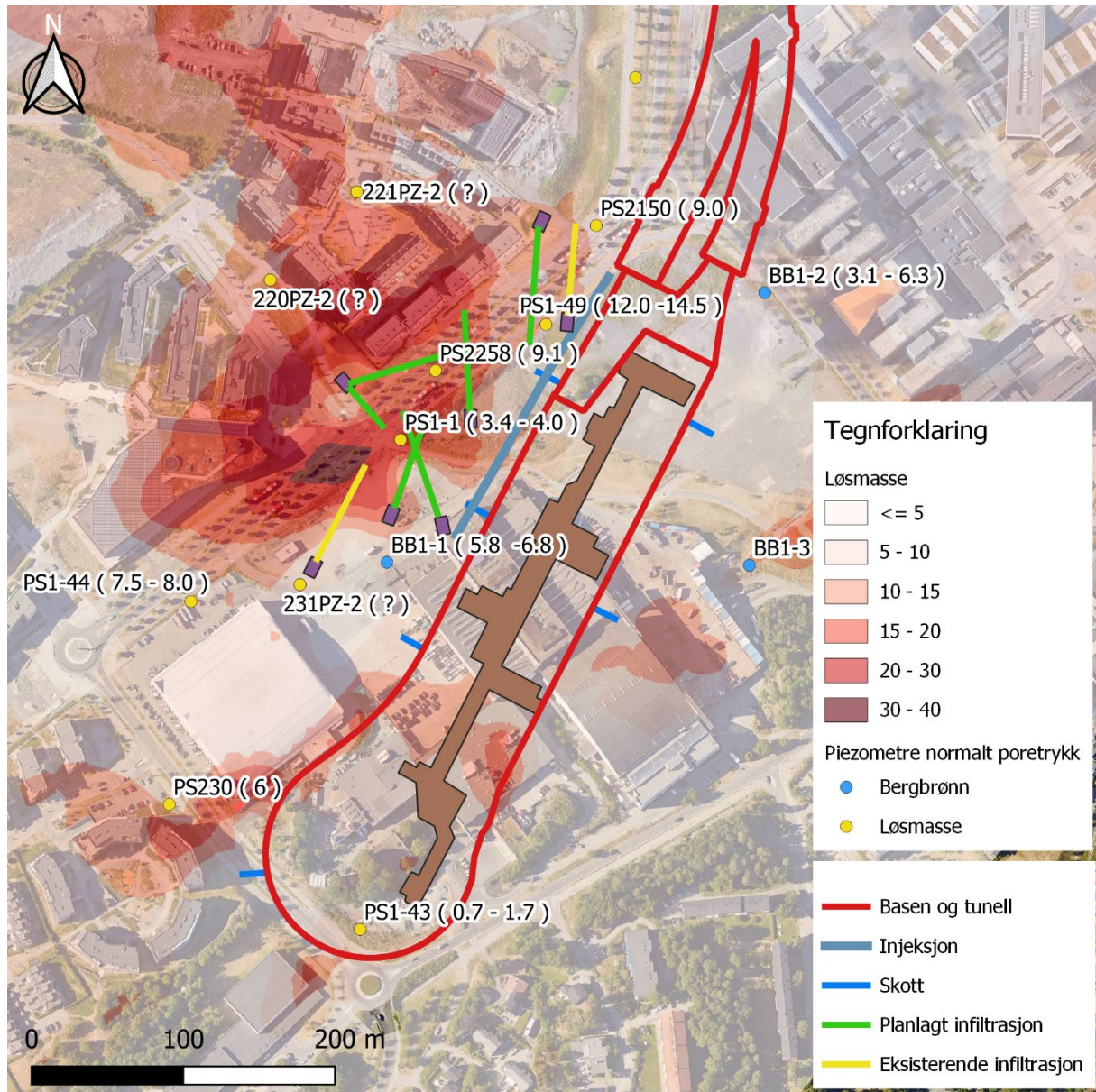
4. GRUNNARBEIDER OG ANLEGGSFASE

4.1 Tiltak i anleggsfase

Byggegroppen tørrholdes ved pumping av vann ut fra byggegropen i byggefasen. Dette vil kunne påvirke grunnvann/poretrykk utenfor byggegropa. Som nevnt i kapittel 3.3 er det et pågående poretrykksfall i omgivelsene. Det er etablert to infiltrasjonsbrønner for å forsøke å heve poretrykket. Det etableres også en injeksjonsskjerm for å redusere innsig av vann i byggegropen og som et tiltak for å redusere poretrykksfallet. Arbeidet med injeksjon under ytterveggene skal også starte opp våren 2022. Målet med disse tiltakene er å få hevet poretrykket nord for Snarøyveien nærmere det opprinnelige nivå. Se plasseringene i Figur 4-1.

Det er per nå etablert to infiltrasjonsbrønner. Brønnene har god effekt helt i nord på piezometer Ps2150. Det er mindre effekt lengre sør i Snarøyveien og det er planlagt med minst to supplerende brønnplasseringer. Infiltrasjonsbrønnene er i utgangspunktet planlagt som et midlertidig tiltak i byggefasen, mens brønnene på nabotomtene i nord er plassert der for å kunne være tilgjengelige i fremtiden, i permanent fase.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 11 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 4-1: Oversikt over utførte og planlagte tiltak (Injeksjonsskjerm i nord, infiltrasjonsbrønner og skott) vist sammen med bergdybder, omriss av konstruksjon og kulvert og eksisterende piezometere. I tillegg skal det etableres en injeksjonsskjerm under yttervegger som ikke er vist spesifikt på figuren.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 12 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

4.2 Oppfølging

Det er registrert poretrykksfall i piezometere nord for Snarøyveien. For å dokumentere endringer i poretrykk og eventuelle setninger pågår det registrering og logging av følgende data:

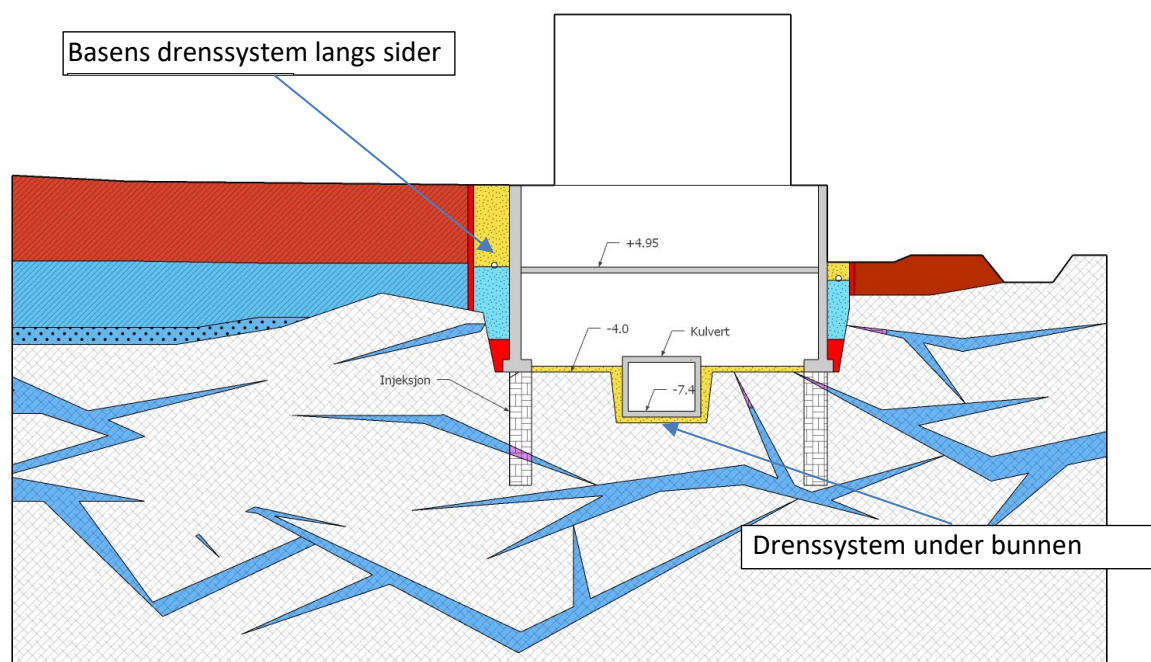
- Mengde vann pumpet ut fra byggegropen
- Poretrykk og grunnvannsnivå
- Setninger
- Infiltrasjonsmengder i infiltrasjonsbrønner

Disse registreringene danner underlaget for vurderingene som er gjort i anleggsfasen, og vil være viktige også i videre prosjektering og vurdering av tiltak.

5. PROSJEKTERT LØSNING

Fornebubanens endestasjon med verksted og base, skal etableres på Fornebu. Konstruksjonen bygges som en kasse med tak, tette yttervegger rundt hele base - /stasjonsområde, men uten bunnplate.

Figur 5-1 viser en prinsippskisse av konstruksjonen, med tilhørende drensssystem og barrierer.



Figur 5-1 Prinsippskisse

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 13 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

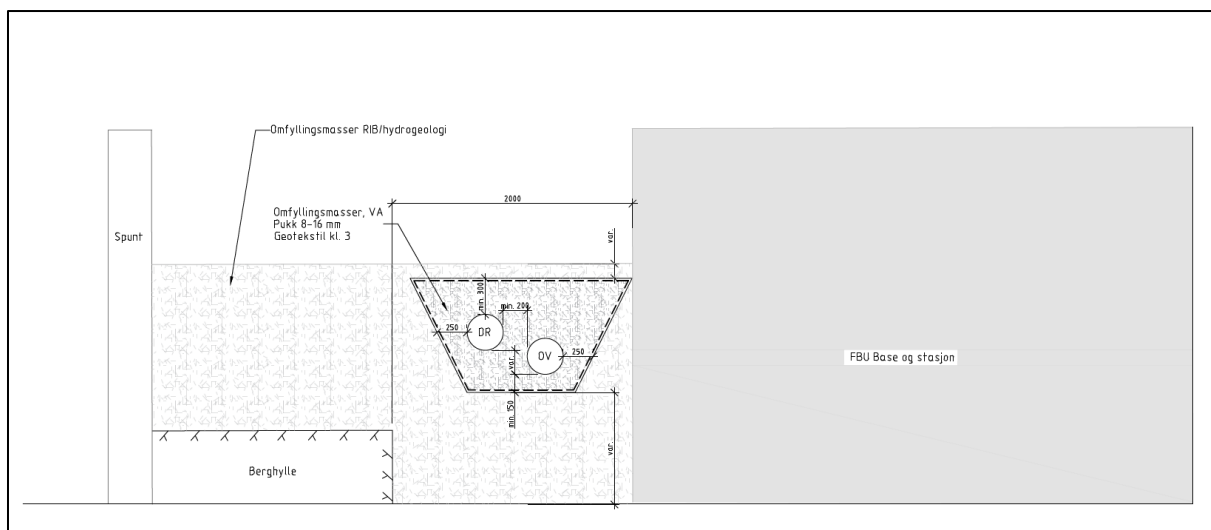
5.1 Drenssystem

Det er planlagt med et sonedelt drenssystem langs konstruksjonens yttervegg: Én sone i nordre del, nord for Allmenningen, og flere soner syd for. Drenssystemet nord for Allmenningen skal sikre at vannspeil ikke overstiger kote +5, og drenssystemet sør for Allmenningen skal sikre at vannspeilet her holdes under kote +4, se inndeling for de forskjellige drensnivåene i Figur 5-3. Det opprinnelige poretrykket på området var høyere i den nordlige enden enn den sørlige, det er derfor valgt et høyere grunnvannsnivå nord for Allmenningen. Kotene for maksimal grunnvannsstand er valgt ut fra en totalvurdering av flere faktorer:

- Ønske om minimal påvirkning på poretrykket i de nærliggende områdene
- Kontroll på maks grunnvannsnivå mht. vanntrykk på yttervegg rundt hele baseområdet
- Kotenivå i forhold til dagens terrengnivåer og tilpasning til videre utbygging i området utenfor basen
- Vurdering av hva som er praktisk mulig å få til av barrierer for å oppnå grunnvannsnivå på kote +5

Drenssystemet langs yttervegg vil bestå av et høypermeabelt pukklag rundt konstruksjonen samt et drensanlegg. Drensanlegget vil bestå av en drensledning (DR300 PP DV) og en overvannsledning (OV300 PP DV) som ledes til spylekummer med sandfang for hver 100 m. Overvannsledningen er gjennomgående fra kum til kum, mens drensledningen starter på nytt med terset rør etter hver kum på henholdsvis kote +5 og +4. Høydeforskjellen mellom drensledning og overvannsledning vil derfor variere gjennom systemet.

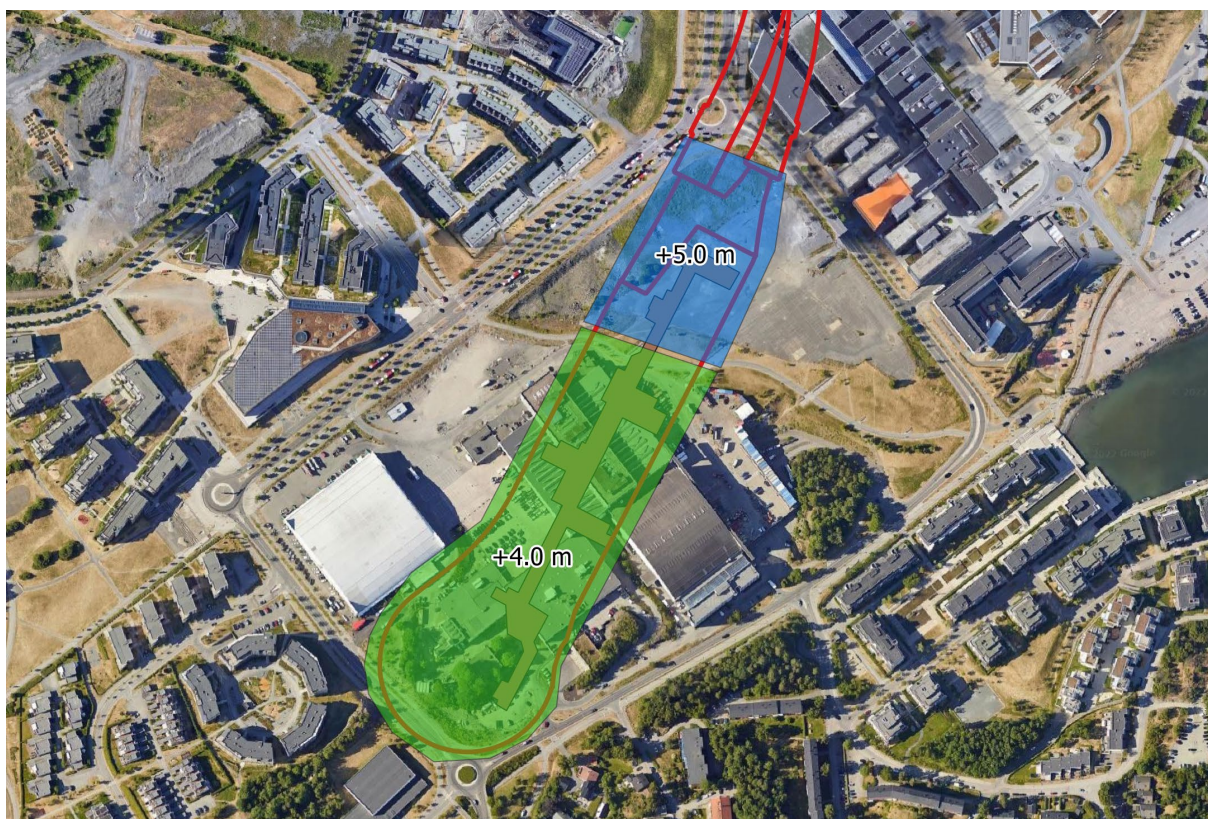
Drensanlegg med tilhørende drensgrøft vil ha en utstrekning på rundt 2 m. Prinsippet for drensgrøft med drensanlegget er vist på Figur 5-2.



Figur 5-2 Prinsipp - drensgrøft

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 14 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

For å skille drengssonene vil det etableres barrierer i overgangen mellom drengssonene. Barrierene skal plasseres mellom yttervegg og bergskjæring og vil gå på tvers fra terreng ned langs konstruksjonen til bunn av utgraving. Barrierene er nærmere beskrevet i kapittel 5.1.1



Figur 5-3 Oppdeling av drengssystemet i to drengsnivåer.

Løsningen uten bunnplate medfører innsig av vann i bunnen av konstruksjonen. Det må etableres et drengssystem hvor vannet ledes til et lavere nivå under kulverten til kote ca. -10.

Dette drengssystemet vil også bestå av et høypermeabelt pukklag under konstruksjonen samt et drengsanlegg. Drengsanlegget vil bestå av drengsrør som ledes til pumpesumper, før det pumpes opp for påslipp til kommunalt nett eller slippes til grunn.

Foreløpig antatt samlet påslipp fra begge drengsanlegg er estimert til maksimalt 0,9-1,5 l/s (80 – 130 m³/dag). Dersom det blir permanent vanninfiltrasjon, må man se nærmere på en løsning med mulighet for å reinfiltrere vann fra drengssystemet. Utslipp fra drengsanlegget vil ha påslipp til kommunalt nett med selvfall. For påslippspunkter se VA-tegning PF-P-731-XH-0014 og PF-P-731-XH - 0017.

5.1.1 Tetteskott/barrierer mellom drengsnivå

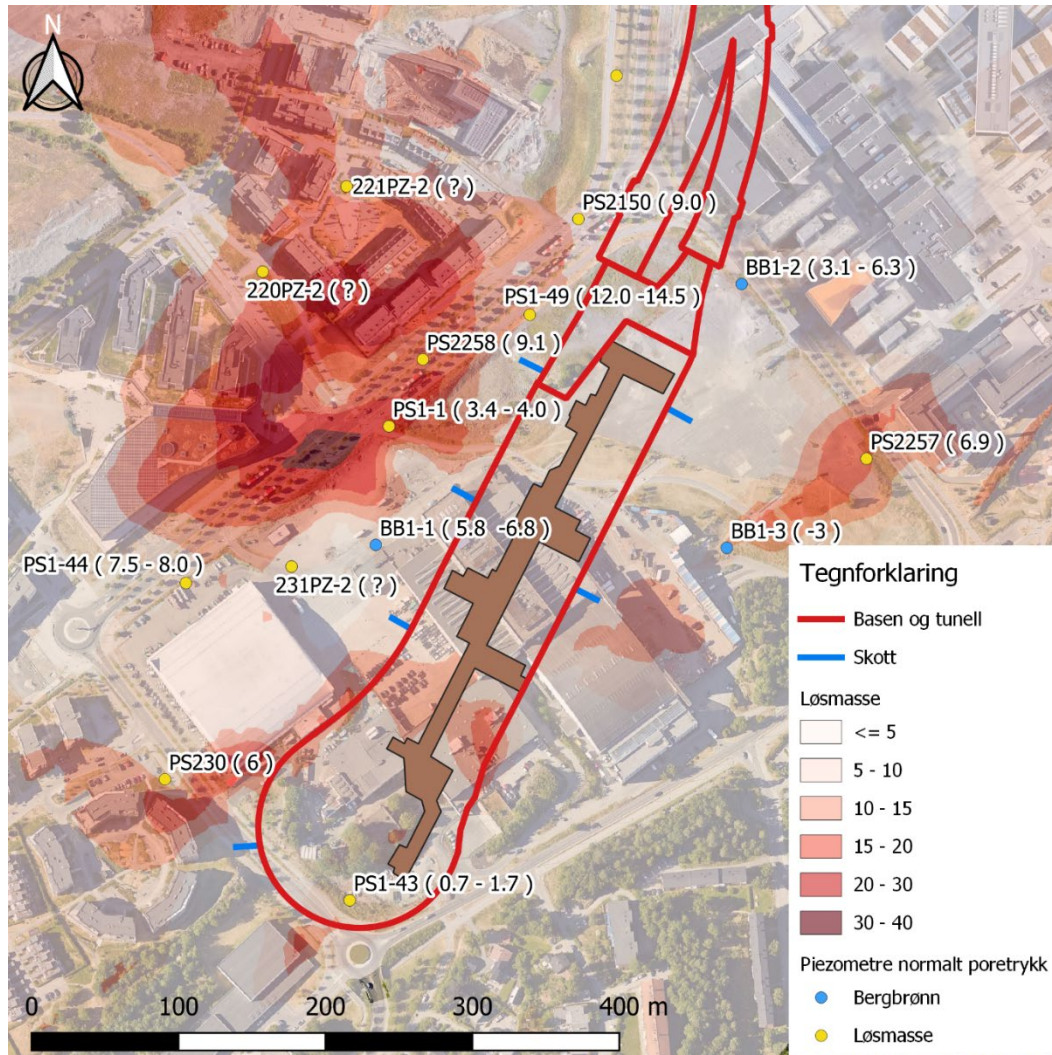
For å hindre at vannet kan strømme fritt langs hele basen i tilbakefylte drenerende masser mellom berg/spunt og konstruksjon må det etableres barrierer mellom drengssystemsonene, som beskrevet i

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 15 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

5.1. Det er viktig at barrierene blir tette og det må vurderes om berget må injiseres der barrieren plasseres.

Plassering av flere slike barrierer/skott vurderes etablert rundt basen for å hindre vannstrøm mellom områder som har ulike naturlige poretryksnivåer i omgivelsene. Disse barrierene/skottene kan enten bestå av leirepropper, betong eller en kombinasjon. Ved betongpropper må det legges vanntett membran utenpå disse proppene, likt som for yttervegger. Dersom barrieren bygges med leire må denne ha en permeabilitet mindre enn $1E-08$ m/s. Ved behov må også berget bak og under disse skottene/barrierene injiseres, slik at vannet ikke kan ta veien rundt proppen. Skottene må etableres til litt over drenerørnivå, altså omtrent kote +4/+5. Da det uansett planlegges et antall betongvegger mellom yttervegg og berg for avstiving av topplaten, kan en del av disse muligens modifiseres så de i tillegg kan fungere som tetteskott. Foreløpig plassering av tetteskott ses på Figur 5-4.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 16 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 5-4 Foreløpig plassering av tetteskott.

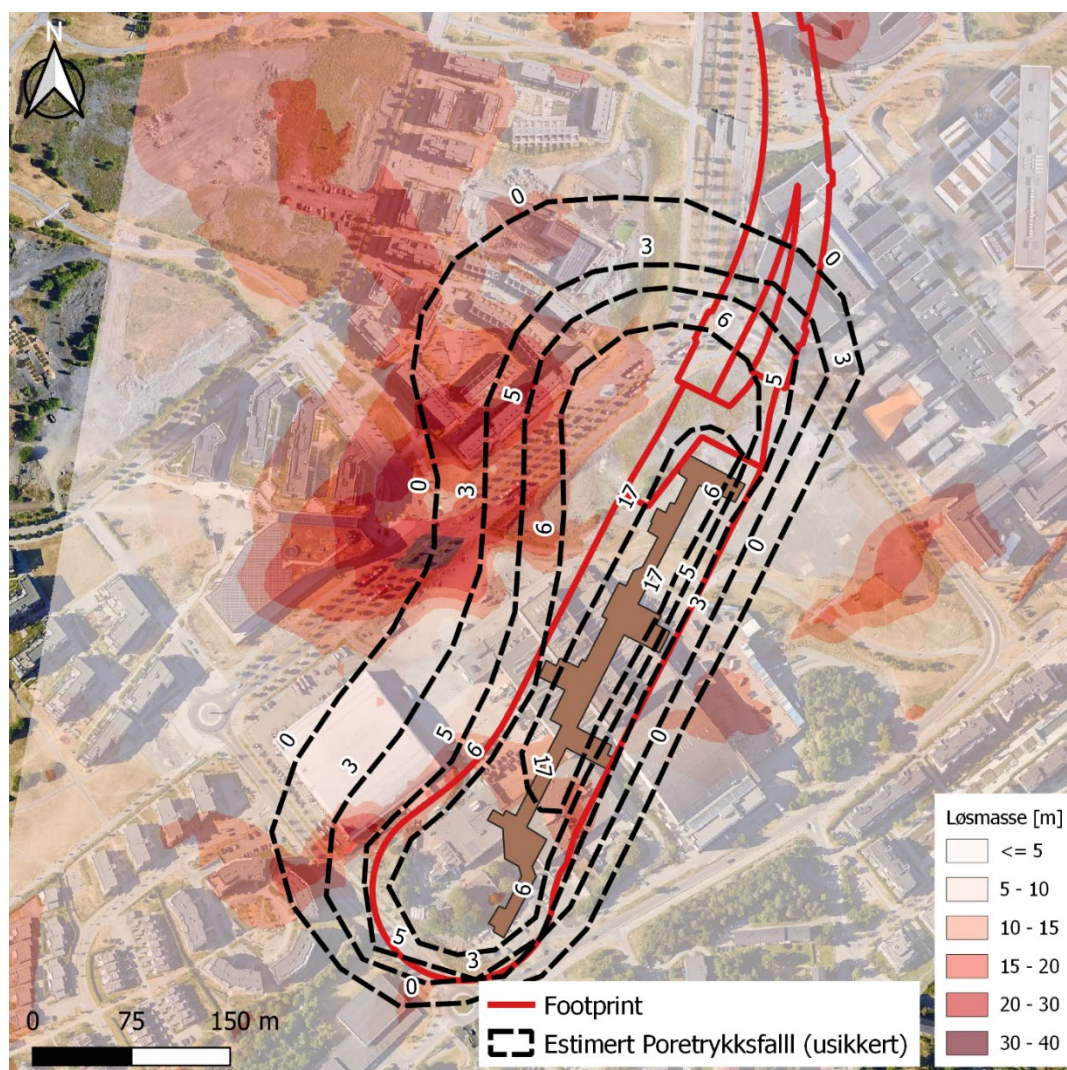
5.1.2 Drenssystemets mulige påvirkning av poretrykk i omgivelsene

Det dreneres i kote +4 og +5 langs sidene og til ca. -4/-8 under bunn/kulvert. Drensnivå under bunnen er altså vesentlig lavere enn opprinnelig poretrykk på alle sider av Basen. Det er likevel vurdert som sannsynlig at det er mulig å redusere innsig av vann basert på tiltak i kapittel 5.2, sammenlignet med det som pumpes ut på nåværende tidspunkt i den åpne byggegropa uten tetting. Basert på observasjoner fra byggegropa kombinert med forenklet modellering av denne løsning er det grovt vurdert at dette innsiget kan gi et poretrykksfall som vist på Figur 5-5. Da en stor del av innsig kommer fra bunnen, er det begrenset betydning for poretrykket at drensnivå er senket fra +6 til +5 i den nordlige enden, i forhold til tidligere løsning.

Betydningen av drenert kulvert i forhold til ikke drenert/vanntett kulvert er også grovt testet med en forenklet modell. Modellen viser, at om bunnen kan gjøres så tett som det i forkant er vurdert mulig, vil gevinsten ved å gjøre kulverten vanntett være relativt liten. Vanntett kulvert vil bare redusere

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 17 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

poretrykksfallet med omtrent 0-1 meter nærmest Basen i forhold til drenert kulvert. Dette skyldes at arealet der det dreneres til -4 er stort i forhold til arealet der det senkes 4-6 meter ekstra på grunn av drenert kulvert.



Figur 5-5 Estimert poretrykksfall som følge av løøsning uten bunnplate, med drenering til +5/+4 langs sidene, og med drenert kulvert. Forutsatt at tetting av bunn har rimelig god effekt.

5.2 Hydrauliske barrierer

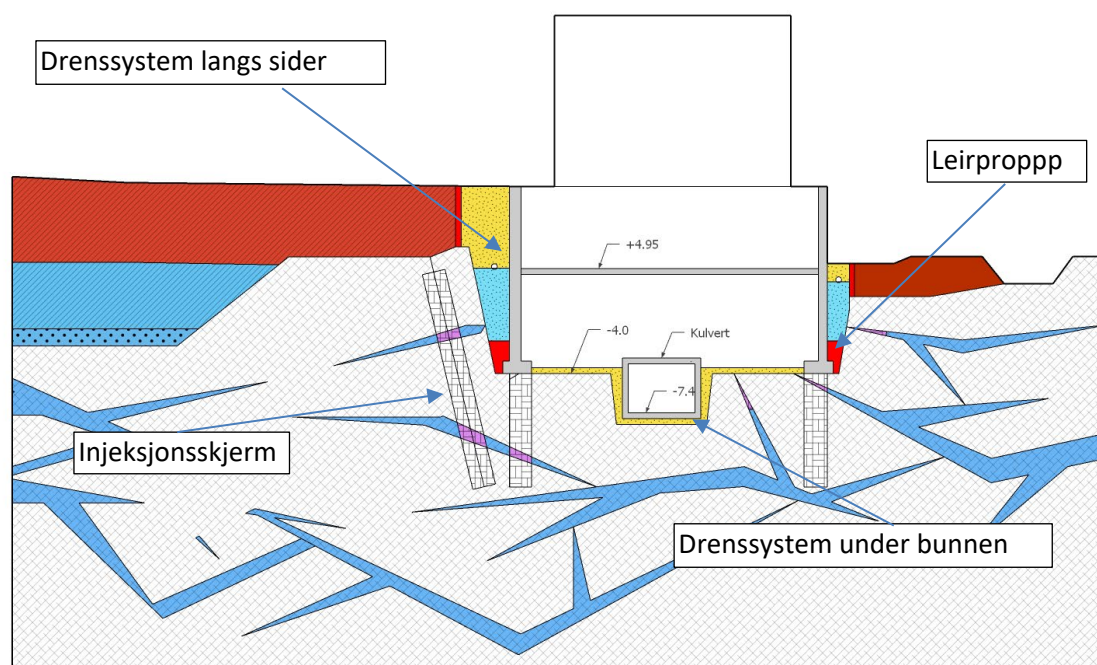
Barrierer:

- Injeksjonsskjerm mot nord, utenfor spunt
- Injeksjonsskjerm i berg, systematisk og kontinuerlig under fundament for den vanntette ytterveggen og til 20 m under planum

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 18 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

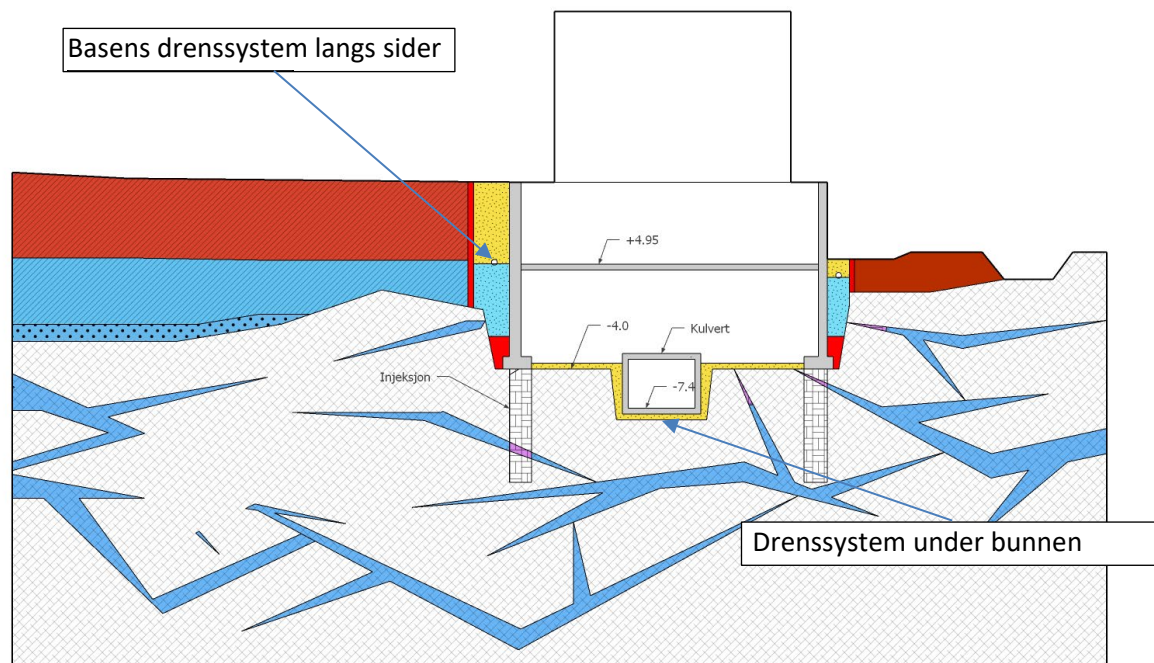
- Vanntett yttervegg til Basen med membran, akrylbasert injeksjon gjennom fundamentet og ned i berg og injeksjonsslanger og svellebånd under fundamentet
- Leirpropper mellom bergskjæring og vanntett yttervegg
- Tetteskott – Leirpropper/betongvegg på tvers mellom bergskjæring og vanntett yttervegg

Omfanget av hver av disse elementene vil variere fra sted til sted, avhengig av grunnforholdene. På Figur 5-6 og Figur 5-7 vises to prinsipielle utforminger av barriere for løsnings uten bunnplate. En hvor det er grunt til berg og en hvor det er større dybder med løsmasser.



Figur 5-6 Hydraulisk barriere og drenssystem for løsnings uten bunnplate, uten utbygger. Prinsippkisse. Nordlig ende, Snitt fra NV mot SØ. Injeksjonsskjerm på ytterside av spunt er kun etablert i nordligste ende.

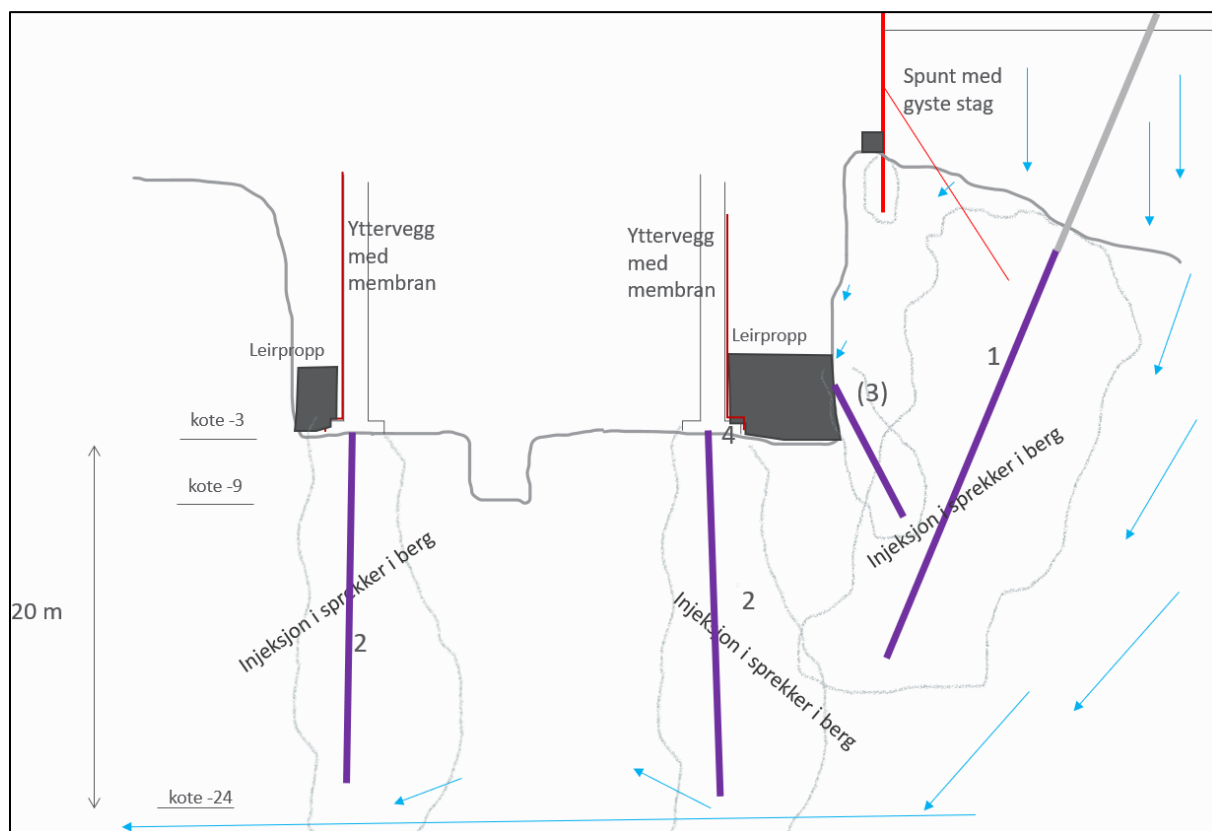
Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 19 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 5-7 Hydraulisk barriere og drens-system, for løsning uten bunnplate, uten utbygger. Prinsippskisse. Område med dypt til berg, Snitt fra NV mot SØ.

De ulike elementene i løsningen uten bunnplate er illustrert noe mer detaljert i Figur 5-8.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 20 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 5-8: Illustrasjon av tverrsnitt med de ulike elementene i vanntetting i løsning uten bunnplate. Injeksjonsskjermen utenfor spunt er kun etablert i nordlig del av byggegroppen. Numrene 1 til 4 viser til rekkefølge i utførelse av injeksjon, med 1; injeksjonsskjerm utenfor spunt, 2; injeksjon under yttervegg, 3; eventuell injeksjon i skjæring, 4: injeksjon gjennom veggfundament. Deretter etableres den vanntette ytterveggen med eventuell leirpropp.

I de følgende delkapitler er de ulike elementene i barrieren forklart.

5.2.1 Injeksjon i berg

Det er etablert etterinjeksjonsskjerm motstrøms grunnvannsstrømningen, som vil si langs utsiden av byggegroppas nordvestre side (Snarøyveien). Generelt er skjerm plassert ca. 10 m fra spunt/skjæring. I tillegg er det planlagt å etterinjisere punktvis i bunnen av byggegroppa etter at den er tatt ut ved synlige innlekkasjer. Mønsteret for injeksjonen tilpasses hvert sted.

I tillegg vurderes behovsprøvd injeksjon baseres på eventuell poretrykksreduksjon i omkringliggende piezometere og grunnvannsbrønner og observasjon av vann/is som kommer ut i skjæringer og i planum. Dette kan bli aktuelt i skjæringssider.

For å redusere innsig av vann til planum av byggegroppen innenfor yttervegger skal det etableres en injeksjonsskjerm under ytterveggene til 20 m under planum. Dette vil sørge for en vesentlig økning i lengden av vannveien og dermed gi en reduksjon i vanntryksgradienten. Injeksjonen er planlagt utført med to pakkere og med mikrosegment og muligens også kolloidal silika. I tillegg skal det utføres

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 21 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

ytterligere tett tiltak mellom ytterveggfundamenter og berg med injeksjon gjennom rør i fundamentet, injeksjonsslanger og svellebånd (se kapittel 5.2.2).

I tillegg må det vurderes behov for injisering av berget i forbindelse med tetteskottene, omtalt i kapittel 5.1.1.

Området over og rundt tunnelene er injisert fra tunnelen med forinjeksjon. Skjermene her er 24 m lange, og ny skjerm etableres for hver 15. løpemeter. Vinkel på skjermen er 5° ut fra tunnelheng/-vegg/-såle. Bergoverdekningen over tunnelene her varierer mellom 7 og 12 m, med 0 til 2 m med løsmasse over berget. Det ble observert utgang av injeksjonsmasse i terrenget over tunnelen da injeksjonsarbeidet her foregikk. Berget er dermed godt tettet i området rundt tunnelene. Det er ikke forventet behov for supplerende injeksjon her.

Det er gjort en vurdering av risiko for sprekkdannelse i berg over tunnel i permanent fase – når utbyggere har etablert bygninger med store punktlaster nær kant byggegrop og over tunnel. Det er på bakgrunn av 3D elementanalyse konkludert med at det er liten/ingen sannsynlighet for at de små deformasjonene som punktlastene påfører bergmassen vil gi sprekkdannelser.

5.2.2 Vanntett yttervegg

Yttervegg skal være vanntett. Dette oppnås ved å benytte en bundet membran på yttersiden av vegg og veggbankett. Avslutningen av den membranen kan utføres med en spesial-tape ved bunnen av fundamentet supplert med en bentonitt stripe mot berg som brettes opp og overlapper membran. Denne dekkes til med betong. Alternativt føres membranen om lag 200 mm ut på bergflaten og fikses mot berg med tilhørende spesial-adhesiv (spesial-«lim»-materiale). Membranen skal i sin fulle utbredelse beskyttes med enten et isolasjonslag eller et geotekstil (evt. betong i bunnen).

I tillegg til injeksjonsskjermen i berg, omtalt i kapittel 5.2.1, skal det også injiseres gjennom veggfundamentet via styrerør. Veggfundament fungerer som mothold for denne grunne injeksjonen. Dette andre injeksjonstrinnet er tenkt utført med et lavviskøst injeksjonsmateriale, antagelig akrylbasert, som gjør at en kan oppnå tilfredsstillende tetthet. Motholdkapasiteten i veggfundamentet sikres ved at det etableres to rader med bergbolter i veggfundamentet.

I overgang mellom berg og veggfundament er det vurdert, i samråd med RIG og membranleverandører, at det bør være både svellebånd og injeksjonsmulighet.

5.2.3 Leirpropper

Det skal legges ut leirpropper i den nederste del av rommet mellom yttervegg og bergskjæring/spunt. Det er viktig at leirproppens materialer har de riktige egenskapene til å kunne hindre/bremse vanninnstrømning under grunnvannsspeilet. Utførelsen vil også bli svært viktig. Dette er ikke detaljprosjektert på nåværende tidspunkt.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 22 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

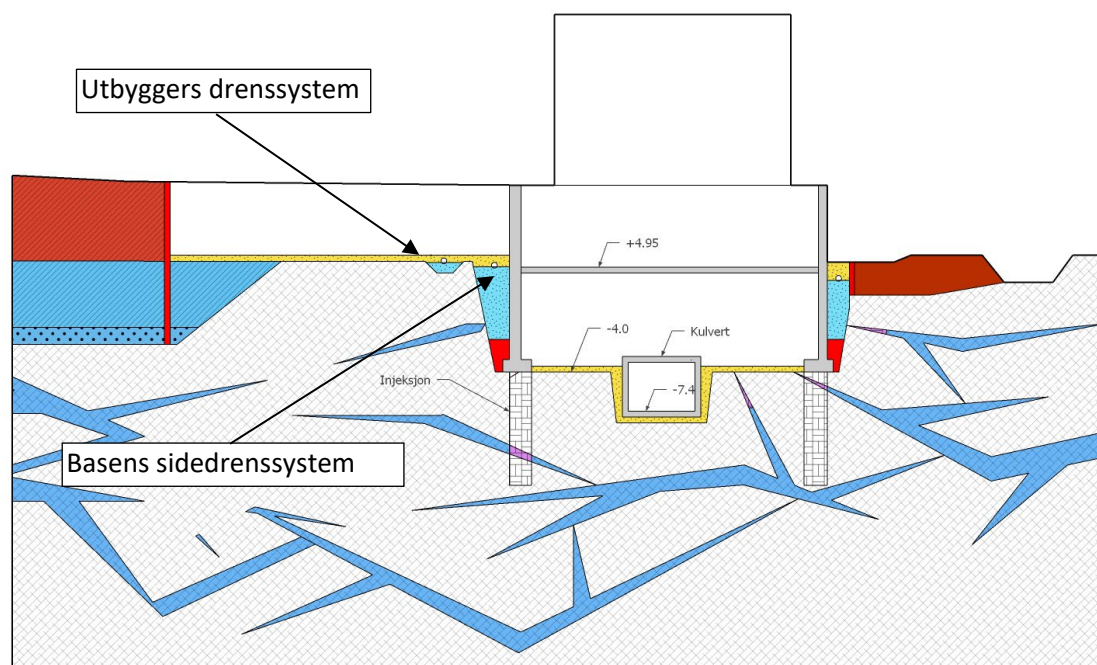
6. FORUTSETNINGER FOR PERMANENT FASE

De mest vesentlige forutsetninger for permanent fase er:

1. Basens drenssystem skal opprettholdes.
2. Fornebubanen må ha tilgang til alle kummer tilhørende eget drenssystem.
3. Utbygger må håndtere innsig til eget drenssystem og ikke lede dette vannet til Basens drenssystem.
4. Behov for permanente vanninfiltrasjonsbrønner vil bli vurdert senere på bakgrunn av registrerte data beskrevet i kapittel 4.2.

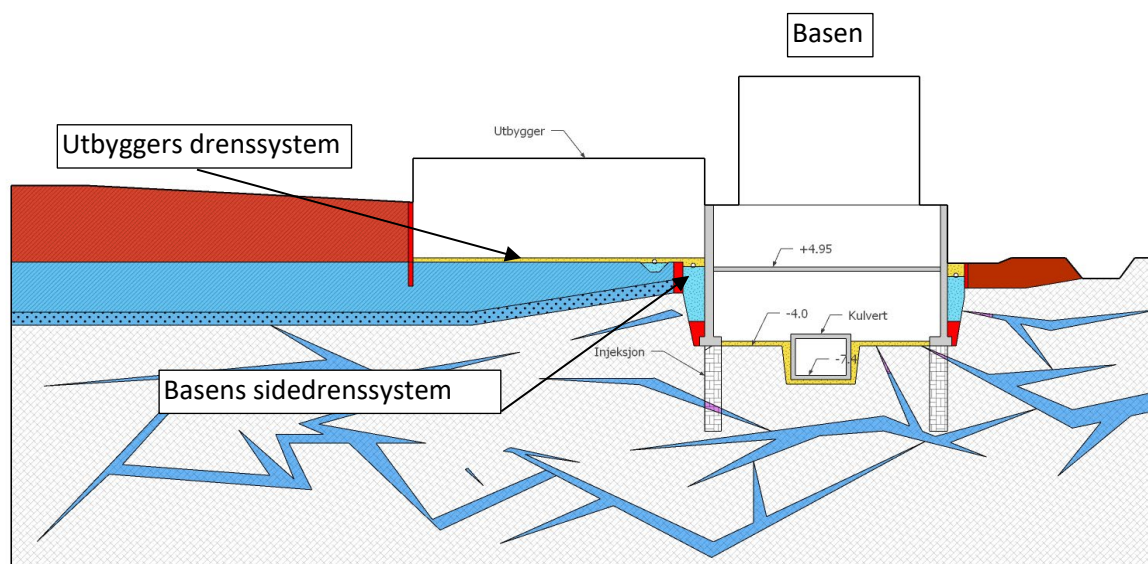
6.1 Utbyggers drenssystem

Om utbygger oppfører drenssystem rundt konstruksjonene sine, skal innsig til dette ikke ledes til basens drenssystem. Et eksempel på en slik løsning er vist på Figur 6-1. På skissen har utbygger et drenssystem som ikke leder vann til basens drenssystem og man har forskjellig vannspeil i de to systemene. En løsning for situasjon med dypt til berg er vist på Figur 6-2.



Figur 6-1 Prinsippskisse. Hydraulisk barriere og drenssystemer for løsning uten bunnplate og i forhold til utbygger. Nordlig ende, Snitt fra NV mot SØ.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 03G
		Dato: 16.06.2022
		Side: 23 av 23
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 6-2 Prinsippskisse. Hydraulisk barriere og drenssystemer for løsning uten bunnplate og i forhold til utbygger. Situasjon med dypt til berg. Snitt fra NV mot SØ.

Om Basen skaper reduksjon i poretrykk som gjør at poretrykket/vannspeil ligger under koten på utbyggers drenssystem, da får utbyggers drenssystem prinsipielt ikke noe innsig og ikke noen betydning for poretrykk i omgivelsene. Da det er snakk om sprekker i berg og dårlig sammenhengende magasiner, kan det likefullt skje at det blir innsig til Utbyggers drenssystem fra noen områder, selv om vannspeil rundt basen generelt er noe lavere enn utbyggers drenssystem.