

PM GEOTEKNIK

NORRTÄLJE HAMN, NCC SVERIGE AB

UPPRÄTTAD: 2019-04-30

Upprättad av

Fredrik Andersson

Granskad av

Nicholas Lusack

Godkänd av

Fredrik Andersson

Kund: NCC Sverige AB
Kundens kontaktperson: Christina Persson

Konsult: Sigma Civil AB
Projektansvarig: Fredrik Andersson
Handläggare: Fredrik Andersson
Konsultens projektnummer: 132326

Tillhörande dokument

Namn		Datum
RAPPORT-48901-v.1.0 Markteknisk undersökningsrapport (MUR)		2018-04-30
Bilaga 1	Ritningar Galären (Konstruktionsprinciper)	
Bilaga 2	Möteskorrespondens konstruktionsprinciper	
Bilaga 3	Alternativstudie för utfyllnad	

Innehållsförteckning

1	Objekt	4
1.1	Inledning.....	4
1.2	Blivande anläggning.....	5
2	Syfte och geoteknisk kategori	5
3	Underlag.....	5
3.1	Tidigare utförda undersökning och utredningar	5
3.2	Nu utförda undersökningar.....	6
4	Markförhållanden	6
4.1	Jordlagerföljd.....	6
4.2	Hydrologiska förhållanden.....	9
5	Geotekniska egenskaper	10
6	Grundläggningsrekommendationer	12
6.1	Galärsgatan och dagvattendamm	12
6.2	Pir.....	14
6.3	Midsommarplatsen.....	15
7	Schakt.....	16
8	Fyllning.....	16
9	Miljöaspekter	16
10	Kontroller i byggskede	17
11	Beräkningar	17

1 Objekt

1.1 Inledning

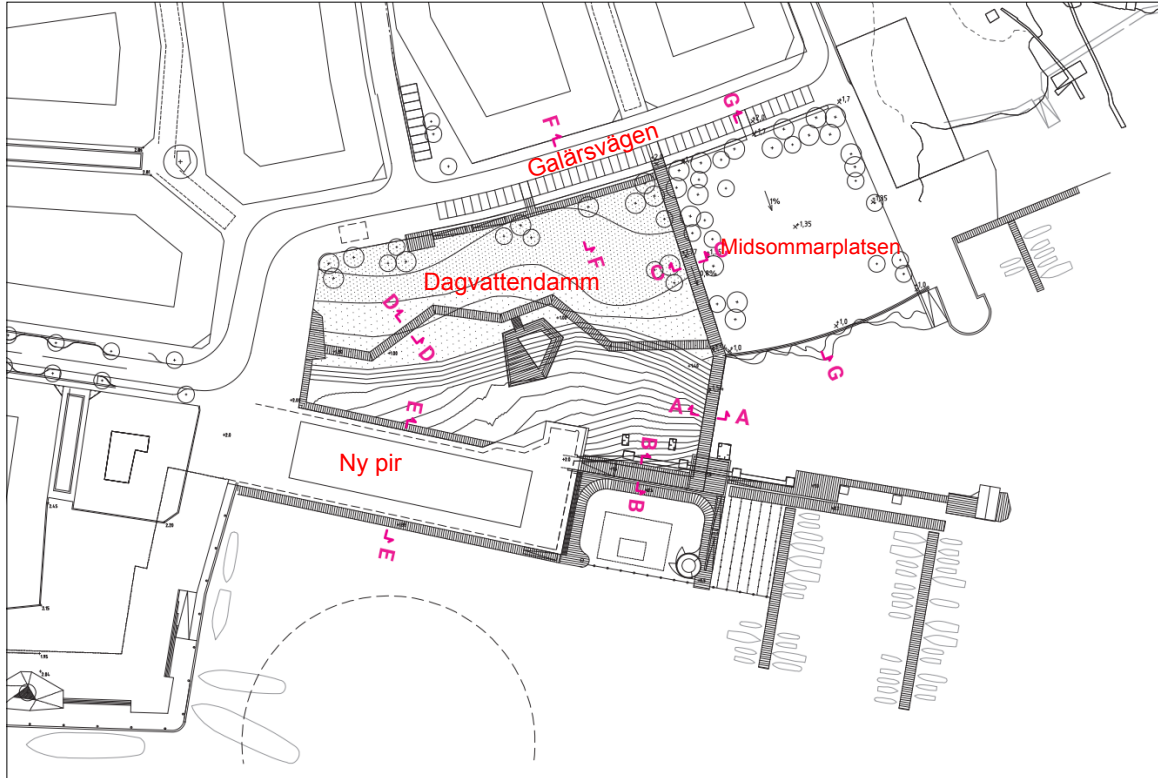
Sigma Civil AB har på uppdrag av NCC och Norrtälje hamn utfört en geoteknisk undersökning för utbyggnad av befintlig hamn i Norrtälje. Undersökningsområdet återfinns i centrala delarna av Norrtälje, Norrtälje kommun och är markerat i Figur 1 nedan.



Figur 1: Undersökningsområdet markerat med röd polygon. Källa www.eniro.se

1.2 Blivande anläggning

Området används idag som hamnområde för Norrtälje och planeras framöver även att användas som hamn. Området planeras framöver för bostäder. Denna rapport behandlar nedanstående konstruktioner, se Figur 2.



Figur 2: Planerad utbyggnad av Norrtälje hamn. Källa: Ritningar Galären

2 Syfte och geoteknisk kategori

Syftet med undersökningen är att klargöra de geotekniska förutsättningarna för utbyggnad av nuvarande hamn. Underlaget används för fortsatt projektering och tillståndsansökan för vattenverksamhet.

Samtliga konstruktioner inom objektet bedöms kunna tillhöra Geoteknisk Kategori 2 (GK2) och Säkerhetsklass 2 (SK2).

3 Underlag

3.1 Tidigare utförda undersökning och utredningar

- Markundersökningsrapport, daterad 2016-03-21, upprättad av ÅF-Infrastructure AB
- Ritningar Galären, utkast till tekniska lösningar
- Mötesanteckningar Norrtälje hamn. Minnesanteckningar från möte ang Galären – konstruktionsprinciper, daterad 2018-04-03
- Alternativstudie för utfyllnad, COWI, daterad 2018-12-04

3.2 Nu utförda undersökningar

- Markteknisk undersökningsrapport (MUR), daterad 2019-04-30, upprättad av Sigma Civil AB

4 Markförhållanden

4.1 Jordlagerföljd

4.1.1 Land

Generellt består lagerföljden av fyllnadsmaterial med 0,5m – 2m mäktighet och som underlagras av organiska jordlager med gyttja och gyttjig lera. Gyttjan och leran underlagras av lermorän till stora djup. Berg har påträffats på nivå ca -25m á -30m.

Inom området för strandpromenad, norr om befintlig hamn, är fyllningen mäktigare och uppmäter som mest en tjocklek om ca 5 meter. Fyllningen är stenig/blockig och svårborrad utan foderrör. Lermorän påträffas på nivåer omkring -5m á -10m. Sulfid påträffas generellt i organiska jordar och lerlager ovan lermorän. Se även 4.1.2.

4.1.2 Hav

Inom vattenområdena består jordlagerföljden generellt av ytliga organiska lager, däribland dy, som underlagras av gyttja och lera på lermorän på berg. Utanför befintlig pir består havsbotten överst av ett fyllningslager med sand, grus, lera och tegel. Fyllningens mäktighet uppgår till ca 2 meter. Denna underlagras av lerlager med inblandning av fastare lager med friktionsjord. Leran underlagras av lermorän till stora djup.

Påträffad gyttja har högre halt av organisk jord än lera och med vattenkvoter upp emot 200 % och konflytgräns över 200 %. Gytjtjans höga konflytgränser vilket motiverar en reduktion av nominell odränerad skjuvhållfasthet med 50 %. Gytjelagren har en lägre densitet omkring 1,2–1,5 t/m³. Gytjtjan har en låg sensitivitet vilket innebär att den är mindre känslig för störningar.

Lerlaget som underlagrar gyttjan har en konflytgräns mellan ca 44 - 92 % vilket motiverar en reduktion av nominell odränerad skjuvhållfasthet med upp till ca 40 %. Leran har en skrymdensitet omkring 1,6–1,7 t/m³. Leran har en låg sensitivitet.

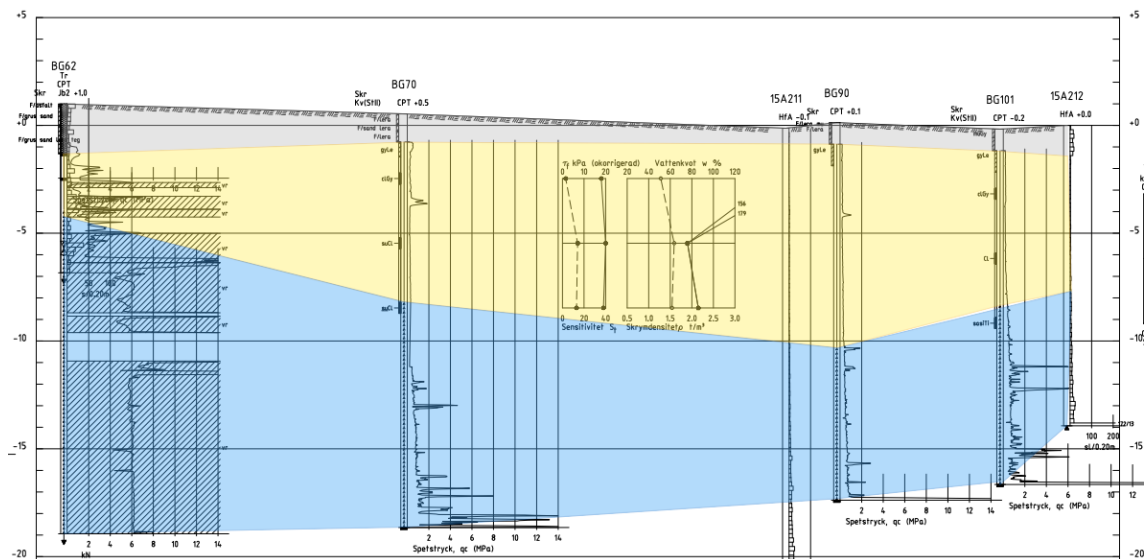
Lermoränen har en hög skrymdensitet, generellt 2,2 t/m³ - 2,3 t/m³, och en låg vattenkvot om ca 12–15 % vilket indikerar en hög relativ lagringstäthet och låg porositet. Lermoränen är i ytliga lager lös med en odränerad skjuvhållfasthet om 10–20 kPa som ökar med djupet.

4.1.3 Galärsvägen

Jordlagerföljden inom området från Midsommarplatsen har tolkats från Sektion D ritn 200G1124, MUR (ÅF, 2016).

Jordlagerföljden inom området för Galärsvägen består av 1–2 m fyllningsmaterial i form av grus och sand. I områdets östra del förekommer fyllningsjord i form av lera.

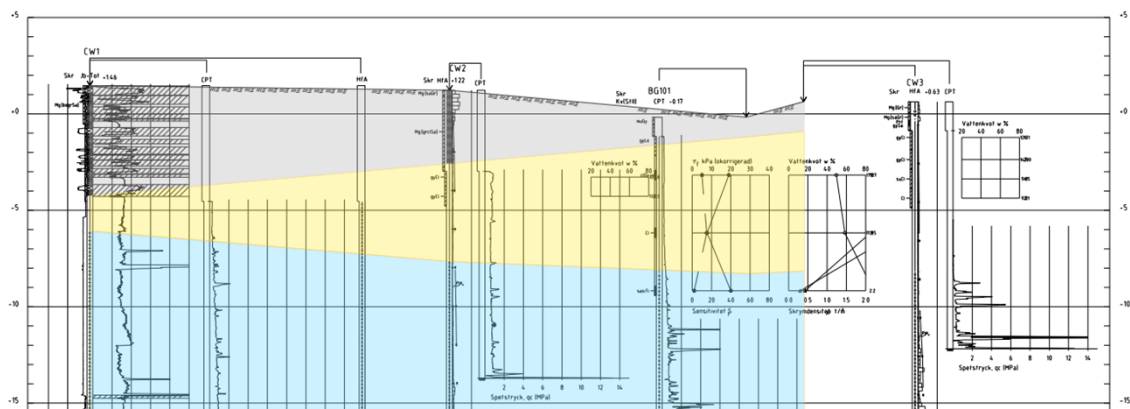
Fyllningen underlagras av lera med en mäktighet om 3–9 meter med störst mäktighet i områdets östra delar. Lerlaget underlagras därefter av morän till stort djup.



Figur 3: Urklipp från Sektion F med intolkade jordlager var fyllning symboliseras av grå skraffering, lera/dy av gul skraffering och morän av blå skraffering.

4.1.4 Dagvattendamm

Jordlagerföljden för planerad dagvattendamm är baserad på Sektion E i MUR (Sigma Civil, 2019).



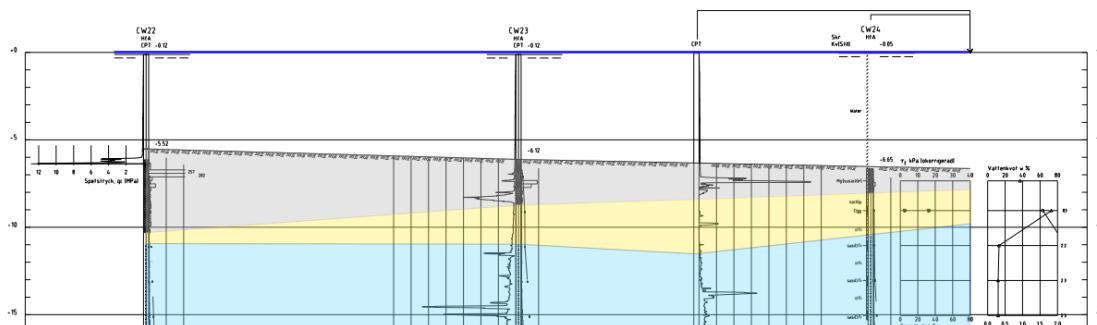
Figur 4: Urklipp från Sektion E med intolkade jordlager var fyllning symboliseras av grå skraffering, lera/gyttja av gul skraffering och morän av blå skraffering.

4.1.5 Ny pir

Jordlagerföljden för ny pir enligt Figur 2 har utvärderats från Sektion A (utanför befintlig pir) och F (inom område för befintlig pir) i Markteknisk undersökningsrapport, daterad 2019-04-30.

Sektion A

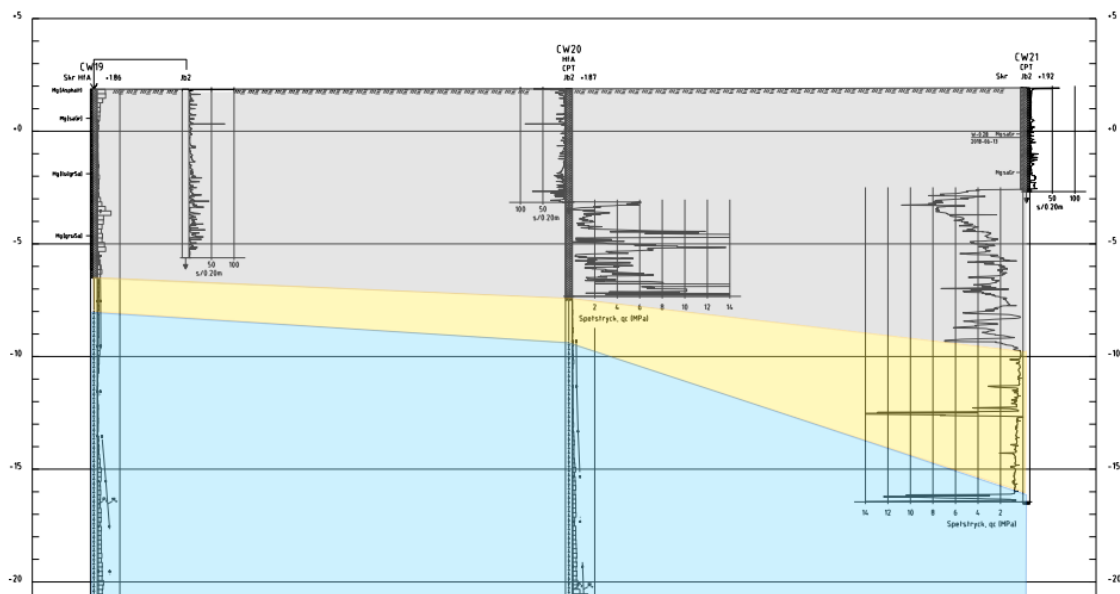
Sektion A är belägen strax söder om befintlig pir och utförs av vattenområde. Vattendjupet är inom området ca 5 meter och underlagas av ett fyllningslager varierande mellan 1–4 meter med störst mäktighet i väst mot befintligt landområde. Denna underlagas i sin tur av lera och gyttja med en mäktighet varierande mellan 1–3 meter med störst mäktighet i öster, dvs ut mot befintligt havsområde. Leran underlagas av lermorän till stora djup.



Figur 5: Urklipp från Sektion A med intolkade jordlager var fyllning symboliseras av grå skraffering, lera/dy av gul skraffering och lermorän av blå skraffering.

Sektion F

Sektionen är belägen inom området för befintlig pir. Jordlagerföljden består av friktionslager som uppmäter en mäktighet om ca 9–12 meter och underlagras av lera/dy med en mäktighet om 1–6 meter.

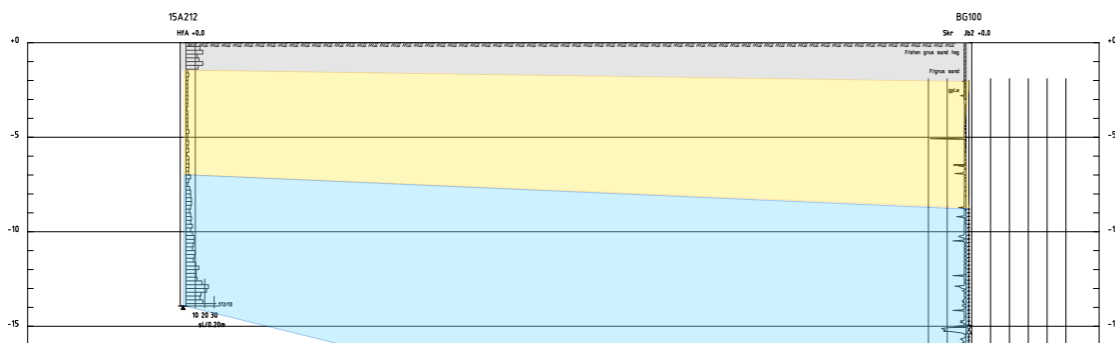


Figur 6: Urklipp från Sektion F med intolkade jordlager var fyllning symboliseras av grå skraffering, lera/dy av gul skraffering och lermorän av blå skraffering.

4.1.6 Midsommarplatsen

Jordlagerföljden inom området från Midsommarplatsen har tolkats från Sektion E ritn 200G1125, MUR (ÄF, 2016).

Jordlagerföljden består överst av ett fyllningslager mellan 1–2 meter mäktighet. Fyllningen består av sand och grus med ställvis inslag av tegel. Denna underlagras av ett gyttigt lerlager med en mäktighet om 5–6 meter.



Figur 7: Urklipp av Sektion E från MUR (ÅF, 2016) med intolkade jordlager var fyllning symboliseras av grå skraffering, lera/dy av gul skraffering och lermorän av blå skraffering

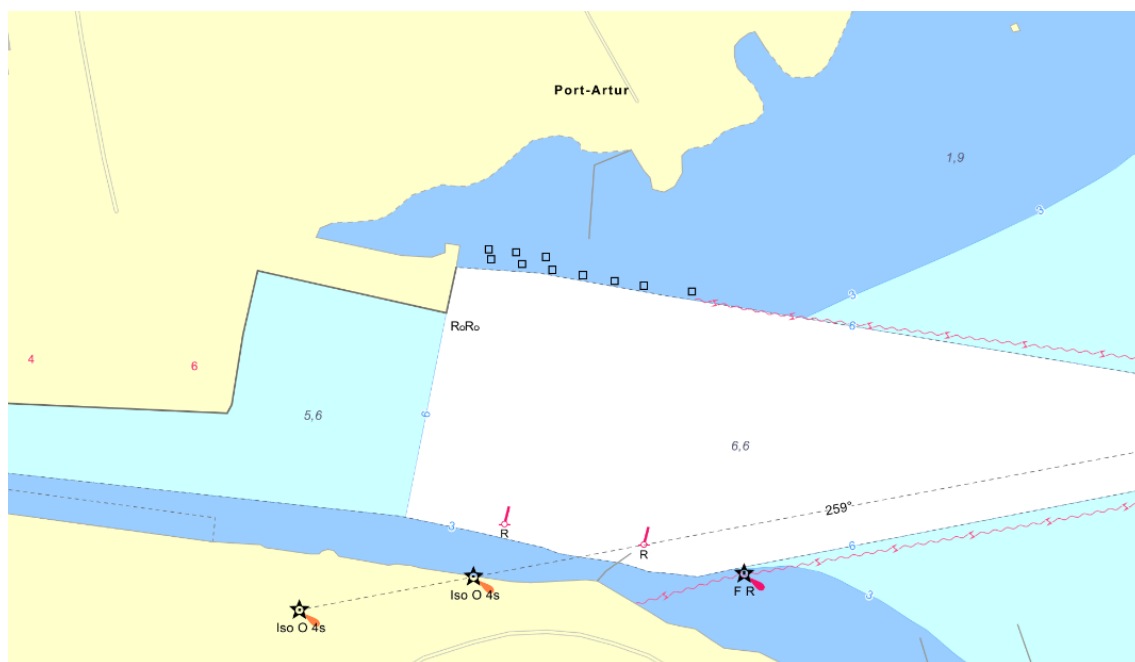
4.2 Hydrologiska förhållanden

Grundvatten har påträffats i ett borrhål på 2,2 meter under markytan, vilket motsvarar en nivå av -0,3. Grundvattennivåer bedöms följa havets variationer.

Grundvattennivåer kan förväntas följa havets variationer och varierar över året. Följande vattennivåer kan enl. COWI:s konstruktionsprinciper förväntas

Högsta högvatten	HHW	+1,23 (prognos år 2100)
Högsta högvatten	HHW	+0,77 (år 2011)
Medelhögvatten	MHW	+0,21 (år 2011)
Medelvatten	MW	-0,40 (år 2011)
Medellågvatten	LW	-0,85 (år 2011)
Lägsta lågvatten	LW	-1,09 (år 2010)

Vattendjupet inom området varierar. Vattendjupet söder om befintlig pir är ca 5 - 6 meter. Längre österut och in mot strandkanten minskar vattendjupet successivt till att övergå i strand. Påträffade djup stämmer till synes bra överens med sjökort över Norrtälje hamn.



Figur 8: Vattendjup inom hamnområde enl. sjökort. Källa: www.eniro.se

5 Geotekniska egenskaper

Tabell 1: Valda värden

Jordart	Tunghet γ (γ') (kN/m ³)	Hållfasthetsegenskaper	Deformationsegenskaper
Fyllning (Mg)	19 (11)	$\varphi' = 33^\circ$	E = 15 MPa
Lermorän (CITi)	22 (12)	$\varphi' = 30^\circ + 0,2^\circ/\text{m}$	E = 5 MPa

Jordart	Tunghet γ (γ') (kN/m ³)	Odränerad skjuvhållfasthet, korr
Gyttja (Gy)	12–15 (2–5)	$c_{u, \text{korr}} = 4\text{--}5 \text{ kPa}$
Lera (Cl)	16–17 (6–7)	$c_{u, \text{korr}} = 5 \text{ kPa} + 0,4 \text{ kPa/m}$
Lermorän (CITi)	19 (11)	10 meter $c_u = 10 \text{ kPa}$
		12 meter $c_u = 13 \text{ kPa}$
		14 meter $c_u = 25 \text{ kPa}$
		+14 meter $c_u = 25 \text{ kPa} + 20 \text{ kPa/m}$

Tabell 2: Sättningsparametrar för lera baserad på BG101, 6m djup, redovisad i Alternativstudie för utfyllnad

Jordart	σ'_e / σ'_L	M_0	M_L	M'	k	cv
Lera (Cl)	26/37 kPa	1 500 kPa	115 kPa	11,8 -	$5,5 \times 10^{-10}$ m/s	$3,8 \times 10^{-9}$ m ² /s

Tabell 3: Omräkningsfaktor för pålar

Omräkningsfaktor för pålar	η
$\eta_1 \eta_2$	0,95
η_3	1,0
η_4	0,95
η_5	1,0
η_6	1,0 (alt 1,05 el 1,1 beroende på konstruktionsutformning)
η_7	0,9
	1,0 (vid betongfyllda pålar)
	0,9 (pålar som delvis står fritt i vatten)

Tabell 4: Omräkningsfaktor för spont

Omräkningsfaktor för spont	η
$\eta_1\eta_2\eta_3\eta_4$	0,95
$\eta_5\eta_6$	1,0 1,1 (om spont utformas för att överföra svagare punkter till starkare)
η_7	1,0
η_8	1,0

Tabell 5: Fasta partialkoefficienter för jordparametrar enl. Boverket, EKS 10

Egenskap	Deformationsegenskaper
Friktionsvinkel (ϕ') och dränerad skjuvhållfasthet (c')	1,3
Odränerad skjuvhållfasthet (c_u)	1,5
Deformationsegenskaper	1,0
Tunghet	1,0

När ett lågt värde är ogynnsamt beräknas den geotekniska dimensionerande egenskaper genom insättning av ovanstående i ekvation 1.

$$X_d = \gamma_M \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \bar{X} \quad (1)$$

När ett högt värde är ogynnsamt beräknas den geotekniska dimensionerande egenskaper genom insättning av ovanstående i ekvation 2.

$$X_d = \frac{1}{\gamma_M} \cdot \eta \cdot \bar{X} \quad (2)$$

Medelvärde, $\bar{X}$, beräknas som ett medelvärde av härledda värden där de härledda värdena redovisas i MUR.

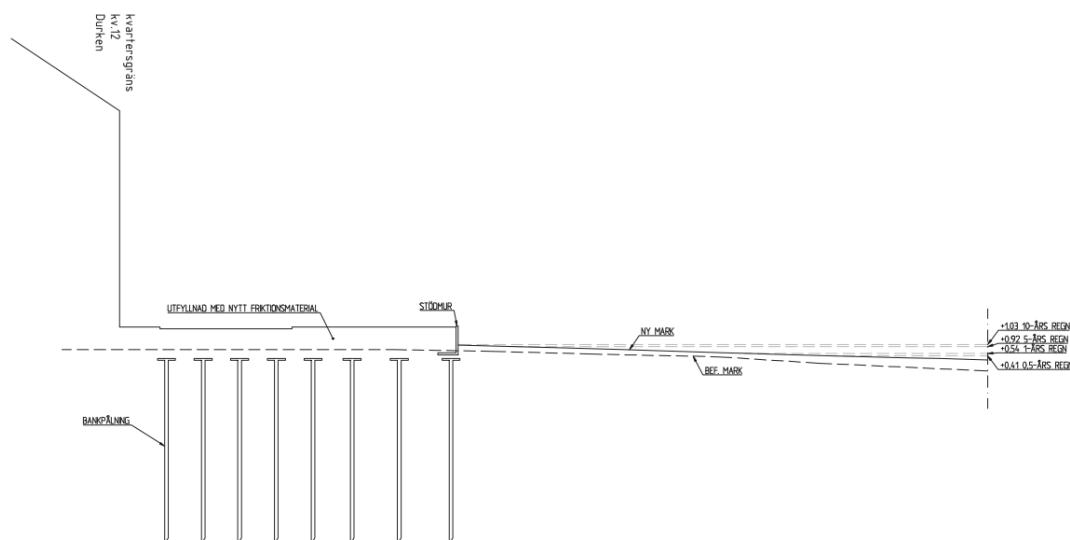
Inblandningsförsök för KC

För inblandningsförsök, se MUR Bilaga 3, Sigma Civil AB, daterad 2019-04-30

6 Grundläggningsrekommendationer

6.1 Galärsgatan och dagvattendamm

Området för planerade Galärsvägen och dagvattendamm söder om Galärsvägen består idag av befintlig strandkant och grund havsbotten. Befintlig mark ligger omkring nivå +0,5 och planeras för en ny marknivå omkring +2. Planerad dagvattendamm söder om Galärsvägen ligger lägre och har likt Galärsvägen planerade uppfyllningar om ca 1,5 meter.



Figur 9: Konstruktionsprincip Galärsvägen och dagvattendamm. Källa: Ritningar Galären

De planerade nivåerna medför uppfyllningar om ca 1,5 meter, motsvarande ca 30 kPa.

Gyttjan/lerans skjuvhållfasthet är ca 5 kPa + 0,4 kPa/meter vilket medför att leran i ytliga lager klarar en belastning om ca 25 kPa innan brott inträffar. Med en säkerhetsfaktor om 1,5 ger det att belastningen på leran i överkant inte får överskrida 17 kPa, motsvarande ca 0,85 meter packad fyllning. Trafiklasten måste på samma som för Midsommarplatsen nedföras till djupare lager genom påldäck, bankpålar eller KC-pelare, se även 6.3. Arbetsbädd erfordras för utförande. Fyllningen bör vara pålbar.

Sättningar kan tas ut genom överlastar som utläggs i tunna lager, alternativt ihop med vertikaldräner för att snabba på sättningens tidsförlopp.

Dagvattendammen ansluter i sydöst mot havet genom en dubbelspontkonstruktion med bryggflak för promenad och vistelsezoner. Spont som förankras i varandra genom spännstag bedöms som en god teknisk lösning, se Figur 10.

Användning av lättfyllning mellan sponter minskar risken för sättningar inom konstruktionen samt lägre belastningar och påhängslaster, dock bör det beläggas att lättfyllning under grundvattennivå kommer ge en lyftkraft på konstruktionen men som bedöms kontrollerad.

Den principiella utformningen med krossmaterial på lättfyllning ger konstruktionen en högre tyngdpunkt vilket ökar risken för horisontalrörelser och ökad risk för utmattning av ståldetaljer under lång tid om rörelser pågår i konstruktionen.

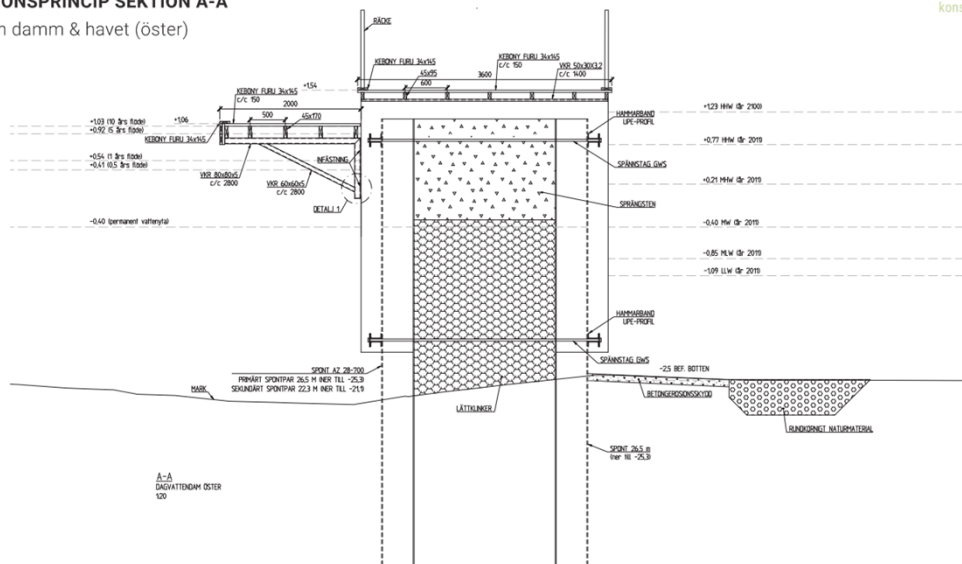
Nuvarande utformning av konstruktion klarar mindre olyckslaster om detta bedöms som aktuellt för projektet. Förslag till återfyllning med bergkross, alternativt sprängsten, bör övervägas för en tyngre och stabilare konstruktion.

Dammväggens överbyggnadskonstruktion skall klara sin egen bärighet för vertikallaster och inte vara beroende av fyllningsmaterialet mellan spontraderna. Stor risk för sättningar föreligger.

KONSTRUKTIONSPRINCIP SEKTION A-A

sektion mellan damm & havet (öster)

Norrtälje Hamn Galären
konstruktion



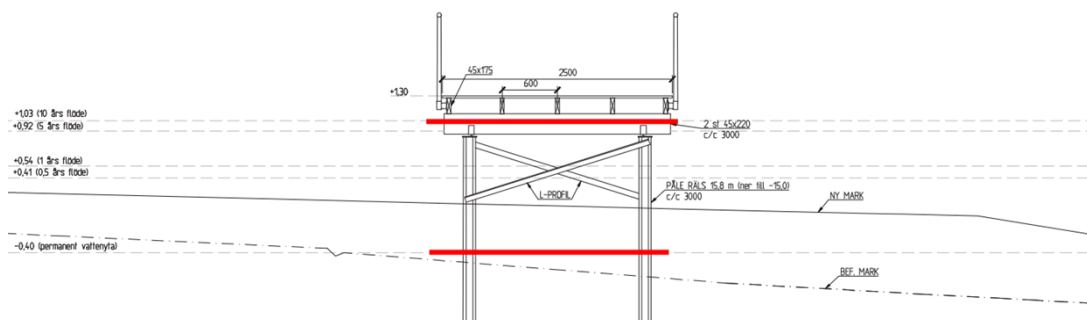
Figur 10: Konstruktionsprincip för dammvägg

I övergången mellan dagvattendamm och Midsommarplatsen planeras en spontkonstruktion med krönbalk. Utformning av krönbalk är i detta skede planerad till att sluta ca 0,5 m ovan den permanenta vattenytan (nivå -0,4), det bör övervägas att krönbalk nedgjuts till nivå ca -0,60 för att minska korrosionsrisken på spont i den kritiska skvalpzonen mellan vatten och luft. Anod-katod-system har enligt tidigare möteskorrespondens konstaterats som en ej realistisk och genomförbar lösning, se Bilaga 2.

Genom dagvattendammen planeras en spångpromenad. Ny markyta planeras att höjas med ca 0,5m - 1,1m från befintlig markyta. Uppfyllningen kommer medföra betydande sättningar. Om sättningarna kan accepteras erfordras ingen jordförstärkning. I takt med att sättningar utbildas kommer föreslagen spånggrundläggning att utsättas för påhängslaster för vilka grundläggningen skall dimensioneras.

Stor del av den planerad spångens bärande konstruktion hamnar i skvalpzonen där stålet är delvis under och delvis ovan vatten. Pålar bör i denna zon övervägas att skyddas genom stålhylsa, möjligen av rostfritt stål, där pålen senare ingjuts i hylsan för att skyddas mot korrosion. Ytterligare en teknisk lösning som kan utredas är möjligheten till betongpålar som är mindre korrosionsbenägna.

Ett tredje alternativ till teknisk lösning kan vara en kombination av träpålar på större djup och betongpålar i ytliga lager kan ses som ett tänkbart alternativ för att sänka kostnader. I de fall grundläggningen inte säkras mot korrosion måste konstruktionen säkerställas genom löpande inspektion och underhåll.



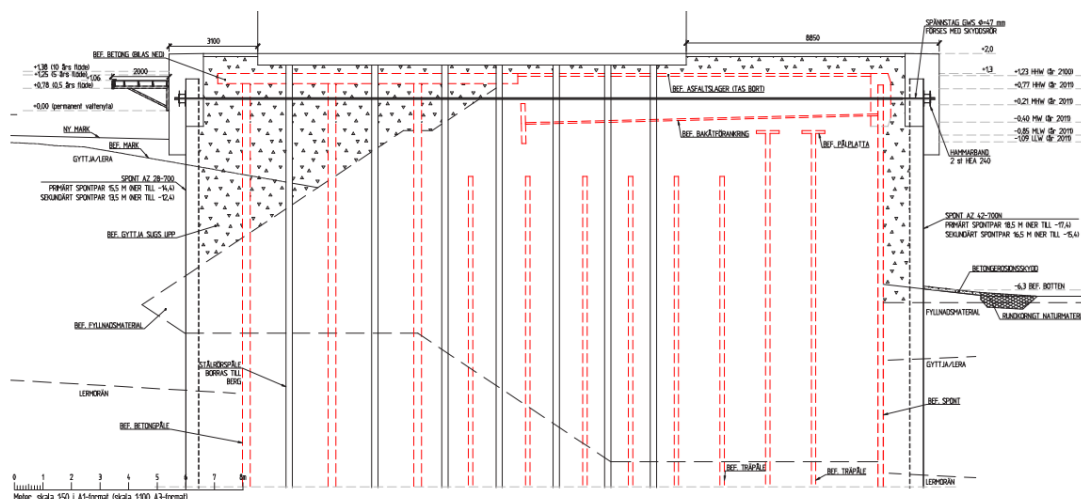
Figur 11: Planerad spång genom dagvattendamm med dagvattenfluktuationer visat i rött.

6.2 Pir

Den befintliga hamnpiren är idag utformad med spont och krönbalk mot havssidan. Pirens betongdäck uppbärs av träpålar. Den nya piren planeras utföras med dubbelspont som förankras i varandra genom spännstag. Nedgjutning av krönbalkar utförs till nivå ca -1,5 vilket är under permanenta vattenytan. Den tekniska lösningen bedöms som god och minimerar risk för korrosion på spont.

Den befintliga grundläggningen rekommenderas att kvarlämnas för att inte skapa svagheter och störda jordlager som riskerar utbilda sättningar. Vid spontslagning måste hänsyn tas till den befintliga spontens bakåtförankring för att inte äventyra konstruktionens stabilitet under utförandet. Det innebär i förlängningen att befintliga pålar och stag bör lokaliseras innan spontslagning och installation av spännstag. Förankringen har vid tidigare utredning föreslagits att installeras inom genomgående stälvrör vilket är att rekommendera för att dels inte riskera stagens integritet och dels ur en risksynpunkt för produktion. God teknisk lösning.

Fyllningen är i övre lager stenig och blockig varför förskakt, alt prylning, kan krävas för installation av spont och pålar. Borrade pålar kan, trots dess ekonomiska nackdel, vara försvarbar ur flera synpunkter, däribland blockighet, buller, närhet till närliggande konstruktionsdetaljer såsom pålar och förankringsstag.



Figur 12: Konstruktionsprincip för ny pir

Spontslagning kan endera utföras från pråm eller befintlig kajkonstruktion. Sett utifrån att vattendjupen i havsviken är ringa rekommenderas att spontslagning utförs från påldäck. Detta utförande minskar även risken för beroendet av väder. Från tidigare utredningar kan det konstateras att befintligt påldäck kan erfordra förstärkning.

6.3 Midsommarplatsen

Området för planerade Midsommarplatsen består idag av befintlig strandkant och grund havsbotten. Befintlig mark ligger omkring nivå -1 å +0 och planeras för en ny marknivå omkring +1,7 i norra delen och +1,0 ut mot havet i södra delen.

De planerade nivåerna medför således en uppfyllning om ca 2 meter, motsvarande 40 kPa. Gytthan/lerans skjuvhållfasthet är ca 5 kPa + 0,4 kPa/meter vilket medför att leran i ytliga lager klarar en belastning om ca 25 kPa innan brott inträffar. Med en säkerhetsfaktor om 1,5 ger det att belastningen på leran i överkant inte får överskrida 17 kPa, motsvarande ca 0,85 meter packad fyllning. Den karakteristiska trafiklasten enl. TK Geo 13, uppgår till 15 kPa vilket medför att leran idag precis klarar att bära trafiklasten. Dock skall hänsyn tas till ny fyllning vilket gör att den totala belastningen överskrider lerans hållfasthet. Trafiklast måste därför nedföras till djupare lager genom påldäck, bankpålning eller KC-pelare.

För de ytor som inte omfattas av trafiklast kan ny fyllning utföras under förutsättning att dessa utläggs i lager som understiger 0,85m. Sannolikt erfordras även tunnare lager än detta för att möjliggöra packning av utlagda fyllningsmassor. Vid dessa belastningar förväntas stora sättningar vilket medför att området föreslås förstärkas med KC-pelare.

Sättningarna har uppskattats och beräknats av flera parter i närliggande punkter. De uppskattade sättningarna varierar mellan 14 cm och 157 cm. Komplexiteten att uppskatta sättningarna indikerar att komplicerade geotekniska förhållanden kan förekomma inom området samt att jorden lokalt kan variera. Området bör därför ur en riskhänsyn förstärkas. Vid detaljprojektering rekommenderas fler ostörda provtagningar med inblandningsförsök samt utförande av provpelare.

Inblandningsförsök för KC-pelare visar på att en tillräcklig hållfasthet kan uppnås inom en kort tidsrymd. Uppmätt hållfasthet varierar beroende på blandningsrecept och inblandningsmängd. Uppmätta skjuvhållfasthet varierar mellan 82–216 kPa vid 7 dagars provtryckning och 120–384 kPa vid 29 dagars provtryckning. Normalt eftersträvas mjuka-halvhårda pelare med en högsta skjuvhållfasthet om 150 kPa i pelarna. KC-pelare föreslås som förstärkningsmetod. Mjuka-halvhårda pelare samverkar med jorden medan hårda pelare nedför last till djupare lager. Användandet av hårda pelare är begränsat i Sverige.

I anslutning mot havet rekommenderas från konstruktören en spont för att erhålla en tillfredsställande stabilitet mot brott. Spont bedöms kunna utföras som konsolspont då konsolhöjden endast uppgår till ca 2,5 meter. För bedömning om stag eller inte erfordras måste även den långsiktiga funktionen vägas in och att spontlinjen säkerställs under lång tid i såväl plan som sektion (horisontella deformationer).

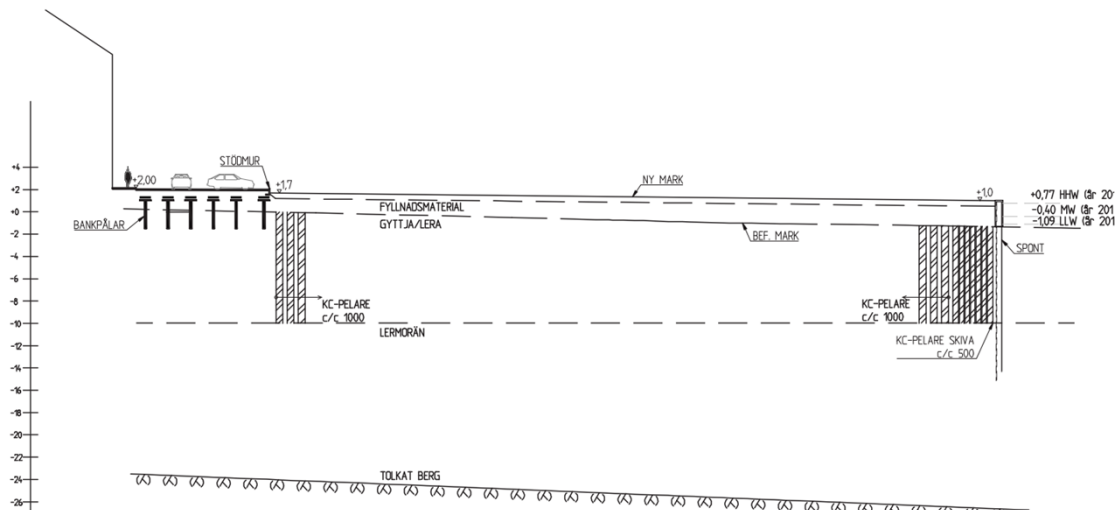
Till ovanstående resonemang finns även risker med en bakåtförankrad spont i form av sättningar och uppfyllning som medför att vertikala laster påförs stag och som därmed även måste dimensioneras för knäckning i tillägg till brott i stagens axiella riktning. Detta är dock kontrollerbart ur en dimensioneringssynpunkt.

Om KC-pelare installeras bakom sponten minskar de horisontella jordtrycken och därmed även spontens dimension och utböjning. Om vidare utredning visar att de horisontella deformationerna blir för stora erfordras bakåtförankring vilket kommer medföra att horisontella laster påförs på KC-pelare som riskeras att knäckas eller stjälpas. De horisontella jordtrycken utbildas då stagen aktiveras, dvs belastas. Om stag installeras i berg och med låg förspänning kan de horisontella lasterna reduceras. Om behov föreligger kan KC-pelare bakom spont utformas i skivor, alternativt gitter eller block om så erfordras. Ytterligare en möjlighet kan vara att motfylla sponten på havssidan med ett grövre och ej erosionskänsligt material alternativt att installera KC-pelare på spontens utsida.

Ny fyllning bör där spont, pålar och/eller KC-pelare föreslås vara pålbar. Samtliga arbeten erfordrar arbetsbädd.

En planerad framtida HHW (år 2100) om +1,23 medför att stora delar av ytan kommer vara översvämmad vid höga vattennivåer då krönbalkens nivå är belägen på +1,05. Möjlighet att höja krönbalkens högsta nivå bör utredas vidare.

Val av erosionsskydd för Midsommarplatsen och ny pir skall även anpassas utifrån eventuella propellereffekter från båtar.



Figur 13: Konstruktionsprincip för Midsommarplatsen

7 Schakt

Inga djupare schakter bedöms vara aktuella. Hänsyn skall tas till att grundvattnet ligger i nivå med befintlig markyta vilket medför att risk för hydraulisk bottenuppträckning kan föreligga vid schakt. Vid behov av schakter kan åtgärder för riskreducering utföras genom blöddarrör eller WellPoint-anläggning. Risk för botten uppträckning och hydraulisk bottenuppträckning skall studeras vid detaljprojektering.

8 Fyllning

Fyllning utförs med kontrollerade massor av friktionsjord under torr väderlek. Fyllning med friktionsjord utförs och packas enligt gällande normer. Val av packningsutrustning skall anpassas till jordens låga hållfasthet i ytliga lager för att säkerställa att inte brott i jorden inträffar. All fyllning som placeras inom området separeras lämpligtvis mot naturlig jord med ett materialavskiljande lager av geotextil.

9 Miljöaspekter

Återfyllningsmaterial, däribland sprängsten, som används inom projektet bör vara kvävefritt för att motverka övergödning. Tvättad sprängsten är dyrare än otvättad sprängsten och skall beaktas inom projektets totalekonomi.

KC-pelare som utförs i anslutning till havet kan ha en negativ påverkan på grundvattnet genom utsläpp, spill och oinblandade bindemedel. Detta kan åtgärdas genom anläggning av

siltgardiner utanför planerad kajlinje för att förhindra spridning i havet, alternativt genom installation av tätskärm av PVC, bentonit eller kombivägg som utgörs av en bentonitslits med PVC-spont.

Risk för grumling skall beaktas och hanteras på för uppdraget lämpligt sätt, exempelvis siltgardiner. Denna åtgärd är även gynnsam för utsläpp från maskiner och KC-pelarinblandning.

10 Kontroller i byggskede

Kontroll skall utföras enligt BFS 2011:10, EKS 10 § 13–16 samt enligt Eurokod 7–2 kap. 2.5 Kontroll. Geotekniker skall kontrollera och verifiera att jordlagren på grundläggningsnivån överensstämmer med de dimensioneringsparametrar som har använts vid dimensionering av grundkonstruktioner och grundläggning.

11 Beräkningar

Sättningar har kontrollerats för uppfyllnader om 2m inom område för Midsommarplatsen.

Vid upprättandet av denna rapport finns inga CRS-försök att tillgå. Inga CRS-försök har utförts inom uppdraget och inga CRS-försök har heller delgivits från Beställaren. I en Alternativstudie för utfyllnad (COWI, daterad 2018-12-04) sammanfattas dock resultat från CRS-försök utförda av Bjerking under 2013.

Sättningarna har beräknats utifrån nedanstående deformationsegenskaper. Endimensionellt spänningstillskott förutsätts.

För ett lerlager om 8 meter (CPT-sonderingar indikerar 5–6 meter) beräknas sättningen till 139 cm, krypsättningar exkluderat. Motsvarande siffra för ett 6 meter lerlager är 99 cm.

Lager	Djup o.k. [m]	Tjocklek [m]	Djup mitt [m]	ρ [t/m ³]	σ_0 [kPa]	u [kPa]	σ'_0 [kPa]	$\Delta\sigma_v$ [kPa]	σ'_v [kPa]	σ'_c [kPa]	σ'_L [kPa]	M_o [kPa]	M_L [kPa]	M [-]	a [kPa]	Sättning lager	Ack. sättning [m]
Le	0	1	0,5	1,25	6,25	5	1,25	40	41,25	26	37	1500	115	11,8	26	0,14	0,14
Le	1	1	1,5	1,25	18,75	15	3,75	40	43,75	26	37	1500	115	11,8	26	0,15	0,29
Le	2	1	2,5	1,25	31,25	25	6,25	40	46,25	26	37	1500	115	11,8	26	0,16	0,45
Le	3	1	3,5	1,25	43,75	35	8,75	40	48,75	26	37	1500	115	11,8	26	0,17	0,62
Le	4	1	4,5	1,46	57,3	45	12,3	40	52,3	26	37	1500	115	11,8	26	0,18	0,80
Le	5	1	5,5	1,46	71,9	55	16,9	40	56,9	26	37	1500	115	11,8	26	0,19	0,99
Le	6	1	6,5	1,46	86,5	65	21,5	40	61,5	26	37	1500	115	11,8	26	0,20	1,19
Le	7	1	7,5	1,50	101,3	75	26,3	40	66,3	26	37	1500	115	11,8	26	0,21	1,39
																$d_{kar} =$	1,39

Sättningar har även beräknats utifrån CPTu-sonderingar genom programvaran CPeT-IT v.3.0.2.1. Beräkningen baseras på indata i form av spetstryck, porttryck och friktion. Sättningsberäkningar inkluderar krypeffekter för en tidsperiod om 240 månader. Sättningar har kontrollerats i punkterna CW1, CW2, CW3 (i närhet av BG101) samt CW6 och beräknas till

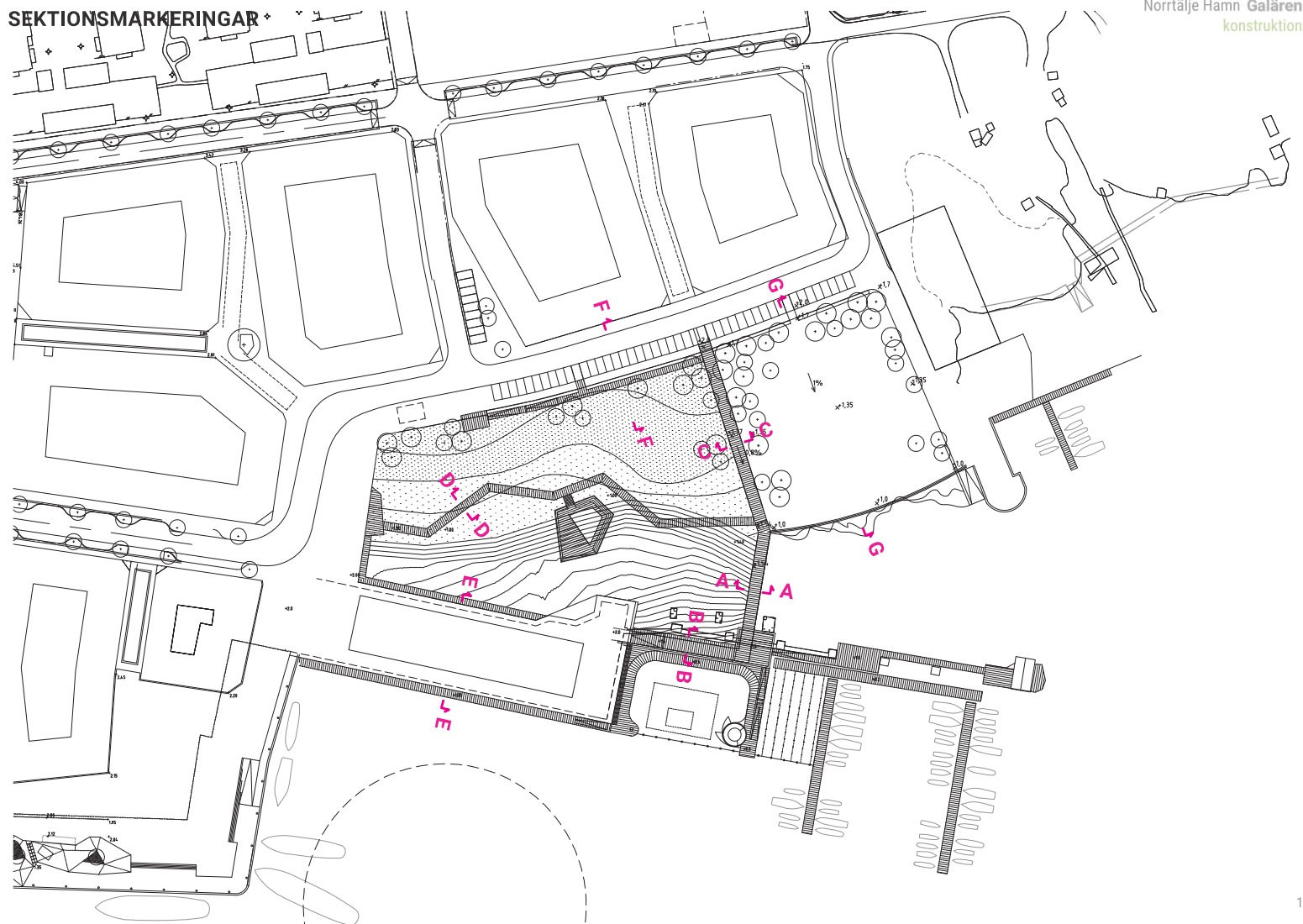
CW1	14 cm
CW2	35 cm
CW3	119 cm
CW6	56 cm

Såväl data från ovannämnt CRS-försök som utvärdering av CPT i CPeT-IT visar på en svagt överkonsoliderad jord.

ÅF har i rapport PM Geoteknik, Norrtälje hamn, daterad 2016-03-21 uppskattat sättningarna vid uppfyllning till nivå +2 till 30–40 cm.

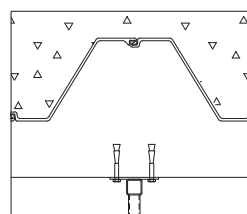
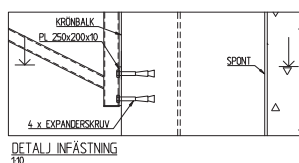
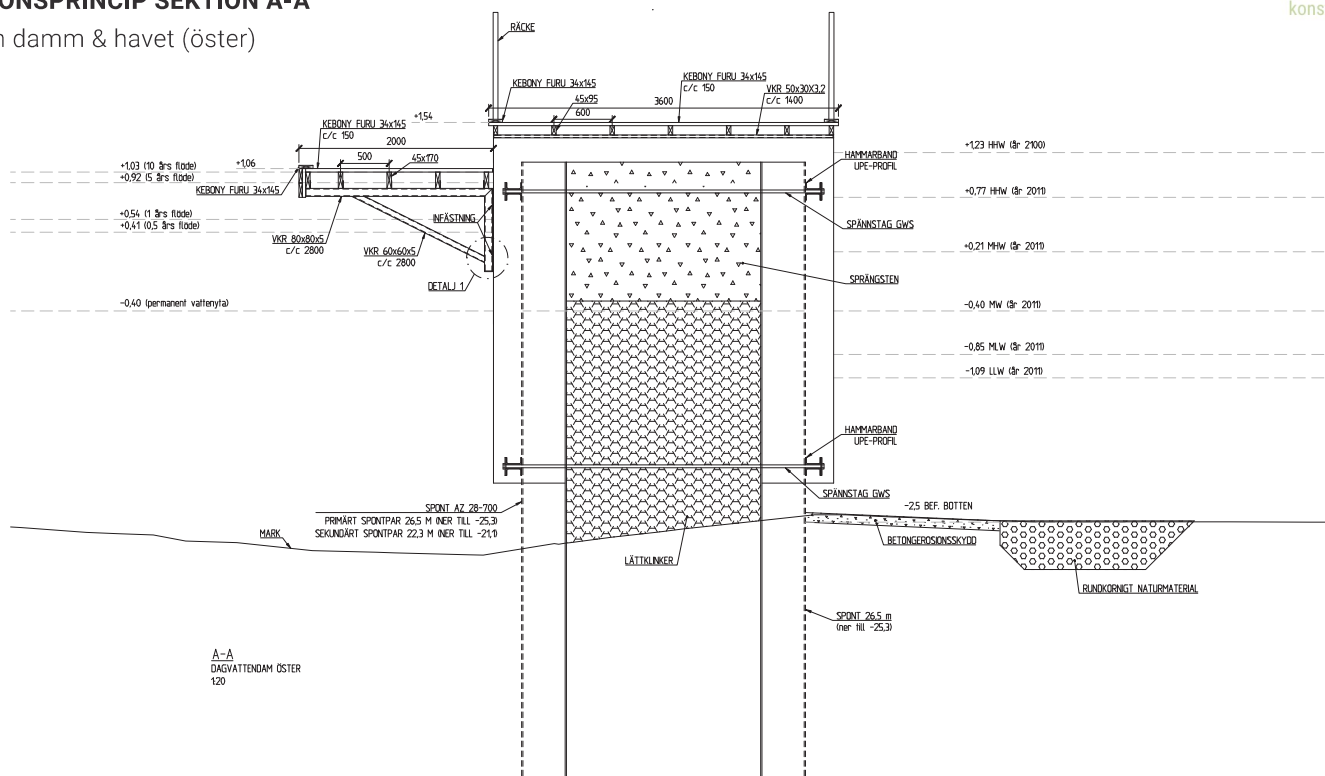
Det råder stora skillnader i uppskattning av sättningar mellan olika parter och metoder. Osäkerheter i form av lösare ytligare lager, delvis med organiskt innehåll medför vidare att sättningarna blir mer svårprognostiserade.

SEKTIONSMARKERINGAR



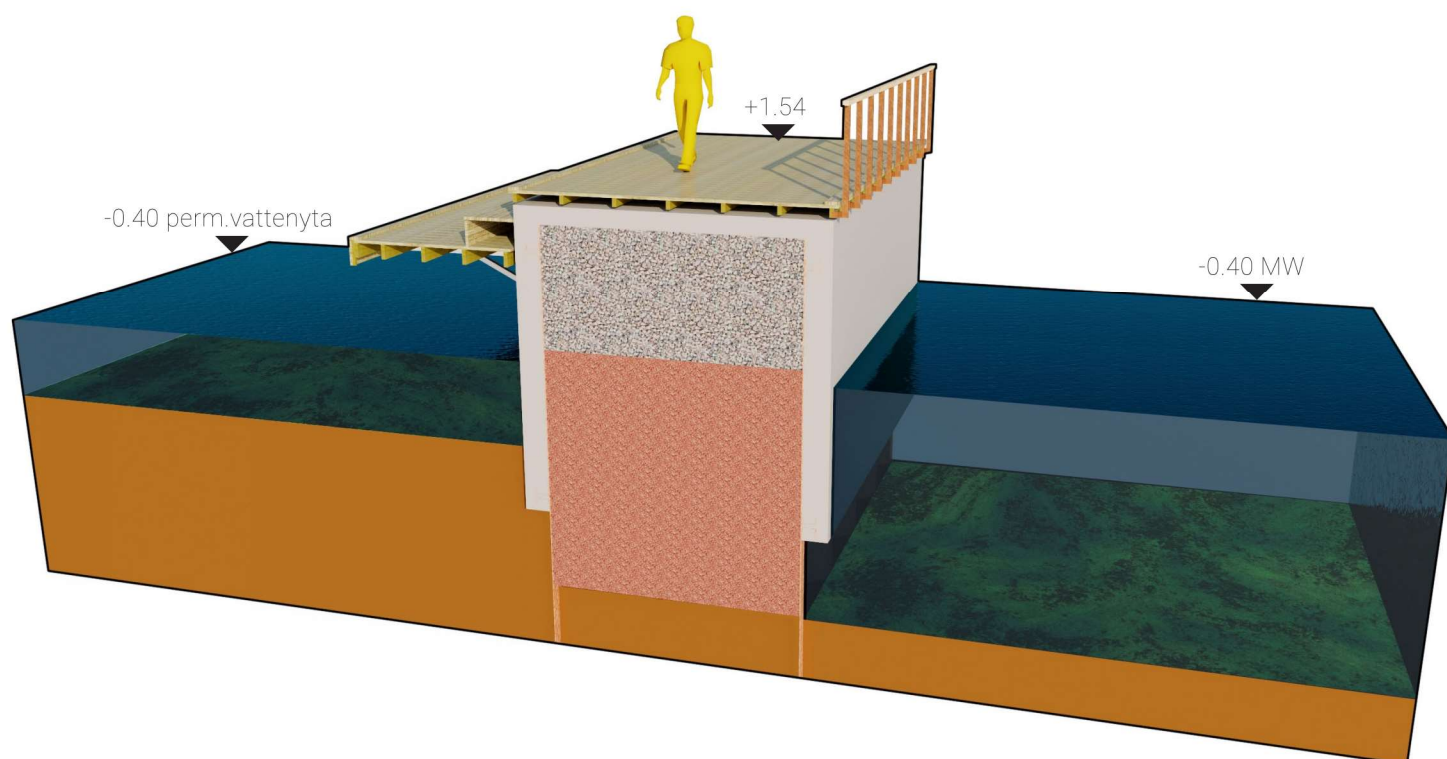
KONSTRUKTIONSPRINCIP SEKTION A-A

sektion mellan damm & havet (öster)



KONSTRUKTIONSPRINCIP SEKTION A-A
konstruktion & vattennivåer

Norrtälje Hamn Galären
konstruktion

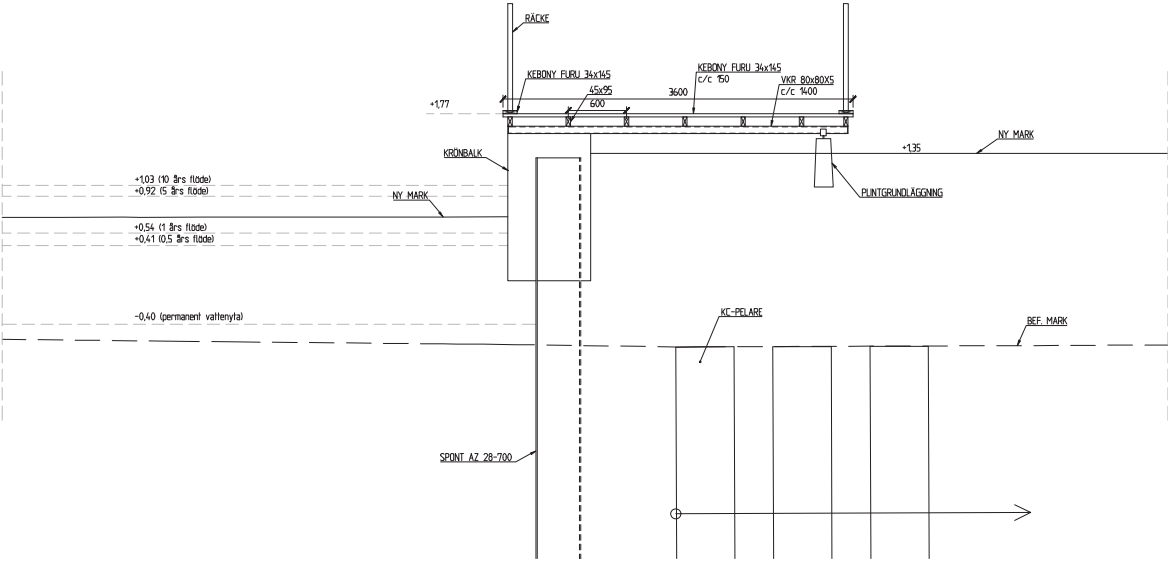


Permanent vattennivå och medelvatten

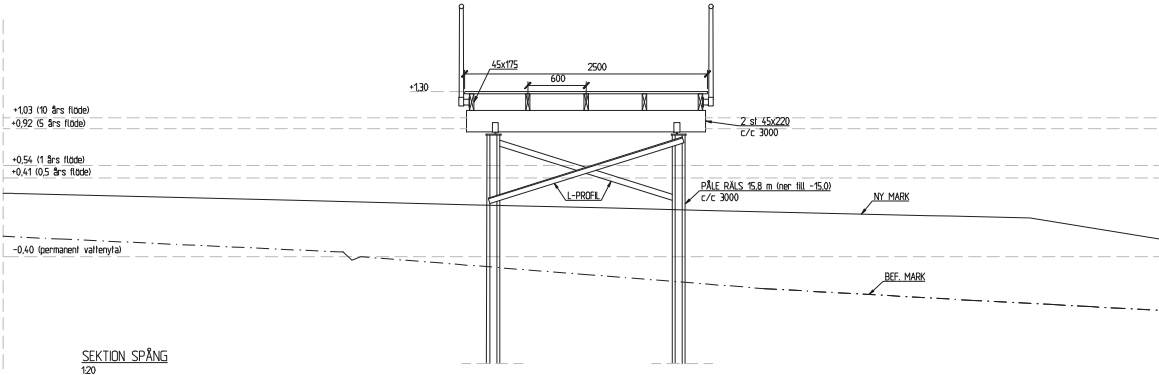
sektion mellan damm & havet (söder)



KONSTRUKTIONSPRINCIP ENKELSPONT C-C



KONSTRUKTIONSPRINCIP SPÅNGPROMENAD D-D

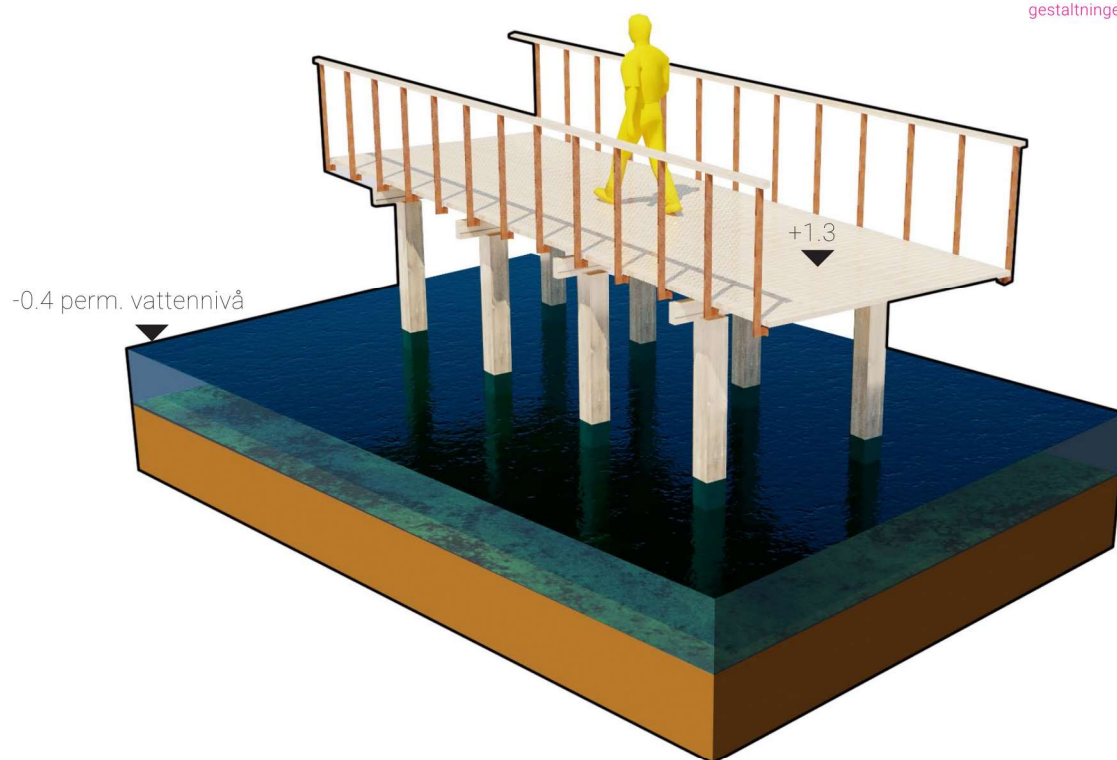


KONSTRUKTIONSPRINCIP SPÅNGPROMENAD D-D

konstruktion & vattennivåer

Norrtälje Hamn Galären
konstruktion

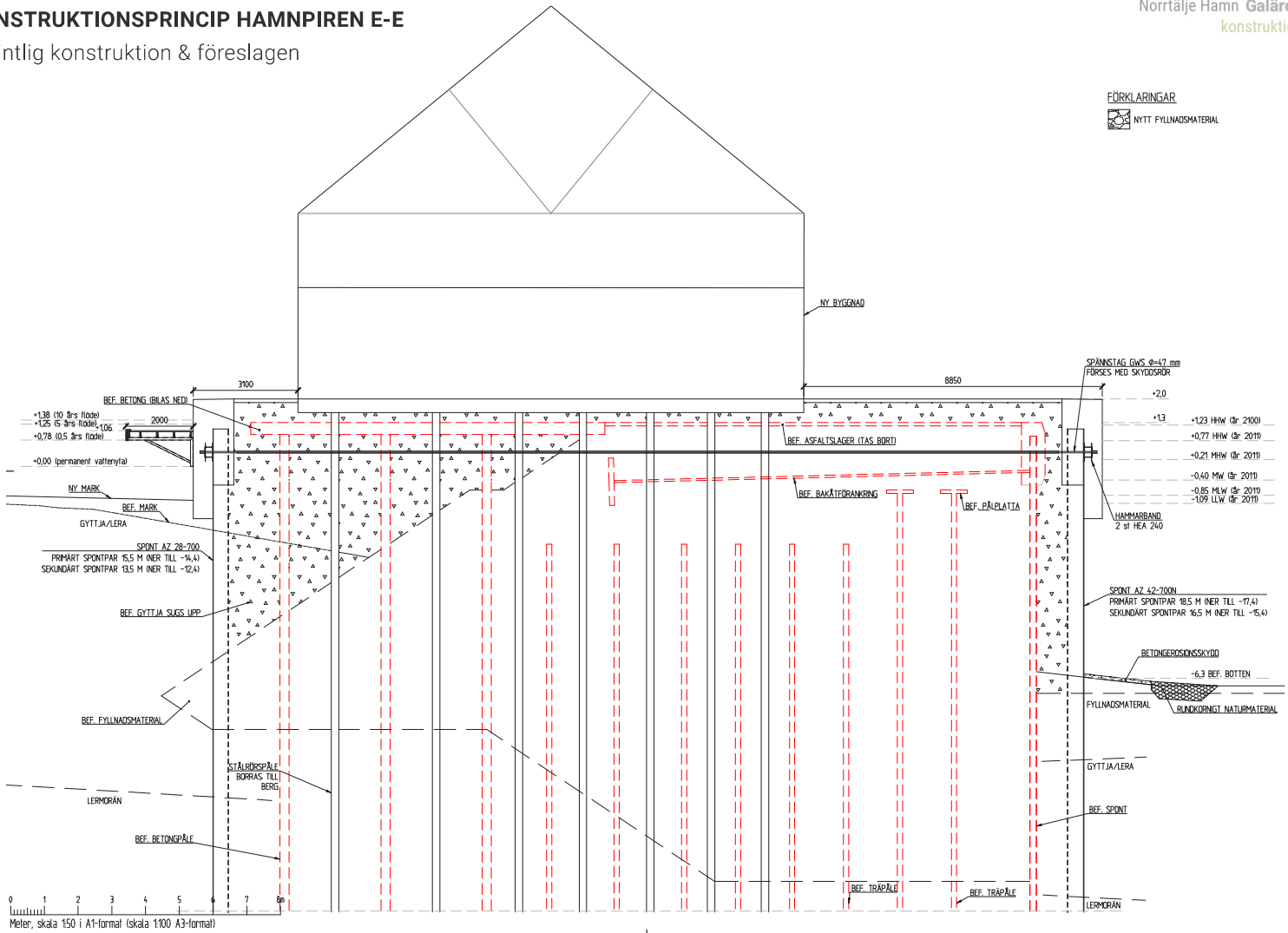
Spångens form är en principskiss,
gestaltningen kommer bearbetas



Permanent vattennivå

befintlig konstruktion & föreslagen

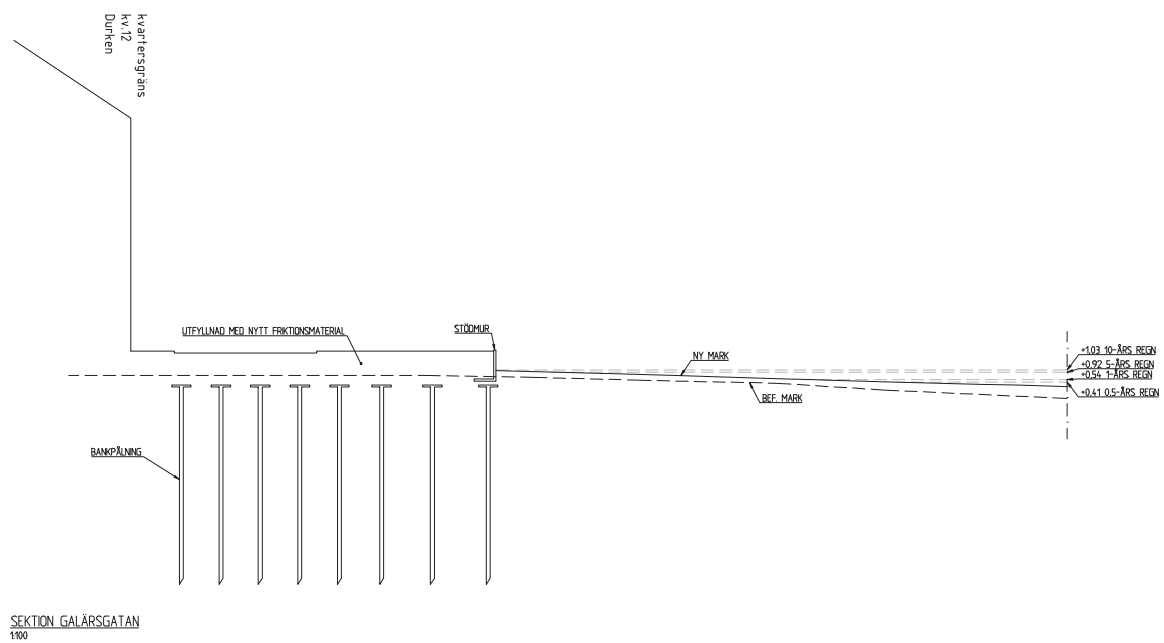
FÖRKLARINGAR

 NYTT FYLLNADSMATERIAL

KONSTRUKTIONSPRINCIP GALÄRSGATAN F-F

snitt genom Galärsgatan & dammen

Norrtälje Hamn **Galären**
konstruktion

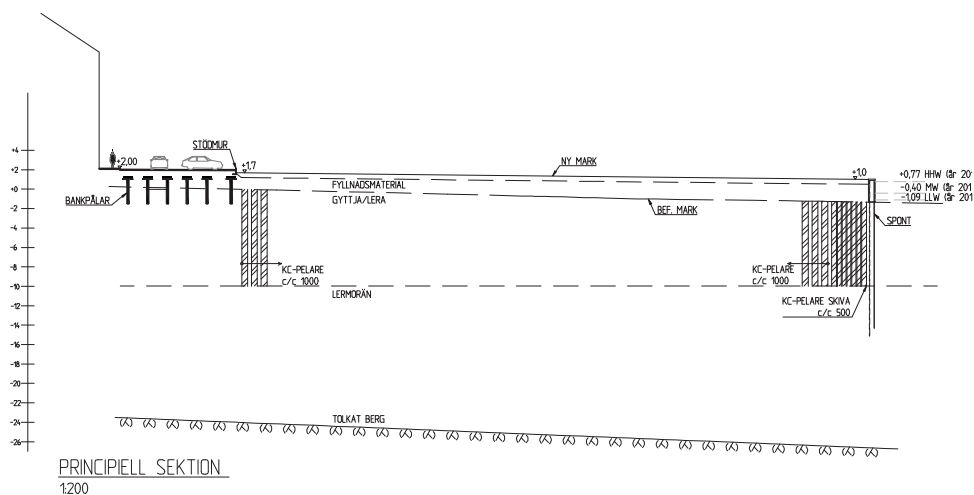
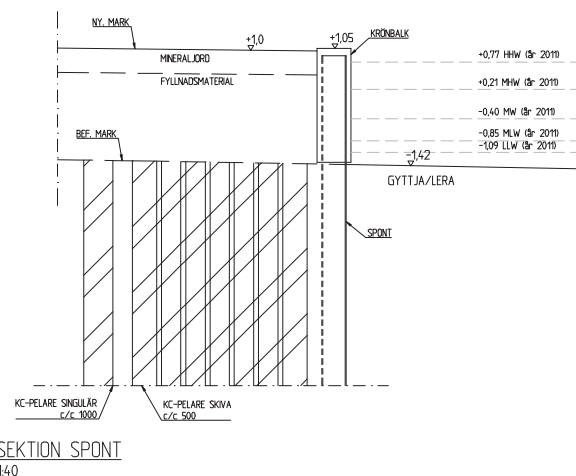
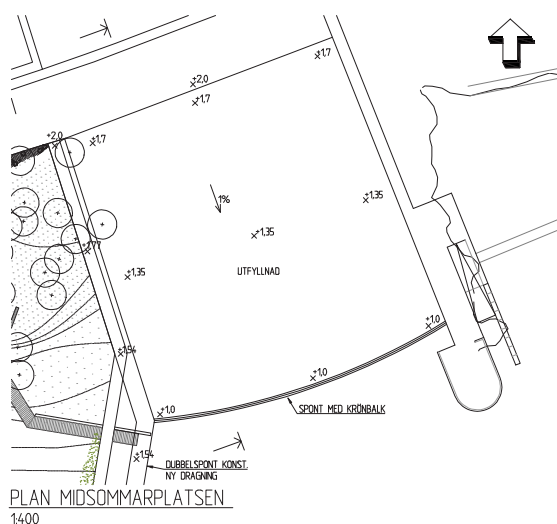


0 1 2 3 4 5 10 15m
Meter, skala 1:100 i A1-format (skala 1:200 A3-format)

KONSTRUKTIONSPRINCIP MIDSOMMARPLATSEN G-G

sektion & plan

Arbetsmaterial från COWI avseende utfyllnad av Midsommarplatsen samt Släntstabilitet Galären, se bilaga I & bilaga II





Norrtälje Hamn. Minnesanteckningar från möte ang Galären - konstruktionsprinciper

Tid: 2018-04-03

Plats: Hamnkontoret

Närvarande:	Sven Engdahl	Norrtälje Hamn
	Jan Kjellberg	”-
	Carolina Sahlén	”-
	Andreas Mayor	Sydväst
	Henrik Mayor	COWI
	Christer Sjögrund	NCC
	Magnus Fernström	”-
	Lars Erixon	Hercules
	Olle Kwick	”-

Delges: Närvarande
Roger Gustafsson
Pernilla Logren
Jesper Friberg
Joachim Ekelund

Allmänt

Sydväst/COWI har uppdraget att dels ta fram en systemhandling för området Galären dels upprätta den tekniska beskrivning som krävs för tillståndsprövningen (för vattenverksamhet) i Mark- och miljödomstolen. Den tekniska beskrivningen ska även beskriva produktionsmetoder, krävs det exempelvis provisorier som tillfälliga vägar, pråmar etc ska detta framgå av beskrivningen..

Underlaget för den tekniska beskrivningen bör vara klart till juni i år. Ansökan lämnas in under november i år, prövningen bedöms ta ca 1½ år, dvs klart halvårsskiftet 2020. Det är möjligt att delar, exempelvis Galärgatan, kan byggas utan att det krävs tillstånd.

Angeläget att kompletterande geotekniska undersökningar utförs omgående, resultatet kan påverka metodval.

Generella synpunkter

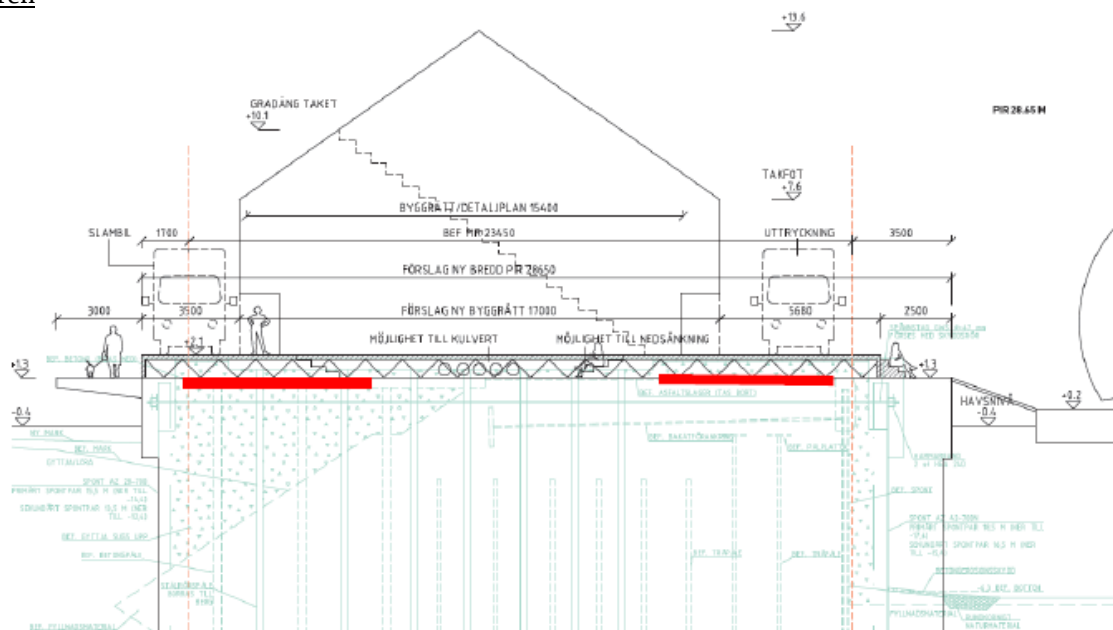
Anod-katod-system (som ger klenare spontdimensioner) är inte ett realistiskt alternativ för Galären. Drift- och underhåll i dagvattenbassängen förutsätts ske via slamsugning, dvs bassängen töms inte. Dämnena har nu tagits bort i dagvattenbassängen, innebär att sedimentering sker mer fördelat över hela bassängen.

Spontplankor bör ha en längd av högst 18 m.



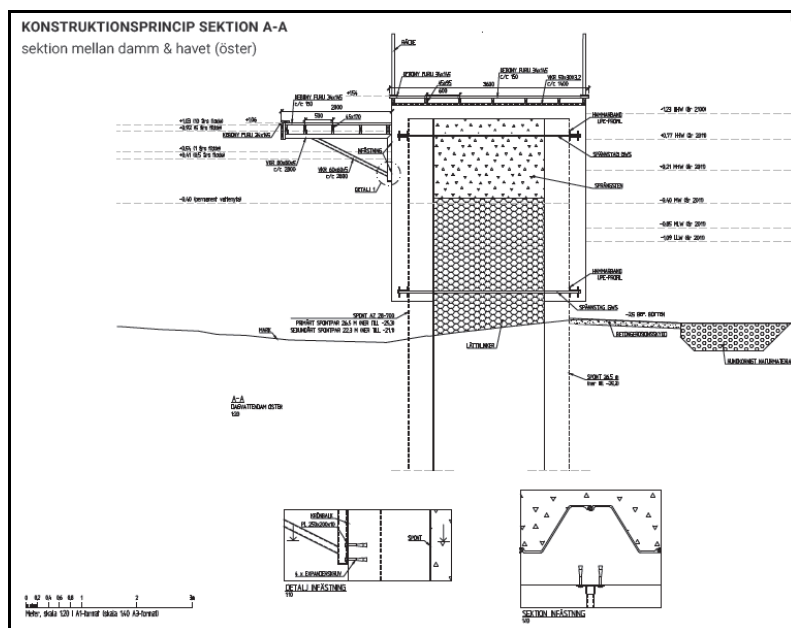
Kommentarer på de enskilda delarna

Piren



Föreslagen lösning, dvs spont med krönbalk och sammanbindande stag, verkar rimlig. Spontslagningen innebär att piren troligen måste förstärkas med pålning (röd markering ovan), måste undersökas. Denna pålningen bör kunna nyttjas i den permanenta lösningen för piren. Pirbyggnaden och dess grundläggning ingår inte i projektet. Pirens norra del/spont behöver inte vara tät men fungerar också som mothåll.

Damm-väggen, södra delen



POSTADRESS
Box 802, 761 28 Norrtälje
ORGANISATIONSNUMMER
212000-0217

BESÖKSADRESS
Estunavägen 14

TELEFON
0176-710 00
TELEFAX
0176-712 22

E-POST
tekniska.kontoret@norrtalje.se
WEBB
www.norrtalje.se

PLUSGIRO
3 20 65 5
BANKGIRO
451-7694



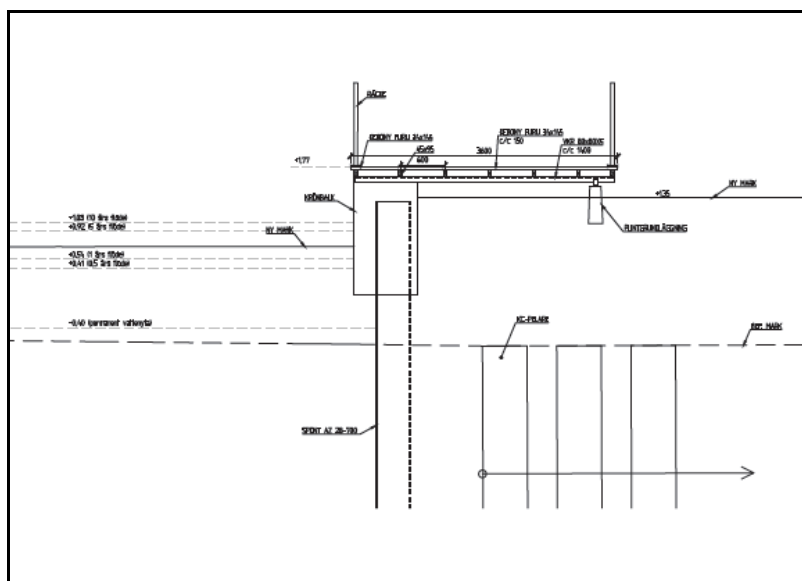
Lösningen med dubbelspont ok på den södra delen. En breddning av väggen ger bättre totalstabilitet och underlättar för arbetsfordon att nå fram vid återfyllning. Läge på hammarband och frågan om alla plank måste drivas till stopp ses över. En ev breddning ska diskuteras med A.

Extra tätning av spontlås krävs inte.

Mothållsspont för gavel (östra kortsidan på gaveln) ej redovisat.

Då damm-väggen byggs sker redan dagvattenutsläpp utsläpp i dammen dels via ledningen i Krukmakargatan dels ledningen i Ö Rögårdsgatan.

Damm-väggen, norra delen

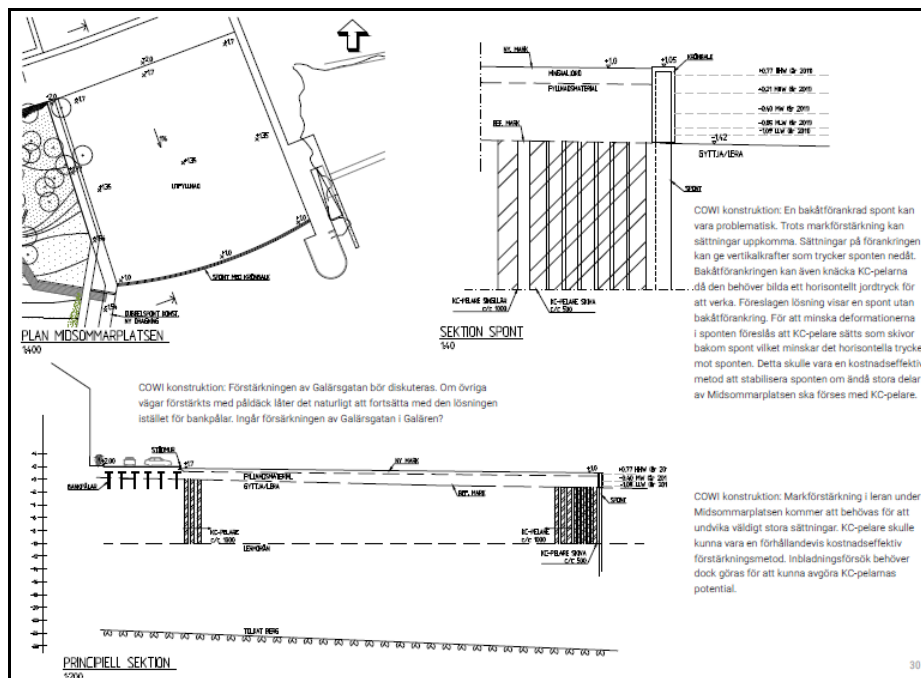


Av produktionsskäl måste ev väljas en dubbelspont där ena spontsidan dras upp senare.

Geotuber kan vara en lösning, måste utredas, ska ev tas med som alternativ i tillståndsansökan.



Galärgatan, utmed Midsommarplatsen



Förstärkning av Galärgatan i form av bankpålning och stödmur ok, föreslås även på delen väster om Midsommarplatsen.

Hur stabiliseras den yttre sponten – behövs en bakre spont?

Östra delen av sponten nås från Port Arthurudden, västra delen kan troligen byggas från damm-väggens nora del.

Generellt, kc-pelarförstärkning innebär problem, vassen måste tas bort, spill till vattnet, risk för fiskdöd. Kan sponten slås först? Är schakt och lättfyllning ett alternativ?

Gångbryggor

Rälspålar slopas, ersätts med stålplåtar.

/Sven

NORRTÄLJE HAMN

MIDSOMMARPLATSEN

ALTERNATIVSTUDIE FÖR UTFYLLNAD

ADRESS COWI AB
Södra Förstadsgatan 26
211 43 Malmö

TEL 010 850 25 00

FAX 010 850 25 10

WWW cowi.se

INNEHÅLL

1	Bakgrund	2
2	Alternativa förstärkningsmetoder	7
2.1	Jordförstärkningsmetoder	7
2.2	Pålning	10
2.3	Massutbyte	11
3	Alternativa utfyllnader	12
3.1	Muddermassor	12
4	Möjlig utformning	17
4.1	Alternativ 1	20
4.2	Alternativ 2	22
4.3	Alternativ 3	24
5	Slutsatser och vidare utredning	26

Bilaga A: Sektioner A3

Bilaga B: Sättningsberäkningar

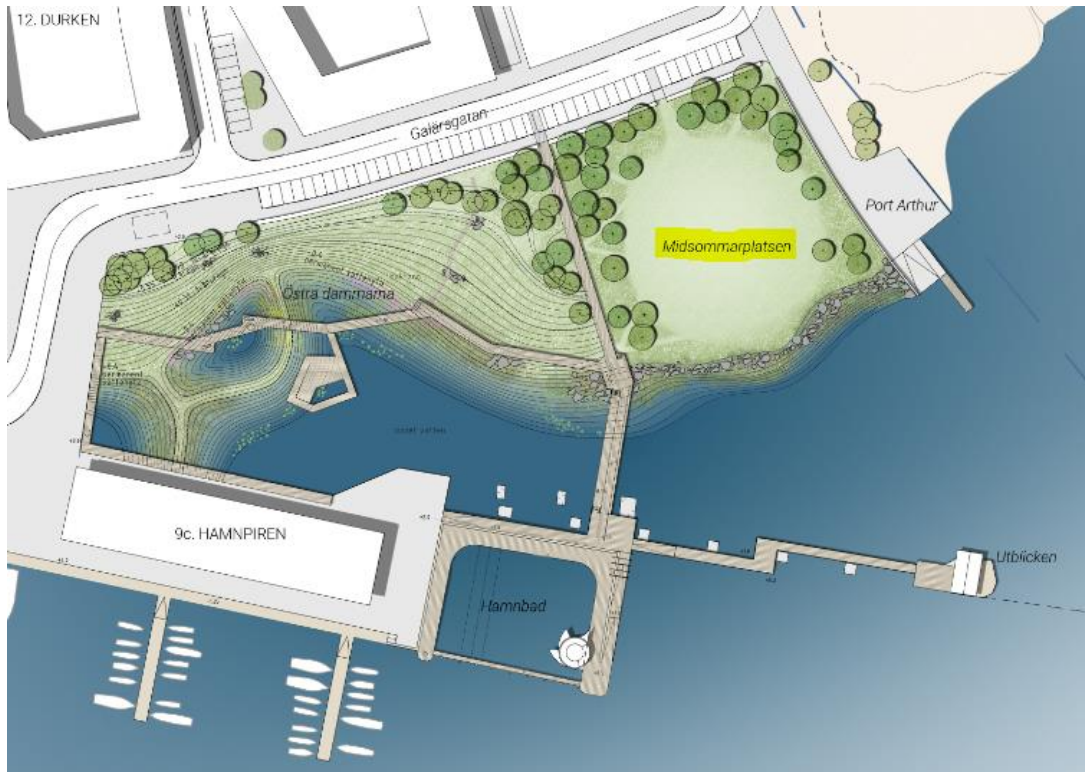
PROJEKTNR. DOKUMENTNR.

A068959 A068959-4-02-TPM-G-001

VERSION	UTGIVNINGSDATUM	REVIDERAD	BESKRIVNING	UTARBETAD	GRANSKAD	GODKÄND
2.0	2018-04-06	2018-12-04	Alternativstudie	H. Mayor & M. Johansson	H. Wall	

1 Bakgrund

Midsommarplatsen är en framtida plats i Norrtälje Hamn som huvudsakligen ska vara en grön vistelseyta. Midsommarplatsen tillhör delområdet Galären som är området längst österut i Norrtälje Hamn. Midsommarplatsens placering i Galären framgår av figur 1.

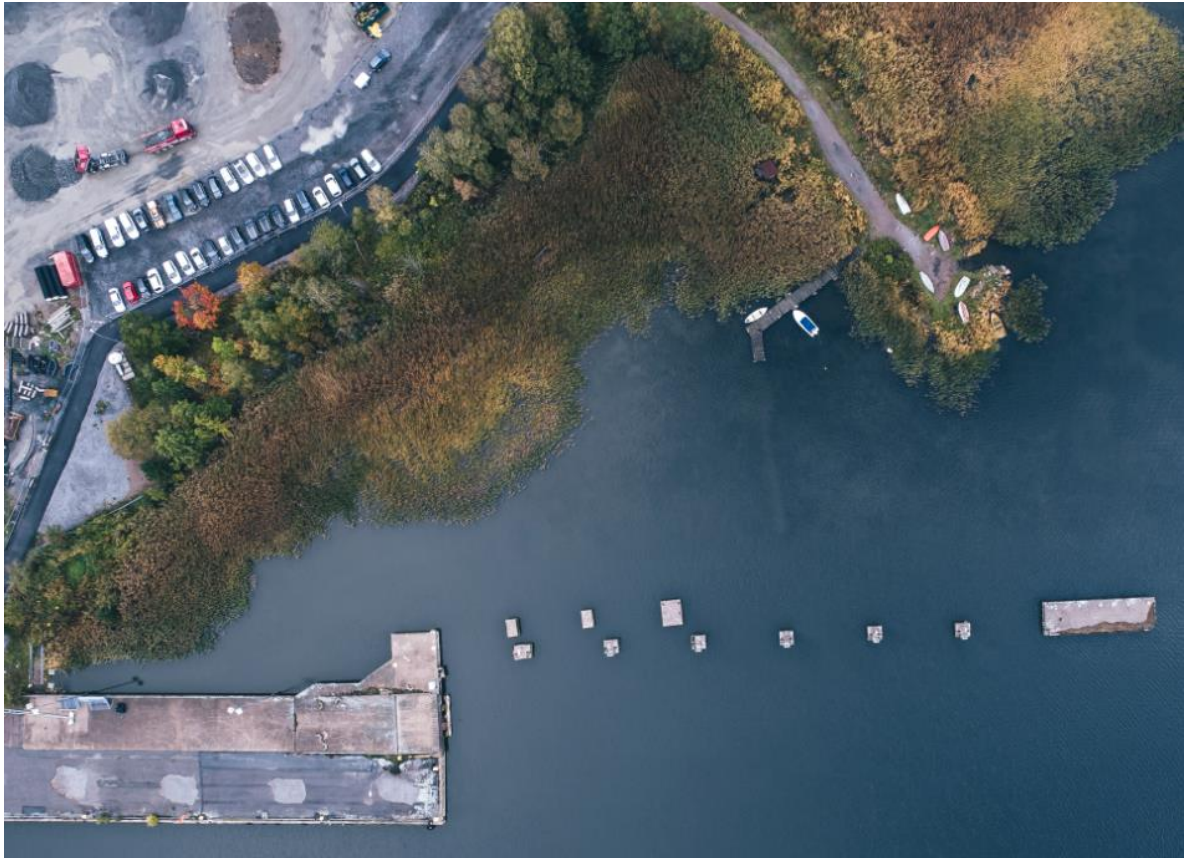


Figur 1. Midsommarplatsens placering inom Galären. Bild från Sydväst arkitektur & landskap.

Idag är området för Midsommarplatsen en vassfylld övergångszon mellan land och vatten samt ren sjöbotten, se figur 2, 3 och 4.



Figur 2. Foto, september 2018, på Galären-området ovanifrån. Port Arthur-udden lokaliserar i mitten av bilden. Foto av Hans Logren.

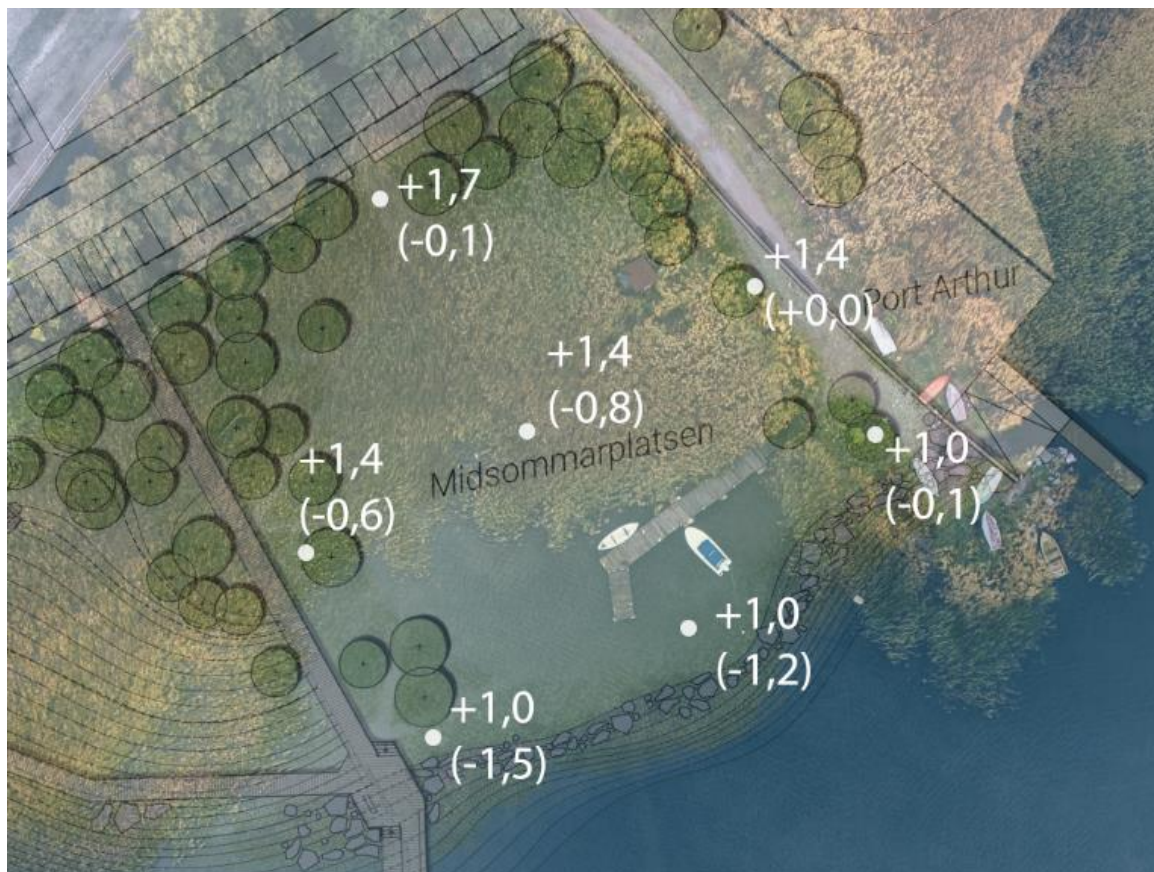


Figur 3. Foto, september 2018, mot Midsommarplatsen från befintlig pir. Foto av Hans Logren.



Figur 4. Foto, april 2016, mot Midsommarplatsen från Port Arthur.

Midsommarplatsen blir ett parkområde i söderläge i nära anslutning till det nya bostadsområdet i Norrtälje Hamn. Behovet av en grön samlingsplats anses finnas då få liknande ytor finns inom det nya bostadsområdet. Söder om Norrtäljeviken ligger Societetsparken, vilken dock vetter mot norr och har få soltimmar. För att skapa platsen behöver en utfyllnad göras. Midsommarplatsen har en nästan kvadratisk form och är ungefär 61 m i öst-västlig riktning och 65 m i nord-sydlig riktning. Detta ger en yta på ca 4000 m². I figur 5 visas Midsommarplatsens tilltänkta utformning med befintlig yta som bakgrund.



Figur 5. Midsommarplatsens tilltänkta utformning med befintlig yta som bakgrund. Angivna höjder avser ny marknivå och höjder inom parentes avser befintliga höjder. Höjder anges i RH1900. Foto Hans Logren, illustrationsplan Sydväst arkitektur och landskap.

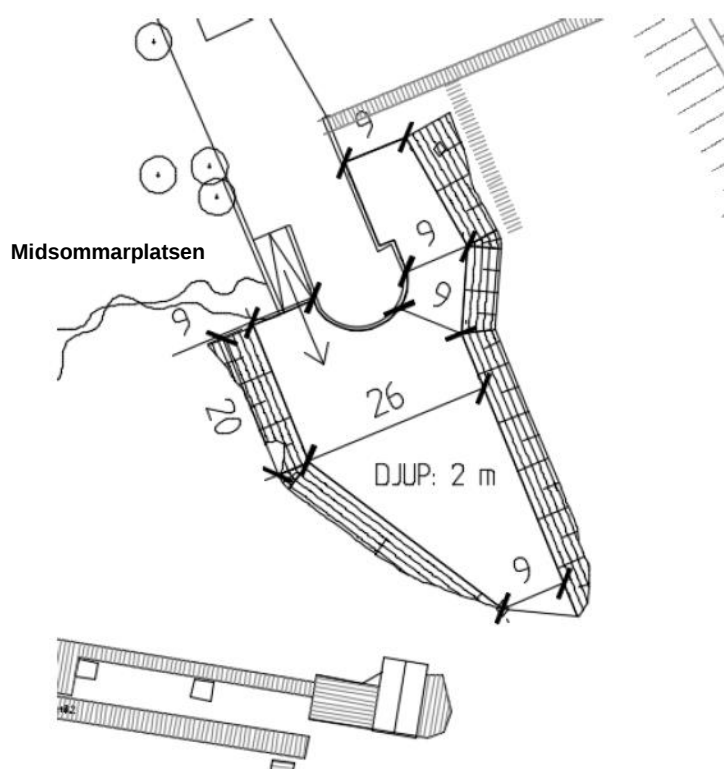
Området som ska fyllas ut utgörs huvudsakligen av havsbotten. Fyllnadshöjden varierar mellan 1,7-2,3 m. Överslagsmässigt uppgår volymen av utfyllnaden till ca 8000 m³.

Under havsbotten kommer ett jordlager bestående av lös gyttja och lera. Detta jordlager har en mäktighet på ca 8 m. Detta jordlagret underlagras i sin tur av ett lager lermorän ner till berg. Berg har i enstaka punkter nåtts på -24 m (RH1900). Således uppskattas lermoränen ha en mäktighet på minst 15 m. Den lösa gyttjan/leran har mycket låg skjuvhållfasthet och låga kompressionsegenskaper. Således är stabilitet och sättningar problematiskt vid utfyllnad. Preliminära beräkningar har dock gjorts för sättningar. Enligt *Översiktligt Projekterings PM Geoteknik (Bjerking 2013)* uppgår sättningen till 1,22 m vid en belastning på 30 kPa i Midsommarplatsens norra del. Enligt *Norrtälje Hamn, Arbetsmaterial 2017-11-08 – utfyllnad för Midsommarplatsen* uppgår sättningarna, utan markförstärkning, ungefärligt till samma storleksordning som utfyllnadens mäktighet. Då gyttjan/leran har hög vattenkvot och låg permeabilitet, så kommer sättningarna att ske långsamt.

Skredrisken vid uppfyllnad innebär att Midsommarplatsen behöver en yttre konstruktion vid avslut i söder och öster, förslagsvis med någon form av stödkonstruktion alternativt markförstärkning som hindrar glidytor genom gyttjan/leran.

Sättningsproblematiken innebär att någon form av grundförstärkningen kan vara fördelaktig för att undvika att marken sjunker. Även om Midsommarplatsen enbart avses att användas som en vistelseyta, så är en förstärkning motiverad med tanke på att dess funktion går förlorad om marknivån sjunker mot vattennivån i Norrtäljeviken då ytan i sådana fall kommer att bli våtmark.

Muddring planeras inom Galären-området för att möjliggöra anläggandet av ett sjösättningsområde vid Port Arthur-udden. Mindre muddring kommer även att ske inom dagvattendammen för att modifiera bottenivåerna. Det är av intresse att nyttiggöra dessa massor inom Galären för att undvika deponi där utfyllnad till Midsommarplatsen ses som ett alternativ. Mängden muddring för att möjliggöra sjösättning presenteras i *Alternativstudie muddring för sjösättningsramp* (COWI, 2018). I denna rapport antas det mindre sjösättningsområdet presenterat i alternativstudien vara aktuellt. Detta innebär en muddringsvolym på 1380 m³. Planerat muddringsområde är precis söder om Port Arthur-udden och framgår av figur 6. Tillsammans med den mindre volymen i dagvattendammen uppskattas den totala muddringsvolymen till ca 1500 m³. Massorna vid Port Arthur-udden utgörs huvudsakligen av lös lera med liknande egenskaper som gyttjan/leran vid Midsommarplatsen enligt *PM Geoteknik Småbåtshamn (ÅF, 2016)*.



Figur 6. Planerat muddringsområde för sjösättningsramp vid Port Arthur-udden. Material från *Alternativstudie muddring för sjösättningsramp* (COWI, 2018).

Syftet med detta dokument är att redovisa en alternativstudie för förstärkningsmetoder och möjlig utfyllnad för Midsommarplatsen samt att presentera möjliga förslag för Midsommarplatsens utformning. Alla höjder i detta dokument anges i RH1900.

I detta dokument hänvisas till följande rapporter och arbetsmaterial:

- *Översiktligt Projekterings PM Geoteknik (med tillhörande MUR)*. Bjerking. 2013.
- *PM Marin Dagvattendam*. Bjerking . 2014.
- *PM Geoteknik Småbåtshamn (med tillhörande MUR)*. ÅF. 2016
- *PM Geoteknik Pir med omgivning (med tillhörande MUR)*. ÅF. 2016
- *PM Föroreningar i sedimenten i Norrtälje hamn*. Ramböll. 2016.
- *Alternativstudie muddring för sjösättningsramp*. COWI. 2018.
- *Alternativstudie för sjösättning Port Arthur och Hamnplan*. COWI. 2018.
- *Norrtälje Hamn, Arbetsmaterial 2017-11-08 – utfyllnad för Midsommarplatsen*. COWI. 2017.

Övrig litteratur:

- *Metodblad Jordförstärkningsmetoder*. SGF. 2003.
- *SBUF Rapport 12424. Fältförsök med stabiliserade muddermassor, Gävle Hamn*. Per Lindh. 2012
- *Vägledning för nyttiggörande av muddermassor i hamn- och anläggningskonstruktioner*. SGI. 2011.
- *SoilTain Dewatering Tubes*. Huesker. 2017.

2 Alternativa förstärkningsmetoder

Sättningar i svag jord kan reduceras med hjälp av jordförstärkning, pålning eller massutbyte. Nedan följer en beskrivning av dessa metoder.

2.1 Jordförstärkningsmetoder

Det finns flera jordförstärkningsmetoder, vilka delas in i fyra huvudkategorier enligt tabell 1.

Tabell 1. Kategorisering av olika jordförstärkningsmetoder.

Stabilisering	Packning	Armering	Övriga
KC-pelare	Ytpackning	Armerad jord	Vertikaldränering
Jetinjektering	Djuppackning	Jordspikning	Stenpelare
Masstabilisering			Frysning
Ytstabilisering			

Av dessa förstärkningsmetoder kan följande användas för att reducera eller ta ut sättningar i lös lera:

- KC-pelare
- Masstabilisering
- Jetinjektering
- Vertikaldränering
- Stenpelare

Av dessa metoder är följande metod utesluten p.g.a. Midsommarplatsens förutsättningar:

- Stenpelare - låg bärförmåga av stenpelare i lös lera och organisk jord.

Medan dessa metoder inte är att föredra i första hand:

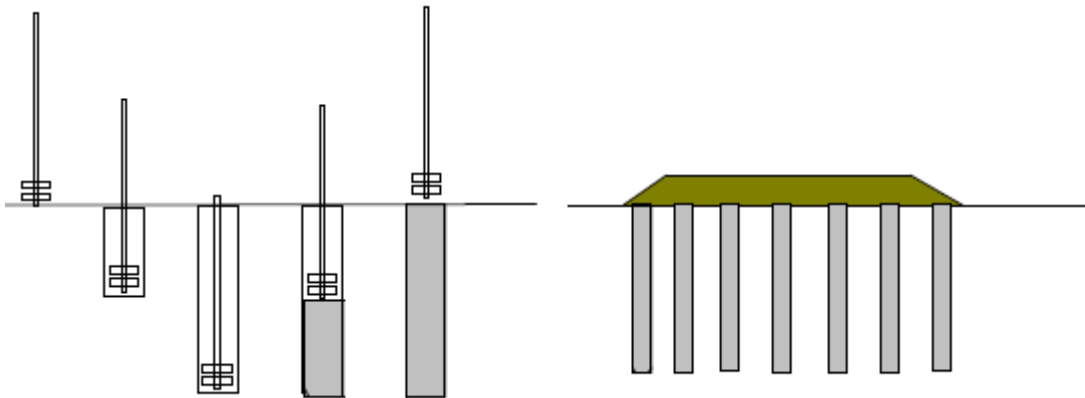
- Masstabilisering – används ned till djup av 5 m. Jordlagret gyttja/lera är djupare än så.
- Jetinjektering – det bildas överskottsslam som måste tas hand om och deponeras, svårt att göra om arbetet ska utföras i vatten. Väldigt dyr förstärkningsmetod.

Således bedöms KC-pelare och vertikaldränering vara de jordförstärkningsmetoder som är mest intressanta för Midsommarplatsen. Nedan förklaras de två metoderna.

2.1.1 KC-pelare

KC-pelare, eller kalkcementpelare, används för att reducera sättningar och för att öka stabiliteten i exempelvis väg och järnvägsbankar, djupa schakter och ledningsgravar. KC-pelare används främst i lera.

KC-pelare skapas genom att ett bindemedel blandas i jorden under kraftig rotation samtidigt som maskinen drar blandningsverktyget uppåt, se figur 7. Pelarna kan utföras ner till 25 m djup och diametern är vanligen 0,6 eller 0,8 m. Pelarna installeras singulärt, i block eller mönster och centrumavståndet är normalt mellan 0,8 och 1,7 m.



Figur 7. Installation av KC-pelare. Bild från SGF.

Normalt ökar hållfastheten 10-20 gånger inom en månad för den förstärkta jorden. Den vanligaste typen av bindemedel är kalk och cement med det förekommer även andra bindemedel. KC-pelarna kan antingen utformas som mjuka pelare där pelarna samverkar med jorden, sättning i jorden ska vara lika stor som sättning i pelarna, eller som hårda pelare där lasten enbart förs via pelarna till det underliggande jordlagret. KC-pelare dimensioneras i princip alltid som mjuka pelare då kunskapen om hårda pelare är bristfällig.

KC-pelare är en kostnadseffektiv förstärkningsmetod som är flexibel med avseende på både jordförhållande och platsspecifika krav. Metoden är bra med avseende på närmiljön med avseende på buller och vibrationer.

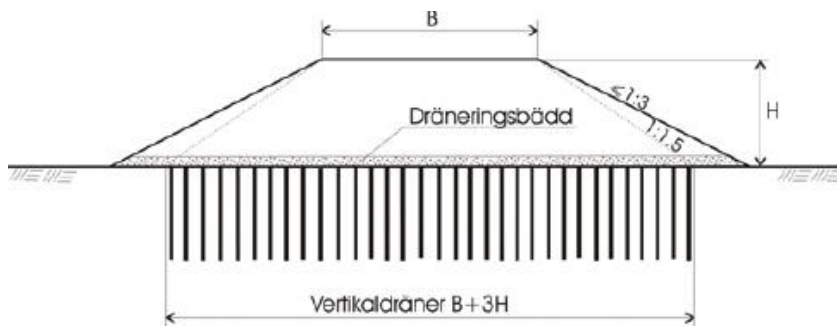
Sten, block, ledningar och andra konstruktioner i marken kan försvåra installationen. Det är också mycket viktigt att jobba med kontroll och uppföljning under byggskedet. Aktiv design rekommenderas, då detta bygger på en preliminär design som är baserad på förprovning i laboratorium. Förprovningen följs upp under byggskedet där kontroller utförs, och eventuella ändringar av förstärkningen kan utföras. Det är viktigt att de befintliga jordlagren karakteriseras noga. Har jorden hög organisk halt eller högt sulfidinnehåll kan KC-pelarnas beständighetsegenskaper försämrats. KC-pelarnas hållfasthetstillväxt bör vara känd vid installation. Även om KC-pelare uppnår hög hållfasthet efter ca 1 månad finns det exempel där hållfastheten blivit så pass hög efter bara 5 dagar så att dessa pelare kan användas vid den fortsatta installationen.

Enligt *Metodblad Jordförstärkningsmetoder* är ungefärlig kostnad 50 000-100 000 kr för 15 m långa KC-pelare med cc-avstånd på 1 m och diameter på 0,6 m på en yta av 100 m². Totala ytan på Midsommarplatsen är ca 4000 m². Något kortare KC-pelare kan användas men ett tätare cc-avstånd kan vara nödvändigt således bedöms schablonvärdet vara relevant. Således uppgår kostnaden för att förstärka med KC-pelare på 2-4 miljoner kronor, exklusive etablering och uppfyllnad. Detta stämmer väl överens med kostnadsuppskattningen i *Norrtälje Hamn, Arbetsmaterial 2017-11-08 – utfyllnad för Midsommarplatsen* där kostnaden uppgår till 2,7-3,9 miljoner kronor för KC-pelarförstärkning av Midsommarplatsen. Antagligen skulle kostnaden vara i den högre regionen på grund av behovet av högre cementinnehåll vid inblandning i gytta.

Siltgardin är att föredra vid installation av KC-pelare i vatten för att förhindra grumling. Utförs KC-pelarförstärkning i öppet vatten kan bindemedel påverka pH-värdet i vattnet i närområdet. Utsläpp kan minskas genom att avsluta KC-pelarna någon decimeter under befintlig bottennivå. Ytterligare åtgärd mot detta beskrivs i kapitel 3.1.3.

2.1.2 Vertikaldränering

Vertikaldränering används för att påskynda konsolideringssättningar. Konsolideringssättningar är sättningar som uppkommer under lång tid och tanken med att påskynda dessa är att de ska uppkomma redan under byggskedet. Jordens egenskaper avgör hur tätt dränerna placeras. Avståndet mellan dränerna avgör också hur snabbt sättningen kan avslutas. Ju tätare de placeras ju snabbare uppnås slutsättningen. Vertikaldränering kan, och brukar även kombineras med förbelastning. På detta sätt kan sättningar fortare uppnås och dessutom kan sekundär konsolidering undvikas. I figur 8 syns en principsektion för vertikaldränering i en vägbank.



Figur 8. Principsektion för vertikaldränering i en vägbank. Bild från TR Geo 13.

Vertikaldräner är vanligen prefabricerade med ett kanalsystem som är omgivet av ett filter, se figur 9, och kallas då ofta för banddräner. Men det går även att utföra dräner av sand. Dränerna installeras med en dränstickare ner till önskat djup. Ovanpå marken som ska dräneras placeras en dränerande bädd, av till exempel sand, med en mäktighet på 0,5 m. Den dränerade bädden väljs enligt AMA 17 CEF.16. Installerade banddräner visas i figur 10. Dränerna ska väljas så att sättningshastigheten ej begränsas av dränerans kapacitet.



Figur 9. Prefabricerad vertikaldrän av typen banddrän från märket MebraDrain. Banddräner består av ett inre kanalsystem och ett yttre filter. Bild från Geotechnics BV.



Figur 10. Installerade banddräner i förgrunden. I bakgrunden syns maskinen som installerar dränerna. Bild från Geotechnics BV.

Vertikaldränering är en väl beprövad och kostnadseffektiv metod. Egenskaperna för hela jordmassan förbättras vilket underlättar grundläggningen för exempelvis ledningar och trummor. Aktiv design bör användas, vilket innebär att sättningar ska mätas under utförandet och överhöjningen justeras om så anses nödvändigt. Vertikaldränering kräver noggranna och utförliga geotekniska undersökningar. Geotekniska utredningarna måste ge svar på jordlagrens konsolideringsegenskaper. Konsolideringsgraden ska sedan verifieras genom mätning under utförandet. En konsolideringsgrad på 85-95% ska eftersträvas innan avlastning sker.

Effekten av vertikaldränering försämras om leran ej är homogen och om den har en hög humushalt. Vid höga humushalter kan sekundärsättningar ske.

Även om vertikaldräneringen ökar sättningshastigheten är det ändå en ganska tidskrävande förstärkningsmetod. Liggtiden för överhöjningen är normalt 1-1,5 år, men kan uppgå till 3 år. I princip uppnås bättre slutresultat med vertikaldränering ju längre byggtid som finns till förfogande. Det är svårt att med tillit säga när sättningsförloppet har nått sitt slutskede.

Den ungefärliga kostnaden för vertikaldränering enligt *Metodblad Jordförstärkningsmetoder* ligger på under 50 000 kr per 100 m², vilket betyder att kostnaderna för att använda vertikaldränering inom området ligger på ca 2 miljoner kronor. Detta med en dräneringslängd på 15 m och med 1 drän/m². I priset ingår inte eventuell överlast eller etablering.

2.2 Pålning

Pålförstärkning av ett större område sker vanligtvis med påldäck eller bankpålning. Påldäck används/byggs idag i Norrtälje Hamn för att undvika sättningar i gator. Ett påldäck går ut på att leda ner lasterna som uppkommer ner till fastare mark eller berg genom pålar. På pålarna ligger en betongplatta som fyllningen kan vila på. En liknande lösning är bankpålning som också för ner lasten till fastare mark eller berg via pålar. Ovanpå pålarna vilar en pålplatta som är lastfördelande. På pålplattorna vilar ett lastfördelande jordlager där lasten överförs till pålplattorna genom

valvverkan mellan pålplattorna. Geonät kan också användas i jordlagret ovanpå pålplattorna för en jämnare fördelning.

Vid större horisontell belastning kan påldäck vara att föredra framför bankpålning i lös lera med låg skjuvhållfasthet då påldäcken kan fördela horisontella laster mellan pålarna. Båda dessa metoder är dyra och pålförstärkning bör övervägas först om jordförstärkning ej anses möjlig.

2.3 Massutbyte

Att byta ut hela lagret gyttja/lera anses orealistiskt. Jordlagret har ett djup på ca 8 m vilket skulle innebära ett massutbyte på 32 000 m³.

En del av gyttjan/leran skulle kunna bytas ut mot lättfyllnad, antingen lättklinker eller cellplast, så att utfyllnaden i kombination med lättfyllnaden ger en noll-belastning på gyttjan/leran. Om utfyllnaden antas ha en tunghet på 18 kN/m³ ovan vatten och en effektiv tunghet (tunghet under vatten) på 11 kN/m³ och 1,5 m utfyllnad är ovan vatten och 0,5 m under vatten fås en belastning på 32,5 kPa. Gyttjan/leran har en tunghet på 14 kN/m³ och antas ha en effektiv tunghet på 4 kN/m³. Cellplast under grundvattenytan ska dimensioneras med en tunghet på 1 kN/m³. Således kan 3 kPa vinnas per meter gyttja/lera ersatt av cellplast. Dock skulle ett cellplastdjup på $32,5/3=11$ m behövas vilket är större än jordlagret gyttja/lera. Lättklinker har en tunghet på 2,5 kN/m³ när den är permanent under vatten. Således är lättklinker än mindre användbart än cellplast. Därmed anses lättfyllnad inte vara aktuellt för Midsommarplatsen.

3 Alternativa utfyllnader

För att utföra någon form av jordförstärkning är det troligt att en arbetsbädd på ca 0,5 m krossmaterial kommer att behövas. Beroende på vilken typ av växtlighet som ska finnas på Midsommarplatsen behövs en viss vegetationsöverbyggnad. Om vegetationsöverbyggnaden också antas vara 0,5 m finns ca 1 m kvar till fyllnadsmaterial. Detta motsvarar ca 4000 m³ fyllnadsmaterial.

Då Midsommarplatsen enbart ska användas som vistelseyta är kraven på fyllnadsmaterialet lägre än vid uppbyggnad av t.ex. en väg. Materialet bör dock inte sätta sig i större utsträckning med samma argument som för gyttjan/leran, att Midsommarplatsens funktion går förlorad vid för stora sättningar.

3.1 Muddermassor

Då muddring ska utföras inom Galären-området finns massöverskott i form av muddermassor. Muddermassorna behöver antingen deponeras eller nyttiggöras. Då landutfyllnad ska ske för Midsommarplatsen finns ett intresse av att nyttiggöra muddermassorna till detta ändamål. Den totala mängden muddermassa uppskattas till ca 1500 m³, se kap. 1.

Enligt *PM Marin dagvattendamm* (Bjerking, 2014) är sedimenten förorenade. En mer detaljerad sedimentprovtagning vid Port Arthur-udden presenteras i *PM Föroreningar i sedimenten i Norrtälje hamn* (Ramböll, 2016). Rapporten visar att halterna av arsenik och nickel överskrider riktvärde för KM (känslig markanvändning). Området klassas som KM-MKM.

Ur geoteknisk synpunkt är muddermassorna dåliga, med låg skjuvhållfasthet och eventuellt ett högt organiskt innehåll, likvärdig gyttjan/leran som finns idag vid Midsommarplatsen.

Förorenade muddermassor kan användas vid utfyllnad om föroreningarna hindras att lakas ut i vattnet. Två möjliga alternativ till att binda föroreningar är med hjälp av geotuber eller med stabilisering.

3.1.1 Deponi

Om muddermassor inte kan nyttiggöras deponeras de. *SBUF Rapport 12424* ger prisindikationer på omhändertagandet av muddermassor:

- Deponering till havs: 25 kr/m³.
- Deponi på land eller annan behandling (rena massor): 1000-2000 kr/m³.
- Deponi på land eller annan behandling (förorenade massor): 1500-3000 kr/m³.

Deponi till havs är billigare än deponi på land vid stora mängder muddermassor. Dock är deponi till havs inte ett alternativ för detta projekt då tillståndprocessen är väldigt krävande.

I *Alternativstudie muddring för sjösättningsramp* (COWI, 2018) uppskattas kostnaden för muddring och deponi på land till ca 2,5 miljoner för sjösättningsområdet.

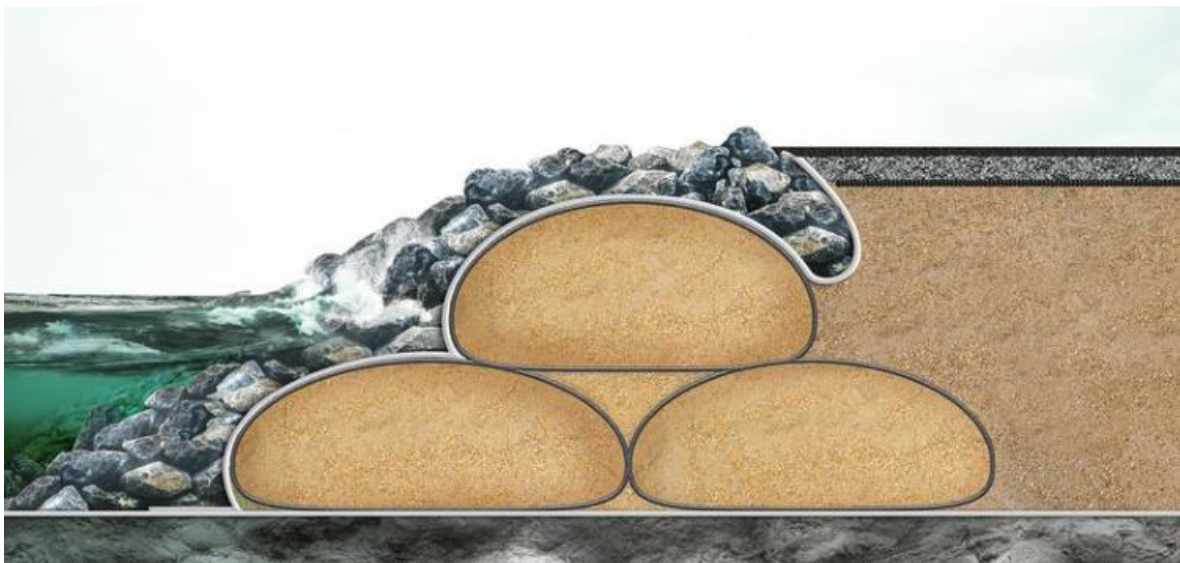
3.1.2 Geotuber

Norrtälje kommun har visat intresse för att använda geotuber för att innesluta muddermassorna och på så sätt kunna nyttja dem, se figur 11.



Figur 11. Bild på geotub som fyllts med jordmaterial. Bild från Huesker.

Användning av geotuber bedöms vara en effektiv metod för att torka muddermassor, dock en i Sverige obeprövad metod. Tuberna består av geotextil som fylls med muddermassor genom pumpning varvid överskottsvattnet pressas ut genom textilen. När massorna är torra kan de användas till annat ändamål. Systemet är effektivt så till vida att tuberna kan staplas på varandra och således är det en metod för att torka muddermassorna som inte är så platskrävande. Geotuberna kan enligt tillverkaren Huesker placeras ut direkt för landutfyllning, se figur 12.



Figur 12. Geotuber utplacerade för landutfyllnad. Bild från Huesker.

Geotuberna kan inte lyftas när de är fyllda. Ska de användas direkt till landutfyllning bör de fyllas på den plats där de ska ligga. Tuberna behöver ligga på en plan yta för att inte börja rulla. Tuberna tillverkas i olika storlekar men kan också sys efter önskemål så att dess storlek är anpassade till den plats de ska placeras på. De minsta tuberna är 8 m i omkrets och 10 m långa. De fylls till en maximal höjd av 1,3 m och tar då 30 m³ muddermassa. De största tuberna är 28 m i omkrets och 65 långa. De fylls till en maximal höjd av 2,4 m och innesluter 1600 m³ muddermassa (Huesker, 2017).

Om massorna är förorenade med metall varierar det om föroreningen binds till slammet eller om det följer med det utpressade vattnet. Metallens bindning till slammet är pH-beroende. Vid neutralt pH-värde binds metallen till slammet medan vid låga pH-värden följer det med vattnet ut ur tuben. Företaget ATEK som säljer geotuber erbjuder en produkt, Tektoseal Active, som ska binda metallen till slammet trots lägre pH-värden. ATEK rekommenderar att ett småskaligt pilotförsök utförs för att bedöma föroreningsgraden av det utpressade vattnet. Om föroreningar följer med det utpressade vattnet bör området för geotuber vallas in så att vattnet kan renas (information från Malin Wangler, ATEK, 2018-10-10).

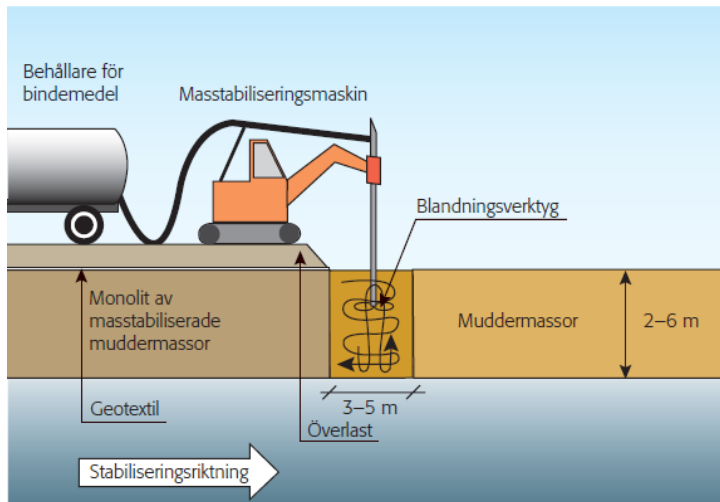
Arbetsmetodiken går ut på att muddring sker, sedan pumpas massorna från pråmen till en doserstation där massorna blandas med en polymer. Därefter pumpas massorna vidare till geotuben. En medelstor tub som kan ta en volym på 120 m³ kostar ca 22 000 kr. Dock utgör kostnaden för tuben en liten del av den totala kostnaden. Kostnadsdrivande faktorer är etableringskostnad för doserstation och pumpar samt pris för personerna som behövs vid utförandet.

3.1.3 Stabilisering

Genom att stabilisera muddermassorna binds föroreningar och massornas geotekniska egenskaper förbättras. Information om stabiliserade muddermassor har hämtats från *Vägledning för nyttiggörande av muddermassor i hamn- och anläggningskonstruktioner* (SIG, 2011) och *SBUF Rapport 12424* (Lindh, 2012). Metoden går ut på att muddermassor placeras mellan yttre konstruktioner. Massorna behöver inte avvattnas. De blandas sedan med ett bindemedel, vanligtvis cement och granulerad mald masugnsslagg, så att en tät och hållfast monolit skapas. Monoliten som bildas kan betraktas som en relativt tät lera snarare än en form av betongsammansättning. Förutom att binda föroreningar får monoliten högre hållfasthet och förbättrade sättningsegenskaper i förhållande till ursprunglig muddermassa. Det finns olika tekniker för att stabilisera muddermassorna, dessa är:

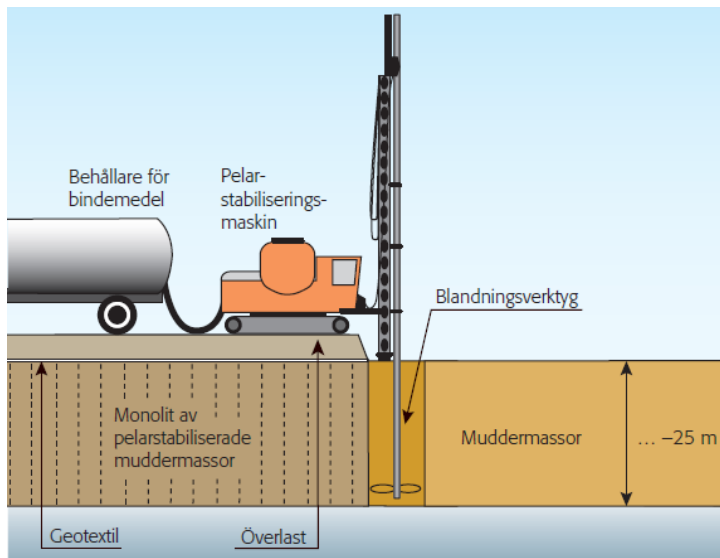
- Masstabilisering
- Pelarstabilisering
- Processtabilisering

Masstabilisering är samma process som omnämns i kap. 2.1. En grävmaskin används med blandutrustning på sin arm som blockvis blandar in bindemedel i de förorenade massorna. Inbladningen kan ske till ett djup på max 5-6 m. Se figur 13 för princip av masstabilisering.

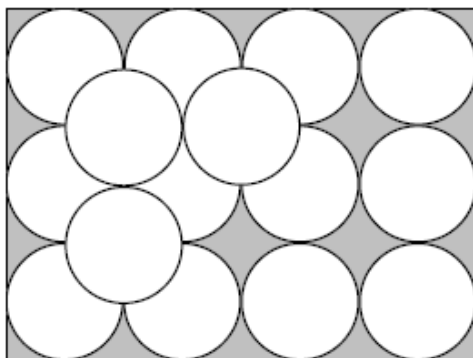


Figur 13. Princip för masstabilisering. Figur från Vägledning för nyttiggörande av muddermassor i hamn- och anläggningskonstruktioner (SGI, 2011).

Pelars stabilisering är samma teknik som KC-pelare som beskrivs i kap 2.1.1. Se figur 14 för princip av pelars stabilisering. Vid stabilisering av förorenade massor bör dock pelarna placeras i ett mönster så att de överlappar varandra, s.k. cellstabilisering, för att binda in föroreningarna, se figur 15.

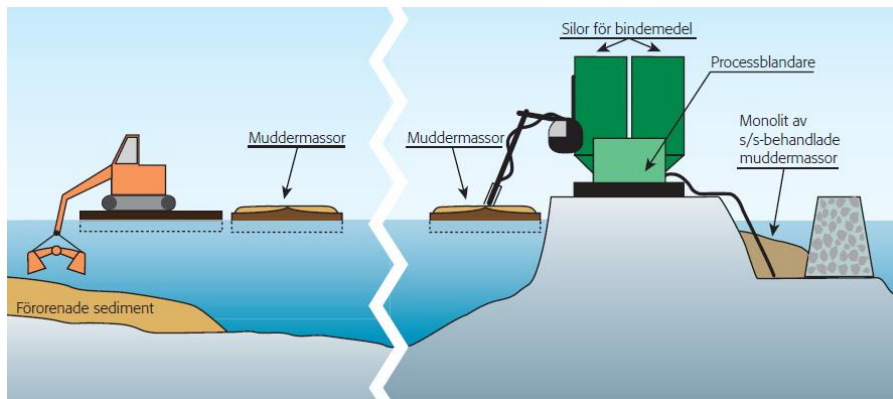


Figur 14. Princip för pelars stabilisering. Figur från Vägledning för nyttiggörande av muddermassor i hamn- och anläggningskonstruktioner (SGI, 2011).



Figur 15. Principskiss av pelars placering vid cellstabilisering. Figur från SBUF Rapport 12424 (Lindh, 2012).

Processtabilisering innebär att muddermassorna tas in i en anläggning där de blandas med bindemedel. Efter inblandningen transporteras massorna till den plats där utfyllnaden ska ske. Fördelen med processtabilisering är en mer homogen inblandning och att mängden bindemedel kan anpassas till inkommande muddermassors vattenkvot. En nackdel är att etableringskostnaden är hög vilket gör metoden mer lämplig för större mängder muddermassor. Se figur 16 för princip av processtabilisering.



Figur 16. Princip för processtabilisering. Figur från Vägledning för nyttiggörande av muddermassor i hamn- och anläggningskonstruktioner (SGI, 2011).

Oavsett inblandningsmetod börjar bindemedlet brinna snabbt efter inblandning. I stadiet mellan att muddermassor är utplacerade och inblandning sker är mängden föroreningar som kan ta sig ut i vattnet liten så länge föroreningarna är partikelbundna. Det kan dock vara lämpligt att placera en geotextil på insidan av invallningen. Vid korrekt utförande av masstabilisering och pelarstabilisering bör inte större mängder bindemedel ge sig iväg. Om området i direkt anslutning till utfyllnaden betraktas som känsligt med avseende på pH-värde finns skyddsåtgärder. T.ex. kan pH-värdet mätas kontinuerligt och sedan kan koldioxid tillföras vattnet med en perforerad slang i syfte att balansera pH-värdet.

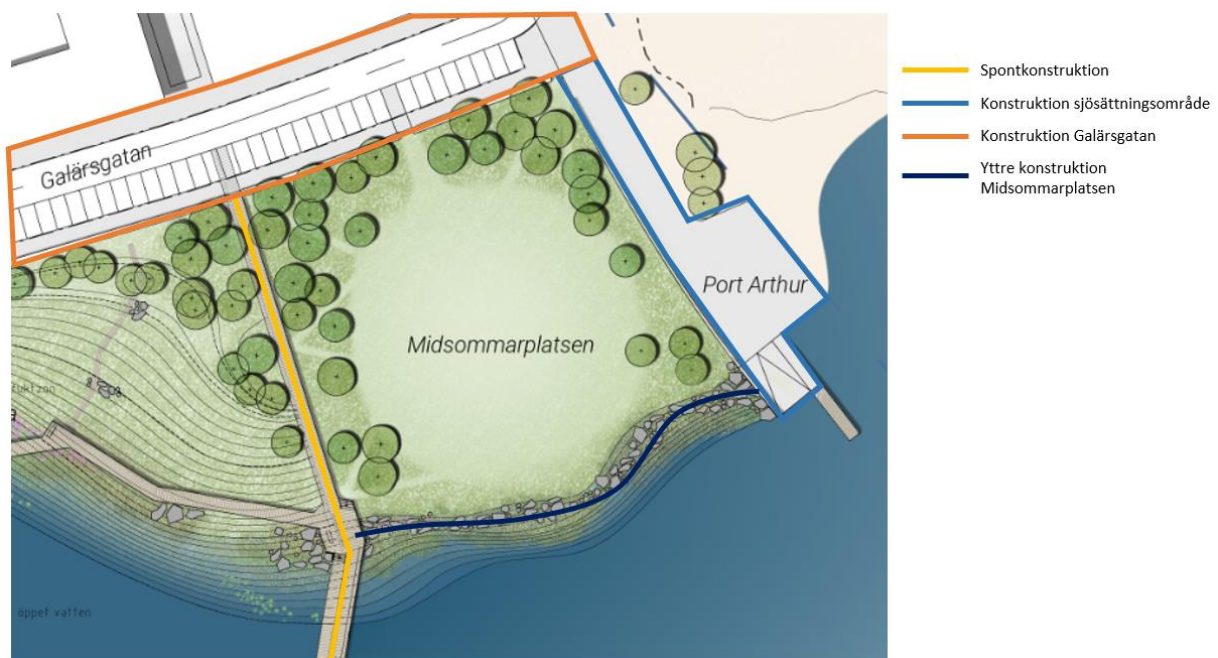
4 Möjlig utformning

I detta kapitel presenteras tre möjliga utformningar för Midsommarplatsen. En gemensam utgångspunkt för dessa tre alternativ är att muddermassorna ska nyttiggöras inom området för Midsommarplatsen. Följande tre alternativ har identifierats:

- Alternativ 1: Muddermassor i geotuber, ingen markförstärkning (+ option för vertikaldränering).
- Alternativ 2: Stabiliserade muddermassor med masstabilisering, delvis markförstärkning.
- Alternativ 3: Stabiliserade muddermassor med pelarstabilisering, markförstärkning med KC-pelare.

Eftersom muddermassorna har hämtats från närområdet och har liknande egenskaper som det sättningsbenägna jordlagret vid Midsommarplatsen (gyttja/lera) så anses det möjligt att kombinera utförandet av stabilisering och markförstärkning i alternativ 2 och 3. Det bör även vara möjligt att använda samma typ av inbladningsmedel.

Midsommarplatsens avgränsningar visas i figur 17.

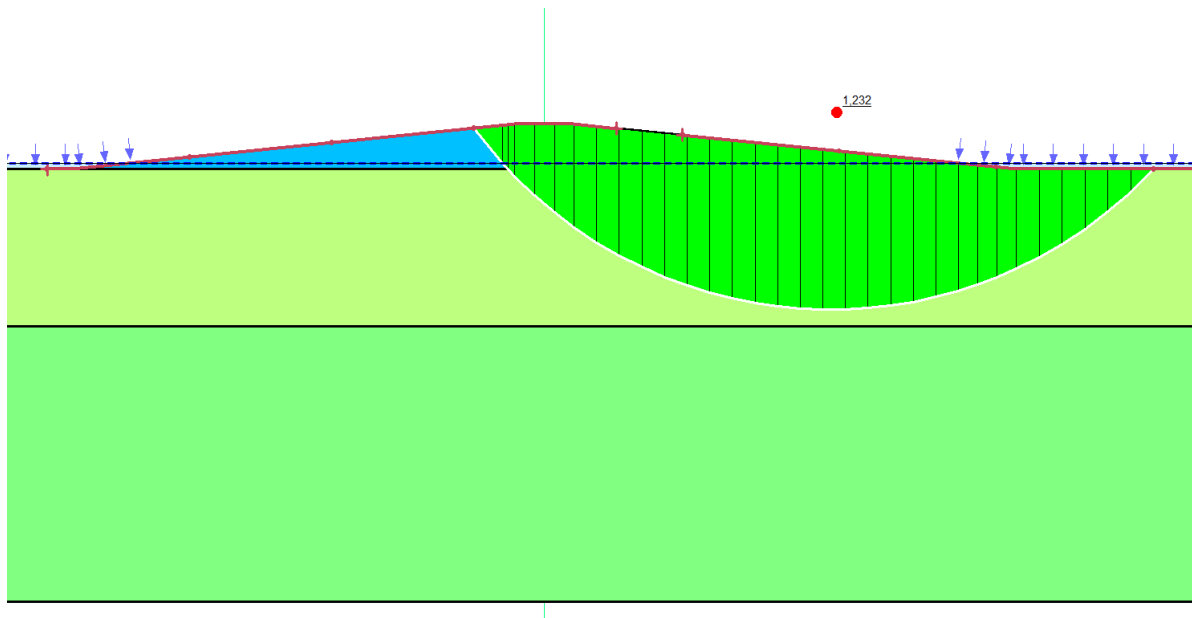


Figur 17. Midsommarplatsens avgränsningar.

Oavsett val av förstärkningsmetod för Midsommarplatsen, så förutsätts att Galärsgatan byggs som en egen fristående konstruktion och att denna byggs innan Midsommarplatsen. Galärsgatans konstruktion är ej beslutad men kan komma att utgöras av en vägöverbyggnad på påldäck, bankpålar eller KC-pelarförstärkning. Höjdskillnad mellan Galärsgatan och Midsommarplatsen tas upp med en stödmur som står på Galärsgatans konstruktion. I väster avgränsas Midsommarplatsen av en spont in mot dagvattendammen som bör uppföras innan utfyllnad sker. I öster avgränsas Midsommarplatsen av sjösättningsområdet på Port Arthur-udden. I 180911 *Alternativstudie sjösättning Port Arthur och Hamnplan* (COWI, 2018) presenteras två alternativa konstruktioner för sjösättningsområdet, ett påldäck och en KC-pelarförstärkning med vägöverbyggnad. Midsommarplatsens avslut i öst samverkar med val av konstruktion till sjösättningsområdet.

I söder bör en yttre konstruktion upprättas innan utfyllnad sker. En sådan yttre konstruktion utgörs vanligtvis av en spont, en sprängstensvall eller en kombination av dessa. Den yttre konstruktionen ska säkra att skred inte sker i samband med utfyllnaden av Midsommarplatsen och begränsa vattenflödet mellan utfyllnad och hav. För alternativ 2 & 3 läggs lösa muddermassor ut, den yttre konstruktionen behövs då för att begränsa muddermassornas utbredning. Vattenflödet behöver begränsas då föroreningarna ej är bundna tills inbladning har utförts. För alternativ 1 behöver geotuberna stå i torrhet för att vatten ska kunna pressas ut. Det kan även bli nödvändigt att rena det utpressade vattnet.

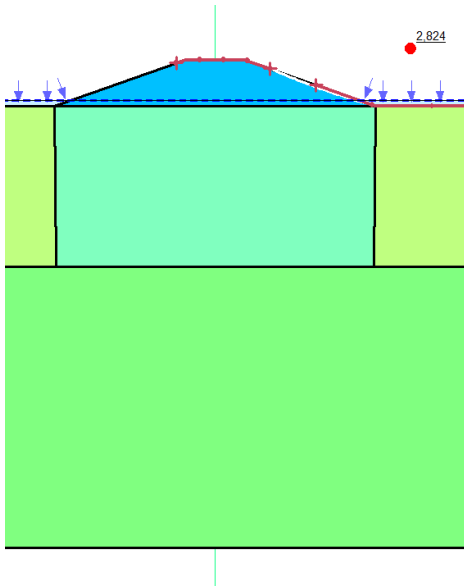
En släntstabilitetsberäkning har utförts för att undersöka möjligheterna att bygga upp den yttre konstruktionen med enbart en sprängstensvall utan markförstärkning. Erforderlig säkerhetsfaktor på 1,5 har dock ej erhållits trots att slänten lagts så flackt som 5,8 grader, se figur 18. Det bedöms därmed ej vara möjligt att placera ut en sprängstensvall utan markförstärkning. Om tillräckligt hög säkerhet går att erhålla med ännu flackare slänt skulle denna skulle bli väldigt svår att uppföra i praktiken samt uppta ett stort utrymme vilket skulle orsaka konflikt mellan Midsommarplatsen och sjösättningsområde vid Port Arthur-udden.



Figur 18. Släntstabilitetsberäkning för slänt utan jordförstärkning. Säkerhetsfaktor uppgår till 1,23 vilket understiger önskad säkerhet på 1,5. I figur är sjösida till höger. Beräkning utförd i Slope GeoStudio 2018.

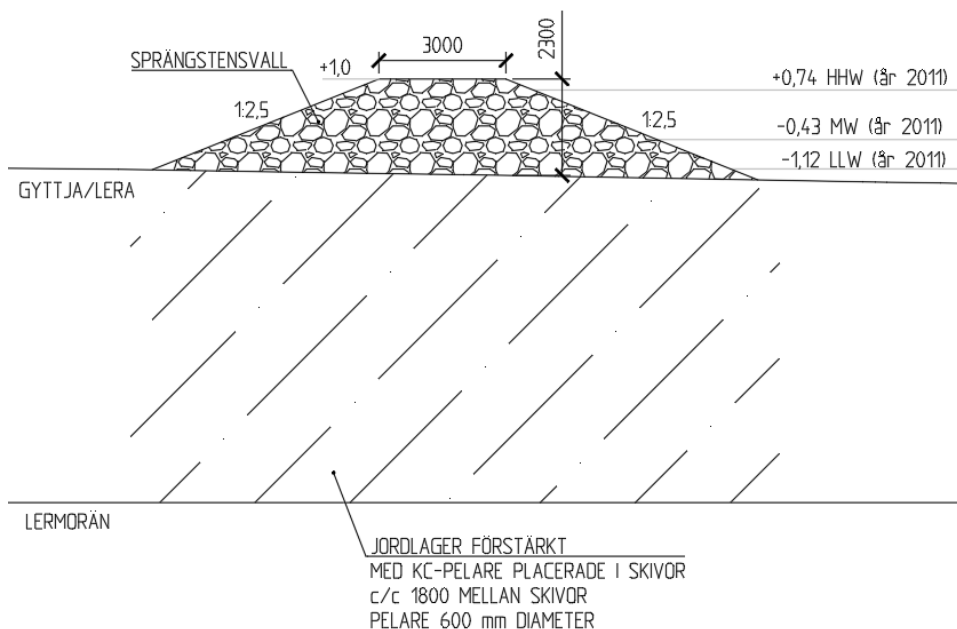
En beräkning avseende rotationsstabiliteten för en konsolspont har utförts. Utan någon form av motfyllnad framför spont eller förstärkning i passiv- eller aktivzonerna kan stabilitet ej erhållas. En bakåtförankrad spont bedöms inte vara en attraktiv lösning som yttre konstruktion då själva förankringen skulle vara svår att få till i den lösa gyttjan/leran. Om förankringen skulle sätta sig skulle det medföra ytterligare krafter i spontväggen. I sådana fall bedöms ett bergförankrat stag vara nödvändigt och detta betraktas som en väldigt dyr lösning.

En släntstabilitetsberäkning har utförts på en slänt med underliggande jord med KC-pelarförstärkning. Pelarna är placerade i skivor med ett c/c-avstånd på 1800 mm. Detta ger uppskattningsvis en täckningsgrad på 0,29. Med antagandet att pelarna har en odränerad skjuvhållfasthet $c_{uk}=100$ kPa får det förstärkta lagret gyttjig lera en odränerad skjuvhållfasthet på ca 32 kPa. Denna slänt får inga kritiska glidytor i det förstärkta jordlagret och totalstabiliteten får en säkerhetsfaktor på 2,82 vilket är större än 1,5, se figur 19.



Figur 19. Slänstabilitetsberäkning för slänt med jordförstärkning av KC-pelare i skivor. Säkerhetsfaktor uppgår till 2,82 vilket klart överstiger erforderlig säkerhetsfaktor på 1,5. Sjösida till höger i bild. Beräkning utförd i Slope GeoStudio 2018.

En sprängstensvall på ett KC-pelarförstärkt jordlager bedöms vara en fungerande yttre konstruktion för samtliga tre alternativ oavsett om utfyllnaden stabiliseras eller placeras i geotuber. Således tillämpas denna lösning för samtliga alternativ som presenteras nedan. En principskiss av den yttre konstruktionen ges i figur 20. Sprängstensvallen bör utformas som en vågbrytare med en kärna av finare material och med en kappa med grövre material som kan motstå erosion.



Figur 20. Principskiss av yttre konstruktion. Sjösida till höger i bild.

Sättningsberäkningar har utförts för respektive alternativ, se bilaga B. Följande antaganden och förutsättningar gäller för beräkningen.

- Enbart sättning i lagret gyttja/lera beaktas. Sättning i lermorän och fyllnadsmaterial anses försumbara i förhållanden till sättning i gyttja/lera.

- Jordlagret gyttja/lera antas belastat med 40 kPa (2 m x 20 kN/m³) från utfyllnad.
- Krypsättning beaktas ej.
- Sättningsegenskaper har ansats utifrån tillgängligt geotekniskt material i skrivande stund. Dessa har huvudsakligen ansatts utifrån en enstaka punkt, BG101 (*Översiktligt Projekterings PM Geoteknik*. Bjerking. 2013). Flertalet parametrar gällande stabilisering har antagits.

Det är ej beslutat om Midsommarplatsen ska dimensioneras för en ytlast på 5 kPa eller 10 kPa. Med avseende på sättningar har belastningen ingen betydelse då den bör betraktas som en korttidslast. För föreslagen yttre konstruktion har det liten betydelse om ytlasten är 5 eller 10 kPa. Skulle en annan yttre konstruktion användas kan dock ytlastens storlek få större betydelse med avseende på stabilitet.

Kostnaderna har uppskattats för respektive alternativ. Följande punkter har inkluderats i uppskattningen:

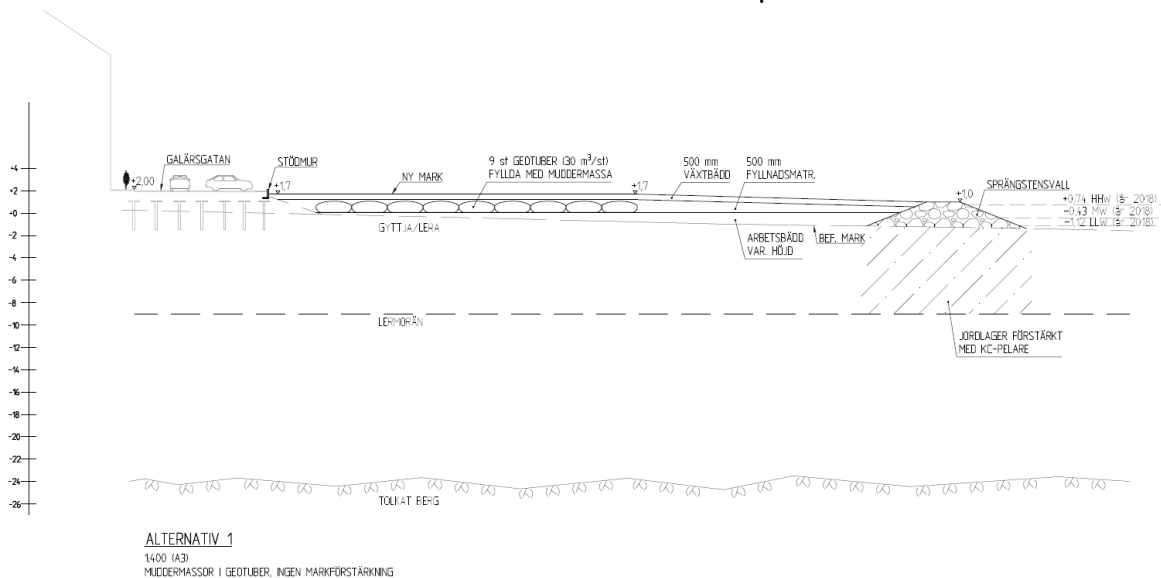
- Yttre konstruktion bestående av KC-pelarförstärkning, geonät och sprängstensvall längs södra och östra sträckan (samma för alla alternativ).
- Geotuber och fyllning av dessa (för alternativ 1).
- Masstabilisering respektive KC-pelarförstärkning (för alternativ 2 respektive 3).
- Arbetsbädd.
- Geotextil.
- Övrigt fyllnadsmaterial.
- Växtbädd.

Själva muddringen inkluderas inte i uppskattningen då denna anses vara nödvändig oavsett Midsommarplatsens utformning. Andra potentiellt kostnadsdrivande faktorer som inte inkluderats är eventuell röjning av vass då omfattningen av detta arbete är okänt, provisoriska konstruktioner, samt eventuell tillkommande rening av vatten från geotuber (alternativ 1).

Den yttre konstruktionen som är gemensam för alla alternativ har kostnadsuppskattats till 4 miljoner kr.

4.1 Alternativ 1

I alternativ 1 tas muddermassorna omhand med geotuber. Ingen markförstärkning utförs. En principsektion av alternativet visas i figur 21. Notera höjdsättning där nivå +1,7 hålls fram till ungefär mitten av Midsommarplatsen. I sektionen har antagits att geotuberna sjunker i höjdd med ca 30% efter avvattning.

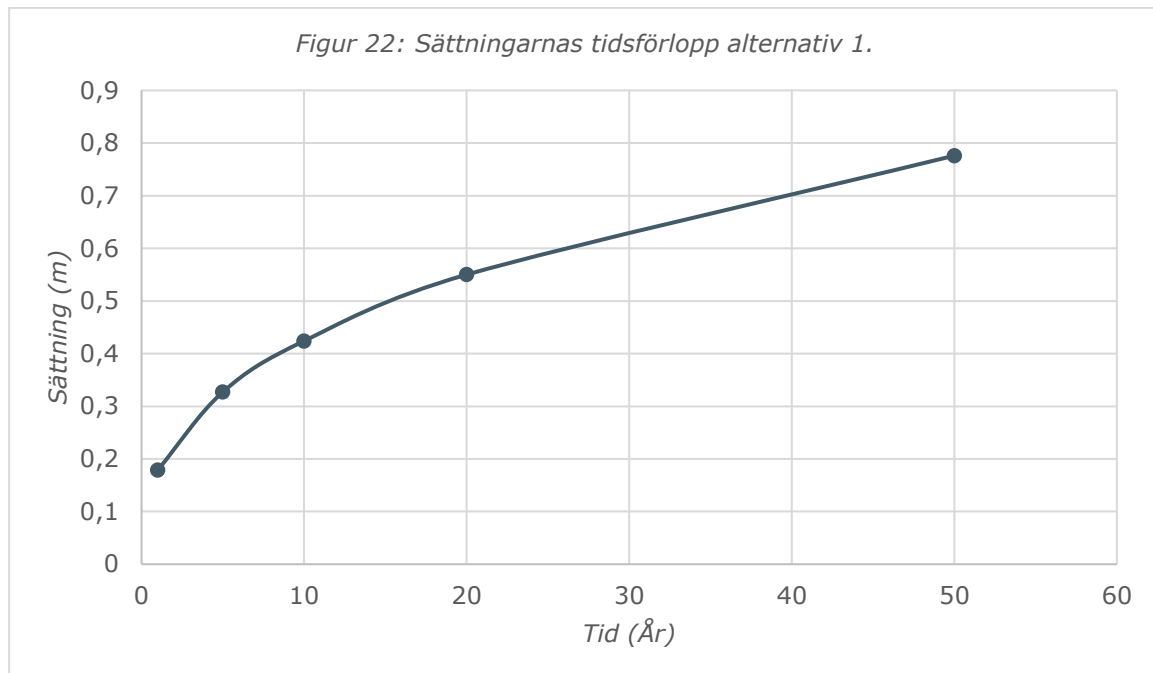


Figur 21. Principsektion för Midsommarplatsen alternativ 1. Sektionen finns i A3-format i Bilaga A. Vänster i bild är norrut och höger söderut.

Utfyllnaden sker på följande sätt:

- Jordlager under sprängstensvall förstärks med KC-pelare. Pelarna placeras i skivmönster för att säkra jordens stabilitet.
- Sprängstensvall placeras ut. Den yttre konstruktionen är uppförd.
- En arbetsbädd, av t.ex. sprängsten, läggs ut. Arbetsbädden måste vara horisontell så att geotuberna inte börjar rulla när de fylls. Bäddens överkant skall vara över MW. I sektionen är bäddens överkant 500 mm ovanför MW på nivån +0,07.
- Geotuber läggs ovanpå arbetsbädden. Det rekommenderas att använda de mindre geotuberna som har en maximal fyllnadshöjd om ca 1,3 m. Tillsatsmedel används så att eventuella föroreningar binds till slammet. Muddermassorna avvattnas sedan i geotuberna. Utgående vatten tas om hand/renas om så anses nödvändigt. Ca nio geotuber behövs i rad, totalt 50 st, för att ta hand om den totala uppskattade mängden muddermassor. Antalet geotuber i förhållande till dess storlek kan effektiviseras.
- Fyllnadsmaterial placeras runtomkring och ovanpå geotuberna och fram till sprängstensvallen.
- Växtbädden placeras ovanpå fyllnadsmaterialet.

Den totala sättningen för Midsommarplatsen har vid vald utfyllnad enligt ovan med 40 kPa belastning beräknats till ca 1,6 m. I *Översiktligt Projekterings PM Geoteknik* (Björking, 2013) uppskattas sättningen i en punkt vid Midsommarplatsen till 1,2 m vid en belastning av 30 kPa. Således bedöms en sättning på 1,6 m vid en belastning av 40 kPa stämma väl överens. Sättningsförloppet sker långsamt då gyttjan/leran har låg permeabilitet. På ett år har ca 11% av sättningar utvecklats. På 10 år har ca 27% av sättningarna skett. Figur 22 beskriver sättningarnas tidsförlopp.



Sättningarnas storlek i förhållande till tid påverkas starkt av vilka parametrar som ansätts. Bjerking (2013) anger även att innehållet av organiskt material i leran kan påverka sättningsförloppet men att dess effekt är svår att beräkna. Kontentan av sättningsberäkningen är att totalsättningen är mycket stor, men att sättningsförloppet sker långsamt.

Detta alternativ kan kompletteras med vertikaldränering. Vertikaldränering medför inte att sättningen blir mindre men att sättningsförloppet sker snabbare. Vertikaldränerna bör placeras ut innan geotuberna fylls. Vertikaldränerna medför att ytterligare vatten måste dräneras bort från området.

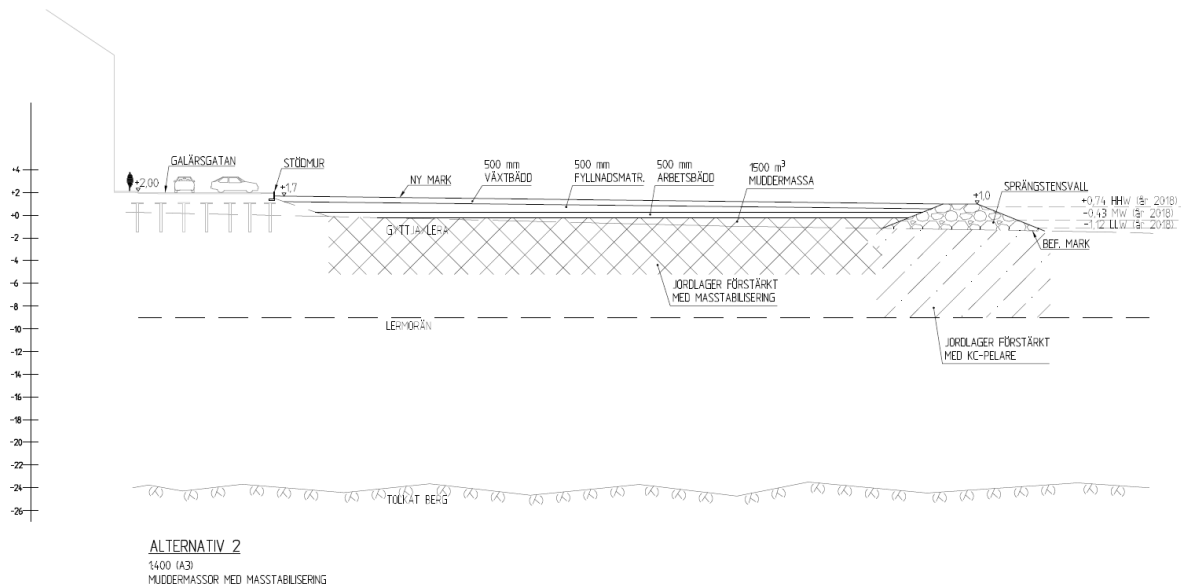
En kostnadsuppskattning har gjorts för alternativet. En överfyllnad på 0,5 m har antagits för att kompensera för sättningar (10-årsperiod). Ingen rening av vattnet från geotuberna har antagits.

Kostnadsuppskattning: 9 miljoner kr (varav 4 miljoner kr yttre konstruktion)

Att komplettera alternativet med vertikaldränering bedöms medföra en kostnadsökning på ca 2 miljoner kronor.

4.2 Alternativ 2

I alternativ 2 stabiliseras muddermassorna för att binda föroreningar. Masstabiliseringen kan ske djupare än bara lagret muddermassa. Således fungerar stabiliseringen även som jordförstärkning i ca 2/3 av underliggande jordlager, se figur 23. Då muddermassorna har liknande egenskaper som underliggande jordlager kan samma bindemedel användas.

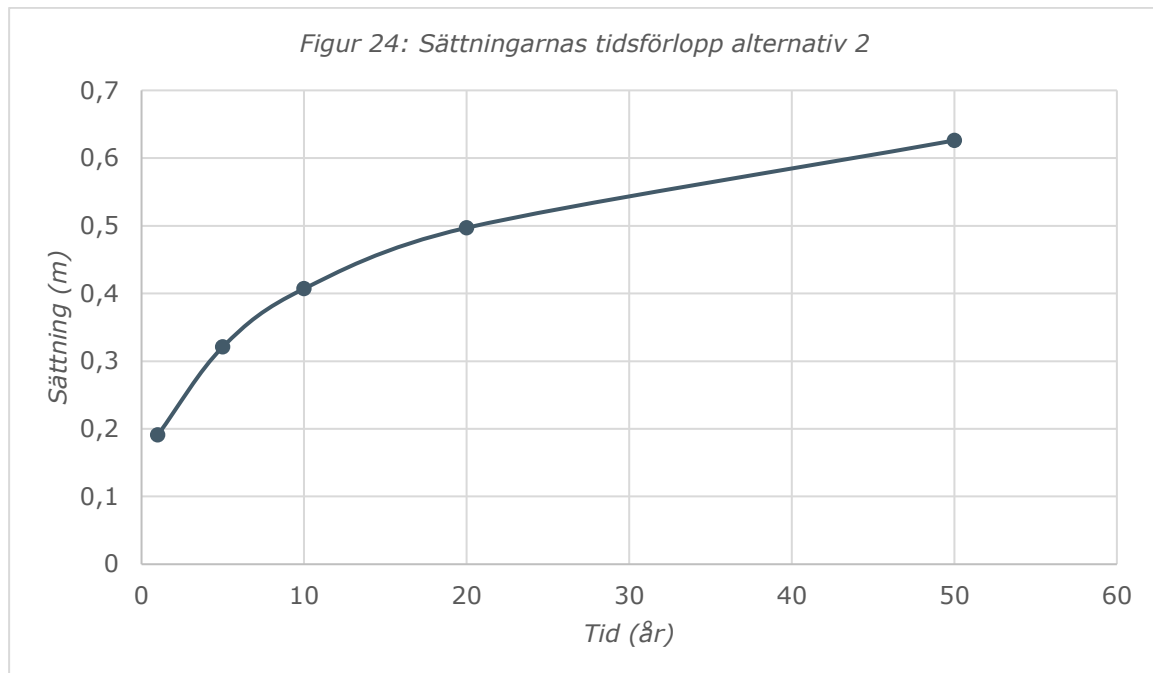


Figur 23. Principsektion för Midsommarplatsen alternativ 2. Sektionen finns i A3-format i Bilaga A. Vänster i bild är norr och höger söderut.

Utfyllnaden sker på följande sätt:

- Jordlager under sprängstensvall förstärks med KC-pelare. Pelarna placeras i skivmönster för att säkra jordens stabilitet.
- Sprängstensvall placeras ut. Den yttre konstruktionen är uppförd.
- Muddermassor placeras ut utan att avvattning sker innan.
- Arbetsbädd placeras ut och masstabilisering sker successivt, se figur 13.
- Ovanpå arbetsbädden placeras ca 500 mm fyllnadsmaterial.
- Växtbädden placeras ovanpå fyllnadsmaterialet.

Den totala sättningen för detta alternativ har beräknats till ca 0,7 m varav majoriteten sättning sker i underliggande gyttja/lera. Sättningsförloppet bedöms ske snabbt i det förstärkta jordlagret och långsammare i gyttja/leran. Totalt sett sker sättningarna långsamt. På ett år har ca 27% (0,2 m) av sättningar utvecklats. På 10 år har ca 46% (0,4 m) av sättningarna utvecklats. Figur 24 beskriver sättningarnas tidsförlopp.

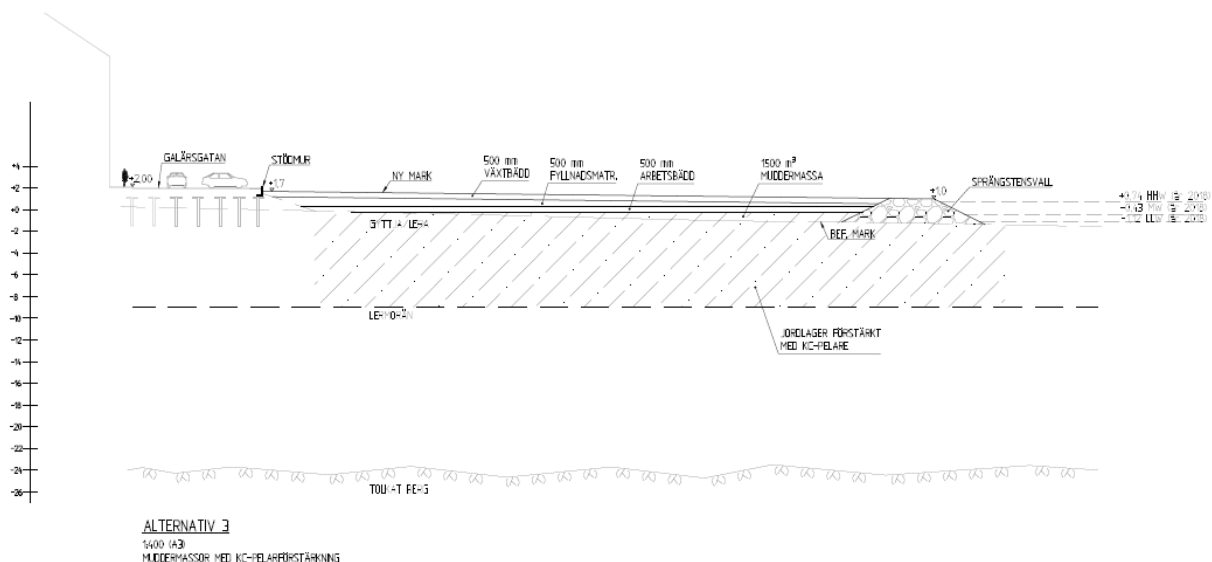


En kostnadsuppskattning har gjorts för alternativet. En överfyllnad på 0,4 m har antagits för att kompensera för sättningar (10-årsperiod).

Kostnadsuppskattning: 14 miljoner kr (varav 4 miljoner kr yttre konstruktion)

4.3 Alternativ 3

I alternativ 3 stabiliseras muddermassorna för att binda föroreningar. Pelarförstärkning kan användas både för att stabilisera muddermassor och för att jordförstärka hela det underliggande jordlagret av gytta/lera, se figur 25.

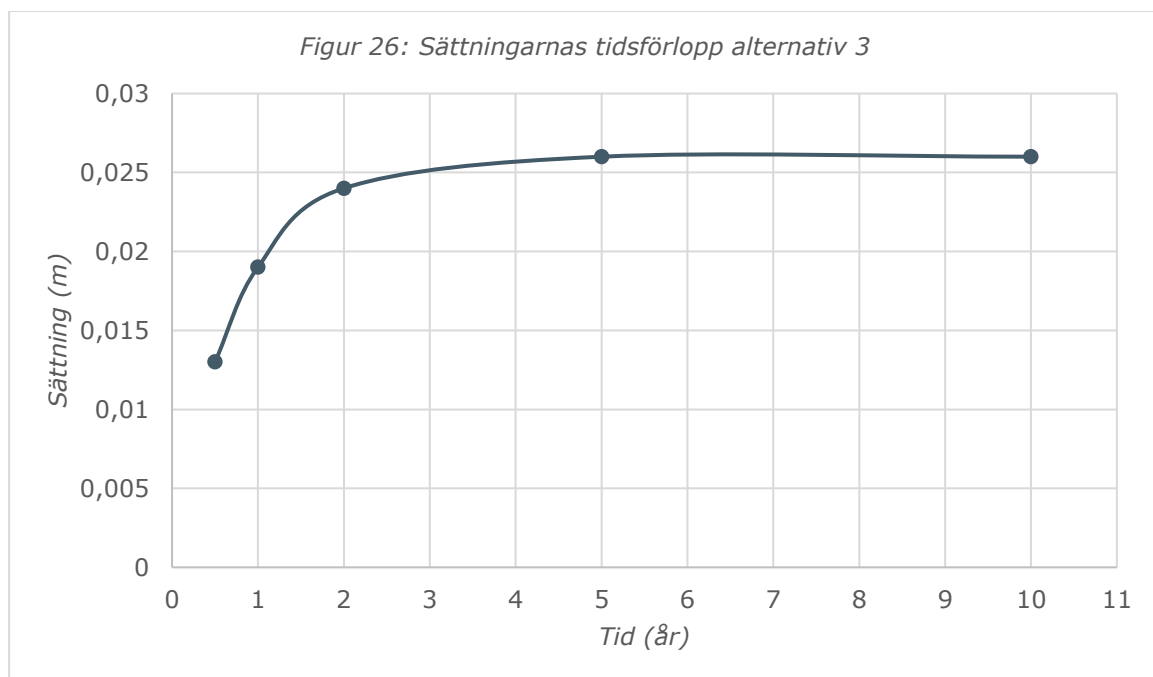


Figur 25. Principsektion för Midsommarplatsen alternativ 3. Sektionen finns i A3-format i Bilaga A. Vänster i bild är norr och höger söderut.

Utfyllnaden sker på följande sätt:

- Jordlager under sprängstensvall förstärks med KC-pelare. Pelarna placeras i skivmönster för att säkra jordens stabilitet.
- Sprängstensvall placeras ut. Den yttre konstruktionen är uppförd.
- Muddermassor placeras ut utan att avvattning sker innan.
- Arbetsbädd placeras ut och pelarstabilisering sker successivt, se figur 14. I den övre delen, där muddermassorna är placerade, sätts pelarna i ett heltäckande cellmönster, se figur 15. På djupare nivå kan pelarna sitta i ett kvadratisk mönster.
- Ovanpå arbetsbädden placeras ca 500 mm fyllnadsmaterial.
- Växtbädden placeras ovanpå fyllnadsmaterialet.

Den totala sättningen beräknas till ca 0,03 m. Sättningsförloppet bedöms ske snabbt i det KC-pelarförstärkta jordlagret. På ett år har ca 74% (0,02 m) av sättningar utvecklats. På 5 år har ca 100% (0,03 m) av sättningarna skett. Figur 26 beskriver sättningarnas tidsförlopp.



En kostnadsuppskattning har gjorts för alternativet. Etableringskostnad för KC-pelarförstärkning har försumrats då denna ingår i kostnaden för den yttre konstruktionen.

Kostnadsuppskattning: 11 miljoner kr (varav 4 miljoner kr yttre konstruktion)

5 Slutsatser och vidare utredning

För att uppföra Midsommarplatsen krävs en yttre konstruktion i dess södra och östra delar för att säkra dess stabilitet. En konsolspont bedöms inte vara en fungerande lösning och en bakåtförankrad spont bedöms i detta fall som en mycket dyr lösning då denna skulle behöva vara bergsförankrad. Förslagsvis utförs den yttre konstruktionen som en sprängstensvall med ett KC-pelarförstärkt underliggande jordlager. KC-pelarna bör sättas som skivor för att erforderlig stabilitet ska erhållas.

Midsommarplatsen önskas fyllas ut med muddermassor från angränsande område. Där massorna innehåller föroreningar behöver dessa bindas. Detta anses möjligt antingen genom att placera massorna i geotuber eller genom att stabilisera massorna.

Inom Midsommarplatsen kommer stora sättningar att ske om ingen förstärkningsåtgärd utförs. Planerade höjder innebär en utfyllnad med en mäktighet på ca 2 m vilket motsvarar en belastning på ca 40 kPa. Utan förstärkning kommer sättningarna att uppgå till ca 1,6 m. Dock sker sättningsförloppet långsamt. Massutbyte och användandet av lättfyllnad bedöms inte vara en möjlig metod eftersom hela gyttja-/lerlagret måste schaktas bort vilket motsvarar ca 32 000 m³. Att förstärka Midsommarplatsen med påldäck eller bankpålar bedöms som en mycket dyr lösning och har därför ej studerats vidare i denna alternativstudie.

Jordförstärkning av lagret gyttja/lera bedöms möjlig med KC-pelare alternativt att delvis förstärka jordlagret med masstabilisering. En annan metod för förstärkning kan vara genom att använda vertikaldränering. Vertikaldränering minskar inte sättningarnas storlek men ökar hastigheten på sättningsförloppet. Vertikaldränering är en billigare metod än KC-pelare eller masstabilisering. KC-pelare och masstabilisering kan dock användas till att också stabilisera muddermassorna så att dess föroreningar blir bundna.

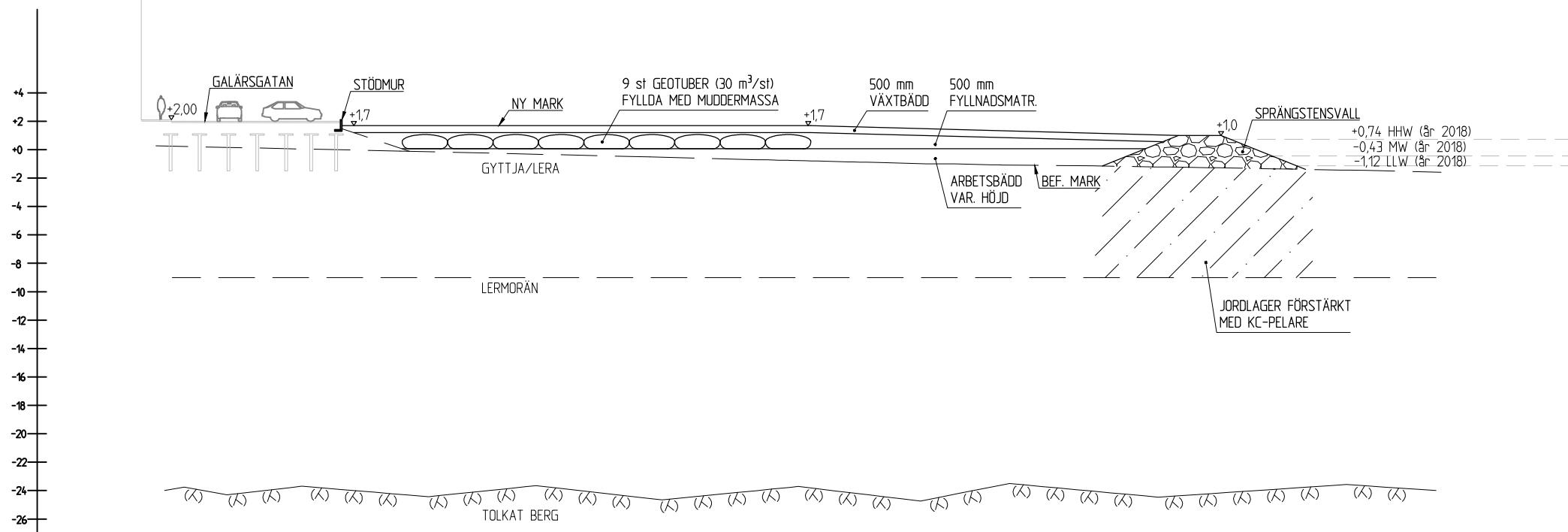
I rapporten presenteras tre alternativ för utfyllnaden av Midsommarplatsen. I alternativ 1 används geotuber och ingen markförstärkning. I alternativ 2 används masstabilisering och i alternativ 3 används KC-pelare. Alternativ 1 bedöms ha lägst kostnad men ger klart störst sättning. Att binda föroreningar i geotuber bedöms även vara en i Sverige mer obeprövad metod än stabilisering. Sättningsförloppet kan ökas genom att komplettera alternativet med vertikaldränering. Alternativ 1 får då en kostnad som är liknande alternativ 3. Alternativ 2 får medelstora sättningar men bedöms ha högst kostnad. I alternativ 3 bedöms sättningarna nästan helt tas ut. Kostnaden för genomförandet av alternativ 3, ligger uppskattningsvis någonstans mellan kostnaderna för alternativ 1 och 2. Det bör betonas att det är kostnadsuppskattningar som ges i rapporten. Den faktiska kostnaden för denna typ av arbete är beroende av vem som utför jobbet och deras erfarenhet av de olika metoderna. Aktiv design bör tillämpas vid användande av KC-pelare vilket innebär att utförande, bl.a. inblandningsmängd, kan justeras och anpassas på plats.

Vidare bör samtal föras med entreprenör om hur arbetet praktiskt kan utföras. Arbetet försvåras av den lösa gyttja/leran samt att ytan är svårtillgänglig p.g.a. vass. I samråd med entreprenör bör arbetsgången tydligare preciseras samt eventuella provisorier som kan komma att behövas.

För att avgöra om KC-pelare liksom masstabilisering är möjliga lösningar krävs inblandningsförsök. Inblandningsförsök utförs i skrivande stund av Sigma hösten 2018. För att avgöra renheten på vattnet från geotuberna samt eventuella tillsatsmedel krävs ett pilotförsök. ATEK, återförsäljare av geotuber, erbjuder sig att göra denna typ av försök.

BILAGA A – SEKTIONER A3

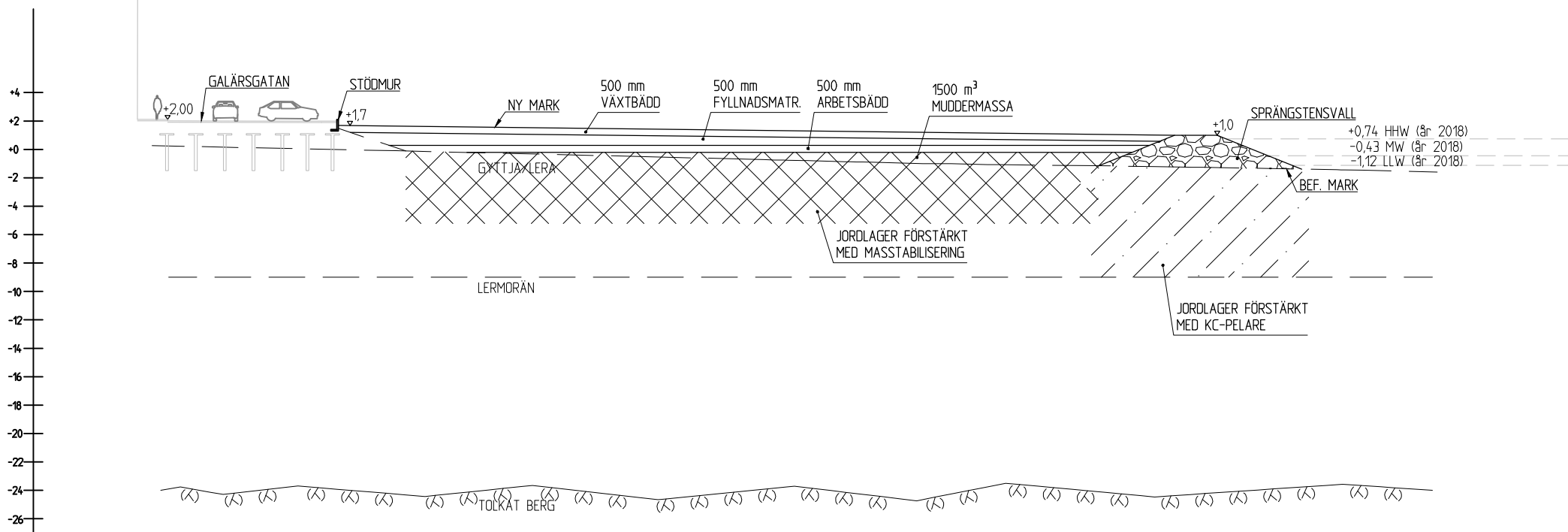
A.1	Alternativ 1 & 2
A.2	Alternativ 3



ALTERNATIV 1

1:400 (A3)

MUDDERMASSOR I GEOTUBER, INGEN MARKFÖRSTÄRKNING

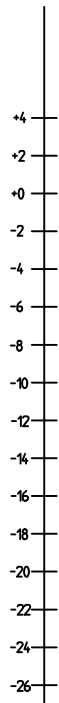


ALTERNATIV 2

1:400 (A3)

MUDDERMASSOR MED MASSTABILISERING





1.400 V/S/

MUDDERMASSOR MED KC-PELARFÖRSTÄRKNING



BILAGA B – SÄTTNINGSBERÄKNINGAR

B.1-B.5	Alternativ 1
B.6-B.12	Alternativ 2
B.13-B.17	Alternativ 3

Sättningsberäkning Alternativ 1

Midsommarplatsen, Norrtälje Hamn

Beräkning av sättning i ett jordlager kohesionsjord.

Indata - fyllning

Fyllningen betraktas som en överlast. Sättningar i fyllnasmaterialet försummas.
Sättningsberäkning antas gälla för en generell punkt i mitten av Midsommarplatsen.
Ingen lastspridning antas. Fyllningen antas vara ovanför vattennivå.

Fyllningshöjd

$$h_0 := 2\text{m}$$

Tunghet fyllning - antaget generellt värde

$$\gamma_{\text{fyll}} := 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Överlast/Tillkommande spänning

$$\Delta\sigma := h_0 \cdot \gamma_{\text{fyll}} = 40 \cdot \text{kPa}$$

Indata - gyttjig lera

Indata för sättningssegenskaper hämtas från CRS-försök för borrhål BG101, djup 6 m.
Datan presenteras i MUR Norrtälje Hamn. 2013. Bjerking.

Jordlagerhöjd

$$h_1 := 8\text{m}$$

Skiktindelning - antal

$$n := 8$$

Höjd skikt

$$\Delta h := \frac{h_1}{n} = 1\text{m}$$

Tunghet lera

$$\gamma := 15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Effektiv tunghet lera

$$\gamma_{\text{prim}} := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Sättnings- och spänningsparametrar

$$\sigma_{\text{c.prim}} := 26\text{kPa}$$

$$\sigma_{\text{L.prim}} := 37\text{kPa}$$

$$M_0 := 1500\text{kPa}$$

$$M_L := 115 \text{ kPa}$$

$$M_{\text{prim}} := 11.8$$

B.2

Permeabilitet

$$k := 5.5 \cdot 10^{-10} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Konsolideringskoefficient

$$c_v := 3.8 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Beräknade spänningar och sättningar

Beräkningsdjup

$$z := \begin{pmatrix} 0 + \frac{\Delta h}{2} \\ \frac{\Delta h}{2} + \Delta h \\ \frac{\Delta h}{2} + 2 \cdot \Delta h \\ \frac{\Delta h}{2} + 3 \cdot \Delta h \\ \frac{\Delta h}{2} + 4 \cdot \Delta h \\ \frac{\Delta h}{2} + 5 \cdot \Delta h \\ \frac{\Delta h}{2} + 6 \cdot \Delta h \\ \frac{\Delta h}{2} + 7 \cdot \Delta h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.5 \\ 1.5 \\ 2.5 \\ 3.5 \\ 4.5 \\ 5.5 \\ 6.5 \\ 7.5 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Ursprunglig spänning

$$\sigma_{0.\text{prim}} := \gamma_{\text{prim}} \cdot z = \begin{pmatrix} 2.5 \\ 7.5 \\ 12.5 \\ 17.5 \\ 22.5 \\ 27.5 \\ 32.5 \\ 37.5 \end{pmatrix} \cdot \text{kPa}$$

Vertikalspänning

$$\sigma_{0,\text{prim}} + \Delta\sigma = \begin{pmatrix} 42.5 \\ 47.5 \\ 52.5 \\ 57.5 \\ 62.5 \\ 67.5 \\ 72.5 \\ 77.5 \end{pmatrix} \cdot \text{kPa}$$

Kriterium för val av metod

$$\sigma_{c,\text{prim}} = 26 \cdot \text{kPa}$$

$$\sigma_{L,\text{prim}} = 37 \cdot \text{kPa}$$

Sättning i jordlager

$$\Delta\delta := \Delta h \cdot \left[\frac{\sigma_{c,\text{prim}} - \sigma_{0,\text{prim}}}{M_0} + \frac{\sigma_{L,\text{prim}} - \sigma_{c,\text{prim}}}{M_L} \dots \right. \\ \left. + \frac{1}{M_{\text{prim}}} \cdot \ln \left[1 + (\sigma_{0,\text{prim}} + \Delta\sigma - \sigma_{L,\text{prim}}) \cdot \frac{M_{\text{prim}}}{M_L} \right] \right] = \begin{pmatrix} 149.24 \\ 169.944 \\ 185.315 \\ 197.295 \\ 206.927 \\ 214.836 \\ 221.427 \\ 226.976 \end{pmatrix} \cdot \text{mm}$$

Totalsättning

$$\delta_w := \Delta\delta_0 + \Delta\delta_1 + \Delta\delta_2 + \Delta\delta_3 + \Delta\delta_4 + \Delta\delta_5 + \Delta\delta_6 + \Delta\delta_7 = 1.572 \text{ m}$$

Tidsberoende

Tid

$$t := \begin{pmatrix} 1 \\ 5 \\ 10 \\ 20 \\ 50 \end{pmatrix} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = \begin{pmatrix} 3.154 \times 10^7 \\ 1.577 \times 10^8 \\ 3.154 \times 10^8 \\ 6.307 \times 10^8 \\ 1.577 \times 10^9 \end{pmatrix} \text{ s}$$

Jordlagerhöjd kopplat till dränering

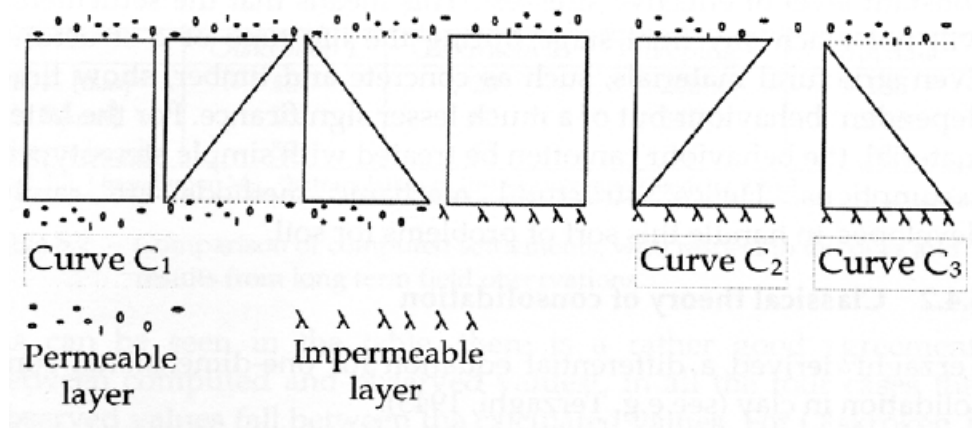
$$h_t := h_1 = 8 \text{ m}$$

Tidsfaktor

$$T_v := c_v \cdot \frac{t}{h_t} = \begin{pmatrix} 1.872 \times 10^{-3} \\ 9.362 \times 10^{-3} \\ 0.019 \\ 0.037 \\ 0.094 \end{pmatrix}$$

B.4

Från *Krypsättningar i lera*. Meijer & Åberg. 2007. Chalmers.



$$Uc1 = \begin{cases} 1,15 \cdot \sqrt{T_v} & \text{då } T_v < 0,2 \\ 1 - 0,8 \cdot e^{-2,5 \cdot T_v} & \text{då } T_v > 0,2 \end{cases} \quad (2.5)$$

$$Uc2 = \begin{cases} 1,2 \cdot T_v^{3/8} & \text{då } T_v < 0,16 \\ 1 - 0,6 \cdot e^{-2,6 \cdot T_v} & \text{då } T_v > 0,16 \end{cases} \quad (2.6)$$

$$Uc3 = \begin{cases} 2 \cdot T_v & \text{då } T_v < 0,1 \\ 1 - 1,05 \cdot e^{-2,6 \cdot T_v} & \text{då } T_v > 0,1 \end{cases} \quad (2.7)$$

Medelkonsolideringsgrad

Gyttjan antas ha enkelsidig dränering
med poröverttryck högst upp. Kurva C₂
bedöms mest representativ.

$$U := \begin{bmatrix} \left[\begin{array}{l} \text{if } T_{V0} < 0.16, 1.2 \cdot \left(T_{V0}\right)^{\frac{3}{8}}, 1 - 0.6 \cdot e^{-2.6 \cdot T_{V0}} \end{array} \right] \\ \left[\begin{array}{l} \text{if } T_{V1} < 0.16, 1.2 \cdot \left(T_{V1}\right)^{\frac{3}{8}}, 1 - 0.6 \cdot e^{-2.6 \cdot T_{V1}} \end{array} \right] \\ \left[\begin{array}{l} \text{if } T_{V2} < 0.16, 1.2 \cdot \left(T_{V2}\right)^{\frac{3}{8}}, 1 - 0.6 \cdot e^{-2.6 \cdot T_{V2}} \end{array} \right] \\ \left[\begin{array}{l} \text{if } T_{V3} < 0.16, 1.2 \cdot \left(T_{V3}\right)^{\frac{3}{8}}, 1 - 0.6 \cdot e^{-2.6 \cdot T_{V3}} \end{array} \right] \\ \left[\begin{array}{l} \text{if } T_{V4} < 0.16, 1.2 \cdot \left(T_{V4}\right)^{\frac{3}{8}}, 1 - 0.6 \cdot e^{-2.6 \cdot T_{V4}} \end{array} \right] \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 0.114 \\ 0.208 \\ 0.27 \\ 0.35 \\ 0.494 \end{pmatrix}$$

Tidsberoende sättning

$$\delta_t := \delta \cdot U = \begin{pmatrix} 0.179 \\ 0.327 \\ 0.424 \\ 0.55 \\ 0.776 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Sättningsberäkning Alternativ 2, Midsommarplatsen, Norrtälje Hamn

Beräkning av sättning i ett jordlager kohesionsjord.

Indata - fyllning

Fyllningen betraktas som en överlast. Sättningar i fyllnasmaterialet försummas.
Sättningsberäkning antas gälla för en generell punkt i mitten av Midsommarplatsen.
Ingen lastspridning antas. Fyllningen antas vara ovanför vattennivå.

Fyllningshöjd

$$h_0 := 2\text{m}$$

Tunghet fyllning - antaget generellt värde

$$\gamma_{\text{fyll}} := 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Överlast/Tillkommande spänning

$$\Delta\sigma := h_0 \cdot \gamma_{\text{fyll}} = 40 \cdot \text{kPa}$$

Indata - masstabiliserad gyttjig lera

Antagna materialparametrar från SD Rapport 17; kap. 4, TK Geo 13 & TR Geo 13.

Jordlagerhöjd

$$h_1 := 5\text{m}$$

Skiktindelning - antal

$$n_1 := 5$$

Höjd skikt

$$\Delta h_1 := \frac{h_1}{n_1} = 1\text{m}$$

Odränerad skjuvhållfasthet

$$C_{\text{uk, pel}} := 100\text{kPa}$$

Tryckhållfasthet

$$q_{\text{uk, pel}} := 2 \cdot C_{\text{uk, pel}} = 0.2 \cdot \text{MPa}$$

Sättningsmodul

$$M_{\text{stab}} := 30 \cdot q_{\text{uk, pel}} = 6 \cdot \text{MPa}$$

Indata - gyttjig lera

Indata för sättningsegenskaper hämtas från CRS-försök för borrhål BG101, djup 6 m.
Datan presenteras i MUR Norrtälje Hamn. 2013. Bjerking.

Jordlagerhöjd

B.7

$$h_2 := 3\text{m}$$

Skiktindelning - antal

$$n_2 := 3$$

Höjd skikt

$$\Delta h_2 := \frac{h_2}{n_2} = 1\text{ m}$$

Tunghet lera

$$\gamma := 15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Effektiv tunghet lera

$$\gamma_{\text{prim}} := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Sättnings- och spänningsparametrar

$$\sigma_{\text{c.prim}} := 26\text{kPa}$$

$$\sigma_{\text{L.prim}} := 37\text{kPa}$$

$$M_0 := 1500\text{kPa}$$

$$M_L := 115\text{kPa}$$

$$M_{\text{prim}} := 11.8$$

Permeabilitet

$$k := 5.5 \cdot 10^{-10} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Konsolideringskoefficient

$$c_v := 3.8 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Beräknade sättningar i stabiliserat jordlager

Sättningarna antas ske linjärt i jordlagret. Ingen lastspredning antas.

Totalsättning i jordlager

$$\delta_1 := h_1 \cdot \frac{\Delta \sigma}{M_{\text{stab}}} = 0.033 \cdot \text{m}$$

Tidsberoende i jordlager

Beräkning av konsolideringskoefficient enligt TR Geo 13.

Tid

$$t := \begin{pmatrix} 1 \\ 5 \\ 10 \\ 20 \\ 50 \end{pmatrix} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s} = \begin{pmatrix} 3.154 \times 10^7 \\ 1.577 \times 10^8 \\ 3.154 \times 10^8 \\ 6.307 \times 10^8 \\ 1.577 \times 10^9 \end{pmatrix} \text{ s}$$

Permeabilitet förstärkt jordlager enligt *TR Geo 13*

$$k_{\text{stab}} := 500 \cdot k = 2.75 \times 10^{-7} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Uppskattad konsolideringskoefficient för förstärkt jordlager

$$c_{v,\text{stab}} := \frac{k_{\text{stab}} \cdot M_{\text{stab}}}{9.82 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 1.68 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Jordlagerhöjd kopplat till dränering

$$h_{t1} := h_1 = 5 \text{ m}$$

Tidsfaktor

$$T_{v,\text{stab}} := c_{v,\text{stab}} \cdot \frac{t}{h_{t1}^2} = \begin{pmatrix} 211.953 \\ 1.06 \times 10^3 \\ 2.12 \times 10^3 \\ 4.239 \times 10^3 \\ 1.06 \times 10^4 \end{pmatrix}$$

Stabiliserade jordlagret antas ha enkelsidig dränering med poröverttryck högst upp. Kurva C_2 bedöms mest representativ. Se informativ text längre ned.

$$U_1 := \begin{bmatrix} \text{if} \left[T_{v.stab_0} < 0.16, 1.2 \cdot \left(T_{v.stab_0} \right)^{\frac{3}{8}}, 1 - 0.6 \cdot e^{-2.6 \cdot T_{v.stab_0}} \right] \\ \text{if} \left[T_{v.stab_1} < 0.16, 1.2 \cdot \left(T_{v.stab_1} \right)^{\frac{3}{8}}, 1 - 0.6 \cdot e^{-2.6 \cdot T_{v.stab_1}} \right] \\ \text{if} \left[T_{v.stab_2} < 0.16, 1.2 \cdot \left(T_{v.stab_2} \right)^{\frac{3}{8}}, 1 - 0.6 \cdot e^{-2.6 \cdot T_{v.stab_2}} \right] \\ \text{if} \left[T_{v.stab_3} < 0.16, 1.2 \cdot \left(T_{v.stab_3} \right)^{\frac{3}{8}}, 1 - 0.6 \cdot e^{-2.6 \cdot T_{v.stab_3}} \right] \\ \text{if} \left[T_{v.stab_4} < 0.16, 1.2 \cdot \left(T_{v.stab_4} \right)^{\frac{3}{8}}, 1 - 0.6 \cdot e^{-2.6 \cdot T_{v.stab_4}} \right] \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Tidsberoende sättning

$$\delta_{t,1} := \delta_1 \cdot U_1 = \begin{pmatrix} 0.033 \\ 0.033 \\ 0.033 \\ 0.033 \\ 0.033 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Beräknade spänningar och sättningar i gyttjig lera

Beräkningsdjup

$$z_2 := \begin{pmatrix} h_1 + \frac{\Delta h_2}{2} \\ h_1 + \Delta h_2 + \frac{\Delta h_2}{2} \\ h_1 + 2 \cdot \Delta h_2 + \frac{\Delta h_2}{2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5.5 \\ 6.5 \\ 7.5 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Ursprunglig spänning

$$\sigma_{0,\text{prim}} := \gamma_{\text{prim}} \cdot z_2 = \begin{pmatrix} 27.5 \\ 32.5 \\ 37.5 \end{pmatrix} \cdot \text{kPa}$$

Vertikalspänning

Kriterium för val av metod

$$\sigma_{0,\text{prim}} + \Delta\sigma = \begin{pmatrix} 67.5 \\ 72.5 \\ 77.5 \end{pmatrix} \cdot \text{kPa}$$

$$\sigma_{c,\text{prim}} = 26 \cdot \text{kPa}$$

$$\sigma_{L,\text{prim}} = 37 \cdot \text{kPa}$$

Sättning i jordlager

$$\Delta\delta_2 := \Delta h_2 \cdot \left[\frac{\sigma_{c,\text{prim}} - \sigma_{0,\text{prim}}}{M_0} + \frac{\sigma_{L,\text{prim}} - \sigma_{c,\text{prim}}}{M_L} \dots \right] = \begin{pmatrix} 214.836 \\ 221.427 \\ 226.976 \end{pmatrix} \cdot \text{mm}$$

$$+ \frac{1}{M_{\text{prim}}} \cdot \ln \left[1 + (\sigma_{0,\text{prim}} + \Delta\sigma - \sigma_{L,\text{prim}}) \cdot \frac{M_{\text{prim}}}{M_L} \right]$$

Totalsättning i jordlager

$$\delta_2 := \Delta\delta_{2_0} + \Delta\delta_{2_1} + \Delta\delta_{2_2} = 0.663 \text{ m}$$

Tidsberoende i jordlager

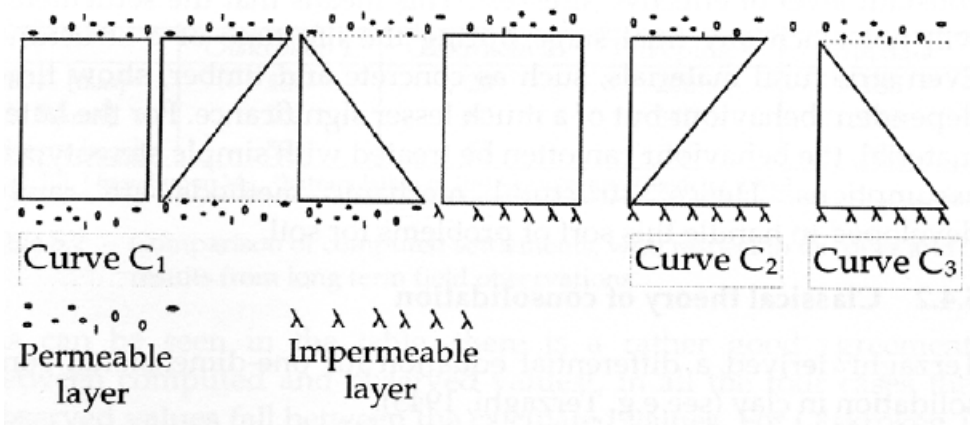
Jordlagerhöjd kopplat till dränering

$$h_{t2} := h_2 = 3 \text{ m}$$

Tidsfaktor

$$T_v := c_v \cdot \frac{t}{h_{t2}^2} = \begin{pmatrix} 0.013 \\ 0.067 \\ 0.133 \\ 0.266 \\ 0.666 \end{pmatrix}$$

Från *Krypsättningar i lera*. Meijer & Åberg. 2007. Chalmers.



$$U_{c1} = \begin{cases} 1,15 \cdot \sqrt{T_v} & \text{då } T_v < 0,2 \\ 1 - 0,8 \cdot e^{-2,5 T_v} & \text{då } T_v > 0,2 \end{cases} \quad (2.5)$$

$$U_{c2} = \begin{cases} 1,2 \cdot T_v^{3/8} & \text{då } T_v < 0,16 \\ 1 - 0,6 \cdot e^{-2,6 T_v} & \text{då } T_v > 0,16 \end{cases} \quad (2.6)$$

$$U_{c3} = \begin{cases} 2 \cdot T_v & \text{då } T_v < 0,1 \\ 1 - 1,05 \cdot e^{-2,6 T_v} & \text{då } T_v > 0,1 \end{cases} \quad (2.7)$$

Medelkonsolideringsgrad

Gyttjan antas ha enkelsidig dränering med poröverttryck högst upp. Kurva C₂ bedöms mest representativ.

B.12

$$U_2 := \begin{bmatrix} \text{if} \left[T_{V_0} < 0.16, 1.2 \cdot \left(T_{V_0} \right)^{\frac{3}{8}}, 1 - 0.6 \cdot e^{-2.6 \cdot T_{V_0}} \right] \\ \text{if} \left[T_{V_1} < 0.16, 1.2 \cdot \left(T_{V_1} \right)^{\frac{3}{8}}, 1 - 0.6 \cdot e^{-2.6 \cdot T_{V_1}} \right] \\ \text{if} \left[T_{V_2} < 0.16, 1.2 \cdot \left(T_{V_2} \right)^{\frac{3}{8}}, 1 - 0.6 \cdot e^{-2.6 \cdot T_{V_2}} \right] \\ \text{if} \left[T_{V_3} < 0.16, 1.2 \cdot \left(T_{V_3} \right)^{\frac{3}{8}}, 1 - 0.6 \cdot e^{-2.6 \cdot T_{V_3}} \right] \\ \text{if} \left[T_{V_4} < 0.16, 1.2 \cdot \left(T_{V_4} \right)^{\frac{3}{8}}, 1 - 0.6 \cdot e^{-2.6 \cdot T_{V_4}} \right] \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 0.238 \\ 0.434 \\ 0.563 \\ 0.7 \\ 0.894 \end{pmatrix}$$

Tidsberoende sättning

$$\delta_{t,2} := \delta_2 \cdot U_2 = \begin{pmatrix} 0.158 \\ 0.288 \\ 0.374 \\ 0.464 \\ 0.593 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Sammanställning totalsättning och sättning över tid

Totalsättning

$$\delta_{\text{w}} := \delta_1 + \delta_2 = 0.697 \text{ m}$$

Tidsberoende sättning

$$\delta_t := \delta_{t,1} + \delta_{t,2} = \begin{pmatrix} 0.191 \\ 0.321 \\ 0.407 \\ 0.497 \\ 0.626 \end{pmatrix} \text{ m} \quad \begin{aligned} \delta_1 &= 0.033 \text{ m} \\ \delta_2 &= 0.663 \text{ m} \end{aligned}$$

Sättningsberäkning Alternativ 3, Midsommarplatsen, Norrtälje Hamn

B.13

Beräkning av sättning i ett jordlager kohesionsjord.

Indata - fyllning

Fyllningen betraktas som en överlast. Sättningar i fyllnasmaterialet försummas.
Sättningsberäkning antas gälla för en generell punkt i mitten av Midsommarplatsen.
Ingen lastspridning antas. Fyllningen antas vara ovanför vattennivå.

Fyllningshöjd

$$h_0 := 2\text{m}$$

Tunghet fyllning - antaget generellt värde

$$\gamma_{\text{fyll}} := 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Överlast/Tillkommande spänning

$$\Delta\sigma := h_0 \cdot \gamma_{\text{fyll}} = 40 \cdot \text{kPa}$$

Indata - KC-stabiliserad gyttjig lera

Antagna materialparametrar från SD Rapport 17; kap. 4, TK Geo 13 & TR Geo 13. Pelarna antas placerade i ett kvadratisk mönster.

Diameter pelare

$$d := 600\text{mm}$$

Avstånd pelare

$$cc := 1\text{m}$$

Tvärsnittsarea pelare

$$A := \frac{d^2}{4} \cdot \pi = 0.283 \text{ m}^2$$

Täckningsgrad

$$a := \frac{A}{cc^2} = 0.283$$

Jordlagerhöjd

$$h := 8\text{m}$$

Skiktindelning - antal

$$n := 8$$

Höjd skikt

$$\Delta h := \frac{h}{n} = 1 \text{ m}$$

Odränerad skjuvhållfasthet

B.14

$$C_{uk, pel} := 100 \text{ kPa}$$

Kritisk odränerad skjuvhållfasthet

$$C_{krit} := 150 \text{ kPa}$$

Tryckhållfasthet

$$q_{uk, pel} := 2 \cdot C_{uk, pel} = 200 \cdot \text{kPa}$$

Kryphållfasthet

$$\sigma_{kryp, pel} := 0.725 \cdot q_{uk, pel} = 145 \cdot \text{kPa}$$

Elasticitetsmodul pelare

$$E_{pel} := 13 \cdot \left(\frac{C_{krit}}{\text{kPa}} \right)^{1.6} \text{ kPa} = 3.942 \times 10^4 \cdot \text{kPa}$$

Indata - gyttjig lera

Indata för sättningsegenskaper hämtas från CRS-försök för borrhål BG101, djup 6 m.
Datan presenteras i MUR Norrtälje Hamn. 2013. Bjerking.

Tunghet lera

$$\gamma := 15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Effektiv tunghet lera

$$\gamma_{prim} := 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Sättnings- och spänningsparametrar

$$\sigma_{c, prim} := 26 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{L, prim} := 37 \text{ kPa}$$

$$M_0 := 1500 \text{ kPa}$$

$$M_L := 115 \text{ kPa}$$

$$M_{prim} := 11.8$$

Permeabilitet

$$k_{jord} := 5.5 \cdot 10^{-10} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Konsolideringskoefficient

$$c_v := 3.8 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Beräknade spänningar och sättningar i KC-pelarförstärkt jordlager

B.15

Total belastning

$$q_{\text{tot}} := \Delta\sigma = 40 \cdot \text{kPa}$$

Belastning pelare

$$q_{\text{k.pelare}} := 129 \text{ kPa}$$

Regleras tills sättning i pelare och lera är lika stor. Får inte överskrida pelarens kryphållfasthet.

$$\sigma_{\text{kryp.pel}} = 145 \cdot \text{kPa}$$

Belastning jord

$$q_{\text{k.jord}} := \frac{q_{\text{tot}} - q_{\text{k.pelare}} \cdot a}{1 - a} = 4.916 \cdot \text{kPa}$$

Sättning i pelare

$$\delta_{\text{pelare}} := h \cdot \frac{q_{\text{k.pelare}}}{E_{\text{pel}}} = 26.181 \cdot \text{mm}$$

Sättning i jordlager

$$\delta_{\text{jord}} := h \cdot \frac{q_{\text{k.jord}}}{M_0} = 26.219 \cdot \text{mm}$$

Totalsättning

$$\delta_{\text{ww}} := \delta_{\text{pelare}} = 0.026 \text{ m}$$

Tidsberoende i jordlager

Konsolideringsgraden beräknas enligt TR Geo 13.

Konsolideringsgraden, U, tecknas:

$$U = 1 - \exp\left[\frac{-2c_{vh} \cdot t}{R^2 \cdot f(n)}\right] \quad 13.1-12$$

c_{vh} är konsolideringskoefficient vid horisontell strömning i oförstärkt jord. c_{vh} kan normalt antas vara lika med $2 \cdot c_{vv}$.

t är konsolideringstid.

R är pelares influensradie.

För pelare installerade i kvadratisk eller triangulärt mönster får influensradien, R , sättas till $0,55 \cdot cc_{pel}$.

Faktorn, $f(n)$, beräknas enligt:

$$f(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \cdot \left[\ln(n) - 0,75 + \frac{1}{n^2} \cdot \left(1 - \frac{1}{4n^2} \right) \right] + \left[\frac{n^2 - 1}{n^2} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \frac{k_{jord}}{k_{pel}} \cdot L_{pel}^2 \right] \quad 13.1-13$$

$n = R/r$

r är pelarnas radie.

L_{pel} ansätts som halva längden vid dubbelsidig dränering.

Beräkningen ger erfarenhetsmässigt acceptabel överensstämmelse vid 80 å 90 % konsolidering. Vid lägre konsolideringsgrad erhålls normalt en underskattning av sättningarna.

$$R := 0,55 \cdot cc = 0,55 \text{ m}$$

B.16

$$r := \frac{d}{2}$$

$$n := \frac{R}{r} = 1,833$$

$$k_{pel} := 500k_{jord} = 2,75 \times 10^{-7} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$L_{pel} := h = 8 \text{ m}$$

$$f_n := \frac{n^2}{n^2 - 1} \cdot \left[\ln(n) - 0,75 + \frac{1}{n^2} \cdot \left(1 - \frac{1}{4 \cdot n^2} \right) \right] + \left(\frac{n^2 - 1}{n^2} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \frac{k_{jord}}{k_{pel}} \cdot L_{pel}^2 \right) = 1,186$$

$$c_{vh} := 2 \cdot c_v = 7,6 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$U := \begin{bmatrix} 1 - \exp\left[\frac{-2 \cdot c_{vh} \cdot (0.5 \cdot 365 \times 24 \cdot 3600s)}{R^2 \cdot f_n}\right] \\ 1 - \exp\left[\frac{-2 \cdot c_{vh} \cdot (1 \cdot 365 \times 24 \cdot 3600s)}{R^2 \cdot f_n}\right] \\ 1 - \exp\left[\frac{-2 \cdot c_{vh} \cdot (2 \cdot 365 \times 24 \cdot 3600s)}{R^2 \cdot f_n}\right] \\ 1 - \exp\left[\frac{-2 \cdot c_{vh} \cdot (5 \cdot 365 \times 24 \cdot 3600s)}{R^2 \cdot f_n}\right] \\ 1 - \exp\left[\frac{-2 \cdot c_{vh} \cdot (10 \cdot 365 \times 24 \cdot 3600s)}{R^2 \cdot f_n}\right] \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 0.487 \\ 0.737 \\ 0.931 \\ 0.999 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{B.17}$$

Sättning m.a.p tid.

$$\delta_t := U \cdot \delta = \begin{pmatrix} 0.013 \\ 0.019 \\ 0.024 \\ 0.026 \\ 0.026 \end{pmatrix} \text{ m}$$