

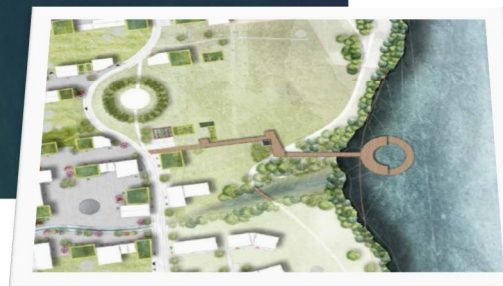
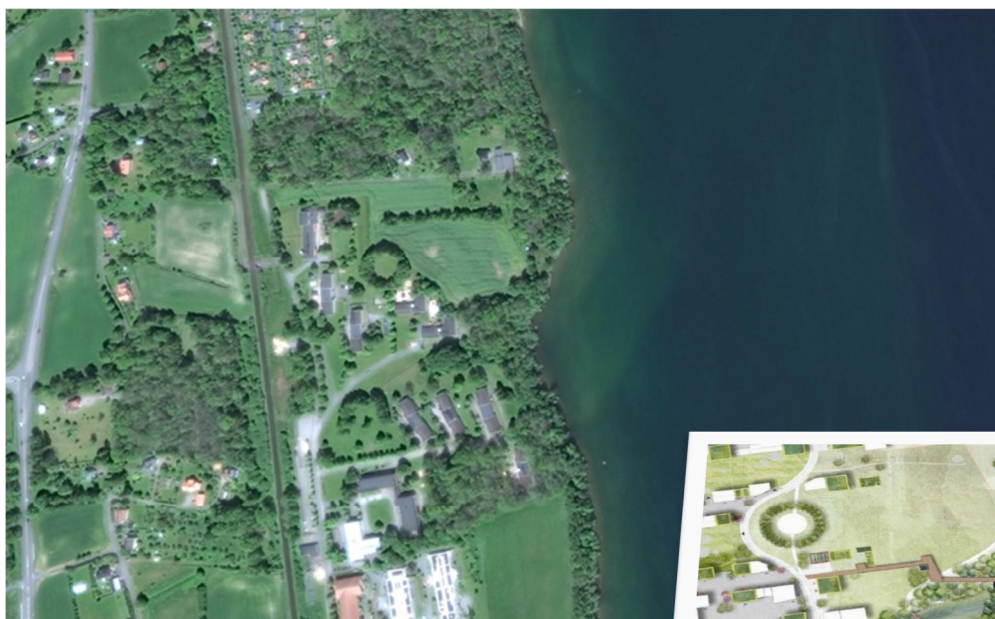
VÅGKLIMATUTREDNING

BOSTADS AB VÄTTERHEM

UPPDRAGSNUMMER 1355066

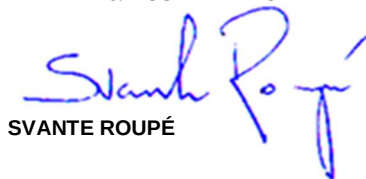
STRANDÄNGEN

VÅGKLIMATUTREDNING



2017-04-07

SWECO CIVIL AB
HAMNAR & KUSTHYDRAULIK


SVANTE ROUPÉ

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
2	Strandängan	2
3	Meteorologi och hydraulik	5
3.1	Vindar	5
3.2	Vågor	7
3.2.1	Vindgenererade vågor	7
3.2.2	Svallvågor	10
3.3	Vattenstånd	12
3.3.1	Reglering	12
3.3.2	Landhöjning	13
3.3.3	Vinduppstuvning	13
4	Batymetri	15
5	Vågtransport in på grundare vatten	20
6	Is	20
7	Slutsatser och bedömningar	21
7.1	Allmänt	21
7.2	Vågskydd	21
7.3	Dimensionering för is	22

1 Inledning

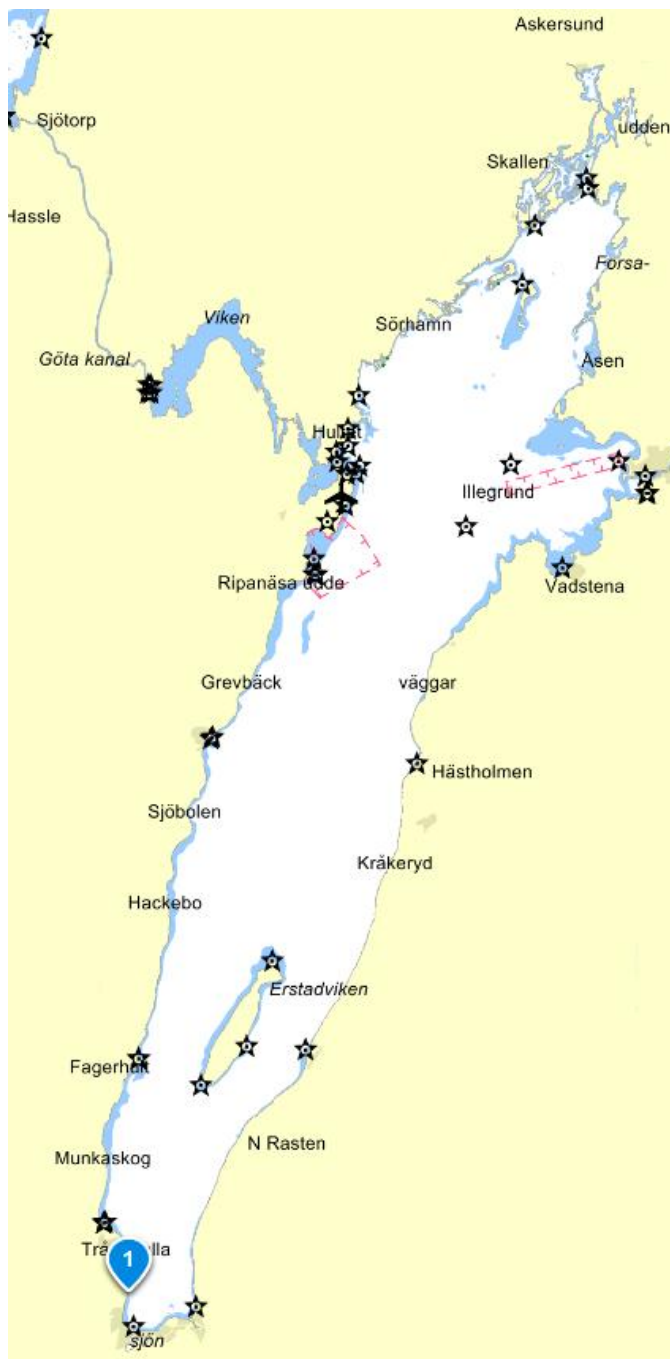
Denna PM syftar till att beskriva vågförhållanden vid Strandängen på Vätterns sydvästra strand, där ett kallbadhus planeras.



Figur 1. Idéskiss av planerat kallbadhus

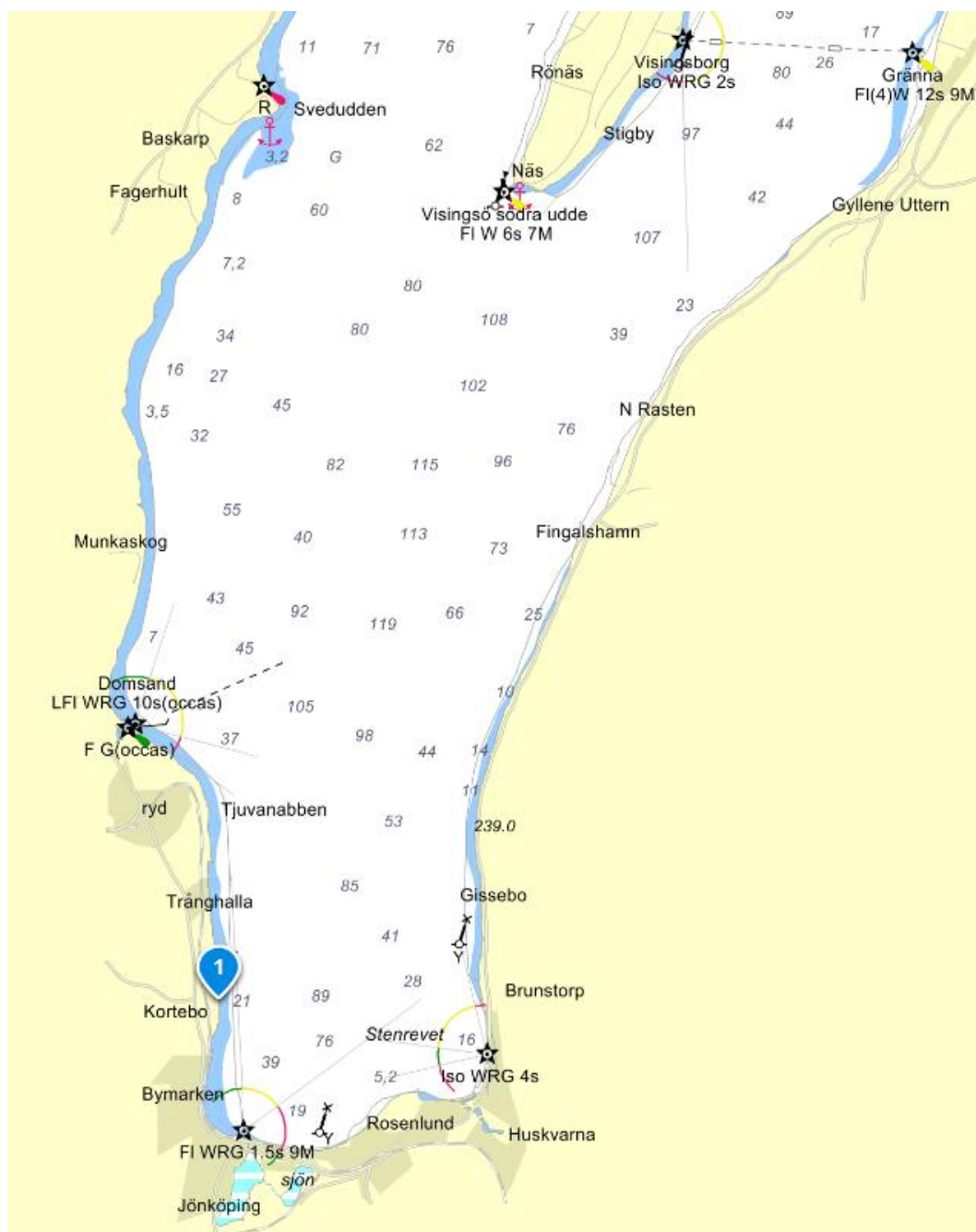
2 Strandängen

Strandängen är beläget mellan Jönköping och Bankeryd på Vätterns sydvästra strand.

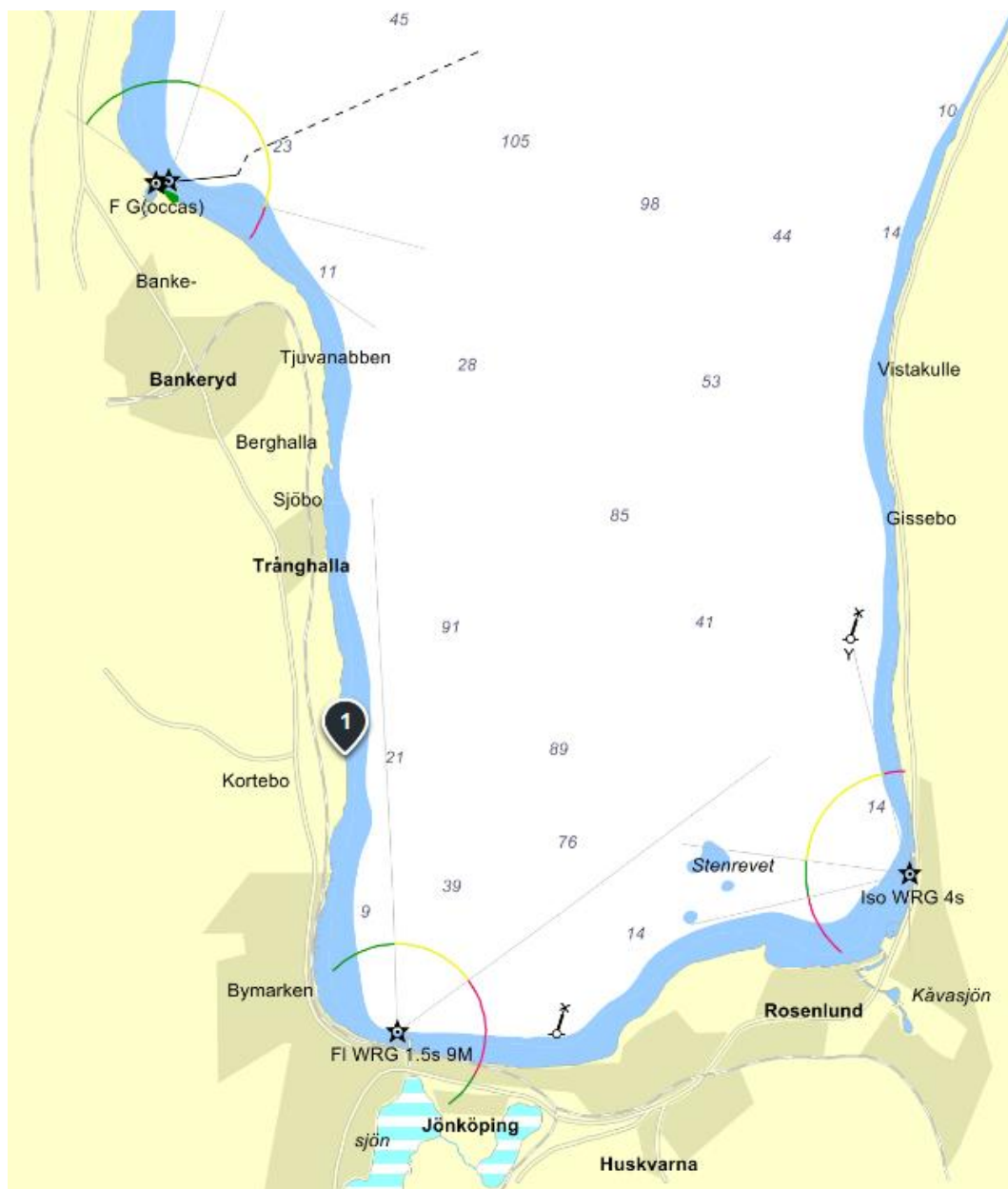


Figur 2, Strandängens läge i södra Vättern (vid siffran 1)(Bildkälla: Eniro sjökort)

Platsen är exponerad för vågor från sektorn nord – ost. Vattendjupet är stort ända till helt nära stranden.



Figur 3, Strandängens läge. (Bildkälla: Eniro sjökort)

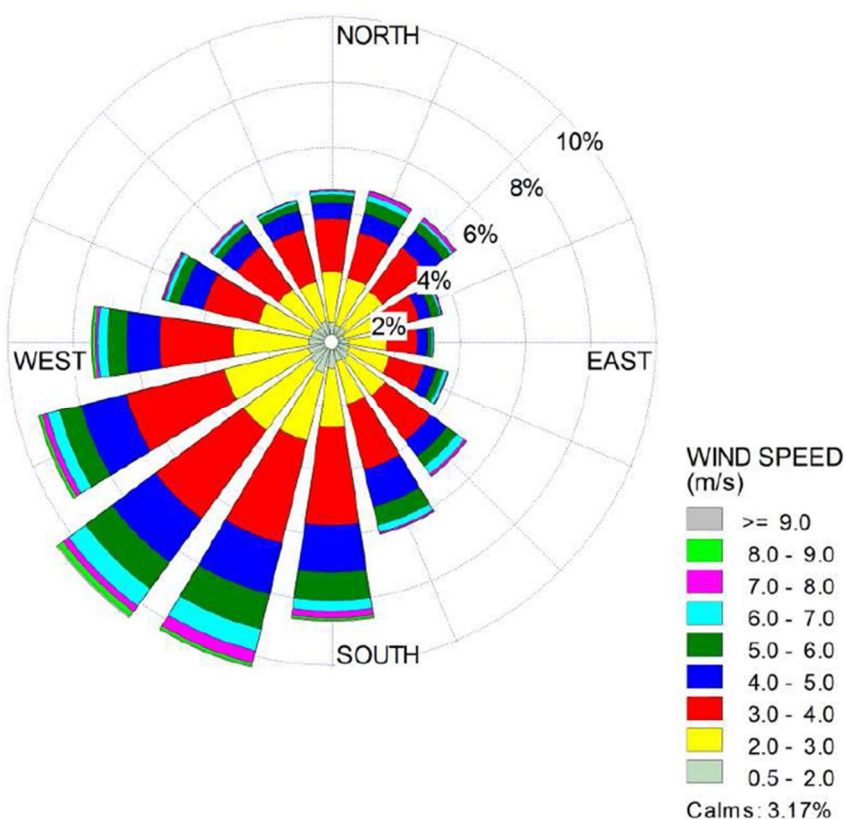


Figur 4, Strandängens läge. (Bildkälla: Eniro sjökort)

3 Meteorologi och hydraulik

3.1 Vindar

De vanligaste vindriktningarna på en plats brukar redovisas i form av en vindros. Här visas en vindros för Jönköping, baserad på vindstatistik för åren 2005-2009.



Figur 1. Vindros för åren 2005-2009

De vanligaste vindriktningarna över året som helhet är vindar från sydväst. Omkring 50% av alla vindar blåser från sektorn syd till väst.

Vinddata i det följande har hämtats från SMHI:s rapport nr 86, *Analys av samvariationen mellan faktorer som påverkar vattennivåerna i Jönköping*, vilken sammanställts på uppdrag av Sweco Environment 2010-12-17.

Vindanalysen bygger på dataserier från två olika mätstationer. Automatstationen på Visingsö anses vara den mest representativa stationen för vindar över Vättern. Den etablerades så sent som 1996, så mätserierna har en begränsad längd. Data har därför kompletterats med uppgifter från Jönköpings flygplats, som varit aktiv sedan början på sextiotalet.

Stationen Jönköpings flygplats ligger emellertid på land och visar lägre vindhastigheter än Visingsö. Korrelationen mellan stationerna är god, speciellt för starka nordvindar, vilket möjliggör en syntetisering av data. Den framräknade, syntetiserade serien beskriver således vindklimatet på Visingsö 1966 – 2009, vilket använts som underlag för vindstudien. Tidsserien baseras på observationer av tretimmarsmedelvärden vilket är praxis inom vindanalys. Byvindar under en tretimmarperiod kan vara betydligt högre än medelvärdet. Det är medelvinden som är intressant när man beräknar vilken våghöjd som kan byggas upp, bidraget från vindbyar är betydligt mindre.

Statistiskt sett inträffar de flesta tillfällen med kraftig nordlig vind under vinter eller vår.

Vindhastigheter över 20 m/s i medelvind under minst tre timmar inträffar i genomsnitt vartannat år.

Tabellerna nedan sammanfattar vinddata från Visingsö.

Återkomsttider för tretimmarsperioder med vindhastigheter 20 m/s eller högre för nordliga vindar vid Visingsö.

Vindriktning	Vinter (Dec,Jan,Feb)	Vår (Mar,Apr,Maj)	Sommar (Jun,Jul,Aug)	Höst (Sept,Okt,Nov)	Helår
Nordlig*	5	4	11	7	2

*Vind i riktningen sektorn 315-45°

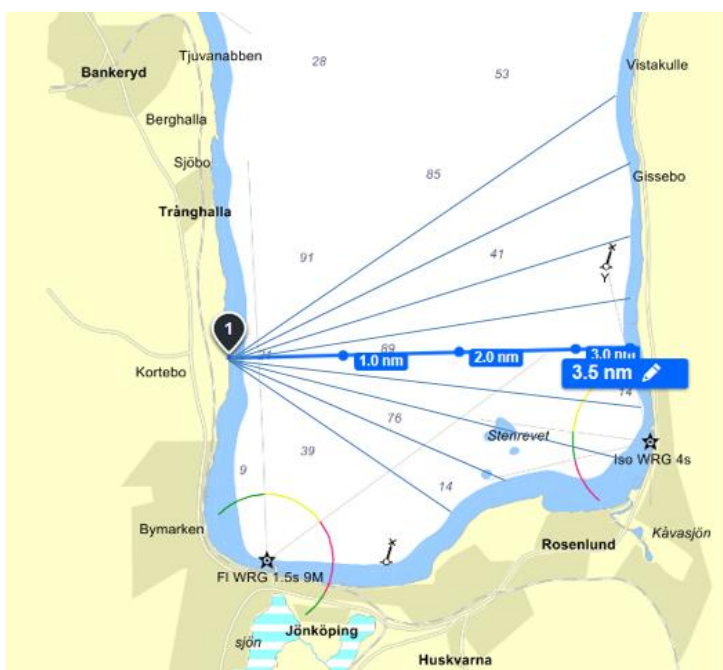
Beräknad återkomsttid och vindhastighet för nordliga vindar vid Visingsö.

Återkomsttid	Vindhastighet
2 år	20 m/s
10 år	25 m/s
100 år	33 m/s

3.2 Vågor

3.2.1 Vindgenererade vågor

Hur stora vågor som vinden kan skapa på en viss plats beror på vindstyrka, stryklängd (den fria vattenyta till motsatt strand där vinden kan bygga upp vågor), vindens varaktighet (hur länge det blåser) samt vattendjup. Stryklängd i östlig riktning på den aktuella platsen är cirka 3,5 nautiska mil, motsvarande cirka 6,5 km (se Figur 5).



Figur 5, stryklängd från O. (Bildkälla: Eniro sjökort)

Det är dock inte bara vinden från huvudriktningen som bidrar till att skapa vågor, utan alla vindar i en sektor +/- 45 grader. Därför räknar man fram en sk effektiv stryklängd, som är en sammanvägning av stryklängderna i denna sektor. Figur 5 ovan visar de sträckor som ingår i beräkningen. Den effektiva stryklängden (F_{eff}) för Strandängen är 6 km.

Med dessa förutsättningar kan följande teoretiska våghöjder uppstå vid Strandängen för olika vindstyrkor (förutsatt att det blåser tillräckligt länge för att full våghöjd ska utbildas):

Vindstyrka	Karaktäristisk våghöjd H_s	Vågperiod T_s	Våglängd L
[m/s]	[m]	[s]	[m]
10	0,5	2,7	11
15	0,8	3,4	18
20	1,2	4	25
25	1,5	4,5	32
30	1,8	5	39

Detta är de vågor som kan bildas på djupt vatten.

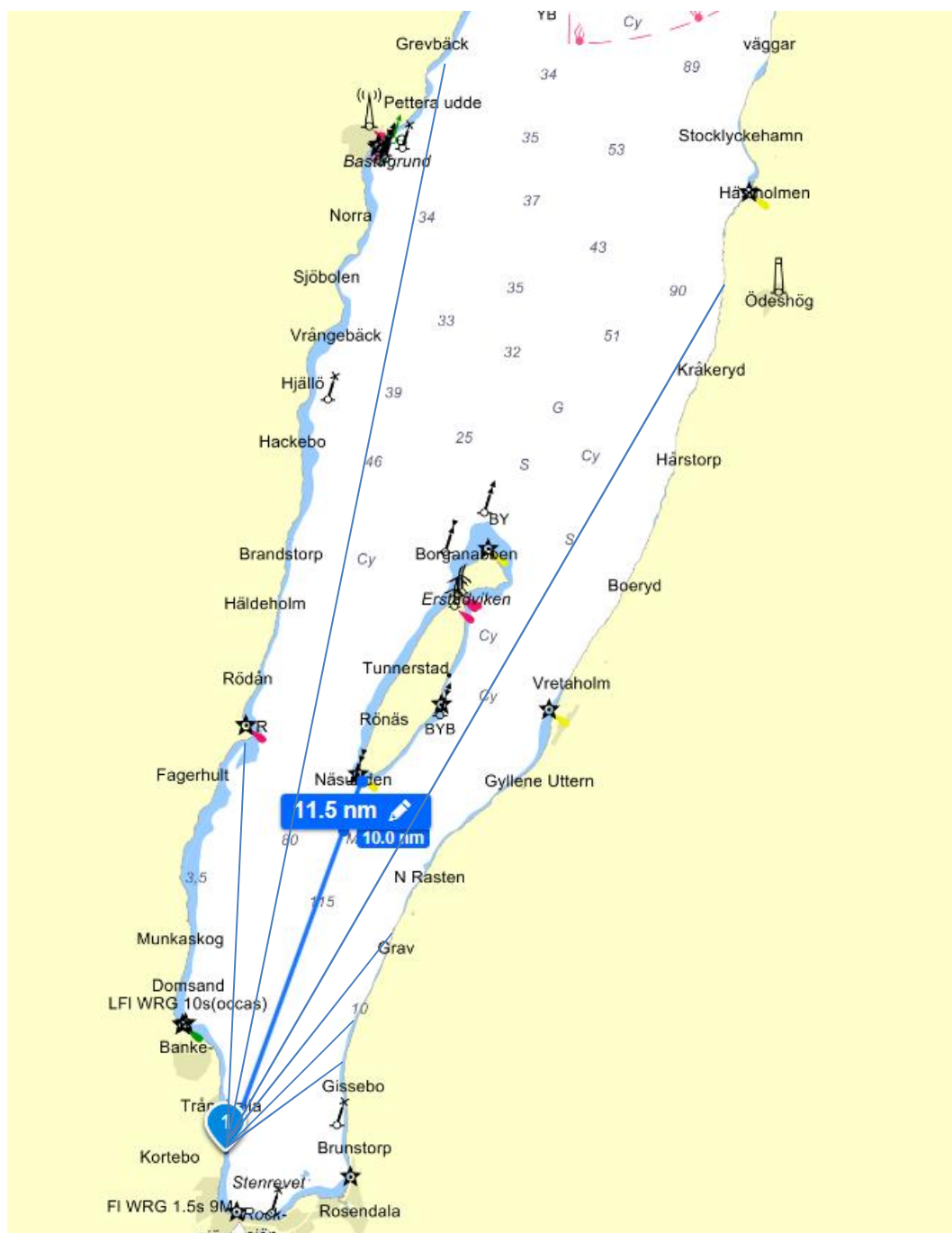
The map displays the Stockholm archipelago with a blue route marked by distance intervals: 1.0 nm, 2.0 nm, 3.0 nm, 4.0 nm, 5.0 nm, and 6.0 nm. The route starts near Kortebo and extends towards the northeast. Key locations and navigational points include Svedudden, Näs, Kortebo, and various radio beacons (FI WRG 10s, FI WRG 4s, FI WRG 1.5s, FI(4)W 12s, LFI WRG 10s, F G(occas)). The map also shows depth soundings and other geographical features like islands and waterways.

Den sammanvägda, effektiva stryklängden (F_{eff}) blir dock längre, eftersom man får bidrag av strålar som når ända upp till Visingsö och Gränna. F_{eff} för nordostlig vind blir 14 km.

Vindstyrka	Karaktäristisk våghöjd H_s	Vågperiod T_s	Våglängd L
[m/s]	[m]	[s]	[m]
10	0,75	3,4	18
15	1,2	4,3	29
20	1,7	4,9	37
25	2,1	5,5	47
30	2,6	6	56

Detta är de vågor som teoretiskt kan bildas på djupt vatten.

Betraktar man stryklängden i nord-nordöstlig riktning ser man att strålar kan nå långt norr om Visingsö på båda sidor. Dessa strålar är 6 respektive 5 mil långa.



Figur 7. Stryklängd från NNO. (Bildkälla: Eniro sjökort)

Eftersom sjön är så smal i förhållande till sin utsträckning i nord-sydlig riktning blir ändå inte den sammanvägda, effektiva stryklängden dramatiskt mycket större. F_{eff} för nord-nordostlig vind blir 22 km.

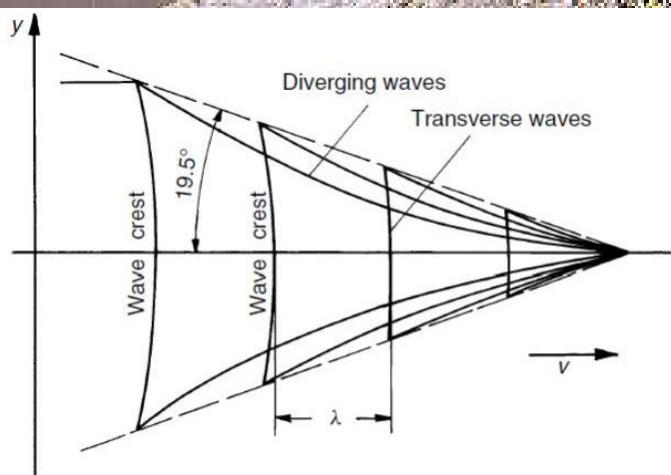
Det ger följande teoretiska våghöjder vid Strandängen:

Vindstyrka	Karaktäristisk våghöjd H_s	Vågperiod T_s	Våglängd L
[m/s]	[m]	[s]	[m]
10	0,85	3,7	21
15	1,3	4,7	34
20	2,0	5,5	47
25	2,5	6	56
30	3,2	6,7	70

Detta är de vågor som kan bildas på djupt vatten.

3.2.2 Svallvågor

När en båt rör sig genom vatten skapar det flera slags svallvågor. Störst och tydligast av dessa är bogsvallet, även kallat divergenta svallvågor. Bogsvallet breder ut sig i ett pilformat mönster med en vinkel på 19,5 grader från fartygets färdriktning. Bakom båten uppstår ett aktersvall, transversala svallvågor, som rör sig åt samma håll som båtens färdriktning. De transversala vågorna är dock inte lika markanta som de divergenta.



Figur 2. Bogsvalliet har en vinkel på 19,5 grader från fartygets färdriktning

Höjden på de största svallvågor som kan uppstå då en båt passerar bedöms uppgå till cirka 0,4 m.

3.3 Vattenstånd

3.3.1 Reglering

Vättern är reglerad, så vattenstånden styrs av dämningssgräns och sänkningsgräns i en vattendom.

Nedanstående tabell från SMHI visar högsta, medel- och lägsta vattenstånd.

Tabell 2: Vattenstånd (meter) och vattenföring (kubikmeter/s) för Vättern före och efter regleringen inträdde 1936. Vattenstånd är angivet i meter, höjd över havet i höjdsystem RH1900.

	Före reglering (1807-1936)	Efter reglering (1939-2014)
Lägsta vattenstånd	87,97	87,92
Medelvattenstånd	88,49	88,5
Högsta vattenstånd	89,08	88,95
Lägsta vattenföring	8,9	0,4
Årsmedelvattenföring	42	39,1
Högsta vattenföring	100	110

SMHI:s nivåer för vattenstånd i Vättern anges i höjdsystemet RH 00. Det system som allmänt används av svenska kommuner idag är RH 2000. Skillnaden mellan dessa båda system var år 2007 cirka 0,3 m, det vill säga RH 00 +0,3 = RH 2000.

Ovanstående angivna vattenstånd uttryckta i RH 2000 blir alltså:

Lägsta vattenstånd	+88,2
Medelvattenstånd	+88,8
Högsta vattenstånd	+89,3

Något högre vattenstånd än dessa kan dock uppträda. SMHI anger i rapporten *Analys av samvariationen mellan faktorer som påverkar vattennivåerna i Jönköping* att vattenstånd på +89,4 kan uppträda med 10 års återkomsttid och +89,5 med 100 års återkomsttid.

De högsta vattenstånden i Vättern inträffar vanligtvis under våren och i vissa fall även under sommaren.

3.3.2 Landhöjning

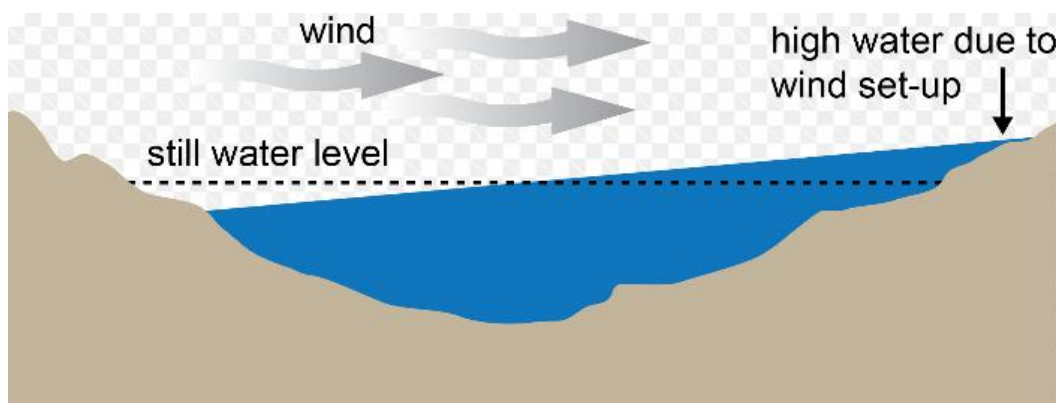
Landhöjningen är större i sjöns norra ände än i den södra. Landhöjningsskillnaden mellan Motala och Jönköping bedöms vara ca 0,175 m under den närmaste hundraårsperioden (Jönköpings kommun, 2009). Det medför att sjön (och dess vatten) "tippas" åt söder.

Flera klimatscenarier visar på sjunkande vattenstånd i Vättern, om inte landhöjningen beaktas. Den differentierade landhöjningen längs Vättern medför dock ökande vattenstånd i Jönköping. Klimatscenarierna och landhöjningen påverkar alltså Vätterns vattenstånd i olika riktning. När dessa motverkande processer jämförs pekar resultaten på en nettoökning av vattenståndet i de södra delarna av Vättern.

3.3.3 Vinduppstuvning

När vinden blåser i en sjös längdriktning orsakar den en vattenståndssvängning vid sjöns båda ändar. Denna svängning kallas för seiche och är en lång våg som får vattenståndet att svänga över det aktuella medelvattenståndet i den ände av sjön som ligger i vindens riktning och under det aktuella medelvattenståndet i den andra ändan av sjön. Fenomenet kallas ibland "badkarseffekt".

Då vinden blåst tillräckligt länge i samma riktning svänger vattenståndet in mot ett stationärt läge som kan beräknas utifrån vindens hastighet, sjöns längd och djup. Det vattenstånd som uppträder under insvängningsförloppet är betydligt högre än det stationära vattenståndet som slutligen ställer in sig.



Figur 8. Vinduppstuvning

Kraftig vind kan alltså snedställa vattenytan och orsaka förhöjda vattenstånd. För att nå stationärt läge för vinduppstuvningen krävs att det blåser en längre period, ca ett dygn.

De mest extrema vindstyrkorna uppträder normalt bara under några timmar. I början av en period med stark vind initieras en svängning i vattenståndet, men det är troligt att vindstyrkan avtar innan stationärt läge uppnås för de högsta vindhastigheterna.

Vinduppstuvningen är liten för vindstyrkor under 10 m/s.

I en PM från SMHI, *Vinduppstuvning i Vättern vid Jönköping* daterad 2011-02-21, beställd av Sweco Environment, redovisas följande vindstatistik och beräknad vinduppstuvning:

Sannolikheten för extrema nordliga vindar sammanfattas i Tabell 1 som baseras på observationer av 3-timmarvärden. Historiska händelser med nordlig vind under sammanhängande 24-timmarsperioder visas i Tabell 2. Under den 50-årsperiod (1960-2009) för vilken data finns tillgängligt är således 16 m/s den kraftigaste vinden under ett helt dygn. Tabell 3 visar beräknade vinduppstuvningar dels momentant under insvängningsförloppet och dels det stationära värdet som nås efter ca 1 dygn.

Tabell 1. Återkomsttid för nordlig vind vid Visingsö.

Återkomsttid	Vindhastighet under 3 timmar
2 år	20 m/s
10 år	25 m/s
100 år	33 m/s

Tabell 2. Nordlig vind med 24 timmars varaktighet vid Visingsö.

Period (år)	Vindhastighet under 24 timmar
1960-1983	16 m/s
1983-1995	14 m/s
1996-2009	13 m/s

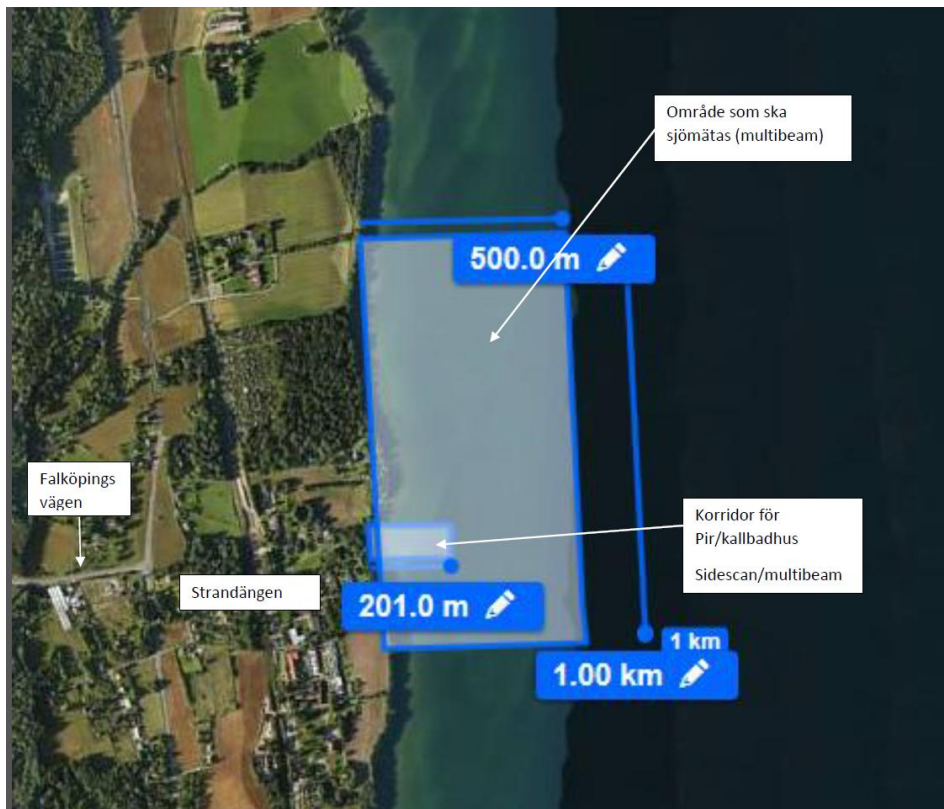
Tabell 3. Beräknad vinduppstuvning i Vättern vid Jönköping för nordlig vind dels momentant under insvängningsförloppet och dels stationärt efter ca ett dygn med vind.

Vindstyrka	Vinduppstuvning	
	Momentant	Stationärt
20 m/s	0,20 - 0,25 m	0,15 - 0,20 m
25 m/s	0,35 - 0,40 m	0,23 - 0,28 m
33 m/s	0,65 - 0,70 m	0,43 - 0,48 m

4 Batymetri

En ekolodning har utförts för att bestämma batymetrin inom det aktuella bottenområdet.

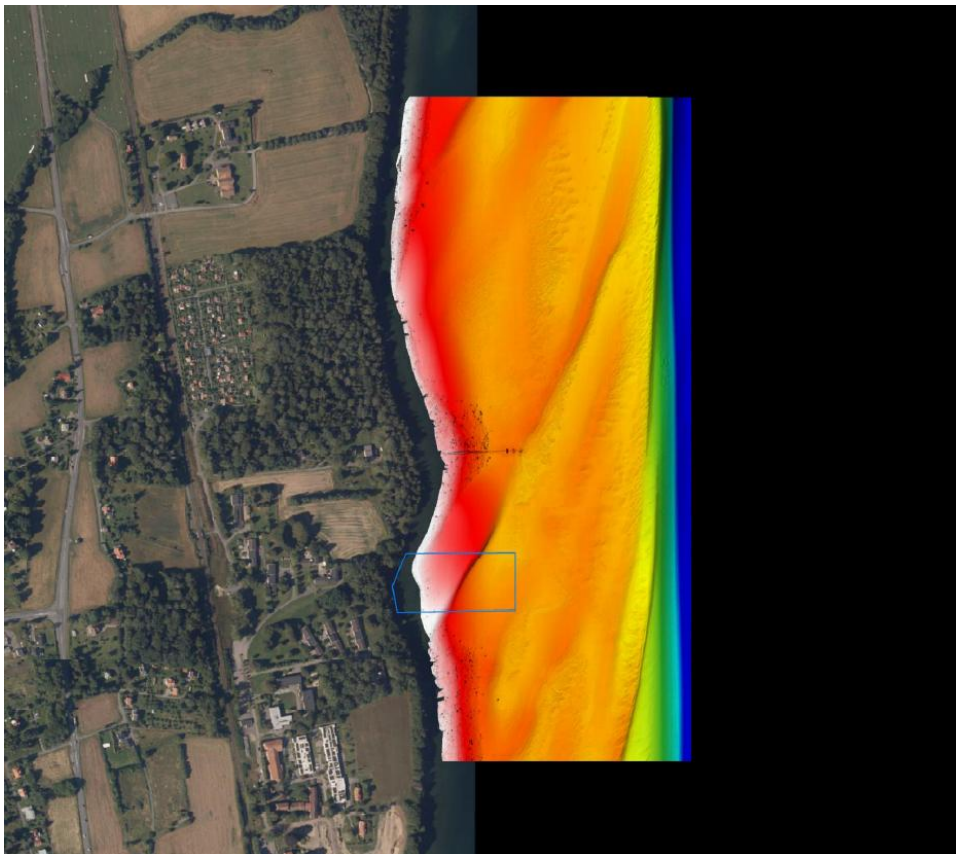
Följande område mättes in:



Figur 9, ekolodat område

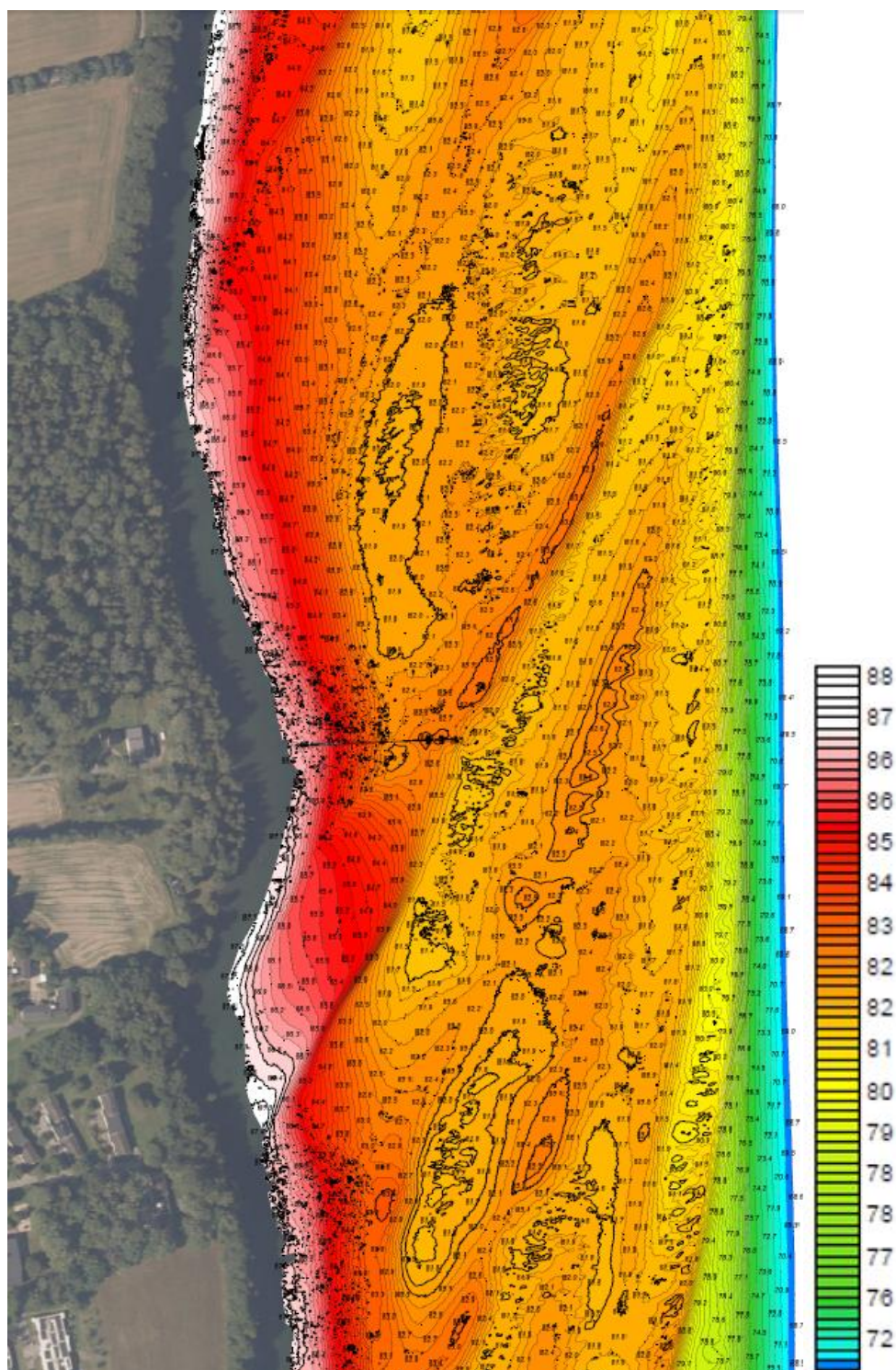
Ekolodningen utfördes den 23 februari 2017 av Marin Miljöanalys AB.

Följande översiktsbild visar mätområdet med batymetrin inlagd i färg.

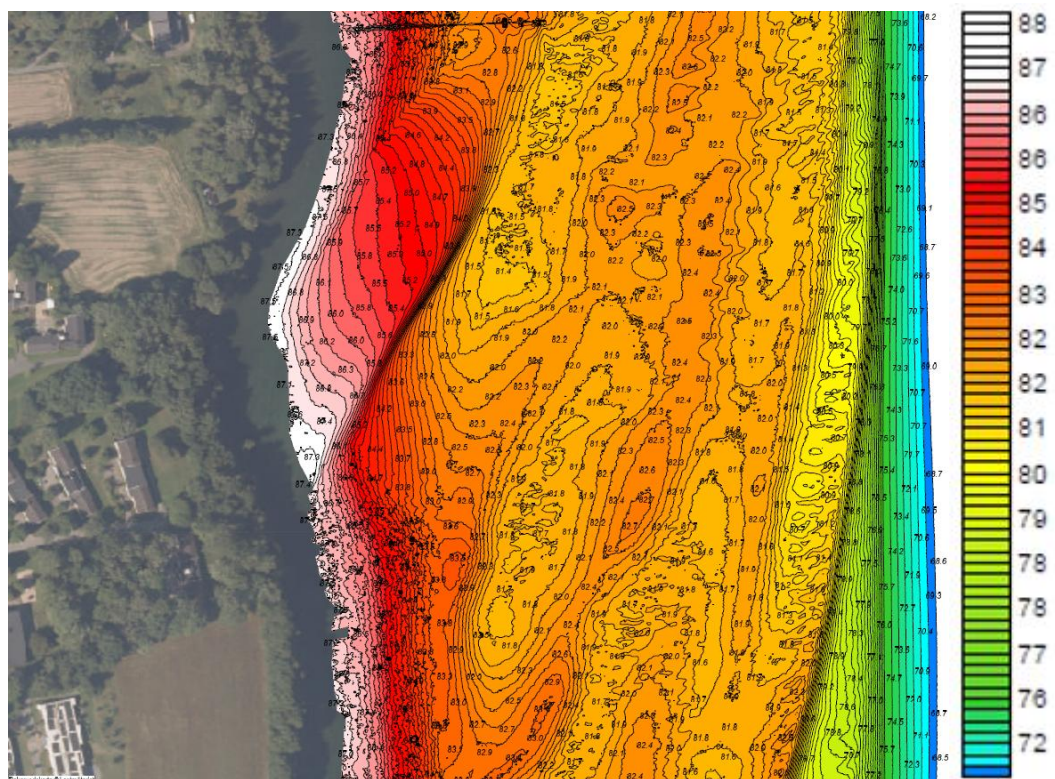


Figur 10. Mätområde med batymetri redovisad i färg. Den blå rutan visar planerad korridor för badhuset

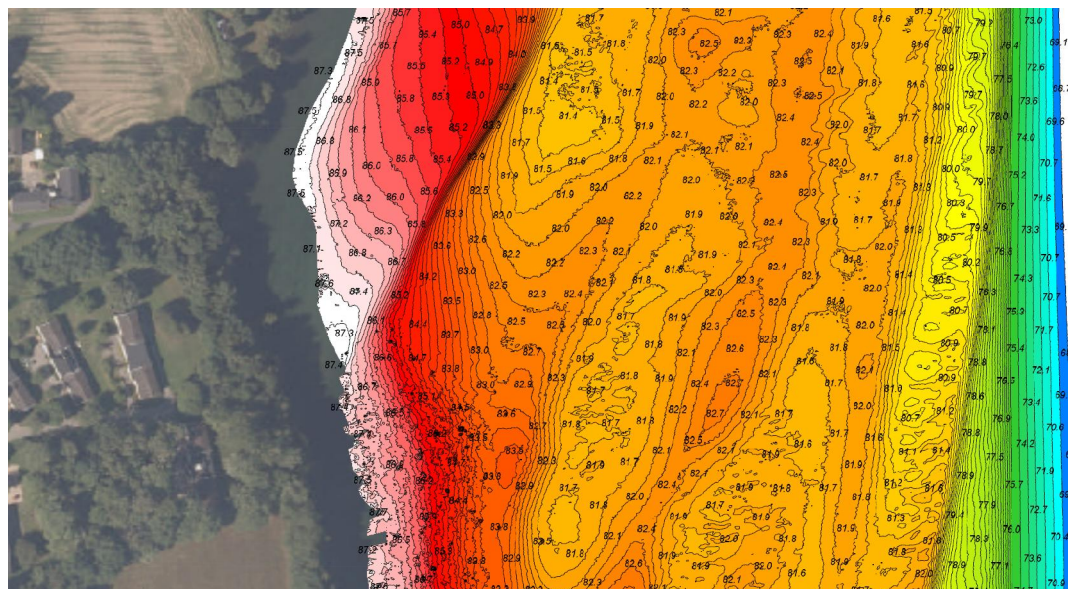
Nivåer redovisas i höjdsystem RH 2000.



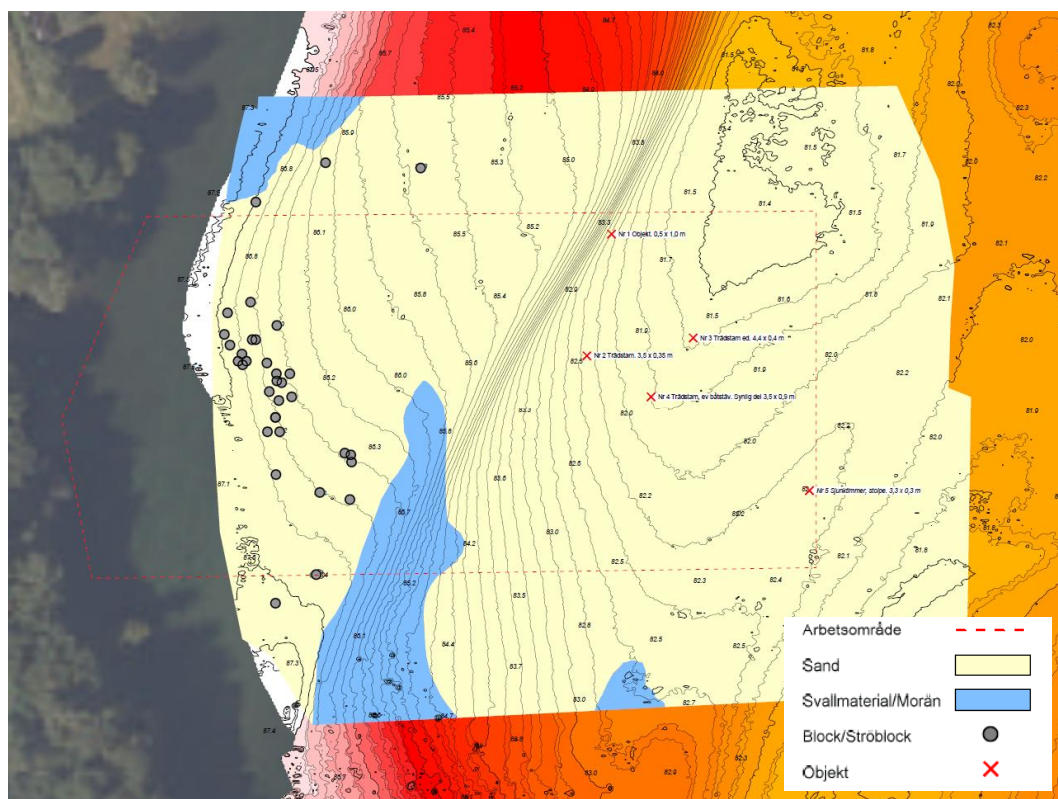
Figur 11. Bottennivåkurvor för hela området. Nivåer i RH 2000



Figur 12. Bottennivåkurvor för södra delen av det mätta området. Nivåer i RH 2000



Figur 13. Bottennivåkurvor för det område där badhuset ska ligga. Nivåer i RH 2000

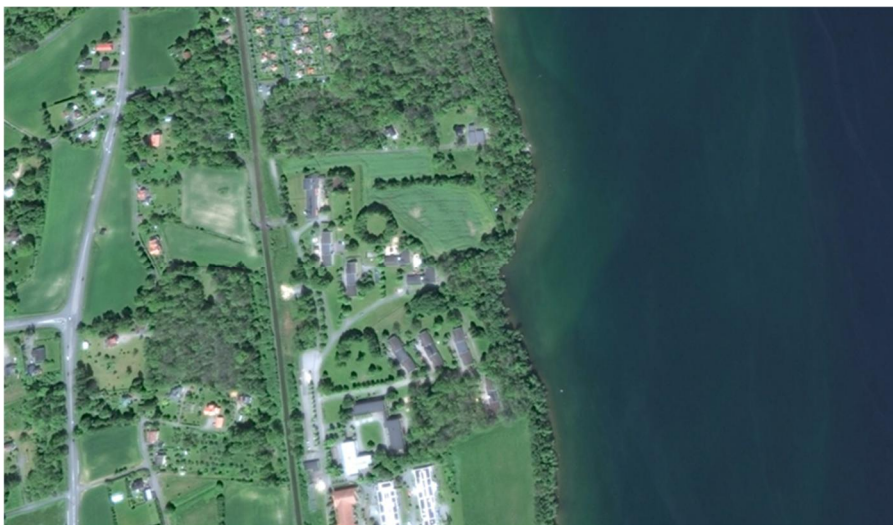


Figur 14. Ekolodning av aktuellt bottenområde samt tolkning av bottenmaterial

Ekolodningarna visar att det finns en relativt flack "hylla" med några meters vattendjup ut till cirka 100 m från land. Denna platå syns också på satellitbilder, jämför Figur 15. Utanför denna ökar vattendjupet snabbt till cirka 7-8 m. På detta vattendjup finns ännu en "hylla" som sträcker sig ut till cirka 450 m från land. Ytterligare längre ut ökar vattendjupet väsentligt över en kort sträcka.

Nära land består botten till stor del av sten och block. Längre ut är det huvudsakligen sand.

Stranden är en erosionskust. Man ser en delvis bevuxen rasbrant samt utfallna träd och en kollapsad dagvattenledning. Erosionen är dock inte kontinuerlig utan uppträder sannolikt bara vid enstaka stormar i kombination med högt vattenstånd.



Figur 15. Satellitfoto. Notera den grundare platån. (Bildkälla: Google Earth)

5 Vågtransport in på grundare vatten

På djupt vatten rör sig vågorna i samma riktning som vindens huvudriktning. Då de närmar sig stranden och träffar bottennivåkurvorna i en spetsig vinkel kommer vågorna att vrida sig något mot stranden. Samtidigt sker en viss minskning av både våghöjd och våglängd. Denna vinkelavböjning kallas refraktion.

Med de förhållanden som råder vid Strandängen är dock påverkan av refraktion liten. Vridningen av vågornas infallsriktning är bara några få grader. Även minskning av våghöjd och våglängd är obetydlig.

När vågor faller in från djupt vatten på grundare bottnar, kommer de till slut att bryta. Detta sker ungefär när förhållandet mellan våghöjd (H) och vattendjup (d) är $d=H*1,3$.

Det betyder att en våg som är 1 m hög bryter där vattendjupet är 1,3 m eller mindre och en våg som är 3 m hög bryter där vattendjupet är 3,9 m eller mindre.

Vågbrott uppträder bara på den grundare "hyllan" som sträcker sig cirka 100 m ut från land.

Det kan observeras att vid kraftig nordnordostlig vind, som har den längsta stryklängden, sker en vinduppstuvning då vatten pressas ned i sjöns södra del, så att vattenståndet stiger. Då sker vågbrott närmare land än vid normalvattenstånd.

6 Is

Det är inte varje år som isen lägger sig på södra Vättern, men det händer vissa vintrar. Vallar av is kan byggas upp utmed stränderna.

7 Slutsatser och bedömningar

7.1 Allmänt

Den förhärskande vindriktningen är sydväst. Det innebär frånlandsvind vid Strandängen, så då uppstår inga vågor.

Största stryklängden är från nordnordost. Kraftiga nordnordostliga vindar är dock sällsynta, speciellt sådana med tillräcklig varaktighet för att maximal våghöjd ska hinna utbildas. Vid sådana förhållanden är det samtidigt högt vattenstånd på grund av vind-uppstuvning.

Nordnordostlig vind med en vindstyrka på 20 m/s eller mer kan uppträda med en återkomsttid på 2 år. Då kan vågor med en höjd på cirka 2 m bildas.

NNO-vind starkare än 25 m/s kan uppträda med 10 års återkomsttid. Då kan det bli vågor med en höjd på 2,5 m.

Ännu högre vågor kan uppträda, men då med mycket lång återkomsttid. NNO-vind med en hastighet på 33 m/s har en statistisk återkomsttid på 100 år. Vid sådana förhållanden kan våghöjder på upp till 3,5 m uppträda.

Om man betraktar en storm från NNO med en vindhastighet på 25 m/s som uppträder vid extremt högt vattenstånd i Vättern, kan man få ett högsta vattenstånd under seichens insvängningsförlopp på +89,9. Därtill kommer en våghöjd på 2,5 m. Vågtopparnas högsta nivå kan då bli $+89,9 + 2,5/2$, dvs +91,15. Betraktar man på samma sätt en storm på 33 m/s kan vågtopparna nå upp till nivån $+89,9 + 3,5/2 = +91,65$.

7.2 Vågskydd

Sammanfattningsvis är det sällan som vågor med någon nämnvärd höjd uppträder. Det bedöms inte att något vågskydd behövs med tanke på badande.

Badhuset grundläggs på vertikala pålar. Horisontella konstruktionsdelar som pålok, balkar och plattor bör under alla förhållanden läggas med underkantsnivån väl över högsta högvattennivå inklusive vinduppstuvning (+89,9).

Väljer man att lägga påldäcket på en sådan nivå att vågorna kan träffa dess undersida måste både plattan och pålgrundläggningen dimensioneras mot upplyftning av en dimensionerande våg. Pålarna bör då kopplas till plattan. Även fasadens nedre del kan behöva skyddas mot vågpåverkan. Efter en storm med mycket höga vågor kan ändå visst underhåll och reparationer komma att krävas på utsatta fasader och detaljer.

Alternativt kan man göra pålarna så långa att dimensionerande vågor inte kommer i kontakt med själva badhuset. En sådan dimensionering, för ett vattenstånd och en

våghöjd med 100 års återkomsttid, skulle innebära att badhuset ligger närmare 3 meter över medelvattennivån (MWY +88,8, uk. Platta +91,65).

Ett alternativ till att dimensionera påldäck och pålgrundläggning för våglast underifrån är att anlägga en vågbrytare utanför badhuset. Gör man det måste påldäcket ändå läggas med underkantsnivån väl över högsta högvattennivå inklusive vinduppstuvning (+89,9).

En vågbrytare utförs lämpligen som en friliggande släntvågbrytare av sprängsten som placeras nordost om badhuset. Under förutsättning att badhuset ligger högst cirka 50 m från stranden, som idéskissen i Figur 1 antyder, finns det plats att anlägga en vågbrytare på den "hylla" med grundare botten som sträcker sig cirka 100 m ut från land.

En friliggande släntvågbrytare måste utföras med kraftiga dimensioner för att motstå de dimensionerande vågorna och fylla sin funktion. De ytskyddande blocken uppskattas behöva ha en vikt på i storleksordningen 2-3 ton. Vågbrytaren behöver sannolikt ha en längd på 50-75 m. Krönhöjden måste ligga på minst +92 för att vågbrytaren inte ska överspolas vid dimensionerande vattenstånd och våghöjd. Vågbrytaren kommer då att begränsa utsikten mot sjön.

Man kan även göra en optimering av vågbrytarens dimensioner och badhusets höjd, på så sätt att viss överspolning av vågbrytaren tillåts och att vågor från den kortare sträck- längden rakt österifrån tillåts träffa badhuset. Badhuset får då läggas på en nivå eller dimensioneras för vågkrafter från "begränsade" våghöjder, medan de allra högsta vågorna dämpas av vågbrytaren. Vågbrytaren kan då göras lägre, så att den inte skymmer sikten lika mycket. Man kan utreda möjligheten att anlägga en vågbrytare i nivå med medelvattenytan eller strax under, som ändå ger en tillräcklig dämpning av de största vågorna.

7.3 Dimensionering för is

Den föreslagna placeringen torde inte innebära några större problem med hänsyn till is. En konstruktion med bryggdäck och byggnad på vertikala pålar bör fungera väl.

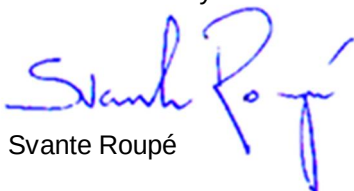
Det rekommenderas att underkant på däck och plattformar placeras väl över högsta högvattennivån, så att risken för att isen lyfter badpiren minimeras. Viss marginal bör även lämnas för högt vattenstånd till följd av vinduppstuvning.

Pålar förses med ishylsor. Pålgrundläggningen dimensioneras för förekommande islaster. Dessa bedöms dock inte vara speciellt stora eller svåra att ta hänsyn till. Främst är det laster av drivande is på grund av vind som blir aktuellt. Huvudsakligen ligger badpiren vind/vågskyddat, så last av drivande is bör vara rimlig. Även fast istäcke som expanderar bör beaktas.

Klenare konstruktionsdelar som trappor och ramper ner i vattnet kan bli utsatta för islaster som kan orsaka skador. Man kan överväga att utforma sådana delar så att de kan lyftas upp då isen ligger.

Göteborg 2017-04-07

Sweco Civil AB
Hamnar & kusthydraulik



Svante Roupé