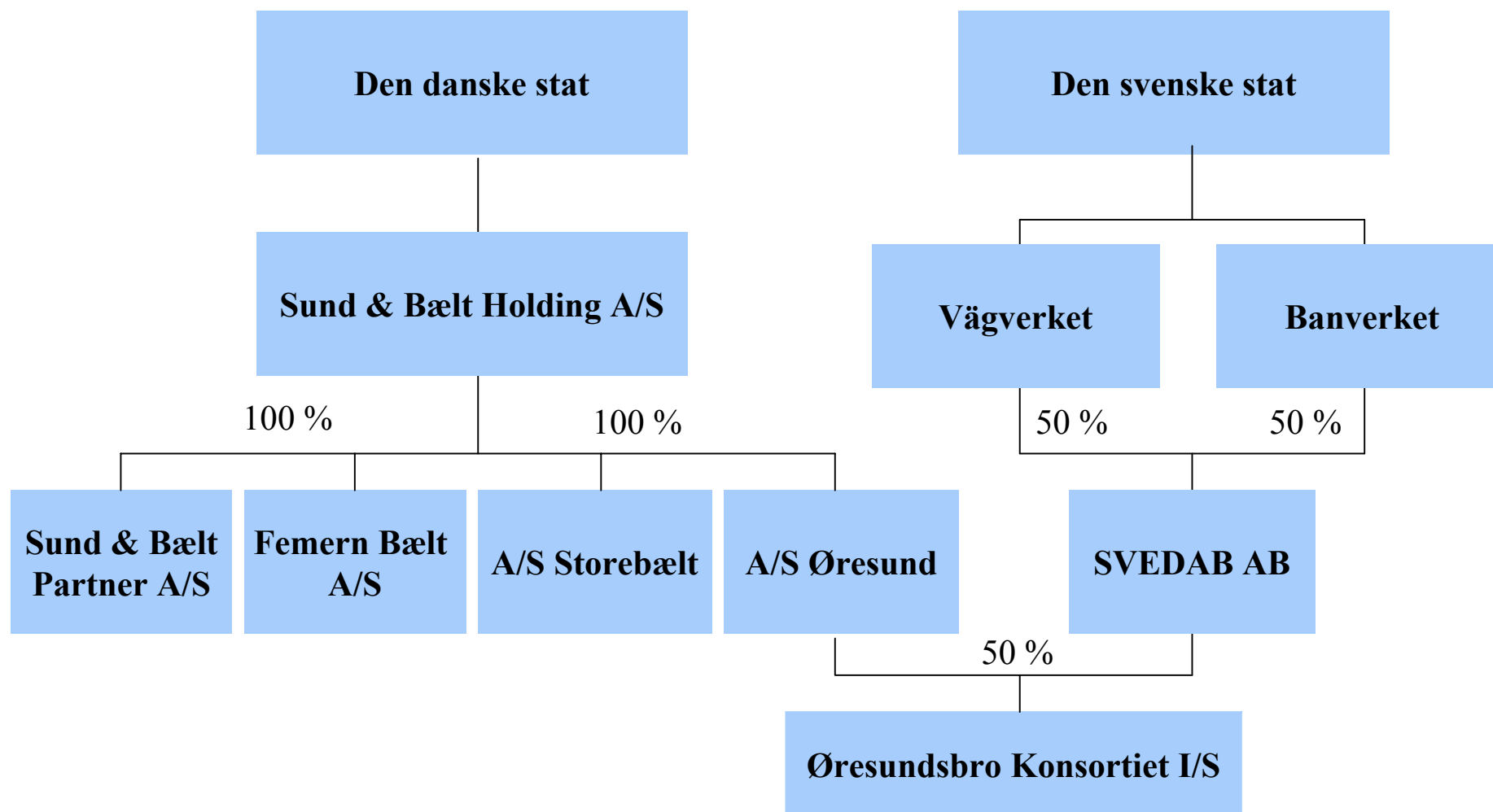


Om Storebæltstunnelen – 10 år efter DFTU 28. november 2006

v/Leif J. Vincentsen og Martin Justesen

- Organisation (Leif Vincentsen)
- Tunnelens historik og trafik (Leif Vincentsen)
- Tunnelens indretning og anlægsperiode (Leif Vincentsen)
- Aktiviteter og observationer efter ibrugtagning (Martin Justesen)
- Anlæggets tilstand efter 10 år (Martin Justesen)
- Risikoanalyser, beredskabsforhold, tunneluheld 5. juni 2006 (Leif Vincentsen)
- Fremtidige planer for D&V og reinvesteringer (Leif Vincentsen)
- Afslutning





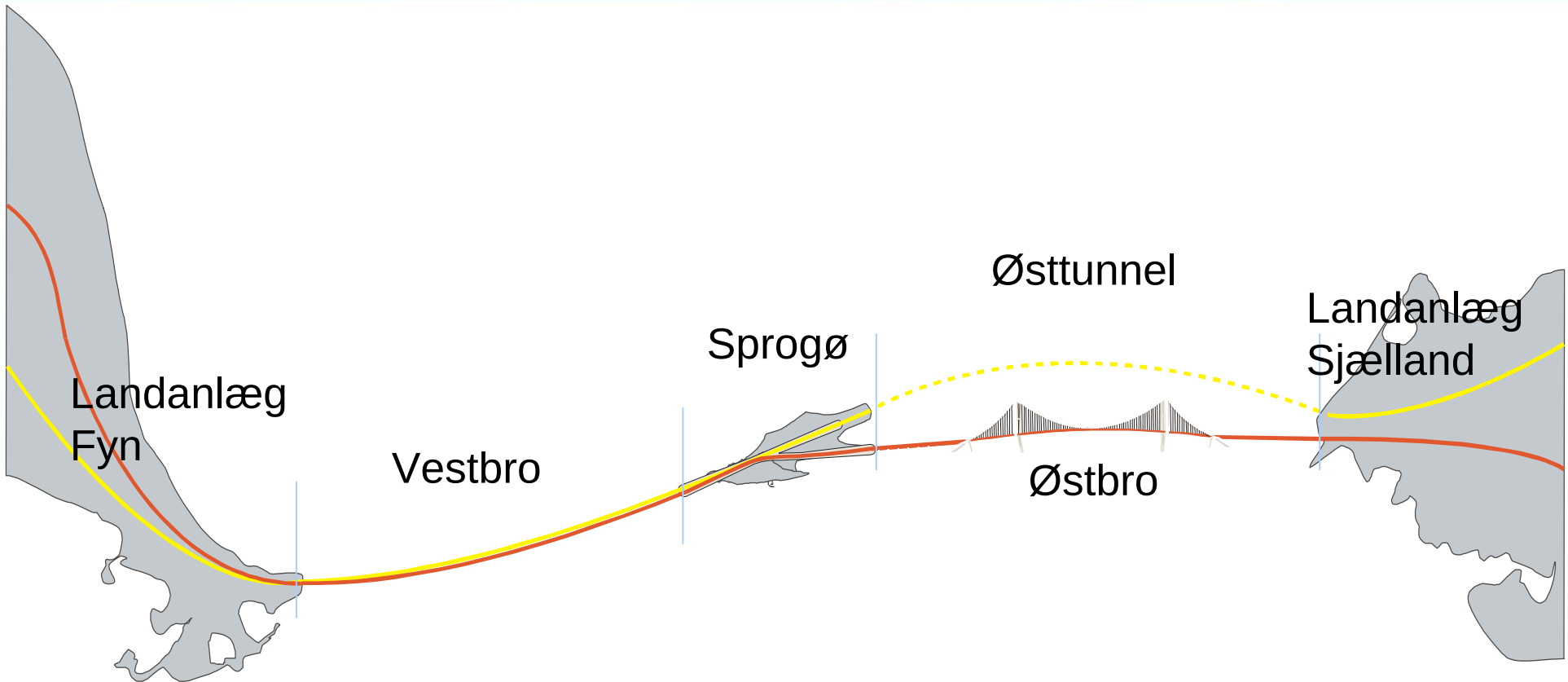
Storebæltsforbindelsen

Sund ≈ Bælt
Sund ≈ Bælt



Storebæltsforbindelsen

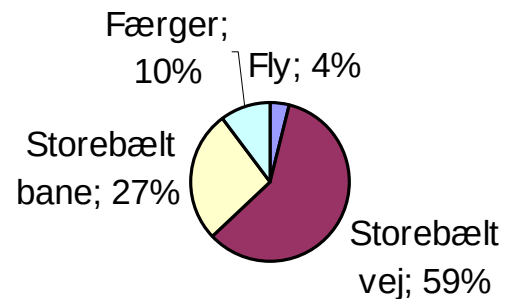
Sund≡Bælt
Sund≡Bælt



Markedsandele og togtrafik over Storebælt



Markedsandel, passagertrafik, 2005



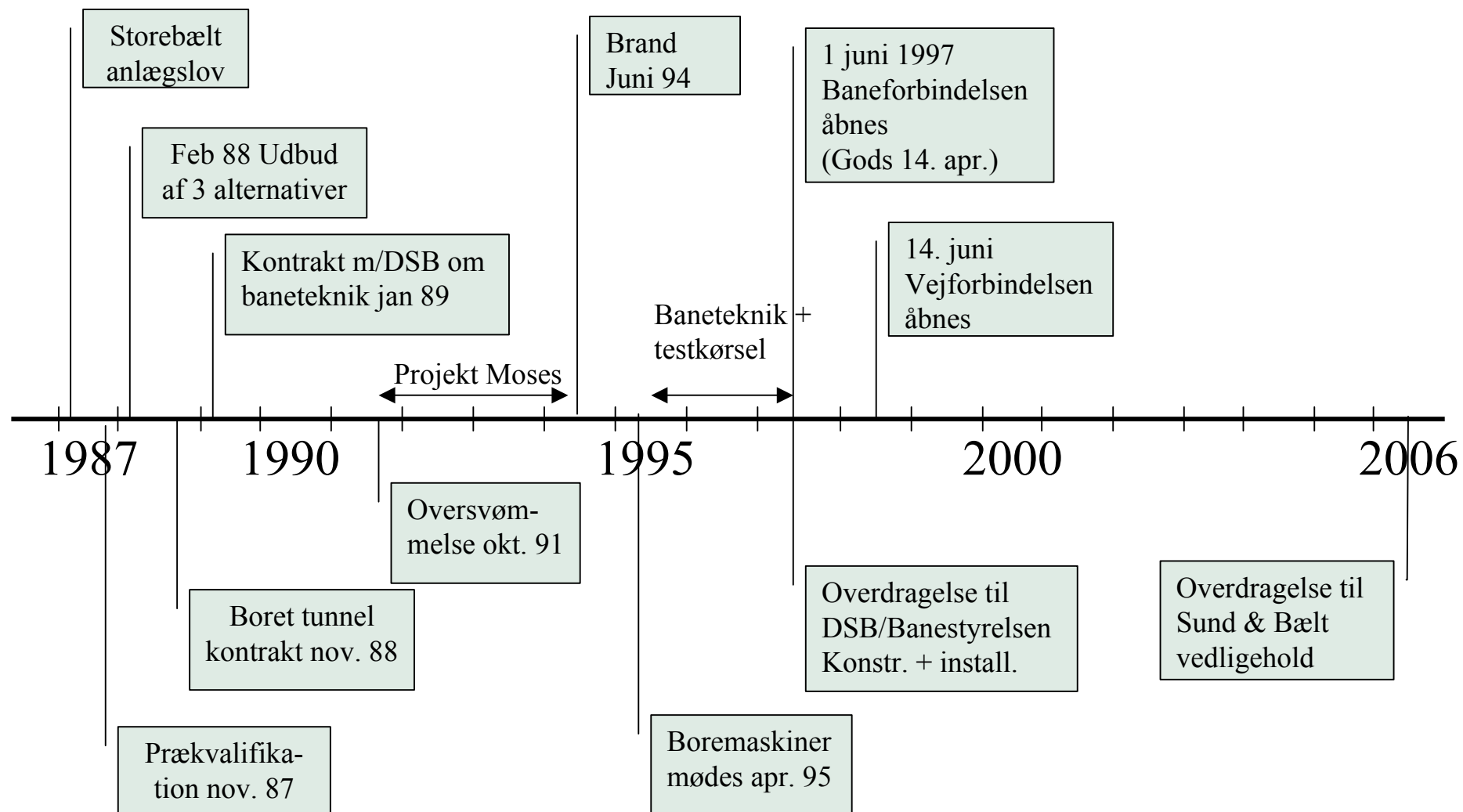
Tog via Storebælt (gennemsnit pr. dag)

Internationale:	3 stk.
Intercity:	75 stk.
Lyntog+regionaltog:	29 stk.
Godstog	28 stk.

Tog i alt via Storebælt: 136 stk./døgn
heraf en del dieseltog

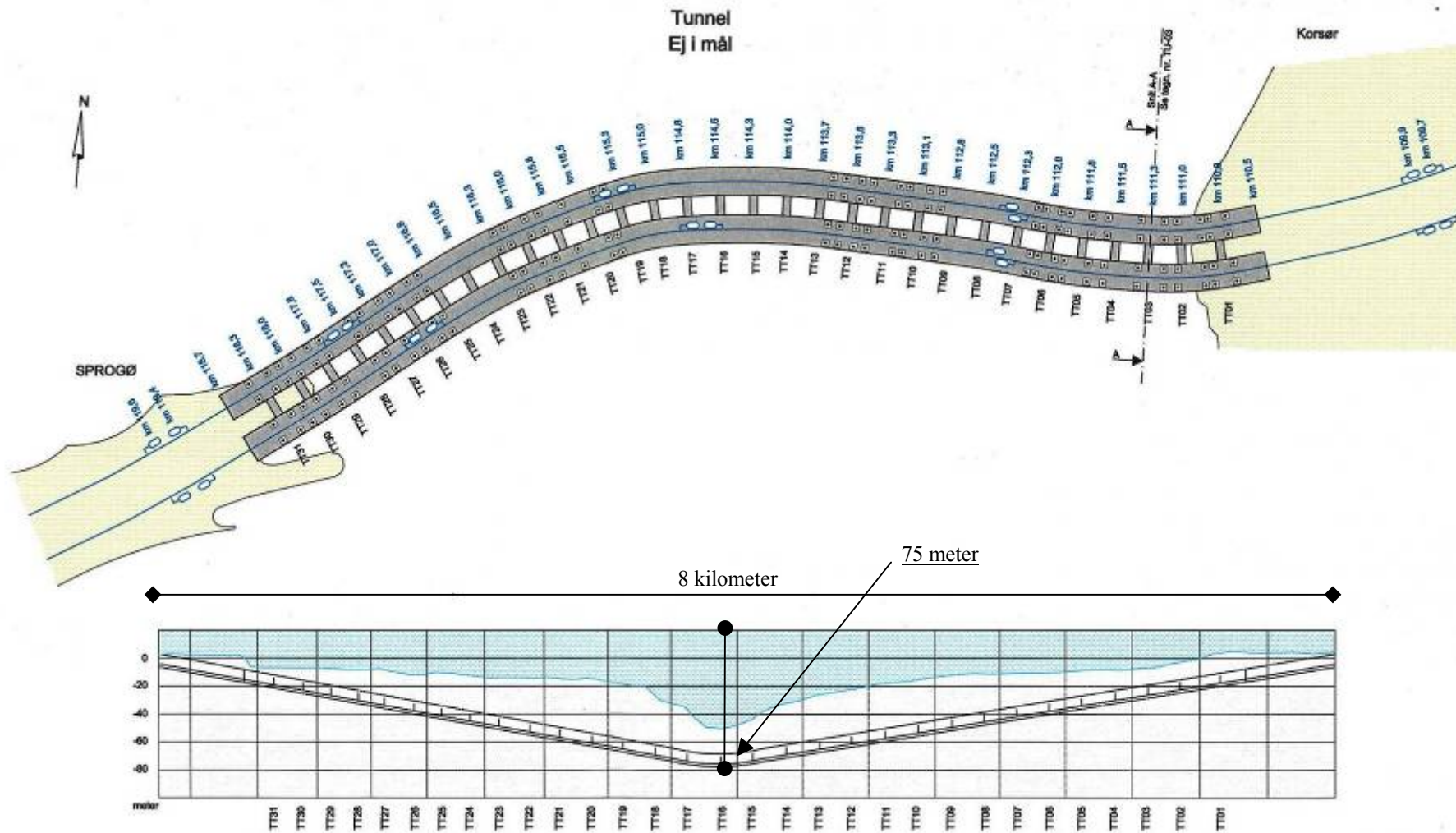
Historik, tunnelen

Sund ≈ Bælt
Sund ≈ Bælt



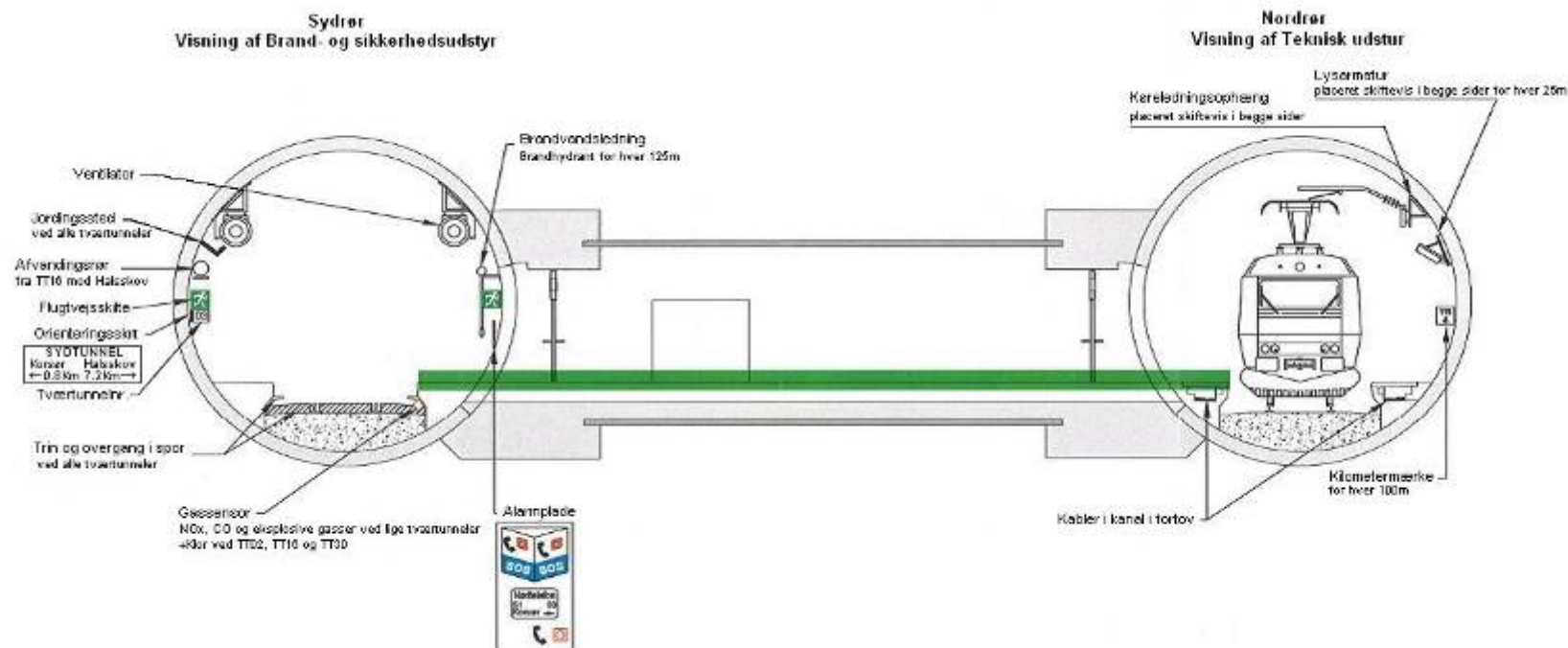
Storebæltstunnelen

Sund≡Bælt
Sund≡Bælt



Hovedtunnel

Sund≡Bælt
Sund≡Bælt



Storebæltstunnelen er ca. 8 km lang og består af to tunnelrør.
Afstanden fra centrum til centrum mellem de to tunnelrør er 25 meter.

Der er ét spor i hver tunnelrør. På hver side af sporet er der 1,45 meter brede fortove, der anvendes som flugtveje.

For hver 250 meter er der tværtunneler, i alt 31, der anvendes som teknikrum og flugtveje.

Ud for alle tværtunneler er der sporovergange og trin i fortovet.

Sund≡Bælt
Sund≡Bælt



Sund≡Bælt
Sund≡Bælt



- Udvendig flyveaskeholdig injektionsmørtel (5-20 cm)
- Tæt højstyrkebeton (med lavt v/c-tal, flyveaske og mikrosilica)
- Epoxy coated, fuldsvejst armering ("fluidized bed" metoden)
- Armering forberedt for senere katodisk beskyttelse
- Overvågningssensorer for kloridindtrængning

Overdragelse af jernbaneforbindelsen over Storebælt til drift

Sund≅Bælt
Sund≅Bælt

- Lov af 27. december 1996:
Banestyrelsen ansvarlig for hele jernbaneinfrastrukturen/Storebælt er ejer.
- Forvaltningsaftale af 25. februar 1997 med tilhørende driftsaftaler for konstruktioner og installationer
- Overdragelsesprotokoller inkl. D&V-manualer
(Specifikationer, procedurer, tegninger, beregninger, rapporter, godkendelser, ændringer og afvigelser mv.)
- Generaleftersyn inden 1. april 1997 og 1 % særeftersyn af løse bolte i tunnelsegmenter

Rutineeftersyn (visuelt, funktionscheck, månedligt - ½-årligt)

Generaleftersyn (hvert 6. år, systematisk, tilstand)

Særeftersyn (specifikke, behovsbetingede, beslutningsgrundlag)

Fokusområder fra anlægsfasen (tilsynets rapport)

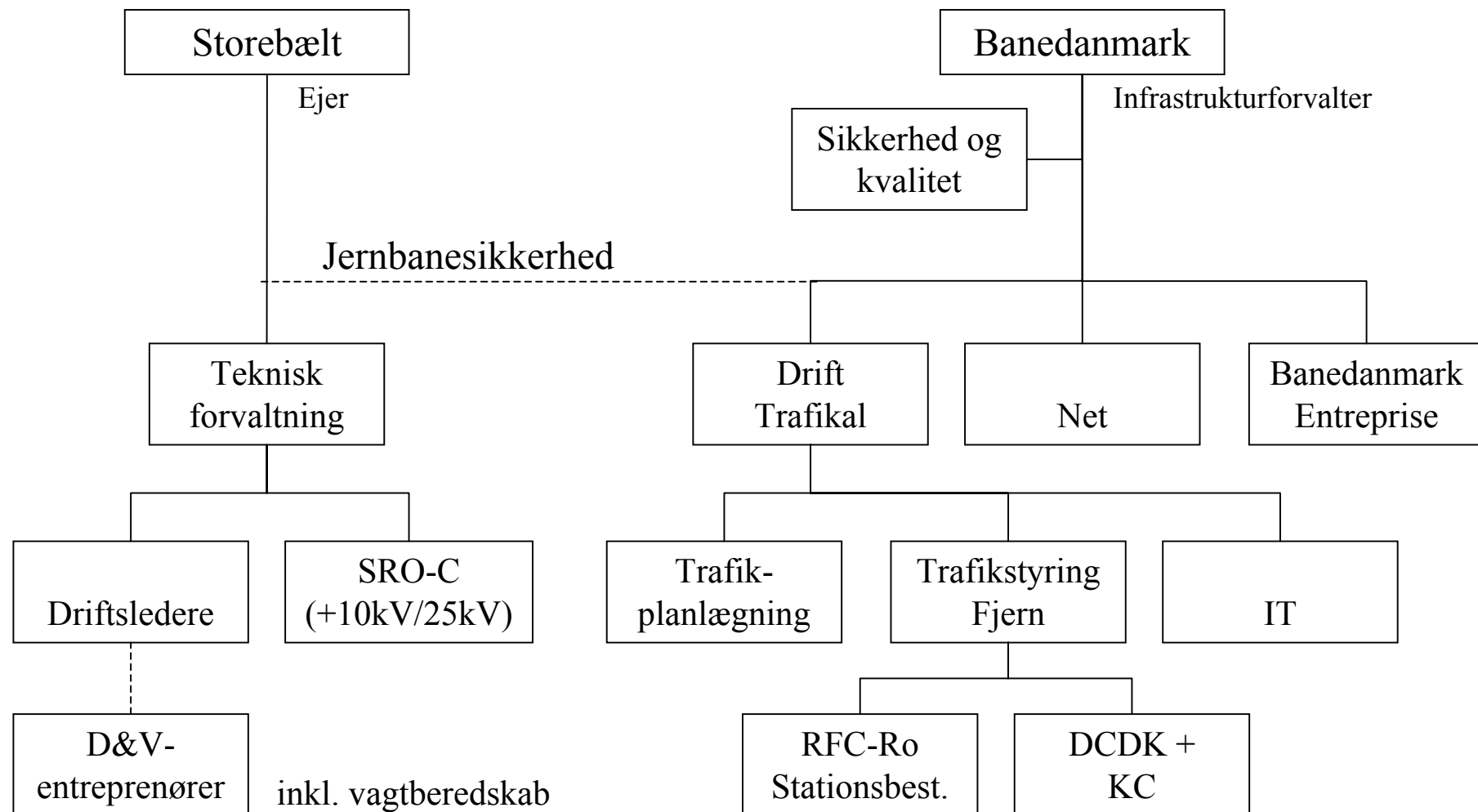
- Tunnelrørets tæthed ved særlige injektioner i byggefasen
- Tilstanden af revnereparationer
- Tilstanden af støbejernselementer
- Boltetilspænding i øvre del af røret
- ”Grout plugs” i udsatte områder
- Junction-områder (sprøjtestøbte vægge + SGI)
- Pumpesumpe (fugeforsegling, revneinjicering og epoxybelægning)
- Dania brand-området

Samarbejdsaftalen om forvaltning af jernbanen på Storebæltsforbindelsen



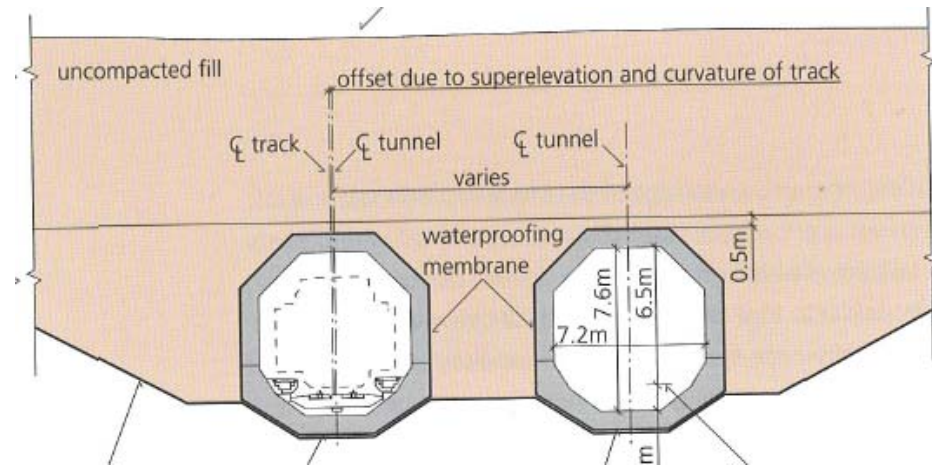
- Lov af 24. juni 2005 om Sund & Bælt Holding A/S
 - Storebælt er ejer
 - Banedanmark er infrastrukturforvalter og varetager trafikal drift
 - Storebælt forestår D&V og reinvesteringer
 - Storebælt efterlever Banedanmarks jernbanesikkerhedsledelsessystem (Godkendt af Trafikstyrelsen)
- Aftalen regulerer samarbejde mellem parterne, herunder specificerer minimumskrav for infrastrukturen (trafikale, tekniske og sikkerhedsmæssige)
- Overdragelsesprotokoller for alle fagområder
- SRO-C døgnovervåger og betjener tekniske anlæg på strækningen

Primære aktører i drift og vedligehold af Storebælts jernbanestrækning



1997 - Injicering af revner i Cut & Cover tunneler

- Revnevidde:
 - 0,2 – 0,25 mm om sommeren
 - 0,4 – 0,5 mm om vinteren
- Vandgennemsivninger
- Injicering om vinteren
- Udført forsøg med
 - injicering med
 - polyurethan
 - acryl gel, 2 forskellige produkter
 - revneforsegling med
 - folie fastklæbet med fugemasse
 - 2-komponent, cementbaseret og acrylforstærket forseglingsmørtel
 - fiberarmeret cementmembran
- Tilfredsstillende forsegling kun ved injektion.



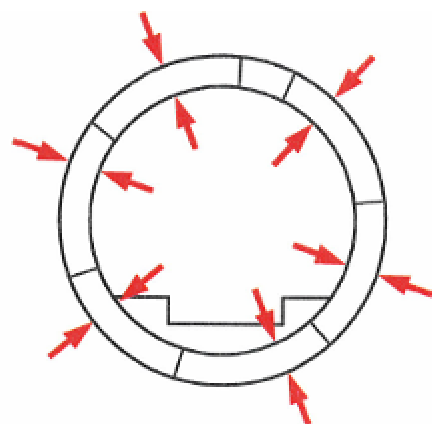
1997 – 2000 Korrosionsovervågningssystem

224 sensorer til korrosionsovervågning af armeringen

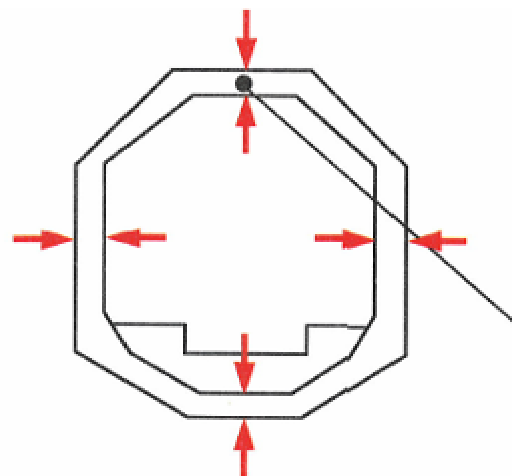
Sensorer på 10 lokaliteter i hvert tunnelrør.

8 lokaliteter i boret tunnel med 12 sensorer.

2 lokaliteter i cut & cover tunnel med 8 sensorer.



Boret tunnel, 8 ringe pr. tunnelrør



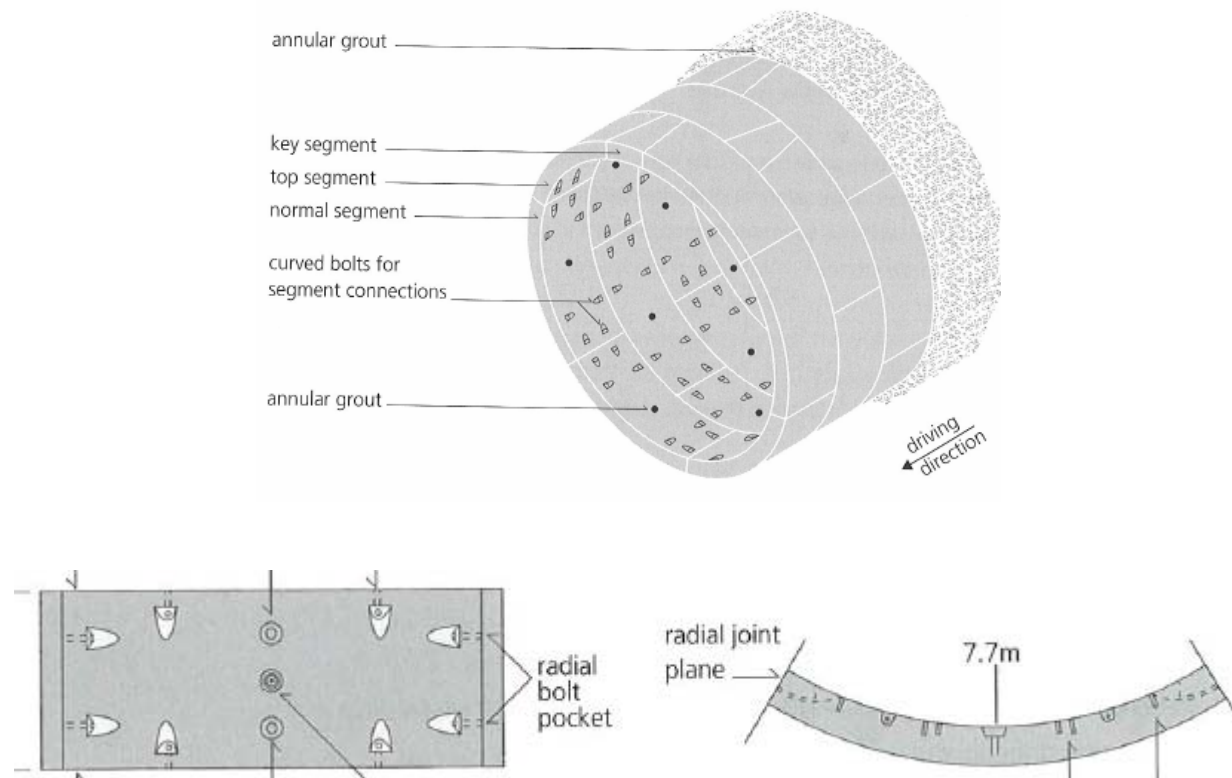
Cut & Cover, 2 tværsnit pr. tunnelrør

- Korrosionscensorerne blev indstøbt i de præfabrikerede tunnelsegmenter i 1991.
- Udført målinger i perioden 1997 – 2000
- **Overordnet resultat af hidtidige målinger:**
 - Korrosionsovervågningssystemet for de indvendige sensorer i segmenterne inkl. måleudstyr virker som tiltænkt.
 - Korrosionsovervågningssystemet for de udvendige sensorer i segmenterne virker umiddelbart ikke som tiltænkt.
- **Måleresultater:**
 - Korrosionsrisikoen er lille for sensorerne i **indersiden** af tunnelsegmenterne

Reparation af tunnelsegmenter

Sund≡Bælt
Sund≡Bælt

1998 – Reparationer af tunnelsegmenter



Typiske årsager til afskalning af reparationerne:

- manglende rengøring mellem intakt beton og reparationsmateriale
- vedhæftningssvigt lagene imellem i reparationer bygget op af flere omgange
- reparationer udført uden forskæring langs kanterne af reparationsområdet.

Reparationsarbejdet afsluttet i 2000.



2000 Generaleftersyn

Borede tunneler, ca. 3.400 registrerede skader

De dominerende skadestyper var:

- Vandgennemsivninger, 78,2%



Vandgennemsivning ved
grout plug

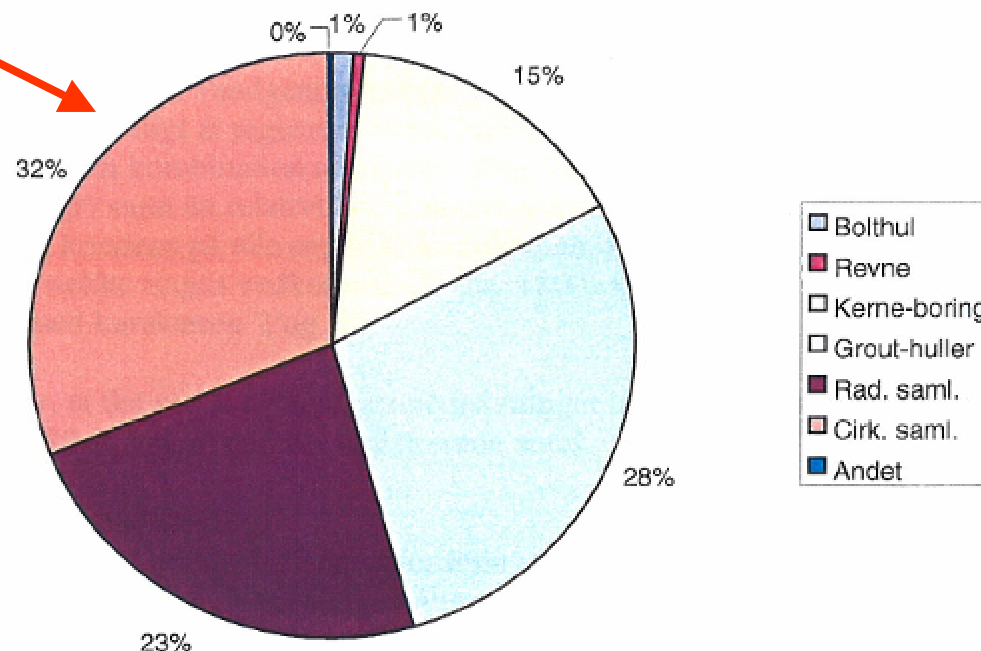


Vandgennemsivning
ved gevindstang

- Vandgennemsivninger + "Bolte og gevindstænger", 95%

- Øvrige skader, 5%
 - afskalninger
 - korrosion på armering
 - revner
 - udfældning
 - andre skader

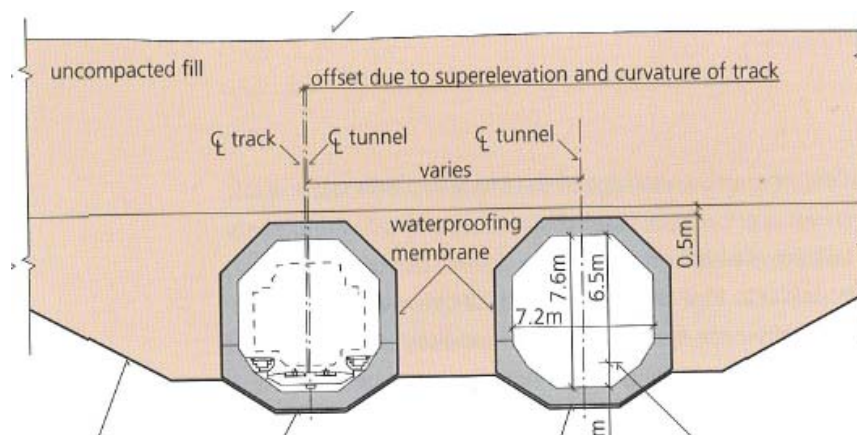
- Svarende til ca. 170 skader



- Cut & Cover-tunneler

Skaderne er i overvejende grad revner med vandgennemsivninger (75%) og udfældninger (95%).

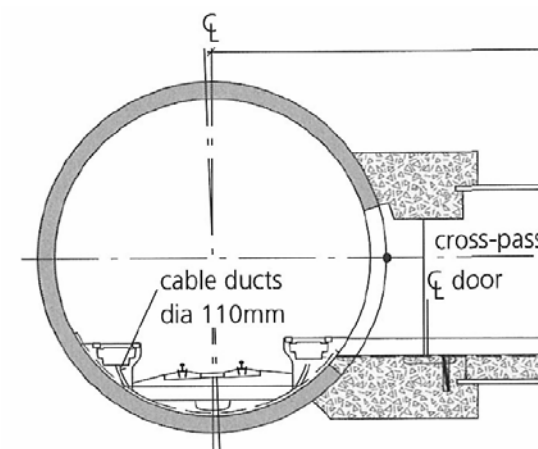
Revnevidde $< 0,5$ mm



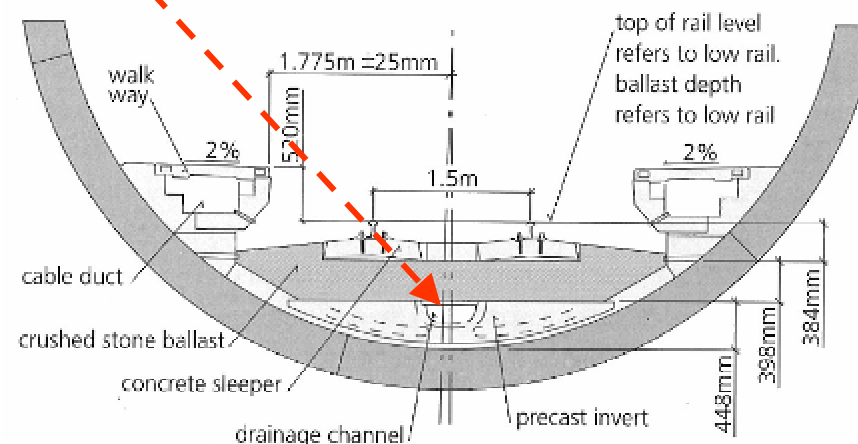
- Tværtunneler
- Dominerende skadestyper:
 - vandgennemsivninger (beton/støbejern), ca. 46%
 - v. samlinger ml. støbejernsringe 80%, grouthuller 20%
 - udfældninger (beton, tidl. vandgennemsivning), ca. 22%
 - rust/okker (støbejern, tidl. vandgennemsivning), ca. 25%
 - i alt 93% af skaderne



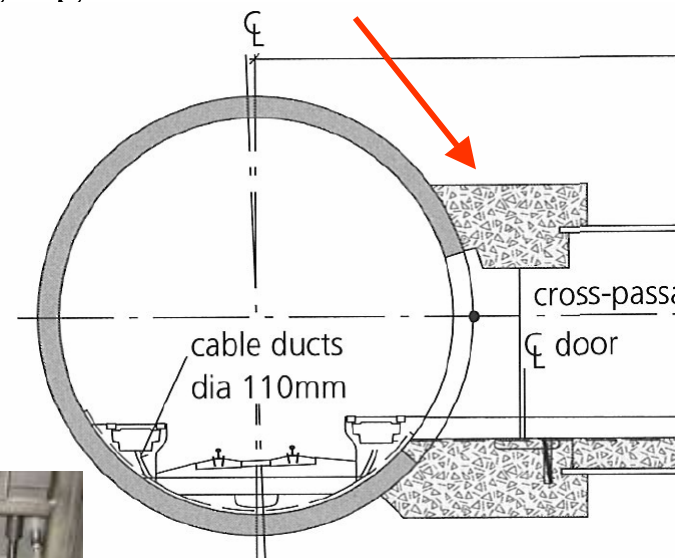
Afskallet maling



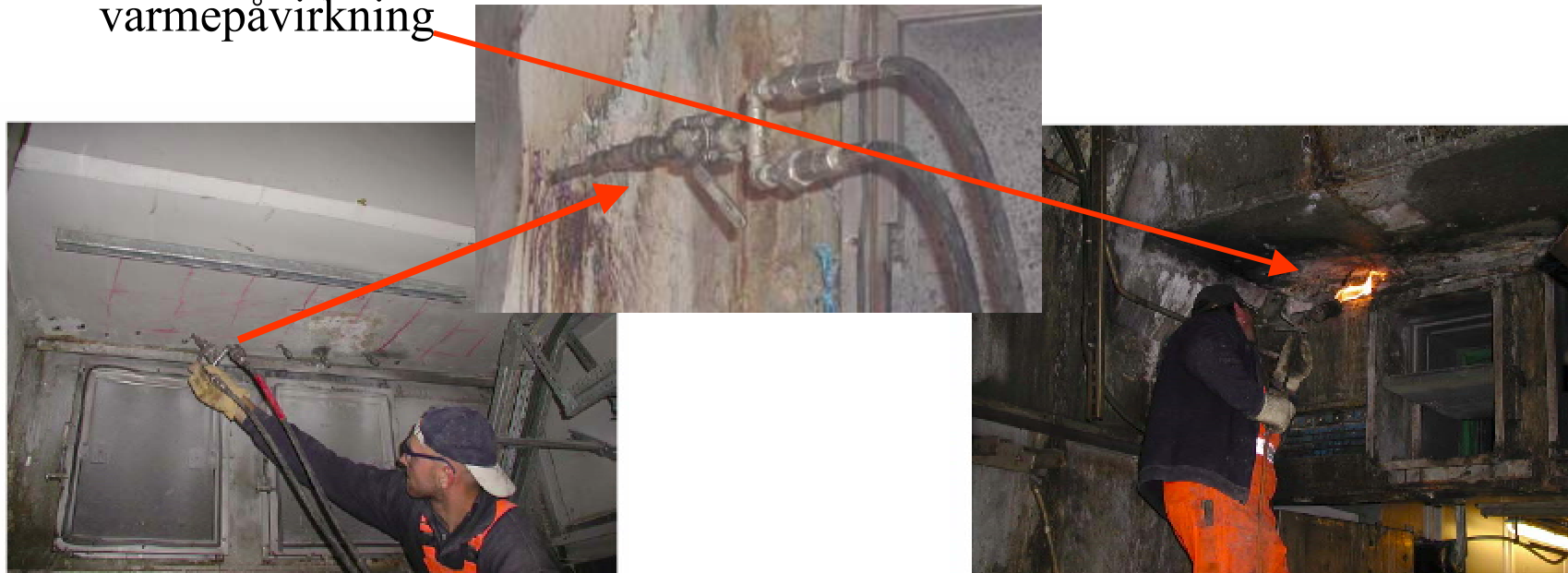
- **Tunnelfvandning**
- Mange afløb fra tværtunneler til hovedtunneler med nedsat funktion eller tilstoppede.
- Drænrende under spor:
 - efterladte materialer, primært i form af grus, fra anlægstiden
 - mere end de nominelle 10 mm mellem de præfabrikerede plader, hvilket tillader passage af mindre skærver
 - generelt i god tilstand.



- 2000 → ? Tværtunneler
- Siden åbning, indtrængende vand i overgangskonstruktioner
- Kloridholdig vand tænger ned i nøddøre (BS60)
 - lejer
 - positionskontakter (SRO-C)



- Injicering af utætheder med en to-komponent mættet acrylamid
- Trykkes ind med højt tryk
- Injiceringsmaterialet ekspanderer ved forbindelse med vand
- Accelerer hærdeprocessen af udtrængende materiale ved varmepåvirkning



Aktiviteter efter overdragelsen til Sund & Bælt

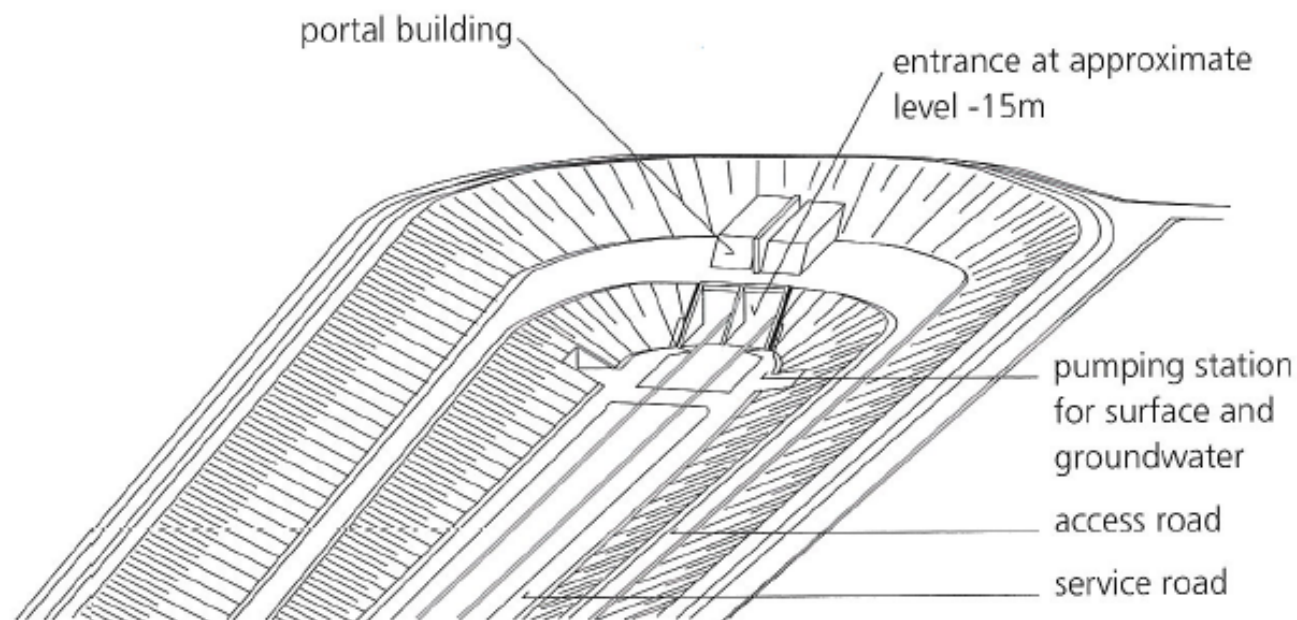
- Fortsættelse af den igennem flere år foretagne tætning af tværtunneler og hovedtunneler
- Påbegyndt generel rengøring af tunnel inkl. tværtunneler
- Generel tilstandsregistrering af hele anlægget
- Sænkning af grundvandsstand på Halsskovrampen

Tætning af tværtunneler

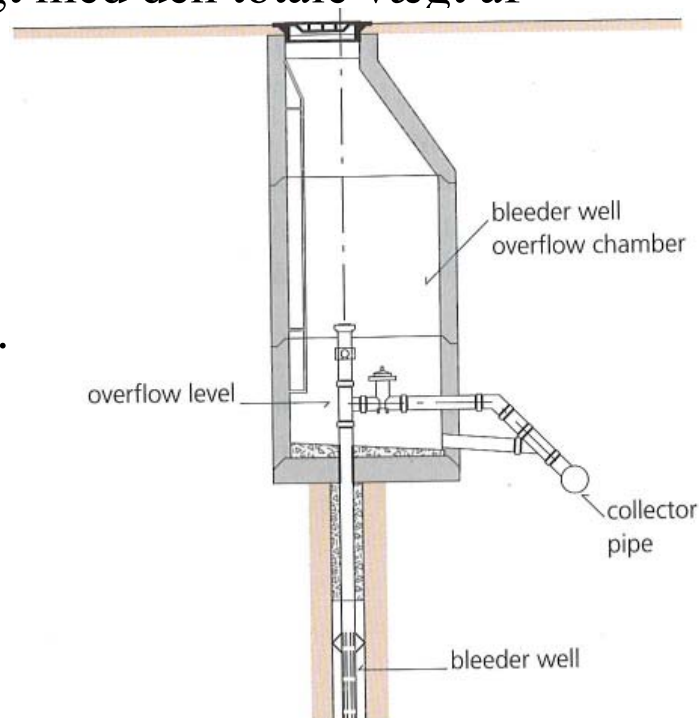
- Overgangskonstruktion mellem HT og TT, i alt væsentlighed tæt.
- Mellem støbejernsringe, i alt væsentlighed tæt.

Grundvandssænkning

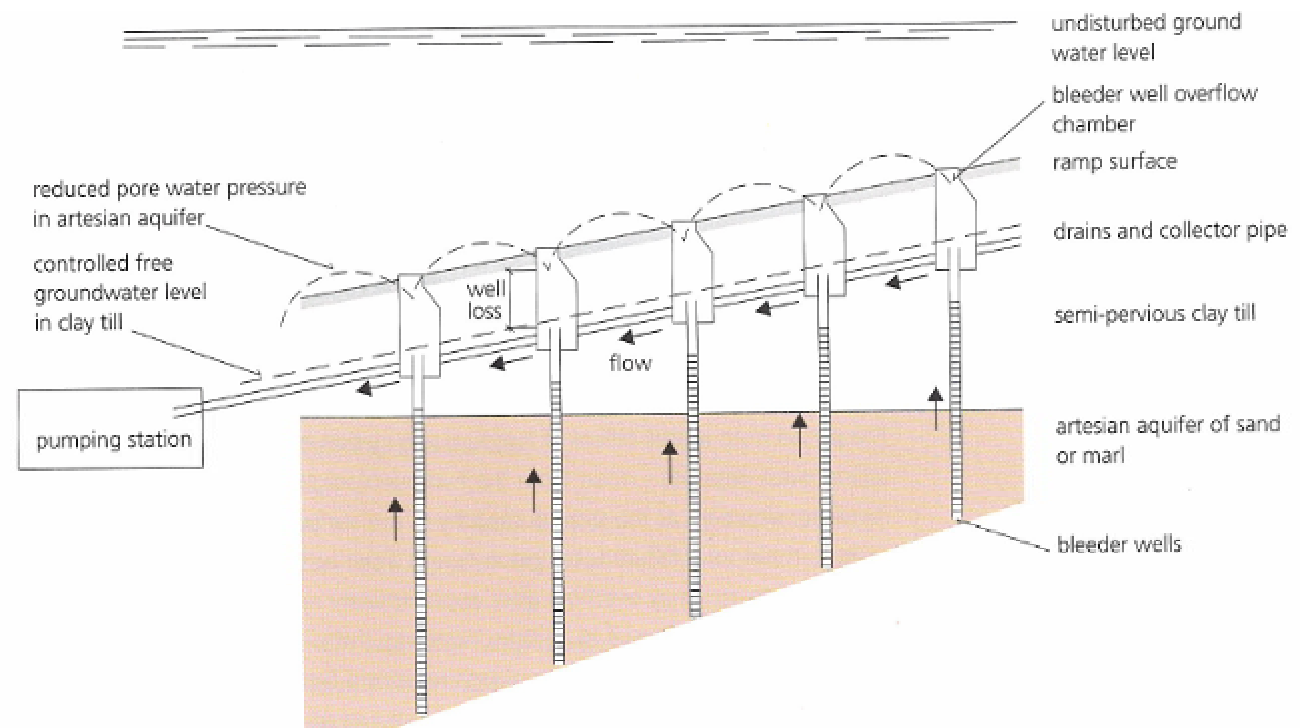
- Tunnelens ramper sikret mod skader fra højtliggende grundvandspotentiale i de underliggende jordlag ved, at der er indrettet permanent bortledning af grundvand under ramperne



- Grundvandssænkningen baseret på gravitation flow
- Overløbsbrønde
- Passivt overløb fra borer, min. ført til kritisk dybde
- Usænket poretryk netop i lodret ligevægt med den totale vægt af overliggende jord
- Boringerne filtersat på en defineret strækning iht. placering på rampe og i forhold til jordbundsforhold
- Overløb til samleledning via afgangsrør. Afgangsstuds. Over toppen af filterrøret
- Tilstopning afgangsrør/samleledning, løbe ud på terrænet
- Pejleboringer



- Tilstrømmende vand fra overløbsboringer og dræn
- Ca. 100 brønde på Halsskov rampen
- Ca. 150 brønde på Sprogø rampen
- Pumpestation

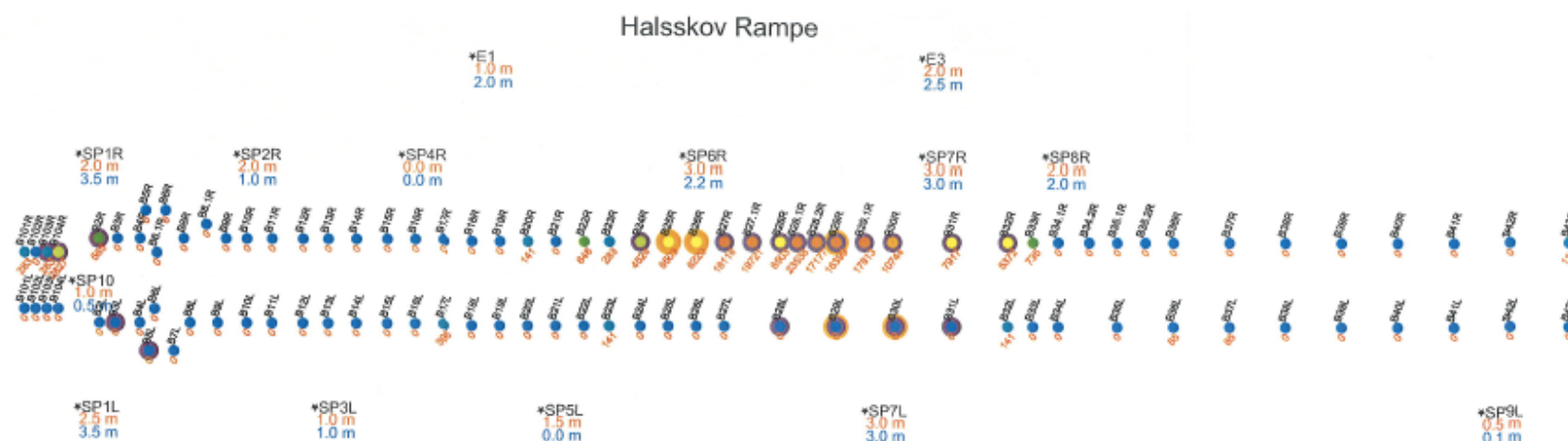


- Anlægget i drift
1991/92 i Halsskov - 1995 på Sprogø
- 2000, vandstanden i flere pejlerør på Halsskov stod så højt, bekymring for at vandstanden skulle stige til et niveau, der kunne medføre skader på ramperne.
- 2000, gennemgribende oprensning
- Oprensning af overløbsboringer:
 - opadrettet spuling
 - ”ballon”
 - gennem ”ballonen” overtryk på boringen
 - vandet trykket tilbage ud gennem filteret
 - trykket fjernes, vandet tilbage igennem filteret, materiale i filter løsnet
 - afsluttes med opadrettet spuling

Grundvandssænkning, 2000

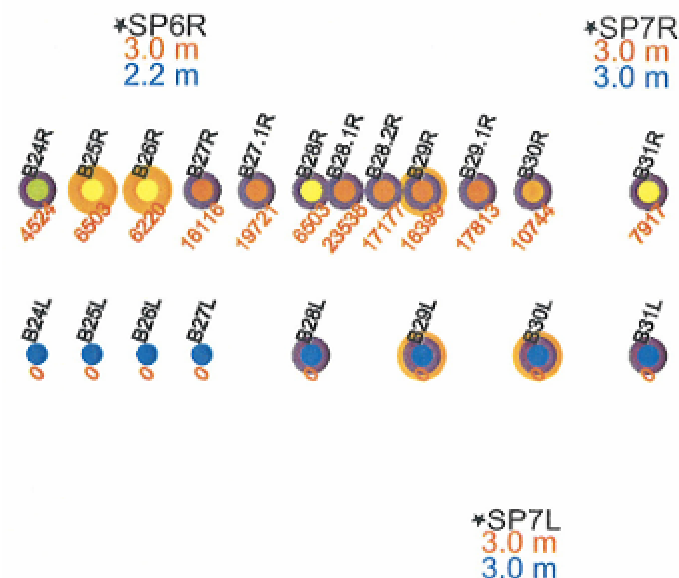
Gennemgang af anlægget i 2000 gav følgende anbefalinger:

- hyppigere monitoring i form af pejlinger og måling af udpumpet vand
- hyppigere tilstandsvurdering af kritiske dele af anlæg, Halsskov rampe
 - central del af overløbsbrønde, B26R-B32R
 - nedre del af samleledning, G5R-G0R
- gennemgribende oprensning hvert 5. – 10. år
- database



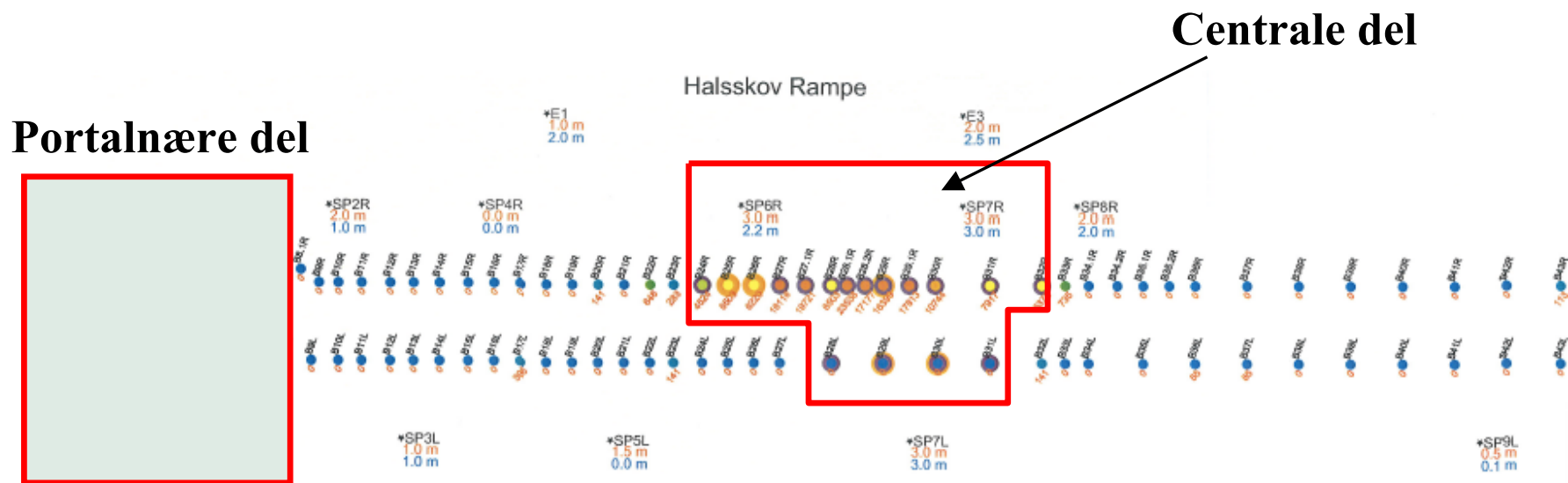
2004 Grundvandssænkning

- Halsskov - Vandstand i to pejlerør på den centrale del over alarmniveau
- 5 overløbsboringer kemisk rensset
- Trods flere mekaniske oprensninger ingen langtidseffekt
- Boringer syret med saltsyre
- Saltsyre/vand, 1/10
- Overtryk, 0,4 – 0,5 bar
- Stå i 5 døgn
- Renblæst med store luftmængder
- Ydelse før, 5 m³/t
- Ydelse efter, 27 m³/t, faktor 5

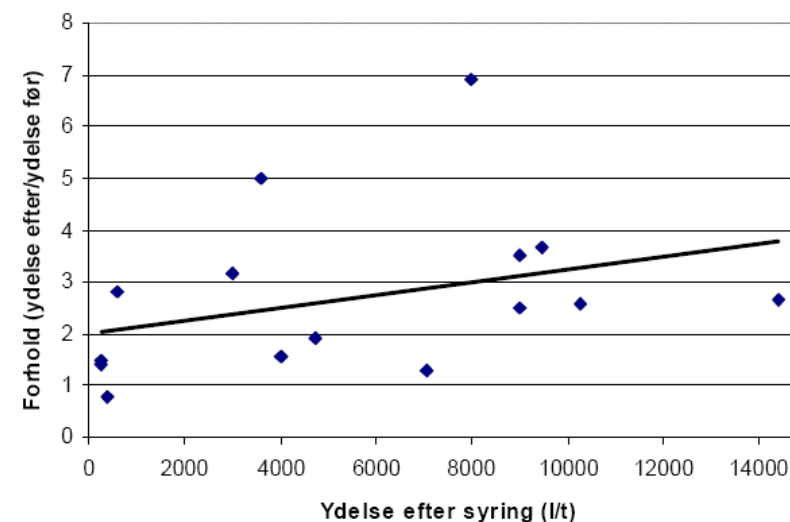


2006 Grundvandssænkning

- Kemisk oprensning i 2006 på Halsskov rampen af
 - 15 boringer på centrale del
 - 5 boringer på portalnære del



- Udført etapevis
- 500 – 1.500 liter saltsyre
- Reaktionsid, 1 uge
- Boring blæst fra bunden med trykluft
- pH målt i returvand og pumpestation
- $\text{pH} < 6$, kun kortvarigt < 5
- Målt enkelt boring til $\text{pH} = 5,2$, lavtydende boring
- $\text{pH} > 7$ ved pumpestation
- Ydelse før, $35\text{m}^3/\text{t}$
- Ydelse efter, $89\text{m}^3/\text{t}$
- Faktor, 2,5



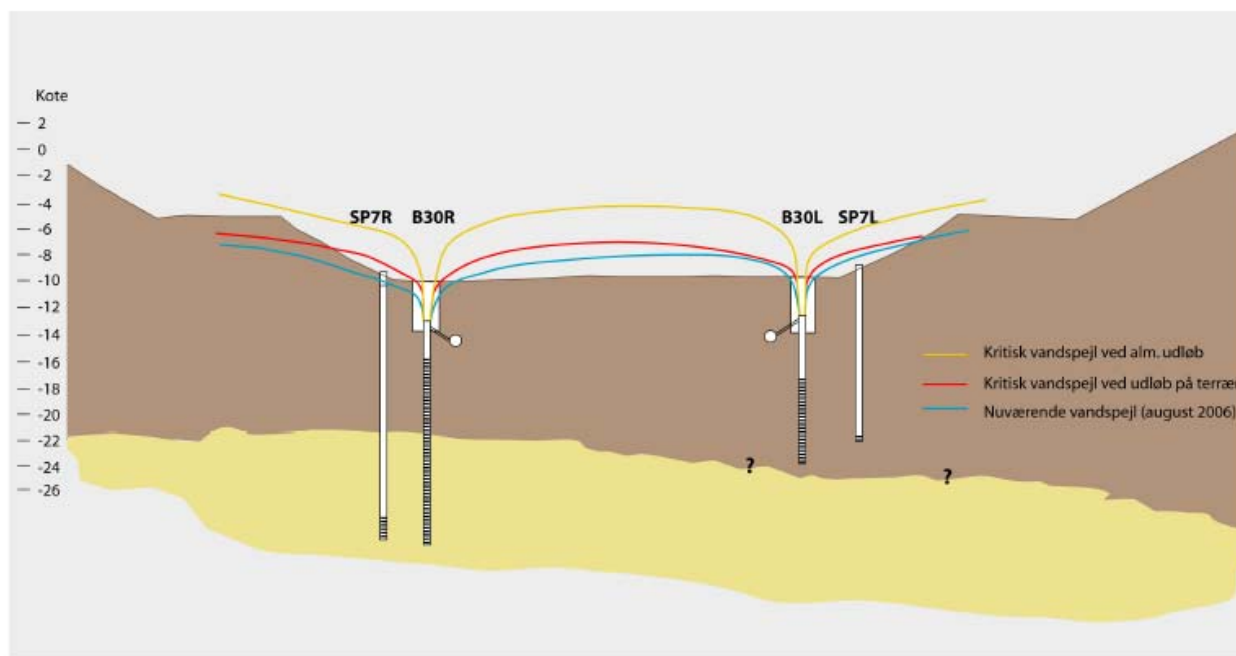
Anlæggets tilstand efter 10 år

		Udpumpet mængde pr. time i m ³
Sprogø	Rampebassin	5,6
	Grundvandsbassin	321,1
Tunnel	Nordrør	0,5
	Sydrør	0,1
Halsskov	Rampebassin	24,9
	Grundvandsbassin	127,6

Baseret på oplysninger fra 3. maj 2006 til 31. okt. 2006.

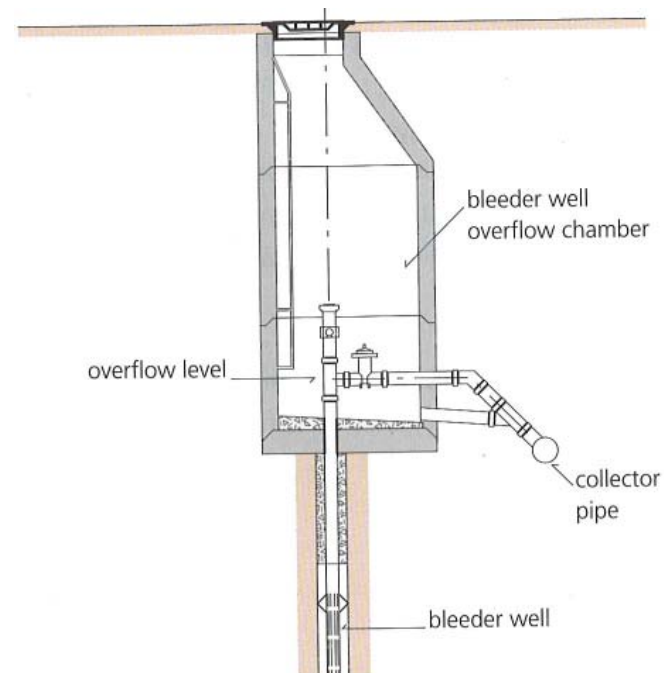
- Nov. 2006: 1,6 m under alarm niveau
- Løsninger til forbedret trykaflastning
 1. Delvist aktivt system (pumper i overløbsboringer)
 2. Hyppige udsyringer.
 3. Opboring (evt. uddybning) af boringer i eksisterende brønde.
 4. Nye boringer og brønde tilsluttes nuværende samleledning
 5. Nye boringer og brønde tilsluttes ny samleledning

- Løsning 3 at foretrække i den givne situation:
 - ingen udgravninger
 - ingen nye brønde og tilslutninger til samleledninger
 - kan evt. bidrage til aflaste samleledningen på nordsiden (bore til større dybde på sydsiden)



Anlæggets tilstand efter 10 år (15 år på Halsskov)

- Generaleftersyn 2006, anbefalinger
- Forbedret trykaflastning i nedre magasin lokalt på Halsskov rampe
- Udsyring af 5 – 10 overløbsboringer på Sprogø pga. stigende grundvandsstand
- Forsøg med udsyring af afgangsrør
- Alm. spuling af anlæg.
Ikke synlige elementer.
Min. hvert 3. til 5. år.
- Vibrationsspuling



I 2006 udført eftersyn af hele tunnelanlægget i form af

- Generaleftersyn af rampernes grundvandssænkning
- Generaleftersyn af tunnelanlæggets konstruktioner (ikke afsluttet)
- Stikprøvevis tilstandsregistrering af støbejernssegmenter
- Registrering af vandindtrængning i TT og HT hver 2. mdr.

Generaleftersyn af tunnelanlæggets konstruktioner

- Borede tunneler
 - vandgennemsivninger, 64%
 - revner, 12%
 - bolte og gevindstænger, 20%
 - resten, 4%
 - ca. 3.400 skadesregistreringer i 1999
 - ca. 2.200 skadesregistreringer i 2006

Anlæggets tilstand efter 10 år

Skadetype	År	Antal skader	Andel
Vandgennemsivning	1999	2637	78,2 %
	2006	1391	64,0 %
Revner	1999	37	1,1 %
	2006	255	11,7 %
Bolte og gevindstænger	1999	565	16,8 %
	2006	426	19,6 %
Anden skade	1999	131	3,9 %
	2006	102	4,7 %
Sum	1999	3370	100,0 %
	2006	2174	100,0 %

Anlæggets tilstand efter 10 år

- Cut & cover tunneler

Størrelse af vandgennemsvingning	Revnestørrelse			Sum	Andel
	Netrevner	Fine revner (w < 0,2 mm)	Grove revner (w > 0,2 mm)		
N: Ingen vand/fugt	40	901	0	941	84 %
0: Fugt i revne	0	176	0	176	16 %
1: Dryppende el. langsomt sivende vand	0	6	0	6	<1 %
2: Rindende vand	0	0	0	0	0 %

Anlæggets tilstand efter 10 år

Sund≡Bælt
Sund≡Bælt

Tværtunneler

- Vandgennemsivninger, 46% → 5%
- Udfældninger, 22% → 28%
- Korrosion, 25% → 59%
- Nærmere undersøgelser viser ikke tegn på betydelende materialetab



Kommende aktiviteter

- Udskiftning af spor i dybdepunkt i begge tunnelrør
- Udskiftning af gaspaneler
- Begynder udskiftning af ventilatorer (160 stk.) over en 10 årig periode
- Rengøring af borede tunneler og tværtunneler
- Indkøb af tunnelvaskemaskine
- Færdiggøre tilstandsvurdering suppleret med nødv. særeftersyn
- ”Fjerne” dryp (saltholdig) fra spor, installationer og nøddøre m.v.
- Forbedre trykaflastningen lokalt på anlægget for permanent grundvandssænkning på Halsskov rampen

Primære bidragsydere til afbrydelsessandsynlighed

- Togbrand, der skader hovedtunnel betonelementer (0,024 pr. 100 år)
- Togbrand (farligt gods), der skader tværtunnel støbejernselementer
(0,014 pr. 100 år)
- Eksplosion i brandbare gasser, der ødelægger installationer i flere tværtunneler
(0,0044 pr. 100 år)
- Oversvømmelse af tunnel i ekstrem storm/højvande (0,005 pr. 100 år)
- Jordskælv (0,0013 pr. 100 år)
- Eksplosion i faste eksplosiver (0,0002 pr. 100 år)

Brand i arbejdstrolje 5. juni 2006

Sund≡Bælt
Sund≡Bælt

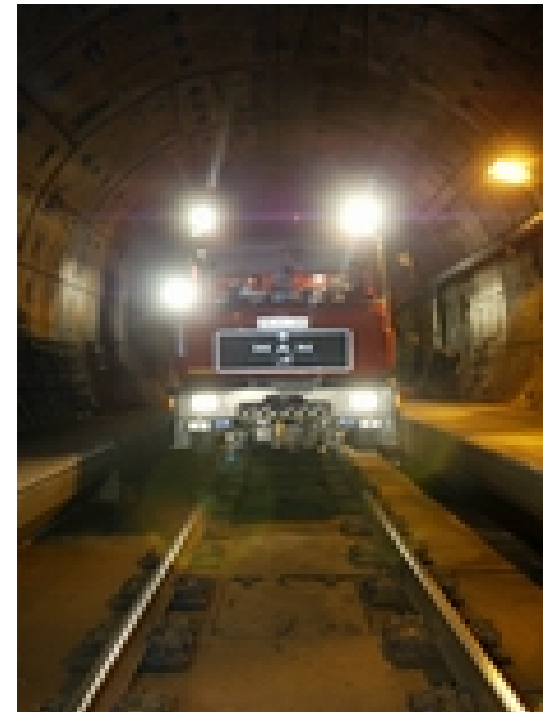
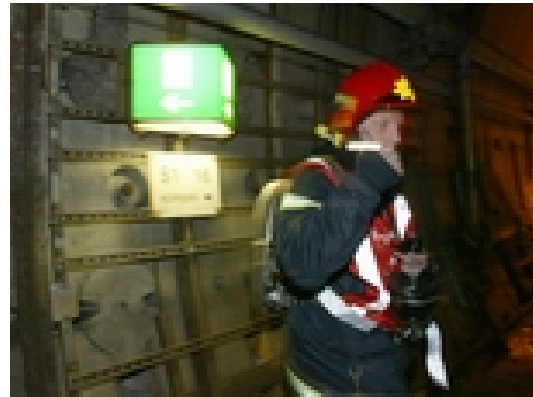
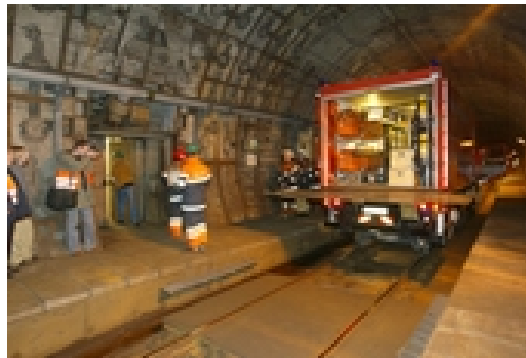


Brand i arbejdstrolje 5. juni 2006

- 3 troljer og 7 vogne med svejseudstyr til spor
- Brand kunne ikke slukkes af personalet
- Varighed 1 $\frac{3}{4}$ time
- Skader på anlæg:
 - Overfladiske skader + røgsværtning
 - Spor deformeret og ballast forurenede
 - Skader på køreledning (25 m)
 - Ej skader på sikringsanlæg, brandvandsrør og installationer i fortov
- Togkørsel igen i ikke-skaderamte rør efter 7 $\frac{1}{2}$ time
- Togkørsel igen i skaderamte rør efter 104 $\frac{1}{2}$ time

Storebæltsberedskabet

Sund≡Bælt
Sund≡Bælt



- Sporspærringer

T: 5 timer fra 00-05 uden gener

L: 8 timer fra 20.00-05.00 (maks. 5 min. forsinkelse)

K: 10 døgn/24 timer (aflyse enkelte tog)

KAT: Korte spærringer imellem den normale togdrift

- Tunnelarbejder fortrinsvis: 1/12 - 31/3
herud over 3 dage/rør/mdr.: 1/4 - 31/11

Storebæltstunnelen - afslutning

Sund≡Bælt
Sund≡Bælt

