



Projekterings-PM/Geoteknik

PM/Geo

Hamngatan

Vänersborg

Detaljplan

Uppdragsnr: 22152

Bohusgeo AB 2024-10-23

Beställare

Kund: Vänersborgs kommun
Kontaktperson: Angelica Lunnari

Bohusgeo AB

Uppdragsnummer: 22152
Uppdragsledare: Daniel Lindberg
Handläggare: Emil Johansson
Granskning: Daniel Lindberg

Bastionsgatan 26
451 50 Uddevalla
Org.nr. 556601-5243
Tel. vxl. 0522-946 50
bohusgeo.se

Innehållsförteckning

| | | |
|------|---|---|
| 1. | Uppdrag och syfte | 2 |
| 2. | Underlag | 2 |
| 3. | Styrande dokument | 2 |
| 4. | Befintliga förhållanden | 3 |
| 4.1. | Mark, vegetation och topografi | 3 |
| 4.2. | Befintlig och planerad byggnation | 3 |
| 4.3. | Geotekniska förhållanden | 4 |
| 4.4. | Geohydrologiska förhållanden | 4 |
| 5. | Släntstabilitet | 5 |
| 5.1. | Allmänt | 5 |
| 5.2. | Valda parametrar | 5 |
| 5.3. | Beräkningar - Befintliga förhållanden, Hamngatan | 6 |
| 5.4. | Beräkningar – Befintliga förhållanden, västra sidan | 7 |
| 5.5. | Beräkningar – Åtgärdsförslag, Hamngatan | 7 |
| 5.6. | Slutsats | 8 |
| 6. | Grundläggning och sättningar | 8 |
| 7. | Bergras och blocknedfall | 8 |
| 8. | Kompletterande undersökningar i samband med projektering och byggande | 8 |

Bilagor

| | |
|-----------------|---|
| Bilaga 1:1-1:2 | Översikt planområde och typsektion |
| Bilaga 2:1-2:6 | Skjuvhållfasthet- och konsolideringsdiagram |
| Bilaga 3:1-3:3 | Val erforderlig säkerhetsfaktor |
| Bilaga 4:1 | Arbetsritning spont |
| Bilaga 5:1-5:4 | Beräkningar Spontprogrammet |
| Bilaga 6:1-6:14 | Stabilitetsberäkningar |
| Bilaga 7:1-7:59 | Beräkningar Plaxis 2D |
| Bilaga 8:1-8:2 | Kontroll uppflytning lättklinker |
| Bilaga 9:1 | Åtgärdsförslag i plan |

1. Uppdrag och syfte

Bohusgeo AB har på uppdrag av Vänersborgs kommun utfört en geoteknisk undersökning och utredning för en detaljplan inom Hamngatan och del av Järnvägsbacken i Vänersborg.

Detaljplanen syftar till att möjliggöra väderskyddande uteserveringar, bryggor längs Gamla Hamngatans kajer, möjliggöra för en gång- och cykelbro samt bevara och utveckla Hamngatan inom riksintresse för kulturmiljövård.

2. Underlag

Underlag för de i denna PM redovisade utvärderingarna utgörs av:

- Fält- och laboratoriearbeten utförda av Bohusgeo AB för projektet. Resultaten finns redovisade i en MUR daterad 2024-10-10, uppdragsnummer 22152.
- Plankarta, erhållen från Vänersborgs kommun, daterad 2023-04-03.
- *Vänersborg, Inspektion Stenkista*, upprättad av Dawab, daterad 2024-03-14.
- *Stenmurskaj, Vänersborg - Inspektion och tillståndsbedömning av kaj*, upprättad av Port Engineering, daterad 2024-04-02, uppdrag 23-038.
- *Detaljplan för kv Tisteln, Geoteknisk undersökning: PM beträffande detaljplan*, upprättad av GF Konsult AB, daterad 2006-10-24, uppdragsnummer 380 046 23.
- Arbetsritning över berlinerspont vid kaj, upprättad av Göteborgs Gatu AB, ritningsnummer 1, daterad 1996-05-24, reviderad 1996-06-18.

3. Styrande dokument

Utredningen har utförts i enlighet med tillämpliga delar i dokument förtecknade i Tabell 1.

Tabell 1. Styrdokument.

| Typ av utredning | Styrande dokument |
|--------------------|--|
| Alla utredningar | SS-EN 1997-1, SS-EN 1997-2 IEG Rapport 2:2008, rev 3 IEG Rapport 4:2008, rev 1 |
| Släntstabilitet | SIG Vägledning 8 IEG Rapport 4:2010 TRVINFRA-00229 TRVINFRA-00230 |
| Slänter och bankar | IEG Rapport 6:2008, rev 1 |
| Pålar | IEG Rapport 8:2008, rev 3 Pålkommisionens rapporter |
| Stödkonstruktioner | IEG Rapport 2:2009, rev 1 |
| Stödmur | IEG Rapport 11:2010 |

4. Befintliga förhållanden

4.1. Mark, vegetation och topografi

Det undersökta området utgörs av asfalterade eller stenbelagda ytor vid Hamngatans kajområde som avgränsas mot Gamla Hamnkanalen i väst. Hamnkanalen står i direkt förbindelse med Väneren. Markytans nivå inom det undersökta området uppgår till mellan ca +46 och ca +46,5.

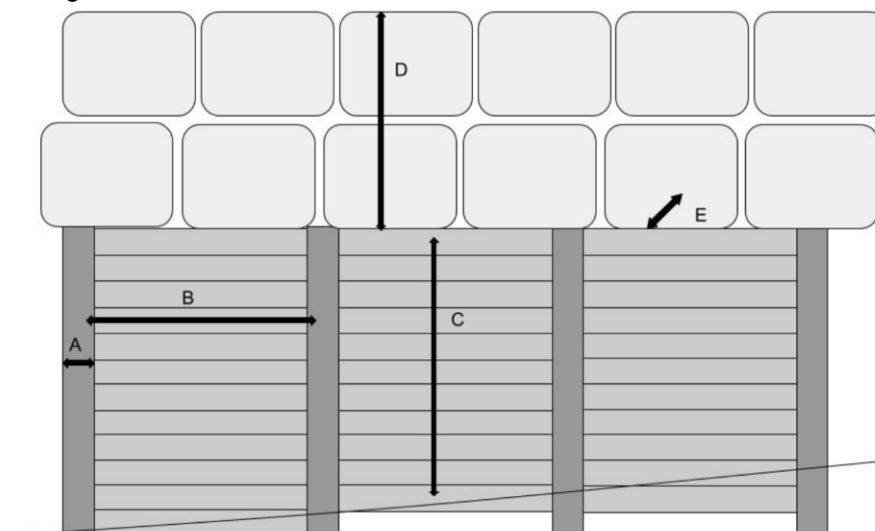
Botten i Gamla Hamnkanalen utanför kajen har uppmätts till mellan ca +39,5 och ca +41 och nivån är generellt högre i söder och minskar norrut. Nivåskillnaden mellan markytan bakom kajen och bottenivån i Gamla hamnkanalen uppgår till mellan ca 4 och ca 6 m.

4.2. Befintlig och planerad byggnation

Kajkonstruktionen mot Hamnkanalen utgörs enligt av GF upprättat PM, daterat 2006-10-24, av en kallmur av huggen sten. Muren vilar på rustbädd på spetsbärande pålar. Även befintliga byggnader inom och i anslutning till planområdet antas vara pålade.

Enligt ritning upprättad av Göteborgs Gatu AB och PM upprättat av GF ska en ca 1 m mäktig makadambank lagts ut framför kajen som en tryckbank i samband med den förstärkning av kajen som utfördes under 90-talet, vilket minskar höjdskillnaden mellan kajkrön och botten till mellan ca 4,0 och ca 5,0 m, se Bilaga 4. Makadambanken har även observerats vid kompletterande inmätningar i Hamnkanalen, se för projektet upprättad MUR/Geoteknik daterad 2024-10-10.

Förstärkningen i övrigt utgjordes enligt arbetsritning, se Bilaga 4, av en glesspont (tidigare benämnd berlinerspont) med brädor som utfackning mellan HEB100-balkar. Bakom glessponton har skumbetong och fiberbetong gjutits under kajmuren. Balkarna har enligt ritningen ett c/c-avstånd på 1 m, men enligt Dawabs besiktning varierar c/c-avståndet mellan ca 1,1 och ca 1,4 m, se Figur 1 nedan.



Måtten på H-balks konstruktionen

- A – 10cm – H-balkens bredd
- B – varierar mellan 110cm och 140cm – CC mellan två H-Balkar
- C – varierar mellan 130cm och 220 cm – Höjden på sponten från botten till kanten.
- D – varierar mellan 180cm och 200cm – Höjden från sponten upp till kajkant
- E – varierar mellan 20cm och 30cm – djupet mellan spont och stenkista

Figur 1. Utdrag ur Dawabs besiktning av kajen.

I Port Engineerings tillståndsbedömning av kajen beskrivs hur korrosion på HEB-balkar och röta på sponkonstruktionens plank observerats. Detta bedöms enligt Port Engineering inte utgöra några problem i dagsläget. Det går dock inte att utesluta att korrosion kan bli ett problem i framtiden då sponten delvis befinner sig i vattenlinjen, ett område där kraftigt förhöjd korrosion kan förväntas.

4.3. Geotekniska förhållanden

Det totala sonderingsdjupet bakom kajen varierar mellan ca 8 och ca 18 m. Jorddjupet blir generellt sett större åt kajen till och de minsta djupen har påträffats i den östra delen av detaljplaneområdet. Jordlagren bedöms under det ca 0,3 m tjocka vegetationsjordlaget från markytan räknat i huvudsak utgöras av:

- fast ytlager (delvis fyllning)
- lera
- friktionsjord

Det fasta ytlaget utgörs i huvudsak av **silt, sand och grus**, varav grus i endast förekommer i de delar som bedömts utgöras av fyllning. Tjockleken varierar i huvudsak mellan ca 3 m och ca 6 m. Vattenkvoten har uppmätts till mellan ca 10 och ca 60 %. Silten är mycket tjällyftande och starkt flytbenägen.

Lera finns med mellan 4 och 8 m mäktighet. Leran är i regel siltig. Vattenkvoten har i huvudsak uppmätts till mellan 45 och 65 % och konflytgränsen till mellan 35 och 50 %.

Skjuvhållfastheten har i fält bestämts genom vingförsök och CPT-sonderingar och på laboratorium genom konförsök och direkta skjuvförsök. Dessutom har empiri från utförda CRS-försök utvärderats. Skjuvhållfastheten varierar inom området och val av skjuvhållfasthet har gjorts för tre delområden: öster om Hamnkanalen, väster om Hamnkanalen och i Hamnkanalen, se Bilaga 2. Sensitiviteten varierar i regel mellan 20 och 40. Leran bedöms vara mellan- till högsensitiv men inte kvick.

För att undersöka lerans sättningsegenskaper har kompressionsförsök typ CRS utförts. Leran bedöms inte kunna påföras någon belastning utan risk för långtidssättningar. I Bilaga 2 redovisas konsolideringsdiagram för utförda CRS-försök.

Friktionsjorden under leran har inte undersökts närmare. Sonderingarna har i regel trängt ned mellan ca 0,5 och ca 6 m och stoppat i den fast lagrade friktionsjorden eller att mot sten, block eller berg erhållits.

Bergnivån har inte bestämts.

4.4. Geohydrologiska förhållanden

Portrycket i leran har uppmätts i 1 punkt (2 spetsar/punkt) under perioden mars till augusti 2024. Mätningar har utförts var 4:e timma med logger. De uppmätta trycknivåerna redovisas i MUR upprättad för projektet, daterad 2024-10-10.

Den övre grundvattennivån (0-portrycksnivån) bedöms vara belägen på mellan 1 och 1,5 m djup under markytan, vilket motsvarar ca 0,1 - 0,2 m högre nivå än uppmätt vattenstånd i Vätern vid samma tillfälle. Portrycket har en hydrostatisk fördelning, vilket innebär en ökning med ca 10 kPa/m mot djupet.

Enligt långtidsmätningar (1939-2011) varierar vattenståndet i Vätern enligt följande:

HHW +45,99

MW +44,66

LLW +43,48

Samtliga nivåer är angivna i RH2000. Dessa nivåer bedöms vara representativa för det nu berörda detaljplaneområdet.

5. Släntstabilitet

5.1. Allmänt

Släntstabiliteten har beräknats i tre sektioner, se placering i Bilaga 1. I samtliga sektioner har stabiliteten mot Hamngatan kontrollerats och i sektion A har även stabiliteten mot motsatt sida Hamnkanalen kontrollerats.

Vid analys av stabiliteten mot Hamngatan har befintlig förstärkning av kajen, i form av tidigare utförd glesspont, beaktats genom att glesspontens mothållande kapacitet beräknats i Spontprogrammet. Därefter har beräkningar utförts i Geostudio 2021.4 Slope/W. Beräkningarna har utförts med cirkulärcylindriska glidytor med odränerad (c) och kombinerad (komb) analys. Beräkningar har även utförts med FEM-programvaran Plaxis 2D, dels för att jämföra med resultaten från stabilitetsberäkningarna, dels för att kontrollera huruvida glessponten har erforderlig kapacitet. I Plaxis 2D har leran modellerats som ett odränerat material.

Den utförda undersökningen vid Hamngatan öster om Hamnkanalen bedöms uppfylla fördjupad nivå enligt SGI Vägledning 8. Väster om Hamnkanalen bedöms tidigare undersökningar sammantaget uppfylla nivån för detaljerad utredning.

Erforderliga säkerhetsfaktorer enligt IEG R4:2010 framgår av Tabell 2.

Tabell 2 Erforderliga säkerhetsfaktorer enligt IEG R4:2010

| Utredningsnivå | F_c | F_{komb} |
|--|------------------|------------------|
| Detaljerad utredning, befintlig bebyggelse | $\geq 1,7 - 1,5$ | $\geq 1,5 - 1,3$ |
| Detaljerad utredning, nyexploatering | $\geq 1,7 - 1,5$ | $\geq 1,5 - 1,4$ |
| Fördjupad utredning, befintlig bebyggelse | $\geq 1,4 - 1,3$ | $\geq 1,3 - 1,2$ |
| Fördjupad utredning, nyexploatering | $\geq 1,5 - 1,4$ | $\geq 1,4 - 1,3$ |

För att välja erforderliga säkerhetsfaktorer har en värdering gjorts utifrån en sammanställning av gynnsamma och ogynnsamma förhållanden enligt tabell 4.1a-4.1i IEG Rapport 4:2010. Sammanställningen redovisas i Bilaga 3 och utvärderade säkerhetsfaktorer redovisas i Tabell 3.

Tabell 3 Valda erforderliga säkerhetsfaktorer

| Utredningsnivå | F_c | F_{komb} |
|--|-------------|-------------|
| Detaljerad utredning, befintlig bebyggelse | $\geq 1,58$ | $\geq 1,38$ |
| Detaljerad utredning, nyexploatering | $\geq 1,58$ | $\geq 1,44$ |
| Fördjupad utredning, befintlig bebyggelse | $\geq 1,34$ | $\geq 1,24$ |
| Fördjupad utredning, nyexploatering | $\geq 1,44$ | $\geq 1,34$ |

5.2. Valda parametrar

5.2.1. Skjuvhållfasthet

Vald skjuvhållfasthet framgår i Bilaga 2 samt på beräkningarna i Bilaga 5 - Bilaga 7.

5.2.2. Portryck

Vattenstånd i Gamla hamnkanalen har ansatts densamma som LLW för Vänern, ca +43,5. Grundvattenytan bakom kajen har ansatts på samma nivå som vattenytan i Hamnkanalen, då de ytliga jordlagren bedöms utgöras av i huvudsak permeabla jordar. Portrycket har ansatts öka hydrostatiskt (10 kPa/m) mot djupet

5.2.3. Laster

För GC-vägen intill kajkant har en variabel karakteristisk last på 5 kPa ansatts. För Hamngatan har en variabel karakteristisk last på 10 kPa ansatts, då det enligt GF:s tidigare PM, daterat 2006-10-24, är vid denna last som erforderlig säkerhet för sponten ska uppnås.

Den fiberbetong som är belägen bakom kajen är grundlagd på tidigare utförda träpålar enligt den arbetsritning som upprättades för förstärkningen av kajen, se Bilaga 4. Även en del av den fyllning som följer ovan och bakom fiberbetongen bedöms bäras av pålarna. I stabilitetsberäkningarna i Slope/W beaktas detta genom att tungheten i den del av fyllningen som bedöms bäras av pålarna ansätts till 0,1 kN/m³. Utbredningen av den del av fyllningen som pålarna bär har bedömts genom att en linje med lutning 1:1 dragits från u.k. fiberbetong, se Bilaga 6.

I stabilitetsberäkningarna ansätts punktlaster i spontlinjen för att beakta det mothåll som sponten bedöms ge. Punktlasterna ansätts med 0,2 m mellanrum och storleken baseras på resultaten från beräkningar i Spontprogrammet, se 5.3.1 nedan.

Som en del av detaljplanen önskas flytbryggor kunna anläggas mot befintlig kajkonstruktion. En känslighetsanalys har därför utförts i Plaxis 2D, där en antagen punktlast på ca 14 kN (10 kN i horisontalled och 10 kN i vertikalled) har ansatts på befintlig kajkonstruktion.

5.2.4. Glesspont

I beräkningarna har sponten modellerats som en glesspont med c/c 1,25 m bestående av HEB 100-balkar. I beräkningarna har ingen hänsyn tagits till den avrostning av balkarna eller röta på plank som observerades av Dawab. Balkens momentkapacitet har i beräkningarna ansatts till 25 kNm/m.

5.3. Beräkningar - Befintliga förhållanden, Hamngatan

5.3.1. Spontprogrammet

Resultatet av beräkningarna i Spontprogrammet redovisas i Bilaga 5. Beräkningarna visar att spontens mothållande kapacitet begränsas av det maximala tryck som kan utbildas bakom sponten innan leran går till brott mellan HEB-balkarna. I stabilitetsberäkningarna i GeoStudio 2021.4 Slope/W är det detta tryck som ansatts för att beakta mothållet från sponten.

5.3.2. GeoStudio 2021.4 Slope/W

Stabilitetsberäkningar utförda i Slope/W redovisas i Bilaga 6.

Beräknade säkerhetsfaktorer redovisas i Tabell 4.

Tabell 4. Beräknade säkerhetsfaktorer, befintliga förhållanden

| Sektion\Analys | F _c | F _{komb} |
|------------------------------|----------------|-------------------|
| Sektion A (Bilaga 6:1-6:2) | 1,13 | 1,18 |
| Sektion B (Bilaga 6:7-6:8) | 1,05 | 0,90 |
| Sektion E (Bilaga 6:11-6:12) | 1,21 | 1,17 |

Beräkningarna visar att stabiliteten för befintliga förhållanden inte är tillfredsställande baserat på det underlag som funnits att tillgå vid tillfället för denna PM. Stabilitetsförbättrande åtgärder bedöms således erfordras längs med hela kajen.

5.3.3. Plaxis 2D

Beräkningsresultat från utförda beräkningar i Plaxis 2D redovisas i Bilaga 7. I beräkningarna har HEB-balkar, betong, kajmur och träpålar modellerats baserat på befintligt underlag. Beräkningarna visar att säkerhetsfaktorn mot brott vid befintliga förhållanden är ca $M_{sf} = 1,24$.

5.4. Beräkningar – Befintliga förhållanden, västra sidan

5.4.1. GeoStudio 2021.4 Slope/W

Stabilitetsberäkningar utförda i Slope/W redovisas i Bilaga 6:5-6:6. Beräkningarna har utförts för befintliga förhållanden och visar att stabiliteten idag kan klassas som tillfredsställande då kritisk säkerhetsfaktor $F_c = 1,62$ och $F_{komb} = 1,58$ vilket uppfyller kraven på erforderlig säkerhetsfaktor för detaljerad utredning.

5.5. Beräkningar – Åtgärdsförslag, Hamngatan

5.5.1. GeoStudio 2021.4 Slope/W

Analys av åtgärder för att uppnå erforderlig säkerhetsfaktor har utförts i Slope/W och redovisas i Tabell 5 nedan samt i Bilaga 6. Åtgärderna utgörs dels av att delar av befintlig fyllning skiftas ur mot lättfyllning (LWA), dels av att trafiklasten begränsas till max 10 kPa.

Tabell 5. Beräknade säkerhetsfaktorer, åtgärdsförslag

| Sektion\Analys | F_c | F_{komb} |
|------------------------------|-------|------------|
| Sektion A (Bilaga 6:3-6:4) | 1,44 | 1,46 |
| Sektion B (Bilaga 6:9-6:10) | 1,45 | 1,36 |
| Sektion E (Bilaga 6:13-6:14) | 1,48 | 1,43 |

Lättfyllning har i beräkningarna modellerats som lättklinker och ansatts med en mäktighet på 1,5 m till mellan ca 15 och ca 20 m bakom kajkant, under en överbyggnad på 0,7 m, se utbredning i plan i Bilaga 9. Lättklinkern har kontrollerats för uppflytning för en grundvattenyta i höjd med markytans nivå, se Bilaga 8. Vid utförandet av lättklinker bör en dränering läggas i underkant för att säkerställa att grundvattenytans nivå följer vattennivån i Hamnkanalen.

Ovan föreslagna åtgärder ger erforderlig effekt i kombination med glesspontens mothållande effekt. Den avrostning och röta som Dawab observerat utgör enligt Port Engineering inget problem idag, men kan med tiden försämra spontens funktion så att den inte längre ger tillräcklig mothållande effekt med avseende på stabiliteten. Regelbunden besiktning av sponten bedöms därför erfordras för att kunna fånga upp eventuella behov av reparationer eller förstärkningar som kan uppstå med tiden.

5.5.2. Plaxis 2D

Det åtgärdsförslag som beskrivs i 5.5.1 har även analyserats i Plaxis 2D. Beräknad säkerhetsfaktor $M_{sf} = 1,47$ uppfyller kraven på erforderlig säkerhetsfaktor. Momentkapaciteten i HEB-balkarna bedöms efter åtgärd vara utnyttjad till mellan ca 60 och ca 70 %, vilket medger viss avrostningsmån för balkarna.

Vid beaktande av antagen last från flytbryggor blir säkerhetsfaktorn lägre, $M_{sf} = 1,40$, vilket inte uppfyller kraven på erforderlig säkerhetsfaktor. För att flytbryggor ska kunna angöras mot befintlig kajkonstruktion erfordras att den last som påförs kajkonstruktionen utreds vidare och att kompletterande beräkningar utförs för att säkerställa att kajen har erforderlig kapacitet för denna last.

5.6. Slutsats

För Hamngatan och kajkonstruktionen uppnås inte erforderlig säkerhetsfaktor vid stabilitetsberäkningarna och stabiliteten bedöms därmed vara otillfredsställande utifrån tillgängligt underlag över kajens och bakomliggande marks konstruktion. En möjlig åtgärd i form av lastbegränsning längs med Hamngatan och urskiftning av befintliga fyllningsmassor mot lättfyllning har analyserats och bedöms ge tillräcklig effekt för att uppnå tillfredsställande stabilitet. Ett annat alternativ är att kajkonstruktionen förstärks ytterligare med komplettering av den glesspont som utförts tidigare, men detta bedöms vara betydligt mer kostsamt. Lämpliga planbestämmelser som reglerar lastbegränsning och åtgärd med lättfyllning bör införas i planen.

Port Engineering rekommenderar regelbundna inspektioner med 6 års mellanrum. Tätning mot botten längs delar av sträckan rekommenderas också, för att förhindra underminering av Hamngatan till följd av att fyllning rinner ut. En lämplig planbestämmelse bör införas som reglerar detta.

6. Grundläggning och sättningar

Utförda CRS-försök visar att leran under fyllningen är normalkonsoliderad, vilket innebär att all last som tillförs leran riskerar att orsaka långtidssättningar. Detta bör beaktas vid nivåsättning av markyta och grundläggning av byggnader.

7. Bergras och blocknedfall

Risk för bergras eller blocknedfall som kan påverka detaljplaneområdet bedöms inte föreligga.

8. Kompletterande undersökningar i samband med projektering och byggande

Kompletterande stabilitetsberäkningar bör utföras för att optimera utbredning av åtgärd när nivåsättning och markanvändning utretts i högre grad. Stabilitetsberäkningar som säkerställer erforderlig säkerhet i arbetsskedet vid utförande av åtgärd bör också utföras.

Om tyngre konstruktioner eller byggnader planeras inom planområdet kan kompletterande undersökningar erfordras för att bedöma lämplig grundläggningsmetod för dessa.