

Dansk Spuns- og rammedag

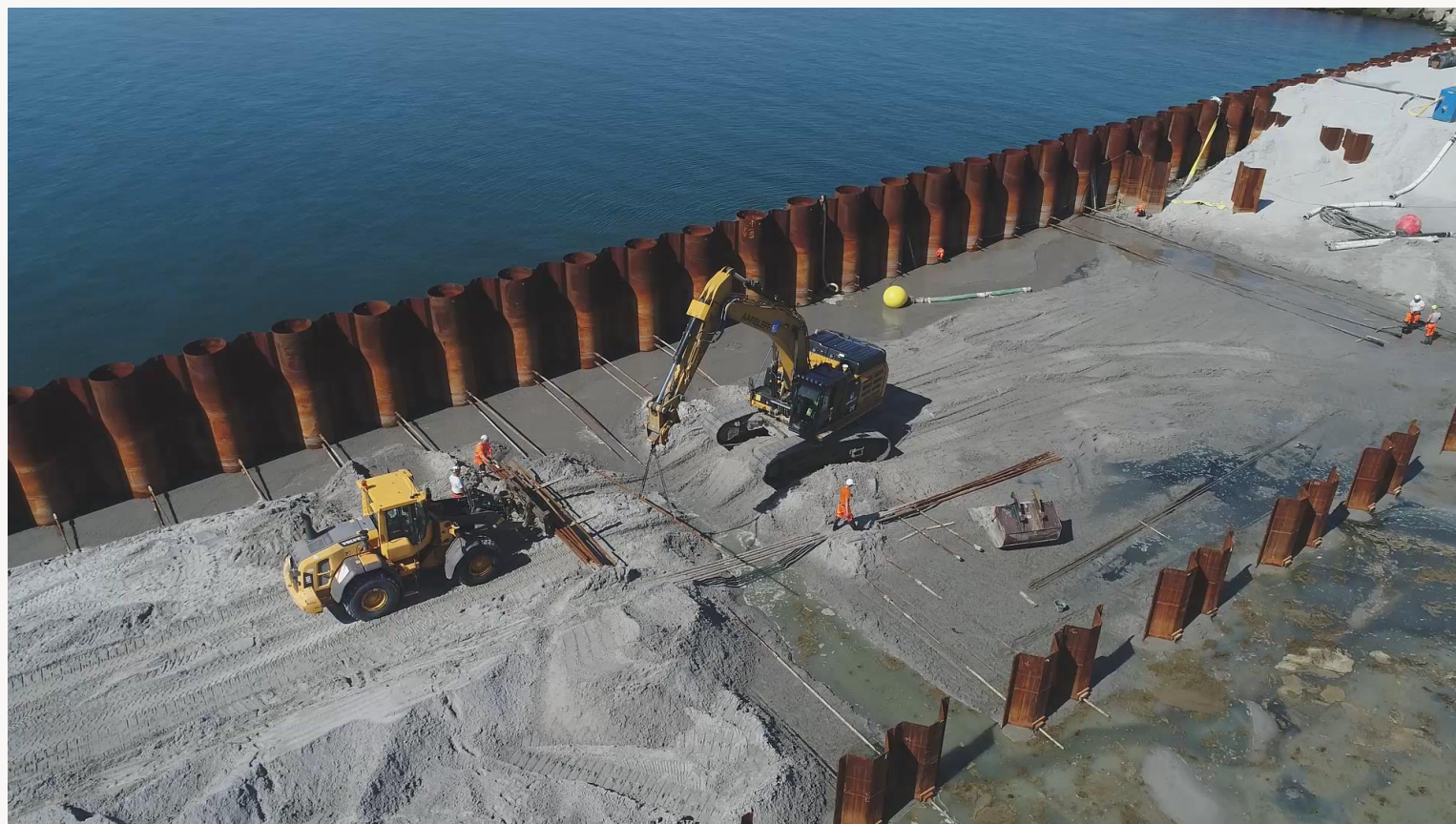
04-11-2021

Kort om ankerpladespuns
og lidt om Skagen Havn Etape 3

v. Andreas Friis
andreas.friis@sweco.dk

Agenda

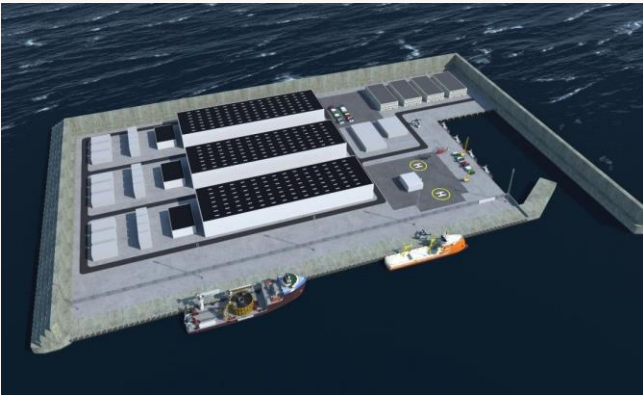
- Udvalgte "on-going" projekter i Sweco
- Kort introduktion til Skagen Havn Etape 3
- Løsninger med ankerpladespuns i Skagen
- DS/EN 1993-5 Pilotering
- FEM beregning (ANSYS)
- Afsluttende bemærkninger



Udvalgte "on-going" projekter i Sweco (Havne og vandbygning)

Energiparken i Nordsøen

- Teknisk rådgiver for Energistyrelsen
- Kunstig ø placeret i Nordsøen ca. 100 km vest for den jyske vestkyst
- El-tekniske anlæg og faciliteter til 3 GW og til en senere udvidelse til 10 GW havvind



Vordingborg Havn

- Totalentreprise med MJ Eriksson
- 200.000 kvm havneareal (jorddepot)
- 160 m ny kaj
- 1.400 m stenindfatning



Helsingør Færgehavn

- Bygherrerådgiver for ForSea ApS
- Renovering og levetidsforlængelse af kaj-, bølgefælde- og pierkonstruktioner.



Levetidsvurdering af den jyske vestkyst

- Teknisk rådgiver for Kystdirektoratet
- Tilstands- og levetidsvurdering af 46 kystanlæg fordelt på den jyske vestkyst.



Sæby Lystbådehavn

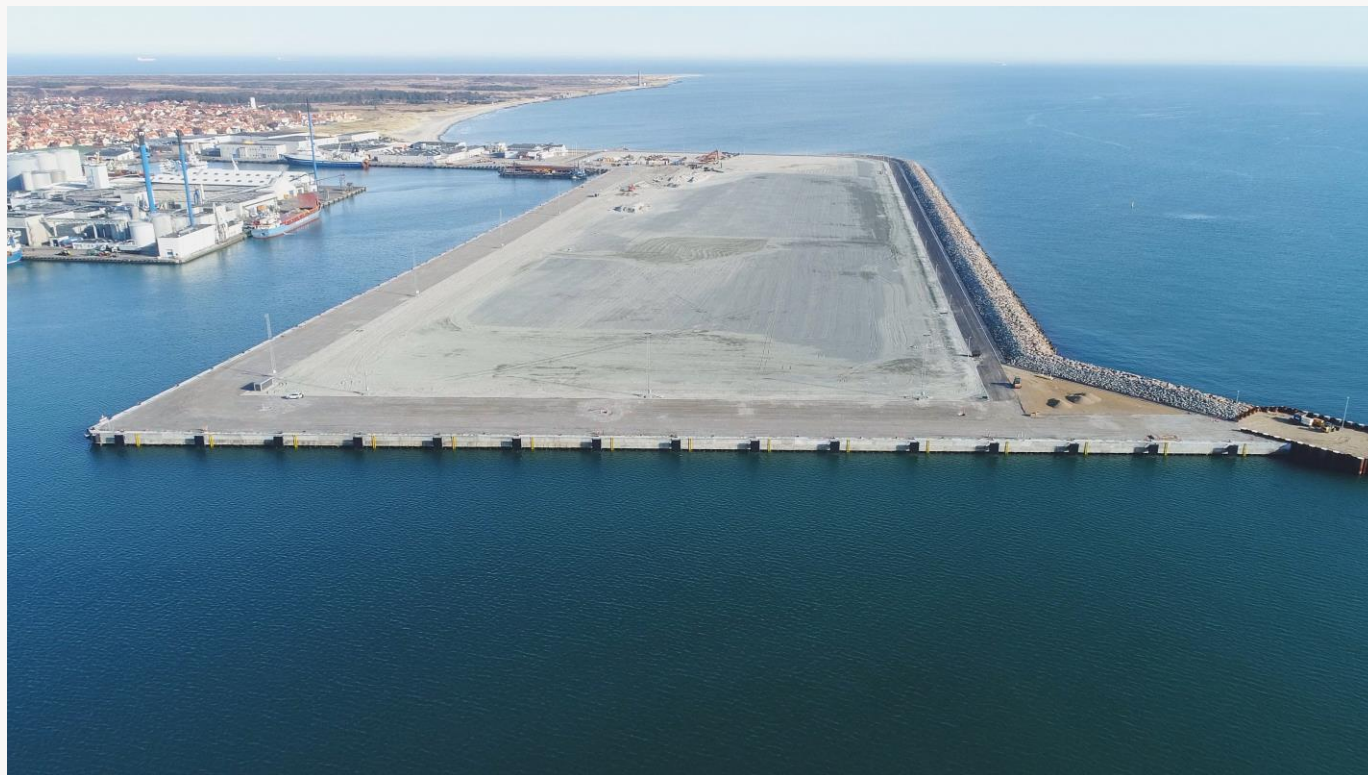
- Totalentreprise med CG Jensen
- Nye kajvægge, trailer- og jolleramper, stenkastning, bådbroer mv.



Kort introduktion til Skagen Havn Etape 3

Totalentreprise med Per Aarsleff A/S

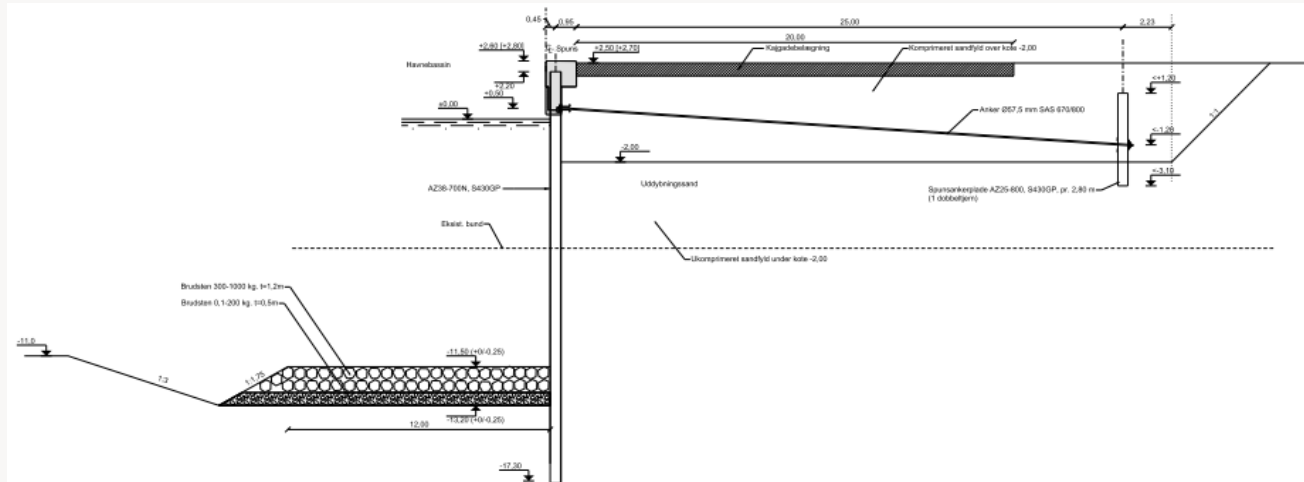
- 190.000 m² nyt landareal
- 1050 m ny kaj
- Ca. 1000 m stenkastning
- Nyt nordligt molehoved
- Ca. 550 m udvidelse/forlængelse af sydlige mole
- Vanddybder mellem 10-13,5 m ved nye kajanlæg
- Uddybning af havnebassin og indsejling til 14 m
- Alt forankring udført med ankerpladespuns



Løsninger med ankerpladespuns

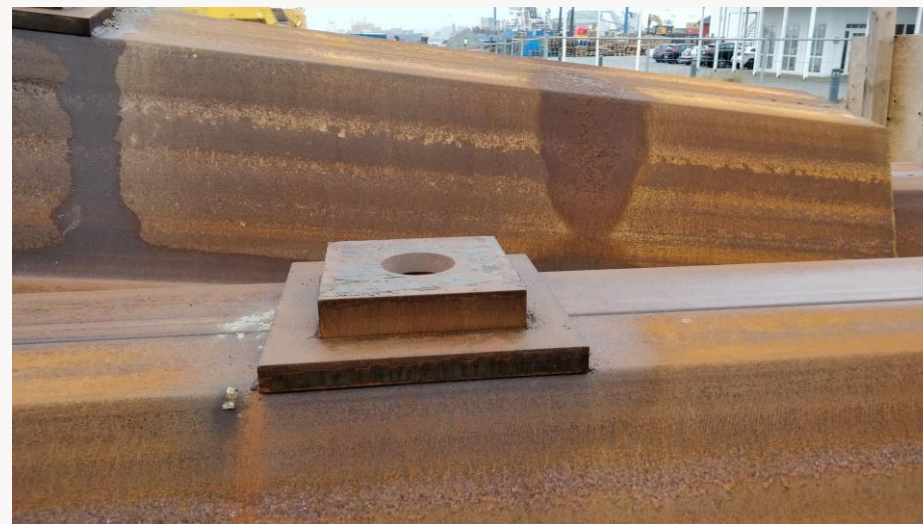
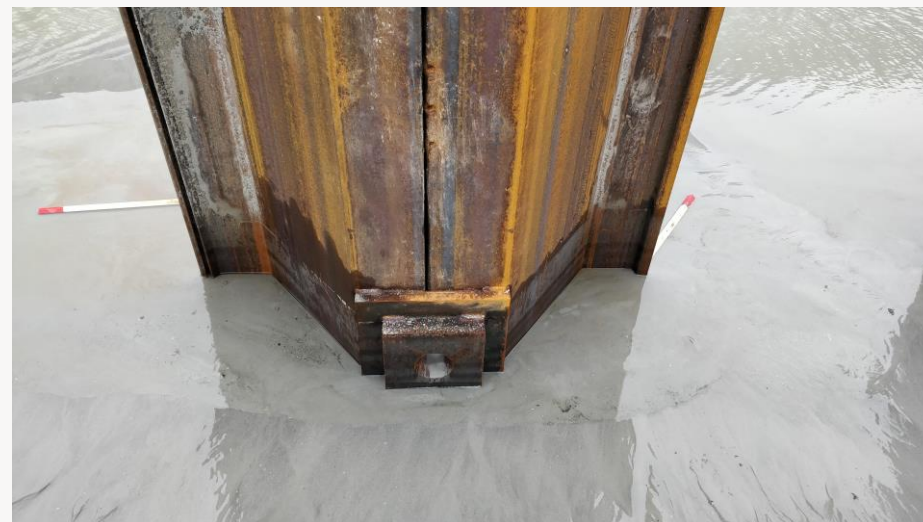
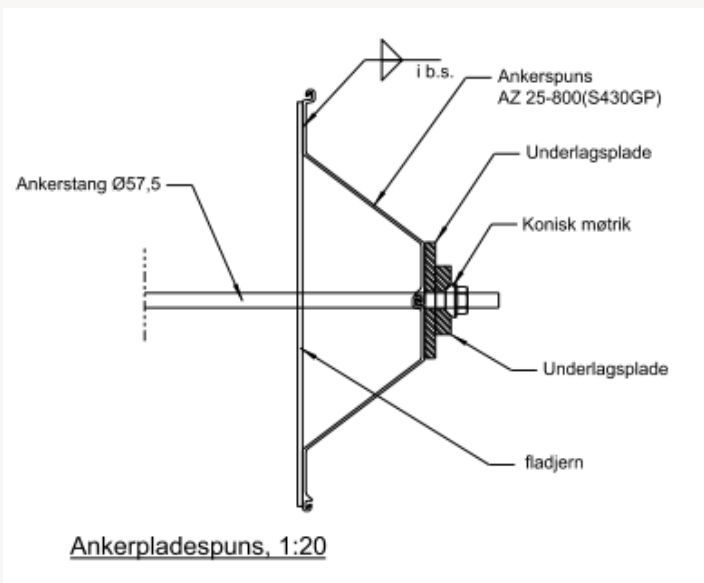
Kaj 7 & 40

- Spunsvæg forankret med ankerpladespuns i hver anden bugt.
- Indbyrdes afstand på 2,8 m svarende til forankring i hvert andet dobbeltjern langs kajvæggen.
- Ankerstænger ført igennem ankerpladespuns og fastgjort til underlagsplader på bagsiden.
- Ø57,5 SAS 670/800 ankerstænger.
- AZ25-800, S430GP, profil anvendt til ankerpladespuns.



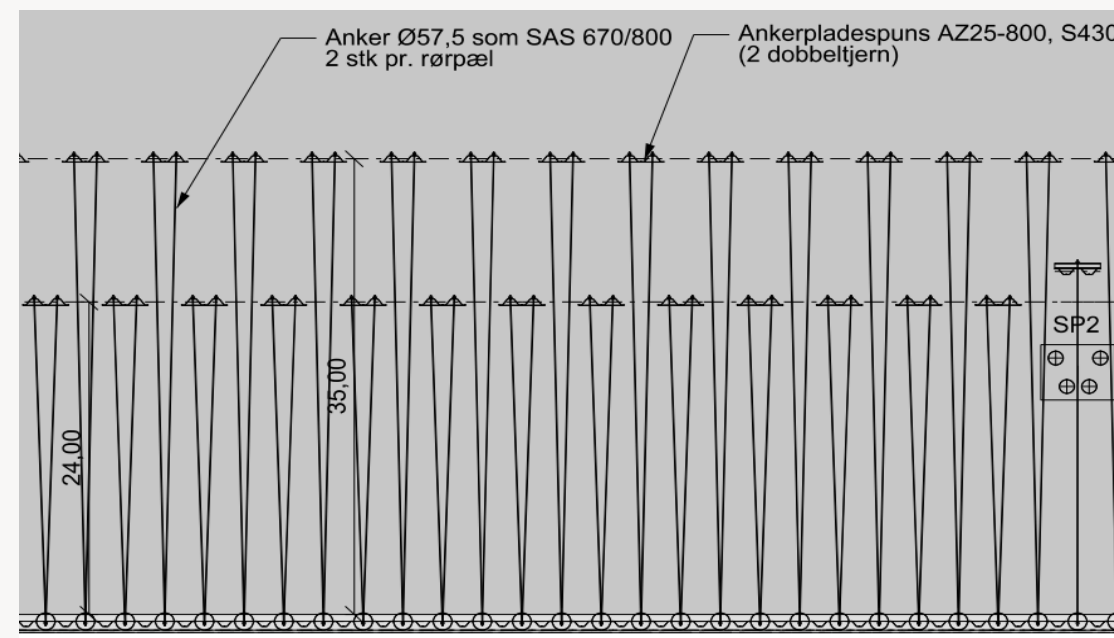
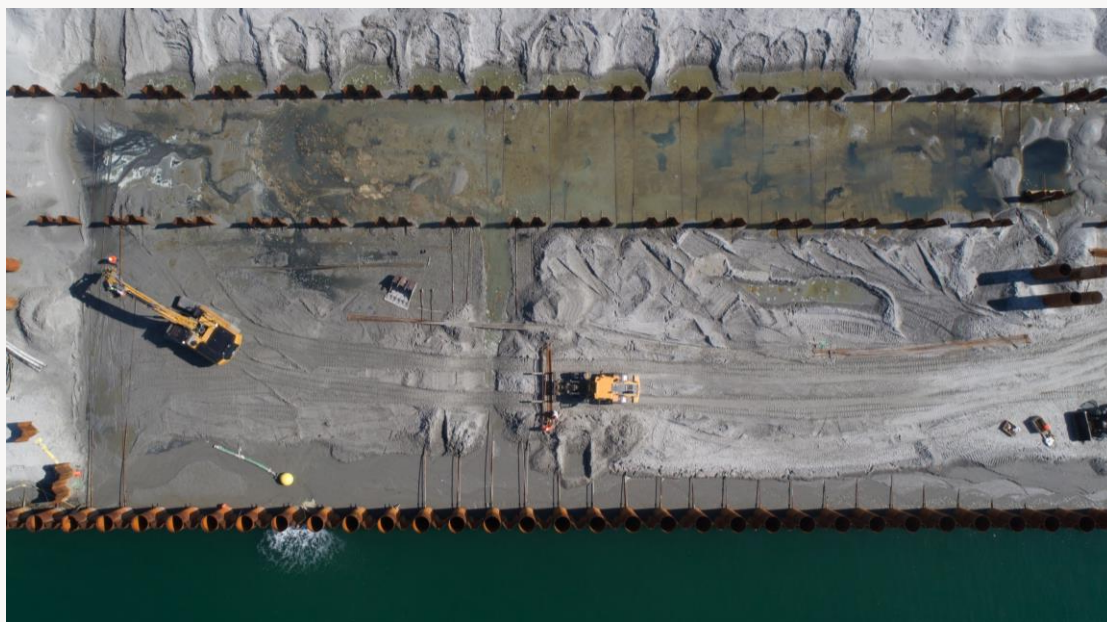
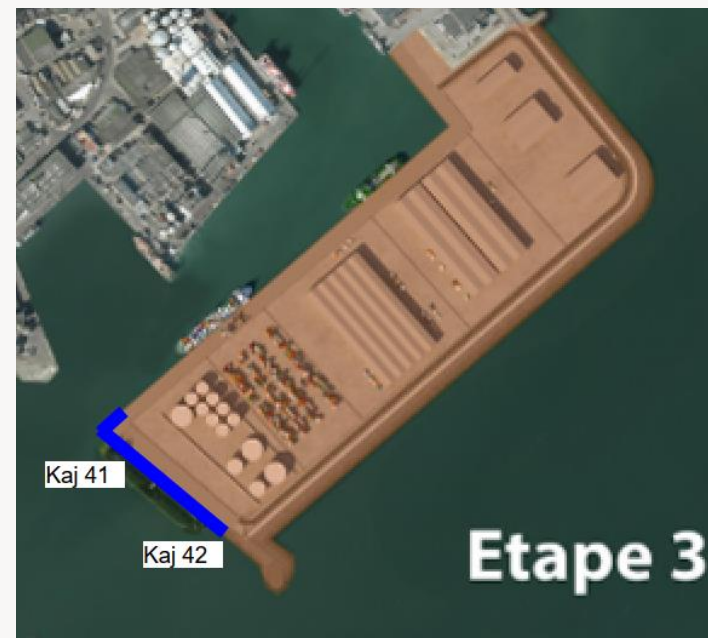
Løsninger med ankerpladespuns Kaj 7 & 40

- Spunsvæg forankret med ankerpladespuns i hver anden bugt.
- Indbyrdes afstand på 2,8 m svarende til forankring i hvert andet dobbeltjern langs kajvæggen.
- Ankerstænger ført igennem ankerpladespuns og fastgjort til underlagsplader på bagsiden.
- Ø57,5 SAS 670/800 ankerstænger.
- AZ25-800, S430GP, profil anvendt til ankerpladespuns.



Løsninger med ankerpladespuns Kaj 41 & 42

- Kombivæg forankret med 2 stk. ankerpladespuns.
- Ankerstænger ført igennem ankerpladespuns og fastgjort til underlagsplader på bagsiden.
- Vekslede ankerlængde med skiftevis 24 m og 35 m.
- Ø57,5 SAS 670/800 ankerstænger.
- AZ25-800, S430GP, profil anvendt til ankerpladespuns.

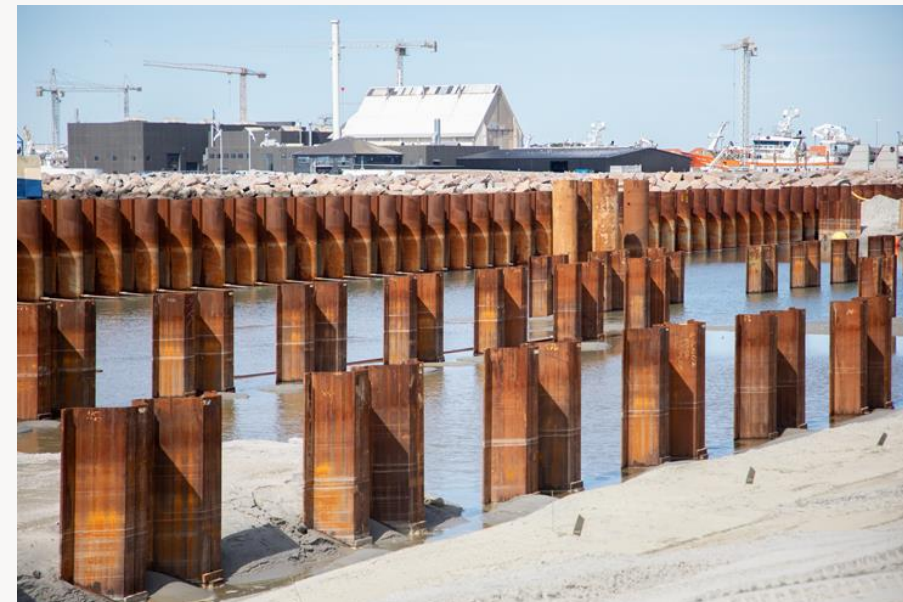
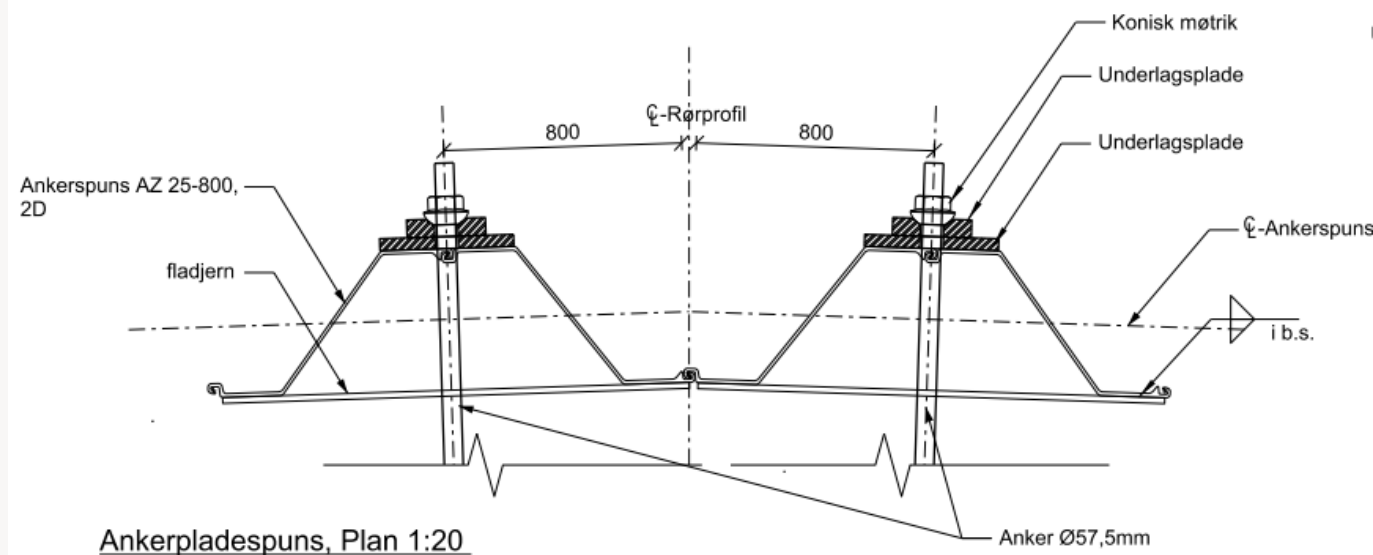


-



Løsninger med ankerpladespuns Kaj 41 & 42

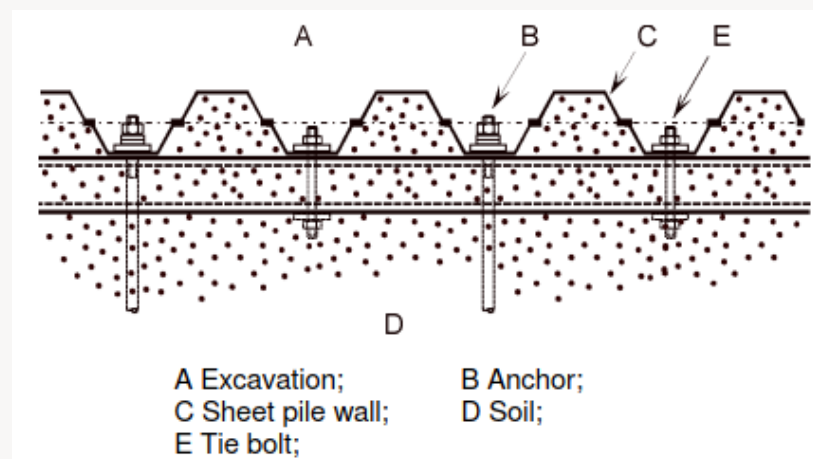
- Kombivæg forankret med 2 stk. ankerpladespuns.
- Ankerstænger ført igennem ankerpladespuns og fastgjort til underlagsplader på bagsiden.
- Vekslede ankerlængde med skiftevis 24 m og 35 m.
- Ø57,5 SAS 670/800 ankerstænger.
- AZ25-800, S430GP, profil anvendt til ankerpladespuns.



DS/EN 1993-5 Piloting

"7.4.3 Anchoring" – Verificering af spunsprofilets kapacitet ift. den introducerede ankerkraft

- Forankring til frontvægge, men samme metodik kan dog også anvendes til ankerpladespuns. Dette betragtes dog for at være et konservativt approach, da metoden forskriver jord på kun den ene side.
- NB! Valg af slanke spunsprofiler kan hurtigt give anledning stabilitetsudfordringer.

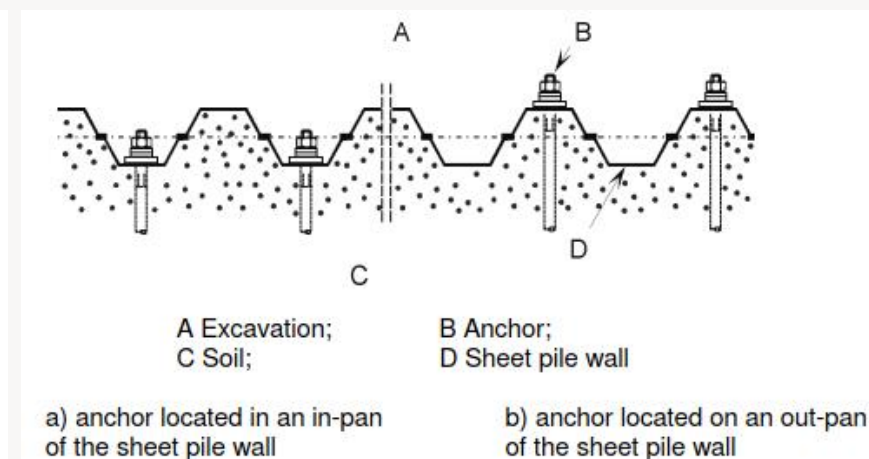


7-4. Forankring med stræk på bagside

- Træk introduceres i kropsplader

Eftervisning iht. 7.4.3 (3)

Underlagsplade bredde > 0,8 x flangebredde



7-5. Direkte forankring uden stræk

- a) Træk introduceres i kropsplader

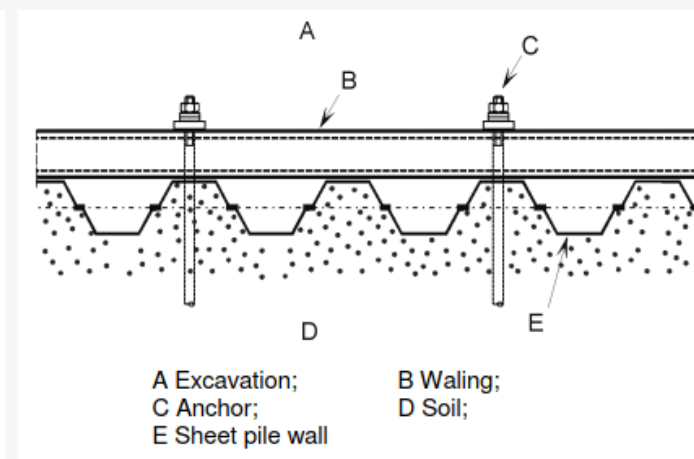
Eftervisning iht. 7.4.3 (3)

Underlagsplade bredde > 0,8 x flangebredde

- b) Tryk introduceres i kropsplader

Eftervisning iht. 7.4.3 (4 & 5)

Underlagsplade bredde > flangebredde



7-6. Forankring med stræk på forside

- Tryk introduceres i kropsplader

Eftervisning iht. 7.4.3 (4 & 5)

DS/EN 1993-5 Piloting

"7.4.3 Anchoring"

- NB! Såfremt tilfælde 7-5 (b) anvendes fungerer underlagspladen som fordelings-"bjælke" mellem spunsprofilets kropsplader.

Anbefaling anført i 7.4.3(5):

Underlagspladens bredde > spunsprofilets flangebredde

- Ved anvendt metode i DS/EN forekom der stabilitetssvigt. Udnyttelsen var på ca. 150 % af kapaciteten.
- Typisk elastisk tværsnitseftervisning, da profilerne ofte (efter korrosion) ender i en tværsnitsklasse større end 2 – med mindre meget massive profiler anvendes, hvilket sjældent er økonomisk fordelagtigt.

Bæreevnekriterie

$$\frac{F_{Ed}}{R_{c,Rd}} + 0,5 \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

7.4.3(4)

(4) The verification of the resistance of the sheet pile to that part of the anchor force or strut force to be introduced into the webs via a waling (see Figure 7-6) may be carried out as follows:

$F_{Ed} \leq 0,5 R_{c,Rd}$: no further verification necessary

$$F_{Ed} > 0,5 R_{c,Rd}: \frac{F_{Ed}}{R_{c,Rd}} + 0,5 \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (7.9)$$

where:

F_{Ed} is the design value of the local transverse force per web applied through the waling;

$R_{c,Rd}$ is the design resistance to the local transverse force. $R_{c,Rd}$ should be taken as the minimum of $R_{c,Rd}$ and $R_{p,Rd}$ for each web, given by:

$$R_{c,Rd} = \frac{e}{4e} (s_s + 4,0 s_{sc}) \sin \alpha (t_w^2 + t_f^2) f_y I \gamma_{M0} \quad (7.10)$$

$$R_{p,Rd} = \chi R_{p0} I \gamma_{M0} \quad (7.11)$$

with:

$$\chi = 0,06 + \frac{0,47}{\lambda} \leq 1,0 \quad (7.12)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{R_{p0}}{R_{c0}}} \quad (7.13)$$

$$R_{c0} = 5,42 E \frac{t_w^3}{c} \sin \alpha \quad (7.14)$$

$$R_{p0} = \sqrt{2} e f_y t_w \sin \alpha \left(s_s + t_f \sqrt{\frac{2b \sin \alpha}{t_w}} \right) \quad (7.15)$$

b is the width of the flange, see figure in Table 5-1;

c is the slant height of the web as shown in Figure 5-1;

e is the eccentricity of the force introduced into the web, given by

$$e = r_0 \tan \left(\frac{\alpha}{2} \right) - \frac{t_w}{2 \sin \alpha}, \text{ but not less than 5 mm;} \quad (7.16)$$

f_y is the yield strength of the sheet pile;

r_0 is the outside radius of the corner between flange and web;

$$s_{sc} = 2,0 \pi r_0 \left(\frac{\alpha}{180} \right) \text{ with } \alpha \text{ in degrees;} \quad (7.17)$$

7.4.3(4) forsat

s_s is the length of stiff bearing, determined from 6.3 of EN 1993-1-5. If the waling consists of two parts, e.g. two channel-sections, s_s is the sum of both parts plus the minimum of the distance between the two parts or the length s_{sc} ;

t_f is the flange thickness;

t_w is the web thickness;

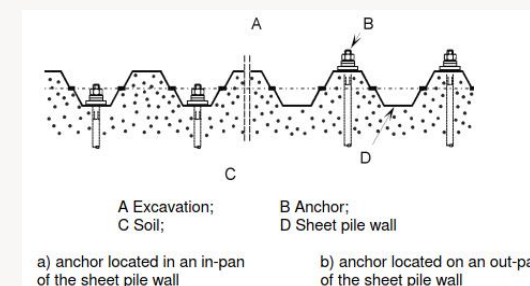
α is the inclination of the web, see Figure 5-1;

$$e = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \text{ with } f_y \text{ in N/mm}^2;$$

M_{Ed} is the design value of the bending moment at the location of the anchor force or strut force;

$M_{c,Rd}$ is the design bending resistance of the sheet pile from 5.2.2(2).

(5) If a washer plate is used for the introduction of the anchor force into the webs according to Figure 7-5b the expressions given in (4) may be applied, provided that the width of the washer plate is greater than the width of the flange to prevent an additional eccentricity e as given in (4).



7-5. Direkte forankring uden stræk

- a) Træk introduceres i kropsplader
- b) Tryk introduceres i kropsplader

FEM beregning (ANSYS)

Samme ankerpladespuns blev modelleret i FEM-programmet ANSYS

Fuld 3D model med tilhørende materialeparametre modelleret.

- Plastisk Mohr-Coulomb materialemodel for **jord**
- Elasto-plastisk materialemodel for **stål** med 5 % grænseværdi for tilladelig hovedtøjning iht. DS/EN 1993-1-5.

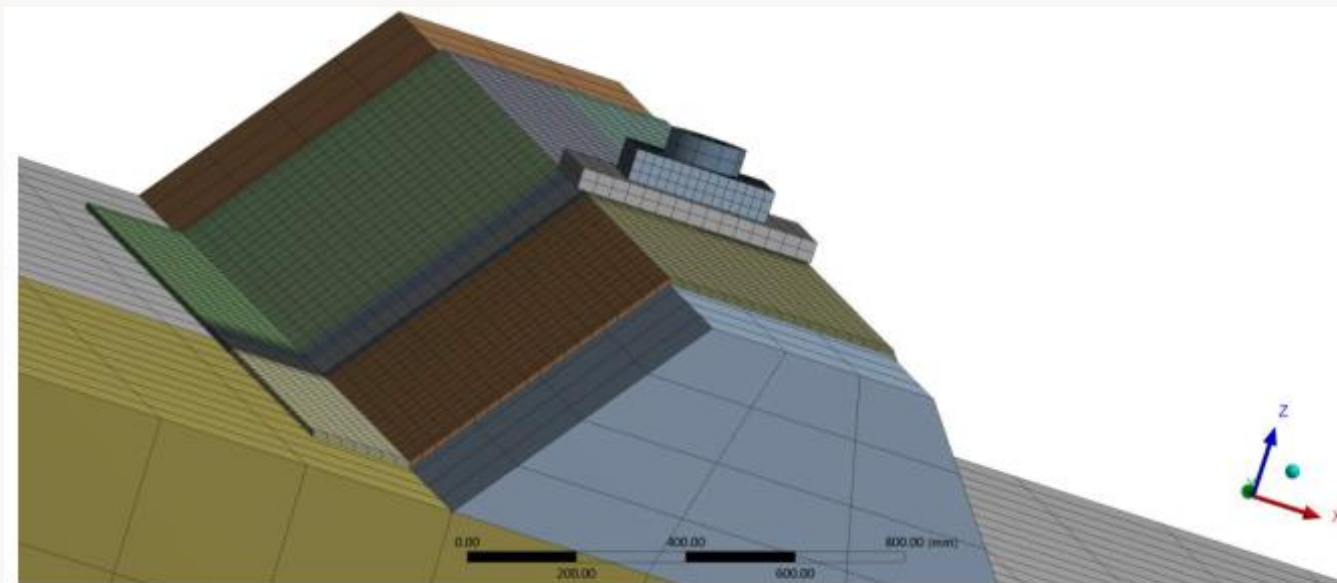


Figure 13. The FE-mesh.

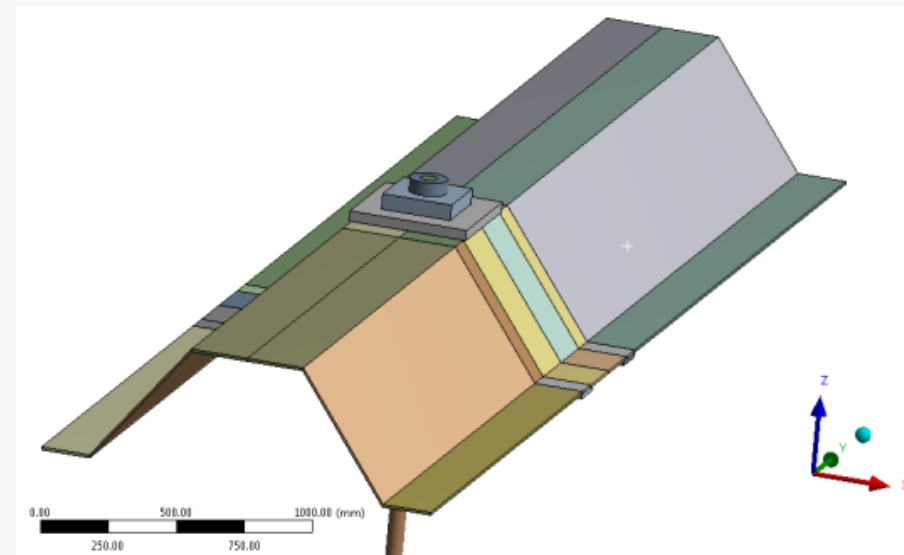


Figure 4. The FE-geometry with steel parts shown.

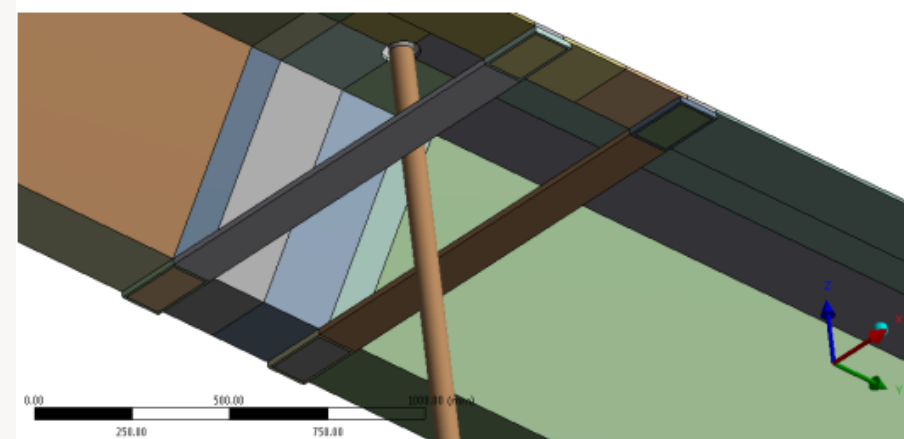


Figure 5. The FE-geometry with steel parts shown from another viewing angle.

Ankerpladespuns modelleret inkl. underlagsplader, trækbånd og ankerstang.

FEM beregning (ANSYS)

Samme ankerpladespuns blev modelleret i FEM-programmet ANSYS

Resultater:

- Von mises spændingsplot (elastisk). Plottet indikerer lokale områder, hvor flydespændingen overskrides og der dermed introduceres flydning.
- Buckling/foldning figur for ankerpladespuns. Ikke fundet kritisk i modellen ift. designlasten (lastfaktor > 2)

J: LBA
Total Deformation
Type: Total Deformation
Load Multiplier (Nonlinear): 2.4213
Unit: mm

1.2525 Max
1.1134
0.9742
0.83503
0.69586
0.55669
0.41752
0.27834
0.13917
0 Min

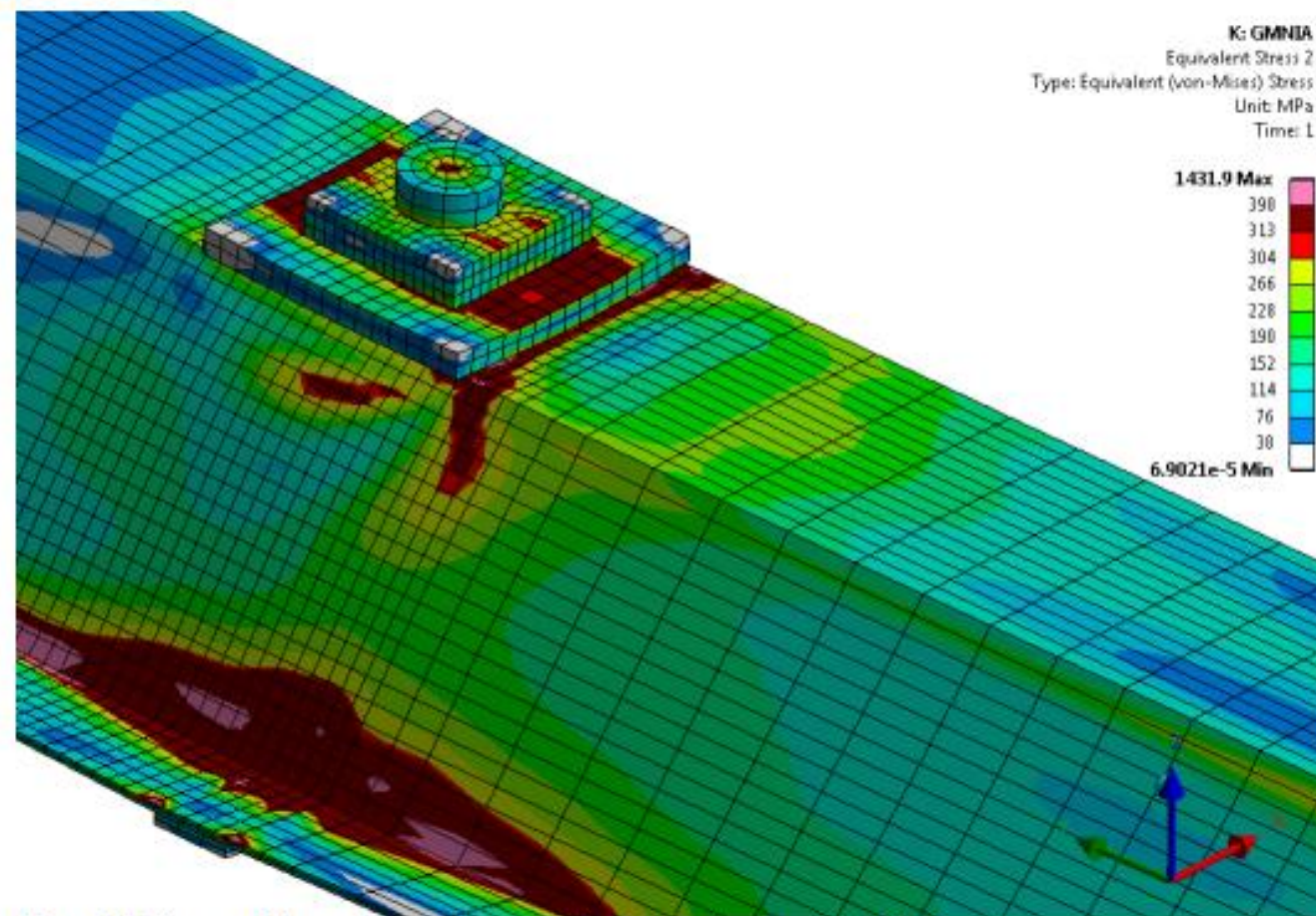
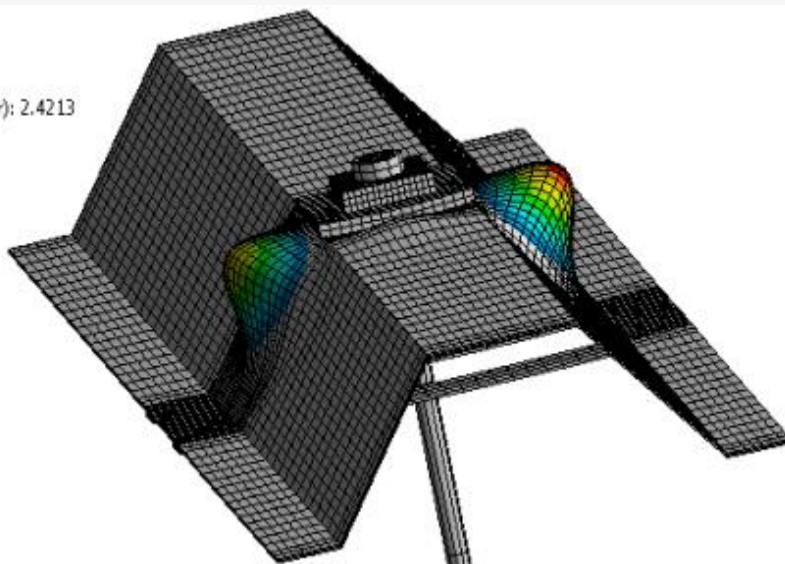


Figure 21. The von Mises stresses in the steel parts under the design load.

FEM beregning (ANSYS)

Samme ankerpladespuns blev modelleret i FEM-programmet ANSYS

Resultater:

- Hovedtøjning i spunsprofil og underlagsplader ca. 3,5 %, hvilket er mindre end de tilladte 5 % iht. DS/EN 1993-1-5.

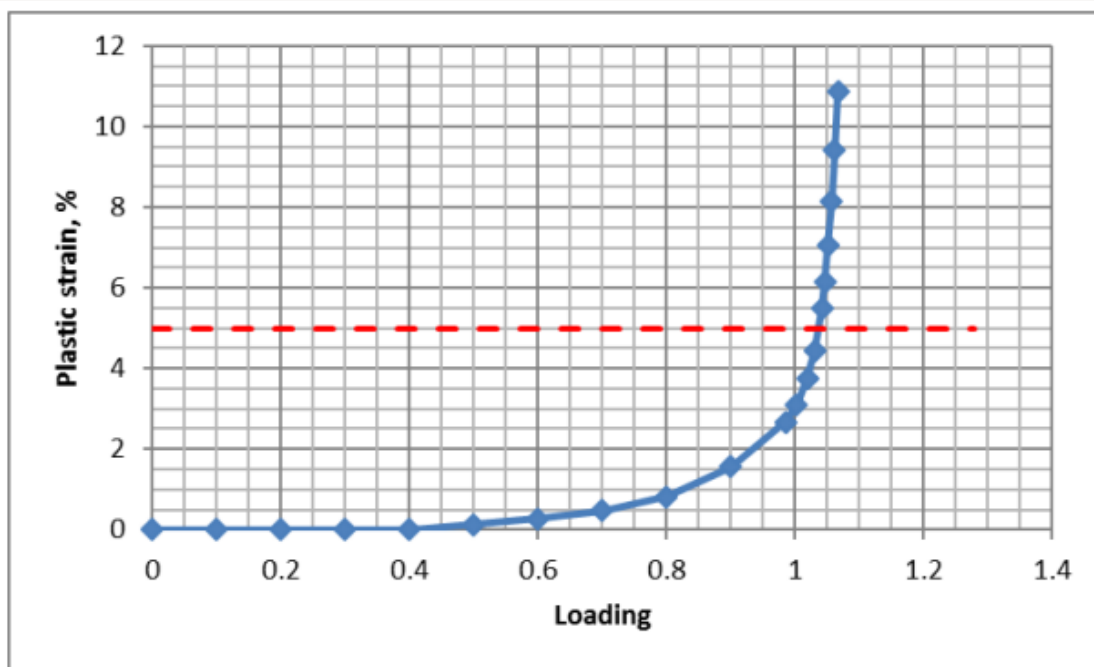


Figure 31. The maximum plastic strain vs. the loading graph (sheet pile).

En lastfaktor på 1,0 svarer til den påsatte design ankerkraft.

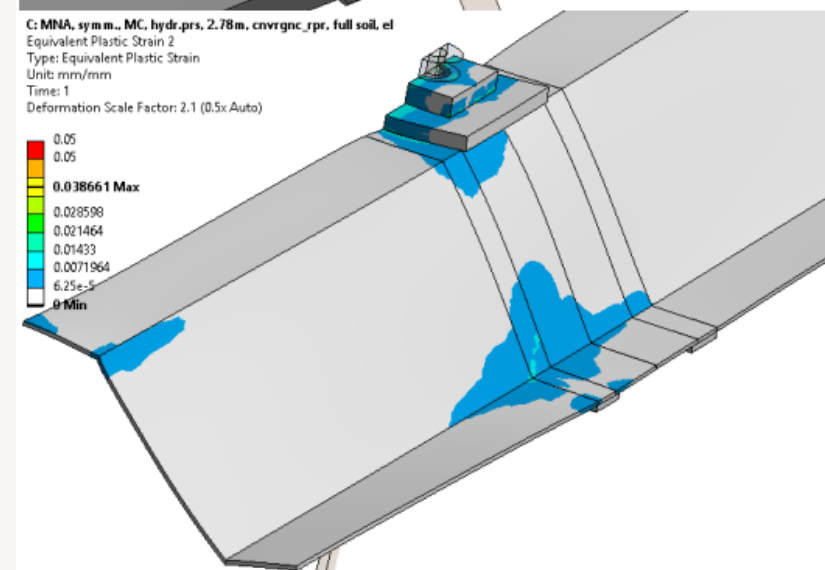
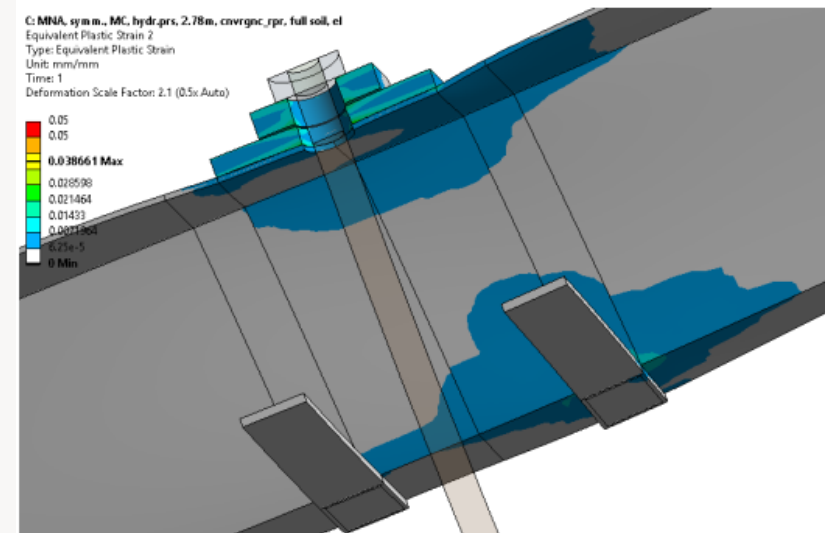
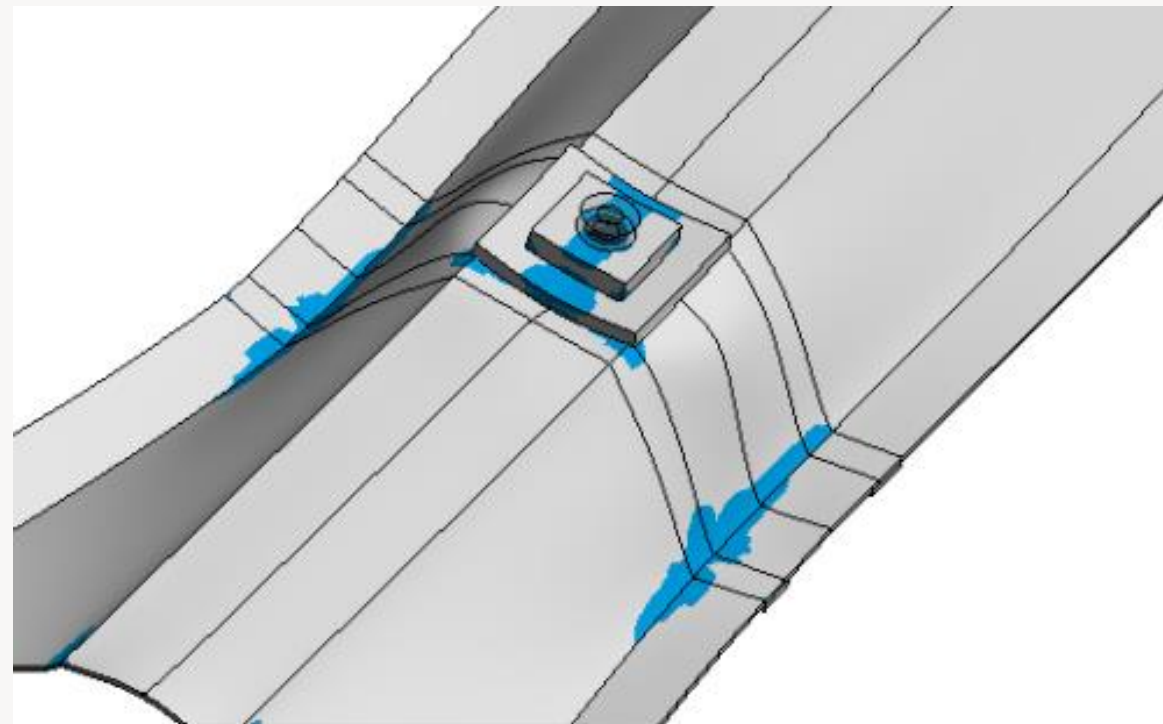
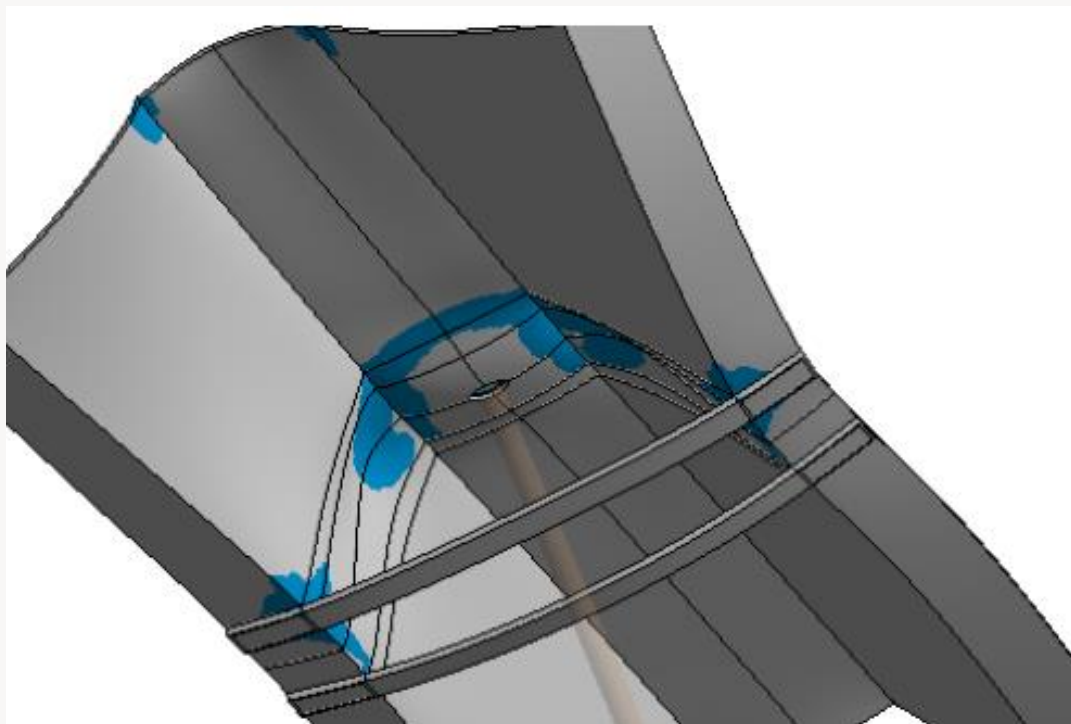


Figure 35. The plastic strains of the steel parts.

Plastiske tøjninger i spunsprofil og underlagsplader. Værdien er mindre end grænseværdien på 5 %.

FEM beregning (ANSYS) Deformationsplots



Afsluttende bemærkninger

- "DS/EN 1993-5 Pilotering" stabilitetsbetragtning omfatter ikke tilfælde med jordopfyld på begge sider af spunsen som har en stabiliserende effekt på profilet.
- Skulle ankerpladespunsen regnes hjem iht. DS/EN 1993-5 metoden endte profiltypen på AZ32-750 i stedet for valgte AZ25-800. Dette ville have givet en øget stålmængde på ca. **21 %**.

På større projekter med en vis volumen kan der derfor være meget stål at spare ved at lave en FEM analyse. Dette giver anledning til økonomiske besparelser og letter CO2-aftrykket.

