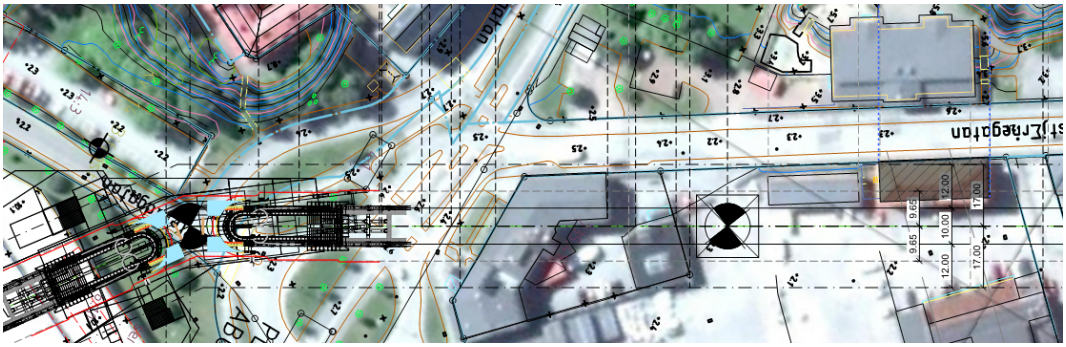
Kontor i 3 st. plan samt källare
Aktuell byggnad utgör kontor i tre våningsplan samt källare. Byggnaden är friliggande.

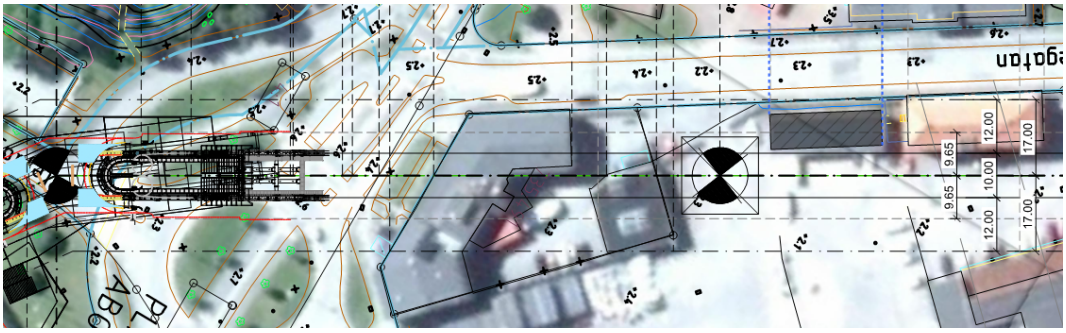
Kontorsbyggnaden har en högsta nockhöjd om ca 15 m. Byggnadens högsta punkt är belägen på +17,0 m.



Figur 29:I figuren är berörd byggnad markerad med grå färgöverstrykning. Byggnaden är delvis belägen rakt under linbanan.

Förråd
Aktuell byggnad utgör förråd för filmrekvisita i ett våningsplan. Byggnaden är friliggande.

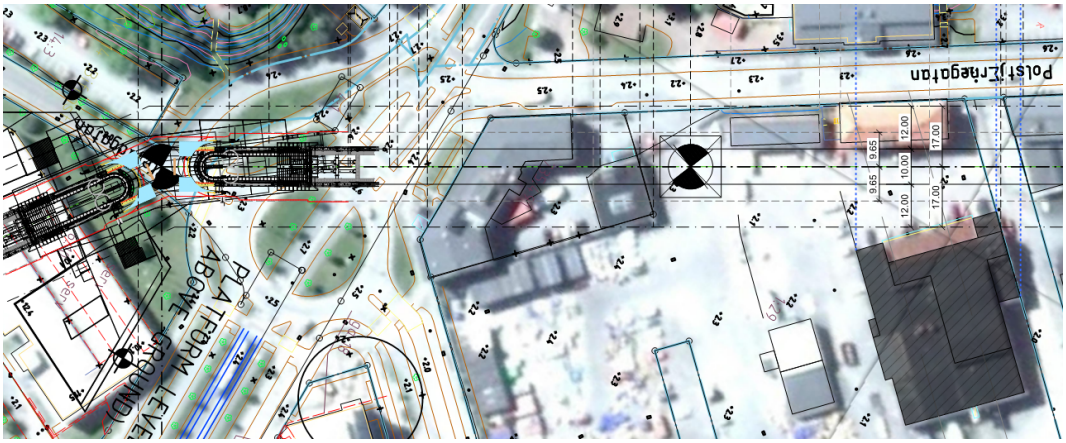
Byggnaden har en högsta nockhöjd om ca 5,2 m. Byggnadens högsta punkt är belägen på ca +7,5 m.



Figur 30:I figuren är berörd byggnad markerad med grå färgöverstrykning.

Fabrik - F.d. Nordiska Syrgasverken
Aktuell byggnad utgör fabriksbyggnad. Enligt uppgift från hyresgästen är den berörda lokalen nedlagd och igenbommad. Lokalen står tom och inget brännbart förvaras inom denna.

Byggnaden har en högsta nockhöjd om ca 11 m. Byggnadens högsta punkt är belägen på +13,6 m.

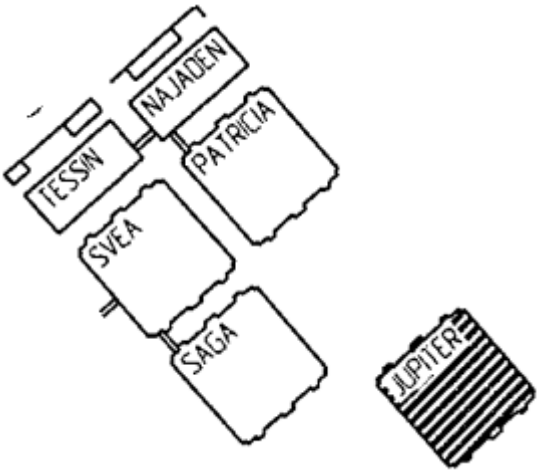


Figur 31:I figuren är berörd byggnad markerad med grå färgöverstrykning. Byggnaden är delvis belägen rakt under linbanan.

3.2.18 Kontor, skola och verkstad – Lindholmen 6:5

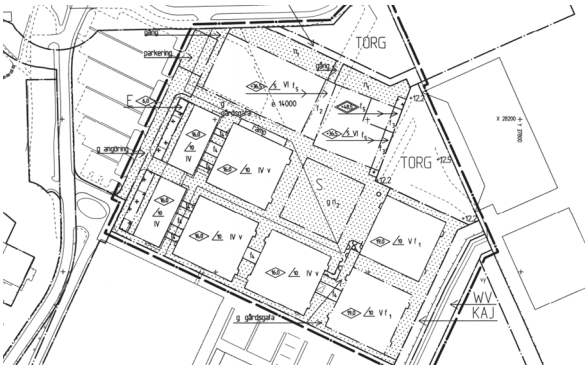
Aktuell fastighet är belägen på Lindholmen. Berörda byggnader tillhör Chalmers Fastigheter. Berörd fastighet avser ett flertal byggnader. Aktuell handling berör 10 av dessa byggnader vilka är belägna i anslutning till den stationsbyggnad som planeras vid Lindholmen. Byggnaderna benämns enligt följande:

- Förråd (3 st.)
- Tessin och Najaden
- Svea och Patricia samt Kårhuset
- Saga
- Jupiter



Figur 32:Figuren redovisar de berörda byggnadernas inbördes förhållande. Förråden är byggnaderna vilka är markerade i anslutning till Tessin och Najaden.

Nedan redovisas utdrag av plankartan för den berörda fastigheten.



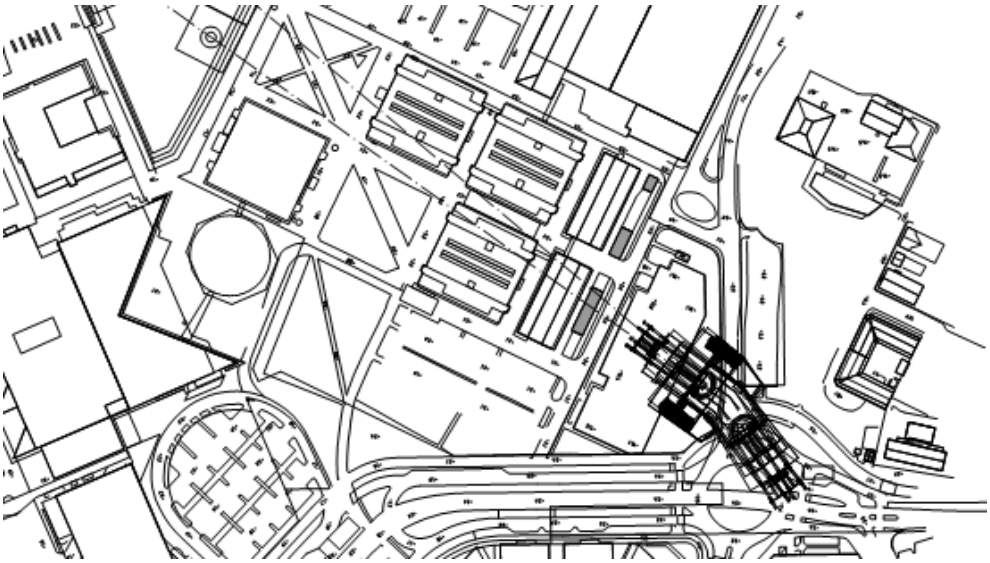
Figur 33:Figuren visar delar av gällande plankarta där maximal byggnadshöjd finns redovisad. Plankarta akt 1480K-II-4720.

De befintliga byggnaderna som berörs behandlas var och en för sig i aktuellt avsnitt nedan.

Förråd
Byggnaderna utgör förrådsbyggnader. Respektive byggnad har en högsta nockhöjd om ca 3,2 m.

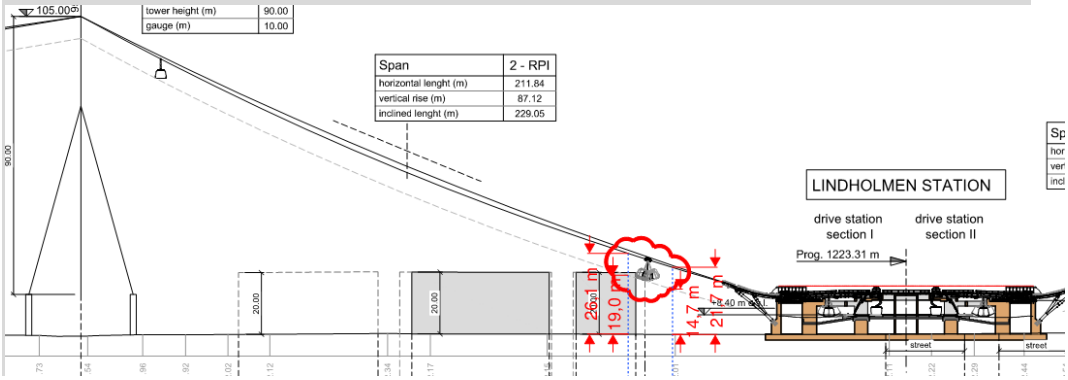
Byggnadernas högsta punkt är belägen på +5,5 m.

Enligt gällande plankarta får förråd uppföras med byggnadshöjd 6 m (+8,0 m) med bredd om ca 6 m. Med möjlighet till 45º takvinkel ger detta en högsta nockhöjd enligt byggrätt om ca + 11,0 m.



Figur 34:I figuren är berörda byggnader markerade med grå färgöverstrykning. Byggnaderna är delvis belägna rakt under linbanan.

Nedan redovisas ett utdrag på planerad sträckning av linbanan i anslutning till de aktuella byggnaderna. Det ska observeras att denna sträckning vid upprättandet av aktuell handling inte har fastställts. Sträckningen redovisas för att ge en indikation om linbanans planerade sträckning i anslutning till de berörda byggnaderna.



Figur 35:Figuren visar ett tvärsnitt över linbanans höjd vid aktuell placering. De uppmätta värdena redovisar vertikalt avstånd från markplan från byggnadens hörn som vetter mot linbanan. De blå streckade linjerna är markerade hjälplinjer vilka anger byggnadens hörn.

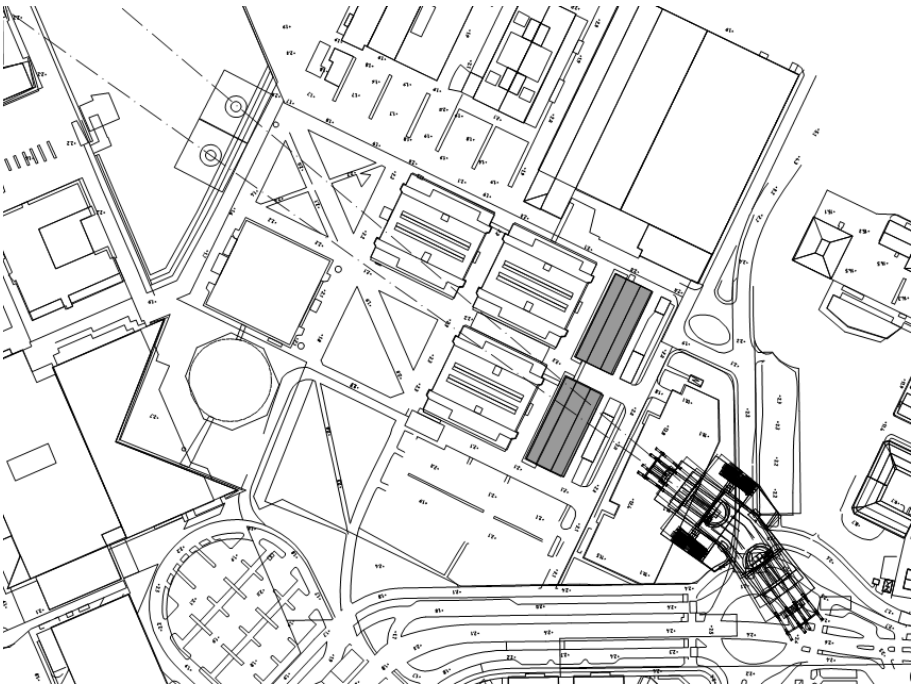
Figuren ovan visar vertikalt avstånd från markplan till undersida gondol samt lina. Då byggnadens högsta punkt är belägen på höjden +5,5 m blir kortaste avståndet till gondol från takkonstruktionen 11,2 m. Kortaste avståndet till lina blir 18,2 m.

Tessin och Najaden

De båda byggnaderna utgör verkstadsbyggnader för utbildning i fyra våningsplan samt källare och vind. Markplan samt de två ovanliggande planen nyttjas som verkstad och det översta våningsplanet nyttjas för förvaring.

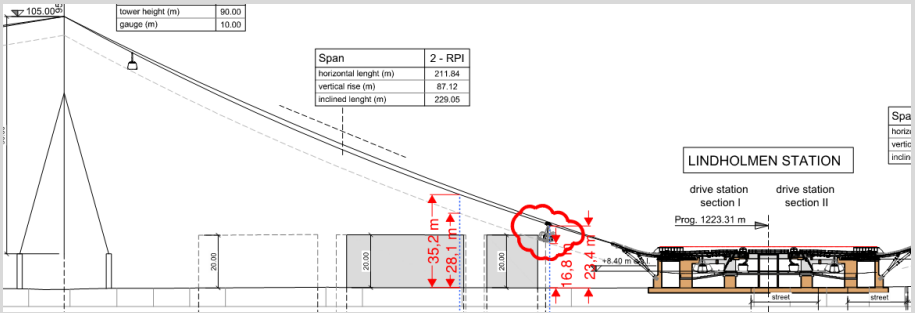
Byggnaderna har en högsta nockhöjd om ca 19 m. Byggnadens högsta punkt är belägen på +21,4 m.

Enligt gällande plankarta får byggnaderna uppföras med byggnadshöjd 16 m (+18,1 m) med bredd om ca 18,5 m. Med möjlighet till 45º takvinkel ger detta en högsta nockhöjd enligt byggrätt om ca + 27,4 m.



Figur 36:I figuren är berörda byggnader markerade med grå färgöverstrykning. Byggnaderna är delvis belägna rakt under linbanan.

Nedan redovisas ett utdrag på planerad sträckning av linbanan i anslutning till de aktuella byggnaderna. Det ska observeras att denna sträckning vid upprättandet av aktuell handling inte har fastställts. Sträckningen redovisas för att ge en indikation om linbanans planerade sträckning i anslutning till de berörda byggnaderna.



Figur 37:Figuren visar ett tvärsnitt över linbanans höjd vid aktuell placering. De uppmätta värdena redovisar vertikalt avstånd från markplan från byggnadens hörn som vetter mot linbanan. De blå streckade linjerna är markerade hjälplinjer vilka anger byggnadens hörn.

Figuren ovan visar vertikalt avstånd från markplan till undersida gondol samt lina. Då byggnadens högsta punkt är belägen på höjden +21,4 m kommer denna att vara i jämnhöjd med passerande gondoler. Kortaste avståndet till lina blir 4,0 m.

Svea och Patricia samt Kårhuset
De båda byggnaderna utgör skola, kontor och hörsalar m.m. Byggnaderna är i fyra våningsplan samt källare och teknikrum på tak.

Byggnaderna är försedda med automatisk vattensprinkleranläggning enligt RUS 120:3, SBF 120:5 samt SBF 120:6. Installationen är en förutsättning för utformningen av det byggnadstekniska brandskyddet inom byggnaden.

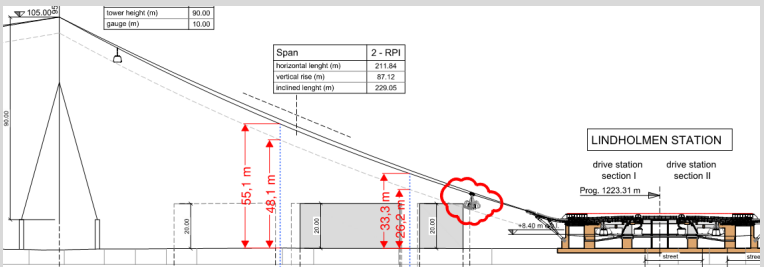
Byggnaderna är befintligt utförd med vidarekopplat deltäckande brand- och utrymningslarm i enlighet med SBF 110:6. Installationen är en förutsättning för utformningen av brandskyddet i byggnaden.

Byggnaderna har en högsta nockhöjd om ca 20,6 m. Byggnadens högsta punkt är belägen på +23,0 m.

Enligt gällande plankarta får byggnad för utbildning/kontor uppföras med byggnadshöjd 16 m (+18,1 m) med bredd om ca 43 m. Med möjlighet till 45º takvinkel ger detta en högsta nockhöjd enligt byggrätt om ca + 39,6 m.

Figur 38:I figuren är berörda byggnader markerade med grå färgöverstrykning. Byggnaderna är delvis belägna rakt under linbanan.

Nedan redovisas ett utdrag på planerad sträckning av linbanan i anslutning till de aktuella byggnaderna. Det ska observeras att denna sträckning vid upprättandet av aktuell handling inte har fastställts. Sträckningen redovisas för att ge en indikation om linbanans planerade sträckning i anslutning till de berörda byggnaderna.



Figur 39:Figuren visar ett tvärsnitt över linbanans höjd vid aktuell placering. De uppmätta värdena redovisar vertikalt avstånd från markplan från byggnadens hörn som vetter mot linbanan. De blå streckade linjerna är markerade hjälplinjer vilka anger byggnadens hörn.

Figuren ovan visar vertikalt avstånd från markplan till undersida gondol samt lina. Då byggnadens högsta punkt är belägen på höjden +23,0 m blir kortaste avståndet till gondol från takkonstruktionen 5,4 m. Kortaste avståndet till lina blir 12,5 m.

Saga

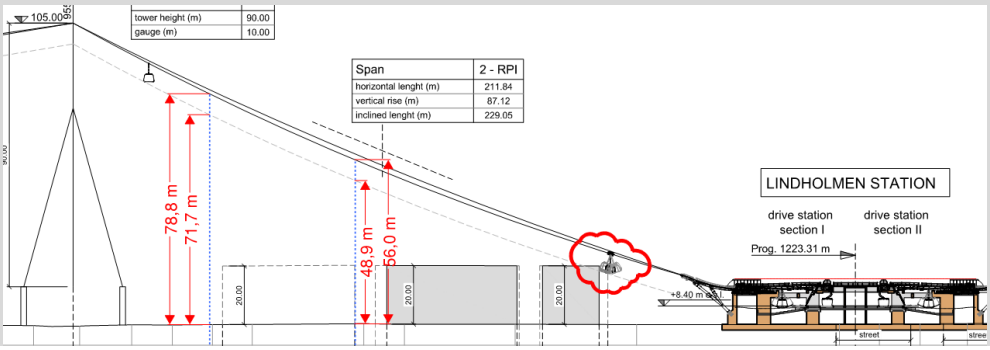
Byggnaden utgör skola, kontor och hörsalar m.m. Byggnaderna är i fyra våningsplan samt källare och teknikrum på tak.

Kontorsbyggnaden har en högsta nockhöjd om ca 20,4 m. Byggnadens högsta punkt är belägen på ca +22,0 m.

Enligt gällande plankarta får byggnad för utbildning/kontor uppföras med byggnadshöjd 16 m (+18,2 m) med bredd om ca 43 m. Med möjlighet till 45º takvinkel ger detta en högsta nockhöjd enligt byggrätt om ca + 39,7 m.

Figur 40:I figuren är berörda byggnader markerade med grå färgöverstrykning. Byggnaderna är delvis belägna rakt under linbanan.

Nedan redovisas ett utdrag på planerad sträckning av linbanan i anslutning till den aktuella byggnaden. Det ska observeras att denna sträckning vid upprättandet av aktuell handling inte har fastställts. Sträckningen redovisas för att ge en indikation om linbanans planerade sträckning i anslutning till den berörda byggnaden.



Figur 41:Figuren visar ett tvärsnitt över linbanans höjd vid aktuell placering. De uppmätta värdena redovisar vertikalt avstånd från markplan från byggnadens hörn som vetter mot linbanan. De blå streckade linjerna är markerade hjälplinjer vilka anger byggnadens hörn.

Figuren ovan visar vertikalt avstånd från markplan till undersida gondol samt lina. Då byggnadens högsta punkt är belägen på höjden +22,0 m blir kortaste avståndet till gondol från takkonstruktionen 29,1 m. Kortaste avståndet till lina blir 36,3 m.

Jupiter

Byggnaden utgör skola, kontor och hörsalar m.m. Byggnaden är i 5 våningsplan samt källare.

Byggnaden är försedd med automatisk vattensprinkleranläggning enligt RUS 120:4. Installationen är en förutsättning för utformningen av det byggnadstekniska brandskyddet inom byggnaden.

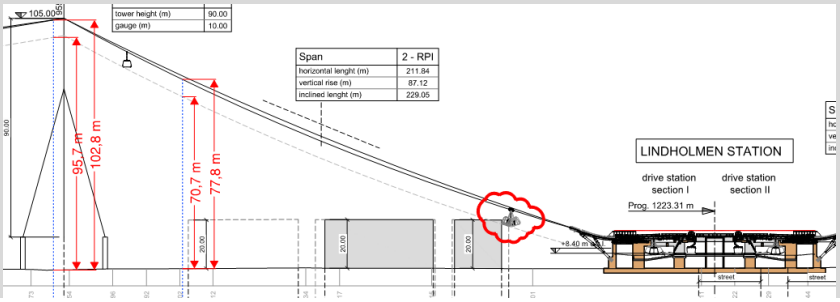
Byggnaden är befintligt utförd med vidarekopplat brand- och utrymningslarm i enlighet med RUS 110:5. Installationen är en förutsättning för utformningen av brandskyddet i byggnaden.

Byggnaden har en högsta nockhöjd om ca 20,0 m. Byggnadens högsta punkt är belägen på ca +22,0 m.

Enligt gällande plankarta får byggnad för utbildning/kontor uppföras med byggnadshöjd 19 m (+21,1 m) med bredd om ca 43 m. Med möjlighet till 45º takvinkel ger detta en högsta nockhöjd enligt byggrätt om ca + 42,6 m.

Figur 42:I figuren är berörda byggnader markerade med grå färgöverstrykning. Byggnaderna är delvis belägna rakt under linbanan.

Nedan redovisas ett utdrag på planerad sträckning av linbanan i anslutning till den aktuella byggnaden. Det ska observeras att denna sträckning vid upprättandet av aktuell handling inte har fastställts. Sträckningen redovisas för att ge en indikation om linbanans planerade sträckning i anslutning till den berörda byggnaden.



Figur 43:Figuren visar ett tvärsnitt över linbanans höjd vid aktuell placering. De uppmätta värdena redovisar vertikalt avstånd från markplan från byggnadens hörn som vetter mot linbanan. De blå streckade linjerna är markerade hjälplinjer vilka anger byggnadens hörn.

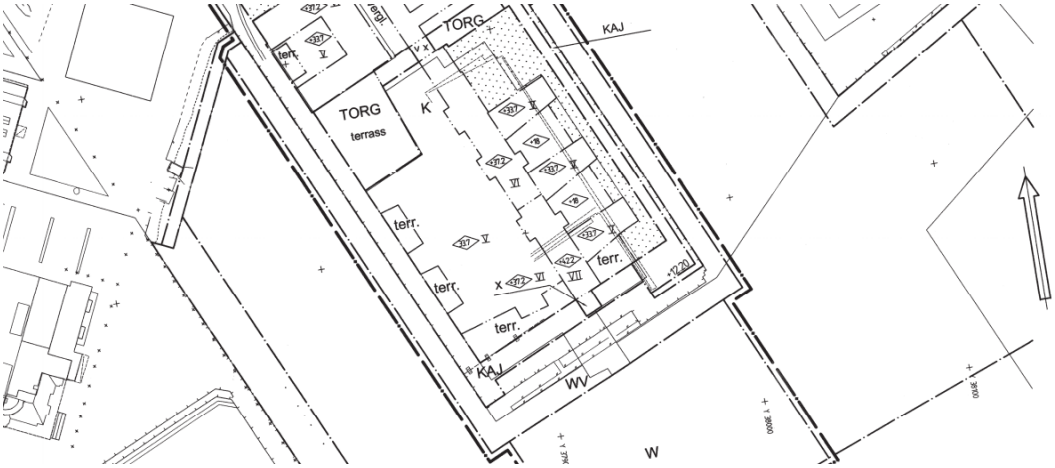
Figuren ovan visar vertikalt avstånd från markplan till undersida gondol samt lina. Då byggnadens högsta punkt är belägen på höjden +22,0 m blir kortaste avståndet till gondol från takkonstruktionen 50,7 m. Kortaste avståndet till lina blir 57,8 m.

3.2.19 Kontor - Lindholmen 30:1

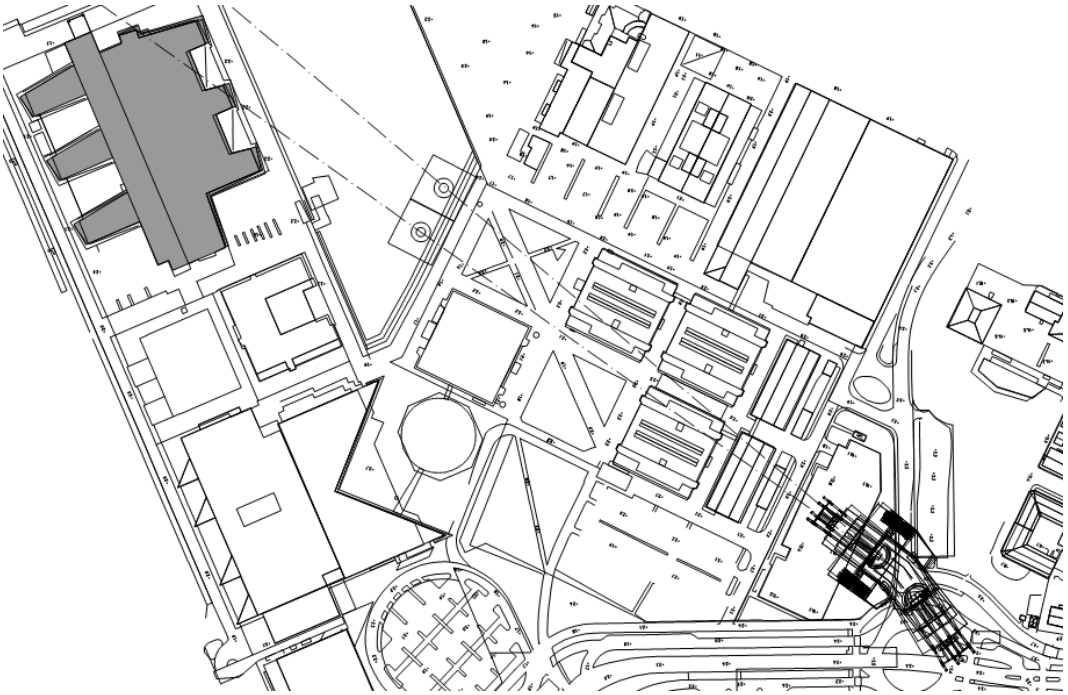
Aktuell byggnad utgör kontor för Ericsson. Byggnaden är i sju våningsplan samt källare och har en högsta nockhöjd om ca 31 m. Byggnadens högsta punkt är belägen på höjden ca +33,2 m.

Nedan redovisas utdrag av plankartan för den berörda fastigheten.

I enlighet med gällande plankarta finns byggrätt med maximal byggnadshöjd om +32,2 m. Tillåten byggnadshöjd varierar för byggnaden. Den högsta delen har dock en bredd om ca 20 m. Med möjlighet till 45º takvinkel ger detta en högsta nockhöjd över denna del om ca + 42,2 m.



Figur 44:Figuren visar delar av gällande plankarta där maximal byggnadshöjd finns redovisad. Plankarta akt 1480K-II-4691.



Figur 45:I figuren är berörda byggnader markerade med grå färgöverstrykning.

4 Utvärdering av byggnader och byggrätter

I följande avsnitt utvärderas och analyseras de byggnader och byggrätter vilka redovisats i avsnitt 3.2. Initialt redovisas jämförelser mellan de aktuella byggnaderna i förhållande till de säkerhetsavstånd som presenteras i avsnitt 2.1.2.

För vissa byggnader och byggrätter har mer objektsspecifika brandscenarier tagits fram än de som ligger till grund för de säkerhetsavstånd som presenteras i avsnitt 2.1.2. Detta avser främst byggnader och byggrätter för vilka de angivna skyddsavstånden inte bedömts tillämpbara. Det är också byggnader och byggrätter med sådant läge att objektsanpassade beräkningar bidrar till en mer fördelaktig placering av linbanan. Utförda beräkningar finns presenterade i bilaga 1.

4.1 Parkeringsdäck - Rambergsstaden 71:2 (Byggrätt P-bolaget)

Enligt uppgifter från beställaren ska linbanan utföras med sådan höjd att de skyddsavstånd som angivits i avsnitt 2.1 upprätthålls.

Den brand vilken är dimensionerande för aktuella vertikala skyddsavstånd om 32 m till lina och 25 m till gondol är ansatt till 144 m^2. En personbil upptar vanligen en yta om ca 5 m^2. Aktuell dimensionerande brand motsvarar således ca 30 bilar. Statistik finns som visar att bränder i garage med ytterst liten sannolikhet omfattar fler än 4 bilar. Med hänsyn till detta bedöms befintliga byggnader på aktuell fastighet kunna bibehållas utan kompletterande åtgärder.

Enligt resonemanget ovan bedöms 32 m skyddsavstånd vara konservativt för aktuell byggnad och byggrätt. Vidare utredning kan med stor sannolikhet visa att kortare skyddsavstånd kan accepteras.

Med hänsyn till detta bedöms aktuell fastighet med befintliga byggnader kunna accepteras utan vidare åtgärder. Befintlig byggrätt bedöms också kunna bibehållas utan krav på inskränkningar med avseende på skydd av linbanan i händelse av brand. Detta avser skyddsavstånd för stillastående lina samt gondoler i drift.

4.2 McDonalds samt outnyttjad byggrätt - Rambergsstaden 71:3

Enligt uppgifter från beställaren ska linbanan utföras med sådan höjd att de skyddsavstånd som angivits i avsnitt 2.1 upprätthålls.

Inom aktuell byggnad finns restaurang. Brandbelastningen inom en restaurang bedöms vara jämförbar med den inom kontor eller bostad. Som exempel på detta anges likvärdiga brandbelastningar för de båda verksamheterna enligt förenklad dimensionering i BBRBE 1 [5]. Det ska också poängteras att restaurangbyggnaden i stort enbart är i ett plan (begränsade delar i två plan) och att den dimensionerande branden som aktuella skyddsavstånd baseras på utgör brand i fyra våningsplan. Med hänsyn till detta bedöms de angivna skyddsavstånden vara på den säkra sidan med avseende på aktuellt objekt.

Enligt resonemanget ovan bedöms 32 m skyddsavstånd vara konservativt för aktuell byggnad och byggrätt. Vidare utredning kan med stor sannolikhet visa att kortare skyddsavstånd kan accepteras.

Med hänsyn till detta bedöms aktuell fastighet med befintliga byggnader kunna accepteras utan vidare åtgärder. Befintlig byggrätt bedöms också kunna bibehållas utan krav på inskränkningar med avseende på skydd av linbanan i händelse av brand. Detta avser skyddsavstånd för stillastående lina samt gondoler i drift.

4.3 Bravida Arenas södra del - Rambergsstaden 733:167

Enligt uppgifter från beställaren ska linbanan utföras med sådan höjd att de skyddsavstånd som angivits i avsnitt 2.1 upprätthålls.

Skyddsavståndet som tagits fram baseras på brand inom flerbostadshus och kontor med en brand med area om 144 m^2. Inom aktuell byggnadsdel bedöms inte ett mer omfattande brandförlopp kunna uppstå och med hänsyn till detta accepteras Bravida Arena i anslutning till den planerade linbanan utan vidare åtgärder.

Enligt resonemanget ovan bedöms 32 m skyddsavstånd vara konservativt för aktuell byggnad. Vidare utredning kan med stor sannolikhet visa att kortare skyddsavstånd kan accepteras.

Byggrätten för aktuell fastighet utgör byggnadshöjd om 8 m. Det ska observeras att aktuell byggrätt är stor vilket medför att linbanans förhållande till denna särskilt ska beaktas så att skyddsavstånden upprätthålls vid framtida justeringar av linbanans läge. Detta beror främst på att den högsta nockhöjden för byggnaden inte är definierad på plankarta eller i detaljplan. I annat fall erfordras kompletterande beräkningar.

Med hänsyn till resonemanget ovan bedöms aktuell fastighet med befintliga byggnader kunna accepteras utan vidare åtgärder. Befintlig byggrätt bedöms också kunna bibehållas utan krav på inskränkningar med avseende på skydd av linbanan i händelse av brand. Detta avser skyddsavstånd för stillastående lina samt gondoler i drift.

4.4 Flerbostadshus - Brämaregården 73:5 samt 73:7

Enligt uppgifter från beställaren kan linbanan komma att passera i anslutning till aktuella byggnader inom ett avstånd som inskränker på de skyddsavstånd som presenterats. Med hänsyn till detta har objektsanpassade beräkningar utförts. Dessa finns redovisade i bilaga 1.

Vid utredning av ett scenario med vindsbrand för punkthus på Brämaregården 73:5 och 73:7 visar utförda beräkningar att ett vertikalt skyddsavstånd till lina om 23,5 m från byggnadernas vindsbjälklag kan accepteras. Förutsatt att vindsbjälklag är belägna på höjden +60 m erfordras således ett skyddsavstånd till höjden +83,5 m. Kriteriet som ger upphov till aktuellt skyddsavstånd är infallande strålning mot passagerare i gondoler.

Vindsbjälklaget är för befintlig byggnad beläget på en höjd under byggnadshöjden (+60 m enligt plan). Att vindsplanet ska bli beläget högre än den i plan angivna byggnadshöjden bedöms inte rimligt då byggrätten tillåter 10 våningsplan vilket i dagsläget är utnyttjat och att det befintliga vindsbjälklaget är beläget ovan det tionde våningsplanet.

Utförda beräkningar visar att det krävs ett skyddsavstånd om 13,0 m i sidled till närmsta lina. Vid beräkningar har gondolbredd om 3,63 m beaktats och att dessa är belägna mitt under lina. Kriterierna som ger upphov till angivet skyddsavstånd är infallande strålning mot människor i gondol samt infallande strålning mot lina.

Förutsatt att ovan angivna avstånd upprätthålls bedöms linbanans konstruktion vara tryggad vid ev. brand.

Utförda beräkningar för aktuell byggnad bedöms vara representativa både för befintlig byggnad och för byggrätten.

Resultatet visar att infallande strålning mot människor i gondoler kan uppgå till ca 10,5 kW/m^2. Resultatet visar samtidigt att denna infallande strålning uppstår under ett tidförlopp som är kortare än 4,5 s. Maximalt infallande strålning överstiger dock

gällande kriterium med 0,5 kW/m^2 varför vidare utredning krävs vid val av gondol när linbanans sträckning är fastslagen. Det bedöms sannolikt att linbanans gondoler i sig själva kan skydda de som vistas inom dessa på sådan sätt att en infallande strålning kan reduceras till under acceptabla 10 kW/m^2. Detta ska dock utredas och säkerställas innan frågan avskrivs.

4.5 Garage - Brämaregården 737:752

Enligt uppgifter från beställaren ska linbanan utföras med sådan höjd att de skyddsavstånd som angivits i avsnitt 2.1 upprätthålls.

För aktuell verksamhet bedöms inte risk för mer omfattande brandförlopp än den omfattning vilken ligger till grund för de säkerhetsavstånd som redovisats. Med hänsyn till detta bedöms aktuell fastighet med befintliga byggnader kunna accepteras utan vidare åtgärder. Befintlig byggrätt bedöms också kunna bibehållas utan krav på inskränkningar med avseende på skydd av linbanan i händelse av brand. Detta avser skyddsavstånd för stillastående lina samt gondoler i drift.

Den brand vilken är dimensionerande för aktuella vertikala skyddsavstånd om 32 m till lina och 25 m till gondol är ansatt till 144 m^2. En personbil upptar vanligen en yta om ca 5 m^2. Aktuell dimensionerande brand motsvarar således ca 30 bilar. Statistik finns som visar att bränder i garage med ytterst liten sannolikhet omfattar fler än 4 bilar. Med hänsyn till detta bedöms befintliga byggnader på aktuell fastighet kunna bibehållas utan kompletterande åtgärder.

Enligt resonemanget ovan bedöms 32 m skyddsavstånd vara konservativt för aktuell byggnad och byggrätt. Vidare utredning kan med stor sannolikhet visa att kortare skyddsavstånd kan accepteras.

Med hänsyn till detta bedöms aktuell fastighet med befintliga byggnader kunna accepteras utan vidare åtgärder. Befintlig byggrätt bedöms också kunna bibehållas utan krav på inskränkningar med avseende på skydd av linbanan i händelse av brand. Detta avser skyddsavstånd för stillastående lina samt gondoler i drift.

4.6 Flerbostadshus - Rambergsstaden 33:3 och 7:2 samt 7:8

Enligt uppgifter från beställaren ska linbanan utföras med sådan höjd att de skyddsavstånd som angivits i avsnitt 2.1 upprätthålls.

För aktuell verksamhet bedöms inte risk för mer omfattande brandförlopp föreligga än den omfattning vilken ligger till grund för de säkerhetsavstånd som presenterats.

Inom aktuella byggnader finns bostäder. Detta är direkt jämförbart med verksamheten inom den byggnad för vilken aktuella skyddsavstånd tagits fram. Den brand som ansatts som dimensionerande är dock framtagen för brand inom fyra våningsplan. Då de aktuella byggnaderna enbart är i 2-3 våningsplan bedöms aktuellt säkerhetsavstånd om 32 m vara väl på den säkra sidan vid tillämpning på aktuellt objekt. Vidare utredning kan med stor sannolikhet visa att kortare skyddsavstånd kan accepteras.

Med hänsyn till detta bedöms aktuella fastigheter med befintliga byggnader kunna accepteras utan vidare åtgärder. Befintlig byggrätt bedöms också kunna bibehållas utan krav på inskränkningar med avseende på skydd av linbanan i händelse av brand. Detta avser skyddsavstånd för stillastående lina samt gondoler i drift.

4.7 Garage – Rambergsstaden 9:9 – Byggrätt om 5,1 m

Uppgifter från beställaren redovisar att linbanan kan komma att hamna inom redovisade skyddsavstånd för linan och ev. i jämnhöjd med denna. I tidigare skede av aktuell utredning har beräkningar utförts för ett horisontellt avstånd mellan byggrätt och lina kan komma att uppgå till 2,9 m. Resultat för dessa beräkningar redovisas nedan. Det ska dock beaktas att varken utformning av byggnad eller linans placering finns fastställd. Med hänsyn till detta ska texten nedan enbart betraktas som ett exempel.

Vid senare tillfälle när linbanans placering fastställts ska vidare utredning av aktuell byggrätt utföras.

Om aktuell byggrätt nyttjas till fullo kan garaget komma att bli i jämnhöjd med den planerade linbanestationen i Lundby. Erhållet underlag visar att horisontellt avstånd från byggnadens hörn kan komma att uppgå till ca 2,9 m. Detta avstånd understiger samtliga rekommenderade skyddsavstånd.

I bilaga 1 presenteras riskreducerande åtgärdsförslag för att den planerade placeringen ska kunna accepteras.

Beräkningar visar att linbanan kommer behöva skydd mot strålning från en ev. brand inom aktuellt garage. Med hänsyn till detta har en föreslagen utformning där takkonstruktion inom 7,5 m från lina samt motstående fasad klassas EI 60.

Med hänsyn till det korta vertikala avståndet ska de fasader som vetter mot linbanekonstruktionen i sin helhet utföras i klass EI 60. Konstruktionen ska också utföras av obrännbart, värmebeständigt material (t.ex. betong). Utöver detta ska byggnaden utföras välventilerad. Med dessa förutsättningar bedöms konstruktion i brandteknisk klass EI 60 uppfylla avskiljande förmåga under den tid ett pågående brandförlopp kan förväntas pågå. Inom denna tid bedöms också räddningstjänsten kunna nå byggnaden och påbörja en insats för att, om så erfordras, kunna skydda linbanans konstruktion.

Resultatet visar att den presenterade utformningen med angivna förutsättningar är acceptabel med avseende på strålning mot lina och gondoler. Resultatet visar också att gondoler inte utsätts för en högre strålningsdos än 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m^2.

Resultatet visar att infallande strålning mot gondol inte överskrider 10 kW/m^2. Med hänsyn till detta erfordras inga ytterligare personsäkerhetshöjande åtgärder med avseende på aktuellt scenario.

Erhållet resultat visar att den maximala infallande strålningen mot gondol understiger 15 kW/m^2. En dimensionerande brand inom aktuell byggnad med angivna verifierade förutsättningar bedöms således inte påverka gondolernas systemsäkerhet.

Med hänsyn till resonemanget ovan bedöm en byggnad på aktuell byggrätt med föreslagna åtgärder vara acceptabla med avseende på linbanans säkerhet i händelse av brand.

Det ska poängteras att det på aktuell mark finns ytparkering befintligt och att angivna åtgärdsförslag även gäller denna. Det vill säga att avskärmning krävs i klass EI 60 med väggar enligt Figur 59 och tak till ett avstånd om 7,5 m.

4.8 Flerbostadshus - Rambergsstaden 9:14, 9:15 och 9:16

Enligt uppgifter från beställaren kan linbanan komma att passera i anslutning till aktuella byggnader inom ett avstånd som inskränker på de skyddsavstånd som presenterats. Med hänsyn till detta har objektsanpassade beräkningar utförts. Dessa finns redovisade i bilaga 1.

Säkerhetsavstånd från befintlig byggnad till lina
Utförda beräkningar visar att det krävs ett vertikalt säkerhetsavstånd från byggnadens vindsbjälklaget om 20,1 m. Då detta är beläget på höjden +44,5 m erfordras således ett skyddsavstånd till höjden +64,6 m. Kriteriet som ger upphov till angivet skyddsavstånd är infallande strålning mot människor i gondol.

Utförda beräkningar visar att det krävs ett skyddsavstånd om 11,5 m i sidled till närmsta lina. Vid beräkningar har gondolbredd om 3,63 m beaktats och att dessa är belägna mitt under lina. Kriterierna som ger upphov till angivet skyddsavstånd är infallande strålning mot människor i gondol samt infallande strålning mot lina.

Säkerhetsavstånd från byggrätt till lina
Vid utredning av ett scenario med vindsbrand för skivhus på Rambergsstaden 9:14, 9:15 och 9:16 visar utförda beräkningar att ett vertikalt skyddsavstånd till lina om 24,1 m från byggnadernas vindsbjälklag kan accepteras. Förutsatt att detta är beläget på höjden +44,5 m erfordras således ett skyddsavstånd till höjden +68,6 m. Kriteriet som ger upphov till angivet skyddsavstånd är infallande strålning mot människor i gondol.

Vindsbjälklaget är för befintlig byggnad beläget på en höjd under byggnadshöjden (+44,5 m enligt plan). Att vindsplanet ska bli beläget högre än den i plan angivna byggnadshöjden bedöms inte rimligt då byggrätten tillåter 9 våningsplan vilket i dagsläget är utnyttjat och att det befintliga vindsbjälklaget är beläget ovan det översta våningsplanet.

Utförda beräkningar visar att det krävs ett skyddsavstånd om 13,5 m i sidled till närmsta lina. Vid beräkningar har gondolbredd om 3,63 m beaktats och att dessa är belägna mitt under lina. Kriterierna som ger upphov till angivet skyddsavstånd är infallande strålning mot människor i gondol samt infallande strålning mot lina.

Resultatet visar att infallande strålning mot människor i gondoler kan uppgå till ca 14,2 kW/m^2. Resultatet visar samtidigt att denna infallande strålning uppstår under ett tidförlopp som är kortare än 3,6 s. Maximalt infallande strålning överstiger dock gällande kriterium för vad människor får utsättas för med 4,2 kW/m^2 varför vidare utredning krävs vid val av gondol när linbanans sträckning är fastslagen. Det bedöms sannolikt att linbanans gondoler i sig själva kan skydda de som vistas inom dessa på sådan sätt att en infallande strålning kan reduceras till under acceptabla 10 kW/m^2. Det ska också poängteras att de förenklingar som ligger till grund för resultatet är konservativa. Erhållet resultat ska dock inte förringas, det ska istället utredas vidare i samband med att linbanans position slås fast.

4.9 Flerbostadshus - Rambergsstaden 12:14 och 12:15

Enligt uppgifter från beställaren ska linbanan utföras med sådant avstånd att de skyddsavstånd som angivits i avsnitt 2.1 upprätthålls.

För aktuell verksamhet bedöms inte risk för mer omfattande brandförlopp föreligga än den omfattning vilken ligger till grund för de säkerhetsavstånd som presenterats.

Inom aktuella byggnader finns bostäder. Detta är direkt jämförbart med verksamheten inom den byggnad för vilken aktuella skyddsavstånd tagits fram. Den brand som ansatts som dimensionerande är dock framtagen för brand inom fyra våningsplan. Då de aktuella byggnaderna enbart är i 2-3 våningsplan bedöms aktuellt säkerhetsavstånd om 32 m vara väl på den säkra sidan vid tillämpning på aktuellt objekt. Vidare utredning kan med stor sannolikhet visa att kortare skyddsavstånd kan accepteras.

Med hänsyn till detta bedöms aktuella fastigheter med befintliga byggnader kunna accepteras utan vidare åtgärder. Befintlig byggrätt bedöms också kunna bibehållas utan krav på inskränkningar med avseende på skydd av linbanan i händelse av brand. Detta avser skyddsavstånd för stillastående lina samt gondoler i drift.

4.10 Väderskydd – Rambergsstaden 733:401

På fastigheten finns befintligt väderskydd vilket är beläget långt från linbanan och med i stort obefintlig brandbelastning. Detta utgör ingen risk för linbanan.

I enlighet med gällande plankarta upptas fastigheten av en byggrätt för kvartersbebyggelse med maximal byggnadshöjd om 11 m till en maximal nockhöjd om ca +31,1 m.

För aktuell verksamhet bedöms inte risk för mer omfattande brandförlopp föreligga än den omfattning vilken ligger till grund för de säkerhetsavstånd som presenterats (se 2.1.2).

Enligt uppgifter från beställaren ska linbanan utföras med sådant avstånd att de skyddsavstånd som angivits i avsnitt 2.1 upprätthålls.

Med hänsyn till detta bedöms aktuell fastighet med befintliga byggnader kunna accepteras utan vidare åtgärder. Befintlig byggrätt bedöms också kunna bibehållas utan krav på inskränkningar med avseende på skydd av linbanan i händelse av brand. Detta avser skyddsavstånd för stillastående lina samt gondoler i drift.

4.11 El-centraler – Rambergsstaden 733:254

Enligt uppgifter från beställaren ska linbanan utföras med sådant avstånd att de skyddsavstånd som angivits i avsnitt 2.1 upprätthålls.

Aktuella byggnader är i ett våningsplan och av begränsad yta.

Aktuella riktlinjer baseras på en dimensionerande brand vilken bedöms ytterst konservativ vid tillämpning på aktuella byggnader. Med hänsyn till detta anses aktuell bedömning vara på den säkra sidan.

På plankarta som omfattar aktuell fastighet redovisas ingen byggrätt varför denna inte påverkas av linbanans planerade sträckning.

4.12 Bostadshus – Rambergsstaden 733:152 och 733:153

Underlag för berörda byggnader har ej erhållits.

För aktuell verksamhet bedöms inte risk för mer omfattande brandförlopp föreligga än den omfattning vilken ligger till grund för de säkerhetsavstånd som presenterats (se 2.1.2).

Enligt uppgifter från beställaren ska linbanan utföras med sådant avstånd att de skyddsavstånd som angivits i avsnitt 2.1 upprätthålls.

Med hänsyn till detta bedöms aktuell fastighet med befintliga byggnader kunna accepteras utan vidare åtgärder. Befintlig byggrätt bedöms också kunna bibehållas utan krav på inskränkningar med avseende på skydd av linbanan i händelse av brand. Detta avser skyddsavstånd för stillastående lina samt gondoler i drift.

4.13 Kontorsbyggnad – Rambergsstaden 733:409

Enligt uppgifter från beställaren kan linbanan komma att passera i anslutning till aktuell byggrätt inom ett avstånd som inskränker på de skyddsavstånd som presenterats. Med hänsyn till detta har objektsanpassade beräkningar utförts. Dessa finns redovisade i bilaga 1. Aktuella beräkningar har utförts med förutsättning att byggrätten enbart ska nyttjas för kontorsverksamhet. Detta innebär således att inskränkningar i befintlig byggrätt erfordras.

Vid utredning av ett scenario med byggrätter Rambergstaden 733:409 visar utförda beräkningar att ett vertikalt skyddsavstånd till lina om 30,6 m från byggnadernas taknock kan accepteras. Förutsatt att denna är belägen på höjden +19,67 m erfordras således ett skyddsavstånd till höjden ca +50,3 m. Kriteriet som ger upphov till angivet skyddsavstånd är infallande strålning mot människor i gondol.

Utförda beräkningar visar att det krävs ett skyddsavstånd om 17,0 m i sidled till närmsta lina. Vid beräkningar har gondolbredd om 3,63 m beaktats och att dessa är belägna mitt under lina. Kriterierna som ger upphov till angivet skyddsavstånd är infallande strålning mot människor i gondol samt infallande strålning mot lina.

Förutsatt att ovan angivna avstånd upprätthålls bedöms linbanans konstruktion vara tryggad vid ev. brand.

Utförda beräkningar för aktuell byggnad bedöms vara representativa både för befintlig byggnad och byggrätter.

4.14 Affärsbyggnad – Lindholmen 34:1

Enligt uppgifter från beställaren ska linbanan utföras med sådant avstånd att de skyddsavstånd som angivits i avsnitt 2.1 upprätthålls.

Inom aktuell byggnad finns bland annat butiker och gym. Detta är inte jämförbara verksamheter med den verksamhet för vilken aktuella skyddsavstånd tagits fram.

Aktuella skyddsavstånd baseras på en brand i flerbostadshus där fyra våningsplan brinner på en och samma gång. Den dimensionerande branden har en area av 144 m^2. För aktuell byggnad bedöms risk för ett mer omfattande brandscenario inte att föreligga varför byggnaden accepteras utan kompletterande åtgärder. Vidare utredning kan med stor sannolikhet visa att kortare vertikala skyddsavstånd än 32 m kan accepteras.

Byggnaden accepteras utan kompletterande åtgärder.

Det ska poängteras att framtagna skyddsavstånd baseras på ett mer omfattande brandförlopp än vad som bedöms vara värsta tänkbara för aktuell byggnad. Det ska också tilläggas att de skyddsavstånd som presenterats baseras på den strålning lina och gondoler klarar att utsättas för under ett tidsförlopp på mer än 3 h. Då aktuell byggnad är i ett våningsplan på marken bedöms räddningstjänsten med god marginal kunna påbörja en insats innan lina och gondoler utsätts för kritiska förhållanden och således kunna begränsa den strålning lina och gondoler utsätts för. Byggnaden är befintligt försedd med vidarekopplat brand- och utrymningslarm (brandlarm enligt SBF 110:6) vilket är en förutsättning med avseende på den verksamhet som bedrivs.

Det ska också tilläggas att aktuell byggnad befintligt är försedd med automatisk vattensprinkleranläggning enligt SBF 120:6 vilken installerats med hänsyn till byggnadens utrymningssäkerhet. Denna utgör dock inget krav med avseende på skyddet av linbanan vid en ev. brand inom byggnaden.

I ovan angivna resonemang har höjder för byggrätt beaktats. Detta medför att inga inskränkningar på gällande byggrätter erfordras för aktuell fastighet.

4.15 Skola - Lindholmen 27:1

Enligt uppgifter från beställaren ska linbanan utföras med sådant avstånd till befintlig byggnad att de skyddsavstånd som angivits i avsnitt 2.1 upprätthålls.

För aktuell verksamhet bedöms inte risk för mer omfattande brandförlopp än den omfattning vilken ligger till grund för de presenterade säkerhetsavstånden.

Inom aktuella byggnader finns skola. Brandbelastningen inom denna bedöms vara jämförbar med verksamheten inom den byggnad för vilken aktuella skyddsavstånd tagits fram. Den brand som ansatts som dimensionerande är dock framtagen för brand inom fyra våningsplan. Då den aktuella byggnaden enbart är i två våningsplan bedöms aktuellt säkerhetsavstånd om 32 m vara väl på den säkra sidan vid tillämpning på aktuellt objekt.

Med hänsyn till ovan redovisade resonemang bedöms aktuell skolbyggnad kunna accepteras utan vidare åtgärder. Detta avser skyddsavstånd för stillastående lina samt gondoler i drift.

Byggrätten för aktuell fastighet avser två våningsplan vilket är vad som finns på aktuell fastighet vid upprättandet av aktuell handling. Med hänsyn till att våningshöjden eller byggrättens högsta nockhöjd dock inte definierats ska skyddet av linan beaktas vid ändringsarbete som påverkar byggnadens högsta nockhöjd.

4.16 Kontor, industri och lager – Lindholmen 735:491

Berörd fastighet avser ett flertal byggnader. Aktuell handling berör fyra av dessa vilka benämns enligt följande:

- Lager- och industribyggnad inkl. kontor
- Kontorsbyggnad i 3 st. våningsplan
- Kontorsbyggnad i 3-4 st. våningsplan – Fribordet
- Gothenburg Film Studios

Gällande plankarta redovisar en maximal byggnadshöjd på byggrätten om 15 m. På plankartan framgår det också att fastigheten avses för industriellt ändamål. Med hänsyn till byggrättens storlek och att angivelsen om byggnadshöjd medger en takvinkel om 45º är byggrätten inom sådant avstånd från linbanan att framtida ändringar som medför att befintliga fastigheters högsta nockhöjd ökas måste beaktas med avseende på skydd av linbanan.

Industriellt ändamål vilket fastigheten avser är ur brandteknisk synvinkel ett brett begrepp vilket medför att detta inte kan påföras generella skyddsavstånd. Detta då skyddsavstånd beror av vilket dimensionerande brandscenario som kan hänföras till verksamheten. Vid ändring krävs också med hänsyn till detta särskild utredning med avseende på linbanans skydd i händelse av brand.

Avstånd från aktuella byggnader till linbanan är vid upprättande av aktuell handling inte fastslaget. Utredning krävs för att kunna fastställa om riskreducerande åtgärder krävs eller ej samt i vilken omfattning.

Enligt uppgift kan linbanan komma att bli belägen i jämnhöjd med vissa av de berörda byggnaderna. För att ett sådan utförande ska kunna accepteras erfordras byggnadstekniska riskreducerande åtgärder. Detta ska utredas i senare skede.

Exempel på riskreducerande åtgärder som skulle kunna tillämpas på de aktuella byggnaderna är automatisk vattensprinkleranläggning alternativt fasadsprinkler samt förstärkning av fasadkonstruktion så att denna fungerar strålningshämmande.

4.17 Kontor och fabrik – Lindholmen 1:29

Aktuell fastighet är belägen vid Polstjärnegatan 12. Berörd fastighet avser ett flertal byggnader. Aktuell handling berör tre av dessa byggnader. Byggnaderna benämns enligt följande:

- Kontor i 3 st. plan samt källare
- Förråd
- Fabrik – F.d. Nordiska Syrgasverken

Gällande plankarta redovisar en maximal byggnadshöjd på byggrätten om 15 m. På plankartan framgår det också att fastigheten avses för industriellt ändamål. Med hänsyn till byggrättens storlek och att angivelsen om byggnadshöjd medger en takvinkel om 45º är byggrätten inom sådant avstånd från linbanan att framtida ändringar som medför att befintliga fastigheters högsta nockhöjd ökas måste beaktas med avseende på skydd av linbanan.

Industriellt ändamål vilket fastigheten avser är ur brandteknisk synvinkel ett brett begrepp vilket medför att detta inte kan påföras generella skyddsavstånd. Detta då skyddsavstånd beror av vilket dimensionerande brandscenario som kan hänföras till verksamheten. Vid ändring krävs också med hänsyn till detta särskild utredning med avseende på linbanans skydd i händelse av brand.

Avstånd från aktuella byggnader till linbanan är vid upprättande av aktuell handling inte fastslaget. Utredning krävs för att kunna fastställa om riskreducerande åtgärder krävs eller ej samt i vilken omfattning.

Enligt uppgift kan linbanan komma att bli belägen i jämnhöjd med vissa av de berörda byggnaderna. För att ett sådan utförande ska kunna accepteras erfordras byggnadstekniska riskreducerande åtgärder. Detta ska utredas i senare skede.

Exempel på riskreducerande åtgärder som skulle kunna tillämpas på de aktuella byggnaderna är automatisk vattensprinkleranläggning alternativt fasadsprinkler samt förstärkning av fasadkonstruktion så att denna fungerar strålningshämmande.

4.18 Kontor, skola och verkstad – Lindholmen 6:5

Aktuell fastighet är belägen i anslutning på Lindholmen. Berörda byggnader tillhör Chalmers Fastigheter. Berörd fastighet avser ett flertal byggnader. Aktuell handling berör 10 av dessa byggnader vilka är belägna i anslutning till den stationsbyggnad som planeras vid Lindholmen. Byggnaderna benämns enligt följande:

- Förråd (3 st.)
- Tessin och Najaden
- Svea och Patricia samt Kårhuset
- Saga
- Jupiter

Linbanans sträckning i anslutning till Lindholmen 6:5 är vid upprättande av aktuell handling inte fastslagen. Det är dock sannolikt att avståndet kommer bli sådant att riskreducerande åtgärder kommer att krävas för att upprätthålla en acceptabel säkerhetsnivå (för avstånd se avsnitt 3.2.18). I följande avsnitt redovisas analyser utifrån en planerad sträckning för att ge en indikation om vilka åtgärder som kan komma att bli aktuella om den planerade sträckningen fastställs. Det ska observeras att revidering samt detaljstudering kommer att krävas när linsträckningen slutgiltigt bestämts.

Gällande plankarta redovisar en maximal byggnadshöjd för byggrätten om +18,2 m. Med hänsyn till byggrättens storlek och att angivelsen om byggnadshöjd medger en takvinkel om 10º är byggrätten inom sådant avstånd från linbanan att framtida ändringar måste beaktas med avseende på skydd av linbanan.

Byggnaderna behandlas mer ingående var och en för sig i aktuellt avsnitt nedan.

4.18.1 Förråd

Enligt gällande underlag ska avståndet från aktuella förråd till linbanan uppgå till ca 18,2 m. Avståndet till gondol ska uppgå till 11,2 m.

Aktuella avstånd understiger de säkerhetsavstånd som presenterats (se avsnitt 2.1.2 för skyddsavstånd).

Aktuella byggnader utgör förråd i ett våningsplan. Det brandscenario som ligger till grund för de skyddsavstånd som presenterats avser brand i kontors-/bostadshus i flera våningsplan. Med hänsyn till detta bedöms varken de presenterade skyddsavstånden eller det scenario vilket är grundläggande för dessa applicerbara vid beräkningar där skyddet av linbanan vid brand studeras.

Med hänsyn till detta har kompletterande beräkningar utförts vilka finns presenterade i Bilaga 1. Erhållet resultat visar att aktuell utformning med angivna förutsättningar är acceptabel med avseende på strålning mot lina och gondoler. Resultatet visar också att gondoler inte utsätts för en högre strålningsdos än 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m^2.

Resultatet visar dock att den infallande strålningen mot gondol kortvarigt kan komma att överstiga 10 kW/m^2 (resultatet visar 11,6 kW/m^2). Med hänsyn till detta erfordras ytterligare åtgärder. Det bedöms sannolikt att linbanans gondoler i sig själva kan skydda de som vistas inom dessa på sådan sätt att en infallande strålning om 11,6 kW/m^2 kan reduceras till under acceptabla 10 kW/m^2. Detta ska dock utredas och säkerställas innan frågan avskrivs.

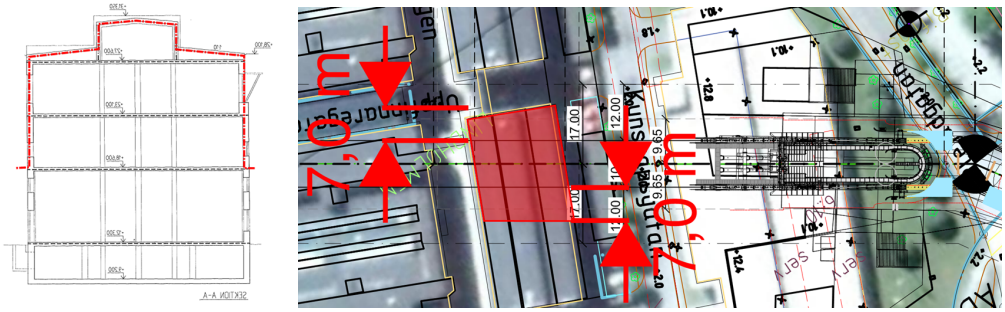
Erhållet resultat visar att den maximala infallande strålningen mot gondol understiger 15 kW/m^2. En dimensionerande brand inom aktuell byggnad med angivna verifierade förutsättningar bedöms således inte påverka gondolernas systemsäkerhet.

Resultatet av infallande strålning mot lina visar att brand kan pågå i mer än 5 h utan att denna når kritisk temperatur. Inom denna tid bedöms räddningstjänsten kunna komma på plats för att begränsa den ev. branden vilket för aktuellt scenario bidrar till ett utökat skydd för linbanan.

4.18.2 Tessin och Najaden

Erhållet underlag visar att byggnadernas takkonstruktion ska vara i jämnhöjd med gondolernas undersida. Enligt gällande underlag ska avstånd till linan som kortast uppgå till 4,0 m. Byggnaderna är belägna rakt under den planerade sträckningen av linbanan.

Aktuella avstånd understiger de säkerhetsavstånd som presenterats (se avsnitt 2.1.2 för skyddsavstånd). Med hänsyn till detta har riskreducerande åtgärdsförslag tagits fram. Dessa avser installation av automatisk vattensprinkleranläggning alternativt fasadsprinkler samt uppförande av strålningsskärm i klass REI 60 (för detaljerat utförande se bilaga 1).



Figur 46: Figuren t.v. redovisar en sektion över aktuella byggnader. T.h. redovisas planen över linbanans sträckning. Röd färgöverstrykning samt röd streckad linje motsvarar det område över vilket strålningsskärmar erfordras.

Erhållet resultat visar att aktuell utformning med angivna förutsättningar är acceptabel med avseende på strålning mot lina och gondoler. Resultatet visar också att gondoler inte utsätts för en högre strålningsdos än 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m^2.

Resultatet visar inte heller att den infallande strålningen mot gondol kan komma att överstiga 10 kW/m^2.

Erhållet resultat visar att den maximala infallande strålningen mot gondol understiger 15 kW/m^2. En dimensionerande brand inom aktuell byggnad med angivna verifierade förutsättningar bedöms således inte påverka gondolernas systemsäkerhet.

Resultatet av infallande strålning mot lina visar att brand kan pågå i mer än 5 h utan att denna når kritisk temperatur. Inom denna tid bedöms räddningstjänsten kunna komma på plats för att begränsa den ev. branden vilket för aktuellt scenario bidrar till ett utökat skydd för linbanan.

4.18.3 Svea och Patricia samt Kårhuset

Erhållet underlag visar att byggnadens takkonstruktion kan komma att bli belägen på ett avstånd av ca 5,4 m från gondolernas undersida. Enligt gällande underlag ska avstånd till linan som kortast uppgå till 12,5 m. Byggnaderna är belägna rakt under den planerade sträckningen av linbanan.

Aktuella avstånd understiger de säkerhetsavstånd som presenterats (se avsnitt 2.1.2 för skyddsavstånd). De skyddsavstånd som tagits fram bedöms inte applicerbara på aktuella objekt. Detta med hänsyn till att byggnaderna befintligt är försedda med automatisk vattensprinkleranläggning. Med hänsyn till detta har kompletterande beräkningar utförts.

Resultatet visar att gondoler inte utsätts för en högre strålningsdos än 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m^2.

Resultatet visar dock att den infallande strålningen mot gondol kortvarigt kan komma att överstiga 10 kW/m^2 (resultatet visar 13,7 kW/m^2). Med hänsyn till detta erfordras ytterligare åtgärder. Det bedöms sannolikt att linbanans gondoler i sig själva kan skydda de som vistas inom dessa på sådan sätt att en infallande strålning om 13,7 kW/m^2 kan reduceras till under acceptabla 10 kW/m^2. Detta ska dock utredas och säkerställas innan frågan avskrivs.

Erhållet resultat visar att den maximala infallande strålningen mot gondol understiger 15 kW/m^2. En dimensionerande brand inom aktuella byggnader med angivna verifierade förutsättningar bedöms således inte påverka gondolernas systemsäkerhet.

Resultatet av beräkningarna visar att linan kan utstå strålning från en dimensionerande brand i mer än 5 h. Det ska poängteras att den dimensionerande branden är ansatt som konstant. I ett brandscenario har en brand ett tillväxtskede vilket innebär att linbanan inte utsätts för strålning initialt i ett brandförlopp varför längre tid till kritiska förhållande förväntas. En ytterligare aspekt är att kritiska förhållanden beräknas mot stillastående draglina. Vanligen ska denna lina vara i rörelse vilket innebär att det med stor sannolikhet tar ännu längre tid att uppnå kritiska förhållanden.

Med hänsyn till resonemanget ovan bedöm aktuella byggnader med föreslagna åtgärder vara acceptabla med avseende på linbanans säkerhet i händelse av brand. En dimensionerande brand bedöms kunna pågå under en längre period (förutsatt att gondoler dämpar infallande strålning med minst 3,7 kW/m^2) utan att personer inom gondoler eller linbanans konstruktion utsätts för kritiska förhållanden. Med hänsyn till detta betraktas räddningstjänstens insats för aktuellt scenario enbart som en utökad redundans med avseende på linbanans säkerhet i händelse av brand.

Byggnaderna är befintligt försedda med automatisk vattensprinkleranläggning. Installationen utgör en förutsättning för utformningen av brandskyddet inom byggnaderna då denna ligger till grund för flertalet avsteg (t.ex. brandceller i fler än två plan). Aktuell installation utgör också en förutsättning för att linbanan ska kunna accepteras enligt den sträckning som framgår av underlaget till aktuell handling.

4.18.4 Saga

Aktuella underlag visar att avstånden från byggnadens högsta punkt och undersida gondol som kortast ska uppgå till 29,1 m. Underlagen visar också att avståndet till linan ska uppgå till 36,3 m.

Aktuella avstånd överstiger de säkerhetsavstånd som presenterats (se avsnitt 2.1.2 för skyddsavstånd).

För aktuell verksamhet bedöms inte risk för mer omfattande brandförlopp än den omfattning vilken ligger till grund för de i konceptrapport presenterade säkerhetsavstånden.

Inom aktuella byggnader finns kontorsverksamhet samt skola och föreläsningssalar. Detta är direkt jämförbart med verksamheten inom den byggnad för vilken aktuella skyddsavstånd tagits fram.

Aktuell byggnad bedöms kunna accepteras utan vidare åtgärder. Detta avser skyddsavstånd för stillastående lina samt gondoler i drift. Befintlig byggrätt för aktuell byggnad bedöms också kunna bibehållas utan krav på inskränkningar med avseende på skydd av linbanan i händelse av brand. Detta avser skyddsavstånd för stillastående lina samt gondoler i drift.

4.18.5 Jupiter

Aktuell byggnad är i stort identisk med ovan angivna byggnad, Saga. Det planerade avståndet till gondoler och linor ska för aktuell byggnad komma att bli högre än uppmätta avstånd för byggnad Saga. Med hänsyn till detta bedöms också denna byggnad samt byggrätten för byggnaden kunna accepteras utan vidare åtgärder. Detta avser skyddsavstånd för stillastående lina samt gondoler i drift.

4.19 Kontor - Lindholmen 30:1

Enligt uppgifter från beställaren ska linbanan utföras med sådant avstånd till befintlig byggnad att de skyddsavstånd som angivits i avsnitt 2.1 upprätthålls.

För aktuell verksamhet bedöms inte risk för mer omfattande brandförlopp föreligga än den omfattning vilken ligger till grund för de säkerhetsavstånd som presenterats.

Inom aktuella byggnader finns kontor. Detta är direkt jämförbart med verksamheten inom den byggnad för vilken aktuella skyddsavstånd tagits fram. Den brand som ansatts som dimensionerande har dock inte beaktat att aktuell byggnad är försedd med automatisk vattensprinkleranläggning. Med hänsyn till detta bedöms aktuellt säkerhetsavstånd om 32 m vara väl på den säkra sidan vid tillämpning på aktuellt objekt. Vidare utredning kan med stor sannolikhet visa att kortare skyddsavstånd kan accepteras.

Med hänsyn till detta bedöms aktuell fastighet med befintliga byggnader kunna accepteras utan vidare åtgärder. Befintlig byggrätt bedöms också kunna bibehållas utan krav på inskränkningar med avseende på skydd av linbanan i händelse av brand. Detta avser skyddsavstånd för stillastående lina samt gondoler i drift..

4.20 Sammanfattning – Utvärdering av byggnader och byggrätter

I aktuell utredning har befintliga byggnader och byggrätter analyserats med avseende på konsekvensen för linbanan vid brand. Detta har utförts genom att de skyddsavstånd som presenterats i konceptrapporten [13] har applicerats på de befintliga byggnaderna och byggrätterna.

För objekt där de tillämpade skyddsavstånden bedömts vara konservativa finns det utrymme för anpassning av skyddsavstånden. Anpassningar av skyddsavstånden har utförts för de objekt där detta kan bidra till en positiv anpassning av linbanans slutliga läge. I aktuellt skede har det dock inte bedömts nödvändigt att anpassa skyddsavstånden för samtliga objekt.

Anpassade skyddsavstånd baseras på objektsanpassade brandscenarier (se bilaga 1) till skillnad från de scenarier som presenterats i konceptrapporten som varit mer generella.

I följande avsnitt presenteras en sammanfattning av den analys som utförts i aktuellt avsnitt. För varje enskild byggnad görs en sammanställning utifrån följande aspekter:

- Skyddsavstånden i avsnitt 2.1 upprätthålls från byggnad
- Skyddsavstånden i avsnitt 2.1 upprätthålls från byggrätt
- Skyddsavstånden är konservativa för aktuellt objekt
- Objektsanpassade skyddsavstånd har tagits fram
- Riskreducerande åtgärder bedöms erfordras
- Inskränkning i befintlig byggrätt erfordras

Sammanfattningen presenteras i tabellform. För utförliga kommentarer avseende respektive objekt hänvisas läsaren till avsnitten 4.1-4.19,

Ett antal av objekten i
Tabell 3 erfordrar ytterligare utredning. Detta beror av att avstånden mellan lina och byggnad/byggrätt inta har fastslagits. Berörda byggnader är markerade med grå färgöverstrykning.

Tabell 3 Tabell över i vilken utsträckning byggnader och byggrätter påverkas av linbanan med avseende på brandskyddet av denna.

Byggnad	**Skyddsavstånden i avsnitt 2.1 upprätthålls från byggnad**	**Skyddsavstånden i avsnitt 2.1 upprätthålls från byggrätt**	**Skyddsavstånden är konservativa för aktuellt objekt**	**Objektsanpassade skyddsavstånd har tagits fram**	**Riskreducerande åtgärder bedöms erfordras**	**Inskränkning i befintlig byggrätt erfordras**
Parkeringsdäck Rambergsstaden 17:2	☒	☒	☒	☐	☐	☐
McDonalds samt outnyttjad byggrätt, Rambergsstaden 71:3	☒	☒	☒	☐	☐	☐
Bravida Arenas södra del Rambergsstaden 733:167	☒	☒	☒	☐	☐	☐
Flerbostadshus Brämaregården 73:5 och 73:7	☐	☐	☒	☒	☐	☐
Garage Brämaregården 737:752	☒	☒	☒	☐	☐	☐
Flerbostadshus Rambergsstaden 33:3 och 7:2 samt 7:8	☒	☒	☒	☐	☐	☐
Garage Rambergsstaden 9:9*	☐	☐	☒	☒	☒	☒
Flerbostadshus, Rambergsstaden 9:14, 9:15 och 9:16	☐	☐	☒	☒	☐	☐
Flerbostadshus Rambergsstaden 12:14 och 12:15	☒	☒	☒	☐	☐	☐
Väderskydd Rambergsstaden 733:401	☒	☒	☐	☐	☐	☐
El-centraler Rambergsstaden 733:254	☒	☒	☒	☐	☐	☐
Bostadshus Rambergsstaden 733:152 och 733:153	☒	☒	☒	☐	☐	☐

Kontorsbyggnad Rambergsstaden 733:409	☐	☐	☒	☒	☐	☒
Affärsbyggnad Lindholmen 34:1	☒	☒	☒	☐	☐	☐
Skola Lindholmen 27:1	☒	☐	☒	☐	☐	☒
Lager- och industribyggnad inkl. kontor, Lindholmen 735:491†	☐	☐	☐	☐	☐	☒
Kontorsbyggnad i 3 st. våningsplan, Lindholmen 735:491†	☐	☐	☐	☐	☐	☒
Kontorsbyggnad i 3-4 st. våningsplan - Fribordet Lindholmen 735:491†	☐	☐	☐	☐	☐	☒
Gothenburg Film Studios Lindholmen 735:491†	☐	☐	☐	☐	☐	☒
Kontorsbyggnad i 3 st. våningsplan samt källare Lindholmen 1:29†	☐	☐	☐	☐	☐	☒
Förråd – F.d. Nordiska Syrgasverken, Lindholmen 1:29†	☐	☐	☐	☐	☐	☒
Fabrik – F.d. Nordiska Syrgasverken, Lindholmen 1:29†	☐	☐	☐	☐	☐	☒
Förråd Lindholmen 6:5†	☐	☐	☒	☒	☐	☒
Skola, kontor m.m. – Tessin och Najaden, Lindholmen 6:5†	☐	☐	☐	☒	☒	☒
Skola, kontor m.m. – Svea och Patricia samt Kårhuset, Lindholmen 6:5†	☐	☐	☐	☒	☒	☒
Skola, kontor m.m. – Saga Lindholmen 6:5†	☒	☐	☐	☐	☐	☒
Skola, kontor m.m. – Jupiter Lindholmen 6:5†	☒	☐	☐	☐	☐	☒
Kontor Lindholmen 30:1	☒	☒	☒	☐	☐	☐

* För garage på Rambergsstaden 9:9 har beräkningsexempel tagits fram.
† Ev. krav på riskreducerande åtgärder beror av linbanans slutgiltiga placering i förhållande till aktuell byggnad/byggrätt.

Linbanans sträckning i anslutning till Lindholmen 6:5 är vid upprättande av aktuell handling inte fastslagen. Det är dock sannolikt att avståndet kommer bli sådant att riskreducerande åtgärder kommer att krävas för att upprätthålla en acceptabel säkerhetsnivå från ett antal av byggnaderna på fastigheten (för avstånd se avsnitt 3.2.18). Tabellen ovan är ifylld utifrån planerad sträckning samt beräkningar och analyser som utförts i förhållande till denna. Detta har utförts för att ge en indikation om vilka åtgärder som krävs utifrån den planerade sträckningen. Det ska observeras att revidering samt detaljstudering kommer att krävas när linsträckningen slutgiltigt bestämts.

5 Sammanställning av påverkade byggrätter

I enlighet med erhållet underlag kan linbanans sträckning komma att inkräkta på ett antal befintliga byggrätter.

Den analys som utförts i avsnitt 4 visar att vidare exploatering av ett antal befintliga byggrätter erfordrar utredning med avseende på linbanans skydd vid brand i byggnad.

I aktuellt avsnitt presenteras först vilka byggrätter som avses samt kort motiv till varför de påverkas. Efter detta följer en sammanställning av vilka kriterier byggnader inom berörda byggrätter måste uppfylla vid framtida exploatering.

5.1 Byggrätter

I aktuellt avsnitt sammanställs vilka byggrätter som bedöms kunna påverka linbanan med avseende på brand.

- Garage – Rambergsstaden 9:9
    - Byggrätten är belägen på ett avstånd till linbanans som understiger de angivna skyddsavstånden. Vidare utredning avseende begränsningar av byggrätt och skyddsavstånd erfordras när linbanans slutgiltiga läge fastslagits.
- Skola – Lindholmen 27:1
    - Byggrätten för aktuell fastighet avser två våningsplan vilket är vad som finns på aktuell fastighet vid upprättandet av aktuell handling. Med hänsyn till att våningshöjden eller byggrättens högsta nockhöjd dock inte definierats ska skyddet av linan beaktas vid ändringsarbete som påverkar byggnadens högsta nockhöjd.
- Kontor, industri och lager – Lindholmen 735:491 samt kontor och fabrik – Lindholmen 1:29
    - Gällande plankarta redovisar en maximal byggnadshöjd på byggrätten om 15 m. På plankartan framgår det också att fastigheten avses för industriellt ändamål. Med hänsyn till byggrättens storlek och att angivelsen om byggnadshöjd medger en takvinkel om 45º är byggrätten inom sådant avstånd från linbanan att framtida ändringar som medför att befintliga fastigheters högsta nockhöjd ökas måste beaktas med avseende på skydd av linbanan.
    - Industriellt ändamål vilket fastigheten avser är ur brandteknisk synvinkel ett brett begrepp vilket medför att detta inte kan påföras generella skyddsavstånd. Detta då skyddsavstånd beror av vilket dimensionerande brandscenario som kan hänföras till verksamheten. Vid ändring krävs också med hänsyn till detta särskild utredning med avseende på linbanans skydd i händelse av brand.
    - Avstånd från aktuella byggnader till linbanan är vid upprättande av aktuell handling inte fastslaget. Utredning krävs för att kunna fastställa om riskreducerande åtgärder krävs eller ej samt i vilken omfattning.
- Lokaler för Chalmers – Lindholmen 6:5
    - Avstånd från aktuella byggnader till linbanan är vid upprättande av aktuell handling inte fastslaget. Utredning krävs för att kunna fastställa om riskreducerande åtgärder krävs eller ej samt i vilken omfattning. Utförda beräkningar visar en indikation på vilka åtgärder som kan bli aktuella.

5.2 Kriterier

För aktuella byggnader bedöms det inte rimligt att presentera generella skyddsavstånd då skyddsavstånd är beroende av vilka dimensionerande brandförlopp som kan förväntas och att dessa styrs av faktorer som beror av verksamheten samt byggnadsmaterial men också tekniska installationer. I stället anges nedan vilka kriterier som ska uppfyllas med avseende på skydd av lina och personer inom gondoler. Resonemang bakom angivna kriterier framgår av avsnitt 2.3 samt Bilaga 2.

Infallande strålning mot lina
Infallande strålning mot lina får ej överskrida 8 kW/m^2.

Infallande strålning mot gondoler med avseende på systemsäkerhet
Infallande strålning mot gondoler med avseende på systemsäkerhet får ej överstiga 15 kW/m^2.

Infallande strålning mot människor i gondoler
I enlighet med BBRAD finns det kriterier för godtagbar exponering av strålning vid utrymning. Dessa är 2,5 kW/m^2 eller en kortvarig strålning på max 10 kW/m^2 i kombination med max 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m^2. Dessa kriterier ska användas för infallande strålning mot människor som vistas inom gondoler.

6 Behov av vidare arbete

Nedan presenteras arbetsområden för vilka vidare arbete krävs och som inte utreds inom ramen för aktuell utredning.

- Linbanans bärande pelare ska skyddas på sådant sätt att de klarar ett fullständigt brandförlopp inom angränsande byggnad. Denna dimensionering ska utföras i samråd med konstruktör när positioner samt utformning av linbanans bärande pelare är fastslagen. Möjliga åtgärder i fall där pelare uppförs i nära anslutning till befintliga byggnader är skyddssprinkler och strålningsskydd.
- I utfört arbete har ingen information erhållits avseende ev. nöddrift av linbanan och med vilken frekvens denna erfordras. Nöddrift innebär tillfällen då linbanan ev. inte kan köras på full effekt med hänsyn till tekniska fel eller spänningsbortfall. Vid dessa tillfällen ska linbanan istället drivas av ett nödförsörjningssystem som t.ex. UPS eller nödströmsaggregat. Om nöddrift t.ex. skulle innebär att linbanan inte kan drivas med samma hastighet som i normaldrift ska detta beaktas i senare skede.
- Aktuell handling tar avstamp i riskanalys som upprättats som konceptrapport [13]. I denna riskanalys förutsätts kritisk temperatur för stålvajrar vara 400°C. Aktuell temperatur bedöms av FSD vara rimlig och har med hänsyn till detta beaktats även i de beräkningar som utförts i aktuell handling. Temperaturen 400°C har också förankrats med rådgivare[7] till Trafikkontoret. Vad som ska beaktas är dock att liknande beräkningar enligt Österrikiska regelverk ska utföras för en kritisk temperatur om 200°C[8]. Vid val av linbaneleverantör ska den kritiska temperaturen förankras för att säkerställa att utförda beräkningar är på den säkra sidan.
- Erhållet resultat visar att gondoler kan komma att utsättas för en högre maximal kortvarig infallande strålning än gällande kravnivå i BBRAD. Då kravnivån på 10 kW/m^2 enbart överstigs med ca 4,2 kW/m^2 bedöms det sannolikt att gondolens konstruktion kan ge ett skydd som överstiger detta. Om gondolerna i befintligt utförande inte uppfyller erforderlig skyddsnivå ska vidare skyddsåtgärder utredas då erhållet resultat baseras på konservativa antaganden. Alternativa förslag kan bli aktuella som strålningsskydd av gondoler.
- Det är kriterierna infallande strålning mot människor i gondol samt infallande strålning mot lina som är dimensionerande för de skyddsavstånd som redovisas i aktuell handling. Det bedöms möjligt att begränsa skyddsavstånden ytterligare förutsatt att gondoler utförs med strålningshämmande egenskaper. Vidare utredning av kriterier för linan kan också bidra till att skyddsavstånden kan begränsas ytterligare.
- Linbanans sträckning är vid upprättandet av aktuell handling inte slutgiltigt bestämd. Det är dock sannolikt att ett antal byggnader kommer hamna på sådant avstånd från linbanan att riskreducerande åtgärder kommer krävas för att en acceptabel säkerhetsnivå ska kunna upprätthållas. I aktuell utredning presenteras exempel på riskreducerande åtgärder samt verifieringar av dessa för fastigheterna Lindholmen 6:5 och Rambergsstaden 9:9. Vidare utredning krävs dock när linbanans sträckning fastslagits.

[7] C. Albrecht, Managing Director, Zatran, via e-post 2017-04-03.
[8] P. Vith, IHW-INGENIEURBÜRO HUBER GMBH, via Skype 2017-03-28.

7 Slutsats

I aktuell handling har byggnader och byggrätter längs med den planerade linbanan (lila stomlinbanan) utretts med avseende på konsekvensen av brand och hur eventuella brandförlopp kan komma att påverka linbanan.

I utredningen har en analys utförts avseende om befintligt framtagna skyddsavstånd är tillämpbara eller ej samt om de uppfylls utifrån planerad sträckning av linbanan.

För ett antal byggrätter har kompletterande beräkningar utförts med hänsyn till att befintliga skyddsavstånd bedömts vara konservativa och väl mycket på den säkra sidan. Detta avser följande byggrätter:

- Flerbostadshus på Brämaregården 73:5 och 73:7
- Flerbostadshus på Rambergsstaden 9:14, 9:15 och 9:16
- Kontorsbyggnad på Rambergsstaden 733:409

Resultatet från de kompletterande beräkningar visar att kortare skyddsavstånd än de befintligt framtagna kan accepteras från de berörda byggrätterna.

Erhållet resultat visar att brand i byggnad kan medföra en infallande strålning mot gondol som överstiger de kriterier som angivits. Det bedöms dock rimligt att gondoler kan utföras med konstruktion vilken i en tillräcklig grad kan skydda passagerare från kritiska strålningsnivåer (se vidare avsnitt 6). Det bedöms också sannolikt att beräkningar för infallande strålning mot gondoler kan utföras mindre konservativt när linbanans faktiska position fastslagits. Infallande strålning mot människor i gondol sker först då brand i byggnad blivit fullt utvecklad. Det bedöms sannolikt att linbanan kan vara utrymd innan kritisk strålningsnivå uppkommer. Detta ska utredas vidare i senare skede.

Det är kriterierna infallande strålning mot människor i gondol samt infallande strålning mot lina som är dimensionerande för de beräknade skyddsavstånden. I enlighet med resonemanget ovan bedöms det i senare skede möjligt att minska de angivna skyddsavstånden. Vidare utredning av kriterier för linan kan också bidra till att skyddsavstånden kan begränsas ytterligare.

Ett antal objekt erfordrar ytterligare utredning. Anledningarna till detta är följande:

- Avstånd mellan byggnad/byggrätt och linbana planeras att bli betydligt kortare än befintligt framtagna skyddsavstånd
- Byggrätternas volym har inte fastställts
- Byggrätterna avser industriellt ändamål vilket ur brandteknisk synvinkel är ett brett begrepp vilket medför att detta inte kan påföras generella skyddsavstånd. Detta då skyddsavstånd beror av vilket dimensionerande brandscenario som kan hänföras till verksamheten. Vidare utredning krävs därför för att fastställa hur verksamheten ska begränsas för att linbanans säkerhet ska kunna tryggas.

De objekt som avses enligt ovan är följande:

- Garage – Rambergsstaden 9:9
- Kontorsbyggnad – Rambergsstaden 733:409 (i detaljplan avses även industriell verksamhet)
- Skola – Lindholmen 27:1
- Kontor, industri och lager – Lindholmen 735:491 samt kontor och fabrik – Lindholmen 1:29
- Lokaler för Chalmers – Lindholmen 6:5

Ytterligare punkter som kräver vidare utredning finns redovisade i avsnitt 6.

Av de listade objekten ovan är det skolan på Lindholmen 27:1 som byggrättsvolymen inte har fastställt för, detta beror av att höjden på byggrätten inte framgår i detaljplanen.

Linbanans sträckning i anslutning till Lindholmen 6:5 är vid upprättande av aktuell handling inte fastslagen. Det är dock sannolikt att avståndet kommer bli sådant att riskreducerande åtgärder kommer att krävas för att upprätthålla en acceptabel säkerhetsnivå i förhållande till de befintliga byggnaderna. I aktuell handling redovisas beräkningar och analyser utifrån en planerad sträckning för att ge en indikation om vilka åtgärder som kan komma att bli aktuella om den planerade sträckningen fastställs. Erhållet resultat visar att det för vissa av byggnaderna på fastigheten kan komma att krävas riskreducerande åtgärder som sprinkler och/eller strålningshämmande skärmar. Dessa riskreducerande åtgärder bedöms även kunna anpassas och tillämpas för andra fastigheter från vilka avstånd till linbanan blir betydligt kortare än befintligt framtagna skyddsavstånd.

Utformningen av linbanans skydd i händelse av brand i byggnad ska tydligt förankras med Räddningstjänsten Storgöteborg. Detta har inledningsvis skett då räddningstjänsten via e-post lämnat kommentarer 2017-06-27.

Det ska observeras att läget på linbanan och placering/utformning av torn inte är slutgiltigt bestämt vid upprättandet av aktuell handling. När leverantör av linbana fastslagits och linbanans läge bestämts måste därför avstånden mellan berörda byggnader/byggrätter och linbanan kontrolleras i förhållande till gällande säkerhetsavstånd.

8 Referenser

[1] BBR – Boverkets byggregler BFS 2011:6 med ändringar t.o.m. BFS 2016:6 (BBR 23) / BFS 2016:13 (BBR 24)
[2] Plan- och bygglag (SFS 2010:900), PBL
[3] Plan- och byggförordning (SFS 2011:338), PBF
[4] BFS 2011:27, BBRAD 1 Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd med ändringar till och med BFS 2013:12, BBRAD 3.
[5] Boverkets allmänna råd (2013:11) om brandbelastning, BBRBE1
[6] Boverkets föreskrifter och allmänna råd om tillämpning av europeiska konstruktionsstandarder (eurokoder), BFS 2013:10 (EKS 9)/ BFS 2015:6 (EKS 10)
[7] Brandskyddshandboken. Rapport 3181, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 2014
[8] Brandskydd i Boverkets Byggregler, Fallqvist, Klippberg & Wallin, SBF, 2012
[9] Regler för automatisk brandlarmanläggning, SBF 110:7 Utgåva 2
[10] Regler för automatisk vattensprinkleranläggning, SBF 120:7, 2011/SBF 120:8, 2016
[11] National Fire Protection Association (NFPA)
[12] Lag (SFS 2003:778) om skydd mot olyckor
[13] Riskanalys – Säkerhetsavstånd för linbana, upprättad av WSP Sverige AB, med datering 2016-12-01
[14] Brandskyddshandboken. Rapport 3134, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 2005
[15] Karlsson, B. & Quintiere, J., 2000. *Enclosure Fire Dynamics.* u.o.:Boka Raton: CRC Press.
[16] Nystedt, F. *Verifying Fire Safety Design in Sprinklered Buildings*, Report 3150, Lunds tekniska högskola, Lund, 2011.
[17] SS-EN 1993-1-2:2005, Dimensionering av stålkonstruktioner – Del 1-2: Brandteknisk dimensionering.
[18] Glenting Markus, Brandspridning i äldre trähusbebyggelse, Rapport 5099, Brandteknik, Lunds tekniska högskola, Lund, 2002.
[19] Grahn Erik & Sandström Ann-Catrin, Flamhöjder – Kvarteret Arkadien i Jönköping, Brandskyddslaget AB, 2003
[20] G. Rein, C. Abecassis Empis och R. Carvel, The Dalmarnock Fire Tests: Experiments and Modelling, School of Engineering and Electronics, University of Edinburgh, 2007.
[21] C Abecassis-Empis, P Reszka, T Steinhaus, A Cowlard, H Biteau, S Welch, G Rein, JL Torero, "Characterisation of Dalmarnock Fire Test One" Experimental Thermal and Fluid Science 32 (7), pp. 1334-1343, 2008.
[22] Babrauskas, Dr. V. (1997-04-28). Hemsida hämtad 2017-08-29 från https://www.doctorfire.com/flametmp.html
[23] Holborn, P.G. Nolan, P.F. Golt, J (2004). *An analysis of fire sizes, fire growth rates and times between events using data from fire investigations*. Fire Safety Journal, 39, 481-524.
[24] Ingason, H., *Two Dimensional Rack Storage Fires*, pp. 1209-1220 in Fire Safety Science-Proc. Fourth Intl. Symp., Intl. Assn. for Fire Safety Science, (1994).

9 Bilagor

Följande bilagor tillhör aktuell handling:

Bilaga 1. Strålningsberäkningar upprättade av *FSD Göteborg AB* daterad 2017-10-27
Bilaga 2. Yttemperatur på linor upprättad av *FSD Göteborg AB* daterad 2017-05-16
Bilaga 3. Analys av brandscenarier upprättad av *FSD Göteborg AB* daterad 2017-10-27

Bilaga 1 Strålningsberäkningar

I följande bilaga presenteras strålningsberäkningar. I beräkningarna utreds brandscenarier för specifika byggnader och byggrätter samt den strålningspåverkan gondol och lina utsätts för i förhållande till detta.

1.2 Vindsbrand i flerfamiljshus med betongkonstruktion – Brämaregården 73:5 och 73:7

I aktuell utredning ingår byggnader vilka är utförda med stomme av betong. Dessa byggnader bedöms inte fullt jämförbara med det brandförlopp som ligger till grund för de skyddsavstånd som presenterats i konceptrapporten [13]. Anledningen till detta är att brandscenariot som presenterats baseras på studier av brand i äldre trähusbebyggelse. Detta är byggnader med brännbara ytskikt och brister i brandcellsindelning. Det är också byggnader utförda med ventilerad takfot vilket medför en ökad spridningsrisk till vindsutrymmen.

Scenariot

För brand inom byggnader med betongkonstruktion utan ventilerad takfot bedöms ett mindre antal våningsplan vara involverade i ett brandförlopp. Detta trots att en brand kan pågå under längre tid. Denna förutsättning bedöms även rimlig för byggrätten generellt då en byggnad som uppfyller dagens byggregler bedöms motsvara denna effekt.

I aktuellt fall utreds konsekvenserna av ett scenario med vindsbrand. En vindsbrand kan uppstå av flera olika anledningar som t.ex. elfel, anlagd brand och spridning från brand längre ner i byggnaden.

Punkthusen på Brämaregården 73:5 och 73:7 är utförda utan ventilerad takfot. Trots detta kan brand uppstå på vind på grund av spridning från underliggande brand, detta t.ex. via ventilationskanaler och rör. För aktuellt scenario bedöms dock inte brand längre ner i byggnaden utgöra en bidragande faktor till brandförloppet med hänsyn till bjälklagets avskiljande förmåga. Med hänsyn till detta utreds ett scenario där brand uppstår i vindsförråd med spridning till närliggande förråd.

Byggnaderna och byggrätterna upptar en yta av ca 360 m^2 (21×17 m^2) vardera. Innermåtten på vindsplanen upptar ca 20,5×16,5 m^2.

Den del av vindsplanen som upptar förvaring utgör ca 160 m^2 enligt gällande underlag. Denna area bedöms också rimligt som generellt antagande för byggrätten. Övriga delar upptas av teknikutrymmen, trapphus, korridorer m.m.

Enligt BBRBE kan brandbelastningen för bostäder generellt ansättas till 800 MJ/m^2. Med hänsyn till att aktuell byggnadsdel utgör förrådsyta bedöms det dock rimligt att tillämpa en högre brandbelastning. Baserat på undersökningar tillämpas i stället 1180 MJ/m^2 för aktuellt scenario [23]. Förutsatt att ytan består av trä med förbränningsvärme om 18 MJ/kg och förbränningshastighet om 14 g/m^{2}s skulle en fullt utvecklad brand kunna fortgå under ett tidsförlopp på ca 80 min. Det ska dock poängteras att denna tid utgör en uppskattning för att skapa en uppfattning om tidförloppet en vindsbrand kan fortgå. På en vind kan material av många olika typer förvaras vilket kan bidra till både längre och kortare brandförlopp. Det ska dock poängteras att förbränningshastigheten som angivits ovan avser fritt brinnande trä i form av enstaka plankor. I ett fall med en mer omfattande brand ökar förbränningshastigheten.

I Tabell 2 framgår att infallande strålning om 12 kW/m^2 kan accepteras mot lina under ett maximalt tidförlopp om ca 90 min. Med hänsyn till resonemanget i stycket ovan bedöms denna strålningsintensitet lämplig som kriterium för vad linan ska klara av i samband med vindsbrand.

Studier av brandförlopp i äldre trähusbebyggelse visar att förväntad maximal flamhöjd bör hamna kring ca 5 m [19]. Det ska observeras att aktuellt värde baseras på studier av brandförlopp som bedöms jämförbara med aktuellt scenario. Den angivna flamhöjden motsvarar

dock det skede då den studerade branden var vid sitt maximum och med hänsyn till det bedöms denna vara acceptabel att tillämpa i aktuell utredning. I ett verkligt fall bedöms en brand fluktuera vilket gör att flamhöjden konstant inte är den maximala.

Med en brandarea om ca 160 m^2 ger detta en dimensionerande brand med måtten ca 12,7×12,7×5 m^3 (l×b×h).

Temperatur på strålande yta

I aktuellt avsnitt anges vilken flamtemperatur som ansatts för de beräkningar som utförts.

Vertikal strålning

Den vertikala strålningen avser strålning från flammans topp mot gondol och lina. För fritt brinnande turbulenta diffusionsflammor ligger temperaturen i flammans topp kring 320 ~ 400°C [22]. Strax ovanför fönsteröppning vid rumsbrand kan flamtemperaturen dock bli så hög som 900°C [7].

För aktuellt objekt bedöms en temperatur om 600°C vara på den säkra sidan. Aktuell temperatur bedöms även kompensera för det faktum att temperaturen längre ner i flamman också kan vara bidragande vid vertikal strålning.

Horisontell strålning

Den horisontella strålningen avser strålning från flammans sida. D.v.s. strålning från en yta om 12,7×5 m^2. Enligt resonemanget i föregående stycke kan temperaturen i en flammas nedre del antagas till ca 900°C. I flamtoppen kan temperaturen dock förväntas till 320 ~ 400°C. För aktuella beräkningar ansätts en flamtemperatur om 800°C vilket bedöms vara på den säkra sidan.

Det ska poängteras att den högre temperaturen avser flammans bas vilket i många fall kan vara avskärmad av byggnadsdelar. Detta bidrar till att erhåller resultat bedöms vara på den säkra sidan.

Beräkning av skyddsavstånd

Vid beräkning av skyddsavstånd används den metodik som finns presenterad i avsnitt 2.2.

För aktuella beräkningar är kriteriet för infallande strålning känt samtidigt som avståndet mellan den strålande ytan (benämns C i avsnitt 2.2) och den mottagande ytan är okänt.

Utifrån den accepterade infallande strålningen (Q) beräknas vilken maximal synfaktor som accepteras. Ekvationen i avsnitt 2.2 skrivs om enligt följande:

$$\Phi_{tot} = \frac{Q}{}$$

där

ε	emissionstal [-] (varierar mellan 0-1)
σ	Stefan-Boltzmanns konstant = 5,67 x 10^{-8} [W/m^2K^4]
T	Temperatur [K]
Φ_{tot}	Synfaktor [-]

Skyddsavstånd till lina vertikalt

För maximal infallande strålning om 12 kW/m^2 vilket är kriteriet för linan erhålls ett värde på den totala synfaktorn (Φ_{tot}) om 0,36.

I sin tur ger detta

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}091$

Utifrån det beräkningssamband som finns presenterat i avsnitt 2.2 kan nu skyddsavståndet (C) beräknas för en strålande yta om 6,35×6,35 m^2 vilket motsvarar en fjärdedel av den strålande ytan.

$C \approx 9{,}5$

Med indata enligt ovan erfordras ett skyddsavstånd från flamtoppen om ca 9,5 m. Om brand placeras på vindsbjälklaget med höjd om 5 m innebär detta att skyddsavståndet från bjälklaget blir 14,5 m.

Skyddsavstånd till lina horisontellt

För maximal infallande strålning om 12 kW/m^2 vilket är kriteriet för linan erhålls ett värde på den totala synfaktorn (Φ_{tot}) om 0,11.

I sin tur ger detta

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}027$

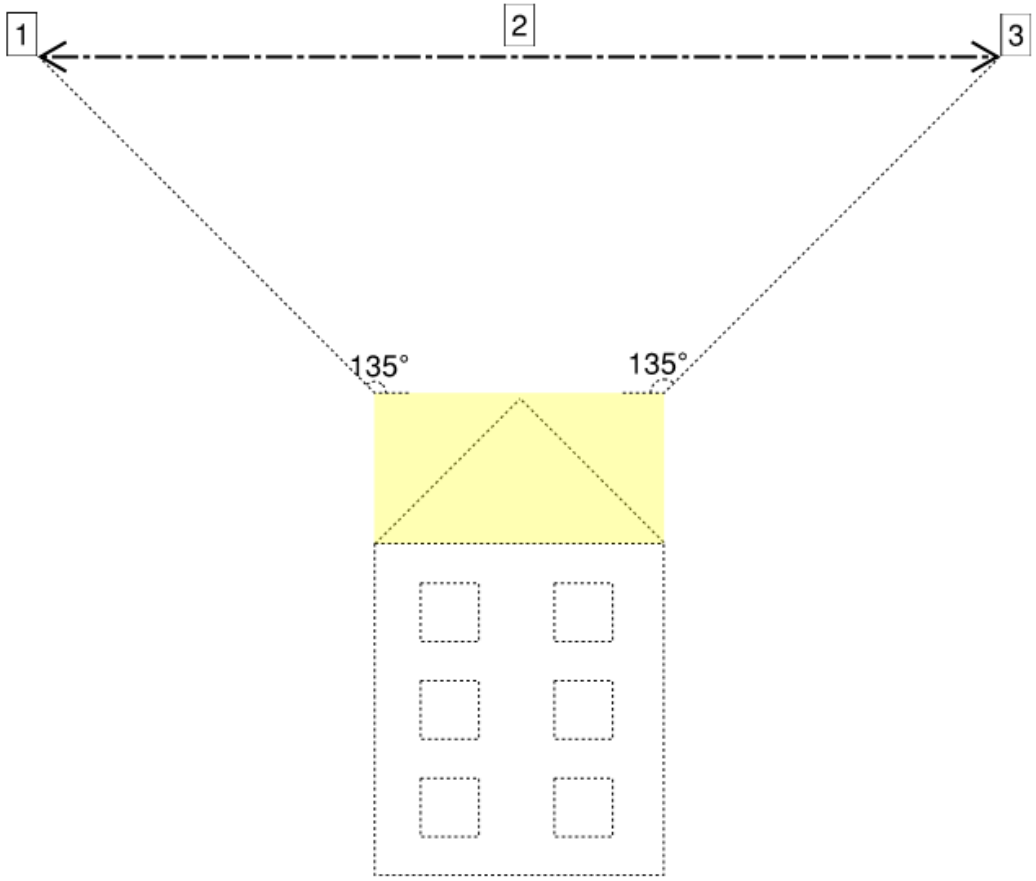
Utifrån det beräkningssamband som finns presenterat i avsnitt 2.2 kan nu skyddsavståndet (C) beräknas för en strålande yta om 6,35×2,5 m^2 vilket motsvarar en fjärdedel av den strålande ytan.

$C \approx 13{,}0$

Med indata enligt ovan erfordras ett skyddsavstånd från flamman och således också byggnaden om ca 13,0 m.

Skyddsavstånd till gondoler vertikalt

För aktuellt scenario bedöms brand ske vinkelrätt och snett ut från en brinnande yta i upp till 135° vinkel från denna, se figuren nedan för principiell beskrivning. Detta motsvarar den vinkel för vilken strålning måste beaktas med avseende på spridning enligt BBR. Strålning utanför denna vinkel betraktas i aktuellt fall som försumbar.



Figur 47: Figuren redovisar en princip över den sträcka människor och gondoler exponeras för strålning vertikalt från brand.

Maximal infallande strålning mot gondol

För maximal infallande strålning om 10 kW/m^2 vilket är det ansatta kriteriet för gondoler erhålls ett värde på den totala synfaktorn (Φ_{tot}) om 0,30.

I sin tur ger detta

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}076$

Utifrån det beräkningssamband som finns presenterat i avsnitt 2.2 kan nu skyddsavståndet (C) beräknas för en strålande yta om 6,35×6,35 m^2 vilket motsvarar en fjärdedel av den strålande ytan.

$C \approx 11{,}0$

Med indata enligt ovan erfordras ett skyddsavstånd från flamtoppen till undersida gondol om ca 11,0 m. Om brand placeras på vindsbjälklaget med höjd om 5 m innebär detta att skyddsavståndet från bjälklaget till undersida gondol blir 16,0 m.

Då undersida gondol antas med ett vertikalt avstånd mot lina om 7,1 m ger detta ett skyddsavstånd mellan översta bjälklag och lina om 23,1 m.

Infallande strålningsdos mot gondol

I följande beräkningar beräknas den infallande strålningsdos människor i gondoler kan utsättas för när de passerar ovan en brand på det skyddsavstånd om 11,0 m som presenterats i föregående avsnitt.

Om gondol passerar ovan brand på ett avstånd om 11,0 m enligt beräkningarna ovan blir den sträcka gondol kan exponeras för brand ca 34,7 m.

Beräkningen utförs i enlighet med beräkningsmetodik presenterad i Brandskyddshandboken [14].

Infallande strålning från flamman kan beräknas genom att strålningsnivån från den emitterande ytan multipliceras med synfaktorn Φ_{med}.

Beräkning av synfaktorn utförs i aktuellt fall för tre separata punkter längs med den sträcka människor exponeras för strålning då de i gondol förflyttas över aktuell byggnad. Punkterna 1 och 3 är belägna på ett vinkelrätt vertikalt avstånd från den antagna strålande ytan om 11,0 m med 135° vinkel från strålande yta åt vardera håll. Punkt 2 är placerad 11,0 m vinkelrätt upp från mitten av den strålande ytan. Som representativt värde används sedan medelvärdet av den strålning en förbipasserande utsätts för. Detta är detsamma som strålningen i punkterna 1 och 2 dividerat med två.

Enligt uppgift ska gondoler komma att röra sig med en hastighet om 6 m/s. Den exponerade sträckan vilken (enligt resonemanget i föregående stycke) antagits till 34,7 m ger således att människor kommer att utsättas för strålning under ca 6 s.

Den genomsnittliga strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan.

$$Q = E \cdot \Phi_{med}$$

Den genomsnittliga synfaktorn $\Phi_{med.}$ beräknas enligt följande ekvation:

$\Phi_{med.} = ((\Phi_1+\Phi_3)/2+\Phi_2)/2$

Där Φ_1 och Φ_3 är identiska.

Med angivna förutsättningar har synfaktorn beräknats enligt följande:

Punkterna 1 och 3
$\Phi_{1 \text{ och } 3}$ = 0,040 [dimensionslös].

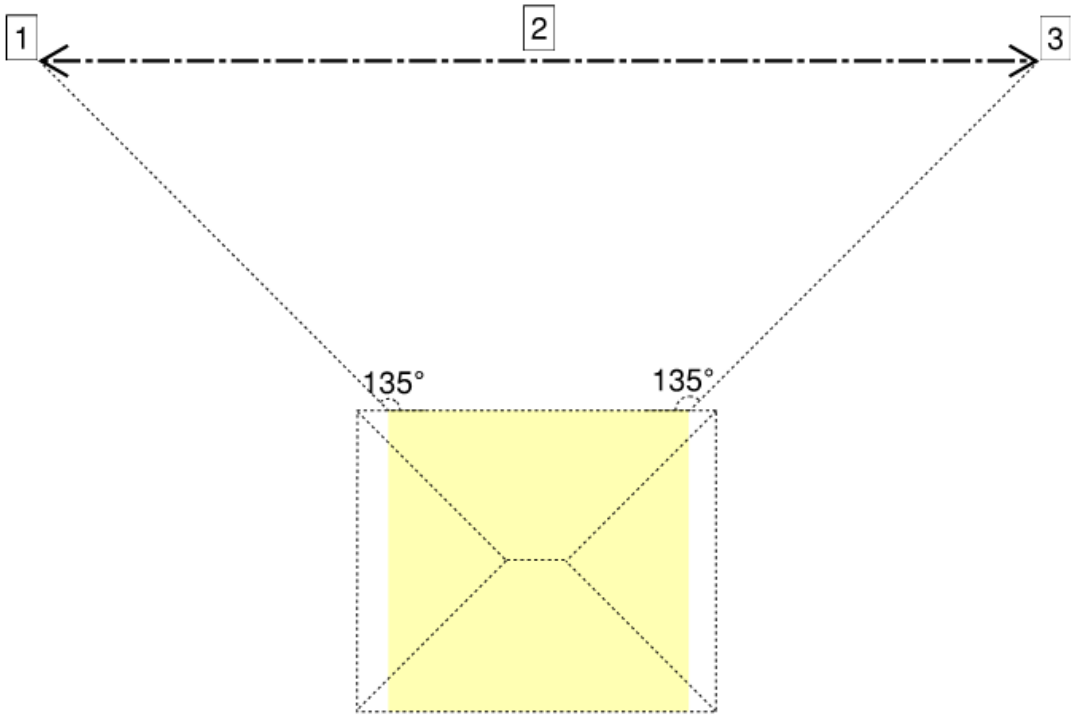
Punkt 2
Φ_2 = 0,30 [dimensionslös].
Genomsnittlig synfaktor
$\Phi_{med.}$ = (0,040 + 0,30)/2 = 0,17 [dimensionslös].

Med en genomsnittlig synfaktor om 0,17 blir den strålningsintensitet en passagerare inom gondol utsätts för genomsnittligen enligt följande:

$$Q = E \cdot \Phi_{med.} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \Phi_{med.} = 1 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 873^4 \cdot 0{,}17 = 5{,}5\ kW/m^2$$

Med en genomsnittlig strålningsintensitet om 5,5 kW/m^2 och en exponeringstid på ca 6,0 s blir således den strålningsdos en gondol utsätts för 33,0 kJ/m^2. Då kravnivån enligt BBRAD är infallande energi utöver en strålningsnivå om 1 kW/m^2 blir den infallande strålningen i stället 27,0 kJ/m^2. Detta understiger angiven kravnivå på 60 kJ/m^2. Med hänsyn till detta bedöms även kravnivån angiven i BBRAD vara uppfylld.

Skyddsavstånd till gondoler horisontellt



Figur 48: Figuren visar en byggnad ovanifrån. Figuren redovisar en princip över den sträcka människor och gondoler exponeras för strålning horisontellt från brand.

Maximal infallande strålning mot gondol

För maximal infallande strålning om 10 kW/m^2 vilket är det ansatta kriteriet för gondoler erhålls ett värde på den totala synfaktorn (Φ_{tot}) om 0,13.

I sin tur ger detta

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}033$

Utifrån det beräkningssamband som finns presenterat i avsnitt 2.2 kan nu skyddsavståndet (C) beräknas för en strålande yta om 6,35×2,5 m^2 vilket motsvarar en fjärdedel av den strålande ytan.

$C \approx 11{,}0$

Med indata enligt ovan erfordras ett horisontellt skyddsavstånd från flamman och således också byggnaden mot gondol på ca 11,0 m.

För gondoler med maximal bredd om 3,63 m innebär detta att avståndet mellan närmsta lina och byggnad ska vara ca 12,8 m.

Infallande strålningsdos mot gondol

I följande beräkningar beräknas den infallande strålningsdos människor i gondoler kan utsättas för när de passerar bredvid en brand på det skyddsavstånd om 11,0 m som presenterats i föregående avsnitt.

Om gondol passerar bredvid brand på ett avstånd om 11,0 m enligt beräkningarna ovan blir den sträcka gondol kan exponeras för brand ca 34,7 m.

Beräkningen utförs i enlighet med beräkningsmetodik presenterad i Brandskyddshandboken [14].

Infallande strålning från flamman kan beräknas genom att strålningsnivån från den emitterande ytan multipliceras med synfaktorn Φ_{med}.

Beräkning av synfaktorn utförs i aktuellt fall för tre separata punkter längs med den sträcka människor exponeras för strålning då de i gondol förflyttas längs med aktuell byggnad. Punkterna 1 och 3 är belägna på ett vinkelrätt vertikalt avstånd från den antagna strålande ytan om 11,0 m med 135° vinkel från strålande yta åt vardera håll. Punkt 2 är placerad 11,0 m vinkelrätt ut från mitten av den strålande ytan. Som representativt värde används sedan medelvärdet av den strålning en förbipasserande utsätts för. Detta är detsamma som strålningen i punkterna 1 och 2 dividerat med två.

Enligt uppgift ska gondoler komma att röra sig med en hastighet om 6 m/s. Den exponerade sträckan vilken (enligt resonemanget i föregående stycke) antagits till 34,7 m ger således att människor kommer att utsättas för strålning under ca 6 s.

Den genomsnittliga strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan.

$$Q = E \cdot \Phi_{med}$$

Den genomsnittliga synfaktorn $\Phi_{med.}$ beräknas enligt följande ekvation:

$\Phi_{med.} = ((\Phi_1+\Phi_3)/2+\Phi_2)/2$

Där Φ_1 och Φ_3 är identiska.

Med angivna förutsättningar har synfaktorn beräknats enligt följande:

Punkterna 1 och 3
$\Phi_{1 \text{ och } 3} = 0{,}017$ [dimensionslös].

Punkt 2
$\Phi_2 = 0{,}13$ [dimensionslös].
Genomsnittlig synfaktor
$\Phi_{med.} = (0{,}017 + 0{,}13)/2 = 0{,}075$ [dimensionslös].

Med en genomsnittlig synfaktor om 0,075 blir den strålningsintensitet en passagerare inom gondol utsätts för genomsnittligen enligt följande:

$$Q = E \cdot \Phi_{med.} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \Phi_{med.} = 1 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 1073^4 \cdot 0{,}076 = 5{,}7\ kW/m^2$$

Med en genomsnittlig strålningsintensitet om 5,7 kW/m^2 och en exponeringstid på ca 6 s blir således den strålningsdos en gondol utsätts för 34,2 kJ/m^2. Då kravnivån enligt BBRAD är infallande energi utöver en strålningsnivå om 1 kW/m^2 blir den infallande strålningen i stället 28,2 kJ/m^2. Detta understiger angiven kravnivå på 60 kJ/m^2. Med hänsyn till detta bedöms även kravnivån angiven i BBRAD vara uppfylld.

Diskussion

I aktuella beräkningar har kriteriet för infallande strålning ansatts till 12 kW/m^2. Detta är den infallande strålning som kan accepteras under ett tidsförlopp på 90 min. I praktiken är det möjligt att en brand kan brinna under ett längre tidförlopp än 90 min, dock inte med den intensitet som beaktas i aktuella beräkningar. Det ska också poängteras att tidsförloppet på branden baseras på förbränningshastigheten för fritt brinnande plankor och massivt trä. Vid en vindsbrand av den storlek som beaktas i aktuell utredning bedöms denna hastighet öka vilket också bidrar till ett kortare brandförlopp. Med hänsyn till detta bedöms aktuellt antagande om 12 kW/m^2 som infallande strålning vara acceptabelt.

Aktuellt scenario baseras på ett antagande om att den brinnande ytan är sammanhängande. Vindsförråd är vanligen dock utspridda över en större yta med korridorer mellan. Detta kan dels bidra till att branden har olika intensitet i olika delar men också att den yta som strålar strålar med mindre synfaktor mot den mottagande linan.

Berörda byggnader på Brämaregården 73:5 och 73:7 är utförda med takkonstruktion med ytskikt av plåt. Denna konstruktion bedöms i ett inledande brandförlopp fungera strålningsavskärmande. Fram till den tidpunkt taket rämnar bedöms detta skydda linbanan från brand. Utförda beräkningar baseras på ett antagande om att linbanan blir exponerad för strålning från en brand som täcker yta som motsvarar arean på samtliga vindsförråd. Det bedöms troligt att inte hela takkonstruktionen kollapsar vid ett och samma tillfälle, med hänsyn till detta bedöms den ansatta brandarean vara på den säkra sidan.

I utförda beräkningar har emissionstalet ansatts till 1. Detta bedöms vara en approximation på den säkra sidan.

Slutsats

Vid utredning av ett scenario med vindsbrand för punkthus på Brämaregården 73:5 och 73:7 visar utförda beräkningar att ett vertikalt skyddsavstånd till lina om 23,5 m från byggnadernas vindsbjälklag kan accepteras. Förutsatt att vindsbjälklag är belägna på höjden +60 m erfordras således ett skyddsavstånd till höjden +83,5 m. Kriteriet som ger upphov till aktuellt skyddsavstånd är infallande strålning mot passagerare i gondoler.

Vindsbjälklaget är för befintlig byggnad beläget på en höjd under byggnadshöjden (+60 m enligt plan). Att vindsplanet ska bli beläget högre än den i plan angivna byggnadshöjden bedöms inte rimligt då byggrätten tillåter 10 våningsplan vilket i dagsläget är utnyttjat och att det befintliga vindsbjälklaget är beläget ovan det tionde våningsplanet.

Utförda beräkningar visar att det krävs ett skyddsavstånd om 13,0 m i sidled till närmsta lina. Vid beräkningar har gondolbredd om 3,63 m beaktats och att dessa är belägna mitt under lina. Kriterierna som ger upphov till angivet skyddsavstånd är infallande strålning mot människor i gondol samt infallande strålning mot lina.

Förutsatt att ovan angivna avstånd upprätthålls bedöms linbanans konstruktion vara tryggad vid ev. brand.

Utförda beräkningar för aktuell byggnad bedöms vara representativa både för befintlig byggnad och för byggrätten.

Känslighetsanalys - Vindpåverkan

Inledning

De säkerhetsavstånd som finns presenterade i konceptrapporten [13] och som också beaktas i aktuell utredning är framtagna med hänsyn tagen till vindpåverkan.

Vindpåverkan på en flamma kan få till följd att denna börjar luta. I beräkningar där enbart vertikalt avstånd till gondol och lina beaktas bedöms inte detta fenomen bidra till ökad risk. Detta med hänsyn till att den strålande brandens flamtopp med vindpåverkan hamnar längre från gondol och lina. I ett fall då horisontell strålning beaktas kan vindens påverkan dock bidra till att en flamma hamnar närmre lina och gondol. Detta sker dock samtidigt som den strålande ytan minskar med hänsyn till att flamman lutar [14].

Vid en vindpåverkan på 5 m/s blir brandens vinkel ca 60º [14].

Scenario för känslighetsanalys

Aktuell scenario avser strålning från flamma enligt huvudscenariot, d.v.s. strålning från en yta om 12,7×5 m^2. Lika huvudscenariot ansätts flammans temperatur till 800°C vilket bedöms vara på den säkra sidan.

I beräkningarna som utförs nedan ansätts beräknade resultat från huvudscenariot. Det horisontella avståndet till linan ansätts således till 13,0 m.

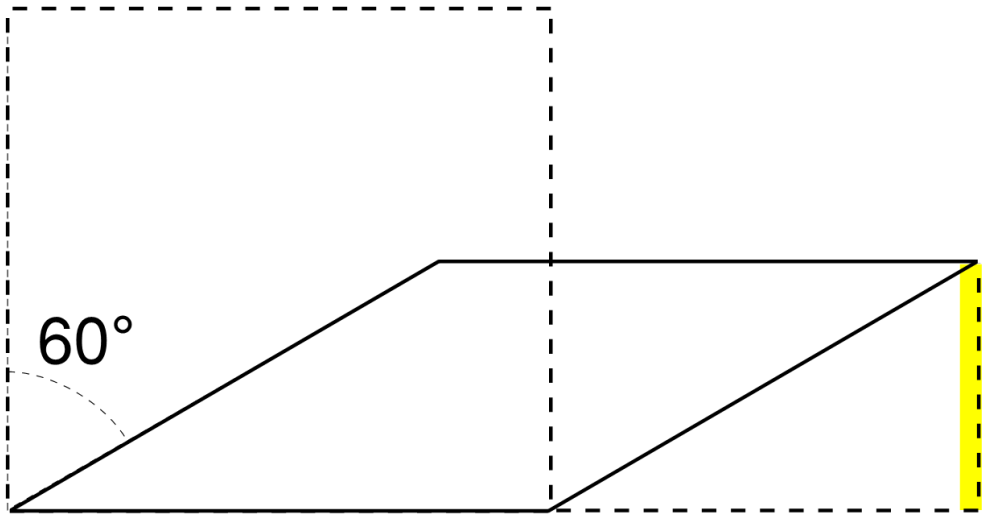
Beräkningar

Flammans geometri med avseende på vind

Flamman antas utsättas för vind om 5 m/s mot linbanan vilken medför att flamman får en lutning om 60º.

När flamman om 5,0 m lutar 60º blir avståndet till den mottagande punken 4,3 m kortare samtidigt som höjden på flamman halveras.

Flamtoppens lutning kan också beskrivas av figuren nedan:



Figur 49: Figuren visar principiellt hur flamman påverkas av vind (flamma sedd från sidan). Den strålande vertikala ytan som beräkningar har utförts för är markerad med gult i figuren.

I figuren ovan framgår att förenklingen om att ett vertikalt plan strålar är på den säkra sidan då större delen av den del av flamman som exponerar linbanan är belägen på ett längre avstånd från linbanan.

Den strålande ytan med hänsyn till drag blir således 12,7×2,5 m^2 (b×h) och hamnar på ett avstånd om 8,7 m från lina och 6,9 m från gondol.

Infallande strålning mot lina

Den strålande ytan delas upp i fyra lika stora delar för vilka synfaktorn beräknas och sedan summeras.

Tabell 4: Indelning av strålande yta.

Strålande yta	a [m]	b [m]	c [m]
Lägenhetsbrand Vindpåverkan	1,25	6,35	8,7

Detta ger följande maximala synfaktor:

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}025$ $\Phi_{1/4}$ x 4 = $\Phi_{tot} = 0{,}10$

Strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan där emitterande strålning E är beräknad enligt, $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$, utifrån ansatt temperatur (1073 K). Emissionstalet har konservativt satts till 1.

$$Q = E \cdot \Phi_{tot}$$

Detta ger:

$$Q_{1173\,K} \approx 7{,}5\ kW/m^2$$

Maximalt infallande strålning mot gondol

Det horisontella avståndet mellan flamma och gondol har antagits till ca 6,9 m.

Den strålande ytan (12,7×2,5 m^2) delas upp i fyra lika stora delar för vilka synfaktorn beräknas och sedan summeras.

Tabell 5: Indelning av strålande yta.

Strålande yta	a [m]	b [m]	c [m]
Flamma från bilbrand	1,25	6,35	6,9

Detta ger följande maximala synfaktor:

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}035$ $\Phi_{1/4}$ x 4 = $\Phi_{tot} = 0{,}14$

Strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan där emitterande strålning E är beräknad enligt, $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ (se avsnitt 2.2 för nomenklatur), utifrån ansatt temperatur (1073 K). Emissionstalet har konservativt satts till 1.

$$Q = E \cdot \Phi_{tot}$$

Detta ger:

$$Q_{1173\,K} \approx 10{,}5\ kW/m^2$$

Infallande strålningsdos mot gondol

Beräkningen utförs i enlighet med beräkningsmetodik presenterad i Brandskyddshandboken [14].

Infallande strålning från flamman kan beräknas genom att strålningsnivån från den emitterande ytan multipliceras med synfaktorn Φ_{med}.

Beräkning av synfaktorn utförs i aktuellt fall för tre separata punkter (enligt samma princip som redovisas i *Figur 48*, med enda skillnad att strålning i detta fallet i stället sker från den av drag påverkade flamman). Punkterna är belägna längs med den sträcka människor exponeras för strålning då de i gondol förflyttas förbi aktuell byggnad. Punkterna 1 och 3 är belägna på ett vinkelrätt horisontellt avstånd från den antagna strålande ytan om 6,9 m med 135° vinkel från strålande yta åt vardera håll. Punkt 2 är placerad 6,9 m vinkelrätt ut från mitten av den strålande ytan. Som representativt värde används sedan medelvärdet av den strålning en förbipasserande utsätts för. Detta är detsamma som strålningen i punkterna 1 och 2 dividerat med 2.

Enligt uppgift ska gondoler komma att röra sig med en hastighet om 6 m/s. Den exponerade sträckan vilken (enligt resonemanget i föregående stycke) antagits till ca 27 m ger således att människor kommer att utsättas för strålning under ca 4,5 s.

Den genomsnittliga strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan.

$$Q = E \cdot \Phi_{med}$$

Den genomsnittliga synfaktorn $\Phi_{med.}$ beräknas enligt följande ekvation:

$\Phi_{med.} = ((\Phi_1+\Phi_3)/2+\Phi_2)/2$

Där Φ_1 och Φ_3 är identiska.

Med angivna förutsättningar har synfaktorn beräknats enligt följande:

Punkterna 1 och 3
$\Phi_{1 \text{ och } 3} = 0{,}015$ [dimensionslös].

Punkt 2
$\Phi_2 = 0{,}14$ [dimensionslös].

Genomsnittlig synfaktor
$\Phi_{med.} = (0{,}020 + 0{,}19)/2 = 0{,}08$ [dimensionslös].

Med en genomsnittlig synfaktor om 0,08 blir den strålningsintensitet en passagerare inom gondol utsätts för genomsnittligen enligt följande:

$$Q = E \cdot \Phi_{med.} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \Phi_{med.} = 1 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 1073^4 \cdot 0{,}08 = 5{,}8\ kW/m^2$$

Med en genomsnittlig strålningsintensitet om 5,8 kW/m^2 och en exponeringstid på 4,5 s blir således den strålningsdos en gondol utsätts för 26,1 kJ/m^2. Då kravnivån enligt BBRAD är infallande energi utöver en strålningsnivå om 1 kW/m^2 blir den infallande strålningen i stället 21,6 kJ/m^2. Detta understiger med god marginal angiven kravnivå på 60 kJ/m^2. Med hänsyn till detta bedöms även kravnivån angiven i BBRAD vara uppfylld.

Diskussion och Slutsats

Aktuell känslighetsanalys har utförts med förutsättning att vindpåverkan ger den delen av flamman som exponerar linbanan en lutning om 60º mot linbanan.

Erhållet resultat visar att infallande strålning mot lina kan uppgå till 7,5 kW/m^2. Detta ligger således under angivet kriterium om 12 kW/m^2.

Resultatet visar att infallande strålning mot människor i gondoler kan uppgå till ca 10,5 kW/m^2. Resultatet visar samtidigt att denna infallande strålning uppstår under ett tidförlopp som är kortare än 4,5 s. Maximalt infallande strålning överstiger dock gällande kriterium med 0,5 kW/m^2 varför vidare utredning krävs vid val av gondol när linbanans sträckning är fastslagen. Det bedöms sannolikt att linbanans gondoler i sig själva kan skydda de som vistas inom dessa på sådan sätt att en infallande strålning kan reduceras till under acceptabla 10 kW/m^2. Detta ska dock utredas och säkerställas innan frågan avskrivs.

1.2 Lägenhetsbrand i flerfamiljshus med betongkonstruktion – Rambergsstaden 9:14, 9:15 och 9:16

I aktuell utredning ingår byggnader vilka är utförda med stomme av betong. Dessa byggnader bedöms inte fullt jämförbara med det brandförlopp som ligger till grund för de skyddsavstånd som presenterats i konceptrapporten [13]. Anledningen till detta är att brandscenariot som presenterats baseras på studier av brand i äldre trähusbebyggelse. Detta är byggnader med brännbara ytskikt och brister i brandcellsindelning. Det är också byggnader utförda med ventilerad takfot vilket medför en ökad spridningsrisk till vindsutrymmen. Det ska också tilläggas att studien baseras på byggnader med brännbar fasad. I aktuella fall har vi byggnader med obrännbar fasad vilket minskar risken för brandspridning i höjdled.

Scenariot

För brand inom byggnader med betongkonstruktion utan ventilerad takfot bedöms ett mindre antal våningsplan vara involverade i ett brandförlopp. Detta trots att en brand kan pågå under längre tid.

Anledningen till denna bedömning är dels att brandcellsgränser (EI 60) motverkar brandspridning men också att ett brandscenario inom en bostadslägenhet inte förväntas pågå med en fullt utvecklad brand under det tidsförlopp som studeras i aktuell handling (mer än 3 h). Beräkningsexempel som presenteras i koncepthandlingen visar att en lägenhet med inredning av trä och brandbelastning om 800 MJ/m^2 förväntas brinna i ca 1 h. Detta ska inte betraktas som en sanning då en bostad normalt består av fler olika material med varierande brandegenskaper. Det kan dock betraktas som en fingervisning gällande i vilken härad ett brandförlopp kan förväntas fortgå.

För aktuella objekt bedöms brand inom två våningsplan rimligt som dimensionerande brand. Detta då brand på det översta våningsplanet t.ex. skulle kunna spridas till vindsplanet.

Det ska förtydligas att risk för brandspridning mellan olika lägenheter föreligger vid en brand som får fortgå en längre tid (mer än 1 h). Med hänsyn till byggnadens konstruktion bedöms dock spridningen inte ske i en snabbare takt än att ett brandförlopp med brand i två våningsplan kan anses dimensionerande.

Studier som NFPA har gjort visar att brand inom två våningsplan genererar en flamhöjd på ca 1,8 våningshöjder [18]. Undersökningar utförda av Brandskyddslaget uppskattar i sin tur kvoten mellan flamhöjden och brandens diameter till en siffra mellan 0,5 och 1,5 [19]. För att vara på den säkra sidan ansätts 0,5 [19].

Med en våningshöjd om 2,80 m ger detta en dimensionerande brand med måtten ca 9×9×5 m^3 (l×b×h).

Temperatur på strålande yta

I aktuellt avsnitt anges vilken flamtemperatur som ansatts för de beräkningar som utförts. Aktuella flamtemperaturer motiveras dels med beräkningar men också underlag från utförs studier.

Vertikal strålning

Den vertikala strålningen avser strålning från flammans topp mot gondol och lina. För fritt brinnande turbulenta diffusionsflammor ligger temperaturen i flammans topp kring 320 ~ 400°C [22]. Strax ovanför fönsteröppning vid rumsbrand kan flamtemperaturen dock bli så hög som 900°C [7].

För att vara på den säkra sidan vid antagandet om flamtemperaturen utförs beräkningar nedan i enlighet med en av McCaffrey presenterad beräkningsmodell [15]:

$$\Delta T_0 = \left(\frac{\mathrm{K}}{0{,}9 * \sqrt{2g}}\right)^2 \left(\frac{z}{\dot{Q}^{2/5}}\right)^{2\eta - 1} * T_\infty$$

där

ΔT_0	Temperaturskillnaden i förhållande till omgivningstemperaturen
T_∞	Omgivande temperatur, ansätts till 20°C = 293 K
g	Gravitationen, ansätts till 9,81 m/s^2
z	Höjden för vilken temperaturen i flamman beräknas, för aktuell brand 5 m
$\dot{Q}$	Avgiven effekt [kW]
K	Konstant, för aktuell del av flamman ansätts den till 1,9 m/kW$^{1/5}$s
η	Konstant, för aktuell del av flamman ansätts den till 0

Studier som utförts i samband med fullskaleförsök av det sena brandförloppet visar en uppmätt effektutveckling vid brand i lägenhet på omkring 6,5 MW [20][21]. Detta avser brand inom lägenhet med 3 rum och kök inom byggnad av betongkonstruktion. För brand inom två våningsplan ansätts för flerbostadshus av betongkonstruktion en brand om 15 MW. Detta motsvara således brand i fler än två lägenheter. Det ska också observeras att en pågående brand inom en lägenhet inte bedöms brinna med maximal effektutveckling under ett helt brandförlopp. Med hänsyn till detta bedöms angiven effektutveckling vara på den säkra sidan.

Med indata enligt ovan erhålls en temperaturskillnad om ca 620 °C vilket ger en flamtemperatur om 640 °C.

Det beräknade värdet om 640 °C överstiger de i försök uppmätta värdena om 320 ~ 400°C. Anledningen till detta bedöms vara det konservativt ansatta värdet på effektutvecklingen. Att värdena skiljer sig åt bedöms dock inte som något att förringa. Flamtemperaturen för aktuella beräkningar ansätts därför till 600°C vilket bedöms vara på den säkra sidan. Aktuell temperatur bedöms även kompensera för det faktum att temperaturen längre ner i flamman också kan vara bidragande vid vertikal strålning.

Horisontell strålning

Den horisontella strålningen avser strålning från flammans sida. D.v.s. strålning från en yta om 9×5 m^2. Enligt resonemanget i föregående stycke kan temperaturen i en flammas nedre del antagas till ca 900°C. I flamtoppen kan temperaturen dock förväntas till 320 ~ 400°C. För aktuella beräkningar ansätts en flamtemperatur om 800°C vilket bedöms vara på den säkra sidan.

Det ska poängteras att den högre temperaturen avser flammans bas vilket i många fall kan vara avskärmad av byggnadsdelar. Detta bidrar till att erhåller resultat bedöms vara på den säkra sidan.

Beräkning av skyddsavstånd

Vid beräkning av skyddsavstånd används den metodik som finns presenterad i avsnitt 2.2.

För aktuella beräkningar är kriteriet för infallande strålning känt samtidigt som avståndet mellan den strålande ytan (benämns C i avsnitt 2.2) och den mottagande ytan är okänt.

Utifrån den accepterade infallande strålningen (Q) beräknas vilken maximal synfaktor som accepteras. Ekvationen i avsnitt 2.2 skrivs om enligt följande:

$$\Phi_{tot} = \frac{Q}{}$$

där

ε	emissionstal [-] (varierar mellan 0-1)
σ	Stefan-Boltzmanns konstant = 5,67 x 10^{-8} [W/m^{2}K^4]
T	Temperatur [K]
Φ_{tot}	Synfaktor [-]

Skyddsavstånd till lina vertikalt

För maximal infallande strålning om 8 kW/m^2 vilket är kriteriet för linan erhålls ett värde på den totala synfaktorn (Φ_{tot}) om 0,24.

I sin tur ger detta

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}061$

Utifrån det beräkningssamband som finns presenterat i avsnitt 2.2 kan nu skyddsavståndet (C) beräknas för en strålande yta om 4,5×4,5 m^2 vilket motsvarar en fjärdedel av den strålande ytan.

C ≈9,0

Med indata enligt ovan erfordras ett skyddsavstånd från flamtoppen om ca 9,0 m. Om brand placeras på vindsbjälklaget med höjd om 5 m innebär detta att skyddsavståndet från bjälklaget blir 14,0 m.

Skyddsavstånd till lina horisontellt

För maximal infallande strålning om 8 kW/m^2 vilket är kriteriet för linan erhålls ett värde på den totala synfaktorn (Φ_{tot}) om 0,11.

I sin tur ger detta

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}027$

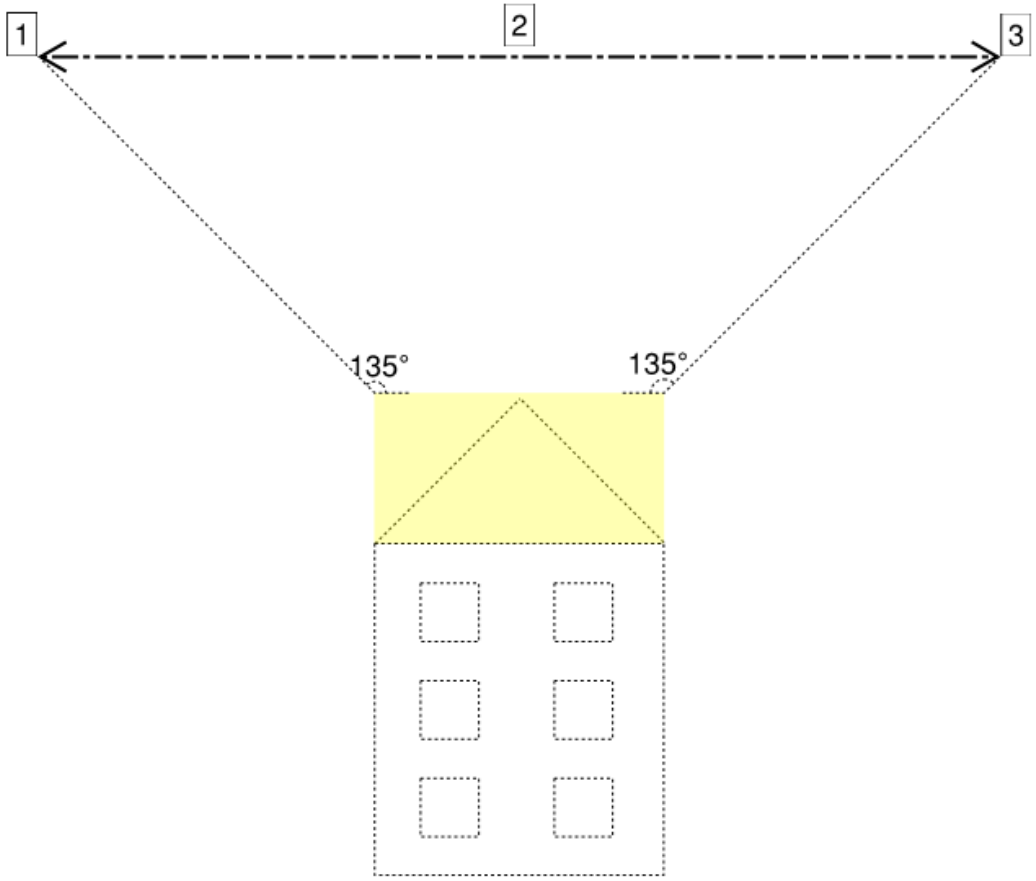
Utifrån det beräkningssamband som finns presenterat i avsnitt 2.2 kan nu skyddsavståndet (C) beräknas för en strålande yta om 4,5×2,5 m^2 vilket motsvarar en fjärdedel av den strålande ytan.

C ≈11,0

Med indata enligt ovan erfordras ett skyddsavstånd från flamman och således också byggnaden om ca 11,0 m.

Skyddsavstånd till gondoler vertikalt

För aktuellt scenario bedöms brand ske vinkelrätt och snett ut från en brinnande yta i upp till 135° vinkel från denna, se figuren nedan för principiell beskrivning. Detta motsvarar den vinkel för vilken strålning måste beaktas med avseende på spridning enligt BBR. Strålning utanför denna vinkel betraktas i aktuellt fall som försumbar.



Figur 50: Figuren redovisar en princip över den sträcka människor och gondoler exponeras för strålning vertikalt från brand.

<u>*Maximal infallande strålning mot gondol*</u>

För maximal infallande strålning om 10 kW/m^2 vilket är det ansatta kriteriet för gondoler erhålls ett värde på den totala synfaktorn (Φ_{tot}) om 0,30.

I sin tur ger detta

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}076$

Utifrån det beräkningssamband som finns presenterat i avsnitt 2.2 kan nu skyddsavståndet (C) beräknas för en strålande yta om 4,5×4,5 m^2 vilket motsvarar en fjärdedel av den strålande ytan.

$C \approx 8{,}0$

Med indata enligt ovan erfordras ett skyddsavstånd från flamtoppen till undersida gondol om ca 8,0 m. Om brand placeras på vindsbjälklaget med höjd om 5 m innebär detta att skyddsavståndet från bjälklaget till undersida gondol blir 13,0 m.

Då undersida gondol antas med ett vertikalt avstånd mot lina om 7,1 m ger detta ett skyddsavstånd mellan översta bjälklag och lina om 20,1 m.

Infallande strålningsdos mot gondol

I följande beräkningar beräknas den infallande strålningsdos människor i gondoler kan utsättas för när de passerar ovan en brand på det skyddsavstånd om 8,0 m som presenterats i föregående avsnitt.

Om gondol passerar ovan brand på ett avstånd om 8 m enligt beräkningarna ovan blir den sträcka gondol kan exponeras för (från punkt 1 till punkt 3 i *Figur 50*) brand ca 25 m.

Beräkningen utförs i enlighet med beräkningsmetodik presenterad i Brandskyddshandboken [14].

Infallande strålning från flamman kan beräknas genom att strålningsnivån från den emitterande ytan multipliceras med synfaktorn Φ_{med}.

Beräkning av synfaktorn utförs i aktuellt fall för tre separata punkter längs med den sträcka människor exponeras för strålning då de i gondol förflyttas över aktuell byggnad. Punkterna 1 och 3 är belägna på ett vinkelrätt vertikalt avstånd från den antagna strålande ytan om 8 m med 135° vinkel från strålande yta åt vardera håll. Punkt 2 är placerad 8 m vinkelrätt upp från mitten av den strålande ytan. Som representativt värde används sedan medelvärdet av den strålning en förbipasserande utsätts för. Detta är detsamma som strålningen i punkterna 1 och 2 dividerat med två.

Enligt uppgift ska gondoler komma att röra sig med en hastighet om 6 m/s. Den exponerade sträckan vilken (enligt resonemanget i föregående stycke) antagits till 25 m ger således att människor kommer att utsättas för strålning under ca 4,5 s.

Den genomsnittliga strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan.

$$Q = E \cdot \Phi_{med}$$

Den genomsnittliga synfaktorn $\Phi_{med.}$ beräknas enligt följande ekvation:

$\Phi_{med.} = ((\Phi_1+\Phi_3)/2+\Phi_2)/2$

Där Φ_1 och Φ_3 är identiska.

Med angivna förutsättningar har synfaktorn beräknats enligt följande:

Punkterna 1 och 3
$\Phi_{1 \text{ och } 3} = 0{,}038$ [dimensionslös].

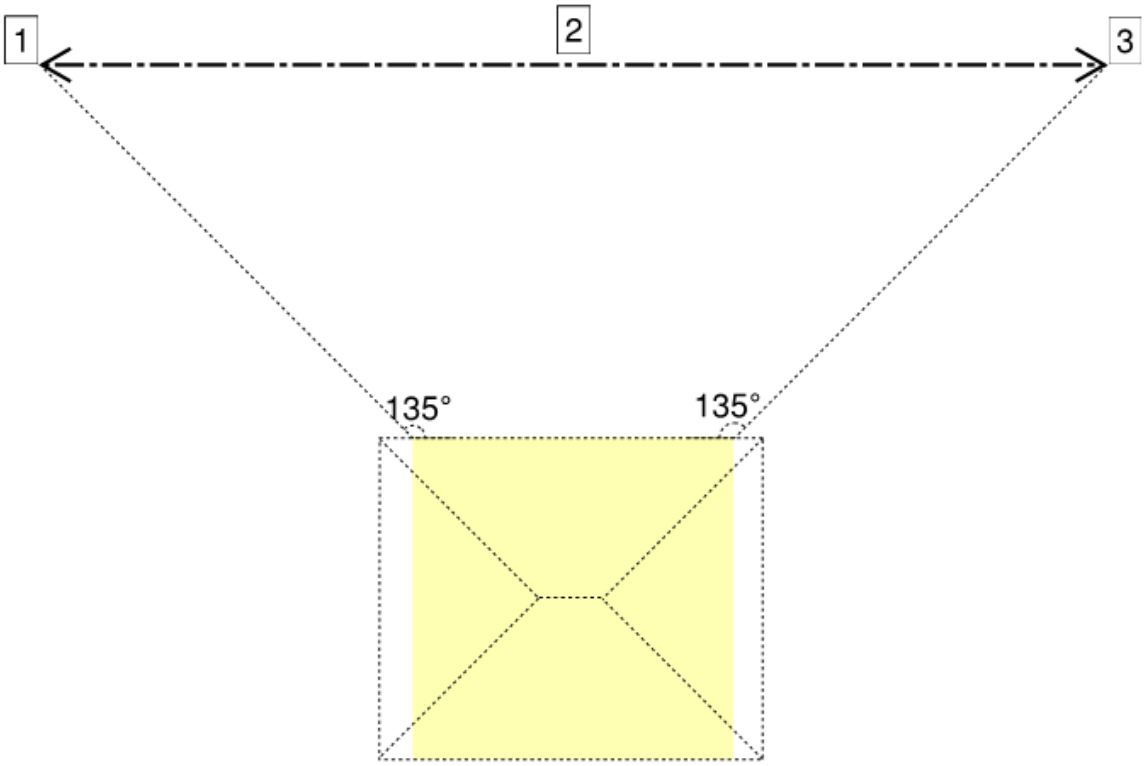
Punkt 2
$\Phi_2 = 0{,}28$ [dimensionslös].
Genomsnittlig synfaktor
$\Phi_{med.} = (0{,}038 + 0{,}28)/2 = 0{,}16$ [dimensionslös].

Med en genomsnittlig synfaktor om 0,16 blir den strålningsintensitet en passagerare inom gondol utsätts för genomsnittligen enligt följande:

$$Q = E \cdot \Phi_{med.} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \Phi_{med.} = 1 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 873^4 \cdot 0{,}16 = 5{,}3\ kW/m^2$$

Med en genomsnittlig strålningsintensitet om 5,3 kW/m^2 och en exponeringstid på ca 4,5 s blir således den strålningsdos en gondol utsätts för 23,9 kJ/m^2. Då kravnivån enligt BBRAD är infallande energi utöver en strålningsnivå om 1 kW/m^2 blir den infallande strålningen i stället 19,4 kJ/m^2. Detta understiger angiven kravnivå på 60 kJ/m^2. Med hänsyn till detta bedöms även kravnivån angiven i BBRAD vara uppfylld.

Skyddsavstånd till gondoler horisontellt



Figur 51: Figuren visar en byggnad ovanifrån. Figuren redovisar en princip över den sträcka människor och gondoler exponeras för strålning horisontellt från brand.

Maximal infallande strålning mot gondol

För maximal infallande strålning om 10 kW/m^2 vilket är det ansatta kriteriet för gondoler erhålls ett värde på den totala synfaktorn (Φ_{tot}) om 0,13.

I sin tur ger detta

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}033$

Utifrån det beräkningssamband som finns presenterat i avsnitt 2.2 kan nu skyddsavståndet (C) beräknas för en strålande yta om 4,5×2,5 m^2 vilket motsvarar en fjärdedel av den strålande ytan.

$C \approx 9{,}5$

Med indata enligt ovan erfordras ett horisontellt skyddsavstånd från flamman och således också byggnaden mot gondol på ca 9,5 m.

För gondoler med maximal bredd om 3,63 m innebär detta att avståndet mellan närmsta lina och byggnad ska vara ca 11,5 m.

Infallande strålningsdos mot gondol

I följande beräkningar beräknas den infallande strålningsdos människor i gondoler kan utsättas för när de passerar bredvid en brand på det skyddsavstånd om 9,5 m som presenterats i föregående avsnitt.

Om gondol passerar bredvid brand på ett avstånd om 9,5 m enligt beräkningarna ovan blir den sträcka gondol kan exponeras för brand ca 28 m.

Beräkningen utförs i enlighet med beräkningsmetodik presenterad i Brandskyddshandboken [14].

Infallande strålning från flamman kan beräknas genom att strålningsnivån från den emitterande ytan multipliceras med synfaktorn Φ_{med}.

Beräkning av synfaktorn utförs i aktuellt fall för tre separata punkter längs med den sträcka människor exponeras för strålning då de i gondol förflyttas längs med aktuell byggnad. Punkterna 1 och 3 är belägna på ett vinkelrätt vertikalt avstånd från den antagna strålande ytan om 9,5 m med 135° vinkel från strålande yta åt vardera håll. Punkt 2 är placerad 9,5 m vinkelrätt ut från mitten av den strålande ytan. Som representativt värde används sedan medelvärdet av den strålning en förbipasserande utsätts för. Detta är detsamma som strålningen i punkterna 1 och 2 dividerat med två.

Enligt uppgift ska gondoler komma att röra sig med en hastighet om 6 m/s. Den exponerade sträckan vilken (enligt resonemanget i föregående stycke) antagits till 28 m ger således att människor kommer att utsättas för strålning under ca 5 s.

Den genomsnittliga strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan.

$$Q = E \cdot \Phi_{med}$$

Den genomsnittliga synfaktorn $\Phi_{med.}$ beräknas enligt följande ekvation:

$\Phi_{med.} = ((\Phi_1+\Phi_3)/2+\Phi_2)/2$

Där Φ_1 och Φ_3 är identiska.

Med angivna förutsättningar har synfaktorn beräknats enligt följande:

Punkterna 1 och 3
$\Phi_{1 \text{ och } 3} = 0{,}018$ [dimensionslös].

Punkt 2
$\Phi_2 = 0{,}13$ [dimensionslös].
Genomsnittlig synfaktor
$\Phi_{med.} = (0{,}018 + 0{,}13)/2 = 0{,}076$ [dimensionslös].

Med en genomsnittlig synfaktor om 0,076 blir den strålningsintensitet en passagerare inom gondol utsätts för genomsnittligen enligt följande:

$$Q = E \cdot \Phi_{med.} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \Phi_{med.} = 1 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 1073^4 \cdot 0{,}076 = 5{,}7\ kW/m^2$$

Med en genomsnittlig strålningsintensitet om 5,7 kW/m^2 och en exponeringstid på ca 5 s blir således den strålningsdos en gondol utsätts för 28,5 kJ/m^2. Då kravnivån enligt BBRAD är infallande energi utöver en strålningsnivå om 1 kW/m^2 blir den infallande strålningen i stället 23,5 kJ/m^2. Detta understiger angiven kravnivå på 60 kJ/m^2. Med hänsyn till detta bedöms även kravnivån angiven i BBRAD vara uppfylld.

Diskussion

Den flamtemperatur som ansatts baseras dels på försök men också på beräkningar utifrån en ansatt brandeffekt om 15 MW. Den ansatta effekten bedöms för aktuell byggnadstyp vara på den säkra sidan.

Det ska observeras att den ansatta effekten avser den ansatta temperaturen och att den inte ligger till grund för den ansatta flamstorleken som bedöms motsvara en än mer omfattande brand. Med hänsyn till detta bedöms erhållet resultat vara på den säkra sidan.

Det ska poängteras att aktuella strålningsberäkningar utförs från en plan yta som ansatts i flammans topp. En brand har normalt en mer konisk form varför en större del av flamman hamnar närmre det mål den strålar mot än vad som bedöms troligt i ett verkligt fall.

De skyddsavstånd som redovisas i aktuella beräkningar baseras på ett antagande om en fritt brinnande brand.

Berörda byggnader på Brämaregården 73:5 och 73:7 samt Rambergsstaden 9:14- 16 visar att dessa är utförda med betongbjälklag. För Brämaregården 73:5 och 73:7 är vindsutrymmet dessutom utfört med taktäckning av plåt. Byggnadernas konstruktioner bedöms således fungera strålningshämmande då dels tak kan avskärma men också att bjälklag i betong delvis bedöms hämma effekten av den flamhöjd som kan uppstår till följd av att flera våningar brinner på en och samma gång.

I utförda beräkningar har emissionstalet ansatts till 1. Detta bedöms vara en approximation på den säkra sidan.

Slutsats

Utförda beräkningar visar att det krävs ett vertikalt säkerhetsavstånd från byggnadens vindsbjälklaget om 20,1 m. Då detta är beläget på höjden +44,5 m erfordras således ett skyddsavstånd till höjden +64,6 m. Kriteriet som ger upphov till angivet skyddsavstånd är infallande strålning mot människor i gondol.

Utförda beräkningar visar att det krävs ett skyddsavstånd om 11,5 m i sidled till närmsta lina. Vid beräkningar har gondolbredd om 3,63 m beaktats och att dessa är belägna mitt under lina. Kriterierna som ger upphov till angivet skyddsavstånd är infallande strålning mot människor i gondol samt infallande strålning mot lina.

Känslighetsanalys - Vindpåverkan

Inledning

De säkerhetsavstånd som finns presenterade i konceptrapporten [13] och som också beaktas i aktuell utredning är framtagna med hänsyn tagen till vindpåverkan.

Vindpåverkan på en flamma kan få till följd att denna börjar luta. I beräkningar där enbart vertikalt avstånd till gondol och lina beaktas bedöms inte detta fenomen bidra till ökad risk. Detta med hänsyn till att den strålande brandens flamtopp med vindpåverkan hamnar längre från gondol och lina. I ett fall då horisontell strålning beaktas kan vindens påverkan dock bidra till att en flamma hamnar närmre lina och gondol. Detta sker dock samtidigt som den strålande ytan minskar med hänsyn till att flamman lutar [14].

Vid en vindpåverkan på 5 m/s blir brandens vinkel ca 60º [14].

Scenario för känslighetsanalys

Aktuell scenario avser strålning från flamma enligt huvudscenariot, d.v.s. strålning från en yta om 9×5 m^2. Lika huvudscenariot ansätts flammans temperatur till 800°C vilket bedöms vara på den säkra sidan.

I beräkningarna som utförs nedan ansätts beräknade resultat från huvudscenariot. Det horisontella avståndet till linan ansätts således till 11,5 m.

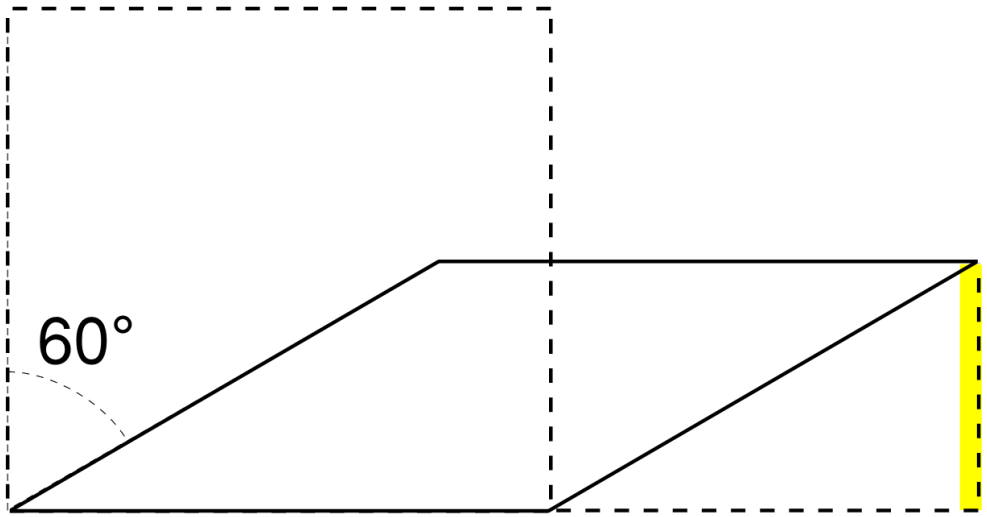
Beräkningar

Flammans geometri med avseende på vind

Flamman antas utsättas för vind om 5 m/s mot linbanan vilken medför att flamman får en lutning om 60º.

När flamman om 5,0 m lutar 60º blir avståndet till den mottagande punken 4,3 m kortare samtidigt som höjden på flamman halveras.

Flamtoppens lutning kan också beskrivas av figuren nedan:



Figur 52: Figuren visar principiellt hur flamman påverkas av vind (flamma sedd från sidan). Den strålande vertikala ytan som beräkningar har utförts för är markerad med gult i figuren.

I figuren ovan framgår att förenklingen om att ett vertikalt plan strålar är på den säkra sidan då större delen av den del av flamman som exponerar linbanan är belägen på ett längre avstånd från linbanan.

Den strålande ytan med hänsyn till drag blir således 9,0×2,5 m^2 (b×h) och hamnar på ett avstånd om 7,2 m från lina och 5 m från gondol.

Infallande strålning mot lina

Den strålande ytan delas upp i fyra lika stora delar för vilka synfaktorn beräknas och sedan summeras.

Tabell 6: Indelning av strålande yta.

Strålande yta	a [m]	b [m]	c [m]
Lägenhetsbrand Vindpåverkan	1,25	4,5	7,2

Detta ger följande maximala synfaktor:

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}027$ $\Phi_{1/4}$ x 4 = $\Phi_{tot} = 0{,}11$

Strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan där emitterande strålning E är beräknad enligt, $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$, utifrån ansatt temperatur (1073 K). Emissionstalet har konservativt satts till 1.

$$Q = E \cdot \Phi_{tot}$$

Detta ger:

$$Q_{1173\,K} \approx 8{,}2\ kW/m^2$$

Maximalt infallande strålning mot gondol

Det horisontella avståndet mellan flamma och gondol har antagits till ca 5 m.

Den strålande ytan (9,0×2,5 m^2) delas upp i fyra lika stora delar för vilka synfaktorn beräknas och sedan summeras.

Tabell 7: Indelning av strålande yta.

Strålande yta	a [m]	b [m]	c [m]
Flamma från bilbrand	1,25	4,5	5,0

Detta ger följande maximala synfaktor:

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}047$ $\Phi_{1/4}$ x 4 = $\Phi_{tot} = 0{,}19$

Strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan där emitterande strålning E är beräknad enligt, $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ (se avsnitt 2.2 för nomenklatur), utifrån ansatt temperatur (1073 K). Emissionstalet har konservativt satts till 1.

$$Q = E \cdot \Phi_{tot}$$

Detta ger:

$$Q_{1173\,K} \approx 14{,}2\ kW/m^2$$

Infallande strålningsdos mot gondol

Beräkningen utförs i enlighet med beräkningsmetodik presenterad i Brandskyddshandboken [14].

Infallande strålning från flamman kan beräknas genom att strålningsnivån från den emitterande ytan multipliceras med synfaktorn Φ_{med}.

Beräkning av synfaktorn utförs i aktuellt fall för tre separata punkter (enligt samma princip som redovisas i *Figur 51*, med enda skillnad att strålning i detta fallet i stället sker från den av drag påverkade flamman). Punkterna är belägna längs med den sträcka människor exponeras för strålning då de i gondol förflyttas förbi aktuell byggnad. Punkterna 1 och 3 är belägna på ett vinkelrätt horisontellt avstånd från den antagna strålande ytan om 5,0 m med 135° vinkel från strålande yta åt vardera håll. Punkt 2 är placerad 5,0 m vinkelrätt ut från mitten av den strålande ytan. Som representativt värde används sedan medelvärdet av den strålning en förbipasserande utsätts för. Detta är detsamma som strålningen i punkterna 1 och 2 dividerat med 2.

Enligt uppgift ska gondoler komma att röra sig med en hastighet om 6 m/s. Den exponerade sträckan vilken (enligt resonemanget i föregående stycke) antagits till 19 m ger således att människor kommer att utsättas för strålning under ca 3,2 s.

Den genomsnittliga strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan.

$$Q = E \cdot \Phi_{med}$$

Den genomsnittliga synfaktorn $\Phi_{med.}$ beräknas enligt följande ekvation:

$\Phi_{med.} = ((\Phi_1+\Phi_3)/2+\Phi_2)/2$

Där Φ_1 och Φ_3 är identiska.

Med angivna förutsättningar har synfaktorn beräknats enligt följande:

Punkterna 1 och 3
$\Phi_{1 \text{ och } 3} = 0{,}020$ [dimensionslös].

Punkt 2
$\Phi_2 = 0{,}19$ [dimensionslös].

Genomsnittlig synfaktor
$\Phi_{med.} = (0{,}020 + 0{,}19)/2 = 0{,}10$ [dimensionslös].

Med en genomsnittlig synfaktor om 0,10 blir den strålningsintensitet en passagerare inom gondol utsätts för genomsnittligen enligt följande:

$$Q = E \cdot \Phi_{med.} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \Phi_{med.} = 1 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 1073^4 \cdot 0{,}10 = 7{,}9\ kW/m^2$$

Med en genomsnittlig strålningsintensitet om 7,9 kW/m^2 och en exponeringstid på 3,2 s blir således den strålningsdos en gondol utsätts för 25,2 kJ/m^2. Då kravnivån enligt BBRAD är infallande energi utöver en strålningsnivå om 1 kW/m^2 blir den infallande strålningen i stället 22,0 kJ/m^2. Detta understiger med god marginal angiven kravnivå på 60 kJ/m^2. Med hänsyn till detta bedöms även kravnivån angiven i BBRAD vara uppfylld.

Diskussion och Slutsats

Aktuell känslighetsanalys har utförts med förutsättning att vindpåverkan ger den delen av flamman som exponerar linbanan en lutning om 60º mot linbanan.

Erhållet resultat visar att infallande strålning mot lina kan uppgå till 8,2 kW/m^2. Med hänsyn till förenklingar i beräkningsprocessen (större delen av flamman ansätts att vara närmre linan) bedöms detta vara inom felmarginalen. Reviderade beräkningar (ej publicerade vid utgivning av aktuell handling) av vilken infallande strålning lina klarar visar också att detta kan accepteras.

Resultatet visar att infallande strålning mot människor i gondoler kan uppgå till ca 14,2 kW/m^2. Resultatet visar samtidigt att denna infallande strålning uppstår under ett tidförlopp som är kortare än 3,6 s. Maximalt infallande strålning överstiger dock gällande kriterium för vad människor får utsättas för med 4,2 kW/m^2 varför vidare utredning krävs vid val av gondol när linbanans sträckning är fastslagen. Det bedöms sannolikt att linbanans gondoler i sig själva kan skydda de som vistas inom dessa på sådan sätt att en infallande strålning kan reduceras till under acceptabla 10 kW/m^2. Det ska också poängteras att de förenklingar som ligger till grund för resultatet är konservativa. Erhållet resultat ska dock inte förringas, det ska istället utredas vidare i samband med att linbanans position slås fast.

1.3 Vindsbrand i flerfamiljshus med betongkonstruktion – Rambergsstaden 9:14, 9:15 och 9:16

Flerbostadshusen på Rambergsstaden 9:14, 9:15 och 9:16 är utförda med oinredd vind. Det finns ingen förvaring, dessutom är isolering utförd obrännbar (35-45 cm ventilerad lecafyllning). Uppgifter saknas kring huruvida bärande delar för denna är av trä eller ej, i aktuell utredning bedöms dock detta sakna betydelse då brand i takkonstruktionen inte bedöms bidra till ett mer omfattande brandförlopp än det som ansatts för brand i lägenheter.

För byggrätten på den berörda fastigheterna finns det dock möjlighet att uppföra byggnader med maximal byggnadshöjd om +45,5 m och maximal nockhöjd om +51,3 m. I framtiden finns det således möjlighet att utföra vinden inredd med förråd. I enlighet med gällande byggregler (BBR 5:535) ska vindsutrymmen utformas så att omfattande brandspridning begränsas. För att uppfylla gällande regler ska därför vindsutrymmen med mer än begränsad mängd brännbart material delas in i brandceller (EI 30) om 400 m^2.

Då syftet med aktuellt regelverk är att förhindra omfattande brandspridning bedöms det med hänsyn till detta dimensionerande att utreda konsekvensen av brand inom en vindsbrandcell om 400 m^2.

Scenariot

För aktuellt scenario bedöms brand inom ett våningsplan vara dimensionerande. För aktuellt scenario bedöms inte brand längre ner i byggnaden utgöra en bidragande faktor till brandförloppet med hänsyn till bjälklagets avskiljande förmåga. Med hänsyn till detta utreds ett scenario där brand uppstår i vindsförråd med spridning till närliggande förråd.

En vindsbrand kan uppstå av flera olika anledningar som t.ex. elfel, anlagd brand och spridning från brand längre ner i byggnaden.

För aktuellt scenario utreds konsekvensen av brand inom en brandcell på vind. Detta motsvarar maximalt 400 m^2. I scenario för vindsbrand inom punkthus på Brämaregården 73:5 och 73:7 ansattes förvaringsutrymmena till en yta av 160 m^2 för en invändig yta om ca 340 m^2. För aktuellt scenario skalas den yta upp för att motsvara aktuell yta om 400 m^2. Detta ger en yta med förvaring om 190 m^2.

Byggnaderna och byggrätterna upptar en yta av ca 360 m^2 (21×17 m^2) vardera. Innermåtten på vindsplanen upptar ca 20,5×16,5 m^2. Övriga delar bedöms upptas av teknikutrymmen, trapphus, korridorer m.m.

Enligt BBRBE kan brandbelastningen för bostäder generellt ansättas till 800 MJ/m^2. Med hänsyn till att aktuell byggnadsdel utgör förrådsyta bedöms det dock rimligt att tillämpa en högre brandbelastning. Baserat på undersökningar tillämpas i stället 1180 MJ/m^2 för aktuellt scenario [23]. Förutsatt att ytan består av trä med förbränningsvärme om 18 MJ/kg och förbränningshastighet om 14 g/m^{2}s skulle en fullt utvecklad brand kunna fortgå under ett tidsförlopp på ca 80 min. Det ska dock poängteras att denna tid utgör en uppskattning för att skapa en uppfattning om tidförloppet en vindsbrand kan fortgå. På en vind kan material av många olika typer förvaras vilket kan bidra till både längre och kortare brandförlopp. Det ska dock poängteras att förbränningshastigheten som angivits ovan avser fritt brinnande trä i form av enstaka plankor. I ett fall med en mer omfattande brand ökar förbränningshastigheten.

I Tabell 2 framgår att infallande strålning om 12 kW/m^2 kan accepteras mot lina under ett maximalt tidförlopp om ca 90 min. Med hänsyn till resonemanget i stycket ovan bedöms denna strålningsintensitet lämplig som kriterium för vad linan ska klara av i samband med vindsbrand.

Studier av brandförlopp i äldre trähusbebyggelse visar att förväntad maximal flamhöjd bör hamna kring ca 5 m [19]. Det ska observeras att aktuellt värde baseras på studier av brandförlopp som bedöms jämförbara med aktuellt scenario. Den angivna flamhöjden motsvarar dock det skede då den studerade branden var vid sitt maximum och med hänsyn till det bedöms

denna vara acceptabel att tillämpa i aktuell utredning. I ett verkligt fall bedöms en brand fluktuera vilket gör att flamhöjden konstant inte är den maximala.

Med en brandarea om ca 190 m^2 ger detta en dimensionerande brand med måtten ca 13,8×13,8×5 m^3 (l×b×h).

Temperatur på strålande yta

I aktuellt avsnitt anges vilken flamtemperatur som ansatts för de beräkningar som utförts.

Vertikal strålning

Den vertikala strålningen avser strålning från flammans topp mot gondol och lina. För fritt brinnande turbulenta diffusionsflammor ligger temperaturen i flammans topp kring 320 ~ 400°C [22]. Strax ovanför fönsteröppning vid rumsbrand kan flamtemperaturen dock bli så hög som 900°C [7].

För aktuellt objekt bedöms en temperatur om 600°C vara på den säkra sidan. Aktuell temperatur bedöms även kompensera för det faktum att temperaturen längre ner i flamman också kan vara bidragande vid vertikal strålning.

Horisontell strålning

Den horisontella strålningen avser strålning från flammans sida. D.v.s. strålning från en yta om 13,8×5 m^2. Enligt resonemanget i föregående stycke kan temperaturen i en flammas nedre del antagas till ca 900°C. I flamtoppen kan temperaturen dock förväntas till 320 ~ 400°C. För aktuella beräkningar ansätts en flamtemperatur om 800°C vilket bedöms vara på den säkra sidan.

Det ska poängteras att den högre temperaturen avser flammans bas vilket i många fall kan vara avskärmad av byggnadsdelar. Detta bidrar till att erhåller resultat bedöms vara på den säkra sidan.

Beräkning av skyddsavstånd

Vid beräkning av skyddsavstånd används den metodik som finns presenterad i avsnitt 2.2.

För aktuella beräkningar är kriteriet för infallande strålning känt samtidigt som avståndet mellan den strålande ytan (benämns C i avsnitt 2.2) och den mottagande ytan är okänt.

Utifrån den accepterade infallande strålningen (Q) beräknas vilken maximal synfaktor som accepteras. Ekvationen i avsnitt 2.2 skrivs om enligt följande:

$$\Phi_{tot} = \frac{Q}{}$$

där

ε	emissionstal [-] (varierar mellan 0-1)
σ	Stefan-Boltzmanns konstant = 5,67 x 10^{-8} [W/m^2K^4]
T	Temperatur [K]
Φ_{tot}	Synfaktor [-]

Skyddsavstånd till lina vertikalt

För maximal infallande strålning om 12 kW/m^2 vilket är kriteriet för linan erhålls ett värde på den totala synfaktorn (Φ_{tot}) om 0,36.

I sin tur ger detta

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}091$

Utifrån det beräkningssamband som finns presenterat i avsnitt 2.2 kan nu skyddsavståndet (C) beräknas för en strålande yta om 6,88×6,88 m^2 vilket motsvarar en fjärdedel av den strålande ytan.

$C \approx 10{,}5$

Med indata enligt ovan erfordras ett skyddsavstånd från flamtoppen om ca 10,5 m. Om brand placeras på vindsbjälklaget med höjd om 5 m innebär detta att skyddsavståndet från bjälklaget blir 15,5 m.

Skyddsavstånd till lina horisontellt

För maximal infallande strålning om 12 kW/m^2 vilket är kriteriet för linan erhålls ett värde på den totala synfaktorn (Φ_{tot}) om 0,11.

I sin tur ger detta

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}027$

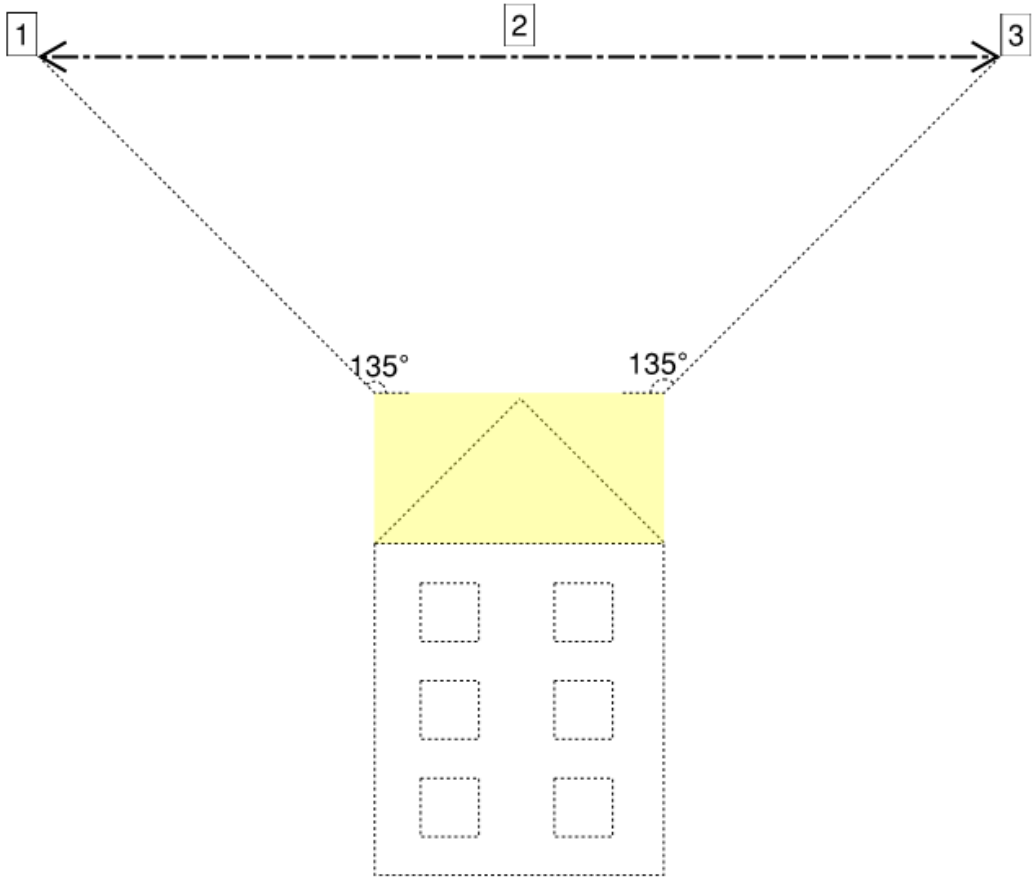
Utifrån det beräkningssamband som finns presenterat i avsnitt 2.2 kan nu skyddsavståndet (C) beräknas för en strålande yta om 6,9×2,5 m^2 vilket motsvarar en fjärdedel av den strålande ytan.

$C \approx 13{,}5$

Med indata enligt ovan erfordras ett skyddsavstånd från flamman och således också byggnaden om ca 13,5 m.

Skyddsavstånd till gondoler vertikalt

För aktuellt scenario bedöms brand ske vinkelrätt och snett ut från en brinnande yta i upp till 135° vinkel från denna, se figuren nedan för principiell beskrivning. Detta motsvarar den vinkel för vilken strålning måste beaktas med avseende på spridning enligt BBR. Strålning utanför denna vinkel betraktas i aktuellt fall som försumbar.



Figur 53: Figuren redovisar en princip över den sträcka människor och gondoler exponeras för strålning vertikalt från brand.

<u>*Maximal infallande strålning mot gondol*</u>

För maximal infallande strålning om 10 kW/m^2 vilket är det ansatta kriteriet för gondoler erhålls ett värde på den totala synfaktorn (Φ_{tot}) om 0,30.

I sin tur ger detta

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}076$

Utifrån det beräkningssamband som finns presenterat i avsnitt 2.2 kan nu skyddsavståndet (C) beräknas för en strålande yta om 6,9×6,9 m^2 vilket motsvarar en fjärdedel av den strålande ytan.

$C \approx 12{,}0$

Med indata enligt ovan erfordras ett skyddsavstånd från flamtoppen till undersida gondol om ca 12,0 m. Om brand placeras på vindsbjälklaget med höjd om 5 m innebär detta att skyddsavståndet från bjälklaget till undersida gondol blir 17,0 m.

Då undersida gondol antas med ett vertikalt avstånd mot lina om 7,1 m ger detta ett skyddsavstånd mellan översta bjälklag och lina om 24,1 m.

Infallande strålningsdos mot gondol
I följande beräkningar beräknas den infallande strålningsdos människor i gondoler kan utsättas för när de passerar ovan en brand på det skyddsavstånd om 12,0 m som presenterats i föregående avsnitt.

Om gondol passerar ovan brand på ett avstånd om 12 m enligt beräkningarna ovan blir den sträcka gondol kan exponeras för brand ca 37,8 m.

Beräkningen utförs i enlighet med beräkningsmetodik presenterad i Brandskyddshandboken [14].

Infallande strålning från flamman kan beräknas genom att strålningsnivån från den emitterande ytan multipliceras med synfaktorn Φ_{med}.

Beräkning av synfaktorn utförs i aktuellt fall för tre separata punkter längs med den sträcka människor exponeras för strålning då de i gondol förflyttas över aktuell byggnad. Punkterna 1 och 3 är belägna på ett vinkelrätt vertikalt avstånd från den antagna strålande ytan om 12 m med 135° vinkel från strålande yta åt vardera håll. Punkt 2 är placerad 12 m vinkelrätt upp från mitten av den strålande ytan. Som representativt värde används sedan medelvärdet av den strålning en förbipasserande utsätts för. Detta är detsamma som strålningen i punkterna 1 och 2 dividerat med två.

Enligt uppgift ska gondoler komma att röra sig med en hastighet om 6 m/s. Den exponerade sträckan vilken (enligt resonemanget i föregående stycke) antagits till 37,8 m ger således att människor kommer att utsättas för strålning under ca 6,5 s.

Den genomsnittliga strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan.

$$Q = E \cdot \Phi_{med}$$

Den genomsnittliga synfaktorn $\Phi_{med.}$ beräknas enligt följande ekvation:

$\Phi_{med.} = ((\Phi_1+\Phi_3)/2+\Phi_2)/2$

Där Φ_1 och Φ_3 är identiska.

Med angivna förutsättningar har synfaktorn beräknats enligt följande:

Punkterna 1 och 3
$\Phi_{1 \text{ och } 3} = 0{,}040$ [dimensionslös].

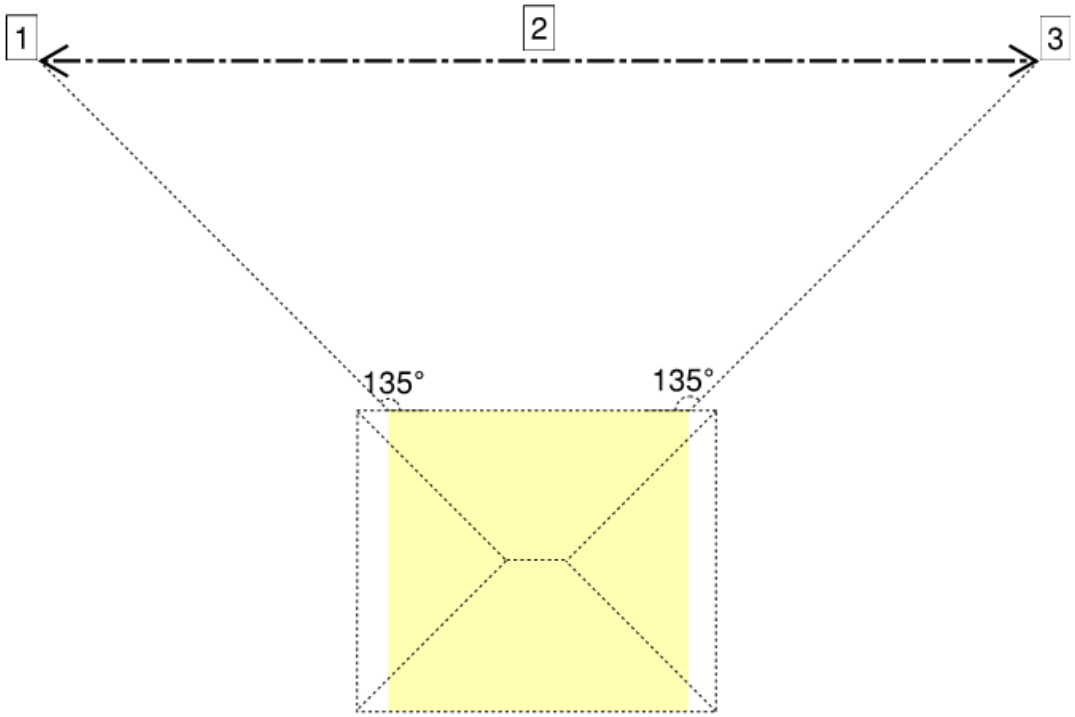
Punkt 2
$\Phi_2 = 0{,}29$ [dimensionslös].
Genomsnittlig synfaktor
$\Phi_{med.} = (0{,}040 + 0{,}29)/2 = 0{,}17$ [dimensionslös].

Med en genomsnittlig synfaktor om 0,17 blir den strålningsintensitet en passagerare inom gondol utsätts för genomsnittligen enligt följande:

$$Q = E \cdot \Phi_{med.} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \Phi_{med.} = 1 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 873^4 \cdot 0{,}17 = 5{,}5\ kW/m^2$$

Med en genomsnittlig strålningsintensitet om 5,5 kW/m^2 och en exponeringstid på ca 6,5 s blir således den strålningsdos en gondol utsätts för 35,8 kJ/m^2. Då kravnivån enligt BBRAD är infallande energi utöver en strålningsnivå om 1 kW/m^2 blir den infallande strålningen i stället 29,3 kJ/m^2. Detta understiger angiven kravnivå på 60 kJ/m^2. Med hänsyn till detta bedöms även kravnivån angiven i BBRAD vara uppfylld.

Skyddsavstånd till gondoler horisontellt



Figur 54: Figuren visar en byggnad ovanifrån. Figuren redovisar en princip över den sträcka människor och gondoler exponeras för strålning horisontellt från brand.

Maximal infallande strålning mot gondol

För maximal infallande strålning om 10 kW/m^2 vilket är det ansatta kriteriet för gondoler erhålls ett värde på den totala synfaktorn (Φ_{tot}) om 0,13.

I sin tur ger detta

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}033$

Utifrån det beräkningssamband som finns presenterat i avsnitt 2.2 kan nu skyddsavståndet (C) beräknas för en strålande yta om 6,9×2,5 m^2 vilket motsvarar en fjärdedel av den strålande ytan.

$C \approx 11{,}5$

Med indata enligt ovan erfordras ett horisontellt skyddsavstånd från flamman och således också byggnaden mot gondol på ca 11,5 m.

För gondoler med maximal bredd om 3,63 m innebär detta att avståndet mellan närmsta lina och byggnad ska vara ca 13,5 m.

Infallande strålningsdos mot gondol

I följande beräkningar beräknas den infallande strålningsdos människor i gondoler kan utsättas för när de passerar bredvid en brand på det skyddsavstånd om 11,5 m som presenterats i föregående avsnitt.

Om gondol passerar bredvid brand på ett avstånd om 11,5 m enligt beräkningarna ovan blir den sträcka gondol kan exponeras för brand ca 36,8 m.

Beräkningen utförs i enlighet med beräkningsmetodik presenterad i Brandskyddshandboken [14].

Infallande strålning från flamman kan beräknas genom att strålningsnivån från den emitterande ytan multipliceras med synfaktorn Φ_{med}.

Beräkning av synfaktorn utförs i aktuellt fall för tre separata punkter längs med den sträcka människor exponeras för strålning då de i gondol förflyttas längs med aktuell byggnad. Punkterna 1 och 3 är belägna på ett vinkelrätt vertikalt avstånd från den antagna strålande ytan om 11,5 m med 135° vinkel från strålande yta åt vardera håll. Punkt 2 är placerad 11,5 m vinkelrätt ut från mitten av den strålande ytan. Som representativt värde används sedan medelvärdet av den strålning en förbipasserande utsätts för. Detta är detsamma som strålningen i punkterna 1 och 2 dividerat med två.

Enligt uppgift ska gondoler komma att röra sig med en hastighet om 6 m/s. Den exponerade sträckan vilken (enligt resonemanget i föregående stycke) antagits till 36,8 m ger således att människor kommer att utsättas för strålning under ca 6,5 s.

Den genomsnittliga strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan.

$$Q = E \cdot \Phi_{med}$$

Den genomsnittliga synfaktorn $\Phi_{med.}$ beräknas enligt följande ekvation:

$\Phi_{med.} = ((\Phi_1+\Phi_3)/2+\Phi_2)/2$

Där Φ_1 och Φ_3 är identiska.

Med angivna förutsättningar har synfaktorn beräknats enligt följande:

Punkterna 1 och 3
$\Phi_{1 \text{ och } 3} = 0{,}016$ [dimensionslös].

Punkt 2
$\Phi_2 = 0{,}13$ [dimensionslös].
Genomsnittlig synfaktor
$\Phi_{med.} = (0{,}016 + 0{,}13)/2 = 0{,}074$ [dimensionslös].

Med en genomsnittlig synfaktor om 0,074 blir den strålningsintensitet en passagerare inom gondol utsätts för genomsnittligen enligt följande:

$$Q = E \cdot \Phi_{med.} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \Phi_{med.} = 1 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 1073^4 \cdot 0{,}074 = 5{,}6\ kW/m^2$$

Med en genomsnittlig strålningsintensitet om 5,6 kW/m^2 och en exponeringstid på ca 6,5 s blir således den strålningsdos en gondol utsätts för 36,4 kJ/m^2. Då kravnivån enligt BBRAD är infallande energi utöver en strålningsnivå om 1 kW/m^2 blir den infallande strålningen i stället 29,9 kJ/m^2. Detta understiger angiven kravnivå på 60 kJ/m^2. Med hänsyn till detta bedöms även kravnivån angiven i BBRAD vara uppfylld.

Diskussion

Det ska tilläggas att aktuellt scenario inte bedöms tillämpbart för aktuell byggnad utan enbart för byggrätten. Syftet med gällande detaljplan för fastigheterna är att det inte ska kunna byggas ytterligare våningsplan på de befintliga byggnaderna[1]. Anledningen till detta är dels att den tillåtna takvinkeln är 3º men också att det maximala våningsantalet för fastigheten om 9 plan är utnyttjat.

För aktuell byggnad utreds ett scenario där brand sprids inom en brandcell på vindsplanet. Med hänsyn till brandcellsgränsernas klass (EI 30) bedöms risk föreligga att spridning kan ske mellan brandceller i det sena brandförloppet. Då syftet med aktuellt regelverk dock är att förhindra omfattande brandspridning bedöms det inte skäligt att utreda konsekvensen av att mer än den ansatta ytan brinner vid ett och samma tillfälle. Om spridning sker bedöms det mer sannolikt att en brand inom en brandcell är avtagande under den tid som brand i en annan brandcell tillväxer. Detta bidrar också till att den punkt som utsätt för starkast infallande strålning på stillastående lina förskjuts i takt med att branden sprids. Med hänsyn till detta bedöms den ansatta branden vara dimensionerande.

I aktuella beräkningar har kriteriet för infallande strålning ansatts till 12 kW/m^2. Detta är den infallande strålning som kan accepteras under ett tidsförlopp på 90 min. I praktiken är det möjligt att en brand kan brinna under ett längre tidförlopp än 90 min, dock inte med den intensitet som beaktas i aktuella beräkningar. Det ska också poängteras att tidsförloppet på branden baseras på förbränningshastigheten för fritt brinnande plankor och massivt trä. Vid en vindsbrand av den storlek som beaktas i aktuell utredning bedöms denna hastighet öka vilket också bidrar till ett kortare brandförlopp. Med hänsyn till detta bedöms aktuellt antagande om 12 kW/m^2 som infallande strålning vara acceptabelt.

Aktuellt scenario baseras på ett antagande om att den brinnande ytan är sammanhängande. Vindsförråd är vanligen dock utspridda över en större yta med korridorer mellan. Detta kan dels bidra till att branden har olika intensitet i olika delar men också att den yta som strålar strålar med mindre synfaktor mot den mottagande linan.

I utförda beräkningar har emissionstalet ansatts till 1. Detta bedöms vara en approximation på den säkra sidan.

Slutsats

Vid utredning av ett scenario med vindsbrand för skivhus på Rambergsstaden 9:14, 9:15 och 9:16 visar utförda beräkningar att ett vertikalt skyddsavstånd till lina om 24,1 m från byggnadernas vindsbjälklag kan accepteras. Förutsatt att detta är beläget på höjden +44,5 m erfordras således ett skyddsavstånd till höjden +68,6 m. Kriteriet som ger upphov till angivet skyddsavstånd är infallande strålning mot människor i gondol.

Vindsbjälklaget är för befintlig byggnad beläget på en höjd under byggnadshöjden (+44,5 m enligt plan). Att vindsplanet ska bli beläget högre än den i plan angivna byggnadshöjden bedöms inte rimligt då byggrätten tillåter 9 våningsplan vilket i dagsläget är utnyttjat och att det befintliga vindsbjälklaget är beläget ovan det översta våningsplanet.

Utförda beräkningar visar att det krävs ett skyddsavstånd om 13,5 m i sidled till närmsta lina. Vid beräkningar har gondolbredd om 3,63 m beaktats och att dessa är belägna mitt under lina. Kriterierna som ger upphov till angivet skyddsavstånd är infallande strålning mot människor i gondol samt infallande strålning mot lina.

[1] Martin Norvenius, Bygglovsarkitekt, Stadsbyggnadskontoret Göteborg, samtal över telefon 2017-09-01.

Känslighetsanalys - Vindpåverkan

Inledning

De säkerhetsavstånd som finns presenterade i konceptrapporten [13] och som också beaktas i aktuell utredning är framtagna med hänsyn tagen till vindpåverkan.

Vindpåverkan på en flamma kan få till följd att denna börjar luta. I beräkningar där enbart vertikalt avstånd till gondol och lina beaktas bedöms inte detta fenomen bidra till ökad risk. Detta med hänsyn till att den strålande brandens flamtopp med vindpåverkan hamnar längre från gondol och lina. I ett fall då horisontell strålning beaktas kan vindens påverkan dock bidra till att en flamma hamnar närmre lina och gondol. Detta sker dock samtidigt som den strålande ytan minskar med hänsyn till att flamman lutar [14].

Vid en vindpåverkan på 5 m/s blir brandens vinkel ca 60º [14].

Scenario för känslighetsanalys

Aktuell scenario avser strålning från flamma enligt huvudscenariot, d.v.s. strålning från en yta om 12,7×5 m^2. Lika huvudscenariot ansätts flammans temperatur till 800°C vilket bedöms vara på den säkra sidan.

I beräkningarna som utförs nedan ansätts beräknade resultat från huvudscenariot. Det horisontella avståndet till linan ansätts således till 13,5 m.

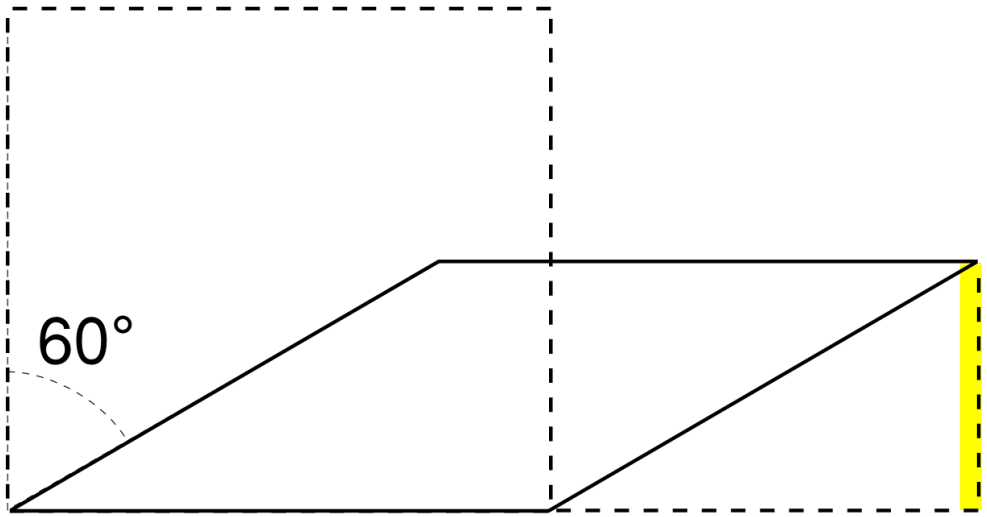
Beräkningar

Flammans geometri med avseende på vind

Flamman antas utsättas för vind om 5 m/s mot linbanan vilken medför att flamman får en lutning om 60º.

När flamman om 5,0 m lutar 60º blir avståndet till den mottagande punken 4,3 m kortare samtidigt som höjden på flamman halveras.

Flamtoppens lutning kan också beskrivas av figuren nedan:



Figur 55: Figuren visar principiellt hur flamman påverkas av vind (flamma sedd från sidan). Den strålande vertikala ytan som beräkningar har utförts för är markerad med gult i figuren.

I figuren ovan framgår att förenklingen om att ett vertikalt plan strålar är på den säkra sidan då större delen av den del av flamman som exponerar linbanan är belägen på ett längre avstånd från linbanan.

Den strålande ytan med hänsyn till drag blir således 13,8×2,5 m^2 (b×h) och hamnar på ett avstånd om 9,2 m från lina och 7,2 m från gondol.

Infallande strålning mot lina

Den strålande ytan delas upp i fyra lika stora delar för vilka synfaktorn beräknas och sedan summeras.

Tabell 8: Indelning av strålande yta.

Strålande yta	a [m]	b [m]	c [m]
Lägenhetsbrand Vindpåverkan	1,25	6,9	9,2

Detta ger följande maximala synfaktor:

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}024$ $\Phi_{1/4}$ x 4 = $\Phi_{tot} = 0{,}10$

Strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan där emitterande strålning E är beräknad enligt, $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$, utifrån ansatt temperatur (1073 K). Emissionstalet har konservativt satts till 1.

$$Q = E \cdot \Phi_{tot}$$

Detta ger:

$$Q_{1173\,K} \approx 7{,}2\ kW/m^2$$

Maximalt infallande strålning mot gondol

Det horisontella avståndet mellan flamma och gondol har antagits till ca 7,2 m.

Den strålande ytan (13,8×2,5 m^2) delas upp i fyra lika stora delar för vilka synfaktorn beräknas och sedan summeras.

Tabell 9: Indelning av strålande yta.

Strålande yta	a [m]	b [m]	c [m]
Flamma från bilbrand	1,25	6,9	7,2

Detta ger följande maximala synfaktor:

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}034$ $\Phi_{1/4}$ x 4 = $\Phi_{tot} = 0{,}14$

Strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan där emitterande strålning E är beräknad enligt, $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ (se avsnitt 2.2 för nomenklatur), utifrån ansatt temperatur (1073 K). Emissionstalet har konservativt satts till 1.

$$Q = E \cdot \Phi_{tot}$$

Detta ger:

$$Q_{1173\,K} \approx 10{,}3\ kW/m^2$$

Infallande strålningsdos mot gondol

Beräkningen utförs i enlighet med beräkningsmetodik presenterad i Brandskyddshandboken [14].

Infallande strålning från flamman kan beräknas genom att strålningsnivån från den emitterande ytan multipliceras med synfaktorn Φ_{med}.

Beräkning av synfaktorn utförs i aktuellt fall för tre separata punkter (enligt samma princip som redovisas i *Figur 54*, med enda skillnad att strålning i detta fallet i stället sker från den av drag påverkade flamman). Punkterna är belägna längs med den sträcka människor exponeras för strålning då de i gondol förflyttas förbi aktuell byggnad. Punkterna 1 och 3 är belägna på ett vinkelrätt horisontellt avstånd från den antagna strålande ytan om 7,2 m med 135° vinkel från strålande yta åt vardera håll. Punkt 2 är placerad 7,2 m vinkelrätt ut från mitten av den strålande ytan. Som representativt värde används sedan medelvärdet av den strålning en förbipasserande utsätts för. Detta är detsamma som strålningen i punkterna 1 och 2 dividerat med 2.

Enligt uppgift ska gondoler komma att röra sig med en hastighet om 6 m/s. Den exponerade sträckan vilken (enligt resonemanget i föregående stycke) antagits till ca 28 m ger således att människor kommer att utsättas för strålning under ca 5 s.

Den genomsnittliga strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan.

$$Q = E \cdot \Phi_{med}$$

Den genomsnittliga synfaktorn $\Phi_{med.}$ beräknas enligt följande ekvation:

$\Phi_{med.} = ((\Phi_1+\Phi_3)/2+\Phi_2)/2$

Där Φ_1 och Φ_3 är identiska.

Med angivna förutsättningar har synfaktorn beräknats enligt följande:

Punkterna 1 och 3
$\Phi_{1 \text{ och } 3} = 0{,}014$ [dimensionslös].

Punkt 2
$\Phi_2 = 0{,}14$ [dimensionslös].

Genomsnittlig synfaktor
$\Phi_{med.} = (0{,}020 + 0{,}19)/2 = 0{,}08$ [dimensionslös].

Med en genomsnittlig synfaktor om 0,08 blir den strålningsintensitet en passagerare inom gondol utsätts för genomsnittligen enligt följande:

$$Q = E \cdot \Phi_{med.} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \Phi_{med.} = 1 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 1073^4 \cdot 0{,}08 = 5{,}7\ kW/m^2$$

Med en genomsnittlig strålningsintensitet om 5,7 kW/m^2 och en exponeringstid på 5 s blir således den strålningsdos en gondol utsätts för 28,5 kJ/m^2. Då kravnivån enligt BBRAD är infallande energi utöver en strålningsnivå om 1 kW/m^2 blir den infallande strålningen i stället 23,5 kJ/m^2. Detta understiger med god marginal angiven kravnivå på 60 kJ/m^2. Med hänsyn till detta bedöms även kravnivån angiven i BBRAD vara uppfylld.

Diskussion och Slutsats

Aktuell känslighetsanalys har utförts med förutsättning att vindpåverkan ger den delen av flamman som exponerar linbanan en lutning om 60º mot linbanan.

Erhållet resultat visar att infallande strålning mot lina kan uppgå till 7,2 kW/m^2. Detta ligger således under angivet kriterium om 12 kW/m^2.

Resultatet visar att infallande strålning mot människor i gondoler kan uppgå till ca 10,3 kW/m^2. Resultatet visar samtidigt att denna infallande strålning uppstår under ett tidförlopp som är kortare än 5 s. Maximalt infallande strålning överstiger dock gällande kriterium med 0,3 kW/m^2 varför vidare utredning krävs vid val av gondol när linbanans sträckning är fastslagen. Det bedöms sannolikt att linbanans gondoler i sig själva kan skydda de som vistas inom dessa på sådan sätt att en infallande strålning kan reduceras till under acceptabla 10 kW/m^2. Detta ska dock utredas och säkerställas innan frågan avskrivs.

1.4 Kontorshus – Byggrätt Rambergsstaden 733:409

I denna utredning ska hänsyn tas till befintliga byggrätter på den aktuella fastigheten. Eftersom det är svårt att utifrån byggrätterna förutse hur en framtida byggnad kommer att vara utformad har vissa antaganden och förenklingar gjorts. Antagandena bygger till viss del på bedömningar av hur brandskyddet i en kontorsbyggnad kan utformas vid nybyggnation. Det har dock inte tagits full hänsyn till lösningar som i teorin är möjliga men i praktiken sällan eller aldrig förekommer. Scenariot kan således betraktas som ett troligt värsta fall som bedöms täcka in flera möjliga brandscenarier.

Det finns även befintliga byggnader på fastigheten, inga beräkningar görs för dessa då byggrätterna inte är fullt utnyttjade. En brand i en framtida byggnad kan således komma att utgöra en större risk och blir därför dimensionerande för skyddsavstånd till linbanan. Utifrån byggrätterna på den berörda fastigheten ges det möjlighet att uppföra byggnader med maximal nockhöjd om 12 m. Med hänsyn till omgivande mark motsvarar detta ca +19,67 m. Maximal byggnadsarea för en enskild byggnad kan komma att överstiga 5000 m^2. I enlighet med gällande regelverk (BBR 5:561) ska byggnader med brandbelastning upp till 800 MJ/m^{2}delas in brandceller om högst 1250 m^2 alternativt skiljas av i brandsektioner om högst 2500 m^2. Vid installation av automatiskt brandlarm gäller dock högst 5000 m^2 och vid installation av automatiskt vattensprinkleranläggning kan byggnaden utformas utan krav på brandsektioner.

Scenariot

För aktuella byggrätter bedöms brand inom två våningsplan rimligt som dimensionerande brand. Detta då en brand skulle kunna spridas till översta våningsplanet från planet under. En brand längre ner i byggnaden bedöms inte utgöra en bidragande faktor till brandförloppet med hänsyn till bjälklagets avskiljande förmåga.

Studier som NFPA har gjort visar att brand inom två våningsplan genererar en flamhöjd på ca 1,8 våningshöjder [18]. Vid en våningshöjd på ca 2,8 meter vilket är rimligt att anta i detta fall skulle det innebära en flamhöjd på ca 5 m. Andra studier av flamhöjder vid brand i äldre trähusbebyggelse visar också att brand i två våningsplan genererar en flamhöjd om ca 5 m [19].

Ett troligt värsta fall för den brandarean har ansatts genom att förutsätta halva ytan i en 1250 m^2 stor brandcell. En brand skulle kunna omfatta en större area men den strålande ytan bedöms kunna representeras av detta scenario då delar av taket med största sannolikhet kommer att vara intakt under delar av brandförloppet. Detta medför att storleken på den strålande ytan begränsas. Längre in i brandförloppet när hela takkonstruktionen eventuellt utsatts för brandpåverkan i sådan utsträckning att det inte längre begränsar strålningen bedöms brandens intensitet ha avtagit i de initiala området. Den strålande ytans storlek på 625 m^2 kan därför fortfarande anses vara representativ.

Om en framtida byggnad istället för att delas in i brandceller om 1250 m^2 skulle delas in i brandsektioner om 2500 m^2 är det inte troligt att ett våningsplan ensamt skulle omfatta en brandsektion. Även om det är möjligt i teorin så är det en opraktisk lösning som inte bedöms vara trolig eftersom det skulle innebära höga krav på brandteknisk avskiljning mellan planen. Ett troligt fall skulle istället vara att man uppför en byggnad med en byggnadsarea på 1250 m^2 och låter två våningsplan tillsammans utgöra en brandsektion på 2500 m^2. Detta fall täcks då in av aktuellt scenario eftersom branden antas omfatta två våningsplan.

Vid installation av automatiskt brandlarm kan en byggnad dessutom enligt föregående avsnitt utformas med brandsektioner på 5000 m^2. Brandlarmet ger dock ett tidigt larm till räddningstjänsten som därför genom släckinsats kan begränsa brandens utveckling. I fallet med installation av sprinkler gäller samma princip. Brandens tillväxt kommer alltså att begränsas efter sprinkleraktivering. Med hänsyn till detta analyseras inte dessa två scenarier vidare utan bedöms täckas in av det valda scenariot.

Med en brandarea om ca 625 m^2 ger detta en dimensionerande brand med måtten ca 25×25×5 m^3 (l×b×h).

I Tabell 2 framgår att infallande strålning om 8 kW/m^2 kan accepteras mot lina under ett tidförlopp om ca 230 min. Med hänsyn till svårigheten att uppskatta brandens varaktighet på grund av att byggnadens geometri och utformning är okänd anses detta vara lämplig som kriterium för vad linan ska klara av.

Temperatur på strålande yta

I aktuellt avsnitt anges vilken flamtemperatur som ansatts för de beräkningar som utförts.

Vertikal strålning

Den vertikala strålningen avser strålning från flammans topp mot gondol och lina. För fritt brinnande turbulenta diffusionsflammor ligger temperaturen i flammans topp kring 320 ~ 400°C [22]. Strax ovanför fönsteröppning vid rumsbrand kan flamtemperaturen dock bli så hög som 900°C [7].

För aktuellt objekt bedöms en temperatur om 600°C vara på den säkra sidan. Aktuell temperatur bedöms även kompensera för det faktum att temperaturen längre ner i flamman också kan vara bidragande vid vertikal strålning.

Horisontell strålning

Den horisontella strålningen avser strålning från flammans sida. D.v.s. strålning från en yta om 25×5 m^2. Enligt resonemanget i föregående stycke kan temperaturen i en flammas nedre del antas till ca 900°C. I flamtoppen kan temperaturen dock förväntas till 320 ~ 400°C. För aktuella beräkningar ansätts en flamtemperatur om 800°C vilket bedöms vara på den säkra sidan.

Det ska poängteras att den högre temperaturen avser flammans bas vilket i många fall kan vara avskärmad av byggnadsdelar. Detta bidrar till att erhåller resultat bedöms vara på den säkra sidan.

Beräkning av skyddsavstånd

Vid beräkning av skyddsavstånd används den metodik som finns presenterad i avsnitt 2.2.

För aktuella beräkningar är kriteriet för infallande strålning känt samtidigt som avståndet mellan den strålande ytan (benämns C i avsnitt 2.2) och den mottagande ytan är okänt.

Utifrån den accepterade infallande strålningen (Q) beräknas vilken maximal synfaktor som accepteras. Ekvationen i avsnitt 2.2 skrivs om enligt följande:

$$\Phi_{tot} = \frac{Q}{}$$

där

ε	emissionstal [-] (varierar mellan 0-1)
σ	Stefan-Boltzmanns konstant = 5,67 x 10^{-8} [W/m^2K^4]
T	Temperatur [K]
Φ_{tot}	Synfaktor [-]

Skyddsavstånd till lina vertikalt

För maximal infallande strålning om 8 kW/m^2 vilket är kriteriet för linan erhålls ett värde på den totala synfaktorn (Φ_{tot}) om 0,24.

I sin tur ger detta

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}061$

Utifrån det beräkningssamband som finns presenterat i avsnitt 2.2 kan nu skyddsavståndet (C) beräknas för en strålande yta om 12,5×12,5 m^2 vilket motsvarar en fjärdedel av den strålande ytan.

$C \approx 25{,}0$

Med indata enligt ovan erfordras ett skyddsavstånd från flamtoppen om ca 25,0 m. Om brand placeras på översta våningsplanet och avståndet mellan bjälklag och taknock antas uppgå till 2,5 m innebär detta att skyddsavståndet från taknock blir 27,5 m.

Skyddsavstånd till lina horisontellt

För maximal infallande strålning om 8 kW/m^2 vilket är kriteriet för linan erhålls ett värde på den totala synfaktorn (Φ_{tot}) om 0,11.

I sin tur ger detta

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}027$

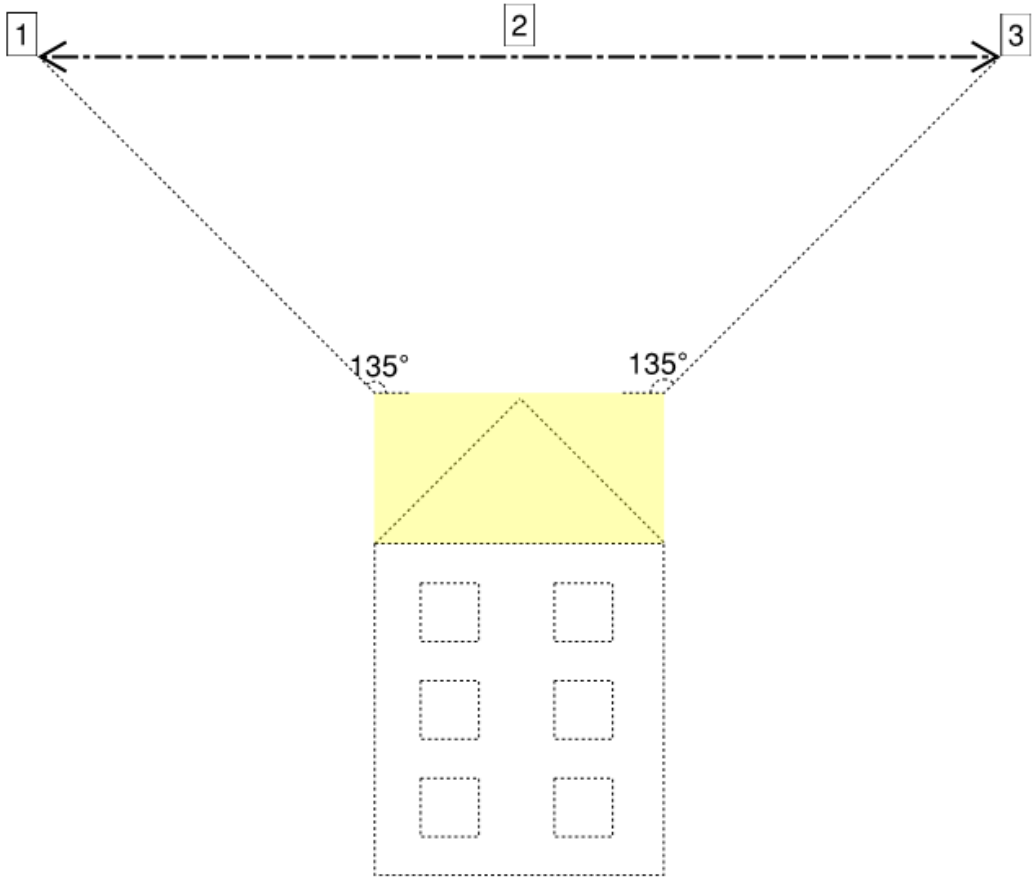
Utifrån det beräkningssamband som finns presenterat i avsnitt 2.2 kan nu skyddsavståndet (C) beräknas för en strålande yta om 12,5×2,5 m^2 vilket motsvarar en fjärdedel av den strålande ytan.

$C \approx 17{,}0$

Med indata enligt ovan erfordras ett skyddsavstånd från flamman och således också byggnaden om ca 17,0 m.

Skyddsavstånd till gondoler vertikalt

För aktuellt scenario bedöms brand ske vinkelrätt och snett ut från en brinnande yta i upp till 135° vinkel från denna, se figuren nedan för principiell beskrivning. Detta motsvarar den vinkel för vilken strålning måste beaktas med avseende på spridning enligt BBR. Strålning utanför denna vinkel betraktas i aktuellt fall som försumbar.



Figur 56: Figuren redovisar en princip över den sträcka människor och gondoler exponeras för strålning vertikalt från brand.

<u>*Maximal infallande strålning mot gondol*</u>

För maximal infallande strålning om 10 kW/m^2 vilket är det ansatta kriteriet för gondoler erhålls ett värde på den totala synfaktorn (Φ_{tot}) om 0,30.

I sin tur ger detta

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}076$

Utifrån det beräkningssamband som finns presenterat i avsnitt 2.2 kan nu skyddsavståndet (C) beräknas för en strålande yta om 12,5×12,5 m^2 vilket motsvarar en fjärdedel av den strålande ytan.

$C \approx 21{,}0$

Med indata enligt ovan erfordras ett skyddsavstånd från flamtoppen till undersida gondol om ca 21,0 m. Om brand placeras på översta våningsplanet och avståndet mellan bjälklag och taknock antas uppgå till 2,5 m innebär detta att skyddsavståndet från taknock blir 23,5 m.

Då undersida gondol antas med ett vertikalt avstånd mot lina om 7,1 m ger detta ett skyddsavstånd mellan taknock och lina om 30,6 m.

Infallande strålningsdos mot gondol
I följande beräkningar beräknas den infallande strålningsdos människor i gondoler kan utsättas för när de passerar ovan en brand på det skyddsavstånd om 21,0 m som presenterats i föregående avsnitt.

Om gondol passerar ovan brand på ett avstånd om 21 m enligt beräkningarna ovan blir den sträcka gondol kan exponeras för brand ca 67 m.

Beräkningen utförs i enlighet med beräkningsmetodik presenterad i Brandskyddshandboken [14].

Infallande strålning från flamman kan beräknas genom att strålningsnivån från den emitterande ytan multipliceras med synfaktorn Φ_{med}.

Beräkning av synfaktorn utförs i aktuellt fall för tre separata punkter längs med den sträcka människor exponeras för strålning då de i gondol förflyttas över aktuell byggnad. Punkterna 1 och 3 är belägna på ett vinkelrätt vertikalt avstånd från den antagna strålande ytan om 21 m med 135° vinkel från strålande yta åt vardera håll. Punkt 2 är placerad 21 m vinkelrätt upp från mitten av den strålande ytan. Som representativt värde används sedan medelvärdet av den strålning en förbipasserande utsätts för. Detta är detsamma som strålningen i punkterna 1 och 2 dividerat med två.

Enligt uppgift ska gondoler komma att röra sig med en hastighet om 6 m/s. Den exponerade sträckan vilken (enligt resonemanget i föregående stycke) antagits till 67 m ger således att människor kommer att utsättas för strålning under ca 11 s.

Den genomsnittliga strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan.

$$Q = E \cdot \Phi_{med}$$

Den genomsnittliga synfaktorn $\Phi_{med.}$ beräknas enligt följande ekvation:

$\Phi_{med.} = ((\Phi_1+\Phi_3)/2+\Phi_2)/2$

Där Φ_1 och Φ_3 är identiska.

Med angivna förutsättningar har synfaktorn beräknats enligt följande:

Punkterna 1 och 3
$\Phi_{1 \text{ och } 3} = 0{,}041$ [dimensionslös].

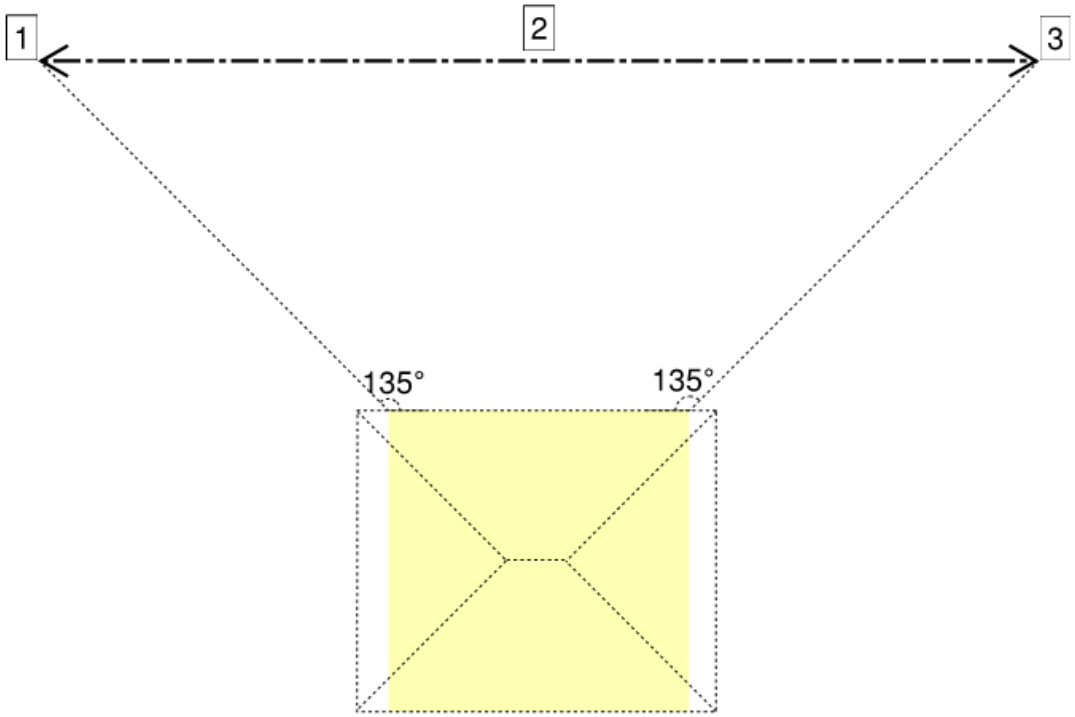
Punkt 2
$\Phi_2 = 0{,}30$ [dimensionslös].
Genomsnittlig synfaktor
$\Phi_{med.} = (0{,}041 + 0{,}30)/2 = 0{,}17$ [dimensionslös].

Med en genomsnittlig synfaktor om 0,17 blir den strålningsintensitet en passagerare inom gondol utsätts för genomsnittligen enligt följande:

$$Q = E \cdot \Phi_{med.} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \Phi_{med.} = 1 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 873^4 \cdot 0{,}17 = 5{,}7\ kW/m^2$$

Med en genomsnittlig strålningsintensitet om 5,7 kW/m^2 och en exponeringstid på ca 11 s blir således den strålningsdos en gondol utsätts för 63,7 kJ/m^2. Då kravnivån enligt BBRAD är infallande energi utöver en strålningsnivå om 1 kW/m^2 blir den infallande strålningen i stället 52,5 kJ/m^2. Detta understiger angiven kravnivå på 60 kJ/m^2. Med hänsyn till detta bedöms även kravnivån angiven i BBRAD vara uppfylld.

Skyddsavstånd till gondoler horisontellt



Figur 57: Figuren visar en byggnad ovanifrån. Figuren redovisar en princip över den sträcka människor och gondoler exponeras för strålning horisontellt från brand.

Maximal infallande strålning mot gondol

För maximal infallande strålning om 10 kW/m^2 vilket är det ansatta kriteriet för gondoler erhålls ett värde på den totala synfaktorn (Φ_{tot}) om 0,13.

I sin tur ger detta

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}033$

Utifrån det beräkningssamband som finns presenterat i avsnitt 2.2 kan nu skyddsavståndet (C) beräknas för en strålande yta om 12,5×2,5 m^2 vilket motsvarar en fjärdedel av den strålande ytan.

$C \approx 14{,}5$

Med indata enligt ovan erfordras ett horisontellt skyddsavstånd från flamman och således också byggnaden mot gondol på ca 14,5 m.

För gondoler med maximal bredd om 3,63 m innebär detta att avståndet mellan närmsta lina och byggnad ska vara ca 16,5 m.

Infallande strålningsdos mot gondol

I följande beräkningar beräknas den infallande strålningsdos människor i gondoler kan utsättas för när de passerar bredvid en brand på det skyddsavstånd om 14,5 m som presenterats i föregående avsnitt.

Om gondol passerar bredvid brand på ett avstånd om 14,5 m enligt beräkningarna ovan blir den sträcka gondol kan exponeras för brand ca 54 m.

Beräkningen utförs i enlighet med beräkningsmetodik presenterad i Brandskyddshandboken [14].

Infallande strålning från flamman kan beräknas genom att strålningsnivån från den emitterande ytan multipliceras med synfaktorn Φ_{med}.

Beräkning av synfaktorn utförs i aktuellt fall för tre separata punkter längs med den sträcka människor exponeras för strålning då de i gondol förflyttas längs med aktuell byggnad. Punkterna 1 och 3 är belägna på ett vinkelrätt vertikalt avstånd från den antagna strålande ytan om 14,5 m med 135° vinkel från strålande yta åt vardera håll. Punkt 2 är placerad 14,5 m vinkelrätt ut från mitten av den strålande ytan. Som representativt värde används sedan medelvärdet av den strålning en förbipasserande utsätts för. Detta är detsamma som strålningen i punkterna 1 och 2 dividerat med två.

Enligt uppgift ska gondoler komma att röra sig med en hastighet om 6 m/s. Den exponerade sträckan vilken (enligt resonemanget i föregående stycke) antagits till 54 m ger således att människor kommer att utsättas för strålning under ca 9 s.

Den genomsnittliga strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan.

$$Q = E \cdot \Phi_{med}$$

Den genomsnittliga synfaktorn $\Phi_{med.}$ beräknas enligt följande ekvation:

$\Phi_{med.} = ((\Phi_1+\Phi_3)/2+\Phi_2)/2$

Där Φ_1 och Φ_3 är identiska.

Med angivna förutsättningar har synfaktorn beräknats enligt följande:

Punkterna 1 och 3
$\Phi_{1 \text{ och } 3} = 0{,}014$ [dimensionslös].

Punkt 2
$\Phi_2 = 0{,}13$ [dimensionslös].
Genomsnittlig synfaktor
$\Phi_{med.} = (0{,}014 + 0{,}13)/2 = 0{,}074$ [dimensionslös].

Med en genomsnittlig synfaktor om 0,074 blir den strålningsintensitet en passagerare inom gondol utsätts för genomsnittligen enligt följande:

$$Q = E \cdot \Phi_{med.} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \Phi_{med.} = 1 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 1073^4 \cdot 0{,}074 = 5{,}5\ kW/m^2$$

Med en genomsnittlig strålningsintensitet om 5,5 kW/m^2 och en exponeringstid på ca 9 s blir således den strålningsdos en gondol utsätts för 49,4 kJ/m^2. Då kravnivån enligt BBRAD är infallande energi utöver en strålningsnivå om 1 kW/m^2 blir den infallande strålningen i stället 40,5 kJ/m^2. Detta understiger angiven kravnivå på 60 kJ/m^2. Med hänsyn till detta bedöms även kravnivån angiven i BBRAD vara uppfylld.

Diskussion

Aktuellt scenario baseras på ett antagande om att den brinnande ytan är sammanhängande. I praktiken är dock bränslet ojämnt fördelat över en större yta med korridorer/passager mellan. Detta kan dels bidra till att branden har olika intensitet i olika delar men också att den yta som strålar med mindre synfaktor mot den mottagande linan.

Det bedöms troligt att inte hela takkonstruktionen kollapsar vid ett och samma tillfälle, med hänsyn till detta bedöms den ansatta brandarean vara representativ för en brand vid aktuell brandbelastning även om byggnadsarean kan vara betydligt större. Byggnadens storlek bedöms istället innebära att brandens varaktighet blir längre vilket hanterats genom att branden antas pågå i drygt 4 timmar. I beräkningarna antas samma yta stråla under denna tid vilket anses vara konservativt eftersom brandens intensitet efter en tid kommer att avta i området där branden startat samtidigt som branden sprids till andra delar av byggnaden.

I utförda beräkningar har emissionstalet ansatts till 1. Detta bedöms vara en approximation på den säkra sidan.

Slutsats

Vid utredning av ett scenario med byggrätter Rambergstaden 733:409 visar utförda beräkningar att ett vertikalt skyddsavstånd till lina om 30,6 m från byggnadernas taknock kan accepteras. Förutsatt att denna är belägen på höjden +19,67 m erfordras således ett skyddsavstånd till höjden ca +50,3 m. Kriteriet som ger upphov till angivet skyddsavstånd är infallande strålning mot människor i gondol.

Utförda beräkningar visar att det krävs ett skyddsavstånd om 17,0 m i sidled till närmsta lina. Vid beräkningar har gondolbredd om 3,63 m beaktats och att dessa är belägna mitt under lina. Kriterierna som ger upphov till angivet skyddsavstånd är infallande strålning mot människor i gondol samt infallande strålning mot lina.

Förutsatt att ovan angivna avstånd upprätthålls bedöms linbanans konstruktion vara tryggad vid ev. brand.

Utförda beräkningar för aktuell byggnad bedöms vara representativa både för befintlig byggnad och byggrätter.

Känslighetsanalys - Vindpåverkan

Inledning

De säkerhetsavstånd som finns presenterade i konceptrapporten [13] och som också beaktas i aktuell utredning är framtagna med hänsyn tagen till vindpåverkan.

Vindpåverkan på en flamma kan få till följd att denna börjar luta. I beräkningar där enbart vertikalt avstånd till gondol och lina beaktas bedöms inte detta fenomen bidra till ökad risk. Detta med hänsyn till att den strålande brandens flamtopp med vindpåverkan hamnar längre från gondol och lina. I ett fall då horisontell strålning beaktas kan vindens påverkan dock bidra till att en flamma hamnar närmre lina och gondol. Detta sker dock samtidigt som den strålande ytan minskar med hänsyn till att flamman lutar [14].

Vid en vindpåverkan på 5 m/s blir brandens vinkel ca 60º [14].

Scenario för känslighetsanalys

Aktuell scenario avser strålning från flamma enligt huvudscenariot, d.v.s. strålning från en yta om 25×5 m^2. Lika huvudscenariot ansätts flammans temperatur till 800°C vilket bedöms vara på den säkra sidan.

I beräkningarna som utförs nedan ansätts beräknade resultat från huvudscenariot. Det horisontella avståndet till linan ansätts således till 17 m.

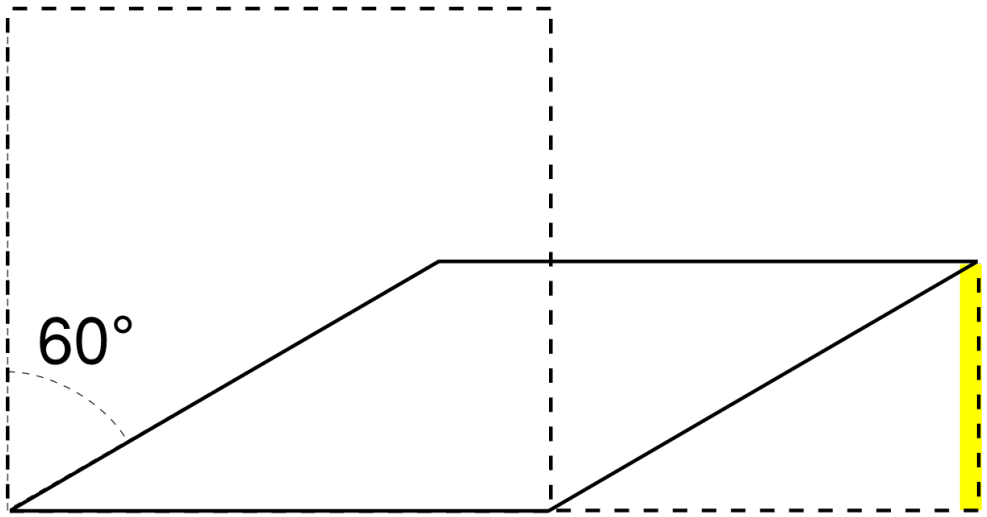
Beräkningar

Flammans geometri med avseende på vind

Flamman antas utsättas för vind om 5 m/s mot linbanan vilken medför att flamman får en lutning om 60º.

När flamman om 5,0 m lutar 60º blir avståndet till den mottagande punken 4,3 m kortare samtidigt som höjden på flamman halveras.

Flamtoppens lutning kan också beskrivas av figuren nedan:



Figur 58: Figuren visar principiellt hur flamman påverkas av vind (flamma sedd från sidan). Den strålande vertikala ytan som beräkningar har utförts för är markerad med gult i figuren.

I figuren ovan framgår att förenklingen om att ett vertikalt plan strålar är på den säkra sidan då större delen av den del av flamman som exponerar linbanan är belägen på ett längre avstånd från linbanan.

Den strålande ytan med hänsyn till drag blir således 25×2,5 m^2 (b×h) och hamnar på ett avstånd om 17 m från lina och 15,1 m från gondol.

Infallande strålning mot lina

Den strålande ytan delas upp i fyra lika stora delar för vilka synfaktorn beräknas och sedan summeras.

Tabell 10: Indelning av strålande yta.

Strålande yta	a [m]	b [m]	c [m]
Lägenhetsbrand Vindpåverkan	1,25	12,5	17

Detta ger följande maximala synfaktor:

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}012$ $\Phi_{1/4}$ x 4 = $\Phi_{tot} = 0{,}052$

Strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan där emitterande strålning E är beräknad enligt, $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$, utifrån ansatt temperatur (1073 K). Emissionstalet har konservativt satts till 1.

$$Q = E \cdot \Phi_{tot}$$

Detta ger:

$$Q_{1173\,K} \approx 3{,}9\ kW/m^2$$

Maximalt infallande strålning mot gondol

Det horisontella avståndet mellan flamma och gondol har antagits till ca 15,1 m.

Den strålande ytan (25×2,5 m^2) delas upp i fyra lika stora delar för vilka synfaktorn beräknas och sedan summeras.

Tabell 11: Indelning av strålande yta.

Strålande yta	a [m]	b [m]	c [m]
Flamma från bilbrand	1,25	12,5	15,1

Detta ger följande maximala synfaktor:

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}016$ $\Phi_{1/4}$ x 4 = $\Phi_{tot} = 0{,}062$

Strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan där emitterande strålning E är beräknad enligt, $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ (se avsnitt 2.2 för nomenklatur), utifrån ansatt temperatur (1073 K). Emissionstalet har konservativt satts till 1.

$$Q = E \cdot \Phi_{tot}$$

Detta ger:

$$Q_{1173\,K} \approx 4{,}7\ kW/m^2$$

Infallande strålningsdos mot gondol

Beräkningen utförs i enlighet med beräkningsmetodik presenterad i Brandskyddshandboken [14].

Infallande strålning från flamman kan beräknas genom att strålningsnivån från den emitterande ytan multipliceras med synfaktorn Φ_{med}.

Beräkning av synfaktorn utförs i aktuellt fall för tre separata punkter (enligt samma princip som redovisas i *Figur 57*, med enda skillnad att strålning i detta fallet i stället sker från den av drag påverkade flamman). Punkterna är belägna längs med den sträcka människor exponeras för strålning då de i gondol förflyttas förbi aktuell byggnad. Punkterna 1 och 3 är belägna på ett vinkelrätt horisontellt avstånd från den antagna strålande ytan om 15,1 m med 135° vinkel från strålande yta åt vardera håll. Punkt 2 är placerad 15,1 m vinkelrätt ut från mitten av den strålande ytan. Som representativt värde används sedan medelvärdet av den strålning en förbipasserande utsätts för. Detta är detsamma som strålningen i punkterna 1 och 2 dividerat med 2.

Enligt uppgift ska gondoler komma att röra sig med en hastighet om 6 m/s. Den exponerade sträckan vilken (enligt resonemanget i föregående stycke) antagits till ca 55,2 m ger således att människor kommer att utsättas för strålning under ca 9,5 s.

Den genomsnittliga strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan.

$$Q = E \cdot \Phi_{med}$$

Den genomsnittliga synfaktorn $\Phi_{med.}$ beräknas enligt följande ekvation:

$\Phi_{med.} = ((\Phi_1+\Phi_3)/2+\Phi_2)/2$

Där Φ_1 och Φ_3 är identiska.

Med angivna förutsättningar har synfaktorn beräknats enligt följande:

Punkterna 1 och 3
$\Phi_{1 \text{ och } 3} = 0{,}007$ [dimensionslös].

Punkt 2
$\Phi_2 = 0{,}062$ [dimensionslös].

Genomsnittlig synfaktor
$\Phi_{med.} = (0{,}007 + 0{,}062)/2 = 0{,}034$ [dimensionslös].

Med en genomsnittlig synfaktor om 0,034 blir den strålningsintensitet en passagerare inom gondol utsätts för genomsnittligen enligt följande:

$$Q = E \cdot \Phi_{med.} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \Phi_{med.} = 1 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 1073^4 \cdot 0{,}034 = 2{,}6\ kW/m^2$$

Med en genomsnittlig strålningsintensitet om 2,6 kW/m^2 och en exponeringstid på 9,5 s blir således den strålningsdos en gondol utsätts för 24,7 kJ/m^2. Då kravnivån enligt BBRAD är infallande energi utöver en strålningsnivå om 1 kW/m^2 blir den infallande strålningen i stället 15,2 kJ/m^2. Detta understiger med god marginal angiven kravnivå på 60 kJ/m^2. Med hänsyn till detta bedöms även kravnivån angiven i BBRAD vara uppfylld.

Diskussion och Slutsats

Aktuell känslighetsanalys har utförts med förutsättning att vindpåverkan ger den delen av flamman som exponerar linbanan en lutning om 60º mot linbanan.

Erhållet resultat visar att infallande strålning mot lina kan uppgå till 3,9 kW/m^2. Detta ligger således under angivet kriterium om 8 kW/m^2.

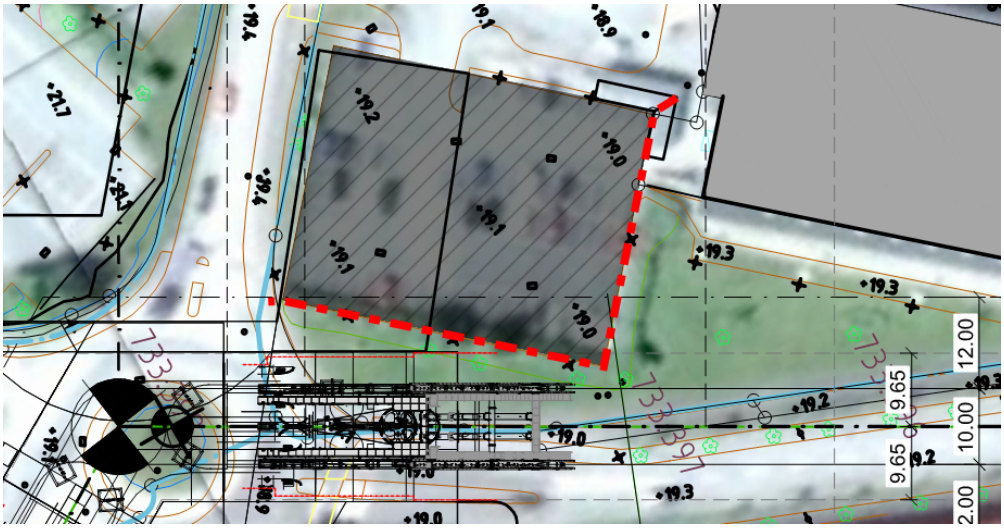
Resultatet visar att infallande strålning mot människor i gondoler kan uppgå till ca 4,7 kW/m^2. Detta understiger med god marginal gällande kriterier.

1.5 Garage Byggrätt om 5,1 m – Rambergsstaden 9:9

Inledning

Aktuell byggrätt kan komma att uppföras med en byggnadshöjd om 5,1 m. med ett vertikalt avstånd om 2,9 m till lina.

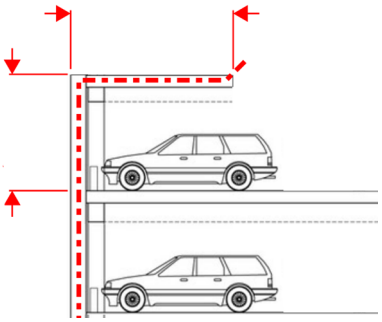
Med hänsyn till det korta vertikala avståndet ska de fasader som vetter mot linbanekonstruktionen i sin helhet utföras i klass EI 60. Konstruktionen ska också utföras av obrännbart, värmebeständigt material (t.ex. betong). Utöver detta ska byggnaden utföras välventilerad. Med dessa förutsättningar bedöms konstruktion i brandteknisk klass EI 60 uppfylla avskiljande förmåga under den tid ett pågående brandförlopp kan förväntas pågå. Inom denna tid bedöms också räddningstjänsten kunna nå byggnaden och påbörja en insats för att, om så erfordras, kunna skydda linbanans konstruktion.



Figur 59: Fasaden som ska utföras EI 60 i hela sin sträckning är markerad i figuren ovan.

I aktuell bilaga beräknas de säkerhetsavstånd som krävs till gondol respektive lina för att kriterierna för infallande strålning mot gondoler och lina inte ska överskridas. De konstruktionsmässiga åtgärdsförslag som beräknas är enligt följande:

- Höjd på skyddande mur mot linbanan (avstånd mellan p-däck och ovankant mur)
- Storlek på skyddande tak (till vilket avstånd från linbanan takkonstruktionen måste utföras EI 60)



Figur 60: I figuren är de avstånd markerade som beräknas i aktuellt avsnitt. Observera att figuren enbart redovisas som ett exempel och att den inte redovisar det faktiska garagets utformning då detta inte är projekterat i aktuellt skede.

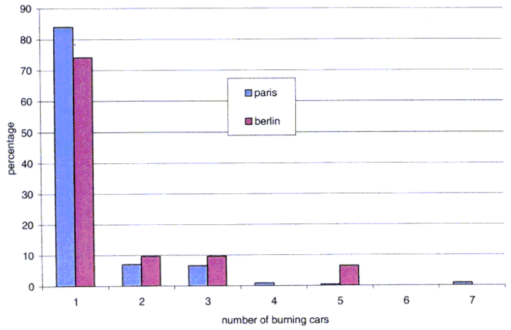
De beräkningar som presenteras nedan följer till stor del de beräkningar som presenterats i konceptrapporten [13] och som ligger till grund för de skyddsavstånd som presenteras i avsnitt 2.1.2.

Förutsättningar och antaganden

Brandscenario

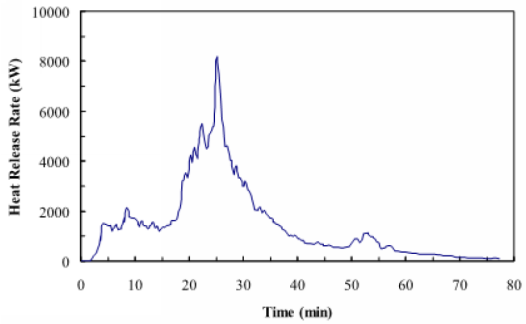
En förutsättning för det brandscenario som presenteras nedan är att aktuellt garage inte som helhet ska nyttjas av företag för biluthyrning eller liknande. Vad som avses är att ett sådant garage till stor del omfattar fulltankade bilar vilket kan medföra mer omfattande brandförlopp än bränder i vanliga personbilsgarage.

Sammanställd statistik från 158 bilbränder[2] inom underjordiska (ej välventilerade) garage visar att bränder i 97,9 % av fallen omfattar mindre än 4 bilar. Studier som utförts på totalt 244 bränder i parkeringshus och garage i Paris (213 st.) och Berlin (31 st.) visar på låg sannolikhet för bränder som omfattar mer än 3 bilar[2].



Figur 61: Figuren visar fördelningen över antalet brinnande bilar i studerade bränder inom parkeringshus och garage.

En sammanställning av försök utförda där personbilar brunnit fritt visar att bilar generellt brinner med en effektutveckling mellan ca 2000 kW och 4000 kW men att kortvariga effekttoppar förekommer (vanligen då bränsletanken brister) under kortare intervall vilka kan uppnå omkring 8000 kW[3].

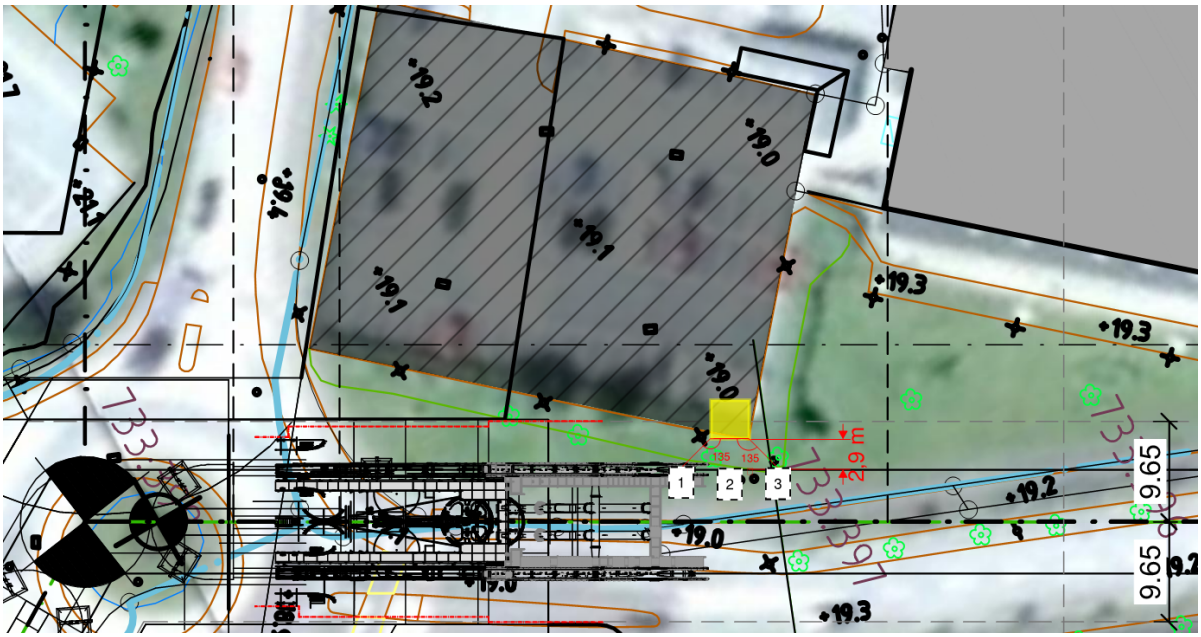


Figur 62: Figuren visar ett exempel på en kurva över effektutvecklingen från brand i personbil.

I de beräkningar som utförts har dimensionerande brand med total effektutveckling om 10 MW ansatts. Detta bedöms motsvara brand inom 3 st. bilar. Dimensionerande brandtillväxt kan enligt NFPA 72[4] beskrivas med $Q = \alpha t^2$. Branden tillväxer då exponentiellt för att sedan nå sitt maximala värde. I beräkningarna har inte hänsyn tagits till enstaka effekttoppar, effekten har i stället antagits vara konstant från den tidpunkt branden startar vilket betraktas som konservativt.

[2] Joyeux, D., J. Kruppa (1998) Demonstration of real fire tests in car parks and high buildings, *European Comission – Centre Technique Industiel de la Construction Metallique* (CTICM)
[3] Janssens, Marc L. (2008), Development of a databaseof full-scale calorimeter tests of motor vehicle burns, *Fire Technology department*, South West research intitute.
[4] *National Fire Codes, NFPA 72. Boston. MA. USA. 1996*

Värmestrålning förutsätts ske vinkelrätt och snett ut från en brinnande yta i upp till 135° vinkel från denna, se Figur 63. Detta motsvarar den vinkel för vilken strålning måste beaktas med avseende på spridning enligt BBR. Strålning utanför denna vinkel betraktas i aktuellt fall som försumbar.



Figur 63: Figuren redovisar den sträcka människor inom gondol antas utsättas för strålning om brand skulle uppstå enligt de brandscenario som redovisats i aktuellt avsnitt.

Flamtemperatur
Temperaturen ansätts konservativt till 900°C vilket motsvarar 1173 K. Detta motsvarar brand i flamma strax ovanför fönsteröppning vid rumsbrand [7]. Med hänsyn till att temperaturen för aktuellt scenario avser övre delen av flamman bedöms detta antagande genera resultat på den säkra sidan.

Kriterier
Se avsnitt 2 för kriterier.

Storlek på gondol
Se avsnitt 2.3.2.

Beräkningar

Flamhöjd
Med antagande om att en personbil upptar en area om 2,8×1,8 m² och att tre bilar brinner samtidigt har flamhöjden beräknats enligt följande ekvation [15]:

$$L = 0{,}235\dot{Q}^{2/5} - 1{,}02D$$

Där

L Flammans medelhöjd [m]

$\dot{Q}$ Avgiven effekt [kW]

D Diameter [m]

Med antagande om att den brinnande ytan är cirkulär (konservativt) blir diametern (D) 4,4 m och den beräknade flamhöjden (L) 4,9 m.

Infallande strålning mot lina

Beräknad strålning i följande avsnitt utförs med förutsättningen att bilbrand uppstår på det översta parkeringsdäcket så nära linbanekonstruktionen det är möjligt utifrån aktuellt underlag (2,9 m). Vid beräkning av strålande flamma förutsätts strålning kunna ske vinkelrätt från en punkt i mitten av den mot linbanan exponerade flamman. För beräkningar med skyddande takkonstruktion förutsätts flamma slå upp från kanten av denna och därifrån stråla mot linbanekonstruktionen.

I utförda beräkningar antas flammans bas vara kvadratiskt samt att en av dess sidor strålar mot linbanekonstruktionen. Den strålande sidan antas var lika bred i toppen som botten vilket bedöms vara konservativt och generera resultat på den säkra sidan.

En brand i tre bilar vilka vardera har en markarea om ca 2,8×1,8 m^2 ger en kvadratisk sida om ca 3,9 m. Den strålande flamman för vilken beräkningar utförs är enligt presenterade antaganden 3,9×4,9 m^2 (b×h).

I utförda beräkningar har murens höjd enligt Figur 60 ansatts till 2,2 m. Det skyddande takets längd har ansatts till 4,6 m. Detta innebär att en flamma från brinnande bilar som närmst kan uppstå på avståndet 7,5 m från linan och 5,7 m från gondol samt att 2,7 m av flamman exponerar denna då detta är den del av flamman som sticker upp ovan takkonstruktionen.

Den strålande ytan (3,9×2,7 m^2) delas upp i fyra lika stora delar, se Tabell 12, för vilka synfaktorn beräknas och sedan summeras.

Tabell 12: Indelning av strålande yta.

Strålande yta	a [m]	b [m]	c [m]
Brand i tre bilar	1,35	1,95	7,5

Detta ger följande maximala synfaktor:

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}014$ $\Phi_{1/4}$ x 4 = $\Phi_{tot} = 0{,}056$

Strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan där emitterande strålning E är beräknad enligt, $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ (se avsnitt 2.2 för nomenklatur), utifrån ansatt temperatur (1173 K). Emissionstalet har konservativt satts till 1.

$$Q = E \cdot \Phi_{tot}$$

Detta ger:

$$Q_{1173\,K} \approx 6{,}0\ kW/m^2$$

Maximal infallande strålning mot gondol
Det horisontella avståndet mellan flamma och gondol har antagits till ca 5,7 m.

Den strålande ytan (3,9×2,7 m^2) delas upp i fyra lika stora delar, se Tabell 13, för vilka synfaktorn beräknas och sedan summeras.

Tabell 13: Indelning av strålande yta.

Strålande yta	a [m]	b [m]	c [m]
Brand i tre bilar	1,35	1,95	5,7

Detta ger följande maximala synfaktor:

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}023$ $\Phi_{1/4}$ x 4 = $\Phi_{tot} = 0{,}093$

Strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan där emitterande strålning E är beräknad enligt, $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ (se avsnitt 2.2 för nomenklatur), utifrån ansatt temperatur (1173 K). Emissionstalet har konservativt satts till 1.

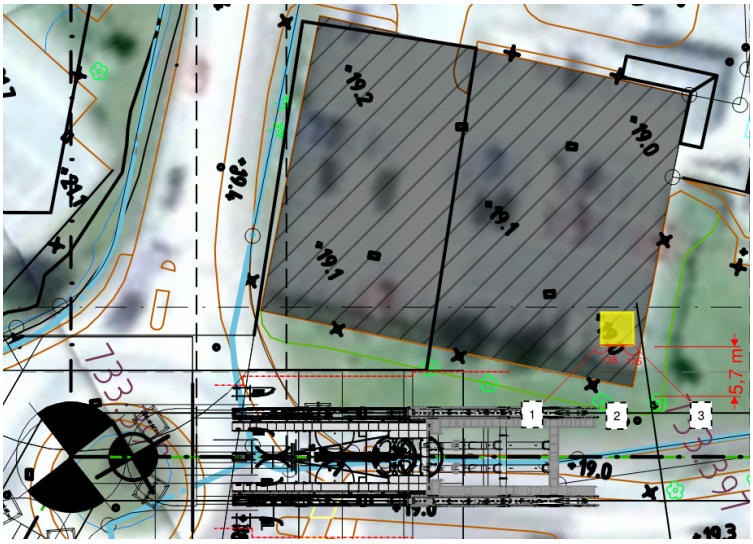
$$Q = E \cdot \Phi_{tot}$$

Detta ger:

$$Q_{1173\,K} \approx 10{,}0\ kW/m^2$$

Infallande strålningsdos mot gondol
Beräkningen utförs i enlighet med beräkningsmetodik presenterad i Brandskyddshandboken [14].

Infallande strålning från flamman kan beräknas genom att strålningsnivån från den emitterande ytan multipliceras med synfaktorn Φ_{med}.



Figur 64: Figuren redovisar den sträcka människor inom gondol antas utsättas för strålning om brand skulle uppstå enligt de brandscenario som redovisats i aktuellt avsnitt förutsatt att skyddande tak uppförs.

Beräkning av synfaktorn utförs i aktuellt fall för tre separata punkter (enligt Figur 64). Punkterna är belägna längs med den sträcka människor exponeras för strålning då de i gondol förflyttas förbi aktuell byggnad. Punkterna 1 och 3 är belägna på ett vinkelrätt horisontellt avstånd från den antagna strålande ytan om 5,7 m med 135° vinkel från strålande yta åt vardera håll. Punkt 2 är placerad 5,7 m vinkelrätt ut från mitten av den strålande ytan. Som representativt värde används sedan medelvärdet av den strålning en förbipasserande utsätts för. Detta är detsamma som strålningen i punkterna 1 och 2 dividerat med 2.

Enligt uppgift ska gondoler komma att röra sig med en hastighet om 6 m/s. Den exponerade sträckan vilken (enligt resonemanget i föregående stycke) antagits till 15,3 m ger således att människor kommer att utsättas för strålning under ca 2,5 s.

Den genomsnittliga strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan.

$$Q = E \cdot \Phi_{med}$$

Den genomsnittliga synfaktorn $\Phi_{med.}$ beräknas enligt följande ekvation:

$\Phi_{med.} = ((\Phi_1+\Phi_3)/2+\Phi_2)/2$

Där Φ_1 och Φ_3 är identiska.

Med angivna förutsättningar har synfaktorn beräknats enligt följande:

Punkterna 1 och 3
$\Phi_{1 \text{ och } 3} = 0{,}014$ [dimensionslös].

Punkt 2
$\Phi_2 = 0{,}093$ [dimensionslös].

Genomsnittlig synfaktor
$\Phi_{med.} = (0{,}014 + 0{,}93)/2 = 0{,}054$ [dimensionslös].

Med en genomsnittlig synfaktor om 0,077 blir den strålningsintensitet en passagerare inom gondol utsätts för genomsnittligen enligt följande:

$$Q = E \cdot \Phi_{med.} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \Phi_{med.} = 1 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 1173^4 \cdot 0{,}054 = 5{,}7\ kW/m^2$$

Med en genomsnittlig strålningsintensitet om 5,7 kW/m^2 och en exponeringstid på 2,5 s blir således den strålningsdos en gondol utsätts för 14,6 kJ/m^2. Då kravnivån enligt BBRAD är infallande energi utöver en strålningsnivå om 1 kW/m^2 blir den infallande strålningen i stället 12 kJ/m^2. Detta understiger med god marginal angiven kravnivå på 60 kJ/m^2. Med hänsyn till detta bedöms även kravnivån angiven i BBRAD vara uppfylld.

Diskussion och Slutsats

Beräkningar enligt presenterad metodik visar att linbanan kommer behöva skydd mot strålning från en ev. brand inom aktuellt garage. Med hänsyn till detta har en föreslagen utformning där dels takkonstruktion inom 7,5 m från lina men också motstående fasad klassas EI 60. Utöver detta ska de avskiljande byggnadsdelarna utföras av obrännbart, värmebeständigt material (t.ex. betong) och byggnaden ska vara välventilerad.

Resultatet visar att den presenterade utformningen med angivna förutsättningar är acceptabel med avseende på strålning mot lina och gondoler. Detta gäller under förutsättning att linbanan inte utsätts för brand under en längre period än att den brandklassad konstruktion kan upprätthålla sin avskiljande förmåga. Med hänsyn till att en bilbrand normalt pågår kortare tid än 120 min och med lägre effekt än vad som ansatts som dimensionerande[5] (se för exempel *Figur 62*) bedöms resultatet acceptabelt. Det ska också tilläggas att räddningstjänsten inom detta tidsförlopp bedöm kunna komma till platsen och påbörja en släckinsats samt avkylning av lina men att denna insats för en dimensionerande brand är att betrakta som ett redundant skydd för linbanan. Resultatet visar också att gondoler inte utsätts för en högre strålningsdos än 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m^2.

Resultatet visar att infallande strålning mot gondol inte överskrider 10 kW/m^2. Med hänsyn till detta erfordras inga ytterligare personsäkerhetshöjande åtgärder med avseende på aktuellt scenario.

Erhållet resultat visar att den maximala infallande strålningen mot gondol understiger 15 kW/m^2. En dimensionerande brand inom aktuell byggnad med angivna verifierade förutsättningar bedöms således inte påverka gondolernas systemsäkerhet.

Med hänsyn till resonemanget ovan bedöm en byggnad på aktuell byggrätt med föreslagna åtgärder vara acceptabla med avseende på linbanans säkerhet i händelse av brand.

[5] Janssens, Marc L. (2008), Development of a database of full-scale calorimeter tests of motor vehicle burns, *Fire Technology department*, South West research intitute.

Känslighetsanalys - Vindpåverkan

Inledning

De säkerhetsavstånd som finns presenterade i konceptrapporten [13] och som också beaktas i aktuell utredning är framtagna med hänsyn tagen till vindpåverkan.

Vindpåverkan på en flamma kan få till följd att denna börjar luta. I beräkningar där enbart vertikalt avstånd till gondol och lina beaktas bedöms inte detta fenomen bidra till ökad risk. Detta med hänsyn till att den strålande brandens flamtopp med vindpåverkan hamnar längre från gondol och lina. I ett fall då horisontell strålning beaktas kan vindens påverkan dock bidra till att en flamma hamnar närmre lina och gondol. Detta sker dock samtidigt som den strålande ytan minskar med hänsyn till att flamman lutar [14].

Vid en vindpåverkan på 5 m/s blir brandens vinkel ca 60º [14].

Scenario för känslighetsanalys

Aktuellt scenario avser en brand inom 3 st. bilar med maximal effekt om 10 MW. Den strålande flamman för vilken beräkningar utförs är enligt presenterade antaganden 3,9×4,9 m^2 (b×h).

För aktuellt parkeringsgarage har riskreducerande åtgärder föreslagits i sådan omfattning att brandens bas inte kan hamna närmre lina än 7,5 m och med ett avstånd till gondol om 5,7 m. Det har också föreslagits åtgärder vilka får till följd att 2,2 m av flamman avskärmas av en brandklassad mur vilket får till följd att enbart 2,7 m av flamman kan komma att exponera lina och gondoler från brand. Aktuell känslighetsanalys utreds utifrån dessa förutsättningar.

Beräkningar

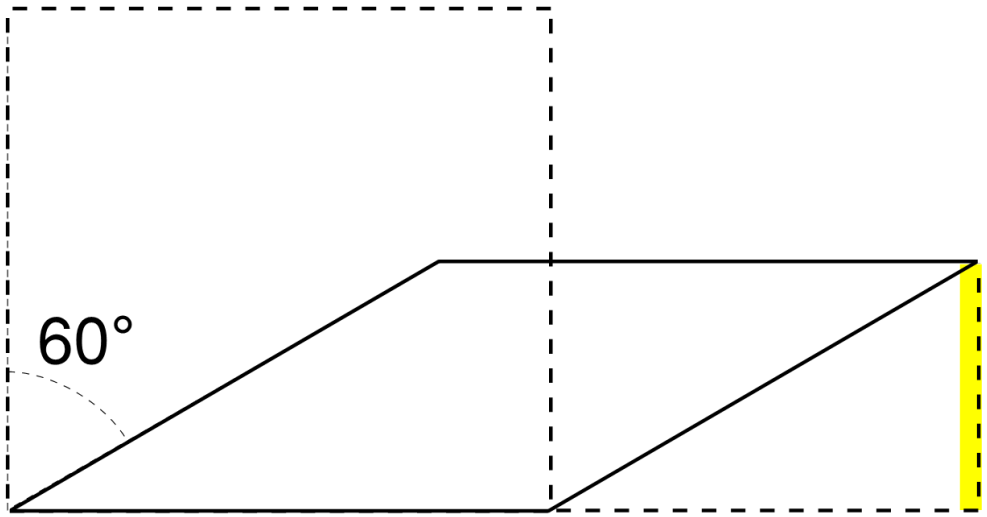
Flammans geometri med avseende på vind

Flamtoppen om 2,7 m antas utsättas för vind om 5 m/s mot linbanan vilken medför att flamman får en lutning om 60º. Att anta att enbart den exponerade flamtoppen får en lutning om 60º och inte hela flamman är konservativt då det bidrar till att linbanan utsätts för en högre grad av strålning.

När flamman om 2,7 m lutar 60º blir det vertikala avståndet från den skyddande muren och flamtoppen 1,35 m samtidigt som flamtoppen hamnar 2,33 m närmre linbanan.

I beräkningarna antas hela den strålande ytan vara i ett vertikalt plan vid flammans topp. I horisontalled flyttas den strålande ytan således närmre linbanan till följd av vindpåverkan samtidigt som höjden på den strålande ytan minskar.

Flamtoppens lutning kan också beskrivas av figuren nedan:



Figur 65: Figuren visar principiellt hur flamman påverkas av vind (flamma sedd från sidan). Figuren redovisar den del av flamman som sticker upp ovan för den skyddande takkonstruktionen vilken får en lutning om 60º. Den strålande vertikala ytan som beräkningar har utförts för är markerad med gult i figuren.

I figuren ovan framgår att förenklingen om att ett vertikalt plan strålar är på den säkra sidan då större delen av den del av flamman som exponerar linbanan är belägen på ett längre avstånd från linbanan.

Den strålande ytan med hänsyn till drag blir således 3,9×1,35 m^2 (b×h) och hamnar på ett avstånd om 5,17 m från lina och 3,36 m från gondol.

Infallande strålning mot lina

Den strålande ytan delas upp i fyra lika stora delar, se Tabell 14, för vilka synfaktorn beräknas och sedan summeras.

Tabell 14: Indelning av strålande yta.

Strålande yta	a [m]	b [m]	c [m]
Flamma från bilbrand	0,675	1,95	5,17

Detta ger följande maximala synfaktor:

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}014$ $\Phi_{1/4}$ x 4 = $\Phi_{tot} = 0{,}057$

Strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan där emitterande strålning E är beräknad enligt, $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$, utifrån ansatt temperatur (1173 K). Emissionstalet har konservativt satts till 1.

$$Q = E \cdot \Phi_{tot}$$

Detta ger:

$$Q_{1173\,K} \approx 6{,}1\ kW/m^2$$

Maximalt infallande strålning mot gondol

Det horisontella avståndet mellan flamma och gondol har antagits till ca 2,16 m.

Den strålande ytan (3,9×1,35 m^2 m^2) delas upp i fyra lika stora delar, se Tabell 15, för vilka synfaktorn beräknas och sedan summeras.

Tabell 15: Indelning av strålande yta.

Strålande yta	a [m]	b [m]	c [m]
Flamma från bilbrand	0,675	1,95	3,36

Detta ger följande maximala synfaktor:

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}030$ $\Phi_{1/4}$ x 4 = $\Phi_{tot} = 0{,}12$

Strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan där emitterande strålning E är beräknad enligt, $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ (se avsnitt 2.2 för nomenklatur), utifrån ansatt temperatur (1173 K). Emissionstalet har konservativt satts till 1.

$$Q = E \cdot \Phi_{tot}$$

Detta ger:

$$Q_{1173\,K} \approx 12{,}9\ kW/m^2$$

Infallande strålningsdos mot gondol

Beräkningen utförs i enlighet med beräkningsmetodik presenterad i Brandskyddshandboken [14].

Infallande strålning från flamman kan beräknas genom att strålningsnivån från den emitterande ytan multipliceras med synfaktorn Φ_{med}.

Beräkning av synfaktorn utförs i aktuellt fall för tre separata punkter (enligt samma princip som redovisas i Figur 64, med enda skillnad att strålning i detta fallet i stället sker från den av drag påverkade flamman). Punkterna är belägna längs med den sträcka människor exponeras för strålning då de i gondol förflyttas förbi aktuell byggnad. Punkterna 1 och 3 är belägna på ett vinkelrätt horisontellt avstånd från den antagna strålande ytan om 3,36 m med 135° vinkel från strålande yta åt vardera håll. Punkt 2 är placerad 3,36 m vinkelrätt ut från mitten av den strålande ytan. Som representativt värde används sedan medelvärdet av den strålning en förbipasserande utsätts för. Detta är detsamma som strålningen i punkterna 1 och 2 dividerat med 2.

Enligt uppgift ska gondoler komma att röra sig med en hastighet om 6 m/s. Den exponerade sträckan vilken (enligt resonemanget i föregående stycke) antagits till 10,6 m ger således att människor kommer att utsättas för strålning under ca 1,8 s.

Den genomsnittliga strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan.

$$Q = E \cdot \Phi_{med}$$

Den genomsnittliga synfaktorn $\Phi_{med.}$ beräknas enligt följande ekvation:

$\Phi_{med.} = ((\Phi_1+\Phi_3)/2+\Phi_2)/2$

Där Φ_1 och Φ_3 är identiska.

Med angivna förutsättningar har synfaktorn beräknats enligt följande:

Punkterna 1 och 3
$\Phi_{1 \text{ och } 3}$ = 0,015 [dimensionslös].

Punkt 2
Φ_2 = 0,12 [dimensionslös].

Genomsnittlig synfaktor
$\Phi_{med.}$ = (0,014 + 0,12)/2 = 0,067 [dimensionslös].

Med en genomsnittlig synfaktor om 0,077 blir den strålningsintensitet en passagerare inom gondol utsätts för genomsnittligen enligt följande:

$$Q = E \cdot \Phi_{med.} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \Phi_{med.} = 1 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 1173^4 \cdot 0{,}067 = 7{,}2\ kW/m^2$$

Med en genomsnittlig strålningsintensitet om 7,2 kW/m^2 och en exponeringstid på 1,8 s blir således den strålningsdos en gondol utsätts för 12,8 kJ/m^2. Då kravnivån enligt BBRAD är infallande energi utöver en strålningsnivå om 1 kW/m^2 blir den infallande strålningen i stället 11,0 kJ/m^2. Detta understiger med god marginal angiven kravnivå på 60 kJ/m^2. Med hänsyn till detta bedöms även kravnivån angiven i BBRAD vara uppfylld.

Diskussion och Slutsats

Aktuell känslighetsanalys har utförts med förutsättning att vindpåverkan ger den delen av flamman som exponerar linbanan en lutning om 60º mot linbanan.

Beräkningar enligt presenterad metodik visar att linbanan kommer behöva skydd mot strålning från en ev. brand inom aktuellt garage. Med hänsyn till detta har en föreslagen utformning där dels takkonstruktion inom 7,5 m från lina men också motstående fasad klassas EI 60. Utöver detta ska de avskiljande byggnadsdelarna utföras av obrännbart, värmebeständigt material (t.ex. betong) och byggnaden ska vara välventilerad.

Resultatet visar att den presenterade utformningen med angivna förutsättningar är acceptabel med avseende på strålning mot lina och gondol. Resultatet visar också att gondoler inte utsätts för en högre strålningsdos än 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m^2.

Resultatet visar dock att den infallande strålningen mot gondol kortvarigt kan komma att överstiga 10 kW/m^2 (resultatet visar 12,9 kW/m^2). Med hänsyn till detta erfordras ytterligare åtgärder. Det bedöms sannolikt att linbanans gondoler i sig själva kan skydda de som vistas inom dessa på sådan sätt att en infallande strålning om 12,9 kW/m^2 kan reduceras till under acceptabla 10 kW/m^2. Detta ska dock utredas och säkerställas innan frågan avskrivs.

1.6 Kontor, skola och verkstad – Lindholmen 6:5

Linbanans sträckning i anslutning till Lindholmen 6:5 är vid upprättande av aktuell handling inte fastslagen. Det är dock sannolikt att avståndet kommer bli sådant att riskreducerande åtgärder kommer att krävas för att upprätthålla en acceptabel säkerhetsnivå (för avstånd se avsnitt 3.2.18). I följande avsnitt redovisas beräkningar och förslag på riskreducerande åtgärder utifrån en planerad sträckning för att ge en indikation om vilka åtgärder som kan komma att bli aktuella, om den planerade sträckningen fastställs. Det ska observeras att revidering samt detaljstudering kommer att krävas när linsträckningen slutgiltigt bestämts.

Förråd

Inledning
Aktuell byggnad är placerad med kortaste avståndet till lina om 18,2 m samt 11,2 m till gondol.

De uppmätta avstånden understiger de skyddsavstånd som finns presenterade i konceptrapporten [13]. Med hänsyn till detta utförs i aktuellt avsnitt en fördjupad utredning avseende den strålningspåverkan lina och gondol kan utsättas för vid en eventuell brand.

De beräkningar som presenteras nedan följer till stor del de beräkningar som presenterats [13] och som ligger till grund för de kriterier som presenteras i avsnitt 2.1.2.

Förutsättningar och antaganden

Brandscenario
De skyddsavstånd som presenterats i koncepthandlingen [13] som utgör underlag till aktuell handling baseras på fyra brinnande våningsplan inom bostads- och/eller kontorsbyggnad.

Aktuella byggnader utgör förråd i ett våningsplan. Det brandscenario som ligger till grund för de skyddsavstånd som presenterats avser brand i kontors-/bostadshus i flera våningsplan. Med hänsyn till detta bedöms varken de presenterade skyddsavstånden eller det scenario vilket är grundläggande för dessa applicerbara vid beräkningar där skyddet av linbanan vid brand studeras.

I aktuellt avsnitt undersöks i stället med vilken omfattning en dimensionerande brand inom förrådsbyggnad kan komma att påverka linbanan. Branden placeras med bas på marken under linbanan.

Förutsatt att det resultat som erhålls visar att ett sådant scenario inte bidrar till kritisk påverkan på lina eller gondol (se avsnitt 2.3 för kriterier) bedöms aktuell byggnad kunna bibehållas utan vidare åtgärder.

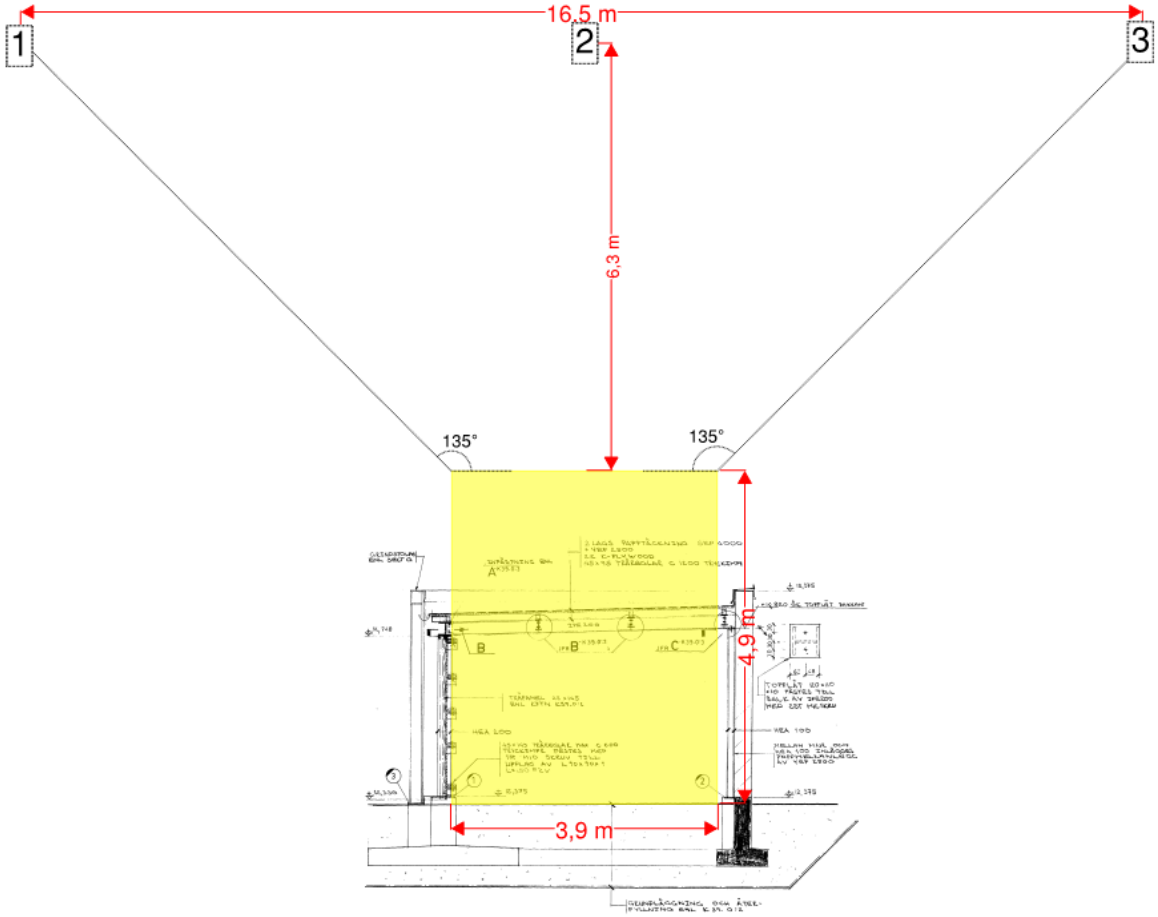
Enligt erhållet underlag har respektive förråd en yta av ca 130 m^2, 6×22 m^2 (b×l). Förråden är utförda i trä och tegel. Mellan förråden finns parkeringsplatser och förråden bedöms generellt vara avsedda för cykelparkering, byggnadsmaterial, miljörum m.m.

Med hänsyn till att det mellan förråden finns möjlighet till parkering av bilar bedöms dimensionerande brand för aktuella förråd kunna ansättas till sådan brand som motsvaras av tre bilar. Detta bedöms bidra till ett mer omfattande scenario än brand inom förrådsbyggnad. Framförallt då brand ansätts som konstant. Med anledning av detta ansätts samma typ av brand och brandscenario som studerats för brand inom garaget på Rambergsstaden 9:9 (se tidigare redovisad beräkning i aktuell bilaga).

En brand om 10 MW ansätts således på en yta av 3,9×3,9 m^2 (l×b). Flamhöjden har beräknats till 4,9 m.

En höjd om 4,9 m medför att avstånd från flamtopp till lina uppgår till 13,3 m samt att avstånd till undersida gondol uppgår till 6,3 m.

Värmestrålning förutsätts ske vinkelrätt och snett ut från en brinnande yta i upp till 135° vinkel från denna, se figuren nedan. Detta innebär att värmestrålning mot gondol med angivna förutsättningar förutsätts ske över en sträcka av 16,5 m. Det ska poängteras att linan stiger samtidigt som den passerar aktuell byggnad. I de beräkningar som utförs görs en förenkling att gondolen är på samma vertikala avstånd från flamma under hela tiden den passerar vilket motsvarar det kortaste avståndet. Detta bidrar till att erhållet resultat är på den säkra sidan.



Figur 66: Figuren redovisar den sträcka människor inom gondol antas utsättas för strålning om brand skulle uppstå enligt de brandscenario som redovisats i aktuellt avsnitt. Figuren visar också branden placering i gult.

Flamtemperatur

Temperaturen ansätts konservativt till 900°C vilket motsvarar 1173 K. Detta motsvarar brand i flamma strax ovanför fönsteröppning vid rumsbrand [7]. Med hänsyn till att temperaturen för aktuellt scenario avser flamtoppen bedöms detta antagande genera resultat på den säkra sidan.

Kriterier

Se avsnitt 2 för kriterier.

Beräkningar

Infallande strålning mot lina

Avståndet mellan flamtoppen och linan uppgår till ca 13,3 m.

Den strålande ytan (3,9×3,9 m^2) delas upp i fyra lika stora delar, se Tabell 16, för vilka synfaktorn beräknas och sedan summeras.

Tabell 16: Indelning av strålande yta.

Strålande yta	a [m]	b [m]	c [m]
Brand inom förråd	1,95	1,95	13,3

Detta ger följande maximala synfaktor:

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}007$ $\Phi_{1/4}$ x 4 = $\Phi_{tot} = 0{,}027$

Strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan där emitterande strålning E är beräknad enligt, $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ (se avsnitt 2.2 för nomenklatur), utifrån ansatt temperatur (1173 K). Emissionstalet har konservativt satts till 1.

$$Q = E \cdot \Phi_{tot}$$

Detta ger:

$$Q_{1173\,K} \approx 2{,}9\ kW/m^2$$

Maximal infallande strålning mot gondol

Avståndet mellan flamtoppen och gondol uppgår till ca 6,3 m.

Den strålande ytan (3,9×3,9 m^2) delas upp i fyra lika stora delar, se Tabell 17, för vilka synfaktorn beräknas och sedan summeras.

Tabell 17: Indelning av strålande yta.

Strålande yta	a [m]	b [m]	c [m]
Brand inom förråd	1,95	1,95	6,3

Detta ger följande maximala synfaktor:

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}027$ $\Phi_{1/4}$ x 4 = $\Phi_{tot} = 0{,}11$

Strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan där emitterande strålning E är beräknad enligt, $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ (se avsnitt 2.2 för nomenklatur), utifrån ansatt temperatur (1173 K). Emissionstalet har konservativt satts till 1.

$$Q = E \cdot \Phi_{tot}$$

Detta ger:

$$Q_{1173\,K} \approx 11{,}6\ kW/m^2$$

Infallande strålningsdos mot gondol
Beräkningen utförs i enlighet med beräkningsmetodik presenterad i Brandskyddshandboken [14].

Infallande strålning från flamman kan beräknas genom att strålningsnivån från den emitterande ytan multipliceras med synfaktorn Φ_{med}.

Beräkning av synfaktorn utförs i aktuellt fall för tre separata punkter (se Figur 66) längs med den sträcka människor exponeras för strålning då de i gondol förflyttas över aktuell byggnad. Punkterna 1 och 3 är belägna på ett vinkelrätt vertikalt avstånd från den antagna strålande ytan om 6,3 m med 135° vinkel från strålande yta åt vardera håll. Punkt 2 är placerad 6,3 m vinkelrätt upp från mitten av den strålande ytan. Som representativt värde används sedan medelvärdet av den strålning en förbipasserande utsätts för. Detta är detsamma som strålningen i punkterna 1 och 2 dividerat med två.

Enligt uppgift ska gondoler komma att röra sig med en hastighet om 6 m/s. Den exponerade sträckan vilken (enligt resonemanget i föregående stycke) antagits till 16,5 m ger således att människor kommer att utsättas för strålning under ca 3 s.

Den genomsnittliga strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan.

$$Q = E \cdot \Phi_{med}$$

Den genomsnittliga synfaktorn $\Phi_{med.}$ beräknas enligt följande ekvation:

$\Phi_{med.} = ((\Phi_1+\Phi_3)/2+\Phi_2)/2$

Där Φ_1 och Φ_3 är identiska.

Med angivna förutsättningar har synfaktorn beräknats enligt följande:

Punkterna 1 och 3
$\Phi_{1 \text{ och } 3} = 0{,}017$ [dimensionslös].

Punkt 2
$\Phi_2 = 0{,}11$ [dimensionslös].

Genomsnittlig synfaktor
$\Phi_{med.} = (0{,}017 + 0{,}11)/2 = 0{,}063$ [dimensionslös].

Med en genomsnittlig synfaktor om 0,063 blir den strålningsintensitet en passagerare inom gondol utsätts för genomsnittligen enligt följande:

$$Q = E \cdot \Phi_{med.} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \Phi_{med.} = 1 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 1173^4 \cdot 0{,}065 = 6{,}7\ kW/m^2$$

Med en genomsnittlig strålningsintensitet om 6,7 kW/m^2 och en exponeringstid på 3 s blir således den strålningsdos en gondol utsätts för 18,5 kJ/m^2. Då kravnivån enligt BBRAD är infallande energi utöver en strålningsnivå om 1 kW/m^2 blir den infallande strålningen i stället 15,8 kJ/m^2. Detta understiger angiven kravnivå på 60 kJ/m^2. Med hänsyn till detta bedöms även kravnivån angiven i BBRAD vara uppfylld.

Diskussion och Slutsats

Erhållet resultat visar att aktuell utformning med angivna förutsättningar är acceptabel med avseende på strålning mot lina och gondoler. Resultatet visar också att gondoler inte utsätts för en högre strålningsdos än 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m^2.

Resultatet visar dock att den infallande strålningen mot gondol kortvarigt kan komma att överstiga 10 kW/m^2 (resultatet visar 11,6 kW/m^2). Med hänsyn till detta erfordras ytterligare åtgärder. Det bedöms sannolikt att linbanans gondoler i sig själva kan skydda de som vistas inom dessa på sådan sätt att en infallande strålning om 11,6 kW/m^2 kan reduceras till under acceptabla 10 kW/m^2. Detta ska dock utredas och säkerställas innan frågan avskrivs.

Erhållet resultat visar att den maximala infallande strålningen mot gondol understiger 15 kW/m^2. En dimensionerande brand inom aktuell byggnad med angivna verifierade förutsättningar bedöms således inte påverka gondolernas systemsäkerhet.

Resultatet av infallande strålning mot lina visar att brand kan pågå i mer än 5 h utan att denna når kritisk temperatur. Inom denna tid bedöms räddningstjänsten kunna komma på plats för att begränsa den ev. branden vilket för aktuellt scenario bidrar till ett utökat skydd för linbanan.

Tessin och Najaden

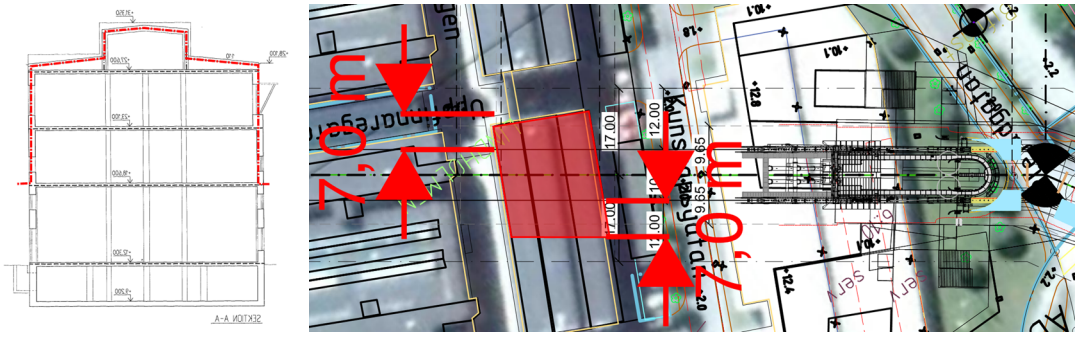
Inledning

Erhållet underlag visar att byggnadernas takkonstruktion ska vara i jämnhöjd med gondolernas undersida. Enligt gällande underlag ska avstånd till linan som kortast uppgå till ca 4,0 m. Byggnaderna är belägna rakt under den planerade sträckningen av linbanan.

De uppmätta avstånden understiger de skyddsavstånd som finns presenterade i konceptrapporten [13]. Med hänsyn till detta utförs i aktuellt avsnitt en fördjupad utredning avseende den strålningspåverkan lina och gondol kan utsättas för vid en eventuell brand.

Med hänsyn till det korta avståndet bedöms riskreducerande åtgärder krävas. För de berörda byggnaderna föreslås en kombination av sprinkler (båda byggnaderna) och strålningshämmande skärmar (enbart Najaden).

Anledningen till att skärmar bedöms erfordras är det korta avståndet mellan byggnaderna och linbanans konstruktion. Vad som avses med detta passiva skydd är att byggnadskonstruktionen alternativt kompletterande konstruktion ska utföras på sådant sätt att denna är klassad till ett avstånd om 7 m från närmsta lina i horisontalled samt ner till bjälklagsnivå från näst översta våningsplanet (se figuren nedan) i vertikalled. Skärmen ska utföras i klass EI 60 (övriga brandcellsgränser inom byggnaden är utförda A 60) och med bärverksklass R 60 vilket bedöms motsvara klassen på byggnadens bärande huvudsystem (inkl. bjälklag) inklusive de byggnadsdelar som är oundgängliga för systemets stabilisering. Utförandet förtydligas av figurerna nedan.



Figur 67: Figuren t.v. redovisar en sektion över aktuella byggnader. T.h. redovisas planen över linbanans sträckning. Röd färgöverstrykning samt röd streckad linje motsvarar det område över vilket strålningsskärmar erfordras.

Det ska observeras att byggnaderna befintligt är utförda med vindsbjälklag i klass A 60 och att detta med stor sannolikhet kan tillämpas/tillgodoräknas vid utformningen av en strålningsskärm. Detta kan innebära att stora delar av byggnaden motsvarar de strålningshämmande egenskaper som efterfrågas. Detta ska dock utredas i detaljprojektering och studeras inte vidare inom ramen för aktuellt projekt.

Komplettering med sprinkler för de berörda byggnaderna bedöms nödvändigt för att begränsa konsekvensen av en ev. brand. Detta avseende omfattning på brandförlopp och säkerställandet av byggnadens konstruktion.

För aktuella byggnader bedöms två alternativ för sprinklerinstallation vara lämpliga som skyddsåtgärd enligt följande:

- Automatisk vattensprinkleranläggning
- Fasadsprinkler

Statistik visar att automatisk vattensprinkleranläggning förhindrar brandspridning till angränsande brandcell från den brandcell brand startar med en sannolikhet av 97,8 % [16].

Fasadsprinkler är vid upprättandet av aktuell handling ett område som det inte finns lika mycket forskning kring som för konventionell sprinkler. Efter samtal med expertis inom området[6] bedöms det dock rimligt att en korrekt, och för byggnaden anpassad installation av fasadsprinkler kan förhindra vertikal spridning via fasaden och således också förhindra utvändig spridning mellan brandceller på olika våningsplan. Det ska dock observeras att utformningen av en sådan installation kräver ytterligare utredning.

I aktuellt avsnitt utförs en fördjupad utredning avseende den strålningspåverkan lina och gondol kan utsättas för vid en eventuell brand. Utredning förutsätter installation av skyddsåtgärder med hänsyn till de korta avståndet från byggnaden (se vidare om brandscenario nedan).

De beräkningar som presenteras nedan följer till stor del de beräkningar som presenterats i konceptrapporten [13] och som ligger till grund för de skyddsavstånd som presenteras i avsnitt 2.3.1.

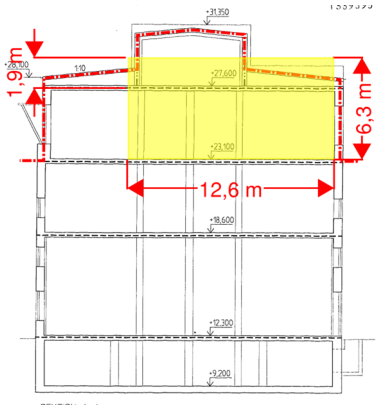
Förutsättningar och antaganden

Brandscenario
De skyddsavstånd som presenterats i koncepthandlingen [13] som utgör underlag till aktuell handling baseras på fyra brinnande våningsplan inom bostads- och/eller kontorsbyggnad. Aktuell brand har placerats med bas på byggnadens vindsbjälklag.

De berörda byggnaderna i aktuellt scenario bedöms likvärdiga med sådana byggnader som det presenterade brandscenariot är utformat för. Med hänsyn till de korta avstånden mellan byggnader och linbana förutsätts dock att dessa kompletteras med skyddande installation.

Två alternativa sprinkleråtgärder finns presenterade i inledningen av aktuellt avsnitt. Fasadsprinkler förutsätts begränsa branden till det våningsplan den uppstår på och konventionell sprinkler bedöms begränsa branden till den brandcell den uppstår inom. I aktuella beräkningar beaktas fasadsprinkler som skyddsåtgärd. Beräkningar för fasadsprinkler som skyddande åtgärd bedöms vara representativa även för ett utförande med automatisk vattensprinkleranläggning då denna bedöms bidra till ett mindre omfattande dimensionerande brandförlopp än fasadsprinkler.

I aktuella beräkningar undersöks två scenarier för vilken påverkan brand inom ett våningsplan bidrar med på lina och gondol. I det första scenariot placeras branden i anslutning till strålningsskärmen på det översta våningsplanet (utöver teknikrum på tak). Den del av flamman som kan exponera linbanan beaktas sedan i beräkningarna. Det andra scenariot avser brand ett plan under strålningsskärmen. I detta scenario studeras hur en sådan brand kan exponera lina och gondol. Scenarierna förtydligas av figurerna nedan.

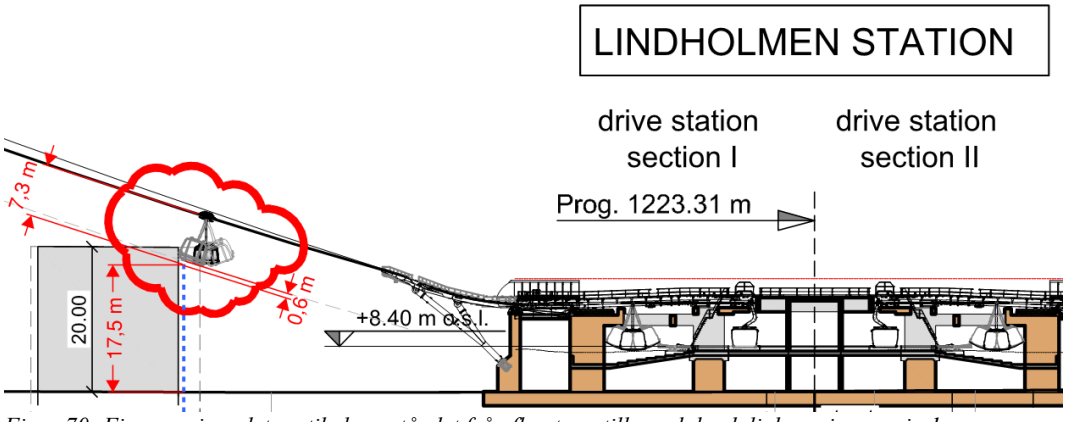


Figur 68: Brandplacering i scenario 1.

[6] Telefonsamtal med Magnus Arvidson, Brandingenjör, RISE (f.d. SP), 2017-04-11.

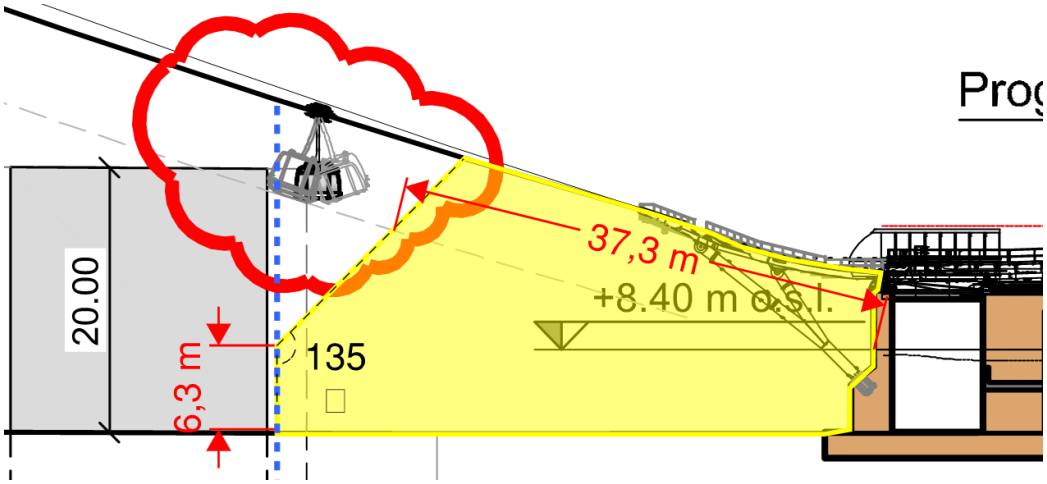
Figur 69: Brandplacering i scenario 2. Figuren t.v. visar brandens placering i byggnaden och figuren t.h. redovsiar den del som strålar mot linbanan.

Branden i scenario 1 är förskjuten från linbanan med den bredd som strålningsskärmen ansätts till, d.v.s. 7 m. Kortaste avståndet bortsett den förskjutning strålningsskärmen bidrar (förskjutningen är i djupled i figuren nedan) till framgår av figuren nedan.



Figur 70: Figuren visar det vertikala avståndet från flamtopp till gondol och linbana i scenario 1.

Branden i scenario 2 är centralt placerad under linbanan. På det våningsplan branden är placerad ska det inte uppföras någon strålningsskärm varför hela flammans höjd bedöms stråla mot linbanan. Flamtoppen i scenario 2 hamnar på en höjd av +8,6 m (6,6 m ovan omgivande marknivå). Figurerna nedan visar vertikala samt horisontella avstånd från denna punkt till lina och gondol. I aktuell fall förutsätts strålning kunna ske till maximalt 135º vinkel från den strålande ytan. Detta motsvarar den vinkel för vilken strålning måste beaktas med avseende på spridning enligt BBR. Strålning utanför denna vinkel betraktas i aktuellt fall som försumbar.



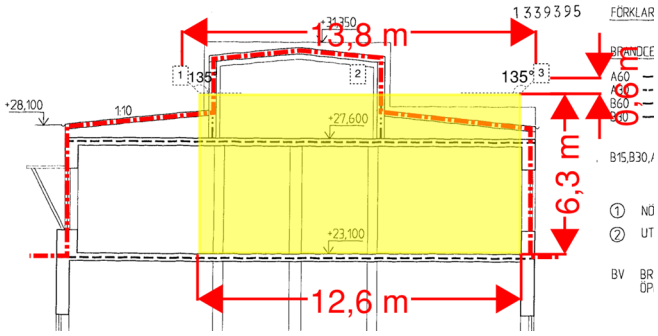
Figur 71: I figuren är det område inom vilket passagerare kan utsättas för strålning markerat för scenario 2.

Strålningen av betydelse i scenario 1 förutsätts ske från brandens ovansida. Med hänsyn till att branden i scenario 2 begränsas till ett våningsplan bedöms inte möjlighet finnas för strålning att ske från brandens ovansida. Detta då byggnaden kommer blockera denna strålning.

Studier som NFPA har gjort visar att brand inom ett våningsplan genererar en flamhöjd på ca 1,4 våningshöjder [18]. Undersökningar utförda av Brandskyddslaget uppskattar i sin tur kvoten mellan flamhöjden och flambasen till en siffra mellan 0,5 och 1,5. För att vara på den säkra sidan ansätts 0,5 [19].

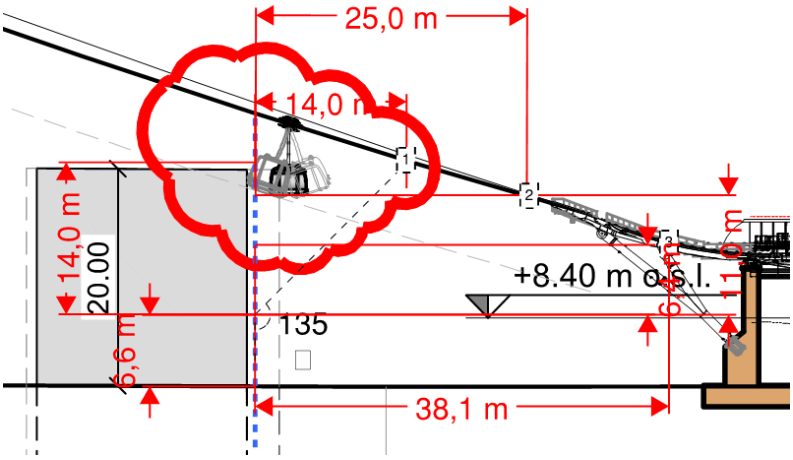
Med en våningshöjd om ca 4,5 m ger detta en dimensionerande brand med måtten 12,6×12,6×6,3 m^3 (l×b×h).

Värmestrålning förutsätts ske vinkelrätt och snett ut från en brinnande yta i upp till 135° vinkel från denna, se Figur 72. Detta innebär att värmestrålning mot gondol med angivna förutsättningar förutsätts ske över en sträcka av 13,8 m i Scenario 1.



Figur 72: Figuren redovisar den sträcka människor inom gondol antas utsättas för strålning om brand skulle uppstå enligt de brandscenario som redovisats för scenario 1.

För scenario 2 beräknas den infallande strålningen mot 3 separata punkter för att undersöka vilken strålning gondol och lina maximalt utsätt för. Dessa punkter framgår av figurerna nedan.

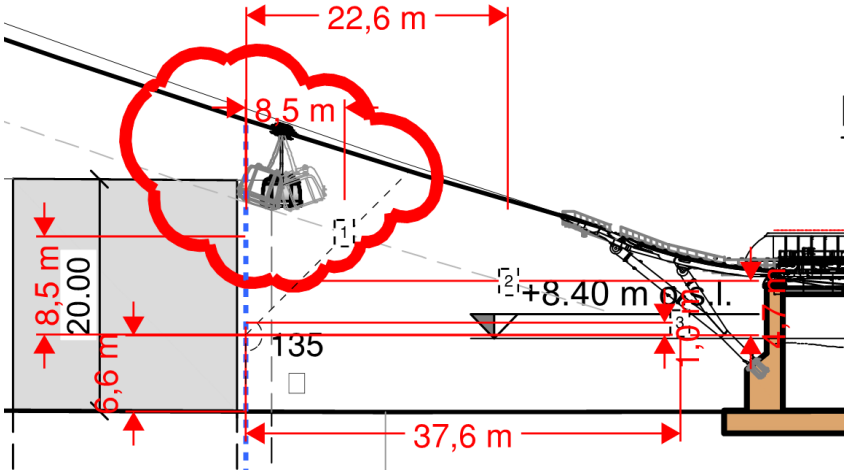


Figur 73: De tre punkter mot vilka strålning mot lina beräknas för scenario 2.

Avståndet till de tre punkterna förtydligas i tabellen nedan.

Tabell 18: Avstånd från flamtopp till lina

	Punkt 1	**Punkt 2**	**Punkt 3**
Horisontellt avstånd från flamtopp	14,0	25,0	38,1
Vertikalt avstånd från flamtopp	14,0	11,0	6,4



Figur 74: De tre punkter mot vilka strålning mot gondol beräknas för scenario 2.

Avståndet till de tre punkterna förtydligas i tabellen nedan.

Tabell 19: Avstånd från flamtopp till gondol

	Punkt 1	**Punkt 2**	**Punkt 3**
Horisontellt avstånd från flamtopp	8,5	22,6	37,6
Vertikalt avstånd från flamtopp	8,5	4,7	1,0

Flamtemperatur

Temperaturen ansätts för scenario 1 konservativt till 900°C vilket motsvarar 1173 K. Detta motsvarar brand i flamma strax ovanför fönsteröppning vid rumsbrand [7]. Med hänsyn till att temperaturen för aktuellt scenario avser flamtoppen bedöms detta antagande genera resultat på den säkra sidan.

Temperaturen ansätts för scenario 2 konservativt till 1000°C vilket motsvarar 1273 K. Detta motsvarar uppmätta flamtemperaturer från fönster i brinnande byggnader [7].

Kriterier

Se avsnitt 2 för kriterier.

Beräkningar

Infallande strålning mot lina

Kortaste avståndet mellan flamtoppen och linan bortsett från den förskjutning strålningsskärmen skapar uppgår för scenario 1 till 7,3 m (se Figur 70).

För scenario 2 ansätts avstånden mellan den strålande skärmen och mottagande punkt på linan enligt de tre punkter som redovisas i Tabell 18.

Den strålande ytan för respektive scenario delas upp i två strålande delar då linbanan inte är placerad centralt över den strålande ytan.

Tabell 20: Indelning av strålande yta.

Strålande yta	a [m]	b [m]	c [m]
Scenario 1	6,3	12,6	7,3
Scenario 2	6,3	6,3	Se Tabell 18

Detta ger följande maximala synfaktor:

Scenario 1:

$\Phi_{1/2} \approx 0{,}033$ $\Phi_{1/2}$ x 2 = $\Phi_{tot} = 0{,}066$

Strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan där emitterande strålning E är beräknad enligt, $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ (se avsnitt 2.2 för nomenklatur), utifrån ansatt temperatur (1173 K). Emissionstalet har konservativt satts till 1.

$$Q = E \cdot \Phi_{tot}$$

Detta ger:

$$Q_{1173\,K} \approx 7{,}0\ kW/m^2$$

Scenario 2:

Tabell 21: Synfaktor för respektive punkt

	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3
$\Phi_{1/2}$	0,010	0,011	0,008
$\Phi_{1/2}$ x 2 = Φ_{tot}	0,020	0,023	0,015

Strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan där emitterande strålning E är beräknad enligt, $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ (se avsnitt 2.2 för nomenklatur), utifrån ansatt temperatur (1273 K). Emissionstalet har konservativt satts till 1.

$$Q = E \cdot \Phi_{tot}$$

Tabell 22: Infallande strålning mot respektive punkt

	Punkt 1	Punkt 2	Punkt 3
$Q_{1273\,K}$	3,0 kW/m^2	3,4 kW/m^2	2,2 kW/m^2

Maximal infallande strålning mot gondol

Kortaste avståndet mellan flamtoppen och linan bortsett från den förskjutning strålningsskärmen skapar uppgår för scenario 1 till 0,6 m (se Figur 70).

För scenario 2 ansätts avstånden mellan den strålande skärmen och mottagande punkt på linan enligt de tre punkter som redovisas i Tabell 19.

Den strålande ytan för respektive scenario delas upp i två strålande delar då linbanan inte är placerad centralt över den strålande ytan.

Tabell 23: Indelning av strålande yta.

Strålande yta	**a [m]**	**b [m]**	**c [m]**
Scenario 1	6,3	12,6	0,6
Scenario 2	6,3	6,3	Se Tabell 19

Scenario 1:

För aktuellt scenario visar beräkningar att infallande strålning mot gondol blir lägre än infallande strålning mot lina. Detta beror av att vinkeln från den strålande källan mot gondol är låg med hänsyn till den sidledsförskjutning av den strålande branden som strålningsskärmen skapar. Optimering (redovisas ej) visar att den infallande strålningen mot linan är högre än den infallande strålningen som sker mot gondol vilket beror av att denna är belägen med minst vinkel mot den strålande ytan.

Scenario 2:

Tabell 24: Synfaktor för respektive punkt

	Punkt 1	**Punkt 2**	**Punkt 3**
$\Phi_{1/2}$	0,020	0,018	0,009
$\Phi_{1/2}$ x 2 = Φ_{tot}	0,041	0,038	0,017

Strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan där emitterande strålning E är beräknad enligt, $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ (se avsnitt 2.2 för nomenklatur), utifrån ansatt temperatur (1273 K). Emissionstalet har konservativt satts till 1.

$$Q = E \cdot \Phi_{tot}$$

Tabell 25: Infallande strålning mot respektive punkt

	Punkt 1	**Punkt 2**	**Punkt 3**
$Q_{1273\,K}$	6,1 kW/m^2	5,6 kW/m^2	2,5 kW/m^2

Infallande strålningsdos mot gondol

Scenario 1:

Av Figur 72 framgår det att den sträcka människor exponeras för flamman uppgår till ca 13,8 m. Med förutsättning att gondoler färdas av en hastighet på 6 m/s blir den exponerade tiden sammanlagt ca 2 s.

Tidigare erhållet resultat visar att gondol i scenario 1 maximalt utsätt för en infallande strålningsintensitet av 7,0 kW/m^2. Detta motsvarar den infallande strålning som sker mot lina och bedöms i aktuellt fall (se tidigare resonemang avseende maximalt infallande strålning mot gondol) medför att resultat blir på den säkra sidan.

I enlighet med BBRAD finns det kriterier för godtagbar exponering av strålning vid utrymning. Dessa är 2,5 kW/m^2 eller en kortvarig strålning på max 10 kW/m^2 i kombination med max 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m^2.

Vid maximalt infallande strålning om 7,0 kW/m^2 innebär detta att vardera gondol kan utsättas för denna strålning under ca 10 s. Med hänsyn till att vardera gondol exponeras under ca 2 s bedöms den infallande strålningsdosen vara acceptabel för aktuellt scenario.

Scenario 2:

Erhållet resultat visar att gondoler maximalt utsätts för en strålning om ca 6,1 kW/m^2.

Vid maximalt infallande strålning om 6,1 kW/m^2 innebär detta att vardera gondol kan utsättas för denna strålning under ca 11 s.

Då gondoler färdas i en hastighet av ca 6 m/s innebär detta att en gondol skulle kunna utsättas för denna infallande strålning över en sträcka på ca 66 m. Enligt Figur 71 är det avståndet över vilket en gondol kan exponeras för strålning ca 40 m varför aktuellt utförande bedöms kunna accepteras med avseende på infallande strålningsdos mot passagerare.

Diskussion och Slutsats

Erhållet resultat visar att aktuell utformning med angivna förutsättningar är acceptabel med avseende på strålning mot lina och gondoler. Resultatet visar också att gondoler inte utsätts för en högre strålningsdos än 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m^2.

Resultatet visar inte heller att den infallande strålningen mot gondol kan komma att överstiga 10 kW/m^2.

Erhållet resultat visar att den maximala infallande strålningen mot gondol understiger 15 kW/m^2. En dimensionerande brand inom aktuell byggnad med angivna verifierade förutsättningar bedöms således inte påverka gondolernas systemsäkerhet.

Resultatet av infallande strålning mot lina visar att brand kan pågå i mer än 5 h utan att denna når kritisk temperatur. Inom denna tid bedöms räddningstjänsten kunna komma på plats för att begränsa den ev. branden vilket för aktuellt scenario bidrar till ett utökat skydd för linbanan.

Svea och Patricia samt Kårhuset

Riskreducerande åtgärdsförslag
De uppmätta avstånden från aktuell byggnad till lina understiger måtten på den angivna skyddszonen (2.3.1).

Byggnaden är befintligt utförd med automatisk vattensprinkleranläggning vilket är en förutsättning för hur brandskyddet har utformats inom byggnaden. Med hänsyn till detta bedöms inte fler riskreducerande åtgärder erfordras.

I aktuellt avsnitt utförs en fördjupad utredning avseende den strålningspåverkan lina och gondol kan utsättas för vid en eventuell brand.

De beräkningar som presenteras nedan följer till stor del de beräkningar som presenterats i konceptrapporten [13] och som ligger till grund för de skyddsavstånd som presenteras i avsnitt 2.3.1.

Förutsättningar och antaganden
Brandscenario
Med hänsyn till att byggnaderna är försedda med automatisk vattensprinkleranläggning bedöms ett brandscenario lika vad som presenterats för Brämaregården 73:5 och 73:7 samt Rambergsstaden 9:14, 9:15 och 9:16 vara tillämpbart för aktuella byggnader.

I de beräkningar som utförts för Brämaregården 73:5 och 73:7 samt Rambergsstaden 9:14, 9:15 och 9:16 har konsekvensen för horisontell strålning från flamman utretts.

För aktuella byggnader beräknas konsekvensen av ett scenario där flammans topp är vinkelrät mot lina och gondol, belägen mitt under linbanan.

Studier som NFPA har gjort visar att brand inom ett våningsplan genererar en flamhöjd på ca 1,4 våningshöjder [18]. Undersökningar utförda av Brandskyddslaget uppskattar i sin tur kvoten mellan flamhöjden och flambasen till en siffra mellan 0,5 och 1,5. För att vara på den säkra sidan ansätts 0,5 [19].

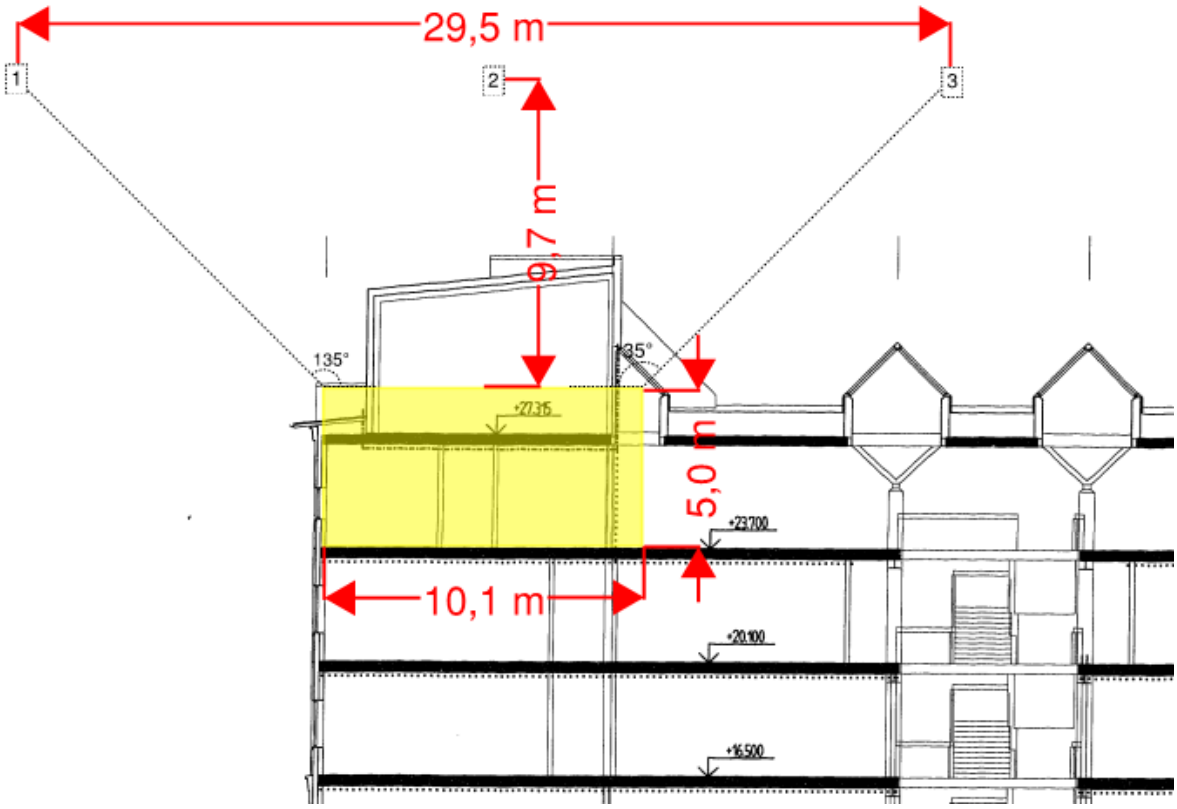
Med en våningshöjd om 3,6 m erhålls en dimensionerande brand med måtten 10,1×10,1×5,0 m^3 (l×b×h).

Dimensionerande brand placeras på plan 4 i aktuell byggnad. Plan 5 utgör enbart teknikrum på tak (upptar inte hela takkonstruktionens yta) och bedöms med hänsyn till detta inte omfatta en brandbelastning motsvarande en dimensionerande brand.

Med hänsyn till att byggnaden är utförd med automatisk vattensprinkleranläggning kan den utsända strålningen från branden vid beräkningar halveras [16].

Linan är på sin lägsta punkt på höjden +35,5 m och gondol är som lägst på höjden +28,4 m. Enligt ovan angivna indata hamnar flamtoppen på höjden +18,7 m.

Värmestrålning förutsätts ske vinkelrätt och snett ut från en brinnande yta i upp till 135° vinkel från denna, se Figur 75. Detta motsvarar den vinkel för vilken strålning måste beaktas med avseende på spridning enligt BBR. Strålning utanför denna vinkel betraktas i aktuellt fall som försumbar. Detta innebär att värmestrålning mot gondol med angivna förutsättningar förutsätts ske över en sträcka av 29,5 m.



Figur 75: Figuren redovisar den sträcka människor inom gondol antas utsättas för strålning om brand skulle uppstå enligt de brandscenario som redovisats i aktuellt avsnitt.

Flamtemperatur

Temperaturen ansätts konservativt till 900°C vilket motsvarar 1173 K. Detta motsvarar brand i flamma strax ovanför fönsteröppning vid rumsbrand [7]. Med hänsyn till att temperaturen för aktuellt scenario avser flamtoppen bedöms detta antagande genera resultat på den säkra sidan.

Kriterier

Se avsnitt 2 för kriterier.

Storlek på gondol

Se avsnitt 2.3.2.

Beräkningar

Infallande horisontell strålning mot lina
Vid beräkning av vertikal strålning är det brandens yta (b×l) som kommer att utgöra den strålande ytan. Avståndet mellan den strålande ytan och linan ska uppgå till ca 16,8 m.

Den strålande ytan (10,1×10,1 m^2) delas upp i fyra lika stora delar, se Tabell 26, för vilka synfaktorn beräknas och sedan summeras.

Tabell 26: Indelning av strålande yta.

Strålande yta	a [m]	b [m]	c [m]
Brand på vindsbjälklag	5,05	5,05	16,8

Detta ger följande maximala synfaktor:

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}026$ $\Phi_{1/4}$ x 4 = $\Phi_{tot} = 0{,}10$

Strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan där emitterande strålning E är beräknad enligt, $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ (se avsnitt 2.2 för nomenklatur), utifrån ansatt temperatur (1173 K). Emissionstalet har konservativt satts till 1.

$$Q = 0{,}5 \cdot E \cdot \Phi_{tot}$$

Detta ger:

$$Q_{1273\,K} \approx 5{,}5\ kW/m^2$$

Maximal infallande horisontell strålning mot gondol
Avståndet mellan den strålande flamtoppen och gondol ska som lägst uppgå till ca 9,7 m.

Den strålande ytan (10,1×10,1 m^2) delas upp i fyra lika stora delar, se Tabell 27, för vilka synfaktorn beräknas och sedan summeras.

Tabell 27: Indelning av strålande yta.

Strålande yta	a [m]	b [m]	c [m]
Brand på vindsbjälklag	5,05	5,05	9,7

Detta ger följande maximala synfaktor:

$\Phi_{1/4} \approx 0{,}064$ $\Phi_{1/4}$ x 4 = $\Phi_{tot} = 0{,}26$

Strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan där emitterande strålning E är beräknad enligt, $E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ (se avsnitt 2.2 för nomenklatur), utifrån ansatt temperatur (1173 K). Emissionstalet har konservativt satts till 1.

$$Q = 0{,}5 \cdot E \cdot \Phi_{tot}$$

Detta ger:

$$Q_{1273\,K} \approx 13{,}7\ kW/m^2$$

Infallande strålningsdos mot gondol
Beräkningen utförs i enlighet med beräkningsmetodik presenterad i Brandskyddshandboken [14].

Infallande strålning från flamman kan beräknas genom att strålningsnivån från den emitterande ytan multipliceras med synfaktorn Φ_{med}.

Beräkning av synfaktorn utförs i aktuellt fall för tre separata punkter (se Figur 75) längs med den sträcka människor exponeras för strålning då de i gondol förflyttas förbi aktuell byggnad. Punkterna 1 och 3 är belägna på ett vinkelrätt horisontellt avstånd från den antagna strålande ytan om 9,7 m med 135° vinkel från strålande yta åt vardera håll. Punkt 2 är placerad 9,7 m vinkelrätt ut från mitten av den strålande ytan. Som representativt värde används sedan medelvärdet av den strålning en förbipasserande gondol utsätts för. Detta är detsamma som strålningen i punkterna 1 och 2 dividerat med två.

Enligt uppgift ska gondoler komma att röra sig med en hastighet om 6 m/s. Den exponerade sträckan vilken (enligt resonemanget i föregående stycke) antagits till 29,5 m ger således att människor kommer att utsättas för strålning under ca 5 s.

Den genomsnittliga strålningsnivån (infallande strålning) Q beräknas med formeln nedan.

$$Q = 0{,}5 \cdot E \cdot \Phi_{med}$$

Den genomsnittliga synfaktorn $\Phi_{med.}$ beräknas enligt följande ekvation:

$\Phi_{med.} = ((\Phi_1+\Phi_3)/2+\Phi_2)/2$

Där Φ_1 och Φ_3 är identiska.

Med angivna förutsättningar har synfaktorn beräknats enligt följande:

Punkterna 1 och 3
$\Phi_{1 \text{ och } 3} = 0{,}035$ [dimensionslös].

Punkt 2
$\Phi_2 = 0{,}26$ [dimensionslös].

Genomsnittlig synfaktor
$\Phi_{med.} = (0{,}035 + 0{,}26)/2 = 0{,}15$ [dimensionslös].

Med en genomsnittlig synfaktor om 0,15 blir den strålningsintensitet en passagerare inom gondol utsätts för genomsnittligen enligt följande:

$$Q = 0{,}5 \cdot E \cdot \Phi_{med.} = 0{,}5 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot \Phi_{med.} = 0{,}5 \cdot 1 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot 1173^4 \cdot 0{,}15 = 7{,}8\ kW/m^2$$

Med en genomsnittlig strålningsintensitet om 7,8 kW/m^2 och en exponeringstid på ca 5 s blir således den strålningsdos en gondol utsätts för ca 38 kJ/m^2. Då kravnivån enligt BBRAD är infallande energi utöver en strålningsnivå om 1 kW/m^2 blir den infallande strålningen i stället ca 33,4 kJ/m^2. Detta understiger med god marginal angiven kravnivå på 60 kJ/m^2.

Diskussion och Slutsats

Utförda beräkningar baseras på uppgifter om att automatisk vattensprinkleranläggning finns installerad som skyddsåtgärd.

Resultatet visar att gondoler inte utsätts för en högre strålningsdos än 60 kJ/m^2 utöver energin från en strålningsnivå på 1 kW/m^2.

Resultatet visar dock att den infallande strålningen mot gondol kortvarigt kan komma att överstiga 10 kW/m^2 (resultatet visar 13,7 kW/m^2). Med hänsyn till detta erfordras ytterligare åtgärder. Det bedöms sannolikt att linbanans gondoler i sig själva kan skydda de som vistas inom dessa på sådan sätt att en infallande strålning om 13,7 kW/m^2 kan reduceras till under acceptabla 10 kW/m^2. Detta ska dock utredas och säkerställas innan frågan avskrivs.

Erhållet resultat visar att den maximala infallande strålningen mot gondol understiger 15 kW/m^2. En dimensionerande brand inom aktuella byggnader med angivna verifierade förutsättningar bedöms således inte påverka gondolernas systemsäkerhet.

Resultatet av beräkningarna visar att linan kan utstå strålning från en dimensionerande brand i mer än 5 h. Det ska poängteras att den dimensionerande branden är ansatt som konstant. I ett brandscenario har en brand ett tillväxtskede vilket innebär att linbanan inte utsätts för strålning initialt i ett brandförlopp varför längre tid till kritiska förhållande förväntas. En ytterligare aspekt är att kritiska förhållanden beräknas mot stillastående draglina. Vanligen ska denna lina vara i rörelse vilket innebär att det med stor sannolikhet tar ännu längre tid att uppnå kritiska förhållanden.

Med hänsyn till resonemanget ovan bedöm aktuella byggnader med föreslagna åtgärder vara acceptabla med avseende på linbanans säkerhet i händelse av brand. En dimensionerande brand bedöms kunna pågå under en längre period (förutsatt att gondoler dämpar infallande strålning med minst 3,7 kW/m^2) utan att personer inom gondoler eller linbanans konstruktion utsätts för kritiska förhållanden. Med hänsyn till detta betraktas räddningstjänstens insats för aktuellt scenario enbart som en utökad redundans med avseende på linbanans säkerhet i händelse av brand.

Bilaga 2 Yttemperatur på linor

De beräkningar som ligger till grund för den säkerhetskorridor som presenterats i konceptrapporten [13] utfördes för en lintjocklek på stödlinor om 32 mm.

Enligt uppgift[7] ska linbanan dock utföras med en tjocklek om 43 mm på draglina samt 56 mm på stödlina. Utöver detta har också nya uppgifter om linans densitet erhållits. Stödlina ska utföras med vikten 18,41 kg/m och draglina med densiteten 6,67 kg/m. Med hänsyn till detta utförs nedan en revidering av de beräkningar som utfördes och som presenterades i konceptrapporten.

Uppvärmning av linor beräknas mot stillastående linor. Detta trots att draglinan ska vara i ständig rörelse. Detta bidrar till att erhållet resultat är på den säkra sidan. För att visa stödlinornas hållfasthet utförs dock beräkningar även för dessa.

Temperaturutvecklingen i linorna beräknas enligt metod presenterad i Eurocodes [17].

$$T_s = T_i + k_{sh} \times \frac{A_m/V}{c_p \times \rho_a} \times h_{net} \times \Delta t$$

Där

T_s	temperatur i lina efter exponering av konstant strålning under tiden Δt [K]
T_i	initial temperatur i lina [K]
A_m/V	är sektionsfaktorn för oskyddat ståltvärsnitt (1/m). Detta skrivs för cylinder om till 1 dividerat med godstjockleken.
k_{sh}	är korrektionsfaktorn för skuggeffekter. För cirkulära tvärsnitt har denna effekt ingen betydelse och sätts därför till 1. Detta bidrar till att erhållet resultat är på den säkra sidan.
c_p	är den specifika värmekapaciteten. För stål är detta 600 J/kgK.
ρ_a	är densiteten för stål 7850 kg/m^3. Densiteten för draglina ligger på 4590 kg/m^3 och densiteten för stödlina ligger på 7470 kg/m^3. För att generera resultat på den säkra sidan nyttjas värdena för respektive lina.
h_{net}	utgör differensen mellan infallande strålning från flamman och utstrålad värmeenergi från stålet [kW/m^2].
Δt	tid [s].

Den utstrålande värmeenergin kan beräknas enligt följande:

$$T_s^{\,4} \times \varepsilon \times \sigma$$

Där

ε	är emissonstalet vilket för stål ansätts till 0,67
σ	är Stefan-Boltzmanns konstant, $5{,}67 \times 10^{-8}$

Konvektionsförluster beaktas ej i beräkningarna.

Beräkningarna visar att draglinan värms upp snabbare förutsatt att denna är stillastående. Med draglina i rörelse bedöms ej uppvärmning ta lika lång tid. Vid dimensionering av

[7] P. Carlberg, Trafikkontoret Göteborgs Stad, Uppgift erhållen via e-post 2017-04-28.

säkerhetsavstånd med avseende på uppvärmning av stillastående draglinor bidrar med hänsyn till detta att erhållet resultat är på den säkra sidan.

Tabell 28 Tabell över accepterad strålningsintensitet i förhållande till tiden för linor med diametern 43 mm och 56 mm.

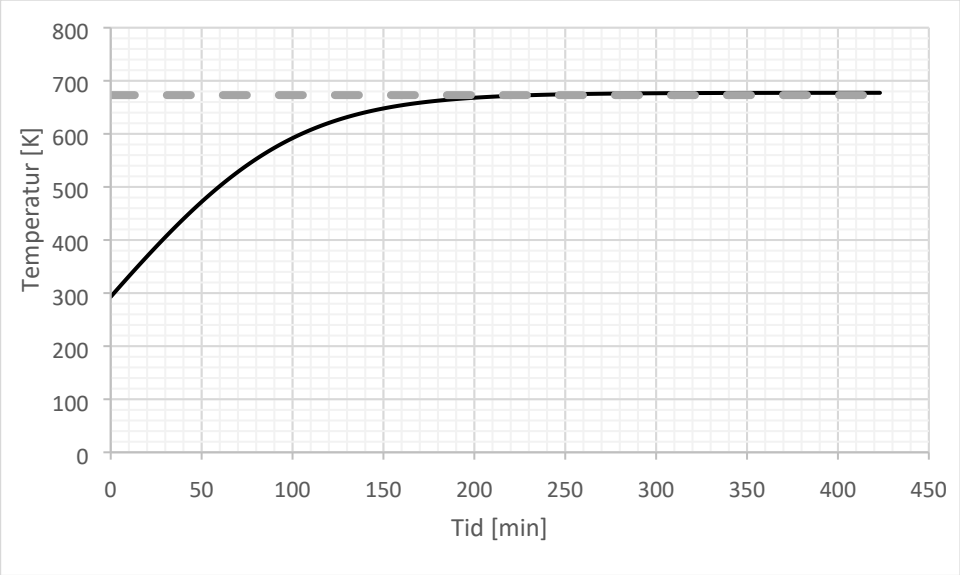
Tid som linor utsätts för strålning [min]	Konstant infallande strålning som ej får överskridas för lina med diametern 43 mm [kW/m²]	Konstant infallande strålning som ej får överskridas för lina med diametern 56 mm [kW/m²]
60	15	29
90	12	20
120	10	16
Mer än 230	8	8

Till tabellen ovan ska det tilläggas att det tar över 8 h för stödlina om 56 mm att nå temperaturen 400°C då den utsätts för konstant strålning om 8 kW/m².

Erhållet resultat visar att temperaturen om 400°C passeras vid ca 230 min efter konstant infallande strålning om 8 kW/m². Det ska dock observeras att temperaturen stagnerar omkring aktuell temperatur. Infallande strålning om 7,8 kW/m² bidrar till att temperaturen stagnerar mer exakt på 400°C och att temperaturen i draglinan först når aktuell temperatur efter mer än 6 h strålningspåverkan.

I aktuella beräkningar bedöms infallande strålning mot draglina upp till 8 kW/m² acceptabelt. Att nyttja detta som kriterium och därmed göra en avrundning om 0,2 kW/m² bedöms vara inom felmarginalen med hänsyn till i övrigt konservativa antaganden. Detta framförallt med hänsyn till att beräkningar utförs mot stillastående lina trots att denna ständigt ska vara i rörelse då linbanan är i drift men också att konvektionsförluster inte beaktas från linan.

Ovan angivna bedömning bidrar till att den skyddskorridor som tagits fram i konceptrapporten [13] och som återgivits i Tabell 1 även kan nyttjas fortsättningsvis trots att draglinans egenskaper har ändrats. Värden för acceptabel infallande strålning vid beräkningar i aktuell rapport nyttjas dock i övrigt från Tabell 28.



Figur 76. Diagrammet visar hur temperaturen i draglina stagnerar vid ca 400°C (673 K) efter 230 min efter kontant infallande strålning om 8 kW/m². Grå streckad linje markerar 400°C (673 K) och svart heldragen linje markerar temperaturen i draglinan.

Bilaga 3 Analys av brandscenarier

Inledning

I följande bilaga presenteras analys och resonemang avseende de brandscenarier som tillämpas i aktuell handling. Inledningsvis presenteras det brandscenario som finns redovisat i konceptrapporten [13]. Detta är det scenario som ligger till grund för de skyddsavstånd som också finna angivna i samma rapport och som tillämpas i den här handlingen.

Efter det presenteras jämförelser av det i konceptrapporen presenterade brandscenariot. Detta för att på ett förtydligande sätt beskriva omfattningen av scenariot.

Brandscenario enligt koncepthandlingen

I aktuell handling har brandscenarier för kontorsbyggnader och flerbostadshus ansatts baserat på studier som utförts av NFPA och brandskyddslaget. Detta avser uppskattad flamhöjd vid brand inom flera våningsplan [18] samt kvoten mellan flamhöjd och flambredd [19].

Då det i stort saknas kunskap avseende hur flammor ur takkonstruktion på brinnande byggnader ser ut utfördes 2003 en studie av brand i äldre trähusbebyggelse (Kv. Arkadien, Jönköping). En av slutsatserna som dras i aktuell studie är att kvoten mellan flamhöjden och flammans diameter är en siffra mellan 0,5 och 1,5. För att vara på den säkra sidan har 0,5 ansatts i de utförda beräkningarna [19].

Anledningen att brand i flera våningsplan studeras är att linbanan ska dimensioneras för att klara fullständiga brandförlopp. Då lägenheter i flerbostadshus är utformade med avskiljande förmåga EI 60 krävs beaktande av att brand riskerar att spridas mellan olika brandceller.

För att kunna göra en uppskattning av flamhöjden vid brand har en studie som NFPA utfört tillämpats [18]. Studien redovisar ett samband mellan antalet våningar som står i brand och flamhöjden över taket.

Tabell 29: Samband mellan antalet brandhärjade våningsplan och flamhöjd.

Antal våningar i brand [st.]	Flamhöjd över taket [våningshöjder]
1	1,4
2	1,8
3	2,2
4	2,6

I konceptrapporten har 4 våningsplan antagits stå i brand vid ett och samma tillfälle. Detta har genererat en brand med geometrin 12×12×8 m^3 (l×b×h). Flammans temperatur har i beräkningarna ansatts till 900°C.

Strålningsberäkningar från aktuell brand har resulterat i de skyddsavstånd som finns presenterade i avsnitt 2.1.2.

Jämförelser

I följande avsnitt redovisas jämförelser av det brandscenario som presenterats ovan för att ge en nyanserad bild av vad brandscenariot motsvarar.

Jämförelse mot personbilar
Den brand som redovisas ovan har en brinnande yta om ca 145 m^2. En personbil upptar vanligen en yta om ca 5 m^2. Aktuell dimensionerande brand motsvarar således ca 30 brinnande bilar.

Jämförelser avseende brandens avgivna effekt
Uppmätt effektutveckling från stoppade möbler (moderateweight type C uppholstered furniture) är 400 kW/m^2 [15]. Förutsatt att det är detta som brinner motsvarar aktuell brandyta en avgiven effekt om ca 58 MW.