



PM

Handläggare
Morgan Johansson
Tel

Mottagare
RiskTec Projektledning AB
Mathias Lööf

Mobil
+46761010815
E-post
morgan.johansson@afconsult.com

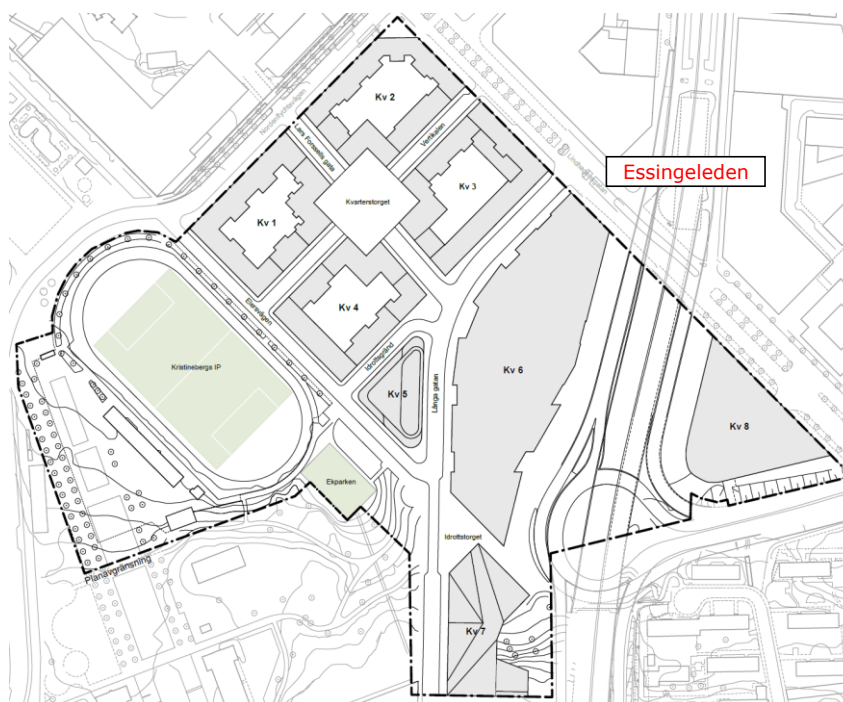
Datum
2016-11-18
Projekt-ID
727816

Nordvästra Kungsholmen – Konsekvensbedömning med avseende på explosion

1 Bakgrund

1.1 Studerat område

Studerat område ligger på Nordvästra Kungsholmen i Stockholm, se Figur 1.1. I området närmast Essingeleden (Kv 6 till Kv 8) ska dels uppföras kontorslokaler och dels en hallbyggnad för idrottsaktiviteter, se närmare beskrivning i Bilaga A. Dessa byggnader befinner sig på ett varierande avstånd från Essingeleden, dock med ett minsta avstånd om 25 m från huvudkörbanornas vägkant. Bakomliggande bostadskvarter ligger på avstånd överstigande 80 m från Essingeleden.



Figur 1.1 Studerat område i Nordvästra Kungsholmen i Stockholm.

ÅF-Infrastructure AB, Grafiska vägen 2, Box 1551, SE-40151 Göteborg Sverige
Telefon +46 10 505 00 00, Säte i Stockholm, www.afconsult.com
Org.nr 556185-2103, VAT nr SE556185210301



PM

1.2 Vad som ska beaktas

För att minimera osäkerheterna i det beslutsunderlag som ska tas fram för bedömning av erforderliga skyddsåtgärder för att säkerställa acceptabla risknivåer i samband med fortsatt exploatering längs med Essingeleden behöver konsekvenserna av identifierade olyckshändelser enligt nedan analyseras via fördjupad analys.

- Gasmolnsexplosion till följd av olycka involverande klass 2 (naturgas).
- Detonation till följd av olycka involverande klass 1 (massexplosiva sprängämnen).

Bakgrunden till urvalet av analyserade olyckshändelser utgår från att dessa kan förväntas ha en betydande påverkan på samhällsrisknivåerna längs med Essingeleden. En fördjupad utredning krävs därför för att fastställa ett tillfredställande skyddskoncept för människor inomhus. En sådan utredning utgör ett led i att säkerställa att tillkommande bebyggelse och markanvändning utförs på ett sådant sätt att exploateringen inte föranleder en oacceptabel riskförändring. Bedömning av detta görs utifrån ett övergripande samhällsriskperspektiv med fokus på att säkerställa en acceptabel riskexponering för de riskstyrande olyckshändelserna som har identifierats vara förknippade med katastrofpotential om inga säkerhetshöjande åtgärder vidtas.



PM

2 Skyddsprinciper

2.1 Orientering

För att skydda sig mot en explosion finns det primärt två saker som har stor inverkan: avstånd och en skyddande massa. I det fria kommer explosionens energiinnehåll snabbt tunnas ut, varför lasteffekten av en given explosion också snabbt avtar med avståndet. Om det inte är möjligt att säkerställa ett tillräckligt avstånd till en explosion är en avskärmade massa dock ett effektivt skydd. Explosionen verkar som en impulsbelastning på sin omgivning och en massa som är placerad i dess väg – exempelvis en betongvägg eller en jordspalt – kommer att absorbera denna impuls och sättas i rörelse av densamma. En stor massa gör att det uppkomna rörelsebehovet minskar, vilket i sin tur leder till en lägre rörelseenergi hos det aktuella hindret. En stor massa kan därför sägas vara ett effektivt sätt att dämpa effekten av en impulsbelastning.

En skyddande vägg är dock till liten hjälp om den själv kastas iväg av den rörelse den erhåller. Det är därför väsentligt att konstruktionen även kan uppvisa en god energiupptagningsförmåga som förhindrar att så sker. Genom att säkerställa att väggen har en bra deformationsförmåga fås en seg konstruktion som ger goda möjligheter att motstå den rörelseenergi som genereras av explosionen.

En seg respons hos en belastad konstruktion säkerställer en effektiv energiupptagande förmåga med möjlighet till kraftomlagringar så att ett lokalt brott inte leder till total kollaps. Denna devis gäller i de flesta sammanhang men är särskilt viktigt i samband med exceptionella dynamiska pålastningar såsom vid en explosion. I en impulsbelastad konstruktion är det dock inte dess maximala statiska lastkapacitet som är av primärt intresse – denna påkänning uppnås normalt i vilket fall som helst. Istället är det konstruktionens energiupptagande förmåga, dvs. dess deformationsförmåga i kombination med aktuell lastkapacitet, som blir viktig för att bedöma dess lämplighet som skydd.

2.2 Skyddsavstånd

Det effektivaste sättet att skydda sig mot en explosion är att inte vara där när explosionen inträffar, dvs. att ha ett stort avstånd till explosionskällan. Detta kan synas självklart men kan ändå vara värt att poängtera. I en tät stadsmiljö kan det dock ofta vara svårt att säkerställa tillräckliga skyddsavstånd mellan potentiell lastkälla och övrig bebyggelse. Denna problematik framgår särskilt tydligt när delar av bebyggelsen redan är byggd och ny bebyggelse ska uppföras i dess närhet.

2.3 Säkerställande av en god deformationsförmåga

2.3.1 Orientering

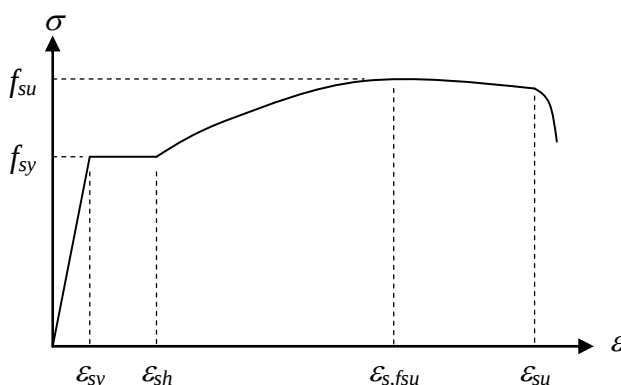
För att säkerställa en god deformationsförmåga, och därmed en god energiupptagningsförmåga, i en armerad betongkonstruktion är det av största vikt att använda en armering med goda seghetsegenskaper. Ett flertal olika tankar kring detta behandlas i exempelvis Johansson och Laine (2012) och i avsnitt 2.3.2 till 2.3.5 ges en sammanställning av dessa.



PM

2.3.2 Krav på armering

En armerad betongkonstruktion kan betraktas som en komposit bestående av betong och armering. Betong är bra på att ta tryck och armering bra på att ta drag, vilket gör att en väl fungerande kraftjämvikt kan uppstå som gör att yttre laster kan bäras effektivt. Segheten hos en sådan komposit beror på de ingående materialens egenskaper. I jämförelse med stål är betong dock ett sprött material varför en betongkonstruktions förmåga att uppvisa en seg respons till stor del beror på armeringens egenskaper. Dvs. de mekaniska egenskaperna hos den ingående armeringen, schematiskt illustrerad i form av en arbetskurva i Figur 1.1, har en avgörande betydelse för betongkonstruktionens förmåga att uppvisa en god deformationsförmåga.



Figur 2.1 Schematisk figur av armeringens arbetskurva definierande flytspänning f_{sy} , brottspänning f_{su} samt flyttöjning ϵ_{sy} , töjning vid hårdnande ϵ_{sh} och brottöjning $\epsilon_{s,fsu}$.

Viktiga förutsättning för att uppnå en god deformationsförmåga i en armerad betongkonstruktion är att armeringens arbetskurva uppvisar en flytplatå, har en hög seghetskvot

$$\gamma = \frac{f_{su}}{f_{sy}} \quad (2.1)$$

mellan armeringens brottspänning f_{su} och flytspänning f_{sy} samt har en hög brottöjning $\epsilon_{s,fsu}$. Utgående från den armering som används i Sverige idag uppfylls dessa krav bäst av den armering som i Eurokod 2, SIS (2008a), benämns som klass C. Denna armeringstyp är därför den som genomgående bör användas för konstruktioner som bedöms kunna bli utsatta för direkta eller indirekta effekter av en explosionslast. Det finns i Eurokod 2 även en armering benämnd klass B som också uppfyller krav på flytplatå men med lägre värden på seghetskvot och brottöjning. Denna armeringstyp resulterar dock i en deformationsförmåga som är storleken 2-3 gånger lägre och bör därför undvikas i impulsbelastade konstruktioner. Förspända betongkonstruktioner (armering klass A) har enligt Eurokod 2 ingen möjlighet att utnyttja global plastisk omlagring och är därför i många sammanhang direkt olämpliga att använda om dimensionering ska göras gentemot explosionslast.

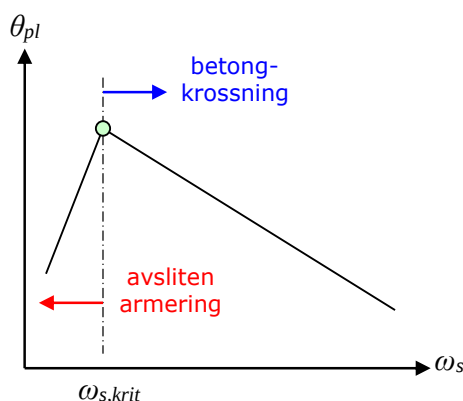
2.3.3 Armeringsutformning

Allmänt gäller att små armeringsmängder i en betongkonstruktion resulterar i bättre deformationsförmåga än stora armeringsmängder. Detta förutsätter dock att brott inte erhålls i armeringen – slits denna av minskar rotationskapaciteten, och därmed deformationsförmågan, drastiskt – utan att det är den tryckta betongen som utgör



PM

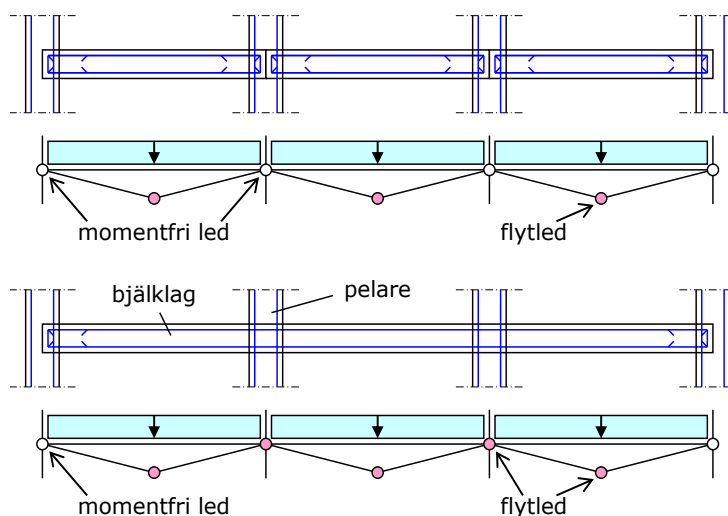
tvärsnittets svaga punkt, se schematisk illustration i Figur 2.2. Så är också ofta fallet men avvikelser kan uppstå vid kombination av låga armeringsmängder, låg flytgräns hos armeringen och/eller hög tryckhållfasthet hos betongen. Vid användande av armering K500C ($f_{yk} = 500 \text{ MPa}$) fås optimal böjarmeringsmängd, med hänsyn till deformationsförmågan, om den uppgår till cirka 0,3 % för betong C 30/37 och 0,4 % för betong C 40/50.



Figur 2.2 Schematisk illustration av tillåten plastisk rotationsförmåga θ_{pl} som funktion av den mekaniska armeringskvoten ω_s samt effekt av olika brottkriterier.

2.3.4 Kontinuitet hos byggnadsdelar

Genom att utföra väggar och bjälklag med momentinspända kopplingar, såsom schematiskt visas i Figur 2.3, säkerställs en ökad motståndsförmåga mot explosionslast hos en byggnad. En kontinuerlig dragen armering genom bjälklagen resulterar i en ökad möjlighet till kraftomlagring i konstruktionen eftersom det då kan uppstå fler flytleder än vad som är fallet när bjälklaget enbart läggs upp på respektive pelarupplag. Vidare ges möjlighet att så kallad lin- och membranverkan kan uppstå i bjälklaget, något som är väldigt gynnsamt för bjälklagets energiupptagningsförmåga. Denna devis innebär även att platsgjutna betongstommar, vilka normalt har en större andel kontinuerliga bjälklag, i regel är mer lämpade utformade att motstå explosionslaster än byggnader uppförda med prefabricerade betongelement.



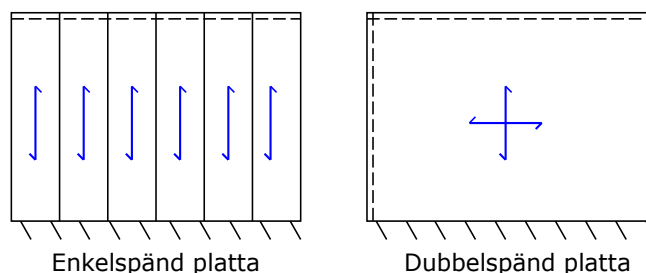
Figur 2.3 Schematisk bild av bjälklag med enskild respektive kontinuerlig uppläggning av balk.



PM

2.3.5 Redundans – flerfaldiga byggnadssystem

För en byggnad är det ofta viktigt att det finns en inbyggd redundans, dvs. en robusthet som finns tillgå om behov uppstår. Detta är inte nödvändigtvis en kapacitet som ökar byggnadens eller byggnadsdelens funktionalitet i övrigt utan snarare en reservkapacitet som kan tas i anspråk vid exceptionella tillfällen om någon annan del i det bärande systemet fallerar. Användandet av kraftomlagring via flytleder kan betraktas som en variant av en sådan redundans för en enskild byggnadsdel eller förmågan hos ett bjälklag att bära i två riktningar istället för i enbart en riktning, se Figur 2.4.



Figur 2.4 Bjälklag med bäring i en respektive två riktningar. Bäring i två riktningar ökar bjälklagets redundans.

Med begreppet redundans åsyftas här dock inte primärt bärförmågan hos en lokal konstruktionsdel utan snarare på stabiliteten hos hela byggnaden. Dvs. det bärande globala stomsystemet ska med det här synsättet inte vara avhängigt ett fåtal kritiska delar utan det bör finnas en sådan robusthet i utformningen av denna att ett fortskridande ras kan förhindras även om lokala brott uppstår. Ett exempel på ett sådant redundant system kan vara att det i en byggnad bör finnas en sådan mängd bärande väggar och pelare att det är möjligt att en eller flera av dessa slås ut utan att total kollaps erhålls. Vid normalt byggande beaktas detta exempelvis via beaktande av en avslagen pelare. Alternativet är att dimensionera pelaren för att tåla en tillräckligt hög last, något som i explosionshänseende kan vara mycket besvärligt att uppnå. Detta innebär också att byggnader som är starkt beroende av en eller några få bärande delar kan bli känsligare för extrema laster eftersom en betydande del av dess bärförmåga är beroende av dessa.

2.3.6 Stål och trä som konstruktionsmaterial

I en stålkonstruktion kan tvärsnitten hos ingående konstruktionsdelar enligt Eurokod 3, SIS (2008b), delas in i klass 1 till 4. Av dessa kan dock enbart tvärsnitt i klass 1 uppvisa en global plastisk omlagringsförmåga i konstruktionsdelen medan tvärsnitt i övriga klasser medför en eller annan begränsning med detta. Detta innebär att det krävs tvärsnitt av klass 1 för att möjliggöra en god deformationsförmåga hos en stålkonstruktion. En konstruktion med tvärsnitt i klass 2 till 4 antas uppvisa en global elastisk respons och är därför olämpliga att använda i situationer som berör impulsbelastning.

För träkonstruktioner tillgodoses ingen plastisk omlagringsförmåga och en sådan konstruktion antas därför alltid uppvisa en elastisk respons. Av denna anledning blir därför också träkonstruktioner olämpliga att använda i situationer som berör impulsbelastning.



PM

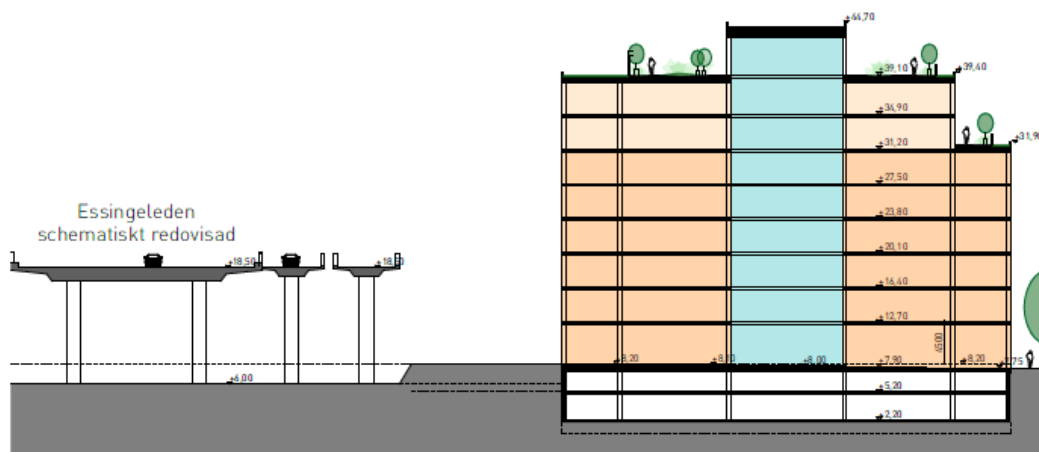
3 Last

3.1 Orientering

En eventuell explosion antas ske på Essingeleden i en linje som motsvarar dess vägren. Följande lastsituationer bedöms kunna uppkomma och behandlas i detta dokument:

- Gasexplosion
- BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*)
- Explosion från sprängämne

Konservativt kan en hemisfärisk (halvsfärisk) utbredning antas för den luftstöt våg som fås från en explosion på Essingeleden. För en explosion som inträffar uppe på Essingeleden kan det dock argumenteras för att den resulterande stötvågsutbredningen, på grund av vägens upphöjning gentemot markplan, inte blir hemisfärisk, se Figur 3.1. Eftersom vägbanan ligger omkring 12 m ovanför omgivande marknivå skulle en mer gynnsam uttunning av stötvågen därför kunna uppstå, dvs. en större volym täcks in av stötvågsfronten, vilket skulle medföra att den resulterande explosionslasten minskar. I det fortsatta resonemanget som presenteras här utgås dock ändå konservativt från en hemisfärisk stötvågsutbredning.



Figur 3.1 Essingeledens placering i höjdlid i linje med kontorsbyggnad i Kv 6. Vägens upphöjning över omgivande marknivå gör att det blir konservativt att anta en hemisfärisk utbredning av luftstöt våg från explosion.

Vid bestämning av resulterande last från en explosion är det viktigt att skilja på last från en oreflekterad och en reflekterad stötvåg. Det senare fallet ger en märkbart högre last (minst en faktor två högre tryck än för oreflekterad stötvåg) och är aktuellt för t.ex. fasad som vetter mot explosionskällan. Som jämförelse är last från en oreflekterad stötvåg aktuellt för t.ex. taket på en byggnad eller för en fasad som inte syns från explosionskällan. Om inget annat explicit anges så utgås fortsättningsvis från ett värsta lastfall, dvs. reflekterat tryck mot fasad som vetter mot Essingeleden.



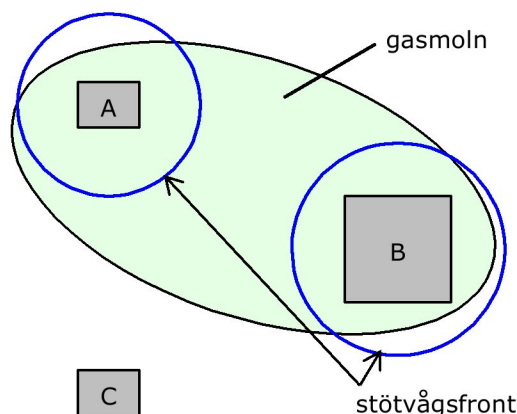
3.2 Gasexplosion

3.2.1 Beräkningsmetod – TNO Multienergimetod

I litteraturen finns olika anvisningar om hur last från en gasexplosion kan beräknas. I det här dokumentet används den så kallade TNO Multienergimetoden, van den Berg (1985), för att beräkna resulterande last och närmare beskrivning samt beräkningsgång är hämtad från Johansson (2013).

TNO Multienergimetoden bygger på att en gasexplosion består av ett antal delexplosioner där en kraftfull explosion enbart kan initieras i de delar av molnet där gasens expansionsmöjligheter är begränsade, dvs. helt eller delvis inneslutna volymer eller i blockerade områden. Detta innebär att det i ett gasmoln potentiellt kan skapas flera av varandra oberoende explosioner, var och en med sitt eget energiinnehåll. Vidare är det enbart de delar av gasmolnet som inryms i områden som betraktas som explosionsbenägna som används för att bedöma styrkan hos en kraftfull explosion.

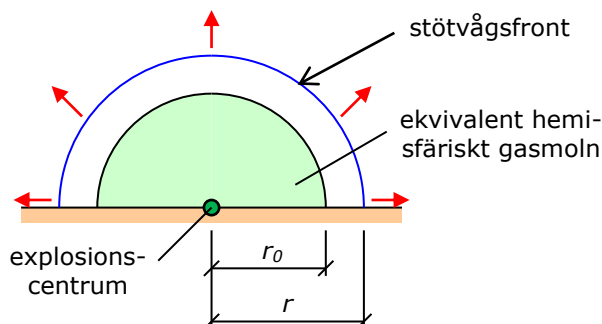
Detta illustreras schematiskt i Figur 3.2 där ett gasmoln spritt ut sig inom markerat område. I figuren markerar A, B och C områden med någon form av inneslutning och/eller blockering i en sådan omfattning att de bedöms kunna initiera en kraftfull explosion. Område A och B innesluts av gasmolnet och kan därför vardera generera en explosion medan område C är beläget utanför gasmolnet och därför inte bidrar till detta. Den explosionsalstrande energimängden baseras på volymen i område A respektive B och kan generera två av varandra oberoende explosioner med olika styrka och med explosionscentrum centriskt placerad inom respektive delvolym. Övriga delar av gasmolnet, utanför område A och B, bidrar dock inte till energimängden i någon av dessa båda explosioner. Därmed begränsas eventuella kraftfulla explosioners tillgängliga energimängd till det minsta av hur stor mängd av gasmolnet som ryms i en explosionsinitierande volym eller av gasmolnets aktuella storlek. Gasen utanför område A och B kan också ge upphov till en explosion men då med en lägre styrka. En sådan explosion baseras då på den totala gasvolym som befinner sig utanför område A och B.



Figur 3.2 Schematisk illustration av TNO multienergimetod. Ett gasmoln täcker markerat område. Område A och B innesluts av gasmolnet och kan båda ge upphov till varsin explosion.

Beräkningsmodellen i TNO multienergimodell baseras på att framtagna gasvolym inom respektive område omvandlas till en ekvivalent hemisfär innehållande samma volym, se Figur 3.3. Gasen antas bestå av en homogen, stökiometrisk blandning av gas och luft med en förbränningsenergi $E'_{gas} = 3,5 \text{ MJ/m}^3$, som är oberoende av gastyp.

Explosionen förutsätts ske nära mark på ett sådant sätt att tredimensionell avlastning är möjlig. Detta innebär att effekten av så kallad spegling också redan har beaktats i för metoden angivna samband.



Figur 3.3 Schematisk illustration av en ekvivalent hemisfärisk gasvolym som används i TNO multienergimetod, där r_0 betecknar radien hos den ekvivalenta volymen.

3.2.2 Förutsättningar

I TNO Multienergimetoden finns det tre parametrar som avgör vilken last som fås från en given gasexplosion:

- Ingående stökiometriskt blandad gasvolym (explosionskällans energimängd)
- Explosionsstyrka (anges med en styrkefaktor, graderad 1-10 där ett högt värde anger en kraftig explosion – 10 motsvarar en detonation)
- Avstånd mellan explosionscentrum och studerad punkt

Val av explosionsstyrka är en viktig parameter som har stor inverkan på storleken hos den förväntade explosionslasten. Det är dock svårt att bedöma vilken styrka som ska användas i en given situation och här utgås från förenklade riktlinjer som ges i Johansson (2013).

Gasvolym

Hur storleken på en blockerad gasvolym, som kan ge upphov till en kraftig gasexplosion, ska bestämmas är inte självklart. För en gasexplosion med sitt centrum på Essingeleden finns det inga fasta naturliga områden som kan ge upphov till en kraftig explosion. Vid händelse av en olycka kommer det dock finnas ett antal fordon i området som kan ge upphov till en sådan blockerad volym.

Ett möjligt sätt att resonera för bestämning av en starkt blockerad volym är därför att utgå från den gasmängd som samlas under en ansamling av fordon, dvs. mellan vägbana och undersida fordon. Här har utgåts från en volym enligt nedan:

$$V_{\text{fordon}} = b \cdot l \cdot h = 2 \cdot 5 \cdot 0,5 = 5 \text{ m}^3 / \text{fordon} \quad (3.1)$$

Det kan även argumenteras att utrymmet mellan bilar till viss del ska innefattas i en sådan volym. Detta kan göras genom att approximativt öka längden med 0,5 m i horisontalled, vilket då ger en volym på

$$V_{\text{fordonmod}} = b_{\text{mod}} \cdot l_{\text{mod}} \cdot h = 3 \cdot 6 \cdot 0,5 = 9 \text{ m}^3 / \text{fordon} \quad (3.2)$$

Av detta resonemang fås att omkring 5-10 m³ gas/fordon kan vara rimligt att utgå från vid uppskattning av en blockerad volym. Om det antas att 10-20 bilar innefattas i



PM

det utsläppta gasmolnet fås då 50-200 m³ gas, beroende på vilket grundvärde som väljs. Totalt bedöms det vara rimligt att ta höjd för en stökiometriskt blandad gasvolym på totalt 1 000 m³.

Styrkefaktor

Följande styrkefaktorer utgås från i här utförda beräkningar:

- En styrkefaktor på $s = 2$ motsvarar en gasmolnsexplosion på en mer eller mindre **öppen yta**.
 - För detta fall utgörs gasvolymen av den totala mängd stökiometriskt blandad gas som finns tillgänglig – inte av den blockerade volymen.
- En styrkefaktor på $s = 5$ motsvarar en gasexplosion i en **blockerad volym**.
 - För ett sådant fall är det rimligt att utgå från en större gasvolym än vad som är fallet vid en starkt blockerad volym – $V_{gas} = 100-200 \text{ m}^3$.
- En styrkefaktor på $s = 7$ motsvarar en gasexplosion i en **starkt blockerad volym**.
 - Här har antagits att den tvådimensionella fördämning som fås av gasen mellan vägbana och undersida fordon motsvarar ett sådant fall. Det är också rimligt att utgå från en mindre gasvolym än när $s = 5$ antas – $V_{gas} = 50-100 \text{ m}^3$.

Enligt VROM (2005) kan en fördröjd antändning av ett gasmoln på en öppen yta resultera antingen i en gasmolnsbrand eller en gasexplosion och fördelningen mellan dessa båda händelser bedöms vara 60/40 %. Utifrån mer precisa mätningar av farligt godstransporter som genomförts av Stockholm stad tillsammans med Trafikverket 2015 kan konstateras att transporter av naturgas (LNG – *Liquefied Natural Gas*) förväntas utgöra majoriteten av antalet transporter av brännbar gas, adr-klass 2.1. Inom moln av metan (LNG) sprids lågor långsamt, varvid lågan kan slockna i förtid utan att hålla sig brinnande genom hela molnet. Tillräcklig acceleration av förbränningen (dvs. $>100 \text{ m/s}$) för att skapa ett verkligt explosionsövertryck uppträder vanligtvis inte, om ingen blockering eller inneslutning föreligger, se DNV (2013). Utomhus i den öppna luften förväntas generellt inte att gasen blir innesluten/delvis innesluten, och erfarenheten tillsäger att metangas brinner relativt långsamt (i närheten av 10 m/s), varvid all expansion resulterar i att gasen stiger vertikalt, DNV (2013). Antändningsprover med spridda, ej inneslutna, LNG-gasmoln har bekräftat att inget påtagligt övertryck utvecklas ($<1 \text{ kPa}$). Med avseende på rådande förhållanden är det således högst otroligt att en gasmolnsexplosion uppstår givet ett utsläpp av LNG och det troligaste förloppet på en öppen yta är således ett förlopp som genererar närmast obefintliga övertryckseffekter. Baserat på den typ av brandfarliga gaser som primärt är aktuella för transport på Essingeleden (LNG) så bedöms den riskfördelning som anges i VROM (2005) därför vara väl konservativ för här studerat fall.

För det fall att en gasexplosion uppstår så utgår här använd beräkningsmetod från ett energiinnehåll som motsvarar en stökiometriskt blandad gas, dvs. att en optimal blandning av luft och brännbar gas har erhållits. Om så inte är fallet fås en explosion med reducerad styrka. Det är inte sannolikt att en stökiometrisk blandning uppstår men att utgå från en sådan situation resulterar i ett konservativt lastantagande och används därför här.

Baserat på ovanstående kan det argumenteras för att $s = 2$ samt $s = 7$ är högt valda värden för det aktuella fallet när vi har låg- och mellanreaktiva gaser såsom Metan eller Propan. Ett resonemang enligt ovan har av författaren dock använts i andra



PM

liknande sammanhang och medför en konservatism i bedömningen som har ansetts vara rimlig att ha med. En överskattning av styrkefaktorn får i de flesta fall också större effekt på den resulterande lasten än en överskattning av ingående gasvolym.

Avstånd

I de framtagna laster som presenteras i detta dokument har utgått från ett minst avstånd på $r = 25$ m mellan explosionscentrum och byggnadsfasad. Det är dock möjligt att argumentera för en ökning av detta avstånd.

- Placering av en ansamling av 10-20 fordon kommer rimligen ske i 3-4 filer. Beaktande detta fås att centrum för blockerad volym ligger åtminstone omkring 5 m från Essingeledens kant. Dvs. om avstånd från Essingeledens kant till byggnad är 25 m skulle avstånd till explosionscentrum kunna uppskattas till 30 m.
- För en större öppen gasmolnexplosion kan det argumenteras för att last från en gasexplosion med $s = 2$ kan befinna sig närmare byggnaden än 25 m eftersom gasmolnet kan blåsa mot byggnaderna. Antändning i yttre delen av molnet innebär emellertid med stor sannolikhet att förloppet kommer karakteriseras av en gasmolnsbrand (*flash fire*) eftersom koncentrationen inom denna del av molnet kan förutsättas ligga vid sin undre explosionsgräns. För ett explosionsartade förlopp anses det rimligt att antändning förutsätts ske i närhet till olycksplatsen, eftersom det är inom detta område det skulle kunna ske ansamling av större gasmängder inom stökiometrisk koncentrationer. De primära tändkällorna av ett gasmoln utgör vidare fordonen på transportleden, vilket ytterliga styrker resonemanget att det är rimligt att explosionscentrum utgår från olycksplatsen. I här utförda beräkningar bedöms det därför rimligt att bibehålla avståndet till 25 m även när $s = 2$.
- Här utgås konservativt från ett minsta avstånd på 25 m för beräkning av last från explosion. Vid en mer detaljerad analys av last mot en byggnad är det dock även möjligt att beakta ökat avstånd till olika delar av byggnaden – något som kan medföra en reduktion av resulterande last.

3.3 Explosion från BLEVE

En explosion från en så kallad BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*) är ett resultat av en trycksatt vätska i en behållare som gör att vätskan förhindras att övergå till ånga. Om behållaren brister sjunker dock trycket plötsligt varvid vätskan kokar och övergår till ånga. Detta genererar en snabbt expanderande ånga och vätska som i sin tur kan ge upphov till ett explosionsliknande förlopp som genererar en luftstöt våg som breder ut sig i omgivningen.

För att en BLEVE ska kunna inträffa krävs, enligt CCPS (2010), att följande villkor uppfylls:

- En vätska som har en temperatur som överstiger sin kokpunkt vid normalt lufttryck
- En sluten behållare som kan motstå det tryck i vätskan som krävs för att förhindra kokning
- Ett plötsligt brott i behållaren som gör att vätskestrycket hastigt sjunker.



PM

Den vanligaste orsaken till att en BLEVE uppstår är kopplat till upphettning av behållaren på grund av en brand. Värmen från branden bidrar dels till att öka trycket inne i tanken och dels medför det en försvagning av behållarens mekaniska styrka (hållfastheten hos stål halveras vid en temperatur av omkring 500 °C).

Ovanstående förutsättningar innebär att en BLEVE har lättare att uppstå i en LNG-behållare än i t.ex. en tank med bensin eller diesel. Hos den förra typen är konceptet att naturgas i flytande form transporteras nedkyld (-162 °C) under atmosfärstryck i dubbla vakuumisolerade tankar vars säkerhetsventiler aktiveras vid en tryckhöjning om cirka 7-9 bar. LNG-behållare är således utformade för att klara stora tryck. Om en situation enligt ovan uppstår som innebär att en brand föranleder en snabb förångning av den nedkylda naturgasen finns det därför också risk att en BLEVE kan uppstå. Bensin eller diesel befinner sig dock redan naturligt i vätskefas och dess behållare behöver därför inte heller utformas för att klara något högt tryck. Det tryck som krävs för att en sådan behållare ska brista är därför förhållandevis lågt, vilket medför att det inte heller kommer att kunna uppstå en explosion av nämnvärd storlek.

För att ytterligare minska risken för explosion med bensin och diesel är sådana behållare utrustade med säkerhetsventiler som gör att gas kan släppas ut om trycket blir för stort (över 0,25 bar) och därmed begränsa det resulterande övertrycket i behållaren. En annan förebyggande åtgärd är att behållaren hos tankbilar normalt är uppdelade i ett antal olika separata fack, vilket gör att vätskevolymen som kan generera en möjlig BLEVE begränsas. Detta medför att risken för en kraftfull explosion reduceras ytterligare eftersom ett brott i behållaren sannolikt inte sker i mer än ett fack samtidigt. I princip kan därför konstateras att BLEVE är relevant för LNG-behållare medan riskerna för att en BLEVE ska uppstå i samband med en olycka involverande bensin- eller dieseltank kan förväntas vara försumbara.

En BLEVE kan, enligt CCPS (2010), resultera i bland annat följande konsekvenser:

- Stötvåg
- Splitterutkast
- Eldklot

Att teoretiskt bestämma vilken stötvågslast som genereras av en BLEVE är svårt. De beräkningsmodeller som finns för att uppskatta explosionslasten från BLEVE kan vara mycket konservativa och i det här dokumentet utgår därför från observationer om last som har gjorts för inträffade olyckor. I Planas-Cuchi *et al.* (2004) och Planas *et al.* (2015) beskrivs två olika explosionsolyckor i Spanien som inträffade 2002 respektive 2011 och som är kopplade till BLEVE. I båda fallen härrörde explosionen från tankbilar som transporterade LNG. Lastvolymen uppgick i båda fallen till cirka 56 m³ med ett dimensionerat tryck på 7 bar, något som bedöms vara representativt även för svenska förhållanden. Baserat på observationer från olycksplatsen presenteras en konservativ baklängesräkning i ovanstående referenser, där en uppskattning har gjorts av den ekvivalenta mängden TNT som krävs för att generera samma explosionslast som erhålls i BLEVE-olyckan. Dessa beräkningar ger ekvivalenta TNT-mängder på 30-75 kg samt 41-52 kg TNT för olyckan 2002 respektive 2011, dvs. ett medelvärde på 53 kg respektive 47 kg.

En BLEVE kan ge upphov till fragment (från framförallt behållaren för vätska/gas) som kastas flera hundra meter bort från explosionskällan. Dessa fragment är i regel relativt få till antalet och ett enskilt fragment kan storleksmässigt utgöra en betydande andel av behållarens totala storlek. Uppkomsten av en BLEVE gör att utkastriktningen hos sådana fragment sker i linje med behållarens längd (dvs. tankbilens längd). Med tanke



PM

på potentiell storlek hos sådana fragment är det mycket svårt att skydda sig mot en sådan händelse. Skadeomfattningen av att människor i omgivningen skulle kunna träffas från flygande fragment kan vidare betraktas som försumbar i relation till de potentiella skadeeffekterna från uppkommen värmestrålning och stötvåg. Utkast av flygande fragment bedöms därmed inte relevant att studera ytterligare i denna utredning.

Ett eldklot från en BLEVE kan sträcka sig långt ut från explosionscentrum och utgör också ett dödligt hot mot de människor som hamnar inom dess utbredning. För att minimera risken för omgivningen är det därför väsentligt att eldklotet förhindras att komma i kontakt med människor i så stor grad som möjligt.

3.4 Explosion från massexplсивt sprängämne

3.4.1 Beräkningsmetod

I litteraturen finns det tydliga anvisningar om hur den resulterande lasten från en explosion av sprängämne kan beräknas och för här framtagna lastvärden utgås från anvisningar i Johansson (2012).

3.4.2 Förutsättningar

Till skillnad mot en gasexplosion så kommer en explosion av sprängämnen alltid utgöras av en detonation. Detta medför att explosionen alltid blir kraftig samt att osäkerheten i bestämningen av resulterande last minskar betänkligt jämfört med vad som gäller vid en gasexplosion.

Vid beräkning av explosionslast från sprängämne avgör följande faktorer vilken last som fås:

- Mängd och typ av sprängämne (explosionskällans energimängd)
- Avstånd mellan explosionscentrum och studerad punkt

De empiriska samband som sedan används för att beräkna lasten utgår normalt från sprängämnet TNT. Olika typer av sprängämnen karakteriseras därför ofta med en så kallad ekvivalent TNT-vikt, dvs. en dimensionslös faktor med vilken den aktuella vikten ska multipliceras för att få samma last som 1 kg TNT (Trotyl). I detta dokument utgås dels från TNT men också från dynamit, där den senare bedöms ha en faktor på 0,6 (1 kg dynamit motsvarar 0,6 kg TNT).

Vilken mängd sprängmedel som ska användas för dimensionering av närliggande bebyggelse till farligt godsled är en fråga som blir väldigt central för den resulterande last som slutligen används för detta. Det kan argumenteras för att man här bör ta höjd för en förhållandevis stor mängd sprängmedel, för att därigenom säkerställa att dimensionering görs på säker sida. Som bakgrund till val av mängd sprängämne kan nämnas att flertalet av de terroristattentat som riktats mot västvärldens intressen under de senaste 25 åren har understigit en laddningsmängd av i storleksordningen 1000 kg TNT – i Breiviks attentat i Oslo 2011 användes exempelvis en laddning på motsvarande omkring 700 kg TNT. Att dimensionera bebyggelsen för en olyckslast motsvarande den från en terroristattentat har dock inte bedömts vara ett befogat förfarande. Här har det istället ansetts vara betydligt rimligare att utgå från en mer måttlig sprängämnesmängd – en explosion orsakad av 100 kg dynamit (motsvarar



PM

60 kg TNT). Bakgrunden till detta val är att 100 kg av ett sprängämne bedömts vara en rimlig övre mängd för mer "vardagliga" transporter till och från byggarbetsplats via Essingeleden. Detta lastfall anses även täcka in last från BLEVE, se avsnitt 3.3, som bedöms motsvara en explosion från omkring 50 kg TNT.

I detta dokument beaktas sålunda inte mer extrema lastfall som teoretiskt skulle kunna uppstå vid större transporter av massexplosiva ämnen. Att begränsa mängden sprängämnen till 100 kg dynamit är således ett högst medvetet val och bedöms vara både ett rimligt och mer praktiskt anpassat förhållningssätt än att ta höjd för större laddningar på exempelvis 500-1000 kg. En fördjupad analys av vilka resulterande laster som kan uppkomma från explosion av större mängder sprängämne samt vilka potentiella effekter som kan uppstå av dessa på omgivande bebyggelse redovisas i Bilaga A

3.5 Last mot byggnad

3.5.1 Orientering

Vilken last som uppstår mot en byggnad beror till stor del på dess avstånd till explosionscentrum – för de laster som diskuteras i detta dokument är det en betydande skillnad på om detta avstånd uppgår till 25, 50 eller 100 m. I en riskutredning antas ofta att explosionscentrum är placerad i ett givet läge, vilket bedöms ge en representativ bild av den sammantagna riskbilden mot studerat område. Dvs. olika lägen på explosionscentrum beaktas normalt sett inte i den totala risksammanställningen. Orsaken till en sådan förenkling är att många olika typer av komplicerade aspekter behöver vägas in för att få fram en övergripande riskbild och för att göra detta arbete praktiskt hanterbart blir en sådan lösning av lastplaceringen nödvändig.

Vid kontroll av enskilda byggnader mot en potentiell explosionslast – och därmed även kravställandet av dessa – utgås dock fortfarande från ett konservativt antagande där placering av explosionscentrum antas vara det värsta tänkbara. Dvs. för kontroll av en byggnad antas lastplaceringen vara rörlig i enlighet med de förutsättningar som finns, t.ex. att explosionslastens centrum utgår från en punkt någonstans på Essingeleden. Ett sådant angreppssätt medför också att ett robust skydd skapas för tillkommande bebyggelse, som är okänslig mot vart på Essingeleden olycka uppstår. Verkliga geometriska effekter, så som att en byggnad är helt eller delvis dold bakom en annan byggnad (jämför Kv 1-5 i Figur 1.1 som till stor del döljs av Kv 6 gentemot en potentiell explosionslast på Essingeleden) och en sådan gynnsam effekt är också något som vid behov kan beaktas vid bestämning av dimensionerande last mot en byggnad.

3.5.2 Avstånd 25 m

Baserat på den information som ges i avsnitt 3.2 till 3.4 har beräkningar utförts för att få fram lastvärden som kan jämföras mellan olika lastsituationer när explosionen antas inträffa på ett avstånd om 25 m från byggnadsfasad, se Tabell 3.1. I tabellen jämförs resulterande tryck och impulstäthet för olika mängd gasvolym och styrkefaktorer. Syftet med denna jämförelse är att tydligare belysa effekten av en ändrad gasvolym kontra en ändrad styrkefaktor.

Av Tabell 3.1 framgår att lasten från en explosion med en hög styrkefaktor ($s = 7$) men mindre blockerad volym ($V = 100 \text{ m}^3$) blir större jämfört med vad som fås från en explosion med en medelhög styrkefaktor ($s = 5$) och blockerad större volym



PM

($V = 200 \text{ m}^3$). Lasten från en gasexplosion på en öppen yta ($s = 2$), men med en hög volym ($V = 1\,000 \text{ m}^3$), får visserligen en högre impulstäthet men samtidigt fås också ett märkbart lägre tryck för detta fall. Sammantaget kommer därför last från en starkt blockerad gasexplosion med relativt begränsad volym ($V = 100 \text{ m}^3$, $s = 7$) i de flesta fall utgöra ett farligare belastningsfall. Kontroll mot explosionslast orsakad av en stor gasvolym på en öppen yta ($V = 1\,000 \text{ m}^3$, $s = 2$) behöver dock också fortfarande göras eftersom impulstätheten är större än för lastfallet med en starkt blockerad gasexplosion.

Vid jämförelse av last från en starkt blockerad gasexplosion och dynamit så kan det konstateras att det resulterande trycket från dynamit är större samtidigt som impulstätheten är densamma. Detta innebär att den last som fås från en starkt blockerad gasexplosion ($V = 100 \text{ m}^3$, $s = 7$) helt innefattas av den last som fås från en explosion på 100 kg dynamit.

Tabell 3.1 Resultater från reflekterad luftstöt våg orsakad av gasexplosion, BLEVE samt explosion från sprängämne. Samtliga laster är beräknade för ett avstånd på 25 m.

| Beskrivning | r [m] | V [m ³] | s [-] | P_r [kPa] | t_r [ms] | i_r [kPas] |
|---------------------------------|------------|--------------------------|------------|----------------|---------------|-----------------|
| Gasexplosion, öppen yta (svag) | 25 | 1 000 | 1 | 1,8 | 463 | 427 |
| Gasexplosion, öppen yta (stark) | 25 | 1 000 | 2 | 3,4 | 287 | 492 |
| Gasexplosion, blockerad | 25 | 100 | 5 | 15 | 30,9 | 234 |
| Gasexplosion, blockerad | 25 | 200 | 5 | 19 | 38,9 | 374 |
| Gasexplosion, starkt blockerad | 25 | 50 | 7 | 35 | 12,4 | 215 |
| Gasexplosion, starkt blockerad | 25 | 100 | 7 | 50 | 15,0 | 374 |

| Beskrivning | r [m] | W [kg] | W_{mod} [kg] | P_r [kPa] | t_r [ms] | i_r [kPas] |
|----------------------------|------------|-------------|-------------------|----------------|---------------|-----------------|
| Dynamit (innefattar BLEVE) | 25 | 60 | 108 | 64 | 12,1 | 376 |

3.5.3 Avstånd 40 m

Enligt Länsstyrelsen rekommendationer medges principiellt kontorsbyggnader med ett skyddsavstånd på 40 m till farligt godsled utan att några säkerhetshöjande åtgärder, för att hantera konsekvenserna av explosionsförlopp, behöver vidtas. Det är därför av intresse att jämföra vilken effekt på lasten som fås om avståndet ökas från 25 m till 40 m för de fall som studeras i avsnitt 3.5.2.

I Tabell 3.2 visas de lastvärden som fås om avståndet är 40 m istället för 25 m. En jämförelse med lastvärden i Tabell 3.1 visar att det ökade avståndet till explosionscentrum visserligen reducerar både tryck och impulstäthet tämligen mycket men att den last som verkar på detta avstånd fortfarande är så hög att den rimligen inte kan avfärdas som ointressant för byggnadens bärighet.



PM

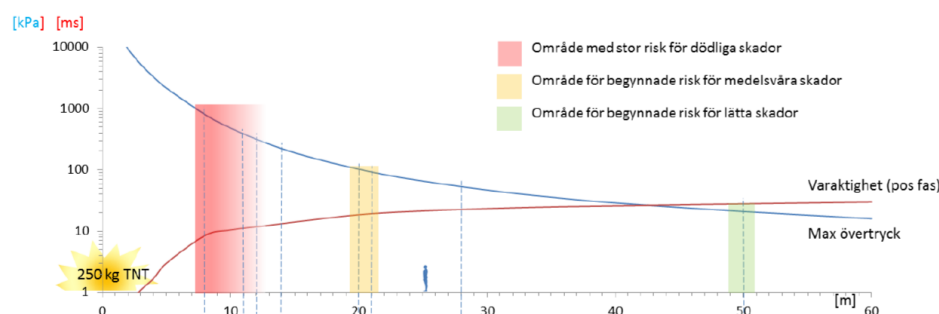
Tabell 3.2 Resulterande last från reflekterad luftstöt våg orsakad av gasexplosion, BLEVE samt explosion från sprängämne. Samtliga laster är beräknade för ett avstånd på 40 m.

| Beskrivning | r [m] | V [m ³] | s [-] | P_r [kPa] | t_r [ms] | i_r [kPas] |
|---------------------------------|------------|--------------------------|------------|----------------|---------------|-----------------|
| Gasexplosion, öppen yta (svag) | 40 | 1 000 | 1 | 1,2 | 463 | 269 |
| Gasexplosion, öppen yta (stark) | 40 | 1 000 | 2 | 2,2 | 287 | 311 |
| Gasexplosion, blockerad | 40 | 100 | 5 | 9,4 | 31,0 | 145 |
| Gasexplosion, blockerad | 40 | 200 | 5 | 12 | 38,9 | 231 |
| Gasexplosion, starkt blockerad | 40 | 50 | 7 | 17 | 13,4 | 115 |
| Gasexplosion, starkt blockerad | 40 | 100 | 7 | 24 | 16,2 | 196 |

| Beskrivning | r [m] | W [kg] | W_{mod} [kg] | P_r [kPa] | t_r [ms] | i_r [kPas] |
|----------------------------|------------|-------------|-------------------|----------------|---------------|-----------------|
| Dynamit (innefattar BLEVE) | 40 | 60 | 180 | 31 | 14,9 | 227 |

3.5.4 Kravbild

De krav som ställs med hänsyn till en explosion är kopplade till att reducera antal omkomna personer till en "acceptabelt" låg nivå utifrån att en sådan olycka trots allt inträffar. En människa har egentligen en förhållandevis god motståndsförmåga mot höga tryck, se Figur 3.4. De lastvärden som kan vara acceptabla för en människa kan dock medföra kollaps av en byggnad. Det är således inte ovanligt att explosionslasten är farligare för en byggnad än för en människa och det kan, ur explosionssynpunkt, därför vara mer farligt för en människa att vara inne i en byggnad med dålig bärlighet än att vara ute i det fria. Om alltför nära avstånd till explosionscentrum undantas så utgörs det primära hotet mot en människa framförallt av att träffas av splitter samt att slungas iväg/falla omkull, varvid det finns risk att allvarlig skada uppstår när personen slår i marken. Om en byggnad helt eller delvis rasar samman så finns det dock stor risk att detta resulterar i ett stort antal omkomna personer.



Figur 3.4 Skaderisker för oskyddad, stående människa på olika avstånd från en markdetonation av 250 kg TNT. Från Svensson (2015).

Kravbilden vid en explosionslast är att undvika fortskridande ras. Med detta menas här att förlusten av en enskild byggnadsdel inte ska få katastrofala följder så som att hela eller stora delar av byggnaden rasar samman. Förutom att stommens bärlighet säkerställs bedöms begreppet "fortskridande ras" här även inbegripa att bjälklag i byggnaden ska förbli intakta vid en explosion. Dvs. bjälklagen ska inte brytas sönder så att personer på ett plan faller ner en våning, eller att någon på planet nedanför riskerar att ovanpåliggande bjälklag (dvs. taket i den våningen personen befinner sig på) faller



PM

ner. I begreppet "fortskridande ras" bedöms dock inte ingå att fasaden ska förbli intakt (undantag gäller om fasaden är bärande – då ingår denna som en del i den bärande stommen och måste därför hålla).

Av brandskäl finns det ofta krav att fasaden ska utföras med icke brännbart material. Detta kan exempelvis medföra att särskilda åtgärder måste göras på fönster som vetter mot Essingeleden. Det framgår dock inte tydligt om dessa krav också ska vara gällande efter en explosion, dvs. efter det att en explosion kan ha fått fasaden att falla. Med anledning av detta uppstår ett frågetecken på vilka krav som ska ställas på byggnadens fasad. Ur bärighetssynpunkt är det acceptabelt att en icke bärande fasad slås ut och helt eller delvis kastas in i byggnaden. Ett potentiellt problem med ett sådant scenario är dock att en sådan händelse otvivelaktigt kommer att medföra ökad risk för allvarliga skador för de personer som befinner sig inne i byggnaden. Frågeställningen flyttas då framförallt från att vara kopplat till byggnadens bärighet till att vara kopplat till acceptabel risk för allvarlig skada för personer inne i byggnaden.

3.5.5 Effekt av explosionslast

Det är intressant att jämföra resulterande laster enligt Tabell 3.1 och Tabell 3.2 för avstånd på 25 m respektive 40 m till explosionskällan. Av detta framgår att de laster som kan förväntas uppkomma mot en byggnad som är placerad på det "normala" säkerhetsavståndet om 40 m fortfarande kommer vara så stora att olika problem med byggnaden fortfarande kan förväntas uppstå. De laster som fås bedöms således vara av en sådan storleksordning att de inte kan sägas innefattas av de statiska laster som normalt beaktas vid dimensionering av sådana byggnader.

Vilken dynamisk last som en given byggnad klarar av att hantera utan extra förstärkande åtgärd är starkt beroende av hur byggnadens bärande system samt fasad ser ut¹. Om fasaden består av armerade betongelement är det förmodligen möjligt att påvisa att effekten på dessa, från en explosionslast, är förhållandevis begränsad. Om fasaden dock istället består av någon form av lättelelement, t.ex. förtillverkade element av stenull med tunna pålimmade stålplåtar på fram- och baksida, så är risken dock stor att dessa inte klarar av aktuella laster lika väl och att någon form av förstärkning kan behövas. Vidare utgör glas i fasaden en potentiell svaghet med hänsyn till explosionslast. Enligt Forsén (1997) kan 10 % av fönsterrutor förväntas krossas vid ett explosionstryck på 3 kPa och 50 % krossas vid ett övertryck på 10 kPa, vilket innebär att det fortfarande är troligt att glas i fasaden kommer att skadas allvarligt om byggnaden befinner sig på gränsen till det tillåtna säkerhetsavståndet om 40 m. Förutom risken för skador från glassplitter kommer, om så sker, även fasadens skyddande effekt mot ett efterföljande eldskott eller brand gå förlorad.

En möjlig förstärkningsåtgärd, med hänsyn till detta, är att använda så kallade explosionsresistenta fönster. Tillåten lastkapacitet, uttryckt som tryck och impulstäthet, ges i Tabell 3.3 och av denna framgår att den lägsta klassen, ER1, klarar av tryck på upp till 100 kPa och impulstäthet på 900 Pas². En jämförelse med denna kapacitet och de laster som listas i Tabell 3.1 visar att denna typ av fönster är

¹ En typisk kontorsbyggnad kan förväntas vara utförd med en stabiliserande stomme i platsgjuten eller prefabricerad betong samt med bjälklag av betong. Vidare kan fasaden förväntas utgöras av en relativt stor andel glaspartier med mellanliggande vägg bestående antingen av prefabricerade betongelement eller lätta sandwichelement.

² Det finns även ett ytterligare krav om att lastens varaktighet ska uppgå till minst 20 ms. Detta krav bedöms här vara av mindre betydelse eftersom de varaktigheter som anges för lasterna i Tabell 3.1 och Tabell 3.2 är framtagna med antagande om en triangelformad tryckkurva medan tryckkurvan i verkligheten har en mer exponentiellt avtagande tryckkurva som gör att den verkliga varaktigheten blir större.



PM

tillräckliga för att motstå de laster som bedöms kunna uppkomma på ett avstånd om 25 m vid en explosion på Essingeleden. Denna typ av explosionsresistenta fönster ställer dock även krav på kraftigare fönsterramar som kan fästas in i fasaden, något som ytterligare kan bidra till att lättväggar i fasaden inte utgör ett lämpligt alternativ.

Tabell 3.3 Klassificering av explosionsresistenta fönsterrutor enligt EN 13541.

| Klassificering | P_r [kPa] | i_r [Pas] | t_r [ms] |
|----------------|----------------|----------------|---------------|
| ER1 | 50-100 | 370-900 | ≥ 20 |
| ER2 | 100-150 | 900-1500 | ≥ 20 |
| ER3 | 150-200 | 1500-2200 | ≥ 20 |
| ER4 | 200-250 | 2200-3200 | ≥ 20 |

Ovanstående jämförelse indikerar att de nuvarande reglerna, med 40 m säkerhetsavstånd, inte har en uppenbar koppling till last från en lite kraftigare explosion enligt ovan. Denna observation ger möjligen även ett visst perspektiv på vilka krav som är rimliga att ställa på den bebyggelse som placeras innanför detta säkerhetsavstånd.

3.5.6 Effekt av en "tät" fasad

Om fönster inte utformas som explosionsresistenta finns det en överhängande risk att närliggande byggnaders fönsterrutor kommer att gå sönder om det inträffar en explosion på Essingeleden. De vanligast förekommande personskadorna orsakade av en explosion är i regel skador från splitterfragment. Av dessa skador utgörs i sin tur en betydande majoritet av skador från glassplitter från krossade fönster som kastas in i byggnaden. Om explosionen orsakas av 60 kg TNT på ett avstånd om 25 m från fasaden fås för en 10 mm tjock glasruta (vikt 25 kg/m²) en ungefärlig inkastningshastighet på 15 m/s (54 km/h), och sträckan som glaset kastas in i byggnaden uppgår till omkring 7-10 m. Vid en sådan explosion finns det således risk för dödliga utfall för personer som befinner sig rimligt nära glasfönster vid fasaden som vetter mot Essingeleden.

Om fönsterrutor inte utformas med explosionsresistent glas så är bedömningen här att en stor andel fönster som vetter mot Essingeleden kommer att krossas och kastas in i byggnaden. Ett sådant regn av glassplitter kommer ovillkorligen resultera i omfattande skärskador på människor i fönstrens närhet. Vidare kan det uppstå andra typer av personskador inne i byggnaden som härrör från omkullkastning av människor och/eller ras av lättare invändiga byggnadsdelar. Det är dock mycket svårt att bedöma vilken dödlighetsgrad dessa händelser skulle ha. Med tanke på att glassplittrets inkastningshastighet uppskattas kunna uppgå till omkring 15 m/s för här studerade laster så bedöms det vara rimligt att en inte oväsentlig andel personer i byggnaden kommer att ådra sig allvarliga, även dödliga, skador. Genom att säkerställa att fasaden blir "tät"³ mot explosionslast kan denna osäkerhet dock helt undvikas. En "tät" fasad medför således en säkrare bedömning av antalet omkomna vid händelse av en allvarlig olycka på Essingeleden.

³ Med "tät" fasad syftas här på en fasad som är utformad på ett sådant sätt att den förhindrar stötvåglasten från att tränga in i byggnaden. Detta innebär att såväl fasadelement som eventuell fönsterrutor klarar av att motstå de laster som en explosion innebär utan att gå sönder. Ett visst tryckgenomsläpp och lokala splitterutkast från fönster bedöms dock vara acceptabelt.



PM

Förutom ökat skydd mot explosionslast så medför en "tät" fasad även ett ökat skydd gentemot brand och förekomsten av efterföljande eldklot vid händelse av gasexplosion eller BLEVE. Vid händelse att en explosion inträffar på Essingeleden så är det också rimligt att anta att en brand kan uppstå i samband med detta. De eventuella åtgärder som tagits för att säkerställa en brandtålig fasad hos en byggnad placerad nära Essingeleden kommer dock få en kraftfullt nedsatt skyddsverkan om betydande delar av fasaden (dvs. fönsterrutor) fallerat på grund av en tidigare inträffad explosion. Av denna anledning fås även ett ökat brandskydd för byggnaden om fasaden utförs som "tät".

En potentiell nackdel med en "tät" fasad är att den effektivare tar upp och för vidare pålagd last in i byggnaden. Detta medför att påkänningen mot byggnadens globala bärsystem ökar jämfört med vad som hade varit fallet om fasaden inte varit "tät". För de laster som utgår från här, se avsnitt 3.5.2, är det hanterbart att utforma byggnadens stomme så att dessa påkänningar kan tas upp. För stora explosionslaster, t.ex. en explosion från 500-1000 kg TNT på ett kort avstånd, finns dock risk att en sådan ökad lastöverföring kan medföra problem för byggnadens stomstabilisering. För stora explosionslaster kan det, ur byggnadens lastkapacitetsperspektiv, således vara mer fördelaktigt att utforma byggnaden med en fasad som är så klen som möjligt. En sådan utformning kommer visserligen medföra att fasaden kastas in i byggnaden, något som kan förväntas medföra en omfattande påverkan på de människor som vistas där, men samtidigt minskar risken för att byggnadsstommen kollapsar och ger upphov till ett fortskridande ras. Att utforma denna för att motstå även stora explosionslaster är möjligt men medför krav som gör att byggnaden möjligen blir märkbart dyrare och/eller får en utformning som i olika avseenden skiljer sig från den som annars hade varit tänkt. Samtidigt blir de faktiska, positiva skyddseffekterna svåra att tillgodose i och med att människor innanför fasad fortfarande kan förväntas påverkas i en omfattande utsträckning.

Sammanfattningsvis kan konstateras att en "tät" fasad har en alltigenom gynnsam inverkan vid de mindre, mer troliga, explosionslasterna medan den kan bidra till en negativ effekt vid stora, mer extrema, explosionslaster. I och med att majoriteten av antalet explosionsrelaterade transporter på Essingeleden är kopplade till brandfarlig gas är det också denna typ av olycka som primärt kan förväntas styra risknivåerna för en explosion. Det bedöms därför också vara rimligt att ett skyddskoncept mot en potentiell explosionslast primärt utformas för att klara mindre, men mer troliga olycksfall, än att ta höjd för alltför extrema olyckshändelser som i princip motsvarar lasten från en aktiva terrorhandling.

En byggnad nära Essingeleden som utformas med en "tät" fasad får flera fördelar:

- Stötvågslasten kommer enbart belasta byggnadens fasad, vilket innebär att potentiella skador på bärande konstruktionsdelar inne i byggnaden effektivt förhindras.
- Glasrutor kastas inte in på människor i byggnaden, ingen risk för invändig omkullvältning eller ras av lättare byggnadsdelar.
- Med intakta glasrutor förbättras skyddet mot värmestraålning, från en efterföljande brand eller eldklot, betänkligt.

Tillsammans medför dessa effekter att några dödsfall inomhus inte är att förvänta för de explosionslastfall som beaktas här. Den potentiella nackdel som en tät fasad innebär vid stora explosionslaster bedöms här därför vara acceptabel med hänsyn till ovan listade fördelar.



PM

4 Rekommendation

4.1 Lastfall att beakta vid dimensionering

Utgående från resonemang och lastresultat i kapitel 3 rekommenderas det här att last från explosionslast beräknas med följande förutsättningar:

- Gasexplosion
 - Beräkning görs med TNO Multienergimetod, se Johansson (2013), med volym V och styrkefaktor s enligt nedan:
 - Gasexplosion, öppen yta (stark): $V = 1\,000\text{ m}^3$, $s = 2$
 - Gasexplosion, starkt blockerad: $V = 1\,00\text{ m}^3$, $s = 7$
- BLEVE
 - Beräkning görs som för en explosion med en ekvivalent mängd TNT och innefattas av den mängd som beaktas för explosion av sprängämne.
- Explosion av sprängämne
 - Beräkning görs med sprängämne omräknat till ekvivalent mängd TNT, se Johansson 2012), med mängd TNT enligt nedan:
 - Dynamit, 100 kg: $W = 60\text{ kg TNT}$
(speglingsfaktor 1,8 $\rightarrow W_{mod} = 108\text{ kg TNT}$)

4.2 Resulterade tryck och impulstäthet på olika avstånd

I Tabell 4.1 och Tabell 4.2 sammanställs resulterande last från gasexplosion respektive explosion från BLEVE/sprängämne. Last presenteras för oreflekterad samt reflekterad stötvåg på olika avstånd från explosionscentrum. Angivna värden beaktar enbart normalreflexion och det finns således möjlighet att vid behov påvisa reducerade lastvärden för att ta hänsyn till sned reflexion.

Tabell 4.1 Resulterade last från oreflekterad och reflekterad luftstötvåg orsakad av gasexplosion på avstånd 25-60 m från explosionscentrum.

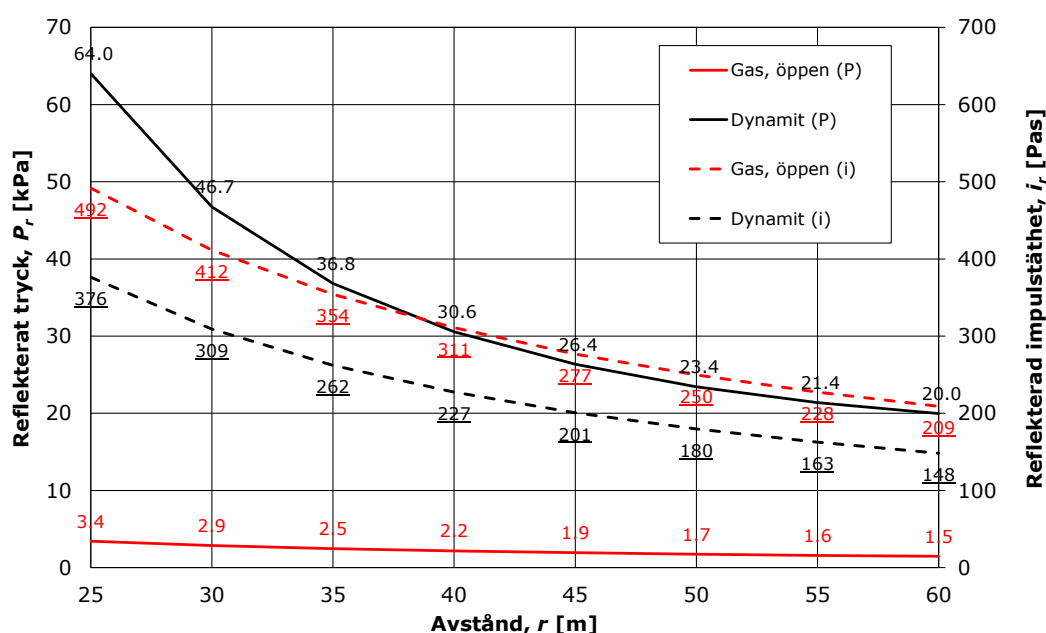
| Beskrivning | r | V | s | P_s | t_s | i_s | P_r | t_r | i_r |
|--------------------------------|-----|-------------------|-----|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| | [m] | [m ³] | [-] | [kPa] | [ms] | [kPas] | [kPa] | [ms] | [kPas] |
| Gasexplosion, öppen yta | 25 | 1 000 | 2 | 1,70 | 287 | 244 | 3,43 | 287 | 492 |
| Gasexplosion, öppen yta | 30 | 1 000 | 2 | 1,43 | 287 | 205 | 2,87 | 287 | 412 |
| Gasexplosion, öppen yta | 35 | 1 000 | 2 | 1,23 | 287 | 176 | 2,47 | 287 | 354 |
| Gasexplosion, öppen yta | 40 | 1 000 | 2 | 1,08 | 287 | 155 | 2,17 | 287 | 311 |
| Gasexplosion, öppen yta | 45 | 1 000 | 2 | 0,96 | 287 | 138 | 1,93 | 286 | 277 |
| Gasexplosion, öppen yta | 50 | 1 000 | 2 | 0,87 | 287 | 125 | 1,74 | 286 | 250 |
| Gasexplosion, öppen yta | 55 | 1 000 | 2 | 0,79 | 287 | 114 | 1,59 | 286 | 228 |
| Gasexplosion, öppen yta | 60 | 1 000 | 2 | 0,73 | 287 | 105 | 1,46 | 286 | 209 |
| Gasexplosion, starkt blockerad | 25 | 100 | 7 | 22,8 | 15,3 | 175 | 50,0 | 15,0 | 374 |
| Gasexplosion, starkt blockerad | 30 | 100 | 7 | 17,5 | 15,8 | 138 | 37,5 | 15,5 | 290 |
| Gasexplosion, starkt blockerad | 35 | 100 | 7 | 14,0 | 16,1 | 113 | 29,6 | 15,9 | 235 |
| Gasexplosion, starkt blockerad | 40 | 100 | 7 | 11,5 | 16,4 | 95 | 24,1 | 16,2 | 196 |
| Gasexplosion, starkt blockerad | 45 | 100 | 7 | 9,7 | 16,7 | 81 | 20,2 | 16,6 | 168 |
| Gasexplosion, starkt blockerad | 50 | 100 | 7 | 8,4 | 17,0 | 71 | 17,4 | 16,9 | 147 |
| Gasexplosion, starkt blockerad | 55 | 100 | 7 | 7,5 | 17,3 | 65 | 15,5 | 17,1 | 133 |
| Gasexplosion, starkt blockerad | 60 | 100 | 7 | 6,8 | 17,5 | 60 | 14,0 | 17,4 | 122 |



Tabell 4.2 Resultande last från oreflekterad och reflekterad luftstöt våg orsakad av BLEVE och exploderande sprängämne (100 kg dynamit) på avstånd 25-60 m från explosionscentrum.

| Beskrivning | r | W | W_{mod} | P_s | t_s | i_s | P_r | t_r | i_r |
|----------------------------|------|-----|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| | [kg] | [m] | [kg] | [kPa] | [ms] | [kPas] | [kPa] | [ms] | [kPas] |
| Dynamit (innefattar BLEVE) | 25 | 60 | 108 | 28,9 | 12,8 | 185 | 64,0 | 11,8 | 376 |
| Dynamit (innefattar BLEVE) | 30 | 60 | 108 | 21,7 | 14,4 | 156 | 46,7 | 13,2 | 309 |
| Dynamit (innefattar BLEVE) | 35 | 60 | 108 | 17,3 | 15,6 | 135 | 36,8 | 14,2 | 262 |
| Dynamit (innefattar BLEVE) | 40 | 60 | 108 | 14,5 | 16,4 | 119 | 30,6 | 14,9 | 227 |
| Dynamit (innefattar BLEVE) | 45 | 60 | 108 | 12,5 | 17,1 | 106 | 26,4 | 15,2 | 201 |
| Dynamit (innefattar BLEVE) | 50 | 60 | 108 | 11,0 | 17,5 | 96 | 23,4 | 15,3 | 180 |
| Dynamit (innefattar BLEVE) | 55 | 60 | 108 | 9,9 | 17,8 | 88 | 21,4 | 15,2 | 163 |
| Dynamit (innefattar BLEVE) | 60 | 60 | 108 | 9,0 | 17,9 | 81 | 20,0 | 14,9 | 148 |

En jämförelse mellan last i Tabell 4.1 och Tabell 4.2 visar att last från starkt blockerad gasexplosion alltid understiger last från 100 kg dynamit. För gasexplosion vid öppen yta fås visserligen generellt ett lågt tryck medan impulstätheten överstiger den som fås från explosion med dynamit. Det är troligt att last från dynamit i de flesta fall kommer att utgöra det dimensionerande lastfallet men det finns också situationer där last från gasexplosion på öppen yta ge en mer kritisk lastsituation. I Figur 4.1 sammanställs tryck och impulstäthet för dessa lastfall.



Figur 4.1 Resultande tryck (P) och impulstäthet (i), vid reflekterad stötvåg, för olika lastkällor samt varierande avstånd. Aktuella lastvärden anges i figuren.

4.3 Krav på fasad

Fasad utförs som "tät", vilket innebär att fasaden ska utformas på ett sådant sätt att last från explosion förhindras att tränga in i byggnaden. Detta medför att eventuella fönsterrutor ska utformas som explosionsresistenta enligt klass ER1, se Tabell 3.3 i avsnitt 3.5.5.



5 Referenser

- van den Berg A.C. (1985): The multi-energy method – A framework for vapour cloud explosion blast prediction. *Journal of Hazardous Materials*, 12(1985), sid 1-10.
- CCPS (2010): *Guidelines for Vapor Cloud Explosion, Pressure Vessel Burst, BLEVE and Flash Fire Hazards*, Second edition. Center for Chemical Process Safety, John Wiley & Sons, Hoboken, USA.
- DNV (2013): QRA Göteborg GO4LNG Terminal. Det Norske Veritas.
- Fischer S., Forsén R., Hertzberg O., Jacobsson A., Koch B., Runn P., Thaning L., Winter S. (1998): Vådautsläpp av Brandfarliga och Giftiga Gaser och Vätskor, Metoder för bedömning av risker, Andra reviderade och utökade upplagan. Avdelningen för NBC-skydd och Avdelningen för Vapen och Skydd, Försvarets Forskningsanstalt, FOA-R--97-00490-990—SE, Sverige.
- Forsén R. (1998): Tryck vid explosioner. Kapitel 10 i Fischer *et al.* (1998), sid 279-312.
- Johansson M. (2012): Luftstöt våg. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. Publ.nr MSB448, Karlstad.
- Johansson M. (2013): Gasexplosion i det fria. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Dokument B02-121, 2013-03-11, Karlstad.
- Johansson M. och Laine L. (2012): Bebyggelsens motståndsförmåga mot extrem dynamisk belastning, Del 3: Kapacitet hos byggnader. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Publ.nr MSB 0142-10, Karlstad.
- Planas-Cuchi E., Gasulla N., Ventosa A., Casal J. (2004): Explosion of a road tanker containing liquefied natural gas. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 17 (2004), sida 315-321.
- Planas E., Pastor E., Casal J., Bonilla J.M. (2015): Analysis of the boiling liquid expanding vapor explosion (BLEVE) of a liquefied natural gas road tanker: The Zarzalico accident. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 34 (2015), sida 127-138.
- SIS (2008a): Eurokod 2: Dimensionering av betongkonstruktioner - Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader. SIS, SS-EN 1992-1-1:2005, Stockholm.
- SIS (2008b): Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner – Del 1-1: Allmänna regler och regler för byggnader. SIS, SS-EN 1993-1-1:2005, Stockholm.
- Svensson L. (2015): Människans tålighet mot luftstöt vågor. FOI
- VROM (2005), Guideline for Quantitative Risk Assessment, "Purple book". Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Nederländerna.
- Samtliga referenser från MSB finns att ladda ner gratis på www.msb.se/skyddsrum.

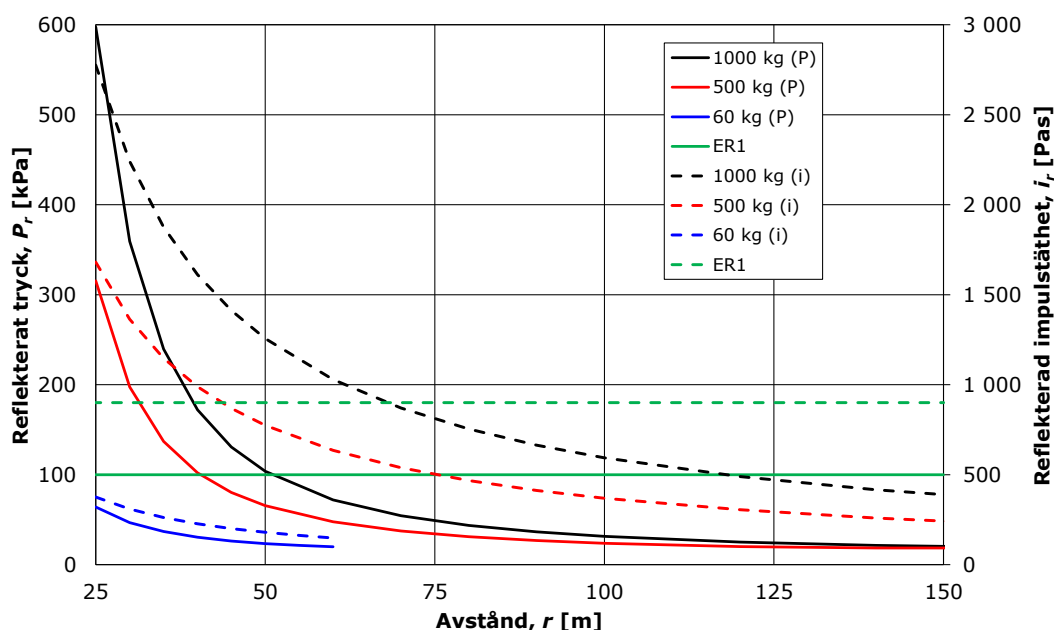


Bilaga A Inverkan av stor sprängladdning

A.1 Last från 500 kg och 1000 kg TNT

I avsnitt 3.4.2 framförs argument för att det är rimligt att utgå från en last orsakad av en mindre sprängladdning (100 kg dynamit – motsvarar 60 kg TNT) istället för att även ta höjd för en mer extrem mängd sprängämnen som i princip motsvarar den som används i terrorattentat. För fullständighetens skull presenteras i detta avsnitt dock ändå resulterande last från en explosion av stora laddningar – 500 kg samt 1000 kg TNT – på varierande avstånd från laddningen. Syftet med denna redovisning är att dokumentera dessa laster så att de, vid behov, kan användas i en riskbedömning och/eller en kompletterande dimensionering av en utsatt byggnad.

I Figur A.1 visas resulterande tryck och impulstäthet på varierande avstånd för en reflekterad stötvåg orsakad av en explosion av 500 kg samt 1000 kg TNT. Av en jämförelse med lastvärden i Figur 4.1 kan konstateras att de laster som fås från dessa laddningsmängder blir avsevärt större än de som fås från en explosion på 100 kg dynamit (motsvarar 60 kg TNT). Det är svårt att göra en direkt jämförelse mellan de laster som fås från en stor sprängladdning och 100 kg dynamit eftersom varaktigheten, och därmed även impulstätheten, ökar med ökande avstånd. Baserat på en grov bedömning kan dock konstateras att den last som fås från 60 kg TNT på 40 m understiger den last som fås från 500 kg på 100 m eller 1000 kg på 150 m.



Figur A.1 Resultattryck (P) och impulstäthet (i), vid reflekterad stötvåg, för explosion från 60 kg, 500 kg och 1000 kg TNT på varierande avstånd. I grafen är även gränser för explosionsresistenta fönster av klass ER1 markerat.



PM

A.2 Effekt på omgivande byggnader

Någon djupare analys av hur resulterande laster enligt Figur A.1 påverkar ny och befintlig bebyggelse har inte gjorts. Så som har berörts i avsnitt 2.1 samt avsnitt 3.5.5 kan det dock konstateras att en tung byggnad bättre klarar av last från en explosion än en lätt byggnad. Baserat på detta är bedömningen att kontorsbyggnader, med betongstomme och betongfasad, har goda möjligheter att klara sig tämligen bra medan hallbyggnaden sannolikt skulle erhålla betydande skador med risk för total kollaps vid händelse av en explosion som inträffar i höjd med aktuell byggnad.

Utan noggrannare kontroll av befintliga byggnader kan inte något säkert uttalande göras. För de bostadshus som ligger öster om Essingeleden, mitt emot Kv 7, är den övergripande bedömningen dock ändå att de förhållandevis väl skulle klara en kraftfull explosion som har sitt explosionscentrum på Essingeleden placerad i linje med den södra spetsen av Kv 8. Dessa byggnader har en tegelfasad och avståndet mellan antaget explosionscentrum och närmaste bostadshus är omkring 50 m, och till huset efter det är det omkring 75 m. De laster som erhålls på dessa avstånd från en laddning på 500 kg eller 1000 kg TNT, se Figur A.1, bedöms kunna ge upphov till allvarliga skador – framförallt förväntas samtliga glsrutor att krossas – men förmodligen kommer dessa byggnader inte rasa samman av en sådan last. För de bostadshus som befinner sig längre bort förväntas skadorna bli förhållandevis måttliga – dels medför ett ökat avstånd en reducerad last och dels gör den aktuella placeringen att dessa byggnader får ett visst skydd mot lasten av framförliggande byggnader. Det kan dock fortfarande förväntas att flertalet fönster krossas inom åtminstone 150 m från explosionscentrum om laddningen uppgår till mer än 500 kg TNT.

För den nya bebyggelse som planeras att uppföras, se Kv 1 till Kv 5 i Figur 1.1, så kommer denna vara förhållandevis väl skyddad från en explosion på Essingeleden av det framförliggande Kv 6. Liksom för befintliga bostadshus kan det visserligen uppkomma krossade glasfönster vid kraftiga explosioner från stora laddningar men någon fara för att byggnaderna ska ådra sig kritiska skador bedöms det inte vara.



PM

Bilaga B Nya byggnader

B.1 Orientering

Två typer av byggnader är planerade att uppföras i området närmast Essingeleden:

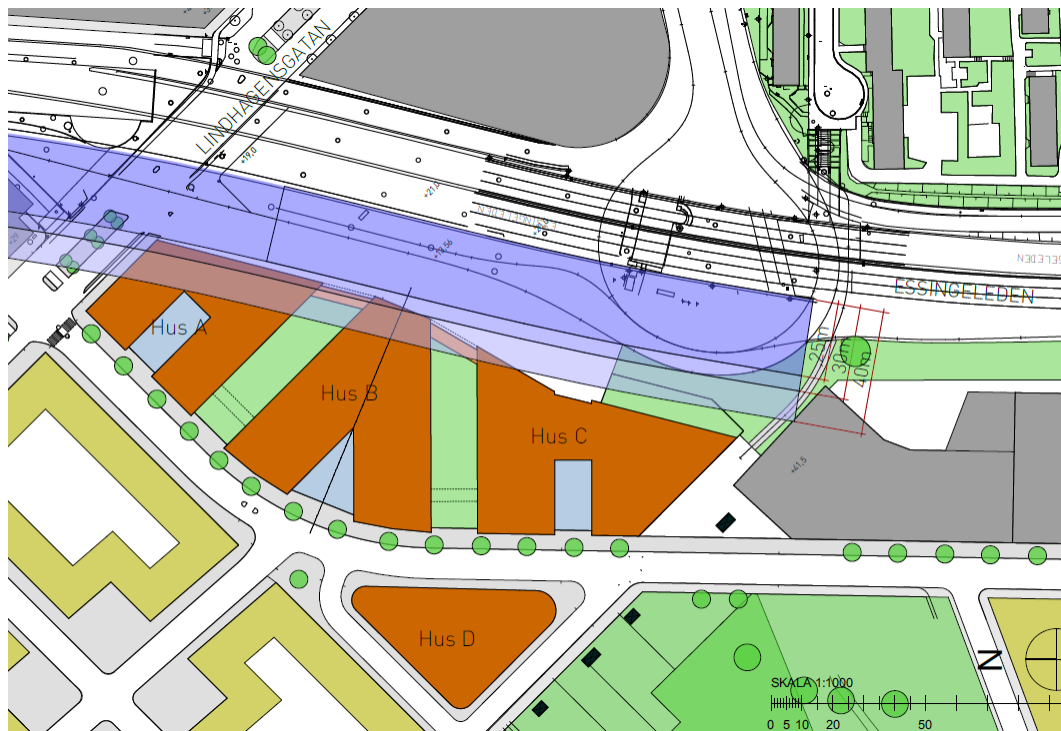
- Två kontorskomplex med Skanska som byggherre.
- En idrottsanläggning med Fastighetskontoret som byggherre.

I avsnitt B.2 till B.4 ges en kort beskrivning av respektive byggnad samt kommentarer om de potentiella utmaningar som dessa har att möta med hänsyn till en explosionslast.

B.2 Kv 6 – Kontorskomplex 1

B.2.1 Geometri

I Figur B.1 visas placering av kontorskomplex i förhållande till Essingeleden, i Figur B.2 visas principiell planlösning, i Figur B.3 visas typsektion hos kontorskomplex längs med Essingeleden och i Figur B.4 visas fasad hos hus A.



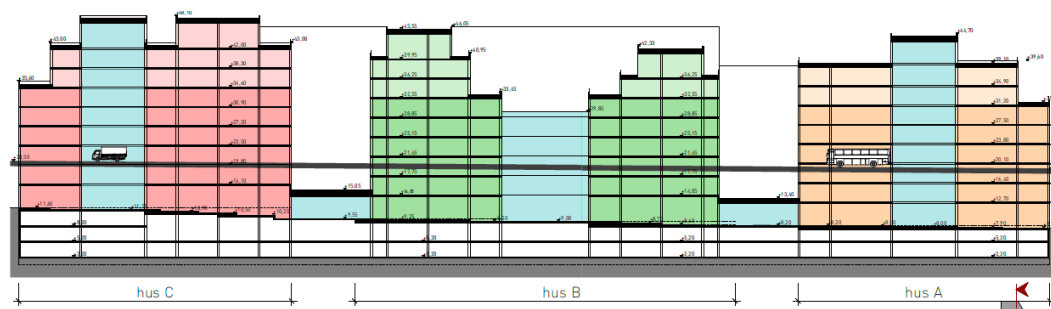
Figur B.1 Placering av kontorsbyggnader gentemot Essingeleden.



PM



Figur B.2 Planlösning hos kontorsbyggnader.



Figur B.3 Typsektion hos kontorsbyggnader längs Essingeleden.



Figur B.4 Fasad hos hus A intill Essingeleden.



PM

B.2.2 Material och utformning

Byggnaden är preliminärt tänkt att bestå av prefabricerade betongelement (sandwich-element på fasaden, håldäcksbjälklag inne i byggnaden). I fasaden inryms relativt stora (uppskattningsvis mer än 50 %) glaspardier. Utrymmet mellan byggnaderna utgörs av ljusgårdar, vilket gör att det tillkommer stora heltäckande glasytor. Dessa stora glaspardier in till ljusgårdarna ligger, i förhållande till Essingeleden, företrädesvis på andra sidan byggnaden men det kommer ändå uppstå stora, rena glasytor som är vända mot Essingeleden.

B.2.3 Kommentarer

Nedan ges övergripande kommentarer rörande utformningen och materialval för kontorsbyggnader invid Essingeleden.

- I nuläget saknas detaljerad information om hur det stomstabiliserande systemet ser ut. Det kan dock antas att detta kommer att utgöras av en betongstomme. En sådan har också goda möjligheter att kunna utformas för att ta upp de laster som uppkommer från en explosion på Essingeleden.
- För att säkerställa en god deformationsförmåga hos de betongelement som används bör det säkerställas att använd armering motsvarar armering av klass C. Detta innebär att förspänd armering samt vanliga typer av nätarmering bör undvikas i fasad.
- Om håldäcksbjälklag används är dessa rimligen förspända, dvs. de uppfyller inte ovan ställt önskemål om armeringens kvalitet. Om fasaden utformas så att den blir "tät" gentemot explosionslast bedöms det tryck som kan verka mot bjälklagen vara i sammanhanget försumbart – någon kontroll blir inte nödvändig. Om fasaden inte görs "tät" kan det dock fortfarande vara rimligt att håldäcksbjälklagen kan motstå de laster som uppstår – kontroll behöver göras.
- Glas i fasaden utgör ett potentiellt problem för kontorsbyggnaderna. Den last som kan uppstå på det aktuella avståndet är sådan att de flesta/alla normala glastrutor kommer att gå sönder. För att hantera detta är det möjligt att använda särskilda explosionsresistenta fönster som är avsedda att kunna stå emot last från en explosion.
- Glasfasad för ljusgårdar har motsvarande problem som glas i fasaden – här är dock aktuella spännvidder större, varför en potentiell lösning kommer att behöva en annan utformning än vad som är fallet i fasadväggen. Eventuellt kan det även vara acceptabelt att glasfasad för ljusgårdar krossas vid händelse av en explosion eftersom dessa utrymmen inte är avsedda för stadigvarande vistelse.

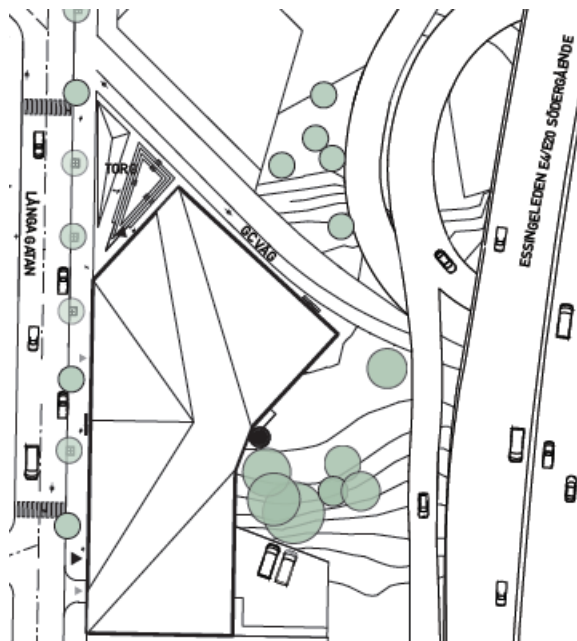


PM

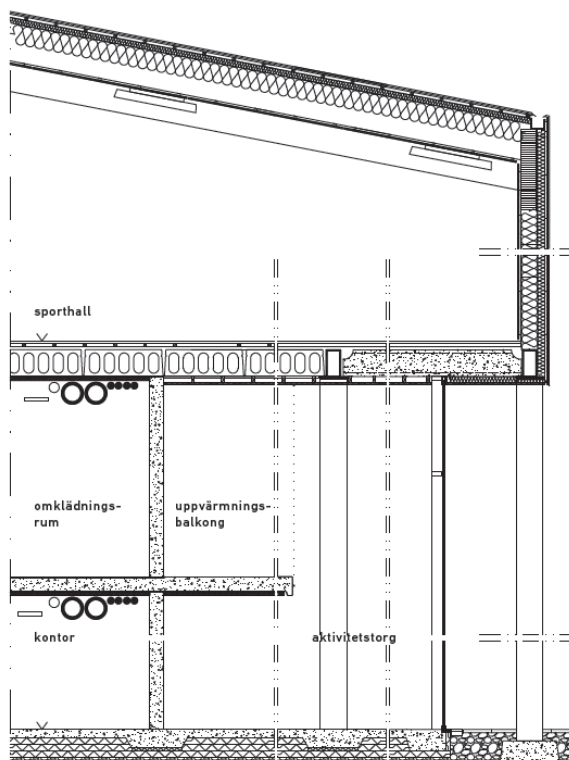
B.3 Kv 7 – Idrottshall

B.3.1 Geometri

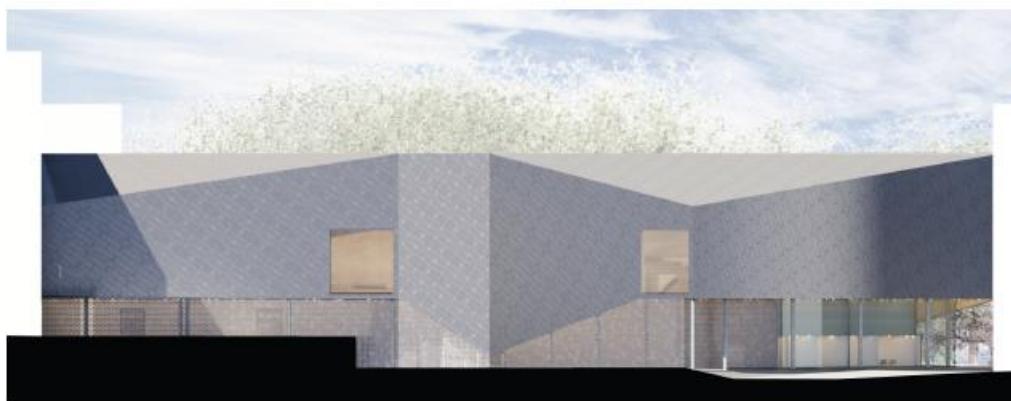
Kristinebergshallen består av två sammanbyggda idrottshallar, se Figur B.5 för hallens placering gentemot Essingeleden. tvärsektion av byggnaden visas i Figur B.6 och planerad fasad mot Essingeleden visas i Figur B.7. I Figur B.8 visas vy över plan 2 och 3.



Figur B.5 Typsektion hos kontorsbyggnad (hus A) med placering i förhållande till Essingeleden.

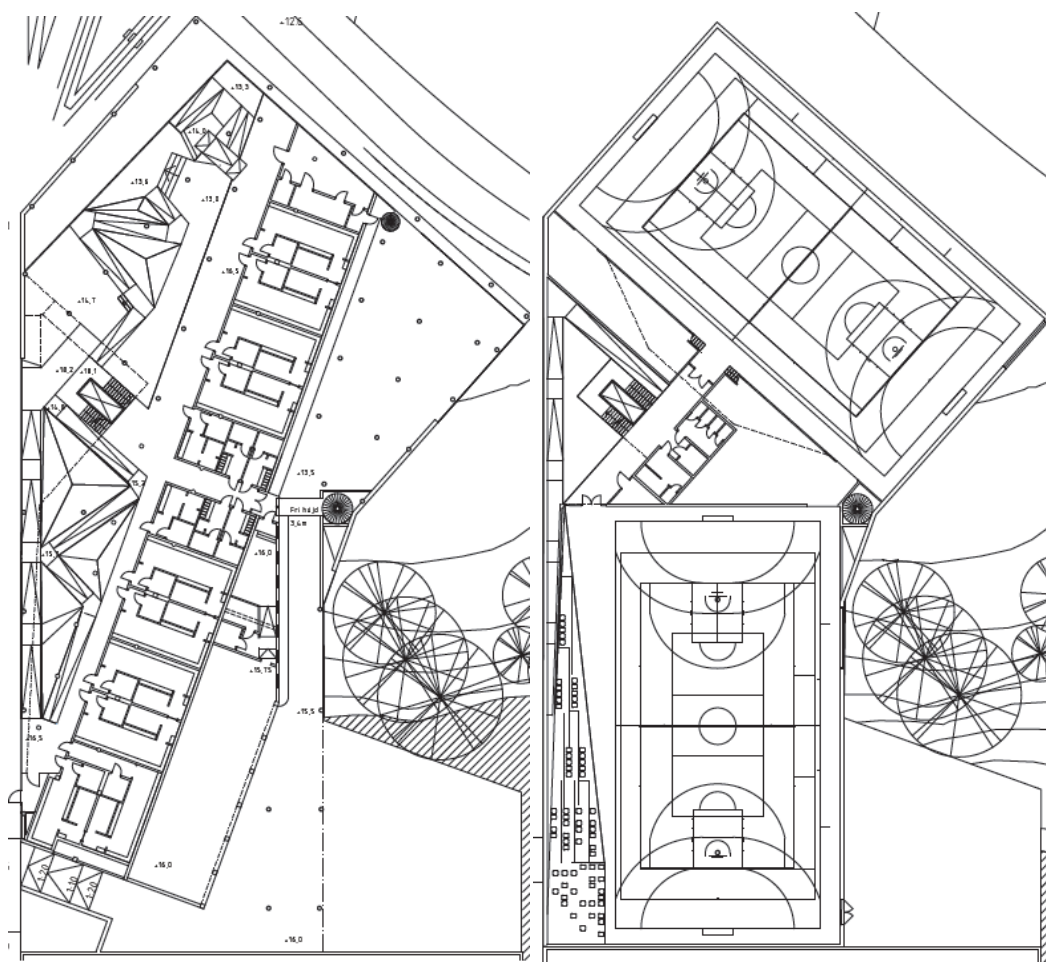


Figur B.6 Tvärsektion av hallbyggnad.



fasad mot öst 1:400

Figur B.7 Idrottshallens östra fasad (vette mot Essingeleden).



Figur B.8 Vy över plan 2 (övre entréplan) och plan 3 (sportgolvsplan).

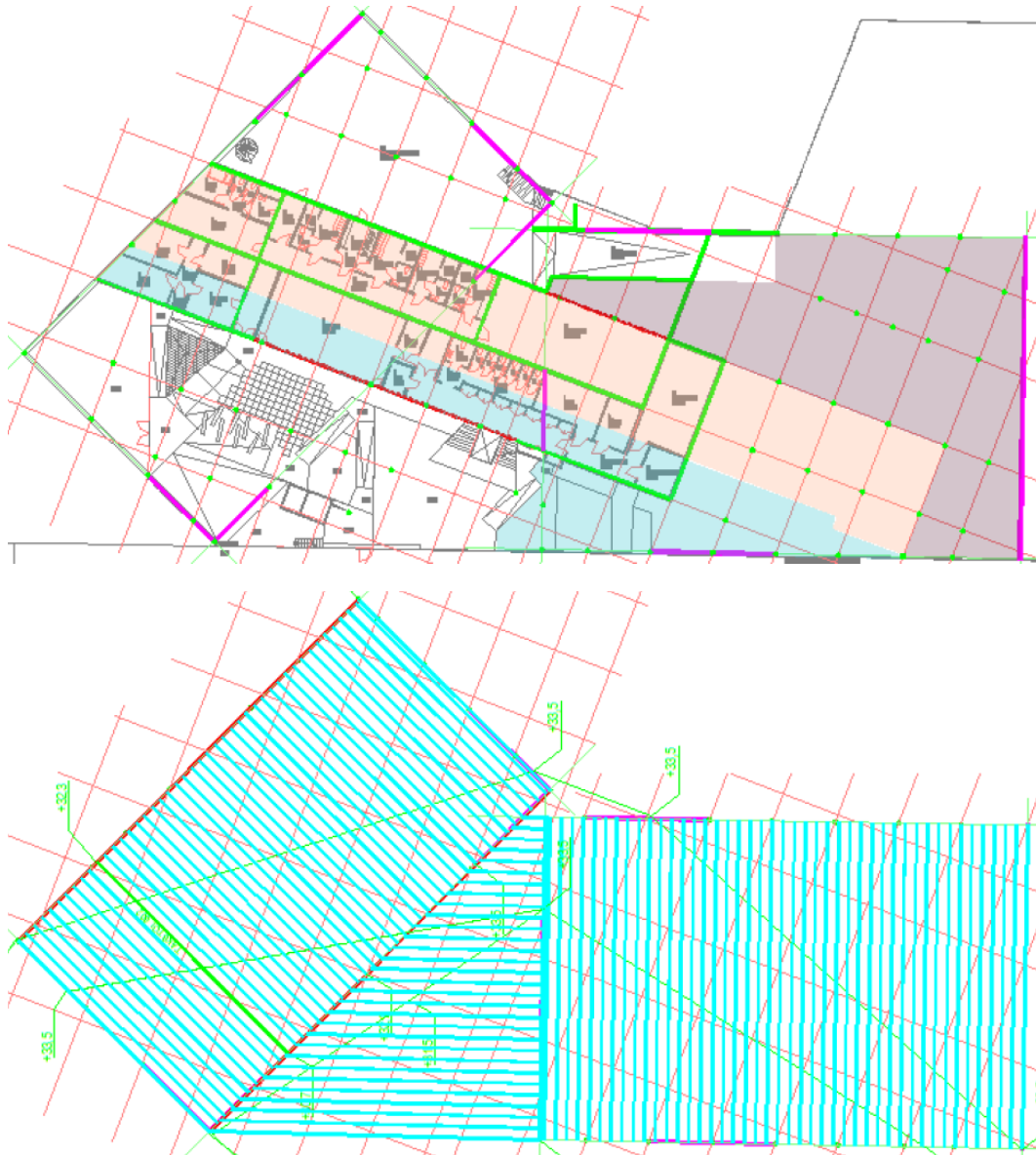


PM

B.3.2 Material och utformning

I Figur B.9 visas det stabiliserande systemet på plan 2 samt i takplan. Valda material kan sammanfattas enligt nedan

- Den nedre delen av fasaden utgörs av stora glaspartier.
- Stabiliserande väggar i betong eller stålramar på plan 1-2.
- Bjälklag består av HD/f-plattor som vilar på hattformade stålbalkar (HSQ-balkar). Balkarnas spännvidder är 6-9 m och HD/f-plattorna är 5-7 m.
- Takplanet utgörs av limträbalkar med en spännvidd på 24-29 m samt med ett centrumavstånd på 1 m. Som taktäckning är takplåt planerad att användas.
- Fasadmaterial är inte klart definierat men preliminärt besked är att en lösning med lättväggar motsvarande PAROC-element var ett tänkt alternativ om hänsyn inte skulle tas till explosion.



Figur B.9 Stabiliserande system på plan 2 samt i takplan.



B.3.3 Kommentarer

Nedan ges övergripande kommentarer rörande utformningen och materialval för hallbyggnad invid Essingeleden.

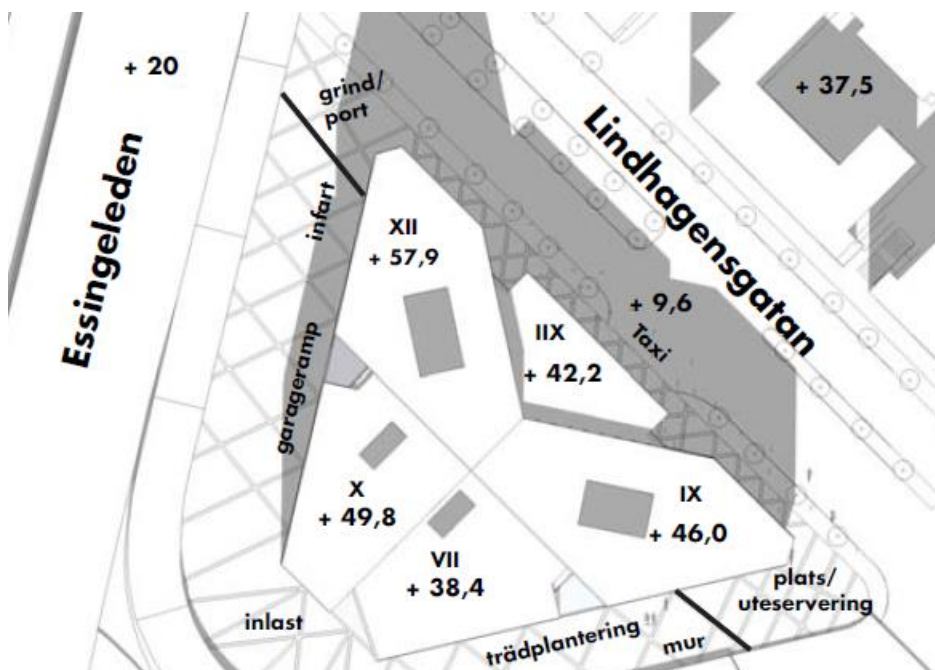
- Om de stomstabiliserande systemet utförs med betong eller stål bör det vara möjligt att hitta en tillfredsställande lösning för att ta upp de laster som uppkommer från en explosion på Essingeleden.
- För att säkerställa en god deformationsförmåga hos de betongelement som används bör det säkerställas att använd armering motsvarar armering av klass C. Detta innebär att förspänd armering samt vanliga typer av nätarmering bör undvikas.
- Om håldäcksbjälklag används är dessa rimligen förspända, dvs. de uppfyller inte ovan ställt önskemål om armeringens kvalitet. Om fasaden utformas så att den blir "tät" gentemot explosionslast bedöms det tryck som kan verka mot bjälklagen vara i sammanhanget försumbart – någon kontroll blir inte nödvändig. Om fasaden inte är "tät" kommer last kunna angripa bjälklagen i idrottshall på plan 2 underifrån, dvs. med en uppåtriktad kraft. Inverkan av detta behöver beaktas om så är fallet.
- Glas i fasaden utgör ett potentiellt problem för kontorsbyggnaderna. Den last som kan uppstå på det aktuella avståndet är sådan att de flesta/alla normala glastrutor kommer att gå sönder. För att hantera detta är det möjligt att använda särskilda explosionsresistenta fönster som är avsedda att kunna stå emot last från en explosion.
- Det är inte tydligt definierat vad för typ av fasad som avses användas för idrottshallsdelen. Om någon hänsyn till explosionslast inte behövde tas hade användandet av någon form av lättelemt, bestående av stenull med pålimmade stålplåtar, skulle ha använts. Med hänsyn till explosionslast blir en sådan lösning dock förmodligen problematiskt och dessa behöver i så fall förmodligen förstärkas. En sådan förstärkning kan eventuellt vara möjlig genom att fästa kontinuerliga stålband på fasadens insida som gör att fasadens lastupptagning sker med så kallad linverkan. Alternativt används en tyngre väggbeklädnad som är mer lämpad att motstå explosionslaster.
- Takplanets bärande delat utgörs av limträbalkar och som taktäckning avses takplåt användas. Trä är ett olyckligt materialval med hänsyn till explosionslast eftersom det har både en låg massa och en låg deformationsförmåga. Det är även stor risk att takplåten är otillräcklig för att klara de laster som uppstår från en explosion. Om takplåten byts ut mot ett tyngre material, t.ex. TT-kassetter i betong, fås också ett gynnsamt bidrag till massan som ökar möjligheten att påvisa att limträbalkarna har tillräcklig kapacitet.



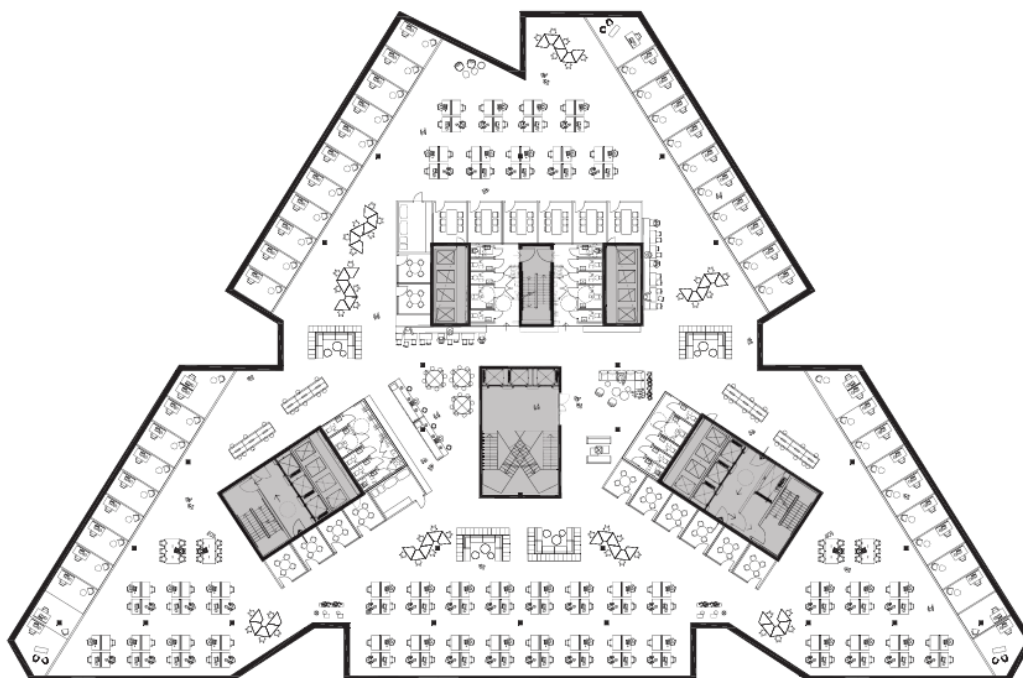
PM

B.4 Kv 8 – Kontorskomplex 2

I Figur B.10 visas placering av kontorskomplex i förhållande till Essingeleden, i Figur B.11 visas en typisk planlösning, i Figur B.12 och Figur B.13 visas ett fotomontage med Essingeleden i bakgrunden respektive tänkt fasad mot Essingeleden.



Figur B.10 Placering av kontorsbyggnader gentemot Essingeleden.



Figur B.11 Typisk planlösning med stombärande trapphus markerade.



Figur B.12 Fotomontage av Kv 8 med Essingeleden i bakgrunden.



Figur B.13 Fasad mot Essingeleden.

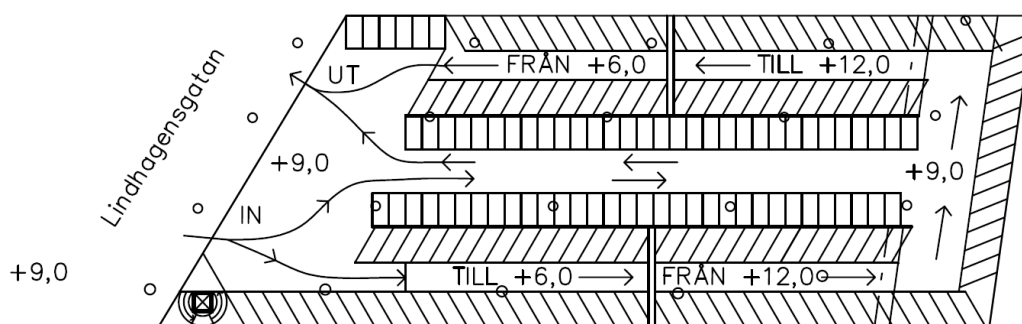
Bilaga C P-hus placerad under Essingeleden

Förutom uppförandet av nya byggnader, Kv 1 till Kv 8) enligt Figur 1.1 finns det även planer på att uppföra ett P-hus som placeras under själva Essingeleden, se Figur C.1 och Figur C.2 för sektion respektive planlösning.

P-husets placering är sådant i förhållande till Essingeleden att en explosionslast inte kommer ge upphov till något direkt reflekterat tryck eftersom en genererad stötvåg först behöver ta sig runt kanten på bron och sedan vända vertikalt nedåt för att kunna ge upphov till en last mot byggnadens övre bjälklag. Detta medför även att det vid lastbestämning är rimligt att anta en sfärisk stötvågsutbredning, något som reducerar lasten ytterligare. Resultaterande last i, form av oreflekterat tryck på varierande avstånd, redovisas i Figur C.3. Eftersom det är ett märkbart kortare avstånd till P-husets översida, jämfört med fasad hos byggnader bredvid Essingeleden, så blir också resulterande tryck och impulstäthet – trots antagandet om en oreflekterad stötvåg – mot P-huset större. Storleken på dessa laster kan medföra att särskilt beaktande till explosion behöver tas i det översta bjälklaget i P-huset. Avstånd till P-huset ska utgå från vägbanans kant, dvs. avstånd till bjälklagsplatta rakt under Essingeleden ska inte mätas genom brobaneplattan.



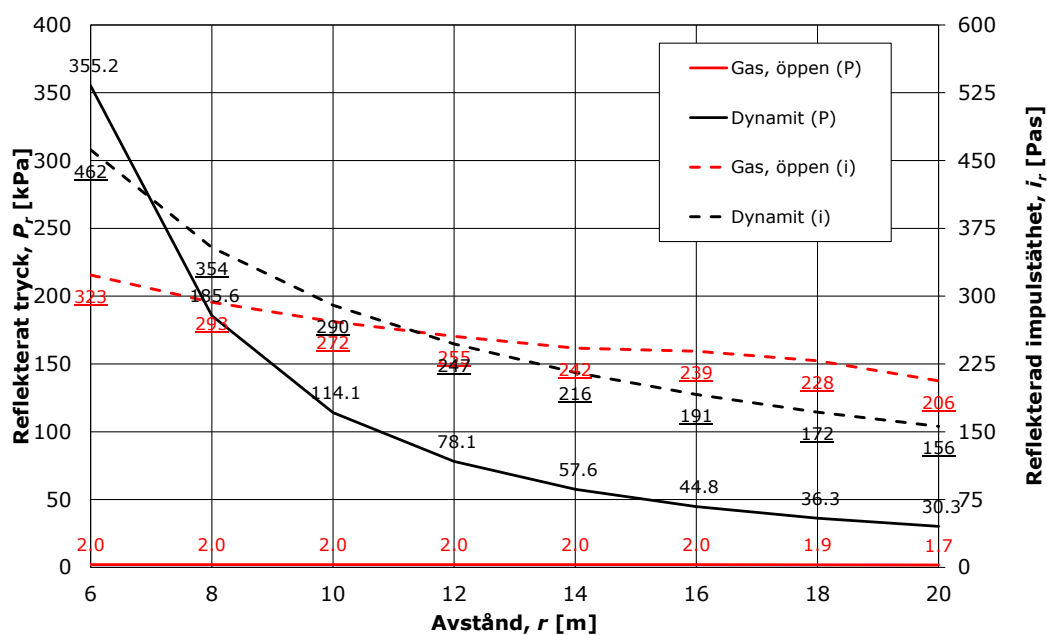
Figur C.1 Sektion av P-hus samt dess placering i förhållande till Essingeleden.



Figur C.2 Planlösning på nivå +9,0 i P-hus.



PM



Figur C.3 Resultande tryck (P) och impulstäthet (i), vid oreflekterad stötvåg, för last mot P -hus för olika lastkällor samt varierande avstånd. Aktuella lastvärden anges i figuren.