

Foredrag i DFTU 31 Januar 2012

Hong Kong Zhuhai Macao forbindelsen

Verdens længste sænketunnel for biltrafik

Del 1

Casper Paludan-Müller

Indledning

Agenda

1. del (Casper Paludan-Müller)

1. Baggrund
2. Overordnet projektudformning
3. Design sænketunnel konstruktion
4. Geotekniske forundersøgelser

2. del (Tommy Olsen)

1. Design sænketunnel fundering
2. Projektering for differenssætninger
3. Udformning af øer
4. Udførelse af sænketunnel og øer

Hong Kong Zhuhai Macao forbindelsen

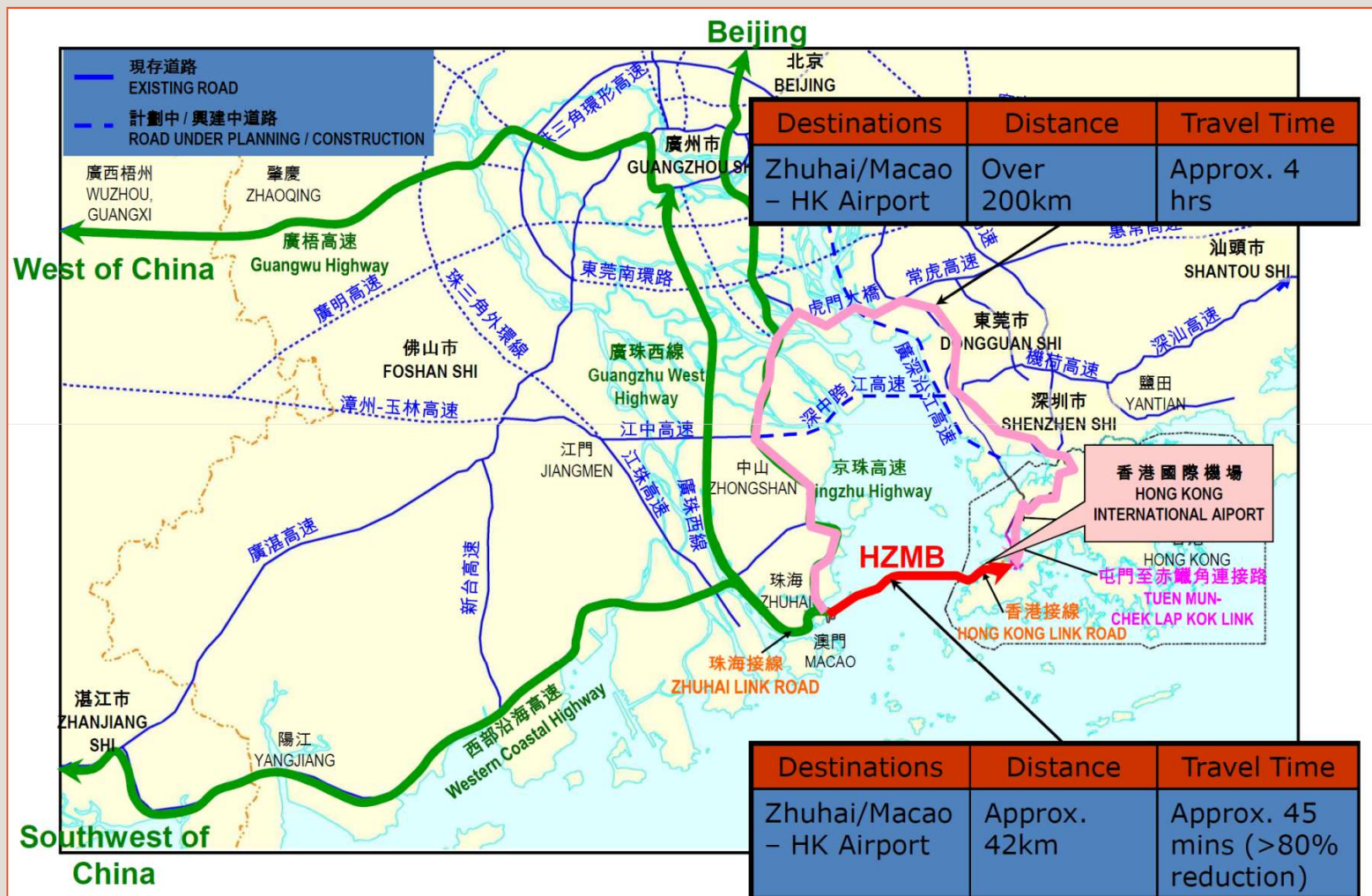
1. Baggrund

Hong Kong Zhuhai Macao forbindelsen

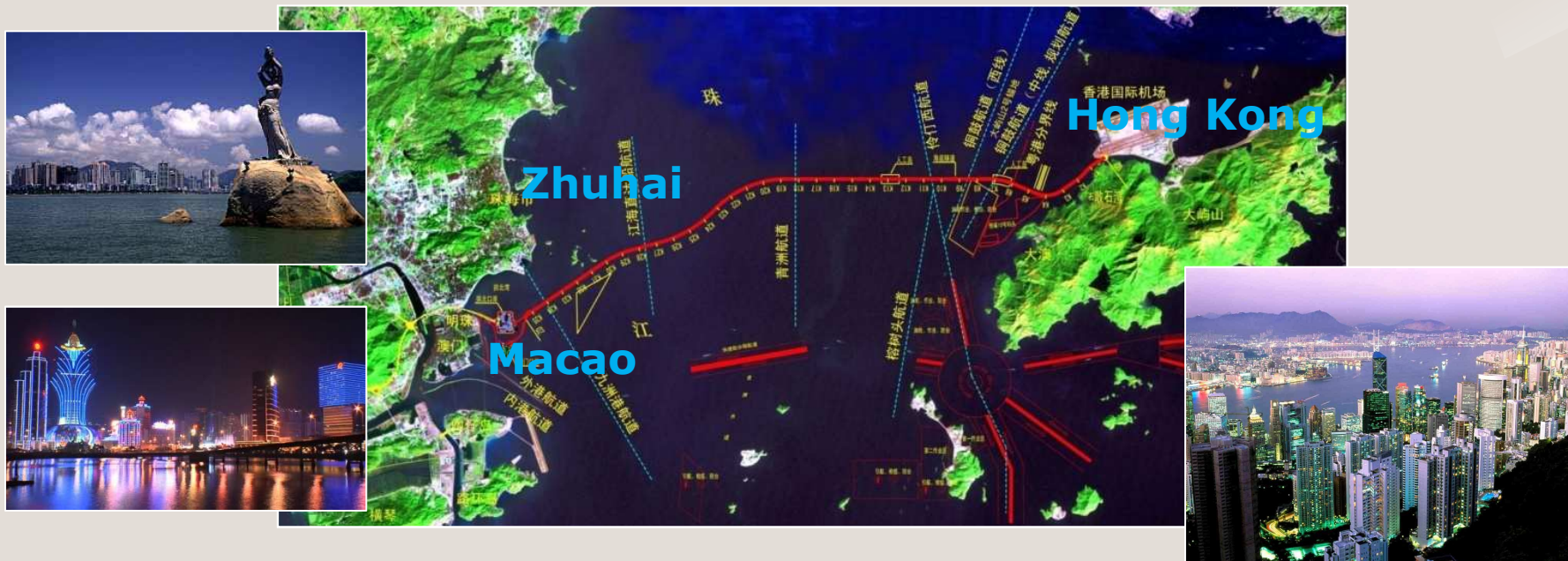
Beliggenhed



Forbedret vejforbindelse



Projektets historie



- 1983: Vejforbindelse Hong Kong - Zhuhai foreslås første gang
- 1999: Forslag om Y-formet Hong Kong - Zhuhai - Macao forbindelse
- 2003: "Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge Advance Work Project Office" etableres, financiering HK: 50%, Kina "Main land": 35%, Macao: 15%
- 2008: Feasibility studie
- 2009: Preliminary design,
- 2009: Start på land indvinding ZMBCF (Zhuhai Macao Border Crossing Facility)
- 2010-2016: Detailprojektering og udførelse, fast forbindelse

Hong Kong Zhuhai Macao forbindelsen

Rådgivere og entreprenører

Preliminary Design (2009):

Joint Venture: Highway Planning and Design Institute HPDI, COWI, Arup, STEDI, First Harbour Design Institute

Design & Build kontrakt, tunnel og kunstige ø'er (fra 2010):

Konsortium:

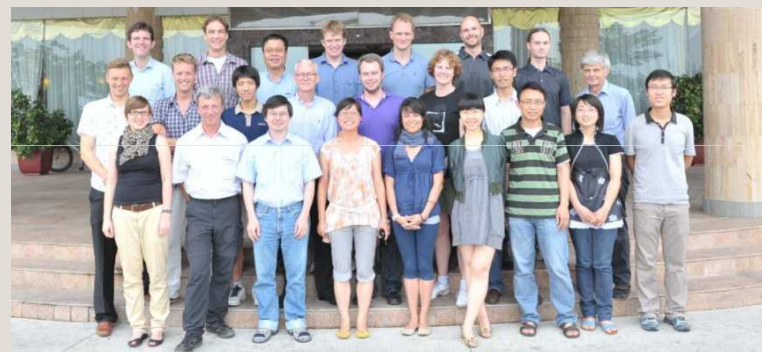
Construction JV: CCCC (lead), Shanghai Urban Construction (Group) Company, AECOM

Design JV: HPDI, COWI, STEDI, Fourth Harbour Design Institute

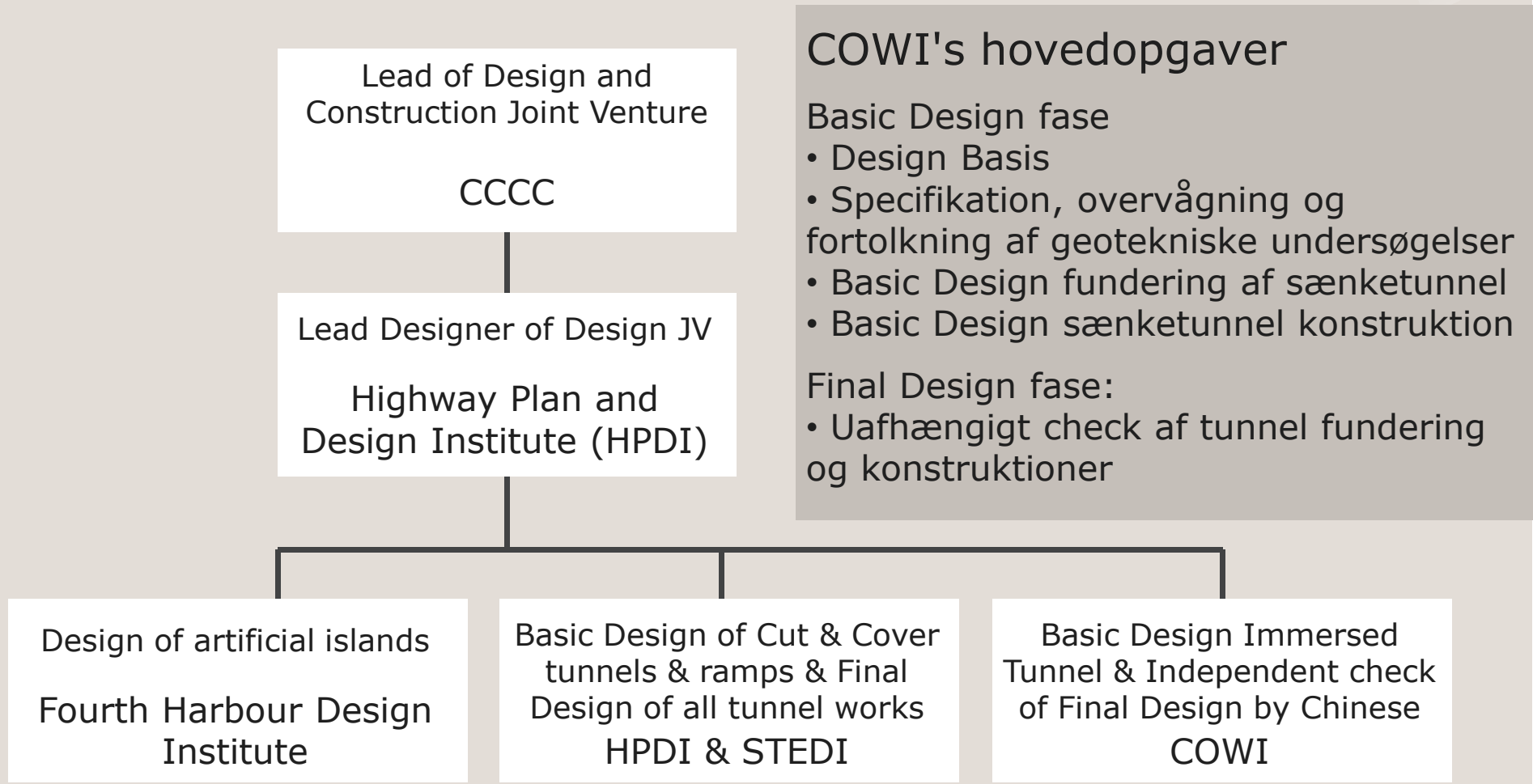
Kontrakt sum: 2,1 mia USD

Detailprojekt broer, Kina "main land" (fra 2011):

Joint Venture ledet af HPDI



Detailed Design Organisation



Hong Kong Zhuhai Macao forbindelsen

2. Overordnet projektudformning

Feasibility studie



Motorvej med 2x3 spor i hver retning

Samlet længde: 42 km

- Kina "main land": 30 km
- Hong Kong del: 12 km

Længde kyst-kyst: 36 km (verdens længste faste forbindelse over hav)

Miljø krav: max 10% blokering af vand gennemstrømning

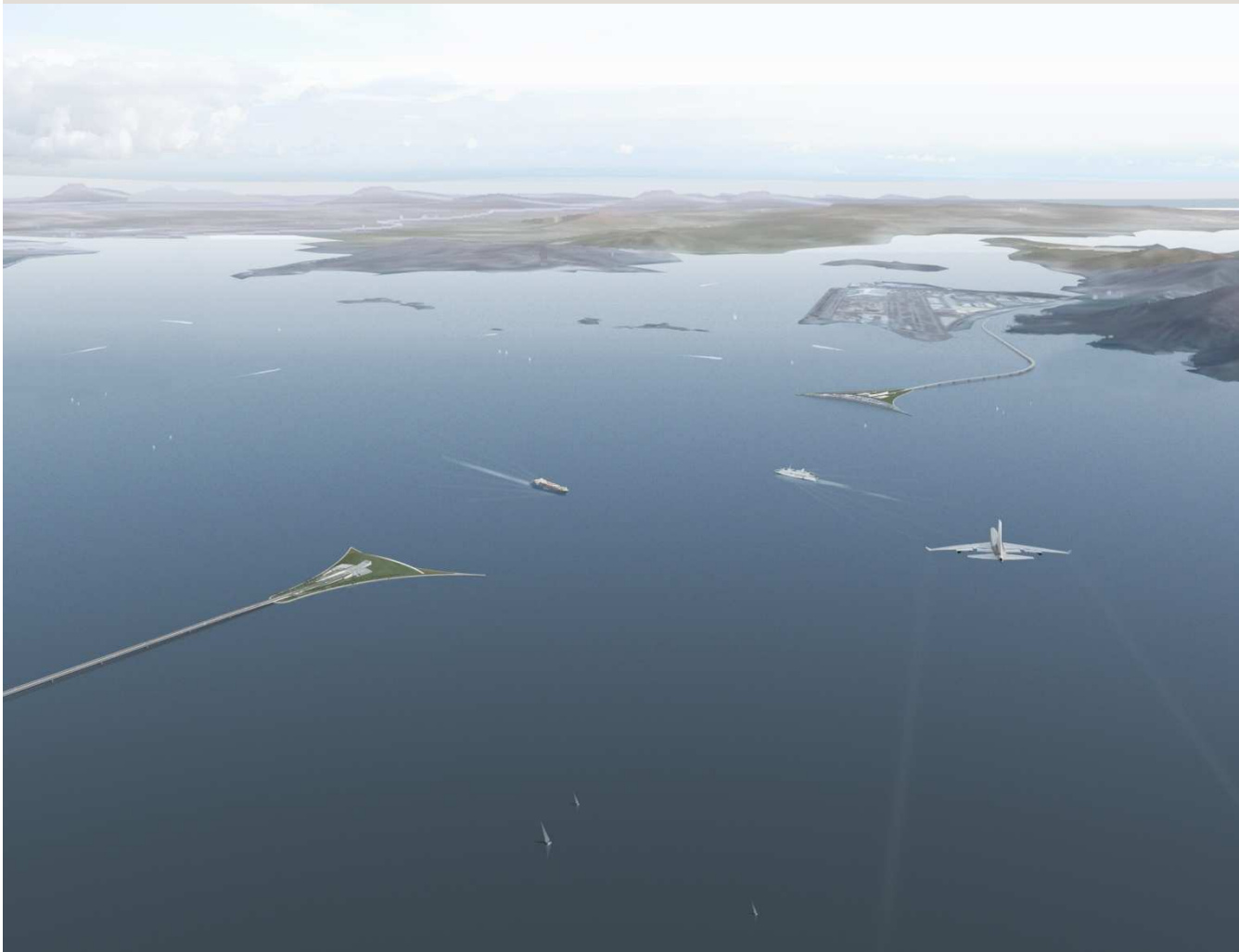
Vestlig og central del udføres som bro (billigere end tunnel)

Tunnel under hovedsejllrende ud for Hong Kong lufthavn, da højbro i konflikt med højde restriktionsplan

Bro-tunnel via kunstige ø'er



Feasibility studie



COWI feasibility studie 2008:

Sammenligning af sænke tunnel og boret tunnel løsninger under sejlrender

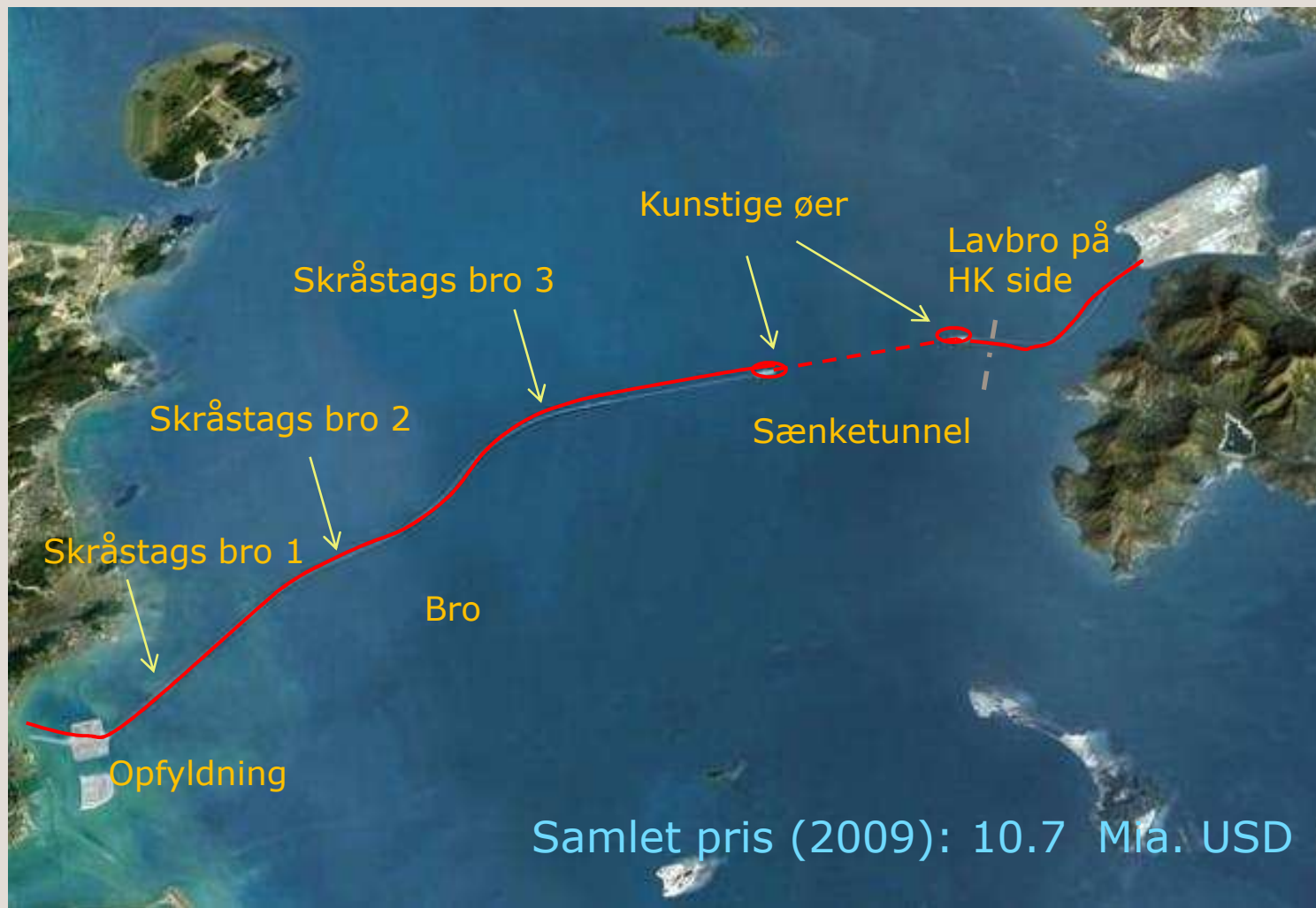
Udvikling af ø-koncept

Længde ca. 6 km

Metoder ligeværdige mht. anlægsoverslag og tidsplan

Større udførelses risici for boret tunnel inkl. ør vedrørende aktiviteter på kritisk sti

Overordnet udformning



Hong Kong Zhuhai Macao forbindelsen

Overordnet udformning



Zhuhai Macao Border Crossing Facility (200 ha)

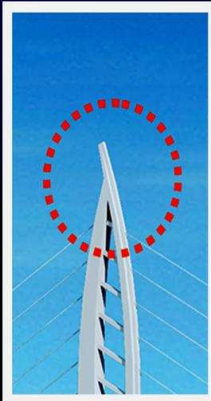

Skråstagsbro over indsejling til Zhuhai havn



HONGKONG-ZHUHAI-MACAO
港珠澳大桥主体工程桥梁施工图阶段

桥梁景观方案优化设计评审会

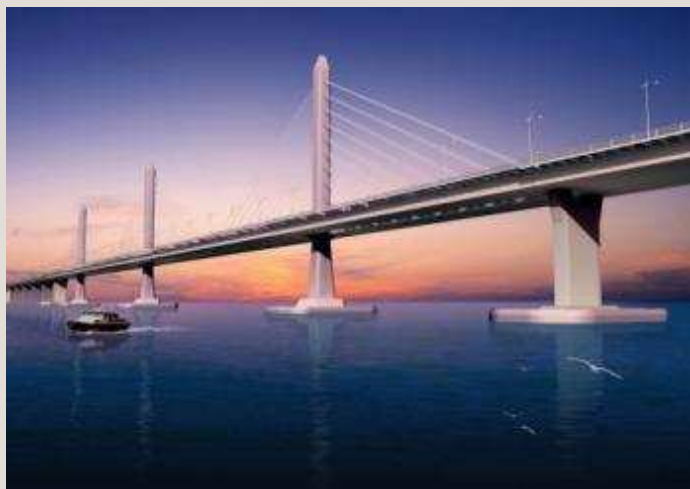
塔冠造型



塔冠造型取自海豚的元素，与该地域的海豚保护区的海洋文化相吻合，造型独具特色。

Hong Kong Zhuhai Macao forbindelsen

Overordnet udformning



To øvrige skrånstagsbroer
over sekundære sejlrender

Hong Kong Zhuhai Macao forbindelsen

Overordnet udformning



6 km lang tunnel, forbundet med broerne via ramper på to 625m lange kunstige øer

Lavbro til Hong Kong lufthavn



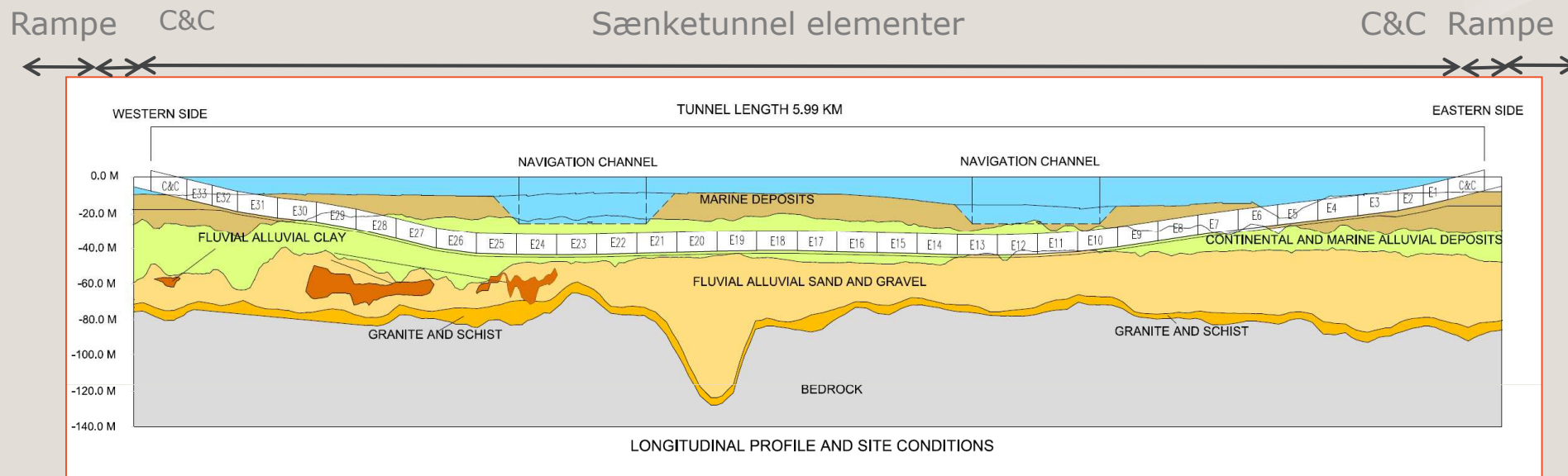
Hong Kong Zhuhai Macao forbindelsen

3. Design sænketunnel konstruktion

Særlige udfordringer

- Lang tunnel ⇒ Krav til ventilation for trafik og brand
- Tunnel på stor vanddybde ⇒ Stort vandtryk
- Sedimentation fra flod ⇒ Stor last på tunnel
- Skibstrafik ⇒ Beskyttelse af tunnel delvist over havbund ved øer
- Betydeligt jordskælv ⇒ Bevægelser og kræfter i fuger
- Bløde jordbundsforhold ⇒ Differenssætninger

Længdeprofil

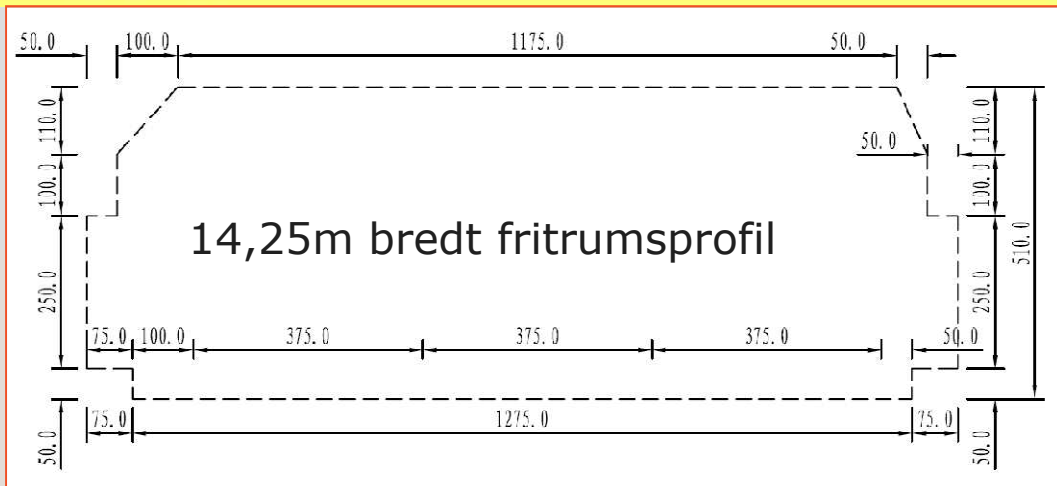
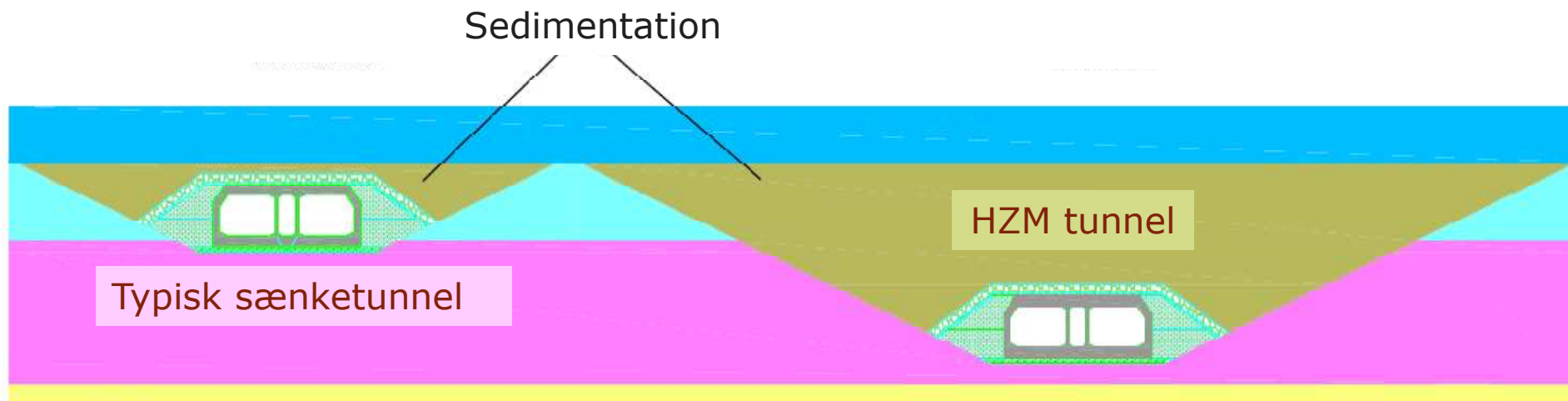


- Vanddybder op til 17m, typisk 9-10m
- Tunnel under to ca. 27m dybe sejlrender
- Funderingsniveau ned til 44 m's dybde
- Max gradient 3%
- Tunnel over havbund ved kunstige øer

Hoved komponenter

- Sænketunnel: 5.7 km
- Cut & cover tunneler: 0.3 km
- Ramper: 0.8 km
- Antal tunnel elementer: 33
- Standard længde: 180 m

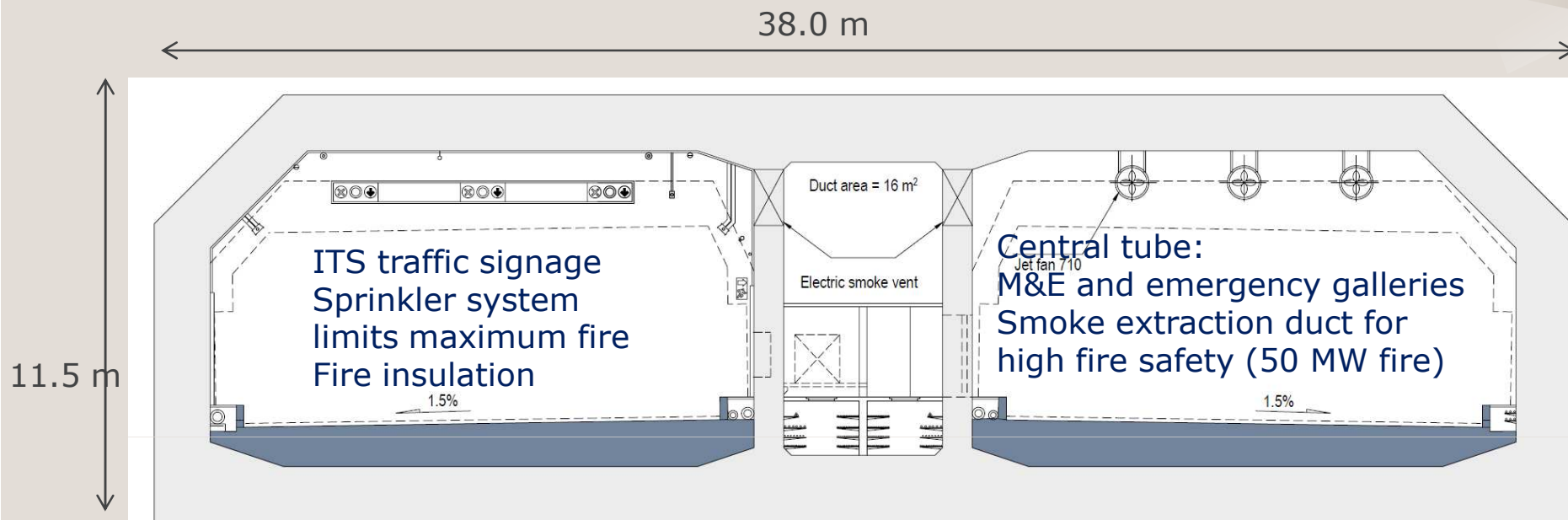
Store belastninger fra vandtryk og sedimentation



Ekstraordinær store belastninger:

- Op til 42m vanddybde
- Op til 20m sedimentation
- Usædvanligt stor spændvidde

Tunnel tværsnit



Ingen membran, men vandtæt beton (ingen gennemgående revner)

Krav om 120 års holdbarhed

Høje bøjningsmomenter og forskydningskræfter medfører store plade og væg tykkelser

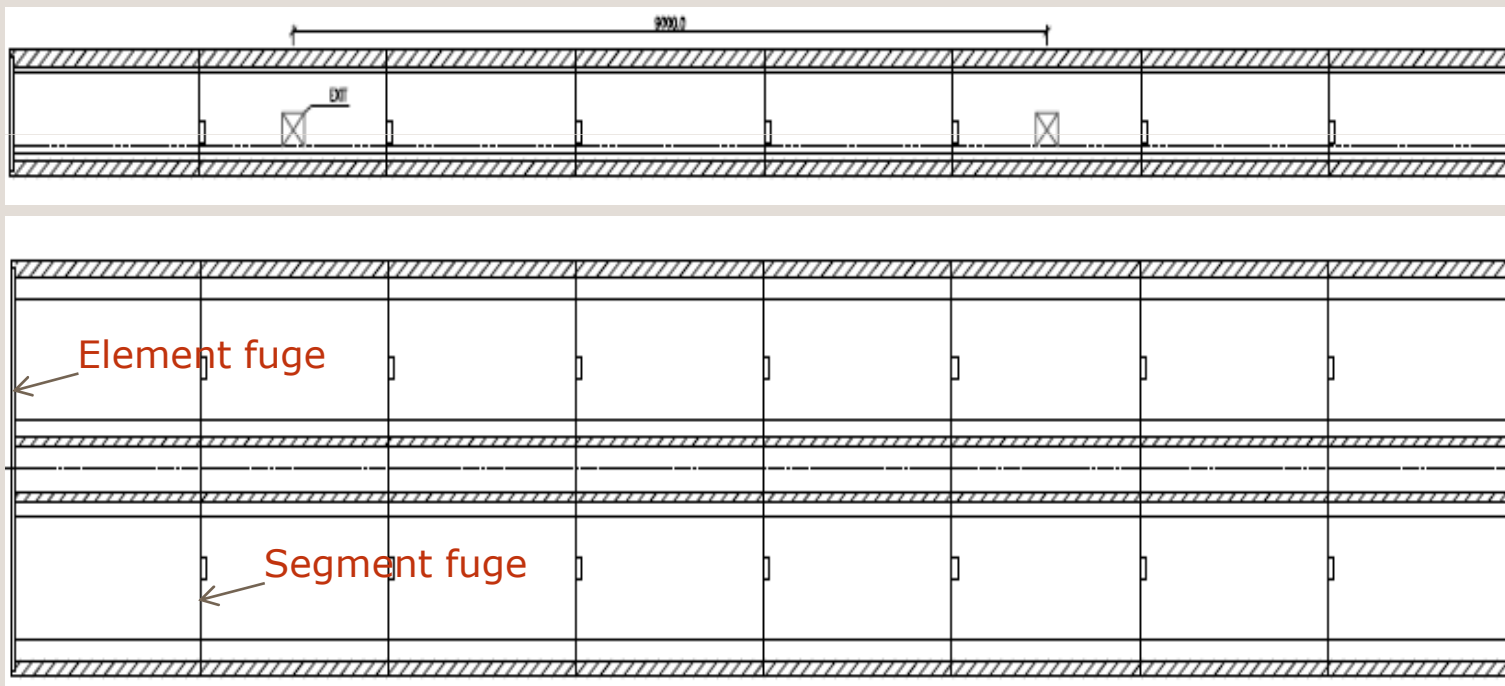
Den resulterende høje vægt indebærer behov for at sikre opdrift ved forøget højde af tværsnit

Armering op til ca. 300 kg/m³ mod typisk 80-100 kg/m³ for normale sænketunneler

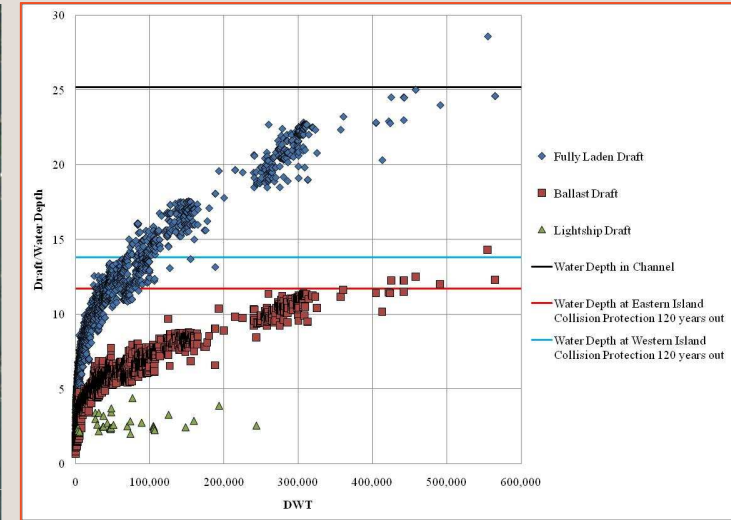
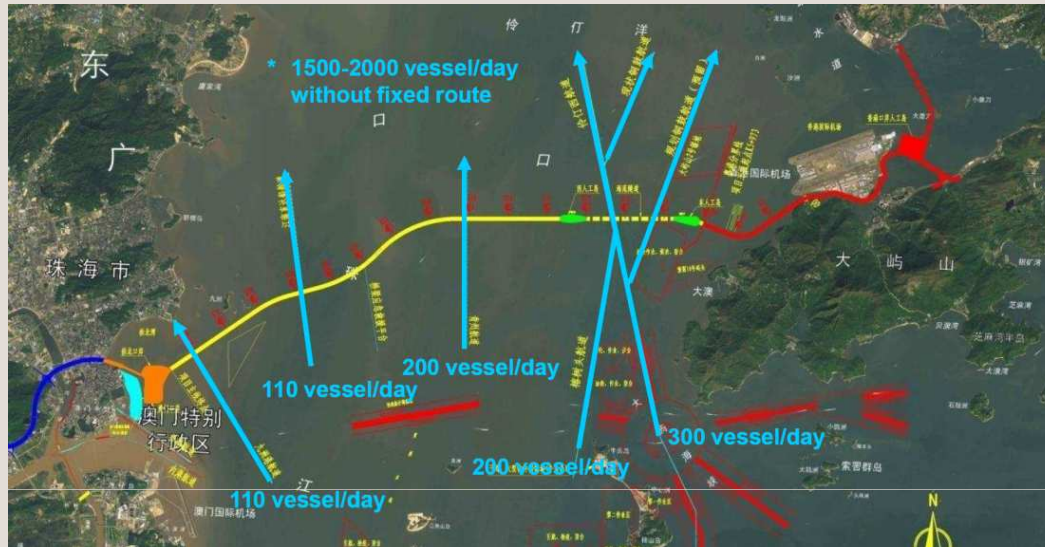
Tunnel element

- 8 stk. 22.5m lange segmenter støbes kontinuerligt
- Segment fuger tillader aksiale bevægelser og rotationer
- Forskydningslåse hindrer horisontale og vertikale bevægelser
- Temporær forspænding under transport

← 180 m long tunnel element →



Ulykkeslast fra skibstrafik



Skibs trafik over tunnelen og skibendes størrelse vil vokse markant de kommende år

Skibe vil statistisk ved fejl og uheld afvige fra deres kurs, og vanddybder muliggør at skibe på 300,000 DWT kan ramme tunnelen

AASHTO LRFD bro norm tillader probabilistisk design for risiko 1×10^{-4} /år

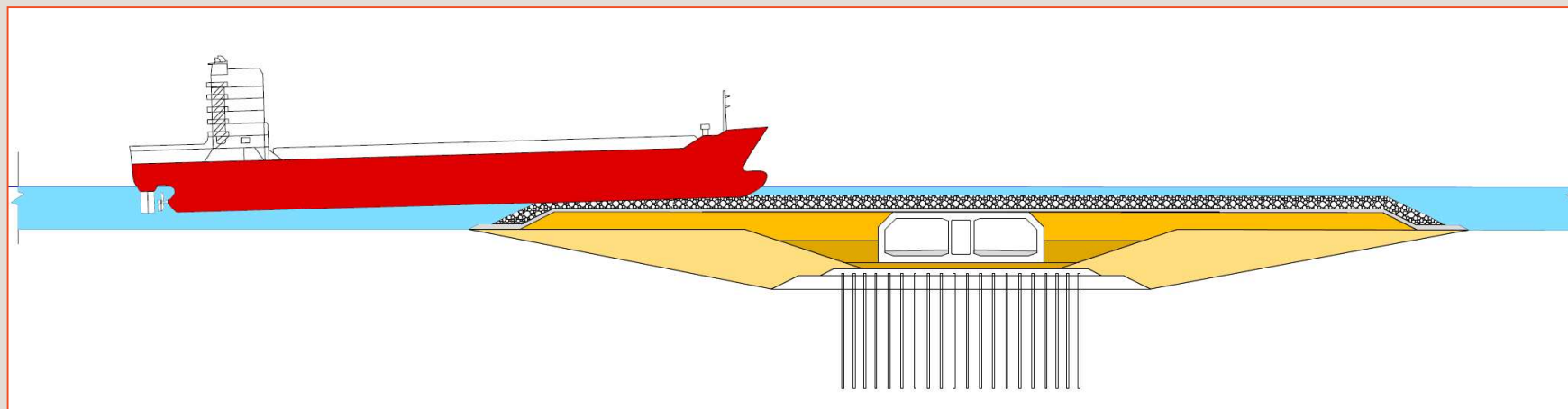


Beskyttelse mod skibsstød

Beskyttelsesrev stopper skibet ved friktion og løft

Forskydningslåse i tunnel dimensioneret for vandret/lodret kraft på 20MN/10 MN

Krone bredde skal være tilstrækkelig til at risiko kriterium opfyldes, er foreløbigt estimeret til 40-50m



Modellering af jordskælv

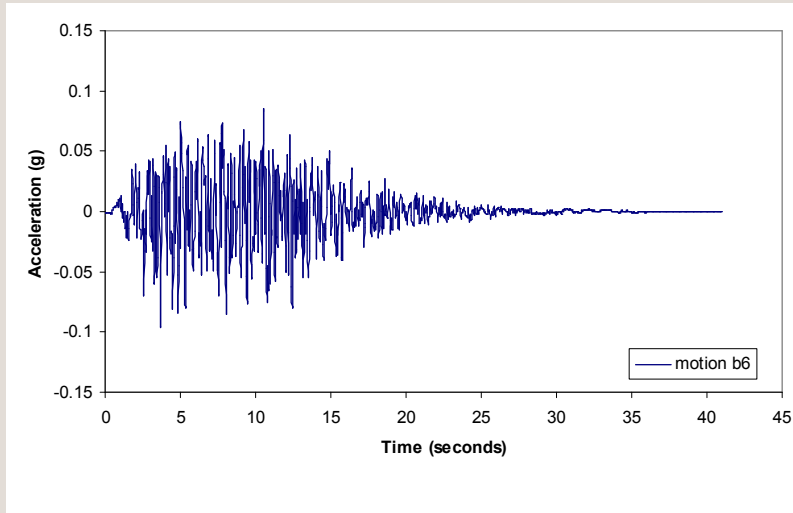
Earthquake Impact Scenario

Maximum Design Earthquake

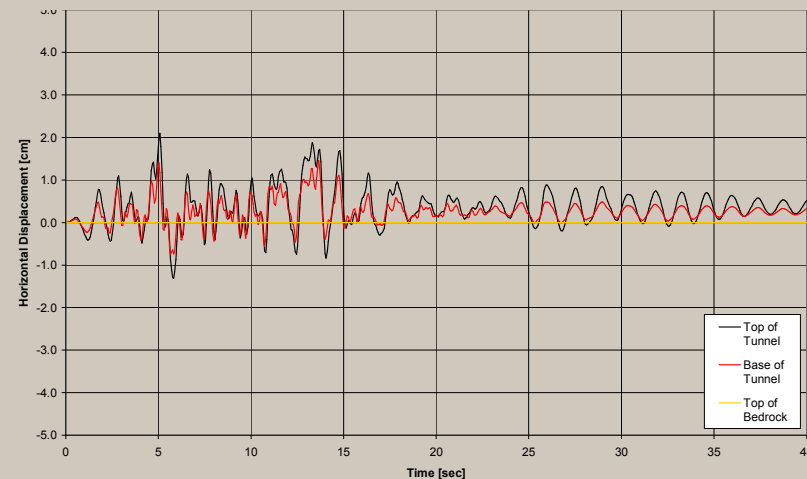
- Peak horizontal ground acceleration at bed rock for Maximum Design Earthquake (MDE): 0.15g
- 1139 return period (10% probability of exceedence in 120 years)

Propagation of earthquake from bed rock to tunnel

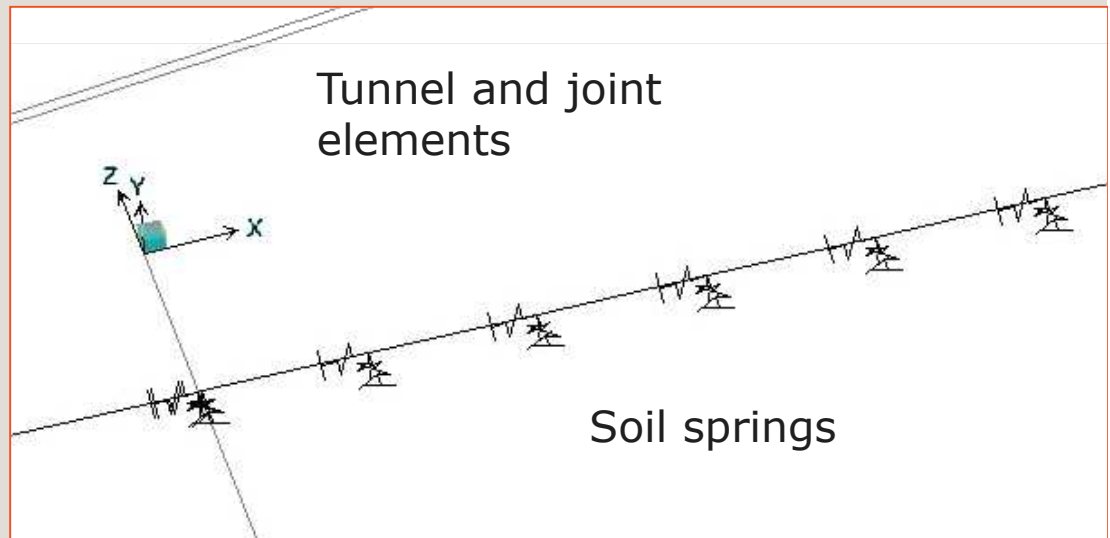
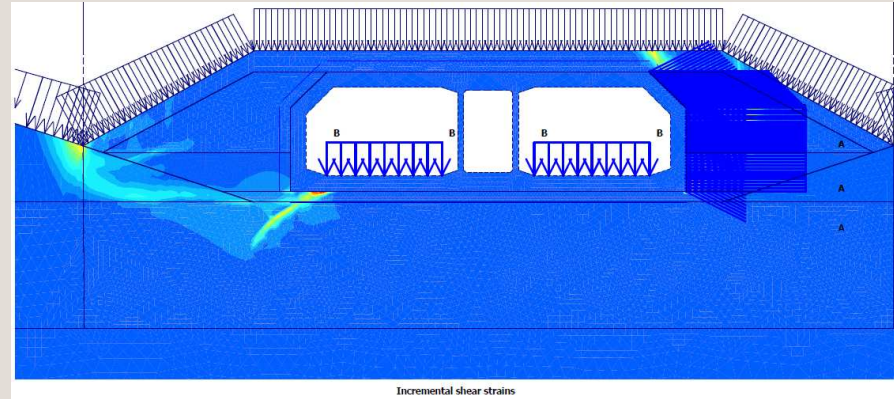
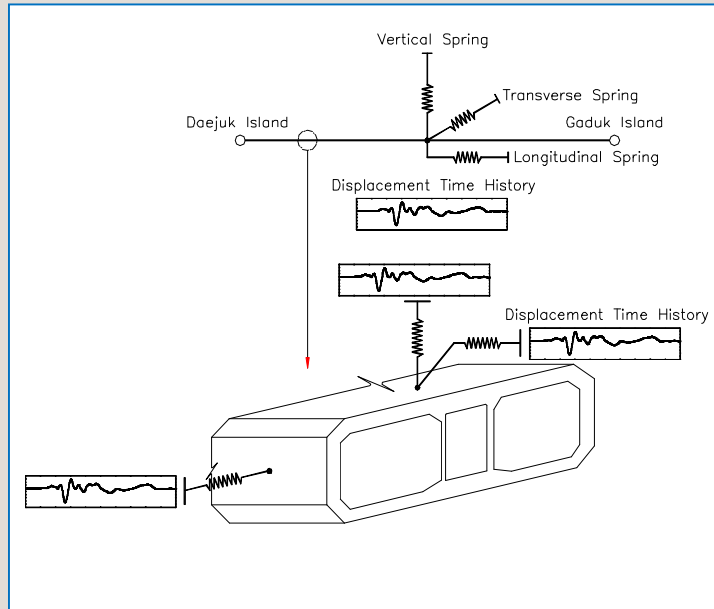
- Analysis with SHAKE
- Displacements typically amplified by 10 to 20%
- Tunnel displacement time histories used as input to dynamic model



Relative soil displacement at tunnel



Modellering af jordskælv



SAP 2000 Global FE model

Soil structure interaction through time dependent soil springs derived from Plaxis calculations

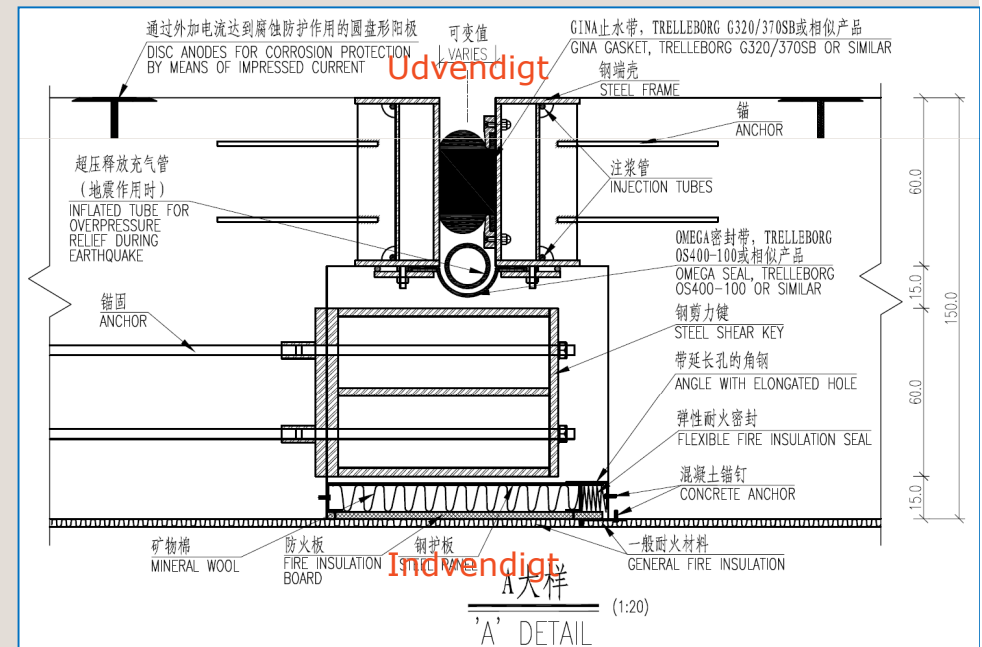
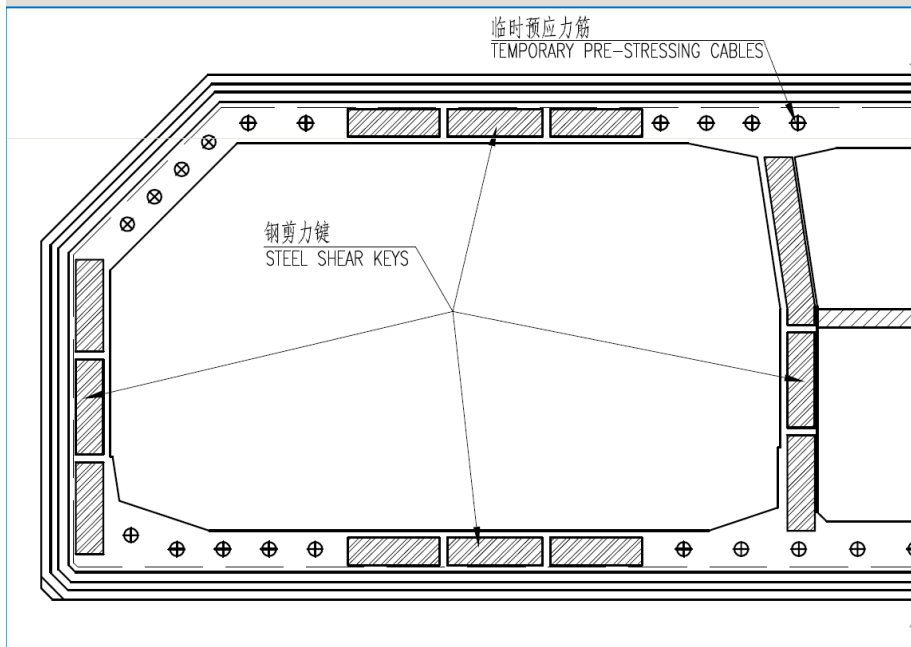
Design af element fuge

Dobbelt vandtætning med GINA og Omega fugebånd

Max fugeåbning/sammentrykning ca. 40mm (ca. halvdelen fra MDE jordskælv)

Forskydningslåse af stål

Differenssætninger giver kritisk høje forskydningskræfter



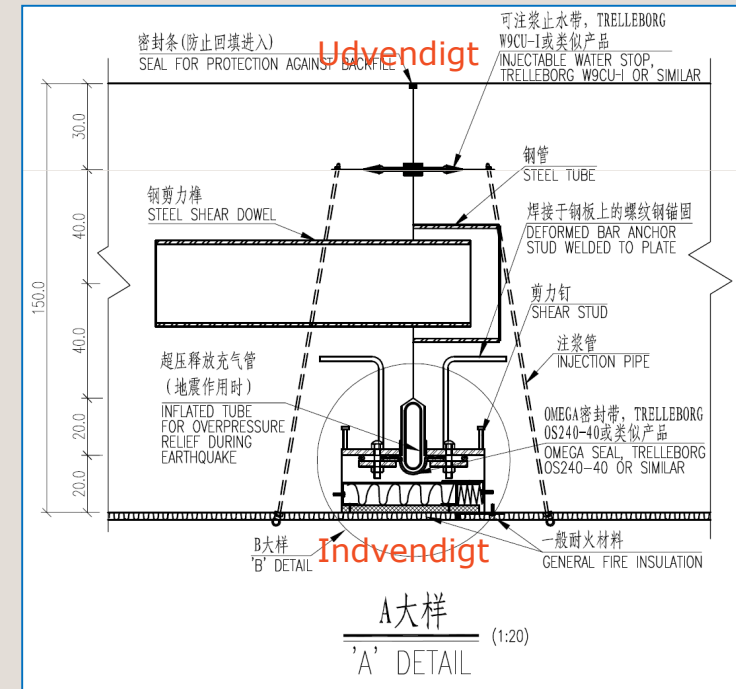
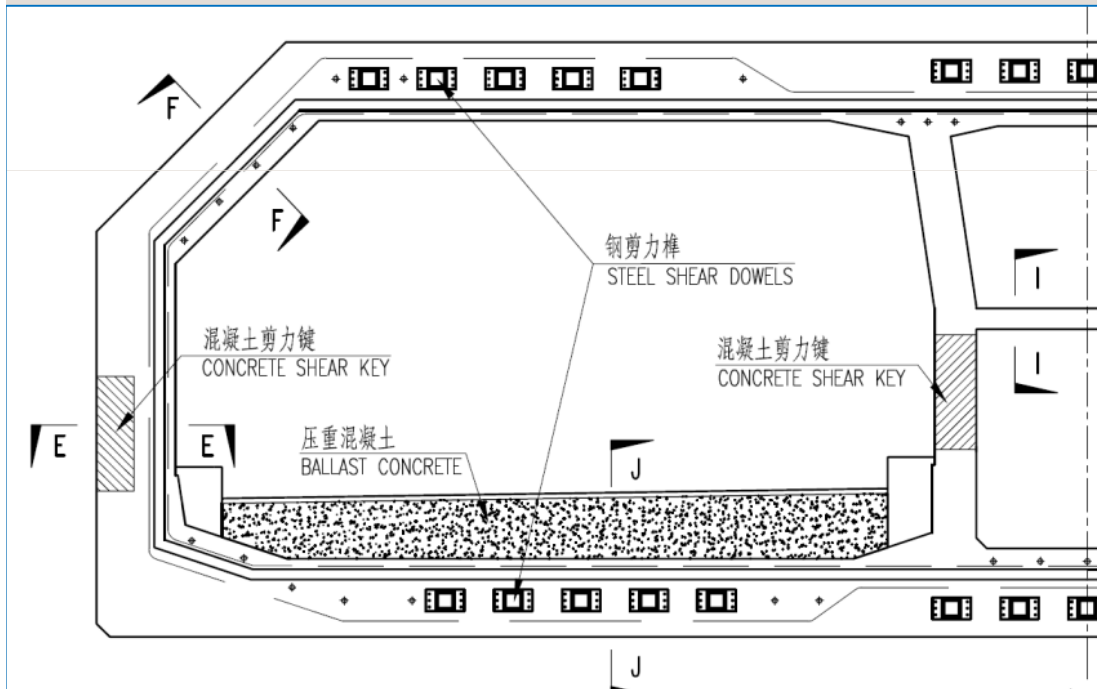
Design af segment fuge

Dobbelt vandtætning med injicerbar waterstop og omega fugebånd

Max fugeåbning ca. 10 mm (ca. halvdelen fra jordskælv)

Forskydningslåse som ståldyvlere i top/ bundplade og af beton i vægge

Differenssætninger giver kritisk høje forskydningskræfter



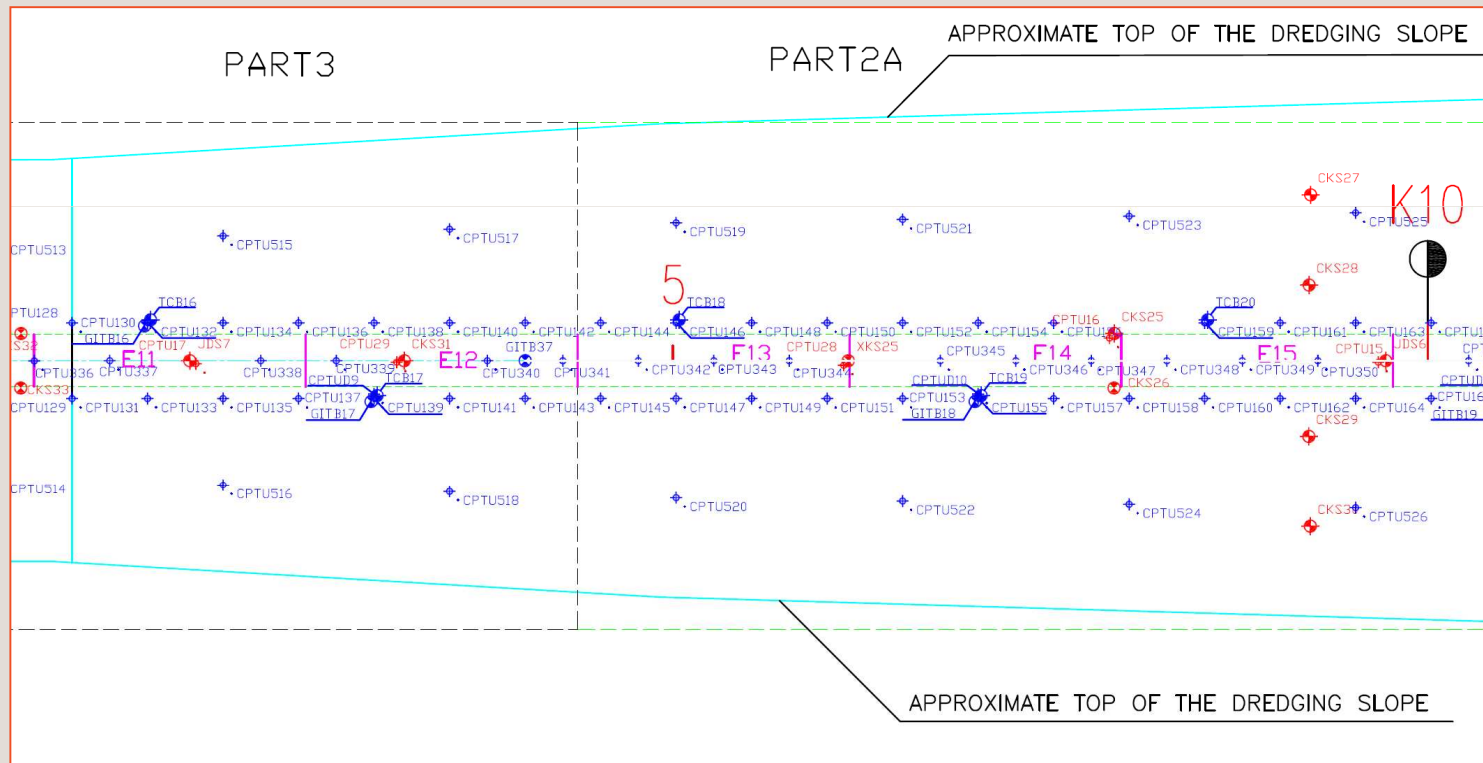
Hong Kong Zhuhai Macao forbindelsen

4. Geotekniske forundersøgelser

Geotekniske forundersøgelser

Basic Design fasen, første halvår 2011: Geoteknisk forundersøgelsesprogram har omfattet 79 borehuller, 408 CPTU'er i netværk på ca. 35m samt laboratorieforsøg

Hovedformål: Detaljeret kortlægning af variation af jordens sætningsegenskaber langs med og på tværs af linjeføringen



Hong Kong Zhuhai Macao forbindelsen

Borehuller og CPTU test

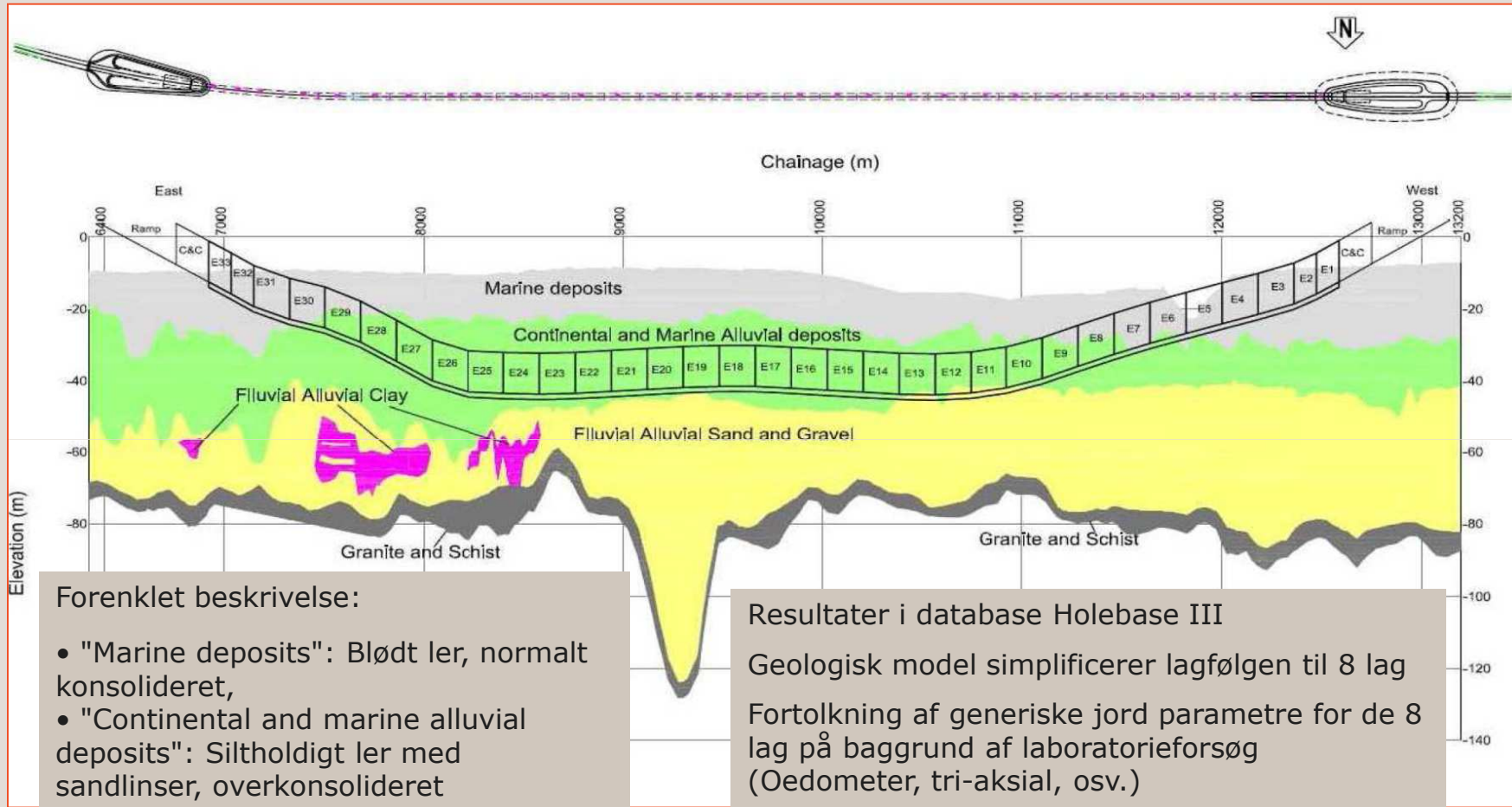
1-3 CPTU
rigs



4 bore
rigs



Geologisk profil



Forenklet beskrivelse:

- "Marine deposits": Blødt ler, normalt konsolideret,
- "Continental and marine alluvial deposits": Siltholdigt ler med sandlinser, overkonsolideret
- "Fluvial alluvial deposits": Middeltæt/tæt aflejret sand med indlejrede lerlag
- "Granite and Schist": Grundfjeld

Resultater i database Holebase III

Geologisk model simplificerer lagfølgen til 8 lag
Fortolkning af generiske jord parametre for de 8 lag på baggrund af laboratorieforsøg (Oedometer, tri-aksial, osv.)
Variationer af parametre beskrives på baggrund af CPTU data

Hong Kong Zhuhai Macao forbindelsen

Slut på 1. del