



Oslo

Fornebu base og stasjon – Grunnvannshåndtering

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

Revisjon: 04G



OFFENTLIG

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 2 av 26
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
04G	12.12.2022	Godkjenning	Lise Lotte Aune, Marit Johanne Førde	Hans Ole Haugen	Hans Ole Haugen

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 3 av 26
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	9
4.	GRUNNARBEIDER OG ANLEGGSFASE	11
4.1	Tiltak i anleggsfase	11
4.1.1	Etablering av supplerende poretrykksmålere	11
4.1.2	Infiltrasjonsbrønner	12
4.1.3	Injeksjon	12
4.2	Registreringer	13
5.	PROSJEKTERT LØSNING – PERMANENT FASE.....	14
5.1	Drenssystem	14
5.1.1	Tetteskott/barrierer mellom dretnivå	16
5.1.2	Drenssystemets mulige påvirkning på poretrykk i omgivelsene	17
5.1.3	Forventet konsekvens for omgivelsene	19
5.2	Hydrauliske barrierer	19
5.2.1	Injeksjon i berg	21
5.2.2	Vanntett yttervegg	22
5.2.3	Leirpropper	22
5.3	Vanninfiltrasjon	23
6.	FORUTSETNINGER FOR PERMANENT FASE	24
6.1	Utbyggers drenssystem	24
7.	REFERANSER	26

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 4 av 26
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

1. INNLEDNING

1.1 Hensikt

Hensikten med dette dokumentet 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. Konstruksjonen og vanntetningsløsning for Fornebu base og stasjon er optimalisert med vekt på økonomi, bærekraft og CO₂-fotavtrykk. 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 avfallssentralen. 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: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 5 av 26
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, inkludert injeksjonsskjerm i berget under hele ytterveggens lengde, injeksjon gjennom fundamentet og ned i berg og med injeksjonsslanger under fundamentet.
- Injisering i skjæring og bunn av byggegropp 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 byggegroppen
- 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: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 6 av 26
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.
04G	12.12.2022	Kapittel 3, 4, 5 og 6	Generelt er rapporten oppdatert med mindre endringer og presiseringer i teksten. Kapitelene er oppdatert basert på ny informasjon angående prosjektering, utførelse og målinger i felt siden forrige utgave. Kapittel 5.3 er lagt til. Kapittel 6 er pkt 3 revider og pkt 5 lagt til. Kapittel 6.1 er skrevet om.

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 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.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 7 av 26
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

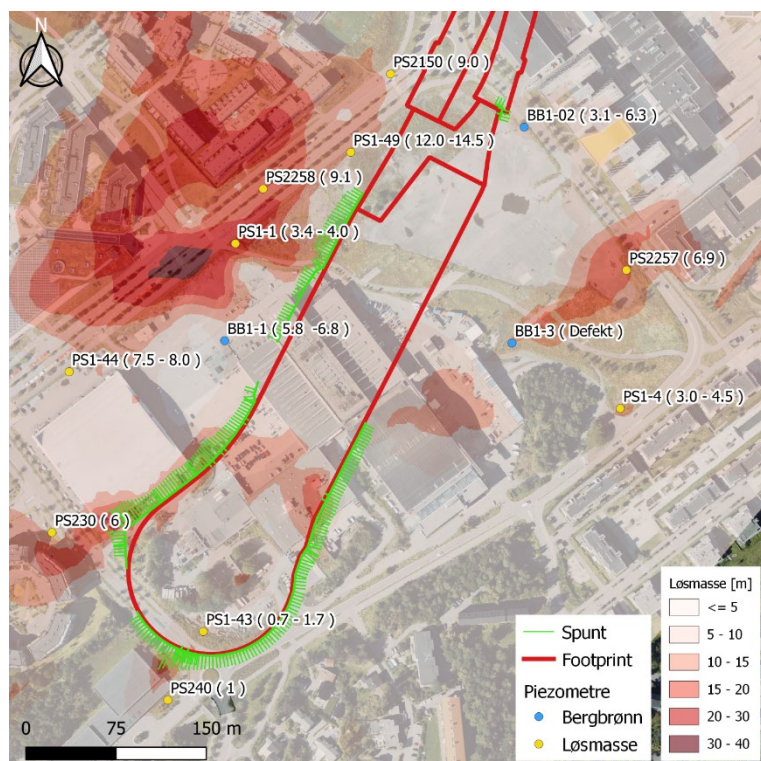
For permanent fase etableres en tilnærmet vanntett konstruksjon ved hjelp av vanntette yttervegger, med injeksjon gjennom fundamentet og i berg, en dyptgående underliggende injeksjonsskjerm og tetting av lekkasjesoner i sålen av byggegropen. Det vil kontinuerlig være innsig av vann og det skal etableres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

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.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 8 av 26
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



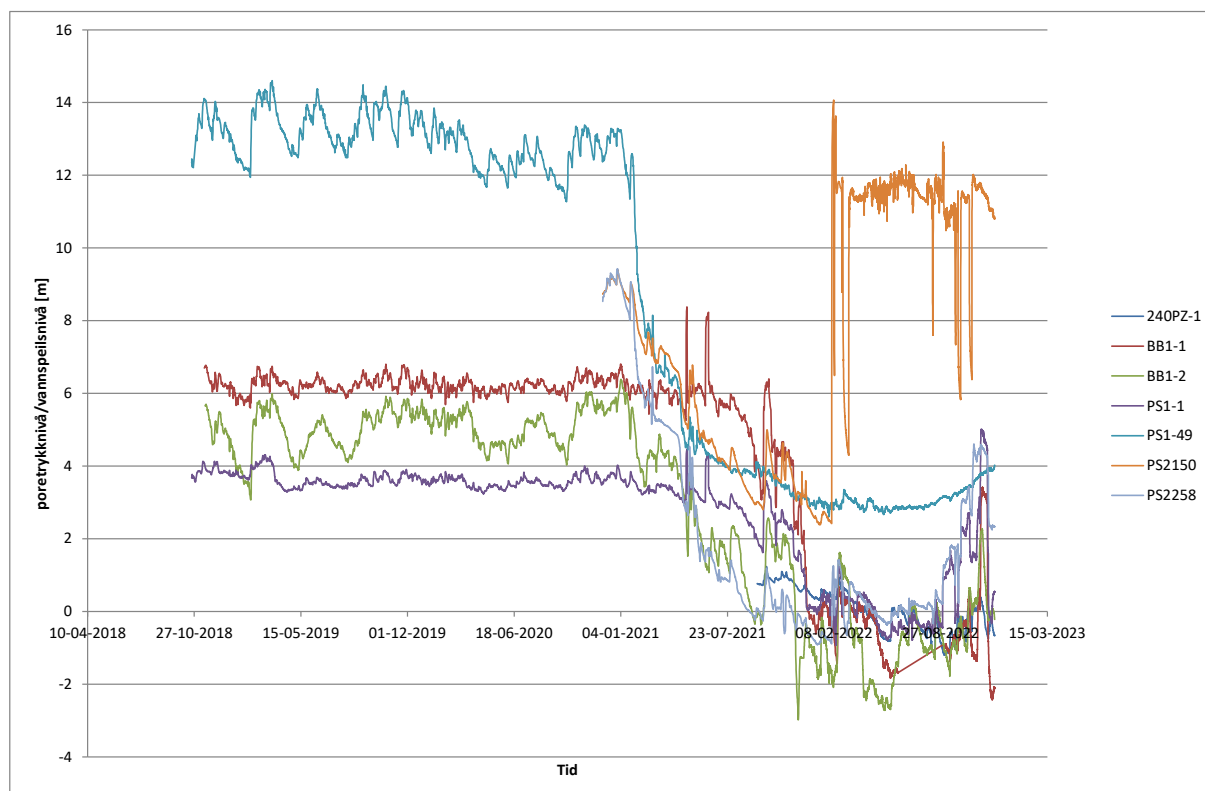
Figur 3-1 Opprinnelig poretrykksnivå/vannspeil [m] registrert av Geonor siden okt. 2018. For korte tidsserier er det bare vist et enkelt nivå. Figuren viser også antatt løsmassemengde.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 9 av 26
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

3.3 Påvirkning/endring i anleggsfase

Utgraving 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.

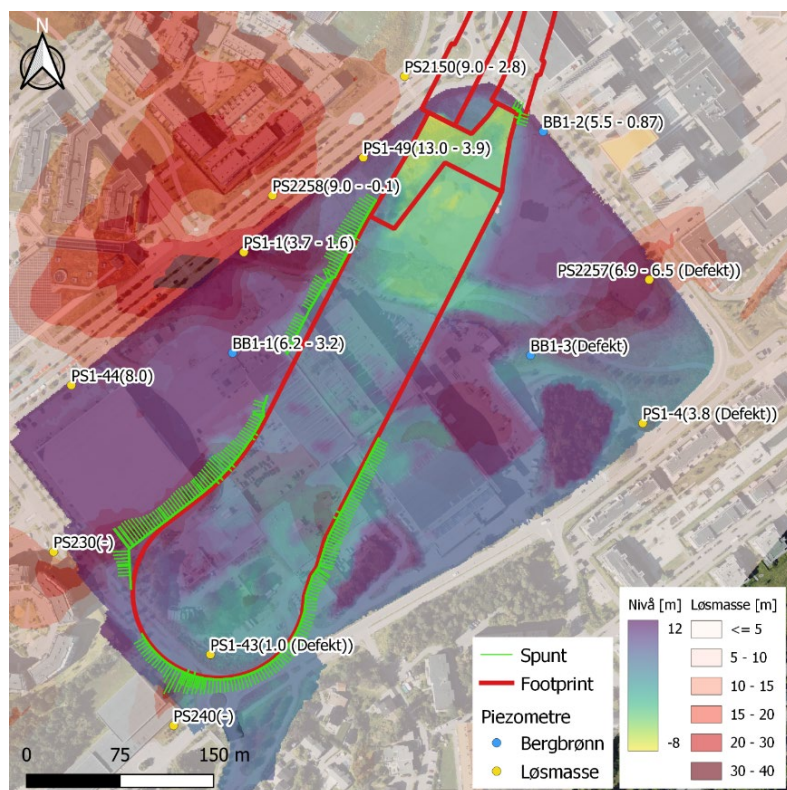
Siden utgravingen begynte er det registrert poretrykksfall i en del piezometre rundt basen, opp imot 9-10 meter i området med størst endring, som det ses på Figur 3-2. Fallet begynner etter utgravingen er startet.



Figur 3-2 Poretrykk/vannspeil i piezometre/bergbrønner som viste fall etter januar 2021. I februar ble infiltrasjon i infiltrasjonsbrønn nr. 2 startet, noe som har tydelig effekt på PS2150. Med ytterligere infiltrasjonsbrønner etter sommeren 2022 ses stigende poretrykk for alle disse piezometre bortsett fra BB1-2.

Poretrykksfallene har vært størst mot nord, der utgravingen startet og der grope først var dyp, se Figur 3-3. Poretrykket før utgraving er i Figur 3-3 vist sammen med poretrykket registrert i september 2021 og utgravingen som den så ut i september 2021.

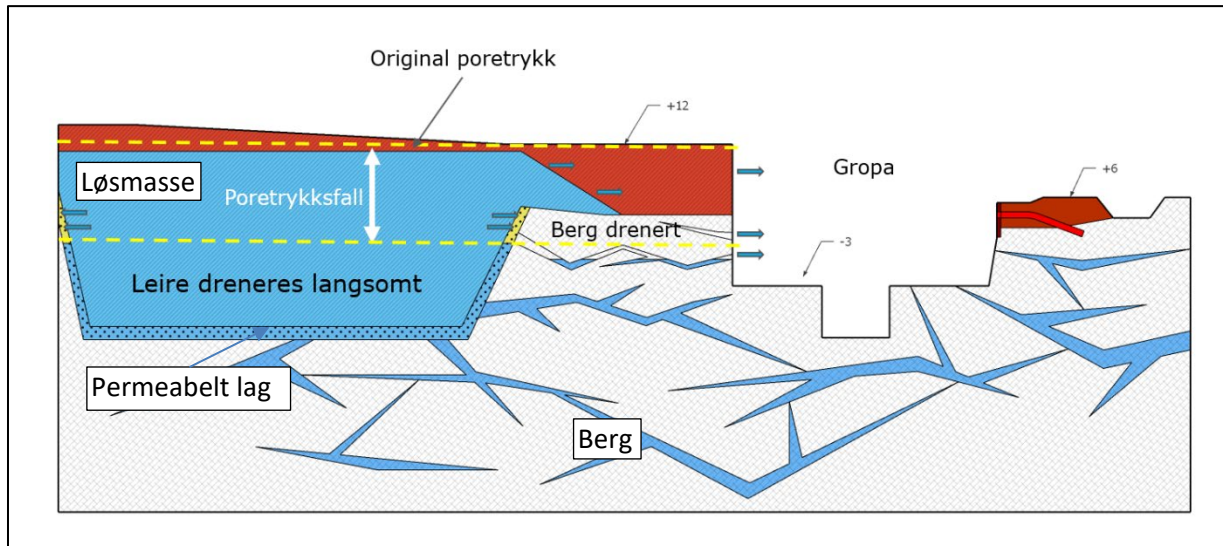
Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 10 av 26
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



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

I perioden med store poretrykksfall (januar 2021 - oktober 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 i denne perioden 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: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 11 av 26
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



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

I takt med at utgravingen til full dybde er kommet lenger sørvest, er poretrykket i enkelte piezometre falt ytterligere. BB1-1 har for eksempel vært nede på ca. -2, samtidig har det ikke vært noen reaksjon i PS1-44. Piezometrene lengst mot syd (230PZ og 240PZ) har vært i drift siden september 2021. De har ikke reagert tydelig på utgravingen, selv om utgraving og sprenging har kommet nærmere disse piezometrene i denne perioden. De hydrogeologiske forholdene varierer mye langs basen. Poretrykk varierer i utgangspunkt mye og poretrykk i forskjellige områder reagerer forskjellig på utgraving og konstruksjoner.

4. GRUNNARBEIDER OG ANLEGGSSFASE

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. For å få opp poretrykket i anleggsfasen og etter hvert også permanent fase er det derfor planlagt og iverksatt flere tiltak.

4.1.1 Etablering av supplerende poretrykksmålere

På grunn av det pågående poretrykksfallet er det besluttet å etablere supplerende poretrykksmålere i Hagebyen for å ha kontroll på om poretrykksfallet har spredd seg også hit.

Disse målerne (220PZ og 221PZ) begynte å måle poretrykk fra starten av mars 2022, og man har dermed ingen referanseverdi av poretrykk i disse før byggearbeidene startet. Det har ikke vært registrert noe betydelig fall i poretrykk i disse etter at de er etablert. Man ser heller ikke noen umiddelbar respons etter at de siste infiltrasjonsbrønnene ble slått på ca. 30. august 2022, men det har vært en gradvis økning i poretrykksmåler 221PZ i måleren rett over berg etter dette. Det har

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 12 av 26
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

samtidig vært mye nedbør i denne perioden, så det er usikkerheter rundt om det er naturlig variasjon pga. nedbør eller infiltrasjonsbrønnene som påvirker poretrykket her.

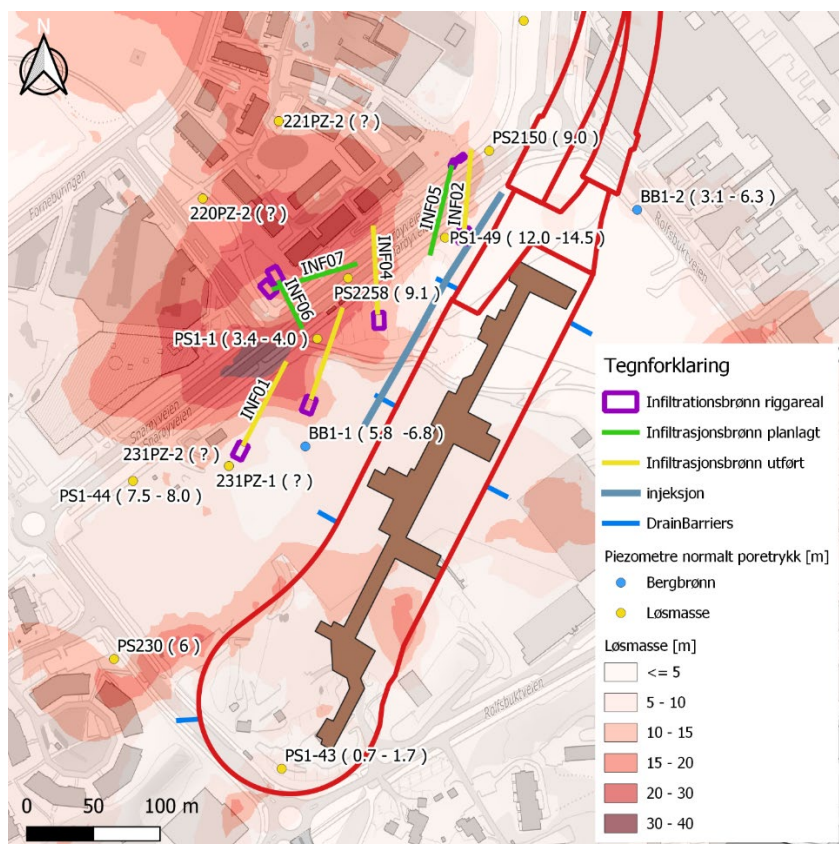
4.1.2 Infiltrasjonsbrønner

Det er per nå etablert og satt i drift fire infiltrasjonsbrønner for å forsøke å heve poretrykket, se Figur 4-1. Brønnene har god effekt på alle piezometer nord for gropa, hvor det har vært poretrykksfall (se Figur 3-2). Det er mindre effekt sydøst for gropa ved bergbrønn BB1-2, noe som er naturlig da infiltrasjonen skjer på nordsiden. Området umiddelbart sydøst for gropa er imidlertid vurdert ikke at være veldig følsomt for poretrykksfall da løsmassemektighet er mindre her og bygg er fundert på berg. De fire brønnene som er i drift er i utgangspunktet et midlertidig tiltak i byggefasen og forventes ikke at kunne bevares når utbygger begynner arbeidet sitt. De to brønner på nabotomtene nord for Snarøyveien som er planlagt, se Figur 4-1, er plassert der for å kunne være tilgjengelige i fremtiden, i permanent fase om det blir nødvendig.

4.1.3 Injeksjon

Basert på erfaringer fra nærliggende byggegrøper på Fornebulandet var det ventet en stort sett tørr byggegrøp, med unntak av enkelte vannførende sprekker/sprekkesoner. Konseptet for igangsetting og plassering av injeksjon i anleggsfase var å følge med på poretrykket i omkringliggende piezometere og brønner, og registrere eventuelt vann i gropa. Det er gjort noen injeksjonsarbeider i anleggsfasen basert på dette, blant annet en injeksjonsskjerm utenfor gropa. Arbeidet med dette pågår fortsatt.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 13 av 26
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. Injeksjonsskjermen under yttervegger er ikke vist spesifikt på figuren.

4.2 Registreringer

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:

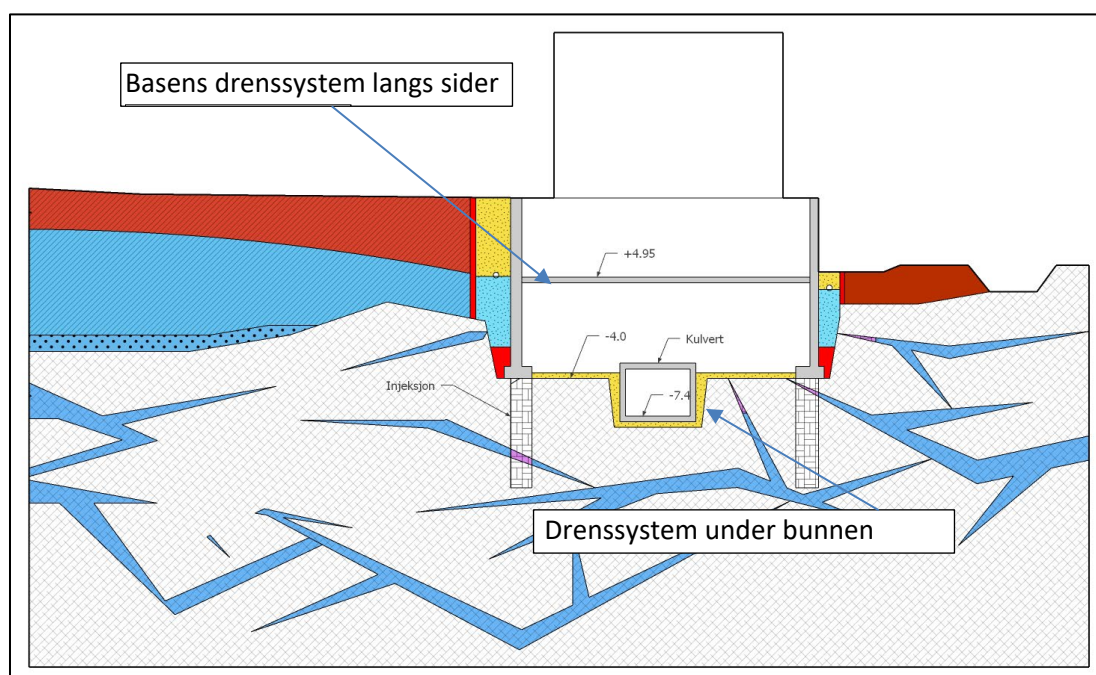
- Mengde vann pumpet ut fra byggegroppen
- Poretrykk og grunnvannsnivå
- Setninger
- Infiltrasjonsmengder i infiltrasjonsbrønner

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

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 14 av 26
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

5. PROSJEKTERTE LØSNING – PERMANENT FASE

Konstruksjonen for Fornebu base og stasjon er optimalisert fra et økonomisk, bærekraftig og klimapåvirkningsperspektiv. Den skal bygges som en kasse med tak og tette yttervegger rundt hele base- /stasjonsområdet, men uten vanntett bunnplate. Det kan derfor komme inn noe vann fra sidene og fra bunnen under konstruksjonen. Figur 5-1 viser en prinsippskisse av konstruksjonen, med tilhørende drenssystem og barrierer.



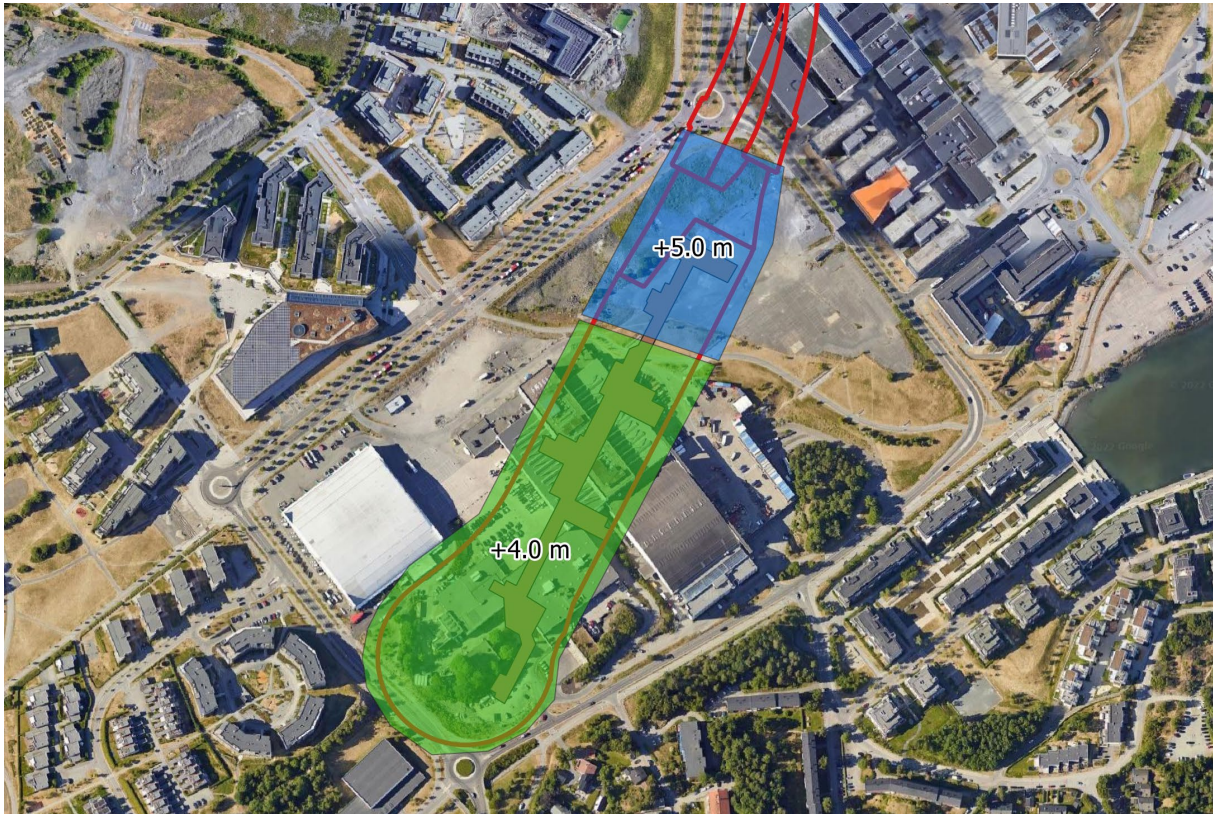
Figur 5-1 Prinsippskisse

5.1 Drenssystem

Det er planlagt med et sonedelt drenssystem langs ytterkant av konstruksjonens yttervegg: Én sone i nordre del, nord for Allmenningen, og flere soner syd for denne. Drenssystemet nord for Allmenningen skal sikre at vannspeilet rundt FOB sin yttervegg ikke overstiger kote +5, og kote +4 sør for Almenningen. Se inndeling for de forskjellige drensnivåene i Figur 5-3. Det opprinnelige poretrykket i 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

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 16 av 26
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



Figur 5-3 Oppdeling av drenssystemet i to drens nivåer.

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

Dette drenssystemet vil også bestå av et høypermeabelt pukklag under konstruksjonen samt et dresnanlegg. Dresnanlegget vil bestå av drensrør som ledes til pumpesumper, før det pumpes opp for påslipp til kommunalt nett eller slippes til grunn.

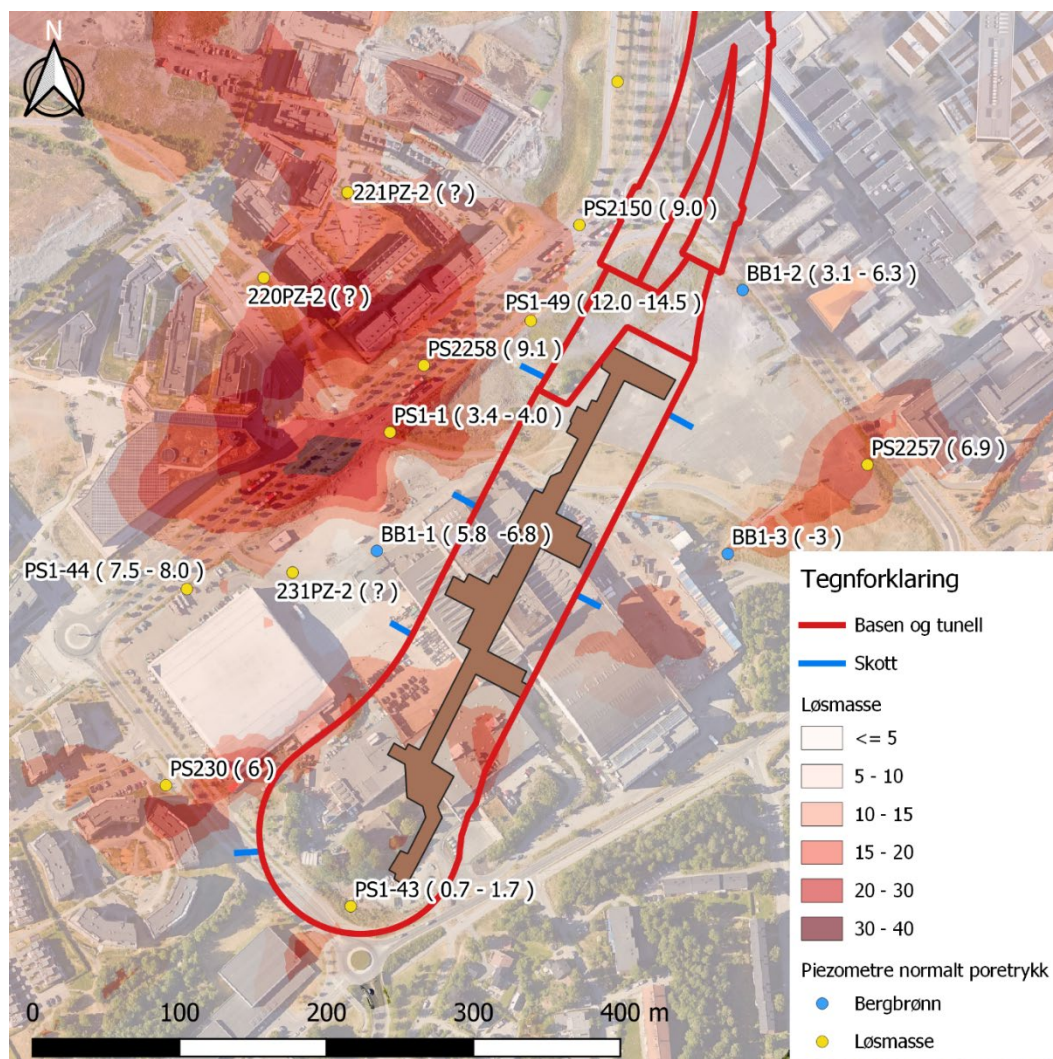
Foreløpig antatt samlet påslipp fra begge dresnanlegg er estimert til maksimalt 0,9-1,5 l/s (80 – 130 m³/dag). Dersom det blir permanent vanninfiltrasjon, må man se nærmere på en løsning med mulighet for å reinfiltrere vann fra drenssystemet. Utslipp fra dresnanlegget vil ha påslipp til kommunalt nett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

5.1.1 Tetteskott/barrierer mellom drens nivå

For å hindre at vannet kan strøkke fritt langs hele basen i tilbakefylte drenerende masser mellom berg/spunt og konstruksjon må det etableres barrierer mellom drenssystemsonene, som beskrevet i 5.1. Det er viktig at barrierene blir tette og berget skal injiseres der barrieren plasseres. Skottene etableres til litt over drensrørnivå, altså omtrent kote +4/+5. Da det uansett planlegges et antall betongvegger mellom yttervegg og berg for avstiving av topplaten, skal noen av disse modifiseres så

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 17 av 26
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

de i tillegg kan fungere som tetteskott. Plassering av tetteskott er skissert i Figur 5-4. Det er viktig at det i fremtiden opprettholdes god drenering over topp tetteskott slik at oppdemming av vann lokalt til over kote +4/+5 minimeres.



Figur 5-4 Foreløpig plassering av tetteskott.

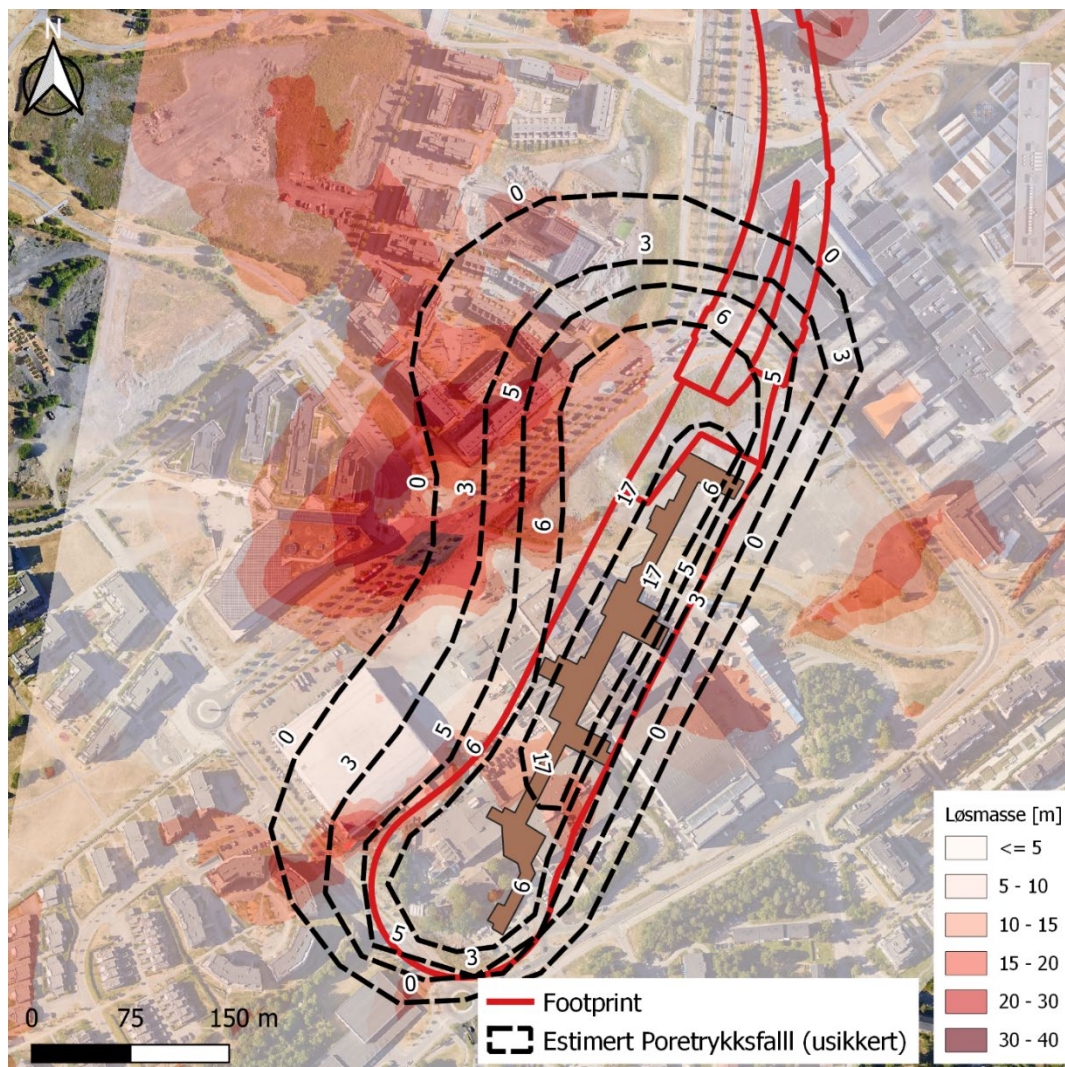
5.1.2 Drenssystemets mulige påvirkning på poretrykk i omgivelsene

Det dreneres i kote +4 og +5 langs sidene og til ca. kote -4/-10 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 løsningen er det grovt vurdert at dette innsiget kan gi et poretrykksfall som vist på Figur 5-5. Da en stor del av

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 18 av 26
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

innsiget kommer fra bunnen, er det av begrenset betydning for poretrykket at dretnivået 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 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 løsning uten bunnplate, med drenering til +5/+4 langs sidene, og med drenert kulvert. Forutsatt at tetting av bunn har rimelig god effekt.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 19 av 26
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

5.1.3 Forventet konsekvens for omgivelsene

Det er utført setningsberegninger av forventede poretrykksfall som Fornebu base og stasjon kan påføre omgivelsene. I forbindelse med risikovurderinger som er utført for å evaluere løsning uten bunnplate er det sett på mulig skadekonsekvens som følge av setningene. Dette er nærmere beskrevet i evalueringsrapporten for løsning uten bunnplate [1].

Beregnete og målte setninger er presentert i rapport PF-P-721-RB-0017 [2].

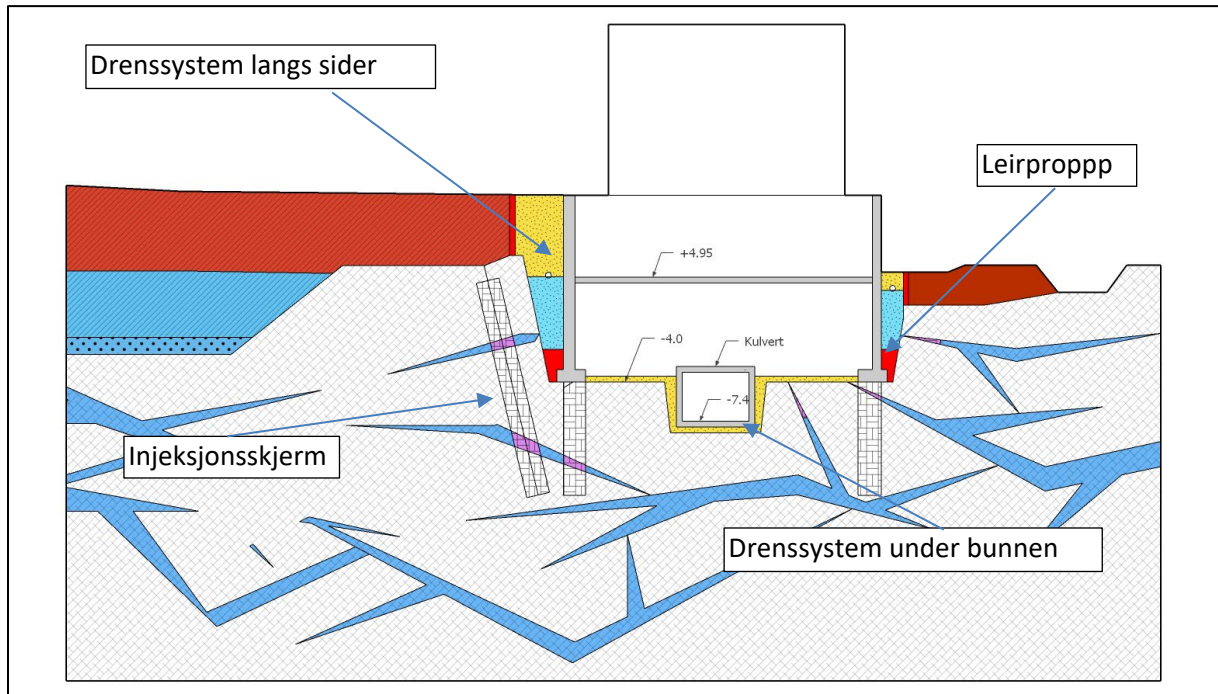
5.2 Hydrauliske barrierer

Barrierene til Basen består av:

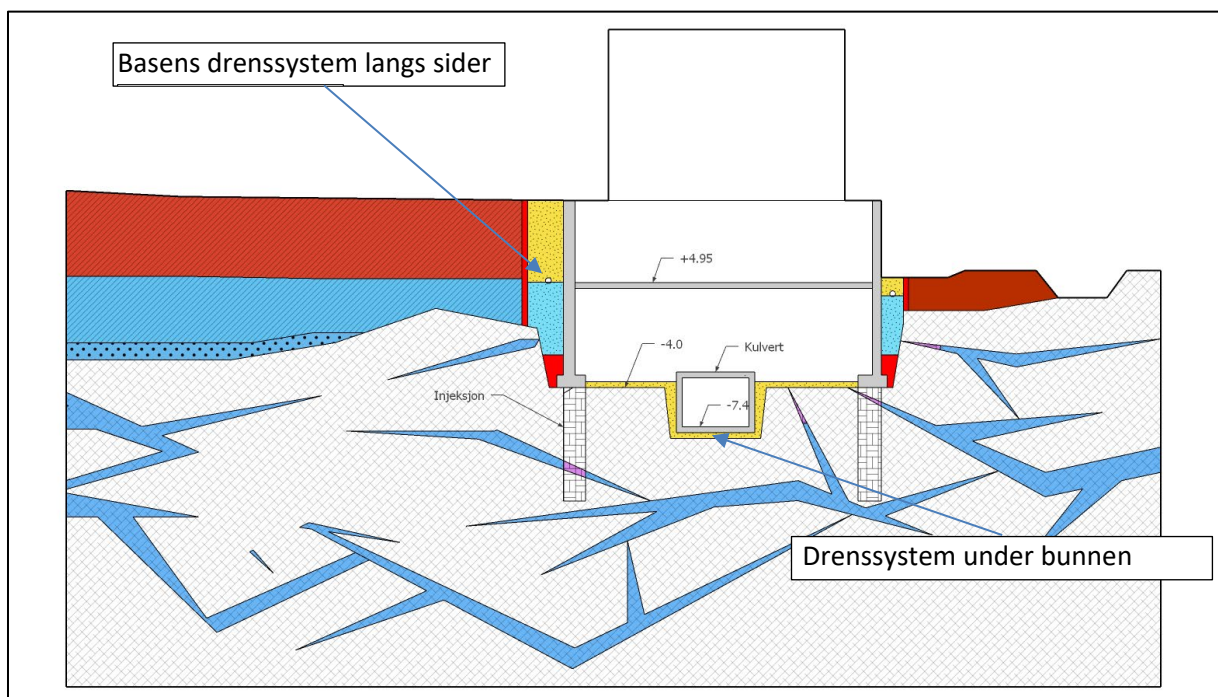
- Injeksjonsskjerm under fundament for den vanntette ytterveggen og til minimum 20 m under planum
- Injeksjon i lekkasjepunkt i skjæring og planum
- Injeksjonsskjerm mot nord, utenfor spunt
- Vanntett yttervegg til Basen med membran, akrylbasert injeksjon gjennom fundamentet og ned i berg og injeksjonsslanger og svellebånd under fundamentet
- Leirpropper mellom bergskjæring og vanntett yttervegg
- Tetteskott – leirpropper/betongvegg på tvers mellom bergskjæring og vanntett yttervegg for å skille på de ulike dretnivåene

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 løsning uten bunnplate. En hvor det er grunt til berg og en hvor det er større dybder med løsmasser.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 20 av 26
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



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



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

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 21 av 26
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

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

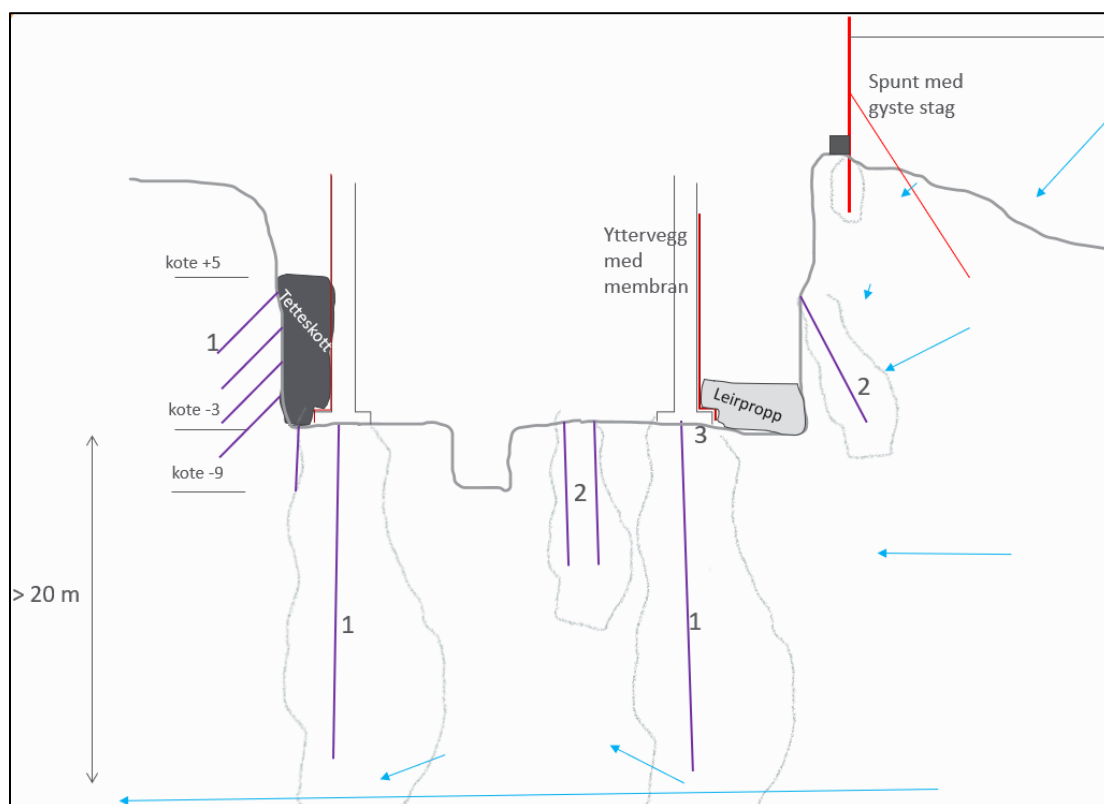
5.2.1 Injeksjon i berg

Byggegropp og vanntett yttervegg

For å, så langt som mulig, redusere innsig av vann inn i byggegropen innenfor yttervegger, skal det etableres en injeksjonsskjerm under ytterveggene til minimum 20 m under planum. Dette vil sørge for en vesentlig økning i lengden av vannveien og dermed gi en reduksjon i vanntrykksgradienten. Det skal også injiseres i berget bak tetteskottene, omtalt i kapittel 5.1.1, for best mulig tetthet rundt tetteskottene. Videre skal det injiseres i observerte vannførende sprekker i skjæringer og i planum. Det benyttes split spacing for å finne de vannførende områdene og få tett de. Det injiseres med microsement, og kolloidal silika vurderes underveis.

Når veggfundamentet er på plass skal det utføres ytterligere tettetiltak mellom ytterveggfundamenter og berg med injeksjon gjennom rør i fundamentet, injeksjonsslanger og svellebånd (se kapittel 5.2.2).

De ulike elementene i injeksjonskonsept er illustrert i Figur 5-8.



Figur 5-8: Illustrasjon av tverrsnitt med de ulike elementene i vanntetting i løsning uten bunnplate. Numrene 1 til 4 viser til rekkefølge i utførelse av injeksjon, med 1; injeksjon under yttervegg og bak tetteskott, 2; injeksjon i vannførende sprekker i skjæring og planum, 3: injeksjon gjennom veggfundament. Deretter etableres den vanntette ytterveggen med eventuell leirpropp.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 22 av 26
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

Tunnel

Tunnelene i Fornebubanen tettes med systematisk forinjeksjon. Kravene til tetting er basert på en sårbarhetsanalyse, og tunnelen nærmest Fornebu base er svært omfattende injisert, 1 til 2 runder. Skjermene er ca. 24 m lange, og ny skjerm etableres for hver 15. løpemeter. 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 fra terreng her. Når tunnelen er ferdig drevet skal det etableres en vanntett betongutstøpning fra tunnelåpningen og 3 m inn. Generelt er tunnelprofilene for hele Fornebubanen tilpasset plass til vanntett utstøpning, som kan monteres dersom resultatet av forinjeksjon, og eventuell etterinjeksjon, ikke tilfredsstillende tunnelens tetthetskrav.

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 fikseres 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

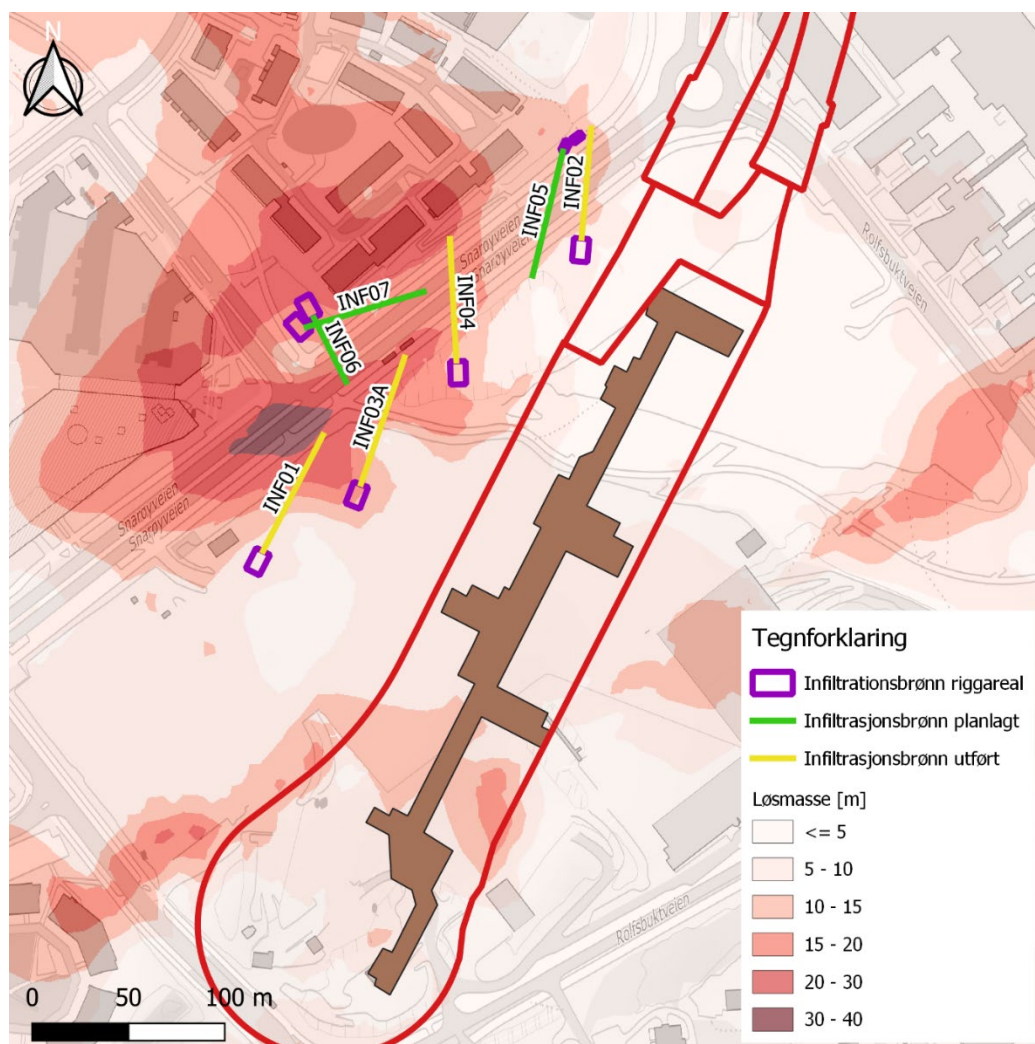
Det skal legges ut leirpropper i den nederste del av rommet mellom yttervegg og bergskjæring/spunt. Det er viktig at leirproppens materialer har de riktige egenskapene til å kunne hindre/bremse vanninnstrømning under grunnvannsspeilet. Utførelsen vil også bli svært viktig. Dette er ikke detaljprosjektert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

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 23 av 26
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

5.3 Vanninfiltrasjon

Det gjøres som nevnt over en omfattende jobb med å tette under yttervegger. Dersom man mot formodning ikke klarer å opprettholde et akseptabelt poretrykksnivå i omgivelsene, er det planlagt å ha flere vanninfiltrasjonsbrønner i beredskap, tilgjengelige fra nabotomter, se grønne brønner markert på Figur 5-9. Her er de tilgjengelige uavhengig av anleggsarbeider og bygging på Fornebu base og stasjon. For en mer samfunnsøkonomisk løsning ses det på mulighetene for å reinfiltrere drensvannet (grunnvannet) fra Basen.

Det er fremtidig driftsansvarlig for Fornebubanen som skal eie og drifte brønnene.



Figur 5-9: Plassering av etablerte (midlertidige) og planlagte infiltrasjonsbrønner.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 24 av 26
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

6. FORUTSETNINGER FOR PERMANENT FASE

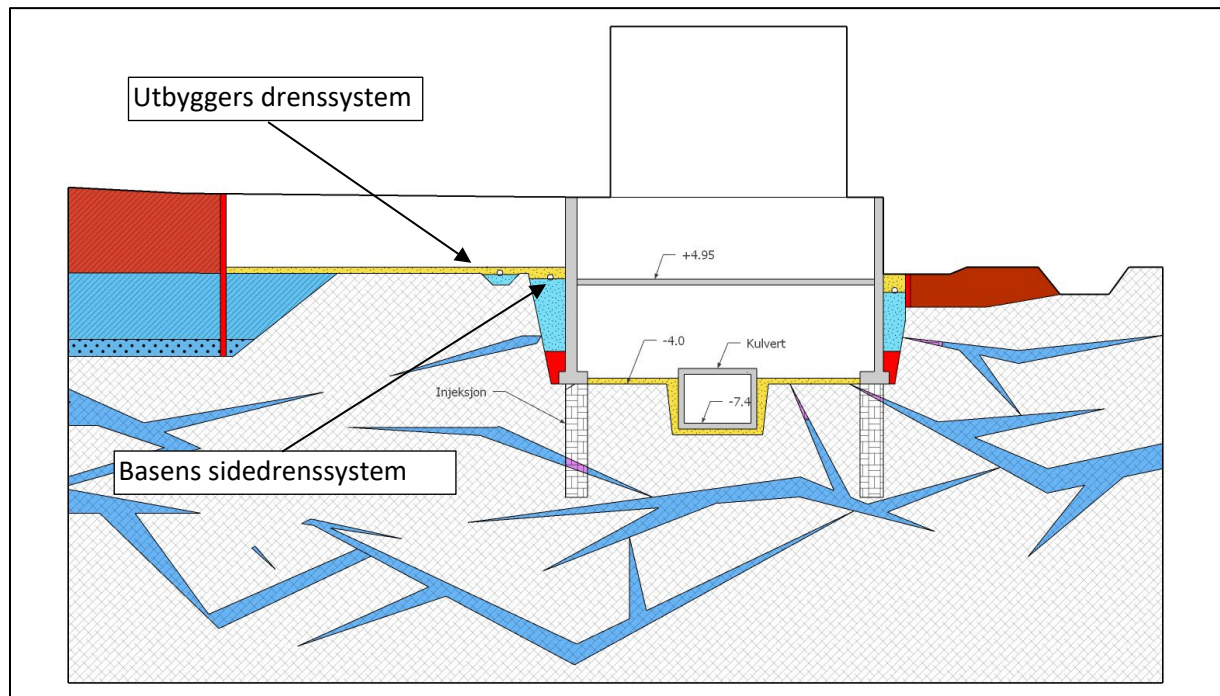
De mest vesentlige forutsetninger for permanent fase er:

1. Basens drenssystem skal opprettholdes.
2. Fornebubanen må ha tilgang til alle kummer tilhørende eget drenssystem.
3. Utbyggers innslipp på FOBs drenssystem må vurderes i forhold til forventet påvirkning på omkringliggende grunnvannsnivå, beregnede setninger og konsekvenser for berørte naboer og infrastruktur.
4. Behov for permanente vanninfiltrasjonsbrønner vil bli vurdert senere på bakgrunn av registrerte data beskrevet i kapittel 4.2.
5. Det er viktig at det i fremtiden opprettholdes god drenering over topp tetteskott slik at oppdemming av vann lokalt til over kote +4/+5 minimeres.

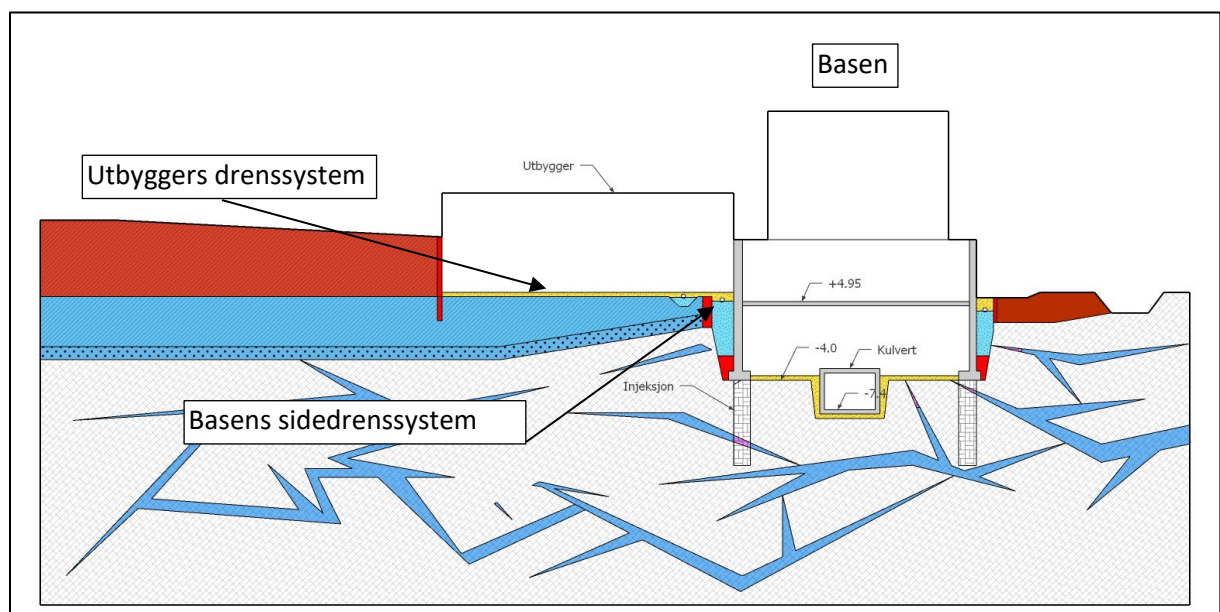
6.1 Utbyggers drenssystem

Om utbygger bygger drenssystem rundt konstruksjonene sine, skal innsig til dette ikke ledes til basens drenssystem uten at dette er avtalt og koordinert med FOB. 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.

Oslo Kommune – Fornebuibanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 25 av 26
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	



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



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.

Oslo Kommune – Fornebubanen		Dok. nr.: PF-F-721-RB-0009
Fornebu base og stasjon - Grunnvannshåndtering		Revisjon: 04G
		Dato: 12.12.2022
		Side: 26 av 26
Skjerming:	Offentlig (O)	Klassifisering: INTERN
Jfr.:	N/A	

Vannspeilet kan være høyere inntil utbyggers konstruksjoner på andre sider enn på siden som er inntil FOBs konstruksjoner, dette kan medføre innsig til utbyggers drenssystem lokalt selv om vannspeil rundt basen generelt er noe lavere enn utbyggers drenssystem.

Utbyggers konstruksjoner kan likevel forskyve vannspeilet til lokalt lavere nivå på andre utbyggerområder som er perifere i forhold til FOBs konstruksjoner og drenssystem. FOB tar ikke ansvar for utbyggers punktering av vannspeilet utover den forventede senkning av grunnvannspeilet som følge av FOBs etablerte konstruksjoner.

7. REFERANSER

[1] PGF, «FBU STA & BAS - PF-P-070-RB-0003 - Evaluering av løsning uten vanntett bunnplate».

[2] PGF, «PF-P-721-RB-0017, Fornebu stasjon og base - Setningsberegninger og setningsmålinger».