



RAPPORT

Sigevannsoppsamling ved Lindum Drammen

OPPSUMMERING AV KUNNSKAPSGRUNNLAGET
OG FORSLAG TIL VIDERE ARBEID

DOK.NR. 20190678-01-R
REV.NR. 0 / 2020-06-16

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.



Prosjekt

Prosjekttittel: Omfangsvurdering av diffus avrenning av sigevann fra Lindum Drammen
Dokumenttittel: Oppsummering av spredningshypoteser og forslag til videre arbeid
Dokumentnr.: 20190678-01-R
Dato: 2020-06-16
Rev.nr. / Rev.dato: 0

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver: Lindum AS
Kontaktperson: Hilmar Thor Sævarsson
Kontraktreferanse: Endringsordre signert, 2020-02-28

for NGI

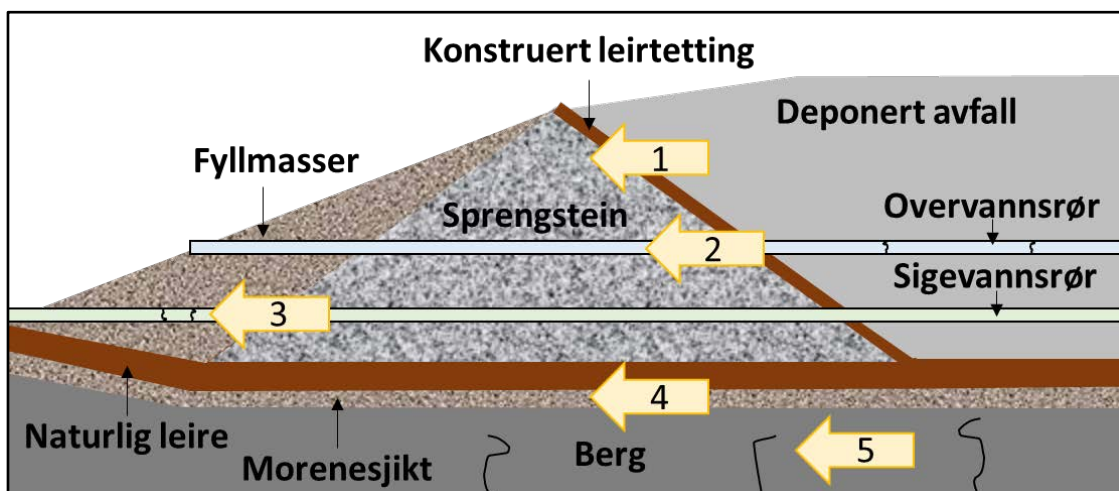
Prosjektleder: Andreas Botnen Smebye
Utarbeidet av: Andreas Botnen Smebye, Heidi Knutsen
Kontrollert av: Gudny Okkenhaug

Sammendrag

Lindum ønsker en evaluering av sigevannsforholdene ved Lindum Drammen med tanke på potensial for spredning av sigevann til omgivelsene. Deponiet er etablert i en ravinedal der deponifronten mot sør er det antatt svakeste punktet med tanke på spredning av sigevann. Skjermvollen ved deponifront fungerer som en barriere for sigevannet og er etablert oppå naturlige løsmasser bestående av leire og morene over berg.

Morenesjiktet og eventuelt sprekker i berg kan potensielt spre sigevann under deponifronten. I tillegg kan sigevann også potensielt kunne spres gjennom svakheter i tettesjiktet i skjermvollen eller via svakheter i rør som krysser deponifronten. Deponiet påvirker vannkvaliteten i bekken nedstrøms deponiet, men omfanget antas å være begrenset. Spredning via tettesjiktet i skjermvollen ved deponifront, lekkasjer fra sigevannsnettet og innsig av sigevann i overvannsnettet antas å fungere som spredningsveier. En prinsippskisse av de stedlige forholdene og potensielle spredningsveger rundt deponifronten er vist i figuren og listet i tabellen i sammendraget.

Videre arbeid bør omfatte videre undersøkelser av vann- og avløpsnettet ved deponifront, evaluering av deponidriften slik at videre aktivitet potensielt kan utnyttes som et tiltak og revisjon av overvåkningsprogrammet for deponiet.



Illustrasjon av ulike hypoteser for potensiell spredning av sigevann til omgivelsene ved deponifronten.

Årsaksforklaring og vurdering basert på innledende resultater for de ulike hypotesene for potensiell spredning av sigevann til omgivelsene.

Nr.	Mulige spredningsveger	Årsaksforklaring	Vurdering
1	Sigevann spres via sprekker i skjermvollens leiretetting	Leiretettinga i skjermvullen kan ha sprekker som følge av uttørking og tining/frysing ettersom leira ikke ble overdekket rett etter utlegging	Noe forhøyede konsentrasjoner i sig fra deponifront indikerer spredning gjennom leiretettingen
2	Sigevann trenger inn i overvannsrør	Overvannsrør utsettes for stor last på grunn av overliggende deponerte masser, kombinert med setninger kan dette gi sprekker for innsig av sigevann	Nitrogenmengden i overvannet overstiger bakgrunnen (x10) og tilsier spredning
3	Sigevann spres fra lekkasjer i sigevannskummer nedstrøms deponifront	Sigevannsnettets består bla av betongkummer som forvitres over tid, høye konsentrasjoner av sulfat vil bla. redusere levetid	Observasjoner tilsier at sigevannsnettets har lekkasje, omfanget er usikkert
4	Sigevann spres via morenesjiktet under den naturlige leira	Morenesjiktet har en høyere vannledningsevne enn leire og kan dermed lede sigevann under skjermvoll	Brønnen installert i morenesjikt viser påvirkning av sigevann (nitrogen), men dette kan skyldes overvann som renner inn i brønnen.
5	Sigevann spres via sprekker i berget under deponiet	Berget under deponiet kan ha svakhetssoner/sprekker som kan føre til at sigevann når grunnvannet	Brønnen satt ned i berg ved deponifront viser noe påvirkning av sigevann, men dette kan skyldes overvann som renner inn i brønnen.

Innhold

1	Innledning	8
2	Bakgrunn og tidligere undersøkelser	9
2.1	Grunnlagsmateriale	9
2.2	Berggrunn og løsmasser under deponiet	10
2.3	Deponiets oppbygning	11
2.4	Overvannshåndtering	13
2.5	Sigevannsopsamling og bunntetting	16
2.6	Skjermvullen ved deponifront	16
2.7	Utførte tiltak i vann- og avløpsnett	18
3	Prøvetaking og overvåking	18
3.1	Beskrivelse av prøvetakingspunkter	18
3.2	Deponiovervåking og prøvetaking utført av Lindum (1993-2020)	22
3.3	Fordrøyningskapaistet for sigevann utført av Norconsult (2015 - 2019)	23
3.4	Kartlegging av diffus avrenning av sigevann utført av NGI (2019 - 2020)	23
4	Potensielle spredningsveier for sigevann	24
4.1	Sigevannets sammensetning	26
4.2	Bakgrunnskonsentrasjoner i omgivelsene	27
4.3	Potensiell spredning via sprekker i leiresjikt	27
4.4	Potensielt innsig av sigevann i overvannsrør	29
4.5	Potensielle lekkasjer fra sigevannskummer	31
4.6	Potensiell spredning via morenesjiktet og sprekker i berg	32
5	Konklusjon	35
6	Pågående og videre arbeid	36
7	Referanser	41

Tegning

Tegning nr. 08	Kummer, overvanns- og sigevannsrør ved Lindum Drammen - Delområde 1 Nordjordet
Tegning nr. 09	Kummer, overvanns- og sigevannsrør ved Lindum Drammen - Delområde 2 Sentralområdet på deponiet
Tegning nr. 10	Kummer, overvanns- og sigevannsrør ved Lindum Drammen - Delområde 3 Deponifront
Tegning nr. 11	Kummer, overvanns- og sigevannsrør ved Lindum Drammen - Delområde 4 Lerpebekken

Vedlegg

Vedlegg A	Historiske flyfoto over Lindum Drammen
Vedlegg B	Nedbørsfelt for Lindum Drammen
Vedlegg C	Koordinater og ytterligere beskrivelse av prøvepunkter
Vedlegg D	Feltmålinger av vannkjemi
Vedlegg E	Analyseresultater fra NGI sin prøvetaking høsten 2019

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

Lindum ønsker en evaluering av sigevannsforholdene ved Lindum Drammen med tanke på potensial for spredning av sigevann til omgivelsene. Deponiet er etablert i en ravinedal der deponifronten mot sør er det antatt svakeste punktet med tanke på spredning av sigevann (Figur 1). Skjermvollen ved deponifront fungerer som en barriere for sigevannet og er etablert oppå naturlige løsmasser bestående av leire og morene over berg. Morenesjiktet og eventuelt sprekker i berg kan potensielt spre sigevann under deponifronten. I tillegg kan sigevann også potensielt kunne spres gjennom svakheter i tette-sjiktet i skjermvollen eller via svakheter i rør som krysser deponifronten. NGI har på vegne av Lindum sammenstilt kunnskapsgrunnlaget med tanke på spredning av sigevann til omgivelsene og gjort enkelte supplerende undersøkelser, i tillegg til anbefalinger for videre arbeid. Parallelt med evalueringen av sigevannsforholdene er tidligere vurderinger av den geotekniske stabiliteten ved deponifront gjennomgått og oppsummert i eget notat (NGI, 2020).



Figur 1 Oversiktsbilde over Lindum Drammen (dronefoto, november 2019).

2 Bakgrunn og tidligere undersøkelser

2.1 Grunnlagsmateriale

Lindum har oversendt NGI en rekke data, dokumenter og tegninger som er benyttet for evalueringen (Tabell 1).

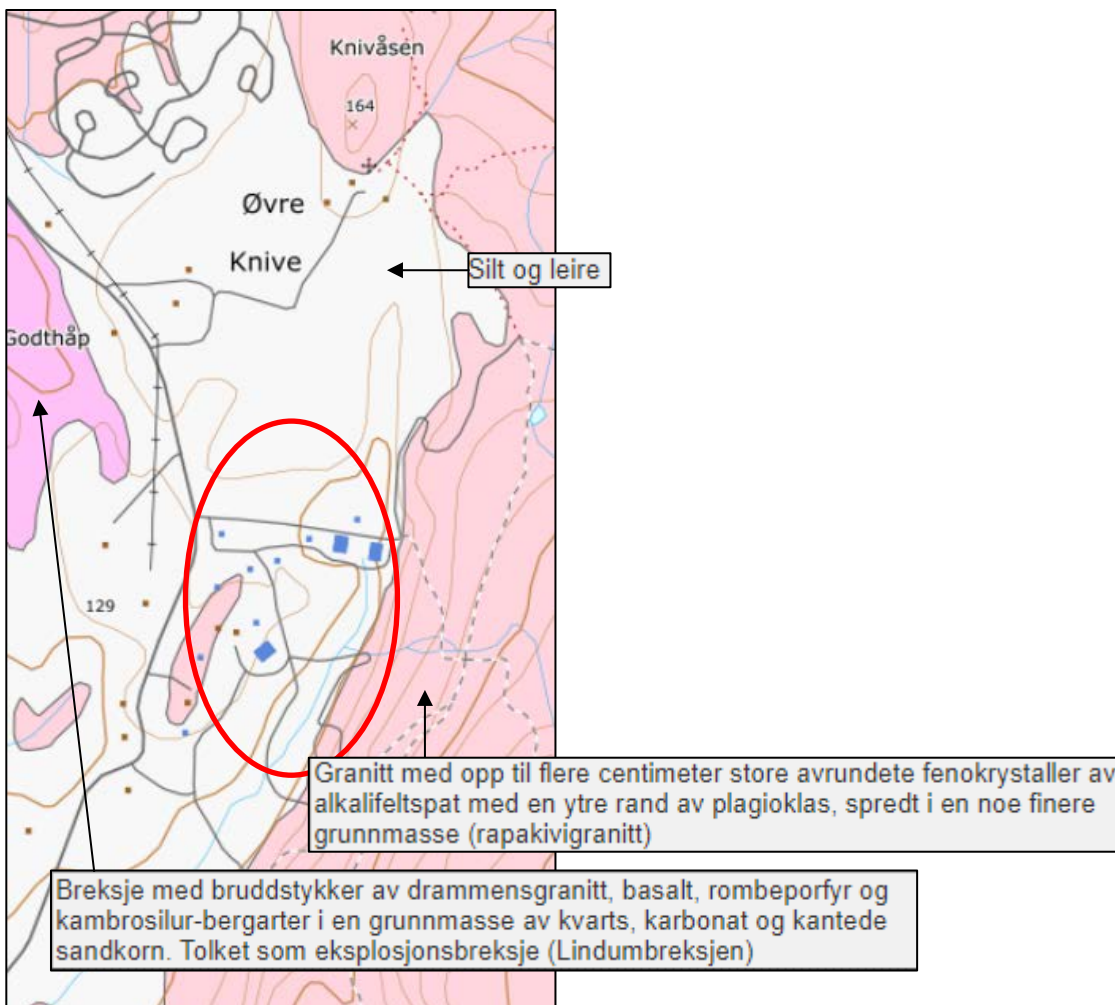
Tabell 1 Deponeringen ved Lindum Drammen oppdelt i ulike faser fra 1964 frem til i dag.

Årstall	Forfatter	Tittel	Kommentar
1996	Grøner Noteby	Hydrogeologiske miljøundersøkelser (datert 09.01.1996)	Grøner Noteby er i dag en del av MultiConsult
1998	Geofuturm AS	Hydrologiske vurderinger av nedbørsfelt og konsekvenser resipient (datert 10.08.98)	
1998	Lindum	Deponiutbygging - Prosjektering, plan og grunnundersøkelser (prosjekt 17 35 22, tegning 004, datert 17.08.98)	
1999	Grøner	Skjermvoll - Lindum ressurs og gjenvinning KB, deponiutbygging (tegning 173522-003, datert 09.09.98)	Grøner er i dag en del av MultiConsult AS
2004	Norsas AS	Miljørisikovurdering (Lindum rapport nr: 07/2004)	Inneholder trinn 1 og 2 i miljørisikovurdering. Norsas er i dag en del av COWI AS
2013	GeoStrøm	Grunnundersøkelser for Lindum AS Drammen. Lindum	Totalsonderinger, prøveserier og CPTU ved deponifront
2014	Grunnteknikk	Grunnundersøkelser - Geoteknisk datarapport 111228r1	
2014	Grunnteknikk	Drammen. Lindum reg. plan - Stabilitet mot bekken i sør	
2019	Norconsult	Måle- og prøvetakingsprogram sigevann - Avsluttende rapport (datert 2019.05.27)	Omfatter blant annet vurderinger av behov fordrøyningsvolum for sigevann
2019	Halvorsen og Rene AS	Detaljregulering for Lindum Avfallsanlegg (datert 15.02.2019)	
2019	Lindum	Resultater fra deponietsovervåkingprogram i perioden 1993 - 2019 Tegning: "03469-VA-ANLEGG-UTM32.DWG" med rør og kummer ved Lindum Drammen	Eksport fra mapgraph-databasen
2019	Multiconsult		Inkl. dronefoto tatt november 2019

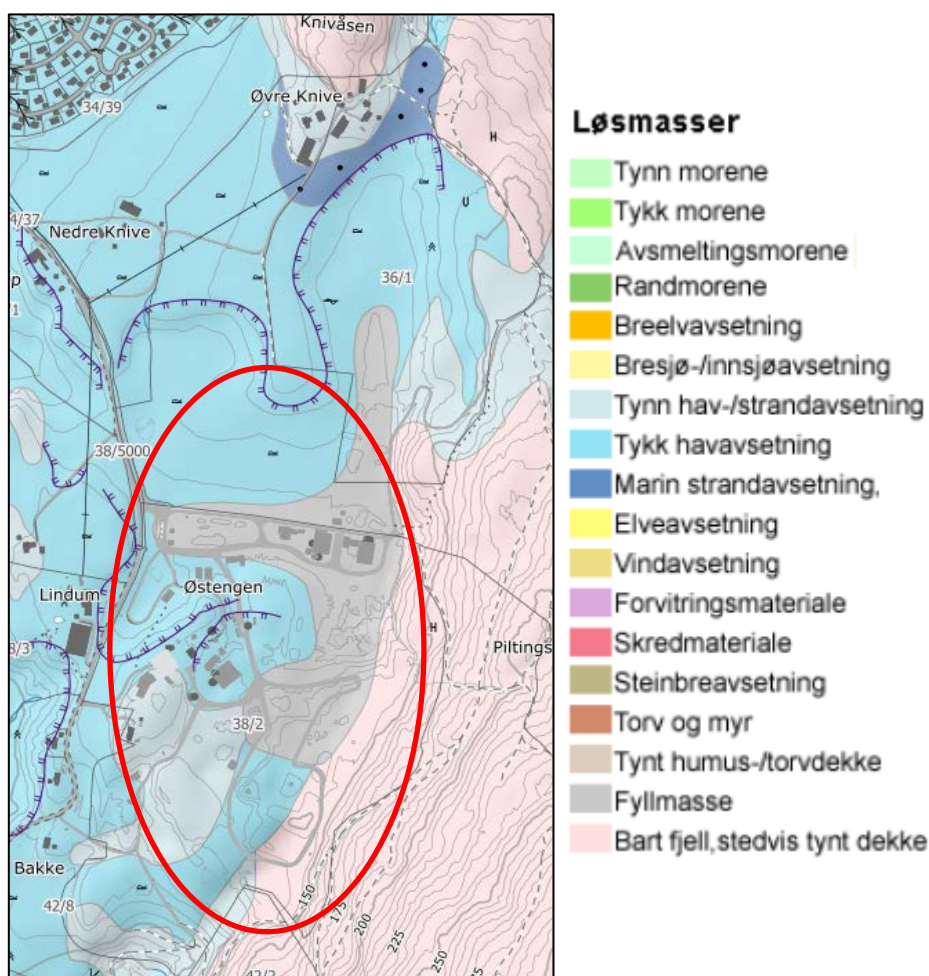
2020	Norconsult	Avrenningsanalyse av deponiområdet	Analyse av avrenningsmønstre fra bla. Vardåsen ned mot deponiet
2020	NGI	Innledende vurdering av stabilitet ved deponifront og forslag til videre arbeid	Gjennomgang av tidligere vurderinger

2.2 Berggrunn og løsmasser under deponiet

Berggrunnen i omgivelsene rundt deponiet er ifølge NGU primært granitt (Figur 2). Omgivelsene er under marin grense og har stedvis tynne eller tykke havavsetninger (silt og leire), men flere forhøyninger i terrenget har for øvrig ingen løsmasser (Figur 3). Deponiet er etablert under maringrense som ligger nær kote 200 i omgivelsene rundt deponiet (jf. NGU sin modellerte maringrense i nasjonale løsmassedatabase).



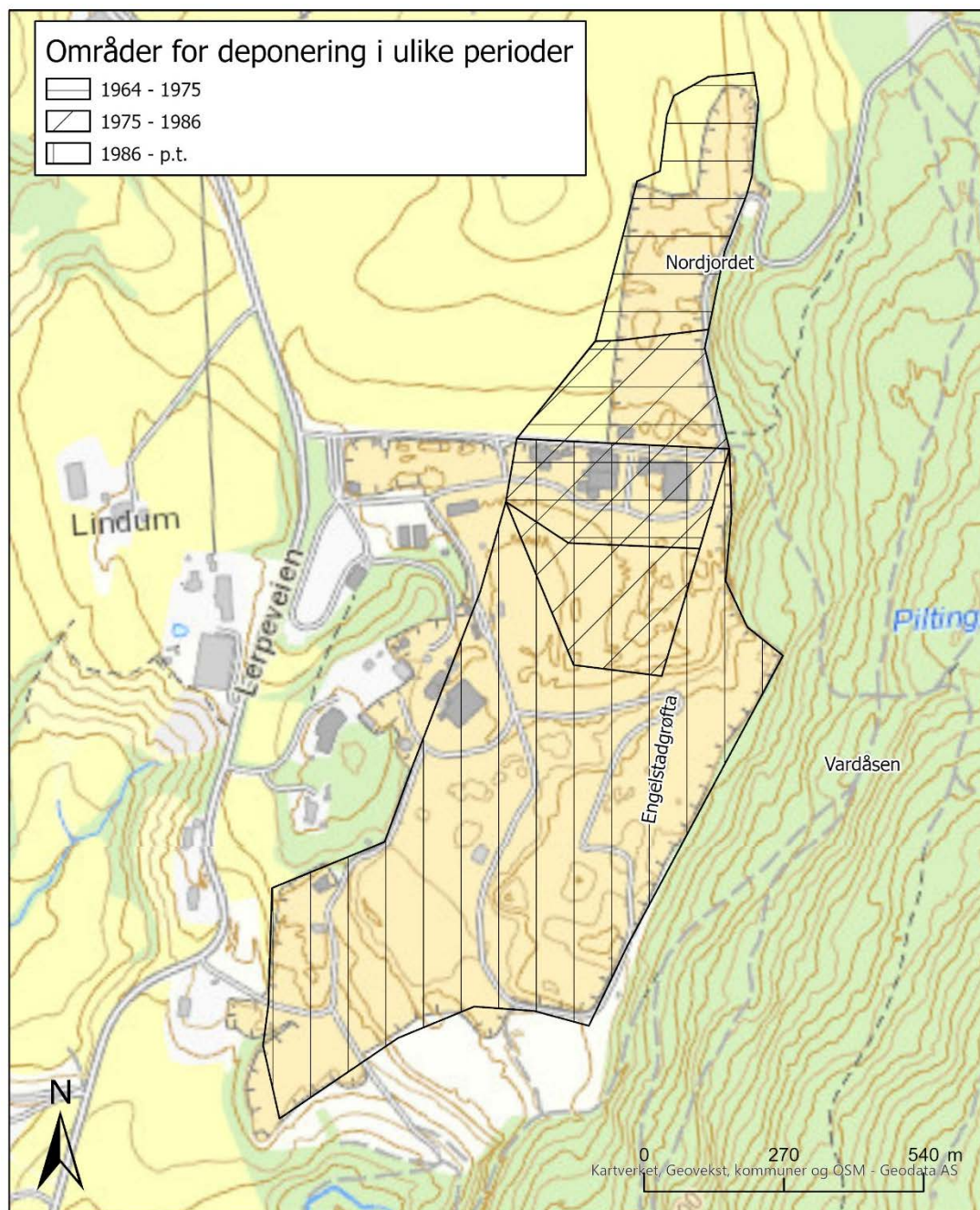
Figur 2 NGU sitt berggrunnskart for omgivelsene rundt Lindum Drammen, deponiet plassering er indikert med en rød sirkel.



Figur 3 NGU sitt løsmassekart for omgivelsene rundt Lindum Drammen, deponiet plassering er indikert med en rød sirkel. Merk at området markert som fyllmasser er for lite sammenliknet med områder med deponerte masser.

2.3 Deponiets oppbygning

Deponiet ble etablert i 1964 og frem til desember 2003 ble det estimert at 3,2 millioner m³ er deponert over et område på 330 mål (Norsas, 2004). Av dette volumet utgjør deponert avfall anslagsvis 2,8 millioner m³, resterende er rene masser benyttet til drengs- og tettesjikt. Deponeringen har foregått i 4 ulike faser listet i tabell 1 og vist i figur 4. All deponering har foregått på naturlig løsmasser eller berg under maringrense.



Figur 4 Omtrentlig inndeling av deponeringen i ulike områder ved ulike tidsperioder.

Tabell 2 Deponeringen ved Lindum Drammen oppdelt i ulike faser fra 1964 frem til i dag.

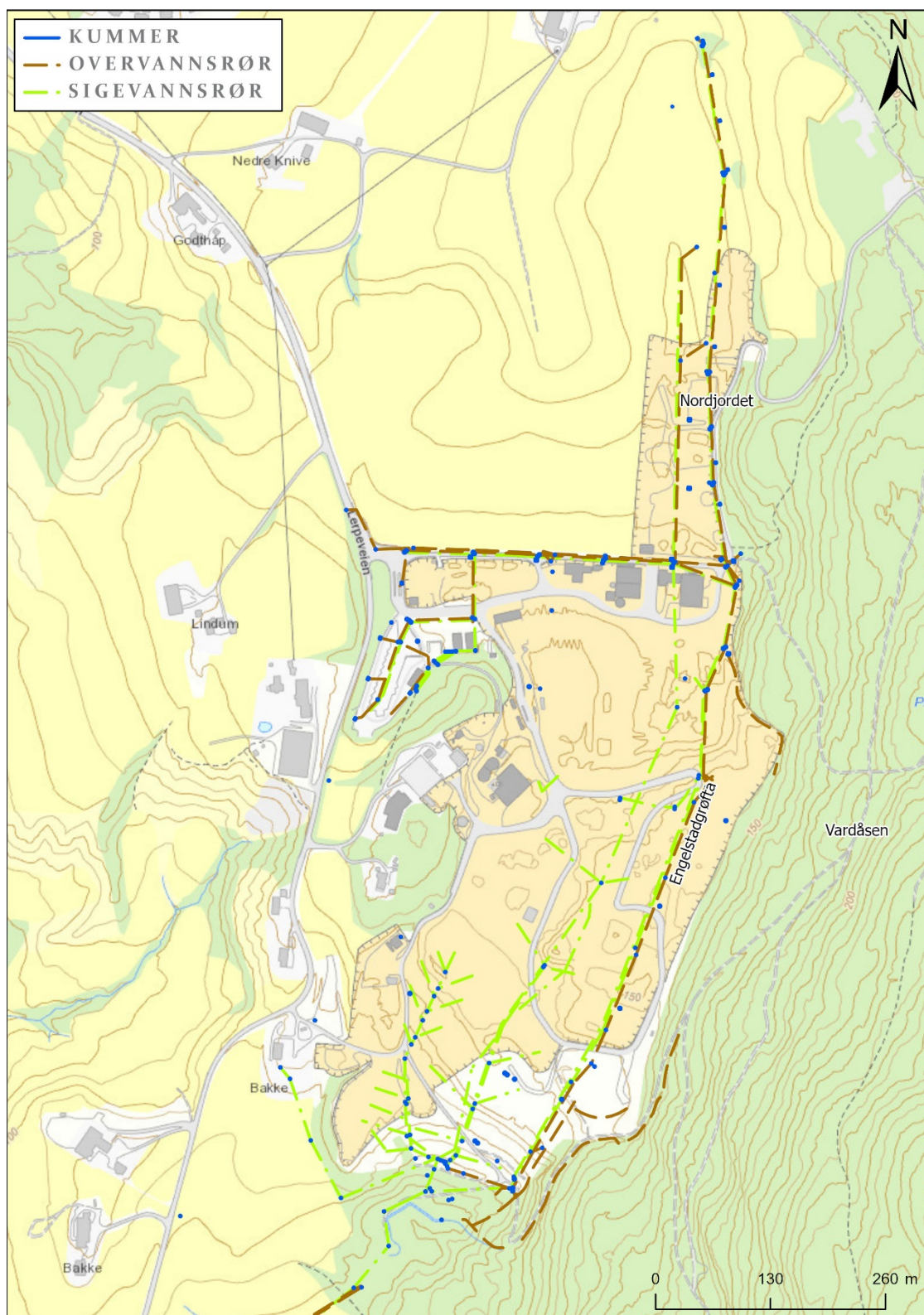
Fase	Beskrivelse	Mengde deponerte masser	Merknad
1 (1964-1975)	Nordjordet sør for Knive gård og ned til nordre del av dagens deponi ble fylt opp ved hjelp av kompaktor og tildekket med jord.	0,5 mill. tonn	100 mål av arealet benyttet i denne fasen er nå tilbakestilt til landbruksareal etter tildekning med jord og etablering av drenering under hele området. Bekken som rant gjennom området ble lagt i rør.
2 (1975-1986)	Floer ble lagt ut og dekket med jord i et område på ca 250 meter syd for fase 1, tilsvarende nordre ned til midtre del av dagens deponi.	0,8 mill. tonn	Det ble ikke lagt drenerende masser under avfallet. En bekk som rant mot øst (Vardåsen) ble lagt i rør.
3 (1986-1997)	Floer ble lagt ut og dekket med jord i et område på ca 400 m syd for fase 2, tilsvarende fotavtrykket for dagens deponi.	1 mill. tonn	Det ble etablert en sigevannsdam i sør for å hindre spredning av sigevann til omgivelsene. Sigevannet ble ledet i rør gjennom deponifronten, noe som ga risiko for lekkasjer.
4 (1997-i dag)	Området som utgjorde fase 3 ble dekket til med et leirelag før videre deponering i høyden. Tildekningen var et brannverntiltak og hindret infiltrasjon av sigevann i tidligere deponerte masser.	0,5 mill. tonn	Deponicellene ble etablert med et drenssjikt på 0,5 m med oppsamling av sigevann. Tidligere ble det benyttet mineral masser / fin fraksjon fra metall shredding til tildekning av cellene.

2.4 Overvannshåndtering

Nedbørsfeltet for bekken som renner gjennom deponiet og videre mot sør er estimert til 1,4 km² (Norconsult, 2019; vedlegg B). For å unngå at overvann drenerer inn i deponiet er det etablert to overvannsgrøfter mot øst for å lede overvann fra Vardåsen til overvannsnettet (Figur 5). 0.23 km² av nedbørsfeltet utgjør dagens aktive deponiareal og ledes til sigevannsnettet, med unntak av veiarealer rundt gjenvinningsstasjonen og deponimottaket i den nordre delen av deponiet som ledes til overvannsnettet. I tillegg er det lagt to drensrør mot nord for å drenere landbruksarealet som tidligere har blitt benyttet til deponering.

I miljørisikovurderingen for deponiet antas det at 95% av overvannet i omgivelsene ledes til overvannsnettet ved deponiet (Norsas, 2003). Imidlertid antas det at deponiet har et betydelig innadrettet grunnvannstrykk fra Vardåsen. Innsiget av grunnvann antas

i miljørisikovurderingen å tilføre 150 000 m³ vann per år som må ledes til sigevannshåndteringen. I 2003 utgjorde grunnvann cirka 33% av sigevannsmengden fra deponiet (totalt 450 000 m³).



Figur 5 Kummer, overvanns- og sigevannsrør ved Lindum Drammen (kilde: grunnlaget oversendt fra Multiconsult, "03469-VA-ANLEGG-UTM32.DWG").

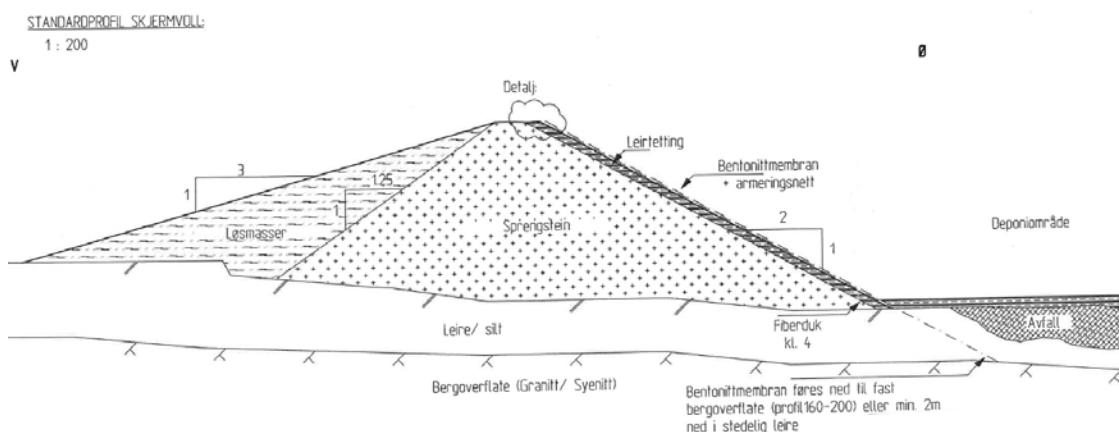
2.5 Sigevannsoppsamling og bunntetting

Tidlig deponering ble gjort rett på naturlig grunn, som i dette området tilsier deponering rett på bart berg eventuelt på leiresjikt av varierende mektighet over berg. Deponeringen etter 1986 har blitt utført med fortløpende etablering av dremsjikt og sigevannnett i deponicellene etablert over tidligere deponerte masser. Områder hvor det ble deponert masser mellom 1975 og 1985 ble dekket til med en meter leire i 1986 for å redusere infiltrasjonen. Deponiceller etablert i samme område etter 2004 har blitt anlagt med enten bentonitt eller plastmembran som bunntetting.

Ved Nordjordet, området som ble benyttet til deponering frem til 1975, har det blitt etablert sigevannsoppsamling i etterkant av deponeringen av masser. Sigevannet fra Nordjordet ledes sammen med øvrig sigevann fra deponiet til en pumpestasjon (Bakke) i lukket rør frem til kommunalt renseanlegget på Solumstrand. Det er benyttet sigevannsrør med ekstra stor styrke for å hindre brudd ved stor last fra overliggende masser (opplysninger fra Lindum).

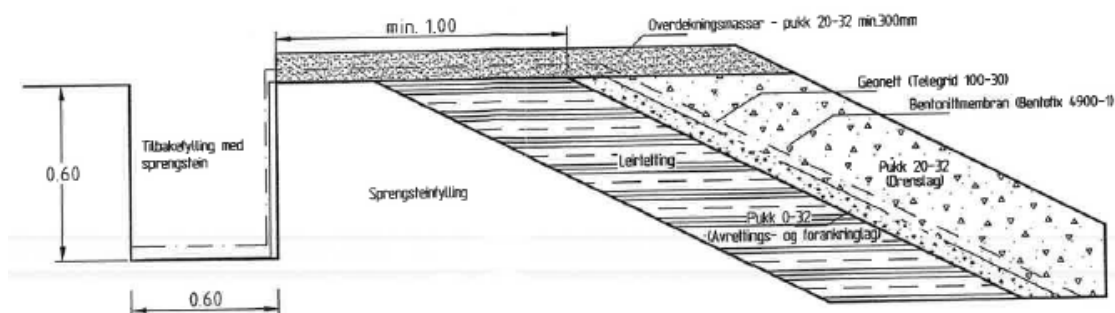
2.6 Skjermvollen ved deponifront

Skjermvollen ved deponifront ble planlagt bygget opp av sprengstein med en leirtetting mot deponerte masser for å forhindre spredning av sigevann (Figur 5). Leirtettingen ble planlagt konstruert med min. 40 cm tykkelse med en bentonittmembran lagt i overkant (Figur 6 og 7). Grunnen under skjermvollen ble trolig ikke rensket ned til berg, men ned til leire/silt sjiktet ovenfor berget (opplysninger fra Lindum). I forkant av sprengsteinsfyllingen i skjermvollen er det tegnet inn en støttefylling med løsmasser. Det foreligger ikke *as built* tegninger for vollen. NGI har ikke vurdert om vollen er bygd som prosjekt-ert (NGI, 2020).



Figur 6 Illustrasjonssnitt for skjermvollen ved deponifront (hentet fra Grønners tegning 173522-003, signert den 09.09.98).

Detalj: Forankringsgrøft for bentonittmembran og armeringsnett
 (1:25)



Figur 7 Illustrasjonssnitt for toppen av skjermvallen ved deponifront (området indikert som detalj i figur 5; hentet fra Grønners tegning 173522-003, signert den 09.09.98).

Tabell 3 Oppbygningsbeskrivelse for skjermvallen ved deponifront (hentet fra Grønners tegning 173522-003, signert den 09.09.98).

Lag	Merknad
Sprengsteinfylling	Rensk av området ned til fast grunn / bergoverflate
Lagtykkelse	Maks. 1500 mm
Kornstørrelse	Maks. 2/3 lagtykkelse
Komprimering	Min. 5-6 overkjøringer (5t vals)
Leirlag	
Lagtykkelse	Maks. 1500 mm
Løsmasser	Utlegging med bulldozer
Lagtykkelse	1000 mm

2.7 Utførte tiltak i vann- og avløpsnett

Det er utført flere tiltak de siste årene på vann- og avløpsnett ved deponiet:

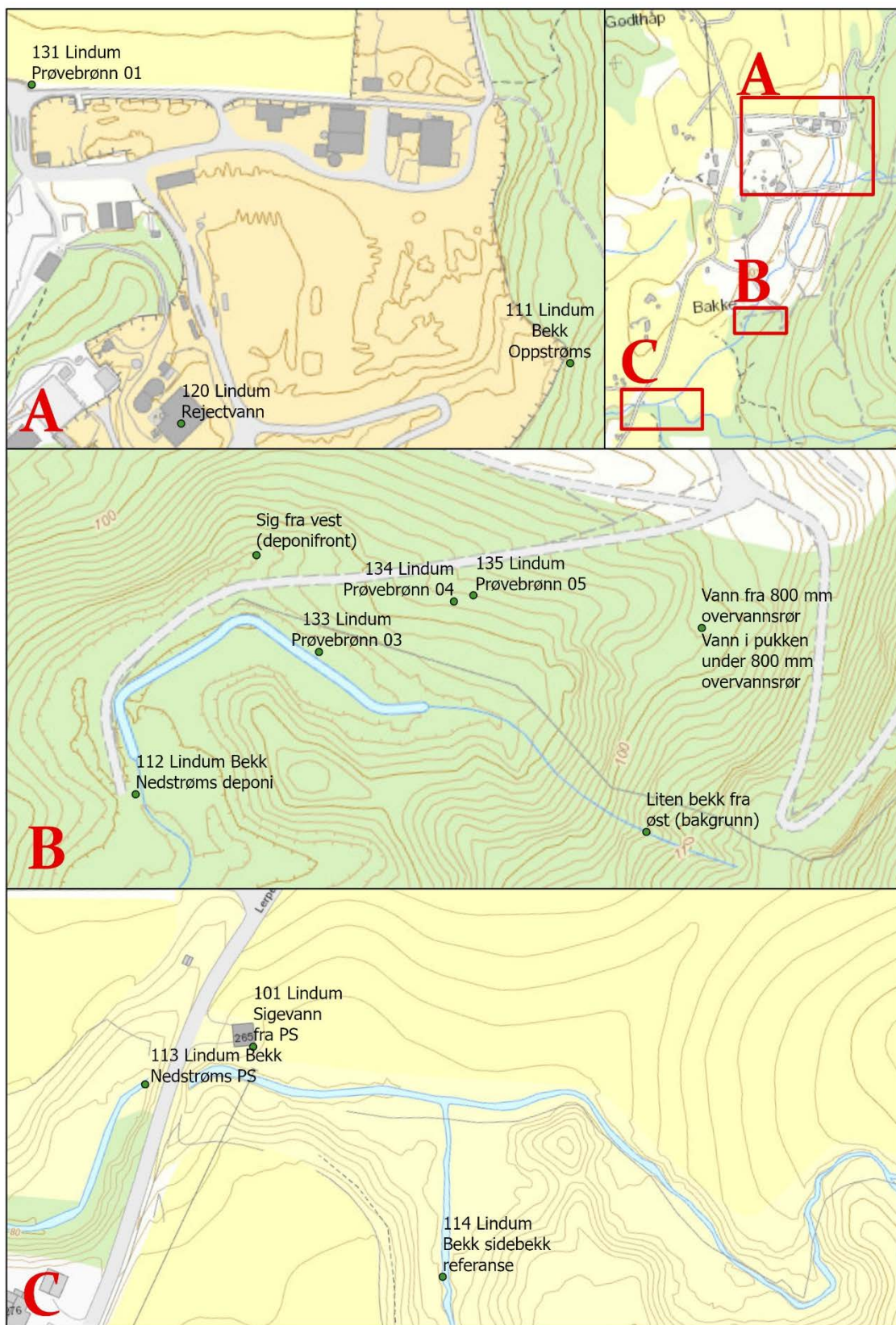
- Overvannsrøret i Engelstad grøften (mot øst i deponiet, retning Vardåsen; figur 5) ble videoinspisert i 2018 (29.06.2018). Undersøkelsene avdekket enkelte deformasjoner, men ingen sprekker ifølge Lindum.
- Enkelte overvannsrør ved sørenden av Nordjordet, nordøstlige del av dagens aktive deponi, er koblet over på sigevannsnett etter at det ble påvist påvirkning fra deponiet på overvannet høsten 2018.
- Det er etablert drengrofter med puk i den sørlige delen av deponiet for å lede sigevann mot øst slik at dette vannet kan dreneres inn i sigevannsnett i Engelstad grøften, utført mot slutten av 90-tallet. SEND DUMP fra grunnlag
- Lindum kartlegger den kjemiske sammensetningen i ulike sigevannsstrømmer fra henholdsvis søndre og nordre del av deponiet med tanke på etablering av nytt renseanlegg for sigevann (utført i 2019). I tillegg undersøkes mulighetene for å lede rejectvann fra biogassanlegget og overvann/avvanning fra oljebehandlingsanlegget utenom ordinært sigevannsnett.
- Avskjærende grøfter mot Vardåsen vedlikeholdes kontinuerlig for å sikre overvannshåndtering.

3 Prøvetaking og overvåking

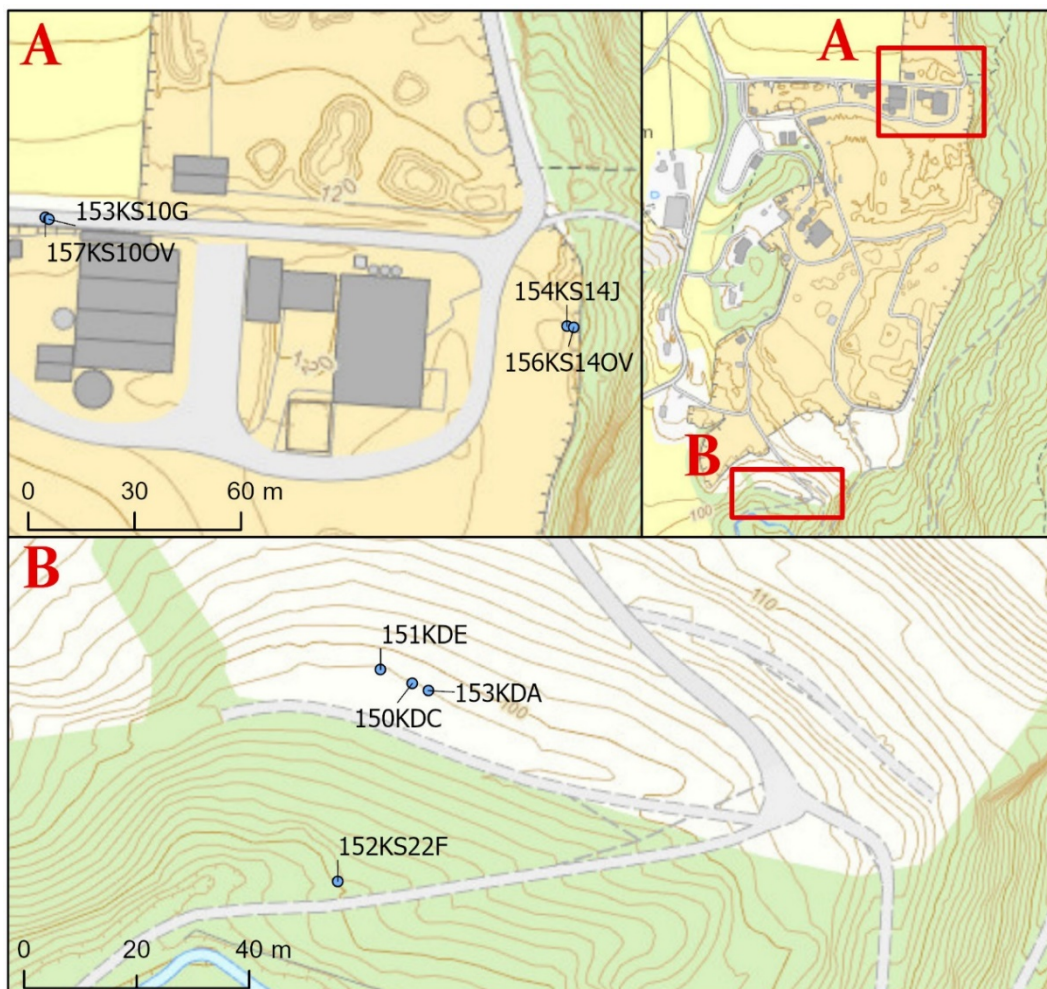
I forbindelse med dette arbeidet med å vurdere potensialet for spredning av sigevann til omgivelsene, har deponiets overvåkningsprogram blitt supplert med enkelte undersøkelser og nye prøvepunkt.

3.1 Beskrivelse av prøvetakingspunkter

Deponiets overvåkningsprogram omfatter prøvetaking av sigevann i fire ulike punkter (Tabell 4), overflatevann ved fem ulike punkter (Tabell 5) og grunnvann i fire brønner (Tabell 6). I forbindelsen med prøvetakingen i samarbeid med NGI høsten 2019 ble det i tillegg tatt prøver i fire nye prøvetakingspunkter for overflatevann (Tabell 6). Prøvetakingspunktene plassering er vist i figur 8 og 9.



Figur 8 Plasseringen av prøvetakningspunkter ved Lindum Drammen.



Figur 9 Plasseringen av spesielt undersøkte kummer ved Lindum Drammen.

Tabell 4 Prøvetakingspunkter for sigevann.

Prøvetakingspunkt	Beskrivelse	Kommentar
101 Lindum Sigevann fra PS	Sigevann prøvetatt fra pumpestasjonen (Bakke) ved påslipp til kommunalt spillvannsnett	
103 Lindum Sediment fra PS	Sedimentert materiale fra samme prøvepunkt som for "101 Lindum Sigevann fra PS"	
120 Lindum Rejectvann	Avløpsvann fra biogassanlegget som ledes videre til sigevannsnettet via Engelstad grøfta.	
Lindum AS - 102 sigevann blandprøve (S)	Prøven tas med automatisk prøvetaker i røret ut fra kum 152KS22F ved deponifront.	

Tabell 5 Prøvetakingspunkter for overflatevann.

Prøvetakningspunkt	Beskrivelse	Kommentar
111 Lindum Bekk Oppstrøms	Antatt naturlig overflateavrenning fra Vardåsen, cirka 15 m øst for deponiet	Punktet har kommet nærmere deponiaktiviteten over tid, vurdert flyttet lengre
112 Lindum Bekk Nedstrøms deponi	Bekken nedstrøms deponiet prøvetas ved et V-overløp ca. 50 meter syd for deponifront. Dette prøvepunktet vil påvirkes av eventuelle overløp av sigevann og diffus spredning av sigevann ved deponifront.	
113 Lindum Bekk Nedstrøms PS	Bekk nedstrøms pumpestasjonen der sigevannet slippes på kommunalt spillvannsnett. Dette prøvepunktet vil påvirkes av lekkasjer fra sigevannsrøret til bekken nedstrøms "112 Lindum Bekk Nedstrøms Deponi".	
114 Lindum Bekk sidebekk referanse	Bekk som drenerer nærliggende landbruksarealer nedenfor, men ikke nedstrøms deponiet. Prøvetas for å vise landbruksbakgrunn.	
Sig fra vest (deponifront)	Overflateavrenning fra lite sig ved deponifront.	Prøvetatt første gang sammen med NGI 25. oktober 2019, ikke inkludert i overvåkningsprogram
Vann fra 800 mm overvannsrør	Overvann fra bekkelukkingen under deponiet som renner gjennom Engelstad grøften og ut i dagen ved deponifront i dette prøvepunktet.	
Vann i pukken under 800 mm overvannsrør	Sig fra pukken under overvannsrøret som kommer ut i dagen ved deponifront.	
Liten bekk fra øst (bakgrunn)	Overflateavrenning fra Vardåsen som ledes forbi deponiet via avskjæringsgrøfter mot øst.	

Tabell 6 Grunnvannsbrønner ved Lindum Drammen.

Prøvetakningspunkt	Dybde (m)	Filter (m)	Beskrivelse	Kommentar
131 Lindum Prøvebrønn 01 (etabl. 1995)	4,2 m	2 – 4,2 m	Grunnvannsbrønn i leire som drenerer overflatevann for å vise bakgrunn fra landbruksavrenning oppstrøms deponiet. Brønnen har filter fra 2 – 4.2 m under terreng og står i leire.	Brønnen er vurdert flyttet ettersom den trolig drenerer noe veiareal ved deponiets vekt og området benyttes som snølager ved brøyting om vinteren
133 Lindum Prøvebrønn 03 (etabl. 1995)	3 m	1 - 3 m	Grunnvannsbrønn nedstrøms deponiet i leire som drenerer overflateavrenning. Brønnen har filter fra 1 – 3 m under terreng.	Dybden målt ved prøvetaking i 2019 var 1,5 m.
134 Lindum Prøvebrønn 04 (antatt etabl. 1997)	16,7 m	Uvisst, men trolig i morene-sjikt og berg	Grunnvannsbrønn nedstrøms deponiet 16.7 m ned i berg.	Under rensespumpling/-spylingen 25. oktober 2019 ble det spylt opp 60 cm med leire fra brønnen. Brønnen tilsvarer trolig Pb5 i tidl. kartlegginger.
135 Lindum Prøvebrønn 05 (antatt etabl. 1995)	7,1 m	Uvisst, men trolig i morene-sjikt	Grunnvannsbrønn nedstrøms deponiet med total dybde 6.89 m.	Denne brønnen har tidligere blitt forvekslet med brønn "134/Pb4", og tilsvarer trolig Pb4 i tidl. kartlegginger.

3.2 Deponiovervåkning og prøvetaking utført av Lindum (1993-2020)

Lindum prøvetar sigevann, i tillegg til grunnvann og overflatevann i omgivelsene rundt deponiet kontinuerlig som en del av overvåkningsprogrammet. Prøvetakingen utføres kvartalsvis og omfatter prøvepunktene som beskrevet i forrige avsnitt. Sigevannet analyseres for et bredt spekter av organiske og uorganiske parametere. I tillegg utføres det tidvis bunnfaunaundersøkelser for å kartlegge resipientens økologiske tilstand.

3.3 Fordrøyningskapaistet for sigevann utført av Norconsult (2015 - 2019)

For å kunne vurdere behovet for fordrøyning av sigevann gjennomførte Norconsult et måle- og prøvetakingsprogram fra 2015 til 2019 (Norconsult, 2019). Prosjektet viste omfanget av spredningen av forurensningen til omgivelsene ved overløpssituasjoner under nedbørshendelser og hvilket fordrøyningsvolum som eventuelt må til for å unngå slike hendelser. For ekstreme nedbørsepisoder med 15 års gjentaksintervall ble det estimert et økt fordrøyningsvolum på 14 900 m³ og for 2 års gjentaksintervall et volum på 7 200 m³ (klimafaktor på 1,2 jf. målt nedbør). Ved mindre flommer i bekken nedstrøms deponiet kan sigevann som går i overløp utgjøre opp til ca. rett over 30% av vannføringen. Kartleggingen viste også at vannkvaliteten i Lerpebekken påvirkes av sigevann fra deponiet under overløpshendelser, men påvirkningen skjer også utenom slike hendelser.

3.4 Kartlegging av diffus avrenning av sigevann utført av NGI (2019 - 2020)

NGI utførte i samarbeid med Lindum en evaluering av grunnvannsbrønner etablert i morenesjikt og berg nedstrøms deponiet ved deponifronten i sør den 25. oktober 2019. Fra NGI stilte Andreas Botnen Smebye og Andreas Haugland, fra Lindum stilte Aud Helene Rosenvinge. Dette arbeidet omfattet blant annet rensespumning for leire i brønnrør og tilbakespyling av finstoff i filtersand rundt brønnrør. Mens både brønn "134 Lindum Prøvebrønn 04 " og brønn "135 Lindum Prøvebrønn 05" ble rensespummet og spylt for leire, ble kun finstoff tilbakespylt ved brønn "135 Lindum Prøvebrønn 05". Tilbakespyling av finstoff foregår ved at en packer (rør med en oppblåsbar belg rundt) senkes ned i brønnen for deretter å blåses opp slik at vannet i brønnen ikke kan stige opp og forbi (Figur 10). Deretter føres vann kontrollert ned i brønnen gjennom et rør i packeren ved hjelp av et trykkammer. Det er kritisk at det ikke benyttes for høyt trykk (< 1 bar) da det kan medføre at det dannes kanaler mot overflaten som gir innsig av overflateavrenning. Ved å benytte et trykkammer forhindrer man bruk av for høyt trykk, i tillegg kan endringer i trykk følges kontinuerlig. Under tilbakespylingen ble det observert et gradvis trykkfall som indikerer at motstanden i filtersanden sank som følge av tilbakespyling av finstoff. Dette indikerer at tilbakespylingen var vellykket. I etterkant har Lindum også observert at det har luktet svovel fra brønnen, noe det ikke har gjort tidligere.

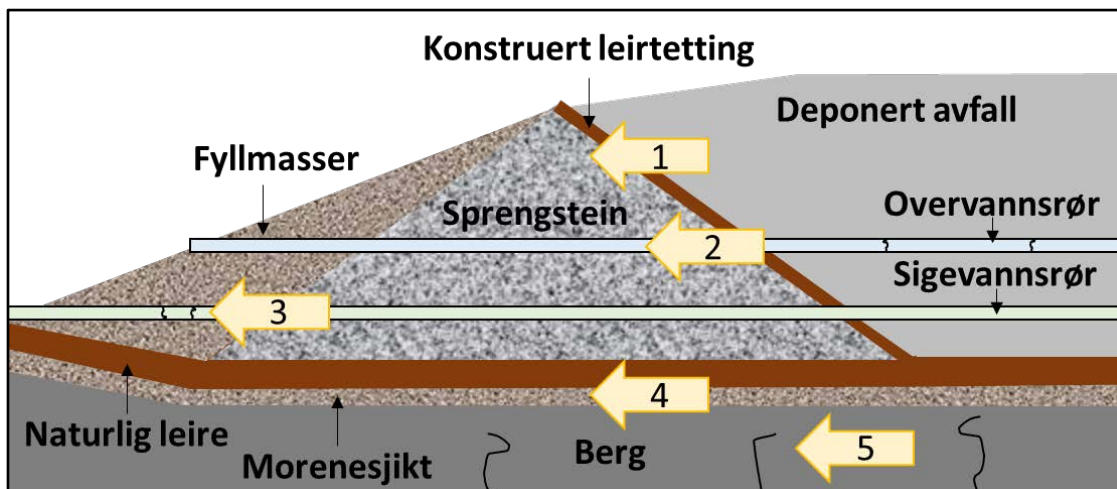


Figur 10 Packeren og trykkammeret benyttet for tilbakespyling av finstoff i filtersand rundt grunnvannsbrønner.

For å kunne følge effekten av nedbørsepisoder satte NGI ut loggere i brønner (solinst LTC-loggere) og i ulike punkter i bekken nedstrøms deponiet (Libelium smart water extreme, med C4E, CTZN og PHEHT sensorer). I brønn "134 Lindum Prøvebrønn 04" og brønn "135 Lindum Prøvebrønn 05" ble det installert logger for vannstand, temperatur og konduktivitet. I bekken ble det utplassert loggere for temperatur, pH og konduktivitet i prøvepunktene "Vann fra 800 mm overvannsrør" og "112 Bekk Nedstrøms deponi". Loggeren i prøvepunktet "Vann fra 800 mm overvannsrør" ble i desember 2019 byttet ut med en logger for temperatur, pH og konduktivitet ettersom denne er mer robust og det var fare for isdannelse i prøvepunktet.

4 Potensielle spredningsveier for sigevann

Undersøkelsene av omgivelsene rundt deponifront har avdekket fem ulike potensielle spredningsveier for sigevann ut i omgivelsene (Tabell 7). De ulike spredningsveiene er vist i tverrsnittet av deponifronten i figur 11. Undersøkelsene har avdekket spredning av ukjent omfang fra antatte sprekker i skjermvollens tettlag og potensielt via lekkasjer i sigevannskummer nedstrøms deponifronten. Resultatene viser imidlertid at grunnvannet i morenesjiktet og berget under deponifronten har lave konsentrasjoner av forurensning og trolig er lite påvirket av deponiaktivitet.



Figur 11 Illustrasjon av ulike hypoteser for potensiell spredning av sigevann til omgivelsene ved deponifronten.

Tabell 7 Årsaksforklaring og vurdering basert på innledende resultater for de ulike hypotesene for potensiell spredning av sigevann til omgivelsene.

Nr.	Mulige spredningsveger	Årsaksforklaring	Vurdering
1	Sigevann spres via sprekker i skjermvollens leiretetting	Leiretettinga i skjermvullen kan ha sprekker som følge av uttørking og tining/frysing ettersom leira ikke ble overdekket rett etter utlegging	Noe forhøyede konsentrasjoner i sig fra deponifront indikerer spredning gjennom leiretettingen
2	Sigevann trenger inn i overvannsrør	Overvannsrør utsettes for stor last på grunn av overliggende deponerte masser, kombinert med setninger kan dette gi sprekker for innsig av sigevann	Nitrogenmengden i overvannet overstiger bakgrunnen (x10) og tilsier spredning
3	Sigevann spres fra lekkasjer i sigevannskummer nedstrøms deponifront	Sigevannsnettet består bla av betongkummer som forvitres over tid, høye konsentrasjoner av sulfat vil bla. redusere levetid	Observasjoner tilsier at sigevannsnettet har lekkasje, omfanget er usikkert
4	Sigevann spres via morenesjiktet under den naturlige leira	Morenesjiktet har en høyere vannledningsevne enn leire og kan dermed lede sigevann under skjermvoll	Brønnen installert i morenesjikt viser påvirkning av sigevann (nitrogen), men dette kan skyldes overvann som renner inn i brønnen.
5	Sigevann spres via sprekker i berg under deponiet	Bergene under deponiet kan ha svakhetssoner/sprekker som kan	Brønnen satt ned i berg ved deponifront viser noe påvirkning av

Nr.	Mulige spredningsveger	Årsaksforklaring	Vurdering
		føre til at sigevann når grunnvannet	sigevann, men dette kan skyldes overvann som renner inn i brønnen.

4.1 Sigevannets sammensetning

Sigevannet fra Lindum Drammen (prøvetatt november 2019) har en typisk pH og ledningsevne for norske deponier, mens konsentrasjon for enkelte uorganiske og organiske parametere ligger svært høyt sammenliknet med andre deponier (Tabell 8; NGI, 2012). Sigevannet fortynnes av inntrengning av grunnvann, som tidligere er estimert til å utgjøre 33% av sigevannsmengden (estimerer fra miljørisikovurderingen; Norsas, 2003). Blant de uorganiske parameterne ligger konsentrasjonene av kadmium, kopper, kvikksølv og sink blant de høyeste, tidligere observerte konsentrasjonene for sigevann fra norske deponier. Blykonsentrasjonen for prøvetakningen (265 µg/L) avviker fra tidligere målinger som normalt ligger rundt 3 – 20 µg/l, som for øvrig også er høye konsentrasjoner. Sigevannet har i tillegg høye verdier for organiske parametere som PAH, olje og PFOS. En PFOS-konsentrasjon på 227 ng/l overgår tidligere observerte PFOS-konsentrasjoner fra en studie av sigevannet fra ti norske deponier (konsentrasjoner mellom 15 – 160 ng/l; Knutsen et al., 2019). Innholdet av forurensning i sigevannet fra Lindum Drammen tilsier i seg selv ingen fare for omgivelsene ettersom sigevannet ledes til rensaneanlegg. Imidlertid tilsier de høye konsentrasjonene et potensial for at spredning av sigevann kan forurense omgivelsene.

Tabell 8 Analyse av sigevann hentet fra pumpestasjonen prøvetatt november 2019.

Parameter	Enhet	Verdi	Parameter	Enhet	Verdi
<i>Støtteparametere</i>			<i>Metaller</i>		
pH		7.1	Arsen	µg/l	17
Ledningsevne (konduktivitet)	mS/m	209	Kadmium	µg/l	3.38
Total organisk karbon	mg/l	160	Krom	µg/l	70.1
Kjemisk oksygen forbruk (KOF-Cr)	mg/l	692	Kopper	µg/l	566
Biologisk oksygen forbruk (BOF-5)	mg/l	188	Kvikksølv	µg/l	0.562
Klorid	mg/l	106	Mangan	µg/l	1880
Total fosfor	mg/l	2.6	Nikkel	µg/l	93
Total nitrogen	mg/l	105	Bly	µg/l	265
			Sink	µg/l	2700
<i>Organiske forbindelser</i>			Antimon	µg/l	11.7
Sum BTEX	µg/l	14	Bor	µg/l	1330
Alifater >C10-C12	µg/l	264	Natrium	mg/l	124
Alifater >C12-C16	µg/l	514	Uran	µg/l	15.6
Alifater >C16-C35	µg/l	3590	Barium	µg/l	551
Benso(a)antracen	µg/l	0.79			
Sum PAH-16	µg/l	20.8			
Sum PCB-7	µg/l	i.p.			
PFOS	µg/l	0.227			

i.p. ikke påvist

Innholdet av næringsalter ligger nært gjennomsnittet for norske deponier for total nitrogen, mens noe over for total fosfor. Næringssaltene i sigevannet stammer fra deponert avfall og utslipp fra biogassanlegget ved deponiet. Avrenningen fra landbruket i omgivelsene rundt deponiet tilfører omgivelsene nitrogen og fosfor, men ledes utenom sigevannsoppsamlingen. Konsentrasjonene av barium og bor er langt høyere i sigevannet enn det som forventes i grunnvann i området og kan potensielt benyttes for å spore lekkasjer av sigevann (NGU, 2007).

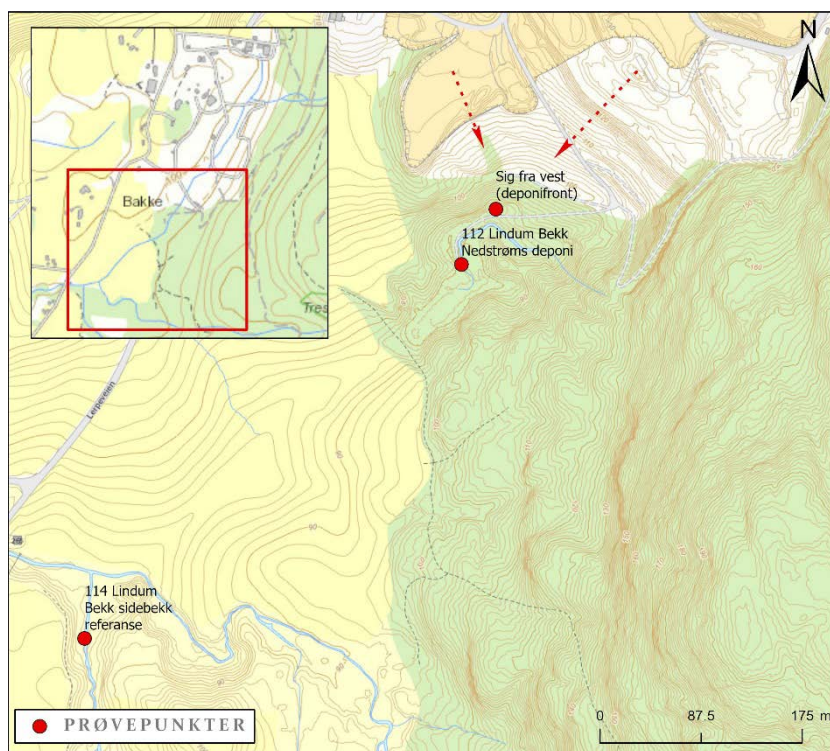
4.2 Bakgrunnskonsentrasjoner i omgivelsene

Lindum kartlegger bakgrunnskonsentrasjonene i omgivelsene rundt deponi ved å prøve ta en bekk ("114 Lindum Bekk sidebekk referanse") som drenerer et tilgrensende nedbørsfelt som ikke berøres direkte av deponiaktivitet. Det tilgrensende nedbørsfeltet drenerer primært skog, men også et beiteområde for husdyr noe som gir utslag i forhøyede konsentrasjoner av total nitrogen (opptil 31,9 mg/l, typisk rundt 2 mg/l) og total fosfor (opptil 0,28 mg/l). Enkelte metaller har også noe forhøyede konsentrasjoner som sink (opptil 16,3 µg/l tilsvarende tilstandsklasse fire ferskvann), kobber (opptil 2,3 mg/l, tilstandsklasse 2) og krom (2,39 µg/l, tilsvarende tilstandsklasse 2), i tillegg til tidvis overraskende høye konsentrasjoner av PCB (opptil 0,32 µg/L). I tillegg prøvetas overvann som renner fra Vardåsen og ned til deponiet ("111 Lindum Bekk oppstrøms").

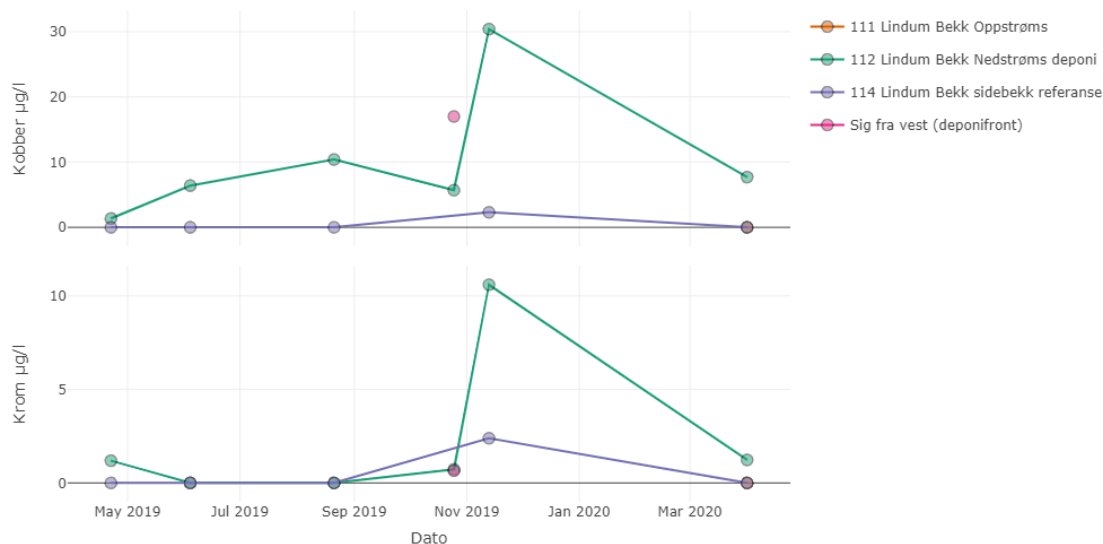
4.3 Potensiell spredning via sprekker i leiresjikt

Tettesjikt bygd opp av leire må komprimeres etter utlegging for å oppnå en høyest mulig tetthet for å kunne fungere som en effektiv barriere. Hvilken type leire som er benyttet er også av stor betydning for egenskapene som impermeabelt sjikt. Frost og uttørking kan føre til sprekkedannelser som potensielt kan lede sigevann gjennom sjiktet. Det må derfor legges masser over leira etter utlegging for å beskytte mot frost og uttørking.

Lindum sine tidligere observasjoner av sig i foten av skjermvollen indikerer tilstedeværelse av svakheter i leiretettingen hvor sigevann kan spres til omgivelsene. Ett slikt sig ved deponifront ("Sig fra vest (deponifront)") ble også observert og prøvetatt høsten 2019 (Figur 12). Siget hadde noe forhøyede konsentrasjoner for enkelte parametere som kobber, som kan forekomme i forhøyede konsentrasjoner i sigevannet, men ikke for eksempelvis krom (Figur 13). Siget hadde også en konsentrasjon av total nitrogen på 7,1 mg/L, i likhet med konsentrasjonen på 5,6 mg/L for prøvetakningspunktet i bekken nedstrøms deponiet ("112 Lindum Bekk Nedstrøms deponi"). De forhøyede nitrogenkonsentrasjonene indikerer at siget påvirkes av sigevann og ikke kun består av overflateavrenning fra nedbør. Konsentrasjonene i siget overstiger også bakgrunnskonsentrasjoner fra landbruksområder i deponiets overvåkningsprogram ("114 Lindum Bekk sidebekk referanse", 1,5 mg/L). Til sammenlikning har sigevannet fra deponiet typisk konsentrasjoner av total nitrogen rundt 200 mg/l. Grenseverdien for svært dårlig tilstand for total nitrogen i vanddirektivet (>2 mg/L, Direktoratets gruppe vanddirektivet, 2018) overskrides også, men er imidlertid utarbeidet for klassifisering av vannforekomster og ikke punktkilder som eksempelvis et deponi.



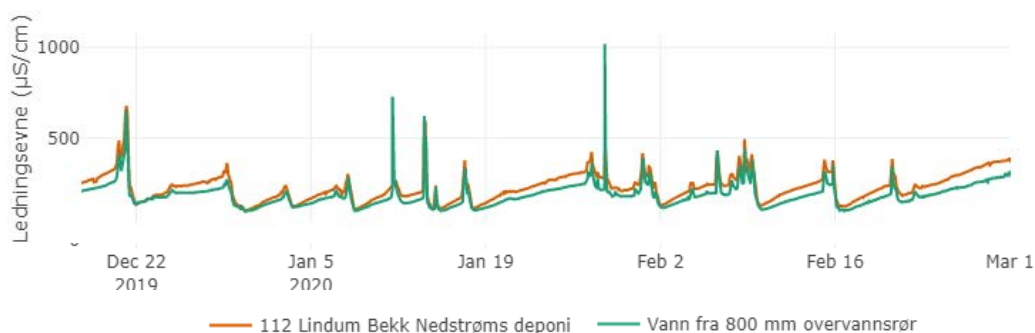
Figur 12 Prøvepunktet "Sig fra vest" påvirkes trolig av sigevann som trenger gjennom tettesjiktet i deponifront (røde piler).



Figur 13 Variasjonen i kobber (øverst) og krom (nederst) i siget ved deponifront sammenliknet mot bekken rett nedstrøms deponifront og et referansepunkt som drenerer et nærliggende landbruksområde.

Vurderingen av spredning gjennom skjermvollens leirtetting baseres imidlertid kun på observasjoner og resultater primært fra kun én prøvetaking. Det er derfor ikke mulig å si noe om omfanget baserte på nåværende data. Deponiets overvåkningsprogram belyser i hvilken grad slik spredning kan forekomme, men ikke med en oppløsning og egnede prøvepunkter for å skille slik spredning fra annen spredning av sigevann til omgivelsen (eksempelvis potensielle sprekker i sigevannskummer, omtales i den videre teksten).

Loggingen av vannkjemi i bekken nedstrømsdeponiet viser en liten forhøyning av salter (ledningsevne) fra punktet der overvannet kommer ut i dagen ved deponifront ("Vann fra 800 mm overvannsrør") til målepunkt etter at bekken har rent forbi deponifront /skjermvoll ("112 Lindum Bekk Nedstrøms deponi"; figur 14). Imidlertid må det bemerkes at forskjellene er så små sammenliknet med usikkerheten i målingene (10% - 20%; figur 12). Det er vanskelig å vurdere forskjellen mellom punktene for andre parametere enn ledningsevne ettersom det kun er tatt prøve fra punktet der overvannet kommer ut i dagen. Ved prøvetakingen høsten 2019 økte imidlertid eksempelvis kobberkonsentrasjonen noe i bekken ved deponifront, mens konsentrasjonen av nitrogen sank (9,4 µg/l kobber og 6,3 mg/l total nitrogen ved "Vann fra 800 mm overvannsrør" til 14 µg/l kobber og 5,6 mg/l total nitrogen ved "112 Lindum Bekk Nedstrøms deponi").



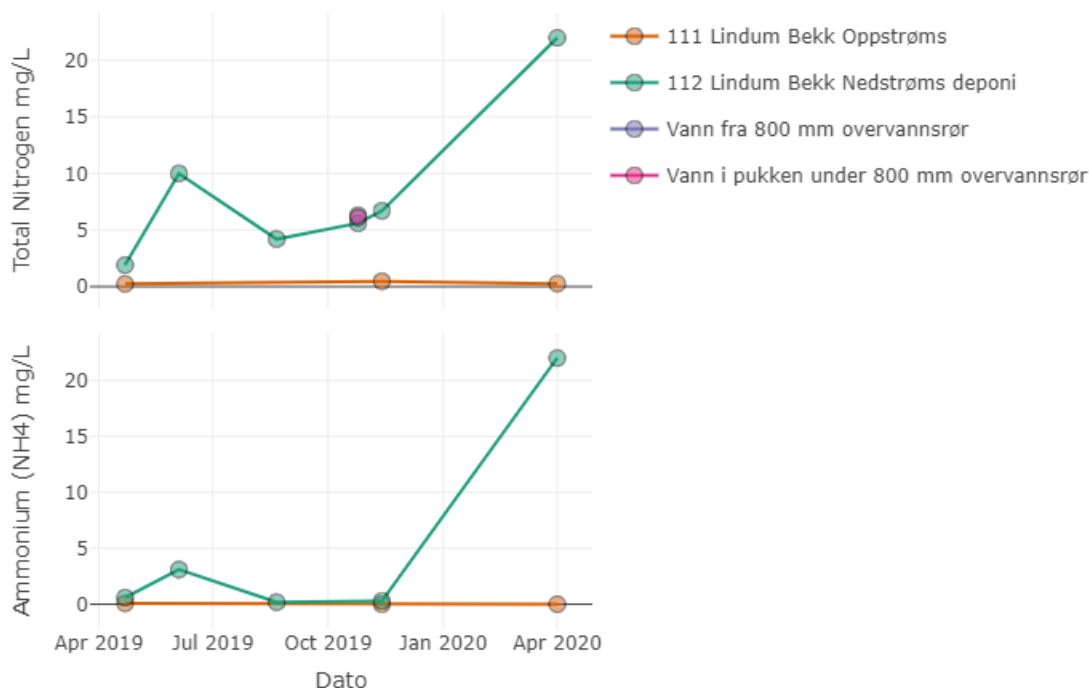
Figur 14 Loggingen av konduktivitet i overvannet som renner ut av overvannsrøret ved deponifront og ut i terrenget ("Vann fra 800 mm overvannsrør") og ved målepunktet for bekken nedstrøms deponiet.

4.4 Potensielt innsig av sigevann i overvannsrør

Spredning via overvannsrør som går gjennom deponifront kan potensielt forårsakes ved at sigevann trenger inn gjennom svakheter og sprekker i røret. Overvannsrøret som leder bekkelukkingen gjennom deponiet i Engelstad grøfta og ut til omgivelsene har på det meste rundt 40 meter overløst av deponerte masser. For å motstå denne lasten er det benyttet spesialproduserte overvannsrør med ekstra forsterkning (opplysninger fra Lindum). Tidligere utførte videoinspeksjoner har avdekket deformasjoner, men ikke sprekke-dannelser i overvannsrør i Engelstad grøfta (opplysninger fra Lindum). Det er

også avdekket enkelte overvannsrør som leder sigevann (mot nord i deponiet), disse rørene har følgelig blitt koblet over på sigevannsnettet.

Sammenlikning av forurensningsgraden i vannstrømmer som renner inn i overvannsrøret fra Vardåsen ("111 Lindum Bekk Oppstrøms") mot vannet som renner ut av overvannsrøret ("Vann fra 800 mm overvannsrør") indikerer påvirkning av sigevann. Påvirkningen kan blant annet observeres ved økning i konsentrasjoner av nitrogen (Figur 15). Sammenlikningen tar imidlertid ikke høyde for påvirkningen fra landbruksavrenning nord for deponi som også ledes gjennom overvannsrøret. Ammoniumkonsentrasjonene i bekken overvannsrøret leder til ("112 Lindum Bekk Nedstrøms deponi") utgjør tidvis rundt en tredjedel av nitrogenmengden og tilsier også deponipåvirkning siden landbruksavrenning primært inneholder nitrat i dette området (opplysninger fra Lindum). Konsentrasjoner av metaller som kobber, krom, bly og sink har tidvis vært vesentlig høyere nedstrøms deponiet enn i bakgrunnskonsentrasjoner fra Vardåsen. Tidvis har det imidlertid også vært noe høye sinkkonsentrasjoner i referanseprøvene fra Vardåsen (eksempelvis i 2018), noe som indikerer at punktet bør flyttes lengre unna deponiet.



Figur 15 Variasjonen i total nitrogen (øverst) og ammonium konsentrasjon (nederst) i vannet som renner ut av overvannsrøret ved deponi front ("vann fra 800 mm overvannsrør") sammenliknet med bekken utløpet av røret leder til ("112 Lindum Bekk nedstrøms deponi") og en av strømmene som ledes til overvannsrøret ("111 Lindum Bekk Oppstrøms"). Merk at resultater under deteksjonsgrense ikke er vist i figuren.

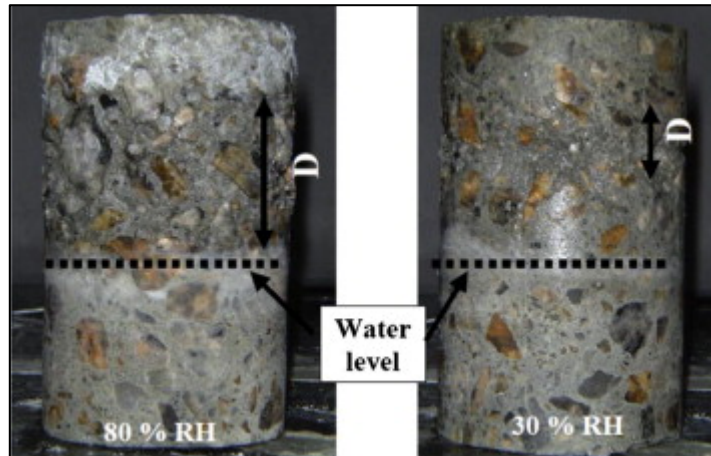
Overvannsrøret er trolig lagt i en pukkestreng som potensielt kan etablere en drensvei for sigevann ut av deponiet. Det ble derfor tatt prøver fra vannet som renner under overvannsrøret slik at dette kunne undersøkes nærmere. Resultatene fra slik prøvetaking høsten 2019 viste ingen vesentlig forskjell mellom vannet som rant inni og under røret. Det kan derfor ikke utelukkes at pukkestrengen under overvannsrøret står i kontakt med vannet som renner inni overvannsrørene.

4.5 Potensielle lekkasjer fra sigevannskummer

En befaring av sigevannskummer i foten av skjermvollen ved deponifront avdekket mulige svakheter og potensial for lekkasjer (Figur 16). Selve sigevannsrørene er av plastikk, mens kummene består av større betongringer bygget for ca. 20 år siden (diameter på rundt 4 - 5 m). Betongkummer er vanskelig å konstruere helt tett uten lekkasjer. Betong vil også overtid svekkes, spesielt med tanke på svovelinnholdet i sigevannet som føres gjennom kummene. Sulfat bidrar til økt forvitring av betong (Figur 17). Den forhøyede konsentrasjonen av nitrogen i siget prøvetatt ved deponifront (se tidligere avsnitt vedr. leiretettingen i skjermvoll) kan også skyldes lekkasjer fra sigevannskummer ved deponifront. Det antas at eventuelt sigevann fra kummene vil renne langs sig i deponifronten og eventuelt i pukkestrenger langs rørtraser.



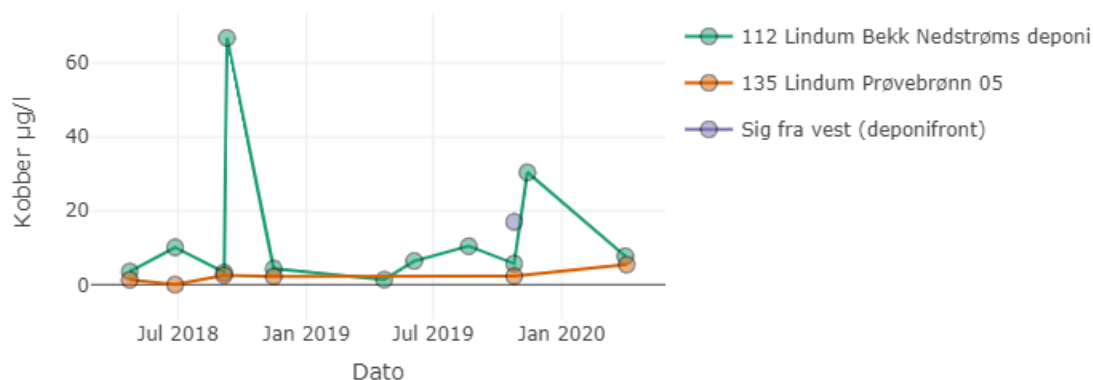
Figur 16 Sigevannskum "152KS22F" ved deponifront.



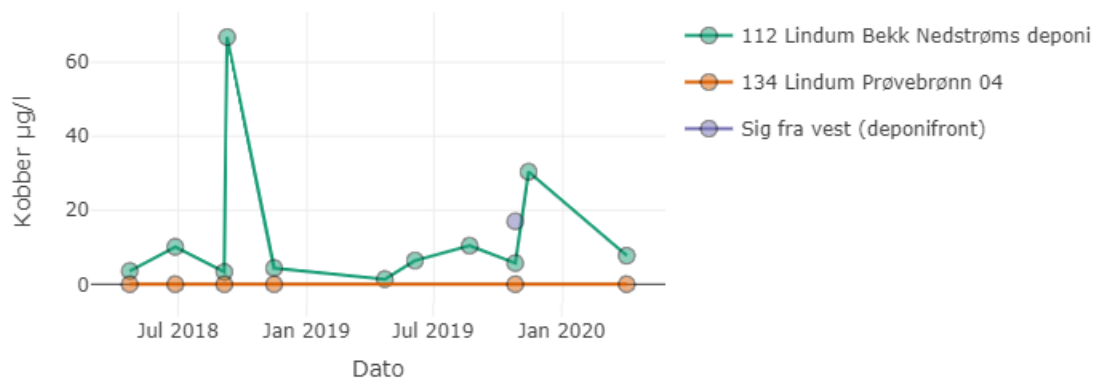
Figur 17 Bilder fra et forsøk der betong forvitres ved eksponering mot sulfatdamp (RH indikerer ulik luftfuktighet og temperatur under forsøket; hentet fra, Liu et al. 2014).

4.6 Potensiell spredning via morenesjiktet og sprekker i berg

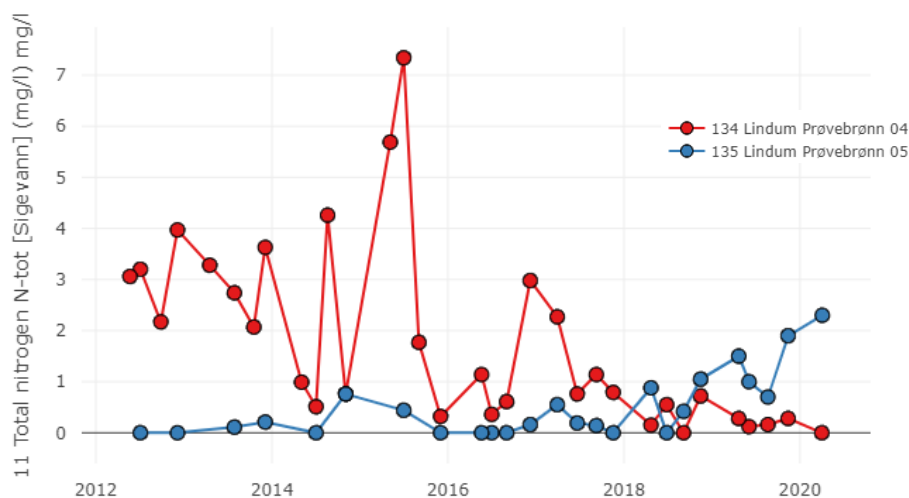
Sigevann kan potensielt spres via morenesjiktet mellom leire og berg, eller eventuelt via sprekker i berget i den naturlige grunnen under deponifront. Det antas at deponiet har en innadrettet grunnvannsstrøm, men dette er ikke dokumentert. En innadrettet grunnvannsstrøm vil motvirke spredning av sigevann via grunnvann. De to grunnvannsbrønnene installert i henholdsvis morenesjiktet ("115 Lindum Prøvebrønn 05") og berget ("114 Lindum Prøvebrønn 04") nedstrøms deponiet viser liten påvirkning av metaller, som eksempelvis kobber (Figur 18 og 19). Brønnene har derimot tidvis hatt høye konsentrasjoner av nitrogen, spesielt bergbrønn har høye konsentrasjoner i 2015 og bakover i tid (Figur 20). En høy andel av nitrogenet består av ammonium og indikerer følgelig sigevannspåvirkning. Det er ikke påvist organiske forurensninger som opptrer i sigevannet, som PAH og olje. Selv om brønnene i morenesjiktet og sprekker i berg nedstrøms deponiet viser påvirkning av sigevann antas omfanget å være begrenset.



Figur 18 Variasjoner i kobberkonsentrasjon i brønnen etablert i morenesjiktet nedstrøms deponiet ved deponifronten, sammenliknet mot sig fra deponifronten og bekken nedstrøms deponiet.

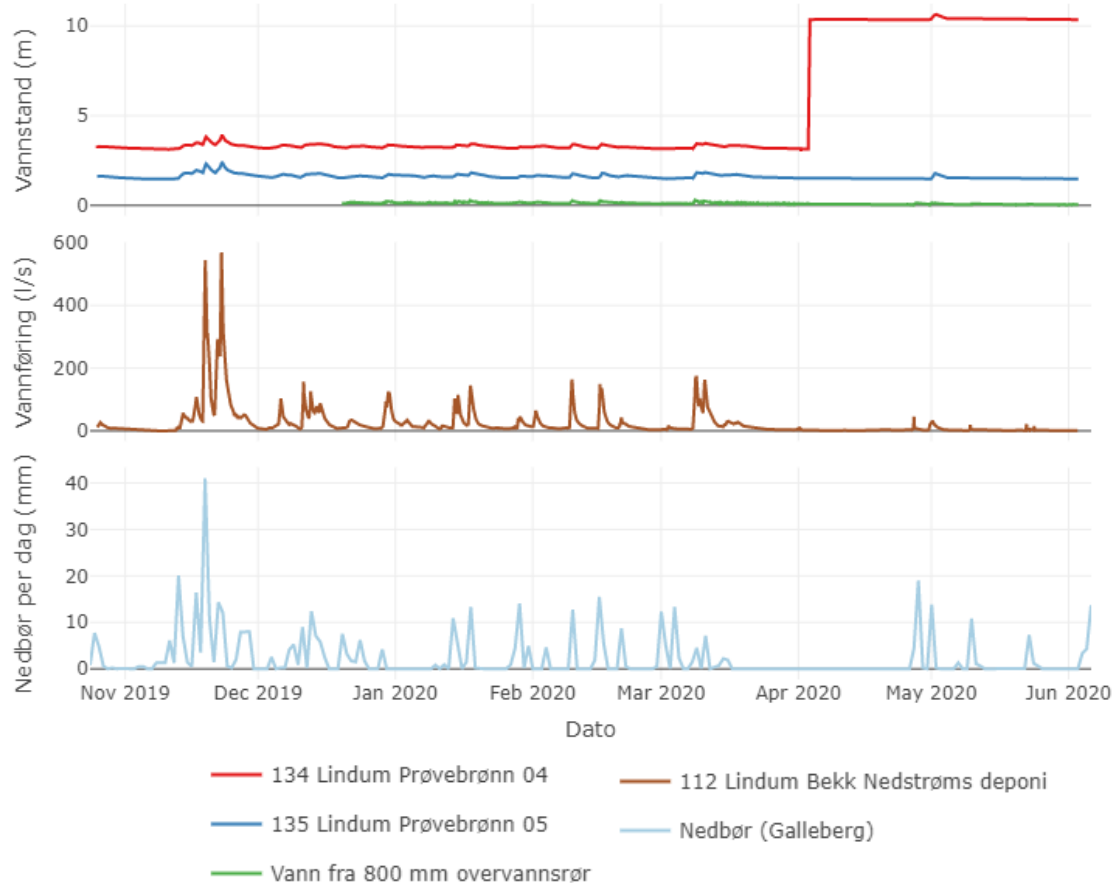


Figur 19 Variasjoner i kobberkonsentrasjon i brønnen etablert i berget nedstrøms deponiet ved deponifronten, sammenliknet mot sig fra deponifronten og bekken nedstrøms deponiet.

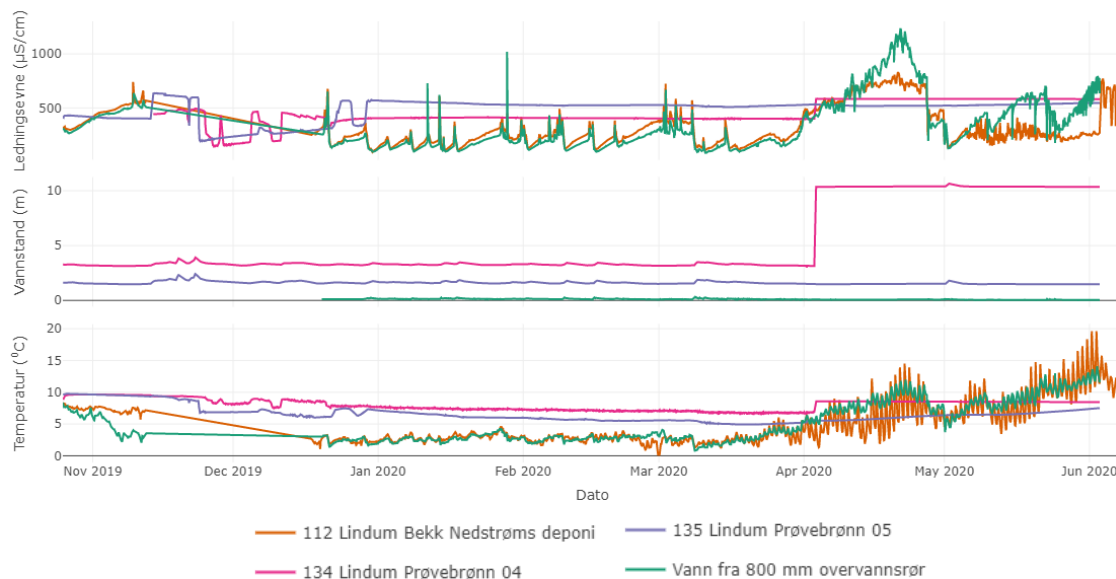


Figur 20 Variasjoner i konsentrasjonen av total nitrogen i brønnen etablert i berget ("134 Lindum Prøvebrønn 04") og morenessjiktet ("135 Lindum Prøvebrønn 05") nedstrøms deponiet ved deponifronten.

Resultatene fra grunnvannsbrønnene må tolkes med varsomhet ettersom de tidvis har hatt dårlig infiltrasjon (opplysninger fra Lindum) og kan være utsatt for inntrenging av overflateavrenning (Figur 21 og 22). I tillegg har det vært noe forveksling av nummereringen av brønnene ved tidligere prøvetaking. Grunnvannstanden i brønnene viser samme hurtige respons på nedbør som bekken nedstrøms, noe som kan skyldes inntrenging av overflateavrenning. Loggingen av konduktivitet indikerer at vannsøylen i grunnvannsbrønnene har ulike sjikt som gir brå endringer i konduktivitet i perioder med mye nedbør (eksempelvis desember 2019). Dette ble bekreftet ved logging av konduktivitet nedover vannsøylen i grunnvannsbrønnene (vedlegg D). Brønnene ble rensesumpet og spylt (se detaljer i tidligere kapittel) høsten 2019, noe som allerede har resultert i bedre infiltrasjon. Brønnene har stor verdi for overvåkingen ettersom de har lange tidsserier, og bør kunne benyttes videre dersom prøvetakingen tilpasses svakhetene deres noe (f.eks. rensesumping i forkant av prøvetaking, og prøvetaking ved bestemt grunnvannskote).



Figur 21 Variasjoner i vannstand (dvs. vannsøylen over sensor, grunnvannskoten er ukjent) i grunnvannsbrønner ved deponifront etablert i berget ("134 Lindum Prøvebrønn 04") og morenesjiktet ("135 Lindum Prøvebrønn 05") i tillegg til en liten dam der overvannsrøret renner ut i terrenget ("Vann fra 800 mm overvannsrør") sammenliknet mot vannføring i bekken nedstrøms deponiet og nedbør (målt av metrologisk institutt ved Galleberg).



Figur 22 Loggingen av vannkjemi i grunnvannsbrønner etablert i berget ("134 Lindum Prøvebrønn 04"; merk at sensoren ble senket lengre ned i brønnen april 2020) og morenessjiktet ("135 Lindum Prøvebrønn 05") sammenliknet mot bekken nedstrøms deponiet viser at grunnvannsbrønnene påvirkes av overflateavrenning (merk av vannstand indikerer vannsøyle over sensor, grunnvannskoten er ukjent).

5 Konklusjon

Sigevannet fra Lindum Drammen inneholder høye konsentrasjoner av enkelte metaller som kadmium, kobber og bly, i tillegg til næringssalter og enkelte organiske forbindelser som olje, PAH og PFOS. Sigevannet ledes til renseanlegg, men de høye konsentrasjonene av enkelte parametere viser at lekkasjer potensielt kan forurense omgivelsene. Landbruksarealene rundt deponiet tilfører omgivelsene næringssalter og gjør det vanskelig å skille påvirkningen fra deponiet og landbruket på omgivelsene. I tillegg er det observert forhøyede konsentrasjoner av enkelte metaller og PCB fra diffuse kilder.

Følgende spredningsveier antas å potensielt kunne spre sigevann til omgivelsene:

- Sprekker som leder sigevann gjennom tettesjiktet av leire i deponifrontens skjermvull indikeres av forhøyede konsentrasjoner av enkelte typiske sigevannsparemetere (eksempelvis total nitrogen og kobber) i sig som renner langs deponifront. Mengden er ukjent, men antas å være begrenset.
- Innsig av sigevann i overvannsledninger som krysser deponifront indikeres av forhøyede konsentrasjoner av total nitrogen og enkelte metaller. Imidlertid er konsentrasjonene kun noe forhøyede og jevnt over langt under konsentrasjonene for sigevann fra deponiet. Det er også observert forhøyet bakgrunnskonsentrasjoner for flere av de forhøyede parametrene i omgivelsene.

- Potensielle lekkasjer fra sigevannskummer er ikke bekreftet, men tilstanden og alderen for betongkummene ved deponifront tilsier høy fare for lekkasjer.
- Potensiell spredning via morenesjiktet og sprekker i berg kan oppstå ettersom deponiet opprinnelig stedvis ble etablert direkte på berg. Selv om grunnvannsbrønnene ved deponifront etablert i morenesjiktet og grunnvannet i berget viser påvirkning av sigevann (ved tidvis forhøyede nitrogen konsentrasjoner), tilsier lave metallkonsentrasjoner og fraværet av organiske forurensninger begrenset omfang.

Sigevann fra deponiet påvirker vannkvaliteten i bekken nedstrøms deponiet, men omfanget antas å være begrenset. Spredning via tettesjiktet i skjermvollen ved deponifront, lekkasjer fra sigevannsnettet og innsig av sigevann i overvannsnettet antas å fungere som spredningsveier.

6 Pågående og videre arbeid

En oppsummering av pågående og videre arbeid tilknyttet sigevannshåndtering ved Lindum Drammen er listet i tabell 9.

Tabell 9 Oppsummering av pågående og videre arbeid tilknyttet sigevannshåndtering ved Lindum Drammen

Aktivitet	Beskrivelse	Fremdrift
Sigevann- og overvannshåndtering		
Kartlegging av grunnvannsinntrenging i deponiet	Grunnvannsinntrengingen i deponiet bør minimeres for å lette sigevannshåndteringen og etterdriften av deponiet. Grunnvannsbrønnen ved biogassanlegget bør overvåkes for å bestemme vannstand og strømningshastighet som beslutningsgrunnlag for eventuelle tiltak (utføres eksempelvis med heat pulse meter ved brønnlogging).	Kan igangsettes nå
Sporingsforsøk for å detektere potensielle lekkasjer i kummer	Et egnet sporingsmiddel (fargestoff eller kjemisk) benyttes for å observere om sigevann strømmer fra kummer til sig i terrengoverflaten ved deponifront, i tillegg kartlegges strømningsveier mellom kummer. Kummenes tilstand bør også kartlegges ettersom kontakt med deponigasser kan svekke betongens bæreevne over tid	Kan igangsettes nå
Utbedringer av sigevannsnettet ved deponifront	Lindum vurderer å bygge et nytt renseanlegg for sigevann ved deponifront.	Pågående
Flytting av dagens bekkelukking gjennom deponiet opp til overflaten ev. lede bekken mot ravine i vest	Gravearbeidene i forbindelse med byggingen av Svelvikveien ved deponiets nordende kan gi en gyllen mulighet til å lede bekkelukkingen som i dag går gjennom deponiet over i en annen trase mot vest, nord for Lindum gård. Dette vil lette deponiets etterdriftsfase og kan bedre den geotekniske stabilitet dersom vannstanden i deponiet senkes.	Bør ivaretas ifm. utvidelse av deponiet mot nord og bygging av Svelvikveien

Aktivitet	Beskrivelse	Fremdrift
Utbedre avskjærende grøfter for å reduseres overvannsinntrengingen	Nedbør som faller i Vardåsen bør ledes til avskjærende grøfter for å redusere inntrengingen av regnvann i deponiet. Det er etablert flere grøfter, men det er potensial for utbedringer.	NorConsult bistår Lindum med overvannshåndtering
Oppsamling av sigevann ved deponifront	Lekkasjer av sigevann gjennom tettesjiktet i deponifronten kan samles og ledes til renseanlegg, alternativt kan sigevannet ledes til en passiv renseløsning (eksempelvis våtmarksfilter).	Avventes
Videre deponiaktivitet og topptildekning		
Trinnvis topptildekning for å redusere sigevannsmengden	Svakheter i leiorettingen i deponifrontens skjermvoll bør tas høyde for ved prosjektering av topptildekningen ved avslutningen av deponiet. Topptildekningen må forhindre inntrengning av overflatevann i deponiet som potensielt kan spres til omgivelsene via svakheter ved deponifront. Topptildekningen kan med fordel også utføres i etapper under driftsfasen for å begrense perioden regnvann kan infiltrere i de deponerte massene.	Bør ivaretas ifm. utvidelse av deponiet i høyden
Komprimering av deponerte masser	Videre deponering bør utføres med best mulig komprimering av deponerte masser for å redusere regnvannsinfiltrasjon (og dermed redusere eksponeringen av forurensning), øke deponikapasiteten og bedre den geotekniske stabiliteten ved deponifront (se for øvrig notatet vedr geoteknisk stabilitet; NGI, 2020).	Bør ivaretas ifm. utvidelse av deponiet i høyden
Overvåkning av deponiets omgivelser		

Aktivitet	Beskrivelse	Fremdrift
Implementering av nye prøvepunkter	Nylige benyttede prøvepunkter inkluderes i overvåkningsprogrammet, "Sig fra vest (deponifront)" og "Vann fra 800 mm overvannsrør", for å gi mer informasjon om eventuelt omfang av spredning via skjermvollens tettesjikt. Prøvetaking av bekkelukkingen som kommer ned ved deponifront, "Liten bekk fra øst (bakgrunn)", anses ikke som nødvendig å ta med videre. Punktene navngis i henhold til Lindum sin nummerering.	Kan igangsettes nå
Nytt prøvetakingspunkt som referanse fra landbrukavrenning	Overvann fra landbruksareal og Nordjordet (avsluttet deponiområde) som ledes til bekken nedstrøms deponiet bør prøvetas for å beskrive bidraget av næringssalter som ikke skyldes deponiaktivitet. Det bør også etableres et nytt prøvetakingspunkt i nedbørsfeltet sør for deponiet med landbruksavrenning som ikke er berørt av deponiaktivitet for å sikre en god referanse for landbruksavrenning i området.	Pågående
Ny prøvetakingsprosedyre for prøvetaking av grunnvannsbrønner	Ettersom det er avdekket noe påvirkning av overflateavrenning på brønner som skal drenere dypere sjikt (morene, berg) ved deponifront bør prøvetakingen tilpasses slik at effekten av inntrenging av overflateavrenning minimeres (tilpassning av prøvetakingsdyp, rensumping etc.).	Pågående
Grunnvannsovervåkning ved deponifront	Overvåkningen av de to eksisterende brønnene ved deponifront etablert i morene og berg med loggere videreføres ut 2020 for å kartlegge variasjoner gjennom året. Avhengig av resultatene bør det vurderes å etablere en ny bergbrønn nedstrøms deponiet i forkant av deponifront utenfor deponiets utbredelse.	Pågående

Aktivitet	Beskrivelse	Fremdrift
Gjennomgang av dataene i overvåkningsprogrammet	Enheter og parametere i datasettet for overvåkningsprogrammet bør kvalitetssikres. For enkelte miljøgifter, som eksempelvis PFOS, er det benyttet feil enheter for enkelte datapunkter (ng/l vs. µg/L). Datasettet inneholder også duplikater for flere parametere.	Kan igangsettes nå

7 Referanser

Liu, Z., Deng, D., De Schutter, G. (2014). Does concrete suffer sulfate salt weathering? *Construction and Building Materials*, 66.

Direktoratsgruppen vanndirektivet (2018). Veileder 2:2018 Klassifisering.

Klima- og miljødepartementet, Olje- og energidepartementet (01.01.2020). Forskrift om rammer for vannforvaltningen (Vannforskriften).

Knutsen, H., Mæhlum, T., Haarstad, K., Slinde, G. A., Arp, H.P. (2019). Leachate emissions of short and long chain PFAS from various Norwegian landfills. *Environmental Science Process & Impacts*.

NGU. Løsmasser – Nasjonal løsmassedatabase. url: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/> (besøkt: 2020-05-27)

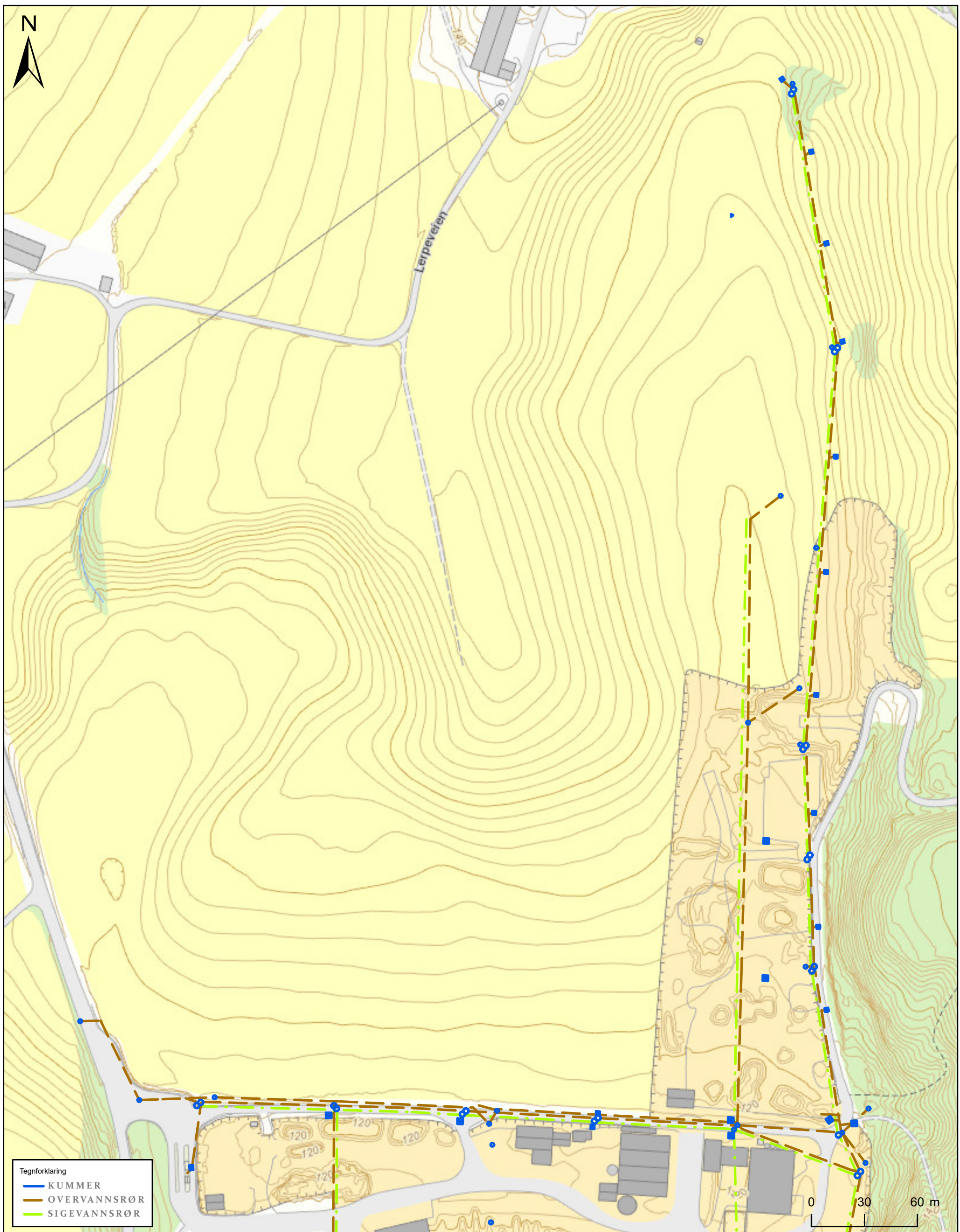
NGU. Berggrunn – Nasjonal berggrunnsdatabase. url: <http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/> (besøkt: 2020-05-27)

NGU (2007). Fordeling av sporelementer i grunnvann fra 476 borebrønner i fast fjell, analysert med ICP-MS. NGU-rapport 99.099.

NGI (2019). Avfall Norge deopinseminaret 2019. Foredrag: Avslutning av deponier og tilrettelegging for etterbruk. Gunvor Baardvik.

NGI (2020). Innledende vurdering av stabilitet av deponifront og forslag til videre arbeid. NGI-notat 20190678-01-TN.

SVV (2015). Prosesskode 1: standard beskrivelsestekster for vegkontrakter: hovedprosess 1-7. Nr. R761 i Statens vegvesens håndbokserie.

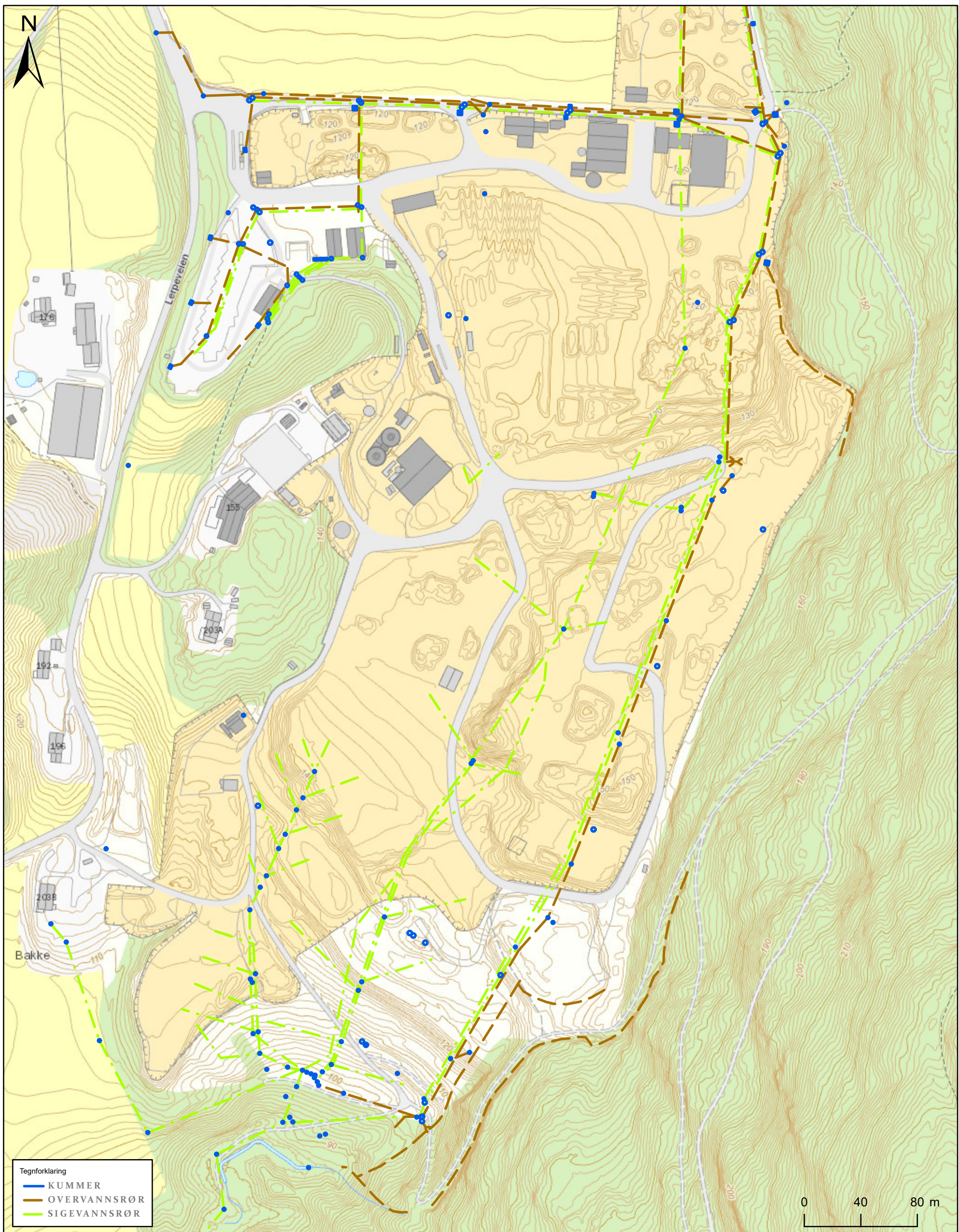


Merknader:

- Grunnlaget fra kartet er hentet fra "03469-VA-ANLEGG-UTM32.DWG" oversendt fra Multiconsult den 2020-02-21
- Følgende kartlag fra grunnlaget vises for de ulike lagene vist i kartet (av totalt :
 - Kummer: -2009-05-29_K--DI---08250_KUMLOKK-JERN, -2009-05-29_K--DI---08292_SLUK_RUNDT, -KUMLOKK, -LED-EKS-SLUK, -VA-KUMMER, -VA-SLUK, -2009-05-29_K--DI---08262_OLJEUTSKILLER, -LED-KUM, -LED-PROSJ-SPILOJE-TANK
 - Overvannsrør: -VA-OVERVANNSGRØFT, -LED-EKS-OV, -VA-OVL
 - Sigevannsrør: -2012-06-27_08262_SPV, -LED-EKS-DR, -LED-EKS-SP, -LED-PROSJ-SP, -LED-PROSJ-SPILOJE, -VA-DRL-SIGEV, -VA-SIGEVANN, -VA-SPVL
- Det er ikke skilt mellom sigevanns- og overvannskummer ettersom dette i liten grad er skilt på i grunnlaget
- Enkelte kummer er angitt med egen id/navn i grunnlaget, disse er utelatt på grunn av usikkerheter

Kummer, overvanns- og sigevannsrør ved Lindum Drammen Delområde 1: Nordjordet

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2020-05-28	And	And	GO
Original format og målestokk	Kartprojeksjon		
A3 1:2 000	ETRS 1989 UTM Zone 32N		
Prosjektnr.	Kartnr.	Rev.	
20190678	08	0	
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO Sognsveien 72 Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48 www.ngi.no			
			

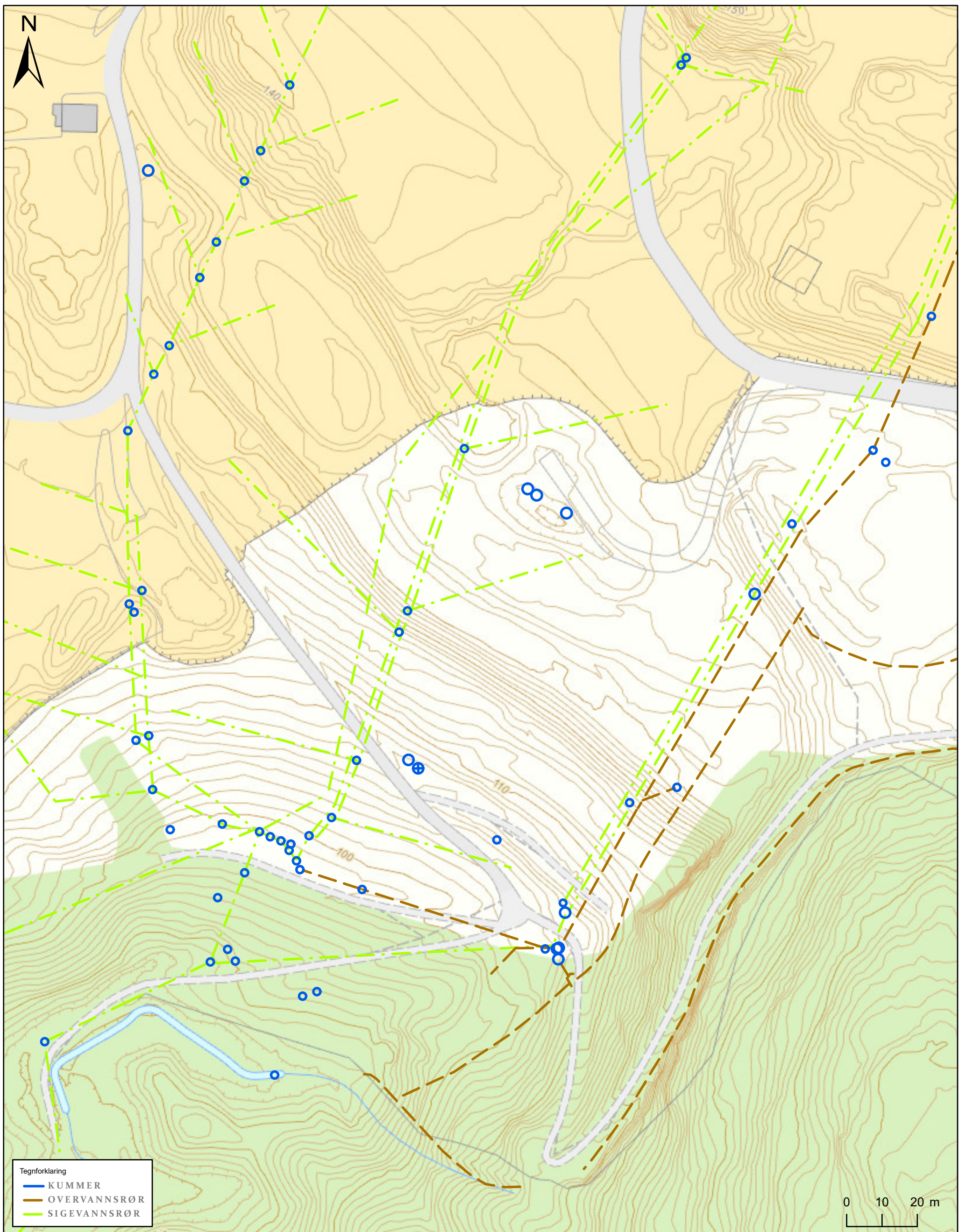


Merknader:

- Grunnlaget fra kartet er hentet fra "03469-VA-ANLEGG-UTM32.DWG" oversendt fra Multiconsult den 2020-02-21
- Følgende kartlag fra grunnlaget vises for de ulike lagene vist i kartet (av totalt :
 - Kummer: -2009-05-29_K-DI--08250_KUMLOKK-JERN, -2009-05-29_K-DI--08292_SLUK_RUNDT, -KUMLOKK, -LED-EKS-SLUK, -VA-KUMMER, -VA-SLUK, -2009-05-29_K-DI--08262_OLJEUTSKILLER, -LED-KUM, -LED-PROSJ-SPILOJE-TANK
 - Overvannsrør: -VA-OVERVANNSGRØFT, -LED-EKS-OV, -VA-OVL
 - Sigevannsrør: -2012-06-27_08262_SPV, -LED-EKS-DR, -LED-EKS-SP, -LED-PROSJ-SP, -LED-PROSJ-SPILOJE, -VA-DRL-SIGEV, -VA-SIGEVANN, -VA-SPVL
- Det er ikke skilt mellom sigevanns- og overvannskummer ettersom dette i liten grad er skilt på i grunnlaget
- Enkelte kummer er angitt med egen id/navn i grunnlaget, disse er utelatt på grunn av usikkerheter

**Kummer, overvanns- og sigevannsrør ved Lindum Drammen
Delområde 2: Sentralområdet på deponiet**

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2020-05-28	And	And	GO
Original format og målestokk	Kartprojeksjon		
A3 1:2 500	ETRS 1989 UTM Zone 32N		
Prosjektnr.	Kartnr.	Rev.	
20190678	09	0	
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO Sognsveien 72 Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48 www.ngi.no			
			NGI



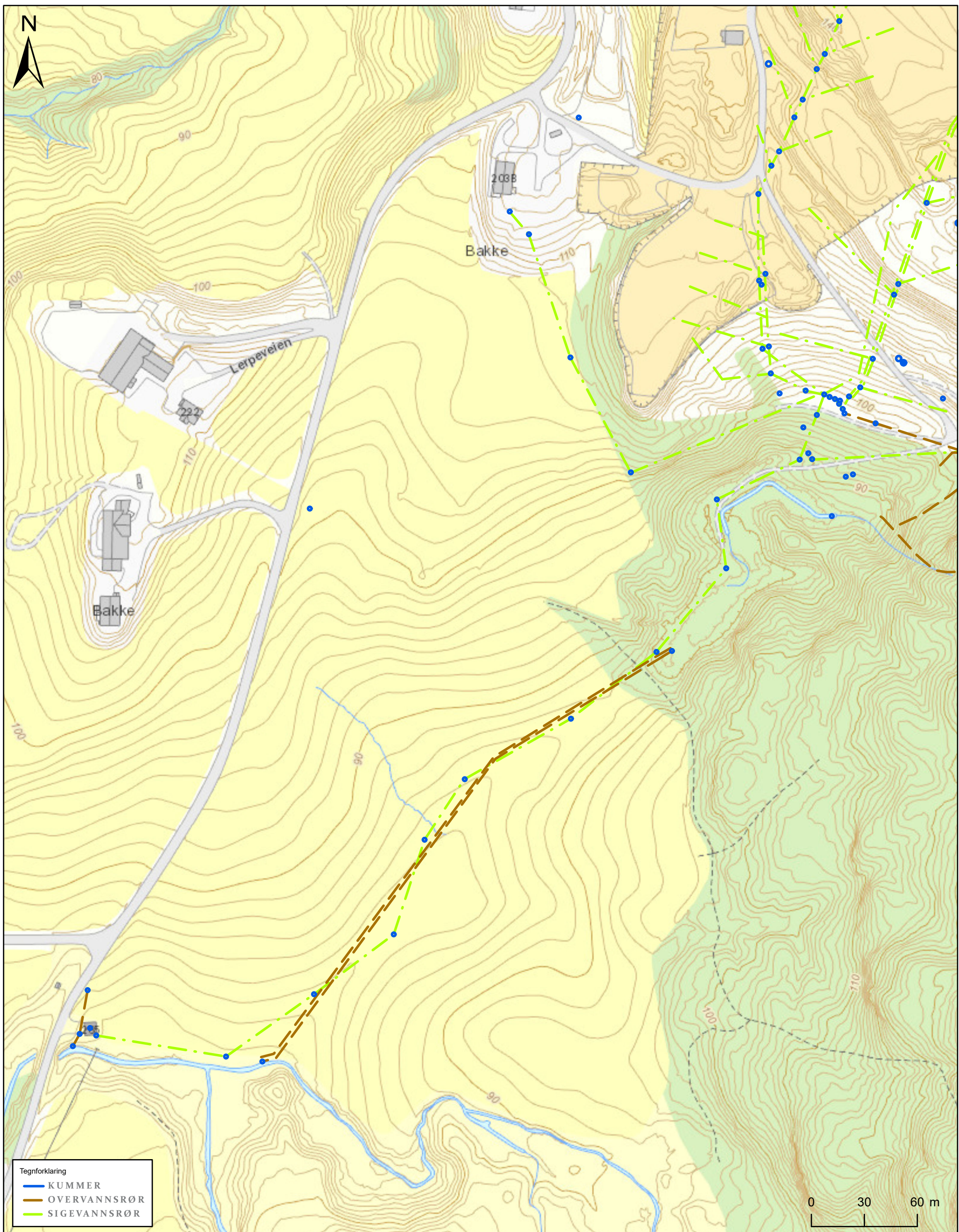
Tegnforklaring	
—●—	KUMMER
- - -	OVERVANNSRØR
- - -	SIGEVANNSRØR

Merknader:

- Grunnlaget fra kartet er hentet fra "03469-VA-ANLEGG-UTM32.DWG" oversendt fra Multiconsult den 2020-02-21
- Følgende kartlag fra grunnlaget vises for de ulike lagene vist i kartet (av totalt :
 - Kummer: -2009-05-29_K-DI---08250_KUMLOKK-JERN, -2009-05-29_K-DI---08292_SLUK_RUNDT, -KUMLOKK, -LED-EKS-SLUK, -VA-KUMMER, -VA-SLUK, -2009-05-29_K-DI---08262_OLJEUTSKILLER, -LED-KUM, -LED-PROSJ-SPILOJE-TANK
 - Overvannsrør: -VA-OVERVANNSGRØFT, -LED-EKS-OV, -VA-OVL
 - Sigevannsrør: -2012-06-27_08262_SPV, -LED-EKS-DR, -LED-EKS-SP, -LED-PROSJ-SP, -LED-PROSJ-SPILOJE, -VA-DRL-SIGEV, -VA-SIGEVANN, -VA-SPVL
- Det er ikke skilt mellom sigevanns- og overvannskummer ettersom dette i liten grad er skilt på i grunnlaget
- Enkelte kummer er angitt med egen id/navn i grunnlaget, disse er utelatt på grunn av usikkerheter

**Kummer, overvanns- og sigevannsrør ved Lindum Drammen
Delområde 3: Deponifront**

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2020-05-28	And	And	GO
Original format og målestokk	Kartprojeksjon		
A3 1:1 000	ETRS 1989 UTM Zone 32N		
Prosjektnr.	Kartnr.	Rev.	
20190678	10	0	
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO Sognsveien 72 Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48 www.ngi.no			
			



Tegnforklaring	
—●—	KUMMER
- - -	OVERVANNSRØR
- - -	SIGEVANNSRØR

Merknader:

- Grunnlaget fra kartet er hentet fra "03469-VA-ANLEGG-UTM32.DWG" oversendt fra Multiconsult den 2020-02-21
- Følgende kartlag fra grunnlaget vises for de ulike lagene vist i kartet (av totalt :
 - Kummer: -2009-05-29_K-DI--08250_KUMLOKK-JERN, -2009-05-29_K-DI--08292_SLUK_RUNDT, -KUMLOKK, -LED-EKS-SLUK, -VA-KUMMER, -VA-SLUK, -2009-05-29_K-DI--08262_OLJEUTSKILLER, -LED-KUM, -LED-PROSJ-SPILLOJE-TANK
 - Overvannsrør: -VA-OVERVANNSGRØFT, -LED-EKS-OV, -VA-OVL
 - Sigevannsrør: -2012-06-27_08262_SPV, -LED-EKS-DR, -LED-EKS-SP, -LED-PROSJ-SP, -LED-PROSJ-SPILLOJE, -VA-DRL-SIGEV, -VA-SIGEVANN, -VA-SPVL
- Det er ikke skilt mellom sigevanns- og overvannskummer ettersom dette i liten grad er skilt på i grunnlaget
- Enkelte kummer er angitt med egen id/navn i grunnlaget, disse er utelatt på grunn av usikkerheter

**Kummer, overvanns- og sigevannsrør ved Lindum Drammen
Delområde 4: Lerpebekken**

Dato	Utført	Kontrollert	Godkjent
2020-05-28	And	And	GO
Original format og målestokk	Kartprojeksjon		
A3 1:2 000	ETRS 1989 UTM Zone 32N		
Prosjektnr.	Kartnr.	Rev.	
20190678	11	0	
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT Postboks 3930 Ullevål Stadion, 0806 OSLO Sognsveien 72 Tlf: 22 02 30 00 Faks: 22 23 04 48 www.ngi.no			
			

Vedlegg A

HISTORISKE FLYFOTO AV LINDUM
DRAMMEN



A1 Historiske flyfoto av Lindum Drammen



Figur 1 Flyfoto av Lindum Drammen tatt i 1977, helt i toppen av bildet mot nord ligger Knive gård.



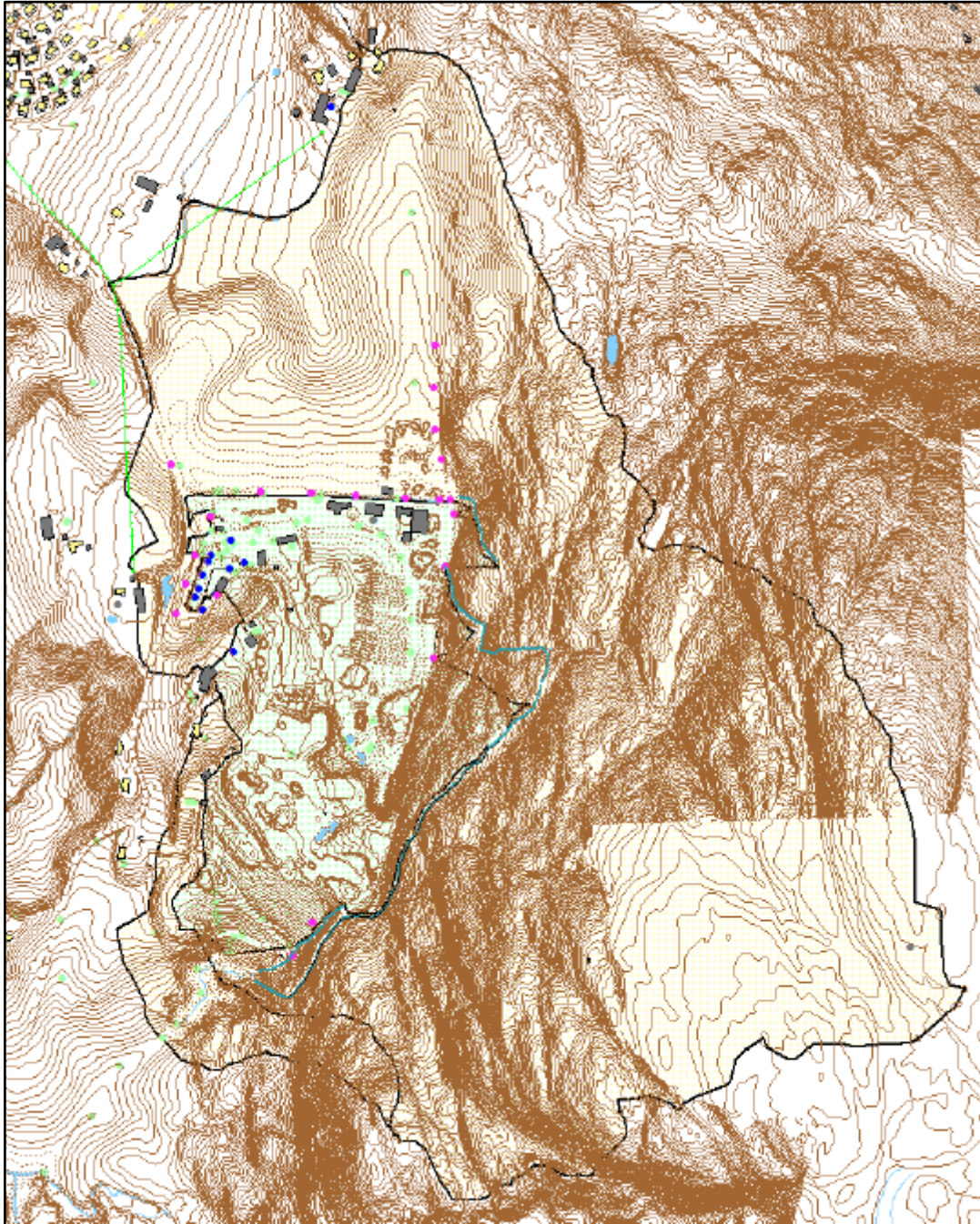
Figur 2 Flyfoto av Lindum Drammen tatt i 2003.

Vedlegg B

NEDBØRSFELT FOR LINDUM DRAMMEN



B1 Nedbørsfelt for Lindum Drammen



Figur 1 Nedbørsfelt for Lindum Drammen, merk at gult område ledes bort fra deponiet til overvannshåndteringen mens grønt område ledes til sigevannshåndtering.

Vedlegg C

KOORDINATER OG YTTERLIGERE
BESKRIVELSE AV PRØVEPUNKTER



C1 Posisjoner for prøvetakingspunkter

Tabell 1 Posisjoner for prøvepunkter ved Lindum Drammen.

Punkt	Posisjon (nord, WGS1984)	Posisjon (øst, WGS1984)	Kote (NN2000)	Kommentar
101 Lindum Sigevann fra PS	59.68157	10.26401		Antatt plassering
111 Lindum Bekk Oppstrøms	59.68888	10.27863		Antatt plassering
112 Lindum Bekk Nedstrøms deponi	59.68399	10.27045		Antatt plassering
113 Lindum Bekk Nedstrøms PS	59.68146	10.26338		Antatt plassering
131 Lindum Prøvebrønn 01	59.69096	10.27103	118.16	Målt inn med CPOS (HPres: 0,006; VPres: 0,011)*
133 Lindum Prøvebrønn 03	59.68425	10.27115	85.389	Målt inn med CPOS (HPres: 0,379; VPres: 0,805)*
134 Lindum Prøvebrønn 04	59.68434	10.27166	91.419	Målt inn med CPOS (HPres: 0,013; VPres: 0,03)*
135 Lindum Prøvebrønn 05	59.68435	10.27173	92.011	Målt inn med CPOS (HPres: 0,013; VPres: 0,03)*
103 Lindum Sediment fra PS	59.68157	10.26401		Antatt plassering
120 Lindum Rejectvann	59.6885	10.27307		Antatt plassering
114 Lindum Bekk sidebekk referanse	59.68088	10.26509		Antatt plassering
Lindum AS - 102 sigevann blandprøve (S)				Ukjent plassering
Sig fra vest (deponifront)	59.68443	10.27092		Antatt plassering
Vann fra 800 mm overvannsrør	59.68428	10.27258		Antatt plassering
Vann i pukken under 800 mm overvannsrør	59.68428	10.27258		Antatt plassering
Liten bekk fra øst (bakgrunn)	59.6839	10.27236		Antatt plassering

*HPres og VPres angir henholdsvis horisontal og vertikal presisjon i meter

Tabell 2 Oppsummering av kumkort for utvalgte kummer ved Lindum Drammen.

Kumnavn	157KS10OV	153KS10G	154KS14J	155KS15
Kumtype	Overvann	Sigevann	Sigevann	Sigevann
Materiale	Betong	Betong	Betong	Betong
Kumform	Sylinder	Sylinder	Kjegle, mellomdekk 2 m ned	Kjegle, mellomdekk 3 m ned
Dimensjon	0.8 m dia (usikker)	0.8 m dia (usikker)	1.5 m dia (usikker)	1.5 m dia (usikker)
Drenering			Nei	Nei
Dybde (m)			5	5
Vannstand			Vann i renne i bunn	Vann i renne i bunn
Teknisk tilstand	OK, noe tæring på kumlukk	OK, noe tæring på kumlukk	OK, noe tæring på kumlukk	OK, noe tæring på kumlukk
Posisjon (nord, WGS1984)	10.275107	10.275125	10.277709	10.277341
Posisjon (øst, WGS1984)	59.690817	59.690812	59.690516	59.689904
Høyde (NN2000)	117.886	117.89	119.005	118.704
Merknad	Kummen har lokk, ble ikke åpnet	Kummen har lokk, ble ikke åpnet		Utbedringer i rør inn i kummen pågikk under befaringen
Retning_Rør1	7	7	1	7
Strømningsretning_Rør1	Inn	Inn	Inn	Inn
Vannstrømning_Rør1			Stor	Stor
Dybde til topp av rør (m)_Rør1			Bunn	Bunn
Diameter (cm)_Rør1				30
Kommentar_Rør1	Åpnet ikke lokk	Åpnet ikke lokk		

Kumnavn	157KS10OV	153KS10G	154KS14J	155KS15
Retning_Rør2	3	3	5	2
Strømningsretning_Rør2	Ut	Ut	Inn	Inn
Vannstrømning_Rør2			Stor	
Dybde til topp av rør (m)_Rør2			Bunn	
Kommentar_Rør2	Åpnet ikke lokk	Åpnet ikke lokk		Kunne ikke se røret
Retning_Rør3			8	6
Strømningsretning_Rør3			Inn	Ut
Vannstrømning_Rør3			Middels	
Dybde til topp av rør (m)_Rør3			4	
Kommentar_Rør3				Kunne ikke se røret
Retning_Rør4			6	
Strømningsretning_Rør4			Inn	
Vannstrømning_Rør4			Middels	
Dybde til topp av rør (m)_Rør4			4	

Tabell 3 Oppsummering av kumkort for utvalgte kummer ved Lindum Drammen.

Kumnavn	152KS22F	151KDE	150KDC	153KDA	156KS14OV
Kumtype	Sigevann	Sigevann	Sigevann		
Materiale	Betong	Betong	Betong		
Kumform	Kjegle	Kjegle	Kjegle		
Dimensjon	2 m dia (usikker)	5 m dia (usikker)	5 m dia (usikker)		
Drenering	Nei	Nei	Nei		
Dybde (m)	4	5	5		
Vannstand	Vann i bunn	Vann i bunn	Vann i bunn		
Teknisk tilstand	OK, noe tæring på kumlukk	OK, noe tæring på kumlukk, begroing	OK		
Posisjon (nord, WGS1984)	10.271315	10.271463	10.271562	10.271612	10.277743
Posisjon (øst, WGS1984)	59.684425	59.684761	59.684738	59.684726	59.690513
Høyde (NN2000)	91.131	98.999	99.03	99.097	121.367
Merknad				Kun målt inn, foreligger ikke kumkort	Kun målt inn, foreligger ikke kumkort
Retning_Rør1	8	6	1		
Strømningsretning_Rør1	Inn	Ut	Inn		
Vannstrømning_Rør1	Ingen	Middels	Lav		
Dybde til topp av rør (m)_Rør1	1	Bunn	3		
Diameter (cm)_Rør1	10	30	20		
Farge på løsnings_Rør1		Grått	Blålig		

Kumnavn	152KS22F	151KDE	150KDC	153KDA	156KS14OV
Partikler i løøsning_Rør1		Litt	Lite		
Kommentar_Rør1			Punkt E i måleserie(?)		
Retning_Rør2	2	7	3		
Strømningretning_Rør2	Inn	Inn	Inn		
Vannstrømning_Rør2	Stor	Middels	Uvisst		
Dybde til topp av rør (m)_Rør2	Bunn	3m			
Diameter (cm)_Rør2	40	30			
Farge på løøsning_Rør2		Klart			
Kommentar_Rør2		Oransje rør	Står nesten helt under vann		
Retning_Rør3	6	7	7		
Strømningretning_Rør3	Ut	Inn	Ut		
Vannstrømning_Rør3	Stor	Lav	Uvisst		
Dybde til topp av rør (m)_Rør3	Bunn	3 m			
Diameter (cm)_Rør3	40	20			
Farge på løøsning_Rør3		Klart			
Kommentar_Rør3		Grått rør	Står nesten helt under vann		
Retning_Rør4		8			
Strømningretning_Rør4		Inn			
Vannstrømning_Rør4		Middels			
Dybde til topp av rør (m)_Rør4		3			

Kumnavn	152KS22F	151KDE	150KDC	153KDA	156KS14OV
Diameter (cm)_Rør4		30			
Kommentar_Rør4		Røret ender i sort vertikalt rør			
Retning_Rør5		8			
Strømningsretning_Rør5		Inn			
Vannstrømning_Rør5		Middels			
Dybde til topp av rør (m)_Rør5		3			
Diameter (cm)_Rør5		30 cm			
Kommentar_Rør5		Røret ender i sort vertikalt rør, ved siden av et øvrig rør			
Retning_Rør6		1			
Strømningsretning_Rør6		Inn			
Vannstrømning_Rør6		Middels			
Dybde til topp av rør (m)_Rør6		2			
Diameter (cm)_Rør6		20			
Retning_Rør7		4			
Strømningsretning_Rør7		Inn			
Vannstrømning_Rør7		Stor			
Dybde til topp av rør (m)_Rør7		Bunn			
Diameter (cm)_Rør7		30			

Vedlegg D

FELTMÅLINGER AV VANNKJEMI



D1 Feltmålinger av vannkjemi utført av NGI

Tabell 1 Konduktivitet og temperatur ved ulike dyp i vannsøylen i grunnvannsbrønner med filtre i morenesjikt ("135 Lindum Prøvebrønn 05") og i berg ("134 Lindum Prøvebrønn 04") ved deponifront målt den 3. april 2020.

Brønn	Dybde fra referansepunkt (m)*	Konduktivitet ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatur	Kommentar
134 Lindum Prøvebrønn 04	3.89	502	5.6	Grunnvanns-speil
	5	502	5.6	
	6	503	6	
	7	502	6.6	Plassering av logger frem til 2020-04-03
	8	502	7.1	
	9	502	7.5	
	10	499	7.8	
	11	500	7.9	
	12	502	8	
	13	620	8.3	Traff kant med konduktivitets-sensor
	14	699	8.4	Plassering av logger fra og med 2020-04-03
	15	699	8.4	
135 Lindum Prøvebrønn 05	4.68	330	4.2	Grunnvanns-speil
	6	718	5.3	
	7	720	6	Noe leire i bunnen

*Avstand målt fra brønnens kumring / forankringspunkt for logger.

Tabell 2 Feltemålinger av vannkjemi utført av NGI.

Dato	Punkt	pH	Temp	Ledningsevne ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Dybde til vannspeil (m)	Kommentar
20191025	135 Lindum Prøvebrønn 05	7.36	9.2	639	4.52	Før bruk av packer, dybde: 6,89 m
20191025	135 Lindum Prøvebrønn 05	7.34	9.4	620		
20191025	135 Lindum Prøvebrønn 05	7.63	9.3	634	6.1	Grumsa i brønn
20191025	135 Lindum Prøvebrønn 05				5.11	
20191025	135 Lindum Prøvebrønn 05				4.54	
20191025	135 Lindum Prøvebrønn 05				4.39	Etter tilbakespyling (packer), dybde: 7,1 m
20191025	134 Lindum Prøvebrønn 04	7.17	9.5	499	3.9	Dybde før spyling: 16.1
20191025	134 Lindum Prøvebrønn 04	6.97	9.5	499	4.3	
20191025	134 Lindum Prøvebrønn 04	30			4.8	Masse leire etter spyling med 1000 L vann
20191025	134 Lindum Prøvebrønn 04				3.8	Ved avreise, dybde: 16,7 m
20191025	112 Lindum Bekk Nedstrøms deponi	7.52	8.3	320	0.181*	
20191025	Sig fra vest (deponifront)	6.53	9.7	442		
20191025	Vann i pukken under 800 mm overvannsrør	7.29	9.4	250		
20191025	Vann fra 800 mm overvannsrør	7.48	8.5	329		
20191025	Liten bekk fra øst (bakgrunn)	7.92	8.3	302		
20191206	135 Lindum Prøvebrønn 05				4.42	
20191206	134 Lindum Prøvebrønn 04				3.78	
20191206	112 Lindum Bekk Nedstrøms deponi			182.3	0.285*	
20191206	Sig fra vest (deponifront)			387		
20191206	Vann fra 800 mm overvannsrør					

Dato	Punkt	pH	Temp	Ledningsevne ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Dybde til vannspeil (m)	Kommentar
20191217	112 Lindum Bekk Nedstrøms deponi			275	0.173*	
20191217	Vann fra 800 mm overvannsrør			288		
20200115	135 Lindum Prøvebrønn 05				4.37	
20200115	134 Lindum Prøvebrønn 04				3.735	
20200115	112 Lindum Bekk Nedstrøms deponi		2.5	130.6	0.319*	
20200115	Sig fra vest (deponifront)		4.9	363		
20200115	Vann fra 800 mm overvannsrør		2.5	142		
20200115	Liten bekk fra øst (bakgrunn)		2	32		
20200403	134 Lindum Prøvebrønn 04		3.89	502	3.89	
20200403	135 Lindum Prøvebrønn 05		4.68	330	4.68	
20200403	Vann fra 800 mm overvannsrør		20	556	0.2	
20200403	112 Lindum Bekk Nedstrøms deponi		5.6	600	0.08*	

*Verdien tilsvarer vannsøyle over nullpunkt for V-profilen i bekken nedstrøms deponiet

Vedlegg E

ANALYSERESULTATER FOR PRØVETAKING
UTFØRT AV NGI



E1 Analyseresultater fra prøvetaking utført av NGI

Tabell 1 Analyseresultater fra prøvetaking utført av NGI, analysert ved EuroFins (analysebevis oversendes på forespørsel).

Parameter	Enhet	Sig fra vest (deponifront)	112 Lindum Bekk Nedstrøms deponi	Vann fra 800 mm overvanns- rør	Vann i pukken under 800 mm overvanns- rør	Liten bekk fra øst (bakgrunn)	134 Lindum Prøve- brønn 04	134 Lindum Prøve- brønn 04 (filtrert)*	135 Lindum Prøve- brønn 05	135 Lindum Prøve- brønn 05 (filtrert)*
Fluorid (F)	mg/l	0.63	0.36	0.37	0.31	0.33	2.2	2.1	1.7	1.9
Klorid (Cl)	mg/l	12	12	13	13	12	15	16	24	24
Sulfat (SO ₄)	mg/l	100	40.4	37.4	37.3	36.9	43	44.6	44.7	45.1
Total Fosfor	µg/l	20	50	47	46	34	15		57	
Total Nitrogen	µg/l	7100	5600	6300	6100	5900	360		870	
Ammonium (NH ₄ -N)	µg/l	80	580	830	300	650	<5		610	
Løst organisk karbon (DOC)	mg/l	7.9	8.8	9.2	9.2	9	3	1.6	5.1	3.7
Arsen (As), oppsluttet	µg/l	0.4	0.56	0.49	0.52	0.59	1.2		5	
Arsen (As), filtrert	µg/l	0.26	0.36	0.39	0.36	0.38		0.38		0.57
Bly (Pb), oppsluttet	µg/l	0.74	0.88	0.35	1.1	0.34	< 0.20		0.96	
Bly (Pb), filtrert	µg/l	0.086	0.064	0.068	0.043	0.074		< 0.010		< 0.010

Parameter	Enhet	Sig fra vest (deponifront)	112 Lindum Bekk Nedstrøms deponi	Vann fra 800 mm overvanns- rør	Vann i pukken under 800 mm overvanns- rør	Liten bekk fra øst (bakgrunn)	134 Lindum Prøve- brønn 04	134 Lindum Prøve- brønn 04 (filtrert)*	135 Lindum Prøve- brønn 05	135 Lindum Prøve- brønn 05 (filtrert)*
Kadmium (Cd), oppsluttet	µg/l	0.3	0.066	0.057	0.078	0.056	< 0.010		< 0.010	
Kadmium (Cd), filtrert	µg/l	0.28	0.035	0.033	0.025	0.031		< 0.0040		< 0.0040
Kobber (Cu), oppsluttet	µg/l	17	5.7	4.9	5.6	5.3	< 0.50		2.3	
Kobber (Cu), filtrert	µg/l	11	3.4	2.9	3.4	3		< 0.050		0.8
Krom (Cr), oppsluttet	µg/l	0.65	0.73	< 0.50	0.67	0.81	< 0.50		< 0.50	
Krom (Cr), filtrert	µg/l	0.16	0.15	0.18	0.17	0.15		< 0.050		0.069
Kvikksølv (Hg), oppsluttet	µg/l	< 0.005	< 0.005	< 0.005	< 0.005	0.008	< 0.005		< 0.005	
Kvikksølv (Hg), filtrert	µg/l	0.005	0.004	0.004	0.005	0.004		< 0.002		0.007
Nikkel (Ni), oppsluttet	µg/l	3.6	3	2.8	3.3	3.4	0.68		2.7	
Nikkel (Ni), filtrert	µg/l	2.4	2.1	2.3	2.3	2.2		0.36		2.3
Sink (Zn), oppsluttet	µg/l	100	14	9.7	10	9.9	< 2.0		11	
Sink (Zn), filtrert	µg/l	80	6.4	4.7	4.9	4.1		0.67		8

Parameter	Enhet	Sig fra vest (deponifront)	112 Lindum Bekk Nedstrøms deponi	Vann fra 800 mm overvanns- rør	Vann i pukken under 800 mm overvanns- rør	Liten bekk fra øst (bakgrunn)	134 Lindum Prøve- brønn 04	134 Lindum Prøve- brønn 04 (filtrert)*	135 Lindum Prøve- brønn 05	135 Lindum Prøve- brønn 05 (filtrert)*
Aluminium (Al), oppsluttet	µg/l	270	490	280	530	240	< 5.0		42	
Aluminium (Al), filtrert	µg/l	98	50	59	42	67		1		< 1.0
Antimon (Sb), oppsluttet	µg/l	0.25	0.21	0.22	0.22	< 0.20	< 0.20		< 0.20	
Antimon (Sb), filtrert	µg/l	0.22	0.2	0.21	0.22	0.21		< 0.020		< 0.020
Barium (Ba), oppsluttet	µg/l	28	21	17	16	15	140		32	
Barium (Ba), filtrert	µg/l	28	15	15	16	15		110		17
Jern (Fe), oppsluttet	µg/l	800	410	440	1100	370	340		3700	
Jern (Fe), filtrert	µg/l	160	67	100	48	68		2.2		13
Kalium (K), oppsluttet	mg/l	5.6	6.4	7.4	6.8	6.7	4.6		4.4	
Kalium (K), filtrert	mg/l	5.5	6.2	6.8	7.2	6.4		4.3		4.3
Kobolt (Co), filtrert	µg/l	0.85	0.29	0.3	0.28	0.32		0.048		0.13
Kobolt (Co), oppsluttet	µg/l	1.1	0.59	0.48	0.49	0.52	0.07		0.19	

Parameter	Enhet	Sig fra vest (deponifront)	112 Lindum Bekk Nedstrøms deponi	Vann fra 800 mm overvanns- rør	Vann i pukken under 800 mm overvanns- rør	Liten bekk fra øst (bakgrunn)	134 Lindum Prøve- brønn 04	134 Lindum Prøve- brønn 04 (filtrert)*	135 Lindum Prøve- brønn 05	135 Lindum Prøve- brønn 05 (filtrert)*
Magnesium (Mg), oppsluttet	mg/l	11	6.4	6.5	6	6	7.9		12	
Magnesium (Mg), filtrert	mg/l	10	5.7	5.8	5.9	5.4		7.5		11
Mangan (Mn), oppsluttet	µg/l	510	130	130	120	110	350		2600	
Mangan (Mn), filtrert	µg/l	430	48	40	17	57		16		1400
Molybden (Mo), oppsluttet	µg/l	5.3	6.8	7.9	7.5	7.5	1.6		25	
Molybden (Mo), filtrert	µg/l	4.5	5.9	6.4	6.2	6.5		1.4		22
Natrium (Na), oppsluttet	mg/l	14	12	13	12	13	67		60	
Natrium (Na), filtrert	mg/l	13	11	12	12	11		62		55
Selen (Se), oppsluttet	µg/l	< 0.60	< 0.60	< 0.60	< 0.60	< 0.60	< 0.60		< 0.60	
Selen (Se), filtrert	µg/l	0.13	0.13	0.17	0.13	0.14		< 0.060		< 0.060
Svovel (S), oppsluttet	mg/l	35	15	14	14	14	1600		17	
Svovel (S), filtrert	mg/l	42	18	18	18	17		20		21

Parameter	Enhet	Sig fra vest (deponifront)	112 Lindum Bekk Nedstrøms deponi	Vann fra 800 mm overvanns- rør	Vann i pukken under 800 mm overvanns- rør	Liten bekk fra øst (bakgrunn)	134 Lindum Prøve- brønn 04	134 Lindum Prøve- brønn 04 (filtrert)*	135 Lindum Prøve- brønn 05	135 Lindum Prøve- brønn 05 (filtrert)*
Kalsium (Ca), filtrert	mg/l	51	34	35	36	34		33		52
Kalsium (Ca), oppsluttet	mg/l	60	41	44	41	39	39		61	

*Det ble samlet en egen filtrert prøve fra de to prøvetatte brønnene, mens øvrige prøver ble filtrert på lab.

Dokumentinformasjon/Document information		
Dokumenttittel/Document title Oppsummering av spredningshypoteser og forslag til videre arbeid		Dokumentnr./Document no. 20190678-01-R
Dokumenttype/Type of document Rapport / Report	Oppdragsgiver/Client Lindum AS	Dato/Date 2020-06-16
Rettigheter til dokumentet iht kontrakt/ Proprietary rights to the document according to contract NGI		Rev.nr.&dato/Rev.no.&date 0
Distribusjon/Distribution BEGRENSET: Distribueres til oppdragsgiver og er tilgjengelig for NGIs ansatte / LIMITED: Distributed to client and available for NGI employees		
Emneord/Keywords Deponi, sigevann, tiltak		

Stedfesting/Geographical information	
Land, fylke/Country Norge, Viken	Havområde/Offshore area
Kommune/Municipality Drammen	Felt navn/Field name
Sted/Location Lindum	Sted/Location
Kartblad/Map 34III	Felt, blokknr./Field, Block No.
UTM-koordinater/UTM-coordinates Sone: 32V Øst: 571617 Nord: 6617417	Koordinater/Coordinates Projeksjon, datum: Øst: Nord:

Dokumentkontroll/Document control Kvalitetssikring i henhold til/Quality assurance according to NS-EN ISO9001					
Rev/Rev.	Revisjonsgrunnlag/Reason for revision	Egenkontroll av/ Self review by:	Sidemanns- kontroll av/ Colleague review by:	Uavhengig kontroll av/ Independent review by:	Tverrfaglig kontroll av/ Inter- disciplinary review by:
0	Originaldokument	2020-05-15 Andreas B. Smebye	2020-05-20 Gudny Okkenhaug		

Dokument godkjent for utsendelse/ Document approved for release	Dato/Date 16. juni 2020	Prosjektleder/Project Manager Andreas Botnen Smebye
--	-----------------------------------	---

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen ingeniørrelaterte geofag. Vi tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg, og hvordan jord og berg kan benyttes som byggegrunn og byggemateriale.

Vi arbeider i følgende markeder: Offshore energi – Bygg, anlegg og samferdsel – Naturfare – Miljøteknologi.

NGI er en privat næringsdrivende stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskaper i Houston, Texas, USA og i Perth, Western Australia.

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting within the geosciences. NGI develops optimum solutions for society and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the following sectors: Offshore energy – Building, Construction and Transportation – Natural Hazards – Environmental Engineering.

NGI is a private foundation with office and laboratories in Oslo, a branch office in Trondheim and daughter companies in Houston, Texas, USA and in Perth, Western Australia

www.ngi.no

