

# Overhalingsspor - Kalvebod

---

Bilag 4 Grundvandsmodel for driftsfase

Sund & Bælt

Dato: 20. juni 2024

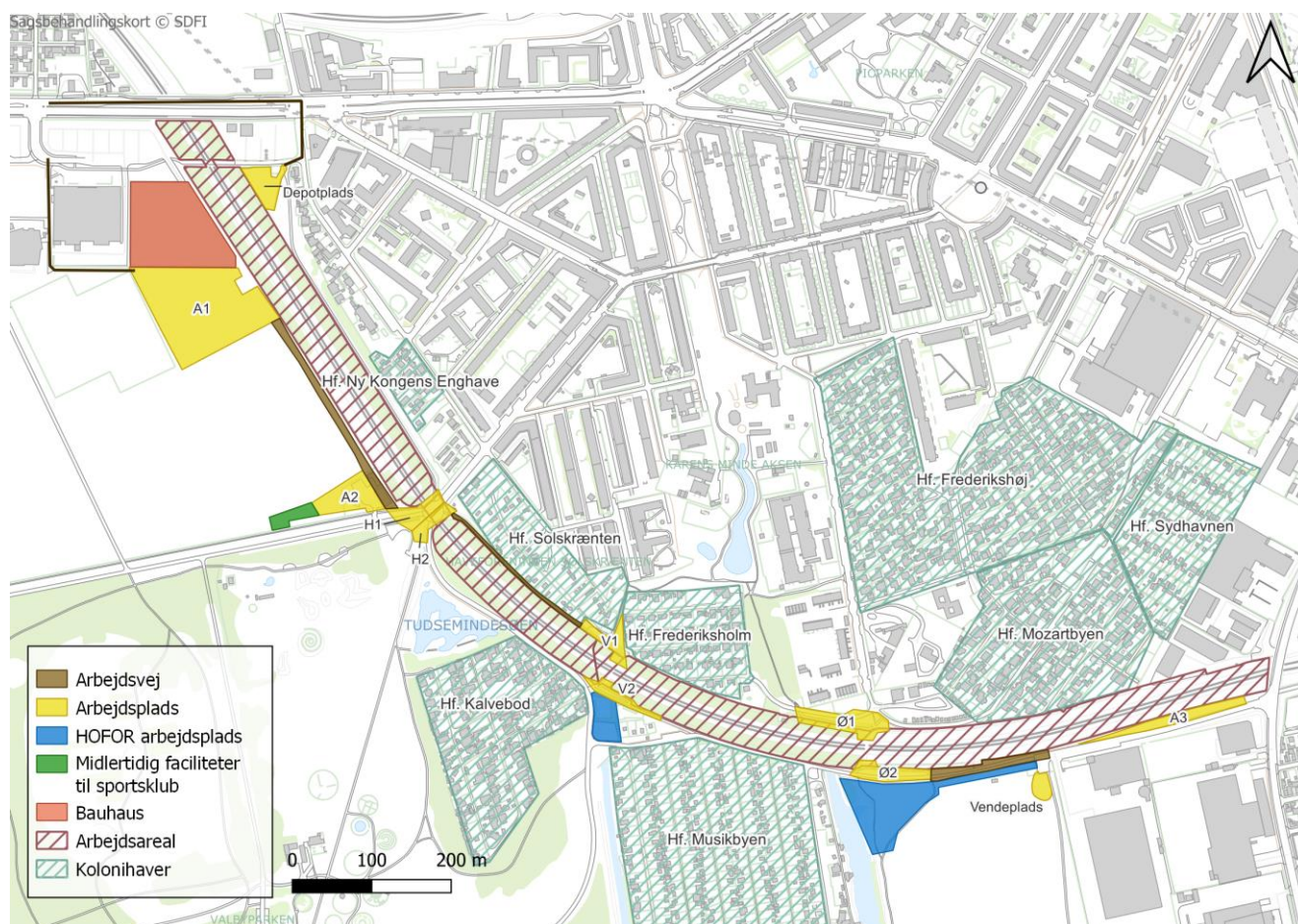
# Indhold

<b>1.</b>	<b>Baggrund .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Konceptuel model .....</b>	<b>4</b>
2.1	Vest (St. 2+700) .....	4
2.2	Central (St. 3+300) .....	5
2.3	Øst (St. 3+800) .....	6
<b>3.</b>	<b>Grundvandsmodel .....</b>	<b>9</b>
3.1	Hydrauliske parametre .....	9
3.2	Dræn .....	9
3.3	Modelopsætning .....	10
3.4	Modelkørsler .....	11
3.4.1	St. 2+700 .....	11
3.4.2	St. 3+300 .....	12
3.4.3	St. 3+800 .....	14
<b>4.</b>	<b>Opsummering .....</b>	<b>16</b>

---

## 1. Baggrund

I forbindelse med miljøvurdering af etablering af overhalingsspor til godstog mellem Kalvebod og Ny Ellebjerg, ønskes en indledende vurdering af effekter ved etablering af spuns syd for banen. Spunsens påvirkning på vandmængder til dræn samt ændring af vandspejlskoten på ydersiden af spunsen ønskes belyst vha. simpel grundvandsmodellering ved udvalgte lokationer langs banen. Placeringen af banestrækningen er vist på Figur 1.1.



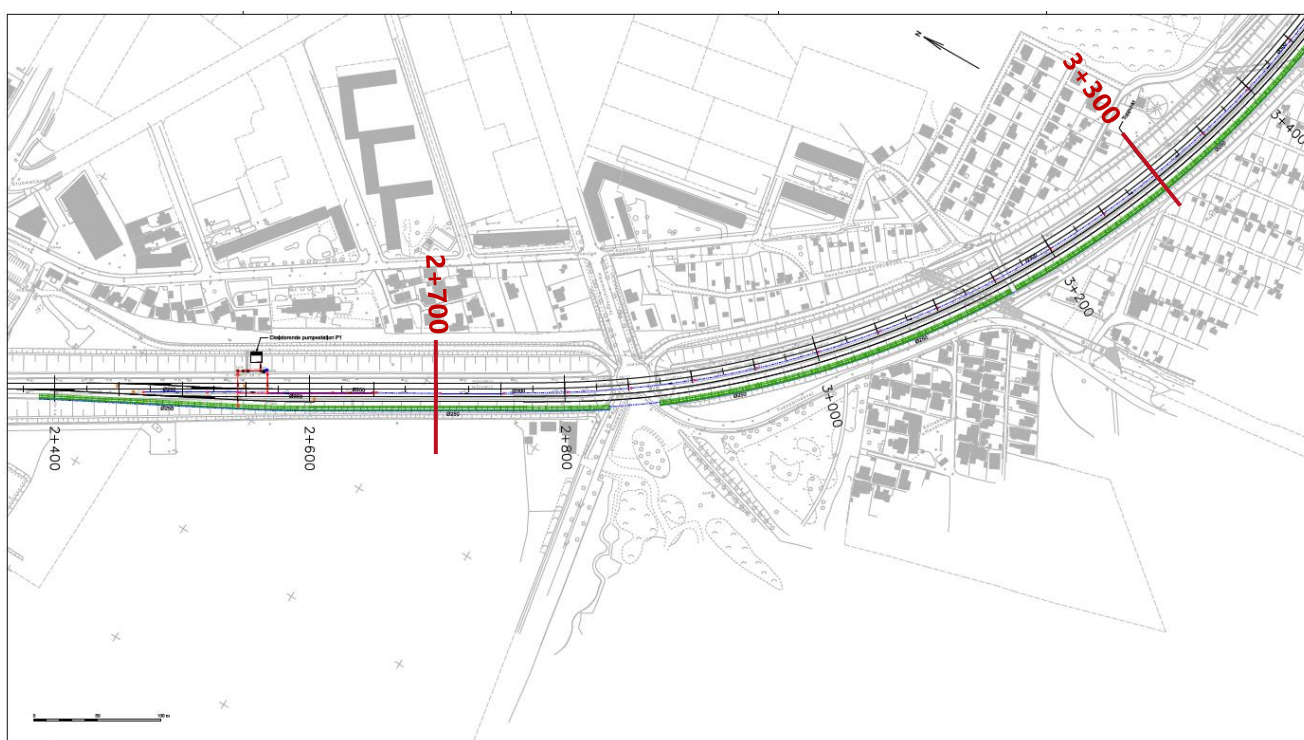
Figur 1.1. Banestrækningen ved Kalvebod.

## 2. Konceptuel model

I forbindelse med grundvandsmodelleringen er der opstillet en konceptuel model for hhv. den østlige, centrale og vestlige del af strækningen. Lagfladernes kotemæssige beliggenhed er baseret på geotekniske borer<sup>1</sup> og FOHM<sup>2</sup>, og terrænforholdene er udtrukket fra Scalgo<sup>3</sup>. Fremtidige terrænforhold er baseret på tværnsprofiler fra Fase 2 rapporten<sup>4</sup>.

### 2.1 Vest (St. 2+700)

Den vestlige del af strækningen fra St. 2+350 til omkring 2+900, jf. Figur 2.1, er kendetegnet ved at det øvre fyldlag generelt er underlejret af kalk. I overgangen mellem fyld og kalk træffes stedvist moræneler eller smeltevandssand og smeltevandsler. Sporet ligger omkring kote -1,5 m DVR90 på denne strækning, og forventes, på størstedelen af strækningen, at være etableret på råjordsplanum af intakt kalk.



Figur 2.1. Stationering på den vestlige del af strækningen. Med rødt er angivet placering af tværnsprofiler til grundvandsmodellering.

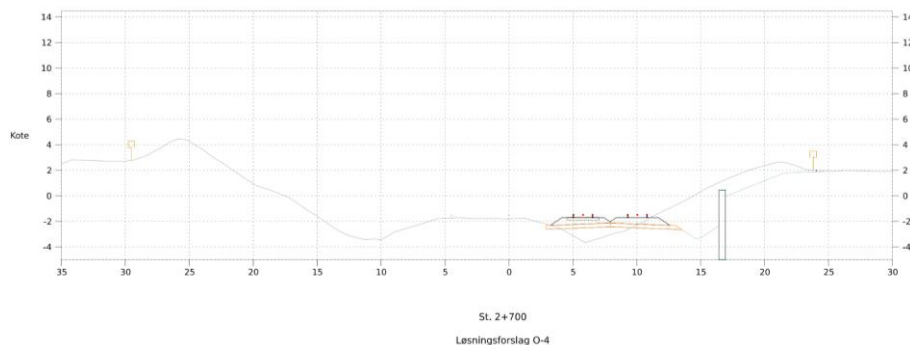
Skitse af løsningsforslag samt konceptuel model for den vestlige del af banestrækningen, ved st. 2+700, er vist på hhv. Figur 2.2 og Figur 2.3. Lagserien er beskrevet som ler/fyld til ca. kote -0,5 m, hvorunder der ses et tyndt sandlag. Under sandlaget træffes kalken. Rovandspejlet i området er vurderet til ca. kote 0 m.

<sup>1</sup> Rambøll arkivsøgning-Boreprofiler-GeoGIS.pdf

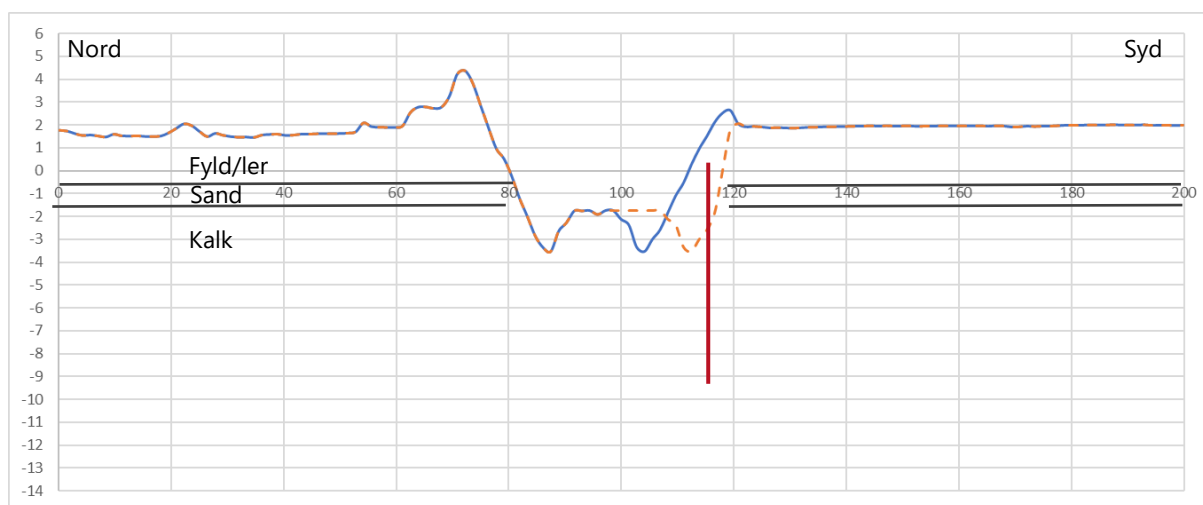
<sup>2</sup> <https://data.geus.dk/geusmap/?mapname=fohm#baslay=baseMapDa&optlay=&extent=455881.287151349,6121322.530864201,678523.262459991,6276544.753086423>

<sup>3</sup> <https://scalgo.com/live/>

<sup>4</sup> Niras, 2023. Overhalingspor – Kalvebod, Fase 2 rapport O-4.



Figur 2.2. Løsningsforslag ved St. 2+700<sup>5</sup>.



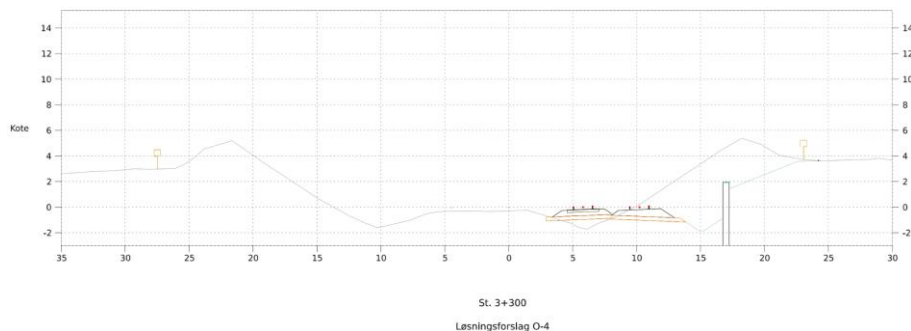
Figur 2.3. Konceptuel model for den vestlige del af strækningen ved st. 2+700. Det nuværende terræn er vist med blå, og fremtidigt terræn er vist med orange. Spunsen er vist med rødt.

## 2.2 Central (St. 3+300)

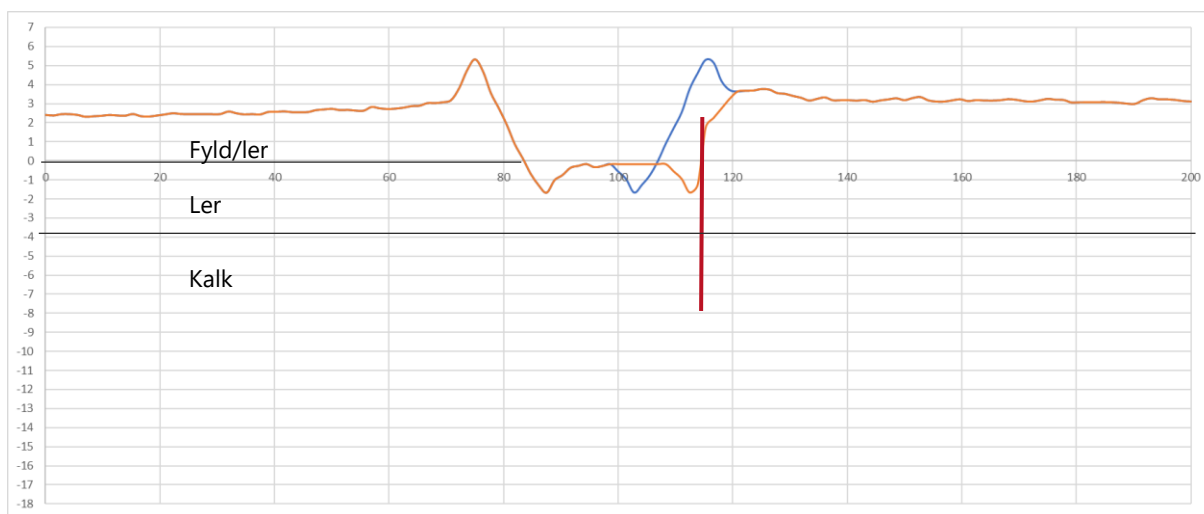
På den centrale del af strækningen er fyldlaget generelt underlejret moræneler, og den underliggende kalk ligger dybere end på den vestlige del af strækningen. Fra omkring St. 3+250 og frem er sporet beliggende udenfor den oprindelige kystlinje (opfyldt areal). Sporet ligger omkring kote 0 m DVR90 og forventes på størstedelen af strækningen at være etableret på råjordsplanum af indbygget fyld eller lokalt intakte moræneaflejringer.

Skitse af løsningsforslag og konceptuel model for den centrale del af banestrækningen, ved st. 3+300, er vist på hhv. Figur 2.4 og Figur 2.5. Ifølge de geotekniske borer ses øverst et lag af fyldmateriale til kote ca. 0 m, hvorunder der ses et lag af moræneler til kote ca. -4 m, hvorunder der er kalk. Det naturlige vandspejl i området ligger omkring kote 0 m. De eksisterende spor ligger under eller omkring det naturligt forekommende grundvandspejl. Grundvandet i området er derfor permanent sænket, og nuværende banegrøfter og drænledninger udgør en del af denne grundvandssænkning.

<sup>5</sup> Niras, 2023. Overhalingsspor – Kalvebod, Fase 2 rapport O-4.



Figur 2.4. Løsningsforslag ved St. 3+300<sup>6</sup>.

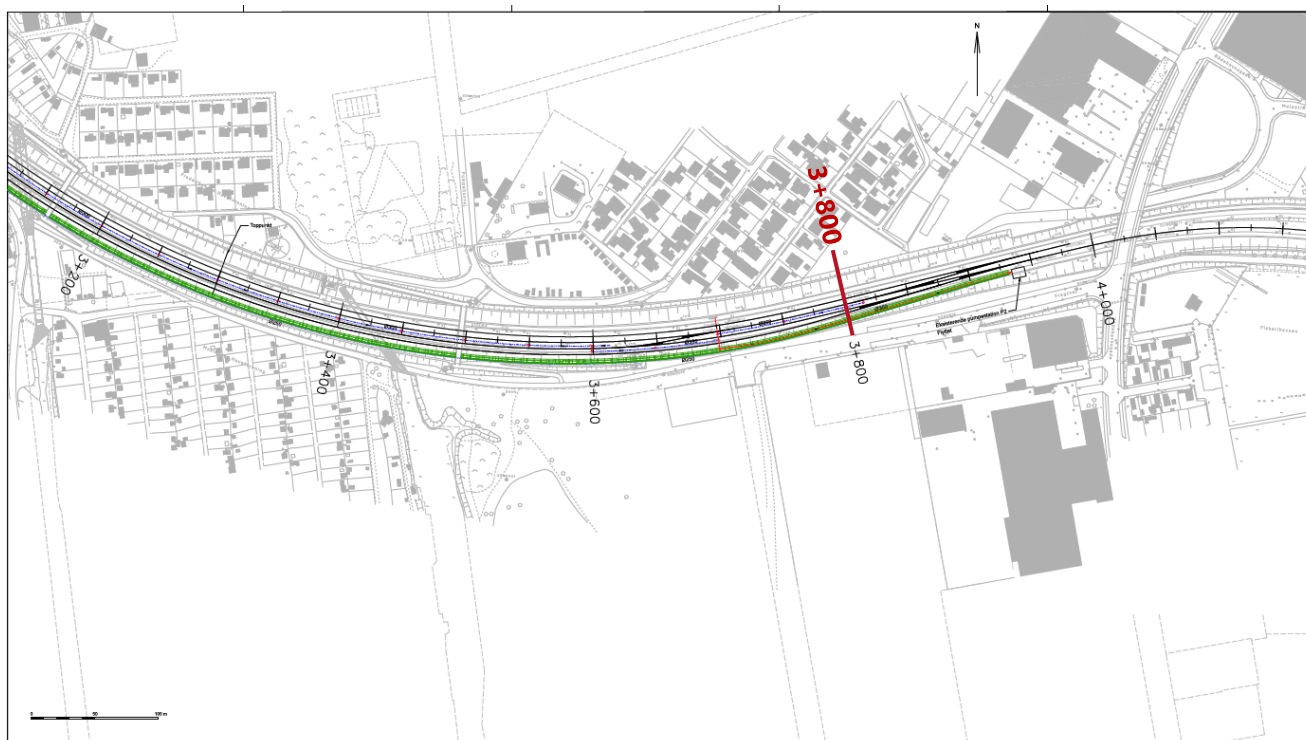


Figur 2.5. Konceptuel model for et tværsnit langs den centrale del af strækningen ved st. 3+300. Det nuværende terræn er vist med blå, og fremtidigt terræn er vist med orange. Spunsen er vist med rødt.

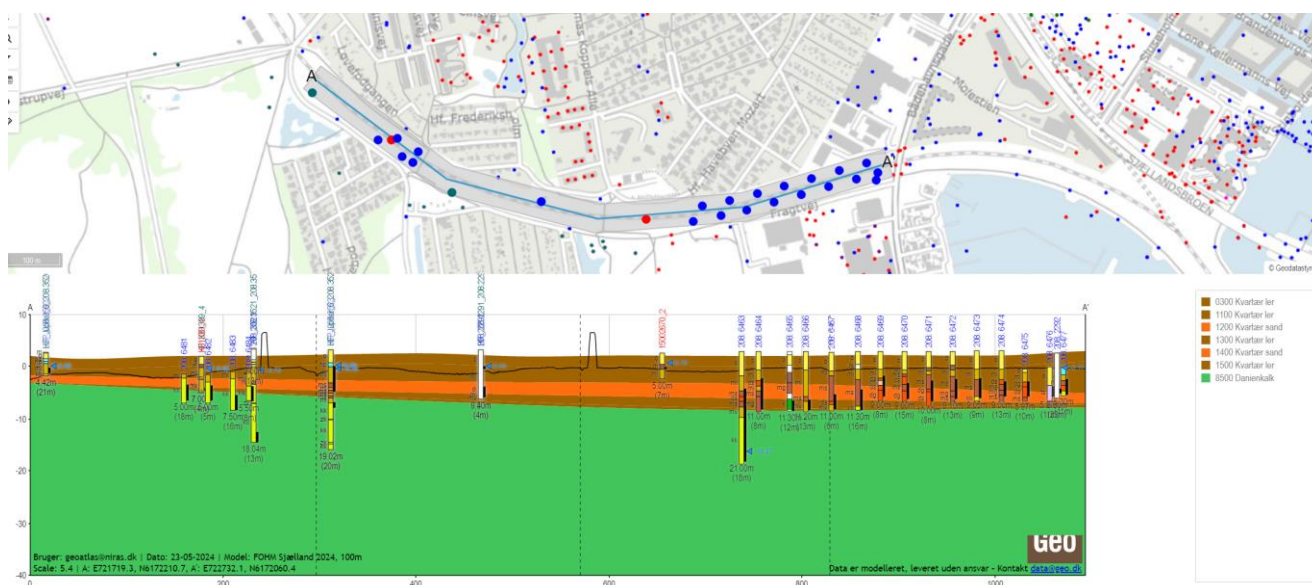
### 2.3 Øst (St. 3+800)

På den østlige del af strækningen er fyldlaget generelt underlejret af moræneler, og den underliggende kalk ligger dybere end på den øvrige del af strækningen. Stationeringen for den østlige del af strækningen er vist på Figur 2.6, og et geologisk profilsnit er vist på Figur 2.7.

<sup>6</sup> Niras, 2023. Overhalingsspor – Kalvebod, Fase 2 rapport O-4.



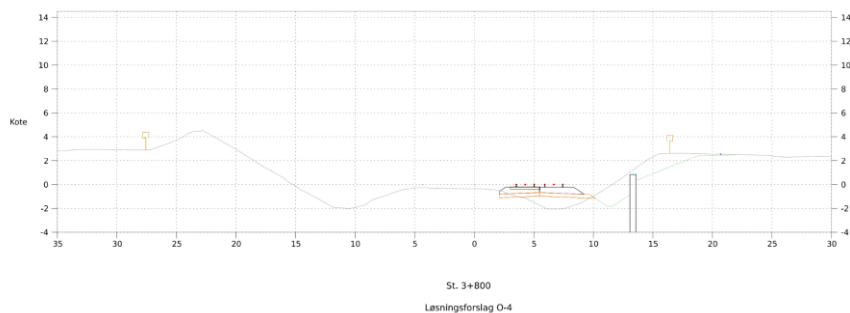
Figur 2.6. Stationering på den østlige del af strækningen.



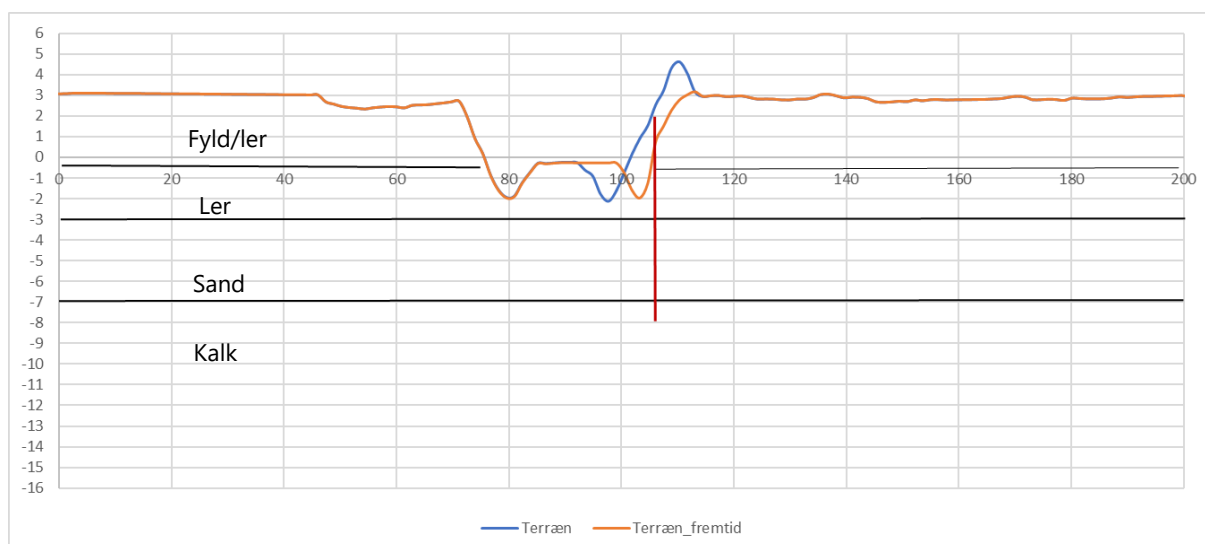
Figur 2.7. Geologisk profilsnit langs banestrækningen, FOHM.

Sporet er beliggende udenfor den oprindelige kystlinje (opfyldt areal). Sporet ligger omkring kote 0 m DVR90, og forventes at være etableret på råjordsplanum af indbygget fyld eller lokale intakte moræneaflejringer. Det naturlige vandspejl i området ligger omkring kote 0 m. De eksisterende spor ligger under eller omkring det naturligt forekommende grundvandsspejl. Grundvandet i området er derfor permanent sænket, og nuværende banegrøfter og drænledninger udgør en del af denne grundvandssænkning. Der er herudover etableret en række aflastningsboringer langs strækningen, som aflaster vandet i kalken til drængrøfterne.

Løsningsforslag og konceptuel model for den centrale del af banestrækningen, ved st. 3+800, er vist på hhv. Figur 2.8 og Figur 2.9. Øverst ses et lag af fyldmateriale til ca. kote -0,5 m, hvorunder der er beskrevet moræneler til ca. kote -3 m. Fra kote ca. -3 m til kote ca. -7 m er lagserien beskrevet som morænesand, hvorunder der er kalk.



Figur 2.8. Løsningsforslag ved St. 3+800<sup>7</sup>.



Figur 2.9. Konceptuel model for et tværsnit langs den østlige del af strækningen ved st. 3+800. Det nuværende terræn er vist med blå, og fremtidigt terræn er vist med orange. Spunsen er vist med rødt.

<sup>7</sup> Niras, 2023. Overhalingsspor – Kalvebod, Fase 2 rapport O-4.



### 3. Grundvandsmodel

Projektområdet er omfattet af en eksisterende dynamisk grundvandsmodel, Øresundsmodellen, som senest er opdateret i 2012<sup>8</sup>. Modelområdet for Øresundsmodellen er 2.114 km<sup>2</sup> stort, og dækker Nordsjælland. De kalibrerede hydrauliske parametre fra den eksisterende model, anvendes som input-parametre til den simple grundvandsmodel for området.

#### 3.1 Hydrauliske parametre

Vertikalt består Øresundsmodellen af 12 beregnings-/modellag, som er defineret med grundlag i den geologiske/hydrostratigrafiske model. De kalibrerede hydrauliske parametre fra Øresundsmodellen er vist i Tabel 3.1. Ifølge Øresundsmodellen er de øverste 3 meter af lagserien ved projektområdet tildelt værdier for jordart ler.

Lag nr.	Geologi	FOHM	Horisontal ledningsevne (m/s)	Vertikal ledningsevne (m/s)
1	Ler	-	1,00E-05	1,00E-06
	Sand		0,0001	1,00E-05
	Tørv		1,00E-07	1,00E-08
2	Ler1	300	2,06E-07	2,06E-08
3	Sand1	400	8,87E-07	8,87E-08
4	Ler2	1100	2,04E-07	2,04E-08
5	Sand2	1200	0,000174	1,74E-05
6	Ler3	1300	1,11E-07	1,11E-08
7	Sand3	1400	0,00014	1,40E-05
8	Ler4	1500	4,11E-08	4,11E-09
9	Sand4	-	1,45E-06	1,45E-07
10	Ler5	-	2,70E-06	2,70E-07
11	Øvre Kalk (zone 87)	8500	5,00E-05	5,00E-06
12	Nedre Kalk	8500	4,23E-05	4,23E-06

Tabel 3.1. Hydrauliske parametre fra Øresundsmodellen.

Vandbalancen for Øresundsmodellen, som årlige middelværdier for perioden 1990-2021, angiver en nettonedbør på 209 mm/år. Drænkonduktansen er i Øresundsmodellen angivet til at være i størrelsesordenen 3e-6.

#### 3.2 Dræn

Den eksisterende strækning mellem st. 2+340 og 3+970 afvandes af grøfter med toppunkt ved st. 3+300. Drænvandet fra st. 2+340 til 3+300 ledes til pumpestation P1, mens drænvandet fra st. 3+300 til 3+970 ledes til pumpestation P2. Den samlede længde af drænstrækningen svarer til ca. 1.630 m.

De årlige vandmængder fra P1 og P2 i 2023 er vist i Tabel 3.2.

Pumpestation	Mængde (m <sup>3</sup> /år)	Mængde (m <sup>3</sup> /t)
P1	523.650	59,8
P2	77.500	8,8
Samlet	601.150	68,6

Tabel 3.2. Årlige mængder for afledning af vand, 2023.

<sup>8</sup> Rambøll, 2013. Øresundsmodellen 2012. Modeldokumentation.

### 3.3 Modelopsætning

Med udgangspunkt i de konceptuelle modeller for de udvalgte stationeringer langs banen er der opstillet tre lokale simple strømningmodeller i programmet GMS.

Tværsnitsprofilerne i modellerne er repræsenteret af et 200 m langt og 10 m bredt profil med en cellestørrelse på 1 m. På hver side af banen er der drængrøfter. Bunden af modellen er sat til kote -17 m, svarende til toppen af den impermeable del af kalken. Terrænkoten er fastsat ud fra Scalgo, og tilrettet til fremtidige forhold med udgangspunkt i de skitserede løsningsforslag. Der er anvendt fastholdt tryk ved rand på kote 0 m. Anisotropifaktoren for kalken er fastsat med udgangspunkt i den kalibrerede værdier fra Øresundsmodellen, svarende til en faktor 10. For terrænnære sand og lerlag er anisotropifaktoren sat til hhv. 5 og 3. Drænbunden er, med udgangspunkt i terrænkoterne, defineret som kote -3,5 m ved St. 2+700 og -3 m ved St. 3+300 og 3+800.

De anvendte hydrauliske parametre er vist i Tabel 3.3.

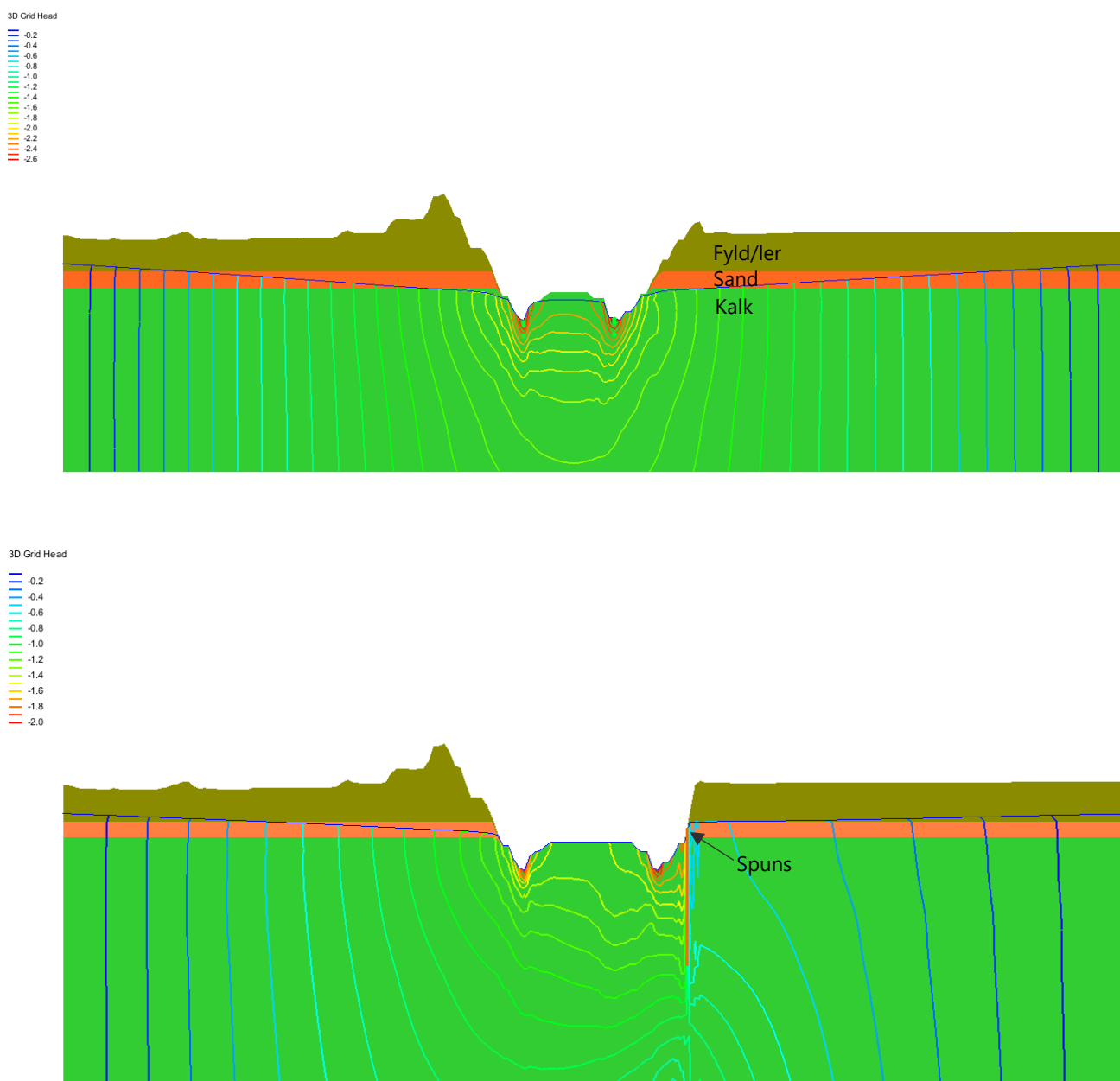
Materiale	Horisontal lednings- evne (m/s)	Vertikal lednings- evne (m/s)	Bemærkning
Fyld/ler	1e-5	2e-6	Horisontal ledningsevne fra Øresundsmodellen
Moræneler	5e-7	1e-7	Kalibreret ift. vandføringsdata for dræn
Morænesand	1,74e-4	5,8e-5	Horisontal ledningsevne fra Øresundsmodellen
Kalk	5e-5	5e-6	Svarende til Øresundsmodellen

Tabel 3.3. Anvendte hydrauliske parametre.

## 3.4 Modelkørsler

### 3.4.1 St. 2+700

Tværsnitsprofiler med simuleret vandspejl fra GMS, med en overhøjning på 3, er vist på Figur 3.1. Spunsen er i den fremtidige situation ført til kote -9,5 m, og indlagt i modellen som en flow-barriere med en hydraulisk ledningsevne på  $1e-7$  m/s.



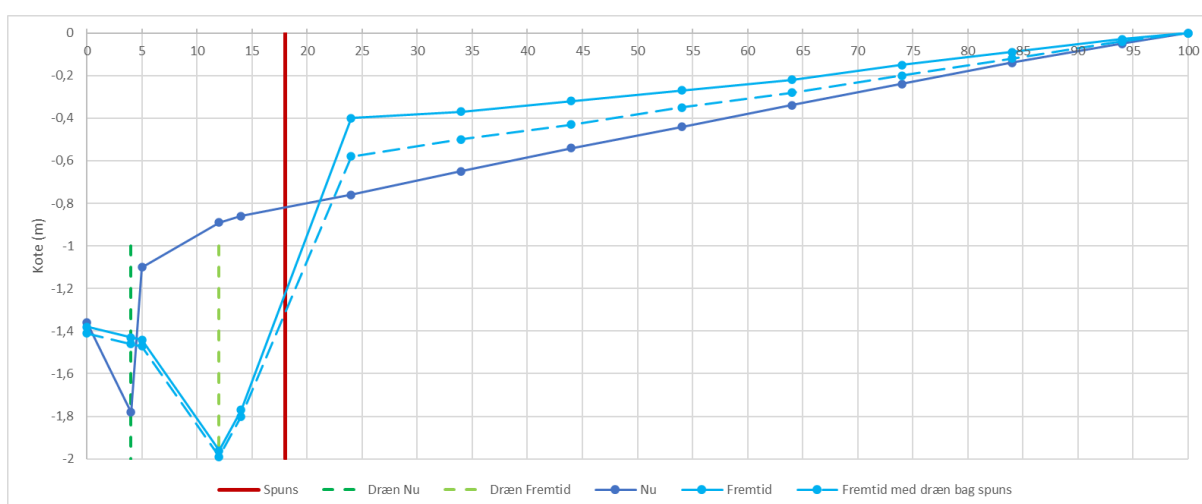
Figur 3.1. Tværsnitsprofiler fra GMS ved St. 2+700. Øverst ses den nuværende situation og nederst ses den fremtidige situation med overhalingsspor og spuns.

Som vist på Figur 3.1 vil vandskellet mellem de to dræn forskydes mod nord, når der etableres spuns syd for banen. De simulerede vandmængder til dræn er vist i Tabel 3.4, og de simulerede vandstandsændringer i det

øverste lag syd for banen er vist på Figur 3.2. Den nuværende tilstrømning til dræn svarer samlet til ca. 7,6 m<sup>3</sup>/t pr. 100 m. Hvis det antages, at profilet repræsenterer den vestlige del af banestrækningen fra st. 2+340 til 3+000 svarer det til en samlet vandmængde på ca. 50 m<sup>3</sup>/t. I den fremtidige situation er den simulerede vandmængde fra de to dræn på ca. 47 m<sup>3</sup>/t. Den samlede vandmængde til dræn er kun reduceret med ca. 7 %, men der er forskel på, hvor vandet til det sydlige dræn stammer fra i den nuværende og den fremtidige situation. I den nuværende situation strømmer der en vandmængde på ca. 24 m<sup>3</sup>/t fra området syd for drænet til banen, på strækningen 2+340 til 3+300, mens der i den fremtidige situation strømmer en vandmængde på ca. 17 m<sup>3</sup>/t, svarende til en reduktion fra syd på ca. 30%.

St. 2+700	Nuværende situation (m <sup>3</sup> /s pr. 10 m)	Nuværende situation (m <sup>3</sup> /t pr. 100 m)	Fremtidig situation (m <sup>3</sup> /s pr. 10 m)	Fremtidig situation (m <sup>3</sup> /t pr. 100 m)
Dræn Syd (z1)	1,05e-4	3,77	9,35e-5	3,37
Dræn Nord (z2)	1,07e-4	3,86	1,03e-4	3,70

Tabel 3.4. Simulerede vandmængder til dræn ved St. 2+700.

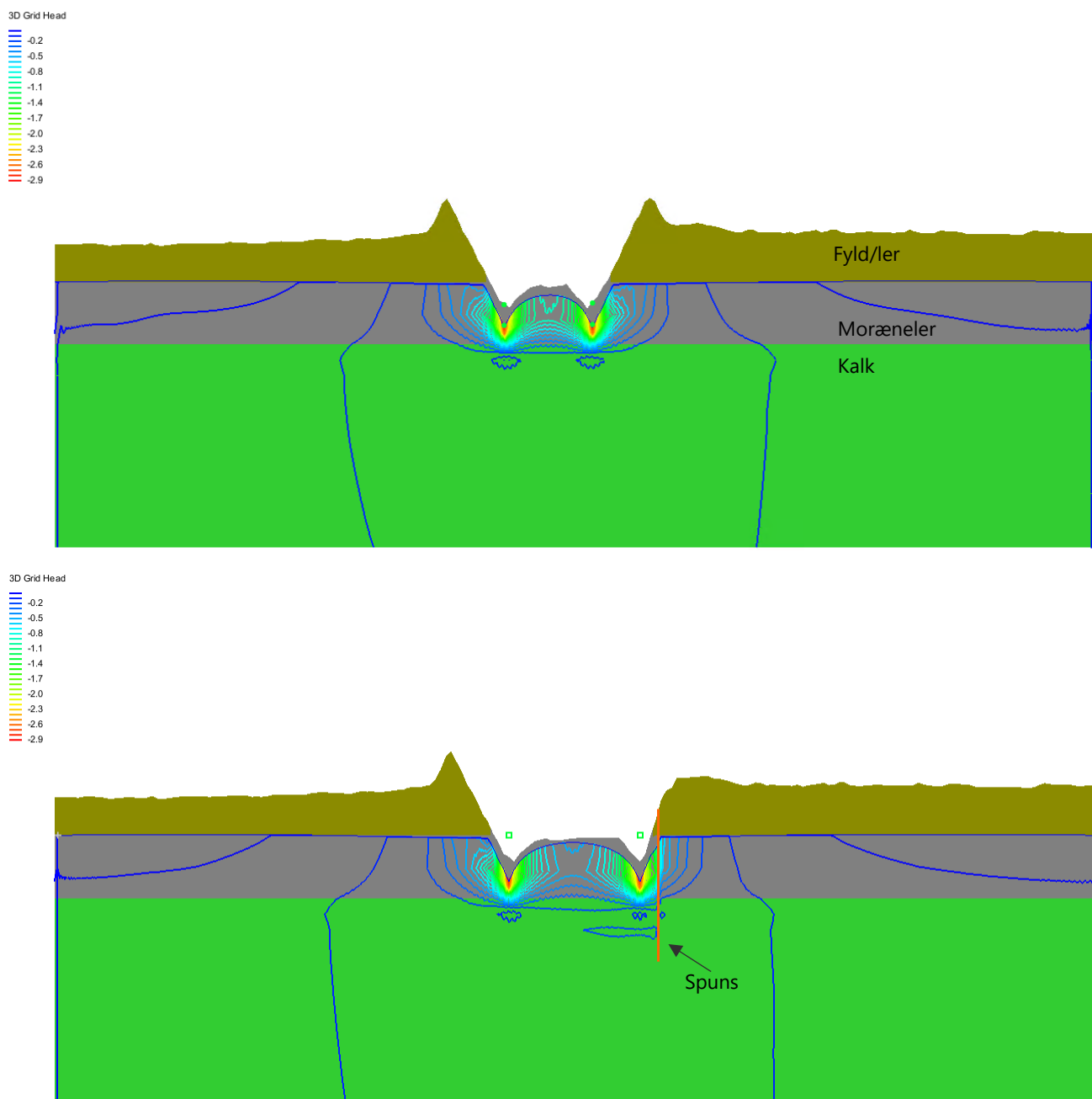


Figur 3.2. Simulerede vandspejlskoter for det øverste lag ved St. 2+700. Situationen med dræn bag spunsen er vist med stiplet lyseblå.

Som vist på Figur 3.2 er det simuleret, at der i en afstand af ca. 30 m syd for spunsen forventes en stigning af vandspejlet i størrelsesordenen 10 cm, når der er etableret dræn bag spunsen (til kote -1 m) og ca. 15-20 cm uden dræn bag spunsen.

### 3.4.2 St. 3+300

Tværsnitsprofiler med simuleret vandspejl fra GMS, med en overhøjning på 3, er vist på Figur 3.3. Spunsen er i den fremtidige situation ført til kote -8 m, og indlagt i modellen som en flow-barriere med en hydraulisk ledningsevne på 1e-7 m/s.



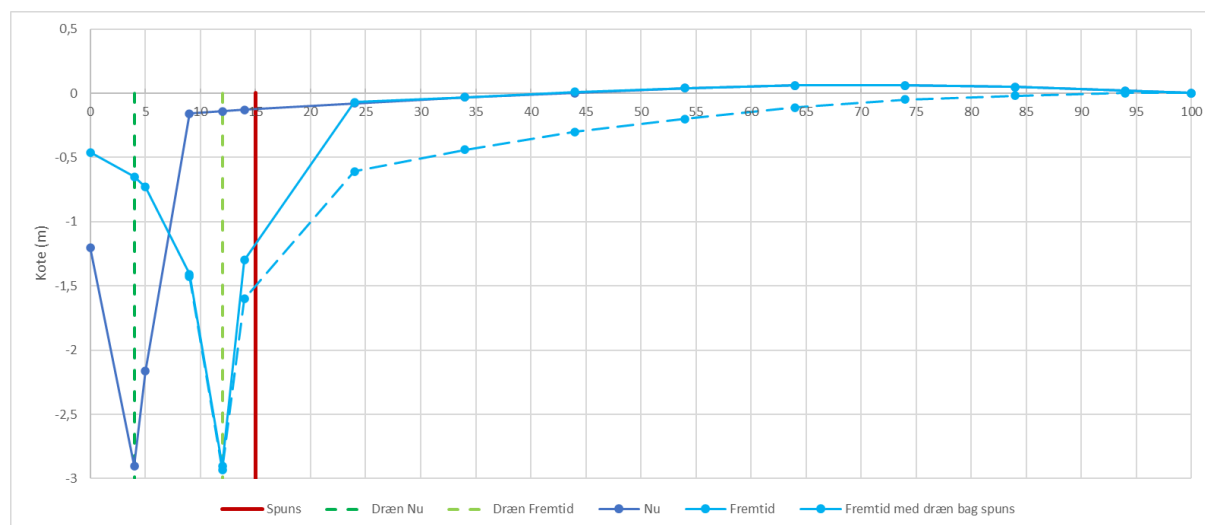
Figur 3.3. Tværsnitsprofiler fra GMS ved St. 3+300. Øverst ses den nuværende situation og nederst ses den fremtidige situation med overhalingsspor og spuns.

De simulerede vandmængder til dræn er vist i Tabel 3.5, og de simulerede vandstandsændringer i det øverste lag syd for banen er vist på Figur 3.4. Den nuværende tilstrømning til dræn svarer samlet til ca.  $1,2 \text{ m}^3/\text{t}$  pr. 100 m. Hvis det antages, at profilet repræsenterer den centrale del af banestrækningen fra st. 3+000 til 3+500 svarer det til en samlet vandmængde på ca.  $6 \text{ m}^3/\text{t}$ . I den fremtidige situation er den simulerede vandmængde fra de to dræn på ca.  $5,9 \text{ m}^3/\text{t}$ . Den samlede vandmængde til dræn er kun reduceret med ca. 1 %, men der er forskel på, hvor vandet til det sydlige dræn stammer fra i den nuværende og den fremtidige situation. I den nuværende situation strømmer der en vandmængde på ca.  $2,7 \text{ m}^3/\text{t}$  fra området syd for drænet til banen, på strækningen

3+300 til 3+500, mens der i den fremtidige situation strømmer en vandmængde på ca. 2,5 m<sup>3</sup>/t, svarende til en reduktion fra syd på ca. 7%.

St. 3+300	Nuværende situation (m <sup>3</sup> /s pr. 10 m)	Nuværende situation (m <sup>3</sup> /t pr. 100 m)	Fremtidig situation (m <sup>3</sup> /s pr. 10 m)	Fremtidig situation (m <sup>3</sup> /t pr. 100 m)
Dræn Syd (z1)	1,65e-5	0,59	1,59E-05	0,57
Dræn Nord (z2)	1,65e-5	0,59	1,67E-05	0,60

Tabel 3.5. Simulerede vandmængder til dræn ved St. 3+300.

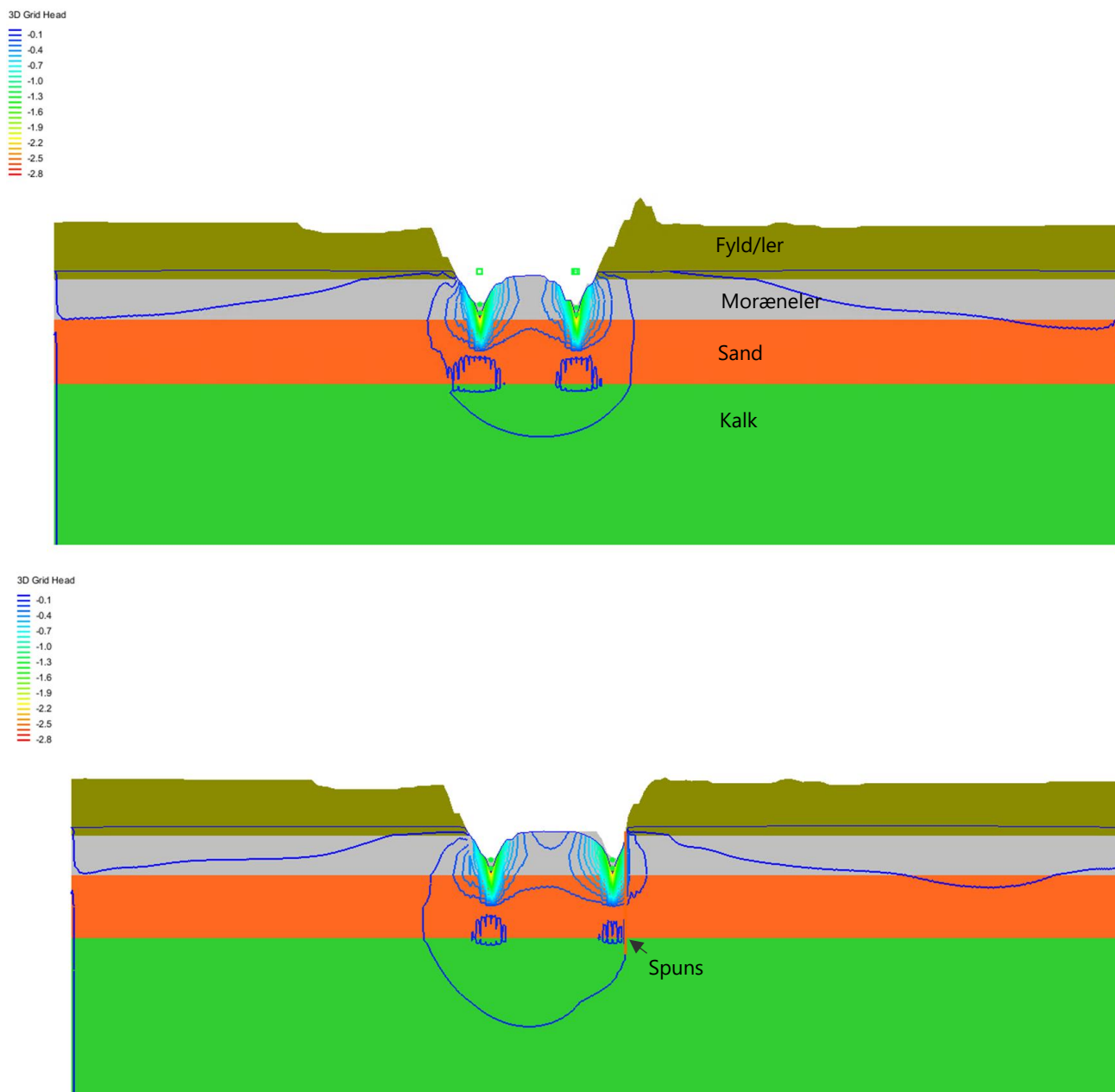


Figur 3.4. Simulerede vandspejlskoter for det øverste lag ved St. 3+300. Situationen med dræn bag spuns er vist med stiplet lyseblå.

Som vist på Figur 3.4 er det simuleret, at der i en afstand af ca. 30 m syd for spunsen forventes en sænkning af vandspejlet i størrelsesordenen 20 cm, når der er etableret dræn bag spunsen (til kote -1 m). I situationen uden dræn bag spunsen er vandspejlet uændret fra ca. 10 m syd for spunsen.

### 3.4.3 St. 3+800

Tværsnitsprofiler med simuleret vandspejl fra GMS, med en overhøjning på 3, er vist på Figur 3.5. Spunsen er i den fremtidige situation før til kote -8 m, og indlagt i modellen som en flow-barriere med en hydraulisk ledningsevne på 1e-7 m/s.

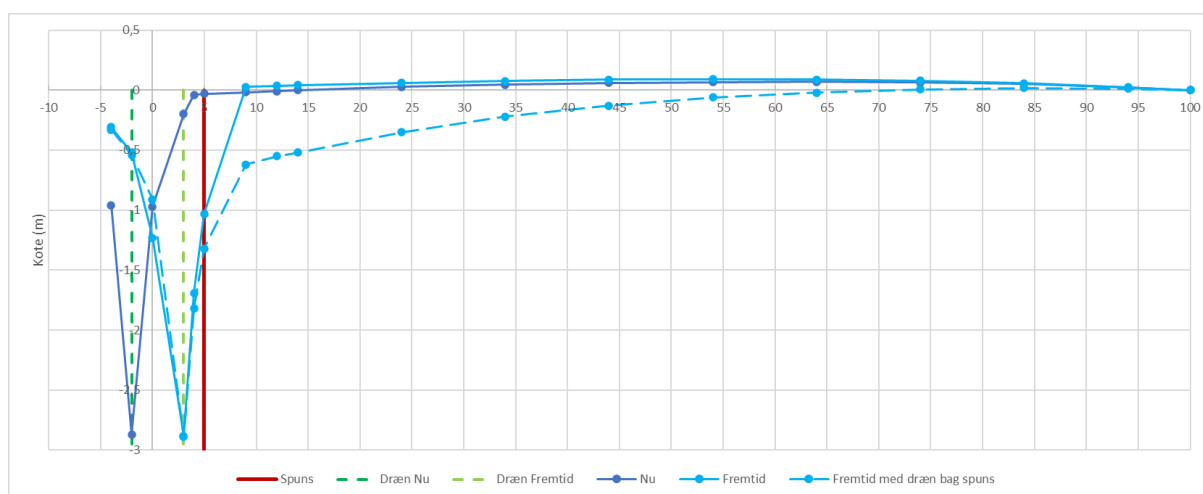


Figur 3.5. Tværsnitsprofiler fra GMS ved St. 3+800. Øverst ses den nuværende situation og nederst ses den fremtidige situation med overhalingsspor og spuns.

De simulerede vandmængder til dræn er vist i Tabel 3.6, og de simulerede vandstandsændringer i det øverste lag syd for banen er vist på Figur 3.6. Den nuværende tilstrømning til dræn svarer samlet til ca.  $1,3 \text{ m}^3/\text{t}$  pr. 100 m. Hvis det antages, at profilet repræsenterer den nordøstlige del af banestrækningen fra st. 3+500 til 3+970 svarer det til en samlet vandmængde på ca.  $6,3 \text{ m}^3/\text{t}$ . I den fremtidige situation er den simulerede vandmængde fra de to dræn på ca.  $6,0 \text{ m}^3/\text{t}$ . Den samlede vandmængde til dræn er kun reduceret med ca. 4 %, men der er forskel på, hvor vandet til det sydlige dræn stammer fra i den nuværende og den fremtidige situation. I den nuværende situation strømmer der en vandmængde på ca.  $2,8 \text{ m}^3/\text{t}$  fra området syd for drænet til banen, på strækningen 3+500 til 3+970, mens der i den fremtidige situation strømmer en vandmængde på ca.  $2,1 \text{ m}^3/\text{t}$ , svarende til en reduktion fra syd på ca. 23%.

St. 3+300	Nuværende situation (m <sup>3</sup> /s pr. 10 m)	Nuværende situation (m <sup>3</sup> /t pr. 100 m)	Fremtidig situation (m <sup>3</sup> /s Pr. 10 m)	Fremtidig situation (m <sup>3</sup> /t pr. 100 m)
Dræn Syd (z1)	1,91E-05	0,69	1,77E-05	0,64
Dræn Nord (z2)	1,81E-05	0,65	1,80E-05	0,65

Tabel 3.6. Simulerede ændringer i vandmængder til dræn ved St. 3+800.



Figur 3.6. Simulerede vandspejlskoter for det øverste lag ved St. 3+800. Situationen med dræn bag spuns er vist med stiplet lyseblå.

Som vist på Figur 3.6 er det simuleret, at der i en afstand af ca. 30 m syd for spunsen forventes en sænkning af vandspejlet i størrelsesordenen 20 cm, når der er etableret dræn bag spunsen (til kote -1 m). I situationen uden dræn bag spunsen er vandspejlet uændret fra ca. 5 m syd for spunsen.

## 4. Opsummering

De opstillede modeller udgør en forsimplet tilgang til estimering af vandmængder langs banestrækningen. Modellerne tager udgangspunkt i de hydrauliske parametre fra Øresundsmodellen.

Den simulerede vandmængde til dræn (både nordlig og sydlig dræn) til P1 og P2 er vist i Tabel 4.1. I den fremtidige situation er den samlede vandmængde til pumpestationerne reduceret med ca. 6,4 %. Tilsvarende opgørelse, udelukkende for det sydlige dræn, er vist i Tabel 4.2, hvor den samlede tilstrømning til dræn fra syd forventes reduceret med ca. 27 %.

De estimerede tilstrømninger er meget afhængige af de hydrauliske parametre for kalkmagasinet. Der er i de opstillede simple modeller ikke kalibreret på de hydrauliske parametre for kalken. Den estimerede tilstrømning er meget følsom overfor forholdet mellem konduktiviteten af kalken og de øvrige lag.



Pumpestation	Mængde (m <sup>3</sup> /t) Nuværende (Nord og Syd)	Mængde (m <sup>3</sup> /år) Nuværende (Nord og Syd)	Mængde (m <sup>3</sup> /t) Fremtid (Nord og Syd)	Mængde (m <sup>3</sup> /år) Fremtid (Nord og Syd)
P1	53,9	472.045	50,2	439.532
P2	8,7	76.005	8,4	73.539
Samlet	62,6	548.050	58,6	513.072

Tabel 4.1. Simulerede samlede vandmængder til dræn.

Pumpestation	Mængde (m <sup>3</sup> /t) Nuværende (Syd)	Mængde (m <sup>3</sup> /år) Nuværende (Syd)	Mængde (m <sup>3</sup> /t) Fremtid (Syd)	Mængde (m <sup>3</sup> /år) Fremtid (Syd)
P1	25,2	220.908	18,1	158.549
P2	3,9	33.874	3,2	27.707
Samlet	29,1	254.781	21,3	186.256

Tabel 4.2. Simuleret tilstrømning fra syd.

Ved etablering af spuns syd for banen forventes en lille påvirkning af vandspejlet, afhængig af de terrænnære geologiske forhold. Ved St. 2+700 forventes en stigning i størrelsesordenen 10-15 cm i en afstand af ca. 30 m fra spunsen. Ved St. 3+300 og 3+800, hvor den terrænnære lagserie er mere lerholdig, ses en mindre ændring af vandspejlet, og hvis der ikke etableres dræn bag spunsen ses der kun påvirkning (sænkning) i de første 5-10 m syd for spunsen, hvorefter vandspejlet er uændret. Ved etablering af dræn bag spunsen forventes en sænkning af vandspejlet i størrelsesordenen ca. 20 cm i en afstand af ca. 30 m fra spunsen.