

Exploateringsförvaltningen



Göteborgs
Stad

Gång- och cykelbro Packhuskajen - Hugo Hammars kaj PM Maritim riskanalys

Mars 2025



www.goteborg.se

Titel: Gång- och cykelbro Packhuskajen - Hugo Hammars kaj, PM Maritim riskanalys

Dnr: EXF-2023-01034

Exploateringsförvaltningen, Göteborgs stad, 031-365 00 00

Organisationsnummer: 212000-1355

www.goteborg.se/exploateringsforvaltningen

exploatering@exploatering.goteborg.se

Status på dokumentet: 2025-03-23

Ansvariga tjänstemän: Johanna Lennmalm, Exploateringsförvaltningen

Framsidesbild: Copyright Göteborgs Stad

Konsultbolag som anlitas av Exploateringsförvaltningen: Sweco

Uppdragsnummer Sweco: 30054710

Uppdragsansvarig: Javad Hodayoun

Författare: Anna Bjereld, Mikaela Ljungqvist, Johan Nimmermark, Krister Oom

FÖRORD

Gång- och cykelbro Packhuskajen - Hugo Hammars kaj planeras i syfte att stärka det hållbara resandet och koppla samman staden över älven genom att etablera en ny fast förbindelse över Göta älv.

Gång- och cykelbron i aktuellt läge mellan Hugo Hammars kaj och Packhusplatsen, finns redovisad i översiktsplanen, som en framtida broförbindelse, samt är prioriterad i kommunfullmäktiges budget från år 2023.

Bron är en väsentlig del i uppfyllandet av målen i översiktsplanen om en nära, sammanhållen och robust stad. En stor del av Göteborgs pågående stadsutveckling sker centralt utmed Göta älv vilket förväntas medföra en resandeökning, jämfört med idag då 400 000 resenärer korsar Göta älv varje dygn.

För att minska den stora barriärverkan som älven har idag och möjliggöra en sammanhängande stadskärna kring älvrummet är fler förbindelser prioriterade och nödvändiga. Dessa förbindelser kan samtidigt öka tillgängligheten till älvrummet, så att göteborgarna lättare kan gå och cykla samt möta vattnet.

Arbete pågår nu inom Göteborgs Stad med framtagande av en detaljplan, en genomförandestudie (GFS), en miljödomsansökan samt en designprocess för gång- och cykelbron.

Under år 2022 upphandlade Göteborgs Stads Exploateringsförvaltning konsulten Sweco för framtagande av utredningar och underlag som ska ligga till grund för ovan nämnda handlingar inför kommande beslut om byggnation av gång- och cykelbron.

SAMMANFATTNING

Syftet med den maritima riskanalysen är att identifiera och bedöma de olycksrisker som kan uppstå i gränssnittet mellan den planerade gång- och cykelbron mellan Packhuskajen och Hugo Hammars kaj och fartygstrafik på Göta älv. Maritima risker som är förknippade med den planerade gång- och cykelbron har behandlats enligt FSA-metoden (Maritime Safety Committee, 2018).

De sjöfartsrisker som identifierats i analysen är i huvudsak:

- Risk för påsegling av bron, på grund av exempelvis tekniska fel på fartyg.
- Risk för olycka med fartyg som transporterar farligt gods.
- Risk för mötesolyckor mellan olika fartyg.
- Övriga sjöfartsrisker, exempelvis svåra väderförhållanden.

Beroende på typ av risk och vilken tillgång som finns till statistik och beräkningsunderlag hanteras riskerna antingen kvalitativt eller kvantitativt. Risknivåer för vissa risker gällande påsegling av bron har beräknats och jämförts med kvantitativa bedömningskriterier. Övriga risker har hanterats kvalitativt vilket innebär att riskbedömningen görs utifrån riktlinjer, platsspecifika förhållanden, resonemang och erfarenheter från tidigare projekt.

Beräkningar av påseglingsrisk visar att individrisken är på en nivå som kan accepteras utan vidare skyddsåtgärder, medan samhällsrisken ligger på en nivå som kan accepteras om rimliga åtgärder vidtas. I analyserat alternativ (huvudalternativet) ingår åtgärderna förlängda ledverk (A) och förstärkt energiupptagningsförmåga (B) jämfört med referensalternativet. För att risknivåerna ska vara acceptabla förutsätts att åtgärder vidtas. De viktigaste beskrivs här och samtliga beskrivs i avsnitt 9.1:

Ledverksutformning

Ledverk enligt placering i Figur 6, avsnitt 3.2, ska skydda bron. Ledverkens längd och vinklar mot farleden har bestämts med stöd i simuleringar och utformas eftergivliga för att minska effekterna av en påsegling.

Broutformning

Bron ska vara dimensionerad med energiupptagningsförmåga så att risknivån (samhällsrisken) för den slutgiltiga utformningen av anläggningen inte överstiger ALARP. Bron utformas robust men eftergivlig för att öka energiupptagningsförmågan och därmed minska effekterna av en påsegling. Bron dimensioneras för att klara broöppning i stark vind, medelvind 15 m/s.

Farledsutformning

Farleden ska utformas med stöd av genomförda simuleringar (RISE, 2025-01-15). Bland annat har broöppningens placering optimerats för fartygstrafiken.

Säkerhetsavstånd

För de största nedströmsgående lastfartygen kommer säkerhetsavståndet norr om gång- och cykelbron initialt utgå från samma läge som för Hisingsbron, vilket är i höjd med Gotenius varv cirka 700 meter nordost om Hisingsbron. Säkerhetsavståndet blir då totalt cirka 1 600 meter. För fartyg som utgår från Ringön eller andra hamnar nedströms Gotenius varv gäller ett kortare säkerhetsavstånd och att fartyget kommunicerar med broföraren innan det lämnar kaj. När farleden är underhållsmuddrad kan säkerhetsavståndet norr om bron minskas till cirka 700 meter.

Säkerhetsavstånd söder om gång- och cykelbron ska vara cirka 500 meter nedströms bron för de största uppströmsgående lastfartygen. Befintligt säkerhetsavstånd för Hisingsbron utgår

redan strax uppströms från läget för gång- och cykelbron och påverkas därför inte av projektet.

Värderingar av osäkerheterna har utförts för att säkerställa att de inte påverkar slutresultatet i betydande utsträckning. Vid de fall där osäkerheten kan påverka har i de flesta fall ogynnsamma analysförutsättningar, ur risksynpunkt, valts för att inte underskatta risken. De största osäkerheterna är kopplade till prognos för framtida fartygstrafik till Vänern samt prognos för framtida utveckling av cykeltrafiken över Göta älv. För dessa har känslighetsanalyser utförts. Där resultatet är att risknivån även med ogynnsamma förutsättningar är acceptabel, inom ALARP.

Det är inte möjligt att i genomförandestudien av gång- och cykelbron slutgiltigt bestämma utformningen av bron. I det fortsatta arbetet ska risknivån (samhällsrisk) för den slutgiltiga utformningen av anläggningen beräknas. Denna slutgiltiga risknivå får inte överstiga ALARP som har bedömts innebära en rimligt avvägd risknivå i denna analys.

Förkortningar och begrepp

AIS	Automatic Identification System. AIS är ett internationellt system som ger information om fartyg och deras rörelser (fartygsdimensioner, hastighet, position och kurs). För fartyg som följer SOLAS konventionen (IMO, 2025) och är större än 300 ton är det ett krav att de ska vara utrustade med AIS-transponder.
ALARP	As Low As Reasonably Practicable (område där risker kan tolereras om alla rimliga åtgärder är vidtagna). Rimliga sett till påverkan på andra områden som exempelvis ekonomi, miljö och genomförbarhet.
Blockkoefficient	Formkoefficient för beskrivning av undervattenskroppens fyllighet (Transportstyrelsen, TSFS 2021:95, Ändringar tom TSFS 2023:55 införda, 2021), med denna kan ett fartygs ungefärliga displacement beräknas utifrån värden om längd, bredd och djupgående.
Bruttodräktighet	Bruttodräktigheten anger fartygets storlek och bygger på fartygets totala inneslutna rymd (volymen av samtliga slutna utrymmen). Det är ett enhetslöst jämförelsetal.
Displacement	Displacement är massan av den vätskevolym som undanträns av en i vätskan helt eller delvis nedsänkt kropp. För flytande kroppar överensstämmer displacementet med kroppens egen massa. Displacement är således ett mått på ett fartygs vikt eller massa.
Drivande fartyg	Ett fartyg där all manöverförmåga gått förlorad (jämför navigerande fartyg).
Fart genom vatten	Ett fartygs hastighet i förhållande till det vatten det förflyttar sig genom (skiljer sig från fart över grund om fartyget påverkas av mot- eller medström)
Fart över grund	Ett fartygs hastighet i förhållande till sjöbotten
FSA	Formal Safety Assessment. FSA är en metodik som maritima risker föreslås hanteras efter. (Maritime Safety Committee, 2018). Den är utgiven av IMO.
HAZID	Hazard Identification (metod för att identifiera faror och risker).
Knop	Enhet för hastighet till sjöss. En (1) knop är en hastighet av en nautisk mil (sjömil, distansminut; 1 852 meter) per timme.
Kollision	Sammanstötning mellan fartyg (där fartygen är i rörelse).
Kritisk sträcka	Sträcka i farleden längs vilken ett mänskligt eller tekniskt fel kan leda till olyckor mellan fartyg och bro.
Medelvind	Medelvärdet av vindhastigheten under 10 minuter
Navigerande fartyg	Ett fartyg med full manövrerbarhet (jämför drivande fartyg)
Nautisk mil [nm]	Längdenhet inom sjöfart motsvarande 1 852 meter
Påsegling	Sammanstötning mellan fartyg och fast objekt, både då fartyget är navigerande och drivande.
Strukturell integritet	Med strukturell integritet avses brons förmåga att stå emot och säkert bära de belastningar och krafter (bärförmåga) den är avsedd för under sin livslängd, utan att förlora funktion eller riskera säkerheten för dess användare.

Surtemax	De fartyg som idag är för stora för att passera slussarna till Väneren i farleden men trafikerar farledens nedre del upp till Nol benämns "Surtemax". Maximal storlek för dessa fartyg är en längd på 118 meter, bredd på 16,5 meter, djupgående på 5,4 meter och med maximalt displacement 8 200 ton beräknat med en blockkoefficient 0,8.
Säkerhetsavstånd	Säkerhetsavstånd avser det avstånd från bron, eller den plats där fartyget säkert kan förtöja (ledverk), som fartyget inte bör underskrida när klarsignal (grönt ljus) ges från bron [att den är öppen]. Det ska vara större än minsta möjliga stoppsträcka för fartyget då en sådan kraftig backmanöver ökar riskerna för kursändring och kollisioner (Sjöfartsverket, 2020).
Vänermax	Den största fartygsstorlek som i dagsläget kan passera farledsbegränsningarna i slussarna till Väneren benämns i branschen "Vänermax". Maximal storlek för dessa fartyg är en längd på 89 meter, bredd på 13,4 meter, djupgående på 5,4 meter och med maximalt displacement 5 150 ton beräknat med en blockkoefficient 0,8. Planerad utbyggnad av slussarna innebär att större fartyg kan komma att trafikera i framtiden. Maximal storlek för dessa framtida fartyg är enligt slussprojektets förutsättningar en längd på 110 meter, bredd på 16,5 meter, djupgående på 5,4 meter och maximalt displacement på 7 850 ton beräknat med en blockkoefficient 0,8. Dessa refereras i rapporten som "nya Vänermax".

Innehåll

1	Inledning	9
1.1	Mål och syfte.....	9
1.2	Metod och läshänvisning	9
1.3	Förutsättningar och avgränsningar	10
2	Kriterier för värdering av risk	13
3	Planerad anläggning	16
3.1	Referensalternativ (tidigt förslag till brouthörning).....	17
3.2	Huvudalternativ (gällande förslag till brouthörning).....	17
4	Inventering av fartygstrafik	19
4.1	Passerande fartyg	19
4.2	Transporter av farligt gods	20
4.3	Framtida godstrafik	21
4.4	Olyckshistorik.....	22
5	Navigationsförutsättningar	23
5.1	Farled.....	23
5.2	Trafikseparering.....	25
5.3	Trafikövervakning.....	25
6	Riskidentifiering	26
7	Risikanalyser	29
7.1	Påsegling	29
7.2	Mötesolyckor.....	34
7.3	Farligt godsolycka eller olycka med utsläpp av miljöfarligt ämne	35
7.4	Övriga risker	35
8	Osäkerheter	38
8.1	Underlag och indata.....	39
8.2	Antaganden och förenklingar	41
9	Risikvärdering och åtgärder	44
9.1	Åtgärder	45
9.2	Bortvalda åtgärder	47
9.3	Slutlig riskvärdering.....	48
10	Slutsats	49
11	Referenser	52
Bilaga 1.	Beräkningar påseglingsrisk	

1 INLEDNING

Denna maritima riskanalys utgör underlag till genomförandestudie (GFS), detaljplan och miljökonsekvensbeskrivning (MKB) för miljötillståndsansökan för Gång- och cykelbro Packhuskajen - Hugo Hammars kaj. Den behandlar maritima risker förknippade med anläggningen av gång- och cykelbron.

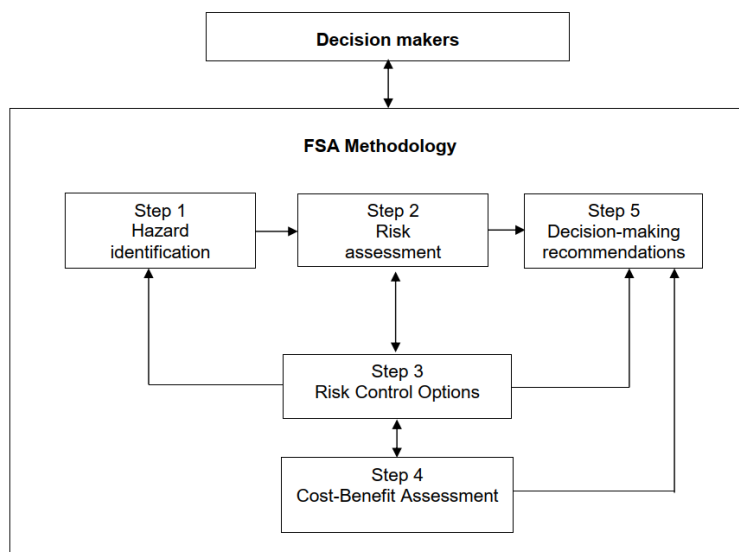
1.1 Mål och syfte

Syftet med riskanalysen är att identifiera och bedöma de olycksrisker som kan uppstå i gränssnittet mellan den planerade gång- och cykelbron och fartygstrafik på Göta älv. Vid behov föreslås riskreducerande åtgärder med målet att säkerställa att bron uppnår en god säkerhetsnivå.

Arbetet med den maritima riskanalysen utgör även ett kontinuerligt underlag till arbetet med bronsutformning och dimensionering.

1.2 Metod och läshänvisning

Maritima risker har identifierats och analyserats i enlighet med en systematisk process, liknande den som beskrivs i *Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO¹ rule-making process* (Maritime Safety Committee, 2018). Processen följer den arbetsgång som illustreras i Figur 1.



Figur 1. Illustration av arbetsprocessen i FSA-metodiken som Maritima risker har hanterats enligt. Översättning av de engelska benämningarna (stegen) enligt följande: Step 1 – Faroidentifiering; Step 2 – Riskanalys; Step 3 – Riskreducerande åtgärder; Step 4 – Kostnads-nyttoanalys; Step 5 – Rekommendationer. I arbetet ingår även problem definition – problemdefinition.

Bedömningar av sannolikhet och konsekvens för olika risker har, i den mån det funnits tillgängligt, i första hand baserats på statistik och data. I andra hand bygger bedömningarna på erfarenhetsbaserade antaganden framtagna av en expertgrupp på Sweco bestående av riskanalytiker, sjökapten och brokonstruktörer i samråd med sakkunniga från Göteborgs Stad. I detta PM beräknas risknivåer för påsegling av bron och jämförs med kvantitativa värderingskriterier. Övriga risker hanteras kvalitativt

¹ International Maritime Organization

vilket innebär att riskbedömningen görs utifrån riktlinjer, platsspecifika förhållanden, resonemang och erfarenheter från tidigare projekt.

I beräkningar av risknivåer för påsegling görs förenklingar och antaganden som har relativt stora osäkerheter. Dessa antaganden görs så långt det är rimligt konservativt (det vill säga återhållsamma eller försiktiga), med syfte att vid osäkerhet hellre överskatta än underskatta risknivån.

För att underlätta läsningen av detta PM presenteras kapitelindelningen och dess innehåll i Tabell 1 nedan.

Tabell 1. Läs hänvisning till rapportens kapitel och dess innehåll samt notering vilket steg i FSA-metodiken som behandlas i aktuellt kapitel, se Figur 1.

Kapitel	Innehåll	Steg i FSA-metodik
1. Inledning	Utredningens mål och syfte, metod för riskbedömning samt antaganden och avgränsningar som använts i utredningen av risker	Problem definition
2. Kriterier för värdering av risk	Möjliga kriterier för att värdera huruvida en risk är acceptabel eller inte	Problem definition, Step 5 Decision-making recommendations
3. Planerad anläggning	Beskrivning av den planerade bron och dess lokalisering, huvudalternativ samt beskrivning av referensalternativ	Problem definition, Step 3 Risk control options
4. Inventering av fartygstrafik	Statistik kring fartygstrafiken i området för planerad bro	Problem definition
5. Navigationsförutsättningar	Beskrivning av förutsättningar för fartygens navigering i området	Problem definition
6. Riskidentifiering	Kortfattad beskrivning av vilka risker som har identifierats och var i rapporten de hanteras vidare	Step 1 Hazard identification
7. Riskanalys	Utförligare riskbeskrivning samt bedömning av risknivå, presentation av vissa riskreducerande åtgärder som förutsätts vidtas	Step 2 Risk assessment
8. Osäkerhet	Beskrivning av vilka osäkerheter som riskbedömningen är förknippad med och en känslighetsanalys för påseglingsrisker avseende framtida fartygstrafikprognoser	Step 2 Risk assessment, Step 3 Risk control options
9. Riskvärdering och åtgärdsförslag	En samlad bedömning av huruvida riskerna bedöms acceptabla och vilka riskreducerande åtgärder som rekommenderas utöver de som beskrivits i riskanalysen	Step 2 Risk assessment, Step 3 Risk control options
10. Slutsats	En sammanfattad bedömning av risknivån avseende olycksrisker mellan bron och fartygstrafiken	Step 5 Decision-making recommendations

Rapporten kompletteras med Bilaga 1 Beräkningar påseglingsrisk. I bilagan presenteras ingångsvärden, händelsekedjor och antaganden för beräkningar av risknivåer för påseglingsrisker i detalj. Där presenteras även alternativa utformningar av bron samt beräknade känslighetsanalyser.

1.3 Förutsättningar och avgränsningar

Följande antaganden och avgränsningar gäller för denna analys:

- Riskanalysen gäller för normal drift av bron. Risker i produktionskedje hanteras inom projektets produktionsplanering.

- I analysen förutsätts att den färjetrafik som Västtrafik idag bedriver mellan Lilla bommen och Stenpiren samt mellan Stenpiren och Lundbystrand (förbi läget för den planerade bron) har upphört innan bron tas i drift.
- Kustbevakningens fartyg KBV 001 nyttjar idag kajplats längs Norra Frihamnspiren och nuvarande hyresavtal löper ut 2027-12-31.
- I föreliggande version av analysen beräknas risknivåerna för påsegling primärt utifrån den fartygstrafikvolym som registrerats år 2022. Avseende passager med lastfartyg var antalet passager knappt 15 % högre än för år 2023. Antalet passager räknas upp konservativt med 46 % till år 2045 (Trafikverket, 2024).
- Fartygssimuleringar har utförts under våren 2024 (2D-simulering) och hösten 2024 (3D-simulering) för att verifiera att fartyg kan passera gång- och cykelbron på ett säkert sätt. Resultat från simuleringarna har använts som kompletterande underlag vid bedömningar av händelseförlopp vid maskinhaveri och roderfel.
- Denna version av riskanalysen förutsätter en dubbelklaffbro över farleden. Farledsbredden planeras vara 33 meter men antas i beräkningarna vara endast 30 meter. Detta för att ge en mer försiktig och säker bedömning av riskerna (en farledsbredd på 33 meter innebär en marginellt lägre risknivå eftersom den fasta brodelen blir kortare). Farledsdjupet antas vara oförändrat enligt sjökort. Vid stängd bro antas segelfri höjd vid medelhögvatten (MHW) vara 5,5 meter och vid öppen bro obegränsad.
- I beräkningar av påseglingsrisker ingår enbart de fartyg som i samband med påsegling riskerar att allvarligt skada bron och därmed utgöra risk för personer på bron. Fritidsbåtar eller mindre tur- och utflyktsbåtar bedöms inte allvarligt kunna skada bron på grund av deras begränsade rörelseenergi, men ingår dock i analysen i de scenarier där de är vållande till olyckor med större fartyg. Endast fartyg med ett displacement över 800 ton² bedöms kunna skada bron allvarligt och därmed kunna leda till stora konsekvenser vid påsegling.

1.3.1 Prognos gång- och cykeltrafik

Passerande fotgängare och cyklister på den planerade gång- och cykelbron hämtas från trafikanalyser som redovisas i *PM Trafikanalys* (Sweco, 2025-03-23) och *PM Samhällsekonomisk nyttokostnadsanalys* (Sweco, 2025-03-23).

Passerande cyklister har hämtats från prognos ur Göteborgs Strategiska Modell (GSM) med prognosår 2050. Modellen har nuvarande utbyggnadsprognos till år 2050 inlagt. Trafikanalysen har kompletterats med två känslighetsanalyser avseende trafikmängder baserat på Trafikverkets resandeprognoser i Sampers.

Trafikanalysen resulterar i ett spann av mängden cyklister som bedöms nyttja bron år 2050. Spannet utgörs av 10 000 - 21 200 cyklister per genomsnittligt årsmedelvardagsdygn, där GSM 2050 med 17 500 cyklister används som huvudscenario. Flödet är ungefär fyra gånger högre än flödet på Hisingsbron år 2022.

Trafikanalysen berör även fotgängarflöde på bron.

Tre räkneexempel för att uppskatta antalet fotgängare år 2050 lyfts i trafikanalysen: baserat på dagens fotgängarflöde på Hisingsbron, antagande om överflyttning från färjetrafik samt om fotgängarflödet utgör samma andel av cykelflödet som fotgängarflödet utgör av cykelflödet på Hisingsbron år 2022. Exempelen resulterar i ett spann av fotgängare på den planerade gång- och cykelbron år 2050 på 2 800 - 5 300 fotgängare per årsmedelvardagsdygn. I riskanalysen väljs värdet för fotgängare till 3 200,

² Motsvarande ett fartyg över 40 meters längd, 9 meters bredd och 3,7 meters djupgående och blockkoefficient 0,6, se bilaga 1

baserat på ett antagande om överflyttning från färjetrafik samt en årlig utveckling om cirka 3 % fram till år 2050.

Utöver ovanstående fotgängare förekommer även kollektivtrafikresenärer som kan starta eller avsluta sin resa genom att passera bron, som fotgängare. Inkluderas dessa kan det totala antalet fotgängare vara dubbelt så stort vilket på ett vardagsdygn år 2050 ger 6 400 fotgängare.

2 KRITERIER FÖR VÄRDERING AV RISK

Många verksamheter i samhället medför någon form av risk. Det är generellt sett inte möjligt att eliminera alla risker eftersom kostnaderna för detta skulle bli orimligt höga. För att kunna bedöma vilka beräknade risknivåer som är tolerabla och vilka som behöver reduceras för att nå en acceptabel nivå behöver en riskvärdering göras.

Enligt kriterier i PIANC (2001) för brokollaps bör det dimensionerande värdet för olyckslast på kritiska broar väljas på ett sådant sätt att sannolikheten för påsegling som resulterar i brokollaps är mindre än 10^{-4} per år (1 gång per 10 000 år). Rekommendationen i PIANC är att även komplettera med beräkning av individ- och samhällsrisk och värdera mot nationella kriterier.

Det finns i Sverige inga fastställda värderingskriterier i lagstiftning eller liknande för vad som ska betraktas som acceptabel risk, därför varierar vilka kriterier och jämförelsenivåer som används i samhällsplanering och infrastrukturprojekt.

I denna maritima riskanalys har riskerna främst värderats mot de kriterier som föreslås i Räddningsverkets³ rapport *Värdering av risk* (1997). Det ursprungliga syftet med rapporten var att sammanställa tillgängliga kunskaper och erfarenheter när det gäller metoder för riskvärdering. Omfattningen gällde ursprungligen risker relaterat till olyckor (oavsiktliga och tidsmässigt oförutsägbara händelser) i form av exempelvis utflöde av toxisk gas, brand och explosion, som utvecklas under kort tidsrymd och som kan medföra skada på människor, miljö eller egendom. Rapportens föreslagna riskkriterier har dock kommit att bli de som oftast används för att värdera risk i samhällsplanering i Sverige och innefattar även risker relaterade till mekanisk påverkan från sjötransporter.

Räddningsverket presenterar fyra principer som utgångspunkt för värdering av risker:

- A. **Rimlighetsprincipen:** En verksamhet bör inte innebära risker som med rimliga medel kan undvikas. Detta innebär att risker som med teknisk och ekonomiskt rimliga medel kan elimineras eller reduceras alltid skall åtgärdas, oavsett risknivå.
- B. **Proportionalitetsprincipen:** De totala risker som en verksamhet medför bör inte vara oproportionerligt stora jämfört med de fördelar som verksamheten medför.
- C. **Fördelningsprincipen:** Riskerna bör vara skäligt fördelade inom samhället i relation till de positiva effekter som verksamheten medför. Detta innebär att enskilda personer eller grupper inte bör utsättas för oproportionerligt stora risker i förhållande till de fördelar som verksamheten innebär för dem.
- D. **Principen om undvikande av katastrofer:** Riskerna bör hellre realiseras i olyckor med begränsade konsekvenser som kan hanteras av tillgängliga beredskapsresurser än i katastrofer.

I denna maritima riskanalys hanteras de flesta risker kvalitativt, men risker för påsegling av bron beräknas kvantitativt. För risker som beräknas presenterar Räddningsverkets rapport två typer av värderingskriterier för att tillgodose acceptabla risknivåer; individriskkriterier och samhällsriskkriterier. Kriterierna omfattar risker för allmänheten (i detta fall gång- och cykeltrafikanter på bron), inte passagerare eller besättning på fartyg.

³ Nuvarande Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

Syftet med att använda *individriskkriterier* är att försäkra sig om att enskilda individer inte utsätts för oacceptabelt stora risker. Med individrisk avses vanligtvis risken att omkomma för en hypotetisk person som antas befinna sig kontinuerligt på platsen, dygnet runt under ett helt år. Räddningsverket föreslår i sin rapport att individriskerna för vägtrafikanter reduceras med en faktor 100 för att ta hänsyn till att dessa inte är kontinuerligt närvarande på platsen. Detta innebär ett antagande att en person som passerar riskkällan på en väg inte är närvarande mer än 1 % av tiden. I föreliggande analys beräknas individrisk som sannolikheten för *en enskild* gång- eller cykeltrafikanter att omkomma i en påseglingsolycka per år.

Syftet med *samhällsriskkriterier* är att beskriva risken med hänsyn till hur många människor som kan omkomma vid olyckor som kan härledas till den aktuella riskkällan. Hänsyn tas då till den områdesspecifika personstätheten, dygnsvariationer i persontätheten med mera. I föreliggande analys beräknas samhällsrisk som sannolikheten för *att någon eller flera* gång- eller cykeltrafikanter att omkomma i påseglingsolyckor per år.

För att avgöra vilka risknivåer som är acceptabla eller inte presenteras Räddningsverkets kriterier i relation till ett intervall, vilket vanligen kallas för ALARP-området (As Low As Reasonably Practicable):

- Risker *över* den övre gränsen för ALARP-området bedöms vara för stora (oacceptabla) och åtgärder måste vidtas.
- Risknivåer som hamnar *inom* ALARP-området kan accepteras om rimliga åtgärder vidtas. Åtgärder ska vara praktiskt genomförbara och kostnadsmässigt proportionerliga.
- Risknivåer *under* den undre gränsen för ALARP-området bedöms vara acceptabla utan vidare åtgärder.

I Tabell 2 och Tabell 3 nedan presenteras Räddningsverkets förslag på övre och undre gräns för ALARP-området för acceptanskriterier för individ- respektive samhällsrisk.

Tabell 2. Föreslagna acceptanskriterier för individrisk (Räddningsverket, 1997).

Kriterium	Frekvens
Övre gräns för acceptabel individrisk	10^{-5} per år
Undre gräns för acceptabel individrisk	10^{-7} per år

Tabell 3. Föreslagna acceptanskriterier för samhällsrisk (Räddningsverket, 1997).

Kriterium	N eller fler omkomna	Total frekvens
Övre gräns för acceptabel samhällsrisk	1	10^{-4} per år
	10	10^{-5} per år
	100	10^{-6} per år
Undre gräns för acceptabel samhällsrisk	1	10^{-6} per år
	10	10^{-7} per år
	100	10^{-8} per år

Länsstyrelsen i Halland (2011) presenterar i sina riktlinjer för samhällsplanering vid farligt godsled en jämförelse av olika risknivåer i samhället, se Figur 1. Jämförelser mellan olika risker i samhället är svåra att göra, men det kan öka förståelsen för vilken storleksordning av risker som de föreslagna värderingskriterierna bedömer vara acceptabla.

Exempelvis är den undre gränsen för individriskkriteriet (Räddningsverket, 1997) satt för att motsvara den årliga risken att omkomma i en naturolycka (risk att omkomma till följd av att träffas av blixten anges ofta till 10^{-7} , och samlad risk relaterad till naturolyckor 10^{-6}). Risk att omkomma till följd av vägtrafikolycka varierar med ålder och kön, men kan sägas ligga i storleksordningen 10^{-5} (Länsstyrelsen Hallands Län, 2011).

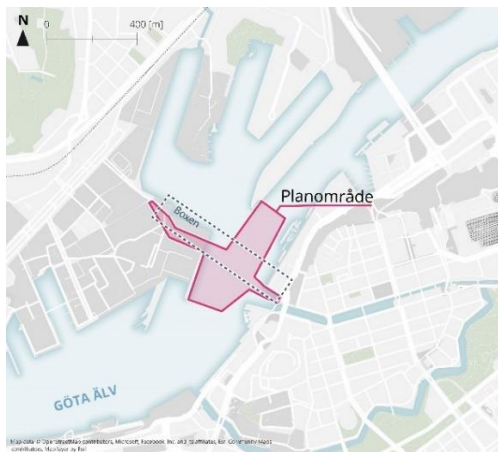
Olyckskategori	Risk att omkomma	
	1/1 000 år	(10^{-3})
Naturlig dödlighet (lägsta nivå)	1/10 000 år	(10^{-4})
Byggarbetsplatsolycka	1/100 000 år	(10^{-5})
Trafikolycka Drunkning Bostadsbrand i Sverige	1/1 000 000 år	(10^{-6})
Tågolycka Flygolycka	1/10 000 000 år	(10^{-7})
Träffad av blixten	1/100 000 000 år	(10^{-8})
Träffad av störtande flygplan		

Figur 2. Jämförelse av några olyckskategorier och risk att omkomma till följd av händelsen. Färgmarkeringarna i stapeln motsvarar Räddningsverkets föreslagna individriskkriterier.

3 PLANERAD ANLÄGGNING

Arbetet med den planerade gång- och cykelbron omfattar utredningar som utgör underlag till en genomförandestudie, miljödömsansökan samt *Detaljplan för gång- och cykelbro över Göta älv inom stadsdelarna Nordstaden, Tingstadsvassen och Lundbyvassen*.

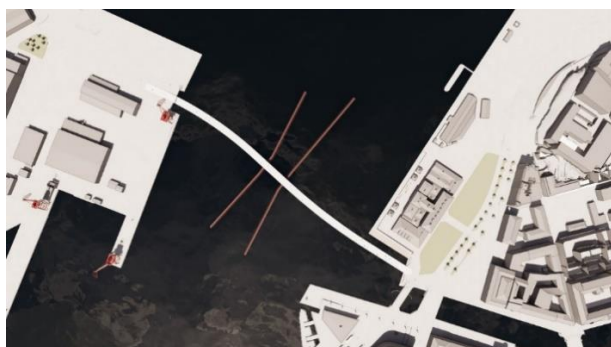
Göteborgs Stads kommunfullmäktige beslutade 2021, i enlighet med Trafiknämndens förslag från 2021, att utreda en gång- och cykelbro mellan Packhuskajen och Hugo Hammars kaj. I beslutet pekades ett geografiskt område ut för möjlig placering av bron. Göteborgs Stads översiktsplan från 2022 visar på en framtida gång- och cykelbro inom samma geografiska område. Det geografiska området redovisas i Figur 3 och benämns inom projektet för ”boxen”. I samma bild redovisas även det planområdet som ingick i detaljplanens samråd, för gång- och cykelbron år 2024. Den planerade gång- och cykelbron är cirka 400 meter lång och cirka 10 meter bred. Projektet omfattar också gång- och cykelväg mellan bron och anslutande gång- och cykelvägnät vid Pumpgatan på Norra Älvstranden. På Södra Älvstranden ingår gång- och cykelväg fram till anslutning söderut vid Stora Bommens bro respektive norrut längs Operagatan.



Figur 3. Det geografiska området benämnt ”boxen” samt planområde från detaljplanens samråd.

Analys har utförts inom ett område som till stor del sammanfaller med boxen och planområdet. Gällande analys av sjöfartsrisker inkluderas i vissa fall fartyg som får fel även utanför detta område och likaså rekommenderas administrativa skyddsåtgärder som sträcker sig utanför planområdet och boxen.

I Figur 4 visas en möjlig lösning av linjeföring för bro och ledverk.

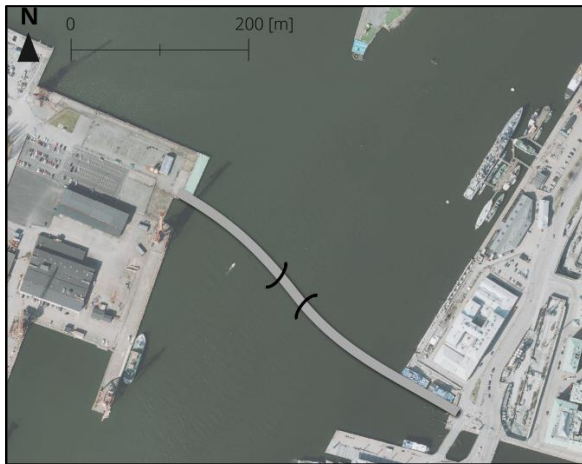


Figur 4. Visualisering av en möjlig lösning för bro och ledverk (rödmarkerade) inom detaljplanen.

3.1 Referensalternativ (tidigt förslag till broutformning)

Initialt utreddes *referensalternativet* som ett förslag till gång- och cykelbro med grundläggande åtgärder för att skydda mot påsegling. Detta var ett teoretiskt förslag på bro för att utvärdera möjliga säkerhetsåtgärder, definierat av följande grundläggande säkerhetshöjande åtgärder:

- **Ledverk:** Referensalternativet har korta ledverk som skyddar bron närmast farleden och klaffkamarstöden från påsegling
- **Kapacitet:** Den fasta bron tål i referensalternativet påsegling med ett Vänermaxfartyg som seglar i 1 knop (motsvarande en rörelseenergi på 0,75 megajoule) utan att det resulterar i brokollaps
- **Säkerhetsavstånd:** Referensalternativet definierades utan förlängt säkerhetsavstånd som en riskreducerande åtgärd, vilket innebar att ett nedströmsgående lastfartyg skulle tillåtas passera Hisingsbron utan att invänta öppning av gång- och cykelbron. Säkerhetsavståndet från gång- och cykelbron är 500 meter för de största uppströmsgående fartygen och 700 meter för de största nedströmsgående fartygen.



Figur 5. Principskiss referensalternativet, ledverk markerade med svarta bågar. Referensalternativet var ett tidigt förslag till broutformning och kommer inte att byggas.

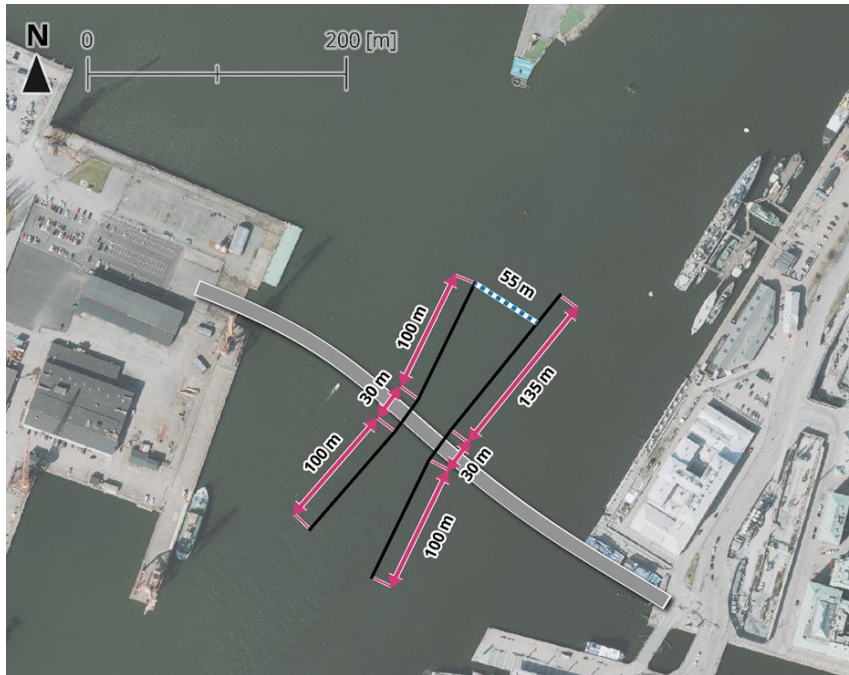
3.2 Huvudalternativ (gällande förslag till broutformning)

Förslaget till brons utformning har förändrats under projektets gång. Referensalternativet som analyserades tidigt i projektet har kompletterats med åtgärder för att förbättra säkerheten, vilket övergått till att utgöra *huvudalternativet*. Förändringar i utformning har skett generellt för anläggningen och specifikt i påverkan på personsäkerhet i syfte att minska sannolikheten, och därmed risken, för påsegling av bron. Huvudalternativet avser det gällande förslaget till gång- och cykelbro och det som föreslås byggas. Detta representerar en gång- och cykelbro som kompletterats med ytterligare nödvändiga säkerhetshöjande åtgärder för att skydda mot påsegling jämfört med referensalternativet.

Huvudalternativet omfattar följande kompletterande säkerhetshöjande åtgärder:

- **Ledverk:** Ledverk enligt placering i Figur 6, på sida 18, ska skydda bron. Ledverken ska vara cirka 115 meter på tre sidor om bron och cirka 150 meter på nordöstra sidan om bron (närmast Packhuskajen). Ledverken utformas med en farledsbredd på cirka 55 meter i ytterkanterna av ledverken. Ledverksförlängning eller dykdalber kan tillkomma på en sträcka av 5–10 meter uppströms för att förbättra möjligheterna till nödtilläggning.
- **Kapacitet:** De fasta brodelarna utanför ledverken föreslås vara dimensionerade med en utökad energiupptagningsförmåga från cirka 0,75 megajoule till minst 4 megajoule.

- **Säkerhetsavstånd:** Säkerhetsavståndet kommer att förlängas för de största nedströmsgående lastfartygen jämfört med ursprungligt referensalternativ, från söder om Hisingsbron till att sammanfalla med säkerhetsavståndet för Hisingsbron. Läget är i höjd med Gotenius varv cirka 700 meter nordost om Hisingsbron för de största nedströmsgående lastfartygen, totalt 1 600 meter från gång- och cykelbron. Detta innebär att fartyg har tid att undvika påsegling av broklaffar om bron inte öppnas. Det innebär samtidigt att broöppningar tar längre tid. När farleden är underhållsmuddrad, se 5.1.1, kan säkerhetsavståndet för nedströmsgående fartyg minskas till cirka 700 meter norr om bron.



Figur 6. Skiss över huvudalternativ med längder på ledverk angivet. Ledverksförlängning eller dykdalber kan tillkomma på en sträcka av 5–10 meter uppströms för att förbättra möjligheterna till nödtillägning.

4 INVENTERING AV FARTYGSTRAFIK

4.1 Passerande fartyg

Sjöfarten som passerar utredningsområdet för planerad gång- och cykelbro består av flera olika typer av fartyg. En utförlig indelning av kategorierna och beskrivning av dessa samt en detaljerad redovisning av sjöfartens trafikrörelser förbi planerad gång- och cykelbro återfinns i dokumentet *PM Sjöfart* (Sweco, 2025-03-23). En sammanfattning av kategorierna och deras trafikrörelser presenteras nedan.

Tabell 4 nedan redovisar samtliga passager förbi planerad gång- och cykelbro.

Tabell 4. Totalt antal passager förbi planerad gång- och cykelbro under 2022 och 2023 redovisat enligt de olika fartygskategorierna med ett extrapolerat värde för fritidsbåtar utifrån genomförd båträkning. I tabellen anges även tillgodoräknade passager som används som antaganden riskbedömningen. Uppgifter om lastfartygen ligger till grund för riskberäkningarna. Övriga fartyg hanteras kvalitativt i riskanalysen.

Kategori	Antal passager		
År	2022	2023	Utgångspunkt i riskbedömning ⁴
Lastfartyg	1 328	1 159	1 328
Statsfartyg	423	473	Oförändrat
Mindre yrkesfartyg	22 447	23 510	Minskar till cirka 7 600
Fritidsbåtar	10 000	10 000	Oförändrat

Beräkningar av frekvens för påsegling av bron med lastfartyg har initialt gjorts baserat på statistik från år 2022. Som framgår av statistiken varierar antalet passager för olika fartygstyper från år till år. Antalet passager med lastfartyg var knappt 13 % lägre år 2023 än år 2022. Därför används AIS-datan från år 2022 som utgångspunkt för beräkningarna för att inte underskatta risken. Passager med mindre yrkesfartyg kommer att minska när bron tas i bruk eftersom kollektivtrafikfärjor inte längre ska trafikera förbi broläget när bron anläggs, se avsnitt 4.1.2. Det innebär att antalet mindre yrkesfartyg minskar från 22 447 (år 2022) till cirka 7 600 till följd av färre färjor i kollektivtrafik. I diagrammet i Figur 4 nedan visas andelsfördelningen för de olika fartygskategorierna under 2022.

4.1.1 Lastfartyg

Fartyg går med olika typer av gods till och från hamnarna i Vänern, inklusive hamnarna längs Göta älv och då främst till Surte och Nol. Fartygskategorin omfattar både fartyg som fraktar flytande last (tankfartyg) och fartyg som fraktar gods i fast form (torrlastfartyg).

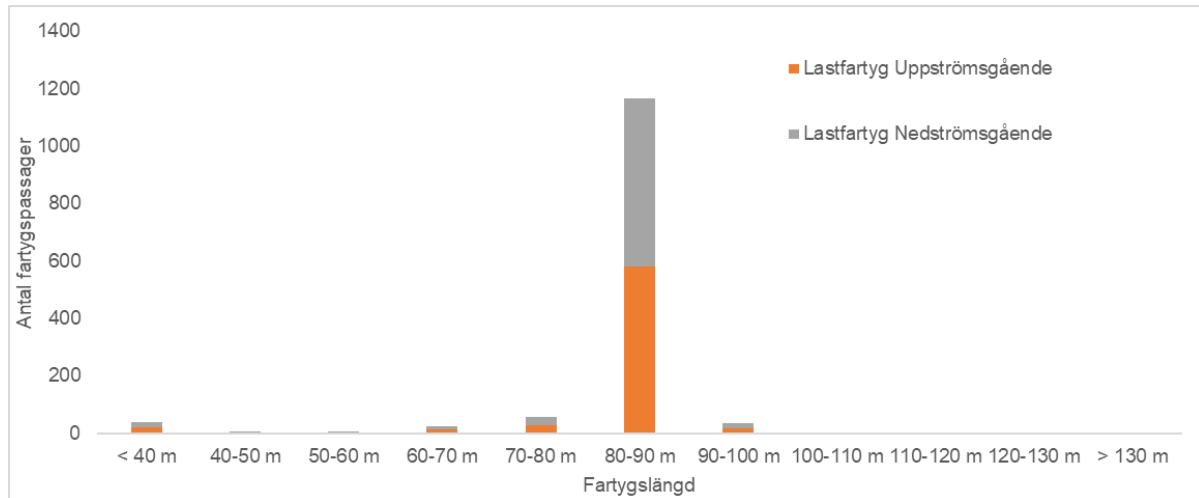
Den största fartygsstorlek som i dagsläget kan passera farledsbegränsningarna i slussarna till Vänern benämns i branschen ”Vänermax”. De fartyg som idag är för stora för att passera slussarna i farleden men trafikerar farledens nedre del upp till Nol benämns ”Surtemax”.

Längdfördelningar lastfartyg

Det råder lotsplikt för samtliga fartyg som är 60 meter eller längre, 9 meter eller bredare, eller har ett djupgående om 4 meter eller mer. Med få undantag har lastfartygen lots ombord då de passerar läget för planerad gång- och cykelbro.

⁴ Utgångspunkten för riskbedömningar avser antal fartyg utan framtida ökning. I riskanalysen har olika antaganden gjorts om framtida trafik vilka redovisas i avsnitt 4.3.

Diagrammet i Figur 7 nedan visar längdfördelningen av lastfartyg och andra större fartyg. I *PM Sjöfart* (Sweco, 2025-03-23) redovisas även trafiken över tre andra passagelinjer på andra platser i älven.



Figur 7. Antal lastfartyg som passerat läget för gång- och cykelbron under 2022 fördelat på fartygslängd.

4.1.2 Mindre yrkesfartyg

Kategorin *mindre yrkesfartyg* innefattar alla övriga yrkesfartyg, de som är under 60 meter i längd och 9 meter i bredd, och därmed inte har krav om lots vid passage av det aktuella området. I denna kategori återfinns framför allt passagerarfartyg och arbetsfartyg av olika slag. I dagsläget passerar ett stort antal mindre passagerarfartyg (Västtrafik) det framtida gång- och cykelbroläget. Bron kommer innebära att fartygstrafiken under bron och dess närområde minskar när färjor i kollektivtrafiken inte behövs i området. Detta eftersom behovet av passagerartrafik mellan Stenpiren och Lundbystrand (förbi läget för den planerade bron) inte kvarstår när bron tagits i drift. Färjetrafik mellan Lilla bommen och Stenpiren kommer inte heller att fortgå, detta oavsett om bron anläggs eller ej. Trafiken med mindre yrkestrafik minskar från cirka 22 400 (år 2022) till cirka 7 600 när bron tas i drift.

4.1.3 Statsfartyg

Kategorin *statsfartyg* innefattar framför allt fartyg som är involverade i någon form av myndighetsutövning såsom Kustbevakningens, Sjöfartsverkets och Polismyndighetens fartyg. Även fartyg involverade i räddningstjänst och Försvarmaktens fartyg återfinns i denna kategori.

4.1.4 Fritidsbåtar

Ur båträkningen från år 2023 framgår att ungefär hälften av fritidsbåtarna klassas som motorbåtar och hälften klassas som segelbåtar, totalt cirka 10 000 båtar per år. Motorbåtarna har generellt en höjd <5 meter och segelbåtarna generellt en höjd >8 meter.

4.2 Transporter av farligt gods

I *Översiktsplan för Göteborg – Vägledning för hantering av risker vid anläggningar och transportleder med farligt gods* (Göteborgs Stad, 2021) beskrivs att transport av farligt gods med fartyg främst sker till och från Göteborgs hamn på Hisingens sydvästra strand (flera kilometer sydväst om det planerade läget för gång- och cykelbron). En viss mängd transport av farligt gods sker dock längs farleden Göta älv (Trollhätte kanal) uppströms Hisingensbron, vilket innebär att fartygen passerar läget för gång- och cykelbron.

I översiktsplanen görs bedömningen att majoriteten av transporterna med farligt gods på Göta älv utgörs av klass 3 Brandfarliga vätskor.

Andelen fartygspassager med farligt gods bedöms uppgå till 2–3 % av det totala antalet passager med lastfartyg förbi broläget, vilket motsvarar färre än 40 passager per år. Uppgifterna kommer från

Hisingsbrons riskanalys (Trafikkontoret Göteborgs Stad, 2015) där mängden farligt gods uppskattas till 2 %, samt stadens översiktsplan som hänvisar till en riskutredning för ny exploatering i närheten av Trollhätte kanal (Bengt Dahlgren Brand & Risk AB, 2018) där mängden farligt gods bedöms till 3 %.

4.3 Framtida godstrafik

Framtida prognostiserad godsutveckling innebär i det mest positiva scenariot, för godstransporter på Göta älv, en 46-procentig ökning av dagens godsvolym enligt Trafikverket till år 2045 (Trafikverket, 2024).

Färdigställandet av projektet för nya slussar i Trollhätte kanal kan komma att medge att större fartyg skulle kunna trafikera farleden, men det förutsätter att övriga delar av farleden utreds och förbättras där det är nödvändigt. Däri ingår att säkerheten (risknivån) för 14 broar upp till Väneren, utöver gång- och cykelbron, behöver ses över och eventuella skyddsåtgärder vidtas för att medge trafik med större fartyg än dagens Vänermax. Enligt Trafikverket kommer framtida gods-fartyg att bli betydligt större än dagens Vänermax, de blir bredare och med ett större djupgående (Sweco, 2024-12-16). Maximal storlek för dessa framtida fartyg är enligt slussprojektets förutsättningar en längd på 110 meter, bredd på 16,5 meter, djupgående på 5,4 meter och med ett displacement på 7 850 ton⁵.

Risker för påsegling har i huvudalternativet beräknats med en förutsatt ökning av godstransporterna på 46 %. Beräkningen baseras primärt på dagens sammansättning avseende fartygsstorlekar. Analysen tar även hänsyn till en eventuell framtida fartygsflotta där hälften av dagens Vänermax ersätts med nya Vänermax enligt ovan. Staden fortsätter att samråda med Trafikverket och Sjöfartsverket kring framtida fartygsstorlekar. Osäkerheterna i framtidsprognoserna och hur risknivån påverkas för olika prognoser studeras i avsnitt 8.1.5 och värderas i kapitel 9.

⁵ beräknat med en blockkoefficient 0,8

4.4 Olyckshistorik

Mellan år 2000 och 2022 rapporterades totalt 339 olyckor och tillbud i hamninloppet⁶ och Göta älv⁷ (Transportstyrelsen, 2023). Detta ger ett genomsnitt på 15 rapporterade händelser per år och trenden är svagt uppåtående samtidigt som fartygstrafiken har varit relativt jämn under tiden. De flesta händelser rapporteras för större fartyg med en bruttodräktighet om 500 och uppåt där rapporteringsbenägenheten är högre.

Maskinhaveri, kollision med annat föremål och kollision mellan fartyg är de olyckstyper som rapporterats flest gånger, se Tabell 5. Fartygskollisionerna har nästan uteslutande inträffat nedströms läget för gång- och cykelbron. Grundstötning är en av de vanligast rapporterade olyckstyperna som sker uppströms planerat brolägg. Inte vid någon av de registrerade sjöolyckorna har några dödsfall inträffat.

Tabell 5. Antal sjöolyckshändelser (olyckor och tillbud) av respektive olyckstyp i Göta älv och hamninloppet mellan år 2000–2022 (Transportstyrelsen, 2023). Avvikelser i totalsumman beror på att några händelser rapporterats för både hamninloppet och Göta älv.

Typ av händelse	Antal rapporterade olyckor och tillbud (2000–2022)		
	Hamninloppet	Göta älv	Totalt
Maskinhaveri	61	56	117
Kollision med annat föremål ⁸	44	24	66
Kollision mellan fartyg	56	2	58
Grundstötning	12	26	38
Övrig	18	5	23
Läckage	9	6	14
Brand	10	4	14
Utsläpp	7	1	8
Lastförskjutning	1	0	1
Summa	218	124	339

För maskinhaveri har en genomgång av händelsebeskrivningarna i olycksrapporterna för Göta älv gjorts. Vid genomgången har cirka en tredjedel av händelserna kategoriserats som kritiska i det avseendet att de, om de inträffat nära en bro i Göta älv, hade kunnat innebära en risk för påsegling av bron.

⁶ För olycksstatistiken avser hamninloppet området mellan Hisingsbron och ut till omkring Saltholmen, utanför Långedrag.

⁷ För olycksstatistiken avser Göta älv området (mellan Vänersborg och Hisingsbron).

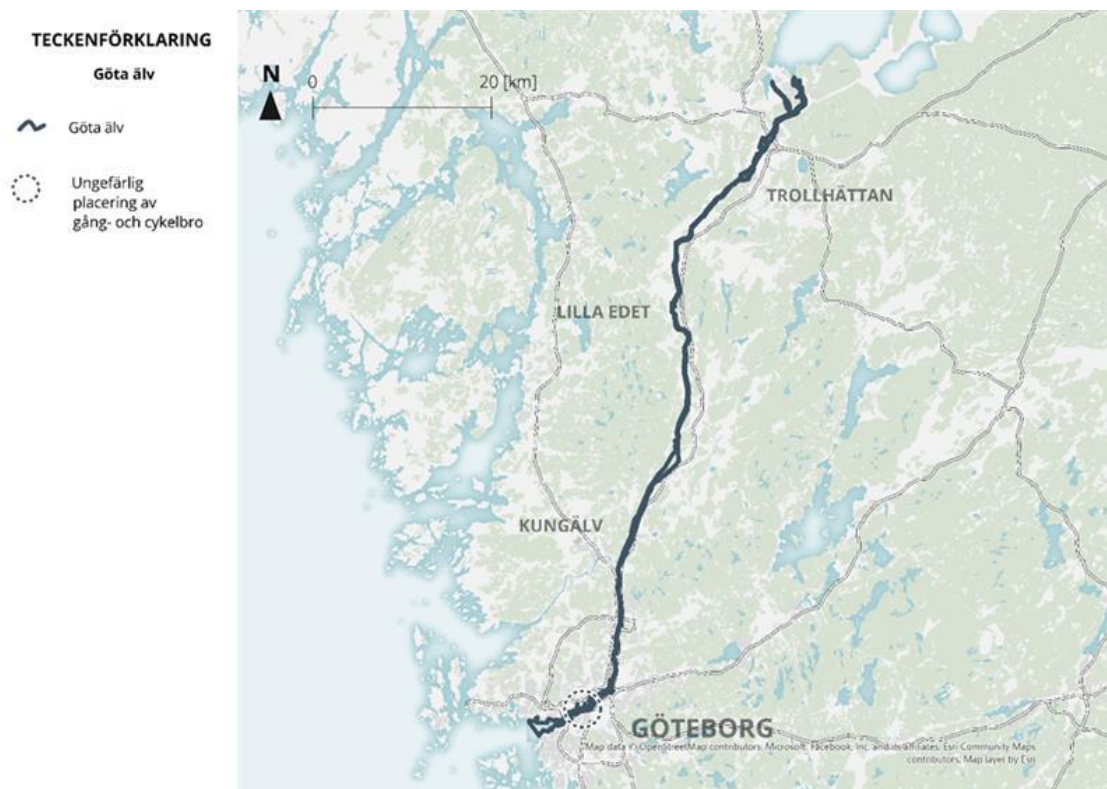
⁸ I föreliggande rapport används begreppet *påsegling* för denna olyckskategori.

5 NAVIGATIONSFÖRUTSÄTTNINGAR

5.1 Farled

Farled 955 som förbinder Västerhavet med Vänern utgör en viktig transportled till och från hamnar både längs Göta älv och i Vänern. Sträckningen vid inloppet från Vänern i Vänersborg till utloppet i Kattegatt, efter att ha passerat centrala Göteborg, illustreras i Figur 8 nedan. Det transporteras cirka två miljoner ton gods årligen längs Farled 955. Farleden sträcker sig igenom centrala Göteborg och avdelar staden. Sjöfartsverket ansvarar för farleden.

Strömhastigheten i Göta älv är generellt cirka 1 knop i riktning mot havet och vid läget för den planerade gång- och cykelbron överstiger den sällan 0,7 knop⁹. Vid extremt höga flöden kan strömhastigheten uppgå till 2 knop.



Figur 8. Göta älvs sträckning från Vänern till Kattegatt. Bildkälla: Underlag från @Openstreetmap

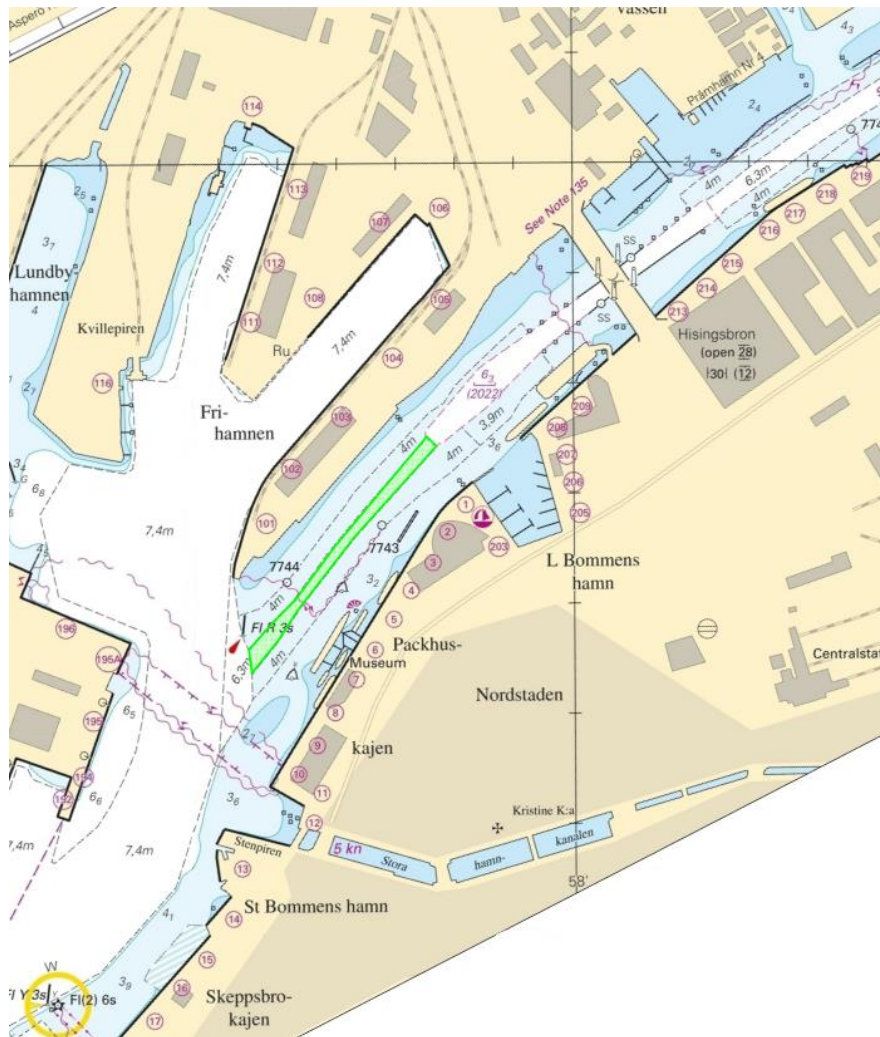
Hastighetsbegränsning i farleden förbi utredningsområdet för gång- och cykelbron är 5 knop genom vattnet för alla fartyg. För uppströmsgående fartyg innebär det en högsta tillåten hastighet på 5 knop över grund och för nedströmsgående fartyg en högsta tillåten hastighet på 5,7 knop över grund vid en strömhastighet på 0,7 knop. Undantag gäller för kollektivtrafikens fartyg, linjerna 285 och 286, Älvsnabben och Älvsnabbare, som får köra i 8 knops fart. Dessa linjer ska dock inte trafikera utredningsområdet när bron tas i bruk, se avsnitt 1.3.

⁹ Analys av strömdatapunkter, RISE 2024-08-16

5.1.1 Hisingsbron och djuprännan

Öppningar av Hisingsbron för yrkessjöfart sker i dagsläget löpande över dygnet när yrkessjöfart behöver passera, med undantag för de så kallade spärrtiderna. Spärrtiderna är avsedda att under rusningstid bidra till en god framkomlighet för trafiken som rör sig på bron, framför allt kollektivtrafiken, och under dessa tider sker inga öppningar av bron med undantag för nödsituationer. Spärrtiderna ligger på helgfria vardagar klockan 06.00-09.00 och klockan 15.00-18.00. Spärrtider för yrkessjöfart är gällande enligt en överenskommelse om samverkansregler under en pågående prövotidsutredning och kan således komma att revideras.

Den muddrade djuprännan som illustreras av det område som är grönmarkerat i Figur 8 nedan är smalare än övriga delar av farleden. Det riskerar att begränsa förmågan för vissa större nedströmsgående fartyg att reducera farten, få stopp samt manövrera. Sjöfartsverket är ansvariga för underhållsmuddring av den markerade delen av farleden.



Figur 9. Sjökortsvy med den smalare delen av den muddrade djuprännan grönmarkerad. Bildkälla: Sjökortsunderlag inköpt från Sjöfartsverket.

I denna utredning görs en konservativ bedömning att utmaningarna med djuprännan gäller de fartyg med dimensionerna längd >70 meter, bredd >9 meter samt djupgående >4 meter. Samtliga kriterier ska vara uppfyllda och övriga fartyg anses inte påverkas i så stor utsträckning och de kan således antas vara fullt manöverdugliga vid inbromsning och manövrering längs sträckan.

För övriga begränsningar för sjöfarten i farleden hänvisas till *PM Sjöfart* (Sweco, 2025-03-23).

5.2 Trafikseparering

I den aktuella delen av farleden förekommer ingen trafikseparering av sjöfarten.

Generellt gäller högertrafik för sjötrafiken och så även i farleden. Fartygen håller sig närmare höger sida av farleden i färdriktningen, så långt möjligt med hänseende till djupgående kontra tillgängligt vattendjup.

I dagsläget sker inga möten mellan uppströmsgående och nedströmsgående lastfartyg på sträckan mellan utredningsområdet för ny gång- och cykelbro och Gotenius varv nordost om Hisingsbron.

5.3 Trafikövervakning

VTS (Vessel Traffic Service) Göteborg övervakar sjöfarten i det aktuella området ifrån yttre skärgården till Lärjeån norr om Marieholmsbroarna (Sjöfartsverket, 2025).

Fartyg med en längd av mer än 45 meter eller med en bruttodräktighet över 300 ska delta i VTS. Det innebär att de har skyldighet att lyssna på de VHF-kanaler som gäller för aktuellt område (Transportstyrelsen, 2025). De har även skyldighet att rapportera till VTS-centralen när olika villkor uppfylls för fartyget. Detta till exempel före avgång från kaj, ingång i ett VTS-område, vid passage av en rapporteringspunkt eller vid fel eller skada på fartyget.

Inom VTS-område Göteborg får inte fartyg lämna kaj eller ankarplats innan de fått tillstånd av VTS-centralen.

6 RISKIDENTIFIERING

Riskanalysen för gång- och cykelbron omfattar en riskidentifieringsprocess som består av tre huvudsakliga delar:

- En kartläggning av generella nautiska risker utifrån erfarenheter av liknande projekt och tidigare genomförda riskanalyser av fartygstrafiken på Göta älv.
- En HAZID-workshop enligt beskrivning nedan.
- Kontinuerlig identifiering av risker i det fortgående utredningsarbetet.

HAZID-workshopen hölls av Sweco och Göteborgs Stad våren 2023 tillsammans med sakkunniga från bland annat Sjöfartsverket, Göteborgs Hamn, Transportstyrelsen och Trafikverket för att identifiera vilka risker den planerade gång- och cykelbron kan medföra för sjöfarten. Workshopen fokuserade på riskidentifiering men berörde även, på en övergripande nivå, möjliga åtgärder för att minska riskerna. De risker som lyftes kan i huvudsak indelas i fyra kategorier:

- Risk för påsegling av bron.
- Risk för mötesolyckor mellan olika fartyg.
- Risk för olycka med fartyg som transporterar farligt gods.
- Övriga sjöfartsrisker, exempelvis svåra väderförhållanden.

I Tabell 6 och Tabell 7 nedan presenteras en kortfattad beskrivning av samtliga risker som har identifierats samt inom vilken av ovanstående kategorier och kapitel de analyseras vidare i denna rapport. Vilka risker som beaktats särskilt i simuleringar anges också. Riskbeskrivningen baseras på det som lyftes på workshopen och varierar därför i formulering, från att ange sluthändelse (till exempel påsegling) till att bara lyfta en riskpåverkande faktor (till exempel hård vind).

Tabell 6. Sjöfartsrisker- och riskfaktorer som identifierats på HAZID-workshop samt läsanvisning för analys.

Nr	Riskbeskrivning	Läsanvisning för riskanalys
1	Nedströmsgående lastfartyg har passerat genom Hisingsbron men lyckas inte få stopp i tid vid felande broöppning eller hinder och seglar på gång- och cykelbron	Avsnitt 7.1.2 Påsegling orsakad av externa faktorer.
2	Nedströmsgående lastfartyg <12 m höjd har passerat genom Hisingsbron men lyckas inte få stopp i tid vid felande broöppning eller hinder och seglar på gång- och cykelbron (motsvarande risken ovan, fast för fartyg som inte behöver invänta broöppning på Hisingsbron)	Avsnitt 7.1.2 Påsegling orsakad av externa faktorer
3	Uppströmsgående lastfartyg har passerat genom gång- och cykelbron men tvingas väja p.g.a. felfungerande broöppning av Hisingsbron eller hinder vid Hisingsbron	Avsnitt 7.1.2 Påsegling orsakad av externa faktorer
4	Ej manöverdugligt fartyg (p.g.a. exempelvis blackout) seglar på brobana eller brostöd utanför farleden	Avsnitt 7.1.1 Påsegling orsakad av fartygsfel (tekniskt eller mänskligt)

Nr	Riskbeskrivning	Läsanvisning för riskanalys
5	Manöverdugligt fartyg (på grund av exempelvis mänskligt fel) seglar på brobana eller brostöd utanför farleden	Avsnitt 7.1.1 Påsegling orsakad av fartygsfel (tekniskt eller mänskligt)
6	Påsegling av väntande fotgängare och cyklister (på gång- och cykelbron) på grund av någon av nämnda påseglingsrisker	Denna konsekvens hanteras under Avsnitt 7.1 Påsegling. Observera att detta inte är en risk utan en konsekvens som identifierades under HAZID-Workshopen
7	Minskad manövrerbarhet p.g.a. mindre vattendjup i djuprännan mellan gång- och cykelbron och Hisingsbron (angivet djup i sjökort 6,3 meter)	Avsnitt 7.1.2 Påsegling orsakad av externa faktorer
8	Nedströmsgående mindre yrkesfartyg från Ringön som kräver öppning av gång- och cykelbron men inte av Hisingsbron, kan inte upprätthålla förlängt säkerhetsavstånd från Gotenius varv eftersom de aldrig befinner sig så långt uppströms (se mer om säkerhetsavstånd i avsnitt 7.1)	Avsnitt 7.1.2 Påsegling orsakad av externa faktorer
9	Svårigheter att manövrera fartyg med släp/pråmar, från exempelvis Ringön, mellan broarna vid hinder eller problem med öppning	Avsnitt 7.1.2 Påsegling orsakad av externa faktorer. Simuleras
10	Vid möte i smal passage mellan gång- och cykelbron och Hisingsbron kan fartyg tvingas gira, lägga sig på bredden och driva in i bron	Avsnitt 7.2 Mötesolyckor
11	Fritidsbåtar cirkulerar i farleden i väntan på broöppning och hamnar i vägen för lastfartyg på väg genom Hisingsbron och gång- och cykelbron	Avsnitt 7.2 Mötesolyckor
12	Kollision mellan fartyg som möts när de ska passera gång- och cykelbron	Avsnitt 7.2 Mötesolyckor
13	Gång- och cykelbron skymmer sikt för fartyg/broförare	Avsnitt 7.4 Övriga risker
14	Utsläpp av farligt gods eller miljöfarligt ämne från fartyg vid olycka	Avsnitt 7.3 Farligt godsolycka eller olycka med utsläpp av miljöfarligt ämne
15	Fartyg påverkas av strömmar vid bropassage och riskerar att komma ur kurs beroende på var broöppningen placeras	Avsnitt 7.4 Övriga risker. Simuleras
16	Svåra isförhållanden, till exempel istäcke eller isflak vid bron, försvårar fartygs framkomlighet eller manövrerbarhet	Avsnitt 7.4 Övriga risker
17	Broöppning felar vid hård vind så att gång- och cykelbron fastnar i stängt läge	Avsnitt 7.4 Övriga risker
18	Kumulativa effekter av flera samhällsbyggnadsprojekt och broar i älven som kan utgöra hinder för sjöfarten (svårare att manövrera och fler fartyg och strukturer att kollidera med)	Avsnitt 7.4 Övriga risker

Under arbetet med den maritima riskanalysen har några risker identifierats som inte täcks in av HAZID-riskerna ovan. Dessa presenteras i Tabell 7 nedan.

Tabell 7. Sjöfartsrisker som identifierats i projektet och inte täcks in av HAZID-riskerna i Tabell 6, samt läsanvisning för analys.

Nr	Riskbeskrivning	Läsanvisning för analys
19	Pråm sliter sig och driver in i bron	Avsnitt 7.1.2 Påsegling orsakad av externa faktorer
20	Påsegling av bron vid tilläggning av fartyg vid närliggande kaj	Avsnitt 7.1.2 Påsegling orsakad av externa faktorer
21	Missförstånd eller bristande kommunikation mellan broförare och fartyg	Avsnitt 7.1.2 Påsegling orsakad av externa faktorer
22	Ledverk skymmer sikt för fartyg/broförare	7.4 Övriga risker
23	Ändrade förhållanden för farled orsakar olycka	7.4 Övriga risker

7 RISKANALYS

I detta kapitel presenteras en analys av riskerna och hur stora de bedöms vara. Flera riskreducerande åtgärder har inkluderats som förutsättningar i analysen. I kapitel 9 presenteras en samlad riskvärdering. I kapitlet korsrefereras till riskerna, som identifierats och presenteras i kapitel 6 i Tabell 6 och Tabell 7, med en parentes och numrering på risken: (X).

7.1 Påsegling

Gång- och cykelbron innebär ett hinder som fartyg kan kollidera med. Risken för påsegling hanteras i första hand genom att förhindra att situationer som kan leda till påsegling uppstår, och i andra hand genom åtgärder för att minimera konsekvenserna om en olycka ändå skulle inträffa.

Fel ombord på ett fartyg (till exempel maskinhaveri och roderfel) innebär risker som inte kan uteslutas helt och hållet genom förebyggande åtgärder vid gång- och cykelbron, samtidigt som sådana fel kan leda till stora konsekvenser för såväl sjöfarten som bron och dess trafikanter. Risken för påsegling vid fartygsfel analyseras därför med hjälp av beräkningar för att uppskatta hur sannolika händelseförloppen är och hur allvarliga konsekvenserna kan bli. På så sätt kan ändamålsenliga åtgärder utformas för att risken ska bli acceptabel.

I avsnitt 7.1.1 analyseras de risker som orsakats av ett tekniskt eller mänskligt fel ombord på fartyget (4, 5) med hjälp av beräkningar. I avsnitt 7.1.2 analyseras därefter de risker där externa faktorer är bidragande (1, 2, 3, 7, 8, 9, 19, 20, 21) kvalitativt.

7.1.1 Påsegling orsakad av fartygsfel (tekniskt eller mänskligt)

Brobanan eller brostöden utanför farleden kan bli påseglade på grund av ett fel ombord på fartyget som gör att det seglar utanför ledverken. Felet kan ha tekniska orsaker, till exempel maskinhaveri eller roderfel, och därmed bli icke manöverdugligt. Påsegling kan också bero på ett mänskligt fel.

För lastfartyg finns en risk att fel ombord på fartyget kan leda till en allvarlig olycka. I Tabell 8 listas sådana händelser som kan leda till påsegling av gång- och cykelbron. I analysen grupperas möjliga bakomliggande orsaker i tre övergripande inledande händelser.

Tabell 8. Fel ombord på fartyg som kan leda till påsegling av gång- och cykelbron.

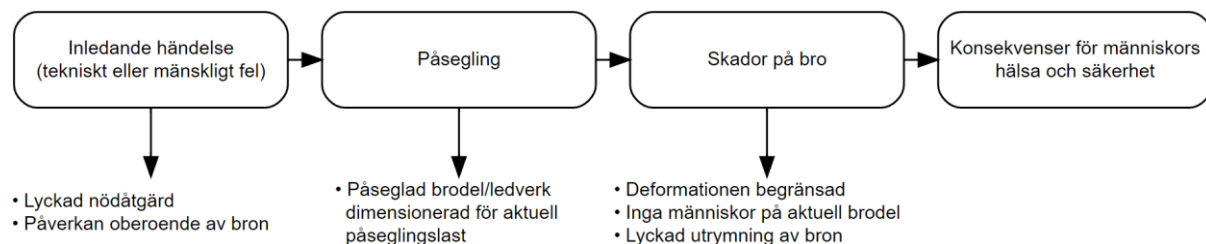
Kategori	Inledande händelse	Exempel bakomliggande orsak	Status på fartyget (risk nr.)	Leder till
Tekniskt fel	Drivande fartyg	Maskinhaveri Blackout	Icke manöverdugligt (4)	Förlust av framdrivning
Tekniskt fel	Roderfel	Hydrauliskt fel Mekaniskt fel Elektriskt fel	Icke manöverdugligt (4)	Kursavvikelse
Mänskligt fel	Mänskligt fel	Distraction Olycka Trötthet Alkohol-/drogpåverkan Brist på utbildning/erfarenhet	Manöverdugligt (5)	Kursavvikelse

Risken för påsegling betraktas för två alternativ (se kapitel 3):

- **Referensalternativet:** Referensalternativet avser ett tidigt förslag till gång- och cykelbro med vissa åtgärder för att skydda mot påsegling. Referensalternativet innebar dock en alltför hög samhällsrisk. Risken för påsegling av gång- och cykelbron med detta utformningsalternativ redovisas i Bilaga 1 och diskuteras i kapitel 9.

- **Huvudalternativet:** Huvudalternativet avser det gällande förslaget till gång- och cykelbro. Detta representerar en gång- och cykelbro som kompletterats med ytterligare nödvändiga säkerhetshöjande åtgärder för att skydda mot påsegling jämfört med referensalternativet. Fokus i föreliggande rapport ligger på att presentera risken för påsegling av gång- och cykelbron givet detta utformningsalternativ.

I Figur 10 nedan presenteras övergripande hur beräkningsstegen för påseglingsriskerna orsakat av fel ombord på fartyg förhåller sig. Olika händelser har olika sannolikhet att inträffa och olika konsekvenser beroende på bland annat storlek på fartyg, om händelsen involverar uppströms- eller nedströmsgående fartyg, om den beror på ett tekniskt eller mänskligt fel, var felet inträffar, vilka möjligheter som finns att vidta avhjälpande åtgärder, vilken brodel som träffas och vilken hastighet fartyget har när det träffar bron. I Bilaga 1 återfinns detaljerade redogörelser för beräkningsgången av frekvenser respektive konsekvenser för risken för påsegling av väntande fotgängare och cyklister på gång- och cykelbron (6), inklusive vilken indata som använts och vilka antaganden som gjorts.



Figur 10. Schematisk skiss över händelseförloppet som ligger till grund för beräkningarna av påseglingsrisker. De horisontella pilarna mellan rutorna representerar hur risknivån för påsegling och dess konsekvenser beräknas; de vertikala pilarna representerar en händelseutveckling som leder till ett mindre negativt utfall.

Om mindre fartyg, såsom ett passagerarfartyg eller ett mindre yrkesfartyg, seglar på bron kan skador på fartyg, besättning eller passagerare uppstå. Det mest troliga händelseförloppet är att fartyget seglar på ledverken vilka utformas eftergivliga för att minska effekterna av en påsegling. Om fartyget hamnar utanför ledverken och inte lyckas vidta åtgärder längs sträckan på mer än 100 meter fram till bron kan fartyget kollidera med brobanan. På mindre fartyg har besättningen goda möjligheter att utföra undanmanöver i ett sent skede vilket gör påsegling med ett mindre fartyg utanför ledverk mindre sannolikt. Om påsegling ändå skulle ske så är brobanan dimensionerad för att tåla påsegling med ett mindre fartyg. Händelsen kan dock medföra skador på fartyget och dess passagerare. Vissa av de åtgärder som föreslås i avsnitt 9.1 bidrar till att minska riskerna för mindre fartyg.

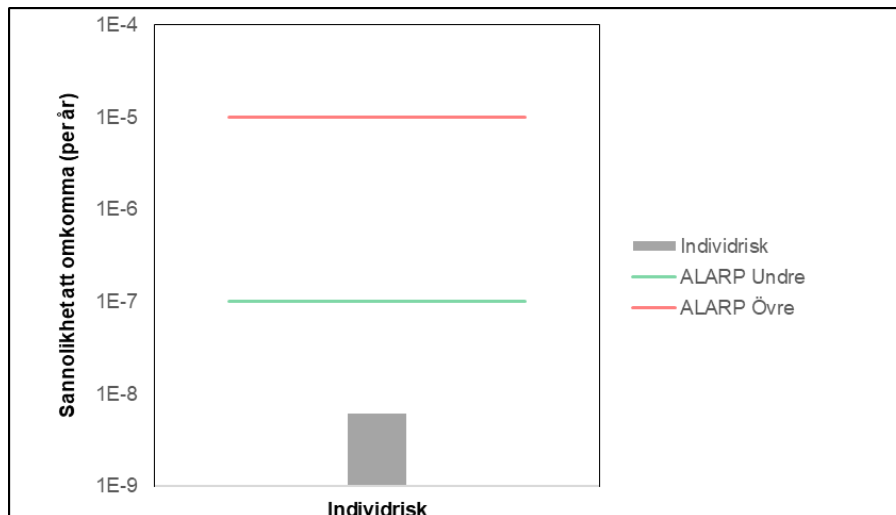
Risk för brokollaps

Huvuddelen av de tillfällen då fartyg drabbas av fel leder till påsegling av ledverk. Ledverken är dimensionerade för att ta upp påseglingslasten hos ett lastfartyg. Med föreslagen dimensionering leder inte påsegling av ledverk till något scenario där bron kan skadas så att dess strukturella integritet hotas. Det vill säga att en del av bron skulle kollapsa.

En liten andel av de tillfällen där fartyg får fel beräknas leda till att fartyg seglar på brobanan eller brostöden. I många fall kan bron tåla lasten från fartyget vid en påsegling. Lastfartyg med roderfel och drivande lastfartyg är de främsta scenarierna där fartyg kan hamna utanför ledverken och skada den fasta brobanan. Frekvensen för påseglingshändelser som antas leda till så pass allvarlig broskada att det får bron att kollapsa (och därmed innebär risk för människor att omkomma) beräknas uppgå till $1,2 \cdot 10^{-5}$ per år eller 1 gång på 81 000 år.

Individrisk

Den beräknade individrisken, det vill säga sannolikheten för en enskild gång- eller cykeltrafikant att omkomma i en påseglingsoolycka per år, illustreras i Figur 10. Individrisken har beräknats med en reduktionsfaktor på 100 enligt rekommendationer för trafikanter i riktlinjer för värdering, se kapitel 2. Individrisken för en enskild gång- eller cykeltrafikant att omkomma i en påseglingsoolycka beräknas uppgå till $6,1 \cdot 10^{-9}$ per år eller 1 gång på 160 miljoner år.

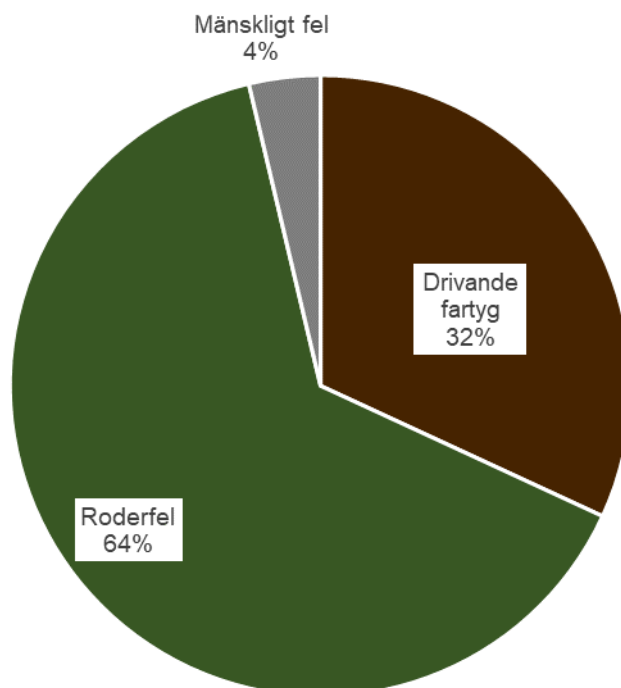


Figur 11. Individrisk i relation till övre och nedre ALARP-gränserna för individrisk.

I Tabell 9 och Figur 12 redovisas hur olika händelseförlopp bidrar till den totala individrisken. Det framgår att det är händelsen roderfel på fartyg som utgör störst del av risken, 64 % av den totala individrisken.

Tabell 9. Sammanfattning av riskbidrag vid beräkning av individrisk.

Inledande händelse	Frekvens brokollaps [per år]	Individrisk [sannolikhet att omkomma per år]
Drivande fartyg	3,9E-06	2,0E-09
Roderfel	7,9E-06	4,0E-09
Mänskligt fel	4,6E-07	2,3E-10
Totalt	1,2E-05	6,1E-09

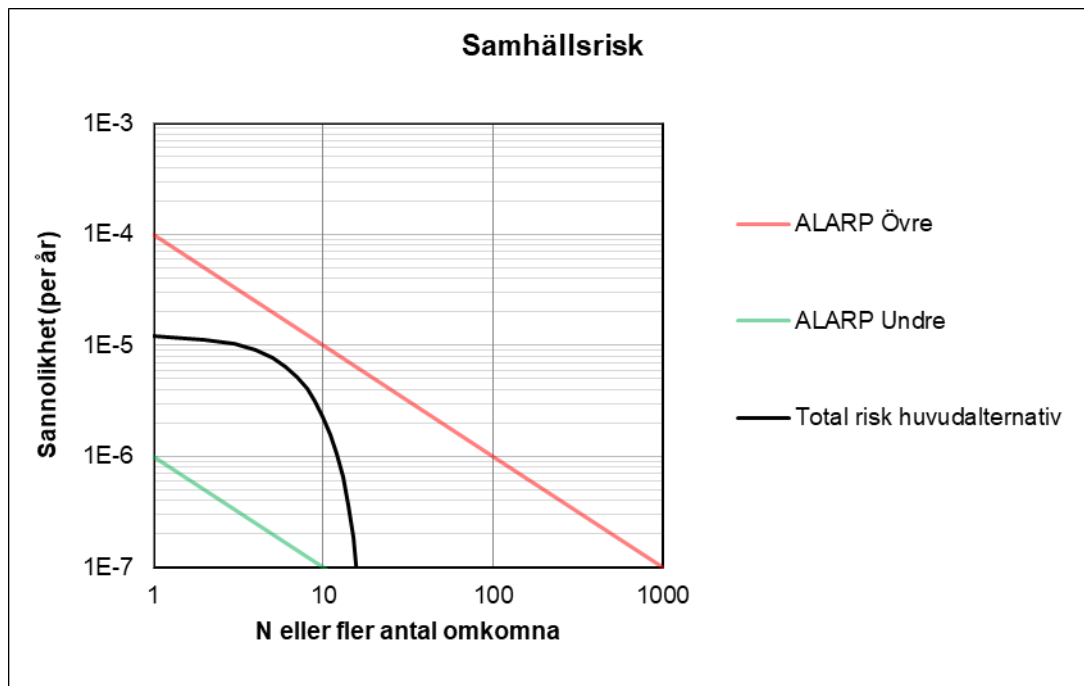


Figur 12. Individriskbidrag per olyckskategori vid påsegling av gång- och cykelbron.

Samhällsrisk

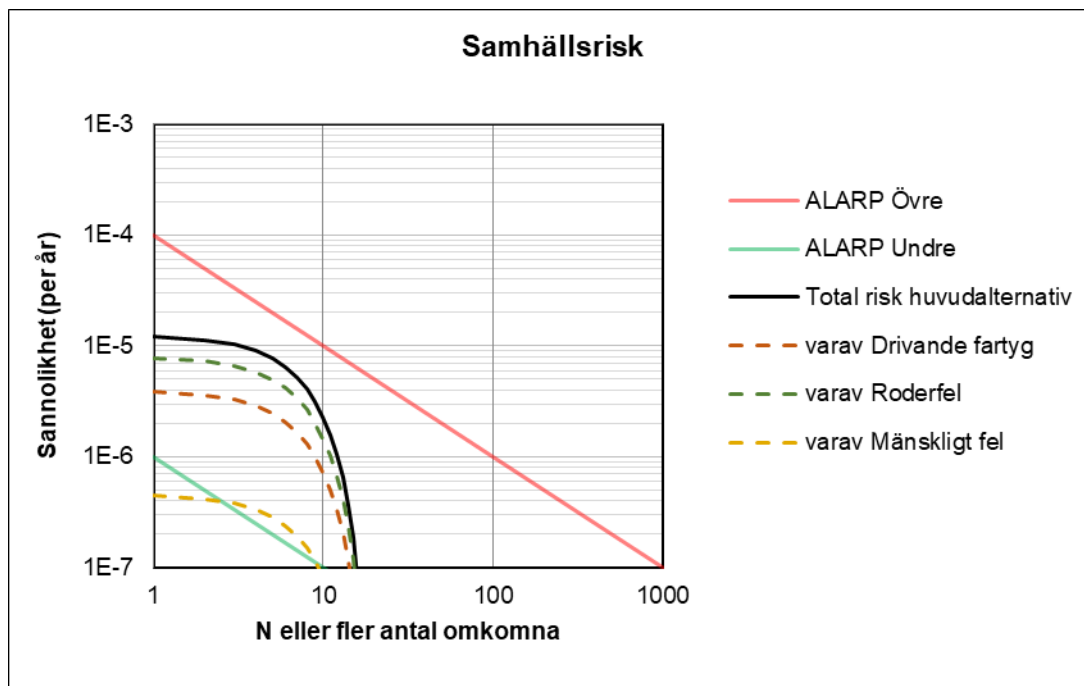
Samhällsrisk presenteras i ett så kallat F/N-diagram (Frequency of accidents/Number of fatalities). I F/N-diagrammet kan man avläsa den årliga sannolikheten för att en eller flera personer omkommer i anslutning till riskkällan. Konsekvenserna beräknas utifrån de antaganden om antalet gång- och cykeltrafikanter som befinner sig på bron som beskrivs i Bilaga 1.

Figur 13 visar den beräknade samhällsrisk. Sannolikheten för en olycka där minst en person omkommer uppgår till $1,2 \cdot 10^{-5}$ per år vilket motsvarar cirka en gång på 83 000 år. Sannolikheten ligger i ALARP-området för samtliga scenarier med avseende på antal omkomna. Inga scenarier förekommer där 20 eller fler personer bedöms omkomma.



Figur 13. Samhällsrisk för påsegling av gång- och cykelbron i relation till övre och undre ALARP-gränserna för samhällsrisk.

Figur 14 redogör för hur olika händelse-scenarier bidrar till den totala risknivån. Precis som för individrisken är det roderfel som står för störst del av risken, men även fartyg som driver in i den fasta brodelen samt mänskligt fel bidrar till den sammanlagda risknivån.



Figur 14. Samhällsrisik för påsegling av gång- och cykelbron uppdelat per riskbidrag. Notera att skalan är logaritmisk vilket innebär att skillnaden mellan varje skalsteg motsvarar en tiodubbling av frekvensen respektive antalet omkomna.

7.1.2 Påsegling orsakad av externa faktorer

I samband med riskidentifieringen framkom det att en del av den muddrade farleden mellan Hisingsbron och gång- och cykelbron är smalare än övriga delar av farleden (7). Det riskerar att begränsa förmågan för vissa större nedströmsgående fartyg att reducera farten, få stopp samt manövrera om exempelvis öppning av gång- och cykelbron skulle fela. Sannolikheten för olycka på grund av en smal farled (1, 2 och 7) minskas genom ett förlängt säkerhetsavstånd för de nedströmsgående fartyg med sådana dimensioner att de riskerar att inte kunna få stopp på ett kontrollerat sätt i området (se avsnitt 5.1). Säkerhetsavstånd avser det avstånd från bron eller ledverk där fartyget senast bör få klarsignal från broförare, så att fartyget på ett säkert sätt kan få stopp om bron inte kan öppnas. Det innebär alltså att för dessa fartyg ska Hisingsbron och gång- och cykelbron kunna öppnas samtidigt så att fartygen kan få kontrollerat stopp redan uppströms Hisingsbron vid en nödsituation. När farleden är underhållsmuddrad kan säkerhetsavståndet för nedströmsgående fartyg minskas till cirka 700 meter.

Mindre yrkesfartyg från Ringön (8), som ligger nedströms det förlängda säkerhetsavståndet, bedöms ha god manöverförmåga i området och risken gällande dem hanteras genom ett kortare säkerhetsavstånd och kommunikation med broföraren.

Strömförhållandena i Göta älv gör att uppströmsgående fartyg (3) bedöms ha betydligt bättre möjligheter att stanna på ett kontrollerat sätt mellan broarna, om Hisingsbrons öppning skulle fallera. Befintligt säkerhetsavstånd för Hisingsbron utgår redan strax uppströms från läget för gång- och cykelbron och påverkas därför inte av projektet. Om Hisingsbron inte öppnas för uppströmsgående fartyg bedöms det kunna hanteras som idag genom att fartyg lägger till vid Hisingsbron ledverk och dykdalber samt där inväntar bogserbåtsassistans, om de måste vända. Skulle det behövas kan fartyg välja att tillfälligt lägga till vid gång- och cykelbrons ledverk eller dykdalber i väntan på Hisingsbrons öppning.

En risk identifierades gällande svårigheter att manövrera fartyg med släp/pråmar, från exempelvis Ringön, mellan broarna vid hinder eller problem med öppning (9). Även om dessa besättning kan ha större svårigheter att manövrera (båt med släp) än fartyg i samma storlek utan släp, så bedöms de på grund av manöverförmåga, storlek och djupgående ändå ha goda förutsättningar att exempelvis vända mellan broarna eller nyttja Frihamnen för att vända.

Risken att en pråm sliter sig och driver in i bron (19) bedöms täckas in av scenariot med drivande fartyg till följd av maskinhaveri. Denna risk har en frekvens som är högre än för drivande pråm sett till dess större andel av det totala antalet fartygspassager, se mer i Bilaga 1.

Vid tilläggning av fartyg vid kajer nära bron finns en risk för påsegling (20). Bron kommer att tåla en påsegling av mindre fartyg, se avsnitt 3.2 och mer om detta i Bilaga 1. Det pågår ett arbete med att se över den framtida kaj användningen i området. Detta berörs även i *PM Sjöfart* (Sweco, 2025-03-23). Eventuellt kan det i framtiden förekomma tilläggning med större fartyg vid enstaka tillfällen vid kajerna på Hisingsidan nedströms bron. Eftersom ingenting är fastställt går det i dagsläget inte att bedöma hur stor risken för broskada är och således inte heller att motivera några fysiska skyddsåtgärder så som påseglingsskydd. Tills mer detaljerad information finns att tillgå rekommenderas därför att det i framtiden utförs riskbedömningar inför varje enskilt anlop av större fartyg vid kajerna närmast bron.

Påseglingsolyckor med öppningsbara broar beror ofta på missförstånd eller bristande kommunikation mellan broförare och fartyg (21) eller att fartyget närmar sig bron för tidigt, innan den öppnats (SSPA, 2014). Denna risk hanteras genom en rad rutiner gällande förberedelse inför broöppning. Med utgångspunkt i analys för hamnbanan (Banverket, 2005) föreslås bland annat att ankommande båt som kräver broöppning skall anmälas till broföraren en tid innan önskad passage och att rutin för kommunikation vid broöppning ska säkerställas. Rutiner finns för Hisingsbron och Marieholmsbroarna, dessa ska kompletteras med gång- och cykelbron.

För att minska risken för väntande gång- och cykeltrafikanter vid en broöppning har en strategisk placering av bommar valts. Detta för att människorna ska vara så skyddade som möjligt av ledverken vid en eventuell påsegling med fartyg.

7.2 Mötesolyckor

Några risker som identifierats rör konflikter mellan olika fartyg i området, exempelvis kollisionsrisk (10 och 12). Enligt uppgifter från lotsar möts inte lastfartyg med djupgående 4,5 meter eller större på sträckan mellan Frihamnspiren och förbi Hisingsbron i dagsläget på grund av att farleden är smalare och grundare jämfört med övriga delar av farleden (Sjöfartsverket L., 2024). Det kan uppstå risker för större fartyg (bland annat lastfartyg) som ska passera, eller har passerat, gång- och cykelbron när flera fartyg ska passera. För dessa fartyg skulle etableringen av gång- och cykelbron innebära att mötesförbudssträckan förlängs med cirka 300 meter, förbi gång- och cykelbron. I övrigt har 3D-simuleringar fastställt att farleds- och ledverksutformning är ”adekvat” (RISE, 2025-01-15). Sannolikheten för mötesolyckor bedöms minskas genom kommunikation mellan fartyg och av Sjöfartsverkets trafikcentral (VTS) som förser fartyg försedda med radio med trafikinformation.

Bredden på farleden och bropassage bedöms tillräcklig för att mindre lastfartyg eller fritidsbåtar fortsatt kan möta lastfartyg i området (11 och 12). Möten med lastfartyg i bropassage kommer dock vara förbjudet. Men för att minska sannolikheten för olyckor ska det säkerställas att väntbryggor finns där fritidsbåtar kan invänta öppning, både uppströms och nedströms gång- och cykelbron. Fritidsbåtarna kommer att kunna få tydlig information om vilka öppettider som gäller för passage och ha kommunikation med broförare innan passage kan ske. Vid väntbryggor, och även Lilla Bommens gästhamn, planeras för informationsspridning om planerade öppningar (exempelvis via informationstavlor eller app).

Fartyg kommer vid felande broöppning för Hisingsbron eller gång- och cykelbron ha möjlighet att lägga till vid ledverken vid båda broarna. Det är dock lämpligt att tilläggning sker vid den bro som inte öppnas.

Det är lämpligt att broföraren har möjlighet att avvakta med en broöppning, öppna före schemalagd broöppning, förlänga en broöppning eller göra en extra broöppning. Detta om broföraren bedömer att det är nödvändigt. Behandlas lämpligen i rutiner för broförarens arbete och i samverkansregler för trafikledning kring Göta älv (Överenskommelse, 2020-06-10).

7.3 Farligt godsolycka eller olycka med utsläpp av miljöfarligt ämne

Om ett fartyg som transporterar farligt gods eller annat miljöfarligt ämne, som drivmedel, är involverat i en kraftig kollision eller påsegling av gång- och cykelbron i hög fart finns en risk för utsläpp (14). Ett utsläpp av sådana ämnen är skadligt för miljön och kan också utgöra direkt fara för människor.

I *Översiktsplan för Göteborg – Vägledning för hantering av risker vid anläggningar och transportleder med farligt gods* (Göteborgs Stad, 2021) görs bedömningen att majoriteten av transporterna med farligt gods på Göta älv utgörs av brandfarliga vätskor, vilka för människor vid utsläpp (och antändning) främst utgör en fara genom värmestrålning.

Andelen fartygspassager med farligt gods bedöms uppgå till 2–3 % av det totala antalet passager med lastfartyg förbi broläget, vilket motsvarar färre än 40 passager per år, se avsnitt 4.2. Därutöver har alla fartyg drivmedel som både kan vara brandfarligt (men generellt har sådana drivmedel höga flampunkter, vilket gör dem svårantändliga) men framför allt miljöskadligt.

Fartyg navigerar i relativt låg fart längs sträckan vid gång- och cykelbron, hastighetsbegränsningen är 5 knop men högre hastigheter förekommer. Det finns krav i MARPOL annex I¹⁰ på att större oljetankfartyg som transporterar tunga oljor måste ha dubbelskrov vilket minskar sannolikheten för punktering av tank vid kollision och utsläpp. Bränsletankar i större fartyg är generellt placerade i aktern och i ett lägre läge.

För att förhindra att en mötesolycka inträffar kommer som tidigare konstaterat i 7.1 och 7.2 en förlängd mötesförbudssträcka samt teknisk övervakningsutrustning och kommunikationsutrustning för broföraren kravställas. Simuleringar har därutöver utförts för att säkerställa en god utformning av farleden, ledverk och bron (RISE, 2025-01-15).

En eventuell påsegling med bron eller ledverk kommer i de flesta fallen ske med ledverk, vilka kommer vara utformade eftergivligt för att begränsa påverkan på fartyg. Sker påsegling i stället med bron så kommer fartyget i en majoritet av fallen kollidera med fören och i ett högt läge. Detta innebär att fartyget främst påverkas i ett högt läge och långt fram, över och framför bränsletankar. Vidare föreslås bron att vara eftergivlig vilket minskar sannolikheten för att läckage uppstår. Den sammantagna ökningen av bränsleutsläpp på grund av olycka orsakade av bron bedöms därmed vara acceptabel.

Sett till risker med farligt godsolycka på Göta älv anger Stadens översiktsplans riktlinjer att tät bebyggelse längs älven kan uppföras fram till 10 meter från kaj. I jämförelse med tät bebyggelse, till exempel bostäder, så har bron en låg persontäthet och samtliga som befinner sig på bron är vakna och bedöms ha goda möjligheter att utrymma vid en olycka. Risken med farligt gods för tredje man bedöms sammanfattningsvis som acceptabel. Flera skäl motiverar denna bedömning: det begränsade antalet transporter av farligt gods på Göta älv, den låga sannolikheten för en sammanstötning i hög fart, säkerhetskrav på fartyg som anlöper svensk hamn, låg sannolikhet för antändning av den typ av farligt gods som förekommer i majoritet samt att konsekvensavstånden är begränsade. Bedömningen att risken för en olycka med farligt gods i Göta älv är mycket liten görs även i tidigare riskanalyser för Skeppsbron (SSPA, 2012), Hisingsbron (COWI, 2013) och Järnvågen (SSPA, 2015).

7.4 Övriga risker

Den maritima riskanalysen hanterar även några risker som inte innefattas under rubrikerna ovan, de presenteras samlat här:

- Bron och ledverk kan innebära skymd sikt (13, 22) vilket kan leda till mötesolyckor eller påsegling av bron. Vid dimensionering och detaljutformning av anläggningen ska skymd sikt

10 Kraven i MARPOL-konventionen är införlivade i svenskt regelverk genom Transportstyrelsens föreskrift och allmänna råd (TSFS 2010:96) om åtgärder mot förorening från fartyg. Kraven innebär bland annat att större oljetankfartyg som transporterar tunga oljor måste ha dubbelskrov.

för fartyg därför beaktas och begränsas. Bron (och ledverk) ska vidare dimensioneras för att tåla en viss påseglingslast. Broförarens sikt och möjlighet att varna ska säkerställas genom tekniska installationer (såsom kameror och annan utrustning samt tyfon).

- Sannolikheten för oönskad påverkan av strömmar vid bropassage (15) hanteras genom ett välplanerat val av var broöppning placeras, hur bred öppningen är på smalaste stället samt placering och orientering av ledverk. Funktionen har verifierats genom sjöfartssimuleringar (RISE, 2025-01-15). De mer lokala effekterna, som främst kan påverka mindre fartyg, hanteras i detaljprojektering/utformning av ledverk och bro.
- Risk för svåra isförhållanden (16), till exempel istäcke eller isflak vid bron, som försvårar framkomlighet eller manövrerbarhet hanteras genom rutiner för isrensning. De fartyg som idag används för isrensning i området kommer under bron utan öppning.
- Risk att bron inte kan öppnas vid hårda vindar (17) hanteras genom att dimensionera bron för att klara öppning i hård vind, medelvind 15 m/s.
- Kumulativa effekter av flera samhällsbyggnadsprojekt och broar i älven som kan utgöra hinder för sjöfarten (18) hanteras genom att öppning av bron harmoniserar med övriga öppningsbara broar i området, Hisingsbron och Marieholmsbroarna. Broförare för gång- och cykelbron kommer att resurssättas så att det inte finns konflikter vid öppning av flera broar. Vidare har en god utformning av farleden bland annat säkerställts genom simuleringar (RISE, 2025-01-15). Framtagna scenarier för beräknade påseglingsrisker har beaktat pågående utbyggnadsprojekt. Framtida projekt i älven kommer att behöva förhålla sig till gång- och cykelbron. Rekommendationen är även att broförarna för de närliggande broarna och för gång- och cykelbron fortsatt ges utrymme i rutiner att vid behov anpassa broöppningar och samordna med öppning av Hisingsbron och Marieholmsbroarna.
- Gång- och cykelbron kommer att ändra förhållandena i farleden (23). Effekterna av detta har berörts i ovan avsnitt (7.1, 7.2) och i övriga risker i detta avsnitt. Transportstyrelsen anger i *Rekommendationer för utformning av farleder* (TSS 2022-4406, 2025) vad som ska studeras vid utformning av farled. Detta arbete har inletts i *Genomförandestudie för gång- och cykelbro* och kommer att fördjupas vid detaljutformning i senare skeden. Denna riskanalys har utvärderat de tre kriterier som en riskutvärdering för en ny farled minst ska undersöka enligt rekommendationen, se Tabell 10 nästa sida där även analysens hantering är noterad.

Tabell 10 Krav riskutvärdering och hantering i analysen och vidare utformning

Krav riskutvärdering enligt rekommendation	Hantering i analysen och vidare utformning
1. Farledens dimensioner är tillräckliga i förhållande till konstruktionsfartyg.	<p><i>Konstruktionsfartyg är nya Vänermax och som har beaktats i simuleringar och beräkningar. Simuleringar av farleds- och ledverksutformning har konstaterat att denna är "adekvat" (RISE, 2025-01-15)</i></p> <p>Sjöfartsverket har ansvaret för farleden. Mellan Frihamnspiren och förbi Hisingsbron är i dagsläget farleden smalare och grundare än föreskrivet. Sjöfartsverket har ansvaret för att farleden underhållsmuddras. Om detta inte utförs, mellan Hisingsbron och gång- och cykelbron, kommer det förlängda säkerhetsavståndet säkerställa att säkerheten, sett till gång-och cykelbrons, är tillräcklig, se 7.1.2.</p>
2. Utmärkningen är optimerad i förhållande till fartygstrafiken.	Utmärkning ska ske enligt Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd (TSFS 2017:66, 2025) och (TSFS 2019:12, 2025). Optimering sker i kommande skede.
3. Det finns behov av restriktioner d.v.s. vind-, sikt-, strömgränser, bogserbåtsassistans, mötesförbud, lotspliktsgränser, övrig trafikreglering.	Vind och ström har simulerats och vindbegränsningar behandlas. Bogserbåtsassistans föreslås för specifika fall där broar inte öppnas. Mötesförbudssträckan föreslås förlängas. Lotsplikt gäller fortsatt. Säkerhetsavstånd tillämpas.

8 OSÄKERHETER

Osäkerhet förekommer vid alla steg i en riskanalys (Räddningsverket, 2003). För att hantera osäkerheten har rimligt konservativa (det vill säga återhållsamma eller försiktiga) förenklingar och antaganden använts i beräkningarna. Syftet är att vid osäkerhet hellre överskatta än underskatta risknivån.

I Tabell 11 beskrivs de osäkerheter som bedöms kunna påverka resultat och slutsats för den maritima riskanalysen.

Tabell 11. Osäkerheter som identifierats i riskanalysen och som bedöms kunna påverka resultat och slutsats.

Osäkerhet	Betydelse	Hantering	Bedömning
Osäkerhet vid identifiering av möjliga olyckshändelser och deras händelseförlopp	Om inte alla faror identifieras korrekt kan risknivån för gång- och cykelbron underskattas.	Riskidentifiering har gjorts systematiskt med hjälp av bred kompetens vid en HAZID. Tillkommande risker har därtill identifierats kontinuerligt i det fortgående utredningsarbetet, se kapitel 6. Skrivbordsstudie av liknande riskutredningar för andra broar har gjorts för att komplettera och bekräfta möjliga olyckshändelser.	Hanteringen har skapat förutsättningar för att identifiera samtliga risker med hög sannolikhet eller allvarlig konsekvens. Flera av de åtgärder som väljs för att hantera identifierade risker ökar gång- och cykelbrons robusthet, och medför ett skydd även mot eventuella händelseförlopp som inte kartlagts.
Osäkerhet i underlag	Om underlagen inte stämmer kan risknivån överskattas eller underskattas.	Underlag har värderats noga. För prognoser som innehåller ett spann har beräkningarna utgått från alternativ som innebär högst beräknad risk. Betydelsen av att välja andra alternativ studeras med känslighetsanalyser. Däribland har införande av nya Vänermax beaktats. Osäkerheten kring detta beskrivs närmare i avsnitt 8.1.	Det finns en betydande osäkerhet i prognoserna för framtida fartygstrafik samt utveckling av gång- och cykeltrafiken på bron. Den hantering som valts gör att risken inte underskattas. Därtill medger resultatet en marginal för ytterligare ökning av såväl fartygstrafik som antalet gång- och cykeltrafikanter utan att gränsen för oacceptabel samhällsrisk överskrids. Det finns också en osäkerhet i brons slutliga utformning vilken kommer att hanteras i uppföljande verifieringsprocess.

Osäkerhet	Betydelse	Hantering	Bedömning
Osäkerhet i indata	Om indatan har kvalitetsbrister eller inte är representativ för situationen när gång- och cykelbron är byggd kan risknivån överskattas eller underskattas.	Data har inhämtats från tillförlitliga källor. Utmaningen ligger i indatans representativitet för gång- och cykelbron. Osäkerheten hanteras genom en ödmjukhet inför vilka slutsatser som kan dras utifrån historisk data, och genom att de antaganden som görs baserade på data är konservativa. Osäkerheten kring detta beskrivs närmare i avsnitt 8.1.	Indatan bedöms inte ha kvalitetsbrister som har signifikant betydelse för resultatet. Osäkerhet i datans representativitet för situationen efter anläggandet av gång- och cykelbron hanteras genom försiktiga slutsatser och konservativa antaganden.
Osäkerhet i beräkningsmodeller	Om beräkningsmodellen eller GIS-modellen för vektoranalys är felaktiga kan risknivån för gång- och cykelbron överskattas eller underskattas.	För beräkningarna har en enkel modell tagits fram där varje beräkningssteg kan verifieras och resultatet valideras. Vektoranalysens resultat har granskats och jämförts med expertbedömningar som skett parallellt. Modellerna granskas i flera omgångar och resultat värderas genom rimlighetsbedömningar.	Ingen betydande osäkerhet bedöms föreligga i beräkningsmodellen eller GIS-modellen.
Osäkerhet i antaganden och förenklingar	Felaktiga antaganden och förenklingar kan innebära såväl en underskattning som en överskattning av risknivån för gång- och cykelbron.	Antaganden och förenklingar görs så långt det är rimligt konservativa (det vill säga återhållsamma eller försiktiga), med syfte att vid osäkerhet hellre överskatta än underskatta risknivån. Osäkerheten för några antaganden i beräkning av påseglingsrisk beskrivs närmare i avsnitt 8.2.	Gjorda antaganden och förenklingar innebär en möjlig överskattning av den beräknade risknivån.

Det finns flera osäkerheter i riskanalysen varav de största är kopplade till prognos för framtida fartygstrafik till Väneren samt prognos för framtida utveckling av gång- och cykeltrafiken på gång- och cykelbron. Osäkerheterna hanteras genom att anta analysförutsättningar som är ogynnsamma ur risksynpunkt för att inte underskatta risken. Därutöver har känslighetsanalyser utförts av betydande parametrar, se nedan och Bilaga 1.

Härvid bedöms osäkerheter i analysen vara hanterade så att risknivån inte underskattas. I följande avsnitt redovisas mer detaljer kring de olika osäkerheterna.

8.1 Underlag och indata

Nedan diskuteras de osäkerheter i underlag och indata som identifierats och som bedöms kunna påverka resultat och slutsatser.

8.1.1 AIS-data

AIS-data och statistik för fartygspassager förbi det planerade broläget har inhämtats från Sjöfartsverket.

Riskanalysen bygger i stor utsträckning på uppgifter i AIS-datan. Uppgifter om fartygsdimensioner, hastighet, position och kurs används för att uppskatta var påsegling kan ske och med hur stor energi.

Inhämtat dataunderlag har granskats och kontrollfrågor har ställts till Sjöfartsverket. För vissa passager saknas uppgifter om bland annat fartygsdimensioner, särskilt för mindre fartyg med AIS-transponder typ B för vilka AIS-transponder inte är ett krav. Fartyg med ett uppskattat displacement under 800 ton ingår inte i riskberäkningarna varvid denna felkälla har en marginell betydelse för resultatet.

Uppgifter om större fartyg har granskats noga, dels genom stickprovsgranskning och granskning av värden som sticker ut, dels genom att kontrollera uppgifterna för enskilda lastfartyg som gjort många passager. En del uppgifter i AIS-datan om dimensioner hos enskilda fartyg har bedömts som avvikande jämfört med uppgifter från deras rederier, där värden för längd och bredd har avvikit marginellt. Viss handpåläggning har gjorts för att komplettera och justera datan.

En särskild kartläggning av uppgifterna om fartygs djupgående har gjorts då djupgåendet är en uppgift som läggs in manuellt av fartygsbesättningen vid varje resa samt vid förändringar. Uppgifterna har jämförts med förväntade värden i förhållande till de fartyg som trafikerar och den godsmängd som transporteras, med slutsatsen att uppgifterna om djupgående för fartygsflottan i sin helhet är tillförlitliga.

Fartygets position i AIS-datan beskriver AIS-transponderns position vilken kan variera mellan fartyg. Det finns en osäkerhet i hur väl enskilda uppgifter i AIS-datan stämmer. Det har dock inte identifierats någon systematisk avvikelse, utan isolerade felaktigheter kan avvika i såväl gynnsam som ogynnsam riktning sett till risken. Beaktat den stora mängden data bedöms därför enskilda fel i datan inte ha någon signifikant inverkan på analysens resultat.

Genom att använda AIS-data från en tillförlitlig källa (Sjöfartsverket) förväntas datan ha hög kvalitet och i huvudsak vara komplett. Bedömningen är att osäkerheten i dataunderlaget är störst för de mindre fartygen. För större fartyg har granskning och justeringar gjorts för att ytterligare öka tillförlitligheten. Osäkerheten i AIS-datans kvalitet, tillförlitlighet och kompletthet bedöms ha en liten påverkan på resultatet.

Den största osäkerheten kopplat till AIS-datan ligger i dess representativitet för gång- och cykelbron. För beräkningarna har data för år 2022 använts. En jämförelse har gjorts med AIS-data för år 2023 där skillnaderna i huvudsak var små. Antalet lastfartyg år 2023 var knappt 13 % lägre än år 2022. Mängden gods som transporteras på Göta älv har legat på en stabil nivå de senaste åren. Därmed förväntas ingen större variation om AIS-data för fler år inkluderats. Slutsatsen är att skillnaderna mellan åren är små och genom att använda AIS-data för 2022 underskattas inte risken.

Även om inhämtad AIS-data är tillförlitlig och korrekt beskriver fartygstrafiken år 2022 och åren däromkring, är det osäkert hur väl AIS-datan beskriver fartygstrafiken när gång- och cykelbron väl tas i drift. Fartygsflottan kan ändras och bron kommer att påverka trafikmönstret. Vid passage mellan Hugo Hammars kaj och Packhuskajen har fartyg i AIS-datan en annan position och kurs än de förväntas ha när bron är på plats. AIS-datan visar exempelvis lastfartyg som navigerar i utkanten av farleden och sent rätar in sin kurs mellan de framtida ledverken och genom broöppningen. Positionering på detta sätt är ofördelaktig för säker passage av gång- och cykelbron. Lastfartyg förväntas anpassa sin placering efter bron och ledverken i framtiden. Detta innebär att vid ett fel ombord på fartyget kommer en större andel fartyg att träffa ledverk och inte brobanan än vad som blir resultatet i beräkningarna.

Detta är en osäkerhet som inte kopplar till AIS-datan i sig, utan hur datan används ihop med prognoser och analysantaganden. Denna osäkerhet hanteras genom en ödmjukhet inför vilka slutsatser som kan dras utifrån historisk data, och genom att de antaganden som görs baserat på AIS-datan är konservativa.

Detta diskuteras mer i avsnitten nedan.

8.1.2 Simuleringar

Slutsatser från fartygssimuleringar har använts som kompletterande underlag till bedömningar i riskanalysen. Den största osäkerhet som är förbunden med simuleringarna ligger i att de simuleringar som gjorts är begränsade till antalet och att inte alla förutsättningar har undersökts avseende exempelvis startpunkt för olycksförloppet, fartygshastighet och vindförhållanden. Slutsatser har därför dragits utifrån ett begränsat antal simuleringsfall. Osäkerheten hanteras dels genom att basera antaganden på de simuleringsfall som har de mest utmanande förutsättningarna (worst case), dels genom att de bedömningar som gjorts utifrån simuleringarna är konservativa.

8.1.3 Broutformning

Det finns en osäkerhet i brons slutliga utformning. Analysen baseras på en exempelbro som representerar en möjlig broutformning (se beskrivning av Huvudalternativet i avsnitt 3.2). Om bron utformas annorlunda blir risken en annan. Denna osäkerhet hanteras genom att olika alternativa exempelbroar har analyserats. Flera möjliga utformningar har valts bort under genomförandestudien av gång- och cykelbron, detta på grund av att de resulterade i en samhällsrisknivå som enligt beräkningarna ligger högt i ALARP, eller innebär en oacceptabel risknivå (se beskrivning av Referensalternativet i avsnitt 3.1).

8.1.4 Utveckling av gång- och cykeltrafiken på bron

Det finns osäkerheter i prognosen för framtida utveckling av gång- och cykeltrafiken över Göta älv som diskuteras i PM Samhällsekonomisk nyttokostnadsanalys (Sweco, 2025-03-23). Flera alternativa scenarier presenteras och osäkerheten är stor. I riskberäkningarna används den prognos som också används i de samhällsekonomiska konstansnyttoanalyserna PM Trafikanalys (Sweco, 2025-03-23) och PM Samhällsekonomisk nyttokostnadsanalys (Sweco, 2025-03-23).

8.1.5 Utveckling av fartygstrafiken i älven

Det finns en stor osäkerhet i prognoserna för framtida fartygstrafik. Enligt Trafikverket kan mängden transporterat gods i Göta älv öka med 46 procent till år 2045 (Trafikverket, 2024). I en alternativ prognos antas dock ingen ökning alls. För att hantera denna osäkerhet används i riskberäkningarna den prognos som innebär störst ökning av godsmängden, 46 procent, vilket är konservativt ur ett riskhänseende.

Det är osäkert hur fartygsflottan kommer att se ut i framtiden. Som beskrivs i avsnitt 4.3 kan framtida godsfartyg bli betydligt större än dagens Vänermax. Om, och i vilken takt, som fartyg kommer att bytas ut till en större storlek är inte känt. Detta är en osäkerhet som inte begränsas till den planerade gång- och cykelbron, utan har påverkan på alla broar längs Göta älv. I det huvudalternativ som presenteras för gång- och cykelbron antas därför att fartygsflottan är densamma som i det inhämtade dataunderlaget från år 2022, där godsökningen representeras av att antalet fartygspassager ansätts öka i samma takt som godsmängden. Därtill har en känslighetsanalys gjorts för att undersöka betydelsen av större fartyg, genom att anta att hälften av dagens Vänermaxfartyg ersätts av större, nya Vänermaxfartyg. Denna beräkning återfinns i Bilaga 1. Känslighetsanalysen visar att om tyngdpunkten i fartygsflottan skiftar mot större fartyg så ökar risken för gång- och cykelbron. Den beräknade samhällsrisk kommer emellertid fortfarande ligga i ALARP-området.

Kustbevakningens fartyg KBV 001 är ett större statsfartyg som vid påsegling skulle kunna skada bron om det fortsätter att trafikera området när bron är byggd. En känslighetsanalys med KBV 001 har genomförts och redovisas i Bilaga 1. Resultatet är att KBV 001 har en marginell påverkan på risknivån.

8.2 Antaganden och förenklingar

Nedan diskuteras de osäkerheter i antaganden och förenklingar som identifierats och som bedöms kunna påverka resultat och slutsatser.

8.2.1 Fartygsfel

Riskanalysen bygger på sannolikheter för att fartyg ska drabbas av ett mänskligt eller tekniskt fel när de befinner sig nära gång- och cykelbron. Den sannolikheten som ansätts för maskinhaveri används i

andra nautiska riskanalyser i Sverige och internationellt och har verifierats med olycksstatistik för Göta älv. Sannolikheterna för mänskligt fel och roderfel överensstämmer med tidigare genomförda riskanalyser för Göteborg och Göta älv. Att använda generiska sannolikheter innebär att branschstandard följs vilket förutom att minska osäkerheten även tillser att det finns en jämförbarhet mellan olika studier.

Hur långt från bron som fartygsfel kan få konsekvenser för gång- och cykelbron kommer in i riskanalysen genom att så kallade kritiska sträckor definieras. Bedömningarna av vilka sträckor som ska ses som kritiska görs konservativt. Detta säkerställs genom att undersöka konsekvensen av ifall ett fartyg skulle få ett fel bortom definierade kritiska sträckor. Det visar sig att det dels är mycket osannolikt att fartyg längre bort skulle kunna hamna på en kurs som leder till påsegling av bron, dels att vattnets motstånd skulle få fartyget att sakta in så pass mycket att fartygets påseglingsenergi inte är tillräcklig för att orsaka omfattande skada på bron. För mindre fartyg bedöms den kritiska sträckan vara ännu kortare. Sammantaget bedöms betydelsen av denna osäkerhet vara liten.

8.2.2 Besättningsåtgärder som avbryter olycksförloppet

Riskanalysen bygger på bedömningar av hur sannolikt det är att besättningen efter ett fel på fartyget lyckas vidta åtgärder såsom att gira eller lägga back och förhindra påsegling av gång- och cykelbron. Dessa antaganden görs mycket konservativt med hänsyn till vilken typ av fel det handlar om och på vilket avstånd från bron felet uppstår, med syfte att vid osäkerhet hellre överskatta än underskatta risknivån. För flera scenarier tillgodoräknas inga avhjälpande åtgärder alls. Osäkerheten är betydande men hanteras genom att göra försiktiga antaganden som säkerställer att risknivån inte underskattas.

8.2.3 Händelseförlopp

Antaganden om händelseförlopp efter ett maskinhaveri eller roderfel är behäftade med stor osäkerhet. Några antaganden som har stor betydelse för resultatet har verifierats med simuleringar. Med stöd från simuleringsresultaten har antagandena i några fall uppdaterats. Dock är det svårt att utesluta all osäkerhet, och det går inte säkert att säga åt vilket håll osäkerheten slår på resultatet.

Osäkerheten hanteras i första hand genom att göra konservativa ansatser. En konservativ ansats kan dock bli kostsam och är ingen garanti för korrekta analysresultat. Där antagandena om händelseförlopp har bedömts vara orimligt konservativa har riskerna i stället delats upp i beräkningarna och antagandena har förfinats. Exempelvis har risken för maskinhaveri, som är den mest sannolika inledande händelsen, delats upp med olika antaganden för uppströms- och nedströmsgående fartyg och beroende på hur långt från bron felet ansätts uppkomma. Detta innebär en mer realistisk uppskattning av risken för maskinhaveri. Samtidigt har exempelvis inte risken för roderfel, som är ett mycket mer osannolikt fel, analyserats lika detaljerat. Det innebär att risken som beräknas för roderfel bygger på fler konservativa antaganden än för maskinhaveri. Den totala risken som räknas fram för påsegling återspeglar därmed inte nödvändigtvis de riskbidrag som ingår på ett fullständigt sätt. Risken underskattas inte, men slutsatser om inbördes betydelse av ingående risker får dras med försiktighet.

Påseglingsfrekvensen baseras på AIS-data från år 2022, en osäkerhet som diskuteras i avsnitt 8.1.1. Högst troligt kommer andelen fartyg som idag har en ofördelaktig position relativt bron öppning placera sig säkrare i framtiden när bron är på plats för att passera säkert mellan ledverken och genom broöppningen. Detta innebär att en större andel fartyg vid en olycka kommer att träffa ledverk och inte bron. Risken för påsegling av brobanan bedöms därför vara lägre än vad beräkningarna visar.

I tillägg till ovanstående hantering av osäkerhet i antaganden om händelseförlopp kan sägas att flera av de åtgärder som väljs för att hantera identifierade risker ökar gång- och cykelbrons robusthet på ett generellt plan. Detta medför även ett skydd även mot eventuella händelseförlopp som inte kartlagts korrekt.

8.2.4 Skada på bron

När ett fartyg seglar på bron med en rörelseenergi som är större än vad bron är dimensionerad för att ta upp så kan allvarliga skador uppstå på bron.

Påsegling av eftergivliga konstruktioner är komplexa att studera i detalj och exakt vilka skador som kan inträffa har inte modellerats. Dock har flera alternativa broutformningars energiupptagningsförmåga studerats. Sannolikheten för att kapaciteten överskrids, och att en del av bron kollapsar, har beräknats beroende på var fartygen seglar på bron och vilken massa och hastighet (rörelseenergi) fartygen har vid påsegling. Fartygens deformation och därmed energiupptagning har inte beaktats. Inte heller brons eftergivlighet innan en del av den kollapsar har beaktats utan det har antagits att kollaps inträffar när rörelseenergin överskrids. Sammantaget innebär det att skador som leder till kollaps har överskattats jämfört med det verkliga utfallet.

Observera att hela bron inte kommer kollapsa vid påsegling eftersom den kommer att konstrueras i sektioner.

8.2.5 Konsekvenser för cyklister och fotgängare

Det finns flera osäkerheter i uppskattningen av hur många gång- och cykeltrafikanter som riskerar att förolyckas vid en olycka där bron kollapsar.

Vid brokollaps antas en fast andel (5 %) av samtliga gång- och cykeltrafikanter som befinner sig på bron omkomma. Detta baserat på en rad antaganden om hur stor andel av trafikanterna som befinner sig på den del av bron som kollapsar och deras möjlighet att utrymma.

I Bilaga 1 görs en genomgång av olika osäkerheter kring hur många människor som befinner sig på bron och var de väntar, vilken del av bron som blir påseglad, hur mycket tid som finns till godo samt förutsättningarna för utrymning.

Vid maskinhaveri kan det antas att fartyg i större utsträckning kommer att segla på relativt centralt på bron där fler personer befinner sig. Däremot vid ett roderfel (en större andel av felen som leder till brokollaps) är det troligt att påsegling av bron som leder till brokollaps kommer att ske närmare brons landanslutningar. Nära landanslutningarna kommer färre personer att befinna sig vid broöppning. Därutöver är det sannolikt att broföraren kan varna personer vilket förbättrar möjligheten att kunna ta sig i säkerhet. Vidare är det inte säkert att en individ omkommer även om den befinner sig på den drabbade delen av bron (brosektionen), eller att bron kollapsar, se 8.2.4. Den sammantagna bedömningen är att antagandet om att 5 % av de som befinner sig på bron vid en brokollaps omkommer är rimligt och inte leder till en underskattning av konsekvenserna.

9 RISKVÄRDERING OCH ÅTGÄRDER

I detta avsnitt presenteras en samlad riskvärdering och lämpliga åtgärder samt motiv till bortvalda åtgärder. Flera åtgärder har inkluderats i analysen av riskerna i kapitel 7 samt ingår i huvudalternativet som analyserats.

De risker som har analyserats kvalitativt bedöms, med de i kapitel 7 föreslagna åtgärderna, kunna uppnå en acceptabel risknivå. Det handlar till exempel om åtgärder i form av väntbryggor och rutiner för passage av fritidsbåtar samt förlängt säkerhetsavstånd för vissa nedströmsgående fartyg.

Vissa påseglingsrisker har bedömts kvantitativt, genom riskberäkningar för bland annat huvudalternativet. Detta antas inbegripa en bro med skyddsåtgärder enligt avsnitt 3.2. Antalet personer som passerar gång- och cykelbron är baserat på prognosen för passerande personer år 2050 och antalet fartygspassager har baserats på fartygstrafiken med en godsökning på 46 % jämfört med idag.

Sannolikheten för påsegling som resulterar i brokollaps ligger med mycket god marginal under kriteriet för brokollaps (PIANC, 2001).

Sannolikheten för en enskild gång- eller cykeltrafikanter att omkomma i en påseglingsolycka ligger med god marginal under den lägre ALARP-gränsen. Individrisken bedöms således acceptabel utan vidare åtgärder. Det kan vara svårt att jämföra olika risker men sannolikheten för att omkomma i en trafikolycka generellt, som presenteras i Figur 1, är 500 gånger högre än den beräknade sannolikheten för en gång- eller cykeltrafikanter att omkomma på bron till följd av en påseglingsolycka.

Samhällsriskerna har beräknats ligga inom ALARP-området, där risken är acceptabel om ekonomiskt och praktiskt rimliga åtgärder vidtas. Flera konservativa antaganden har gjorts i beräkningarna vilket innebär att risknivån sannolikt är något överskattad.

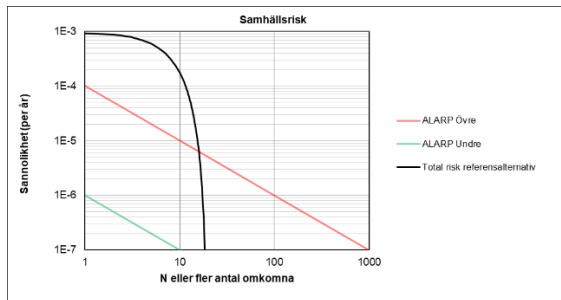
I genomförd analys har ingen kvantifiering gjorts av riskerna för alternativa resvägar, men det är troligt att bron genom att möjliggöra en kortare resväg för många gång- och cykeltrafikanter kan medföra en totalt lägre samhällsrisk genom minskad exponering för andra risker i trafiken. Sådana risker kan bland annat inbegripa påkörning av väg- och spårfordon samt färre singelolyckor och olyckor mellan cyklister och fotgängare på grund av den kortare resvägen. Parallellt leder ökat cyklande dessutom till lägre partikelutsläpp och en förbättrad folkhälsa.

I beaktande av ovan bedöms riskerna med bron stå i proportion till de fördelar den innebär och därmed bedöms även riskvärderingsprincipen om proportionalitet vara uppfylld (se kapitel 2, B). Likaså innebär bron betydande fördelar för de som kommer nyttja den. I jämförelse med andra sätt att transportera sig bedöms inte den sammantagna risken de utsätts för att överväga fördelarna med bron. Ingen grupp bedöms därmed exponeras för oproportionerligt stora nackdelar och fördelningsprincipen (C) beaktas vara uppfylld.

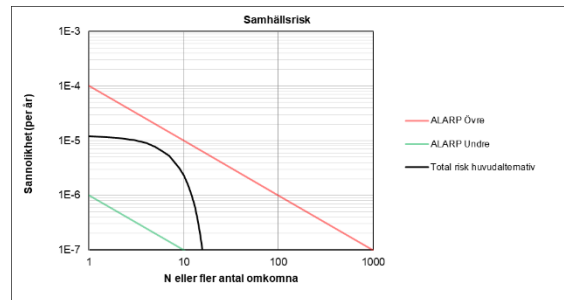
Gällande principen om undvikande av katastrofer (D) bedöms det inte ens vid en mycket allvarlig olycka förekomma några scenarier som inte är hanterbara för räddningstjänst och sjukvård. På den brohalva som blir påseglad kan uppemot 200 personer befinna sig, se Bilaga 1. Bron kollapsar längs en brosektion där uppskattningsvis som högst 20 personer förolyckas. Sannolikheten för ett sådant scenario är mycket låg. Sammantaget bedöms riskvärderingsprincipen om undvikande av katastrofer uppfyllas.

Referensalternativet har en betydligt lägre kapacitet och kortare ledverk än huvudalternativet, och samhällsriskerna skulle i ett sådant alternativ vara oacceptabel (se Figur 15). Jämfört med referensalternativet har flera åtgärder vidtagits för att sänka risknivån. De åtgärder som arbetats fram i genomförandestudien för olika broalternativ resulterar i en risknivå för huvudalternativet som bedöms

vara på en rimlig nivå, praktiskt och ekonomiskt (se Figur 16). Detta särskilt efter krav på ytterligare åtgärder beskrivna i nästa avsnitt 9.1. Rimlighetsprincipen (se kapitel 2, A) bedöms därmed vara uppfylld. Ytterligare investering i säkerhetshöjande åtgärder är inte motiverade, se avsnitt 9.2.



Figur 15. Referensalternativet: Gång- och cykelbro med grundläggande säkerhetshöjande åtgärder.



Figur 16. Huvudalternativet: Gång- och cykelbro med kompletterande säkerhetshöjande åtgärder.

Om prognoserna över antalet passerande gång- och cykeltrafikanter samt antalet fartygspassager underskattar de volymer som anträffas i framtiden finns därtill en marginal utan att gränsen för oacceptabel risk överskrids: Fartygstrafiken kan öka med en faktor fyra i antal jämfört med huvudalternativet innan risken hamnar på oacceptabel nivå. Antalet gång- och cykeltrafikanter kan öka så att det ständigt står 200 väntande på bron utan att risken hamnar på oacceptabel nivå. Observera att risknivån i huvudalternativet har beräknats utifrån att 46 % mer gods transporteras på Göta älv jämfört med år 2022, vilket är ett mycket positivt godsscenario enligt Trafikverket (2024).

Vad gäller risker för sjöfarten bedöms gång- och cykelbron inte innebära att fartyg får en betydande riskökning. Detta förutsatt de åtgärder som föreslås i 9.1 vidtas.

9.1 Åtgärder

För att risknivåerna för gång- och cykelbron ska vara acceptabla förutsätts att följande åtgärder vidtas:

A. Ledverksutformning

Ledverk enligt placering i Figur 6, avsnitt 3.2, ska skydda bron. Ledverken ska vara cirka 115 meter på tre sidor om bron och cirka 150 meter på nordöstra sidan om bron (närmast Packhuskajen). Ledverk utformas eftergivliga för att minska effekterna av en påsegling.

B. Broutformning

Bron ska vara dimensionerad med energiupptagningsförmåga av minst 4 megajoule så att risknivån (samhällsrisiken) för den slutgiltiga utformningen av anläggningen inte överstiger ALARP.

Bron utformas robust men eftergivlig för att öka energiupptagningsförmågan och därmed minska effekterna av en påsegling.

Bron dimensioneras för att klara broöppning i stark vind, medelvind 15 m/s.

C. Farledsutformning

Farleden ska utformas med stöd av genomförda simuleringar (RISE, 2025-01-15). Bland annat har broöppningens placering optimerats för fartygstrafiken.

D. Säkerhetsavstånd

Säkerhetsavståndet ska vara så stort att fartyg på ett säkert sätt kan få ner farten till noll knop om det under öppningsfasen inträffar något som gör att bron ej kan öppnas (Sjöfartsverket, 2020). För de största nedströmsgående lastfartygen kommer säkerhetsavståndet norr om gång- och cykelbron initialt utgå från samma läge som för Hisingsbron, vilket är i höjd med Gotenius varv cirka 700 meter nordost om Hisingsbron. Säkerhetsavståndet blir då totalt cirka 1 600 meter för de största fartygen (60 meter eller längre). För fartyg som utgår från Ringön eller andra hamnar nedströms Gotenius varv gäller ett kortare säkerhetsavstånd och att fartyget kommunicerar med broföraren innan det lämnar kaj. Om farleden underhållsmuddras, se 5.1.1, kan avståndet minska till cirka 700 meter norr om gång- och cykelbron.

Säkerhetsavstånd söder om gång- och cykelbron ska vara cirka 500 meter nedströms bron för de största uppströmsgående lastfartygen. Befintligt säkerhetsavstånd för Hisingsbron utgår redan strax uppströms från läget för gång- och cykelbron och påverkas därför inte av projektet.

E. Beakta siktförhållanden

Vid bro- och ledverksutformning ska bland annat skymd sikt beaktas. Och dessa ska utföras så att denna störning minskas i rimlig omfattning.

F. Kamera

Broförarens sikt ska säkerställas genom tekniska installationer (såsom kameror).

G. Varningssystem till fartyg

Tyfon eller annat system för att varna fartyg, bland annat vid farliga situationer med skymd sikt.

H. Väntbryggor

För fritidsfartyg ska väntbryggor iordningsställas både uppströms och nedströms gång- och cykelbron. Detta för att förhindra och minska konflikter med lastfartyg.

I. Information om planerade öppningar

Information ska tillgängliggöras vid väntbryggor, och även Lilla Bommens gästhamn (exempelvis via informationstavlor eller app). Den ska uppdateras och hållas relevant.

J. Utmärkning - sjömärken

Utmärkning av farleden ska ske enligt Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd TSFS 2017:66 och TSFS 2019:12. Optimering sker i kommande skede.

Ytterligare fysiska åtgärder för att skydda personer på bron:

K. Strategisk placering av bommar

Bommar har placerats i ett område som skyddas av ledverk för att väntande gång- och cykeltrafikanter ska vara så skyddade som möjligt.

L. Signal- eller högtalarsystem

Utrustning ska installeras så att broförare kan kommunicera med trafikanter på bron och öka möjligheten för en effektiv utrymning.

Ytterligare administrativa åtgärder som ska vidtas:

M. Trafikövergripande samverkansregler

Öppningar av bron ska harmonisera med övriga öppningsbara broar i området, Hisingsbron och Marieholmsbroarna.

N. Rutin för broöppning

Befintliga rutiner för Hisingsbron och Marieholmsbroarna ska kompletteras med gång- och cykelbron. Broförare för gång- och cykelbron kommer att resurssättas så att en effektiv och säker hantering av dessa bropassager kan utföras.

O. Mötesförbudssträcka

För större lastfartyg innebär etableringen av gång- och cykelbron att mötesförbudssträckan förlängs med cirka 300 meter, förbi gång- och cykelbron.

P. Riskbedömning inför kajanolp

Tills mer detaljerad information om framtida kaj användning finns att tillgå rekommenderas att riskbedömningar genomförs inför anlop av större fartyg vid kajerna närmast bron.

För Stenpiren och Packhuskajen bör det utföras riskbedömningar inför val av framtida kaj användning och innan avtal kan tecknas med de som ska nyttja kajerna.

Stapelkajen används inte som hamn med frekventa anlop men i framtiden behövs riskbedömningar i samband med anlop av större fartyg

9.2 Bortvalda åtgärder

Ytterligare skyddsåtgärder i form av exempelvis särskilda förstärkningspunkter placerade i älven (så kallade strong points), anläggande av konstgjorda grund eller ytterligare längre ledverk bedöms inte ekonomiskt eller praktiskt försvarbara att genomföra. Denna typ av ytterligare åtgärder innebär inte bara betydande kostnader. De skulle även medföra ytterligare intrång i det tillgängliga vattnet. Det påverkar förutsättningarna för sjötrafik negativt och därutöver skulle de medföra en ökad miljöpåverkan vid anläggning i älven.

Andra möjliga skyddsåtgärder skulle kunna vara:

- En kraftigare dimensionering av bron för än större påseglingslaster. Bron har redan förstärkts jämfört med referensalternativet. Huvudalternativet bedöms medföra en rimligt avvägd risknivå.
- Att hela bron stängs av för åtkomst vid broöppning. En avstängning av hela bron skulle i första anblicken kunna ha en riskminskande effekt men den fullständiga påverkan på fartygstrafiken och brons nytta genom längre tömningstider skulle ge negativa effekter för såväl sjöfart som brotrafikanter. Tiden från anrop till öppning kommer att behöva förlängas avsevärt eftersom det kommer att ta cirka 5 gånger längre tid att tömma hela bron jämfört med att tömma endast den öppningsbara delen. Därutöver kommer sannolikt nya personrisker uppstå om fotgängare och cyklister försöker hinna över bron under tömningssekvensen även om bommarna indikerar att bron är stängd för trafik. Om trafikanter fortsätter att strömma in under tömningssekvensen påverkas öppningstiden utöver den teoretiska tiden för den längre brosträckan. Sammantaget bedöms åtgärden inte lämplig eftersom den leder till ökad olycksrisk för trafikanter på bron, minskad nytta för trafikanter på bron samt möjliga förseningar för fartygstrafik.

För att bedöma rimligheten i ytterligare skydd kan antalet förväntade dödsfall kopplade till påsegling under anläggningens livstid vara relevant att studera. Med den sannolikhet för dödsfall som beräknats i referensalternativet hade förenklat 0,35 döda kunnat förväntas omkomma av påseglingsolyckor under 60 år. För huvudalternativet minskar det förväntade antalet döda till 0,004 döda (då har enbart åtgärder A-D inräknats). Detta innebär att sannolikheten för dödsfall har sänkts med 99 % mellan referensalternativ och huvudalternativ. Ytterligare skyddsåtgärder förväntas följaktligen kunna minska antalet omkomna med 0,004 personer. Den kvarstående möjliga minskningen bör ställas i relation till de negativa effekter ytterligare skyddsåtgärder skulle innebära. Resonemanget kan även

förfinas med Trafikverkets värdering av liv ASEK 8.0 (Trafikverket, 2024-04-02) och nuvärdesberäkningar. Det kan då konstateras att ytterligare investering i säkerhetshöjande åtgärder för huvudalternativet ger en mycket liten minskning av risken och kan inte motiveras ur ett nyttoperspektiv.

En åtgärd som identifierats är underhållsmuddring för sträckan mellan Frihamnspiren och förbi Hisingsbron. Där är farleden i dagsläget smalare och grundare än föreskrivet. Sjöfartsverket har ansvar för farleden och underhållsmuddring av denna. Denna utredning har visat att säkerheten även blir acceptabel och likvärdig genom ett förlängt säkerhetsavstånd, se åtgärd D i avsnitt 9.1. Underhållsmuddring av farleden är således fördelaktigt för gång- och cykelbron, eftersom det leder till kortare broöppning, men bedöms inte nödvändig sett till risk och säkerhet.

Riskenivån för den exempelbro (huvudalternativet) som undersöks kommer med en fullständig övergång till framtida Vänermax (maximalt antal bedömt av Trafikverket) fortsatt att vara i ALARP, om än högt, se bilaga 1. Det är mycket osäkert när i framtiden detta scenario skulle kunna inträffa och stora delar av farleden från Vänermax behöver ses över innan trafik med större Vänermax än dagens är möjlig.

9.3 Slutlig riskvärdering

Samtliga risker som har identifierats i föreliggande riskanalys har värderats som acceptabla, i vissa fall under förutsättning att säkerhetshöjande åtgärder vidtas.

Beräkningar av påseglingsrisk visar att individrisken är på en nivå som kan accepteras utan vidare skyddsåtgärder, medan samhällsrisken ligger på en nivå som kan accepteras om rimliga åtgärder vidtas.

Huvudalternativet omfattar kompletterande säkerhetshöjande åtgärder jämfört med referensalternativet. Dessa åtgärder och de ytterligare åtgärder som förutsätts och listas i avsnitt 9.1 kommer innebära att en acceptabel risknivå för gång- och cykelbron erhålls.

Det är inte möjligt att i genomförandestudien av gång- och cykelbron slutgiltigt bestämma utformningen av bron. Förutsatt att bron placeras enligt Figur 4 så ska i det fortsatta arbetet risknivån (samhällsrisken) för den slutgiltiga utformningen av anläggningen beräknas. Denna beräknade risknivå får inte överstiga ALARP som har bedömts innebära en rimligt avvägd risknivå i denna analys.

10 SLUTSATS

Maritima risker som är förknippade med den planerade gång- och cykelbron mellan Packhuskajen och Hugo Hammars kaj har behandlats enligt FSA-metoden (Maritime Safety Committee, 2018). Sammantaget bedöms risknivåer för gång- och cykelbron som uppstår kunna accepteras, förutsatt att bron placeras enligt Figur 4. För att risknivåerna ska vara acceptabla förutsätts att åtgärder vidtas, se Tabell 12. I tabellen är samtliga risker sammanfattade och de åtgärder som förutsätts. De viktigaste åtgärderna är beskrivna efter tabellen. Samtliga åtgärder beskrivs i sin helhet i avsnitt 9.1.

Tabell 12. Sammanfattning av sjöfartsrisker- och riskfaktorer som identifierats, analyserats, värderats och hanteras i denna utredning samt de tillkommande åtgärder som tillgodoses för att risken ska vara acceptabel.

Riskbeskrivning	Huvudsakliga åtgärder
1 Nedströmsgående lastfartyg har passerat genom Hisingsbron men lyckas inte få stopp i tid vid felande broöppning eller hinder och seglar på gång- och cykelbron	D. Säkerhetsavstånd
2 Nedströmsgående lastfartyg <12 m höjd har passerat genom Hisingsbron men lyckas inte få stopp i tid vid felande broöppning eller hinder och seglar på gång- och cykelbron (motsvarande risken ovan, fast för fartyg som inte behöver invänta broöppning på Hisingsbron)	D. Säkerhetsavstånd
3 Uppströmsgående lastfartyg har passerat genom gång- och cykelbron men tvingas väja p.g.a. felfungerande broöppning av Hisingsbron eller hinder vid Hisingsbron	<i>Ingen tillkommande åtgärd. Befintlig rutin gäller fortsatt.</i>
4 Ej manöverdugligt fartyg (p.g.a. exempelvis blackout) seglar på brobana eller brostöd utanför farleden	A. Ledverksutformning B. Broutformning
5 Manöverdugligt fartyg (på grund av exempelvis mänskligt fel) seglar på brobana eller brostöd utanför farleden	A. Ledverksutformning B. Broutformning
6 Påsegling av väntande fotgängare och cyklister (på gång- och cykelbron) på grund av någon av nämnda påseglingsrisker	A. Ledverksutformning B. Broutformning K. Strategisk placering av bommar L. Signal- eller högtalarsystem
7 Minskad manövrerbarhet p.g.a. mindre vattendjup i djuprännan mellan gång- och cykelbron och Hisingsbron (angivet djup i sjökort 6,3 meter)	D. Säkerhetsavstånd
8 Nedströmsgående mindre yrkesfartyg från Ringön som kräver öppning av gång- och cykelbron men inte av Hisingsbron, kan inte upprätthålla förlängt säkerhetsavstånd från Gotenius varv eftersom de aldrig befinner sig så långt uppströms (se mer om säkerhetsavstånd i avsnitt 7.1)	D. Säkerhetsavstånd N. Rutin för broöppning

Riskbeskrivning	Huvudsakliga åtgärder
9 Svårigheter att manövrera fartyg med släp/pråmar, från exempelvis Ringön, mellan broarna vid hinder eller problem med öppning	N. Rutin för broöppning <i>Förutsättningar som gäller vid Hisingsbron bedöms gälla även för gång- och cykelbron.</i>
10 Vid möte i smal passage mellan gång- och cykelbron och Hisingsbron kan fartyg tvingas gira, lägga sig på bredden och driva in i bron	O. Mötesförbudssträcka för större lastfartyg
11 Fritidsbåtar cirkulerar i farleden i väntan på broöppning och hamnar i vägen för lastfartyg på väg genom Hisingsbron och gång- och cykelbron	H. Väntbryggor I. Information om planerade öppningar
12 Kollision mellan fartyg som möts när de ska passera gång- och cykelbron	O. Mötesförbudssträcka
13 Gång- och cykelbron skymmer sikt för fartyg/broförare	E. Beakta siktförhållanden F. Kamera G. Varningssystem till fartyg
14 Utsläpp av farligt gods eller miljöfarligt ämne från fartyg vid olycka	A. Ledverksutformning B. Broutformning C. Farledsutformning O. Mötesförbudssträcka
15 Fartyg påverkas av strömmar vid bropassage och riskerar att komma ur kurs beroende på var broöppningen placeras	C. Farledsutformning
16 Svåra isförhållanden, till exempel istäcke eller isflak vid bron, försvårar fartygs framkomlighet eller manövrerbarhet	<i>Ingen tillkommande åtgärd. Isrensning sker vid behov.</i>
17 Broöppning felar vid hård vind så att gång- och cykelbron fastnar i stängt läge	B. Broutformning
18 Kumulativa effekter av flera samhällsbyggnadsprojekt och broar i älven som kan utgöra hinder för sjöfarten (svårare att manövrera och fler fartyg och strukturer att kollidera med)	C. Farledsutformning M. Trafikövergripande samverkansregler N. Rutin för broöppning
19 Pråm sliter sig och driver in i bron	A. Ledverksutformning B. Broutformning
20 Påsegling av bron vid tilläggning av fartyg vid närliggande kaj	B. Broutformning P. Riskbedömning inför kajanlöp
21 Missförstånd eller bristande kommunikation mellan broförare och fartyg	M. Trafikövergripande samverkansregler N. Rutin för broöppning
22 Ledverk skymmer sikt för fartyg/broförare	E. Beakta siktförhållanden F. Kamera
23 Ändrade förhållanden för farled orsakar olycka	A. Ledverksutformning B. Broutformning C. Farledsutformning D. Säkerhetsavstånd E. Beakta siktförhållanden J. Utmärkning - sjömärken

Ledverksutformning

Ledverk enligt placering i Figur 6, avsnitt 3.2, ska skydda bron. Ledverkens längd och vinklar mot farleden har bestämts med stöd i simuleringar och utformas eftergivliga för att minska effekterna av en påsegling.

Broutformning

Bron ska vara dimensionerad med energiupptagningsförmåga så att risknivån (samhällsrisk) för den slutgiltiga utformningen av anläggningen inte överstiger ALARP. Bron utformas robust men eftergivlig för att öka energiupptagningsförmågan och därmed minska effekterna av en påsegling. Bron dimensioneras för att klara broöppning i stark vind, medelvind 15 m/s.

Farledsutformning

Farleden ska utformas med stöd av genomförda simuleringar. Bland annat har broöppningens placering optimerats för fartygstrafiken.

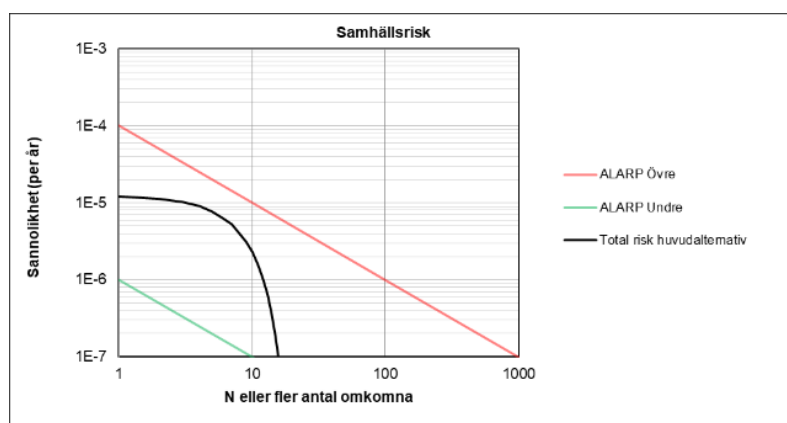
Säkerhetsavstånd

För de största nedströmsgående lastfartygen kommer säkerhetsavståndet norr om gång- och cykelbron initialt utgå från samma läge som för Hisingsbron, vilket är i höjd med Gotenius varv cirka 700 meter nordost om Hisingsbron. Säkerhetsavståndet blir då totalt cirka 1600 meter. När farleden är underhållsmuddrad, se 5.1.1, kan avståndet norr om bron minska till cirka 700 meter.

Säkerhetsavstånd söder om gång- och cykelbron ska vara cirka 500 meter nedströms bron för de största uppströmsgående lastfartygen.

Värderingar av osäkerheterna har utförts för att säkerställa att de inte påverkar slutresultatet i betydande utsträckning. Vid de fall där osäkerheten kan påverka har i de flesta fall ogynnsamma analysförutsättningar, ur risksynpunkt, valts för att inte underskatta risken. De största osäkerheterna är kopplade till prognos för framtida fartygstrafik till Väneren samt prognos för framtida utveckling av cykeltrafiken över Göta älv. För dessa har känslighetsanalyser utförts. Där resultatet är att risknivån även med ogynnsamma förutsättningar är acceptabel, inom ALARP.

De åtgärder som arbetats fram i genomförandestudien för olika broalternativ resulterar i en risknivå för huvudalternativet som bedöms vara på en rimlig nivå, praktiskt och ekonomiskt (se Figur 17). Detta särskilt efter krav på ytterligare åtgärder, se Tabell 12 ovan.




Figur 17. Samhällsrisk för huvudalternativet: Gång- och cykelbro med säkerhetshöjande åtgärder.

11 REFERENSER

- Banverket. (2005). *Sårbarhetsanalys Hamnbanan steg 2*. Banverket: BRVT 2005:01-2.
- Bengt Dahlgren Brand & Risk AB. (2018). *Risk PM - Inledande analys Hjulksvarnelund, Trollhättan*. Trollhättans stad.
- COWI. (2013). *Ny Götaälvbro. PM Riskanalys Påsegling – Järnvägsplan*.
- Göteborgs Stad. (2021). *Vägledning för hantering av risker vid anläggningar och transporterleder med farligt gods. Bilaga till översiktsplan*. Hämtat från https://geodata-external.sbk.goteborg.se/files/oversiktsplan/pm_farligt_gods.pdf
- IMO. (den 28 01 2025). *SOLAS 1974*. Hämtat från [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx)
- Länsstyrelsen Hallands Län. (2011). *Riskanalys av farligt gods i Hallands län*.
- Maritime Safety Committee. (2018). *Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process*. London: IMO (International Maritime Organization).
- PIANC. (2001). *Ship Collisions due to the Presence of Bridges*. International Navigation Association.
- RISE. (2025-01-15). *RE20231878-03-00-B*.
- Räddningsverket. (1997). *Värdering av risk*. Karlstad: Statens räddningsverk.
- Räddningsverket. (2003). *Handbok för riskanalys*. Räddningsverket.
- Sjöfartsverket. (2020). *Säkerhetsavstånd öppningsbara broar -fokus Trollhätte kanal*. Sjöfartsverket.
- Sjöfartsverket. (2025). <https://www.sjofartsverket.se/sv/tjanster/sjotrafiktjanster/vessel-traffic-service/vts-omrade-goteborg/>.
- Sjöfartsverket, L. (Mars 2024). *Fartygssimuleringarna på Chalmers (Rise/SSPAs lokaler)*. (K. Oom, Intervjuare)
- SSPA. (2012). *Skeppsbron - Maritim riskbedömning*. RE20115916-01-00-B.
- SSPA. (2014). *Risk och säkerhet i Mälarprojektet – Riskanalys för uppgradering av kanal, sluss och farled*. RE20116032-01-00-A.
- SSPA. (2015). *Maritim riskbedömning för utvecklingsprojekt Järnvågen med vattenverksamhet och ny DP för södra Älvstranden mellan Rosenlundskanalen och kajplatserna 22-24*. RE20115916-02-00-A.
- Sweco. (2025-03-23). *PM Samhällsekonomisk nyttokostnadsanalys*.
- Sweco. (2025-03-23). *PM Sjöfart*.
- Sweco. (2025-03-23). *PM Trafikanalys*. Göteborg.
- Trafikkontoret Göteborgs Stad. (2015). *Hisingsbron PM Farligt gods*.

- Trafikverket. (2024). Prognos Göta älv - Kustområde/stråk - Lindholmospiren - Marieholm (centrala Göteborg).
- Trafikverket. (2024-04-02). *Analysmetod och samhällsekonomiska kalkylvärden för transportsektorn ASEK 8.0.*
- Transportstyrelsen. (2025). *TSFS 2019:12.* Hämtat från Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om sjövägmärken.
- Transportstyrelsen. (2021). *TSFS 2021:95, Ändringar tom TSFS 2023:55 införda.*
- Transportstyrelsen. (den 17 april 2023). *Sjöolyckor Göta älv. Datauttag per e-post, sjöolyckshändelser (olyckor och tillbud).*
- Transportstyrelsen. (2025). Hämtat från <https://www.transportstyrelsen.se/sv/sjofart/Sjotrafik-och-hamnar/Sjotrafik1/Rapportering-i-VTS-omraden/>.
- Transportstyrelsen. (2025). <https://www.transportstyrelsen.se/sv/sjofart/Sjotrafik-och-hamnar/Sjotrafik1/Rapportering-i-VTS-omraden/>.
- Transportstyrelsen. (2025). <https://www.transportstyrelsen.se/sv/sjofart/Sjotrafik-och-hamnar/Sjotrafik1/Rapportering-i-VTS-omraden/>.
- Transportstyrelsen. (2025). *TSFS 2017:66.* Hämtat från Transportstyrelsens föreskrifter och allmänna råd om utmärkning till sjöss med sjösäkerhetsanordningar: <https://www.transportstyrelsen.se/sv/om-oss/dina-rattigheter-lagar-och-regler/forfattningssamling/ts-foreskrifter-i-nummerordning/2017/details?RuleNumber=2017:66&ruleprefix=TSFS>
- Transportstyrelsen. (den 28 01 2025). *TSS 2022-4406.* Hämtat från Transportstyrelsens rekommendationer för utformning av farleder: <https://www.sjofartsverket.se/globalassets/tjanster/sjomatning/tss-2022-4406-transportstyrelsens-rekommendationer-for-utformning-av-farleder-221109.pdf#:~:text=Dessa%20rekommendationer%20ger%20v%C3%A4gledning%20vid%20utformning%20och%20f%C3%B6r%C3%A4ndring>
- Överenskommelse. (2020-06-10). *Överenskommelse om gemensam och trafikslagsövergripande trafikledning i form av samverkansregler för trafiksystemet kring Göta älv, med avgränsning Storgöteborg v. 1.0.* Trafikverket, Sjöfartsverket, Göteborgs Stad, Västtrafik.

BILAGA 1	SWECO 
UPPDRAG Gång- och cykelbro Packhuskajen - Hugo Hammars kaj	DOKUMENT PM Maritim riskanalys
BILAGA Beräkningar påseglingsrisk	UPPDRAGSNUMMER 30054710

1 INLEDNING

Denna bilaga innehåller en sammanställning av samtliga analysfall och genomförda beräkningar som ligger till grund för uppskattning av risken för påsegling av gång- och cykelbrons olika delar med tillhörande individrisk och samhällsrisk.

Analysen har tagits fram av Anna Bjereld, civilingenjör i teknisk fysik med 17 års erfarenhet av riskanalys och säkerhetsfrågor. Detta med stöd av Johan Nimmermark, civilingenjör i riskhantering med över 17 års erfarenhet av riskanalyser och Mikaela Ljungqvist, civilingenjör i riskhantering med över tolv års erfarenhet från arbete med riskfrågor. Krister Oom har bidragit som specialist avseende sjöfartsfrågor. Krister är utbildad sjökaptän vid Chalmers med nio års erfarenhet som styrman, överstyrman och sjökaptän på olika fraktfartyg samt Viking Neptun konstruktionsfartyg.

Bilagan har granskats av Javad Homayoun och Jens Paulsson, där den sistnämnda även granskat beräkningsmodellen tillsammans med Martin Bjarke.

2 FÖRUTSÄTTNINGAR

2.1 Analysfall

Analysfall med varierande antaganden om gång- och cykelbron hanteras i denna bilaga. Riskberäkningar görs för följande alternativ.

- **Referensalternativet:** Gång- och cykelbro med grundläggande säkerhetshöjande åtgärder
- **Huvudalternativet:** Gång- och cykelbro med kompletterande säkerhetshöjande åtgärder

Analysen förutsätter en ökning i transportgodsvolym på 46 procent till år 2045 vilken i huvudalternativet antas uppfyllas genom fler transporter. I tillägg görs känslighetsanalyser med olika antaganden om framtida trafik.

- **Osäkerhetsfall 1:** Som huvudalternativet, med oförändrad transportgodsvolym (det vill säga samma godsvolym som transporterades år 2022)
- **Osäkerhetsfall 2:** Som huvudalternativet, med en farled som tillåter införandet av större godsartyg, så kallade nya Vänermaxfartyg

Antaganden för de olika analysfallen redovisas i Tabell 1. Innebörden av antagandena preciseras i avsnitt 2.1.1–2.1.4.

Tabell 1. Analysantaganden för redovisade analysfall.

Analysfall	Broutformning	Godsmängd	Fartygsflotta	Gång- och cykeltrafik	Hänvisning
Referensalternativet	Grundläggande säkerhetshöjande åtgärder	+46%	Oförändrad	Prognos 2050	Avsnitt 8.2.1
Huvudalternativet	Kompletterande säkerhetshöjande åtgärder	+46%	Oförändrad	Prognos 2050	Hela bilagan
Osäkerhetsfall 1	Kompletterande säkerhetshöjande åtgärder	±0%	Oförändrad	Prognos 2050	Avsnitt 8.2.2
Osäkerhetsfall 2	Kompletterande säkerhetshöjande åtgärder	+46%	Nya Vänermax	Prognos 2050	Avsnitt 8.2.2

2.1.1 Broutformning

Planerad gång- och cykelbro ska utföras som en cirka 400 meter lång bro med en öppningsbar del. Den öppningsbara delen kommer att utformas som en dubbelklaffbro. Brons överbyggnad utformas av stål. Då bron kommer att vara öppningsbar kommer brostöden för den öppningsbara delen behöva utformas betydligt större än övriga brostöd för att få plats med teknik-, drift- och personalutrymmen, maskineri samt för att bära de rörliga brodelarna. Dessa större brostöd benämns klaffkamarstöd. Den fasta brodelen kan utföras i både stål och betong. Bron grundläggs på stålrörspålar utformade i par.

Säkerhetshöjande åtgärder för att skydda bron och dess trafikanter har utretts i flera steg.

Referensalternativet

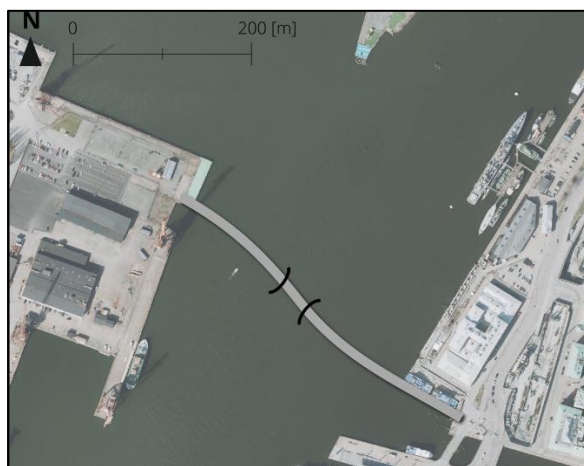
Initialt utreddes en enkel bro som inte var dimensionerad för att tåla påsegling med större fartyg och vars ledverk var kortare än de sist föreslagna. Detta tidiga förslag på broutformning kallas **referensalternativet** och visas i Figur 1. Referensalternativet definieras av följande **grundläggande säkerhetshöjande åtgärder** med koppling till de risker som analyseras i denna bilaga:

- **Ledverk:** Referensalternativet har korta ledverk som skyddar bron närmast farleden och klaffkammarsstöden från påsegling.
- **Kapacitet:** Den fasta bron tål i referensalternativet påsegling med ett Vänermaxfartyg som seglar i 1 knop (motsvarande en rörelseenergi på 0,75 MJ) utan att det resulterar i brokollaps.

Huvudalternativet

När referensalternativet visade sig innebära en oacceptabelt hög risk så har projektet föreslagit en rad åtgärder som reducerar såväl sannolikheten för påsegling som dess möjliga konsekvenser. Bland annat har bron fått längre ledverk och dimensionerats för påsegling med större last. Detta alternativ, som kompletterats med ytterligare säkerhetshöjande åtgärder, kallas **huvudalternativet** och redovisas i Figur 2. Huvudalternativet definieras av följande **kompletterande säkerhetshöjande åtgärder** med koppling till de risker som analyseras i denna bilaga:

- **Ledverk:** Ledverken ska vara cirka 115 meter på tre sidor om bron och cirka 150 meter på nordöstra sidan om bron (närmast Packhuskajen), mätt från mitten av brobanan. Ledverksförlängning eller dykdalber kan tillkomma på en sträcka av 5–10 meter uppströms för att förbättra möjligheterna till nödtilläggning.
- **Kapacitet:** Den fasta bron tål i huvudalternativet påsegling med ett Vänermaxfartyg som seglar i minst 2,3 knop (motsvarande en rörelseenergi på 4,1 MJ) utan att det resulterar i brokollaps. I delar av bron är påseglingskapaciteten ännu högre.



Figur 1. Principiell referensalternativet, ledverk markerade med svarta bågar.



Figur 2. Broskiss huvudalternativet med längder på ledverk angivet

2.1.2 Godsmängd

Enligt Trafikverket kan mängden transporterat gods i Göta älv öka med 46 procent till år 2045, från 1 827 056 ton år 2019 till 2 669 089 ton (Trafikverket, 2024). I analysen hanteras denna prognosticerade godsvolymökning som en förutsättning. Möjligheten att ökningen skulle utbli hanteras i ett känslighetsanalysfall.

2.1.3 Fartygsflotta

Beräkningarna utgår från fartygstrafik som registrerats i AIS-data från Sjöfartsverket. Endast fartyg med ett uppskattat displacement över 800 ton ingår i beräkningarna av risknivån. Fartyg med lägre displacement tas inte med eftersom bron kommer att konstrueras för att tåla påsegling med ett mindre fartyg utan att den skadas strukturellt.

År 2022 registrerades 25 522 fartygspassager med AIS förbi gång- och cykelbrons planerade läge¹. Borträknat passager med linjetrafik och fartyg till Frihamnen som inte kommer att trafikera efter att gång- och cykelbron tas i drift uppgår antalet passager till 10 102. Av dessa gjordes 1 302 passager med stora fartyg vars deplacement uppskattas till över 800 ton, se kolumn *Antal passager – 2022* i Tabell 2.

I analysen är grundförutsättningen att fartygsflottans sammansättning avseende fartygsstorlekar kommer att vara densamma även i framtiden. Förutsättningarna i avsnitt 2.1.2 innebär dock en ökning i antal fartygspassager för att transportera den större godsmängden, se kolumn *Antal passager – 2045 (oförändrad fartygsflotta)* i Tabell 2.

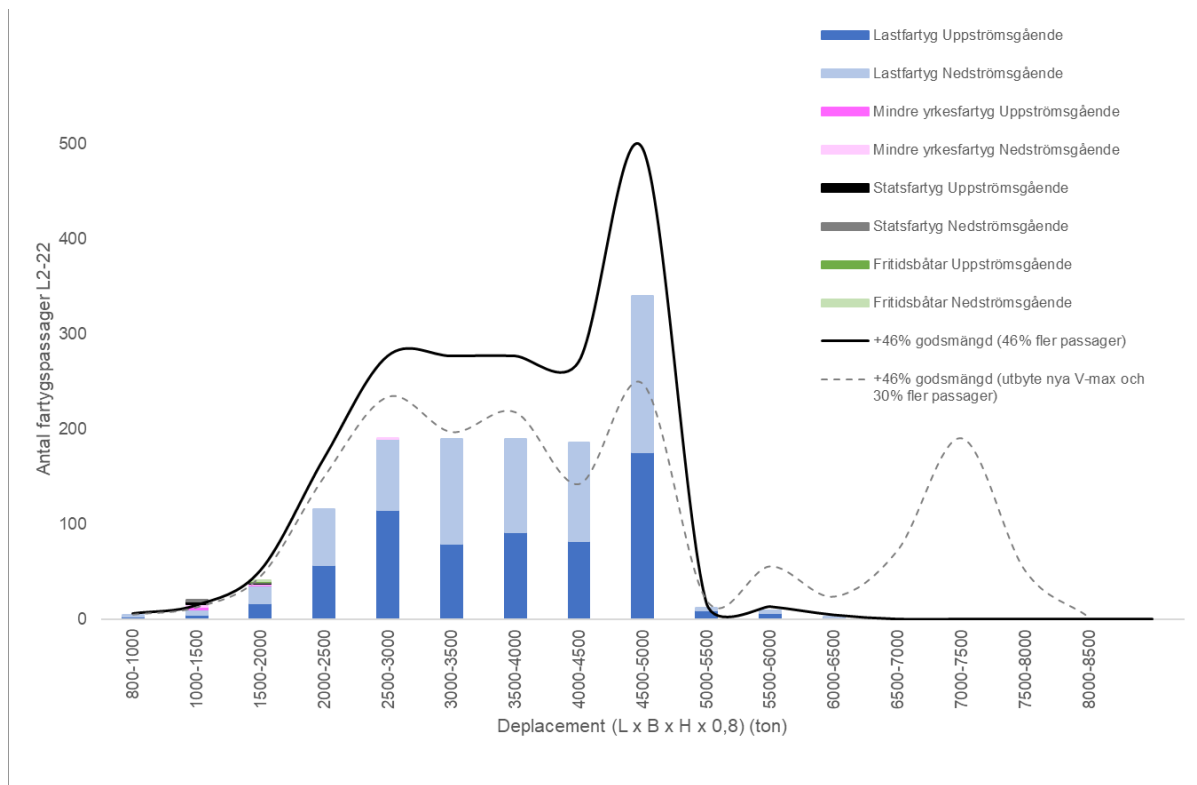
Det finns en möjlighet att fartygstrafiken upp till Vänermax delvis kommer att ersättas med större fartyg av typen nya Vänermax. Möjligheten att nya Vänermaxfartyg ingår i fartygsflottan i framtiden hanteras i ett känslighetsanalysfall, se kolumn *Antal passager – 2045 (med nya Vänermax)* i Tabell 2.

Tabell 2. Antal fartygspassager förbi läget för gång- och cykelbron, uppdelat på uppskattat deplacement och riktning. Antal passager år 2045 förutsätter att godsmängden ökar med 46 % för både oförändrad fartygsflotta och med nya Vänermax. Notera att indelningen bygger på faktiskt uppskattat deplacement varför ett tomlastat fartyg med dimensioner större än Vänermax räknas som "upp till nuvarande Vänermax" i denna uppdelning efter deplacement.

Kategori	Deplacement	Riktning	Antal passager		
			2022	2045 (oförändrad fartygsflotta)	2045 (med nya Vänermax)
Fartyg med deplacement upp till nuvarande Vänermax	800–5 152	Uppströmsgående	636	929	637
		Nedströmsgående	648	946	645
Fartyg med deplacement större än nuvarande Vänermax	>5 152	Uppströmsgående	13	19	207
		Nedströmsgående	5	7	203
Totalt			1 302	1 901	1 692

Mindre yrkesfartyg, myndighetsfartyg och fritidsbåtar har generellt ett deplacement under 800 ton. De passerande lastfartygens deplacement ligger i huvudsak mellan 800 och 5 200 ton, se Figur 3.

¹ En detaljerad redovisning av fartygstrafiken inklusive fritidsbåtar som inte ingår i AIS-dataunderlaget återfinns i dokumentet *PM Sjöfart* (Sweco, 2025-03-23).



Figur 3. Fördelning displacement för fartyg som passerat läget för gång- och cykelbron år 2022. Passager med fartyg med displacement under 800 ton (främst fritidsbåtar, mindre yrkesfartyg och myndighetsfartyg) som står för huvuddelen av alla passager syns inte i diagrammet. Förutsatt ökning i godsmängd om 46 % är utritade som linjer som visar alternativa sätt att hantera godsökningen.

För samtliga identifierade risker beror hastigheten vid påsegling på fartygets initiala hastighet. Den initiala hastigheten antas vara den som fartygen håller vid passage av broläget enligt AIS-datan, dock högst 5 knop för uppströmsgående fartyg och 5,7 knop för nedströmsgående fartyg² i enlighet med gällande fartbegränsning. Några beskrivande parametrar om hastigheten vid passage redovisas i Tabell 3.

² Det är sällsynt med ström- och vindförhållanden som driver fartyg uppströms i Göta älv. Strömhastigheten antas utgöra en skillnad på 0,7 knop i nedströmsgående riktning mellan fartygets fart genom vatten och fart över grund.

Tabell 3. Antagen initial hastighet för fartyg vid passage av läget för gång- och cykelbron. Den initiala hastigheten bestäms utifrån uppgifter om fartygens hastighet enligt AIS-datan, dock högst 5 knop för uppströmsgående fartyg och 5,7 knop för nedströmsgående fartyg. v_{medel} är den genomsnittliga antagna hastigheten för fartygen i respektive färdriktning. v_{95} % den hastighet som 95 % av fartygen antas ligga under när de passerar läget för bron och den redovisas för att ge en indikation på spridningen. Tabellen avser fartyg med displacement över 800 ton.

Riktning	Fart över grund (knop)	
	v_{medel}	$v_{95\%}$
Uppströmsgående	4,5	5,0
Nedströmsgående	5,6	5,7

2.1.4 Gång- och cykeltrafik

Beräkningarna bygger på att antalet cykeltrafikanter på bron motsvarar prognosen för år 2050 (huvudkalkyl), i vilken antalet cyklister uppgår till drygt 17 500 per dygn. Antalet fotgängare uppskattas till 6 400 per dygn.

2.2 Bedömningar

Frekvensberäkningarna bygger också på bedömningar av följande uppgifter.

- Kritiska sträckor i farleden längs vilka ett mänskligt eller tekniskt fel kan leda till olyckor mellan fartyg och bro
- Sannolikheter (per år) för påsegling av olika brodelar vid mänskligt fel eller roderfel
- Sannolikheter (per behov) för lyckad motåtgärd från besättningen som avbryter olycksförloppet

2.3 Påseglingskandidater

Alla fartyg som drabbas av ett mänskligt eller tekniskt fel kommer inte att segla på bron. I maritim riskanalys används begreppet *påseglingskandidater* om fartyg som håller en sådan kurs att de efter ett inledande fel riskerar att segla på en fast struktur (Pedersen, 1995).

I denna analys uppskattas andelen påseglingskandidater genom vektoranalys för drivande fartyg där fartygen kan antas fortsätta i sin rörelseriktning efter den inledande händelsen. Analysen görs i de fall där bedömningar enligt avsnitt 2.2 är svåra, osäkra och har stor resultatpåverkan, vilket gäller för följande händelseförlopp³:

- Uppströmsgående fartyg, maskinhaveri 400–500 m före bron
- Uppströmsgående fartyg, maskinhaveri 300–400 m före bron
- Uppströmsgående fartyg, maskinhaveri 250–300 m före bron
- Nedströmsgående fartyg, maskinhaveri 600–700 m före bron
- Nedströmsgående fartyg, maskinhaveri 500–600 m före bron
- Nedströmsgående fartyg, maskinhaveri 400–500 m före bron
- Nedströmsgående fartyg, maskinhaveri 300–400 m före bron
- Nedströmsgående fartyg, maskinhaveri 250–300 m före bron

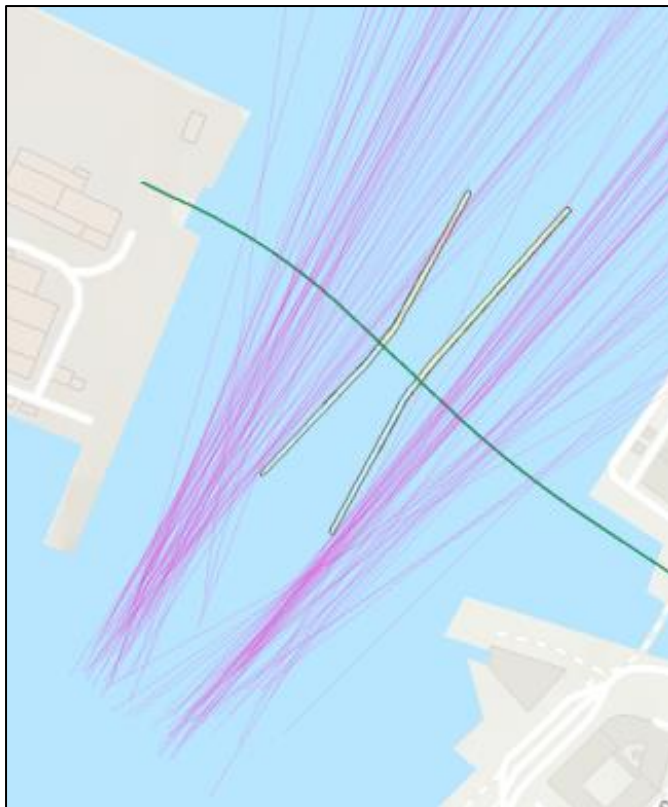
Baserat på historisk AIS-data inom definierade kritiska områden identifieras andelen fartyg med en kurs som pekar mot fastland, ledverk och olika delar av bron. Analysen görs med hjälp av ArcGIS Pro som är en programvara där geografiska data kan analyseras och visualiseras.

³ Motiv vill varför dessa sträckor är i fokus återfinns i Tabell 14.

Samtliga AIS-punkter i dataunderlaget är definierade med en kurs över grund. Med hjälp av ett antal analysverktyg i ArcGIS Pro översätts AIS-punkternas kurs över grund till linjer. Utifrån linjerna går det att studera vid vilka AIS-punkter inom ett kritiskt område som fartyg har en peka-på-kurs mot bron. Som motiveras nedan är den bästa uppskattningen att fartyget kommer att fortsätta driva i sin rörelseriktning vid maskinhaveri (så länge fartyget inte ligger i gir). Ledverk och fastland modelleras med en buffertzona motsvarande fartygets avstånd mellan AIS-transponder och fartygets ytterkant. Fartyg med peka-på-kurs mot olika segment av den fasta bron räknas som en kandidat för påsegling. Ett exempel på fartyg med peka-på-kurs mot den fasta delen av bron illustreras i Figur 4.

Metoden används för att definiera hur stor andel av samtliga fartyg med ett displacement över 800 ton som på olika avstånd riskerar att segla på den fasta delen av bron och därmed utgör geometriska kandidater för påsegling. Detta är ett steg för att beräkna sannolikheten för påsegling av olika delar av bron.

Sammanfattningsvis ger analysen i ArcGIS Pro en statistisk uppskattning av hur stor andel av alla passager som utgör geometriska kandidater för påsegling och vilket segment av bron som är exponerat. Uppskattning av avdrift tillför osäkerheter utan att öka validiteten på resultatet. Metodiken överensstämmer med synsättet i Pedersen (1995), men skiljer sig i två avseenden. Dels uppskattas andelen geometriska kandidater direkt utifrån datan, utan att någon kurvanpassning görs. Dels utgår metodiken från de individuella fartygens unika kurs, i stället för att anta att alla fartyg färdas längs en rak linje parallellt med farleden.



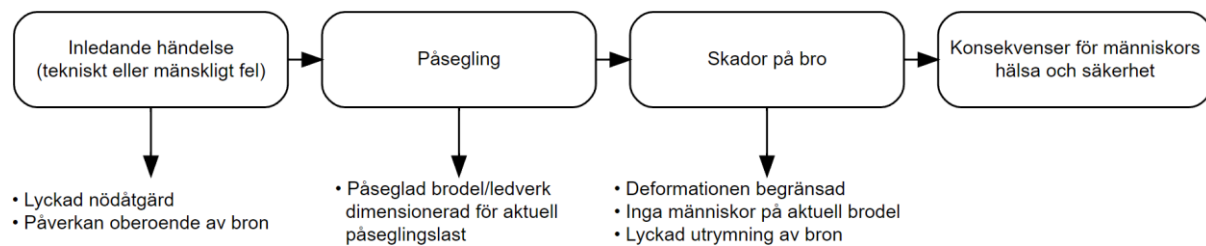
Figur 4. Peka-på-kurs mot brobana, exempel för uppströmsgående lastfartyg <300 meter från bron. Notera att figuren endast visar peka-på-kursen hos de AIS-punkter där fartyg pekar på den oskyddade brobanan vilka utgör en mindre andel av det totala antalet observationer. Huvuddelen av observationerna har peka-på-kurs på ledverken eller det öppningsbara brospannet vilka inte syns i figuren.

Sammantaget ger vektoranalysen en konservativ bedömning av risken för påsegling eftersom fartygen i framtiden, jämfört med fartygen i AIS-dataunderlaget, förväntas anpassa sin rutt efter gång- och cykelbron och därmed ha en mer fördelaktig peka-på-kurs inom den del som skyddas av ledverken.

3 BESKRIVNING AV HÄNDELSEFÖRLOPP

I detta kapitel ges en i huvudsak kvalitativ översikt över tänkbara påseglingsscenarier och hur de hanteras i riskanalysen.

I Figur 5 nedan presenteras en övergripande bild av hela händelseförloppet som i slutändan utgör påseglingsrisken kopplat till gång- och cykelbron.



Figur 5. Schematisk skiss över händelseförloppet som ligger till grund för beräkningarna av påseglingsrisiker. De horisontella pilarna mellan rutorna representerar hur risknivån för påsegling och dess konsekvenser beräknas; de vertikala pilarna representerar en händelseutveckling som leder till ett mindre negativt utfall.

Olika scenarier har olika frekvenser och konsekvenser beroende på bland annat om de orsakats av ett tekniskt eller mänskligt fel, storlek och hastighet på fartyg, vilken del av bron som träffas samt vilken hastighet fartyget har när det träffar bron. Varje inledande händelse delas upp i olika delscenarier för uppströms- eller nedströmsgående fartyg, olika delsträckor där felet inträffar och tillgängliga möjligheter att vidta avhjälpande åtgärder. I beräkningarna ansätts parametrar som är specifika för varje fartyg och delscenario.

3.1 Inledande händelse

Risken avser påsegling på grund av ett fel ombord på fartyget som gör att det seglar utanför ledverken (på grund av att det avviker från kurs eller driver). Risker där externa faktorer är bidragande analyseras i huvudrapporten.

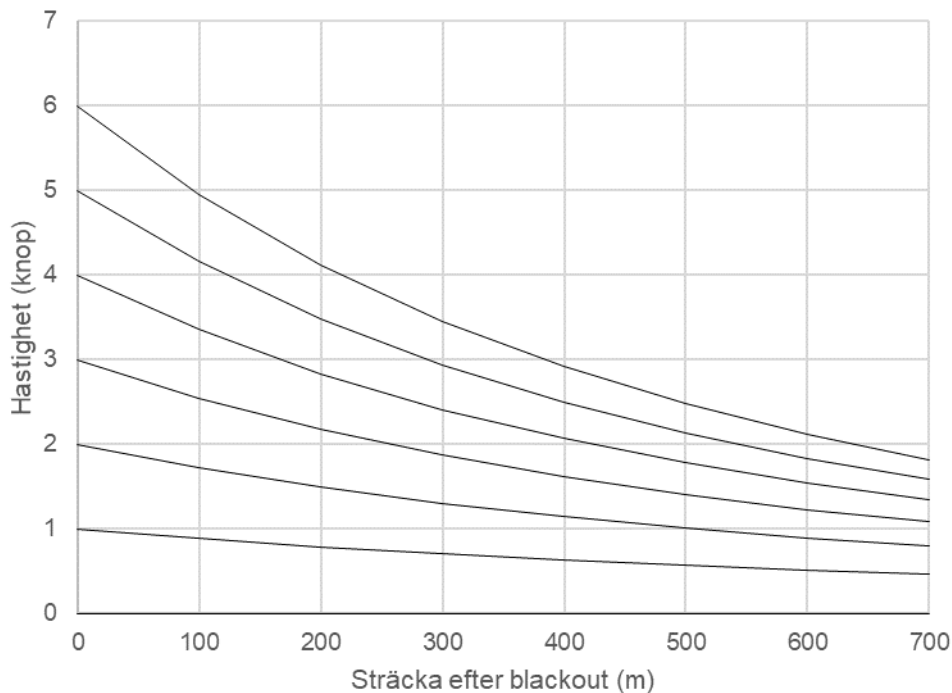
I följande underavsnitt beskrivs händelseförloppet vid inledande händelser som underlag för beräkningarna i kapitel 4.

3.1.1 Drivande fartyg

Ett fartyg kan förlora sin framdrivningsförmåga och börja driva. Utan aktiv framdrivning är möjligheterna att kontrollera fartygets kurs begränsade och fartygets kurs kommer att påverkas av yttre krafter såsom strömmar och vind. Fartyget antas fortsätta driva i sin rörelseriktning med oförändrad kurs. Det kommer dock att sakta in av vattnets motstånd och fartreducerande åtgärder som besättningen vidtar.

Uppströms- och nedströmsgående fartyg som förlorar framdrivningsförmågan före bropassage kan driva in i gång- och cykelbron. Även uppströmsgående fartyg som förlorar framdrivningsförmågan efter att de passerat gång- och cykelbron kan driva in i bron efter att de bromsats in (av strömmen och vattnets motstånd) och börjat driva nedströms i älvens flödesriktning.

Fartygens initiala hastighet beskrivs i avsnitt 2.1. Fartyg som förlorat framdrivningsförmågan antas segla på bron med reducerad hastighet som beror på hur långt avståndet är till bron när blackouten inträffar. Hur stor retardation som antas framgår av Figur 6.



Figur 6. Antagen fartreduktion för ett fartyg som förlorat framdrivningsförmågan, baserat på vilken hastighet genom vatten fartyget har när scenariot inleds, samt hur lång sträcka fartyget driver.

Antagen hastighet vid påsegling vid maskinhaveri som funktion av hur långt fartyget drivit redovisas i Tabell 4.

Tabell 4. Påseglingshastighet vid maskinhaveri (inbromsning enligt retardationskurvor i Figur 6 utifrån initial hastigheten i Tabell 3). v_{medel} är den genomsnittliga antagna påseglingshastigheten för fartygen i respektive färdriktning. Hastigheten vid påsegling kommer att vara olika beroende på avståndet mellan maskinhaveriet och bron. Tabellen avser fartyg med displacement över 800 ton. Uppströmsgående fartyg som börjar driva mer än 500 meter från bron bedöms inte kunna segla på bron, se avsnitt 3.1.1.

Riktning	Fart över grund v_{medel} [knop] vid påsegling efter att ha drivit en sträcka					
	200 m	300 m	400 m	500 m	600 m	700 m
Uppströmsgående	2,9	2,3	1,9	1,5	-	-
Nedströmsgående	4,1	3,6	3,1	2,8	2,5	2,3

I analysen ingår att uppskatta om och i så fall var ett drivande fartyg seglar på gång- och cykelbron. Detta beror till största del på fartygets position och kurs när det började driva.

- **Strömmen** i älven bedöms inte ha så stor påverkan på ett drivande fartyg att den kan tvinga ut fartyget mot brons sidospänn.
- **Vinden** kan påverka fartyget i olika riktningar beroende på vart det blåser. Den förhärskande vindriktningen i Göteborg är från syd till sydväst men vid högre vindstyrkor är vinden ofta västlig. Medelvindhastigheten är 2,7 m/s och under sådana vindförhållanden bedöms vindens påverkan på ett fartygs rörelseenergi vara begränsad jämfört med fartygets egen rörelseenergi innan det saktat ner. Andelen mätningar⁴ där vindhastigheten är över 10 sekundmeter uppgår till 0,1 %.

⁴ Medelvärde under 10 minuter på 3 meters höjd, mätperiod 1999-03-01–2024-01-01 (SMHI, 2024).

Även om vind och strömmar kan påverka ett fartyg och till exempel få ett fartyg att börja driva sidledes när det saktat ner så bedöms det inte finnas någon tydlig trend som påverkar ett drivande fartyg att driva långt ut från farleden samtidigt som det håller hög fart. När ett fartyg saktat ner tillräckligt för att helt styras av strömmar och vind så bedöms dess hastighet vara så låg att det inte allvarligt kan skada bron. Den bästa konservativa uppskattningen av vart fartyget driver vid ett maskinhaveri är således att det fortsätter i sin rörelseriktning.

Den vanligaste orsaken till att fartyg driver är att det drabbats av **maskinhaveri**. Frekvensberäkningen för drivande fartyg utgår från denna händelse.

Fartyg kan även börja driva efter en olycka såsom **fartygskollision**. Om en kollision inträffar nära gång- och cykelbron skulle ett fartyg kunna skadas och driva in i bron, liknande scenariot efter ett maskinhaveri. Kollision mellan två lastfartyg i hög fart är den typ av kollision som bedöms kunna leda till konsekvenser där bron skadas. Eftersom lastfartyg passerar läget för gång- och cykelbron i förhållandevis låg fart och inte kommer att mötas mellan Hisingsbron och gång- och cykelbron (se huvudrapport) bedöms inte denna händelse ha signifikant betydelse för frekvensen för drivande fartyg.

Scenariot med **drivande pråm** liknar scenariot med ett fartyg som förlorat framdrivningsförmågan. Ingen frekvens beräknas eftersom händelseutvecklingen bedöms täckas in av scenariot med drivande fartyg till följd av maskinhaveri vars frekvens är högre än för drivande pråm sett till dess större andel av det totala antalet fartygspassager.

3.1.2 Kursavvikelse

Ett fartyg kan avvika från avsedd kurs till följd av ett roderfel eller mänskligt fel. Vid passage av gång- och cykelbron bedöms en kursavvikelse kunna leda till påsegling av bron.

Roderfel innebär att roderets läge inte kan ändras eller att det låser sig i ett bestämt läge (exempelvis vid fullt roderutslag) på grund av ett hydrauliskt, mekaniskt eller elektriskt fel. Roderfel är sällsynta men inkluderas i analysen på grund av att fartyg vid händelsen kan fortsätta att följa en oönskad kurs utan möjlighet att korrigera den vilket kan leda till att fartyg hamnar utanför ledverken och seglar på den fasta bron. Fartyg med roderfel kommer att sakta in av giren och eventuella fartreducerande åtgärder som besättningen vidtar. Påsegling av gång- och cykelbron antas förenklat ske 2 knop under fartygets initiala hastighet.

Mänskliga fel är en vanlig bakomliggande orsak till olyckor. Utebliven gir, gir vid fel tidpunkt eller med fel vinkel kan resultera i att fartyget avviker från den avsedda ruten. Passage av gång- och cykelbron kräver stor uppmärksamhet av den som framför fartyget och de större fartygen (längre eller bredare än 60 meter×9 meter) är lotspliktiga. Mänskliga fel förväntas därför begränsas till mindre kursavvikelser i farleden. Påsegling av gång- och cykelbron antas förenklat ske 2 knop under fartygets initiala hastighet till följd av de fartreducerande åtgärder som besättningen vidtar.

Antagen hastighet vid påsegling vid kursavvikelse redovisas i Tabell 5.

Tabell 5. Påseglingshastighet (fart över grund) vid kursavvikelse (2 knop lägre än den initiala hastigheten i Tabell 3). v_{medel} är den genomsnittliga antagna påseglingshastigheten för fartygen i respektive färdriktning. $v_{95\%}$ den hastighet som 95 % av fartygen antas ligga under vid bropåsegling och den redovisas för att ge en indikation på spridningen. Tabellen avser fartyg med displacement över 800 ton.

Riktning	Fart över grund v_{medel} [knop] vid påsegling efter att ha saktat ned 2 knop	
	v_{medel}	$v_{95\%}$
Uppströmsgående	2,5	3,0
Nedströmsgående	3,6	3,7

3.2 Påsegling

Konsekvenserna av en påsegling beror på i vilken del bron och dess ledverk träffas. Brons utformning framgår av Figur 2.

I följande underavsnitt beskrivs händelseförloppet vid påsegling som underlag för beräkningarna i kapitel 5.

3.2.1 Ledverk

Ledverk (se Figur 2) skyddar gång- och cykelbrons fasta delar mot påsegling. Ledverken ska utformas och dimensioneras så att de tar upp påseglingslaster från aktuella fartyg. Det största fartyget som ledverken ska dimensioneras för är nya Vänermax. Ledverken fungerar genom att de deformeras och tar upp fartygens aktuella energi (beroende på fartygens storlek, fart och riktning) och förhindrar krock med den fasta bron.

Scenarier som leder till påsegling av ledverk analyseras ej vidare.

3.2.2 Klaffkamarstöd

Inget troligt scenario med direkt påsegling av klaffkamarstöd har identifierats. Ledverken fungerar genom att de deformeras och tar upp fartygens aktuella energi. På grund av det korta avståndet mellan ledverk och klaffkammare kan det inte uteslutas att en påsegling av ledverken teoretiskt kan påverka även klaffkammare. Klaffkamarstöden dimensioneras för att behålla sin strukturella integritet⁵ vid påsegling om ett fullastat fartyg (inklusive Surtemaxfartyg och eventuella nya Vänermaxfartyg) kommer i kontakt med klaffkamarstöden efter påsegling av ledverk. En påsegling av ledverk nära klaffkammare bedöms därför inte påverka säkerheten för människor på klaffkammaren.

Scenarier som leder till påsegling av klaffkamarstöd analyseras ej vidare.

3.2.3 Broklaff

I en viss andel av scenarierna som leder till påsegling av gång- och cykelbron är påseglingens kursen riktad mot det öppningsbara brospannet. Om broklaffen är öppen, vilket den är i de scenarier där ett stort fartyg ska passera, bedöms fartyget kunna passera bron utan att allvarligt skada broklaffen.

I några scenarier där ett uppströmsgående fartyg får blackout *efter* att det passerat gång- och cykelbron kan fartyget börja driva nedströms och driva mot det öppningsbara brospannet. Om broklaffen har hunnit stänga efter att fartyget passerat så kommer fartyget driva tillbaka mot den stängda broklaffen på vilken gång- och cykeltrafikanter kan befinna sig. I sådana scenarier, där fartyget driver tillbaka mot broklaffen, beräknas den tillgodovarande tiden vara tillräcklig för att bron ska kunna evakueras och återöppnas innan fartyget driver in i broklaffen.

Hantering av risken för påsegling på bro (och broklaffarna) som orsakas av att bron inte öppnar beskrivs i huvudrapporten.

Följaktligen har inget troligt scenario med påsegling av broklaffen identifierats. Scenarier som leder till påseglingens kurs mot det öppningsbara brospannet inklusive påsegling av broklaff analyseras ej vidare.

3.2.4 Bropelare

Bropelarna är dimensionerade för att tåla påsegling med ett mindre fartyg. Om det är ett större fartyg som seglar på en bropelare sker även påsegling av brobanan. Bropelare och brobana är styvt kopplade till varandra. Påsegling av brobana representerar i denna analys ett paraplyfall som även inkluderar konsekvenserna av påsegling av bropelare med ett större fartyg, se avsnitt 3.2.5.

⁵ Strukturell integritet avser i denna rapport förmågan att stå emot och säkert bära de belastningar och krafter som brodelen är avsedd för, utan att förlora funktion eller riskera säkerheten för dess användare.

3.2.5 Brobana

Brobanan, den fasta delen av bron, behåller sin strukturella integritet om ett fartyg med ett displacement på 800 ton seglar på bron. Beroende på fartygets storlek och hastighet och brons kapacitet i det segment där den blir påseglad kan brobanan även tåla påsegling av ett större fartyg. Bropelarna och brobanan fungerar tillsammans som ett räcke som är svagast i räckesändarna där fastbrodelen övergår i pir och brobanan har en skarv (fri ände i praktiken). Ju längre från ändarna som påseglingen sker, desto fler bropelare samverkar och håller emot och bron blir som starkast i mitten på denna sträcka, i stödläget, men även väldigt stark i sidospannen, eftersom flera bropelare mobiliseras vid en påsegling.

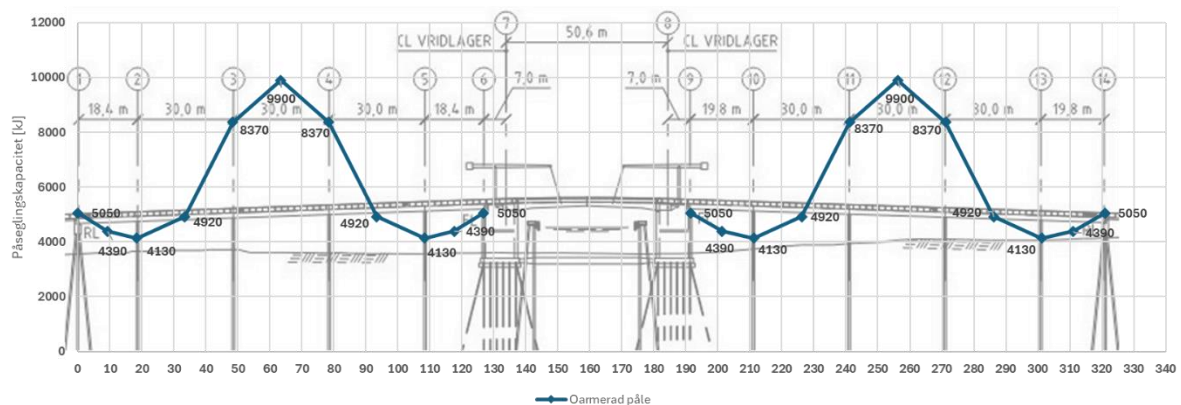
För de scenarier där ett större fartyg seglar på den fasta brobanan ansätts konsekvensen utifrån vilken del av brobanan som blir träffad och vilken last brobanan (i samverkan med bropelarna) tål i det segmentet. Om brobanans påseglingkapacitet är större än fartygets rörelseenergi så antas inga konsekvenser som innebär så allvarlig brodeformation att det innebär en risk för människors liv och hälsa. Om brobanans påseglingkapacitet däremot är mindre än fartygets rörelseenergi så antas det leda till så pass allvarliga skador på bron att det innebär en risk för de människors liv och hälsa som befinner sig på bron.

Scenarier där brobanan kan ta upp fartygets rörelseenergi analyseras ej vidare. Längsmed Packhuskajen förväntas djupförhållandena i älven bromsa in större fartyg. Nedströmsgående fartyg med ett djupgående över 4,5 meter antas därför i analysen bromsas av djupförhållandena innan de seglar på brobanan på fastlandssidan. Dessa scenarier analyseras inte heller vidare.

3.3 Skador på bro

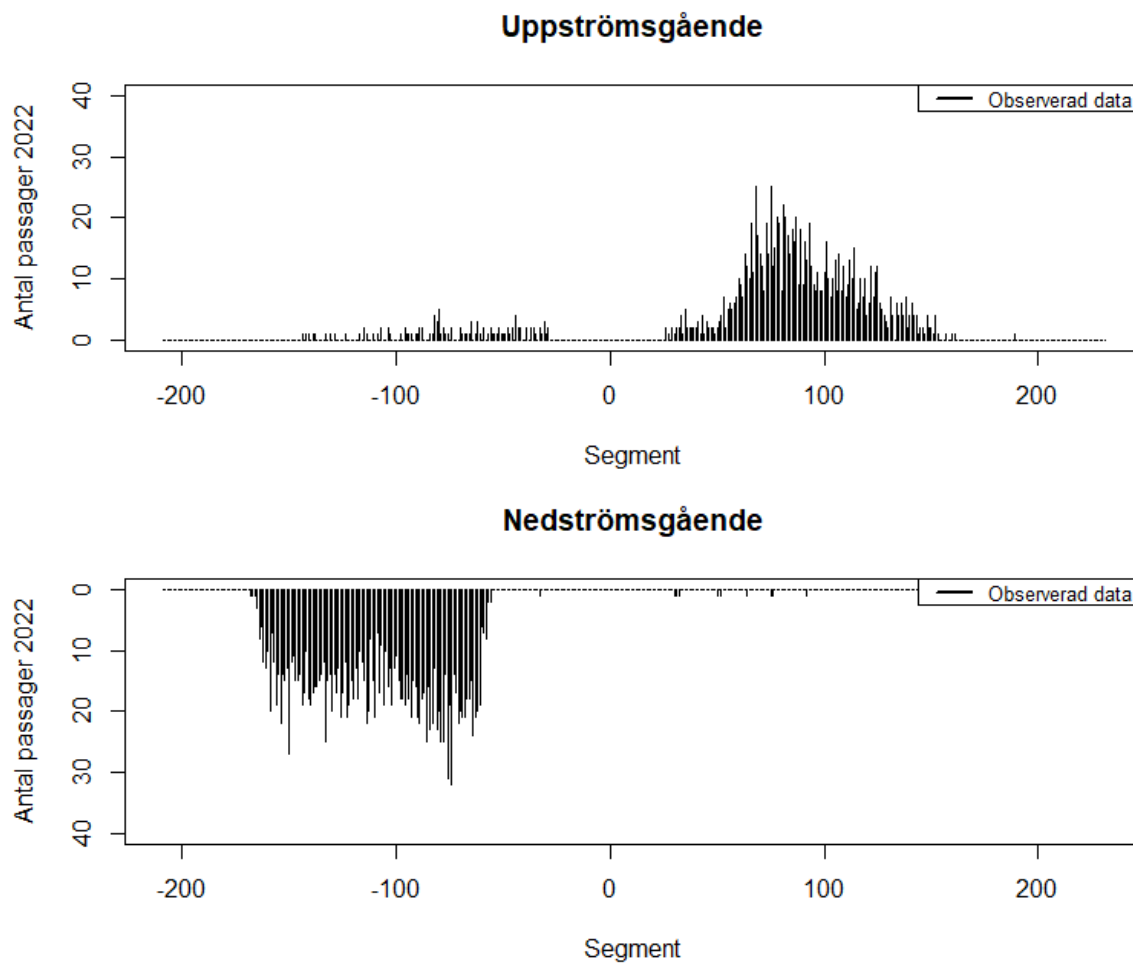
I detta avsnitt beskrivs händelseförloppet när bron skadas som underlag för beräkningarna i kapitel 6.

I Figur 7 nedan ges exempel på en utformning som bron kan tänkas ha. Som framgår av figuren är brobanan mer benägen att ta skada i vissa punkter (där påseglingkapaciteten är låg) medan den i andra punkter tål påsegling i högre hastighet med större fartyg.



Figur 7. Exempel på broformning med brospann 30 meter. Den heldragna linjen visar brons påseglingkapacitet i olika punkter.

Fartyg som drabbas av ett maskinhaveri antas initialt fortsätta i sin rörelseriktning. Genom att studera vilken kurs passerande fartyg har vid olika avstånd från bron kan således brobanans exponering för påsegling i olika segment uppskattas, se Figur 8.



Figur 8. Brobanans exponering för passerande fartygs peka-på-kurs.

Härvid beräknas sannolikheter för olika segment att träffas av ett fartyg som driver mot brobanan. Genom att kombinera detta med uppgifter om rörelseenergin hos fartyget som seglar på brobanan och segmentets påseglingsskapacitet kan sannolikheten att brobanan skadas om ett fartyg seglar på bron uppskattas.

Naturligtvis kan skada uppstå även om ett fartyg med liten rörelseenergi seglar på bron. När skada på bron beskrivs i riskanalysen avses emellertid så omfattande skada att bron förlorar sin strukturella integritet. Förenklat antas detta innebära att bron kollapsar kring segmentet där den blir påseglad. Det betyder att om bron blir påseglad i en punkt där påseglingsskapaciteten är lägre än påseglingseenergin så antas brobanan kollapsa lokalt kring denna punkt. Att en viss del av energin tas upp av fartyget beaktas ej vilket är konservativt.

Skadorna på bron i samband med en påsegling är beroende av en mängd olika parametrar. Fartygets storlek, hastighet och påseglingsvinkel har störst påverkan men även fartygets skrovtyp och var bron blir påseglad har påverkan på vilka skador som kan uppkomma.

Den nya gång- och cykelbron ska utformas på ett sätt för att kunna hantera många typer av påseglingsscenarion men strukturella skador med allvarliga konsekvenser för de trafikanter som står på bron precis där påsegling sker kan inte uteslutas.

En påsegling med så stor energi som skadar bron allvarligt kan påverka bron mycket lokalt (på en sträcka av 10–20 meter) alternativt på en större sträcka (cirka 30–50 meter).

I några scenarier beräknas den tillgodovarande tiden vara tillräcklig för att bron helt och hållet ska kunna evakueras innan fartyget driver in i brobanan. Dessa scenarier analyseras inte vidare.

3.4 Konsekvenser för människors hälsa och säkerhet

I detta avsnitt beskrivs händelseförloppet när människors hälsa och säkerhet påverkas som underlag för beräkningarna i kapitel 7.

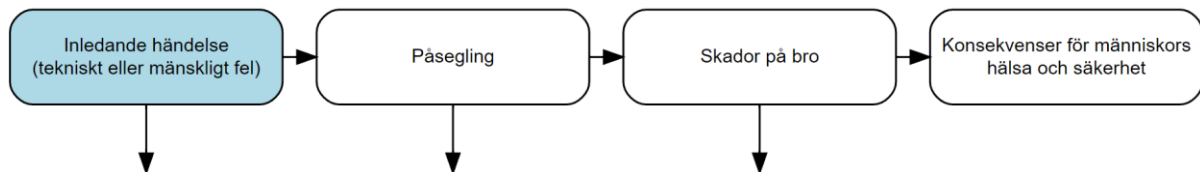
En andel av gång- och cykeltrafikanterna på bron (50 %) förväntas hinna evakuera när ett fartyg närmar sig brobanan.

Påsegling där bron har kapacitet att ta upp fartygets rörelseenergi leder inte till några omkomna på bron. Däremot kan enstaka människor skadas lindrigt vilket inte analyseras vidare.

Om påsegling sker i en punkt där fartyget har en högre rörelseenergi än bronns påseglingskapacitet förlorar bron sin strukturella integritet och brobanan kollapsar längs en sträcka på upp till 10–50 meter där fartyget träffar (se avsnitt 3.3). Trafikanter som befinner sig på den påseglade brodel som kollapsar antas omkomma. Detta innebär ett antal konservativa förenklingar eftersom påsegling över bronns energiupptagningskapacitet inte behöver innebära att bron kollapsar, en större andel kan evakuera och människor som befinner sig på en del av bron som kollapsar kan överleva beroende på förhållandena vid olyckan.

4 FREKVENSER FÖR INLEDANDE HÄNDELSER

Som ett första steg i att beräkna risk för påsegling beräknas frekvenser för inledande händelser som kan leda till påsegling av bron inklusive ledverk, se Figur 9.



Figur 9. Beräkningarna av frekvenser för inledande händelser som redovisas i detta kapitel är det första steget och är markerat i denna schematiska skiss över händelseförloppet.

Frekvenserna för olika inledande händelser summeras i Tabell 6. Vilka antaganden och beräkningssteg som ligger bakom redovisas i avsnitt 4.1 och 4.2 nedan. Maskinhaveri är den mest sannolika händelsen följt av mänskligt fel. Roderfel är sällsynt men inkluderas på grund av att fartyget vid händelsen kan hamna utanför ledverken och segla på den fasta bron.

Tabell 6. Sammanfattning av frekvenser för inledande händelser som kan leda till påsegling av gång- och cykelbron.

Inledande händelse	Frekvens (per år)		Återkomsttid (år)	
	2022	2045	2022	2045
Maskinhaveri	1,6E-02	2,4E-02	62	42
Kursavvikelse (roderfel)	5,6E-04	8,1E-04	1 800	1 233
Kursavvikelse (mänskligt fel)	7,9E-03	1,2E-02	126	87
Totalt	2,5E-02	3,6E-02	41	28

4.1 Drivande fartyg

Av Figur 10 framgår sträckan längs vilken ett fartyg som börjar driva bedöms kunna leda till påsegling av gång- och cykelbron.



Figur 10. Kritisk sträcka "s" där ett fartyg som börjar driva kan driva in i bron eller dess ledverk. Sträckan beror på fartygens färdriktning (se pilriktning). För uppströmsgående fartyg beaktas en sträcka om 1 500 meter som börjar efter Halvön på Masthuggskajen och fortsätter upp till Hisingsbron. För nedströmsgående fartyg beaktas en sträcka om 1 000 meter från Hisingsbron och fram till gång- och cykelbron. Senare i analysen motiveras att det endast är längs sträckorna markerade med heldragna pilar som maskinhaveri kan leda till skada på brobanan (se Tabell 14).

Som beskrivs i avsnitt 3.1.1 utgår frekvensberäkningen för drivande fartyg från maskinhaveri. Beräknad frekvens för maskinhaveri samt redovisning av antaganden redovisas i Tabell 7.

Tabell 7. Beräknad frekvens för maskinhaveri samt redovisning av antaganden (uppströms- respektive nedströmsgående fartyg i de fall det skiljer).

Storhet	Beskrivning	Värde				Referens/ förklaring
		2022		2045		
		Uppströms- gående	Nedströms- gående	Uppströms- gående	Nedströms- gående	
p	Sannolikhet för maskinhaveri [per timme per fartyg]	8,56E-05	8,56E-05	8,56E-05	8,56E-05	se fotnot ⁶
N	Antal fartygs- passager []	649	653	948	954	se Tabell 2
s	Kritisk sträcka där maskinhaveri kan leda till påsegling av gång- och cykelbro [m]	1 500	1 000	1 500	1 000	se Figur 10
v_{medel}	Medelhastighet (över grund) [knop]	4,5	5,6	4,5	5,6	se Tabell 3
f_{maskinhaveri}	Frekvens för fartyg med displacement över 800 ton att få maskinhaveri på kritisk sträcka [per år]	1,1E-02	5,6E-03	1,6E-02	8,1E-03	$f = p \cdot N \cdot t =$ $= p \cdot N \cdot s / v_{medel}$
	Totalt [per år]		1,6E-02	2,4E-02		

⁶ I denna riskanalys antas maskinhaveri drabba ett enskilt fartyg med sannolikhet $8,56 \cdot 10^{-5}$ per timme per fartyg (motsvarande cirka 1 gång på 12 000 timmar). Sannolikheten ansätts ofta i nautisk riskanalys (Engberg, 2019). Uppgiften har verifierats med hjälp av underlag från Transportstyrelsen där 58 maskinhaverier rapporterats på Göta älv år 2000–2023. Kategorin ”maskinhaveri” är bred i underlaget och omfattar även roderfel och mänskligt fel. Vid en genomgång av händelsebeskrivningarna i olycksrapporterna har cirka en tredjedel av händelserna kategoriserats som maskinhaverier som är kritiska i det avseendet att de, om de inträffat nära en bro i Göta älv, hade kunnat orsaka en påseglingsolycka. I den verifierande beräkningen antogs att fartygstrafiken längs Göta älv varit konstant under observationsperioden och att det tar cirka 7 timmar för ett fartyg att segla längs Göta älv (aktiv segeltid, exklusive tid i slussar och andra stopp).

4.2 Kursavvikelse

Av Figur 11 framgår sträckan längs vilken en kursavvikelse på grund av ett roderfel eller mänskligt fel bedöms kunna leda till påsegling av gång- och cykelbron.



Figur 11. Kritisk sträcka "s" där ett mänskligt fel eller roderfel leder till att ett fartyg kan segla på bron eller dess ledverk. Sträckan beror på fartygens färdriktning (se pilriktning). För såväl uppströmsgående som nedströmsgående fartyg beaktas en sträcka om 0,2 nautiska mil (375 m) före passage och fram till bron. Om det uppstår ett roderfel eller mänskligt fel bortom denna sträcka är det få vinklar där kursavvikelsen innebär att fartyget kommer att avvika i en riktning som leder till påsegling av bron, och besättningen har mer tid att reagera och korrigera kursen innan det leder till en påsegling av bron. Senare i analysen motiveras att det endast är längs sträckorna markerade med heldragna pilar som roderfel kan leda till skada på brobanan (se avsnitt 5.2.2).

4.2.1 Roderfel

Beräknad frekvens för roderfel samt redovisning av antaganden redovisas i Tabell 8.

Tabell 8. Beräknad frekvens för roderfel samt redovisning av antaganden (uppströms- respektive nedströmsgående fartyg i de fall det skiljer).

Storhet	Beskrivning	Värde				Referens/ förklaring
		2022		2045		
		Uppströms- gående	Nedströms- gående	Uppströms- gående	Nedströms- gående	
p	Sannolikhet för roderfel [per timme per fartyg]	1E-05	1E-05	1E-05	1E-05	se fotnot ⁷
N	Antal fartygs- passager	649	653	948	954	se Tabell 2
s	Kritisk sträcka där roderfel kan leda till påsegling av gång- och cykelbro [m]	375	375	375	375	se Figur 11
v_{medel}	Medelhastighet (över grund) [knop]	4,5	5,6	4,5	5,6	se Tabell 3
f_{roderfel}	Frekvens för fartyg med displacement över 800 ton att få roderfel på kritisk sträcka [per år]	3,1E-04	2,5E-04	4,5E-04	3,6E-04	$f = p \cdot N \cdot t =$ $= p \cdot N \cdot s / v_{\text{medel}}$
	Totalt [per år]	5,6E-04 per år		8,1E-04 per år		

⁷ I denna riskanalys antas roderfel drabba ett enskilt fartyg med sannolikhet $1 \cdot 10^{-5}$ per timme per fartyg (motsvarande 1 gång på 100 000 timmar). Sannolikheten är vald för att överensstämna med tidigare riskanalyser för Göta älv, se SSPA (2012) och (2015).

4.2.2 Mänskligt fel

Beräknad frekvens för mänskligt fel samt redovisning av antaganden redovisas i Tabell 9.

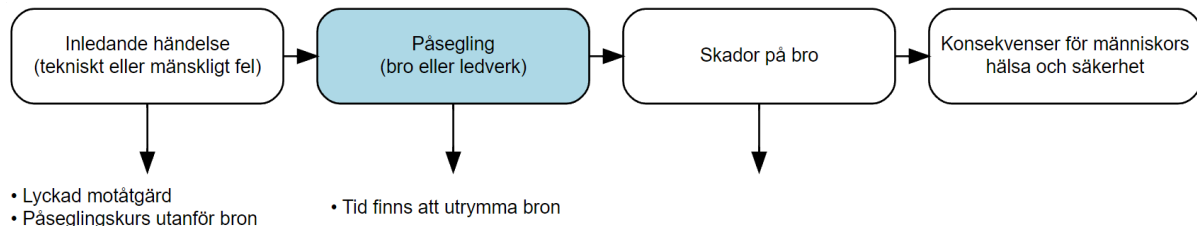
Tabell 9. Beräknad frekvens för mänskligt fel samt redovisning av antaganden (uppströms- respektive nedströmsgående fartyg i de fall det skiljer).

Storhet	Beskrivning	Värde				Referens/ förklaring
		2022		2045		
		Uppströms- gående	Nedströms- gående	Uppströms- gående	Nedströms- gående	
p	Sannolikhet för mänskligt fel [per fartyg och nautisk mil]	3E-05	3E-05	3E-05	3E-05	se fotnot ⁸
N	Antal fartygs- passager	649	653	948	954	se Tabell 2
s	Kritisk sträcka där mänskligt fel kan leda till påsegling av gång- och cykelbro [m]	375	375	375	375	se Figur 11
f_{mänskligt fel}	Frekvens för mänskligt fel för fartyg med displacement över 800 ton på kritisk sträcka [per år]	4,0E-03	4,0E-03	5,8E-03	5,8E-03	$f = p \cdot N \cdot s$
	Totalt [per år]	7,9E-03		1,2E-02		

⁸ Sannolikheten för ett kritiskt mänskligt fel ansätts till $3 \cdot 10^{-5}$ per fartyg och nautisk mil (motsvarande cirka 1 gång per 33 000 nautiska mil). Sannolikheten är vald för att överensstämma med tidigare riskanalyser för Göta älv, se SSPA (2012) och (2015).

5 FREKVENSER FÖR PÅSEGLING AV BRO OCH LEDVERK

I detta kapitel redovisas hur frekvensen för påsegling av gång- och cykelbron beräknas, se Figur 12. Särskilt fokus läggs på att ta fram frekvenser för påsegling av brobanan där människor kan vistas.



Figur 12. Beräkningarna av frekvenser för påsegling av bron och dess ledverk som redovisas i detta kapitel är det andra steget och är markerat i denna schematiska skiss över händelseförloppet. Händelseutveckling som leder till ett mindre negativt utfall och som avhandlas särskilt i detta kapitel punktats upp under de vertikala pilarna.

Påsegling sker i de fall avhjälpande åtgärder misslyckas och fartyget inte får stopp, och påseglingkursen är riktad mot bron eller dess ledverk, se avsnitt 5.1. Ett maskinhaveri beräknas leda till påsegling av gång- och cykelbron eller dess ledverk i 48 % av fallen, ett roderhaveri i 77 % av fallen och ett mänskligt fel i 100 % av fallen. Påsegling innebär att fartyget seglar på ledverken, broklaffen eller den fasta brobanan (inklusive dess pelare). Vilka antaganden och beräkningssteg som ligger bakom redovisas i avsnitt 5.2. För varje delscenario uppskattas sannolikheten för påverkan på ledverk eller påverkad del av gång- och cykelbron, se summering i Tabell 10.

Huvuddelen av påseglingshändelserna utgörs av påsegling av ledverk. Vid en detaljerad kartläggning bedöms påsegling av ledverken inte utgöra en risk för människors hälsa och säkerhet. Inget troligt scenario med påsegling av broklaffen har heller identifierats för de inledande händelser som analyseras. Följaktligen ligger fokus i detta kapitel på att uppskatta sannolikheten för påsegling i olika punkter av brobanan, där påsegling kan innebära konsekvenser för gång- och cykeltrafikanter.

Tabell 10. Sammanfattning av hur andelen påseglingshändelser påverkar gång- och cykelbrons olika delar. Procentsatserna anger den betingade sannolikheten för påsegling givet att en inledande händelse inträffat, och den betingade sannolikheten för påsegling av olika delar av bron givet att gång- och cykelbron eller dess ledverk seglas på.

Inledande händelse	Påsegling av bro eller ledverk		Påsegling av brons olika delar	
	Andel inledande händelser	Andel ledverk	Andel rörlig brodel/ öppning	Andel fast bro
Maskinhaveri	48%	77%	13%	9%
Kursavvikelse (roderfel)	77%	96%	0%	4%
Kursavvikelse (mänskligt fel)	100%	99,99%	0%	0,01%
Totalt	65%	89%	6%	5%

Om frekvensen för påsegling år 2045 som presenterades i Tabell 6 kombineras med sannolikheterna i Tabell 10 erhålls frekvenser för påsegling av brobanan.

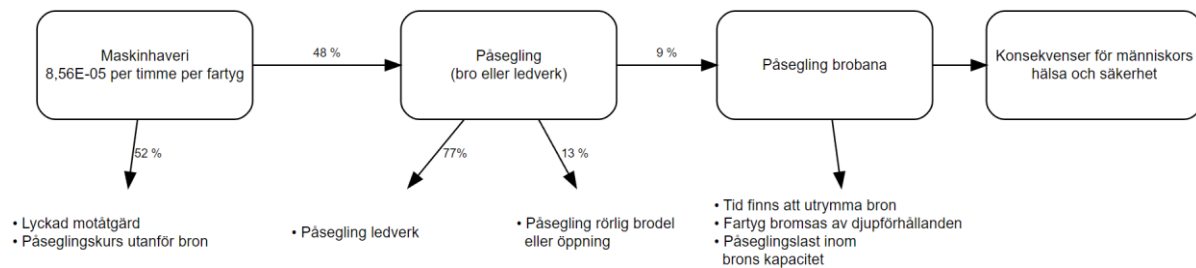
Den totala frekvensen för påsegling av brobanan beräknas till $1,1 \cdot 10^{-3}$ per år motsvarande en återkomsttid på 911 år, inkluderat alla inledande händelser. Några riskbidrag härrör från påseglingsscenarioer som sker så långsamt att samtliga gång- och cykeltrafikanter på bron kan evakueras och fartyget kommer sakta ner tillräckligt för att bron ska kunna ta upp energin. Om dessa scenarioer räknas bort är den totala frekvensen för påsegling av brobanan som riskerar människors liv och hälsa $5,8 \cdot 10^{-4}$ per år motsvarande en återkomsttid på 1 726 år.

5.1 Påsegling av gång- och cykelbron

I många fall antas olycksförloppet sluta utan att fartyget seglar på bron. Frekvensen för påsegling avser endast de scenarioer där avhjäljande åtgärder helt eller delvis misslyckats och fartyget inte får stopp, och påseglingkursen är riktad mot bron eller dess ledverk.

5.1.1 Drivande fartyg

Händelseträdet i Figur 13 sammanfattar de bedömningar som ligger till grund för uppskattningen av hur ofta ett drivande fartyg seglar på bron.



Figur 13. Förenklat händelsetråd för drivande fartyg. I beräkningarna ansätts olika sannolikheter beroende på var fartyget befinner sig när det börjar driva, se Tabell 11. De sannolikheter som visas i figuren är medelvärden av samtliga scenarioer vilka beskrivs mer i detalj nedan. Händelseutveckling som leder till ett mindre negativt utfall och som avhandlas särskilt i detta avsnitt punktas upp under de vertikala pilarna.

Följande bedömningar har gjorts:

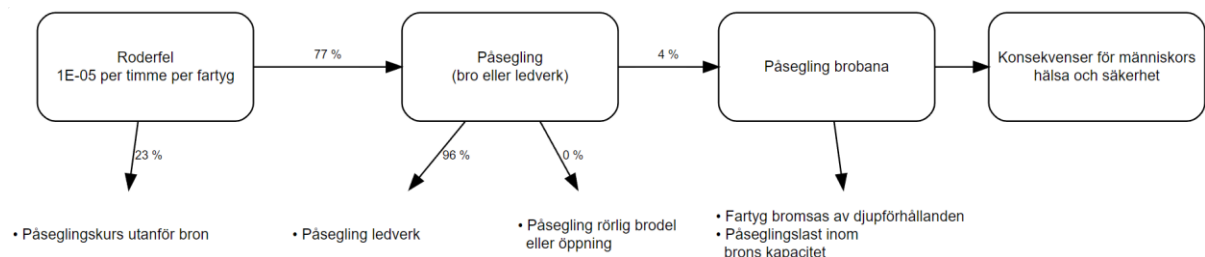
- **Besättnings motåtgärd:** Gir eller viss manövrering medelst bogpropeller kan utföras för att hindra det drivande fartyget från att segla på bron. Om felet uppstår inom 250 meter från bron bedöms dock den tillgodovarande tiden inte vara tillräcklig för att förhindra påsegling. Hur stor sannolikheten är att en motåtgärd blir framgångsrik bedöms utifrån fartygets riktning och avstånd till bron. Sannolikheterna har tagits fram genom expertbedömningar och redovisas i Tabell 11.
- **Påseglingkurs utanför bron:** Om fartyget driver in i kaj eller annan struktur innan gång- och cykelbron analyseras inte scenariot vidare eftersom det varken påverkar bron eller orsakats av bron. Sannolikheterna har i ett första steg tagits fram genom bedömningar. Om ett fartyg börjar driva närmare gång- och cykelbron än 250 meter så förutsätts fartyget ha positionerat sig med kurs mot broöppningen och fartyget kommer då att träffa ledverken och inte brobanan. Om ett fartyg börjar driva på ett avstånd som innebär att händelseförloppet tar mer än 10 minuter så förutsätts samtliga gång- och cykeltrafikanter på bron hinna evakueras och påseglingshastigheten bedöms vara så låg att brobanan inte skadas allvarligt. I de delscenarioer som utgör signifikanta bidrag till risken i senare steg har sannolikheterna uppdaterats genom vektoranalys. Sannolikheterna redovisas i Tabell 11.

Tabell 11. Sannolikheter för att påsegling av gång- och cykelbron undviks respektive inträffar. (b) avser att sannolikheten bygger på en bedömning och (v) avser att sannolikheten uppskattats med vektoranalys. Resultande andel maskinhaverier som leder till påsegling av bron eller ledverken har beräknats och förutsätter att de båda sannolikheterna är oberoende.

Avstånd från bron vid maskinhaveri	Sannolikhet för framgångsrik motåtgärd	Sannolikhet att fartyget har påseglingskurs utanför bron	Resultande andel inledande händelser som leder till påsegling av bron eller ledverken ⁹
Upströmsgående			
400–500 m före bron	50% (b)	3% (v)	49%
300–400 m före bron	25% (b)	1% (v)	74%
250–300 m före bron	25% (b)	0% (v)	75%
0–250 m före bron	0% (b)	0% (b)	100%
0–250 m efter bron	50% (b)	20% (b)	40%
250–1000 m efter bron	60% (b)	50% (b)	20%
Nedströmsgående			
900–1000 m före bron	100% (b)	–	0%
800–900 m före bron	100% (b)	–	0%
700–800 m före bron	100% (b)	–	0%
600–700 m före bron	75% (b)	0% (v)	25%
500–600 m före bron	50% (b)	0% (v)	50%
400–500 m före bron	25% (b)	1% (v)	74%
300–400 m före bron	0% (b)	0% (v)	100%
250–300 m före bron	0% (b)	0% (v)	100%
0–250 m före bron	0% (b)	0% (b)	100%
Totalt			
±1000 m före/efter bron			48%

5.1.2 Roderfel

Händelseträdet i Figur 14 sammanfattar de bedömningar som gjorts i frekvensuppskattningen för att ett fartyg med kursavvikelse till följd av roderfel seglar på bron.



Figur 14. Förenklat händelsetråd för roderfel. I beräkningarna ansätts olika sannolikheter beroende på var fartyget befinner sig när felet inträffar, se Tabell 12. De sannolikheter som visas i figuren är medelvärden av samliga scenarier vilka beskrivs mer i detalj nedan. Händelseutveckling som leder till ett mindre negativt utfall och som avhandlas särskilt i detta avsnitt punktas upp under de vertikala pilarna.

Följande bedömningar har gjorts:

- **Besättnings motåtgärd:** Vid roderfel bedöms den tillgodovarande tiden inte vara tillräcklig för att förhindra påsegling.
- **Påseglingskurs utanför bron:** Beroende på orsak till roderfelet kan rodret tappas eller låsa sig i olika vinklar. Vid ett hydrauliskt fel kan rodret gå till full rodervinkel, motsvarande en girdadie på 200–250 meter för de största fartygen. Roderfel som inträffar 0–200 meter från bron bedöms inte hinna vika av så mycket från ursprunglig kurs att de träffar utanför bron.

⁹ $p_{\text{påsegling}} = (1 - p_{\text{framgångsrik motåtgärd}}) \cdot (1 - p_{\text{påseglingskurs utanför bron}})$

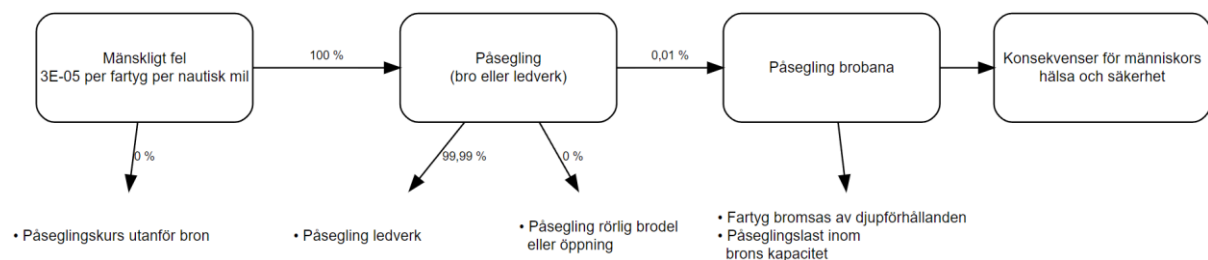
Hälften av alla roderfel som inträffar 200–375 meter från bron antas resultera i att fartygets kurs ändras så mycket att fartyget styr in i kajen innan det når fram till bron. Roderfel som inträffar på längre avstånd än 375 meter inte bedöms kunna leda till påverkan på bron, se avsnitt 4.2. Sannolikheterna presenteras i Tabell 12.

Tabell 12. Bedömningar av sannolikheter för att påsegling av gång- och cykelbron undviks respektive inträffar. Resultterande andel roderfel som leder till påsegling av bron eller ledverken har beräknats och förutsätter att de båda sannolikheterna är oberoende.

Avstånd från bron vid roderfel	Sannolikhet för framgångsrik motåtgärd	Sannolikhet att fartyget har påseglingskurs utanför bron	Resultterande andel inledande händelser som leder till påsegling av bron eller ledverken ¹⁰
Uppströmsgående			
200–375 m före bron	0%	50%	50%
0–200 m före bron	0%	0%	100%
Nedströmsgående			
200–375 m före bron	0%	50%	50%
0–200 m före bron	0%	0%	100%
Totalt			
±375 m före bron			77%

5.1.3 Mänskligt fel

För mänskligt fel tillgodoräknas inga förhållanden eller åtgärder för att undvika påsegling av bron, se Figur 15.



Figur 15. Förenklat händelsetråd för kursavvikelse vid mänskligt fel. Händelseutveckling som leder till ett mindre negativt utfall och som avhandlas särskilt i detta avsnitt punktas upp under de vertikala pilarna.

Följande bedömningar har gjorts:

- **Besättnings motåtgärd:** Vid mänskligt fel bedöms den tillgodovarande tiden inte vara tillräcklig för att förhindra påsegling.
- **Påseglingskurs utanför bron:** Mänskliga fel innebär i detta sammanhang mindre kursavvikelser i farleden, se avsnitt 3.1.2. Att ett mänskligt fel inom kritisk sträcka skulle leda till påsegling utanför bron antas därför inte inträffa.

Resultatet av bedömningarna sammanfattas i Tabell 13.

¹⁰ $p_{\text{påsegling}} = (1 - p_{\text{framgångsrik motåtgärd}}) \cdot (1 - p_{\text{påseglingskurs utanför bron}})$

Tabell 13. Bedömningar av sannolikheter för att påsegling av gång- och cykelbron undviks respektive inträffar, samt resulterande andel mänskliga fel som leder till påsegling av bron eller ledverken.

Avstånd från bron vid mänskligt fel	Sannolikhet för framgångsrik motåtgärd	Sannolikhet att fartyget har påseglingskurs utanför bron	Resulterande andel inledande händelser som leder till påsegling av bron eller ledverken ¹¹
Uppströmsgående			
0–375 m före bron	0%	0%	100%
Nedströmsgående			
0–375 m före bron	0%	0%	100%
Totalt			
±375 m före bron			100%

5.2 Påsegling av brons olika delar

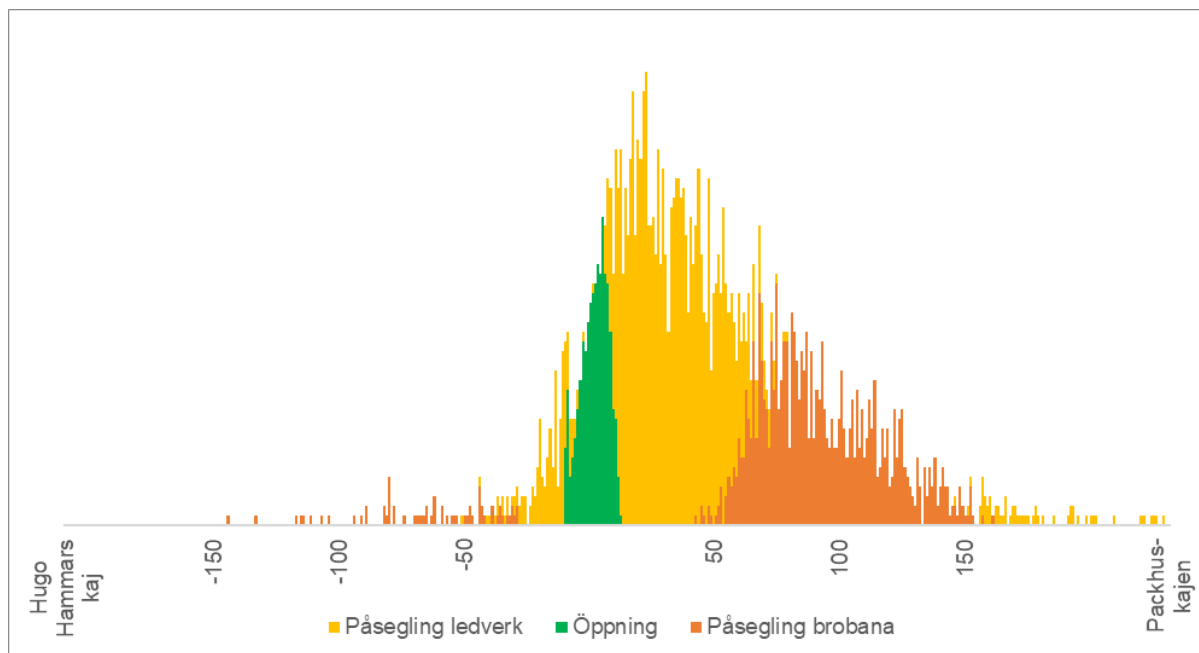
Påsegling innebär att fartyget seglar på ledverken, broklaffen eller den fasta brobanan.

5.2.1 Drivande fartyg

Ett fartyg med maskinhaveri som inte fått stopp kan driva från sin tänkta kurs i farleden.

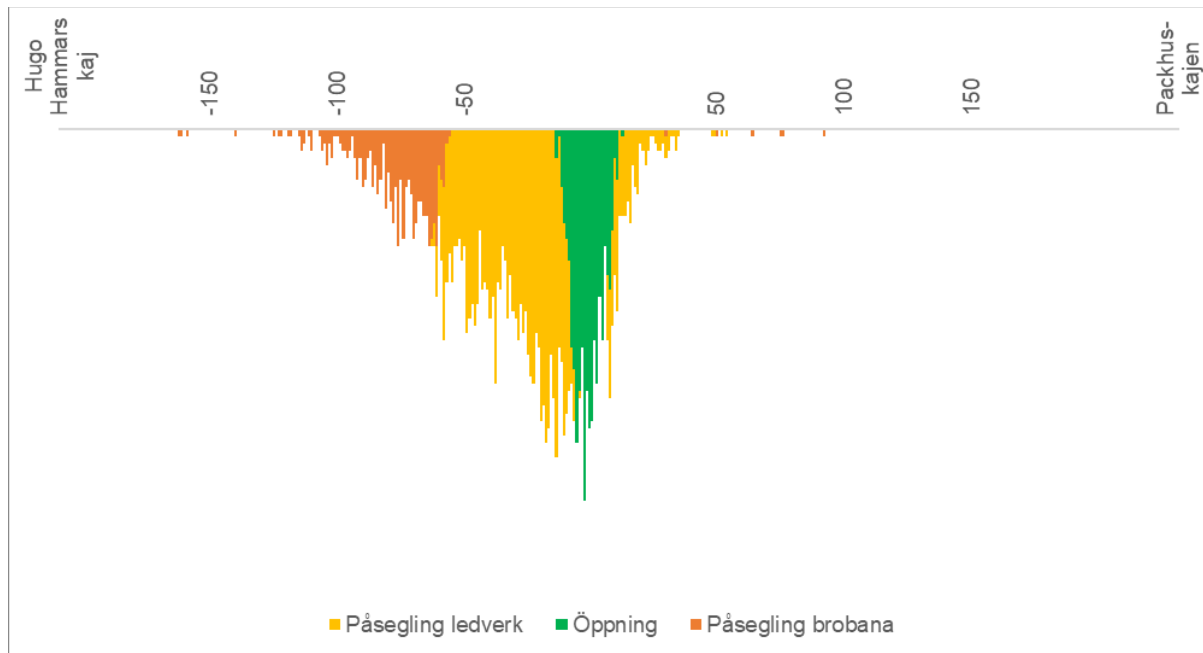
För fartyg som börjar driva på ett avstånd från bron som innebär risk för broskada undersöks hur stor andel av fartygen som ”träffar” öppningen i farleden, ledverken respektive den fasta brobanan med vektoranalys. Fokus ligger på att identifiera sannolikhet för påsegling av den fasta brobanan som ger allvarligast konsekvenser.

Fördelningen över var i älven ett drivande fartyg antas segla på bron enligt vektoranalysen framgår av Figur 16 och Figur 17.



Figur 16. Fördelning över var uppströmsgående fartyg träffar bron vid påsegling till följd av maskinhaveri 200–500 meter från bron baserat på fartygens peka-på-kurs. x-axeln representerar Göta älvs bredd vid läget för gång- och cykelbron.

¹¹ $p_{\text{påsegling}} = (1 - p_{\text{framgångsrik motåtgärd}}) \cdot (1 - p_{\text{påseglingskurs utanför bron}})$



Figur 17. Fördelning över var nedströmsgående fartyg träffar bron vid påsegling till följd av maskinhaveri 200–700 meter från bron baserat på fartygens peka-på-kurs. x-axeln representerar Göta älvs bredd vid läget för gång- och cykelbron.

Antagandet om fördelningen bygger på att fartygets ursprungliga position, strömmar, vind och åtgärder för att kontrollera fartyget gör alla slutlägen möjliga, men att den mest sannolika slutpunkten sammanfaller med fartygens initiala peka-på-kurs.

Antagandet innebär att i genomsnitt i 77 % av fallen pekar fartygen på ledverk, i 13 % av fallen på öppningen i farleden och i 9 % av fallen på brobanan för den fasta brodelen.

Fördelningen baseras på fartyg med ett uppskattat displacement över 800 ton. Över denna gräns har det inte kunnat urskiljas någon skillnad i fördelningskurvorna för olika stora fartyg. Därför antas samma fördelning över var fartyg träffar oavsett fartygsstorlek.

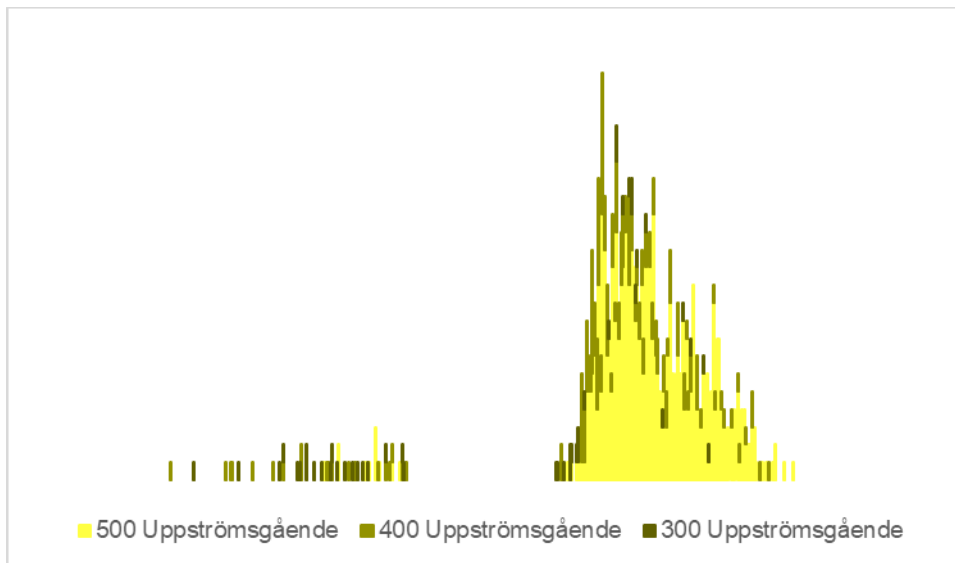
Resultatet sammanfattas i Tabell 14.

Tabell 14. Brodelar som är exponerade för påsegling efter ett maskinhaveri utifrån fartygstrafikens peka-på-kurs enligt vektoranalysen. Tabellen innehåller även motiv till att inte analysera vidare maskinhaveri på angivna avstånd från bron.

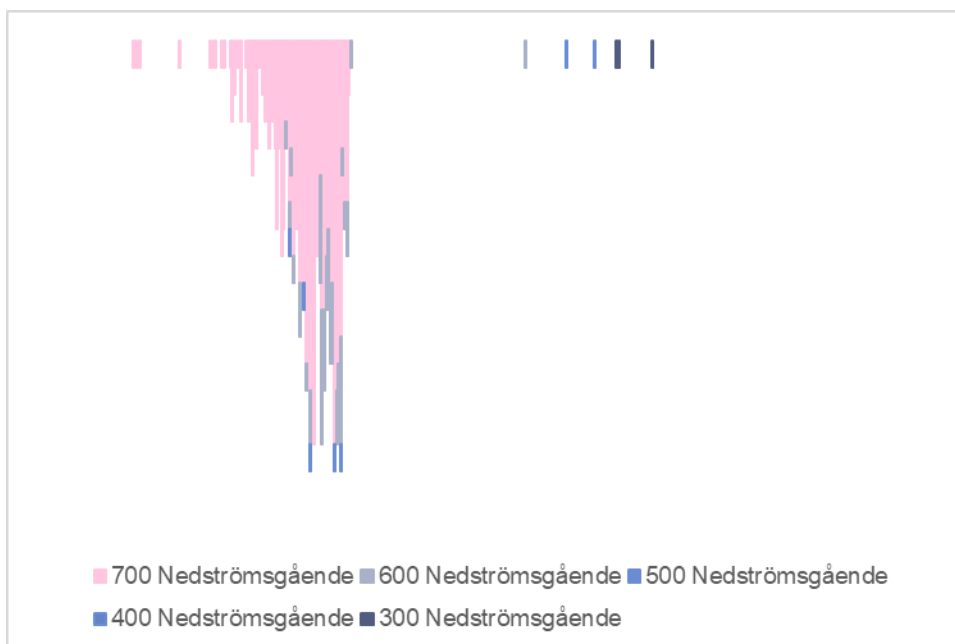
Avstånd från bron vid maskinhaveri	Andel ledverk	Andel öppningsbart spann/broklaff	Andel fast brobana
Uppströmsgående			
400–500 m före bron	48%	3%	49%
300–400 m före bron	70%	14%	16%
250–300 m före bron	65%	24%	11%
0–250 m före bron	Analyseras ej vidare (0% sannolikhet att segla på oskyddad brobana)		
0–250 m efter bron	Analyseras ej vidare (fartyg kommer att vända och börja driva nedströms – tid finns att utrymma bron; fartyget kommer sakta in så att dess hastighet resulterar i en påseglingsenergi som bron tål)		
250–1000 m efter bron	Analyseras ej vidare (fartyg kommer att vända och börja driva nedströms – tid finns att utrymma bron; fartyget kommer sakta in så att dess hastighet resulterar i en påseglingsenergi som bron tål)		
Nedströmsgående			
900–1000 m före bron	Analyseras ej vidare (0% sannolikhet att segla på oskyddad brobana; fartyget kommer sakta in så att dess hastighet resulterar i en påseglingsenergi som bron tål)		
800–900 m före bron	Analyseras ej vidare (0% sannolikhet att segla på oskyddad brobana; fartyget kommer sakta in så att dess hastighet resulterar i en påseglingsenergi som bron tål)		
700–800 m före bron	Analyseras ej vidare (0% sannolikhet att segla på oskyddad brobana; fartyget kommer sakta in så att dess hastighet resulterar i en påseglingsenergi som bron tål)		
600–700 m före bron	48%	1%	51%
500–600 m före bron	84%	10%	6%
400–500 m före bron	63%	36%	1%
300–400 m före bron	48%	51%	0%
250–300 m före bron	44%	54%	2%
0–250 m före bron	Analyseras ej vidare (0% sannolikhet att segla på oskyddad brobana)		
Totalt			
±1000 m före/efter bron	77%	13%	9%

Som syns i Figur 16 och Figur 17 är det brobanan närmast Packhuskajen som är mest exponerad för påsegling av uppströmsgående fartyg och brobanan närmast Hugo Hammars kaj som är mest exponerad för påsegling av nedströmsgående fartyg.

Brons exponering för påsegling varierar för olika avstånd hos fartygen vilket kommer att beaktas i kommande beräkningar, se Figur 18 och Figur 19.



Figur 18. Fördelning över var uppströmsgående fartyg träffar brobanan vid påsegling till följd av maskinhaveri på olika avstånd från bron. x-axeln representerar Göta älvs bredd vid läget för gång- och cykelbron med Hugo Hammars kaj till vänster och Packhuskajen till höger.



Figur 19. Fördelning över var nedströmsgående fartyg träffar brobanan vid påsegling till följd av maskinhaveri på olika avstånd från bron. x-axeln representerar Göta älvs bredd vid läget för gång- och cykelbron med Hugo Hammars kaj till vänster och Packhuskajen till höger.

Frekvensen för påsegling av brobanan med drivande fartyg år 2045 beräknas till $1,1 \cdot 10^{-3}$ händelser per år vilket motsvarar ungefär en händelse vart 930:e år, se Tabell 15. Några riskbidrag härrör från påseglingsscenarioer där den tillgodovarande tiden gör att åtgärder kan vidtas för att skydda bron och dess trafikanter från påsegling. Om dessa scenarioer räknas bort är den totala frekvensen för påsegling av brobanan $5,6 \cdot 10^{-4}$ per år motsvarande en återkomsttid på 1 800 år. Uppströmsgående större fartyg står för mer än hälften av händelserna. Detta beror på att en betydande andel fartyg har peka-på-kurs mot brobanan innan den mindre rikttningsförändring som farleden gör vid Stenpiren.

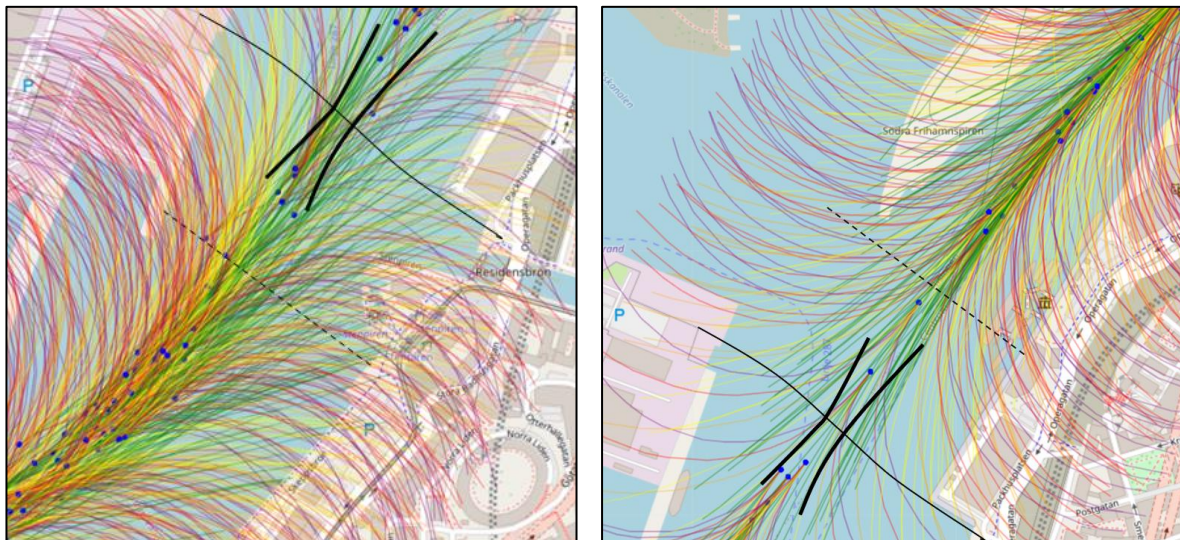
En resultatsammanställning återfinns i Tabell 15.

Tabell 15. Frekvenser för påsegling av brobanan med drivande fartyg. För riskbidrag som inte analyseras vidare enligt bedömning i Tabell 14 beräknas ingen frekvens för påsegling av fast brobana.

Avstånd från bron vid maskinaveri	Frekvens påsegling gång- och cykelbro [per år]	Frekvens påsegling fast brobana [per år]
Uppströmstående		
400–500 m före bron	5,0E-04	2,4E-04
300–400 m före bron	7,7E-04	1,2E-04
250–300 m före bron	3,9E-04	4,4E-05
0–250 m före bron	2,6E-03	Analyseras ej
0–250 m efter bron	1,0E-03	Analyseras ej
250–1000 m efter bron	1,6E-03	Analyseras ej
Nedströmstående		
900–1000 m före bron	0,0E+00	Analyseras ej
800–900 m före bron	0,0E+00	Analyseras ej
700–800 m före bron	0,0E+00	Analyseras ej
600–700 m före bron	2,0E-04	1,0E-04
500–600 m före bron	4,1E-04	2,6E-05
400–500 m före bron	6,1E-04	7,1E-06
300–400 m före bron	8,1E-04	2,4E-06
250–300 m före bron	4,1E-04	8,7E-06
0–250 m före bron	2,0E-03	Analyseras ej
Totalt		
±1000 m före/efter bron	1,1E-02	5,6E-4

5.2.2 Roderfel

Som stöd för bedömningarna har enkla visualiseringar av möjliga fartygskurvor gjorts för olika roder vinklar, se Figur 20.



Figur 20. Exempel på fartygskurvor med roder i roder vinkel 35° (lila), 27° (röd), 19° (orange), 12° (gul) och 4° (grön), för ett slumpmässigt urval av AIS-registreringar för större fartyg i dataunderlaget. Bilden till vänster baseras på uppströmstående fartyg och figuren till höger baseras på nedströmstående fartyg med tillhörande uppgifter om fartygslängd, kurs och position. Den streckade linjen indikerar ett ungefärligt avstånd på 200 meter från bron. Visualiseringen är förenklad och motsvarar inte den fullständiga fördelningen av alla möjliga fartygskurvor vid roderfel, utan ger bara en fingervisning som stöd för bedömningar. Bakgrundskarta: OpenStreetMap (2024).

För att ett fartyg med roderfel ska kunna segla på brobanan krävs att det kommer ur kurs med en rodervinkel som är tillräckligt liten för att fartyget inte ska svänga bort från bron, men tillräckligt stor för att ledverken inte ska skydda. Följande bedömningar har gjorts.

- Om felet uppstår när fartyget befinner sig 0–200 meter från bron (motsvarande en fartygslängd ifrån ledverken) kommer fartyget, oavsett vilken vinkel rodret befinner sig i, inte hinna vika av mer än att det seglar på ledverk.
- Om felet uppstår 200–375 meter från bron finns en möjlighet att fartyget hamnar utanför ledverken. Eftersom det är ett mycket snävt intervall av möjliga rodervinklar där fartyget viker av tillräckligt mycket för att hamna utanför ledverken, men inte tillräckligt mycket för att segla på kajen (eller in i Frihamnen), begränsas andelen händelser som förväntas leda till påsegling av brobanan. En större andel bedöms fångas av ledverken. Därtill bedöms inte alla rodervinklar vara lika sannolika vid ett roderfel, utan fall där rodret felar med fullt roderutslag, låst i befintligt läge eller inte går att manövrera förväntas förekomma i större utsträckning än låsning i godtyckliga vinklar däremellan.
- Om felet uppstår mer än 375 meter från bron bedöms inte fartyget kunna segla på bron.

Den andel fartyg som träffar utanför ledverken seglar på den fasta brobanan. Eftersom roderfel innebär att fartyget viker av från farleden så kommer ledverken att skydda en stor del av brobanan från påsegling, och det är där brobanan ansluter till land som den är mest exponerad för påsegling. Förenklat i beräkningsmodellen antas påsegling av brobanan ske i dess yttersta segment närmast land vid ett roderfel även om det i praktiken kan ske var som helst på den fasta brodelen.

Antagandet innebär att i 96 % av fallen seglar fartyg på ledverk, och i 4 % av fallen i ytterlägena av brobanan för den fasta brodelen, se Tabell 16.

Tabell 16. Bedömning av vilka delar som är exponerade för påsegling efter ett roderfel utifrån fartygstrafikens peka-på-kurs.

Avstånd från bron vid roderfel	Andel ledverk	Andel öppningsbart spann/broklaff	Andel fast brobana
Uppströmsgående			
200–375 m före bron	88%	0%	12%
0–200 m före bron	100%	0%	0%
Nedströmsgående			
200–375 m före bron	88%	0%	12%
0–200 m före bron	100%	0%	0%
Totalt			
±375 m före bron	96%	0%	4%

Frekvensen för påsegling av brobanan på grund av roderfel år 2045 beräknas till $2,3 \cdot 10^{-5}$ händelser per år vilket motsvarar ungefär en händelse vart 44 000:e år, se Tabell 17.

Tabell 17. Frekvenser för påsegling av brobanan vid roderfel.

Avstånd från bron vid roderfel	Frekvens påsegling gång- och cykelbro [per år]	Frekvens påsegling fast brobana [per år]
Uppströmsgående		
200–375 m före bron	1,1E-04	1,3E-05
0–200 m före bron	2,4E-04	0,0E+00
Nedströmsgående		
200–375 m före bron	8,3E-05	1,0E-05
0–200 m före bron	1,9E-04	0,0E+00
Totalt		
±375 m före bron	6,2E-04	2,3E-05

5.2.3 Mänskligt fel

Samtliga mänskliga fel bedöms i anslutning till gång- och cykelbron innebära små avvikelser från planerad rutt som leder till påsegling av bron nära eller i anslutning till farleden. Navigation i aktuellt område kräver hög koncentration och uppmärksamhet hos den som styr fartyget. De större fartygen är lotspliktiga. De misstag som görs innebär vanligen små avvikelser från korrekt kurs där fartyget exempelvis stöter i ett ledverk under passage. Mänskliga fel där fartyget avviker långt utanför tänkt kurs, för att kaptenen somnar vid rodret eller är ouppmärksam och helt missar att göra gir, bedöms utgöra en mycket liten andel. Följande bedömningar har gjorts.

- Om felet görs när fartyget befinner sig 0–375 meter från bron (motsvarande en fartygslängd ifrån ledverken) kommer fartyget sannolikt segla på ett ledverk. Endast i 0,01 % av fallen antas fartyget segla på den oskyddade brobanan vid ett mänskligt fel.
- Om felet görs mer än 375 meter från bron bedöms inte fartyget kunna segla på bron.

Tabell 18. Bedömning av vilka delar som är exponerade för påsegling efter ett mänskligt fel utifrån fartygstrafikens peka-på-kurs.

Avstånd från bron vid mänskligt fel	Andel ledverk	Andel öppningsbart spann/broklaff	Andel fast brobana
Uppströmsgående			
0–375 m före bron	99,99%	0%	0,01%
Nedströmsgående			
0–375 m före bron	99,99%	0%	0,01%
Totalt			
±375 m före bron	99,99%	0%	0,01%

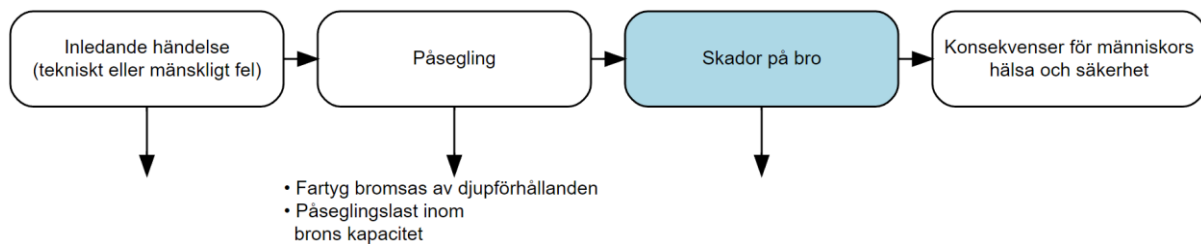
Frekvensen för påsegling av brobanan på grund av mänskligt fel år 2045 beräknas till $1,2 \cdot 10^{-6}$ händelser per år vilket motsvarar ungefär en händelse vart 866 000:e år, se Tabell 19.

Tabell 19. Frekvenser för påsegling av brobanan vid mänskligt fel.

Avstånd från bron vid mänskligt fel	Frekvens påsegling gång- och cykelbro [per år]	Frekvens påsegling fast brobana [per år]
Uppströmsgående		
0–375 m före bron	5,8E-03	5,8E-03
Nedströmsgående		
0–375 m före bron	5,8E-03	5,8E-03
Totalt		
±375 m före bron	1,2E-02	1,2E-02

6 FREKVENSER FÖR SKADOR PÅ BRON

I detta steg redovisas hur frekvensen för skador på bron beräknas. Fokus ligger på brobanan där människor kan vistas i aktuella händelseförlopp, se Figur 21.



Figur 21. Beräkningarna av frekvenser för skador på bron som redovisas i detta kapitel är det tredje steget och är markerat i denna schematiska skiss över händelseförloppet. Händelseutveckling som leder till ett mindre negativt utfall och som avhandlas särskilt i detta kapitel punktats upp under de vertikala pilarna.

I kapitel 5 beräknades frekvensen för påsegling av brobanan. Det är dock inte alla påseglingshändelser som leder till att bron skadas eller deformeras. Om ett fartyg seglar på eller driver in i bron beror konsekvenserna på vilken påseglingslast bron utsätts för samt vilken energiupptagningskapacitet bron har i den punkt där den blir påseglad. Därför delas resultatet upp beroende på påseglingsenergin hos fartygen och vilka delar av bron som är exponerade för påsegling.

Frekvensen för påseglingshändelser som utmanar bronns strukturella integritet beräknas med hjälp av följande formel:

$$f_{\text{broskada}} = f_{\text{påsegling}} \times P_{\text{last} > \text{lasttålighet} | \text{påsegling}}$$

Där:

$f_{\text{påsegling}}$

är den årliga sannolikheten att ett fartyg seglar på bron

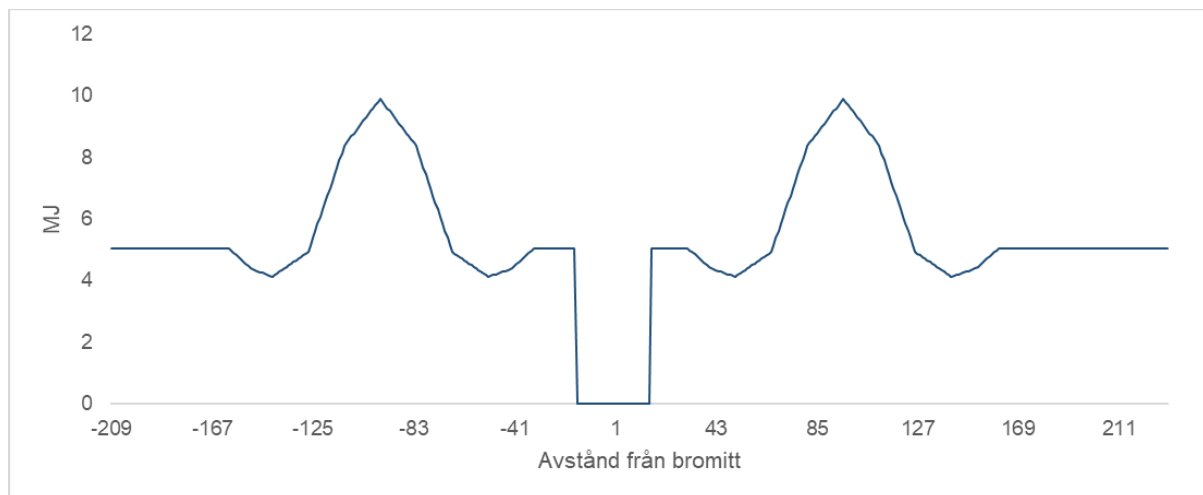
$P_{\text{last} > \text{dim} | \text{påsegling}}$

är sannolikheten för att fartygets storlek och hastighet innebär en påseglingslast som överskrider den last som den påseglade brodelen antas tåla, givet att ett fartyg seglar på bron

6.1 Brobanans energiupptagningskapacitet

Slutlig utformning av bron är inte fastställd. I följande beräkningar representeras bron av exempelbron med spännvidd (avstånd mellan bropelare) på 30 meter som presenterades i avsnitt 3.3.

Energiupptagningskapaciteten hos denna exempelbro framgår av Figur 22.



Figur 22. Energiupptagningskapacitet för exempelbro med brospann 30 meter. Linjen visar bronns påseglingsskapacitet i olika segment, det vill säga påseglingsenergin hos ett fartyg som seglar på det segmentet som bron klarar att ta upp utan att kollapsa.

6.2 Brobanans exponering för påsegling

Brobanan är olika exponerad för påsegling i olika delar.

- Fördelningen över var i älven ett drivande fartyg antas segla på bron enligt vektoranalysen framgår av Figur 16 och Figur 17.
- Vid roderfel och mänskligt fel antas brobanan bli påseglad i den del som närmast ansluter till land.

6.3 Fartygens påseglingsenergi

Om ett fartyg seglar på eller driver in i gång- och cykelbron beror konsekvenserna, förutom på med vilken del av bron som sammanstötningen sker, på det aktuella fartygets rörelseenergi vid påsegling.

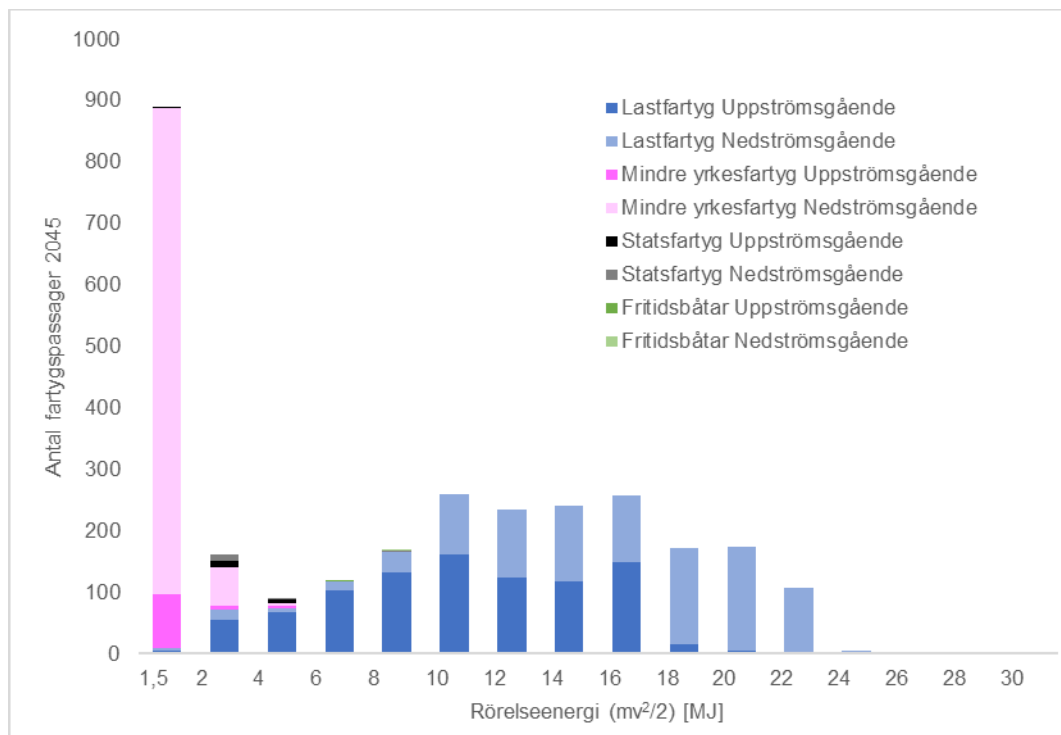
Maximal påseglingsenergi beräknas individuellt för varje fartyg i AIS-dataunderlaget som beskrivs i avsnitt 2.1.3. Påseglingsenergin beräknas med formeln nedan. För varje fartyg beräknas en uppsättning olika påseglingsenergier som hör ihop med de olika inledande händelserna och på vilket avstånd de inträffar.

$$E_{\text{påsegling}} = \frac{mv_{\text{påsegling}}^2}{2}$$

Där:

$E_{p\ddot{a}segling}$	Fartygets och den medsvängande vattenmassans kinetiska energi vid påsegling
m	Summan av fartygets uppskattade massa och dess medsvängande vattenmassa
	Fartygets massa representeras av dess displacement som beräknas med $L \cdot B \cdot D \cdot k$
	L Fartygslängd enligt AIS-data
	B Fartygsbredd enligt AIS-data
	D Fartygets djupgående enligt AIS-data (eller uppskattning baserat på fartygslängd och fartygsbredd då uppgift i AIS-data ofta saknas för mindre fartyg)
	k Blockkoefficient, förenklat ansatt som en funktion av fartygslängd enligt följande:
	$k_{L \geq 90 \text{ m}} = 0,8$
	$k_{80 \text{ m} \leq L < 90 \text{ m}} = 0,75$
	$k_{50 \text{ m} \leq L < 80 \text{ m}} = 0,7$
	$k_{L < 50 \text{ m}} = 0,6$
	Medsvängande massa ansätts till 10 % av displacementet hos fartyget (Svensk Standard, 2006)
$v_{p\ddot{a}segling}$	Fartygets bedömda hastighet vid påsegling (beräknad utifrån uppgift i AIS-data om initial hastighet)

Påseglingsenergin för olyckor med gång- och cykelbron beräknas individuellt för varje scenario och varje fartyg i det statistiska underlaget. Hastigheten $v_{p\ddot{a}segling}$ vid maskinhaveri antas bli lägre ju längre fartyget drivit och vid kursavvikelse antas den vara 2 knop lägre än initial hastighet, se avsnitt 3.1.1. Påseglingsenergin är således lägre än rörelseenergin hos fartyget när olycksförloppet inleds. Förenklat tas ingen hänsyn till att påsegling kan ske med olika vinklar mellan fartyg och bro vilket är konservativt för resultatet. I Figur 23 presenteras fartygens förväntade rörelseenergi vid normal passage av gång- och cykelbron, vilken återspeglar fartygens spridning i storlek och hastighet. För de flesta fartyg är rörelseenergin under 24 MJ, men för enstaka fartyg förekommer högre energinivåer.



Figur 23. Uppskattad fördelning av rörelseenergi för fartyg som passerar gång- och cykelbron. Påseglingsenergin är lägre än den initiala rörelseenergin.

Påseglingsenergin antas vara mindre än rörelseenergin hos fartyget när olycksförloppet eftersom fartyget saktar in, och beräknas baserat på uppgifterna ovan om storlek och hastighet.

6.4 Brobanans exponering för påseglingsenergi över sin kapacitet

Strukturell påverkan på bron kommer uppstå om fartygets påseglingslast överskrider brodelens konstruktionslast. Olika delar av bron antas tåla olika laster vid påsegling enligt avsnitt 6.1. Frekvensen för påseglingshändelser med en energi som överskrider brons energiupptagningsförmåga beräknas för varje olyckskategori med hjälp av följande formel:

$$f_{\text{brokollaps}} = f_{\text{påsegling brobana}} \times \frac{N_{E_{kin} > E_{dim}}}{N_{\text{totalt}}}$$

Där

$f_{\text{brokollaps}}$ är den årliga sannolikheten att en påseglingshändelse leder till att en ett fartyg seglar på brobanan med en högre energi än vad brobanan kan ta upp

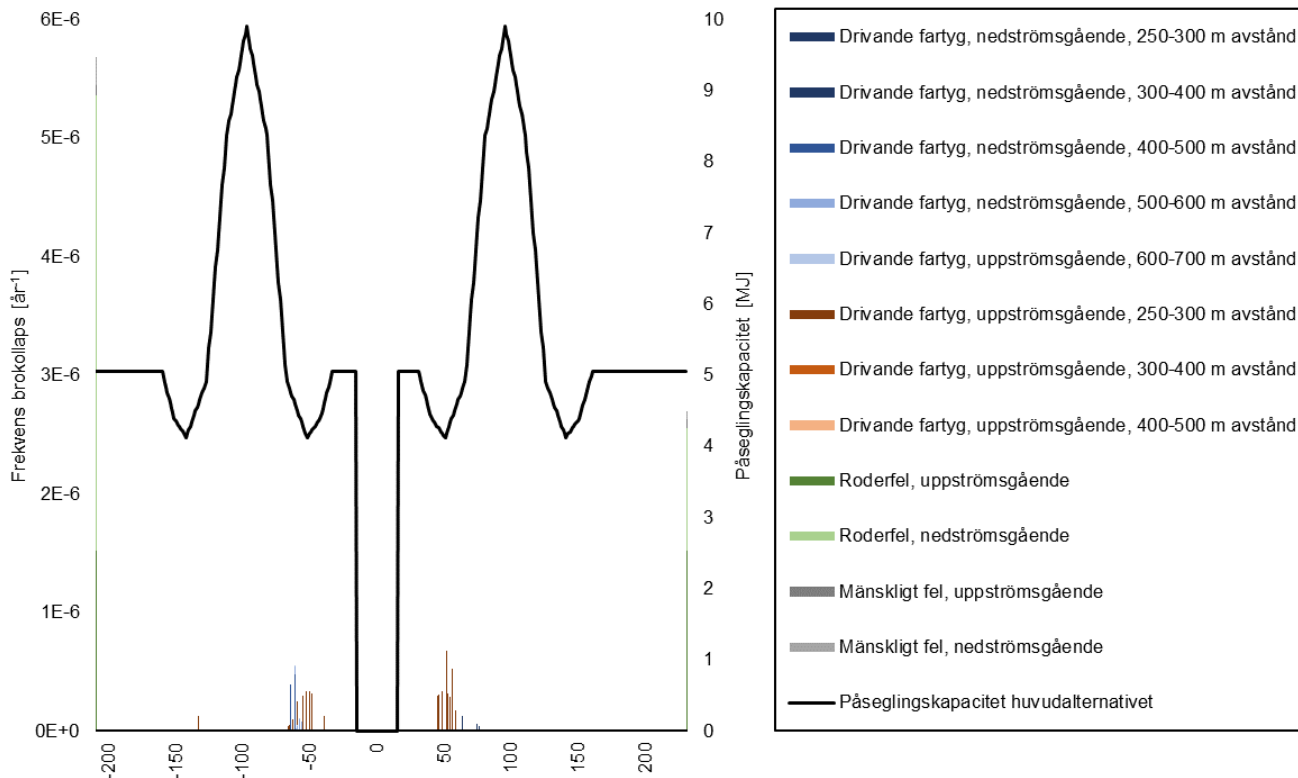
$f_{\text{påsegling brobana}}$ är den årliga sannolikheten att ett fartyg seglar på brobanan utanför ledverken

$N_{E_{kin} > E_{dim}}$ är antalet fartyg vars storlek och hastighet innebär en påseglingsenergi som överskrider den energi som ledverken dimensioneras för att tåla

N_{totalt} är det totala antalet fartyg¹²

¹² Notera att varje fartyg är representerat flera gånger i analysen, för olika inledande händelser och på olika avstånd från bron.

Beräkningen görs för varje segment av brobanan. Resultatet summeras i Figur 24.



Figur 24. Brons påseglingsskapacitet samt frekvens för brokollaps i olika segment av brobanan. Staplarna representerar frekvens för påsegling i olika brosegment med påseglingsenergi som överskrider brobanans energiupptagningskapacitet i aktuellt segment. Notera att påsegling på grund av mänskligt fel och roderfel förenklat antas träffa i bronns yttersta segment, vilket leder till höga staplar vid -209 meter och +231 meter. Drivande fartyg orsakar enligt analysen brokollaps vid påsegling cirka 10–50 meter på båda sidor om bronns mitt.

Den totala frekvensen för påsegling som leder till brokollaps beräknas som summan av beräknad frekvens för de olika riskbidragen från varje påseglingsskategorier,

$$f_{\text{brokollaps, totalt}} = \sum f_{\text{brokollaps, riskbidrag per kategori}}$$

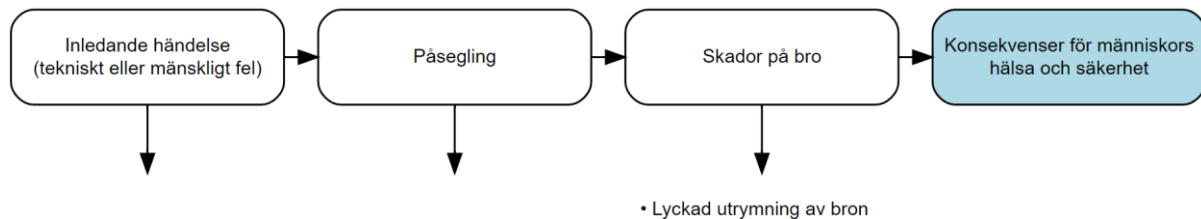
Totalt beräknas frekvensen för brokollaps på grund av påsegling av brobana år 2045 till $1,2 \cdot 10^{-5}$ per år, motsvarande en återkomsttid på cirka 81 000 år.

Tabell 20. Frekvenser för brokollaps år 2045.

Inledande händelse	Frekvens påsegling fast brobana [per år]	Frekvens brokollaps [per år]	Återkomsttid brokollaps [år]
Drivande fartyg	5,6E-04	3,9E-06	255 122
Roderfel	2,3E-05	7,9E-06	126 342
Mänskligt fel	1,2E-06	4,6E-07	2 187 293
Totalt	5,8E-04	1,2E-05	81 354

7 KONSEKVENSER FÖR GÅNG- OCH CYKELTRAFIKANTER

I detta steg redovisas hur påverkan på säkerheten för gång- och cykeltrafikanter på bron beräknas, se Figur 25. Konsekvenser av påsegling med ett fartyg lastat med farligt gods beskrivs i huvudrapporten.



Figur 25. Uppskattningen av frekvensen för olika konsekvenser för människors hälsa och säkerhet som redovisas i detta kapitel är det fjärde steget och är markerat i denna schematiska skiss över händelseförloppet. Händelseutveckling som leder till ett mindre negativt utfall och som avhandlas särskilt i detta kapitel punktas upp under de vertikala pilarna.

När broöppning pågår antas gång- och cykeltrafikanterna befinna sig bakom bommarna. Vid fara för påsegling antas en andel av de exponerade trafikanterna upptäcka faran och utrymma den del av bron som blir påseglad. Trafikanter som befinner sig på den påseglade halvan av bron och inte lämnar platsen antas omkomma vid skada på brobanan som innebär att den aktuella brodelen förlorar sin strukturella integritet och kollapsar.

I analysen antas förenklat att en fast andel av samtliga väntande gång- och cykeltrafikanter på bron omkommer vid brokollaps. Antagandet följer av några enkla antaganden:

- Hälften av de väntande gång- och cykeltrafikanterna antas befinna sig på den sida av klaffen som fartyget seglar på, $p_{brosida} = 50\%$.
- 30 meter av brobanan (en femtedel av den drygt 150 meter långa brobanan mellan landanslutning och broklaff samt en given brosektion) antas kollapsa, $p_{kollaps} = 20\%$.
- Hälften av trafikanterna som befann sig där bron kollapsar antas hinna utrymma, $p_{utrymning} = 50\%$.
- De trafikanter som befinner sig där brobanan kollapsar antas omkomma, $p_{omkomma} = 100\%$.

Antagandena medför att andelen som omkommer av de som befinner sig på bron vid broöppning blir 5%:

$$p_{brosida} \cdot p_{kollaps} \cdot p_{utrymning} \cdot p_{omkomma}$$

Ovanstående antaganden bedöms vara kombinerade relativt konservativt. Även om respektive parameter kan variera och vara högre än beräknat bedöms kombinationen av sannolikheterna vara på säker sida. Osäkerheterna kring andelen förolyckade diskuteras vidare i kapitel 8.2.4. Antagandena sammanfattas i Tabell 21.

Tabell 21. Antaganden som innebär att en väntande gång- eller cykeltrafikanter omkommer om bron blir påseglad och dess integritet fallerar.

Villkor	Sannolikhet
Sannolikhet att gång- eller cykeltrafikanter befinner sig på den brohalva som blir påseglad	50 %
Sannolikhet att stå på en del av brobanan som kollapsar för gång- eller cykeltrafikanter på drabbad brohalva	20 %
Sannolikhet att väntande gång- eller cykeltrafikanter inte hinner utrymma del som blir påseglad	50 %
Sannolikhet att omkomma för gång- eller cykeltrafikanter som befinner sig där brobanan kollapsar	100 %
Sannolikhet att omkomma för samtliga gång- och cykeltrafikanter på bron (0,5 · 0,2 · 0,5 · 1)	5 %

Under ett dygn antas cirka 17 500 cyklister och 6 400 fotgängare passera över bron (se avsnitt 2.1.4). Vid broöppning antas antalet väntande gång- och cykeltrafikanter på bron byggas på under 8 minuter¹³ för att nå sitt maxantal när broöppningen är klar, strax efter att fartyget passerat bron (eller vid en olycka seglar på bron). Sannolikheten för att gång- och cykeltrafikanterna ska möta en broöppning beror på tiden på dygnet, liksom antalet trafikanter (och därmed antalet väntande) varierar över dygnet. Antalet väntande vid en broöppning ansätts vara 8/60 av antalet passerande under aktuell timme.

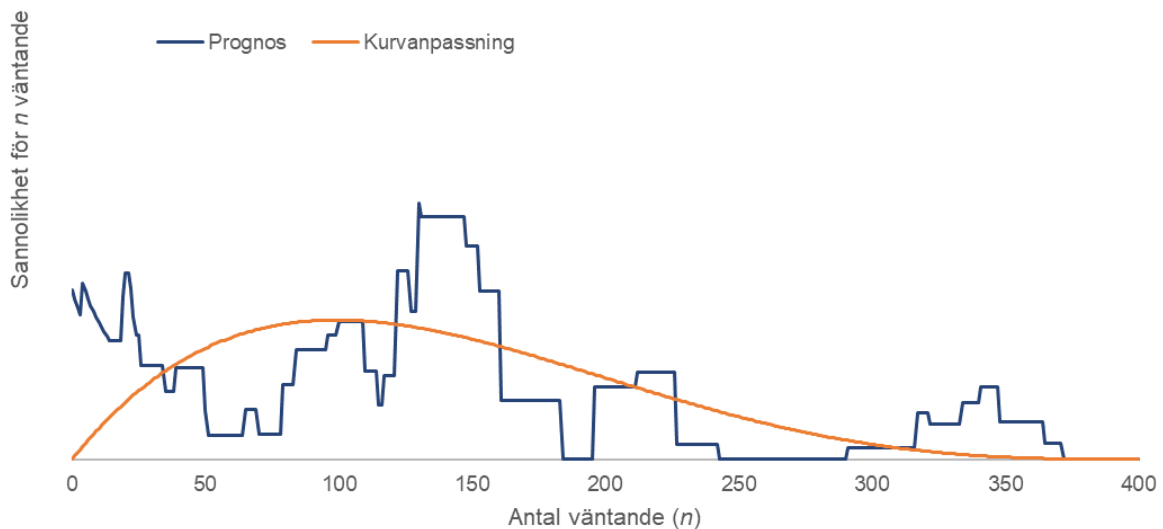
En kartläggning har gjorts av hur många större fartyg som passerar vid olika tidpunkter på dygnet. Detta har satts i relation till antalet förväntade gång- och cykeltrafikanter på bron under dygnets olika timmar, se Tabell 22. På så sätt kan sannolikheten för olika antal väntande vid fartygspassage uppskattas.

¹³ Det kommer att finnas skyltning som informerar om beräknad väntetid. Vid längre väntetid än 8 minuter antas trafikanter planera om sin resväg eller vänta på fastland i anslutning till bron.

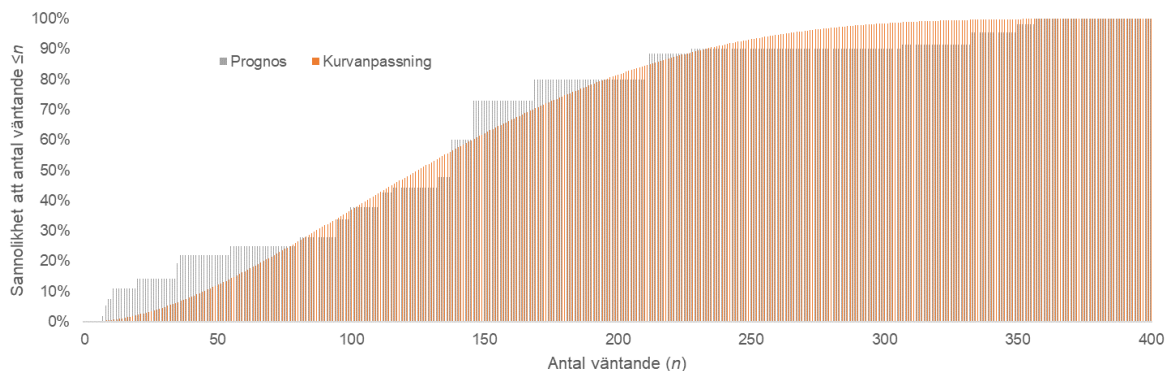
Tabell 22. Prognos för antalet gång- och cykeltrafikanter som skulle samlas på bron vid broöppning baserat på trafikprognos år 2050 (huvudkalkyl), samt förväntat genomsnittligt antal passager med fartyg med displacement över 800 ton år 2045 fördelat på dygnets timmar (baserat på AIS-data med förutsatt ökning på 46 %). Andel fartygspassager anger sannolikheten för fartygspassage vid detta klockslag som används för att beräkna sannolikheten för fartygspassage med olika antal väntande.

Klockslag	Antal väntande på bron vid öppning (beräknad utifrån prognosen för år 2050)	Genomsnittligt antal passager med större fartyg per dygn under aktuell timme (2045)	Andel fartygspassager under aktuell timme
1	8	0,07	2%
2	7	0,07	2%
3	8	0,12	3%
4	11	0,13	4%
5	34	0,18	5%
6	115	0,06	2%
7	306	0,05	1%
8	333	0,15	4%
9	138	0,44	12%
10	94	0,21	6%
11	112	0,17	5%
12	145	0,19	5%
13	145	0,26	7%
14	169	0,25	7%
15	228	0,06	2%
16	357	0,07	2%
17	349	0,09	3%
18	211	0,31	9%
19	132	0,12	3%
20	99	0,15	4%
21	81	0,11	3%
22	54	0,10	3%
23	36	0,10	3%
24	20	0,11	3%

Eftersom antalet gång- och cykeltrafikanter kan variera stort så ansätts en fördelning för att beskriva sannolikheten för olika antal exponerade trafikanter baserat på uppgifterna i Tabell 22. Fördelningen är en enkel kurvanpassning som redovisas i Figur 26 (sannolikhet för n väntande) och Figur 27 (total sannolikhet för högst n väntande). Fördelningen tar hänsyn till hur många fartyg som passerar vid olika tidpunkter samt antalet väntande vid dessa tidpunkter (antalet väntande under de timmar då många fartyg passerar väger med andra ord tyngre).



Figur 26. Fördelning över antalet exponerade gång- och cykeltrafikanter vid broöppning. Sannolikhet för n väntande baserat på prognos för antalet gång- och cykeltrafikanter och antalet passerande fartyg i förhållande till antalet väntande (rullande medelvärde). Som framgår av diagrammet är det stor spridning på antalet väntande.



Figur 27. Antal väntande gång- och cykeltrafikanter vid broöppning (kumulativ). Sannolikhet för högst n väntande baserat på prognos för antalet gång- och cykeltrafikanter och antalet passerande fartyg i förhållande till antalet väntande. Enligt fördelningen är sannolikheten 5 % att högst 30 personer väntar på bron, 50 % att högst 125 personer väntar och 95 % att högst 262 personer väntar på bron. Sannolikheten för att antalet väntande är 400 eller lägre är 100 %.

Den föreslagna fördelningen av antalet exponerade gång- och cykeltrafikanter kan kombineras med antaganden om hur stor sannolikheten är för en trafikant att omkomma enligt Tabell 21. Detta gör att sannolikheter kan beräknas för olyckor med olika antal omkomna, se Tabell 23. Eftersom osäkerheterna är stora kompletteras beräkningarna med en känslighetsanalys av hur samhällsrisken påverkas av att det görs en kurvanpassning av antalet väntande, se avsnitt 8.2.3, samt osäkerheterna kring andelen förolyckade, se avsnitt 8.2.4.

Tabell 23. Sannolikhet för *N* eller fler antal omkomna.

Antal omkomna <i>N</i>	Sannolikhet för <i>N</i> eller fler omkomna vid brokollaps
0	100%
1	98%
2	92%
3	83%
4	73%
5	63%
6	52%
7	42%
8	33%
9	25%
10	18%
11	13%
10	8%
13	5%
14	3%
15	2%
16	1%
17	0%
18	0%
19	0%
20	0%

7.1 Troligt värstafallscenario

Ovan visas att konsekvenserna för gång- och cykeltrafikanter kan skilja sig avsevärt åt beroende på förhållandena vid en olycka. I detta avsnitt beskrivs ett värstafallscenario som inträffar om en rad osannolika händelser sammanfaller och resulterar i en svår olycka. Scenariot är mycket osannolikt men går inte att utesluta. Syftet med att beskriva detta scenario är att utgöra planeringsunderlag i beredskapen för det värsta troliga identifierade scenariot.

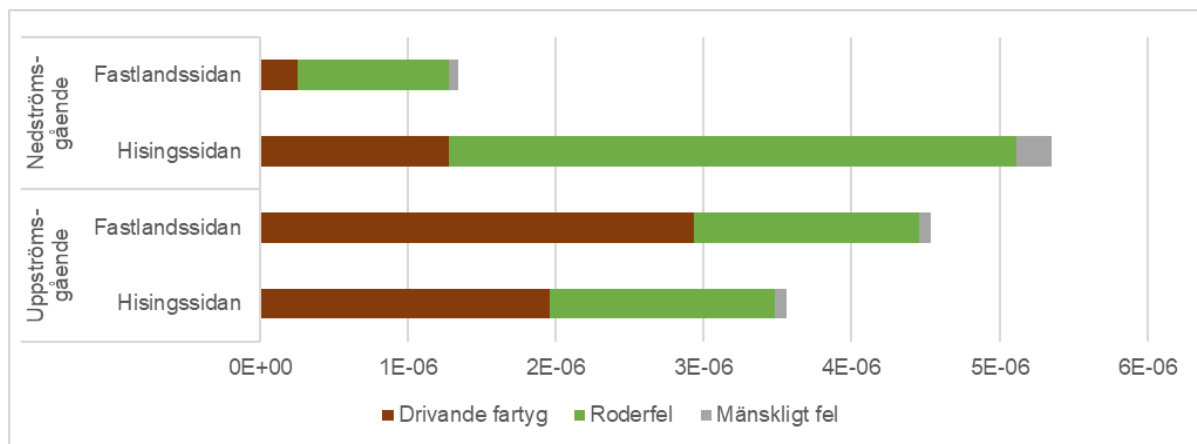
I detta scenario passerar ett fullastat lastfartyg (nya Vänermax eller Surtemax) nedströms. Fartyget får ett tekniskt fel 250 meter från bron. Samtliga försök till avhjälpande åtgärder misslyckas. Felets karaktär och fartygets position i farleden är sådana att fartyget fortsätter framåt utanför ledverket i riktning mot brobanan. På bron befinner sig 400 gång- och cykeltrafikanter som väntar vid broöppning. Fartyget seglar på bron alldeles utanför ledverken med en påseglingsenergi som är större än vad bron är dimensionerad för. Bron kollapsar längs en sträcka om 30 meter. Olyckan leder till att 20 personer omkommer.

Detta scenario ingår i samhällsriskberäkningarna med en sannolikhet på mindre än 1 gång på 3 miljarder år (se vidare avsnitt 8.2).

8 RISKANALYS

Frekvensen för en påseglingsolycka med högre påseglingsenergi än vad bron tål summeras i Tabell 20. Den totala frekvensen för påsegling över denna nivå beräknas för huvudalternativet, som tidigare nämnt, till $1,2 \cdot 10^{-5}$ per år motsvarande en återkomsttid på 81 000 år¹⁴. Hur olika inledande händelser och fartygsriktningar bidrar till risken presenteras i Figur 28.

Baserat på antaganden om konsekvenser för människor som befinner sig på bronns olika delar vid påsegling i olika scenarier beräknas individ- och samhällsrisk. Individrisken för huvudalternativet redovisas i avsnitt 8.1 och samhällsrisk i avsnitt 8.2. Som framgår av Figur 28 är det brobanan som ansluter till Hugo Hammars kaj ("Hisingssidan") som löper störst risk för brokollaps på grund av risken för påsegling av nedströmsgående fartyg. Roderfel är den inledande händelse som beräknas stå för det största riskbidraget¹⁵.



Figur 28. Huvudalternativet: Frekvens för brokollaps för olika inledande händelser och fartygsriktningar kopplat till respektive brohalva. "Fastlandssidan" avser brobanan närmast Packhuskajen och "Hisingssidan" avser brobanan närmast Hugo Hammars kaj.

Samhällsrisk beräknas även för referensalternativet i avsnitt 8.2.1 och för en uppsättning känslighetsanalysfall i avsnitt 8.2.2 och 8.2.3.

8.1 Individrisk

I föreliggande analys beräknas individrisk, se kapitel 2 i huvudrapport, för en gång- eller cykeltrafikant att omkomma i en påseglingsolycka uttryckt i risk per år.

För att beräkna individrisk används följande formel:

$$f_{\text{broskada}} \times P_{\text{ingen utrymning|broskada}}$$

¹⁴ För huvudalternativet representerat av exempelbron med sidospänn 30 meter.

¹⁵ Som framgår av osäkerhetskapitlet i huvudrapporten är detta delvis en effekt av att olika grader av konservatism använts vid beräkningarna. Dock bedöms det vara korrekt att roderfel är en starkt riskdrivande faktor för huvudalternativet. Detta beror på att huvudalternativet har en påseglingkapacitet som ofta kan ta upp rörelseenergin hos ett fartyg som driver, medan roderfel, trots att de är sällsynta, ofta innebär påsegling i högre hastighet än vad bron kan ta upp.

Där:

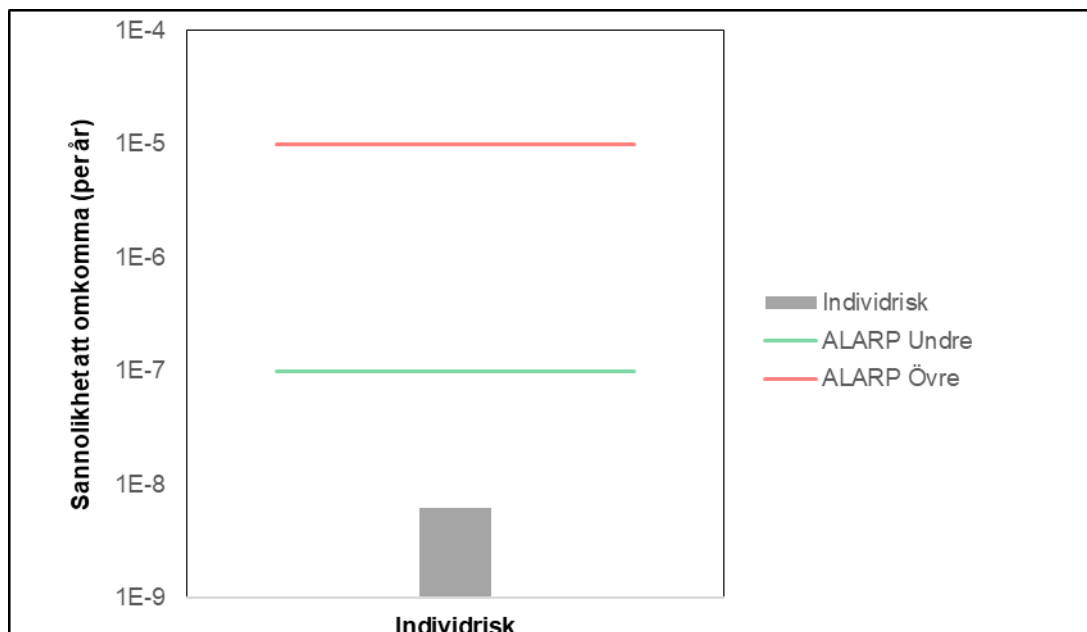
$f_{broskada}$ är den årliga sannolikheten att ett fartyg seglar på bron så att dess strukturella integritet fallerar

$P_{ingen utrymning|broskada}$ är sannolikheten för en individ att bli kvar på bron, och alltså inte har lyckats utrymma, vid påsegling där bronns strukturella integritet fallerar

Den beräknade individrisken framgår av Tabell 24 och illustreras i Figur 29. För en hypotetisk person som antas befinna sig kontinuerligt på gång- och cykelbron uppgår den platsspecifika risken till $6,1 \cdot 10^{-7}$ per år vilket motsvarar ungefär 1 gång på 1,6 miljoner år. Med en reduktionsfaktor på 100 beräknas individrisken för en gång- eller cykeltrafikant att omkomma i en påseglingsolycka till $6,1 \cdot 10^{-9}$ per år eller 1 gång på 160 miljoner år.

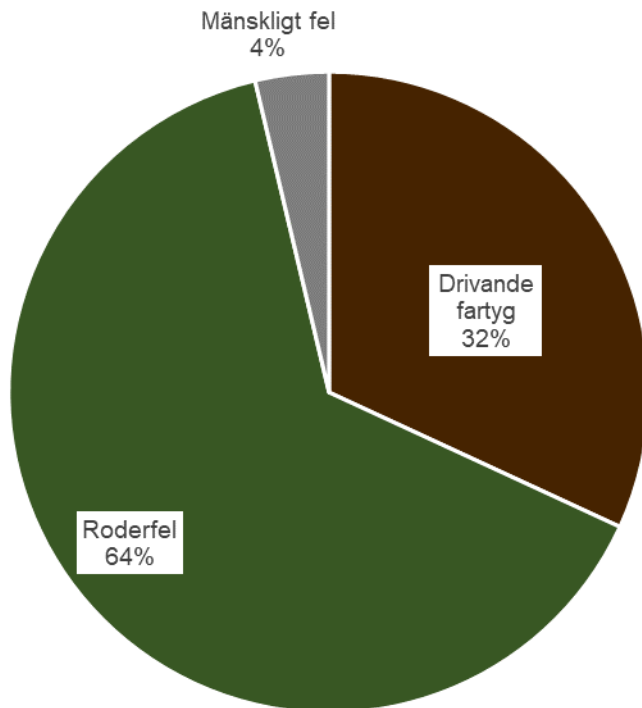
Tabell 24. Huvudalternativet: Sammanfattning av riskbidrag vid beräkning av individrisk.

Inledande händelse	Individrisk (platsspecifik risk, individ som alltid vistas på bron)	Individrisk
	[sannolikhet att omkomma per år]	[sannolikhet att omkomma per år]
Drivande fartyg	2,0E-07	2,0E-09
Roderfel	4,0E-07	4,0E-09
Mänskligt fel	2,3E-08	2,3E-10
Totalt	6,1E-07	6,1E-09



Figur 29. Huvudalternativet: Individrisk för en hypotetisk individ som nyttjar bron.

Individriskbidrag illustreras i Figur 30. Det framgår att det är fartyg som driver på den fasta brodelen som utgör störst del av risken.

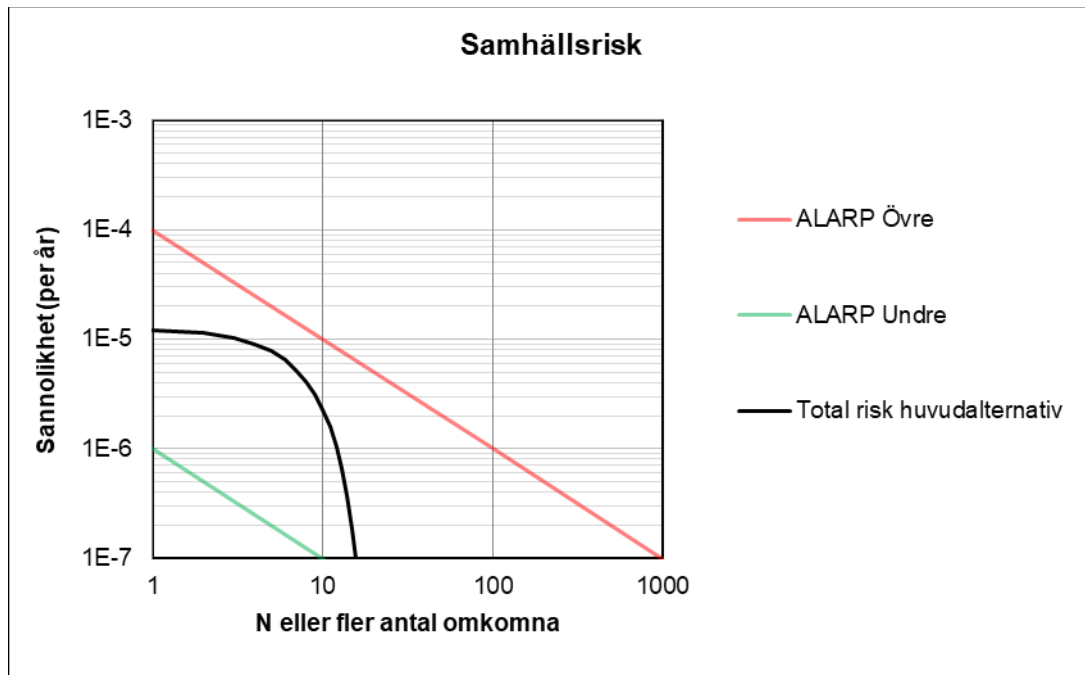


Figur 30. Huvudalternativet: Individriskbidrag per olyckskategori vid påsegling av gång- och cykelbron.

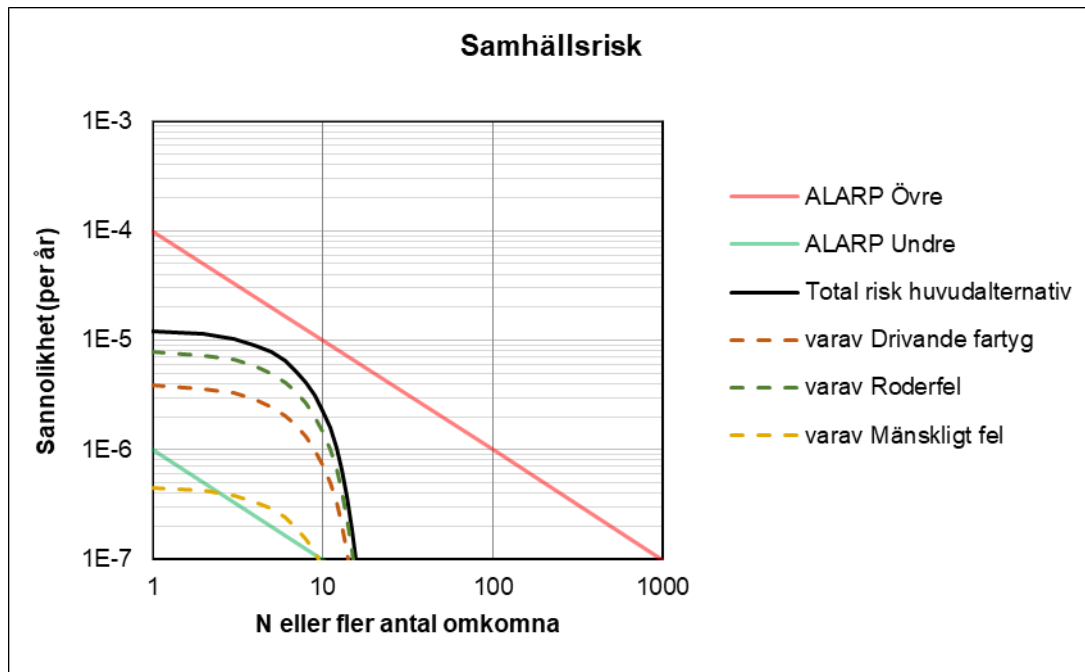
8.2 Samhällsrisk

Konsekvenserna beräknas utifrån de antaganden som gjorts om antalet gång- och cykeltrafikanter som väntar på bron.

Samhällsrisken presenteras i ett så kallat F/N-diagram (Frequency of accidents/Number of fatalities). I F/N-diagrammet går det att avläsa den årliga sannolikheten för att en eller flera personer omkommer i anslutning till riskkällan. Figur 31 visar det konventionella F/N-diagrammet för huvudalternativet och Figur 32 presenterar en uppdelning av F/N-diagrammet per riskbidrag.



Figur 31. Huvudalternativet: Samhällsrisks för påsegling av gång- och cykelbron.



Figur 32. Huvudalternativet: Samhällsrisks för påsegling av gång- och cykelbron uppdelat per riskbidrag. Notera att skalan är logaritmisk vilket innebär att skillnaden mellan varje skalsteg motsvarar en tiodubbling av sannolikheten respektive antalet omkomna.

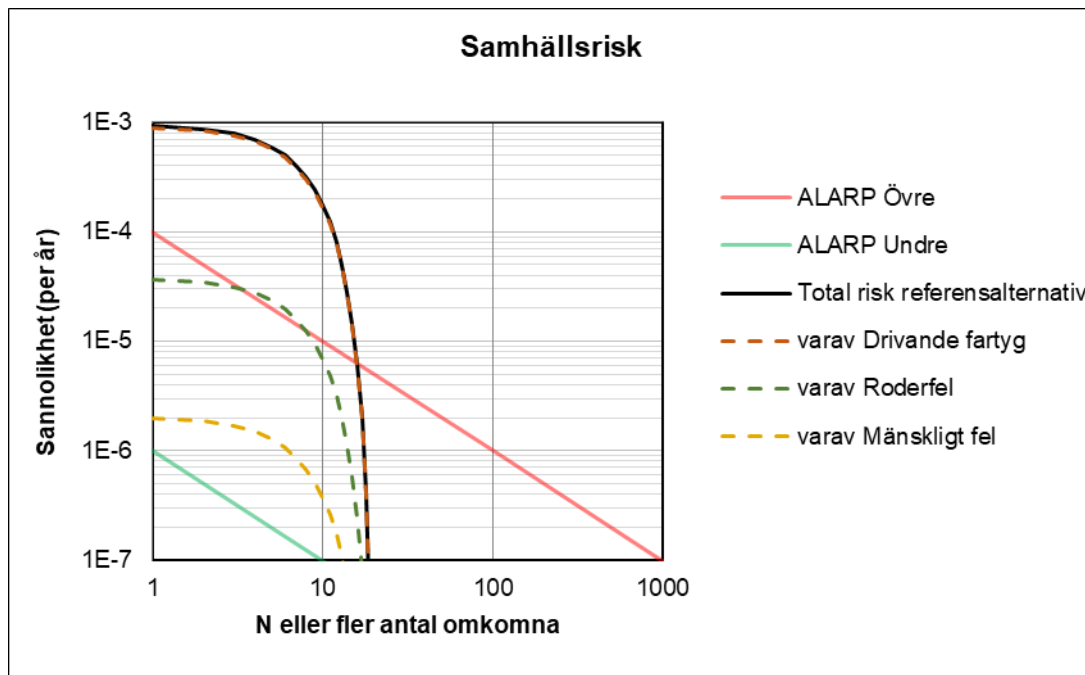
Sannolikheten för en olycka där minst en person omkommer uppgår till $1,2 \cdot 10^{-5}$ per år vilket motsvarar en sådan olycka med cirka 83 000 års mellanrum. Sannolikheten för en olycka där fler än en person omkommer avtar sedan enligt Figur 31. Att fler än 20 personer omkommer bedöms inte kunna inträffa.

Precis som för individrisken är det roderfel som står för störst del av risken.

8.2.1 Referensalternativet

Resultaten för samhällsrisk som presenteras ovan avser huvudalternativet där gång- och cykelbron utformas med kompletterande säkerhetshöjande åtgärder.

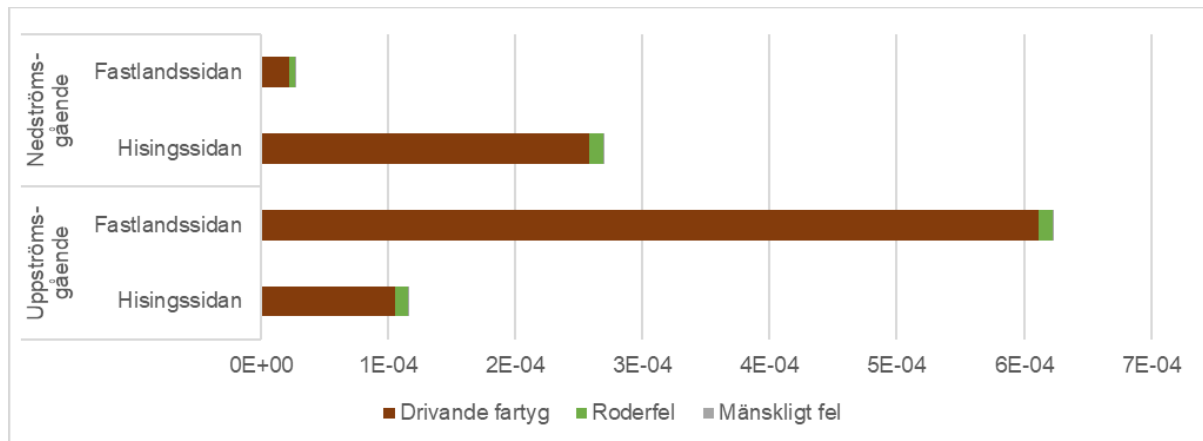
Med andra antaganden hade den beräknade risken blivit en annan. I Figur 33 presenteras resultat för referensalternativet om endast grundläggande säkerhetshöjande åtgärder vidtas, alltså att kortare ledverk och bro med lägre påseglingskapacitet (se Figur 1 i avsnitt 2.1.1) byggs. I detta alternativ antas en mindre andel fartyg fångas av ledverken och bronns energiupptagningskapacitet begränsas till att tåla påsegling av ett Vänermaxfartyg som driver i högst 1 knop.



Figur 33. Referensalternativet: Gång- och cykelbro med grundläggande säkerhetshöjande åtgärder.

Sannolikheten för en olycka där minst en person omkommer uppgår till $9,3 \cdot 10^{-4}$ per år vilket motsvarar en sådan olycka med cirka 1 100 års mellanrum. Detta är mer än 70 gånger så ofta som för huvudalternativet. Till skillnad från huvudalternativet är maskinhaveri den inledande händelse som beräknas stå för det största riskbidraget, vilket beror på att drivande lastfartyg ofta har en högre hastighet än vad referensalternativet har kapacitet att ta upp.

Som framgår av Figur 34 är risken större för påsegling av såväl uppströms- som nedströmsgående fartyg och på båda sidor av bron än för huvudalternativet. För referensalternativet är det brobanan som ansluter till Packhuskajen ("Fastlandssidan") som löper störst risk för brokollaps.



Figur 34. Referensalternativet: Frekvens för brokollaps för olika inledande händelser och fartygsriktningar kopplat till respektive brohalva för referensalternativet. "Fastlandssidan" avser brobanan närmast Packhuskajen och "Hisingssidan" avser brobanan närmast Hugo Hammars kaj.

8.2.2 Känslighetsanalysfall framtida fartygstrafik

Resultaten för samhällsrisk för huvudalternativet bygger på att mängden transporterat gods i Göta älv kommer att öka med 46 % mellan år 2022 och 2045. Godsökningen kommer in i beräkningarna för huvudalternativet genom att antalet fartygspassager ansätts öka i samma takt som godsmängden, med 46 %.

Det är osäkert om godsökningen verkligen kommer att ske, och om den sker så är det osäkert hur fartygsflottan kommer att se ut i framtiden. I Figur 35 redovisas resultatet av två känslighetsanalyser:

Osäkerhetsfall 1 (ingen godsökning)

Oförändrad transportgodsvolym innebär att fartygstrafiken antas vara densamma sett till såväl fartygsstorlekar som antal fartygspassager år 2045 som 2022. Beräkningarna baseras på AIS-datan för 2022 utan omskalning.

Osäkerhetsfall 2 (godsökning 46 % och övergång till nya Vänermaxfartyg)

Som beskrivs i huvudrapporten kan framtida gods-fartyg bli betydligt större än dagens Vänermax. I denna beräkning antas hälften av dagens Vänermaxfartyg ersättas av större, nya Vänermaxfartyg.

Godsökningen innebär en ökning från 1 827 000 ton (2019) till 2 669 000 ton (2045), det vill säga 842 000 ton gods tillkommer (Trafikverket, 2024).

Ökningen antas bestå dels i att hälften av trafikerande Vänermaxfartyg byts ut till nya Vänermax, dels att samtliga fartyg ökar i antal passager med 30 %, se Tabell 25.

Tabell 25. Antal fartygspassager i AIS-datan (2022) och i osäkerhetsfall 2 (2045).

Antal fartyg	2022	2045
Varav nuvarande Vänermax	604	393
Varav nya Vänermax	0	393
Övriga lastfartyg	724	941
Totalt	1328	1726

Nya Vänermax lastar 5 500 ton gods när det är fullastat. Nuvarande Vänermax lastar 4 000 ton. I teorin skulle alltså ett nytt Vänermaxfartyg kunna lastas med 1 500 ton gods mer än ett nuvarande Vänermaxfartyg. Ett sådant utbyte, där hälften av dagens 604 Vänermaxfartyg byts ut mot nya Vänermax skulle därmed innebära att 302 x 1500 ton = 453 000 ton ytterligare gods skulle kunna fraktas.

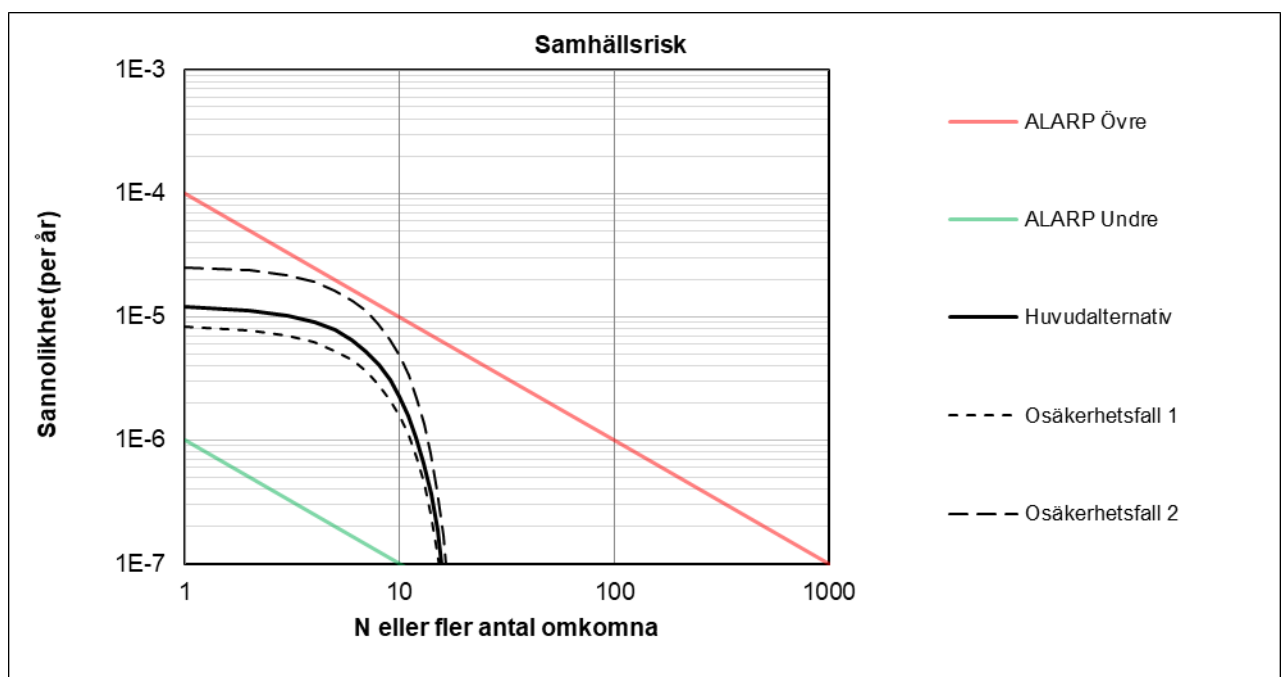
Fartygen är emellertid sällan fullastade; en bedömning är att de i genomsnitt går något mer än halvlastade. I osäkerhetsanalysen antas konservativt att lastkapaciteten i genomsnitt nyttjas till endast

50 % vilket innebär att varje utbytt fartyg i genomsnitt transporterar 750 ton mer last. Detta är ett konservativt antagande¹⁶ eftersom det avgör hur stor del av godsökningen som hanteras av utbytet till nya Vänermax.

Med nedanstående beräkning visas att en 30-procentig ökning i antal passager och ett utbyte av hälften av trafikerande Vänermaxfartyg mot nya Vänermax summerar upp till 46 % godsökning.

616 000 ton gods	Antalet turer ökar med 30 %
+ 226 000 ton gods	Vänermax byts ut mot nya Vänermax (130% · 604/2=393 passager à 750 ton)
842 000 ton gods	

Risken beräknas utifrån uppgifter i AIS-datan för 2022 där hälften av alla Vänermaxfartyg byts ut mot nya Vänermax genom att displacementet ökar med 2 700 ton. Antalet passager för varje fartyg skalas upp med 30 %.



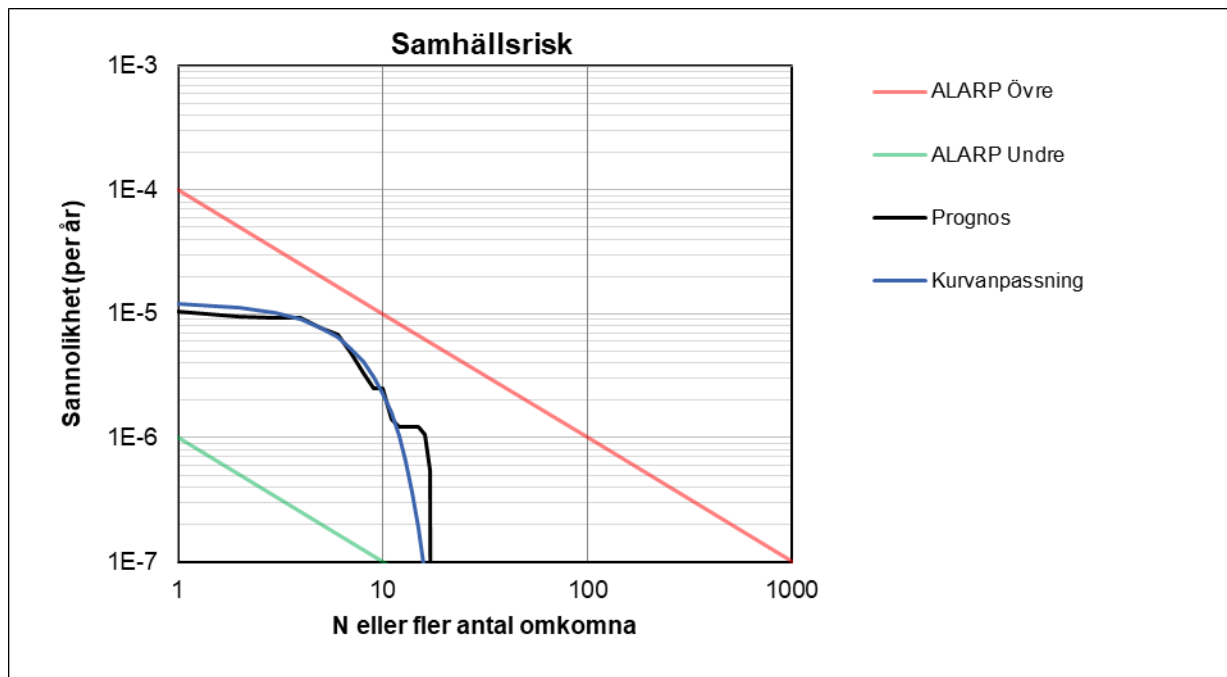
Figur 35. Osäkerhetsfall 1: Som huvudalternativet, med oförändrad transportgodsvolym, och Osäkerhetsfall 2: Som huvudalternativet, med nya Vänermaxfartyg som delvis tar hand om antagen ökning i transportgodsvolym.

Som förväntat blir risken lägre än huvudalternativet för osäkerhetsfall 1 högre för osäkerhetsfall 2. För samtliga alternativ ligger emellertid samhällsrisken i ALARP-området.

8.2.3 Känslighetsanalys kurvanpassning väntande gång- och cykeltrafikanter

I kapitel 7 görs en kurvanpassning av antalet väntande gång- och cykeltrafikanter på bron i stället för att prognosen används rakt av. Skälet är att prognosen genererar en riskkurva som ger intryck av att vara framtagna med stor precision, vilket är vilseledande när fördelningen av väntande trafikanter under dygnet är osäker. I Figur 36 visas att betydelsen av att använda en kurvanpassning är liten för analysens slutsatser jämfört med att använda prognosen direkt i modellen. Kurvanpassningen innebär att en något lägre risk beräknas för sannolikheten att 17 eller fler personer omkommer vilket förklaras med den sannolikhetsfördelning som har valts. För andra antal är skillnaden liten.

¹⁶ Ju större andel godsmängd som nya Vänermax antas kunna hantera, desto mindre ökning i antal passager och därmed lägre riskökning.



Figur 36. Huvudalternativet: Känslighetsanalys för antal väntande. I beräkningarna har en kurvanpassning av antalet väntande gjorts baserat på prognosen i stället för att använda prognosen rakt av. I detta känslighetsanalysfall studeras betydelsen av det valet jämfört med att använda prognosen.

8.2.4 Osäkerhetsbedömning av andel förolyckade

I analysen antas förenklat att en fast andel av samtliga väntande gång- och cykeltrafikanter på bron omkommer vid brokollaps. Detta bygger på generella antaganden om utrymning som inte tar hänsyn till hur många människor som befinner sig på bron eller var de väntar, vilken del av bron som blir påseglad, hur mycket tid som finns till godo eller förutsättningarna för utrymning.

Det finns flera osäkerheter i uppskattningen av hur många gång- och cykeltrafikanter som riskerar att omkomma vid en olycka där bron kollapsar. Antagandena ovan förutsätter en jämn fördelning av trafikanter på bron vid olyckstillfället. Nedan listas några osäkerheter som påverkar hur många människor som kan omkomma. För att undersöka om antagandena är rimliga mot bakgrund av osäkerheterna diskuteras osäkerheterna tillsammans med ett exempel. Exemplet baseras på genomsnittliga förhållanden eller förhållanden som på annat sätt går att motivera, för att säkerställa att det ger liknande resultat som antagandet om 5% förolyckade.

Antalet väntande gång- och cykeltrafikanter

Antalet gång- och cykeltrafikanter antas variera mellan 0 och 400. Av fördelningen i Figur 27 framgår att antalet väntande i medianfallet är 125 av vilka 92 är cyklister och 33 är fotgängare, så exemplet utgår från att det väntar 125 människor på hela bron.

Människors placering på bron när de väntar vid broöppning

Hälften av de väntande gång- och cykeltrafikanterna antas befinna sig på vardera sida om öppningen (17 fotgängare och 46 cyklister). De flesta trafikanter antas vänta nära bommarna men enstaka trafikanter kan befinna sig på spridda platser längs hela brobanan. Kön från bommarna antas vara cirka 75 meter lång och omfatta 50 personer. Övriga personer antas befinna sig utspridda längs bron med i genomsnitt cirka 6 meters avstånd.

Vilken del av brobanan som träffas av fartyget

Fartyget kan träffa olika delar av brobanan, beroende på bland annat var fartyget befinner sig när olycksförloppet inleds samt fartygets rörelseriktning och status på maskin och roder. Fartyg med

roderfel bedöms kunna orsaka brokollaps nära landanslutningarna medan drivande fartyg i högre utsträckning kan träffa nära broöppningen och orsaka brokollaps. I mitten är brobanan som starkast och därför är risken för brokollaps mindre där. I detta exempel beaktas både brokollaps nära broöppningen och nära landanslutningen eftersom det är betydande skillnader i antalet människor som antas befinna sig på de olika platserna.

Sträcka av bron som kollapsar

Hur omfattande skador bron får och längs hur lång sträcka som bron kollapsar är olika för olika träffpunkter och skiljer sig för olika fartyg, påseglingsvinklar och påseglingsenergi. Beroende på omständigheterna kan bron skadas längs en sträcka om 10–50 meter (se avsnitt 3.4). Fartyget antas i exemplet skada bron så att den kollapsar längs en sträcka om 30 meter. Om fartyget träffar nära broöppningen så antas således 20 personer¹⁷ befinna sig längs sträckan som kollapsar och om fartyget träffar nära landanslutningen så antas 5 personer¹⁸ befinna sig längs sträckan som kollapsar.

Tid för utrymning

Tiden för utrymning innan fartyget når fram till bron kan variera från cirka 85 sekunder till många minuter beroende på var fartyget befinner sig när olycksförloppet inleds, vilken typ av fel som drabbat fartyget, fartygets hastighet samt eventuella åtgärder som besättningen vidtar. Den tillgodovarande tiden antas i detta exempel vara lite mer än 90 sekunder vilket motsvarar ett fartyg i full fart som får maskinhaveri 300 meter från bron, utan hänsyn till inbromsning eller andra fartreducerande åtgärder.

Hur många som utrymmer

Människor kan bete sig på olika sätt vid fara eftersom individer har olika ha olika förutsättningar att uppfatta risken och flytta sig till en säkrare plats. Hälften av trafikanterna antas under de konservativt valda 90 sekunderna hinna identifiera faran och flytta sig till en säker plats¹⁹. Detta är en försiktig uppskattning då fler i verkligheten bedöms hinna evakueras. Vid risk för påsegling kommer faran att kommuniceras genom signal- eller högtalarsystem vilket ökar möjligheten för en effektiv utrymning.

Om fartyget träffar nära broöppningen antas således 10 personer omkomma (8 % av samtliga 125 på bron) och om fartyget träffar nära landanslutningen så antas 2–3 personer omkomma (2 % av samtliga 125 på bron).

Andel omkomna

Roderfel står för ungefär 2/3 av risken för brokollaps och drivande fartyg står för ungefär 1/3 av risken (se Tabell 20), så i exemplet antas fartyg träffa nära broöppningen var tredje gång och nära land två gånger av tre. I genomsnitt²⁰ omkommer följaktligen 4 % av de väntande på bron, vilket är mindre än analysantagandet som innebär att 5 % omkommer. För detta exempel är antagandet därmed rimligt.

Det går att identifiera värstafallscenarier där en större andel omkommer än i exemplet ovan men de är inte representativa för huvuddelen av de olyckor som är möjliga. I många fall bedöms andelen som omkommer tvärtom vara lägre än i exemplet. Vid påsegling över brons kapacitet antas brobanan kollapsa och samtliga som befinner sig där omkomma vilket innebär en förenkling. I verkligheten behöver inte påsegling innebära att bron fallerar totalt, och människor som befinner sig där kan överleva beroende på förhållandena vid olyckan.

¹⁷ 50 personer · 30 meter / 75 meter = 20 personer

¹⁸ 30 meter / 6 meter/person = 5 personer

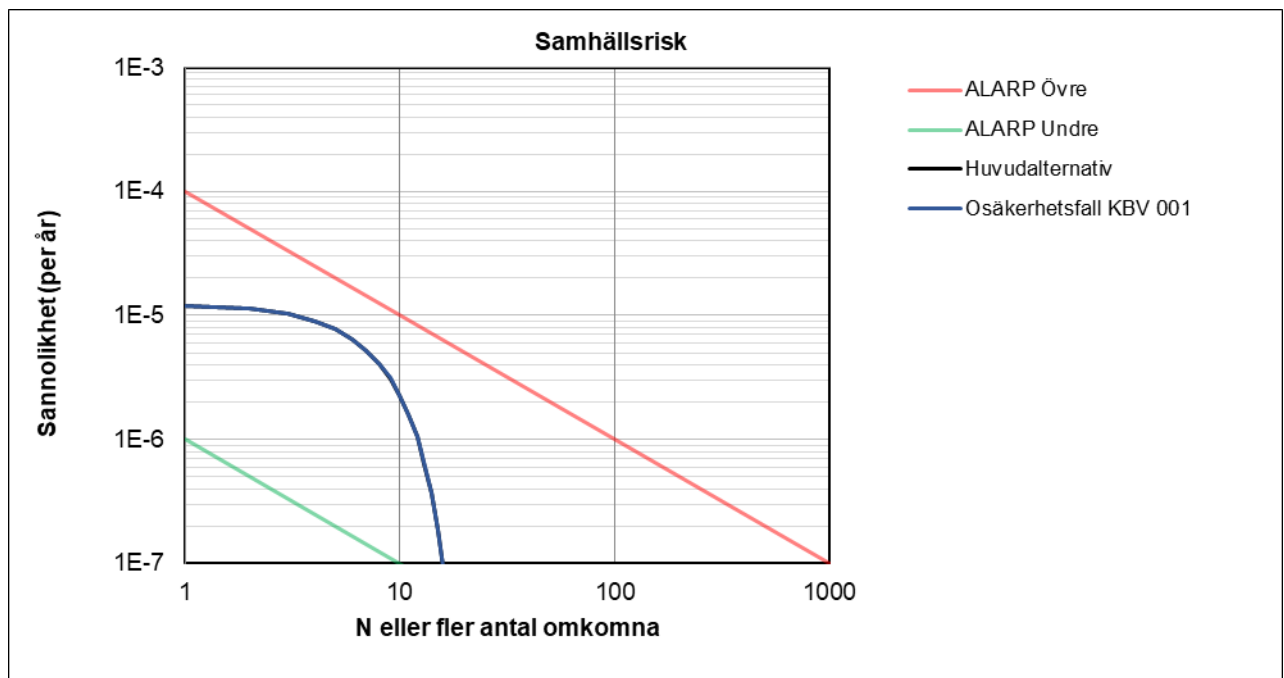
¹⁹ Motsvarande antagande om 50 % har gjorts i andra riskanalyser, se till exempel riskanalysen avseende fartygspåkörningar för Halvön (Ramböll, 2020).

²⁰ $8\% \cdot 1/3 + 2\% \cdot 2/3 = 4\%$

Sammanfattningsvis finns det en osäkerhet i samhällsriskens kopplat till modellen för antal väntande, antal exponerade och antalet omkomna. Bedömningen är dock att de antaganden som gjorts i analysen är rimliga.

8.2.5 Känslighetsanalys KBV 001

Kustbevakningens fartyg KBV 001 ingår inte i riskberäkningarna som utgår från lastfartyg. Displacement för KBV 001 uppgår till 3 760 ton och riskerar vid påsegling att skada bron om fartyget fortsätter att trafikera när bron är byggd. En känslighetsanalys för betydelsen av KBV 001 har genomförts vilken visar att sannolikheten för brokollaps ökar med 0,4 % om KBV 001 fortsätter trafikera vilket bedöms vara försumbart. Resultatet är att KBV 001 har en marginell påverkan på samhällsrisk, se Figur 37.



Figur 37. Huvudalternativet: Känslighetsanalys för betydelsen av KBV 001. I huvudalternativet ingår inte KBV 001 men i osäkerhetsfallet har fartyget lagts till. Eftersom skillnaden mellan huvudalternativet och osäkerhetsfallet med KBV 001 är liten så ser kurvorna i figuren ut att sammanfalla.

REFERENSER

- Engberg, P. (2019). *IWRAP Mk2*. project44 A/S. Hämtat från https://www.iala-aism.org/wiki/ialawiki/images/5/5a/20191201_lwrap_mk2.pdf
- Pedersen, P. T. (1995). Collision and Grounding Mechanics. *The Danish Society of Naval Architects and Marine Engineers*, 125-157.
- Ramböll. (2020). *PM Riskanalys avseende fartygspåkörningar för Halvön*. Trafikkontoret Göteborgs Stad.
- SMHI. (den 23 april 2024). *Ladda ner meteorologiska observationer. Stationsnamn Göteborg A Stationsnummer 71420*. Hämtat från SMHI: <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/airtemperatureInstant/71420>
- SSPA. (2012). *Skeppsbron - Maritim riskbedömning*. RE20115916-01-00-B.
- SSPA. (2015). *Maritim riskbedömning för utvecklingsprojekt Järnvågen med vattenverksamhet och ny DP för södra Älvstranden mellan Rosenlundskanalen och kajplatserna 22-24*. RE20115916-02-00-A.
- Svensk Standard. (2006). *Eurokod 1 - Laster på bärverk - Del 1-7: Allmänna laster - Olyckslast*. SS-EN 1991-1-7.
- Sweco. (2025-03-23). *PM Sjöfart*.
- Trafikverket. (2024). *Prognos Göta älv - Kustområde/stråk - Lindholmspiren - Marieholm (centrala Göteborg)*.