

## Stabilitetsanalys Kv. Braxen 9, Norrköping

### 1. Bakgrund

Med anledning av exploateringsplaner för Kv. Braxen 9, Norrköping, kommer detaljplanen för fastigheten att ändras. Den utförda stabilitetsanalysen utgör ett av underlagen för detta. Nuvarande detaljplan framgår av Figur 1.1. Flygfoto över fastigheten visas i Figur 1.2. Fastigheten begränsas av ett parkområde och Motala ström i norr, Vinkelgatan i väster, Kneippgatan i söder och Flodgatan i öster.

Nuvarande detaljplan anger begränsningar i användningen av obebyggd mark för bebyggelse. Området närmast parkområdet får inte användas för bebyggelse. Området mellan detta område och det underjordiska garaget får inte byggas annat än med komplementbyggnader med en total yta av 150 m<sup>2</sup>.

Befintliga byggnader är pålgrundlagda.



Figur 1.1 Nuvarande detaljplan för Kv. Braxen 9, Norrköping. Fastigheten är idag bebyggd med fyra bostadshus och underjordiskt garage närmast Kneippgatan.

En utbyggnad av trapphusen samt en påbyggnad av trapphusen och befintliga bostadshus med maximalt två våningar planeras, och med anledning av det ska detaljplanen ändras.



Figur 1.2 Flygfoto över fastigheten med parkmarken, en gångväg och Motala ström i norr, Vinkelgatan i väster, Kneippgatan i söder och Flodgatan i öster.

## 2. Geotekniska förhållanden

### 2.1. Övergripande beskrivning

Enligt SGU:s jordartskarta består jordlagerföljden ytligt (de översta ca 0,5 m – 1 m) i området av sandig morän (blå färg med vita punkter), Figur 2.1 a). Områden med berg i dagen förekommer i närområdet (röd färg). SGU:s jorddjupskarta indikera ett jorddjup på 3 – 5 m (gul färg), Figur 2.1 b)



Figur 2.2 Utdrag ur a) SGU jordartskarta och b) SGU jorddjupskarta.

## 2.2. Tidigare utförda geotekniska undersökningar

Ett flertal tidigare utförda geotekniska undersökningar har funnits tillgängliga under arbetet med stabilitetsanalyser. Endast ett fåtal av dessa var dock utförda i nutid, och de berörde varken närområdet eller innehöll beskrivningar med en omfattning som möjliggjorde värderingar av jordens tekniska egenskaper. Vid en genomgång av de geotekniska beskrivningarna i de olika handlingarna framkom det, att förhållandena visar en signifikant variation. Sålunda är bara undersökningar som berör den aktuella fastigheten eller dess omedelbara närhet intressanta för stabilitetsanalysen.

Den mest omfattande av de tidigare utförda undersökningarna, som också berörde den aktuella fastigheten är:

- *Utlåtande över kompletterande undersökningar för planerad garagebyggnad å kvarteret Braxen 9, Norrköping*, upprättad av Byggnadsaktiebolaget L. E. Lundberg, uppdragsnummer N/201, daterad 1963-06-19.
- Komplettering till ovanstående handling, daterad 1964-01-29.
- Komplettering till ovanstående handlingar, daterad 1964-02-10.

De geotekniska undersökningarna har i huvudsak utgjorts av viktsondering och spadborring (provtagning).

Den geotekniska beskrivningen i handlingarna är:

### 1963-06-19

*Undergrunden inom området är av högst varierande beskaffenhet och har erhållit sin heterogena struktur genom inverkan av Motala Ström.*

*Marken är uppbyggd av momaterial som skiktats tillsammans med mjäla, sand och grus med skiftande lagringstäthet. Inom den norra och sankta delen av området [Rejlers kommentar: närmast Motala Ström] består de övre marklagren av lerigt och gyttjigt material med inslag av torv. Lera och organiskt material har även påträffats i [Rejlers kommentar: i enstaka undersökningspunkter<sup>1</sup>] inom tomtens högre delar [Rejlers kommentar: i området kring Kneippgatan].*

### 1964-01-29

*Viktsonderingarna visar att marklagren inom det aktuella området är tämligen fasta, dock med varierande lagringstäthet. Spadborringen visar för de översta metrarna ett lerigt och mjäligt material. Vid föregående undersökning påträffades i [Rejlers kommentar: i enstaka undersökningspunkter<sup>1</sup>] tunnare lager av organiskt material (torv) och dylika inslag av ur*

---

<sup>1</sup> Istället för att ange de aktuella undersökningspunkternas benämning, som inte säger något om inte hela utredningen bifogas, har istället begreppet "i enstaka undersökningspunkter använts". Det handlar om två undersökningspunkter enligt handlingarna.

*grundläggningssynpunkt ogynnsamma material torde även förekomma inom den planerade garagebyggnaden.*

*Av 3 kompletterande hejarborrhål har endast 1 av 3 trängt ner lika djupt som viktsonden, medan för de övriga 2 stoppslag har erhållits något tidigare. Detta torde tyda på att de undre marklagren är inhomogena och tyder på förekomst av stenar och block.*

1964-02-10

Denna handling innehöll ingen geoteknisk information, utan uppehöll sig kring det faktum att bottenplattan för det underjordiska garaget skulle komma att grundläggas på ett lägre djup än vattennivån i Motala Ström.

### **2.3. Geoteknisk modell för stabilitetsanalysen**

En detaljerad geoteknisk modell (jordlagerföljd och ingående jordlayers tekniska egenskaper) låter sig inte med enkelhet göras utifrån beskrivningarna i ovan refererade handlingar. Följande slutsatser kan dras från beskrivningarna

- Jordlagerföljden är varierande och inhomogen.
- Den naturligt avlagrade jorden har påverkats av Motala Ström (t. ex. omlagring, svallning, erosion [såväl borttransport av och avsättning av med vattnet transporterat material ingår i begreppet])
- Jordlagerföljden innehåller både lera, mo och mjåla<sup>2</sup>
- Jordlagerföljden innehåller organisk jord

En begränsning av möjligheten att använda tidigare utförda undersökningar är, att den huvudsakliga sonderingsmetoden som har använts är viktsondering.

Viktsondering har genom åren varit en mycket använd metod, även om användningen har minskat på senare tid, dels i takt med att andra metoder tagits i bruk, dels i en harmonisering i och med Sveriges medlemskap i EU, och därmed kravet att följa Eurokod 7 för geotekniska undersökningar. Sålunda finns det en väl utvecklad erfarenhet och empiri för att via resultat från viktsonderingar värdera jordars tekniska egenskaper. Under sådana förhållanden finns även stöd i Eurokod 7 för att använda resultat utvärderade från denna metod under begreppet "Hävdvunna metoder", dvs. metoder som har använts i stor omfattning under längre tid, och som det föreligger stor kunskap om och vedertagna modeller för att använda i geoteknisk projektering.

Beräkningsmodellens geometri har satts upp utifrån bedömning av kritisk sektion från ovan refererade handlingar.

---

<sup>2</sup> Mo och mjåla är tidigare använda jordarter och som i princip motsvarar silt med dagens jordartsbeteckningar.

När det gäller jordlagerföljd, har vid nu utförda stabilitetsanalyser antagits att jorden, förutom ett övre liggande fyllningslager och ett lager friktionsjord (morän) närmast berget, främst uppvisar kohesionsjordsbeteende. Detta bedöms vara ett konservativt antagande.

Vid en genomgång av utförda viktsonderingar, visar det sig, att pålagd vikt generellt är ca 100 kg, förutom i enstaka tunnare skikt i jorden. Från empiri kan antas att den karakteristiska odränerade skjuvhållfastheten uppskattas (om än överslagsmässigt). Man får gå tillbaka lite i tiden för att hitta explicita beskrivningar av empiriska samband. Tendensen de senare åren är, att den typen av information inte medtas i handböcker och kravbeskrivningar. Inte för att den inte längre skulle vara giltig – jorden bryr sig ju inte om att vi utfärdar nya styrande dokument – utan troligen för att man önskar att den ansvarige geoteknikern i olika projekt ska kunna ange och motivera vilka metoder som används, hur resultaten ska bearbetas, redovisas och utvärderas, och i samband med det t ex vilken empiri som kan användas.

I Handboken Bygg från 1961 (Tredje upplagan, andra tryckningen) står följande att läsa i Avd. 17. Geoteknik, kapitel 171 (författat av ingenjör Lyman Cadling):

*$\tau_{fu}$  (Rejlers kommentar: enligt nuvarande terminologi  $c_u$ ) varierar från praktiskt taget noll i exempelvis ytskiktet på lersediment, som aldrig blivit uttorkade, till mer än 5 t/m<sup>2</sup> [Rejlers kommentar: 1 t/m<sup>2</sup> = 10 kPa] i exempelvis ett lerlagers torrskorpa. En viss fastän mycket osäker bedömning av  $\tau_{fu}$  kan erhållas medelst viktsondering. Sondbelastningen påverkas nämligen förutom av  $\tau_{fu}$  vid sondspetsen även bl. a. av mantelmotståndet och jordartens sensitivitet ( $S_t$ ). I Tabell :571 visas en mycket ungefärlig relation mellan sondbelastning och  $\tau_{fu}$  avseende lera med normal sensitivitet och normalt borrhjup. Vid stora borrhjup ökar givetvis sondbelastningen på grund av det ökade mantel motståndet.*

Tabell 2.1 Översiktlig relation mellan sondmotstånd vid viktsondering och lerans odränerade skjuvhållfasthet (1 t/m<sup>2</sup> = 10 kPa).  $\tau_{fu}$  benämns med dagens nomenklatur  $c_u$ . (Handboken Bygg, 1961 (tredje utgåvan, andra tryckningen).

Tabell : 571

Lerans fasthet	Sondmotstånd kg	$\approx \tau_{fu}$ t/m <sup>2</sup>
Lös.....	0, 5, 15, 25	<1
Halvfast.....	50, 75	1—2,5
Fast.....	100, 100+ vridning	> 2,5

I följande upplaga av Handboken Bygg (1972) finns motsvarande information i text, men tabellen är inte medtagen. Denna gång är författaren överingenjör Bengt Broms.

*En mycket grov uppskattning av  $\tau_{fu}$  kan även göras ur resultaten från viktsondering. Är den odränerade skjuvhållfastheten mindre än ca 10 kPa sjunker sonden vid 0,25 kN last. En last av 0,5 kN eller 0,75kN erfordras för att sonden skall sjunkna vid en odränerad skjuvhållfasthet*

*mellan 10 och 25 kPa. En last av minst 1,0 kN erfordras när den odränerade skjuvhållfastheten är större än 25 kPa. Emellertid påverkar sensitiviteten i mycket stor utsträckningen sonderingsmotståndet. Ovannämnda värden gäller främst för lågsensitiva leror.*

Eftersom man i huvudsak har använt belastningen 100 kg (1,0 kN) skulle då lerans odränerade skjuvhållfasthet kunna uppskattas till minst 25 kPa. Konservativt har den odränerad skjuvhållfastheten  $c_u = 20$  kPa antagits vid utförda beräkningar.

Materialparametrar som har använts vid stabilitetsanalyserna visas i Tabell 2.2

Tabell 2.2 Materialparametrar (karakteristiska) som har använts vid stabilitetsanalyserna.

Jordlager	$\gamma / \gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_u$ [kPa]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Fyllning	19 / 11	--	--	35
Silt/Lera	17 / 7	20	2	27
Friktionsjord/Morän	19/12	--	--	38

### 3. Stabilitetsberäkningar

#### 3.1. Allmänt

Beräkningar har utförts med programmet Geostudio 2021.3. Eftersom jordlagret har antagits uppvisa främst kohesiva egenskaper har såväl odränerad som kombinerad analys utförts.

Befintliga byggnader är grundlagda på pålar. Tillbyggnaden av ytterligare våningsplan kommer därför inte att ge någon ytterligare belastning på jorden. Däremot kan markytan inom fastigheten att belastas med fordon, utrustning och upplag under byggtiden. En utbredd last på 20 kPa har därför applicerats vid beräkningarna.

#### 3.2. Geometri / Beräkningsmodell

Beräkningsmodell och geometri visas i Figur 3.1. Metodiken in-out har tillämpats för att söka efter kritisk glidyta. Detta innebär att ett antal punkter anges på markytan där glidytan ska gå in respektive ut ur jorden anges tillsammans med antal tangentpunkter på djupet.

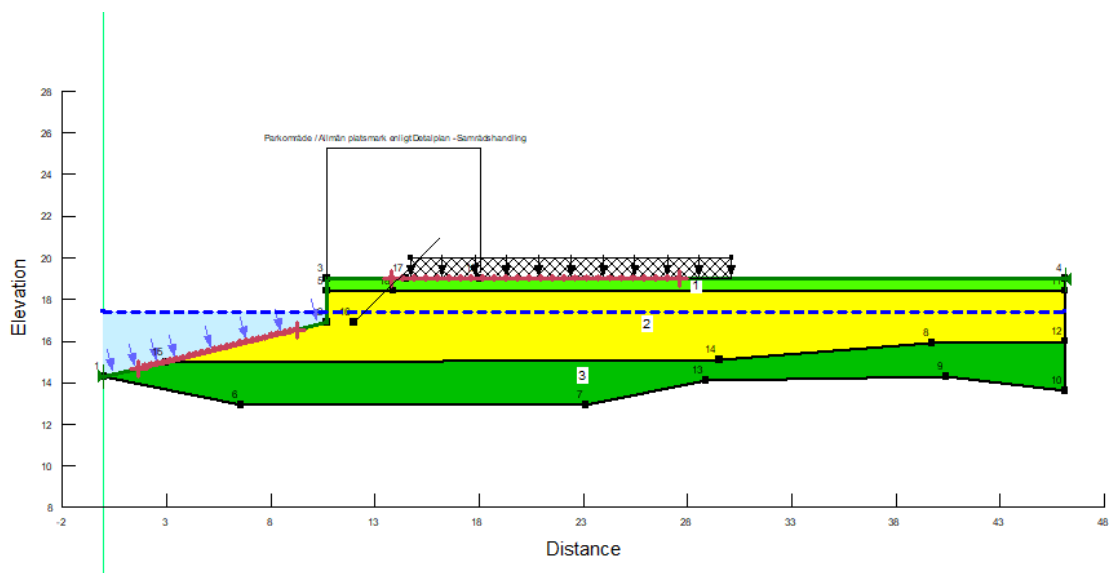
Den allmänna platsmarken/parkområdet närmast Motala Ström sträcker sig ca 7 m in från strandkanten. Det minsta avståndet från en byggnad till strandkanten är 9 m.

Marknivån vid strandkanten har ansatts till +19 i enlighet med höjdkurvor på detaljplanekartan.

Grundvattenytan, som bedöms ligga i närheten av medelvattennivån i Motala Ström har ansatts till +17,4 enligt uppgifter i handlingar.

Strandskoningen (stenmuren) som idag finns längs med strandkanten är svår att beakta i beräkningarna. Därför har glidyterna styrts bort från den vertikala linjen som anger

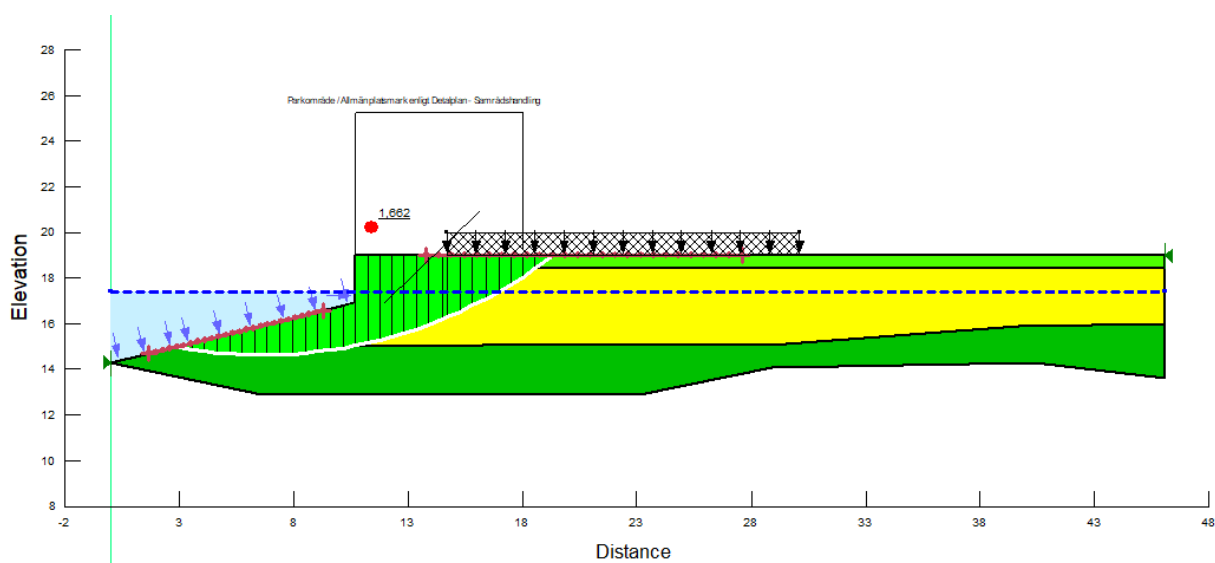
strandskoning. Status och stabilitet för strandskoning har inte analyserats i detta uppdrag, utan måste utredas separat.



Figur 3.1 Beräkningsmodell och geometri. Grön färg anger och gul färg anger kohesionsjord. Det område som omfattas av park/allmän platsmark närmast som sträcker sig ca 7 m från strandkanten och inåt har markerats. Den ljusgröna vertikala linjen anger x-axelns nollvärde.

### 3.3. Resultat odränerad analys

Vid odränerad analys erhöles säkerhetsfaktorn mot brott  $F_c = 1,66$ , Figur 3.2.



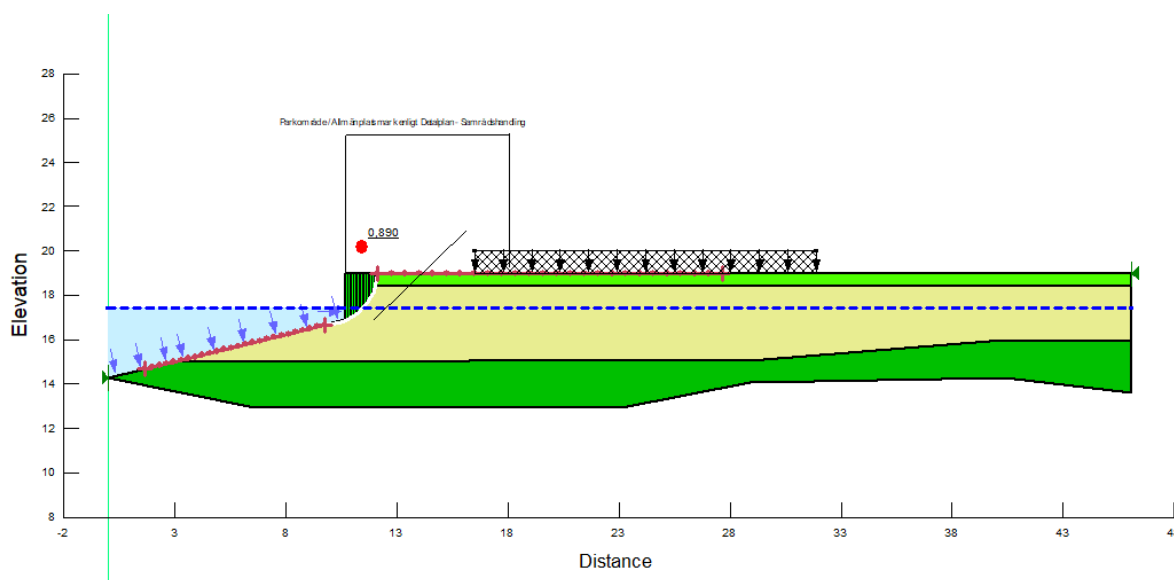
Figur 3.2 Beräkningsresultat odränerad analys.

Eftersom beräkningarna utförs med karakteristiska parametervärden ska säkerhetsfaktorn  $F_c \geq 1,5$  uppfyllas.

Den kritiska glidyten befinner sig i princip helt och hållet inom parkmarken/allmänna platsmarken. Sektionen är vald där avståndet från strandkant till befintlig byggnad är som minst, ca 9 m. Glidyten når inte riktigt fram till byggnaden, men passerar alltså in på fastigheten. Beräknad säkerhetsfaktor visar att tillfredsställande stabilitetsförhållanden uppfylls vid odränerad analys.

### 3.4. Kombinerad analys

Den beräknade säkerhetsfaktorn vid kombinerad analys är  $F_{cp} = 0,89$ , Figur 3.3

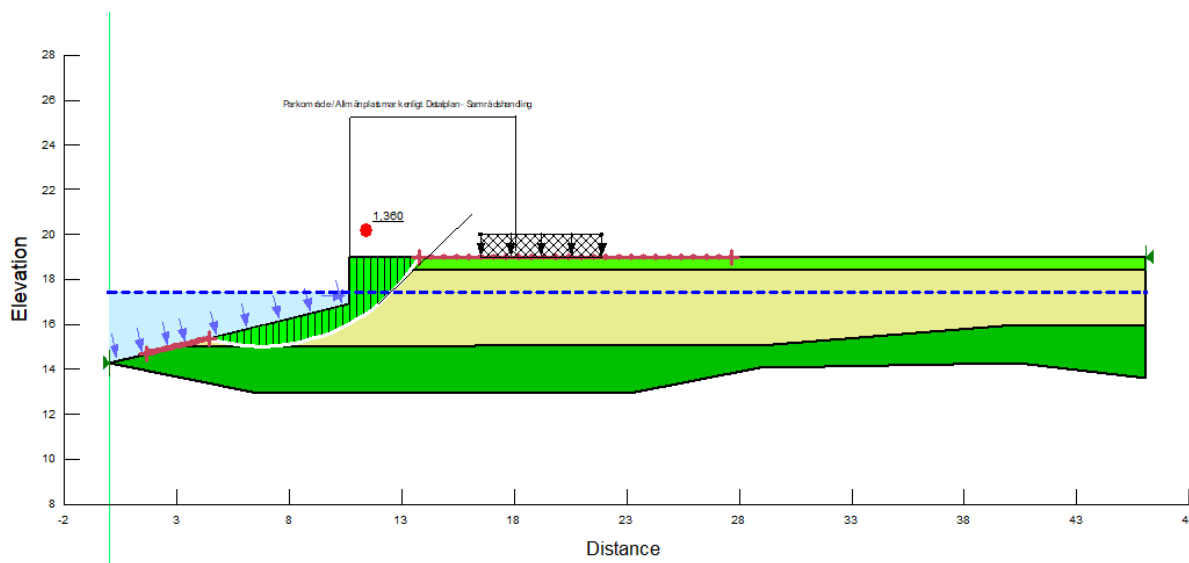


Figur 3.3 Beräkningsresultat kombinerad analys. Den annorlunda gula nyansen för jorden med kohesionsegenskaper är till för att lättare kunna se att rätt uppsättning materialparametrar har använts.

Den redovisade glidyten är per definition inte den kritiska, eftersom den börjar vid sista punkten som anger var glidyten ska gå in i jorden respektive slutar vid första punkten som anger var glidyten ska gå ut ur jorden. För att vara en kritisk glidyta ska den gå in och ut i jorden vid någon mellanliggande punkt, jämför Figur 3.2. I detta fall har stabiliteten för och status på strandskoningen stor påverkan på områdets totala stabilitet.

Eftersom beräkningarna utförs med karakteristiska parametervärden ska säkerhetsfaktorn  $F_{cp} \geq 1,35$  uppfyllas. Så är inte fallet här och därför uppfylls inte tillfredsställande stabilitetsförhållanden för kombinerad analys. Det kan därför vara intressant att styra glidyten ändå längre bort från strandskoningen för att se var faller den första glidyten som har en säkerhetsfaktor  $F_{cp} \geq 1,35$ , dvs. så att tillfredsställande stabilitetsförhållanden uppfylls, Figur 3.4.





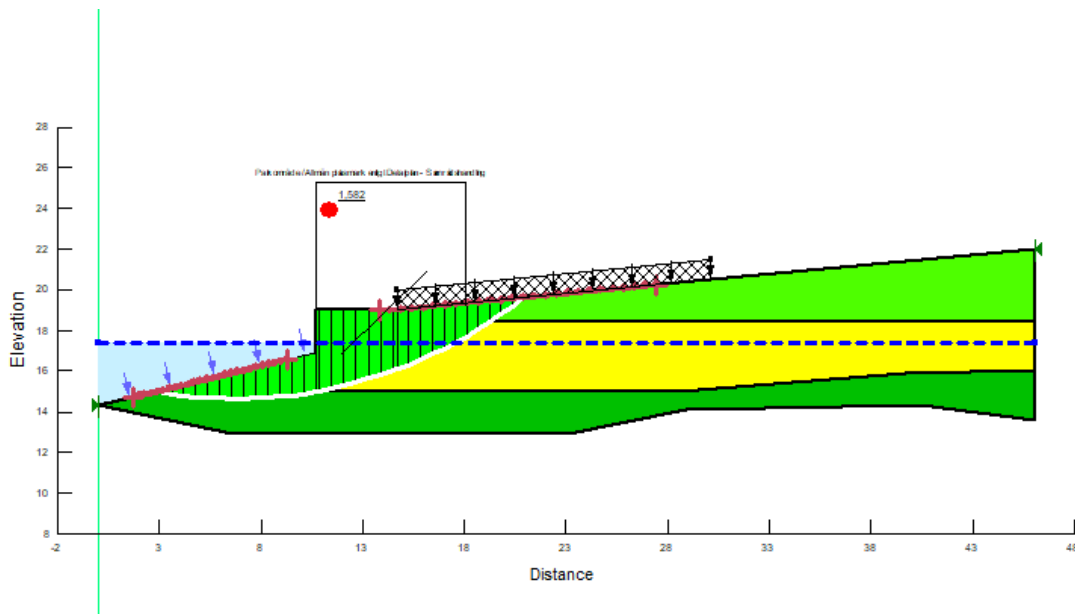
Figur 3.4 Beräkningsresultat kombinerad analys, där första glidytan med beräknad säkerhetsfaktor  $F_{c\varphi} \geq 1,35$ , dvs tillfredsställande stabilitetsförhållanden uppfylls.

Beräkningen visar att den första glidytan som beräkningsmässigt uppfyller kravet  $F_{c\varphi} \geq 1,35$ , faller hel inom parkområdet/allmän platsmark. Beräkningen visar också att eventuell belastning på markytan inom fastigheten inte påverkar den beräknade säkerhetsfaktorn.

### 3.5. Kontroll inverkan av lutande markyta upp mot Kneippgatan

För att isolera inverkan av en lutande markyta på beräknade säkerhetsfaktorer mot skred, har separata beräkningar genomförts för detta alternativ. På så sätt är det lättare att koppla olika faktorer som påverkar stabilitetsförhållanden till det verkliga verkningssättet. Beräkningar har gjorts för samma geometriska antaganden och samma antaganden om jordmodell och parametervärden som ovan. Enda skillnaden är att den yttersta punkten till höger i modellen har höjts med 4 m och ligger i dessa beräkningar på nivån +23, mot +19 rakt över i tidigare beräkningar. Den utbredda lasten har också justerats för att anpassas till en lutande markyta.

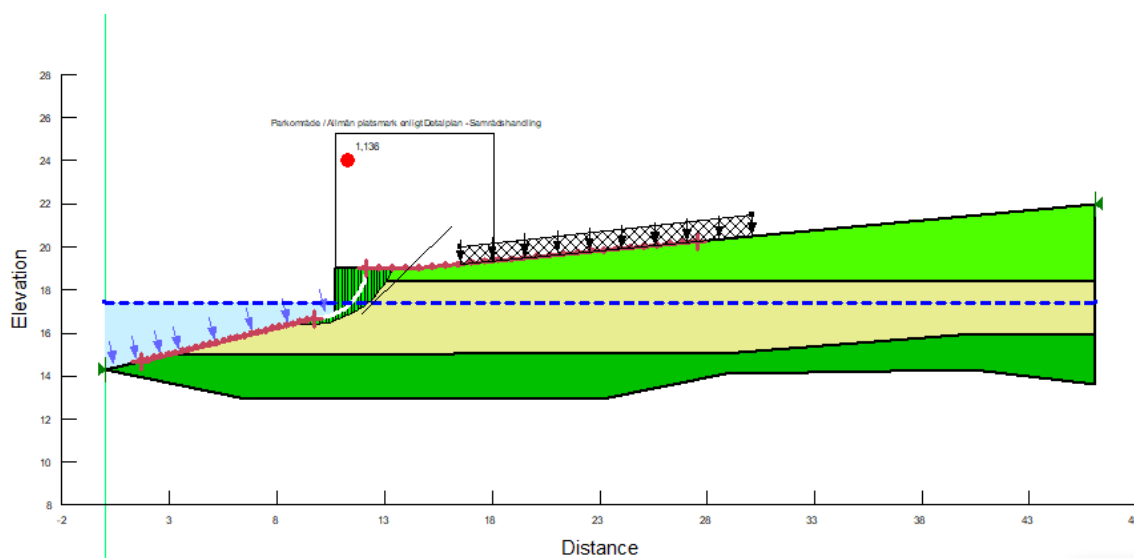
### Odränerad analys



Figur 3.5 Beräkning av säkerhetsfaktor mot skred med lutande markyta från Kneippvägen och ned mot Motala ström (odränerad analys)

Den beräknade säkerhetsfaktorn mot skred sjunker något, till  $F_c = 1,58$ , men tillfredsställande stabilitetsförhållanden råder fortfarande ( $F_c \geq 1,50$ ). Glidytan når också något längre in på fastigheten, men det saknar också betydelse i sammanhanget.

### Kombinerad analys



Figur 3.5 Beräkning av säkerhetsfaktor mot skred med lutande markyta från Kneippvägen och ned mot Motala ström (kombinerad analys).

Praktiskt sett påverkar inte förändringen av marklutningen beräknad säkerhetsfaktor vid kombinerad analys eller den kritiska glidytns belägenhet och utbredning. Orsaken till detta är, den del av det aktuella området där tillfredsställande stabilitetsförhållanden inte uppfylls, är begränsat till parkområdet och ned mot Motala ström.

#### 4. Sammanfattning, diskussion och slutsatser

Utförda stabilitetsberäkningar visar att:

- förhållandena inom fastigheten Braxen 9 inte har någon inverkan på de beräknade säkerhetsfaktorerna mot brott. Eftersom befintliga byggnader är pågrundlagda, kommer inte tillbyggnaderna att tillföra någon markbelastning. En utbredd last på 20 kPa kan tillåtas inom fastigheten utan att stabilitetsförhållanden påverkas. Denna lastnivå är vanligt att ansätts för t ex utrustning, maskiner och upplag vid byggarbetsplatser Större och tyngre fordon/, såsom kranar, tyngre leveranser (armeringsjärn, betong etc.) använder vanligtvis lastfördelade plattor för stödben så, att markbelastningen håller sig inom angiven nivå.
- samtliga kritiska glidytor är belägna inom parkområdet/allmän platsmark.
- tillfredsställande stabilitetsförhållanden uppfylls vid odränerad analys
- tillfredsställande stabilitetsförhållanden INTE uppfylls vid kombinerad analys
- stabilitetsförhållanden och värderingarna av dessa påverkas inte av en lutande markyta från Kneippgatan ned mot Motala ström med den lutning som föreligger i nuläget.
- stabiliteten för och status på strandskoningen har stor påverkan på områdets totala stabilitet .
- Åtgärder måste vidtas för att verifiera tillfredsställande stabilitetsförhållanden inom parkområdet närmast Motala Ström.

De två naturliga frågorna blir då:

1. När är odränerad analys och när är kombinerad analys dimensionerande för en slänt?
2. Går det på något sätt att se om det är fara å färde så att säga, om en slänt är nära ett brott?

Odränerad analys används för att analysera stabilitetsförhållandena för kort tid, medan kombinerad analys används för att analysera stabilitetsförhållandena för lång tid. Många tror att typ av analys används beroende på om det finns vatten i jorden eller inte. Så är det inte. Kort uttryckt har det att göra med övertryck som utbildas i vattnet i jorden vid rörelser och hur lång tid det tar för det övertrycket att utjämnas. Det i sin tur beror på jordens vattengenomsläpplighet (permeabilitet). Ju längre tid som går, desto mer rättvisande blir den kombinerade analysen. Odränerad analys utförs enbart i kohesionsjordar. I friktionsjord är vattengenomsläppligheten så stor att det i princip aldrig blir några kvarstående övertryck.

Men hur lång tid tar det då innan resultaten från den kombinerade analysen blir mest rättvisande? Det går egentligen inte att svara på den frågan. Det beror på flera olika faktorer. Och jordlagerföljden och vattengenomsläppligheten/dräneringsförmågan kan också påverkas av människans aktiviteter, som t ex ledningsgravar, byggnation, markplanering, hårdgjorda ytor (som minskar vatteninfiltrationen i jorden etc.). Alltså måste en slänt uppfylla tillfredsställande stabilitetsförhållanden såväl för odränerad analys som för kombinerad analys.

Det finns tecken som visar att slänter inte är stabila, dvs. rör sig. De vanligaste tecknen är marksprickor på krönsidan och lutande träd i slänten. Men det är långt ifrån så tydliga tecken så, att de sätts i samband med att ett skred skulle vara nära förestående. Möjliga tecken på instabila förhållanden har inventerats i området. Inga marksprickor har rapporterats. Nu försvåras detta något eftersom dessa uppstår där glidyten går in i jorden, dvs. i parkområdet, och det är inte säkert att sprickor noteras där på samma sätt som inom bebyggda områden.

Däremot har det rapporterats utfall från strandskoningen. Det kan vara ett tecken på icke tillfredsställande stabilitetsförhållanden. Men utfall av stenar från en strandskoning kan också bero på t ex tjäle eller annan påverkan.