



PM

Risikanalys avseende

fartygspåkörningar för Halvön

2020-09-09



Beställare: Trafikkontoret Göteborgs Stad
Kontaktperson TK: Daniel Sjölund
Konsult: Ramböll Sverige AB
Uppdragsansvarig: Mattias Bååth
Riskanalys: Sören Randrup-Thomsen, Morten Hansen
Version: Preliminär
TK Dnr: 8675/19

PM

RISKANALYS AVSEENDE

FARTYGGSPÅKÖRNING FÖR HALVÖN

1. Bakgrund

Göteborgs Stad utvecklar Masthuggskajen till en ny stadsdel med bostäder, verksamheter och service. Trafikkontoret ansvarar för utvecklingen av allmän plats utifrån den detaljplan som är antagen. Detta sker genom en Genomförandestudie (GFS). Arbetet med GFS:en har delats upp i två delar, Programhandling och Systemhandling.

GFS:en är en bearbetning av utformningen från detaljplanen och ska bl.a. innehålla ett genomförbart trafik- och gestaltningsförslag. Detta PM hanterar riskerna för fartygspåkörning av Halvön utifrån det utformningsförslag som GFS:en presenterar.

Av detaljplanen framgår att *”Lägsta nivå på färdigt golv ska vara +2,8 om inte annat översvämningsskydd anordnas till den höjden”*. Av plankartan framgår också att allmän plats på Halvön ska ha nivån +2,8. Inom ramen för GFS:en har ett arbete gjorts med samtliga kvarter och allmän plats för att säkerställa nivåer på färdigt golv och i de fall nivån kan vara lägre än +2,8 redovisa annat översvämningsskydd. För Halvöns byggnader bibehålls nivån för färdigt golv på +2,8, men för allmän plats föreslås nivån sänkas till +2,0. Detta för att man på ett bättre sätt ska kunna möta vattnet, vilket är en av grundstrategierna för Älvstaden.

Syftet med denna riskanalys är att utreda om nivån på kajkanten kan sänkas till +2,0 med acceptabel risknivå för personer i området och i byggnader.

2. Problemställning och förutsättningar

Den nya Halvön kommer närmare farleden i Göta Älv fartygstrafiken i hamnen. Detta i kombination med den förväntade användningen av Halvön med en blandning av affärslokaler, bostäder och offentliga restauranger medför en risk för att fartyg som kommer ur kurs kan träffa kajen och orsaka skador på människor som är i området. Dessutom kan det finnas en risk för att en fartygskollision kan skada anläggningar och byggnader.

För att utreda om den föreslagna utformningen av kajen med krönbalksnivån +2,0 och tillhörande kajkonstruktioner kan utföras på ett sådant sätt att risken för fartygskollisioner mot kajen är acceptabelt för personer som vistas i området och i byggnader i området, har man beslutat att utarbeta denna riskanalys för att belysa kollisionrisken. Denna rapport beskriver bakgrunden och antagandena för riskanalysen samt resultaten av riskanalysen.

I det tematiska tillägget till översiktsplanen tittar man på vattennivån vid högvatten vid en 200 års händelse år 2070 (H200) vilket är +2,3 m för centrala Göteborg (Masthuggskajen). Detta gäller vattenytans nivå och därefter lägger man på 0,5 meter för vind- och vågeffekten och får då en planeringsnivå på +2,8 m.

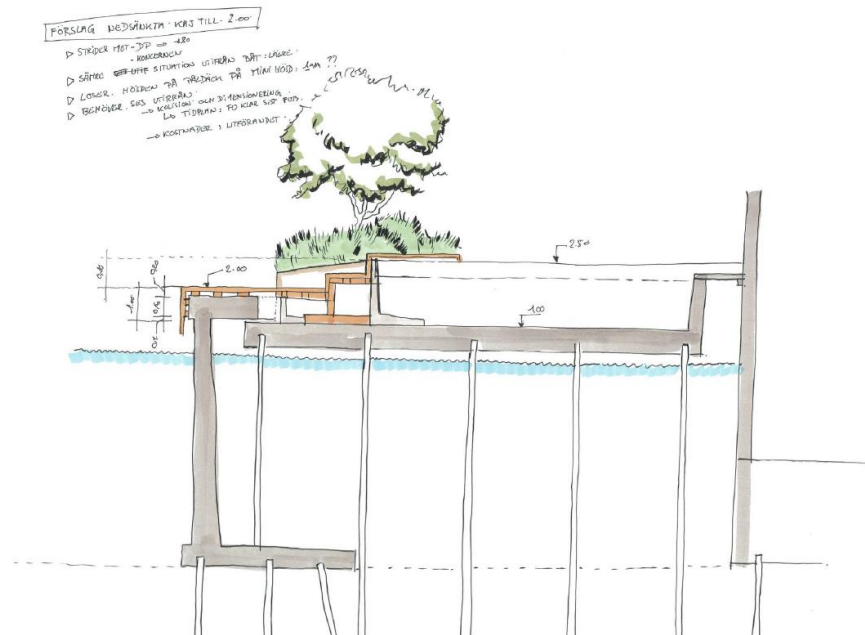
Som utgångspunkt för riskanalysen används sannolikheten för att fartyg kommer att träffa olika delar av Halvöns kajområde, se SSPA referens [1]. Ramböll har gått igenom sannolikhetsanalyserna för fartygspåkörning enligt referens [1] och bedömningen är de utgör en god och relevant grund för de fortsatta riskanalyserna för Halvön som presenteras vidare i denna rapport. Analyserna enligt referens [1] baseras på etablerade metoder som används i riskanalyser för navigering. På samma sätt har Ramböll bedömt att de specifika påkörningsfrekvenserna för fartyg är rimliga med det aktuella utförande av kajer och för den beräknade fartygstrafiken i området.

En möjlig vidareutveckling är att riskanalysen för påkörning av kajen skulle kunna göras mera anpassad för förhållanden med navigering i hamn vilket bedöms kunna medföra ytterligare något lägre kollisionssannolikheter. Denna vidareutveckling kan vara föremål för fortsatt utredning.

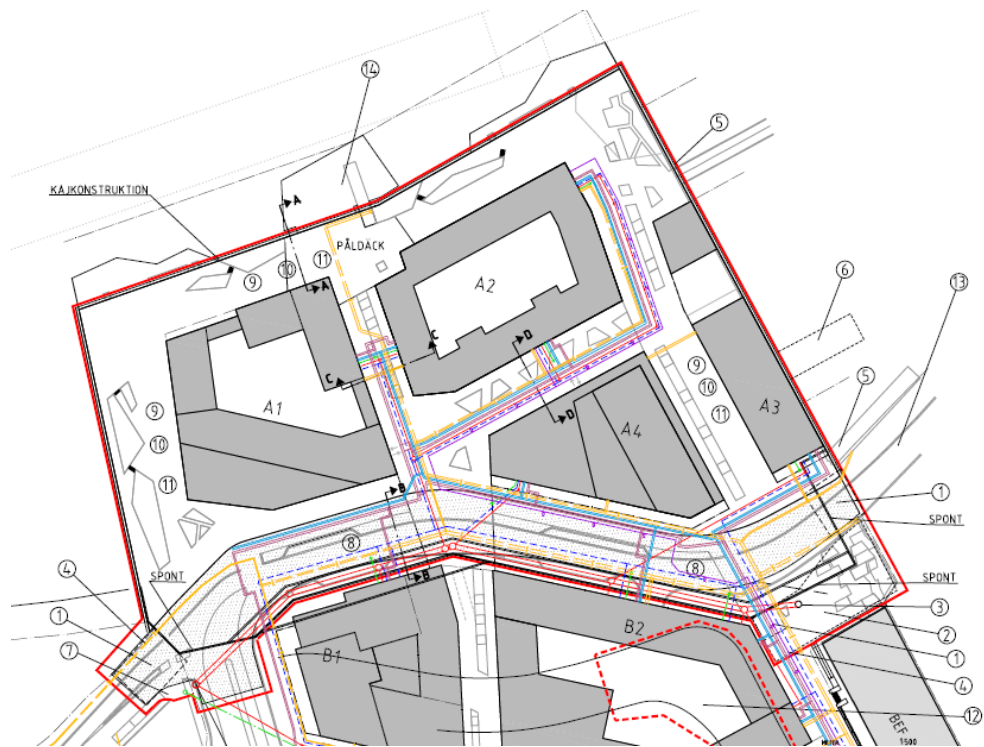
Resultaten i form av fartygspåkörningsfrekvenser från referens [1] är tillsammans med den specificerade designen och utformningen av kajkonstruktionerna sådant som används som input för riskanalysen för Halvön.

Nedan följer presentation av antaganden för riskanalysen.

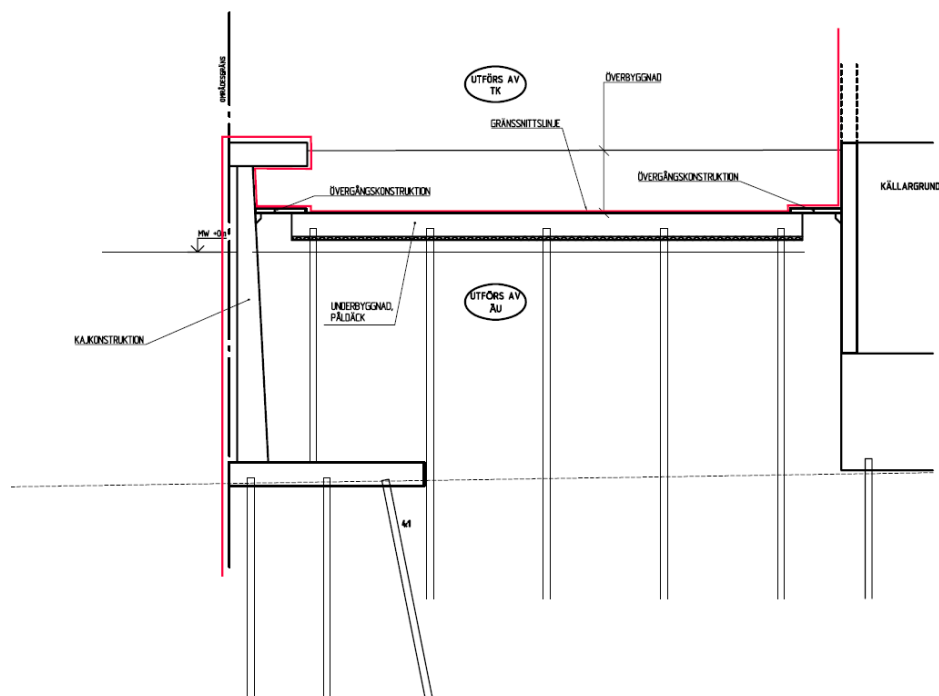
2.1 Illustration och byggnadslayout över området



Figur 1 Illustration av kaj för Halvön med krönbalk på nivå +2,0 m.



Figur 2 Layout över Halvön. Kortaste avstånd från kaj till byggnader är 15 m



Figur 3 Princip för utförande av kajen med byggnader ovanför kajkonstruktionen till höger.

2.2 Fartygstrafik och frekvens för fartygspåkörning

I referens [1] har det utförts uppskattning av den årliga fartygstrafiken för 2030 vilket visas i Tabell 1 nedan.

Göta älv – Vänerstråket	Typfartyg	Trafik idag	Scenario/prognos 2030
L < 30 m	Mindre passagerarbåtar	7296	7296
30 -50	>90% Kollektivtrafikfärjor	14364	21546
50- 70	70% Lastfartyg 18% Tanker 12% Övr	312	624
70 – 90	90% Lastfartyg och mudderpråmar(2014)	1980	1980
90 - 110	Lastfartyg	49	2078
L > 110 m	Lastfartyg tankfartyg 50/50	931	931

Tabell 1 Översikt över uppskattat antal fartygspassager idag (2015) och 2030.

Baserat på uppskattad fartygstrafik i området 2030 har beräkningar gjorts av årliga påkörningsfrekvenser i området. I sammanhanget har tre scenarier legat till grund för analyserna;

- i. Roderfel
- ii. Mänskliga fel
- iii. Black-out (drivande fartyg)

I figur 4 visas förloppet för de tre angivna scenarierna.



Figur 4 Typer af påkörningsscenarioer och det visar det förväntade förloppet för dessa scenarioer

Resultatet av analyserna presenteras i Tabell 2, Tabell 3 och Tabell 4 nedan för scenarierna i), ii) och iii). Som nämnts tidigare ligger resultaten i referens [1] till grund för dessa analyser av scenarioer.

Index	Fartygs- längd (m)	i) Upp Öönskad gir ROD (SSPA)	ii) Ned Öönskad gir ROD (SSPA)	Sannolikhet för påkörning i)	Returperiod (år)
1	30-50	$6,5 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$1,14 \cdot 10^{-3}$	877
2	50-70	$1,20 \cdot 10^{-5}$	$1,20 \cdot 10^{-5}$	$2,40 \cdot 10^{-5}$	41667
3	70-90	$7,6 \cdot 10^{-5}$	$7,6 \cdot 10^{-5}$	$1,52 \cdot 10^{-4}$	6579
4	90-110	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$3,40 \cdot 10^{-5}$	29412
5	>100	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$	10000
Total				$1,45 \cdot 10^{-3}$	689

Tabell 2 Översikt över påkörningsfrekvenser 2030 för kollisionsscenarioer i), ref. [1]

Index	Fartygs- längd (m)	ii) Upp Missl gir (HE) (SSPA)	iii) Ned Missl gir (HE) (SSPA)	Sannolikhet för påkörning ii)	Returperiod (år)
1	30-50	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$4,40 \cdot 10^{-2}$	23
2	50-70	$4,7 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-4}$	$9,40 \cdot 10^{-4}$	1064
3	70-90	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$6,00 \cdot 10^{-3}$	167
4	90-110	$7,4 \cdot 10^{-5}$	$7,4 \cdot 10^{-5}$	$1,48 \cdot 10^{-4}$	6757
5	>100	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$2,80 \cdot 10^{-3}$	357
Total				$5,39 \cdot 10^{-2}$	19

Tabell 3 Översikt över påkörningsfrekvenser 2030 för kollisionsscenarioer ii), ref. [1]

Index	Fartygslängd (m)	iii)Upp Missl gir (BO) (SSPA)	iii)Ned Missl gir (BO) (SSPA)	Sannolikhet för påkörning iii)	Returperiod (år)
1	30-50	2,6·10 ⁻²	8,6·10 ⁻³	3,46·10 ⁻²	29
2	50-70	5,6·10 ⁻⁴	1,9·10 ⁻⁴	7,50·10 ⁻⁴	1333
3	70-90	3,5·10 ⁻³	1,2·10 ⁻³	4,70·10 ⁻³	213
4	90-110	7,7·10 ⁻⁵	2,6·10 ⁻⁵	1,03·10 ⁻⁴	9709
5	>100	2,3·10 ⁻³	7,8·10 ⁻⁴	3,08·10 ⁻³	325
Total				4,32·10 ⁻²	23

Tabell 4 Översikt över påkörningsfrekvenser 2030 för kollisionsscenarioer iii), ref. [1]

Påkörningsfrekvenserna i kolumn 2 och 3 i Tabell 2, Tabell 3 och Tabell 4 är direkt hämtade från SSPA:s rapport, ref. [1], sida 66 och summeras i kolumn 4 till sannolikhet för påkörning $P_{\text{kollision}}$. Frekvenserna är uppdelade på kollisionsscenarioerna i), ii) och iii) och på fartygsklasser 1-5 (fartygsstorlekar).

2.3 Personantal i området

För att bedöma hur många personer som vistas på kajen i kringliggande byggnader har skattningar från tidigare utredningar och andra referenser använts, bl.a. 'Riskanalys för Backaplan' (Cowi 2019) och Arbetsmiljöverkets PM 'Hur trångt får det vara?' (2006).

Fastighetsytorna för Halvön har sammanställts från underlag från exploatörerna enligt följande:

	Boende	Kontor	Hotell	Kultur	Handel	Skolor
A1	10300	2700	0	950	570	0
A2	11500	800	0	0	1220	0
A3	0	11300	0	500	290	0
A4	0	28700	0	200	820	0

Tabell 5 Fastighetsytorna för Halvön

Boende

Vi räknar med 0,04 boende per BTA eller 1 boende/25m².

30 % av personerna antas vara hemma dagtid (kl. 07-19) och 95 % av dessa vistas inomhus och resterande 5 % vistas utomhus. Under kvällen och natten

(kl. 19-07) antas 90 % av personerna vara hemma. Av dessa antas 99,5 % vistas inomhus och 0,5 % vistas utomhus.

Kontor, kultur och handel

Arbetsmiljöverket har använt 0,04 personer/m². Då Halvön ska ha hög täthet används 0,05 personer/m² eller 20 m² per person. 95 % av dessa antas vara inomhus och 5 % utomhus.

Då handel och kultur förväntas ha besökare kvällstid har dessa delar satts till 50 % av andelen dagtid.

Besökande utemiljö

En solig dag sommartid kan kajen förväntas ha 100 besökare utomhus per kvarter under dagtid. Andelen kvällstid förväntas till 50 % av antalet under dagtid.

Beräkningsförutsättningar

Utifrån angiven BTA och övriga förutsättningar ovan har antalet personer som vistas i och utanför respektive kvarter beräknats. P.g.a. osäkerheter har siffrorna avrundats till närmsta ovan liggande tiotal.

Siffrorna är bedömda för fint väder under sommartid. Vintertid beräknas andelen inomhus vara densamma men utomhus 10% av andelen sommartid. Vid kraftig vind och regn under sommartid bedöms andelen utomhus också var 10 %.

Osäkerhet är framför allt de publika delarna A1 (Besökscentrum Ostindiefararen) och A3 (Filmens Hus) och vad dessa kan alstra för antal besökare.

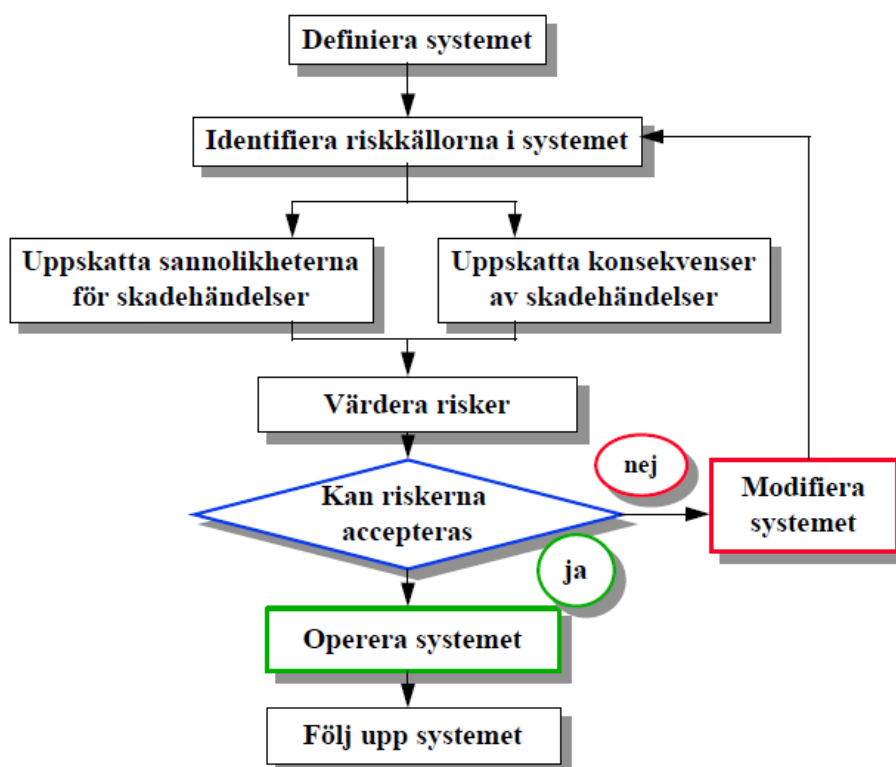
	Dagtid		Nattetid	
	Inomhus	Utomhus	Inomhus	Utomhus
Kvarter A1	310	120	410	60
Kvarter A2	230	120	450	60
Kvarter A3	580	130	20	50
Kvarter A4	1420	180	30	50

Tabell 6 Antalet personer som vistas i och utanför respektive kvarter

3. Principer för riskanalys och utvärderingskriterier

3.1 Princip för riskanalys

För att på ett meningsfullt och adekvat sätt hantera risker och riskreducerande åtgärder i samhällsplanering görs i riskbegreppet en sammanvägning av sannolikheter och konsekvenser för identifierade händelser och olyckor i aktuellt fall. Principen illustreras i 5.



Figur 5 Process for riskanalys

Principen för systemet enligt av figuren ovan.

1. Beskrivning av systemet
2. Identifiering av riskerna
3. Bedömning eller beräkning av sannolikheter och konsekvenser
4. Värdering av risk

Erfarenhetsåterkoppling och uppföljning som visas längst ner i figur 5 är endast möjligt gällande de mest frekvent förekommande påkörningsolyckorna. D.v.s. för sällsynta olyckor med stor konsekvens är sådan uppföljning normalt inte möjlig eftersom de sker extremt sällan.

3.2 Riskvärdering och acceptanskriterier

Utgångspunkt för värdering av risker är följande, se referens [2].

- Rimlighetsprincipen - Om det med rimliga tekniska och ekonomiska medel är möjligt att reducera eller eliminera en risk skall detta göras.
- Proportionalitetsprincipen - En verksamhets totala risknivå bör stå i proportion till den nytta i form av exempelvis produkter och tjänster, verksamheten medför.
- Fördelningsprincipen - Riskerna bör, i relation till den nytta verksamheten medför, vara skäligt fördelade inom samhället.
- Principen om undvikande av katastrofer - Om risker realiserats bör detta hellre ske i form av händelser som kan hanteras av befintliga och tillgängliga beredskapsresurser än i form av katastrofer.

I Sverige finns inga nationellt fastställda kriterier för vad som ska betraktas som acceptabel risk. De kriterier som är etablerade och vanligtvis används i Sverige för individrisk och samhällsrisk är framtagna av Det Norske Veritas (DNV) åt dåvarande Räddningsverket, se referens [2]. Acceptkriterier tillämpas även i andra länder exempelvis Danmark, Storbritannien och Holland och beskrivs mera i referens [2].

Kriterierna för individrisk och samhällsrisk presenteras vidare i detalj nedan.

3.2.1 Individrisk

Med individrisk menas sannolikheten att en viss individ omkommer under ett år. Individrisk beräknas normalt under antagandet att en individ är kontinuerligt.

3.2.2 Samhällsrisk

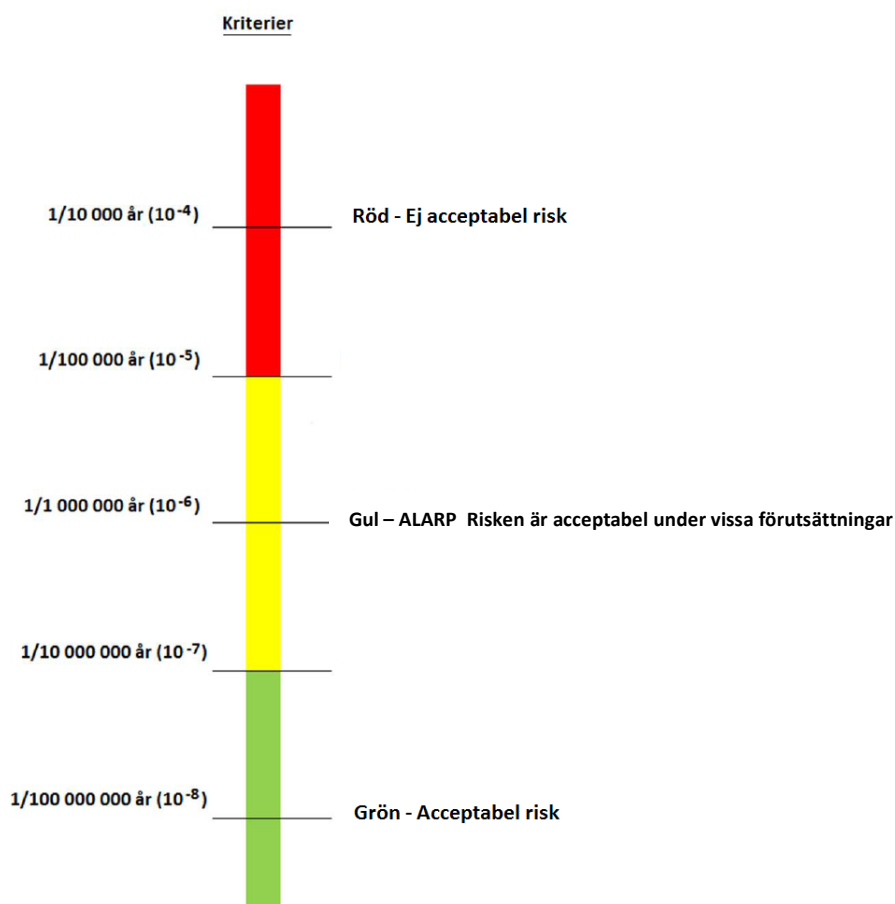
Samhällsrisk är ett mått för hur stor risk en riskkälla, t.ex. transportled för farligt gods, utsätter människor i samhället för. Samhällsrisk innebär risken för att ett antal människor omkommer vid en viss olycka någonstans i samhället under ett år. Begreppet samhällsrisk är tillämpligt på alla personer som vistas i området såsom boende, arbetande, trafikanter etc.

3.2.3 Kriterier för individrisk

Följande kriterier används för individrisk:

- Övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan tolereras: $1 \cdot 10^{-5}$ per år
- Övre gräns för område där risker kan anses som små: $1 \cdot 10^{-7}$ per år.

Som exempel och jämförelse kan nämnas att risken för olycka på grund av naturhändelse i Norden är $1 \cdot 10^{-6}$ per år.



Figur 6 Visualisering av acceptanskriterier för individrisk, ref. [2]

Bilden illustrerar acceptanskriterier/tolerabel risknivå för tredje man som vistas i området med farligt gods-transporter som riskkälla.

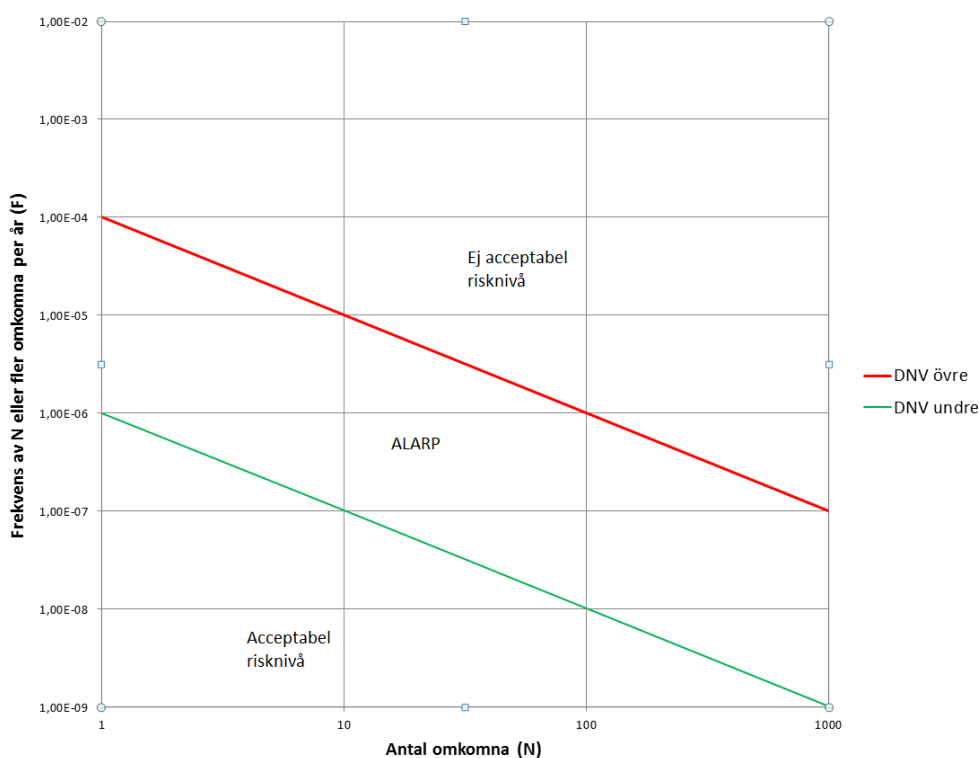
Området mellan uppsatta acceptanskriterier kallas för ALARP, As Low As Reasonably Practicable, och betyder att om risken med rimliga medel kan minskas så ska riskreducerande åtgärder vidtas. Risken i ALARP-området är acceptabel om samtliga rimliga och kostnads-nyttoeffektiva åtgärder är vidtagna.

3.2.4 Kriterier för samhällsrisk

Samhällsrisker åskådliggörs och värderas med hjälp av F/N-diagram (Frequency/Number of fatalities):

- Övre gräns för område där risker under vissa förutsättningar kan accepteras: $F=10^{-4}$ per år för $N=1$ med lutning -1
- Övre gräns för område där risker kan anses som små: $F=10^{-6}$ för $N=1$ med lutning -1

Se graf inritad i F/N-diagram nedan.



Figur 7 F/N-diagram som visar DNV:s förslag på kriterier för samhällsrisk för tredje man, se referens [2]

Området mellan uppsatta kriterier kallas för ALARP, As Low As Reasonably Practicable, som betyder att om risken med rimliga medel kan minskas så ska riskreducerande åtgärder vidtas. Risken i ALARP-området är acceptabel om samtliga rimliga och kostnads-nyttoeffektiva åtgärder är vidtagna.

4. Riskanalys - beräkningar

Risikanalyserna gällande fartygspåkörning för Halvön är utförda enligt principerna för samhällsrisk och individrisk som beskrivs i kapitel 3.

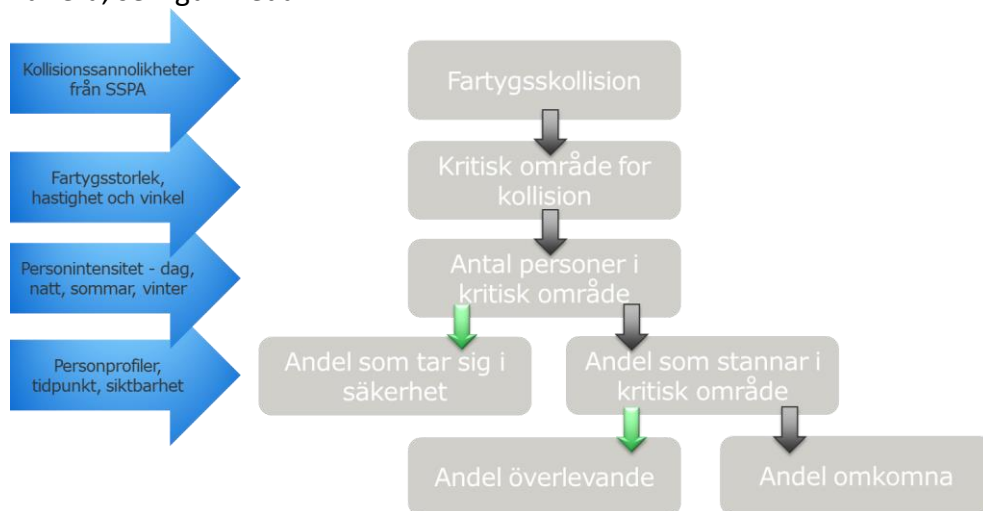
Sannolikheterna för påkörning av kaj enligt referens[2] används som utgångspunkt. Beräkningsmodell har sedan utarbetats för att analysera skador på kaj med ett olika antal omkomna personer som konsekvens i händelse av påkörning av kajen. I extremfallet vid högvatten har motsvarande också gjorts gällande sannolikhet för att ett fartyg kör på kajen och klättrar upp på kajen och når fram till byggnaderna, vilket endast är möjligt för mindre fartyg med ett lågt djupgående.

4.1 Samhällsrisk

Samhällsrisk beräknas för personer som befinner sig på kajen och för personer som befinner sig i byggnaderna. Eftersom såväl sannolikheten för att ett fartyg ska träffa en byggnad som den bedömda konsekvensen där av är låg kommer bidraget till samhällsrisk att dominera för personer på kajen.

4.1.1 Personer som vistas på kajen

Beräkningen av samhällsrisk tar sin utgångspunkt i att fartyg kolliderar med kajen. Beroende på allvarlighetsgraden för påkörningen som beror av fartygsstorlek, hastighet, påkörningsvinkel kommer konsekvensen att variera, se Figur nedan.



Figur 8 Beskrivning av modell för beräkning av antal omkomna på kajen vid fartygspåkörning.

I modellen beräknas stegvis sannolikheten av att personer befinner sig i ett kritiskt område när kajkanten vid kollisionen samt beräknas också hur många av de som befinner sig i området som blir skadade och som

förväntas omkomma. I samhällsrisk är det antal omkomna som räknas för respektive olycksscenario. Resultatet blir sannolikheten per år för 1, 2, 3 omkomna .

I beräkningarna ingår de årliga sannolikheterna för fartygspåkörning som beräknats i SSPA:s analyser og som angivet i Tabell 2, Tabell 3 och Tabell 4. Gällande hastigheten så antas att den är jämnt fördelad mellan 0 knop och upp till den hastighet som är registrerad för vid hamntrafik.

Vi påkörningen påverkas ett kajområde av deformationer och kraftiga vibrationer. Storleken på kajområdet som påverkas beror av om det är en rak påkörning (head-on, HOB) eller om fartyget rammar med sidan mot kajen. För rak påkörning HOB antas att deformationer av kajen sker över hela fartygets bredd. Om fartyg rammar med sidan mot kajen antas området som deformerar vara ca en halv meter för hela fartygets längd.

Baserat på ytan av det deformerade kajområdet kan antalet personer i det kritiska området som deformerats beräknas. Antalet personer som befinner sig i det området beror på om det är tid på dygnet samt årstid.

En del personer upptäcker i god tid att det är ett fartyg på väg att kollidera med kajen medan en del andra inte märker någonting och stannar kvar i området där påkörningen leder till konsekvens. Det antas att 50 % märker att det är ett fartyg på väg att kollidera med kajen och som därmed i tid hinner lämna det drabbade kajområdet.

Av de personer som inte lyckas lämna det drabbade olycksområdet i tid antas att 50 % omkommer vid fartygspåkörningen.

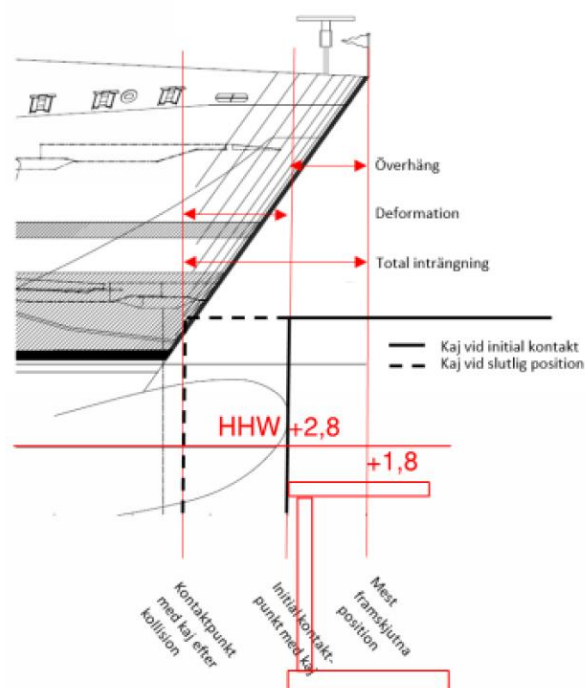
Från dessa analyser för olika dödstal vid de olika olycksscenarierna beräknas sannolikheterna för olika dödstal placeras sedan in i F/N-diagram som visas i kapitel 4.1.3 nedan.

För detaljerade analyser av samhällsrisk, se bilaga B.

4.1.2 Personer som vistas i byggnader

En fråga som behandlats gällande kajkonstruktionen har varit att överväganden kring vilken nivå som krönbalken ska läggas på. Krönbalkens höjdläge har varit särskilt föremål för fördjupad dialog gällande högvattensscenario och risken för att ett fartyg vid kollision med kajen skulle kunna glida upp på kajen och fortsätta mot byggnaderna. I detta kapitel behandlas riskanalys av det scenariot och med krönbalken på nivå +2,0 m.

Skiss på scenario med kajens krönbalk placerad på +2,0 m och vattennivå +2,8 m visas i Figur 9.



Figur 9 Fartygspåkörning vid högvatten

Scenario med fartyg som glider upp över kajkanten och vidare mot byggnaderna baseras på bedömning av sannolikheter för olika delmoment i scenariot som presenteras nedan.

Fartyg som glider upp på kajen mot byggnaderna har beaktats i riskanalysen. Kajkollision vid extremt högvatten och fartyg med mycket litet djupgående vilket leder till att fartyget glider upp på kajen har mycket låg sannolikhet. Sannolikheten är således en kombination av

Sannolikhet för kollision:	$P_{kollision}$
Sannolikhet för lågt djupgående:	$P_{low draught}$
Sannolikhet för HHW=+2,80 m:	P_{HHW}
Sannolikhet för att inte stoppas av krönbalk:	$P_{krönbalk}$
Sannolikhet för att inte stoppas före byggnad:	$P_{byggnad}$

Sammanlagd sannolikhet P_{total} för att fartyg kolliderar med byggnad:

$$P_{total} = P_{kollision} \cdot P_{low draught} \cdot P_{HHW} \cdot P_{krönbalk} \cdot P_{byggnad}$$

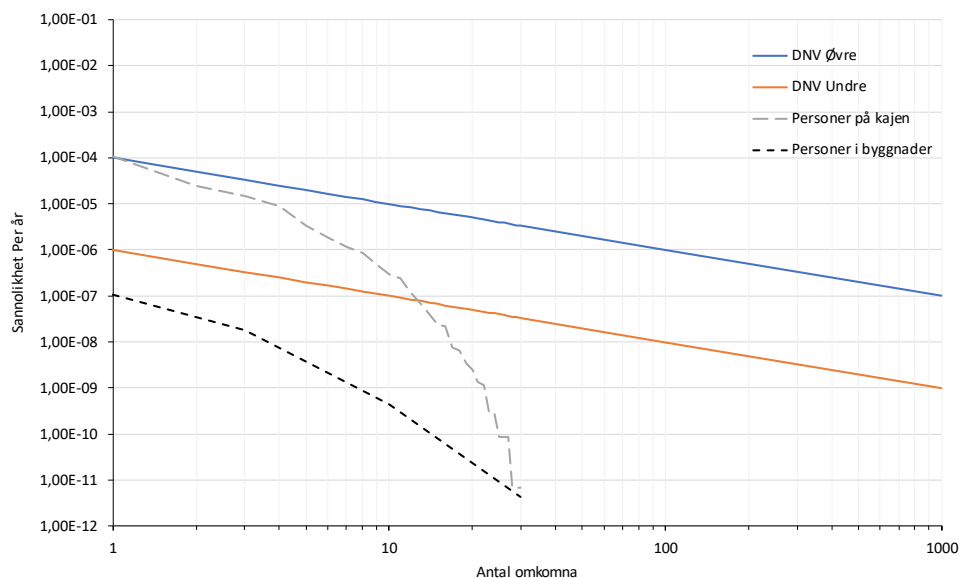
Beräkning av hur långt upp på kajen som ett fartyg kan glida visas i exempel i bilaga 3 där också sannolikheterna som ingår i P_{total} visas.

P_{total} beräknas på detta vis till $1,8 \times 10^{-7}$ per år.

Baserat på denna sannolikhet för påkörning av byggnader bedöms sedan vidare sannolikheten för 1, 3, 10, 30 döda som presenteras i F/N-kurvan i kapitel.

4.1.3 Slutsatser samhällsrisk

För de båda fallen för personer på kajen och för personer i byggnaderna närmast kajen visas risken i graf i F/N-diagram nedan.



Figur 10 F/N-kurva för fartygspåkörning av kajen vid Halvön. De övre grovstreckade kurvan visa risknivån för personer som vistas på kajen och den nedre visar risknivån för personer som vistas i byggnaderna.

Personer på kajen

Eftersom risknivån ligger i ALARP-området behöver rimliga och kostnadseffektiva riskreducerande åtgärder vidtas gällande personer som visats på kajen. Förslag på sådana åtgärder är enligt följande:

- Larmsystem för fartygspåkörning
- Ökade restriktioner för fartygstrafiken, t.ex. hastighetsbegränsning
- Förbättrad markering av farleden i älven
- Begränsningar i var på kajen som uteserveringar får förekomma

Personer i byggnader

Riskenivån för personer som vistas i byggnaderna är så låg att det under de kända planeringsförutsättningarna inte behövs några tillkommande riskreducerande åtgärder.

Typen av olycka där ett fartyg i extremfall skulle nå fram till byggnaderna är endast möjlig vid angivit högvattentillstånd och med relativt småfartyg som har begränsat djupgående, vilket innebär fartygsklass 1-2. Vid tillfällena när det stormar hårt så undviks enligt uppgift fartygstrafik i området. För att

undvika dryga skadekostnader och fara för liv så kommer fartygstrafiken med stor sannolikhet att stängas.

Om anlop av stora fartyg ändå måste ske föranleder det vid högvatten och hårt väder extra åtgärder för stora fartyg som extra assistans av bogserbåtar. Denna storlek på fartyg bedöms har också så stort djupgående att de inte bedöms kunna klättra upp på kajen.

Efter 2070 kan det bli aktuellt med stängning vid extremt högvatten med portar som planeras som skydd Göta Älv i området. Dock kommer stängning att vara relativt sällsynt troligen inte mer än någon gång vartannat år. Stängning av portar kommer enligt uppgift att ske i ca 2 dygn.

Antagandena i denna riskanalys ligger på säkra sidan, d.v.s. risknivån bedöms vara något överskattad i analyserna och den verkliga risknivån bedöms därmed vara något lägre. I riskanalysen har det inte heller räknats in att fartygstrafiken med stor sannolikhet står stilla vid de högvattennivåer som krävs för att ett fartyg i klass 1-2 ska kunna glida upp på kajen.

Om det trots allt skulle ske fartygstrafik vid högvatten så är sannolikheten för att ett fartyg kolliderar med en byggnad så låg att det enligt normer för byggnadskonstruktion BBR inte krävs att byggnaderna dimensioneras för att kunna ta upp last från fartygspåkörning.

- I Sverige finns nationella val som berör acceptabel risknivå gällande olyckslaster (Punkt 3.2, NOT 3 i EN 1991). Valet är beskrivet i Boverkets Författningssamling på sida 63, ref. [5] och lyder "Risknivån får inte vara högre än vad som svarar mot säkerhetsindex $\beta = 3,1$ för olyckslaster och $\beta = 2,3$ för fortskridande ras för referenstiden 1 år". $\beta = 3,1$ motsvarar en sannolikhet på 10^{-3} och $\beta = 2,3$ motsvarar sannolikhet på 10^{-2} .
- Nordiska kommittén för byggbestämmelser i bilaga A3 till ref. [3] bedömer sannolikheten 10^{-4} per år som gräns: "I praxis kan det vara nödvändigt att bortse från de mest osannolika händelserna. Sannolikheten för olyckshändelser som kan negligeras i analysen bör dock inte efter bästa uppskattning, överstiga 10^{-4} per år för en given konstruktion."
- I Norsk handbok för broprojektering, HB 185, ref. [4], anges en sannolikhet på 10^{-4} per år som gräns för, när olyckslaster ska beaktas. "Karakteristiska olyckslaster är i huvudsak nominella värden baserade på en uppskattning och kan vanligtvis inte associeras med en definierad sannolikhetsnivå. I den mån olyckslasten kan fastställas med hjälp av

sannolikhetsberäkningar, bör sannolikheten för händelser som man exkluderar i analysen inte överstiga 10^{-4} per år."

Som framgår är den beräknade samhällsrisk personolyckor för dem som befinner sig i byggnader acceptabel samt likaså ligger sannolikheten på cirka 10^{-7} per år för en olycka med kollision av byggnad. Sannolikheten för påkörning av byggnaderna är därmed så låg att belastningar enligt norm inte ska beaktas vid dimensionering av byggnadskonstruktionerna.

För detaljerade analyser av påkörning av byggnaderna, se bilaga C.

4.2 Individrisk

Individrisk är sannolikheten att en individ som i stor omfattning uppehåller sig i området omkommer i olycka under ett år.

Exempel på personer som i stor omfattning uppehåller sig i kajområdet är:

1. En boende i området som tar sin dagliga promenad i kajområdet.
2. En restauranganställd som serverar i kajområdet.
3. Person i byggnad, boende

För dessa personer i området beräknas sannolikheten att omkomma i påkörningsolycka enligt följande:

Sannolikheter	Beskrivning
P-kollision	Sannolikhet för kollision
P-person	Sannolikhet för att personen befinner sig i området
P-kritiskt område	Sannolikhet för att personen befinner sig i kollisionsområdet
P-stannar kvar	Sannolikhet att personen inte lyckas flytta sig från kritiskt område
P-omkommer	Sannolikhet att personen omkommer efter att den drabbats av olyckan

Tabell 7 Sannolikheter för beräkning av individrisk

Den samlade individrisken beräknas enligt följande

$$\text{Individrisk} = P_{\text{kollision}} \cdot P_{\text{person}} \cdot P_{\text{kritisk område}} \cdot P_{\text{stannar kvar}} \cdot P_{\text{omkommer}}$$

Sannolikheten för att personen befinner sig i området Pperson baseras på följande:

- En boende i området som vistas 100 dagar om året 4-5 timmar i kajområdet om dagen.
- En anställd på restaurang som arbetar 200 dagar per år i området. Det är uteservering 5 under 5 månader per år och den anställde befinner sig utomhus i kajområdet 20 % av sin arbetstid.

För personer i byggnaderna beräknas individrisken enligt följande sekvens:

1. Fartyg glider upp på kajen och träffar byggnad
2. Personen är närvarande i byggnaden
3. Personen befinner sig i kritiskt område som träffas av fartyget
4. Fartyget träffar byggnaden så allvarligt att det orsakar skada på byggnad där personen befinner sig
5. Personen som drabbas omkommer p.g.a. olyckan

Sannolikheten för sekvensen ovan redogörs för i bilaga C. Individrisken beräknas till $1,1 \times 10^{-8}$.

För detaljerade analyser av individrisken, se bilaga A. Individrisken visas i tabellen nedan.

Person	Individrisk [Årlig sannolikhet för att omkomma i påkörningsolycka]
Den boende i området som vistas på kajen 4-5 timmar vid vackert väder	$1,5 \times 10^{-6}$
Restauranganställd	$4,0 \times 10^{-7}$
Person i byggnad	$1,1 \times 10^{-8}$

Tabell 8 Individrisk for fartygspåkörning

Individrisken ligger således i ALARP-området, 10^{-7} - 10^{-5} per år, där rimliga och kostnadseffektiva riskreducerande behöver åtgärder vidtas. Se förslag på riskreducerande åtgärder under samhällsrisik.

Därutöver finns möjligheten att implementera bra skyltning gällande uppmärksamhet på fartygstrafiken vid vistelse på kajen.

5. Underlag för beslut

Denna riskanalys är framtagen som en del av Trafikkontorets genomförandestudie för Halvön. För allmän plats på kajen är det föreslagit att nivån på krönbalken ska sänkas till nivå +2,0. Nedan följer en sammanfattning av riskanalysens slutsatser baserat på utförande med nivå +2,0 m på krönbalken samt rekommendationer för riskreducerande åtgärder.

Scenario med påkörning av byggnader har en sannolikhet på ca 10^{-7} per år. Endast små fartyg enligt fartygsklass 1-2 som har litet djupgående skulle vid påkörning under högvatten +2,8 m kunna glida upp på krönbalk med nivå + 2,0 m. Eftersom sannolikheten är mycket låg för det olycksscenarioet behöver det enligt nationella standarder inte beaktas vid projektering av byggnaderna.

Både samhällsrisk och individrisk är acceptabla under förutsättning att det vidtas rimliga och kostnadsnyttoeffektiva riskreducerande åtgärder. Det avser risk för personer som befinner sig på kajen.

För personer i byggnaderna är risknivån enligt analyserna så låg att det inte erfordras några riskreducerande åtgärder.

Rimliga och kostnadseffektiva åtgärder ska övervägas, exempelvis:

- Larmsystem för fartygspåkörning
- Ökade restriktioner för fartygstrafiken, t.ex. hastighetsbegränsning
- Förbättrad markering av farleden i älven
- Begränsningar i var på kajen som uteserveringar får förekomma

En möjlig vidareutveckling av riskanalysen är att sannolikheterna för påkörning av kajen skulle göras mera anpassade för förhållanden med navigering i hamn vilket bedöms kunna medföra ytterligare något lägre kollisionssannolikheter. Detta kan vara föremål för fortsatt utredning.

I riskanalysen har det inte heller räknats in att fartygstrafiken med stor sannolikhet står stilla vid de högvattennivåer som krävs för att ett fartyg ska kunna glida upp på kajen.

6. Referenser

- [1] Maritim riskbedömning för utvecklingsprojekt Järnvågen med vattenverksamhet och ny DP för södra Älvstranden mellan Rosenlundskanalen och kajplatserna 22-24, SSPA 2015-12-20
- [2] Värdering av risk, DNV for Statens räddningsverk, Karlstad, 1997
- [3] Nordiska kommittén för byggbestämmelser. Riktlinjer för last- och säkerhetsbestämmelser. NKB-skrift nr. 55. Juni 1987.
- [4] Handbok N400, Broprojektering, Projektering av broar, färjekajer och andra bärande konstruktioner, Statens Vegvesen, Norge, 2015
- [5] Boverkets författningssamling: BFS 2013:10 EKS 9. Boverkets föreskrifter om ändring i verket föreskrifter om allmänna råd (2011:10) om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (Eurokoder), 18 juni 2013

BILAGOR

Bilaga A – Beräkning - Individrisk

Bilaga B – Beräkning – Samhällsrisk – Påkörning av personer på kaj

Bilaga C – Beräkning – Samhällsrisk vid högvattensscenario med påkörning av byggnad

Bilaga A

De personer som mest uppehåller sig på kajen antas befinna sig där 100 dagar per år och 4-5 timmar varje gång, se vidare i tabellen nedan.

Den person, som oftast är i området			
Antal dagar om året	100 dage	Sannolikhet P_{dagar}	27%
Antal timmar per dygn	4-5 timer	Sannolikhet P_{timmar}	21%
		Sannolikheten att personen exponeras	6%

En restauranganställd i en av restaurangerna vid kajen antas arbeta där 200 dagar per år. Det antas vidare att den anställde är utomhus 20 % av sin tid under 5 månader, maj-september. Det innebär att den anställde exponeras utomhus 8 % av tiden på årsbasis.

Anställd i restaurang			
Antal dagar om året	200 dagar	Sannolikhet P_{dagar}	55%
Tid utomhus	20 % under 5 månader	Sannolikhet P_{utomhus}	8%
Arbetstid per dag	8 timer	Sannolikhet P_{dag}	33%
		Sannolikhet att den anställde exponeras	2%

Det bedöms att det endast är fartygsklass 2-5, som indelad i Tabell 2, Tabell 3 och Tabell 4, som kan orsaka skada. Sannolikheten för påkörning är $P_{\text{kollision}}$ bestäms genom att lägga samman "Sannolikhet för påkörning i), ii) eller iii) i" från Tabell 2, Tabell 3 och Tabell 4 för fartygsklass 2-5.

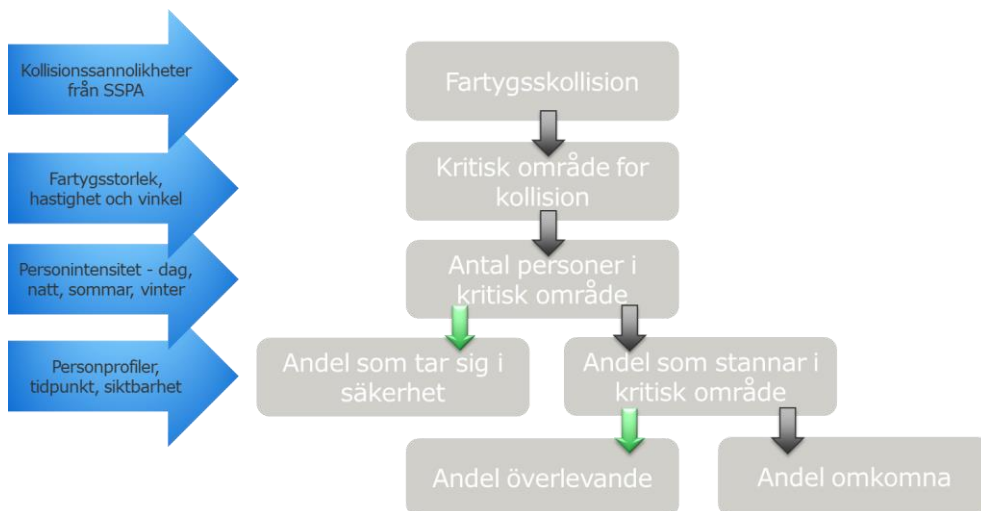
Personen behöver dessutom befinnas sig i det kritiska området på kajen vilket har sannolikheten $P_{\text{kritisk område}} = 0,0075$ (Det baseras på förhållandet mellan kritiskt områdes area och hela områdets area). Sannolikheten att personer lyckas lämna det kritiska området antas till 50 % och sannolikheten att personer omkommer i kritiskt område antas till 50 %.

Individrisk	Person som är oftast i området	Anställd
$P_{\text{kollision}}$	$1,88 \cdot 10^{-2}$	$1,88 \cdot 10^{-2}$
P_{Person}	6%	2%
$P_{\text{kritisk område}}$	0,0075	0,0075
$P_{\text{lämnar området}}$	0,5	0,5
P_{omkommer}	0,5	0,5
Individrisk	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$5,3 \cdot 10^{-7}$

Bilaga B

Beräkning – Samhällsrisk – Påkörning av personer på kaj

Beräkning av samhällsrisk för personer på kaj. Nedanstående tabell visar principen för beräkningarna.



För att genomföra beräkningarna har ett antal antaganden gjorts. Det antas att det största fartyget vid kollision med 8 knop in i kajen påverkar ett område som är 50 m² (det motsvarar 2 gånger fartygets deformation över hela fartygsbredden). Om fartyg rammar med sidan mot kajen blir det påverkade området 55 m² (det motsvarar en intryckning av kajen 0,5 m över hela fartygets längd).

Antaganden		
Största kritiska område på kajen vid HOB	50 m ²	(motsvarar 2 gånger fartygets deformation över hela fartygsbredden)
Största kritiska område på kajen, fartyg rammar med sidan	55 m ²	(motsvarar en intryckning av kajen 0,5 m över hela fartygets längd)
Plämnar området	50%	
Pomkommer	50%	

Vid beräkning av individrisk antas att 50 % lämnar det kritiska området och därmed undviker att drabbas av olyckan och att 50 % av dem som stannar kvar i det kritiska området omkommer.

Sannolikheterna hämtade från SSPA:s rapport, bilagor i referens [1] och motsvarar värdena i Tabell 2, Tabell 3 och Tabell 4. Index motsvarar fartygsklass.

Index	Fartygslängd (m)	Sannolikhet för påkörning
1	30-50	$1,14 \cdot 10^{-6}$
2	50-70	$2,40 \cdot 10^{-6}$
3	70-90	$1,52 \cdot 10^{-6}$
4	90-110	$3,40 \cdot 10^{-6}$
5	>100	$1,00 \cdot 10^{-6}$

Det antas att det regnar 50 % av tiden i Göteborg. Det ger en fördelning enligt nedan.

Index	Väder	Sannolikhet
1	Sommardag	0,125
2	Sommarnat	0,125
3	Vinter/regn dag	0,375
4	Vinter/Regn natt	0,375

Fördelningen i områdena nedan har gjorts av Ramböll enligt kapitel 2.3. Det antas att det vintertid endast visas 10 % utomhus jämfört med sommartid.

Antal personer i områdena om sommaren	Dag		Natt	
	Inomhus	Utomhus	Inomhus	Utomhus
Område A1	310	120	410	60
Område A2	230	120	450	60
Område A3	580	130	20	50
Område A4	1420	180	30	50

Nedan visas antal personer som antas visas i hela området. Det antas att 25 % av dem vistas på kajen och tillräckligt tätt att de kan skadas vid en kollision. Baserat på en total kajarea av 5700 m² beräknas den genomsnittliga persontätheten.

	Personer i hela området	Personer på kajen	Persontäthet (pers/m ²)
Antal personer sommar (dag)	550	138	0,024
Antal personer sommar (natt)	220	55	0,0096
Antal personer i regnväder eller vinter (dag)	55	14	0,0024
Antal personer i regnväder eller vinter (natt)	22	5,5	0,00097

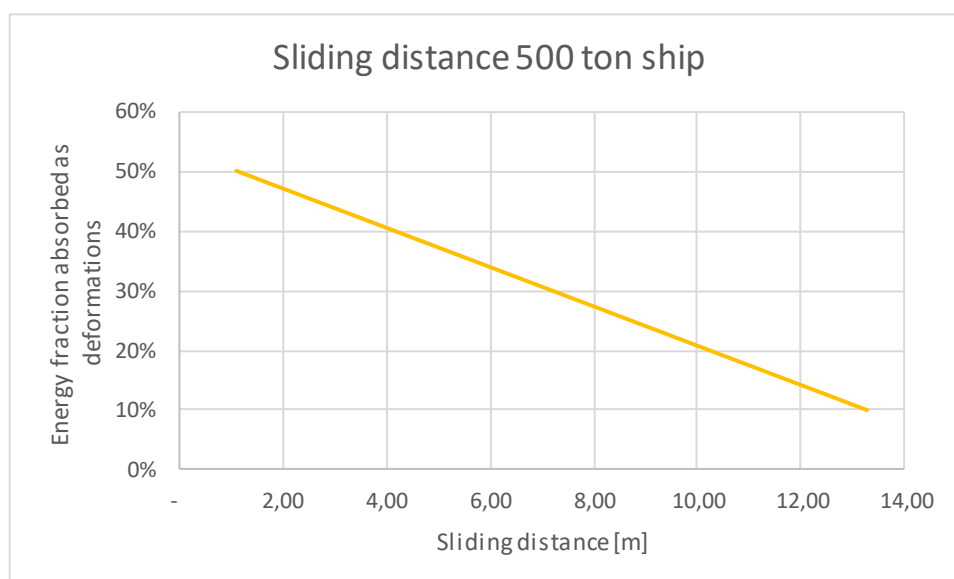
Genom användning av Poissonfördelning beräknas sannolikhet för olika persontätheter på kajen och vid olika tider på året.

Index	Persontäthet	Sommardag	Sommarnatt	Vinter/regn dag	Vinter/Regn natt
1	0	0,91	0,96	0,99	0,996
2	0,25	0,088	0,037	$9,6 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-6}$
3	0,5	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-6}$	$4,6 \cdot 10^{-5}$	$7,4 \cdot 10^{-6}$
4	0,75	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$9,2 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$9,6 \cdot 10^{-9}$
5	1,00	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$8,9 \cdot 10^{-8}$	$3,6 \cdot 10^{-10}$	$9,2 \cdot 10^{-12}$

Bilaga C

Beräkning – Samhällsrisk vid högvattensscenario med påkörning av byggnad

Om ett fartyg vid en kollision med kajkant lyfts upp och därefter glider upp på kajen, kan den potentiellt ramma byggnaderna vid kajen. Nedan ses i diagrammet hur långt ett fartyg kan glida som funktion av deformationsenergin vid kollisionen. D.v.s. låg deformationsenergi innebär större glidlängd.



För att ett fartyg ska kunna lyftas upp och glida vidare mot byggnader är det dock en del förutsättningar som ska uppfyllas, för att detta överhuvudtaget ska kunna inträffa:

- Det är endast mindre fartyg i klass 1 och 2 som har så litet djupgång att de inte endast kolliderar med kajkanten och stannar.
- Vart 200:e år kommer det att vara sådan högvattennivå att fartyg av klass 1 och 2 kan glida upp över kajkanten vid en påkörning. Även de små fartygen kommer endast att kollidera med kajkanten, d.v.s. endast en mindre andel av dem kommer att kunna lyftas upp och glida upp på kajen.
- Endast en liten andel av dess glider längre än 20 m upp på kajen.

$P_{\text{kollision (HOB)}}$	$3,65 \cdot 10^{-2}$	Små fartyg (klass 1+2)
P_{HHW}	0,005	200 år returperiod
$P_{\text{glider upp på kaj}}$	0,05	Andel som glider upp på kaj
$P_{\text{sliding > 20 m}}$	0,02	Glider längre än 20 m
P_{total}	$1,83 \cdot 10^{-7}$	

Beräkningarna visar en sannolikhet på $1,8 \cdot 10^{-7}$ för att ett fartyg kolliderar med en byggnad enligt detta scenario.

$P_{\text{Kollision (HOB)}}$ är avsedda för fartyg i klass 1 och 2 för scenarier i) och iii) eftersom dessa kolliderar direkt med kajen. Värdena är hämtade från Tabell 2 och Tabell 4

Nedan beräknas individrisk för personer i byggnader:

Individrisk för person i byggnader	
P_kollision med byggnad	$1,83 \times 10^{-7}$
P_personen är närvarande i byggnaden	0,5
P_Skada på byggnaden som följd av påkörningen	0,25
P_omkommer	0,5
Individrisk byggnader	$1,14 \times 10^{-8}$