

Handläggare
Ingvar Larsson
Tel
+46 10-505 47 66
E-post
ingvar.larsson@afry.com

Datum
2024-10-25
Uppdragsnummer
D9038958
Dokumentnummer

Lundbykajen, kajplats 123 i Göteborg

Utredning gällande rivningsalternativ för Lundbykajens inre del

Ingvar Larsson
Konstruktionsansvarig

Dag Linghoff
Granskning

Rev.	Avser	Datum	Sign.
0	Koncept för granskning	2024-09-26	
	Utgiven rapport	2024-10-25	
1	Revidering geoteknik	2024-11-08	

Innehållsförteckning

1	Allmänt.....	5
1.1	Befintliga konstruktioner	5
1.2	Befintliga konstruktioners tillstånd	11
2	Förutsättningar	12
2.1	Regelverk.....	13
3	Beräkningsmodell	13
3.1	Konstruktionsberäkningar	14
4	Beräkningsunderlag	14
4.1	Material	14
4.1.1	Betong	14
5	Grundläggning	15
6	Säkerhetsklasser, laster och lastkombinationer	15
6.1	Säkerhetsklasser	15
6.2	Laster	15
6.2.1	Egentyngd	15
6.2.2	Beläggning.....	15
6.2.3	Överfyllnad/ballast på kajdäck.....	15
6.2.4	Trafiklast	16
6.3	Lastkombinationer	18
7	Kontrollberäkningar vid rivningsarbete av betongkonstruktioner	19
7.1	Grävmaskin	19
7.2	Ursprunglig lasteffekt	20
7.3	Bärighet i kajdäcket, utnyttjandegrad.....	23
8	Kontrollberäkningar av pålar och påldäck.....	25
8.1	Kontroll av pålar under kajdäck.....	25
8.2	Kontroll av pålat trädäck	27
8.2.1	Laster	27
	Beläggning	28
	Förstärkningslager	28
	Lera 28	
8.2.2	Bärighet	29
9	Genomförandebeskrivning av rivningsarbetet	30
9.1	Stabilitet i byggskedet	31
9.2	Genomförande av rivningsarbetet	32
10	Utredningsresultat	37

Bilagor

Bilaga 1 – Beräkning kontroll av bef. träpålar för kaj

Bilaga 2 – PM gällande sammanställning av bakomliggande pålat trädäck till kajen

Bilaga 3 - Kontroll pålat trädäck, trästockar

Sammanfattning

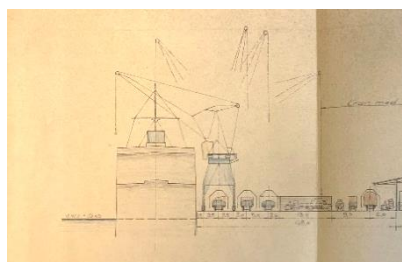
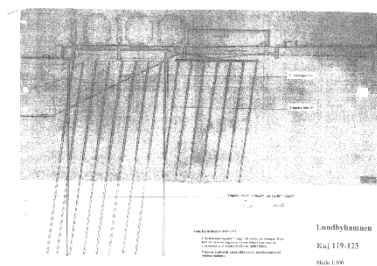
Allmänt

Lundbykajen byggdes 1947 - 1952 och är en totalt 615 m lång och 16 m bred betongkaj som är grundlagd på kohesionspålar i trä.

Kajen är utformad med tre längsgående balkar och anslutande tvärbalkar med centrumavstånd på ca 2,6 m. Träpålarna är placerade under respektive tvärbalk med centrumavstånd ca 2,0 m.

Ovan kajdäcket finns ca 0,6 ballastfyllning för de ursprungliga tre järnvägsspåren, varav de två yttersta helt belastade kajkonstruktionen, se figur 0-1.

Kajen har rörelsefogar var 50:e meter. Innanför kajen finns en upplagsyta med underliggande pålat trädäck (rustbädd) som ursprungligen dimensionerades för ytlast 2 ton/m². Inspektion har visat att påldäcket är i bra skick utan röta.



Figur 0-1. Sektioner visande kaj och angränsande pålat trädäck (upplagsyta).

Kajen har trafikerats av tre järnvägsspår. Enligt tidigare observationer från Göteborgs Hamn kan större skador finnas där det tidigare har varit växlar för järnvägsspåren p.g.a. saltning. Detta område kan finnas mellan mittspår och det inre spåret på en sträcka av cirka 30 m från kajens norra kant.

Generellt har antagits att ursprunglig bärförmåga för betongkonstruktionerna är nedsatt med 25 %. Avseende träpålar så har hänsyn tagits till skadedjup på 20 mm runt om som framkommit vid dykarinspektioner.

Rivningsmetod

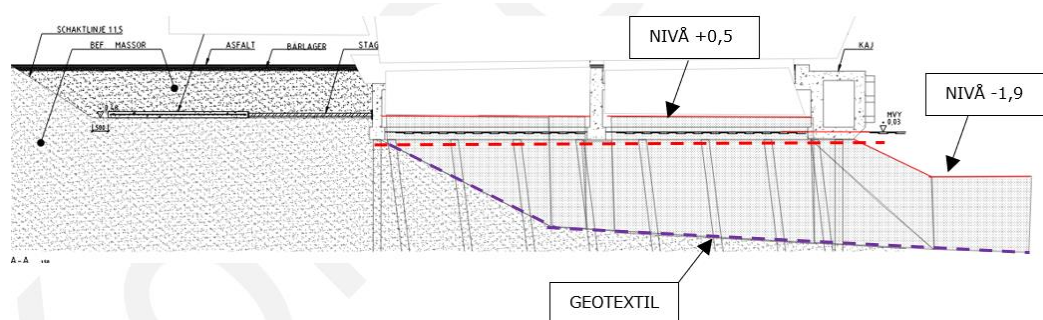
Inledningsvis före rivningsarbetet av kajen skall en tryckbank på geotextil utläggas till nivå -1,9 utanför kajen och till nivå -3,0 under kajen m h t totalstabilitet för stora glidytor. Under kajen kan tryckbanken utföras av inspolad sand med fraktion 3-6.

Särskilda restriktioner gäller för belastning av upplag eller maskiner på mark bakom pålat trädäck (rustbädd) och vid utläggning av tryckbank under befintligt kajdäck som inte skall rivas, se krav i PM Geoteknik.

Rivningsmetod 4) enligt utredning föreslås: Kombinerat alternativ med rivning och utläggning tryckbank.

Rivningen utförs i följande steg:

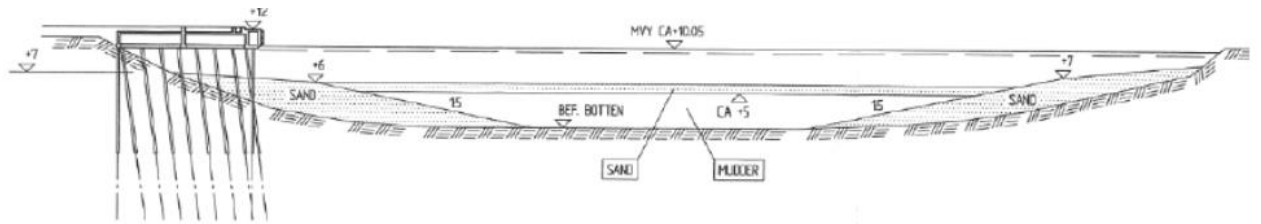
- 1) Bortschaktning av ballastfyllning. Successiv skadebesiktning av kajdäckets frischaktade betongyta.
- 2) Rivning av kajdäcket från söder mot norr. Tvär- och längsbalkar rivs inte.
- 3) Tryckbank utläggs från angränsade markyta med pålat trädäck ("upplagsytan") och pråm från nivå -3,0 m (sandfyllnad) till nivå +0,5 m över hela kajlängden, se figur 0-2, samt även söder om rivet kajdäck enligt PM Geoteknik.
- 4) Kulvert-, kran- och tvärbalkar nedbilas/krossas till nivå undersida längs- och tvärbalkar varvid maskiner står på utlagd tryckbank mellan längsgående betongbalkar. Pålar kapas på nivå -1,0 m.
- 5) Tryckbanken uppfylls till slutliga nivåer när samtliga balkar är nedbilade/krossade och pålar kapade.



Figur 0-2. Sektion.

Begränsningar

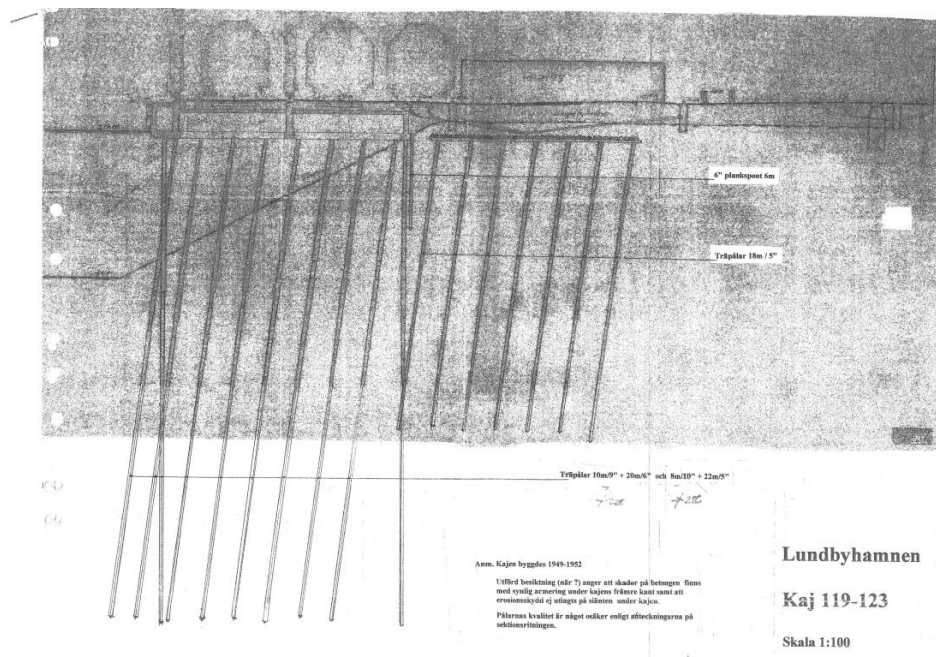
- Larvburen grävmaskin med maximal vikt 24 ton som belastar befintlig kajdäck.
- Larvburen grävmaskin med maximal vikt 35 ton inklusive last som belastar utlagd tryckbank inom kajen.
- Lastbil (bakre boggi treaxlad) med max totalvikt inkl last av 26 ton som belastar kajdäcket och den pålade upplagsytan. Minsta fria avstånd mellan grävmaskinens larver och hjulaxel på lastbil 5,2 m.
- Upplagsytan med pålat trädäck (upplagsytan) belastas med max utbredd last 1,65 ton/m². Erforderlig lastspridning utförs med stockmattor.
- Mark bakom pålat trädäck får inte belastas före uppfyllnad till nivå -1,7 m i området som begränsas av kajdäcket.
- Särskilda restriktioner gäller för belastning norr om kajdäcket enligt PM geoteknik.
- Särskilda restriktioner gäller söder om rivet kajdäck vid utläggning av fyllning upp till nivå +0,5.



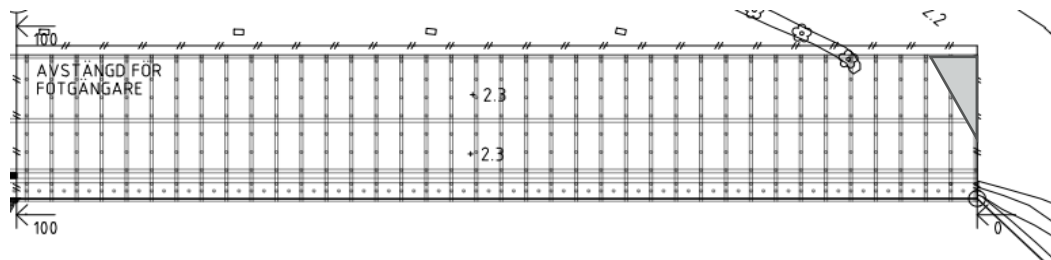
Figur 1-2 Sektion. Bild Ramboll Sverige AB. Dock enligt Ramboll tveksamt om tryckbanken består av sand. Fyllnaden kan i stället vara muddermassor med sand som påfyllnad.



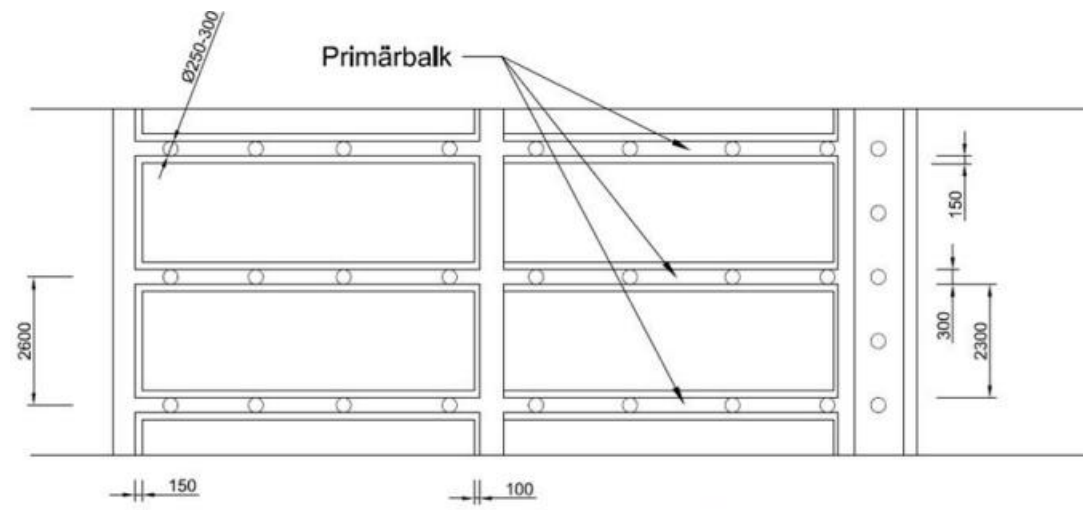
Figur 1-3 Sektion. Bild Google Maps. Spårlägen syns delvis på bilden



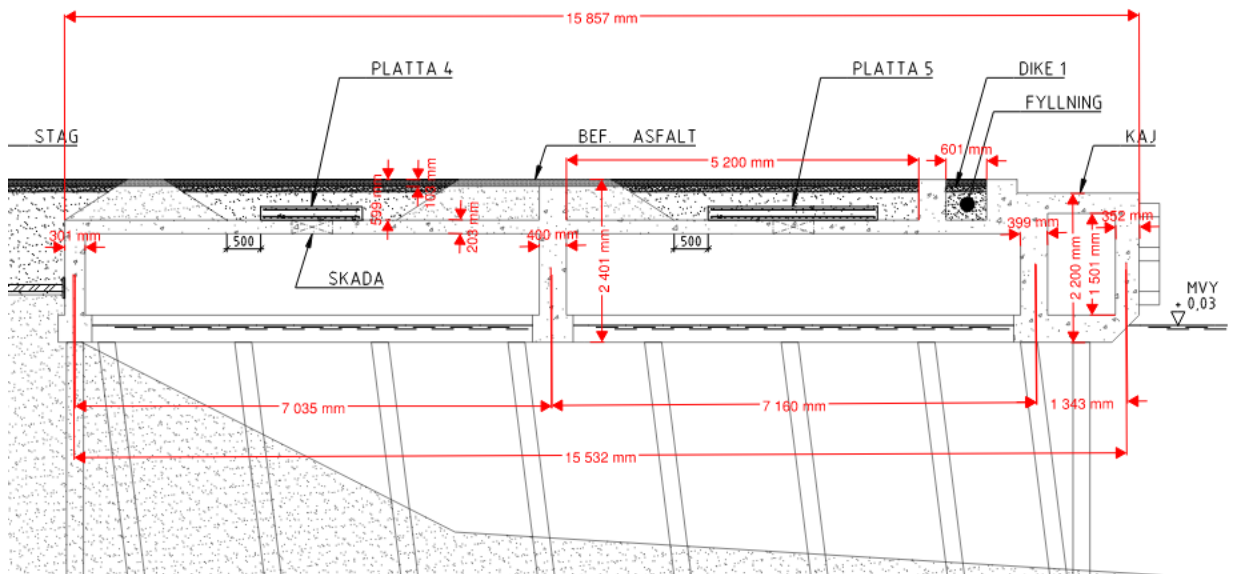
Figur 1-4 Ursprunglig sektion. Bild VBK.



Figur 1-5 Plan visande inre del av Lundbykajen (norra delen). Fasning av kajdäcket i nordväst visas i planen som gråmarkerad yta. Bild Port -Engineering



Figur 1-6 Detaljplan med mått från dykinspektion. Bild UNDER YTAN.



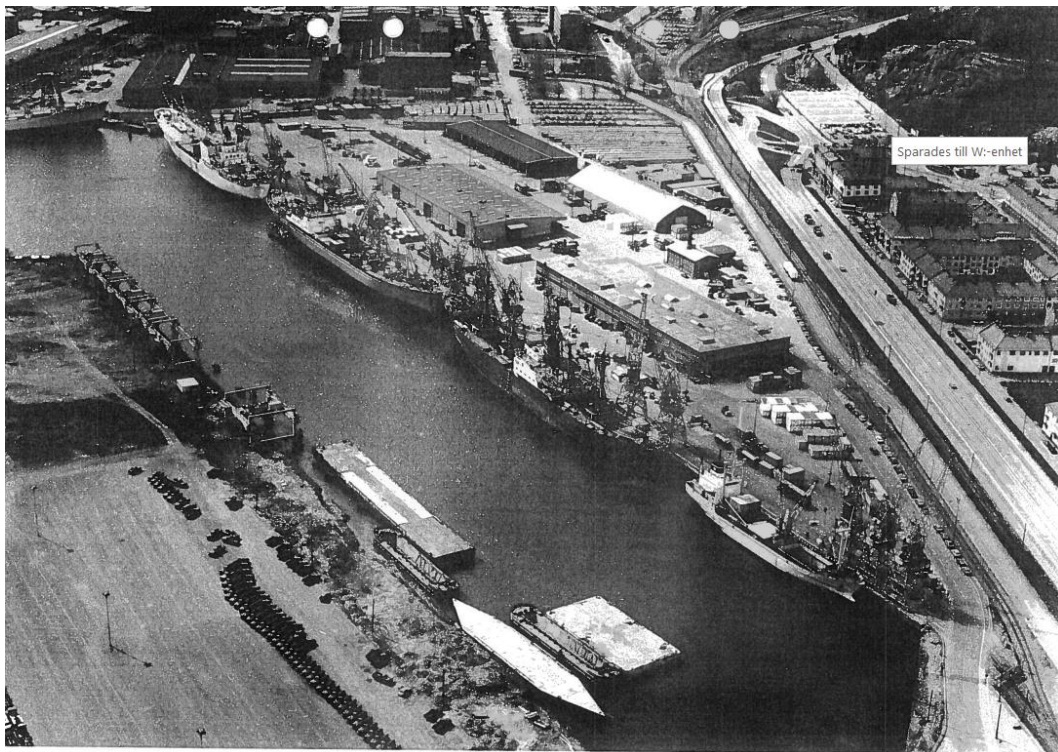
Figur 1-7 Sektion med uppmätta mått från ritning. Bild Port -Engineering



Figur 1-8 Provgrop för verifiering av ballastdjup



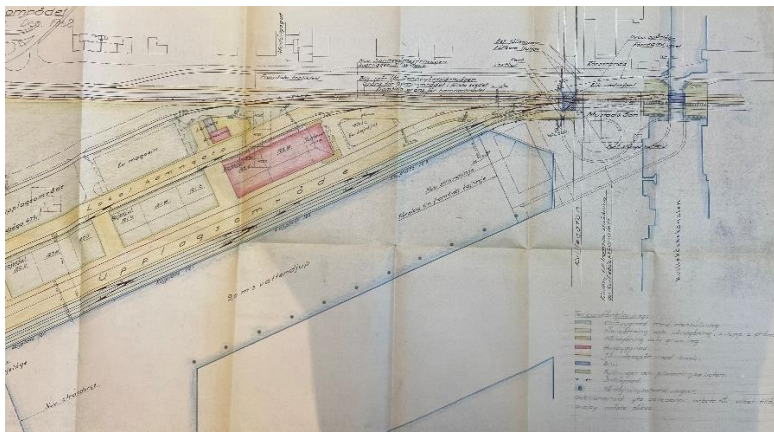
Figur 1-9 Exempel på rörelsefog i kulvert. Bild UNDER YTAN.



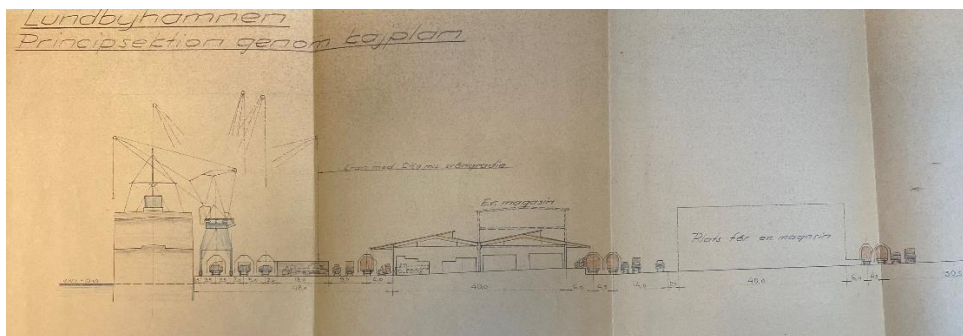
Figur 1-10 Bild "Utbyggnad av Göteborgs hamn under åren 1962-1987"



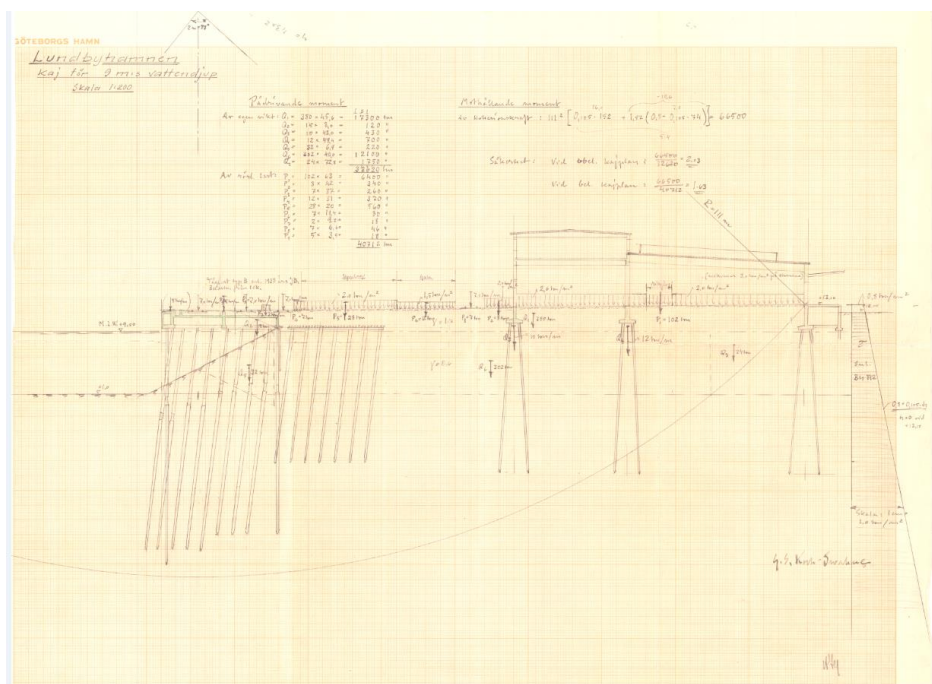
Figur 1-11 Detalj som förefaller visa containeruppställning över påldäcket. Bild "Utbyggnad av Göteborgs hamn under åren 1962-1987"



Figur 1-12 Ursprungligt planerad hamnanläggning med spårlägen och växlar. Bild från Regionarkivet i Göteborg, Hamnens mapp om Lundbykajen.



Figur 1-13 Tvärsnitt av ursprungligt planerad hamnanläggning. Bild från Regionarkivet i Göteborg, Hamnens mapp om Lundbykajen.



Figur 1-14 Stabilitetsberäkning med laster. Bild från Regionarkivet i Göteborg, Hamnens mapp om Lundbykajen.

1.2 Befintliga konstruktioners tillstånd

En inspektion har utförts av "Under Ytan Dyk & Inspektion" redovisad i rapport daterad 2015-06-17 rev. 2015-06-26. Inspektionerna utfördes var 25:e meter vilket innebär att fyra inspektioner utfördes i den del som nu är aktuell att rivas.

Pålar

Pålarna i den inre delen av kajen är något mjuka med upp till 20 mm inträngning. Inga synliga hål av skeppsmask (borrmussla) har noterats. Angående tillståndet på den del av pålarna som nu är täckt av befintlig tryckbank, delen mellan cirka nivå -4,0 till nivå -9,0 så kan det dock inte uteslutas skador av skeppsmask. Pålar i den södra delen av Lundbykajen har tydliga angrepp av skeppsmask.

Betongbalkar och kajdäck

Generellt anges mindre korrosionsskador in den norra delen av kajen jämfört med södra samt även generellt på utsidor mot öster jämfört med insidor mot väster.

Tvärbalkarna är generellt vittrade från underkant och cirka 0,4 upp på sidorna.

En likartad skadebild förekommer på kulverten vad gäller vittring.

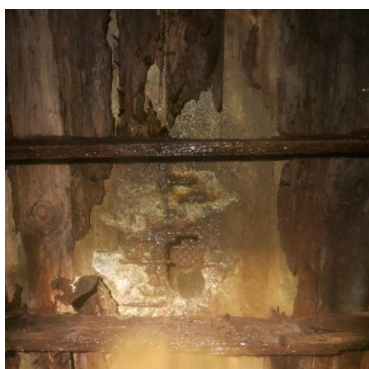
Kranbalkar har generellt mindre skador.

Enligt tidigare observationer från Göteborgs Hamn kan större skador finnas där det tidigare har varit växlar för järnvägsspåren p.g.a. saltning. *Detta område kan finnas mellan mittspår och det inre spåret på en sträcka av cirka 30 m från kajens norra kant.*

Den aktuella sträckan av kajdäcket har varit svår att inspektera p g a kvarsittande formvirke. Vid inspektion av Lundbykajens södra delar har begränsade skador upptäckts på de områden som inspekterats (var 25:e meter) med armeringskorrosion enligt följande från norr:

Längdmeter 50: 0,21 m² vidhäftningsförlust 100 %

Längdmeter 75: 0,25 m² vidhäftningsförlust 100 %



Figur 1-15 Skada vid längdmeter 75 och kvarsittande form.

Sammanfattningsvis **antages** följande för denna utredning:

- Tvärbalkars armering reduceras med 25 %. Bedömning görs utifrån att 100 % avrostning förekommer av vertikal bygelarmering (benämnd sprickarmering i rapport). Utifrån detta bör även momentarmering vara skadad.
- Längsgående balkar (ytter, mitt- och innerbalkar) har reducerats 10 %
- Kajdäckets armering i över och underkant reduceras med 25 %. Bedömning utifrån att södra delen har areaförluster upp till 50 % samt att stora delar av aktuellt rivningsområde inte har varit synligt p g a kvarsittande formvirke.

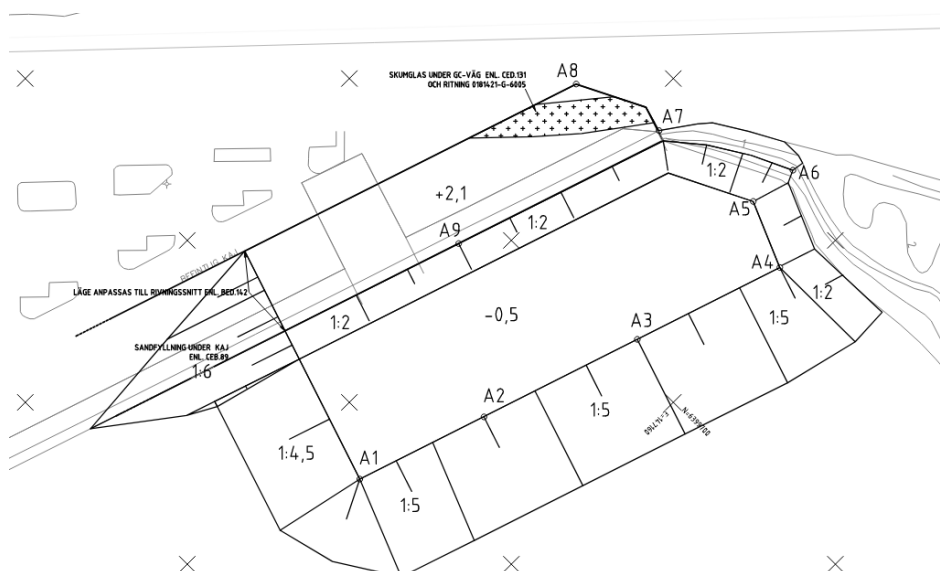
2 Förutsättningar

Granskning internt sker genom egenkontroll och granskning av konstruktionsansvarig utsedd person. Beräkningskontroller dokumenteras.

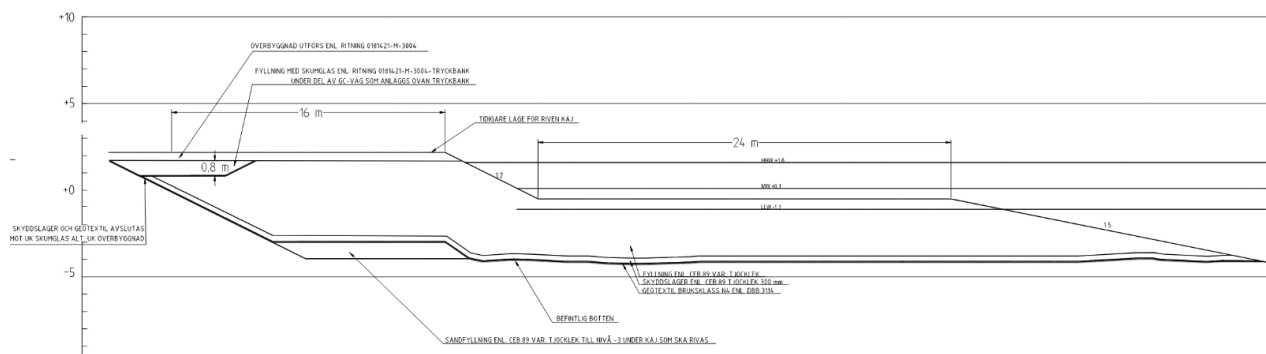
Startmötet har hållits 2024-06-27 med deltagande av Olle Andersson, David Palmqvist och Mikael Andersson, Göteborgs Stad Exploateringsförvaltningen Stora Projekt.

Vid mötet noterades följande:

- Rivningsområdet utgör cirka 80 m kajkonstruktion
- Utfyllnad skall utföras i området för befintlig kaj samt i närliggande vattenområde, se figur 2-1. Stabilitetsberäkningar har utförts av Ramboll Sverige AB, Beställarens geotekniska expertis är Leif Jendeby, COWI. AFRY utför inga geotekniska stabilitetskontroller i detta uppdrag.
- Den del av utfyllnad som är befintlig under kajen upp till nivå -4.0 utgörs av lösa massor
- Miljödom för arbeten förväntas under hösten. Göteborgs Stad har översiktligt beskrivet alternativa rivningsmetoder, antingen rivning från vattnet alternativt från land.
- AFRY utreder olika rivningsalternativ samt även metod med succesiv utläggning av tryckbank.
- AFRY ger en delredovisning första veckan i september och slutredovisning senast 30 september.



Figur 2-1. Plan. Tryckbankens planerade utbyggnad



Figur 2-2. Sektion. Tryckbankens planerade utbyggnad.

2.1 Regelverk

Beräkningen utförs enligt:

- TRVINFRA-00331 Bro och broliknande konstruktion, Bärighetsberäkning
- SS-EN 1992 - 1997
- TSFS 2018:57

3 Beräkningsmodell

Följande beräkningsprogram kommer användas för bärighetsberäkningen:

- SBBalk, statikprogram
- Excel för beräkning av kapaciteter och kontroller
- Matchad Prime för kapacitetskontroll

Kontrollerna för hur rivningen kan genomföras utförs i flera beräkningssteg enligt nedan:

- 1 Lasteffekten tas fram för befintlig ballastfyllning med karaktäristiska laster.
- 2 En lasteffektjämförelse utförs mellan befintlig ballastfyllning och en grävmaskin på 33 ton inklusive last. Kontrollen utförs med karaktäristiska laster.
Dynamiskt tillskott läggs på grävmaskinen.
- 3 En lasteffektjämförelse utförs mellan befintlig ballastfyllning + tidigare dimensionerande tåglaster och en grävmaskin på 33 ton inklusive last. Kontrollen utförs med karaktäristiska laster.
Dynamiskt tillskott läggs på grävmaskinen.
- 4 Betongtvärsnittet kontrolleras för 33 tons grävmaskin i brottstadiet, ULS.

Pålarna kommer kontrolleras utifrån beräknad bärförmåga m h t inspekterade skador.

3.1 Konstruktionsberäkningar

För verifiering av konstruktionens bärförmåga upprättas konstruktionsberäkningar.

Följande rivningssekvenser anses behöva verifieras:

- Borttagen beläggning
- Delvis borttagen betongfarbana
- Kontroll träpålar mht skador
- Belastning av "trafiklaster" i rivningsskedet

Verifieringarna utförs på följande sätt m h t att armeringsritningar delvis saknas:

- "Förenklad bärighetsberäkning": Aktuella lasteffekter jämförs mot lasteffekter för rådande förhållanden före rivning.

Utifrån att ursprungliga beräkningar utförts i huvudspänningsriktning används inte finita elementprogram.

4 Beräkningsunderlag

Ritningar på befintlig konstruktion finns inte inlagda i BaTMan.

Eftersom byggnadsåren för kajen anges till 1947 till 1952 borde 1947 års Provisoriska föreskrifter för belastningar och tillåtna påkänningar mm för konstruktioner till Väg- och Gatubroar gälla.

För järnvägsbroar tillämpas Järnbestämmelser 1938, Normalbestämmelser för järnkonstruktioner, SOU 1938:37.

Ursprungliga beräkningarna utfördes där säkerheter lades på materialen "tillåtna spänningar". **Därmed beräknas vid lastjämförelser endast laster utan lastkoefficienter, karakteristiska laster används för kontroll av betongkonstruktioner i kajen!**

Bärighetsberäkningen utförs med antagna förutsättningar enligt kapitel 2.

4.1 Material

4.1.1 Betong

Kajdäck

TDOK 2013:0267 Krav Bärighetsberäkning av broar v. 7.0: 1.3.2.1.7 Broar enligt vägtrafiklastbestämmelser 1947 – 1960 eller järnvägstrafiklastbestämmelser 1944 – 1960

Vi antar i denna utredning ursprunglig betongkvalitet till K300.

Betongkvalitet BTG I, STD, K300 T vilket motsvarar K30 i tabell 1-5. Betongkvaliteter korrigeras enligt TDOK 2013:0267, avsnitt 1.3.2.1.2 1-1¹.

¹ Justering enligt formel (1-1) är framtagen för fck, formeln måste anpassas för att passa till fctk. "-2" tar hänsyn till justering från 10-percentilen till 5-percentilen. För att gälla för fctk reduceras "-2" med kvoten mellan fck och fctk (fctk/fck).

$$f_{ck} = 1,15 * 21,5 - 2 = 22,73 \text{ MPa} \quad \text{TDOK 2013:0267, Tabell 1-5}$$

$$f_{ctk} = 1,15 * 1,60 - 2 * \frac{1,60}{21,5} = 1,69 \text{ MPa} \quad \text{TDOK 2013:0267, Tabell 1-5}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{22,73}{1,5} = 15,2 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} = \frac{1,69}{1,5} = 1,13 \text{ MPa}$$

5 Grundläggning

Kajen är grundlagd på kohesionspålar i trä, omkringliggande jord är lera förutom tryckbanksfyllning i ett övre lager med varierande höjd. Utformning av pålgrupper kan ses i figur 1-4.

Pålars kapacitet beräknas enligt Pålkommisionen samt IEG-Rapport 8:2008, del 1-1 enligt bilaga 1.

6 Säkerhetsklasser, laster och lastkombinationer

Detta kapitel gäller vid kontrollberäkning av träpålar

6.1 Säkerhetsklasser

Säkerhetsklass 3 för kajdäck

Säkerhetsklass 2 för pålat trädäck (påldäck), $\gamma_d = 0,91$

6.2 Laster

6.2.1 Egentyngd

$$\gamma_{et} = 24 \text{ kN/m}^3 \quad \text{Tunghet betong, TDOK 2013:0267, 2.2.1}$$

6.2.2 Beläggning

Total tjocklek på befintlig beläggning antages till 100mm.

$$\gamma_{bet} = 22 \text{ kN/m}^3 \quad \text{Tunghet beläggning, TDOK 2013:0267, 2.2.2.1}$$

6.2.3 Överfyllnad/ballast på kajdäck

Eftersom materialet inte är känt antas det vara motsvarande sand enligt 2.2.3.2.

Tabell 2-2 i TDOK 2013:0267:

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

Pålarna är kohesionspålar. Jordparametrar hämtas från geotekniska undersökningar som har gjorts i området och som redovisas i PM Geoteknik.

6.2.4 Trafiklast

6.2.4.1 Ursprungliga trafiklast

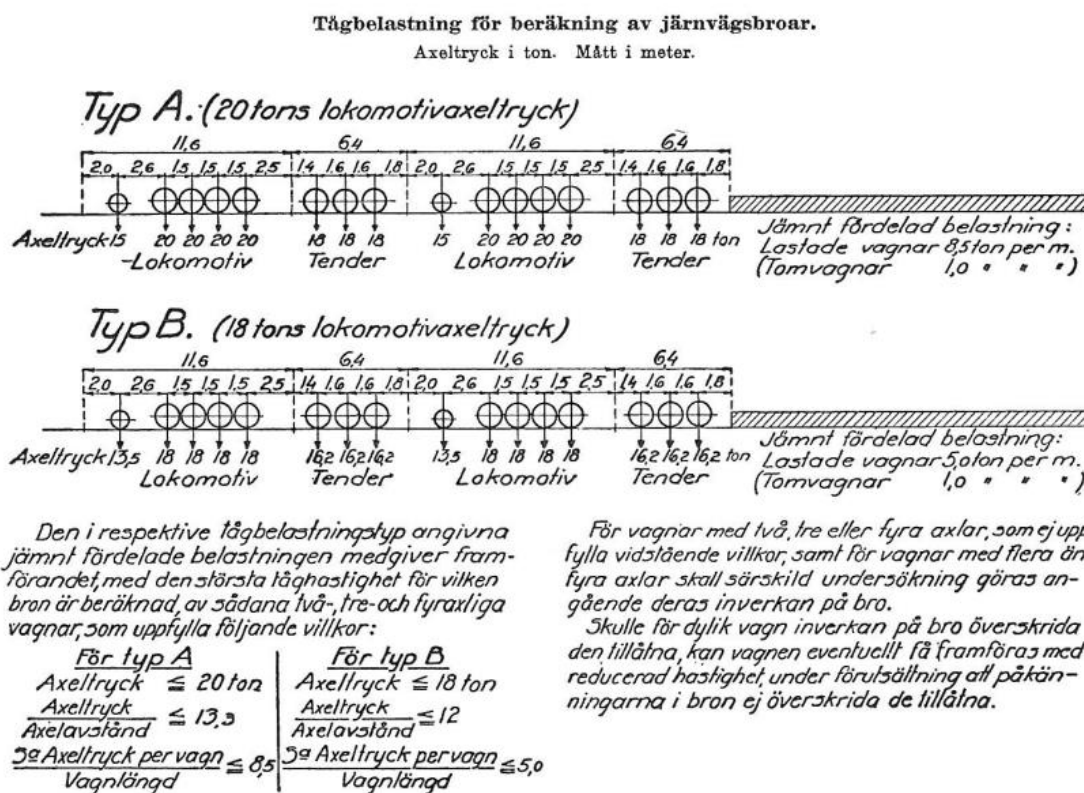
Enligt Konstruktörsutlåtande från VBK, 2018-03-21 Leif Gustafson anges "Kajen är ursprungligen dimensionerad för portalkran samt last från tre parallella järnvägsspår. För liknande kaj i Lindholmshamnen räknas portalkranen med 12 m spännvidd ha hjultryck om 100 kN/m.

Tågbelastning räknas där med att det antages att ett lok med 180 kN axeltryck står på ett spår samtidigt som vagnslasten med 50 kN/m gäller övriga spår"

Denna förutsättning stämmer väl med vad som visas i figur 1-4 och 1-14.

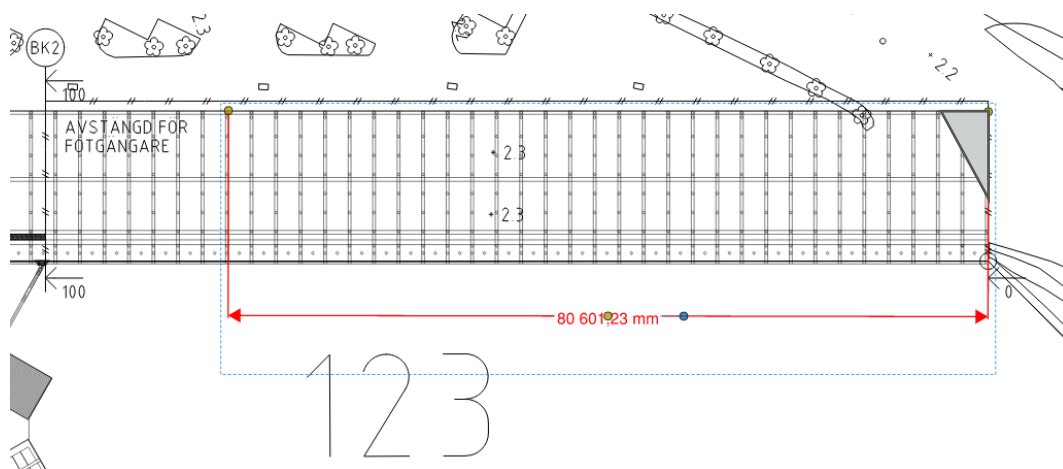
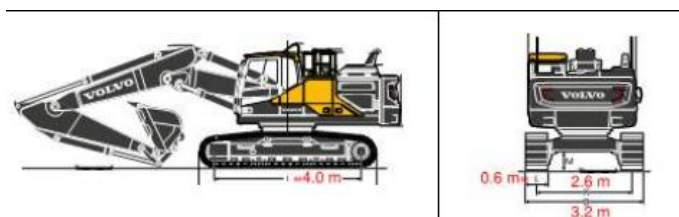
Verifiering av lastantagandet gällande tåglaster

Följande figur är tagen från Järnbestämmelser 1938, Normalbestämmelser för järnkonstruktioner, SOU 1938:37. Där anges att normalt skall järnvägsbroar räknas för last typ B.



Vi utläser av typ B att loklasten är totalt $4 \times 18 \text{ ton} + 13.5 \text{ ton} = 85.5 \text{ ton}$ samt vagnslasten 5 ton/m. Loklasten ger utbredd last 12 ton/m exklusive dynamiskt tillskott.

6.2.4.2 Kajdäck

**Grävmaskin 33 ton**

Grävmaskin inkl. last/"grävkrafter" 33 ton

Ungefärliga mått:

Larvbredd	0,6 m
c/c larver	2,6
Larvlängd	4,0 m
Totalvikt inkl. last	33 ton

Last:

Vid jämn fördelning av grävmaskinens last erhålls trycket under en larv $330 \text{ kN} / (2 \cdot 0,6 \text{ m} \cdot 4 \text{ m}) = 69 \text{ kPa}$.

Dock finns en förskjutning av tyngdpunkten vid grävarbetet.

Grävmaskinens totala tyngd antas excentrisk motsvarande 75 % av tippmomentet i tvärlid $e = 0,75 \cdot 2,6 / 2 = 1 \text{ m}$. En meters excentricitet antas därmed både i längs och tvärlid. Detta ger

- i längsled larvtryck $330 / (2 \cdot 0,6 \cdot (4/2 - 1) \cdot 2) = 138 \text{ kPa}$
- i tvärlid $2,3 / 2,6 = 88 \%$ av tyngden på en larv, larvtryck $0,88 \cdot 330 / (0,6 \cdot 4) = 121 \text{ kPa}$

Dynamiskt tillskott sätts till 10 %.

6.3 Lastkombinationer

Aktuella lastkombinationer är A, B:a och B:c enligt TRVINFRA-00331.

Tabell 14-1 Lastkoefficienter för respektive lastkombination ψ

Laster	Lastkombination		
	A	B:a	B:b
<u>Permanenta laster</u>			
Egentyngd (8.2.1)	1,2	1	1
Beläggning (8.2.2.1)	1,2	1	1
Överfyllnad (8.2.2.2)	1,2	1	1
Jordtryck (8.2.3)	1,2	1	1
Vattentryck (8.2.4)	1,2	1	1
Stödförskjutning (8.2.5)	1,2	1	1
Krympning (8.2.6)	1,2	1	
Spännkraft (8.2.7)	1,2	1	1
<u>Variabla laster</u>			
Vägtypfordon (8.3.2.2.1)	0,7/1,5	1	
Sidokraft (8.3.2.3.2)	0,7/1,5	0,7	
Gångbanelast (8.3.2.2.6)	0,4	0,2	
GC-typfordon (8.3.4.2.1)	0,7/1,5	1	
GC-ytlast (8.3.4.2.2)	0,7/1,5	1	
Temperaturlast (8.3.8)	0,6/1,5 ^a	0,6	0,2
Vindlast (8.3.9)	0,6/1,5	0,6	
Vattentryck (8.3.12)	0,8/1,5	0,8	0,3

a) Se 8.5.2

7 Kontrollberäkningar vid rivningsarbete av betongkonstruktioner

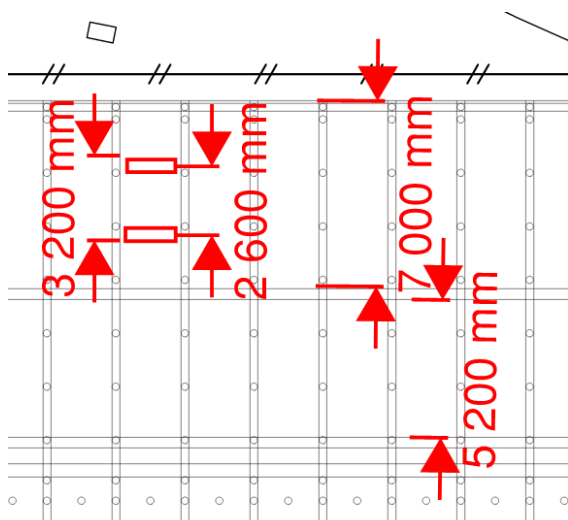
Rivningsarbetet kontrolleras i följande steg:

- 1) Avschaktning av beläggning och grusfyllnad på kajdäcket. Utförs från norr mot söder med en grävmaskin med början i västra facket. Grävmaskinen arbetar sig söderut. Lastning av grusmaterial utförs på lastbil norr om grävmaskinen. Avstånd mellan lastbil och grävmaskin utreds. Utfyllnad av tryckbank med fyllnadsmassor från ballastmaterial är inte möjligt pga föroreningar.
- 2) Rivning av kajdäck, tvärbalkar och längsgående kranbalkar, kulvertbalkar mm.

7.1 Grävmaskin

Grävmaskin, larvtryck max 138 kPa på larvbredd 0,6 m och längd 2,0 m (dimensionerande larvtryck i längsled) samt dynamiskt tillskott 10%, totalt $138 * 1,1 = 151,8$ kPa. Total last på mest belastade del av larv $151,8 * 2 \text{ m} * 0,6 \text{ m} = 182,2$ kN.

Figuren nedan visas med larvlängd 2 m.



Lasteffekt moment

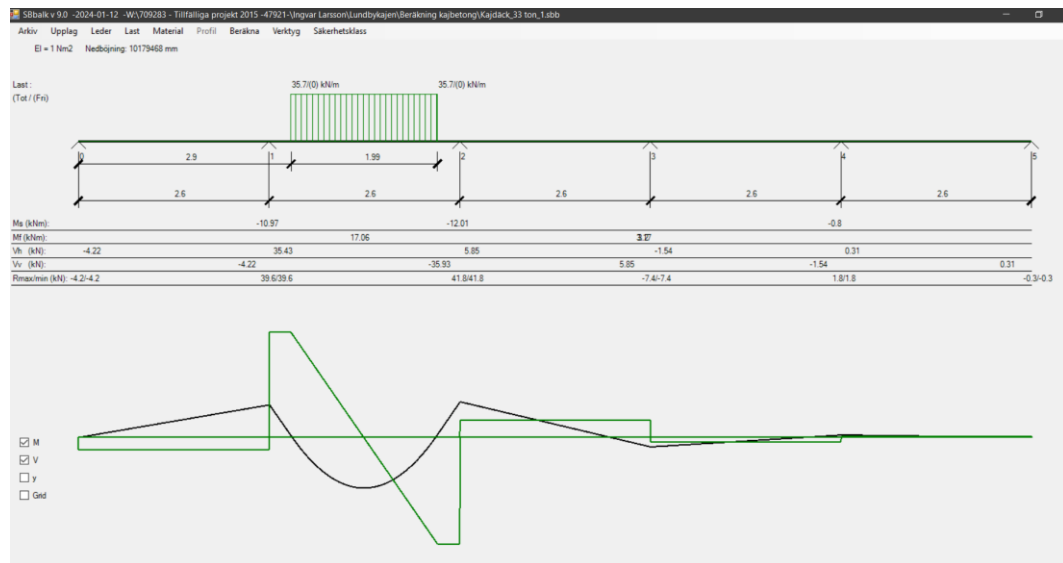
Enligt Anvisning B7 (avd. 7 pkt 5) får lasten momentfördelas med lastbredden 0,6 m + $r = 0,75 * \text{spännvidden } 2,6 \text{ m} = 2,55 \text{ m}$. Begränsningen finns att $r < 2,5 \text{ m}$.

Denna fördelningsbredd jämförs med följande: $(3,2 \text{ m} - 1,2)/2 * 2 + 0,6 \text{ m} = 2,6 \text{ m}$ som tar hänsyn till avståndet mellan larver.

Vi väljer lastfördelning 2,55m i tvärled enligt B7.

Last/m på en sträcka av 2 m (belastad larvlängd) med lastfördelning i tvärled blir $151,8 \text{ kN/m} * 0,6\text{m}/2,55\text{m} = 35,7 \text{ kN/m}$

Moment enligt SBbalk:



Figur 7-1. Momentberäkning för grävmaskin, last 35,7 kN/m

Fältmoment: 17,1 kNm

Stödmoment: -12,01 kNm

Max tvärkraft: 35,9 kN

Max reaktionskraft: 41,8 kN

7.2 Ursprunglig lasteffekt

Lasteffekt moment

Last, fylld på kajdäcket:

Beläggning $0,1 \text{ m} \cdot 22 \text{ kN/m}^2 = 2,2 \text{ kN/m}^2$

Grus $0,5 \text{ m} \cdot 18 \text{ kN/m}^2 = 9,0 \text{ kN/m}^2$

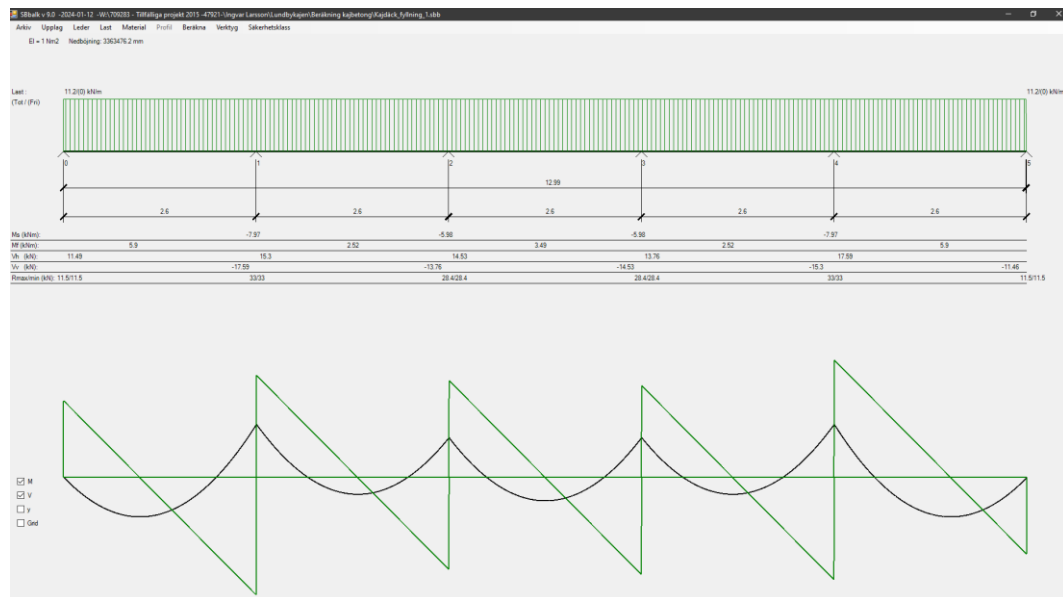
Totalt med lastkoefficient 1,0: $(2,2+9,0) \cdot 1,0 = 11,2 \text{ kN/m}^2$.

Vid avschaktning av ett fack mellan tvärbalkar ger:

Innerfack $6,8 \text{ m} \cdot 2,6 \text{ m} \cdot 11,2 = 198 \text{ kN}$

Ytterfack $5,2 \text{ m} \cdot 2,6 \text{ m} \cdot 11,2 = 151 \text{ kN}$

Moment enligt SBbalk:

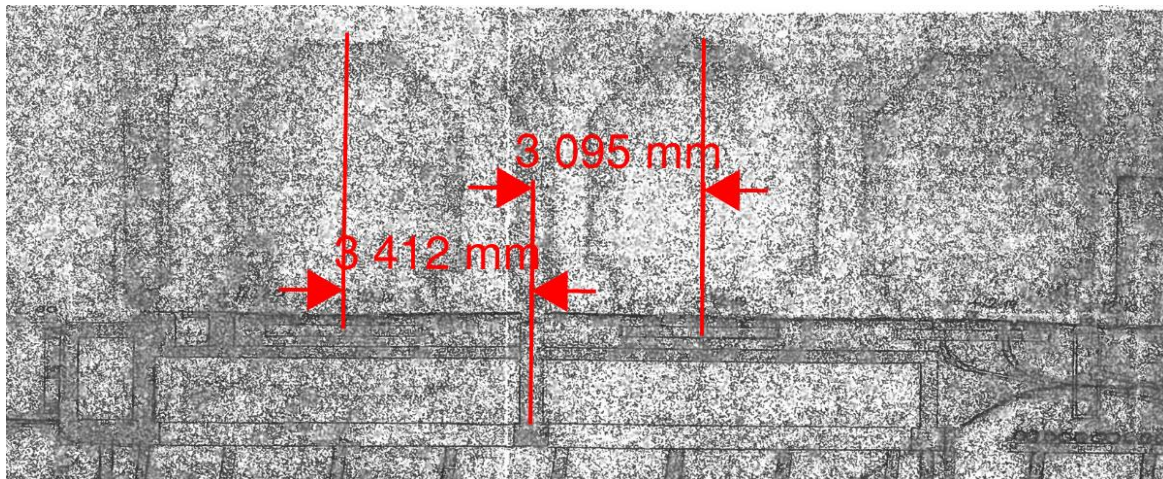


Figur 7-2. Momentberäkning för ballastfyllning, 11,2 kN/m

Fältmoment innerfack: 3,5 kNm	<17,1 kNm	Grävmaskin
Stödmoment innerfack: -6,0 kNm	<-12,0 kNm	Grävmaskin
Max tvärkraft: 14,5 kN	<35,9 kN	Grävmaskin
Max reaktionskraft: 28,4 kN	<41,8 kN	Grävmaskin

Jämförelse mellan tippad grävmaskin och borttaget fyllnadsmaterial ger stor skillnad på lasteffekt. Vi måste även studera ursprunglig trafiklast på kajdäcket (loklast) och tillgodoräknad detta i ursprunglig lasteffekt, se kap 6.2.4.1.

Placering av spår



Figur 7-3. Mätt spårcentrum från ritning. Spårvidden antages som normal, 1,43 m.

Järnvägslast enligt kap 6.2.4.1 ger: Loklasten är totalt 4 x 18 ton (axelavstånd 1,5 m) + 13,5 ton (axelavstånd 1,5 m) = 85,5 ton samt vagnslasten 5 ton/m.

Enligt bärighetsklassning av broar är en rimlig fördelning av last för spår på slippers med ballast 2,55 m (lastyta) + 2*1,25 m (lastspridning TDOK 2013:0277, 9.2.1.1.12) = 5,05 m i tvärlängd.

I längsled fördelas lasten som utbredd last, $180 \text{ kN} / 1,5 \text{ m} = 120 \text{ kN/m}$

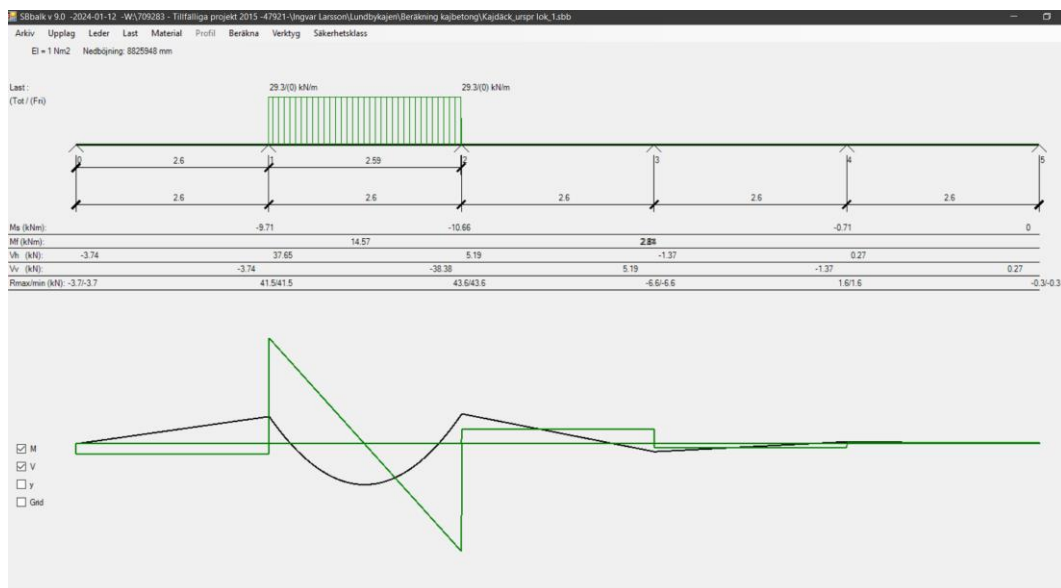
Last/m² blir $120 / 5,05 = 23,8 \text{ kPa}$ på den fördelade lastytan.

Dynamiskt tillskott tillkommer enligt 1938 års lastbestämmelse.

Teoretiskt belastade längd 2,6 m och 20 km/h ger enligt tabell 5 i lastnormen ca 23 %. Hänsyn har tagits till Lundbykajens begränsade längd i val av 20 km/h p.s.s.

Total lasteffekt $1,23 * 23,8 \text{ kPa} = 29,3 \text{ kPa}$.

SBbalk ger:



Figur 7-4. Momentberäkning för loklast, 29,3 kN/m

Fältmoment: 14,6 kNm

Stödmoment: -10,7 kNm

Max tvärkraft: -38,4 kN

Max reaktionskraft: 43,6 kN

Total kapacitet lasteffekt lok och avschaktad fyllning i jämförelse med lasteffekt grävmaskin:

Fältmoment: $14,6 \text{ kNm} + 3,5 \text{ kNm} = 18,1 \text{ kNm} > 17,1 \text{ kNm}$ Grävmaskin

Stödmoment: $-10,7 \text{ kNm} - 6,0 \text{ kNm} = -16,7 \text{ kNm} > -12,0 \text{ kNm}$ Grävmaskin

Max tvärkraft: $-38,4 \text{ kN} - 14,5 \text{ kN} = -52,9 \text{ kN} > 35,9 \text{ kN}$ Grävmaskin

Max reaktionskraft: $43,6 \text{ kN} + 28,4 \text{ kN} = 72 \text{ kN} > 41,8 \text{ kN}$ Grävmaskin

Vi ser att fältmoment för grävmaskin ligger nära ursprunglig lastkapacitet, 17,1 kNm/18,1 kNm = 0,95, 95 procents utnyttjande.

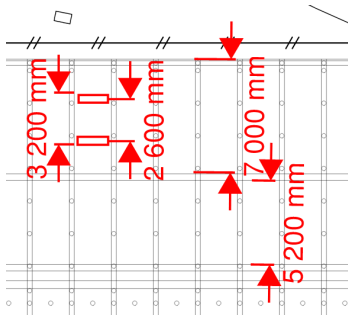
Resultat av momentkontroll av lasteffekt av grävmaskin

M.h.t. att bedömning i kapitel 1.2 att bärande armering har en antagen areaförlust på 25 % erhålls genom proportionering av max utnyttjad kapacitet till $0,75 \cdot 18,1 \text{ kNm} = 13,6 \text{ kN}$. Största tillåtna tyngd på grävmaskin inklusive last blir därmed $330 \text{ kN} \cdot 13,6/17,1$ (79,5 %) = 262 kN, 26 ton. Grävmaskinens vikt bör därmed vara cirka 24 ton.

7.3 Bärighet i kajdäcket, utnyttjandegrad

En kontroll utförs av armeringsinnehållet i plattan i brottstadiet, ULS. Följande förutsättningar gäller för lastfallet:

- Grävmaskin 33 ton inkl. last. Last på främre del av larver. Larvlängd 2,0 m
- Ballastmaterial avschaktat. Tjocklek kajdäck 200 mm.
- Säkerhetsklass 3.



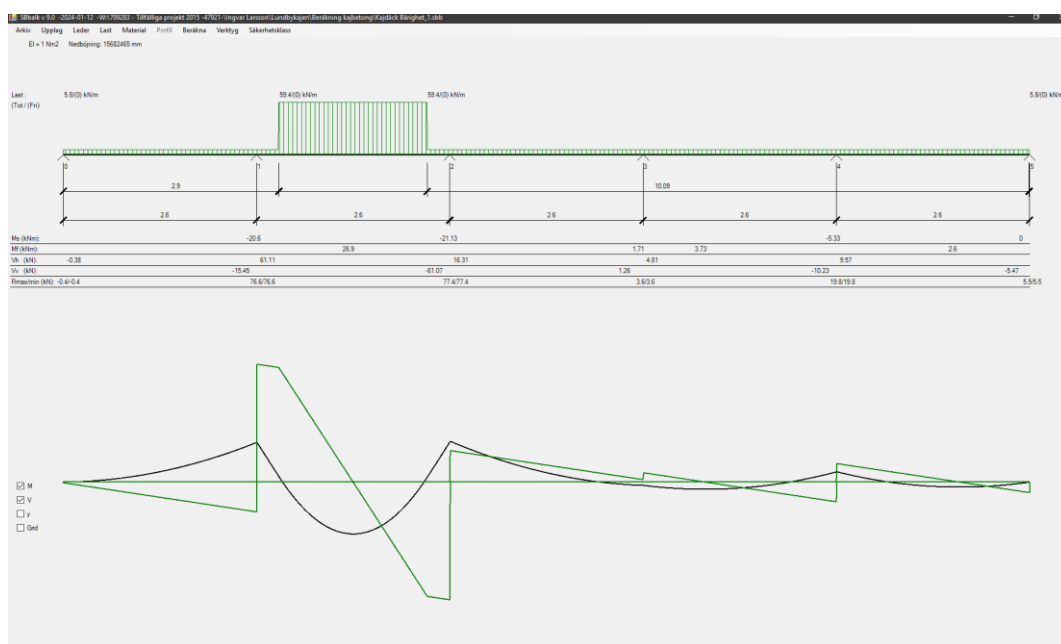
Ständig last av egenvikt betongdäck i ULS:

$$g = 1,2 * 0,200 * 24 = 5,76 \text{ kN/m}^2$$

Variabel last av 33 tons grävmaskin i ULS på en meters bredd:

$$q = 1,5 * 35,7 \text{ kN/m} = 53,6 \text{ kN/m}$$

$$\text{Totalt } 5,8 \text{ kN/m}^2 + 53,6 \text{ kN/m}^2 = 59,4 \text{ kN/m}^2$$



Figur 7-5. Momentberäkning för loklast i ULS, 59,4 kN/m.

Dimensionerande last i ULS:

Fältmoment: 26,9 kNm

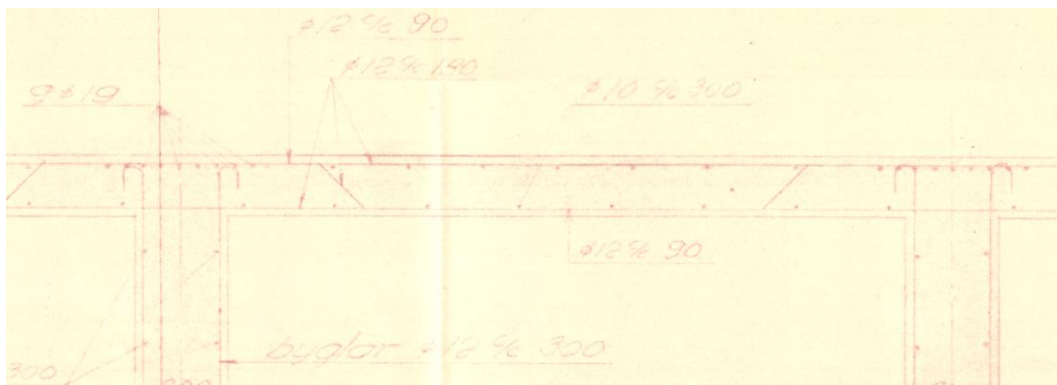
Utnyttjandegrad: 72 %

Stödmoment: -21,1 kNm

Utnyttjandegrad: 64 %

Tvärkraft: 61,1 kN

Kontroll av erforderlig armeringsmängd ger utnyttjandegrader enligt ovan vid befintlig armering $\Phi 12$ s 90, kvalitet St 37 ($f_{yk} = 240 \text{ MPa}$), se figur 7-5. En marginal om 28 % finns för bärförmågan för en tung grävmaskin på 33 ton och den antagna maskinen på totalt 26 ton samt avrostningen på 25 % är därmed ok. Det finns en extra marginal för lokalt större avrostning än 25 %.

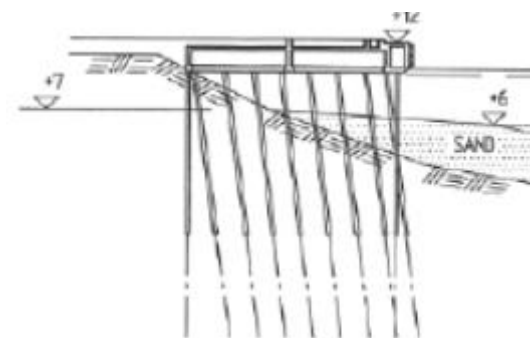


Figur 7-5. Längdsektion som visar armering i kajdäcket. Bild från Regionarkivet i Göteborg, Hamnens mapp om Lundbykajen.

8 Kontrollberäkningar av pålar och påldäck

8.1 Kontroll av pålar under kajdäck

Ursprungligt vattendjup var 9,0 m. På grund av att stabiliteten i Lundbyhamnen inte uppfyllde kraven på erforderlig säkerhet mot brott utfördes 2010 en tryckbanksfyllning längs kajen med fyllnadsmaterial av sand. Dock osäkert utförande enligt Ramboll om tryckbanken enbart är fylld med sand eller om muddermassor förekommer.

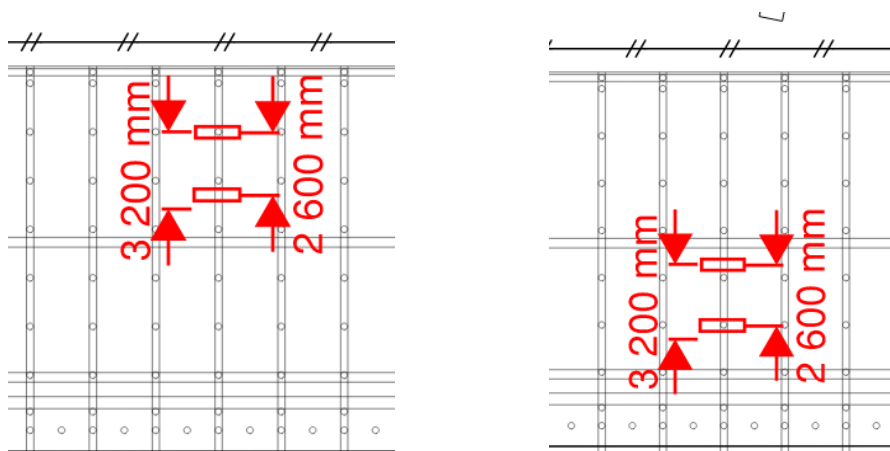


Figur 8-1. Sektion genom kajen med fyllning utlagd 2010.

Pålarna beräknas för följande förutsättningar:

- Älvbotten är uppfylld till nivå -4 m. Hållfasthetsparametrar enligt "PM-Geoteknik" upprättad av Ramboll Sverige AB
- Fyllnadsmaterial är avschaktat på kajdäcket.
- Grävmaskin kontrolleras för tyngden 330 kN och är placerad centriskt över en tvärbalk. Grävmaskinen antages ha excentrisk last (tipplast).
- Pålängd sätts för de skarvade pålarna till 30 m.
- Träpålarna har en diameter av 250 mm eller större enligt inspektion av Under ytan. Effektiv diameter på träpålarna minskas med 2 x 20 mm p.g.a. mjukhet i trävirket vilket ger en minsta diameter på 210 mm.
- Belastande egenvikt på en påle antages vara tyngd inom arean 2,6 m x 2,0 m (avstånd mellan pålar under tvärbalkar är 2,0 m).
- Grävmaskinens ena laster placeras centrisk över en påle varvid hela lasten antages gå ner i pålen.

Lastplacering

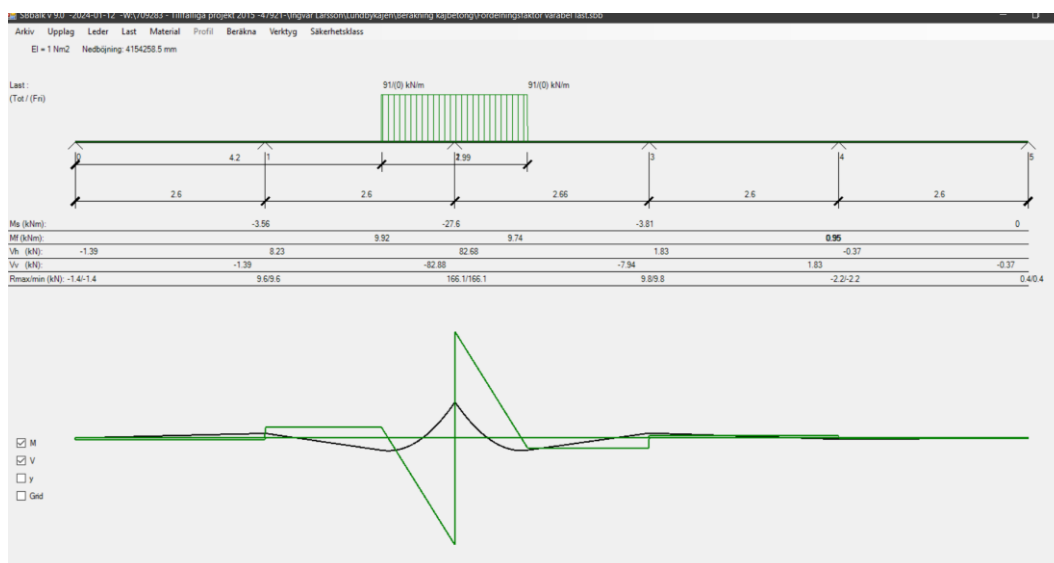


Figur 8-2. Placering av last i innerfält alternativt ytterfält.

Variabel last på tvärbalk, fördelning i längsled.

Last / m: 0,6 m (larvbredd) * 138 * 1,1 = 91 kN/m

Resultat: Larvlast på påle = reaktionskraft = 166,1 kN



Resultat av pålberäkning enligt bilaga 1:

Geoteknisk bärförmåga: Lasteffekt/kapacitet = 0,95

Konstruktiv bärförmåga för knäckning: Lasteffekt/kapacitet = 0,76

Pålars bärförmåga innebär att grävmaskinens tyngd (beräknad 330 kN) måste reduceras. Kontroller visar att den föreslagna maskinen enligt kap.7.2 på 26 ton inklusive last utnyttjar bärförmågan till 100 %. Beräknad påle är en inre påle m h t att den yttre längsgående betongbalken har förtätad pålning.

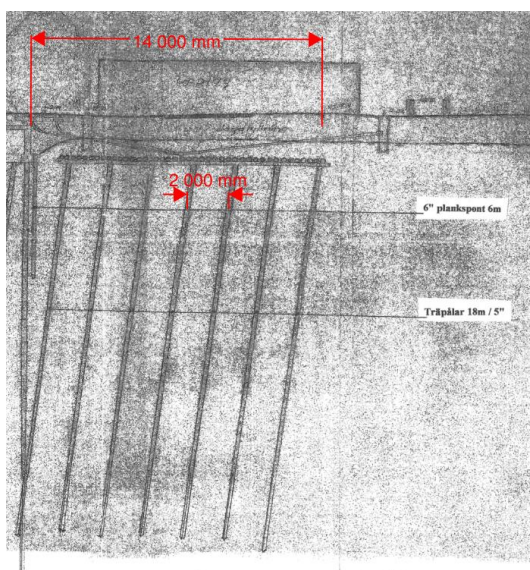
8.2 Kontroll av pålat trädäck

Innanför kajen finns ett befintligt pålat trädäck (rustbädd) som fortsättningsvis benämns påldäck med ca 13 meters bredd.

Upplagsytan har enligt befintlig ritning ritats med höjd på cirka 2,6 m vilket motsvarar en containers höjd. En mycket grov uppskattning kan utföras utifrån att en järnvägsvagn enligt 1938 års lastbestämmelser kunde bära 4 tons last per meter, se kapitel 6.2.4. En ISO-container som är 6,058 m lång och 2,44m bredd får väga 24 ton vilket ger 3,96 ton/m container. Last/kvadratmeter blir 1,62 ton/m².

I arkivmaterial från Regionarkivet, figur 1-14 anges den utbredda ytlasten på påldäcket till 2 ton/ m².

Verifiering av påldäckets status och bärighet utreds nedan

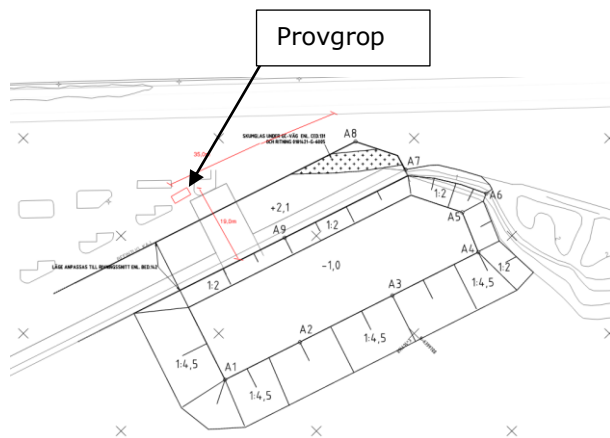


Figur 8-3. Sektion genom påldäcket.

8.2.1 Laster

En inspektionsgrop uppgrävdes 2024-09-06 enligt figur 8-4 varvid följande noterades, bilaga 2:

- Nivå överkant påldäck – 0,25 m.
- Rustbädd av längsgående stockar med varierande diameter 125 - 150 mm.
- Rustbädden var helt frisk från röta.
- Fyllnaden bestod av:
 - 0,6 m vägöverbyggnad med bundet bärlager samt krossmaterial
- Slagg (lättfyllnad 0,6 m)
- Lera 1,1 m
- Nivå markyta +2,05



Figur 8-4. Plan som visar provgropens läge.



Figur 8-5. Sektion av jordlager i provgropen.

Beläggning

Total tjocklek på befintlig beläggning antages till 100mm.

$$\gamma_{bet} = 22 \text{ kN/m}^3 \quad \text{Tunghet beläggning}$$

Förstärkningslager

Tabell 2-2 i TDOK 2013:0267:

$$\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$$

Slagg

Antagen ursprunglig tunghet: 8 kN/m^3

Antagen nuvarande tunghet: 11 kN/m^3

Lera

$$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$$

Stockar/rustbädd

Antagen nuvarande tunghet: $8,5 \text{ kN/m}^3$

Karaktäristisk last: $0,1 \times 22 + 0,5 \times 18 + 0,6 \times 11 + 1,1 \times 17 + 0,122 \times 8,5 = 36,5 \text{ kN/m}^2$

Area diameter 150 mm: $0,0177 \text{ m}^2$

Area diameter 125 mm: $0,0123 \text{ m}^2$

Medelarea: $0,050 \text{ m}^2$

Omvandling till rektangulärt tvärsnitt: $0,12 \text{ m}$.

Dimensionerande ständig last i ULS: $1,4 \times 0,1 \times 22 + 1,2 \times (0,5 \times 18 + 0,6 \times 11 + 1,1 \times 17 + 0,122 \times 8,5) = 45,4 \text{ kN/m}^2$

Trafiklast

Antages till 20 kN/m^2 på bredd 3 m. Med lastutbredning 2:1 ner till påldäck erhålls bredden $3,0 + 2,3 = 5,3 \text{ m}$. Utbredd last på påldäcket blir därmed $(3 \times 20)/5,3 = 11,3 \text{ kN/m}^2$.

Dimensionerande trafiklast i ULS: $1,5 \times 11,3 = 17,0 \text{ kN/m}^2$

Dimensionerande ständig + trafiklast i ULS: $45,4 + 17,0 = 62,4 \text{ kN/m}^2$

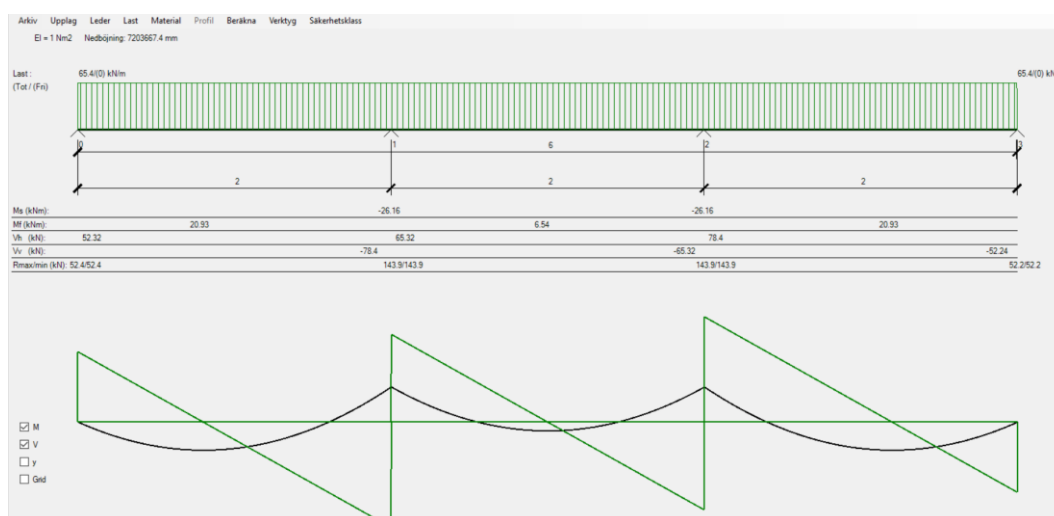
Träpålar

Från ursprunglig ritning mäts centrumavstånd i tvärled till $2,0 \text{ m}$. Inmätning i längsled saknas. Dock redovisas i ritning från Regionarkivet att pålarna sitter i rutnät och därmed samma c/c avstånd i längsled.

8.2.2 Bärighet

Statiskt system

Antages kontinuerligt i tre fack med förskjutna skarvar.



Dimensionerande moment: $-26,2 \text{ kNm}$

Dimensionerande tvärkraft: $78,4 \text{ kN}$

Bärförmåga för liggande stockar:

Stockar antages till vara i kvalitet K18. Bärförmågan beräknas för 1 meters bredd och säkerhetsklass 2. Redovisning av bärförmåga, se bilaga 3.

Dimensionerande moment: $0,91 \cdot 26,2 \text{ kNm} = 23,8 \text{ kNm} > 22,6 \text{ kNm}$, ej OK

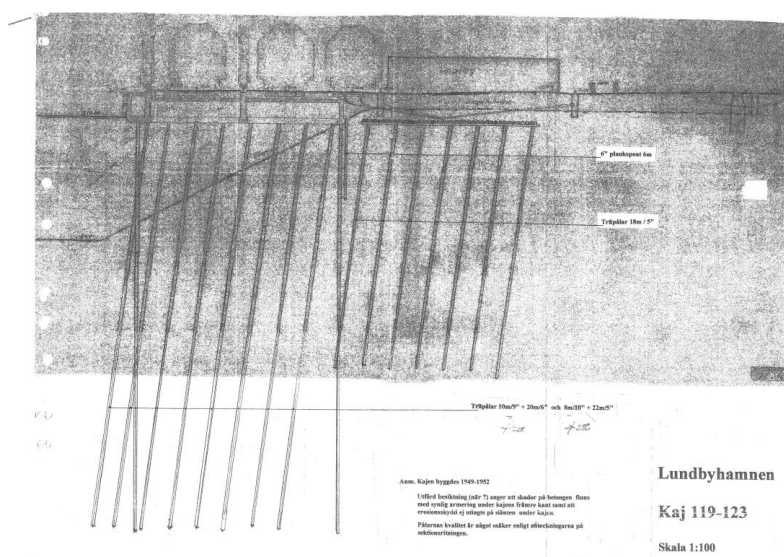
Utnyttjandegrad 1,05. Påldäcket klarar cirka $62,4/1,05 - 45,4 = 14,0 \text{ kN/m}^2$. Tillåten utbredd trafiklast blir $14,0/17,0 \cdot 20 \text{ kN/m}^2 = 16,5 \text{ kN/m}^2$.

Dimensionerande tvärkraft: $0,91 \cdot 78,4 \text{ kN} = 71,3 \text{ kN} < 91,8 \text{ kN}$, OK

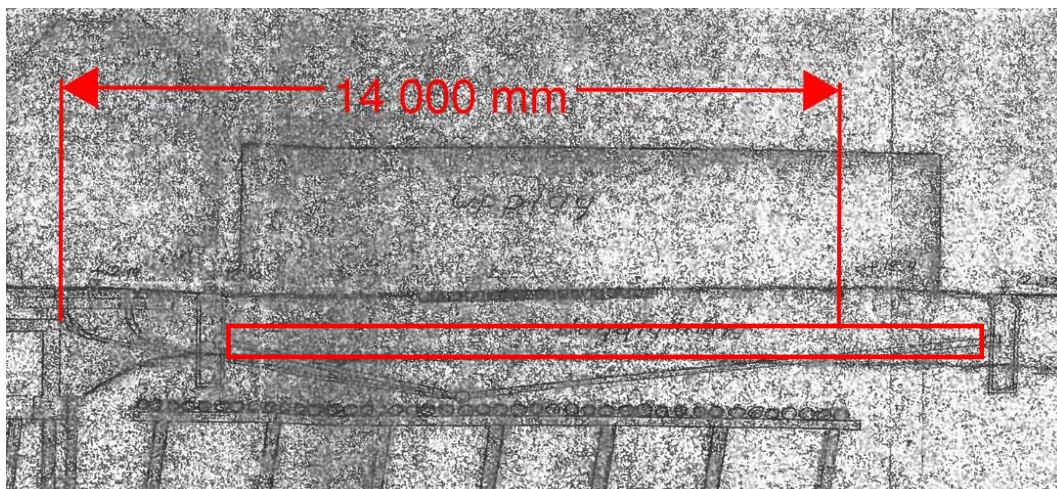
9 Genomförandebeskrivning av rivningsarbetet

Vattendom erfordras för nedanstående arbeten. Arbetet utförs med följande förutsättning:

- Larvburen grävmaskin med maximal vikt 24 ton som belastar befintlig kajdäck.
- Larvburen grävmaskin med maximal vikt 3 ton som belastar utlagd tryckbank inom kajområdet.
- Lastbil (bakre boggi treaxlad) med max totalvikt inkl last av 26 ton som belastar befintligt kajdäck.
- Innanför kajen finns ett befintligt påldäck med 13 meters bredd. Tillåten last är $1,65 \text{ ton/m}^2$. Stockmattor utläggs för lastfördelning.
- Kajens betongkonstruktion måste rivas i sin helhet m h t att man i framtiden skall kunna påla och bygga obehindrat inom nuvarande kajyta. Befintliga pålar kan kvarlämnas under nivå $-1,0 \text{ m}$.
- En geotextil skall utläggas på befintlig botten under kajen för att förhindra blandning av fyllnadsmaterial från ny bank med befintligt material. Utläggas generellt med hjälp av dykare och säkras mot uppflytning och mekanisk åverkan med tung fyllnad.
- Schaktmassor från kajen betraktas som förorenade massor.



Figur 9-1. Befintlig kajkonstruktion med bakomliggande påldäck

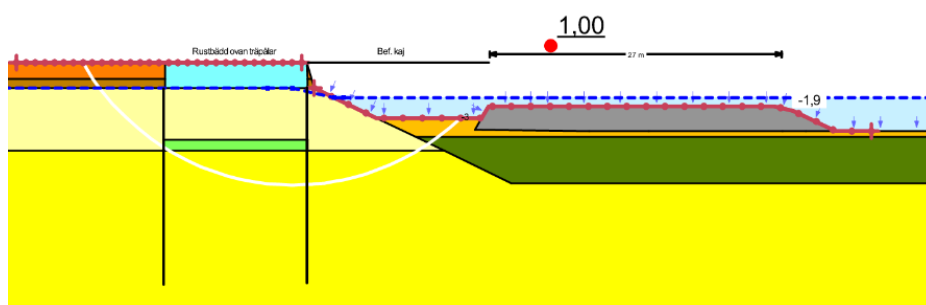


Figur 9-2. Detalj av påldäck. I inramad del står det "Slaggfyllning". Ovan mark finns en ruta med texten "Upplag".

9.1 Stabilitet i byggskedet

Stabilitetsförhållanden i samband med utförandet av tryckbanken (byggskedet) har kontrollerats av Ramboll.

Inledningsvis erfordras för att kunna få fullgod säkerhet för ytan ovan påldäck och kaj att säkerhet för glidtor som startar bakom dessa konstruktioner är tillfredställande. Detta uppnås genom att fylla med sand med fraktion 3-6 mm in under befintlig kaj (som ska rivas) upptill nivå -3,0 och utanför kaj upptill nivå -1,9 m (med pråm), se figur 9-3. I detta skede kan inte ytan bakom påldäcket belastas.

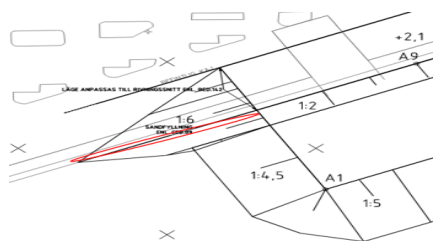


Figur 9-3. Stabilitetsberäkning i byggskedet. Beräkningssnitt för stabilitet tvärs kajen.

För att kunna belasta marken bakom påldäcket (tex för maskiner, upplag osv) behöver tryckbank vara utlagd upptill nivå -1,7 m in under kajen. Fyllnaden ovan sandlagret (nivå -3,0 m) skall vara av samma fraktion som utanför kajen, krossmaterial med fraktion 12-90 mm.

Utläggning med hjälp av långgrävare har kontrollerats av Ramboll tvärs och längs kajen under byggskedet. För att gå ut på påldäcket krävs uppfyllnaden till nivå -3,0 m respektive -1,9 m enligt ovan.

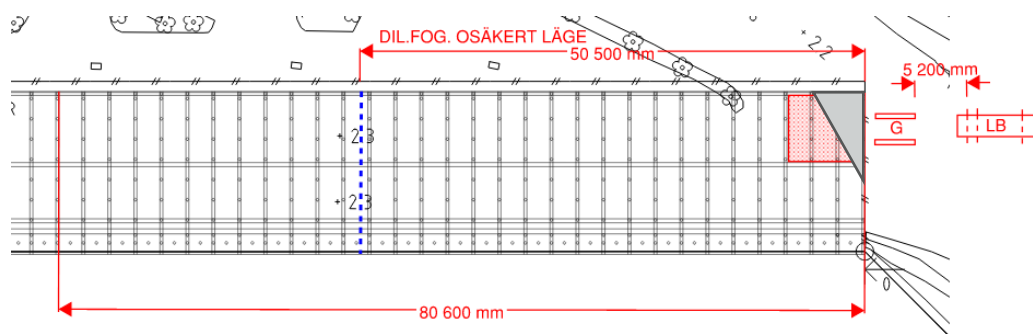
I längsled gäller att en kompletterande tryckbank måste läggas ut under befintlig kaj, se Figur 9-4 och 9-5.



Båda sektionerna beskriver stabilitetsproblem som man måste ta hänsyn till vid utläggning av ny arbets- och transportväg samt tryckbank, se PM Geoteknik, utläggning av tryckbank, upprättat 2024-10-25, Ramboll.

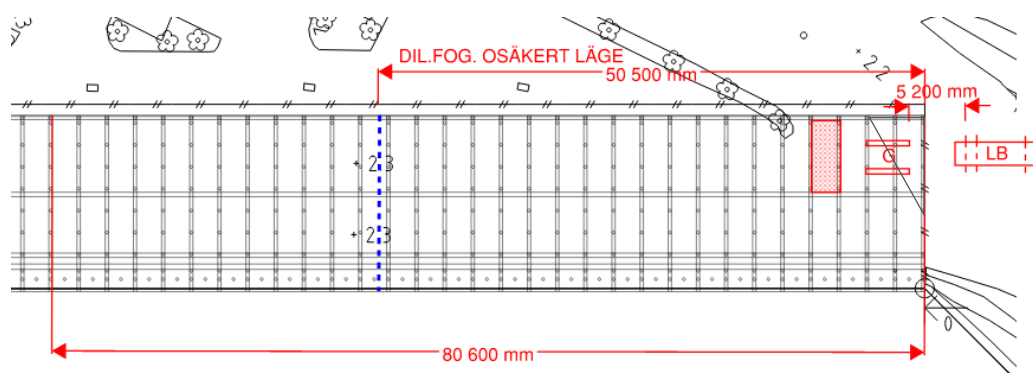
Rivningsarbetet utförs i följande etapper efter inledande utläggning av tryckbank som beskrivs i kapitel 9.1. Utläggning av tryckbank före rivning gäller samtliga alternativ.

- 1) Avschaktning av beläggning och grusfyllnad på kajdäcket. Utförs från norr mot söder med en grävmaskin med början i västra facket. Grävmaskinen skall stå utanför kajdäcket. Lastning av grusmaterial utförs på lastbil norr om grävmaskinen. Begränsningar finns för hur ytan får belastas, se PM Geoteknik.



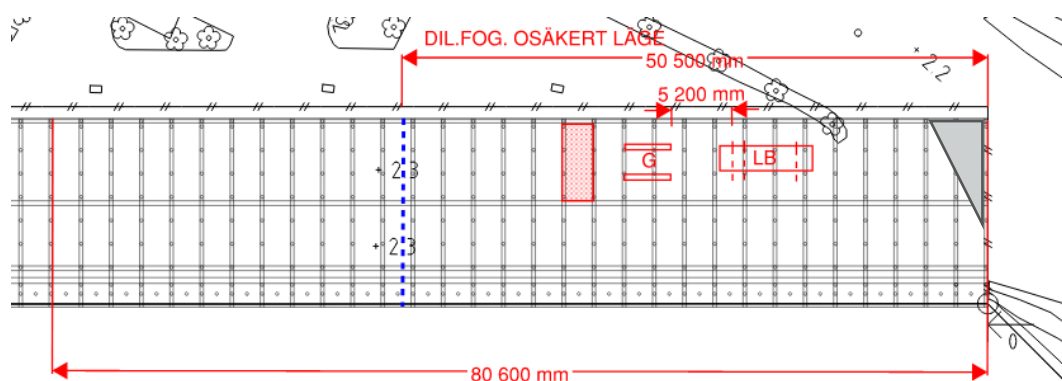
Sida 32 (38)

- 2) Efter tre avschaktade fack, 3 x 2,6 m kan grävmaskinen på kajdäcket och ställa sig i andra facket. Fritt avstånd 5,2 m mellan bakre larv på grävmaskin och hjul på lastbil. Fritt avstånd mellan schaktmassor och grävmaskin >2,6 m.



Figur 9-6. Plan etapp 1b.

- 3) Grävmaskin och lastbil arbetar sig söderut och utför därefter schakten i ytterfacket inklusive kabelränna på likartat sätt.



Figur 9-7. Plan etapp 1c.

Etapp 2. Rivning av kajdäck

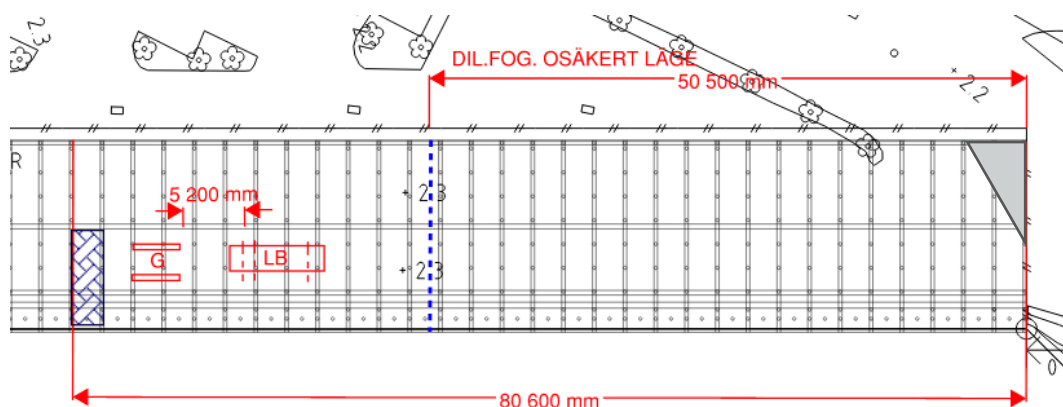
Rivning av kajen i sin helhet kan utföras på flera sätt. Nedan beskrivs tre alternativ för rivningsarbetet och ytterligare ett kombinerat alternativ:

- 1) Successiv rivning från söder genom sågning/vattenbilning och lastning på lastbil för borttransport.
- 2) Successiv rivning från norr genom sågning/vattenbilning och lastning på lastbil för borttransport från söder. Samtidigt eller före rivning av kajdäck utläggning av bankfyllning som arbets- och transportväg med krossmaterial. Rivning av betongbalkar från tryckbank.
- 3) Rivning genom demolering av betongen och fritt nedfall till botten för utgörande av tryckbank. Metoden kräver tillstånd från myndighet.
- 4) Kombinerat alternativ med rivning av kajdäck och därefter utläggning av tryckbank. Rivning av betongbalkar och kapning pålar från tryckbank.

Vid användande av vattenbilning uppblas spår med bredd på cirka 0,1 m i betongen med robot. Fördelen gentemot sågning är att armeringen sitter kvar och håller rivningsdelen till dess att delen säkrats för nedfall via koppling till kranbil. Därefter kapas kvarvarande armering och delen lyfts och borttransporteras till tipp. Bilningsvatten och betongfragment faller ner till botten.

1) Alternativ med successiv rivning från söder

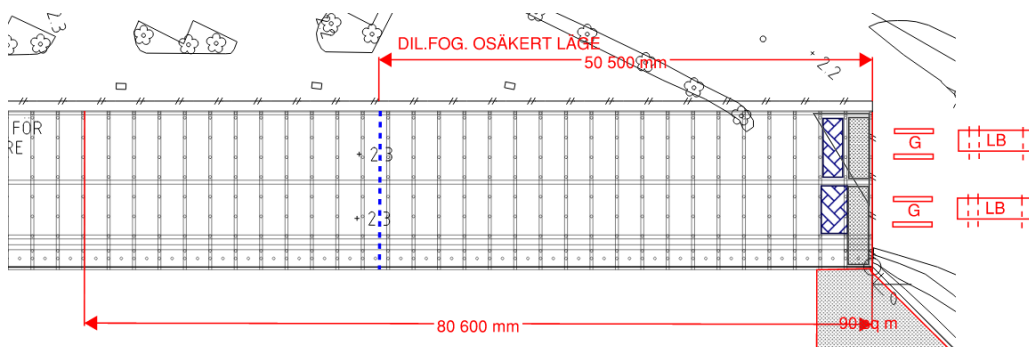
- Rivning av kajdäck och därefter utläggning av geotextil samt utläggning av tryckbank till slutlig nivå från pråm och från markytan över påldäck innanför betongkajen. Inspolning av sandfyllnad under kvarlämnad befintlig kajkonstruktion söder om riven kaj som tryckbankstabilisering i nord-sydlig riktning.



Figur 9-8. Plan etapp 2 alternativ 1.

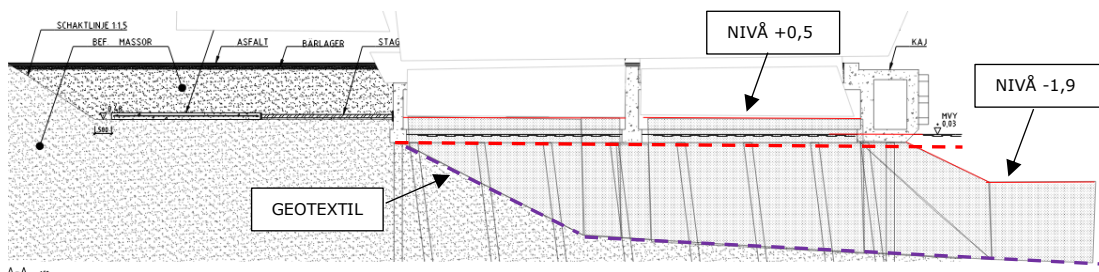
2) Alternativ med successiv rivning från norr med utläggning av tryckbank.

- Utläggning av del av tryckbank från nivå -3,0 m (sandfyllnad) till nivå -1,7 m under den kajdel som skall rivas samt söder om kajen som rivs genom inspolning av krossmaterial med fraktion 12-90 mm. Utläggningssmetod för krossmaterial kräver ytterligare utredning.
- Rivning av kajdäck i första facket och utläggning av del av tryckbank till nivå +0,5 m i facket samt utanför kajen.



Figur 9-9. Plan etapp 2 alternativ 2.

- c) Kulvert-, kran- och tvärbalkar nedbilas/krossas till nivå undersida längs- och tvärbalkar (röd streckad linje i figur nedan) varvid maskiner står på tryckbanken. Pålar kapas till nivå -1,0 m.

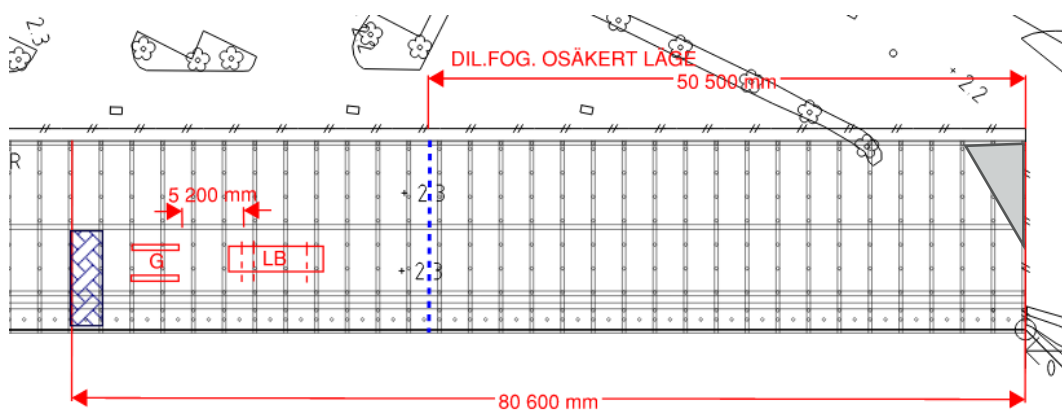


Figur 9-10. Sektion etapp 2 alternativ 2.

- d) Tryckbanken uppfylls till slutliga nivåer när samtliga balkar är nedbilade.

3) Alternativ med successiv rivning genom demolering av betongen

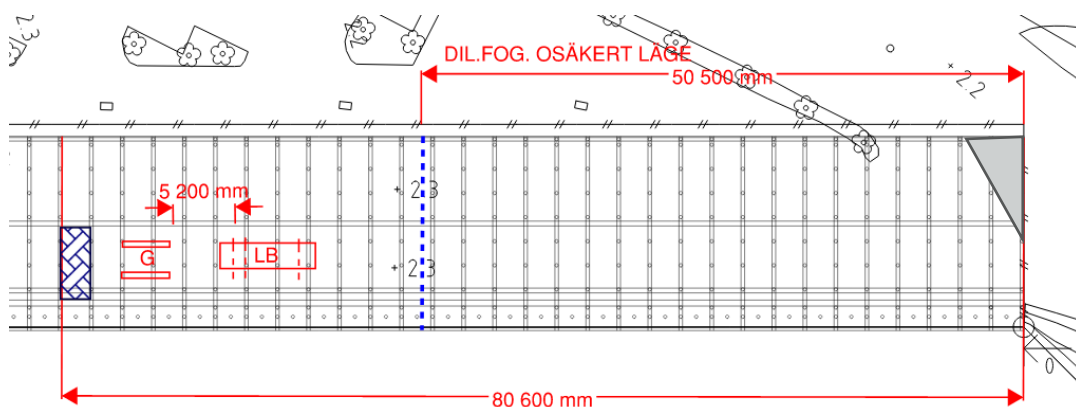
- a) Demolering av betongkajen. Nedfall från bilningsarbetet går inte att samla upp med underliggande pråm pga att betongkonstruktionens underkant ligger under MW. Metoden innebär därmed att betongen måste få tillstånd att falla fritt till botten och utgöra del av tryckbanken.



Figur 9-11. Plan etapp 2 alternativ 3.

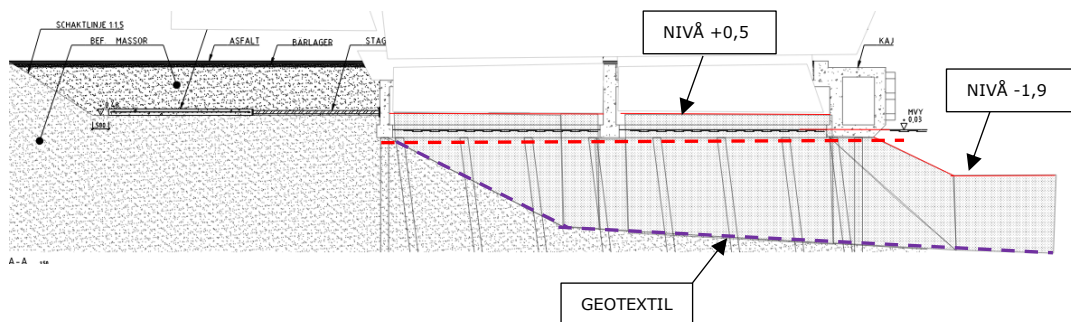
4) Kombinerat alternativ med rivning och utläggning tryckbank

- a) Kajdäcket rivs i sin helhet mellan tvär- och längsgående balkar enligt alternativ 1 ovan.



Figur 9-12. Plan etapp 2 alternativ 4.

- b) Tryckbank utläggs från angränsade markyta med pålat trädäck ("upplagsytan") och pråm från nivå -3,0 m (sandfyllnad) till nivå +0,5 m över hela kajlängden, se figur 10-2, samt även söder om rivet kajdäck enligt PM geoteknik.
- c) Kulvert-, kran- och tvärbalkar nedbilas/krossas till nivå undersida längs- och tvärbalkar (röd streckad linje i figur nedan) varvid maskiner står på tryckbanken. Pålarna kapas på nivå -1,0 m.



Figur 9-13. Sektion etapp 2 alternativ 4.

- d) Tryckbanken uppfylls till slutliga nivåer när samtliga balkar är nedbilade/krossade.

10 Utredningsresultat

Allmänt

Kajen är utformad med tre längsgående balkar och anslutande tvärbalkar med centrumavstånd på ca 2,6 m. Träpålarna är placerade under respektive tvärbalk med centrumavstånd ca 2,0 m.

Ovan kajdäcket finns ca 0,6 ballastfyllning för de ursprungliga tre järnvägsspåren, varav de två yttersta helt belastade kajkonstruktionen, se figur 10-1.

Kajen har rörelsefogar var 50:e meter. Innanför kajen finns en upplagsyta med underliggande pålat träddäck som ursprungligen dimensionerades för ytlast 2 ton/m². Inspektion har visat att påldäcket är i bra skick utan röta.



Figur 10-1. Sektioner visande kaj och angränsande upplagsyta

Kajen har trafikerats av tre järnvägsspår. Enligt tidigare observationer från Göteborgs Hamn kan större skador finnas där det tidigare har varit växlar för järnvägsspåren p.g.a. saltning. Detta område kan finnas mellan mittspår och det inre spåret på en sträcka av cirka 30 m från kajens norra kant.

Generellt har antagits att ursprunglig bärförmåga för betongkonstruktionerna är nedsatt med 25 %. Avseende träpålar så har hänsyn tagits till skadedjup på 20 mm runt om som framkommit vid dykarinspektioner.

Rivningsmetod

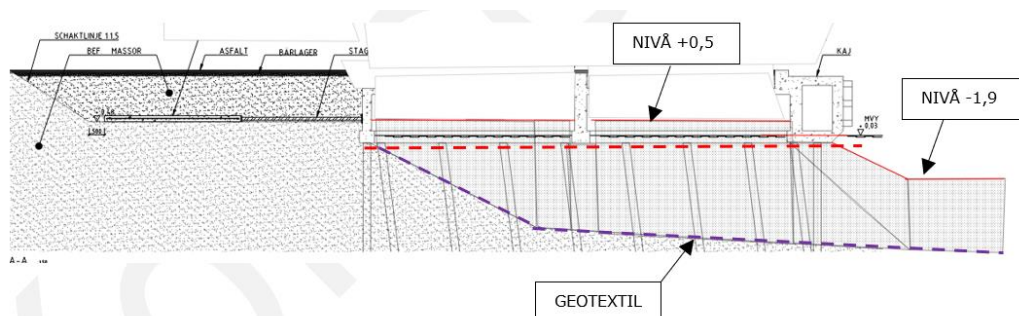
Inledningsvis före rivningsarbetet av kajen skall en tryckbank på geotextil utläggas till nivå -1,9 utanför kajen och till nivå -3,0 under kajen. Under kajen kan tryckbanken utföras av inspolad sand med fraktion 3-6 mm.

Rivningsmetod alternativ 4) enligt ovan föreslås: Kombinerat alternativ med rivning och utläggning tryckbank.

Rivningen utförs i följande steg:

- 1) Bortschaktning av ballastfyllning. Successiv skadebesiktning av kajdäcket frischaktade betongyta.
- 2) Rivning av kajdäcket från söder mot norr. Tvär- och längsbalkar rivs inte.
- 3) Tryckbank utläggs från angränsade markyta med pålat träddäck ("upplagsytan") och pråm från nivå -3,0 m (sandfyllnad) till nivå +0,5 m över hela kajlängden, se figur 10-2, samt även söder om rivet kajdäck enligt PM Geoteknik.
- 4) Kulvert-, kran- och tvärbalkar nedbilas/krossas till nivå undersida längs- och tvärbalkar varvid maskiner står på utlagd tryckbank mellan längsgående betongbalkar. Pålar kapas på nivå -1,0 m.

- 5) Tryckbanken uppfylls till slutliga nivåer när samtliga balkar är nedbilade/krossade och pålar kapade.



Figur 10-2. Sektion.

Begränsningar

- Larvburen grävmaskin med maximal vikt 24 ton som belastar befintlig kajdäck.
- Larvburen grävmaskin med maximal vikt 35 ton inklusive last som belastar utlagd tryckbank inom kajen.
- Lastbil (bakre boggi treaxlad) med max totalvikt inkl last av 26 ton som belastar kajdäcket och den pålade upplagsytan. Minsta fria avstånd mellan grävmaskinens larver och hjulaxel på lastbil 5,2 m.
- Upplagsytan med pålat trädäck (upplagsytan) belastas med max utbredd last 1,65 ton/m². Erforderlig lastspredning utförs med stockmattor.
- Mark bakom pålat trädäck får inte belastas före uppfyllnad till nivå -1,7 m i området som begränsas av kajdäcket.
- Särskilda restriktioner gäller för belastning norr om kajdäcket enligt PM Geoteknik.
- Särskilda restriktioner gäller söder om rivet kajdäck vid utläggning av fyllning upp till nivå +0,5.

BILAGA 1. Beräkning kontroll av bef. träpålar för kaj

Kontroll av pålar Lundbykajen. Kajplats 123 (norr)

Kontrollen avser påle i ytterfält med vattendjup på nivå -3 m (påle 6 från väster).

Fyllning ca 3 m av sand/muddringsmassor.

		Nivå för ö.k. fyllning vid kajkant	-3
Träpåle ö.k.	0,0	Min diameter pålar (0,25-0,3 m) mht röta vid knäckning	0,210 m
Träpåle u.k.	-30	c/c pålar under tvärbalkar cirka (2,0 m)	2 m

Av sektionen nedan från ursprungsritningen framgår att de fyra yttersta lutande pålarna samt den ytterst vertikala pålen har överpåle 10 m med topp 9" samt underpåle 20 m med spets 6".

9" motsvarar 225 mm och överensstämmer väl med inmätt från dykinspektion 250-300 mm.

Minsta teoretiska diameter är alltså 225 mm som därefter växer mot pålskarven.

Spetsdiameter enligt ritning 6" = 150 mm

Skjuvhållfasthet

Antagen skjuvhållfasthet, värden sektion B i PM Geoteknik

Avseende bärighetsberäkning antages att hela pålens inmätta diameter nyttjas pga att mjukt skadat trä är fastare än lera!

Vid bärighetsberäkningen borttages sandens mantelfriktion på säkra sidan. Sandens bärande effekt kan teoretiskt addeas till lerans bärförmåga.

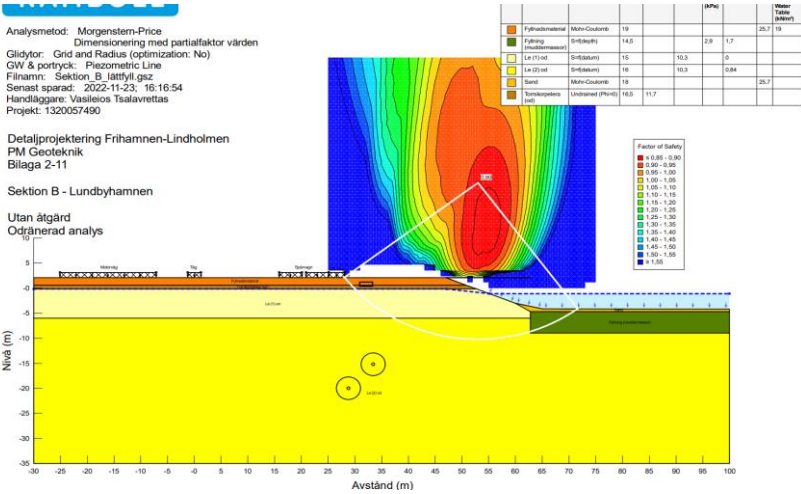
Största pållängd från UK betongkaj till leran är cirka 6 m. I beräkningen nedan antages UK ligga på nivå 0.

Nivå	Vald hållfasthet, c _u		
Ned till -4	0,01 kPa		
-4 till -6	0,01 kPa	+	0,0 kPa/m
Från -6	14 kPa	+	1,2 kPa/m
	IERG Tillämpning Rapport 8:2008 Pålgrundläggning		
η =	0,99	0,9	1,1
γ _M =	1,5		

Nivå	Dim. hållfasthet, c _{ud}		
Ned till -4	0,0 kPa		
-4 till -6	0,0 kPa	+	0,0 kPa/m
Från -6	9,2 kPa	+	0,79 kPa/m

Nivå	c _u	Øpåle	θpåle	dL	c _u · θ · dL
0	0,01 kPa	0,225	0,71		
-4	0,01 kPa	0,253	0,79	4	0,0
-6	14,0 kPa	0,267	0,84	2	11,4
-10	18,8 kPa	0,31	0,97	4	59,5
-30	42,8 kPa	0,15	0,47	20	445,1

Nivå	c _{ud}	Øpåle	θpåle	dL	c _{ud} · θ · dL
0	0,0 kPa	0,225	0,71		
-4	0,0 kPa	0,253	0,79	4	0,0
-6	9,2 kPa	0,267	0,84	2	7,6
-10	12,4 kPa	0,31	0,97	4	39,2
-30	28,25 kPa	0,15	0,47	20	293,8



Träpåles bärförmåga enligt Pålkommissionen

Beräknad enligt:

$$P_{Rd} = \pi \cdot \phi_{medel} \cdot c_{ud,\phi,k} \cdot L + \Delta c_{ud} \cdot L^2 / 6 \cdot \pi \cdot (2 \cdot \phi_1 + \phi_2)$$

Bärförmåga för påle mellan	-6	och	-30
Ø (-6)	253 mm		
Ø (-10)	310 mm		
Ø (-30)	150 mm		

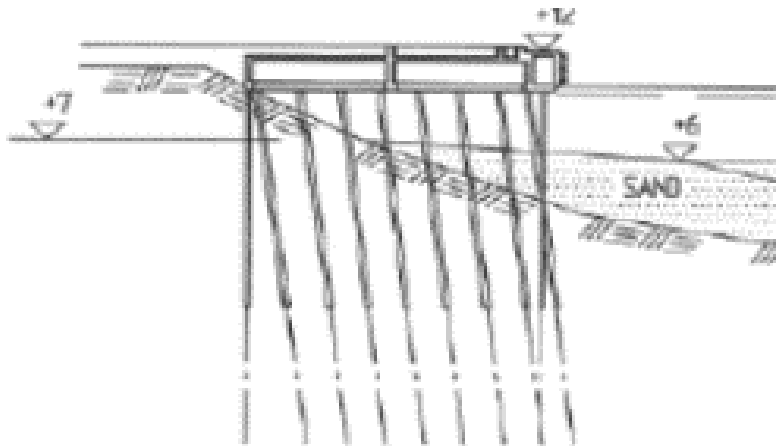
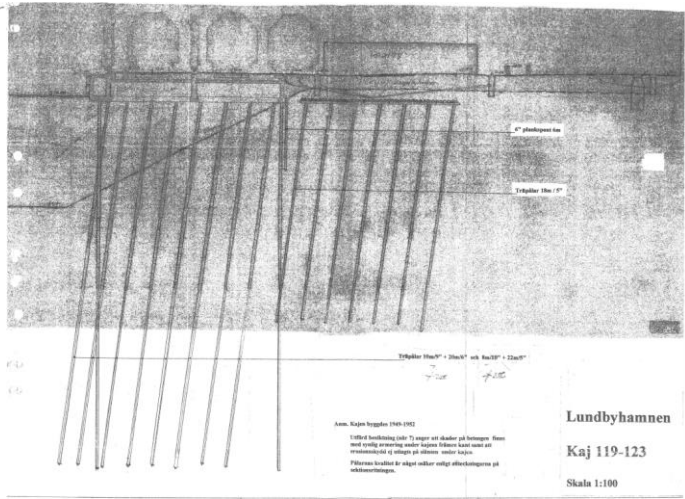
$P_{Rd} = 273,2 \text{ kN}$

Bärförmåga för påle mellan	-10,0	och	-30
Ø (-10)	253 mm		
Ø (-10)	310 mm		
Ø (-30)	150 mm		

$P_{Rd} = 234,7 \text{ kN}$

Nivå	Ø	
0	225 mm	
-4	253 mm	
-6	267 mm	
-10	310 mm	Skarv! 225 + 10*8=305 mm
-30	150 mm	

8 mm/m 8 mm/m normalt för långsamt växande tall



Beräkning enligt IEG Rapport 8:2008, rev. 3

Träpåles bärförmåga

Beräknad enligt:

$$P_{Rk} = \alpha \cdot \kappa_t \cdot \theta \cdot c_u \cdot L$$

$$P_{Rd} = P_{Rk} / \gamma_R / \gamma_{Rd} / \xi_3$$

α_{okorr}	1,0
κ_ϕ	0,9
κ_f	1,2
κ_{OCR}	0,9
κ_T	1,0
α	0,97

κ_t	1,0
------------	-----

γ_R	1,2
γ_{Rd}	1,1
ξ_3	1,29

Sätts till 1,0 (motsvarar full vidhäftning)
Normalt 0,9 vid en diameter på 0,2-0,35 m
Minskande tvärsnitt
0,4 om OCR>2,5 annars 1,0
Belastning mer än 2 månader efter installation
Produkten av ovanstående faktorer

Lastvaraktighet minut

Bärförmåga för påle mellan -6 och -30

ø (-6) 253 mm
ø (-30) 150 mm

Ska vara okorrigerat värde på cu mot djupet enligt PK Rapport 100 supplement 1.
Endast korrigerade värden i denna beräkning.

P _{Rk} =	501,6 kN	c _u
P _{Rd} =	294,5 kN	c _{ud}

Bärförmåga för påle mellan -10,0 och -30

ø (-10) 267 mm
ø (-30) 150 mm

Ska vara okorrigerat värde på cu mot djupet enligt PK Rapport 100 supplement 1.
Endast korrigerade värden i denna beräkning.

P _{Rk} =	490,4 kN	c _u
P _{Rd} =	288,0 kN	c _{ud}

Laster

γ _d	1,0 -	SK3
ξ	0,89 -	
γ _G	1,2 -	
γ _Q	1,5 -	

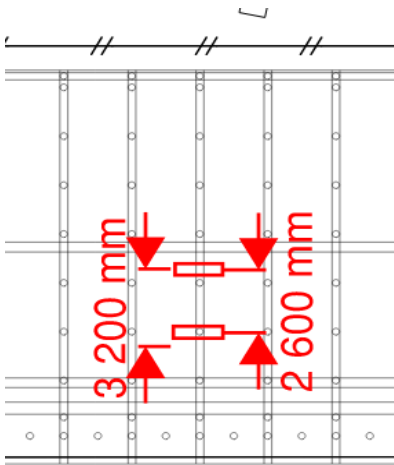
Dimensionerande vattenstånd: -0,1

Egentyngder:

g _{däck}	24,96 kN	Betongdäck 0,2*2,6*2,0*24
Tvärbalk	31,7 kN	Balk 2m* (1,8*0,3+4*0,3*0,1)*24
Betongbalk	10 kN	Uppskattad tillägg
Summa:	66,66 kN	

Variabel last:

Q _k	163,89 kN	Grävmaskin, 33 ton. Excentrisk belastning på en larv. Fördelning 90 % i längsled
----------------	-----------	--



G _{Ak} =	66,7 kN/påle	Karakteristisk, permanent last
Q _{Ak} =	131,1 kN/påle	Karakteristisk, variabel last på en larv, tipplast. Ekvation 6.10b dimensionerande p.g.a. huvudsakligen variabel last
G _{Ad} =	71,2 kN/påle	Dimensionerande, permanent last
Q _{Ad} =	175,0 kN/påle	Dimensionerande, variabel last.
Totalt	246,2 kN/påle	

Bärförmåga för påle mellan -10,0 och -30
Beräkning enligt Pålkommisionen

246	>	235 kN	Lägsta värde!
Lasteffekten är större än bärförmågan. Ej ok.			Bärförmåga: 0,95 (utnyttjandegrad)

Kontroll av knäckning av tråpåle

EKS 5, Del 1-1

SS-EN 338:2009, Träkonstruktioner - Konstruktionsvirke - Hållfasthetsklasser

Lastvarighetsklass: Medellång

Materialegenskaper:

	C18	Hållfasthetsklass
f _{m,h}	18 MPa	Böjning
f _{c,0,k}	18 MPa	
E _{0, medel}	9000 MPa	
E _{0,05}	7400 MPa	

γ _M	1,3 -	Konstruktionsvirke
k _{mod}	0,8 -	Hållfasthetsmodifieringsfaktor
		Klimatklass 2, Lastvaraktighetsklass M

Tabell 3.2, Dimensionering av träkonstruktioner

f _{c,0,d}	11,1 MPa
C _{ud, knäckning}	9,2 kPa
k · d	462 kPa
ø (-2)	201 mm
A _{påle} =	0,032 m²
I _{påle} =	0,00008 m⁴
i _{påle} =	0,05025 m

Dimensionerande värde enligt Pålhandboken skall inte vara högre än 11 Mpa för tråpålar, sidan 183

Skjuvhållfasthet för beräkning av bäddmodul (vid nivån -6)

Viktat värde på bäddmodul (50 · cud)

Påldiameter i snitt -2,0m minskat med 40 mm, 225+2*8-40=201mm. Inmätning min 250-40 = 210 mm

L ₀	4,0 m
L _s	1,5 m
β	0,85 -
L _{knäck} = β · (L ₀ + L _s)	
L _{knäck} =	4,7 m

Sandskikt stabiliserar

λ _y = L _{knäck} / i	
λ _y =	92,9
λ _{rel,y} = λ _y / √(f _{c,0,k} / E _{0,05}) ^{0,5}	
λ _{rel,y} =	1,46

k _y = 0,5 · (1 + β _c · (λ _{rel} - 0,3) + λ _{rel} ²)	
β _c	0,2
k _y =	1,68
k _c = 1 / (k + (k ² - λ _{rel} ²) ^{0,5})	
k _c =	0,40

Parameter för rakhetsavvikelse

Konstruktionsvirke

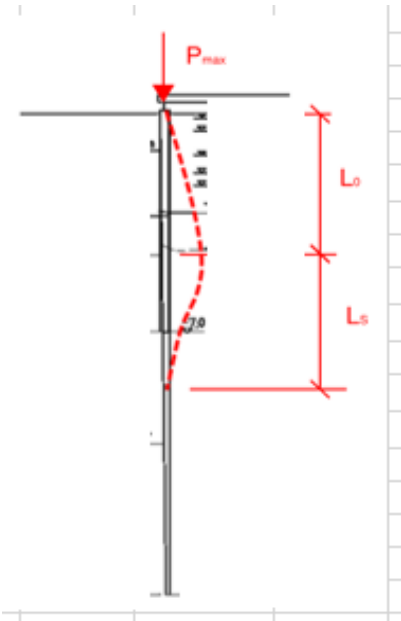
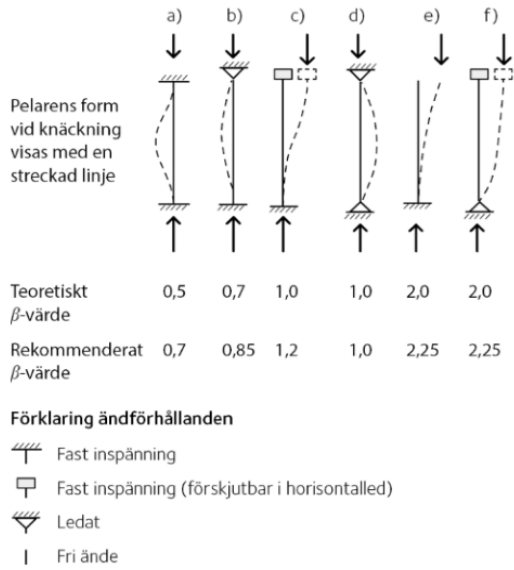
Instabilitetsfaktor

För λ_{rel} > 0,3

N _{c,0,Rd} = f _{c,0,d} · A · k _c	
N _{c,0,Rd} =	140 kN
246 > 140 kN	

Lasteffekten är större än bärförmågan. Ej ok.

Bärförmåga: 0,57
(utnyttjandegrad)



Hänsyn måste tas till lastspridning. På grund av tvärbalkarnas stora styvhet kan fyra pålar betraktas som verksamma. Egentyngd belastar med 8 m tvärs kajdäcket. Variabel last av hela grävmaskinen. Egentyngder: Säkerhetsklass 2.

$G_{däck}$	99,84 kN	Betongdäck 0,2*2,6*8,0*24
Tvärbalk	126,72 kN	Balk 8 m* (1,8*0,3+4*0,3*0,1)*24
Betongbalk	41,184 kN	Längsbalk 2,6 m
Summa:	267,744 kN	
Variabel last:		
Q_k	327,78 kN	Grävmaskin, 33 ton. Excentrisk belastning på två larver Fördelning 90 %
$G_{Ak} =$	267,7 kN	Karakteristisk, permanent last
$Q_{Ak} =$	327,8 kN	Karakteristisk, variabel last på två larver, tipplast <i>Ekvation 6.10b dimensionerande p.g.a. huvudsakligen variabel last</i>
$G_{Ad} =$	292,4 kN	Dimensionerande, permanent last. Lastkoefficient 1,2
$Q_{Ad} =$	447,4 kN	Dimensionerande, variabel last. Lastkoefficient 1,5
Totalt	739,8 kN	
Lasteffekt per påle	184,95 kN	

185 > 140 kN

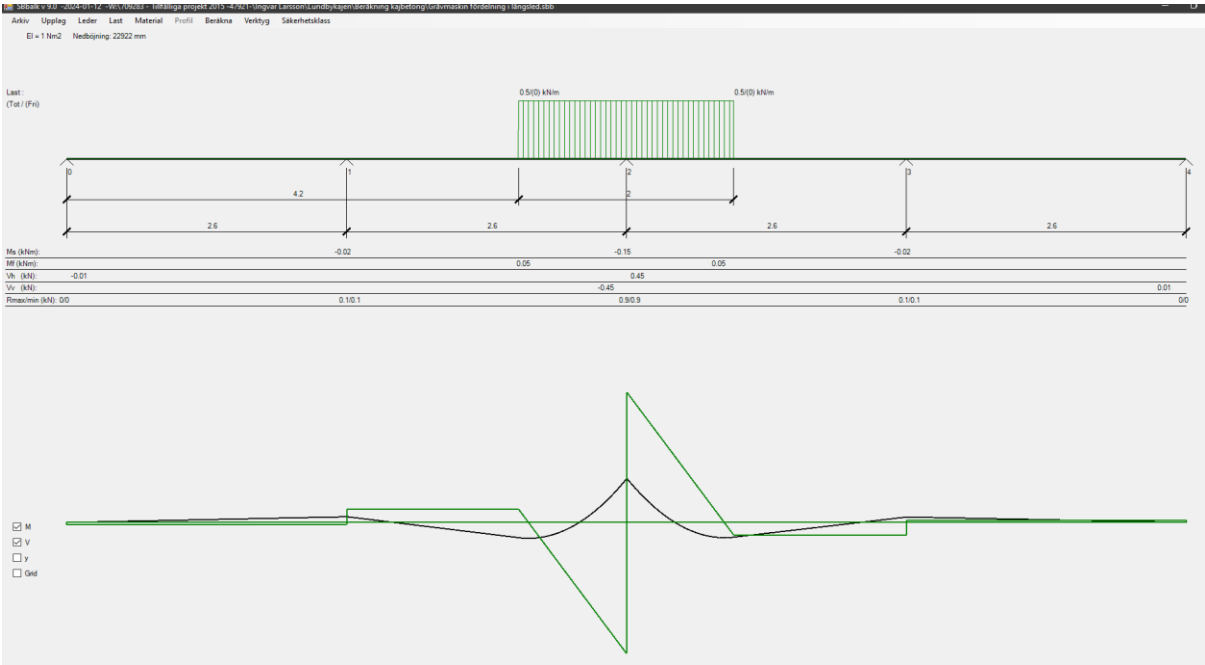
Lasteffekten är större än bärförmågan. Ej ok.

Bärförmåga: 0,76

(utnyttjandegrad)

I beräkningen har antagits p.s.s. mindre diameter än vad som inmäts på plats.

Fördelning av variabel last i längsled: 90 % till tvärbalken



Handläggare
Ingvar Larsson
Tel
+46 10-505 47 66
E-post
ingvar.larsson@afry.com

Datum
2024-09-20
Uppdragsnummer

Dokumentnummer

Lundbykajen, kajplats 123 i Göteborg

Bilaga 2. PM gällande sammanställning av bakomliggande pådäck till kajen (trädäck/rustbädd på träpålar)

Ingvar Larsson

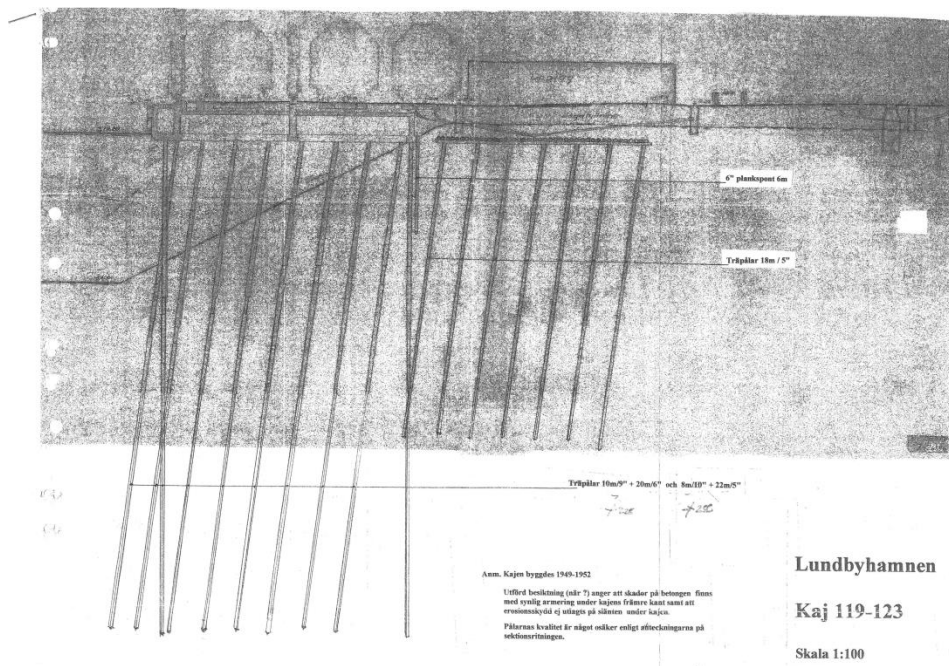
Rev.	Avser	Datum	Sign.
1	Koncept	2024-09-19	
2	Utgiven	2024-09-20	

1 Allmänt

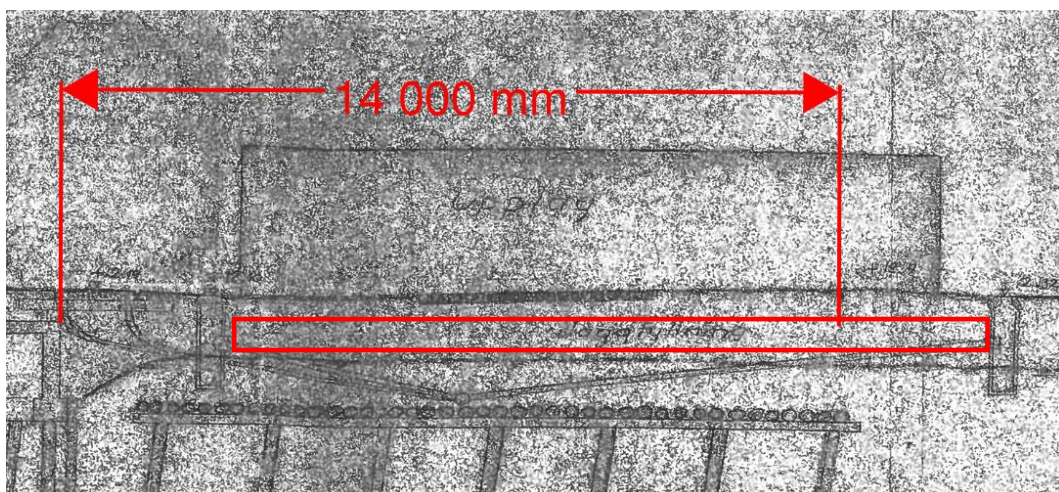
Denna PM avser att utgöra en sammanställning av kunskapsläget gällande bakomliggande upplagsyta med påldäck till kajkonstruktion i betong.

1.1 Befintliga konstruktioner

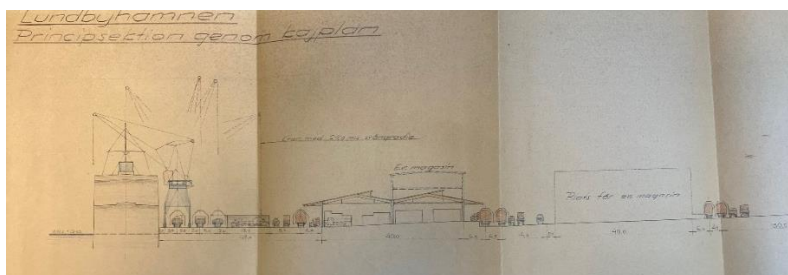
Leif Gustafson, VBK, har i sitt konstruktörsutlåtande daterat 2018-03-21 bifogat ritning enligt figur 1-1. Ingående delar i upplagsytan, se figur 1-2, diskuteras nedan.



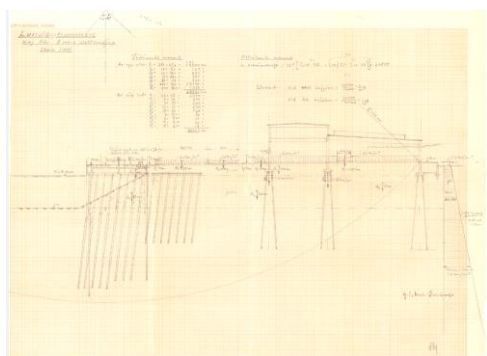
Figur 1-1 Befintlig kajkonstruktion med bakomliggande påldäck. Bild VBK.



Figur 1-2. Detalj av påldäck. I inramad del står det "Slaggfyllning". Ovan mark finns en ruta med texten "Upplag".



Figur 1-3 Tvärsnitt av ursprungligt planerad hamnanläggning. Bild från Regionarkivet i Göteborg, Hamnens mapp om Lundbykajen.



Figur 1-4 Stabilitetsberäkning med laster. Bild från Regionarkivet i Göteborg, Hamnens mapp om Lundbykajen.

1.2 Befintligt påldäck

Pålar, dimension

Anges av VBK till:

Träpålar 18 m långa. 5" i topp.

Verifiering 1: Norra provgropen.

Inmätt påldiameter 350 mm enligt mail Olle Andersson 240904, se foto nedan. Med tillväxt min 8 mm/m erhålls diametern $125 + 18 \cdot 8 = 270$ mm. Inträngning 10 mm till friskt trä.



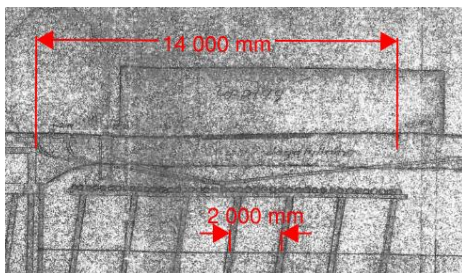
Verifiering 2: Kostnadsberäkning av Göteborgs Hamn

I kostnadsberäkningen enligt nedan anges träpålar 18m/5".

[illegible]

Pålar, centrumavstånd och utbredning

Mätning på ritning ger centrumavstånd 2,0 m se figur nedan. Hamnens ritning ger att de står i ett lika rutnät.



Verifiering 1: Norra provgruppen

Två pålar har inmätts med c/c avstånd 2,0.

Verifiering 2: Hamnens ritning från utförande av pålningsarbetet.

Ritningen som är upprättad efter påslagning visar hela utförande längs Lundbykajen inklusive att pålarna står i rutnät.



Verifiering 3: Kostnadsberäkning av Göteborgs Hamn

I kostnadsberäkningen anges 8,75 pålar/2,5 längdmeter. Detta ger ett c/c avstånd på 2 m.

Rustbädd och nivåer

Inmätt till att vara liggande stockar med diameter 125 till 150 mm. Friskt trä!

Pålbockar under stockar 200 mm x 200 mm.

Nivå: Överkant påldäck – 0,25 m. Underkant påldäck = ök pålar ca -0,6 m.

Lagerföljd: Se provgrupp 2.

Verifiering 1: Norra provgropen

Påle diameter ca 350mm (Frisk insticksdjup ca 10mm)

Bockrygg ca 220x220mm (Frisk insticksdjup ca 10mm)

Rustbädd av liggande stockar på ca 125mm.

Lager och nivå från rapport Bilaga 8 från Ramböll:

- Fyllnadsmaterialets mäktighet var ca 1,5 m därefter tog lera vid.
- Lera påträffades från nivå ca + 0,5.
- Träpålar och rustbädd påträffades på nivåer -0,6 till -0,78.
- Totalt grävdes två stycken träpålar fram.

Verifiering 2: Provgrop mitt

- Nivå överkant påldäck – 0,25 m.
- Rustbädd av längsgående stockar med varierande diameter 125 - 150 mm.
- Rustbädden var helt frisk från röta.
- Fyllnaden bestod av:
0,6 m vägöverbyggnad med bundet bärlager samt krossmaterial
Slagg (lättfyllnad) 0,6 m
Lera 1,1 m
- Nivå markyta cirka +2,05 m



Ursprunglig ytbelastning på påldäcket

Anges till 2 ton/m² på ytan för upplagslaster enligt figur 1-4. Denna last överstiger last från exempelvis containers (cirka 1,6 ton/m²). I figur 1-3 är inritad en container på upplagsytan.

1.3 Rekommendation

Att ytterligare en provgrop tas med placering i samråd med geotekniker. Syftet med provgropen är att ytterligare verifiera lagerföljder, nivåer och stockarnas status samt dimensioner.

Beräkningark: Momentkapacitet och tvärkraftskapacitet i trä

<i>Eurocode:</i>	<i>SS-EN 1995-1-1</i>
<i>Kapitel/avsnitt:</i>	<i>6.1.6</i>
<i>Beskrivning:</i>	<i>Momentkapacitet av trä enligt SS-EN 1995-1-1</i>
<i>Andra använda källor:</i>	<i>SS-EN 338:2016</i>

1 Indata

1.1 Geometri

Tvärsnittshöjd:

$$H := 120 \cdot \text{mm}$$

Tvärsnittsbredd:

$$B := 1000 \cdot \text{mm}$$

1.2 Material

Böjhållfasthet enligt SS-EN 338:2016 för kvalitet C18:

$$f_{mk} := 18 \cdot \text{MPa}$$

Klimatklass enligt SS-EN 1995-1-1, kap 2.3.1.3:

$$kk := 3$$

Material:

$$mat := \text{Konstruktionsvirke}$$

Lastvaraktighet enligt SS-EN 1995-1-1 tabell 2.1:

$$lastvar := \text{Medellång}$$

Partialkoefficient enligt SS-EN 1995-1-1, tabell 2.3:

$$Y_{M, trä} := \begin{cases} \text{if } mat = 0 \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel 1.3 \\ \quad \text{else} \\ \quad \parallel 1.25 \end{cases}$$

$$Y_{M, trä} = 1.30$$

Korrektionsfaktorer enligt SS-EN 1995-1-1 tabell 3.1:

$$k_{mod} := \begin{bmatrix} 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.9 & 1.1 \\ 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.9 & 1.1 \\ 0.5 & 0.55 & 0.65 & 0.7 & 0.9 \end{bmatrix}_{kk, lastvar}$$

$$k_{mod} = 0.65$$

$$k_h := \begin{cases} \text{if } mat = 0 \\ \quad \parallel \\ \quad \parallel \max(1, \min((150 \cdot \text{mm} \div H)^{0.2}, 1.3)) \\ \quad \text{else} \\ \quad \parallel \max(1, \min((600 \cdot \text{mm} \div H)^{0.1}, 1.1)) \end{cases}$$

$$k_h = 1.046$$

$$f_{md} := k_h \cdot k_{mod} \cdot f_{mk} \div Y_{M, trä}$$

$$f_{md} = 9.4 \text{ MPa}$$

1.3 Dimensionerande lasteffekter

Dimensionerande moment:

$$M_{Ed} := 23.8 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

2 Momentkapacitet

Böjmotstånd:

$$W_y := B \cdot H^2 \div 6$$

$$W_y = 2400000.0 \text{ mm}^3$$

Dimensionerande böjspänning enligt SS-EN 1995-1-1, avsnitt 6.1.6:

$$\sigma_{m,yd} := M_{Ed} \div W_y$$

$$\sigma_{m,yd} = 9.9 \text{ MPa}$$

Momentkapacitet:

$$M_{Rd} := f_{md} \cdot W_y$$

$$M_{Rd} = 22.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Utnyttjandegrad:

$$\eta_M := M_{Ed} \div M_{Rd}$$

$$\eta_M = 1.05$$

Tvärkraftskapacitet

Eurocode:

SS-EN 1995-1-1

Kapitel/avsnitt:

6.1.7

Beskrivning:

Tvärkraftskapacitet trä enligt SS-EN 1995-1-1

Andra använda källor:

SS-EN 338:2016

1.2 Material

Skjuvhållfasthet enligt SS-EN 338:2016 för kvalitet C18:

$$f_{vk} := 3.4 \cdot \text{MPa}$$

Faktor som beaktar inverkan av sprickor enligt SS-EN 1995-1-1 kap 6.1.7:

$$k_{cr} := 0.67$$

Klimatklass enligt SS-EN 1995-1-1, kap 2.3.1.3:

$$kk := 3$$

Material:

$$mat := \text{Konstruktionsvirke}$$

Lastvaraktighet enligt SS-EN 1995-1-1 tabell 2.1:

$$lastvar := \text{Medellång}$$

Partialkoefficient enligt SS-EN 1995-1-1, tabell 2.3:

$$\gamma_{M,trä} := \begin{cases} \text{if } mat = 0 \\ 1.3 \\ \text{else} \\ 1.25 \end{cases}$$

$$\gamma_{M,trä} = 1.30$$



Korrektionsfaktor enligt SS-EN 1995-1-1, tabell 3.1:

$$k_{mod} := \begin{bmatrix} 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.9 & 1.1 \\ 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.9 & 1.1 \\ 0.5 & 0.55 & 0.65 & 0.7 & 0.9 \end{bmatrix}$$

kk, lastvar

$$k_{mod} = 0.65$$

$$f_{vd} := k_{mod} \cdot f_{vk} \div Y_{M, trä}$$

$$f_{vd} = 1.7 \text{ MPa}$$

1.3 Dimensionerande lasteffekter

Dimensionerande tvärkraft:

$$V_{Ed} := 71.3 \cdot \text{KN}$$

2 Tvärkraftskapacitet

Effektiv bredd enligt SS-EN 1995-1-1, avsnitt 6.1.7:

$$b_{ef} := k_{cr} \cdot B$$

$$b_{ef} = 670.0 \text{ mm}$$

Dimensionerande skjuvspänning:

$$\tau_d := (3 \div 2) \cdot (V_{Ed} \div (H \cdot b_{ef}))$$

$$\tau_d = (1.3 \cdot 10^3) \text{ kPa}$$

Tvärkraftskapacitet:

$$V_{Rd} := (2 \div 3) \cdot f_{vd} \cdot H \cdot b_{ef}$$

$$V_{Rd} = 91.1 \text{ kN}$$

Utnyttjandegrad:

$$\eta_V := V_{Ed} \div V_{Rd}$$

$$\eta_V = 0.8$$