

Infrastruktur Ørestad

Ørestad Syd

Geotekniske, hydrogeologiske og geofysiske undersøgelser
Datarapport

Juli 2004

Revideret juni 2006

Sag 041802F
J.nr. IH-2-06-029.1
Udg.
Dato 2006-07-03

Udarb.
Kontrol
Godk.

JCH/JIJ/HNB
RMH/UTN
STB

Indholdsfortegnelse

1.	Generelt	3
1.1	Projekt	3
1.2	Undersøgelsens formål	3
1.3	Undersøgelsesernes omfang	4
1.3.1	Ammunitionsrydning	4
1.3.2	Geotekniske undersøgelser - Borearbejde	4
1.3.3	Hydrogeologiske undersøgelser	7
1.3.4	Geofysiske undersøgelser	8
1.3.4.1	Bestemmelse af Carlsbergforkastningens placering - Slæbeseismik	8
1.3.4.2	Slæbeseismik - metode	8
2.	Jordbundsforhold	9
2.1	Terrænforhold	9
2.2	Boringer udført før april 2004	9
2.3	Boringer udført for projektforslag april - juni 2004	10
2.4	Boringer udført for pumpestation Ørestad Syd september 2005	12
3.	Grundvandsforhold	13
3.1	Pejlinger i boringer udført for projektforslag april - juni 2004	13
3.2	Pejlinger i boringer udført for pumpestation Ørestad Syd september 2005	14
3.3	Prøvepumpning i boring I4C-G023K	14
3.3.1	Pumpningen	14
3.3.2	Vandprøvetagning	15
3.3.3	Tolkning af prøvepumpningsresultater	15
3.3.3.1	Tolkningsmetoder	15
3.3.3.2	Pumpeboring I4C-G023K	15
3.3.3.3	Pejleboringer	16
4.	Resultater af geofysiske undersøgelser	16
4.1	Slæbeseismik - Præsentation af resultater	16
5.	Lidt om Carlsbergforkastningen	17
6.	Diverse	18

Bilag:

Tegn.nr. SK-IH-2-006	Geoteknik - Situationsplan
Tegn.nr. 2.200	Signaturforklaring og definitioner
Tegn.nr. 2.201-2.238	Geotekniske borerer udført april - juni 2004
Tegn.nr. 2.301-2.332	Øvrige geotekniske borerer udført i perioden 1969 til 2005
Tegn.nr. 2.401-2.411	Resultater af sigte-/slemmeanalyser
Tegn.nr. 2.501	Grundvandspotentiale i primært magasin. Dataloggerresultater og håndpejlinger i boring I4B-H001K og I4C-H004K i perioden 8. - 23. juni 2004
Tegn.nr. 2.502	Grundvandspotentiale i primært magasin. Potentialekort og Carlsbergforkastning
Tegn.nr. 2.503	Grundvandspotentiale i primært magasin. Dataloggerresultater og håndpejlinger i boring I4B-H001K og I4D-H002K i perioden 12. juni 2004 til 16. november 2005
Tegn.nr. 2.603	Slæbeseismisk undersøgelse linie 1
Bilag nr. 1A	Prøvepumpning. Aritmetisk præsentation af afsænkings- og stigningsforløbet
Bilag nr. 1B	Transmissivitet vurderet ud fra prøvepumpningsresultater
Bilag nr. 1C	Afsænkingskurver fra prøvepumpningen
Bilag nr. 1D	Kemisk analyse af vandprøver

1. Generelt

1.1 Projekt

Nærværende undersøgelser, udført i perioden april – juni 2004, er udført som grundlag for udarbejdelse af projektforslag for infrastrukturen i Ørestad Syd, omfattende kanalsystemer, veje, ledninger i jord mv.

Det undersøgte område, der tidligere var en del af Kalvebod Fælled, omfatter den sydvestlige del af Ørestad afgrænset mod nord af Hannemanns Allé, mod øst af Ørestad Boulevard og mod syd af Kalvebod Sti.

Undersøgelserne er udført som en orienterende undersøgelse med henblik på at give et overordnet overblik over jordbunds- og grundvandsforholdene i det undersøgte område, særligt for etablering af veje, ledninger og kanaler.

Foruden de boringer, der er udført som grundlag for udarbejdelse af projektforslaget for infrastrukturen i Ørestad Syd, er i denne rapport endvidere medtaget relevante oplysninger om boringer i ØSS's geotekniske database, der er udført før april 2004. Det drejer sig om i alt 29 boringer. Endvidere er medtaget de senest udførte boringer i Ørestad Syd, i alt tre boringer udført for pumpestation Ørestad Syd i september 2005.

Forud for etablering af egentlige bygværker, herunder pumpestationer, særligt dybe ledninger, P- og cykelkældre mv., skal der gennemføres egentlige projektundersøgelser, hvor nærværende undersøgelser selvsagt vil kunne inddrages.

Den undersøgte del af Ørestad er vist på situationsplanen, tegn. nr. SK-IH-2-006, hvoraf det undersøgte områdes udstrækning fremgår med angivelse de geotekniske boringers placering.

1.2 Undersøgelsens formål

Formålet med de udførte geotekniske, hydrogeologiske og geofysiske undersøgelser har været:

- at uddybe kendskabet til jordbunds- og grundvandsforholdene i Vestamager bykvarter med henblik på udarbejdelse af projektforslag for kanaler, veje, ledninger i jord samt eventuelle mindre anlægskonstruktioner i forbindelse hermed
- at forøge kendskabet til kalkoverfladens beliggenhed samt Carlsbergforkastningen, der gennemskærer området
- at skabe et grundlag for en vurdering af behov for bundtætning af kanaler og søer i byområdet, samt vurdere de stedlige lerforekomsters egnethed som membranmateriale

1.3 Undersøgelsernes omfang

1.3.1 Ammunitionsrydning

Kalvebod Fælle er et tidligere skydebaneterræn, hvorfor der forud for (næsten) alt jordarbejde skal foretages ammunitionsrydning af det aktuelle område for forsaget ammunition. I forbindelse med det foretagne borearbejde har det derfor været nødvendigt at foretage ammunitionsrydning på flere borelokaliteter forinden borearbejdets påbegyndelse.

Der er tidligere foretaget "overfladerydning" på det undersøgte areal, hvorfor der i forbindelse med nærværende undersøgelser alene er foretaget "dybdesøgning".

Dybdesøgningen er foretaget for borer, hvor fyldlagernes tykkelse er mindre end ca. 2,2 m. Hvor fyldlagernes tykkelse oversteg 2,2 m er der efter aftale med Forsvaret ikke foretaget dybdesøgning, idet det samlede jorddække regnet fra nuværende terrænniveau til niveauet for underside af overfladerydningens udstrækning (svarende til 0,8 m under oprindeligt terrænniveau) overstiger 3,0 m.

1.3.2 Geotekniske undersøgelser - Borearbejde

Der er udført i alt 38 stk. 6" eller 8" geotekniske og hydrogeologiske borer. Boringernes placering er vist på situationsplanen, tegn.nr. SK-IH-2-006 og boringsnumre fremgår af tabel 1.1 nederst i dette afsnit.

Borearbejdet er udført af Per Aarsleff A/S i perioden mellem den 22. april og 16. juni 2004. Boringerne er afsat og koteret af Rambøll. Koter refererer til system DVR90.

I alt 10 planlagte borer i den vestlige og sydvestlige del af området har ikke kunnet udføres pga. terræn- og bundforholdene, enten fordi området stod under vand eller fordi bunden var opblødt pga. nedbør. I områdets sydøstlige del har enkelte borer tilsvarende måtte flyttes pga. opblødt eller vandlidende bund. Således har eksempelvis boring I4D-H002K måtte flyttes to gange efter nedbør til en endelig position beliggende ca. 60 m fra den planlagte borelokalitet.

Det har til flere af borelokaliteterne været nødvendigt at etablere jordramper op ad de udlagte fylddepoter i området for at sikre adgang for boreriggene, ligesom det har været nødvendigt at etablere adgang over de dybe grøfter som gennemskærer området.

De stedlige fylddepoter har i nogen grad været bestemmende for den endelige placering af flere borelokaliteter, idet der af praktiske grunde ikke kan bores på depoternes skråninger, men skal bores fra plant terræn. Boringerne er dog ikke flyttet mere end højst ca. 10 m fra de planlagte positioner af denne årsag.

Flere af borerne er stoppet på sten i forskellige niveauer, hvilket har betydet at de eller andre nærliggende borer er søgt uddybet. I den nordlige del af området langs arbejdsvejen følgende tracéet for den planlagte Bydelsboulevard Ørestad Syd er tre borer stoppet på sten i omtrent samme niveau. Der blev derfor mobiliseret en kraftigere 8" borerig med henblik på at gennembore stenlaget. Dette blev forsøgt i én af de tre nævnte positioner, men måtte opgives igen pga. jordens fasthed. I de to resterende positioner var markeringerne af borepositionerne fjernet eller kørt ned, sandsynligvis som følge af de igangværende jordarbejder i området, og borearbejdet i disse positioner blev derfor opgivet da der ikke på kort tid kunne træffes aftale om fornyet afsætning og ammunitionsrydning.

I yderligere én position var markeringen af borelokaliteten fjernet efter mobilisering af boreriggen, hvorfor boring I4A-H002K blev flyttet til en markeret, ammunitionsryddet position ved boring I4A-G008, med henblik på, at få udført en hydrogeologisk boring i kalken i denne del af området.

I de udførte borer er der registreret laggrænser samt udtaget omrørte prøver. I ler og silt er der til en dybde af ca. 5 m i alle borer udført vingeforsøg til vurdering af de kohæsive jordlags (ler, finsilt) udrænedes forskydningsstyrke c_u .

I udvalgte borer er der nedsat $\varnothing 25$ mm pejlerør eller $\varnothing 63$ mm filterrør til fortsat indmåling af grundvandsspejlets variation.

De optagne prøver er i laboratoriet blevet geologisk bedømt, og for udvalgte prøver er der foretaget bestemmelse af det naturlige vandindhold. Endvidere er der på udvalgte prøver udført forsøg til bestemmelse af konsistensgrænser og plasticitetsindex (i alt 21 stk.) samt sigte-/slemmeanalyser (i alt 12 stk.). De udførte sigte-/slemmeanalyser er udført på eksternt laboratorium.

Udtagelsen af prøver for bestemmelse af konsistensgrænser og plasticitetsforsøg er sket i de niveauer, hvor afgravning for kanal og søer forventes at ville finde sted.

I tabel 1.1 nedenfor er borearbejdet resumeret med angivelse af boreddybder, filterstørrelse og eventuelle bemærkninger og kommentarer til markarbejdets forløb.

Boring nr.	Terræn-kote [m]	Bore-dybde [m]	Filter-dimen-sion [mm]	Bemærkninger
I3D-G008	+0,71	6,0	-	-
I4A-G002	+1,19	4,7	-	Boring stoppet på sten. Efterfølgende søgt uddybet med 8"-borerig, men boringsmarkering var fjernet/tildækket
I4A-G003	+1,31	4,0	-	Boring stoppet på sten. Efterfølgende søgt uddybet med 8"-borerig, men boringsmarkering var fjernet/tildækket
I4A-G004	+1,87	5,2	-	Boring stoppet på sten. Efterfølgende søgt uddybet med 8"-borerig uden held. 8"-boring atter standset på sten efter 2 timers fræsning.
I4A-G005	+2,20	5,0	-	-
I4A-G006	+0,20	6,0	ø25	-
I4A-G008	+0,73	6,0	ø25	-
I4A-H002K	+0,75	11,5	ø63	Boringsmarkering fjernet efter ammunitionsrydning og kotering. Boring flyttet til boring I4A-G008.
I4B-G001	+0,98	12,5	ø63	Oprindeligt tænkt udført som hydrogeologisk boring til kalk, men boring er stoppet på sten.
I4B-G002	+0,27	5,0	ø25	-
I4B-G003	+0,61	5,0	-	-
I4B-H001K	+0,89	18,0	ø63	Udført i kalk som erstatning for boring I4B-G001, se denne.
I4C-G001	+2,10	5,5	-	-
I4C-G002	+2,16	5,0	-	-
I4C-G004	±0,00	5,0	-	-
I4C-G011	+0,15	5,0	-	-
I4C-G012	+0,35	5,0	ø25	-
I4C-G013	+0,46	5,0	ø25	-
I4C-G014	+1,73	5,0	-	-
I4C-G015	+2,14	6,0	-	-
I4C-G016	+2,33	5,0	ø25	-
I4C-G017	+2,36	8,0	-	Boring uddybet fra oprindeligt 6,0 til 8,0 m u.t. pga. hindringer i grunden ved boring I4C-G018 og I4C-H002.
I4C-G018	+2,17	5,5	ø25	Boring stoppet på sten. Adgang for efterfølgende uddybning af boringen forhindret

Boring nr.	Terræn- kote [m]	Bore- dybde [m]	Filter- dimen- sion [mm]	Bemærkninger
				pga. opfyldningsarbejder i området.
I4C-G019	+2,85	9,0	-	Boring uddybet fra oprindeligt 6,0 til 9,0 m u.t. pga. hindringer i grunden ved boring I4C-H002.
I4C-G020	+1,57	8,0	ø25	Boring uddybet fra oprindeligt 6,0 til 8,0 m u.t.
I4C-G021	+1,73	6,0	-	-
I4C-G022	+2,51	6,0	-	-
I4C-H001	+2,66	4,7	-	Boring stoppet på sten
I4C-H002	+2,06	5,0	ø25	Boring stoppet på sten
I4C-H003K	+2,00	15,0	ø63	-
I4C-H004K	+0,09	12,1	ø63	-
I4D-G004	+0,20	5,0	ø25	-
I4D-G005	+2,30	5,0	-	-
I4D-G006	+0,30	5,0	ø25	-
I4D-G007	+0,46	5,0	-	-
I4D-G008	+0,48	5,0	-	-
I4D-G009	+0,38	4,3	ø25	Boring stoppet på sten
I4D-H002K	+0,96	20,6	ø63	Boring flyttet 2 gange pga. adgangsforhold (vådt terræn efter nedbør)

Tabel 1.1 Resumé af det udførte borearbejde.

1.3.3 Hydrogeologiske undersøgelser

Som det fremgår af tabel 1.1 er der sat et ø25 mm pejlerør i de korte borerer for pejling af øvre sekundære vandspejl, mens de dybe borerer er forsynet med ø 63 mm pejlerør for registrering af det primære grundvandspotentiale i kalken.

Følgende borerer er ført til kalk og filtersat her med ø63 mm pejlerør: I4C-H004K, I4D-H002K, I4C-H003K, I4A-H002K og I4B-H001K.

I perioden 8. – 23. juni har der været placeret dataloggere i borererne I4B-H001K og I4C-H004K for kontinuert registrering af det primære grundvandspotentiale i kalken. Dataloggernes frekvens er stillet til 1 måling i timen.

Tilsvarende har der i perioden 12. juni 2004 til 16. november 2005 været placeret dataloggere i borererne I4B-H001K og I4D-H002K.

Boringernes placering fremgår af den geotekniske situationsplan tegn. nr. SK-IH-2-006.

1.3.4 Geofysiske undersøgelser

1.3.4.1 Bestemmelse af Carlsbergforkastningens placering – Slæbeseismik

For at lokalisere Carlsbergforkastningen, hvor den skærer Ørestadsområdet mod syd er der udført en slæbeseismiskundersøgelse langs en ca. 2,1 km lang linie på Kalvebod Sti. Metoden er kort beskrevet nedenfor. Data er indsamlet fra øst mod vest. Tolkninger og linieføringen fremgår af tegn. nr. 2.603.

1.3.4.2 Slæbeseismik – metode

Undersøgelsen blev udført med en IVI Minivib T7000 seismisk vibrator som energikilde. Vibratoren har en samlet vægt på 3,5 ton og er specielt designet til at udføre højopløselige seismiske kortlægninger ned til 1000-1500 meters dybde. Det anvendte geofonslæb er udstyret med 102 stk. 14 Hz L10 AI geofoner fra Mark Products monteret på stålsælader og fastgjort til et stålwire-forstærket slæbebånd. Stålsæladerne er konstrueret, så de giver maksimal kontakt til underlaget, hvad enten der er tale om asfalt-, grus- eller markveje, og slæbebåndet er forstrakt for at undgå trækstøj langs kablet.

Ved udførelsen af målingerne udsendes et såkaldt sweep af vibrationer, hvor frekvensen af det udsendte signal øges fra 50 til 400 Hz over en periode på 5 s. På seismografen registreres data fra geofonslæbet både under selve sweep'et samt 1,5 s. herudover, i alt 6,5 s.

Den første kanal på geofonslæbet benyttes til registrering af det såkaldte pilot-trace, som repræsenterer det udsendte signal. Når en optagelse er slut foretages en krydskorrelation mellem pilot-trace't og de registrerede data (såkaldt vibroseiskorrelation, hvor det udsendte signal af-foldes fra de registrerede data), og resultatet af denne korrelation er en seismisk optagelse med en længde på 1,5 s. Der sweep'es 4 gange på hvert vibrationspunkt og de enkelte sweep's summeres for at forbedre signal/støj-forholdet i data. Undersøgelsen er udført med en afstand på 10 m mellem de enkelte vibrationspunkter, og når vibratoren kører fra vibrationspunkt til vibrationspunkt, trækkes geofonslæbet med. De anvendte optageparametre er angivet i tabel 1.2 herunder.

Behandlingen af data er foretaget på en Promax UNIX-arbejdsstation af det tyske firma TEEC i samarbejde med Rambøll. Processeringssekvensen er løbende blevet diskuteret, og de endelige parametervalg er godkendt af Rambøll. På tegn. nr. 2.603 er angivet et flowchart, som viser den anvendte processeringssekvens og den indbyrdes sammenhæng mellem de enkelte processeringstrin.

På baggrund af de beregnede hastigheder for lavhastighedslaget og den øverste refraktor er der foretaget et datum-skift af de seismiske data, så 0 ms tovejs-løbetid svarer til kote 0 m langs hele det seismiske profil. Der er ikke angivet en koteskala på profilet, men i kalkenheden svarer 1 ms til 1 m. Dette er en grov approk-

simation og kan kun benyttes som et fingerpeg, da den blandt andet ikke tager højde for lokale hastighedsvariationer.

Afstand mellem vibrationspunkter	10 m
Antal aktive kanaler (ekskl. pilot-trace)	101
Afstand mellem vibrator og geofon 1	2,5 m
Indbyrdes afstand mellem geofon 1-49	1,25 m
Indbyrdes afstand mellem geofon 49-92	2,5 m
Indbyrdes afstand mellem geofon 92-102	5 m
Længde af optagevindue efter korrelation	1500 ms
Sample afstand	0,5 ms
CMP-punkt afstand (efter binning)	5 m
Maksimal stakfold (efter binning)	51

Tabel 1.2 Slæbeseismik - Optageparametre

2. Jordbundsforhold

2.1 Terrænforhold

Det undersøgte område var oprindeligt beliggende med terræn i ca. kote ± 0 à $+0,5$ m, men er i den nordlige del efterfølgende flere steder opfyldt til mellem ca. kote $+2$ à $+3$ m.

2.2 Boringer udført før april 2004

Langt hovedparten af de boringer i ØSS's geotekniske database, der er udført før april 2004, er koncentreret omkring tracéet for Metroen og i området mellem Hannemanns Allé og den øst-vestgående arbejdsvej, der følger tracéet for den planlagte Bydelsboulevard Ørestad.

Der er i databasen fundet i alt 29 boringer, der er vurderet relevante i forbindelse med nærværende rapportering. Alle de boringer der er udtrukket af databasen er udført til 3 m u.t. eller dybere.

I henhold til de tidligere udførte boringer består jordbundsforholdene langt overvejende af morænale aflejringer af moræneler og -sand. I enkelte af de udvalgte boringer er der truffet indslag af smeltevandssand og -grus på hyppigt under 1 meters tykkelse.

Kalken er truffet i 5 boringer (boring I3C-G006K, I4A-G001K, C6142, K1, K7) i niveauer mellem ca. kote $-10,5$ à $-4,8$ m. Det er dog usikkert, hvorvidt der i boring K1 og K7 er tale om det reelle niveau for kalken eller om der er tale om løse flager.

Boreprofiler for de boringer, der er udført før april 2004, er vedlagt som tegn. nr. 2.301 til 2.329. Opmærksomheden henledes på, at terrænkoter på boreprofilerne

fra før april 2004 referere til Københavns Nulpunkt (KN) eller, for ældre profiler, system DNN GI.

2.3

Boringer udført for projektforslag april – juni 2004

I de boringer, der er udført for projektforslaget for Infrastrukturprojektet for Ørestad Syd er der under muld- og/eller fyldlag af varierende tykkelse (indtil 2,8 m) hovedsageligt truffet moræneler og –sand. De morænale aflejringer er truffet med mindre indslag af smeltevandssand og –grus. I boring I4D-H002K adskilles de morænale aflejringer dog af ca. 3,0 m smeltevandssand mellem ca. kote –9,2 m og –12,2 m, ligesom der i boring I4B-H001K, I4A-H002K og I4C-H003K er truffet henholdsvis 1,0, 2,6 og 6,9 m smeltevandssand og/eller –grus direkte over kalken. De trufne sandlag i boring I4B-H001K, I4A-H002K og I4C-H003K har overside i henholdsvis ca. kote –13,0 m, kote –5,0 m og kote –3,8 m.

Som beskrevet ovenfor i afsnit 1.3.2 er flere af boringerne stoppet på sten. I den nordlige del af området langs arbejdsvejen følgende tracéet for den planlagte Bydelsboulevard Ørestad er tre boringer i en øst-vestgående linie standset på sten i omtrent samme niveau 4,2 à 5,2 m u.t. Det har ikke været muligt at gennembore dette lag med den benyttede boremethode (tørrotationsboring 6" og 8"). Det vurderes, at der på denne lokalitet kan være tale om en egentlig "brolægning" af sten som tidligere truffet i forbindelse med anlæggelsen af Bydelskanalen og Hovedkanalen (sektion I og II) i Ørestad City. I forbindelse med udgravninger udført for Bydelskanalen 1999 blev der således truffet et ca. 0,5 m tykt stenlag med overside i kote –0,6 m (KN).

Under de glaciæle moræne- og smeltevandssaflejringer er truffet kalk. Kalken er truffet i boring I4A-H002K, I4B-H001K, I4C-H003K, I4C-H004K og I4D-H002K i henholdsvis kote –7,6 m, –13,9 m, –10,7 m, –10,0 m og –17,7 m.

De udførte vingeforsøg i lerfylden viser stærkt varierende vingestyrker mellem 30 og ca. 407 kN/m².

De udførte vingeforsøg i de intakte aflejringer af moræneler viser, at de morænale leraflejringer generelt er særdeles faste med gode styrke- og deformationsegenskaber. Der er således målt vingestyrker i intervallet fra ca. 100 til >700 kN/m². Hovedparten af de målte vingestyrker ligger dog i intervallet fra ca. 330 til >700 kN/m².

Resultaterne af de udførte plasticitetsforsøg og sigte-/slemmeanalyser fremgår af nedenstående tabel 2.1.

Boring	Prøve nr.	w _L [%]	w _P [%]	I _p [%]	Ler-indhold [%]
I4B-G001	4	25,9	13,7	12,2	-
I4B-G001	3	-	-	-	25,7
I4B-G002	29	24,1	13,2	10,9	-
I4B-G002	28	-	-	-	25,0
I4B-G002	30	-	-	-	27,4
I4B-G003	41	17,4	10,3	7,1	-
I4B-G003	42	20,2	11,6	8,6	-
I4B-G003	40	-	-	-	26,2
I4C-G011	446	24,1	12,5	11,6	-
I4C-G011	447	24,1	13,0	11,1	-
I4C-G012	435	23,3	12,3	11,0	-
I4C-G012	436	-	-	-	25,8
I4C-G018	87	22,7	12,3	10,4	-
I4C-G018	86	-	-	-	27,5
I4C-G019	597	24,3	11,5	12,8	-
I4C-G019	598	-	-	-	27,6
I4C-G019	599	22,4	11,8	10,6	-
I4C-G021	536	21,3	12,1	9,2	-
I4C-G021	537	19,5	11,4	8,1	-
I4C-H001	97	25,9	12,5	13,4	-
I4C-H001	96	-	-	-	28,0
I4C-H004K	241	25,6	12,2	13,4	-
I4C-H004K	242	25,1	12,8	12,3	-
I4D-G005	576	22,3	12,5	9,8	-
I4D-G005	577	-	-	-	28,4
I4D-G006	425	20,9	11,5	9,4	-
I4D-G006	424	-	-	-	28,0
I4D-G007	414	25,6	12,5	13,1	-
I4D-G007	415	-	-	-	24,7
I4D-G008	403	23,6	12,0	11,6	-
I4D-G008	404	-	-	-	26,5
I4D-G009	63	16,6	10,4	6,2	-
I4D-H002K	200	21,4	12,4	9,0	-

Tabel 2.1 Resultaterne af de udførte plasticitetsforsøg og sigte-/slemmeanalyser

Samtlige resultater fra mark- og laboratoriearbejdet fremgår detaljeret af boreprofilerne, tegn.nr. 2.201-2.238, og sigtekurverne tegn. nr. 2.401-2.411, mens signaturforklaring og definitioner fremgår af tegn.nr. 2.200.

2.4

Boringer udført for pumpestation Ørestad Syd september 2005

For pumpestation Ørestad Syd, er der i september 2005 udført i alt tre boringer, boring I4C-G023K, I4C-G024K og I4C-G025K.

Der blev som forventet mødt et fyldlag øverst i alle tre boringer. Fyldlaget er tyndest i I4C-G024K, hvor det kun er godt en meter tykt, mens det i I4C-G023K er 1,8 m tykt og i I4C-G025K 2,2 m tykt. Fylden består i alle tre boringer af omgraved moræneler, som dog i I4C-G024K og I4C-G025K er dækket af et påfyldt muldlag.

I I4C-G023K blev der truffet et lag af postglacialt marint sand under fyldlaget. Herunder blev der truffet moræneler, som der også blev det direkte under fylden i de to andre boringer.

Moræneleret, som nedad hurtigt bliver særdeles fast, fortsætter til kalkoverfladen, som i alle tre boringer blev nået i niveauer lidt over kote -7 m, dog med indslag af stærkt leret morænesand i niveauet imellem kote -2 og -3 m i boring I4C-G024K.

Kalken i de udførte boringer for pumpestation Ørestad Syd udviser en overraskende stor variation i hærtningsgrad. Således er H1-kalk helt dominerende i I4C-G023K, mens kalken i I4C-G025K viser en mere normal variation med dominans af H3-kalk. I I4C-G024K ligger hærtningsgraderne imellem de i I4C-G023K og I4C-G025K konstaterede. Bedømt ud fra de optagne kerner i I4C-G023K er sprækketheden nok en smule større end normalt, men den er ikke ekstremt stor. Det skal dog bemærkes, at kernetabet lå i den høje ende i forhold til, hvad der må betegnes som normalt.

3. Grundvandsforhold

3.1 Pejlinger i borerer udført for projektforslag april – juni 2004

De udførte filtersatte borerer er alle pejlet 15. juni 2004. Endvidere er de dybe kalkborerer håndpejlet i alt fire gange i løbet af juni 2004.

Foruden ovennævnte håndpejlinger er dataloggerne i borererne I4C-H004K, I4B-H001K og I4D-H002K blevet tappet og resultaterne af de kontinuerede målinger er vist i bilag 2.501 og 2.503. Måleresultaterne er korrigeret for barometertryk.

Resultaterne af håndpejlingerne fremgår af nedenstående tabeller 3.1 og 3.2.

Boring nr.	Terræn-kote i m	Filter [mm]	Pejleresultater 15. juni 2004	
			m u.t.	kote i m
I4A-G006	+0,20	25	1,50	-1,30
I4A-G008	+0,73	25	1,85	-1,12
I4A-H002K	+0,75	63	1,96	-1,21
I4B-G001	+0,98	63	1,98	-1,00
I4B-G002	+0,27	25	0,75	-0,48
I4B-H001K	+0,89	63	2,23	-1,34
I4C-G012	+0,35	25	1,40	-1,05
I4C-G013	+0,46	25	1,27	-0,81
I4C-G016	+2,33	25	3,22	-0,89
I4C-G018	+2,17	25	3,15	-0,98
I4C-G020	+1,57	25	2,73	-1,16
I4C-H002	+2,06	25	3,16	-1,10
I4C-H003K	+2,00	63	3,10	-1,10
I4C-H004K	+0,09	63	1,06	-0,97
I4D-G004	+0,20	25	1,13	-0,93
I4D-G006	+0,30	25	1,27	-0,97
I4D-G009	+0,38	25	1,34	-0,96
I4D-H002K	+0,96	63	1,96	-1,00

Tabel 3.1 Pejleresultater 15. juni 2004. De fremhævede pejleresultater repræsenterer det primære grundvandspotentiale i kalken.

Boring nr.	Pejledato/Vandspejlskote i m (DVR90)			
	8. juni 2004	9. juni 2004	15. juni 2004	23. juni 2004
I4C-H004K	-0,95	-0,98	-0,97	-0,92
I4D-H002K	-0,98	-	-1,00	-0,96
I4C-H003K	-1,17	-	-1,10	-1,06
I4A-H002K	-1,24	-	-1,21	-1,17
I4B-H001K	-1,31	-1,37	-1,34	-1,31

Tabel 3.2 Pejleresultater juni 2004 fra det primære grundvandsmagasin i kalken

- 3.2 Pejlinger i boringer udført for pumpestation Ørestad Syd september 2005**
 Undersøgelsesboringerne I4C-G023K, I4C-G024K og I4C-G025K er ført fra 3 til 6 m i kalken. Boringerne er pejlet den 3. oktober 2005, og rovandstandsmålingerne i boringerne er vist i tabel 3.3 nedenfor.

Boring nr.	Vandspejlskote i m
I4C-G023K	-1,43
I4C-G024K	-1,38
I4C-G025K	-1,44

Tabel 3.3 Rovandstand pejlet 3. oktober 2005

3.3 Prøvepumpning i boring I4C-G023K

3.3.1 Pumpningen

Der er den 3. oktober 2005 udført en prøvepumpning i boring I4C-G023K (installeret med 6 m filter ø 125 mm).

Prøvepumpningen blev udført som en tre trins renpumpning med pejlinger i pumpeboringen (I4C-G023K) og pejlinger i pejleboringerne I4C-G024K og I4C-G025K (installeret med pejlerør ø 63 mm).

Oversigt over antal trin, varighed og pumpeydeler er sammenfattet i tabel 3.4.

Trin	Varighed (t)	Pumpeydelse (m ³ /t)	Kumuleret ydelse (m ³)
1	1	1,9	2
2	1	4,7	7
3	10	7,0	75
4 ¹	9	-	-

Tabel 3.4 Prøvepumpningsdata (note 1: Tilbagepejling)

Boringerne I4C-G023K, I4C-G024 og I4C-G025K var forsynet med transducer og datalogger for automatisk registrering af vandspejlsvariationer under prøvepumpningen.

En aritmetisk afbildning af pumpeforsøget er vist i bilag 1A.

3.3.2 Vandprøvetagning

I forbindelse med prøvepumpningen blev der udtaget en vandprøve 3. oktober 2005.

Prøven blev sendt til analyse hos DONS laboratorium. Resultater af analysen er vedlagt som bilag 1.D.

Grundvandet er salt (4,3 g/l) med en forholdsvis høj koncentration af kvælstof (6,8 mg/l), hovedsagelig som Ammonium – N. Jernkoncentration (3 mg/l) er normal for området.

3.3.3 Tolkning af prøvepumpningsresultater

3.3.3.1 Tolkningsmetoder

Der er anvendt den logaritmiske tilnærmelse til Theis' s formel (Cooper – Jacob) til bestemmelse af transmissiviteten i det vandførende lag (kalken).

Kun stigningsdata er anvendt.

Pga. den forholdsvis korte pumpeperiode er der ikke taget hensyn til eventuelt barometereffekt i grundvandsmagasinet.

3.3.3.2 Pumpeboring I4C-G023K

Tolkning af stigningsdata giver en transmissivitet i kalken af størrelsesorden $1,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Virkningsgraden for boringen er estimeret til ca. 20 %, hvilket er forholdsvis lavt. Den anvendte boremetode giver normalt væsentligt højere virkningsgrader.

Der henvises til bilag 1B for grafisk fremstilling af prøvepumpningsresultater.

3.3.3.3 Pejleboringer

Transmissiviteten er beregnet i regressionsintervallet 10 til 100 (dimensionsløs tid), hvor kurven kan tilnærmes en ret linie.

Tolkning af stigningsdata for pejleboringerne er præsenteret i tabel 3.5.

Tolkning	Transmissivitet (m^2/s)
Stigningsdata I4C-G024K	$1,5 \times 10^{-3}$
Stigningsdata I4C-G025K	$1,4 \times 10^{-3}$

Tabel 3.5 Transmissivitet – Pejleboringer

En logaritmisk afbildning af stigningsforsøget i pejleboringerne er vist i bilag 1C.

4. Resultater af geofysiske undersøgelser

4.1 Slæbeseismik – Præsentation af resultater

De seismiske data er generelt af meget høj kvalitet, og der kan ses reflektorer i intervallet 15-1000 ms.

Der er ikke angivet en kote-skala på profilet tegn. nr. 2.603, men i kalkenheden svarer 1 ms til ca. 1 m. Dette er en grov approksimation og kan kun benyttes som et fingerpeg, da den blandt andet ikke tager højde for lokale hastighedsvariationer. Længdeskalaen er angivet i CDP med en nominel indbyrdes afstand på 5 m.

På profilet er der tolket to horisonter hidrørende fra Top Bryozokalk i kote ca. -40 m vest for forkastningen og Top skrivekridt i kote ca. -95 vest for forkastningen. Over disse ses yderligere en serie af reflektorer, som hidrører fra laggrænser internt i København kalken.

På profilet er Carlsberg Forkastningen tolket som to skråtstillede forkastninger ved CDP 90 og CDP 130. Vest for forkastningerne er angivet et knæpunkt for den generelle nedbøjning af strukturerne. Knæpunktet findes omkring CDP 200. Samlet set er kalken i området mellem CDP 90 og CDP 200 (ca. 550 m) deformet som følge af Carlsberg Forkastningen. Den samlede forsætning er ca. 40 meter.

Carlsbergforkastningens forløb gennem Ørestad er vist i bilag 5.202

5. Lidt om Carlsbergforkastningen

Carlsbergforkastningen fik sit navn fordi den blev opdaget allerede i 1925 ud fra oplysninger fra borerer ved Carlsbergbryggeriet.

Carlsbergforkastningen er en NNW-SSØ gående brudzone i kalken, hvor den østlige side er nedforkastet i forhold til den vestlige side. Dette betyder, at kalkoverfladen sydvest for Carlsbergforkastningen består af den ældre bryozokalk, mens den nordøst for brudzonen består af den aldersmæssige yngre København Kalk.

Carlsbergforkastningens placering er lagt ind i potentialekortet, bilag 2.502.

Carlsbergforkastningen har et forløb, der strækker sig i hvert fald fra Sønderødalen ved Furesøen, igennem København, tværs over Amager og videre ud i Øresund.

Frederiksberg Kommune indvinder drikkevand fra Carlsbergforkastningen.

I Ørestadsområdet er placeringen af forkastningen nu bestemt 2 steder vha. seismiske undersøgelser. Først i 1995, hvor Jesper Fallesen traf den i krydsningen mellem Kanonvej og Øresundsforbindelsen. Nu senest i 2004 under nærværende undersøgelse, hvor forkastningens fortsatte forløb og krydsning af Kalvebod Sti blev bestemt.

Det ses af vedlagte bilag 2.502, at forkastningens bredde ved Kanonvej på knapt 300 m øges til mere end 500 m ved Kalvebod Sti. Forsætningerne af lagene er bestemt til ca. 50 m og 40 m ved henholdsvis Kanonvej og Kalvebod Sti.

Som vist på vedlagte bilag 2.502 er forkastningen opdelt i 2 områder. Den østlige del af forkastningen er betegnet som hovedforkastningsområdet, hvor forstyrrelserne i kalken har meget markante med nedknust kalk til følge. Vest for hovedforkastningen har forstyrrelserne været mere rolige med nedsunkne lag i stedet for opknust kalk.

Set ud fra et grundvandssynspunkt betyder tilstedeværelsen af Carlsbergforkastningen, at Ørestad gennemskæres af en højpermeabel zone, der udgøres af hovedforkastningsområdet. En høj vandføringsevne betyder et meget fladt potentiale i forkastningsområdet, men derudover kan det også betyde store oppumpede vandmængder, såfremt der foretages grundvandssænkninger i det pågældende område.

Som følge af geohydrologiske undersøgelser i Carlsbergforkastningen er en pumpestation blevet flyttet. Det er her tale om regnvandspumpestationen Center Boulevard II.

6. Diverse

Der er hverken under borearbejdet eller i laboratoriet truffet forhold, der giver anledning til specielle miljømæssige overvejelser i forbindelse med jordarbejdet. Det skal dog understreges, at hverken boreformand eller geolog er miljøtekniske fagspecialister og derfor blot har registreret deres umiddelbare indtryk opnået ved håndtering af prøverne.